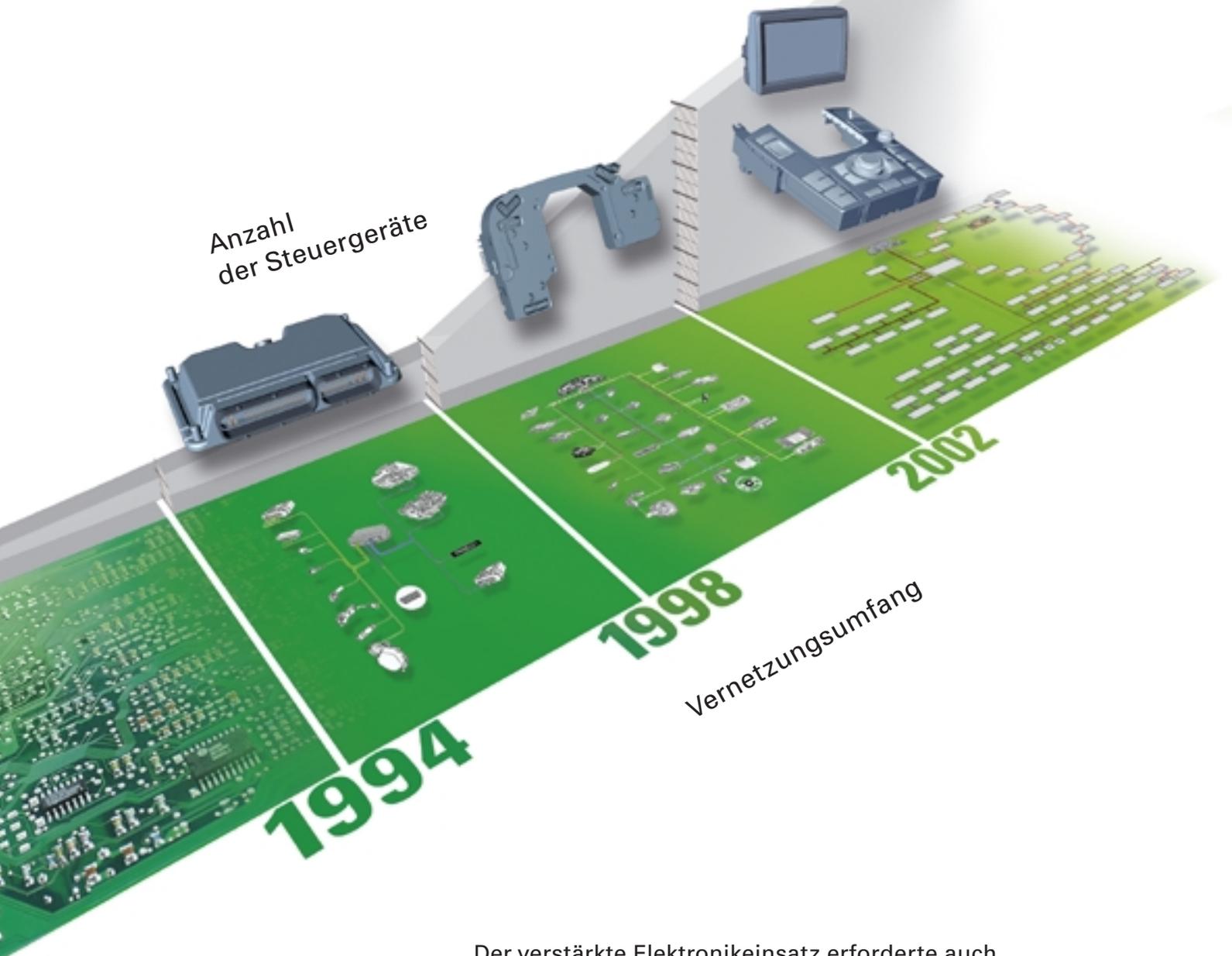


## Neue Datenbussysteme – LIN, MOST, Bluetooth™

Selbststudienprogramm 286

Den ständig steigenden Anforderungen an Funktionsumfänge und Bedienkomfort im Kraftfahrzeug folgt ein immer weiter zunehmender Elektronik-Anteil.

Während zur Vorstellung des ersten Audi A8 im Jahre 1994 noch maximal 15 Steuergeräte zur Realisierung aller Fahrzeugfunktionen ausreichten, wird sich deren Anzahl im Audi A8 '03 verfünffachen.



Der verstärkte Elektronikeinsatz erforderte auch bei der Datenübertragung zwischen den einzelnen Steuergeräten neue Wege zu gehen.

Dafür war die Einführung des CAN-Datenbusses bei Audi zu Mitte der neunziger Jahre ein erster, wichtiger Schritt. Dieses System stößt jedoch besonders im Infotainment-Bereich mit den dort üblichen Übertragungsraten an seine Grenzen. Abhilfe schaffen deshalb nur auf die jeweiligen Anforderungen abgestimmte Übertragungssysteme. Auch Service und Diagnose werden von der Weiterentwicklung profitieren.

	Seite
<b>Einführung</b> .....	4
<b>LIN-Bus - Der Eindraht-Datenbus</b>	
Einführung .....	6
Datenübertragung .....	9
Botschaften .....	11
Diagnose .....	16
<b>MOST-Bus - Der optische Datenbus</b>	
Einführung .....	17
Aufbau der Steuergeräte .....	20
Lichtwellenleiter .....	23
Dämpfung im optischen Bus .....	27
Ringstruktur des MOST-Busses .....	30
Systemzustände MOST-Bus .....	31
Botschaftsrahmen .....	33
Funktionsabläufe im MOST-Bus .....	36
Diagnose .....	41
<b>Bluetooth™ - Der drahtlose Datenbus</b>	
Einführung .....	44
Funktion .....	46
Diagnose .....	49
<b>Diagnose-Bus</b> .....	50



Das Selbststudienprogramm informiert Sie über Konstruktionen und Funktionen.

**Das Selbststudienprogramm ist kein Reparaturleitfaden!**  
**Angegebene Werte dienen nur zum leichteren Verständnis und beziehen sich auf den zum Zeitpunkt der Erstellung des SSP gültigen Softwarestand.**

Für Wartungs- und Reparaturarbeiten nutzen Sie bitte unbedingt die aktuelle technische Literatur.

**Neu!**



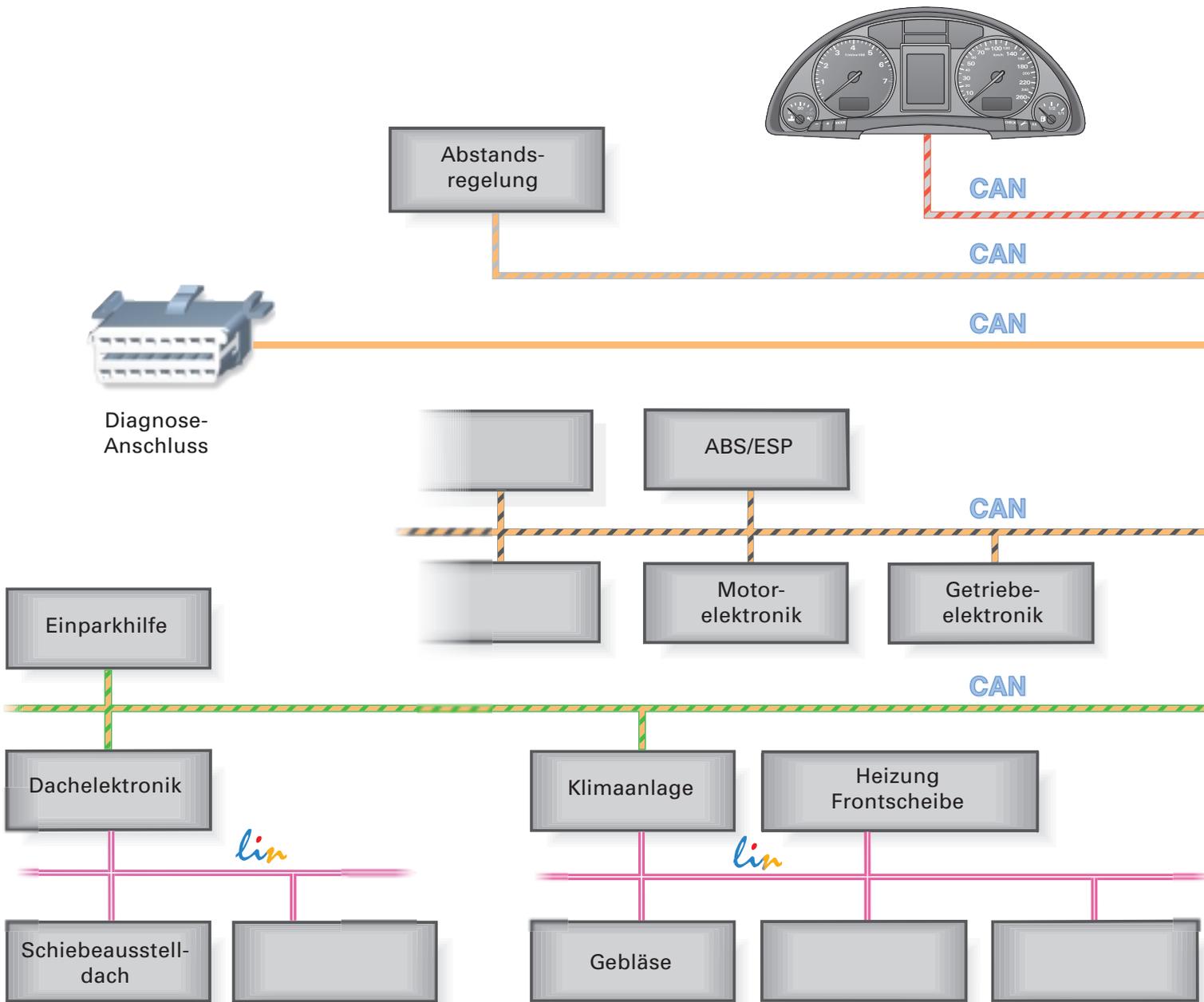
**Achtung! Hinweis!**



# Einführung



## Topologie

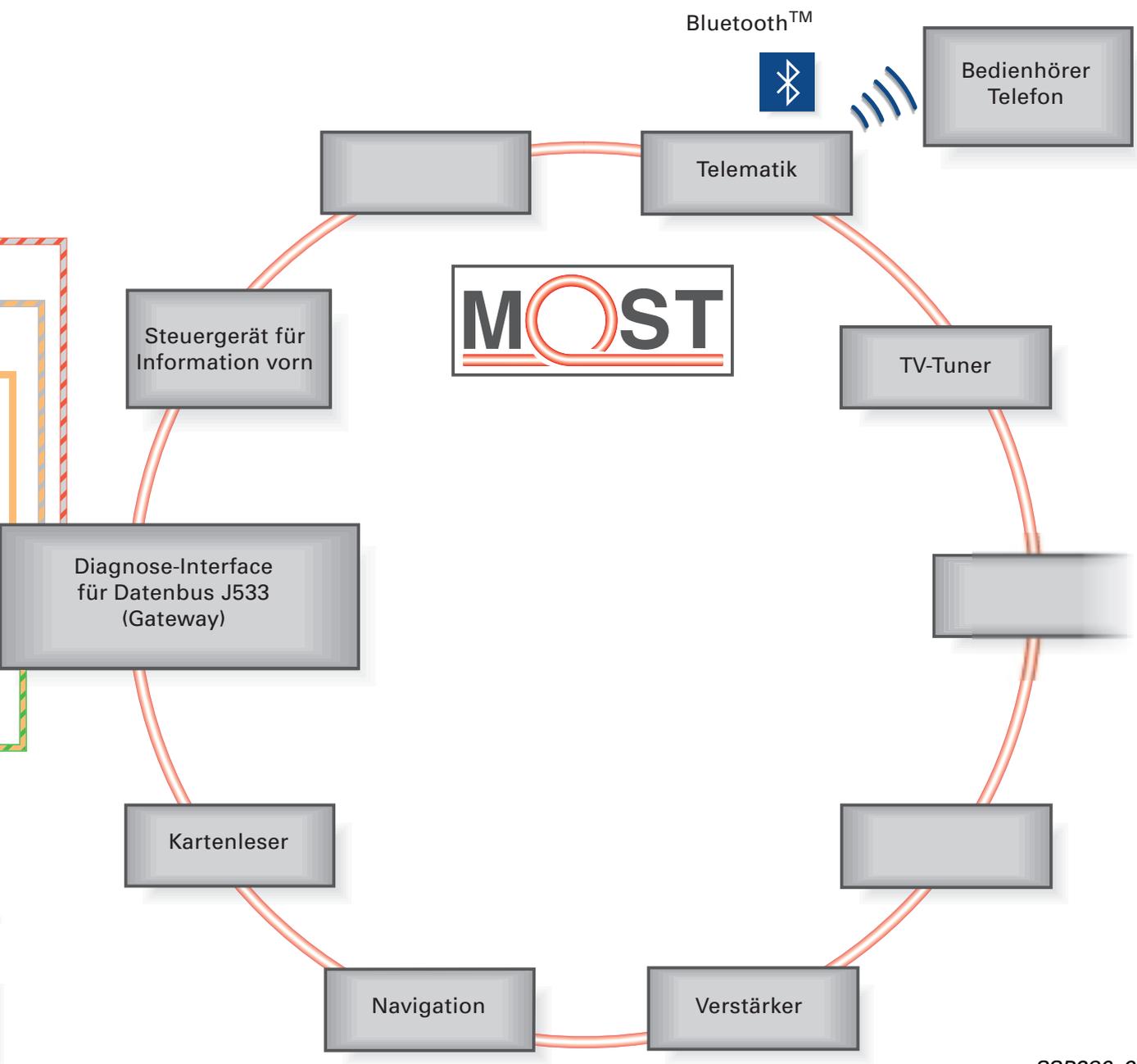


Aufbauend auf der bisherigen Vernetzung erfordern die Vielzahl von Steuergeräten und deren verteilten Funktionen, sowie ein ansteigender Umfang des Datenaustauschs eine Weiterentwicklung der Übertragungstechnologie.

Zum bereits bekannten CAN-Bus kommen

- der LIN-Bus (Eindraht-Bus)
- der MOST-Bus (optischer Bus)
- der drahtlose Bluetooth™-Bus

hinzu.



SSP286\_001

- CAN-Antrieb
- CAN-Komfort
- CAN-Kombi
- LIN-Bus
- CAN-Abstandsregelung
- optischer Bus - MOST
- CAN-Diagnose

# LIN-Bus

## Einführung

LIN steht für **Local Interconnect Network**.

**Local Interconnect** bedeutet, dass sich alle Steuergeräte innerhalb eines begrenzten Bau- raums (z. B. Dach) befinden. Dieses wird auch als „lokales Subsystem“ bezeichnet.

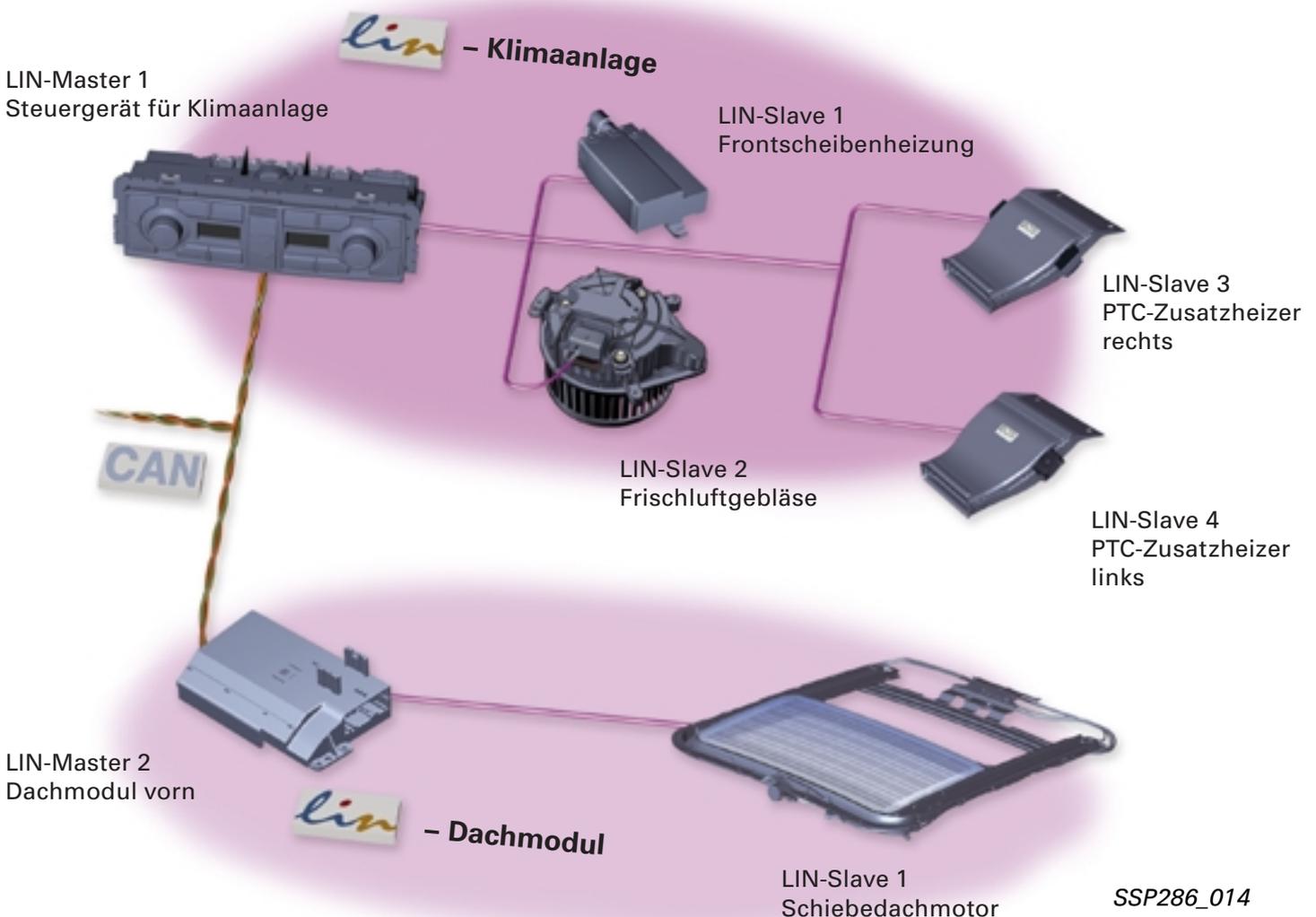
Der Datenaustausch zwischen den einzelnen LIN-Bussystemen in einem Fahrzeug erfolgt über jeweils ein Steuergerät durch den CAN- Datenbus.

Beim LIN-Bussystem handelt es sich um einen Eindraht-Bus. Die Leitung hat die Grundfarbe violett und eine Kennfarbe. Der Leitungsquer- schnitt beträgt  $0,35 \text{ mm}^2$ . Eine Abschirmung ist nicht notwendig.



LOCAL INTERCONNECT NETWORK

Das System ermöglicht den Datenaustausch zwischen einem LIN-Master-Steuergerät und bis zu 16 LIN-Slave-Steuergeräten.



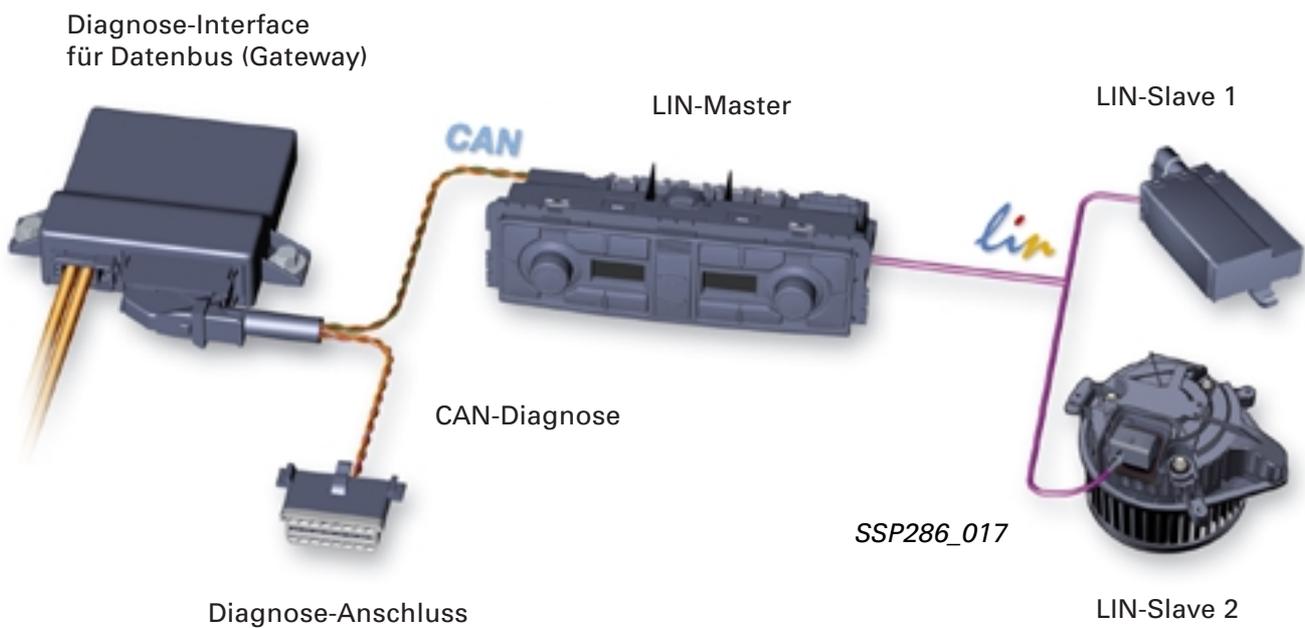
SSP286\_014

## LIN-Master-Steuergerät

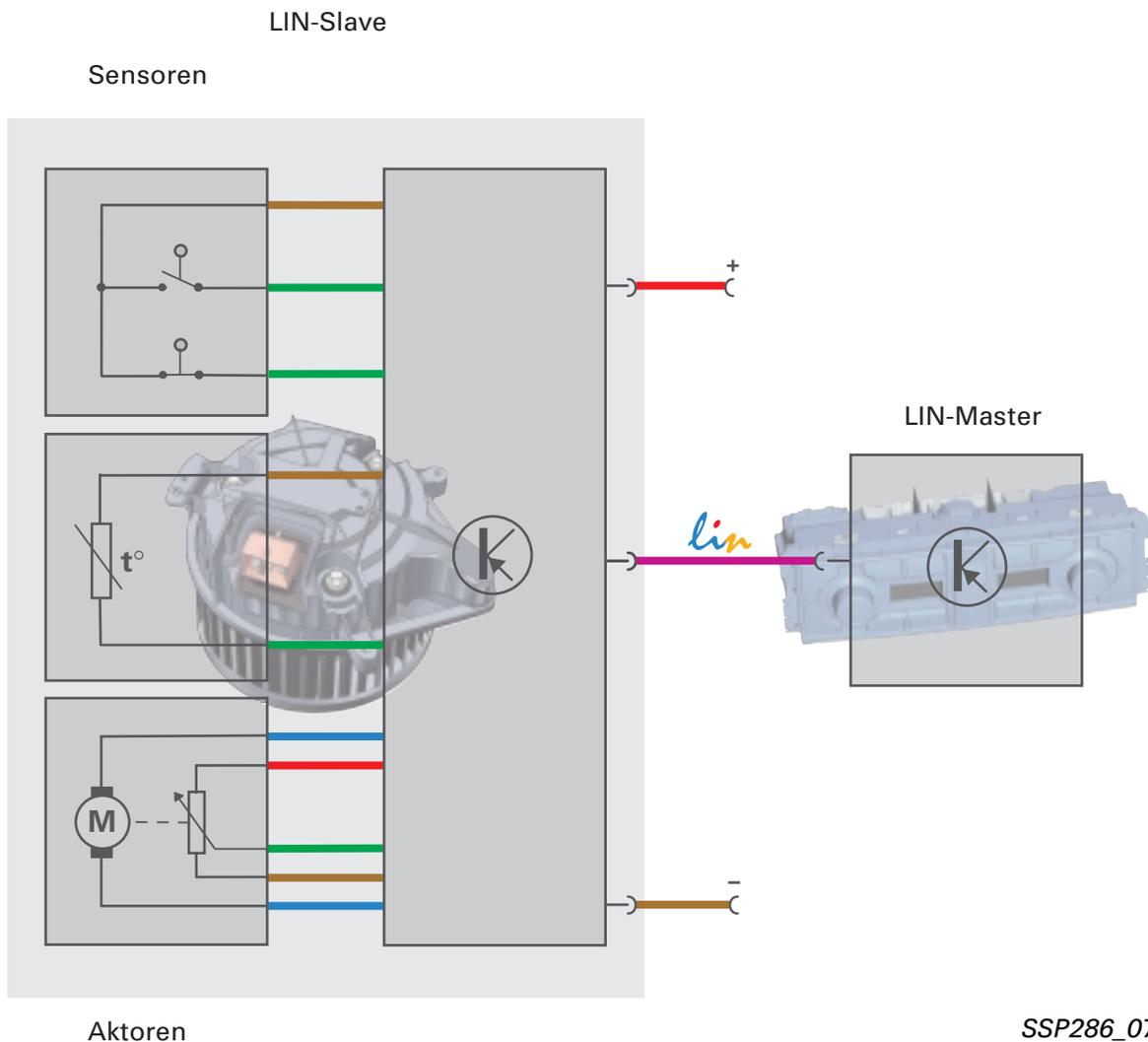
Das Steuergerät, welches am CAN-Datenbus angeschlossen ist, führt die LIN-Master-Funktionen aus.

### Aufgaben

- Es kontrolliert den Datentransfer und die Datenübertragungsgeschwindigkeit. Das LIN-Master-Steuergerät sendet den Botschaftskopf (Header, siehe Seite 12).
- In seiner Software ist ein Zyklus festgelegt, wann und wie oft welche Botschaft auf den LIN-Datenbus gesendet wird.
- Es übernimmt die Übersetzungsfunktion zwischen den LIN-Steuergeräten des lokalen LIN-Bussystems und dem CAN-Datenbus. Somit ist es das einzige am CAN-Datenbus angeschlossene Steuergerät im LIN-Bussystem.
- Die Diagnose der angeschlossenen LIN-Slave-Steuergeräte erfolgt über das LIN-Master-Steuergerät.



## LIN-Slave-Steuergeräte



SSP286\_070

Als LIN-Slave-Steuergeräte können einzelne Steuergeräte, z. B. das Frischluftgebläse, oder auch Sensoren und Aktoren, z. B. Neigungssensor bzw. DWA-Sounder, innerhalb eines LIN-Datenbussystems fungieren.

In den Sensoren ist eine Elektronik integriert, die die gemessenen Werte auswertet. Die Übertragung der Werte erfolgt dann als digitales Signal durch den LIN-Bus.

Es wird für mehrere Sensoren und Aktoren nur ein Pin an der Buchse des LIN-Masters benötigt.

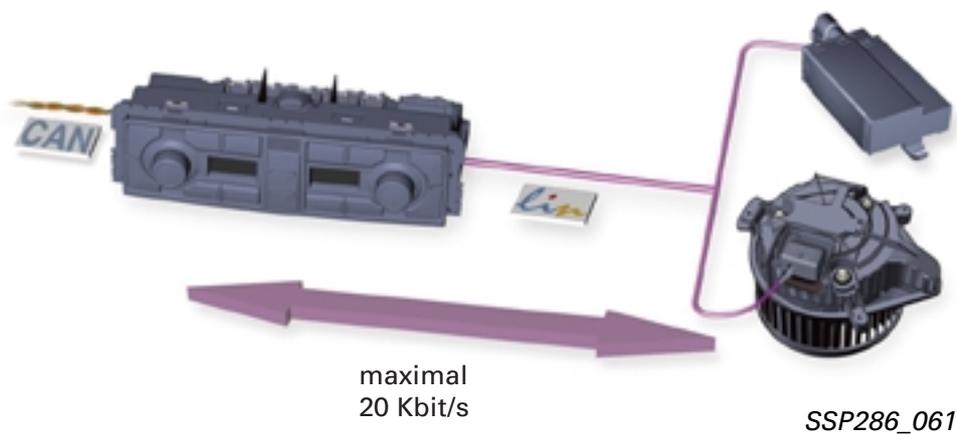
Die LIN-Aktoren sind intelligente elektronische oder elektromechanische Baugruppen, die ihre Aufgaben durch das LIN-Datensignal vom LIN-Master-Steuergerät erhalten. Über integrierte Sensoren kann der Ist-Zustand der Aktoren durch den LIN-Master abgefragt werden, so dass ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt werden kann.



Die Sensoren und Aktoren reagieren nur, wenn durch das LIN-Master-Steuergerät ein Header gesendet wurde.

## Datenübertragung

Die Datenübertragungsrate beträgt 1 - 20 Kbit/s und ist in der Software der LIN-Steuergeräte festgelegt. Dies entspricht maximal einem Fünftel der Datenübertragungsrate des CAN-Komfort.



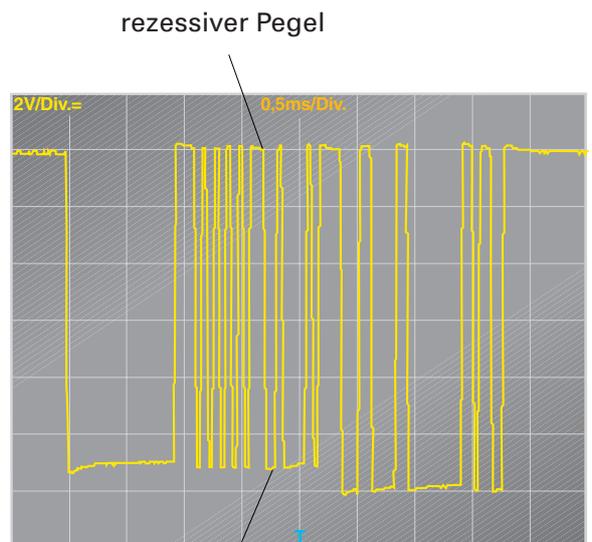
### Signal

#### Rezessiver Pegel

Wird keine Botschaft oder ein rezessives Bit auf dem LIN-Datenbus gesendet, liegt an der Datenbusleitung nahezu Batteriespannung an.

#### Dominanter Pegel

Um ein dominantes Bit auf dem LIN-Datenbus zu übertragen, wird im Sender-Steuergerät die Datenbusleitung durch einen Transceiver auf Masse durchgeschaltet.



SSP286\_071

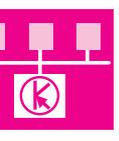


Auf Grund unterschiedlicher Ausführungen der Transceiver in den Steuergeräten können bei den dominanten Pegeln Unterschiede sichtbar sein.

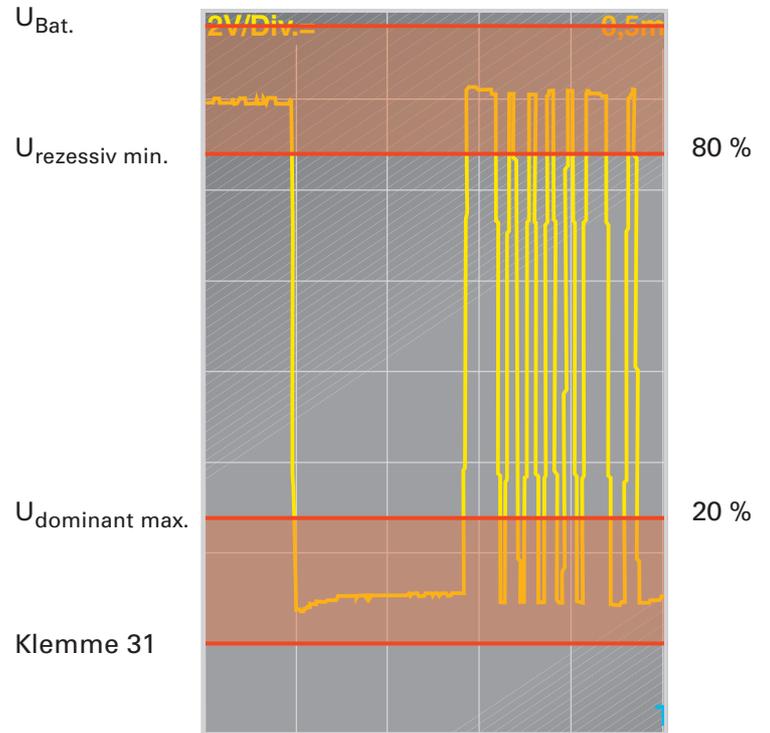
# LIN-Bus

## Übertragungssicherheit

Durch die Festlegung von Toleranzen beim Senden und Empfangen im Bereich des rezessiven sowie dominanten Pegels ist eine stabile Datenübertragung gewährleistet.



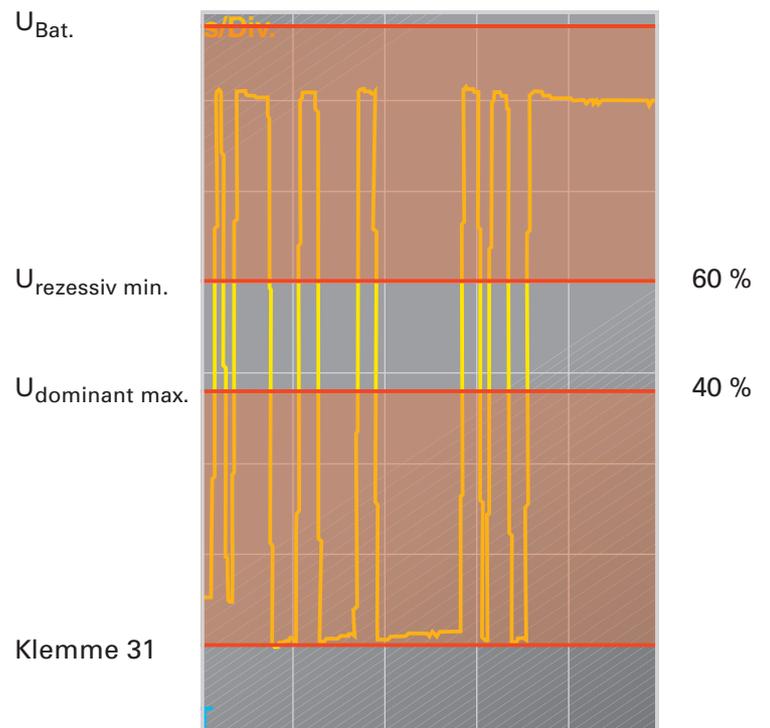
Spannungsbereich Senden



SSP286\_016

Um trotz Störeinstrahlungen noch gültige Signale empfangen zu können, sind die zulässigen Spannungsbereiche empfangsseitig größer.

Spannungsbereich Empfangen

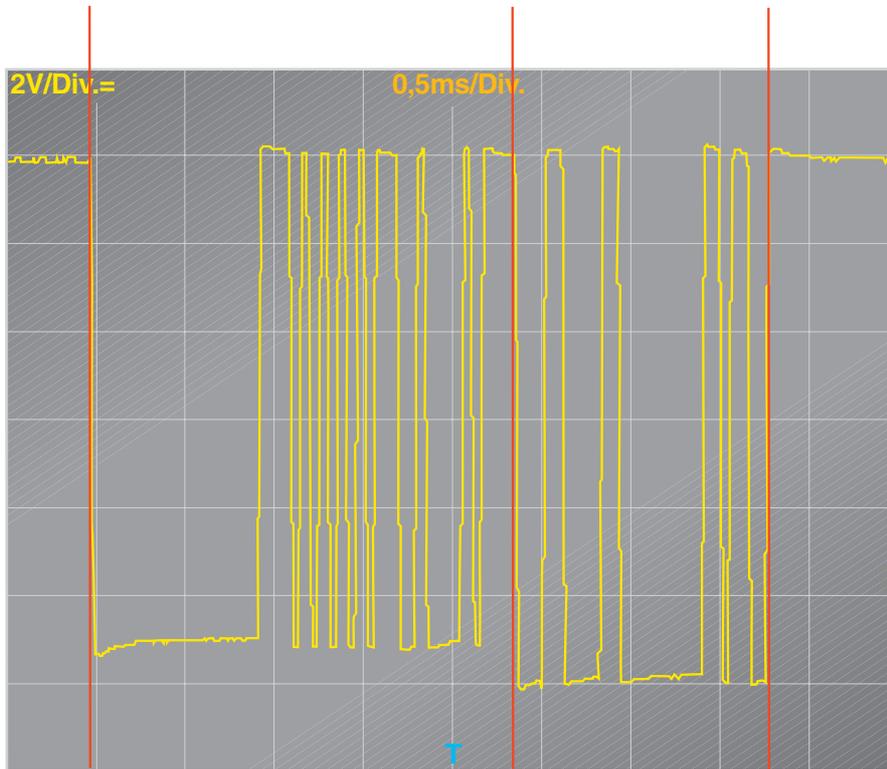


SSP286\_022

# Botschaften

Botschaftskopf (Header,  
siehe Seite 12)  
Sender: LIN-Master

Botschaftsinhalt (Response,  
siehe Seite 13)  
Sender: LIN-Master oder LIN-Slave



SSP286\_072

## Botschaft mit Slave-Antwort

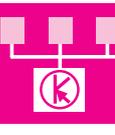
Das LIN-Master-Steuergerät fordert im Header ein LIN-Slave-Steuergerät auf Informationen, wie z. B. Schalterzustände oder Messwerte, zu senden.

Der Response wird vom LIN-Slave-Steuergerät gesendet.

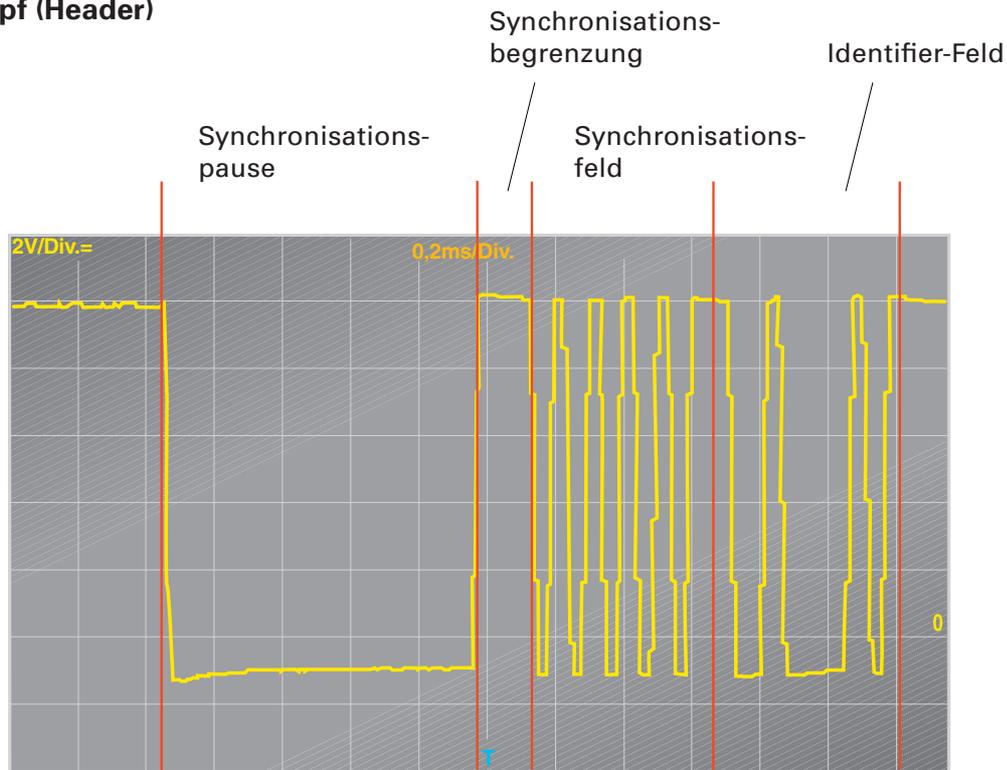
## Botschaft mit Master-Anweisung

Das LIN-Master-Steuergerät fordert durch den Identifier im Header die entsprechenden LIN-Slave-Steuergeräte auf, die im Response enthaltenen Daten zu verwenden.

Der Response wird vom LIN-Master-Steuergerät gesendet.



## Botschaftskopf (Header)



SSP286\_073

Der Header wird vom LIN-Master-Steuergerät zyklisch gesendet.

Er lässt sich in vier Bereiche aufteilen:

- Synchronisationspause
- Synchronisationsbegrenzung
- Synchronisationsfeld
- Identifier-Feld

Die **Synchronisationspause** („synch break“) ist mindestens 13 Bitzeiten lang. Sie wird mit dominantem Pegel gesendet.

Die Länge von 13 Bit ist notwendig, um allen LIN-Slave-Steuergeräten eindeutig den Start einer Botschaft mitzuteilen.

In den weiteren Botschaftsteilen werden maximal 9 dominante Bits hintereinander übertragen.

Die **Synchronisationsbegrenzung** („synch delimiter“) ist mindestens 1 Bit lang und rezessiv ( $\approx U_{\text{Bat.}}$ ).

Das **Synchronisationsfeld** („synch field“) besteht aus der Bitfolge 0 1 0 1 0 1 0 1. Durch diese Bitfolge können sich alle LIN-Slave-Steuergeräte auf den Systemtakt des Lin-Master-Steuergerätes einstellen (synchronisieren).

Die Synchronisation aller Steuergeräte ist für einen fehlerfreien Datenaustausch erforderlich. Beim Verlust der Synchronisation würden die Bitwerte beim Empfänger an einer falschen Stelle in der Botschaft eingesetzt. Es käme zu Fehlern in der Datenübertragung.

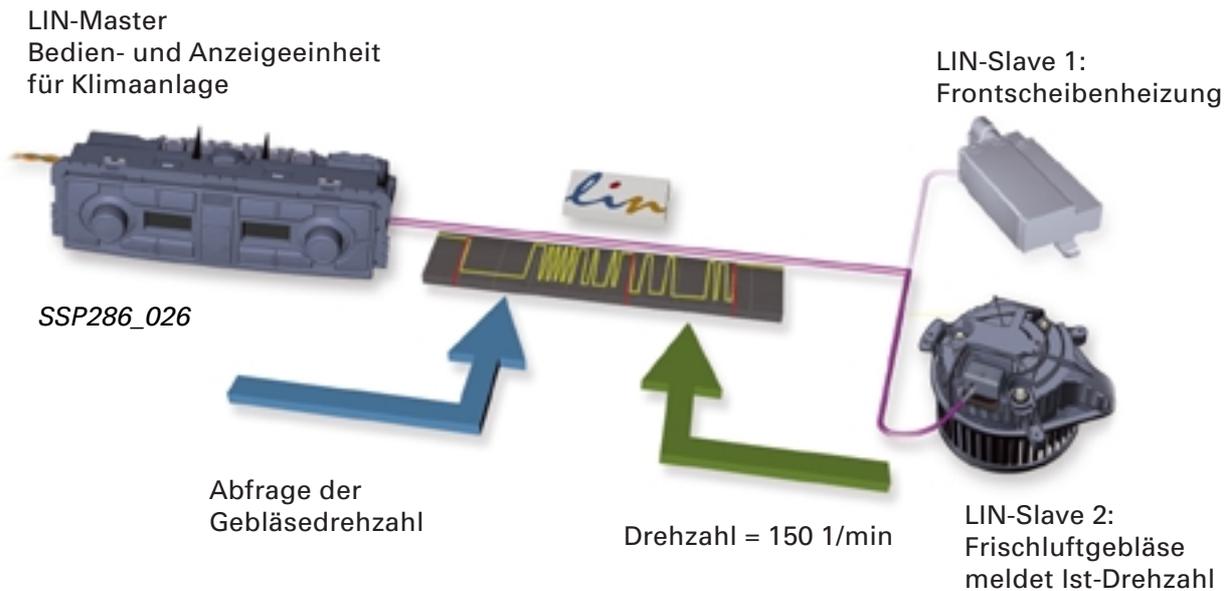
Das **Identifier-Feld** ist 8 Bitzeiten lang. In den ersten 6 Bits ist die Botschaftskennung (Identifikation) und die Anzahl der Datafields (siehe Seite 14) des Response enthalten. Die Anzahl der Datafields im Response kann zwischen 0 und 8 betragen.

Die letzten beiden Bits enthalten zur Erkennung von Übertragungsfehlern die Checksumme der ersten 6 Bits. Die Checksumme ist notwendig, um bei Übertragungsfehlern des Identifiers die Zuordnung zu einer falschen Botschaft zu verhindern.

## Botschaftsinhalt (Response)

Bei einer Botschaft mit Slave-Antwort fügt ein LIN-Slave-Steuergerät auf Grund des Identifiers den Response mit Informationen hinzu.

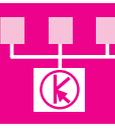
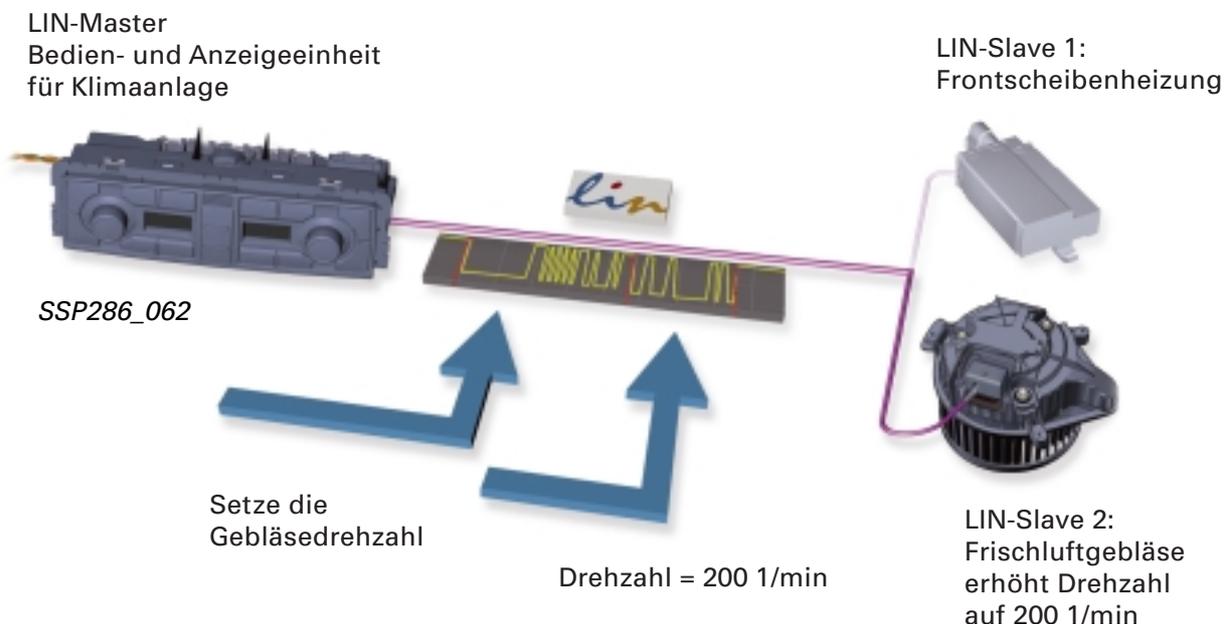
Beispiel:



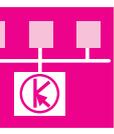
Bei einer Botschaft mit Datenanforderung des Masters fügt das LIN-Master-Steuergerät den Response hinzu.

Abhängig vom Identifier verwenden die entsprechenden LIN-Slave-Steuergeräte die Daten zur Ausführung von Funktionen.

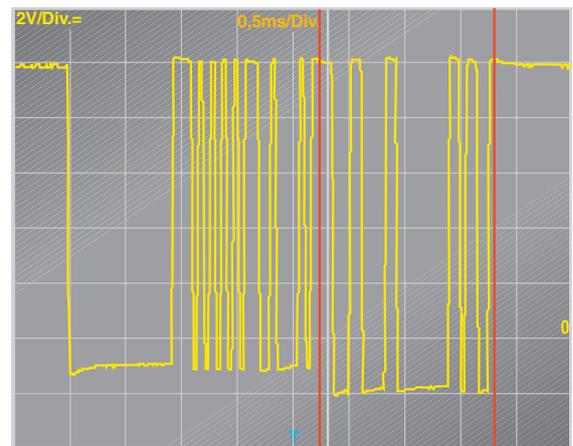
Beispiel:



# LIN-Bus



Der Response besteht aus 1 bis 8 Datenfeldern (Datafields). Ein Datafield besteht aus 10 Bits. Jedes Datafield setzt sich aus einem dominanten Startbit, einem Databyte, welches die Information enthält, und einem rezessiven Stopbit zusammen. Das Start- und das Stopbit dienen zur Nachsynchronisation und somit zur Vermeidung von Übertragungsfehlern.



SSP286\_074

Response

## Reihenfolge der Botschaften

Das LIN-Master-Steuergerät sendet nach einer in seiner Software festgelegten Reihenfolge die Header sowie bei Master-Botschaften die Responses zyklisch auf den LIN-Bus.

Häufig benötigte Informationen werden öfters übertragen.

Die Reihenfolge der Botschaften kann sich durch Umgebungsbedingungen des LIN-Master-Steuergerätes ändern.

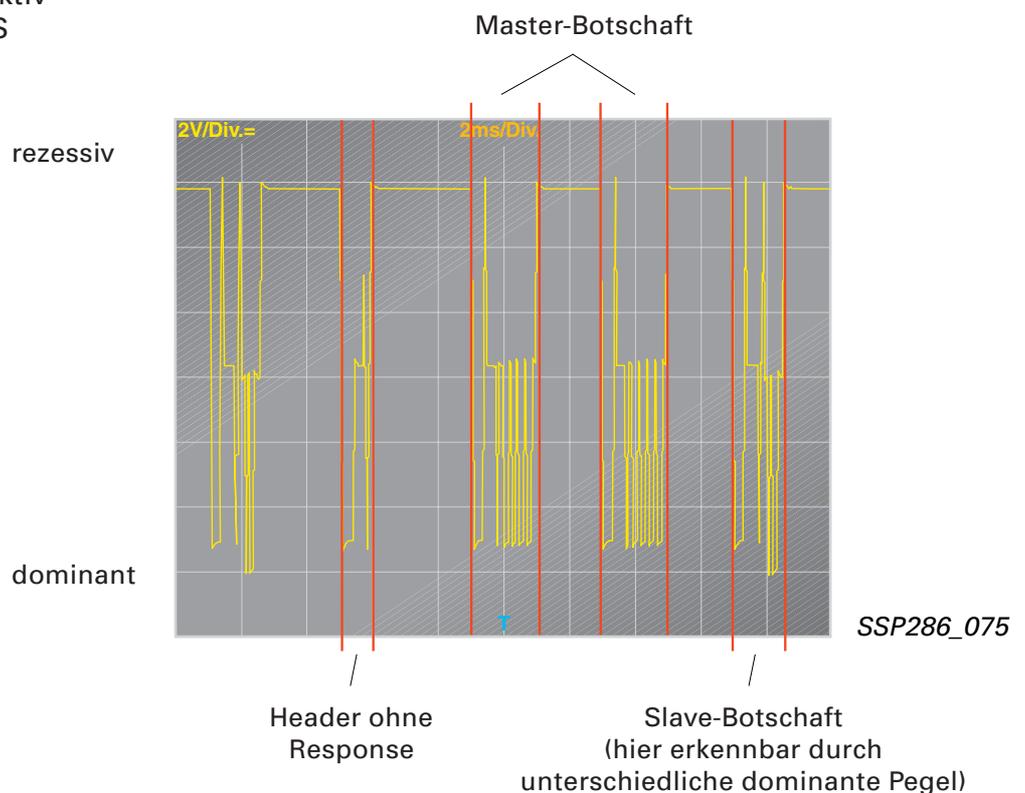
Beispiele für Umgebungsbedingungen:

- Zündung EIN/AUS
- Diagnose aktiv/inaktiv
- Standlicht EIN/AUS

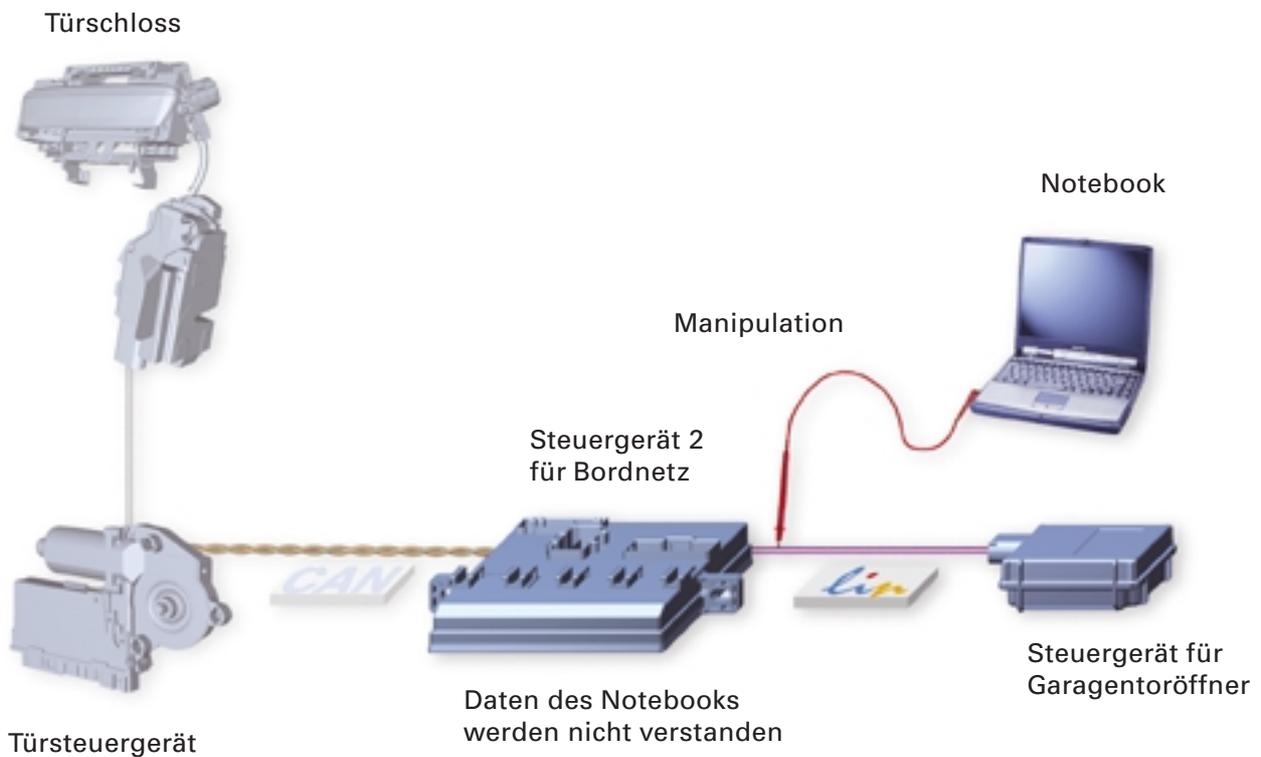
Um die Anzahl der Teilevarianten des LIN-Master-Steuergerätes zu reduzieren, sendet dieses die Header für die Steuergeräte eines voll ausgestatteten Fahrzeuges auf den LIN-Bus.

Durch nicht verbaute Steuergeräte für Sonderausstattungen sind auf dem Oszilloskopbild Header ohne Responses sichtbar.

Dies hat keine Auswirkung auf die Funktion des Systems.



## Diebstahlschutz

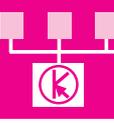


Die Datenübertragung im LIN-Bussystem erfolgt nur dann, wenn das LIN-Master-Steuergerät einen Header mit dem entsprechenden Identifier sendet.

Eine Manipulation an einer außerhalb der Fahrzeugaußenhaut liegenden LIN-Leitung wird durch die vollständige Kontrolle aller Botschaften durch das LIN-Master-Steuergerät unmöglich. Das LIN-Slave-Steuergerät kann nur antworten.

Somit können zum Beispiel die Türen nicht durch den LIN-Bus entriegelt werden.

Dieser Zusammenhang ermöglicht es, LIN-Slave-Steuergeräte (z. B. das Steuergerät für Garagentoröffnung im Stoßfänger vorn) im Außenbereich des Fahrzeuges einzubauen.



## Diagnose

Die Diagnose der LIN-Bussysteme erfolgt über das Adresswort des LIN-Master-Steuergerätes.

Es sind alle Funktionen der Eigendiagnose bei den LIN-Slave-Steuergeräten möglich.

Die Übertragung der Diagnosedaten von LIN-Slave-Steuergeräten zum LIN-Master-Steuergerät erfolgt durch den LIN-Bus.

Fehlerort	Fehlertext	Ursache für Fehlereintrag
LIN-Slave-Steuergerät, z. B. Gebläseregler	kein Signal/ keine Kommunikation	<p>Ausfall der Datenübertragung vom LIN-Slave-Steuergerät über einen in der LIN-Master-Software festgelegten Zeitraum.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitungsunterbrechung oder Kurzschluss</li> <li>- Defekte Spannungsversorgung des LIN-Slave-Steuergerätes</li> <li>- Falsche Teilevariante LIN-Slave oder LIN-Master</li> <li>- Defekt des LIN-Slave-Steuergerätes</li> </ul>
LIN-Slave-Steuergerät, z. B. Gebläseregler	Unplausibles Signal	<p>Fehler in der Checksumme. Unvollständige Übertragung der Botschaften.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetische Störeinflüsse auf der LIN-Leitung</li> <li>- Kapazitäts- und Widerstandsänderung an der LIN-Leitung (z. B. Feuchtigkeit/Verschmutzung am Steckgehäuse)</li> <li>- Softwareproblem (falsche Teilevarianten)</li> </ul>

## Einführung

Neben den bereits bekannten CAN-Bussystemen ist im Audi A8 '03 erstmals ein optisches Datenbussystem eingebaut.

Die Bezeichnung dieses Datenbussystems entstand nach der „Media Oriented Systems Transport (MOST) Cooperation“. Zu diesem Verbund haben sich verschiedene Automobilhersteller, deren Zulieferer und Softwareunternehmen zusammengeschlossen, um ein einheitliches System zur schnellen Datenübertragung zu verwirklichen.



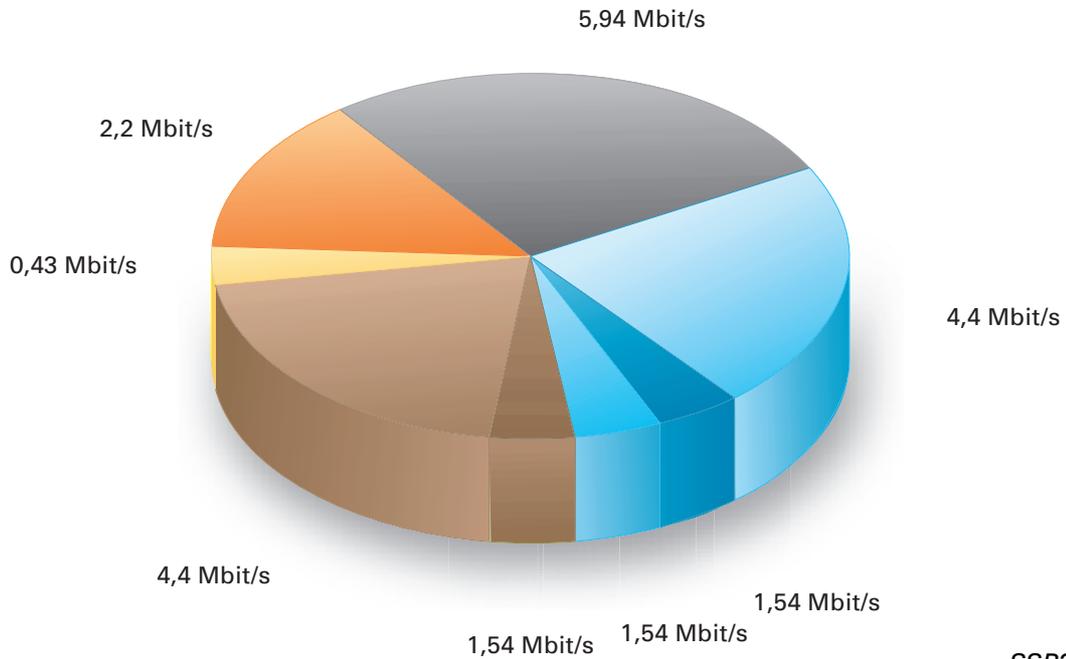
Der Begriff „Media Oriented Systems Transport“ steht für ein Netzwerk mit Medien orientiertem Datentransport. Dies bedeutet, im Gegensatz zum CAN-Datenbus werden adressorientierte Botschaften an einen bestimmten Empfänger übermittelt.

Diese Technik wird in Audi-Fahrzeugen zur Datenübertragung im Infotainment-System verwendet.

Das Infotainment-System bietet eine Vielzahl moderner **Informations-** und **Entertainment-**Medien (siehe Übersicht).



## Übertragungsraten der Medien



SSP286\_010

- |  |   |
|--|---|
|  Navigation             |  Audio Quelle 1 (Stereo),<br>z. B. über Kopfhörer hinten rechts        |
|  Telefon (GSM)          |  Audio Quelle 2 (Stereo),<br>z. B. über Kopfhörer hinten links         |
|  Video (MPEG)           |  Audio Quelle 3 (Surround Sound),<br>z. B. über Digitales Sound System |
|  Video reduziert (MPEG) |  Frei  |

Zur Realisierung eines komplexen Infotainment-Systems ist die optische Datenübertragung sinnvoll, denn mit den bisher verwendeten CAN-Datenbussystemen können Daten nicht schnell genug und damit nicht in der entsprechenden Menge übertragen werden.

Es ergeben sich durch die Video- und Audioanwendungen Übertragungsraten im Bereich vieler Mbit/s.

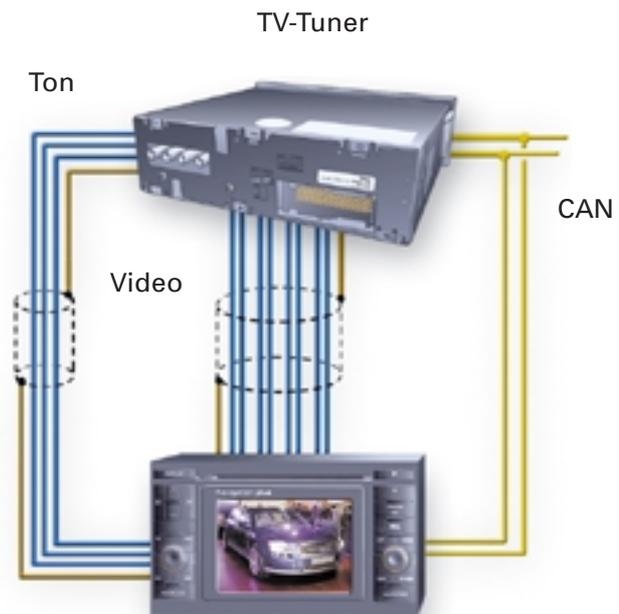
Die Übertragung eines digitalen TV-Signals mit Stereo-Ton erfordert allein schon eine Übertragungsgeschwindigkeit von etwa 6 Mbit/s.



Der MOST-Bus ermöglicht es, 21,2 Mbit/s zu übertragen.

Bisher konnten derartige Informationen, wie zum Beispiel Video und Ton, nur als analoges Signal übertragen werden. Dies erforderte einen erhöhten Leitungsbedarf des Kabelbaumes.

Die Datenübertragungsrate von CAN-Bus-Systemen ist auf maximal 1 Mbit/s begrenzt. Dadurch war nur die Übertragung der Steuerungssignale durch CAN-Bussysteme möglich.



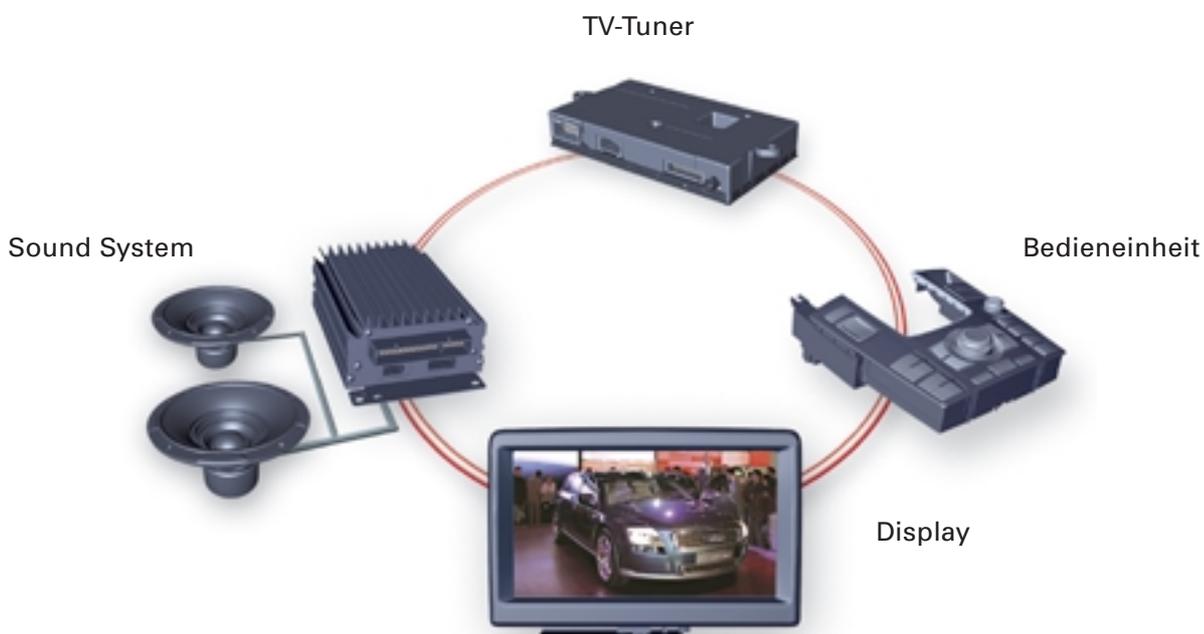
SSP286\_002

Mit Hilfe des optischen MOST-Busses erfolgt der Datenaustausch zwischen den beteiligten Komponenten in digitaler Form.

Die Datenübertragung mit Hilfe von Lichtwellen ermöglicht neben einem geringeren Leitungsbedarf und geringeren Gewicht eine wesentlich größere Datenübertragungsrate.

Lichtwellen haben im Vergleich zu Funkwellen sehr kurze Wellenlängen, erzeugen keine elektromagnetischen Störwellen und sind gleichzeitig gegen diese unempfindlich.

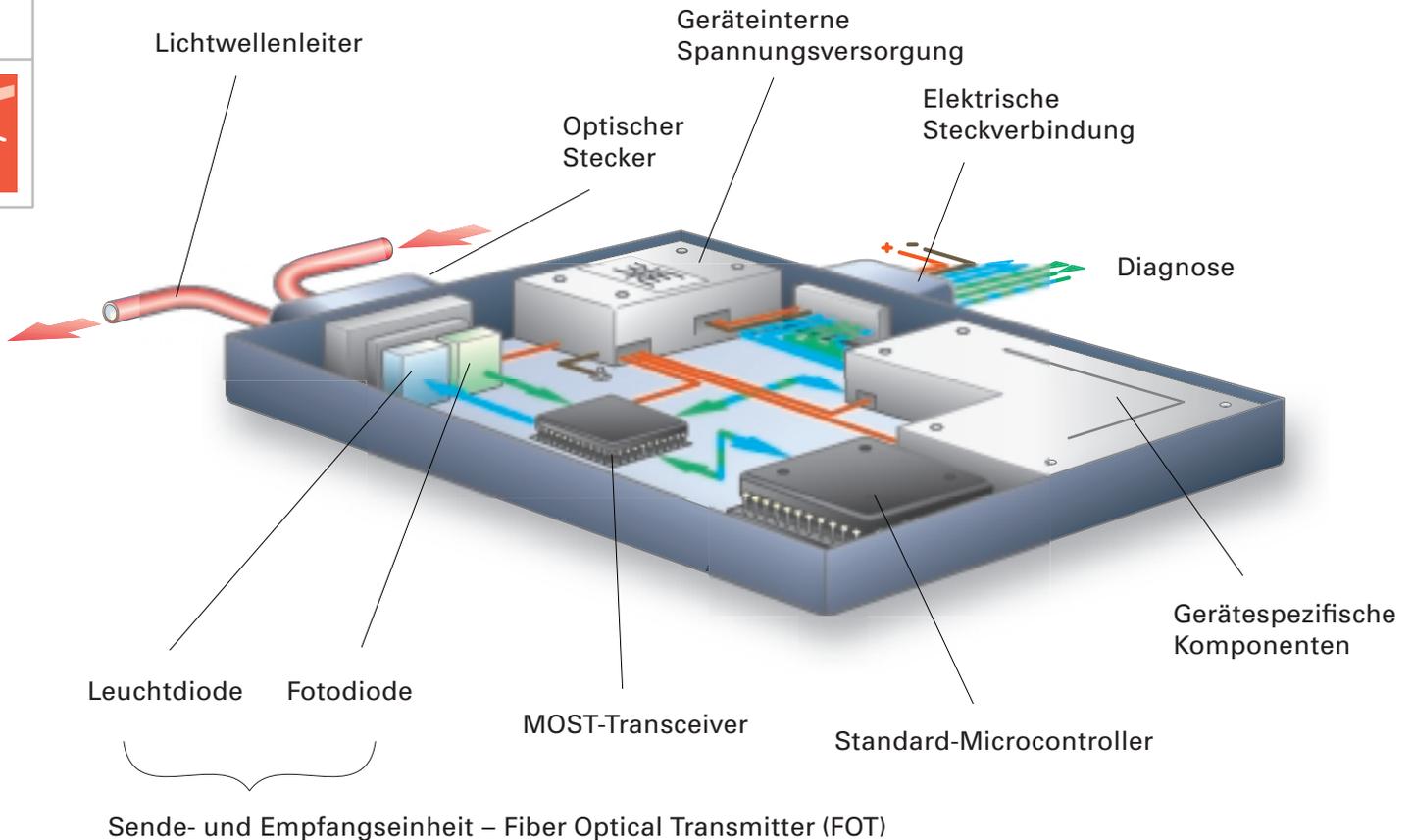
Diese Zusammenhänge ermöglichen eine hohe Datenübertragungsrate sowie eine hohe Störsicherheit.



SSP286\_003



## Aufbau der Steuergeräte



SSP286\_011

### Komponenten der Steuergeräte im MOST-Bus

- Lichtwellenleiter (LWL) - optischer Stecker  
Durch diese Steckverbindung gelangen die Lichtsignale in das Steuergerät bzw. die erzeugten Lichtsignale zum nächsten Busteilnehmer.
- Elektrische Steckverbindung  
Die Spannungsversorgung, die Ringbruchdiagnose (siehe ab Seite 41) sowie Eingangs- und Ausgangssignale werden über diese Steckverbindung gewährleistet.
- Geräteinterne Spannungsversorgung  
Die durch die elektrische Steckverbindung in das Steuergerät eingespeiste Versorgungsspannung wird von der geräteinternen Spannungsversorgung an die Komponenten verteilt. Dies ermöglicht zur Reduzierung des Ruhestroms die Abschaltung einzelner Komponenten im Steuergerät.

- Sende- und Empfangseinheit – Fiber Optical Transmitter (FOT)

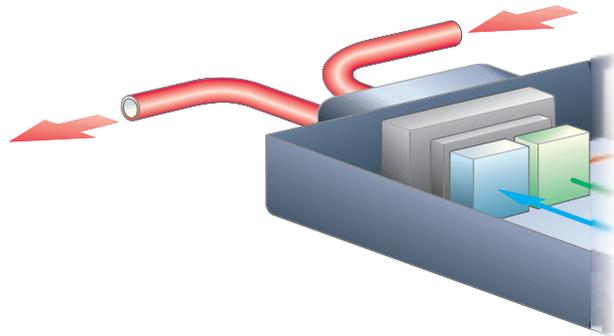
Sie setzt sich aus einer Fotodiode und einer Leuchtdiode zusammen.

Ankommende Lichtsignale werden von der Fotodiode in ein Spannungssignal umgewandelt, das zum MOST-Transceiver weitergeleitet wird. Die Leuchtdiode hat die Aufgabe, Spannungssignale des MOST-Transceivers in Lichtsignale umzuwandeln.

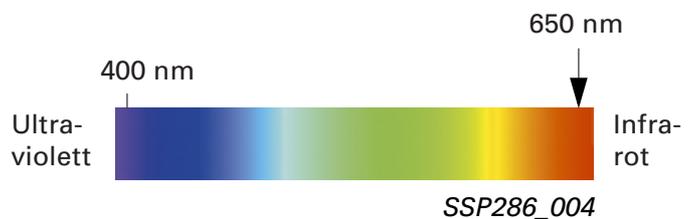
Die erzeugten Lichtwellen haben eine Wellenlänge von 650 nm und sind als rotes Licht sichtbar.

Die Daten werden durch das Modulieren der Lichtwellen übertragen.

Dieses modulierte Licht wird anschließend durch den Lichtwellenleiter (LWL) zum nächsten Steuergerät geleitet.



SSP286\_063



SSP286\_004

- MOST-Transceiver

Der MOST-Transceiver besteht aus den beiden Komponenten **Transmitter** und **Receiver**.

Der Transmitter übermittelt die zu sendenden Botschaften als Spannungssignal an den FOT.

Der Receiver nimmt die Spannungssignale vom FOT auf und leitet die benötigten Daten an den Standard-Microcontroller (CPU) des Steuergerätes weiter.

Nicht benötigte Botschaften anderer Steuergeräte werden durch den Transceiver geleitet, ohne Daten an den CPU zu übermitteln. Sie werden ohne Änderungen zum nächsten Steuergerät gesendet.

- Standard-Microcontroller (CPU)

Der Standard-Microcontroller (CPU) ist die Zentrale Einheit des Steuergerätes. Diese enthält einen Microprozessor, der alle wesentlichen Funktionen des Steuergerätes steuert.

- Gerätespezifische Komponenten

Diese Komponenten sind für die Ausführung der steuergerätespezifischen Funktionen verantwortlich, z. B. CD-Laufwerk, Radio-Tuner.



# MOST-Bus

## Fotodiode

Sie hat die Aufgabe, die Lichtwellen in Spannungssignale umzuwandeln.

### Aufbau

Die Fotodiode enthält einen PN-Übergang, der durch Licht bestrahlt werden kann. Die Sperrschicht reicht auf Grund einer stark dotierten P-Schicht fast nur in die N-Schicht hinein.

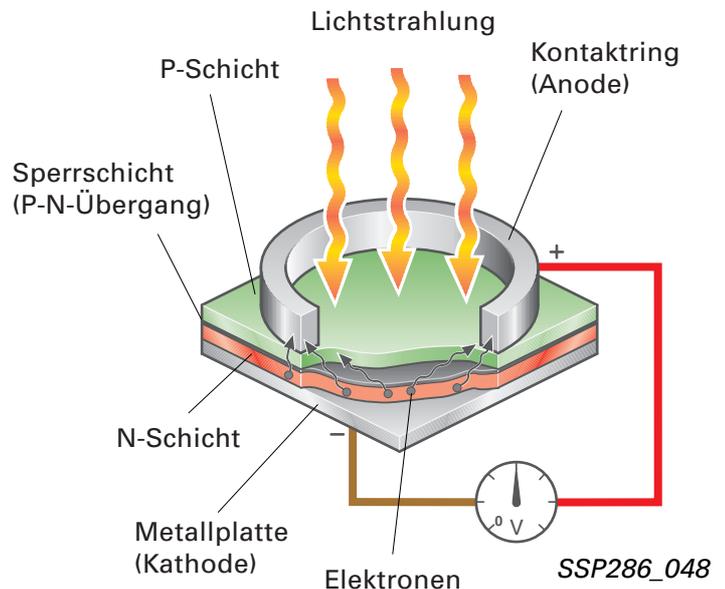
An der P-Schicht befindet sich ein Kontakt – die Anode. Die N-Schicht ist an der metallischen Grundplatte aufgebracht – die Kathode.

### Funktion

Dringt Licht oder Infrarotstrahlung in den PN-Übergang ein, bilden sich durch seine Energie freie Elektronen und Löcher. Diese bilden den Strom durch den PN-Übergang.

Dies bedeutet, je mehr Licht auf die Fotodiode trifft, um so höher wird der Strom, der durch die Fotodiode fließt.

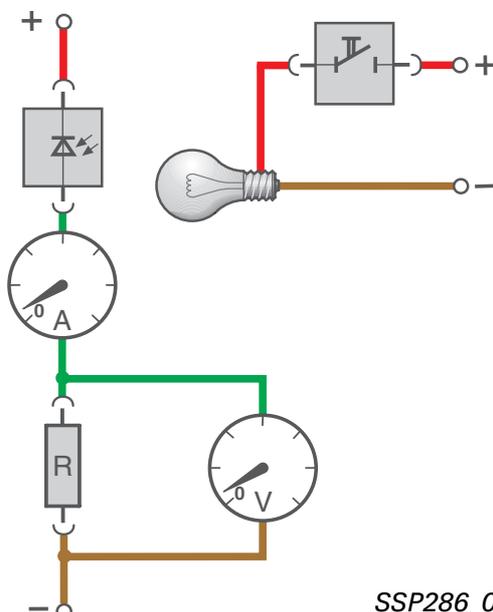
Diesen Vorgang nennt man den inneren fotoelektrischen Effekt.



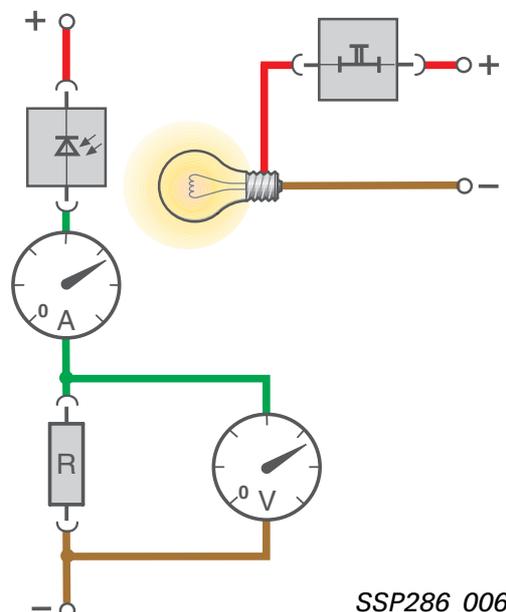
Die Fotodiode wird in Sperrrichtung in Reihe mit einem Widerstand geschaltet.

Steigt der Strom durch die Fotodiode auf Grund höherer Lichteinstrahlung, erhöht sich der Spannungsabfall am Widerstand. Somit ist die Umwandlung des Lichtsignals in ein Spannungssignal erfolgt.

Geringer Lichteinfall



Großer Lichteinfall



## Lichtwellenleiter (LWL)

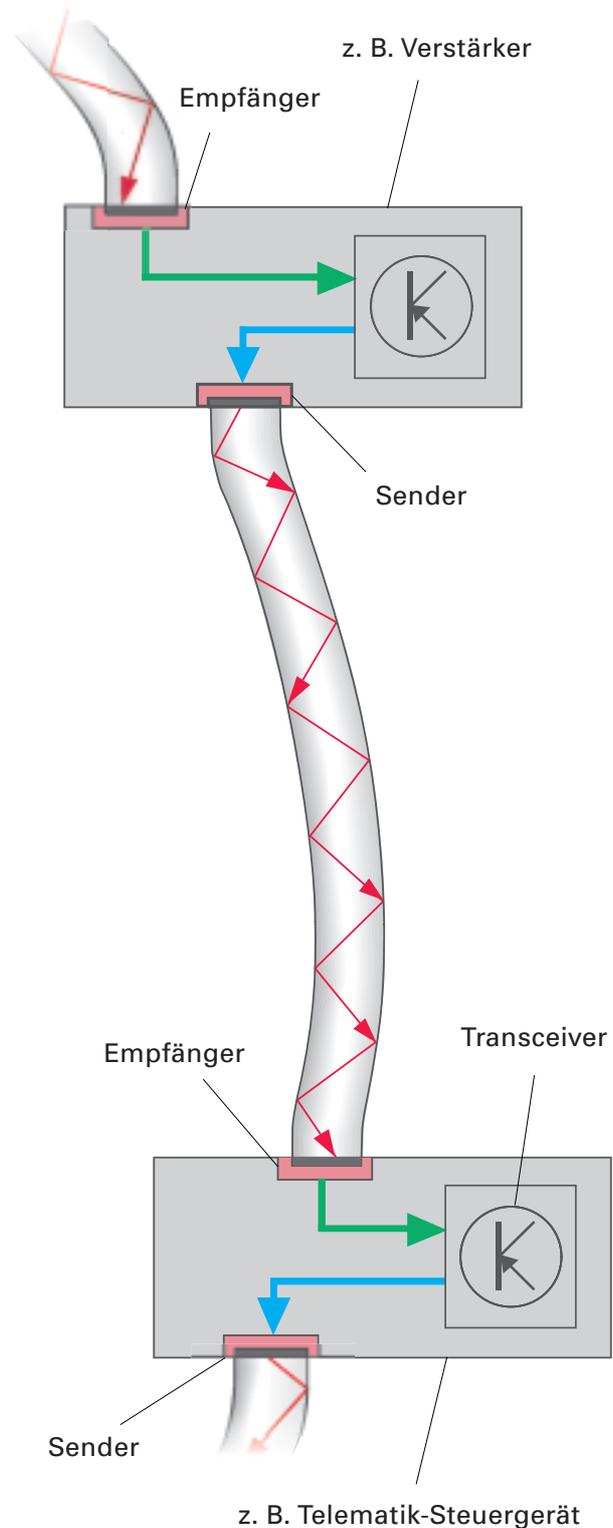
Der Lichtwellenleiter (LWL) hat die Aufgabe, die im Sender des einen Steuergerätes erzeugten Lichtwellen zum Empfänger des anderen Steuergerätes zu leiten.

Folgende Kriterien galt es bei der Entwicklung des LWL zu berücksichtigen:

- Lichtwellen breiten sich geradlinig aus. Sie lassen sich nicht biegen. Die Lichtwellen müssen jedoch durch Biegungen des LWL geleitet werden.
- Die Entfernung zwischen Sender und Empfänger kann mehrere Meter betragen – Dämpfung (siehe Seite 27)
- Der LWL darf durch mechanische Beanspruchung – Vibration, Montagearbeiten – nicht beschädigt werden.
- Die Funktion des LWL muss bei den starken Temperaturschwankungen im Fahrzeug gewährleistet sein.

Daher muss der LWL zur Übertragung der Lichtsignale folgende Eigenschaften besitzen:

- Der LWL muss die Lichtwellen mit geringer Dämpfung leiten.
- Die Lichtwellen müssen durch die Biegungen des LWL geführt werden.
- Der LWL muss flexibel sein.
- Die Funktion des LWL muss in einem Temperaturbereich von - 40 °C bis 85 °C gewährleistet sein.



# MOST-Bus

## Aufbau des Lichtwellenleiters

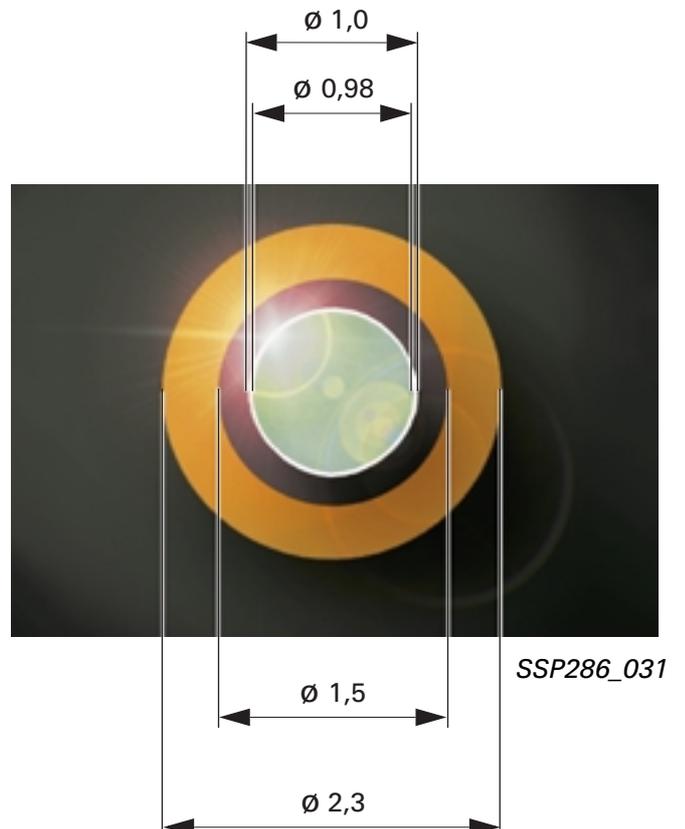
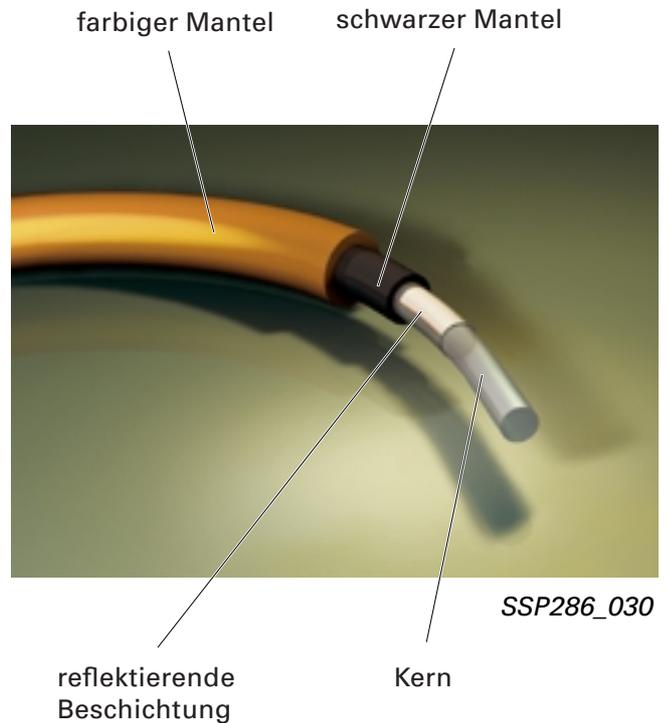
Der Lichtwellenleiter besteht aus mehreren Schichten.

Der Kern ist der zentrale Bereich eines Lichtwellenleiters. Er besteht aus Polymethylmethacrylat und bildet den eigentlichen Lichtleiter. In ihm wird das Licht durch das Prinzip der Totalreflexion nahezu ohne Verluste geführt. Die Totalreflexion wird im Folgenden näher erläutert.

Die optisch transparente Beschichtung aus Fluorpolymer um den Kern ist für die Totalreflexion erforderlich.

Der schwarze Mantel bestehend aus Polyamid schützt den Kern vor äußeren Lichteinstrahlungen.

Der farbige Mantel dient der Kennzeichnung, dem Schutz vor mechanischen Beschädigungen sowie dem Temperaturschutz.



## Übertragung der Lichtwellen im LWL

### Gerader LWL

Der LWL leitet einen Teil der Lichtwellen gerade durch den Kern.

Den größten Teil der Lichtwellen leitet der LWL durch das Prinzip der Totalreflexion an der Oberfläche des Kerns in Zickzacklinien weiter.

### Gebogener LWL

Die Lichtwellen werden durch die Totalreflexion an der Grenzfläche zur Beschichtung des Kerns reflektiert und so durch die Biegung geleitet.

### Totalreflexion

Trifft ein Lichtstrahl in einem flachen Winkel auf eine Grenzschicht zwischen einem optisch dichteren und einem optisch dünneren Material, dann wird der Strahl vollständig reflektiert, es erfolgt die Totalreflexion.

Der Kern ist im LWL das optisch dichtere und die Beschichtung das optisch dünnere Material. Somit erfolgt die Totalreflexion im Inneren des Kerns.

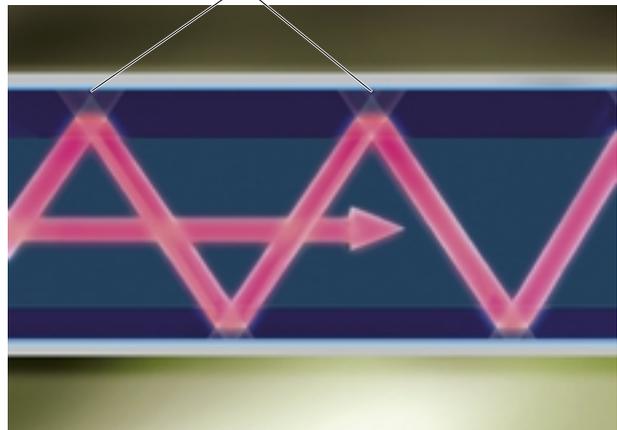
Dieser Effekt ist vom Winkel der von innen auf die Grenzfläche treffenden Lichtwellen abhängig. Wird dieser Winkel zu steil, treten die Lichtwellen aus dem Kern aus. Es kommt zu höheren Verlusten.

Dieser Zusammenhang tritt auf, wenn der LWL zu stark gebogen oder geknickt wird.



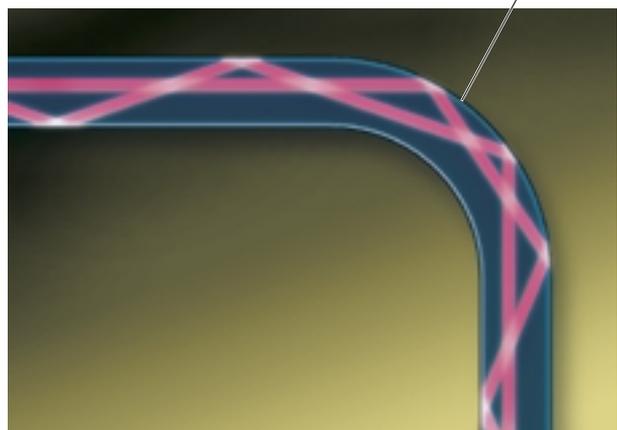
Der Biegeradius des LWL darf 25 mm nicht unterschreiten!

Totalreflexion



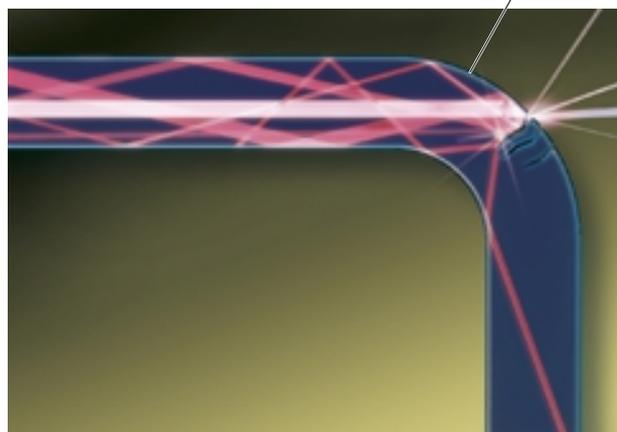
SSP286\_032

Radius > 25 mm



SSP286\_033

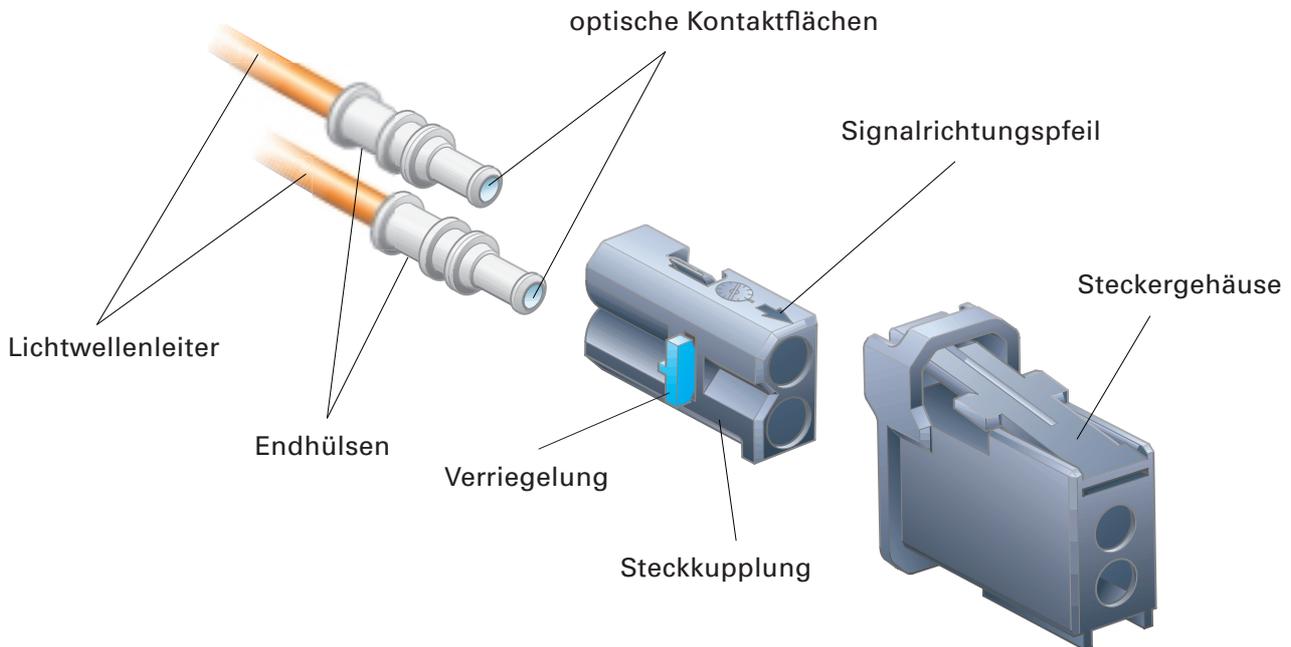
Radius < 25 mm



SSP286\_034



## Steckverbindung



SSP286\_035

Um die Lichtwellenleiter an die Steuergeräte anschließen zu können, werden spezielle optische Steckverbinder verwendet. Auf der Steckkupplung befindet sich ein Signalrichtungspfeil, der den Eingang (zum Empfänger) darstellt.

Das Gehäuse des Steckers stellt die Verbindung zum Steuergerät her.

Die Übertragung des Lichtes erfolgt über die Stirnfläche des Kerns zum Sender/Empfänger im Steuergerät.

Bei der Herstellung des LWL werden zur Fixierung des LWL im Steckergehäuse Endhülsen aus Kunststoff mit Hilfe eines Lasers aufgeschweißt oder Messing-Endhülsen aufgcrimpmt.

## Optische Stirnfläche

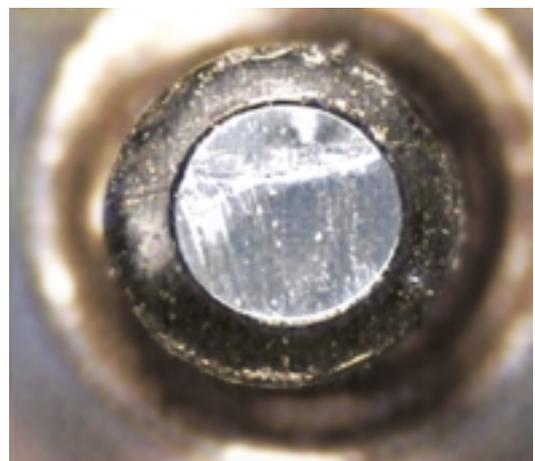
Um eine möglichst verlustfreie Übertragung zu gewährleisten, muss die Stirnfläche des Lichtwellenleiters

- glatt
- senkrecht und
- sauber

sein.

Dies kann nur mit Hilfe eines speziellen Schneidwerkzeuges realisiert werden.

Verschmutzungen und Kratzer auf der Schnittfläche erhöhen die Verluste (Dämpfung).



SSP286\_081