

# Finden Elektrotraktoren den Weg in die Praxis? ein optimistischer Blick in die Zukunft

Finden Elektrotraktoren den Weg in die Praxis?  
Landtechnik im Alpenraum - 03. April 2024  
Ewald Luger

## Forderungen gibt es viele

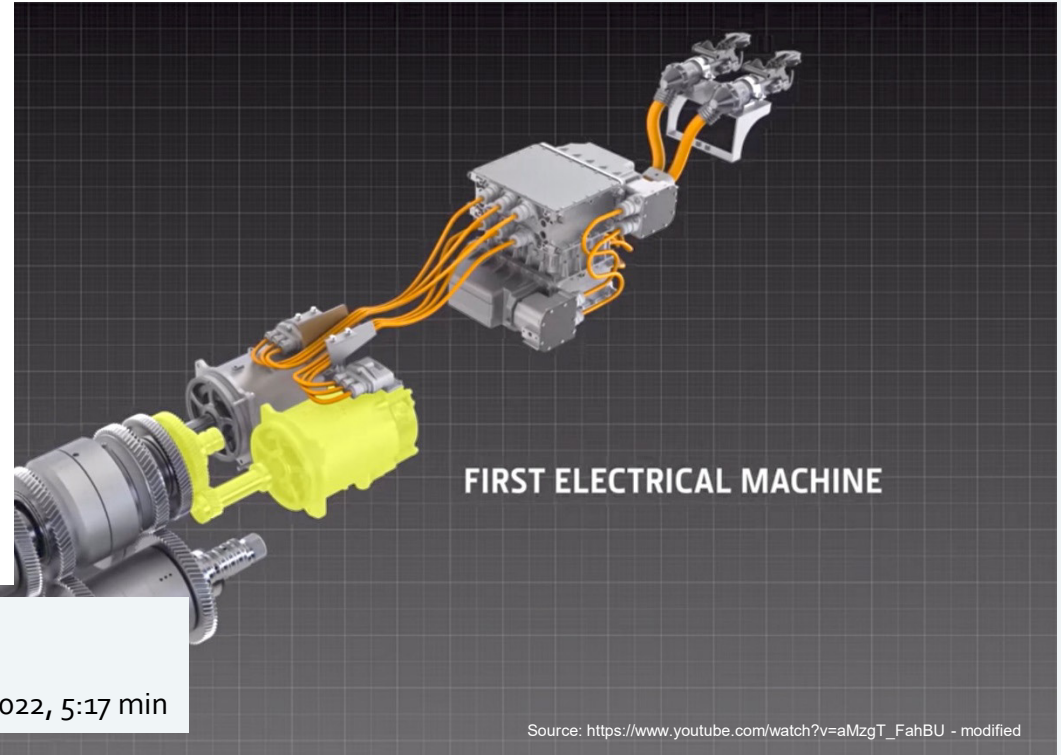
- nachhaltig und emissionsfrei
- boden- und ressourcenschonend
- effizient und leistungsstark
- schlagkräftig und zuverlässig
- kostengünstig, komfortabel, smart, vernetzt, autonom, ...
- **Forderung der Klimaneutralität für landw. Traktoren und Maschinen**
- **EU Beschluss – weitgehendes Aus für die Neuzulassung von Autos mit Verbrennungsmotor ab 2035**



## Stufenlosgetriebe bei Traktoren – wird elektrisch

### John Deere eAutoPowr

- elektrisch stufenloses Getriebe für Traktoren mit über 400 PS
- elektrischer Generator versorgt Elektromotor für die Leistungsverzweigungsstufe und das Summiergetriebe
- erster Gang ist zu 100% elektrisch angetrieben



John Deere eAutoPowr transmission (Germany)  
[https://www.youtube.com/watch?v=aMzgT\\_FahBU](https://www.youtube.com/watch?v=aMzgT_FahBU)  
Stepless goes Electric: eAutoPowr transmission, 08.2022, 5:17 min

Source: [https://www.youtube.com/watch?v=aMzgT\\_FahBU](https://www.youtube.com/watch?v=aMzgT_FahBU) - modified

## Electrical high-power interface – 700 V DC / 480 V AC – ISO 23316

Strom, der von einem Generator am Traktor erzeugt wird oder aus Batterien kommt, dient dem elektrischen Antrieb

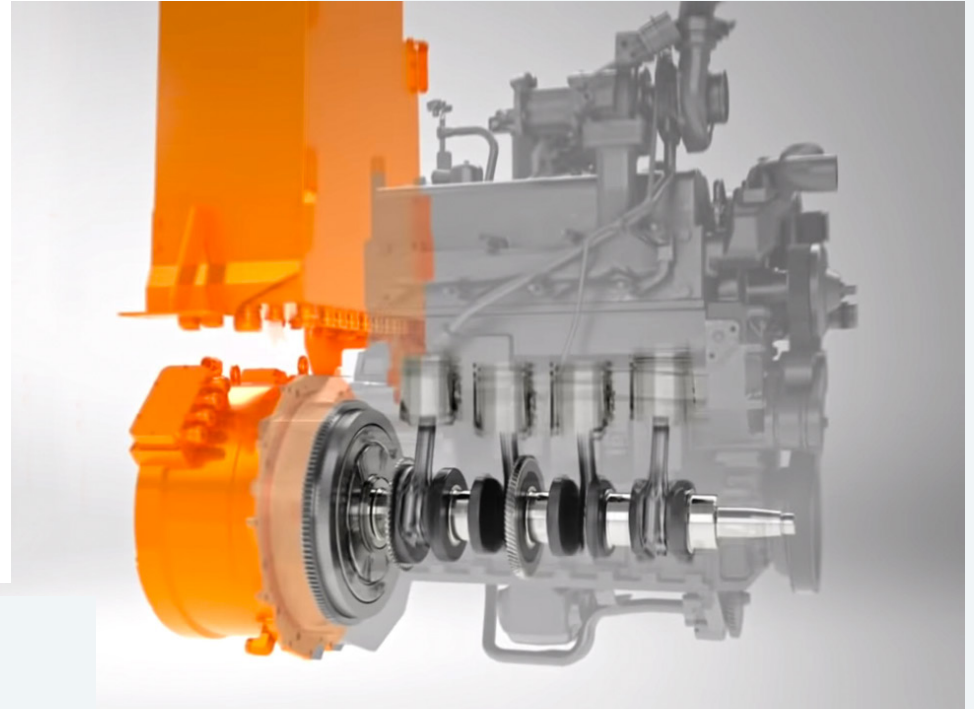
- 700 V DC - Gleichstrom
- Wechselrichter sind auf dem Gerät
- 480 V AC - Wechselstrom
- Wechselrichter sind auf dem Traktor

DC versus AC - auf Gerät versus Traktor

Fendt X Concept (Germany)

<https://www.youtube.com/watch?v=UkD4mQofHmk>

Fendt X Concept, 2014, 3:02 min



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=UkD4mQofHmk> - modifiziert

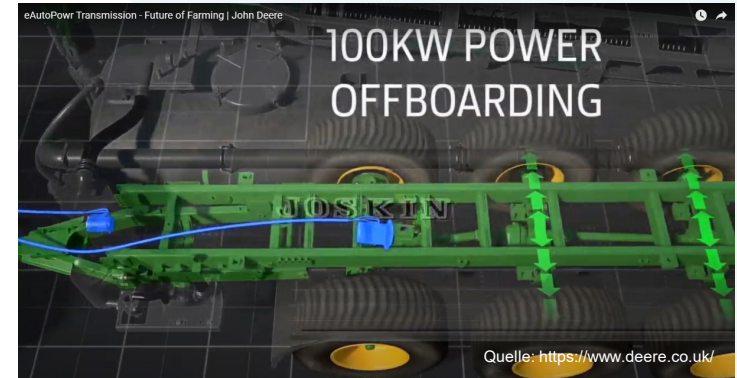
## Electrical high-power interface – elektrisch angetriebene Geräte



Steyr Hybrid Tractor (Austria)

[https://www.youtube.com/watch?v=vigGo7\\_vj2I](https://www.youtube.com/watch?v=vigGo7_vj2I)

Steyr Hybrid Tractor, 04.2022, 7:22 min



John Deere - EAUTOPOWER

<https://www.youtube.com/watch?v=edhZn48RZJc>

eAutoPower Transmission, 02.2020, 1:39 min

**Über Zapfwelle, hydraulisch oder elektrisch angetriebene Geräte und Triebachsen?**  
**Es ist eine Art Henne oder Ei - Problem.**

# Rekuperation – Bremsenergieerückgewinnung – e-BOOST

## Steyr Hybrid Drivetrain Konzept

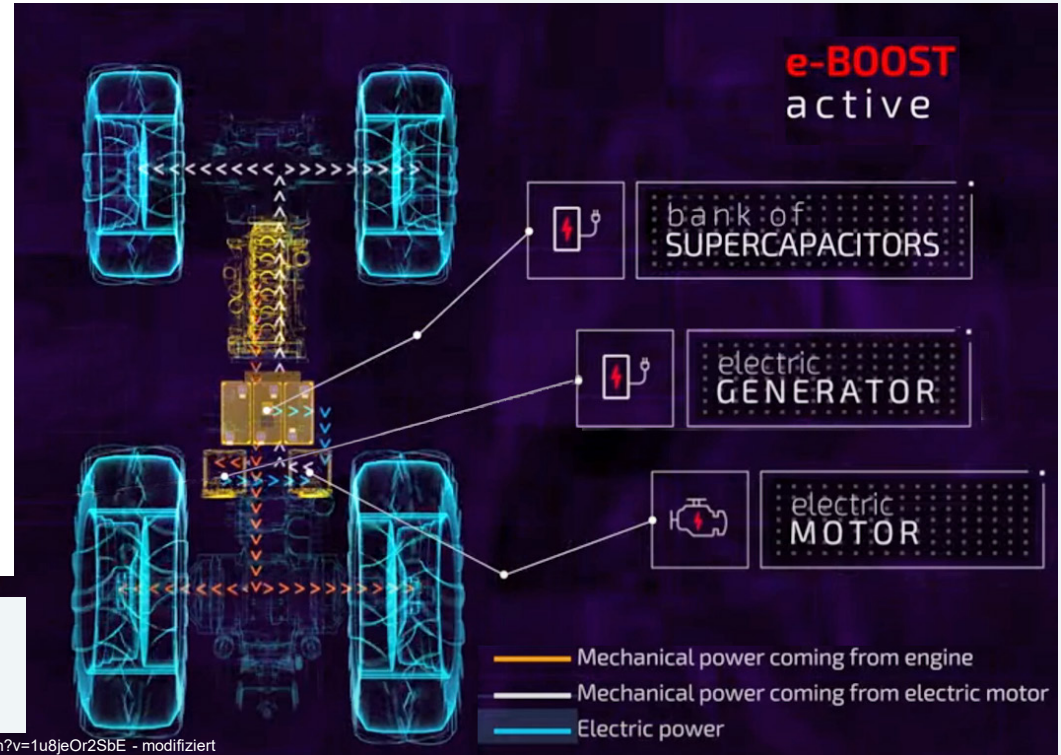
- Dieselmotor
- Stromgenerator
- Block von Superkondensatoren
- Elektromotor
- e-Boost bei Bedarf, z.B. bei Fahrt bergauf oder bei Ausfahrt aus einem Kreisverkehr

STEYR Hybrid Drivetrain Concept (Austria)

<https://www.youtube.com/watch?v=1u8jeOr2SbE>

STEYR Hybrid Drivetrain - e-Boost, 03.2022, 2:22 min

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=1u8jeOr2SbE> - modifiziert



# Traktor mit Dieselmotor versus batterie elektrischer Traktor

## Fossiler Diesel

- 100 kWh Energieinhalt in Rohöl – Erdöl für fossilen Diesel
- Wirkungsgrad der Dieselpreparierung (gesamte Kette vom Bohrloch zur Zapfsäule) 83 %
- Wirkungsgrad Dieselmotor 35 %
- Wirkungsgrad Traktorgetriebe 85 %
- **rund 25 kWh von 100 kWh nutzbar**

## Batterie elektrisch

- 100 kWh Strom aus einer erneuerbaren Quelle wie einer Windkraftanlage
- Wirkungsgrad der Netzversorgung 95 %
- Laden und Entladen eines Lithium-Ionen-Akkus ist zu 90 % energieeffizient
- Wirkungsgrad Elektroantrieb 95 %
- **rund 80 kWh von 100 kWh nutzbar**

## Batterie elektrische Traktoren – Schlüsselpunkte

### Batteriekosten

- in 10 Jahren sind die Kosten einer Lithium-Ionen-Batterie um fast 90 % gesunken

### Batteriekapazität

- hohe Batteriekapazitäten derzeit nur mit sehr hohem Batteriegewicht und Batterievolumen möglich – Batteriewechselsysteme

### Batterieladezeit

- Schnellladen auf 80 % voll soll bereits in einigen Jahren in 10 bis 15 min möglich sein



Source: FJ – BLT Wieselburg



## Batterie elektrische Traktoren

### Rigitrac SKE 40 Electric

- Nennleistung: 40 kW (64 kW peak)
- Batterie: Lithium-Ionen
- Batteriekapazität: 58 kWh (400 V)
- ~ 6 Monate Lieferzeit (~ 200.000 €)

<https://www.rigitrac.ch/>

je ein Elektromotor für Fahrantrieb,  
pro Zapfwelle und für die Hydraulik

Rigitrac battery electric tractor (Switzerland)

<https://www.youtube.com/watch?v=nHXMx3q-xyg>

Rigitrac «SKE 50 Electric», 08.2019, 4:17 min



Quelle: <https://www.rigitrac.ch/> - modifiziert

## Batterie elektrische Traktoren

### Fendt e100 V Vario

- Dauerleistung: 55 kW
- Batterie: Lithium-Ionen
- Batteriekapazität: 100 kWh (400 V)
- ab Herbst 2024 erhältlich

<https://www.fendt.com/>

ein gemeinsamer Elektromotor für  
Fahrantrieb, Zapfwellen, Hydraulik

Fendt e100 V Vario (Germany)

<https://www.youtube.com/watch?v=A6EGoLXgwOs>

Fendt e100 V Vario | Think ePossible, 11.2023, 2:09 min



Quelle: <https://www.fendt.com/> - modifiziert

## Batterie elektrische Traktoren

### New Holland T4 Electric Power

- Nennleistung: 55 kW
- Batteriekapazität: 110 kWh (400 V)
- nutzbare Nettoenergie: 95 kWh
- in den nächsten Jahren erhältlich

<https://agriculture.newholland.com/>



New Holland T4 Electric Power Tractor (NH North America)  
<https://www.youtube.com/watch?v=l7Z3SH3M2pM>  
Introducing the T4 Electric Power, 09.2023, 1:21 min

Quelle: <https://agriculture.newholland.com/> - modifiziert

## Batterie elektrische Traktoren

### Tadus - Prototyp

- Nennleistung: 80 kW (120 kW peak)
- Batterie: Lithium-Ionen
- Batteriekapazität: 130 kWh
- Ziel: Marktreife 2025

<https://www.tadus.com/>

je ein Elektromotor pro Achsantrieb,  
pro Zapfwelle und für die Hydraulik

Tadus Elektro Traktor (Germany)

<https://www.youtube.com/watch?v=KJfyYaGZEUo>

Agropictures - Tadus Elektro Traktor, 10.2023, 14:11 min



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=KJfyYaGZEUo> - modifiziert

## Batterie elektrische Traktoren

### John Deere - Prototyp

- 500 kW elektrischer Antrieb
- 1000 kW elektrisches power-off-boarding
- 1000 kWh Batteriekapazität
- automatisiertes Fahren
- für 24/7-Betrieb
- Fahrer optional



John Deere Autonomous Battery Electric Tractor (Germany)

<https://www.youtube.com/watch?v=1cz6VQwAz7s>

John Deere Autonomous Battery Electric Tractor, 04.2022, 2:03 min

Source: <https://www.youtube.com/watch?v=1cz6VQwAz7s>- modified

## Batterie elektrische Traktoren – Schlüsselpunkt Batteriekapazität

### Elektrischer Energiebedarf von Traktoren unterschiedlicher Nennleistung

Nennleistung	kW	50	100	200	300	500
Einsatzdauer pro Tag	h	4	6	10	12	12
Durchschnittliche Auslastung	%	40	40	50	60	70
Energiebedarf	kWh	80	240	1.000	2.160	4.200
Batteriegewicht	t	0,6	1,4	6	13	25
Batterievolumen	m <sup>3</sup>	0,6	1	4,5	9	18

Quelle: Tabelle nach R. Stirnimann – Berner Fachhochschule

- Batterie elektrische Antriebe derzeit nur bei Traktor-Leistungsklassen unter 100 kW
- Bezogen auf die Stückzahl machen die unter 100 kW Traktoren mehr als die Hälfte aus

## Traktoren mit Hybridantrieb

### Landini REX4 Full Hybrid

- Leistung: 80 kW - 55 kW Dieselmotor und 25 kW Elektromotor
- Batteriekapazität: 30 kWh (350 V)
- bis zu 2 h voll elektrischer Antrieb und E-Motorleistung bis zu 50 kW

<https://www.landini.it/>

### Elektromotor für Vorderachsantrieb

Landini Rex4 Full Hybrid (Italy)

[https://www.youtube.com/watch?v=YUcu\\_PUj4wY](https://www.youtube.com/watch?v=YUcu_PUj4wY)

The new Landini REX4 Full Hybrid, 2023, 2:36 min



Quelle: [https://www.youtube.com/watch?v=YUcu\\_PUj4wY](https://www.youtube.com/watch?v=YUcu_PUj4wY) - modifiziert

## Traktoren mit Hybridantrieb

### Steyr Hybrid CVT - Prototyp

- Leistung: 191 kW Dieselmotor
- CVT Hinterachsantrieb: 132 kW
- voll elektrischer Antrieb bis 75 kW
- e-Power off-boarding: 75 kW, 700 V
- Ziel: Marktreife 2025

<https://www.steyr-traktoren.com/>

### Hybridmodul für Vorderachsantrieb

Steyr Hybrid CVT (Austria)

<https://www.youtube.com/watch?v=RT-lYcDcgeo>

Farm Journal - Steyr Hybrid Electric Tractor, 1.2024, 2:52 min



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=OQdKL-OSLGA> - modifiziert



## Autonomes Arbeiten – autonome Einheit mit Diesel-Elektrischem Antrieb

### Lemken & Krone VTE - Prototyp

- autonome Verfahrens-  
Technische Einheit (VTE)
- Diesel-Elektrischer Antrieb mit  
170 kW Leistung
- elektrischer Radantrieb
- elektrischer Zapfwellenantrieb

<https://combined-powers.com>



Lemken & Krone Autonomous Tractor Unit (Germany)

<https://www.youtube.com/watch?v=02KFeUxRqUo&t=46s>

TractorLab - Lemken & Krone Tractor Unit, 03.2022, 2:15 min

Source: <https://combined-powers.com> - modified

## Autonomes Arbeiten – Feldroboter mit Solarantrieb

### FarmDroid FD 20 – erhältlich

- Feldroboter mit Solarantrieb
- Aussaat- und Hackroboter
- speichert Position der Saatgut-  
ablage für punktgenaue mecha-  
nische Unkrautbekämpfung
- bis zu 24 h täglicher CO<sub>2</sub>-  
neutraler Betrieb

<https://farmdroid.com/>

Farmdroid seeding and weeding robot (Denmark)  
<https://www.youtube.com/watch?v=Zlqguf1J-38>  
Farmdroid FD20, 10.2020, 1:22 min



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=Zlqguf1J-38> - modified

# Traktor mit Dieselmotor versus batterie elektrischer Traktor

## Annahme: Photovoltaikanlage am Hof

- PV-Energieertrag 850 kWh/kWp und Jahr
- 0,2 kWp/m<sup>2</sup> PV-Fläche
- Dieserverbrauch 1000 l pro Jahr
- Heizwert Diesel 35,7 MJ/l oder 9,917 kWh/l  
(Umrechnung 1 J = 1 Ws und 1 h = 3.600 s)
- gerundet Energieinhalt Diesel ~ 10 kWh/l
- Energiebedarf batterieelektrischer Traktor  
gegenüber Diesel: mehr als 2/3 geringer  
(batterie-elektrischer Antrieb rund 80 kWh  
von 100 kWh nutzbar - Diesel 25 kWh)



Quelle: <https://www.sonnenkraft.com/de/produkte/strom/solar-modul-410-wp.html>

# Traktor mit Dieselmotor versus batterie elektrischer Traktor

## Berechnung: Photovoltaikanlage am Hof

- 1000 l Diesel pro Jahr = 10.000 kWh pro Jahr
- dafür erforderliche PV-Anlage: rund 12 kWp
- dafür erforderliche PV-Fläche: rund 60 m<sup>2</sup>
- eine PV-Anlage mit 12 kWp erzeugt pro Jahr die Energiemenge von 1.000 l Diesel
- der Energiebedarf eines batterie elektrischen Traktors ist um mehr als 2/3 geringer – somit:
- eine PV-Anlage mit 4 kWp erzeugt pro Jahr die Energiemenge zum Betrieb eines batterie elektrischen Traktors – 1.000 l Diesel pro Jahr



Quelle: <https://www.sonnenkraft.com/de/produkte/strom/solar-modul-410-wp.html>

## Elektrotraktoren werden den Weg in die Praxis finden – Vorteile

- Batterie elektrische Traktoren haben gegenüber Traktoren mit Dieselmotor einen zumindest um den Faktor 3 geringeren Energieverbrauch
- ein electrical high-power interface ermöglicht durch den elektrischen Antrieb von Geräten und Triebachsen eine Energieeinsparung bzw. Verwendung eines leistungsschwächeren und damit leichteren Traktors – weniger Schlupf u. Bodenverdichtung
- Rekuperation – Bremsenergierückgewinnung möglich – die rückgewonnene Energie kann z.B. beim Beschleunigen als Boost Energie zur Verfügung gestellt werden
- die Spitzenleistung von e-Antrieben und der Batterie kann für einen kurzen Zeitraum auf 50 bis 80 % über die Nennleistung geboostet werden
- zapfwellenbetriebene Geräte können durch einen E-Antrieb der Traktorzapfwelle mit bedarfsgerechter Drehzahl und Drehmoment betrieben werden – Energieeinsparung

## Elektrotraktoren werden den Weg in die Praxis finden – Vorteile

- Elektrotraktoren ermöglichen klimaneutralen Betrieb landw. Traktoren u. Maschinen
- null Emissionen – Betrieb auch in sensiblen Bereichen, Gebäude, Stallung, Glashaus
- wenig Lärm – E-Traktoren sind viel leiser als Traktoren mit Dieselmotor
- niedrige Betriebskosten und reduzierter Wartungsaufwand
- hohes Drehmoment, schnelle Beschleunigung und effiziente Kraftübertragung
- einfache Bedienung
- Schnellladung in 1 h (Mittagspause) ermöglicht nach 4 h Betrieb weitere 4 h Betrieb
- weitgehende Energieunabhängigkeit bei Nutzung von Strom aus eigener PV-Anlage
- Batterie elektrische Traktoren ermöglichen in Zeiten geringer Nutzung (z.B. Winter) Stromspeicherung und Rückspeisung von Strom in das Netz – Vehicle-to-Grid (V2G).

## Elektrotraktoren werden den Weg in die Praxis finden – Nachteile

- Batterie elektrische Traktoren sind (noch) sehr teuer – werden aber billiger werden
- hohe Batteriekosten – heute meist Lithium-Ionen-Batterien, neue Technologien für Batterien sparen seltene Rohstoffe ein – weitere deutliche Kostensenkung
- beschränkte Batteriekapazität – in Entwicklung sind neue Technologien für Batterien mit höherer Energiedichte (Batteriegewicht und Batterievolumen werden kleiner) – Einsatz von Batteriewechselsystemen (z.B. Powerbank als Frontballast am Traktor)
- bescheidene Batterieladezeit – Schnellladen auf 80 % ist heute im militärischen Bereich bei entsprechende Infrastruktur in 10 min möglich – in einigen Jahren wohl auch (mit entsprechenden Kosten) im zivilen Bereich
- Lebensdauer einer Batterie nur acht bis zehn Jahre oder 500 bis 1.000 Ladezyklen – neue Technologien für Batterien versprechen eine Vervielfachung dieser Werte

## Elektrotraktoren werden den Weg in die Praxis finden – Nachteile

- Batterie mit unter 70 bis 80 % der Batteriekapazität nicht mehr brauchbar – Weiter-nutzung als second life battery für stationäre Stromspeicheranwendungen möglich
- Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien – China verwendet dazu Strom aus Kohle-kraftwerken, Tesla stellt Batterien selbst her, zukünftig BMW Batteriewerk in Bayern
- Abbau von Lithium ist umweltschädlich – neue Technologien für Batterien die nicht ausschließlich auf Lithium basieren in Entwicklung
- Lithium-Ionen-Batterien sind gefährlich – Batterien auf Basis Lithium-Eisenphosphat sind nicht brennbar oder explosiv – neue Technologien für Batterien in Entwicklung
- schwieriges Lithium-Ionen-Batterie Recycling – Batterie Recycling Technologien in Entwicklung



## Ausblick 2040

- Fahrantriebe neuer Traktoren 2040 sind meist elektrisch, wenn Zapfwellenantrieb dann über E-Motoren, meist E-Antrieb von Anbaugeräten, E-Motor für Hydraulik.
- Batterie elektrische Traktoren dominieren in der unteren und der mittleren Leistungsklasse: Arbeiten im Gebäude, am Hof, kleinere landw. Betriebe, Kommunaleinsatz, ... sehr schnell aufladbare Batterien und Batterie-Schnellwechselsysteme sind Standard.
- Die meisten leistungsstarken neuen Traktoren und Erntemaschinen werden Hybrid-Traktoren sein. Sie werden  $\frac{2}{3}$  bis  $\frac{3}{4}$  der Energie aus dem Kraftstoff- bzw. Methan-gastank und  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{4}$  der Energie aus der Fahrbatterie entnehmen. Das hängt vom Preis für E-Fuel, Biomethan bzw. den Kosten von am Hof selbst erzeugtem Strom ab.
- Zurück zu vernünftigen Größen und Motorleistungen und autonomes Arbeiten kleiner Trägerfahrzeuge und Roboter eröffnen ein großes Potential an Energieeinsparung.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Sie können Fragen stellen**

Finden Elektrotraktoren den Weg in die Praxis?  
Landtechnik im Alpenraum - 03. April 2024  
Ewald Luger



Quelle: Elisabeth Luger