

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 76 (2014)
Heft: 6-7

Artikel: Auf dem Weg zum Elektroantrieb
Autor: Gnädinger, Ruedi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1082146>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Notstromaggregate werden nicht nur bei Stromausfall, sondern auch als mobile Stromquelle abseits des Hofes eingesetzt. Dank dem technischen Fortschritt liesse sich heute ein Bordnetz mit genügender Leistungsfähigkeit für solche Zwecke in den Traktor integrieren. Ist dies die Lösung der Zukunft? (Bilder: Werkbilder/Ruedi Gnädinger)

Auf dem Weg zum Elektroantrieb

Elektroantriebe haben viele Vorteile und sind trotzdem bei Maschinen der Aussenwirtschaft noch sehr selten.

Ruedi Gnädinger

Elektromotoren sind langlebig, haben einen hohen Wirkungsgrad und ihr Betrieb lässt sich im Vergleich zu Hydraulikmotoren einfacher schalten und regeln. Auch die «Verkablerei» ist einfacher und kostengünstiger. Dass die Ausstattung der Traktoren mit einem Bordnetz für den höheren Leistungsbereich erst in den Anfängen steckt, liegt vorwiegend bei der fehlenden Nachfrage und Normung. In den nächsten fünf Jahren wird das Angebot an technisch kompatiblen Lösungen aber mit grosser Wahrscheinlichkeit steigen.

Um die Möglichkeiten und Vorzüge des Elektroantriebes beurteilen zu können, behandelt dieser Beitrag die technischen und physikalischen Grundlagen und beurteilt die möglichen Anwendungen.

Der Vergleich zwischen einem Hydraulikkreislauf und einem Stromkreis ist aus physikalischer Sicht nicht in allen Belan-

1. Vergleichende Betrachtung zu Hydraulik und Stromkreis

gen korrekt. Er ist aber für den Praktiker leicht nachvollziehbar und trägt zur Verständlichkeit bei. Die physikalischen «Vereinfachungen» tun dem nötigen Praxiswissen zudem keinen Abbruch.

Hydraulikpumpe/Generator

Beide Geräte werden von einer rotierenden Welle angetrieben und erzeugen Energie (Einheiten: Nm, Joule, Wattsekunden oder kWh) oder auf die Zeit bezogene eine Leistung (Einheiten: Nm/s, Watt oder kW).

Die Leistungsfähigkeit der Hydraulikpumpe wird durch die Fördermenge/Volumenstrom (Einheit: Liter/Minute) und

dem Druck (Einheiten: N/m², Pascal oder bar) bestimmt.

Gemäss der Hydraulikgleichung berechnet sich die Leistung wie folgt:

$$\text{Leistung (kW)} = \text{Volumenstrom (L/min)} \times \text{Druck (bar)} / 600.$$

Beim Generator wird die Leistung durch die Spannung (Einheit: Volt) und der Stromstärke (Einheit: Ampere) bestimmt. Die Leistung des Generators berechnet sich wie folgt:

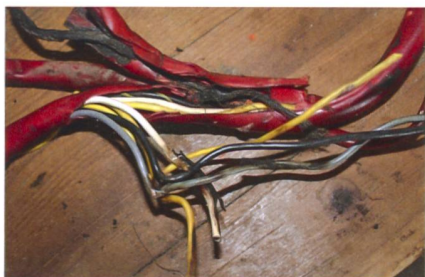
$$\text{Leistung (kW)} = \text{Spannung (Volt)} \times \text{Stromstärke (Ampere)} / 1000.$$

Wird die Antriebsdrehzahl der Hydraulikpumpe oder des Generators erhöht, steigt auch die Fördermenge beziehungsweise die Spannung. Unter Belastung, das heisst, wenn Verbraucher angeschlossen sind, pendelt sich im Hydraulikkreislauf ein Betriebsdruck ein, und im Stromkreis fliesst Strom (proportional zur Belastung). Beim Generator lässt sich die Spannung zusätzlich über die Erregerwicklung (sofern vorhanden) regeln.

Leitungen

Leitungen im Hydrauliksystem und im Stromkreis haben im Betrieb ein ähnliches Verhalten: Beide Systeme haben Verluste und müssen daher richtig dimensioniert und vor Überlast geschützt werden. Bei der Hydraulik erfolgt dies mit Überdruckventilen und beim Strom mit Schmelzsicherungen oder Sicherungsautomaten. Werden bei der Fahrzeugelektrik Zusatzverbraucher angeschlossen, ist zu prüfen, ob der Leiterquerschnitt und die Sicherungen für die vorgesehene Anwendung ausreichen. Welche Absicherung bei welchem Leiterquerschnitt zulässig ist, kann der Tabelle 1 entnommen werden. Werden einfach stärkere Sicherungen eingesetzt, erhitzen sich die Leiter, und dies kann zum Schmelzen der Isolation oder zu einem Fahrzeugbrand führen.

Im Gegensatz zur Hydraulik ist die feste (leitende) Verbindung der Hin- und Rückleitung mit dem Stromerzeuger und den Verbrauchern eine Bedingung dafür, dass überhaupt Strom fliessen kann. Wenn zum Beispiel zwischen dem Pluspol der Batterie eines Traktors und dem Minuspol eines anderen Traktors eine Lampe geschaltet wird, wird diese nicht leuchten, da es sich um zwei unabhängige Stromkreise handelt. Erst wenn durch einen zusätzlichen Leiter entweder die beiden Plus- oder die beiden Minuspole verbun-



Zu stark belastete Leitungen erwärmen sich bis die Isolation schmilzt und die einzelnen Litzen untereinander metallischen Kontakt haben. Der ganze Kabelbaum ist zerstört und die nötige Reparatur aufwendig und teuer. Bei der Installation neuer Verbraucher ist daher zuerst zu klären, ob die vorhandenen Kabelquerschnitte für die zusätzliche Belastung ausreichen.



Kurzschluss im Bordnetz ist eine häufige Ursache von Fahrzeugbränden, auch bei abgestellten Fahrzeugen. Ein wirksamer Schutz ist ein Hauptschalter an gut zugänglicher Stelle. Mit einer intelligenten Schaltung kann die Zeitanzeige weiterlaufen. Wegen der schnell reagierenden Sicherung und der geringen Ströme ist aber ein brandverursachender Kurzschluss nach menschlichem Ermessen ausgeschlossen.

den werden, entsteht ein Stromkreis durch die Lampe. Dann leuchtet diese auf. Wird der noch freie Minuspol der einen Batterie mit dem freien Pluspol der anderen Batterie verbunden, fliesst ebenfalls Strom, aber die Nennspannung beträgt nun 24 Volt, da die zwei Batterien in Serie geschaltet sind.

In der Fahrzeugelektrik wird der Stromkreis noch oft über die Masse geschlossen. Leitfähige Massenverbindungen durch saubere und rostfreie Flächen, welche mit Vorteil durch metallhaltige Pasten geschützt werden, sind daher das A und O für die einwandfreie Funktion.

Hydraulik- und Elektromotoren

Die Drehzahl des Hydraulikmotors steht in einem direkten Zusammenhang mit der Grösse der Hydraulikpumpe (Volumen-

Tabelle 1 Kabelquerschnitte und zulässiger Dauerstrom

Kabelquerschnitt	zul. Dauerstrom bei +50 °C
1,0 mm ²	13,5 Ampere
1,5 mm ²	17,0 Ampere
2,5 mm ²	22,7 Ampere
4,0 mm ²	29,8 Ampere
6,0 mm ²	38,3 Ampere
10,0 mm ²	51,8 Ampere
16,0 mm ²	69,6 Ampere
25,0 mm ²	91,6 Ampere
35,0 mm ²	112,0 Ampere

Quelle: Technische Unterrichtung, Schaltzeichen und Schaltpläne der Kraftfahrzeugelektrik. (Herausgeber: Robert Bosch GmbH)

strom in Liter/Minute) und der Grösse des Hydraulikmotors (geometrisches Schluckvermögen in cm³/Umdrehung). Je grösser der Hydraulikmotor bei einem fixen Volumenstrom der Pumpe ist, desto geringer ist seine Drehzahl. Wird ein zweiter Hydraulikmotor mit gleicher Grösse zugeschaltet, haben diese zwei Aggregate nur noch die halbe Drehzahl. Will man die höhere Drehzahl behalten, müssen sie hintereinander geschaltet werden (Serienschaltung). Bei dieser Schaltung haben die beiden Hydraulikmotoren aber nur noch die halbe Kraft (Drehmoment). Diese Möglichkeit wird teilweise bei Radnabenmotoren für Kleingeräte genutzt, um zwei Geschwindigkeitsbereiche zu erhalten.

Beim Elektromotor wird die Drehzahl durch die Spannung (beim Gleichstrommotor) oder durch die Frequenz des Drehstromnetzes und der Spannung (beim Drehstrommotor) bestimmt. Ein Zu- und Abschalten der einzelnen Motoren hat somit keinen Einfluss auf die Drehzahl, sofern das Stromnetz auf die benötigte Gesamtleistung ausgelegt ist. Diese Drehzahlkonstanz hat natürlich grosse Vorteile: Ein elektrisch angetriebener Düngerstreuer reagiert daher nicht auf die Motordrehzahl des Traktors. Die Streubreite und die Querverteilung des Düngers werden dadurch nicht beeinflusst.

Steuern und Regeln

Bei der Hydraulik braucht es zum Verbinden mit Verbrauchern zumindest Hydraulikkupplungen, Wegeventile und bei einer fachmännischen Drehzahlregulierung noch druckunabhängige Volumenstromregelventile oder Pumpen mit regulierbarem Volumenstrom (Verstellpumpen). Alle diese Bauteile sind nicht gerade

preisgünstig, und ein nachträglicher Einbau bei Traktoren ist zeitaufwendig.

Bei der Elektrolösung sind Stecker und Schalter für wenig Geld zu haben. Frequenzumrichter und Spannungswandler zur Drehzahlregulierung sind auch nicht günstig, haben aber fallende Preise.

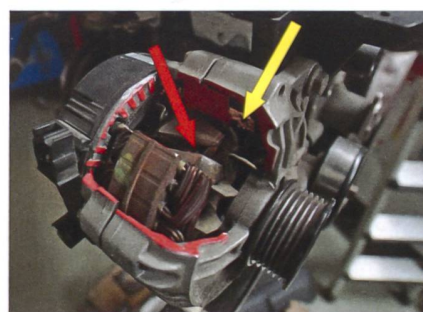
Druck-, Spannungsveränderungen

Eine Druckminderung ist in Hydraulikanlagen durch den Einbau von Druckregulierventilen möglich. Ohne Load-Sensing-Technik wird der zu hohe Pumpendruck aber mit Verlusten abgebaut, was natürlich einen energieeffizienten Betrieb verunmöglicht. Beim elektrischen Stromkreis kann die Spannung direkt bei der Erzeugung, also im Generator, oder anschliessend verlustarm geregelt werden.

2. Stromerzeugung in Fahrzeugen (Generatoren)

Gleichstromlichtmaschine

Die Stromerzeugung in Fahrzeugen erfolgte bis Ende der Sechzigerjahre mit der Gleichstromlichtmaschine. Sie hat eine Feldwicklung im Stator (unbeweglicher Teil), welche über den Regler so stark bestromt wird, dass ein Magnetismus mit der Feldstärke entsteht, welche dann zur gewünschten Bordspannung führt. Im Rotor (rotierender Teil) befinden sich die Hauptwicklungen, deren Drähte mit dem



Dieser aufgeschnittene Alternator zeigt die stromerzeugenden Wicklungen im Stator (dicke Kupferdrähte/gelber Pfeil), welche Drehstrom erzeugen und nachher mit einer Diodenschaltung zu Gleichstrom gerichtet werden. Im Rotor befindet sich die Erregerwicklung (dünne Drähte/roter Pfeil), wo mit einem geringen Strom der nötige Magnetismus erzeugt wird. Über den Regler wird die Erregerwicklung so bestromt, dass die gewünschte Bordspannung auch bei der unterschiedlichen Belastung durch die Verbraucher konstant bleibt. Bei Traktoren mit einem zweiten Bordnetz mit höherer Spannung und Leistung werden diese Alternatoren durch Kurbelwellen- oder Schwungradgeneratoren ersetzt.

Kommutator/Polwender (in der Umgangssprache auch Kollektor genannt) verbunden sind und von dort über die Kohlebürsten zum Bordnetz führen. Der Kommutator bewirkt, dass der Strom in der Rotorwicklung im richtigen Moment umgepolt wird und aus dem Wechselstrom Gleichstrom entsteht.

Nachteilig an der Gleichstromlichtmaschine ist der Verschleiss von Kommutator und Kohlen.

Alternator

Im Gegensatz zur heute nicht mehr gebräuchlichen Gleichstromlichtmaschine ist beim Alternator die Erregerwicklung im Rotor; diese wird über Schleifringe bestromt. Wie bei der Gleichstromlichtmaschine wird die Erregerwicklung so bestromt, dass die gewünschte Bordspannung entsteht. Da der Strom für die Erregerwicklung klein ist und die Schleifringe eine glatte Fläche haben, entsteht hier fast kein Verschleiss.

Der eigentliche Strom entsteht in der Statorwicklung als Drehstrom und wird über eine Diodenschaltung zu Gleichstrom gerichtet. Bei Personenwagen und Traktoren wird die wirtschaftlich-technische Lebensdauer oft erreicht, ohne dass an Alternatoren Reparaturen nötig werden. Leider hat der Alternator in der heutigen Bauart einen unbefriedigenden Wirkungsgrad von nur 60 bis 75%.

Kurbelwellengeneratoren

Diese kommen in Zukunft dort zum Einsatz, wo das Bordnetz vermehrt zum Antrieb von Maschinen oder grösseren Verbrauchern im Fahrzeug gebraucht wird. Ein Kurbelwellengenerator kann zum Beispiel zwischen dem vorderen Kurbelwellenausgang und der Frontzapfwelle eingebaut werden. Damit das Bordnetz mit den handelsüblichen Geräten und Motoren kompatibel ist, wird sich wahrscheinlich ein Drehstromnetz mit 400 Volt durchsetzen. Bei jedem Generator, dessen Spannung nicht durch die Erregerwicklung gesteuert wird, erhöht sich die Spannung proportional zur Drehzahl. Dieses Phänomen ist bekannt vom Fahrraddynamo, wo das Licht mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit auch heller brennt. Damit die gewünschte Spannung bei Bordnetzen mit unregelmäßigen Generatoren bei allen Drehzahlen und Belastungen konstant bleibt, wird im Generator ein Drehstrom mit wesentlich höherer Spannung erzeugt und anschliessend gleichgerichtet. Sie wird als Zwi-

schenschleissspannung (z. B. 600 Volt DC) bezeichnet. In einem weiteren Schritt wird die Spannung auf die gewünschte Höhe reduziert und bei Bedarf wieder zu Drehstrom mit der gewünschten Frequenz getaktet.

Beim Gebrauch der Fahrzeugbeleuchtung und beim Laden der Batterie entsteht über eine elektronische Schaltung Gleichstrom mit der Nennspannung von 12 Volt. Kurbelwellengeneratoren können durchaus auch als Motor betrieben werden und ersetzen den traditionellen Anlasser.

Schwungradgeneratoren

Schwungradgeneratoren funktionieren im Wesentlichen wie Kurbelwellengeneratoren. Aus Platzgründen ist aber ihre Leistung beschränkt. Weil keine zusätzlichen Lagerstellen vorhanden sind, haben sie keinen mechanischen Verschleiss. Wenn aber zum Beispiel die Wicklung schadhaft wird und ersetzt werden muss, dürfte es zu einem erheblichen Demontageaufwand kommen, etwa vergleichbar mit einer Reparatur der Fahrkupplung. Schwungradgeneratoren können ebenfalls den traditionellen Anlasser ersetzen.

3. Elektromotoren: unterschiedliche Funktionsweisen

Es gibt viele prinzipielle Unterschiede hinsichtlich des Funktionierens eines Elektromotors. Meistens erfolgt die Namensgebung der verschiedenen Motoren aufgrund der Stromart oder der Funktion. Im Folgenden werden nur die Motoren beschrieben, welche in der Fahrzeugtechnik und der Landtechnik verbreitet sind.

Gleichstrom-Kollektormotor

Diese Motorenbauart ist im Prinzip seit ihrer Erfindung gleich geblieben und wird in einer optimierten Ausführung in Fahrzeugen bei Anlassern, Scheibenwischern, Heizgebläsen, Kühlerlüftern, Fensterhebern usw. eingesetzt. In der heutigen Ausführung wird im Stator das Magnetfeld nicht mehr mit Feldwicklungen, sondern mit Permanentmagneten erzeugt. Die Baukosten und der Verdrahtungsaufwand sind dadurch vermindert worden. Beim Gleichstrommotor mit Kollektor und Permanentmagneten kann die Drehzahl sehr einfach und genau über die Spannung geregelt werden. Ab einer geringen Minimalspannung beginnt er, mit voller



Der traditionelle Gleichstrommotor mit Kollektor und Kohlebürsten lässt sich sehr gut regeln und dürfte weiterhin die wirtschaftlichste Lösung für Einsätze ohne Dauerbetrieb sein, zum Beispiel beim Antrieb des Scheibenwischers oder der Streuscheibe eines Grassägers. Der hier abgebildete Motor hat trotz kleinen Abmessungen eine maximale Leistung von 4 kW. Die Kohlebürsten lassen sich bei diesem Modell von aussen wechseln (gelbe Pfeile).

Kraftentfaltung (Drehmoment) zu drehen, und bei einer weiteren Erhöhung der Spannung steigt die Drehzahl proportional zur angelegten Spannung. Dass die volle Kraft schon bei geringen Drehzahlen zur Verfügung steht, ist ein besonderer Vorteil, weil damit ein sanftes Anfahren unter voller Last möglich ist.

Der Hauptverschleiss bei diesem Gleichstrommotor betrifft den Kollektor und die Kohlebürsten. Sie halten aber viel länger als beim Wechselstrombetriebenen Kollektormotor, wie er in netzbetriebenen Haushaltgeräten oder in Elektrowerkzeugen eingesetzt wird. In der Regel liegt die Lebensdauer guter Gleichstrom-Kollektormotoren über derjenigen der Fahrzeuge und nicht dauernd benutzten Landmaschinen.

Der bürstenlose Gleichstrommotor/ Drehstrom-Synchronmotor

Der bürstenlose Gleichstrommotor, auch EC-Motor (electronically commutated motor) genannt, hat, was die Funktion betrifft, nichts mit einem Gleichstrommotor zu tun, denn es handelt sich um einen Drehstrom-Synchronmotor.

Solche Drehstrom-Synchronmotoren mit grösserer Leistung wurden bereits vor dem Zeitalter der Elektronik eingesetzt. Bei der Inbetriebsetzung müssen sie jedoch zuerst durch einen Anlassmotor auf die ungefähre Drehzahl gebracht werden. Erst dann können sie dem Drehstromnetz zugeschaltet werden und drehen anschliessend synchron zur Netzfrequenz von 50 Hertz. Ein zweipoliger Motor dreht dann mit 3000 U/min und ein vierpoliger mit 1500 U/min.

Dank der Modulierung von Frequenz und Spannung kann der Synchrondrehstrommotor aber langsam angefahren werden und dabei bereits die volle Kraft (Drehmoment) entwickeln. Er eignet sich daher auch vorzüglich als Radnabenmotor, wo beim Anfahren die höchsten Drehmomente entstehen.



Beim Drehstrom-Synchronmotor befinden sich die Wicklungen im Stator und entwickeln das magnetische Drehfeld. Ein Kollektor mit mechanischem Verschleiss ist nicht vorhanden (Brushless DC Motor). Der Rotor ist mit Dauermagneten bestückt. Dies hat zur Folge, dass er synchron zum Drehfeld rotiert.

Drehstrom-Asynchronmotoren

Diese Motoren sind am meisten verbreitet und äusserst preiswert. Bis anhin wurden sie auf dem Hof für die Heubelüftung, die Melkmaschine und vieles mehr mit fester Drehzahl eingesetzt. Mit einem Frequenzumrichter kann die Drehzahl jedoch geregelt werden. Diese Technik wird vermehrt bei der Melkmaschine eingesetzt, damit sich die Drehzahl der Vakuumpumpe bei ausreichender Vakuumbhöhe verringert und so der Stromverbrauch gesenkt wird. Nachteilig beim Drehstrom-Asynchronmotor ist, dass bei niedriger Frequenz die mögliche Kraft (Drehmoment) vermindert wird. Die untere Drehzahlgrenze sollte daher mindestens 30% der Nenndrehzahl betragen. Bei Frequenzerhöhungen ist zudem zu beachten, dass der Leistungsbedarf und die Stromaufnahme zunehmen und die zulässigen Werte überschreiten können. Der Einsatz von Drehstrom-Asynchronmotoren bei Traktoranbaugeräten ist durchaus denkbar, wenn der Traktor mit einem passenden Drehstromnetz ausgerüstet ist.

Wenn sich in der Technik Neuerungen durchsetzen, müssen die bisherigen Lösungen Mängel haben oder höhere An-



Frequenzumformer in der Ausführung mit Eingabetastatur und Frequenzanzeige auf dem Gerät. Eine Feineinstellung über einen Drehknopf (Potentiometer) und eine Anbindung an eine Maschinensteuerung ist ebenfalls möglich.

4. Chancen für «Stromlösungen» auf Traktoren und Landmaschinen

forderungen entstehen. Tatsache ist, dass sich weiterhin die meisten Antriebe mit einer mechanischen Leistungsübertragung mit wenig technischem Aufwand lösen lassen. Sie sind daher preisgünstig und haben zudem einen so hohen Wirkungsgrad, welcher mit anderen Techniken der Leistungsübertragung nie erreicht wird. Hydraulische und elektrische Antriebe sind also nur dort vorteilhaft, wo die mechanische Lösung wegen der Aggregateanordnung zu aufwendig ist oder wenn eine Drehzahlsteuerung – eventuell noch mit Automatisierungsanwendungen – die Effizienz der Geräte verbessert.

Typische **Elektroanwendungen bei Traktor**getriebenen Geräten könnten zum Beispiel der Antrieb der Wurfscheiben bei einem Düngerstreuer, des Kratzbodens eines Mist- oder Kompoststreuers und Dosierpumpen für Pflanzenschutz- oder Siliermittel sein. Für diese Anwendungen sprechen die unabhängige Anordnung der Aggregate und die präzise Drehzahlregelung, sei es nun als konstant- oder wegababhängige Drehzahl. Zudem ist bei diesen Antrieben der Leistungsbedarf noch in einer Grössenordnung, wo die Installation des traktorseitig benötigten Bordnetzes den Rahmen der Wirtschaftlichkeit, des Platzbedarfes und der Gewichtserhöhung nicht von vornherein sprengt.

Ein **Bordnetz**, welches den Betrieb von Elektrowerkzeugen und Schweißgeräten ermöglicht, wäre für Reparaturen auf dem Feld in vereinzelt Fällen nützlich.

Benzingetriebene Notstromaggregate mit für diese Anwendung nötiger Leistung sind jedoch sehr preiswert und ebenfalls unabhängig einsetzbar.

Kritischer ist die **Elektroanwendung beim Antrieb von Triebachsen** bei Landmaschinen oder Anhängern, da der Leistungsbedarf zu gross ist. Allenfalls wäre die Auslegung eines solchen Antriebs als «Zusatzdrehmoment» an den Rädern denkbar, die die nötige Zugkraft an der Deichsel bei geringen Arbeitsgeschwindigkeiten im Feld vermindert. Eine hydraulisch angetriebene Vorderachse mit einem solchen «Zusatzdrehmoment» hat übrigens in den Siebzigerjahren ein namhafter Traktorhersteller bereits einmal angeboten. Der Fahrtrieb des Traktors, zum Beispiel mit elektrischen Radnabenmotoren, ist eher unrealistisch, da sich der technische Aufwand und damit die Kosten nicht rechtfertigen. Beim Traktor ändert sich zudem die Gewichtsverteilung auf die Räder so stark, dass ein Verzicht auf eine mechanische Verbindung zwischen den einzelnen Rädern kaum sinnvoll wäre.

Ein leistungsfähiges Bordnetz kann aber auch dem Antrieb der Nebenaggregate im Fahrzeug dienen. So können Lüfter, Wasserpumpe, Klima- und Druckluftkompressoren lageunabhängig montiert und die Einschaltdauer oder Drehzahl nach dem aktuellen Bedarf geregelt werden. Dies kann den Treibstoffverbrauch senken. Beim Klimakompressor und bei der Wasserpumpe entfallen zudem die Abdichtungen der Antriebswellen, da die Elektromotoren wie bei stationären Anlagen direkt im Medium laufen können. Ein handfester Vorteil der neuen Technik ist natürlich der Wegfall des herkömmlichen Alternators und Anlassers.

Für den universellen Einsatz sind noch Normen und einheitliche Sicherheitsvorkehrungen nötig. Dabei dürfen die verschiedenen Stromkreise sich nicht gegenseitig beeinflussen. Die stromführende Masse des 12-Volt-Netzes darf daher nicht Sternpunkt für das Bordnetz mit höherer Spannung sein.

Insgesamt kann die Ausstattung eines Traktors mit einem zweiten Bordnetz mit höherer Spannung durchaus angebracht sein, wenn die vielfältigen Vorteile auch genutzt werden. Dank grösserer Serien wird dieses «Zusatzpaket» noch preiswerter werden und die Wirtschaftlichkeit verbessern. ■