



Das Geflüster der Sensoren

Moderne Traktoren sind mit Sensoren vollgestopft. Landmaschinenmechaniker-Meister Reinhard Timpe erklärt, wer alles mitfühlt und was mit den Informationen geschieht.

Drehzahlen, Drücke, Schalterpositionen, Temperaturen – es gibt fast nichts, was im Schlepper nicht gemessen wird. Keine Frage: Der Traktor ist sensibel geworden. Das so oft zitierte „Fly-by-wire“ bei Flugzeugen, also die Steuerung der Maschine ohne mechanische Verbindungen, nur mit elektronischen Signalen über Kabel, ist auch in der Landtechnik längst Realität. Allerdings wohl eher als „Steer-by-wire“, sprich „Lenkung per Kabel“.

Wir haben einmal in den Innereien der Schlepper gewühlt und nachgesehen, wie die Sensoren funktionieren, wo sie eingesetzt werden und was mit ihren „Gefühlen“ passiert. Denn ohne Elektronik läuft im modernen Traktor nichts.

Damit der Computer bzw. der Controller des Schleppers richtig schalten und walten kann, braucht er aber permanent die aktuellen Zustandsmeldungen aller „Organe“. Zur Steuerung von Common-Rail-Motoren ruft er zum Beispiel so unterschiedliche Messwerte wie Ladedruck, Abgas- und Motortemperatur, Drehzahlen verschiedener Antriebe und teilweise sogar das Drehmoment im Getriebe ab.

Die Organe moderner Maschinen werden immer mehr durch den CAN-Bus vernetzt (Controlled-Area-Network). Das macht die Verkabelung deutlich einfacher als bei einer herkömmlichen Steuerung, bei der von jedem Sensor ein eigenes Kabel zur Zentrale führt. Im CAN-Bus stehen alle Messwerte über das Netzwerk jedem Mitglied zur Verfügung. Das Ganze läuft wie in einem Funknetz ab: Jeder hört mit, jeder spricht mit. Weil jedes Mitglied des Netzes dabei seine Kennung mitschickt, kann der Empfänger die für ihn wichtigen Daten nach Prioritäten aus diesem Durcheinander herausfiltern.

Sensoren müssen robust sein. Ein klassischer Schalter oder Drehpotentiometer arbeitet mit einer elektrisch-mechanischen Verbindung, die empfindlich auf

Staub und Feuchtigkeit reagiert und verschleißt. Deshalb setzen die Ingenieure heute möglichst auf berührungslose Systeme, meist auf Basis von Magnetismus bzw. Induktion.

200 000 Umdrehungen genau messen

Drehzahlen misst man durch Schaltimpulse (an, aus, an, aus...): Aus der Schaltfrequenz und dem Umfang des drehen-

Moderne Schlepper sind mit Sensoren vollgestopft. Hier nur eine kleine Übersicht.

Zeichnung: Esser



Eine sehr einfache Lösung: Per Dauermagnet und Reedkontakt wird die Position des Hubwerks erfasst. Interessant ist das z.B. für einen Hektarzähler oder die automatische Steuerung der Zapfwelle.



Fotos: Holtmann, Wilmer, Zeichnungen: Steinkühler (profi)

den Teils können dann Drehzahl und teils auch Drehrichtung, Position einer Welle sowie die zurückgelegte Wegstrecke errechnet werden.

■ Reedschalter oder Reedkontakt

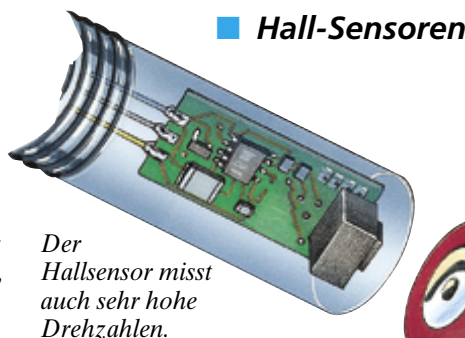
In einem geschlossenen Gehäuse sitzen Metallplättchen aus einem magnetisierbaren Metall. Sobald ein Dauermagnet in die Nähe kommt, werden die Plättchen angezogen und der Stromkreis geschlossen. Weil die Metallzunge „mechanisch“ bewegt wird, ist der Reedschalter ein „normaler“ Schalter, der allerdings berührungslos arbeitet und durch seine Kapselung sehr unempfindlich ist.

Ein Reedschalter ist günstig, robust und arbeitet auch bei größeren Abständen des Magnets (1,5 bis 2,5 cm). Das macht den Einbau einfacher. Reedschalter sitzen heute fast überall da, wo es darum geht, Hebelstellungen oder ähnliches zu erkennen, z.B. bei der vorgewählten Zapfwellendrehzahl, beim Bremslicht, dem Einschlagwinkel der Vorderräder, dem Sitzkontakt und sogar bei der Blinkerrückstellung, wo ein Schalter auf der Lenkwelle auch die Drehrichtung erkennt.

Nachteil: Weil sich die Metallplättchen wirklich noch bewegen, sind die Schaltfrequenzen begrenzt.

Der Reedschalter kann keine hohen Im-

pulse schalten. Er arbeitet außerdem elektrisch wie ein Schalter, nicht elektronisch mit digitalen Signalen und kann so nicht direkt in den CAN-Bus integriert werden.



■ Hall-Sensoren

Der Hallsensor misst auch sehr hohe Drehzahlen.

Diese Sensoren nutzen den so genannten „Hall“-Effekt. Sie messen, wie die Linien eines definierten Magnetfeldes durch äußere Einflüsse abgelenkt werden. Ein Baustein verstärkt den Messwert und wandelt ihn in digitale Signale (0/1) um. Die Steuereinheit des Schleppers kann die gleichmäßigen Signale direkt und ohne besonderen Schutz verarbeiten.

Hall-Sensoren erkennt man von außen an ihrer externen Stromversorgung. Der Sensor hat drei bis vier Anschlüsse. Bei vier Anschlüssen kann er auch die Drehrichtung unterscheiden. Er erkennt damit z.B. in einem stufenlosen Getriebe, in welcher Richtung der Hydrostat dreht. Bastler aufgepasst: Hall-Sensoren dürfen nicht mit einer Prüflampe getestet werden, sie „brennen“ dabei durch.

Die Sensoren sind dafür völlig unempfindlich gegen Staub und arbeiten auch bei relativ großen Schaltabständen. Vor allem meistern sie sehr hohe Schaltfrequenzen. Der Sensor misst also auch extreme Drehzahlen wie z.B. am Turbolader: Beim neuen Claas Axion erreicht die Abgasturbine bis zu

130 000 Umdrehungen pro Minute! Der Lader des kleinen Pkw Smart dreht sogar 210 000 Mal pro Minute! Die Messung ist kein Spaß, sondern bei Turboladern mit variabler Turbinengeometrie (VTG-Lader) lebenswichtig: Die Steuerung verhindert, dass die Lader überdrehen.

Die Hall-Technik setzt sich nicht nur bei extremen Jobs durch. Die Konstrukteure bauen so einen Sensor zunehmend auch an Wellen mit „normalen“ Drehzahlen ein. Er kann relativ einfach in den CAN-Bus integriert werden. Deshalb nutzt Fennt die relativ teuren Sensoren teils sogar für Aufgaben, die eigentlich auch ein klassischer Reedschalter erledigen könnte.

■ Weg-Winkel-Sensoren

Richtig interessant wird's, wenn die Sensoren auch Wege oder Positionen messen – eigentlich eine klassische Aufgabe für Drehpotentiometer. Bei denen ändert sich je nach Position eines Schleifkontakts der elektrische Widerstand, den dann ein analoges Messgerät im Armaturenbrett anzeigt. Bekanntes Beispiel ist die Tankanzeige, die eigentlich ein Widerstandsmesser ist. Nachteil: Das ganze funktioniert mehr oder weniger mechanisch, und die Schleifkontakte der Drehpotis sind anfällig und verschleifen.

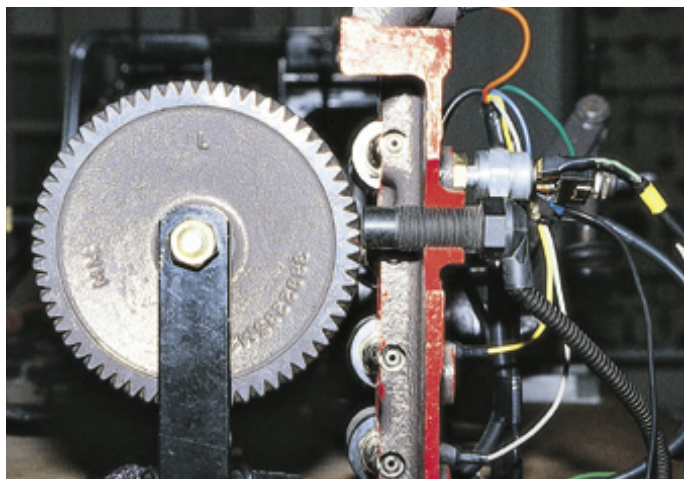
Ein Problem, das moderne Weg-Winkel-Sensoren nicht haben. Sie arbeiten ebenfalls berührungslos mit dem Hall-Effekt. Durch Verdrehen eines Elements werden die vom Sensor erzeugten Magnetfeldlinien berührungslos umgelenkt. Die Stärke der Umlenkung gibt dann die Position an, 90° in jede Richtung, also zusammen 180°.

Diese Sensoren messen z.B. die Position des Gaspedals bei elektronischen Einspritzanlagen oder den Weg des Fahrpedals bei stufenlosen Antrieben. Gängig ist der Weg-Winkel-Sensor auch beim Kupplungspedal moderner Schlepper mit elektrohydraulischer Wendeschaltung (Shuttle). Weil das Pedal keine mechanische Verbindung mehr zum Antriebsstrang hat, muss zum dosierten Rangieren besonders genau gemessen werden.

Die Weg-Winkel-Sensoren werden ständig weiterentwickelt. Besonders sichere Werte liefert der Differential-Sensor, bei dem zwei Weg-Winkel-Sensoren gegeneinander arbeiten. Die Elektronik gleicht die beiden Sensorwerte gegeneinander ab und kontrolliert, ob die Messwerte überhaupt stimmen können. Fallen ihm Fehler auf, schaltet der Controller automatisch auf ein Notfahrprogramm um. Dieses System wird z.B. beim elek-



Beim Reedkontakt wird der Kontakt über einen Dauermagneten geschlossen.



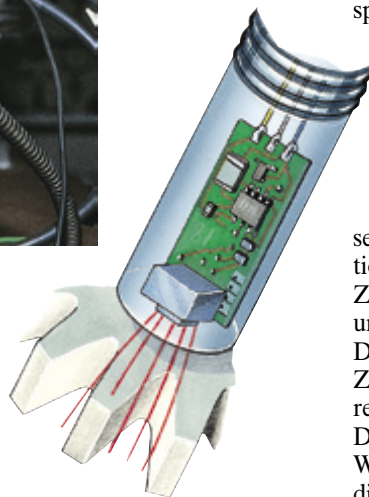
Der Induktivsensor muss sehr dicht an dem rotierenden Teil positioniert werden.

■ Induktiv-Sensoren

Ein Induktivsensor ist sehr günstig und robust. Von außen erkennt man ihn meist an seinem Messinggehäuse und dem zweipoligen Stecker. Bewegt sich ein magnetisierbares Metall vor der Stirnfläche, induziert der Sensor eine Wechselspannung. Je nach Drehzahl kann die

Spannung bis zu 80 Volt betragen, was die elektronische Verarbeitung des Signals schwierig macht. Ein Induktiv-Sensor erkennt keine Drehrichtung und erreicht nicht die hohen Frequenzen des Hall-Sensors.

Damit das Ganze funktioniert, muss er sehr nah an dem rotierenden Bauteil positioniert werden (max. 1,5 mm!). Bei einem Zahnrad kann er deshalb zwischen Zahn und Zahnzwischenraum unterscheiden. Das nutzen die Konstrukteure: Wenn ein Zahn eines Zählrades breiter als die anderen ist, meldet der Sensor nicht nur die Drehzahl, sondern auch die Position der Welle! Bei der Motorkurbelwelle kann dieser breite Zahn z.B. auf Höhe des oberen Totpunkts vom ersten Zylinder liegen. Das ist wichtig für die Steuerung elektronischer Einspritzanlagen.



Der Induktivsensor kann zwischen Zahn und Zahnzwischenraum unterscheiden.

tronischen Lenkungssystem des Xerion eingesetzt, das dabei sogar geschwindigkeitsabhängig arbeitet. Die Differential-Sensoren können übrigens auch Drehrichtungen erkennen.

Übrigens: Positionen des Hubwerks lassen sich einfacher messen. Beim so genannten Tauchankersensor wird ein Kern durch eine Spule geschoben und die jeweilige Position an die Elektronik gemeldet.

Wie viel Reserven hat das Getriebe?

Wenn der Schlepper ständig über die aktuellen Belastungen und Drehmomente seiner Antriebsstränge informiert ist, kann er den Motor optimal auslasten. Drehzahlen lassen sich einfach messen, bei Drehmomenten müssen die Techniker aber tiefer in die Trickkiste greifen.

Torsion und Drehmoment

Ein Drehmoment, das auf eine Welle wirkt, kann ähnlich wie bei Wiegestäben mit Dehnmessstreifen gemessen werden. Nach diesem System arbeitet z.B. das DLC (Drive-Line-Control) von Walterscheid, das in der Messtechnik und an einigen Erntemaschinen eingesetzt wird. Allerdings müssen die Signale verstärkt und aufwändig über Schleifkontakte oder per Funksignal von der drehenden Welle abgenommen werden. Das macht dieses Messverfahren teuer.

In Schleppergetrieben messen die Konstrukteure anders. Sie nutzen eine Materialeigenschaft aus: Unter Belastung verdrehen sich die Antriebswellen, je höher das Drehmoment, desto weiter (Torsion). Je nach Stahl steigt die Torsion linear zur Belastung an, ähnlich wie bei einer Zugfeder (Federkonstante).

Misst man die Stellung einer Getriebewelle am Anfang und am Ende, kann man aus dem Unterschied die Verdrehung und damit das Drehmoment errechnen. Auf dem Prüfstand wird dazu vorher die Torsion genau vermessen und einem Drehmoment zugeordnet. Der Versatz von einem Zahnradzahn am Anfang und am Ende des Getriebes könnte dann z.B. ein Drehmoment von z.B. 80 Nm bedeuten.

Weil die Getriebedrehzahl ohnehin gemessen wird, braucht man für dieses Messverfahren nur noch einen Sensor zusätzlich.

Sobald man die aktuellen Drehmomente genau kennt, kann man sich die Überdimensionierung von Antrieben, die früher aus Sicherheitsgründen üblich war, weitgehend sparen. Das macht die Maschinen leichter und spart Kraftstoff. Droht Überlastung, regelt das System ab.

Die Drehmomentmessung wird zur in-

telligenten Steuerung des Power-Boosts bei Common-Rail-Motoren eingesetzt: Die Sensorik erkennt, wie viel Drehmoment das Getriebe noch verträgt und wo die Leistung aktuell abgenommen wird (Fahrtrieb, Zapfwelle, Hydraulik). Gibt's noch Reserven, legt die Einspritzanlage eine Schuppe drauf.

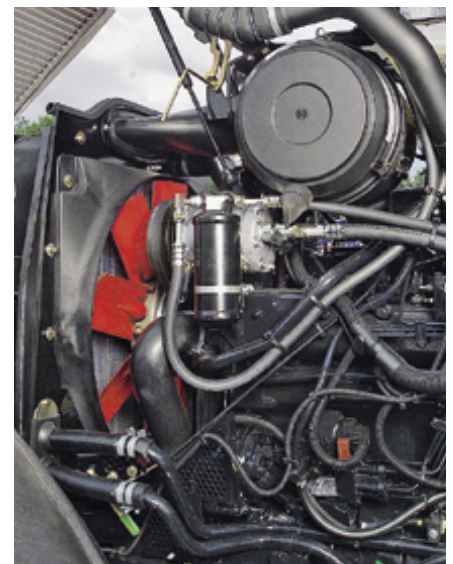
Den ersten Power-Boost gab es bei Valtra (Sigma-Power). Hier wurde bei schweren Zapfwellenarbeiten eine feste Mehrleistung dazu gegeben. Der moderne Power-Boost ist gestaffelt: Die Elektronik steuert ganz nach Bedarf z.B. in bis zu sechs Schritten jeweils 5 PS dazu (Power-Boost bis 30 PS).

Die Temperatur steuert die Lüfterflügel

Im Vergleich zu Bewegungen und Drücken lassen sich Temperaturen relativ einfach messen. Dazu nutzen die Techniker den Negativen-Temperatur-Koeffizienten, das heißt nichts anderes, als dass bei bestimmten Metalloxid-Verbindungen mit der Temperatur auch der elektrische Widerstand sinkt. Im Normalfall steigt nämlich der Widerstand mit der Temperatur (Positiver-Temperatur-Koeffizient). Die Messtechnik setzt Temperatur und Widerstand einfach in das richtige Verhältnis. Umso wichtiger sind die gemessenen Temperaturen für die Steuerung der Schlepper.

Die Ladelufttemperatur beeinflusst

Bei diesem neuen Lüfter steuern Thermoelemente den Anstellwinkel der Flügelwinkel passend zur Temperatur.



Die wichtigsten Drücke in Motor, Bremse und Getriebe

Drücke werden in den unterschiedlichsten Stellen der Maschine gemessen. Festgelegte Drücke lassen sich einfach mit gekapselten, federbelasteten Schaltelementen oder Metallmembran-Sensoren kontrollieren.

Diese Schalter liefern nur die Information Ein/Aus, wenn die Schwelle erreicht wird. Schwieriger wird's bei wechselnden Drücken. Die Techniker verwenden hier wieder induktive Mess-elemente mit Tauchanker, bei dem die jeweilige Ankerposition einem bestimmten Druck zugeordnet wird.

Der Ladedruck ist eine wichtige Information für die Motorsteuerung. Je höher der Ladedruck, desto mehr Diesel kann eingespritzt werden. Die Messwerte werden auch in anderer Richtung abgeglichen: Die Steuerung kontrolliert permanent, ob die eingespritzte Menge zum Ladedruck passt.

In Hochdruckbremsanlagen überwacht ein Sensor ständig den Druck in einem integrierten Stickstoffspeicher, was lebenswichtig sein kann.

Fällt der Motor aus, muss genug Druck zum sicheren Abbremsen der Maschine

gespeichert sein. Meldet der Sensor einen zu geringen Druck, schaltet der Schlepper auf ein Sicherheitsprogramm um.

Die Steuerung von Common-Rail-Anlagen muss über den aktuellen Druck im Einspritzsystem informiert sein. Schmierdrücke in Motor und Getriebe werden meistens von Druckschaltern überwacht.

Drucksensoren werden zur internen Diagnose im Motor und Getriebe verwendet. So können Probleme rechtzeitig erkannt werden, und die Fehlersuche wird erleichtert.

In der Klimaanlage gibt es Schalter im Nieder- und Hochdruckbereich. Ein einfacher Unterdruckschalter im Motor-Luftfilter warnt bei Verstopfungen.

die richtige Einspritzmenge und das Einhalten der Abgasnorm. Selbst die Abgastemperatur interessiert den Controller: Denn moderne Motoren mischen einen gekühlten Teil des Abgases der frischen Ladeluft bei. Bis zu vier Temperatursensoren steuern dabei das richtige Mischungsverhältnis, um Stickoxide zu reduzieren.

Verstellbare Lüfterflügel

Die Dieseltemperatur hat Einfluss auf die Dichte des Kraftstoffs. Die elektronische Einspritzanlage korrigiert die Fördermenge passend zur aktuellen Dichte.

Infos über die Kühlwassertemperatur nutzt John Deere bei den Schleppern der 8030er-Serie zur aktiven Regelung der Lüfterdrehzahl, ganz nach benötigter Luftmenge.

Doch auch hier geht die Entwicklung weiter: Beim Motor des Xerion werden die Lüfterflügel direkt und ganz ohne Sensortechnik passend zur Temperatur verstellt. Das System kommt von Hägele und heißt Cleanfix MC. Es arbeitet mit Thermoelementen, die mit Wachs gefüllt sind. Im festgelegten Temperaturbereich



Einfache Druckschalter warnen vor Verstopfung der Luftfilter.

dehnt sich das Wachs stark aus und bewegt einen Kolben, der die Lüfterflügel von flach auf steil stellt.

Bei Minusgraden schützen Öltemperatursensoren stufenlose Getriebe vor Schäden: Das zähflüssige Öl könnte die Antriebe sonst überlasten. Erst wenn es warm genug ist, gibt die Elektronik den

vollen Geschwindigkeitsbereich frei.

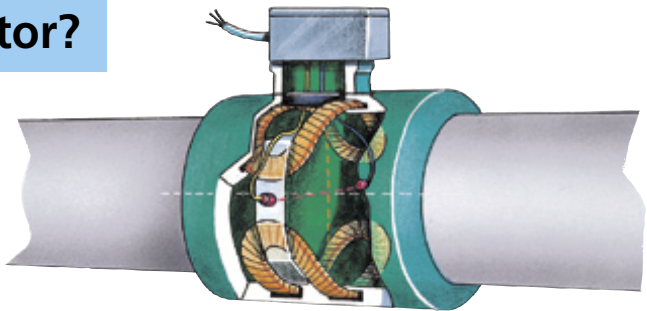
Bei einer automatischen Klimaanlage (Klimatronic) sorgen Außen- und Innentemperatur-Sensoren in Zusammenarbeit mit einer Fozelle, die die Sonneneinstrahlung misst, für angenehme Temperaturen. Sie steuern Klimakompressor, Gebläse und Heizungsventil.

Wie viel Diesel braucht der Motor?

Arbeitstiefe, Reifendruck, Motordrehzahl: Versierte Fahrer drehen an allen Schrauben, um den Verbrauch so gering wie möglich zu halten. Mit einer aktuellen Verbrauchsmessung lässt sich das Ergebnis sofort anzeigen. Bei der Datatronic von MF ist bereits seit längerem eine Verbrauchsmessung lieferbar.

Die meisten Dieselmessgeräte arbeiten mit zwei Messturbinen, eine im Vorlauf und eine im Rücklauf. Aus den Umdrehungen, dem Volumen und der Differenz von Vor- und Rücklauf errechnet das System den Verbrauch. Die Messtechnik muss sorgfältig eingebaut wer-

Moderne Durchflussmesser arbeiten berührungslos per Ultraschall oder Infrarot-Licht.



den, ohne viele Bögen und Winkel in der Leitung, um die Strömung möglichst ruhig zu halten. Neuere Systeme messen ohne drehende Teile berührungslos per Ultraschall oder Infrarot-Licht.

Bei allen elektronisch geregelten Mo-

toren gibt es eine weitere Möglichkeit: Die richtige Einspritzmenge wird vom Controller auf Basis des Motorkennfeldes berechnet. Daraus kann die Elektronik den aktuellen Verbrauchswert pro Stunde oder Hektar errechnen und anzeigen.

Die EHR misst Zugwiderstand und Schlupf

Nein, die EHR arbeitet nicht mit Dehnmessstreifen wie die Wiegestäbe einer Brückenwaage, die wären zu empfindlich. Auch hier spielt Magnetismus eine wichtige Rolle: Das Hubwerk misst den Zugwiderstand induktiv. Im Unter- oder Oberlenkerbolzen sitzt eine Spule, die ein Magnetfeld erzeugt. Einseitiger Druck auf den Bolzen lenkt das Magnetfeld ab. Die sehr schwachen Messwerte werden deutlich verstärkt und dann an die Elektronik weitergegeben.

Die Bolzen können übrigens in beide Richtungen messen. Ein Vorteil, den die EHR für die aktive Schwingungstilgung bei Transportfahrten nutzt. Neuerdings verwendet man ähnliche Bolzen in modernen Anhängerkupplungen vom Lkw, um die Bremskraft des Anhängers exakt zu steuern.

Auch beim Hubwerk wird induktiv gemessen: Hier ein Kraftmessbolzen an den Unterlenkern.

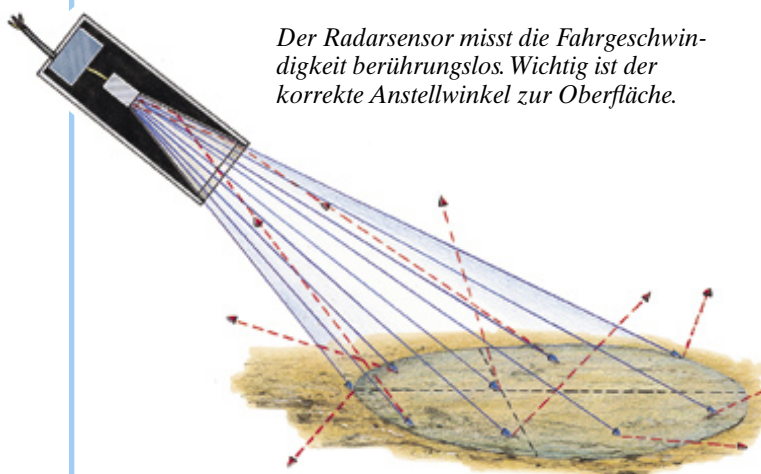


Den Schlupf beim Ackern ermittelt die Elektronik durch den Vergleich der Getriebebeschwindigkeit mit der tatsächlichen Geschwindigkeit über Grund. Ein Radarsensor sendet definierte Schallwellen aus. Je schneller man fährt, desto mehr nehmen die Schwingungen der reflektierten Schallwellen ab.

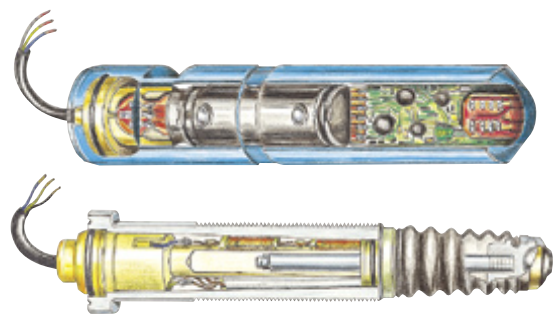
Damit die Messung genau ausfällt,

muss der Sensor im richtigen Winkel (34°) montiert werden – eine beliebte Fehlerquelle. Trifft der Sensor auf eine nasse Straße oder im Extremfall beim Ackern auf eine Pfütze, reagiert die Elektronik mitunter konfus. Da muss dann doch wieder der Mensch eingreifen – Sensortechnik hin oder her...

G. Höner



Der Radarsensor misst die Fahrgeschwindigkeit berührungslos. Wichtig ist der korrekte Anstellwinkel zur Oberfläche.



Oben: Induktiver Kraftmessbolzen für die EHR, er misst in beide Richtungen, was wichtig für die aktive Schwingungsdämpfung ist.

Unten: Sensor für die Positionsmessung per Tauchanker, z. B. am Hubwerk.