

# Elektrifizierter Radnabenantrieb im Traktor

Mike Geißler

Co-Autoren: TU Dresden  
Wolfgang Aumer  
Mirko Lindner  
Thomas Herlitzius



- Anforderungen an Fahrtriebe
- Potenzial elektrischer Antriebssysteme
- Elektrifizierter Einzelradantrieb
  - Auslegung: Spreizung, Direkt- oder Getriebeantrieb
  - Projektvorstellung
- Ausblick






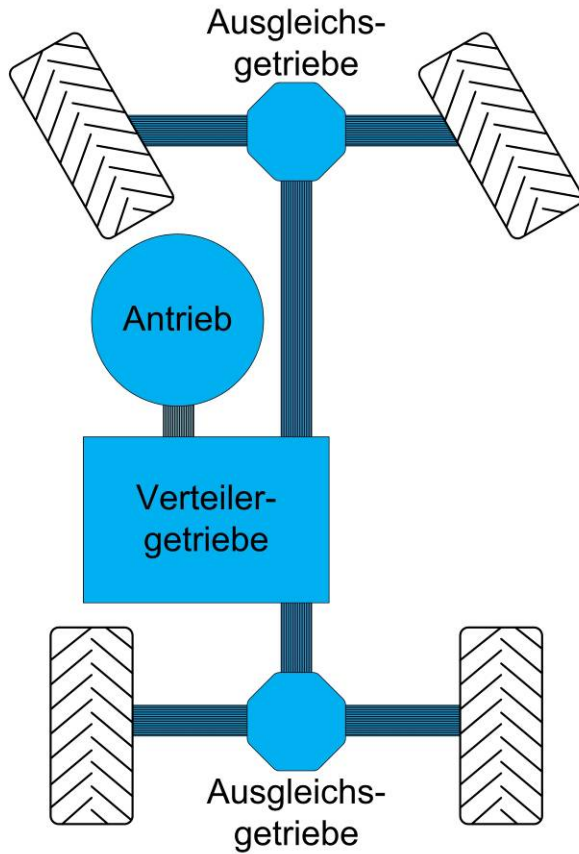
Forderung nach ...



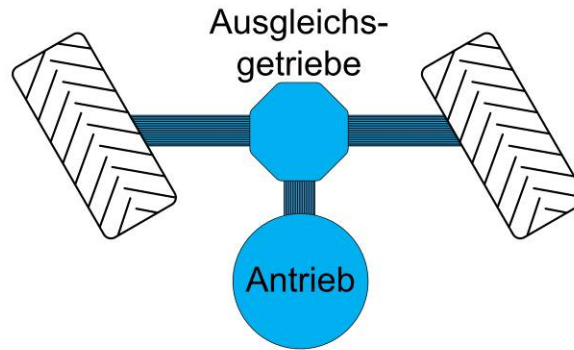
... intelligenten Antriebslösungen

- Stufenloses Fahren im gesamten Geschwindigkeitsbereich
- Hoher Antriebsstrangwirkungsgrad ( > 85 % )
- Allradantrieb
- Bauraumoptimierte Antriebe zur Steigerung der Leistungsdichte
- Variable Drehmoment- und Leistungsverteilung zwischen den Rädern
- Dynamische Rad-Boden-Schlupfregelung
- Reversierbetrieb

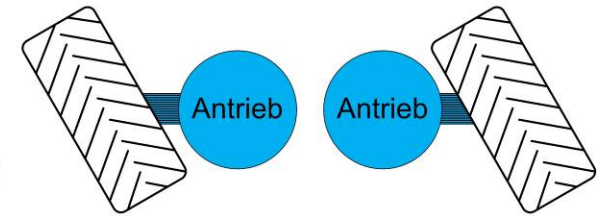
<i>Kriterium</i>	Traktor 	Arbeitsmaschine 	Anhänger mit Triebachse 
Anteil Fahrtriebsleistung an Gesamtleistung	bis 100 %	bis 40 %	bis 70 %
Getriebespreizung	groß	mäßig	gering
Rekuperation	eingeschränkt		
Lebensdauer	10.000 h	2.500 h	4.000 h



**Zentralantrieb**



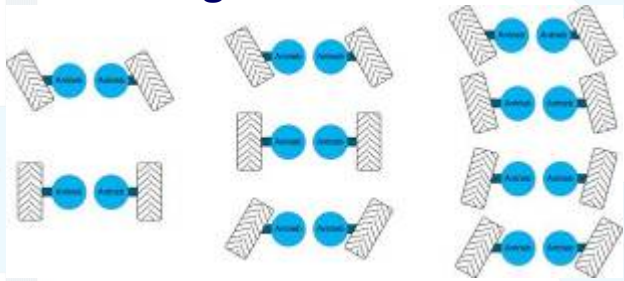
**Achsantrieb**



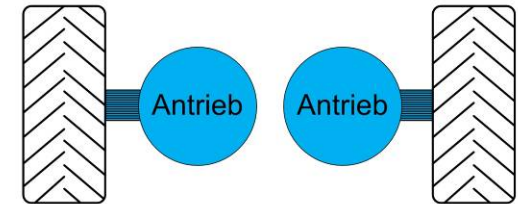
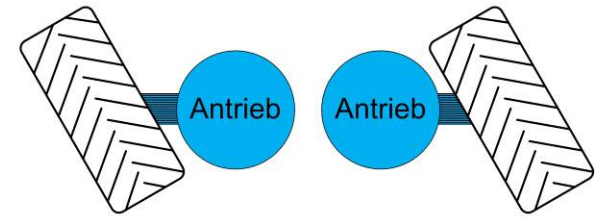
**Einzelradantrieb**

- ✗ Überdimensionieren ( $M \uparrow$ ) der Radmotoren
- ✗ Kosten

✓ Individueller Fahrzeugaufbau und zugkraftoptimierte Fahrwerkskonzepte durch freie Anordnung der Antriebskomponenten



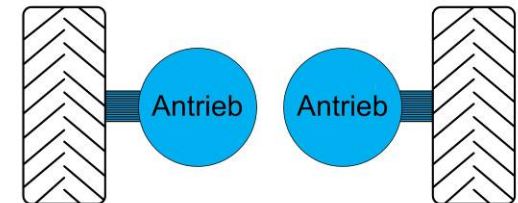
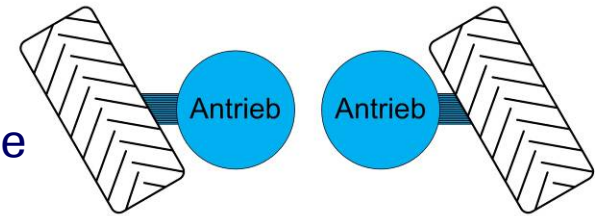
- ✓ Reduktion der Teile im Antriebsstrang
  - Wenige bewegliche Teile
  - Reduzierung der Bauteilvielfalt
  - Vergrößerung der Anzahl von Gleichteilen
- ✓ Niedriger Schwerpunkt erhöht die Kippsicherheit



**Einzelradantrieb**

## Entkopplung der Antriebsräder

- ✓ Präzise Regelung der Raddrehmomente
  - Effiziente Zugkraftübertragung durch aktive Traktionskontrolle
  - Active Yaw oder Torque Vectoring zum gezielten Unterstützen oder Unterdrücken von Kurvenfahrten
- ✓ Wegfall der Verteiler- und Differenzialgetriebe
- ✓ Keine Verspannungen im Antriebsstrang
  - Definierte Auslegung der Antriebselemente
  - Deutliche Bodenschonung
- ✓ Geringer Reifenverschleiß und hohe Toleranz gegenüber unterschiedlichen Reifenradien



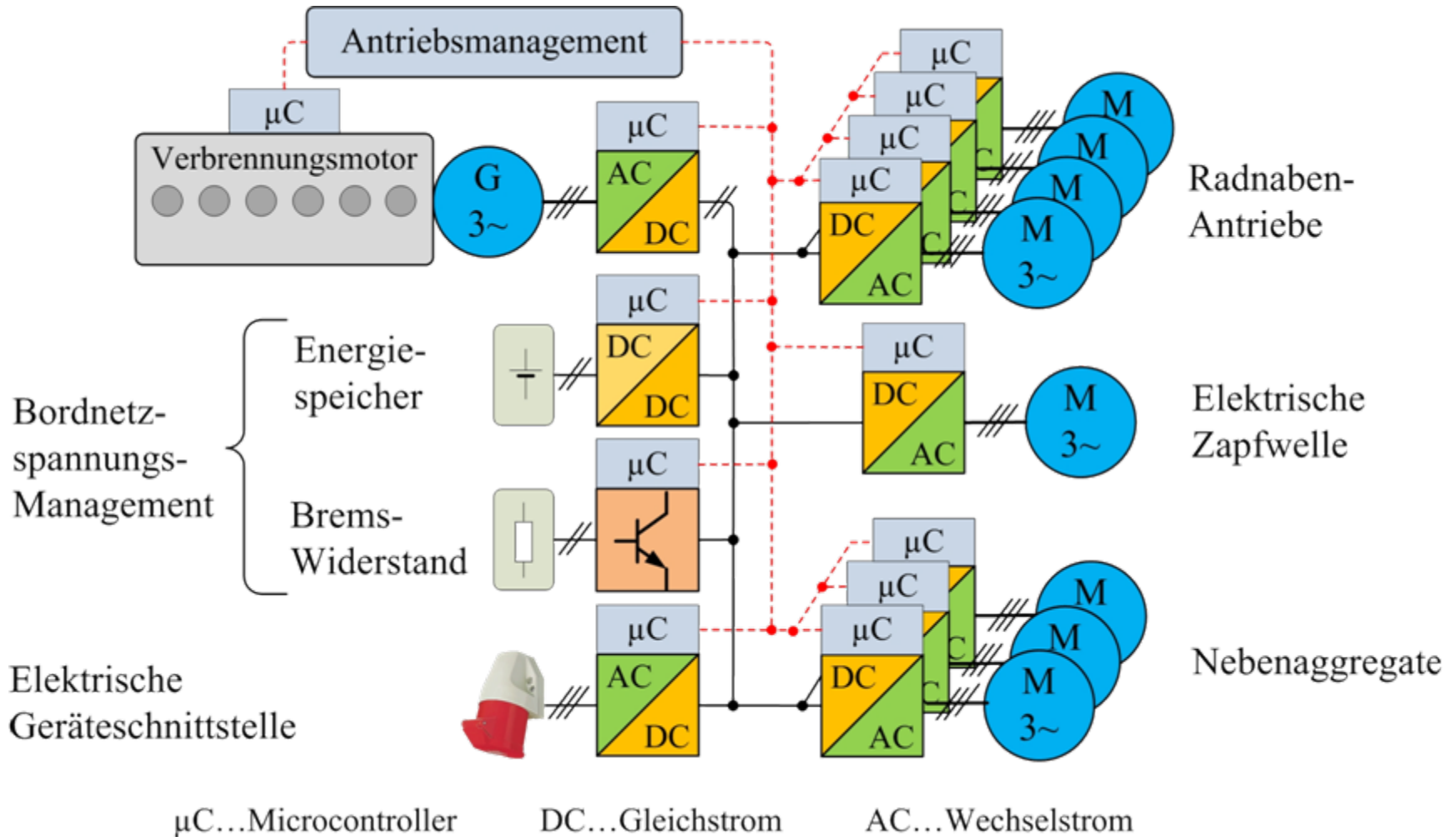
**Einzelradantrieb**

- Hohe Wirkungsgrade, vor allem im Teillastbereich
- 4 – Quadrantenbetrieb (motorisch / generatorisch)
- Sehr gute Steuer- und Regelbarkeit; variable Begrenzung des Kennfeldes
- Bauraumangepasster Aufbau
- Kurzzeitige Überlastfähigkeit der Motoren
- Verschleißarme Drehmomenterzeugung

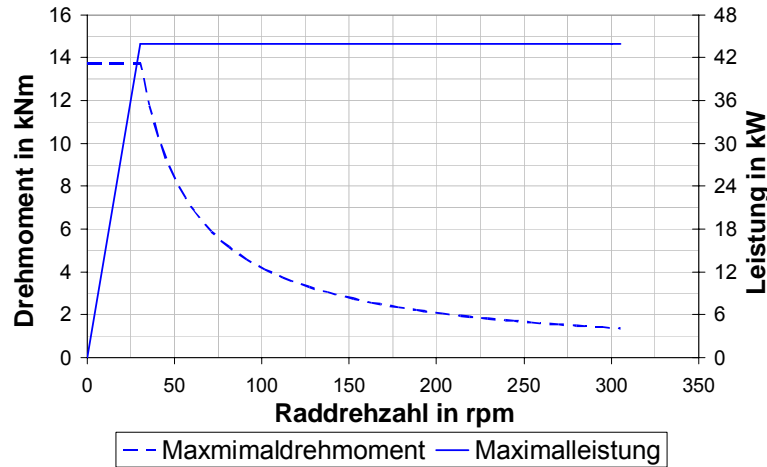




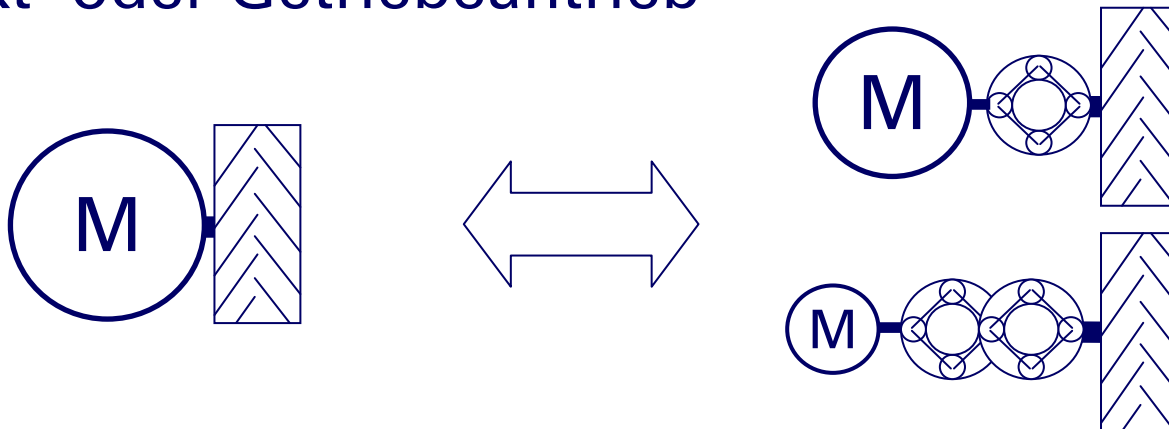
## Aufbau eines diesel-elektrischen Antriebssystems



- Realisierung der Radkennlinie – Spreizung



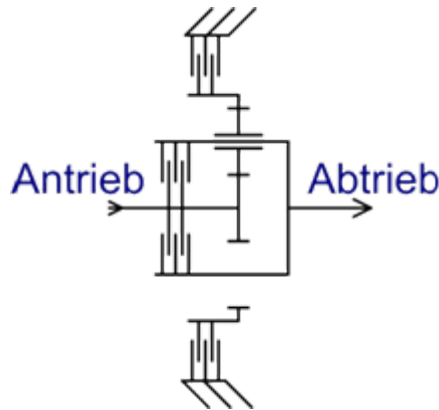
- Direkt- oder Getriebeantrieb



Problematik: Große Spreizung zwischen der nominellen und maximalen Drehzahl erfordert einen breiten Bereich konstanter Leistung

## Mechanisch

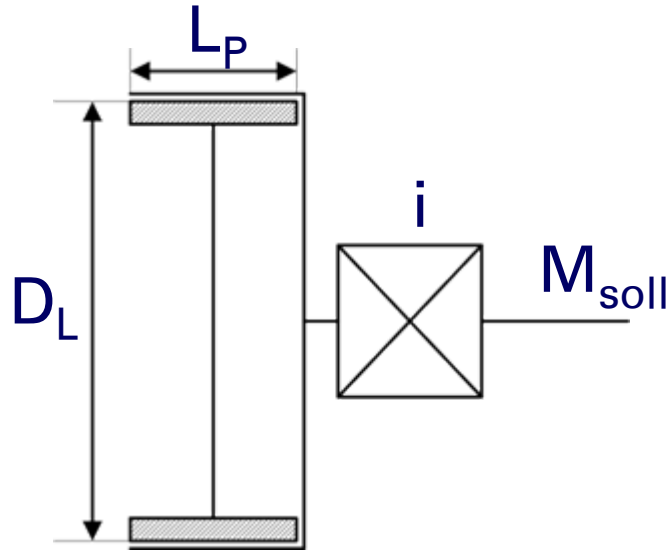
- Schaltgetriebe



## Elektrisch (elektromotorabhängig)

- Überdimensionieren (Nenn Drehzahl  $\uparrow$ )
- ASM: Pol-Amplituden Modulation (PAM), Pol-Phasen Modulation (PPM), Y/ $\Delta$ -Umschaltung [1]
- PSM: Windungszahlumschaltung [1]
- HPSM: Spezielle Rotorgeometrie mit vergrabenen Magneten
- SM: Elektrische Fremderregung

[1] Swamy,M.; etal.: Extended High-Speed Operation via Electronic Winding-Change Method for AC Motors. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS,VOL. 42, NO. 3, MAY/JUNE 2006



Variablen:  $i$  ... Getriebeübersetzung

$L_p$  ... Eisenlänge

$D_L$  ... Luftspaltdurchmesser

$\tau$  ... Drehschub

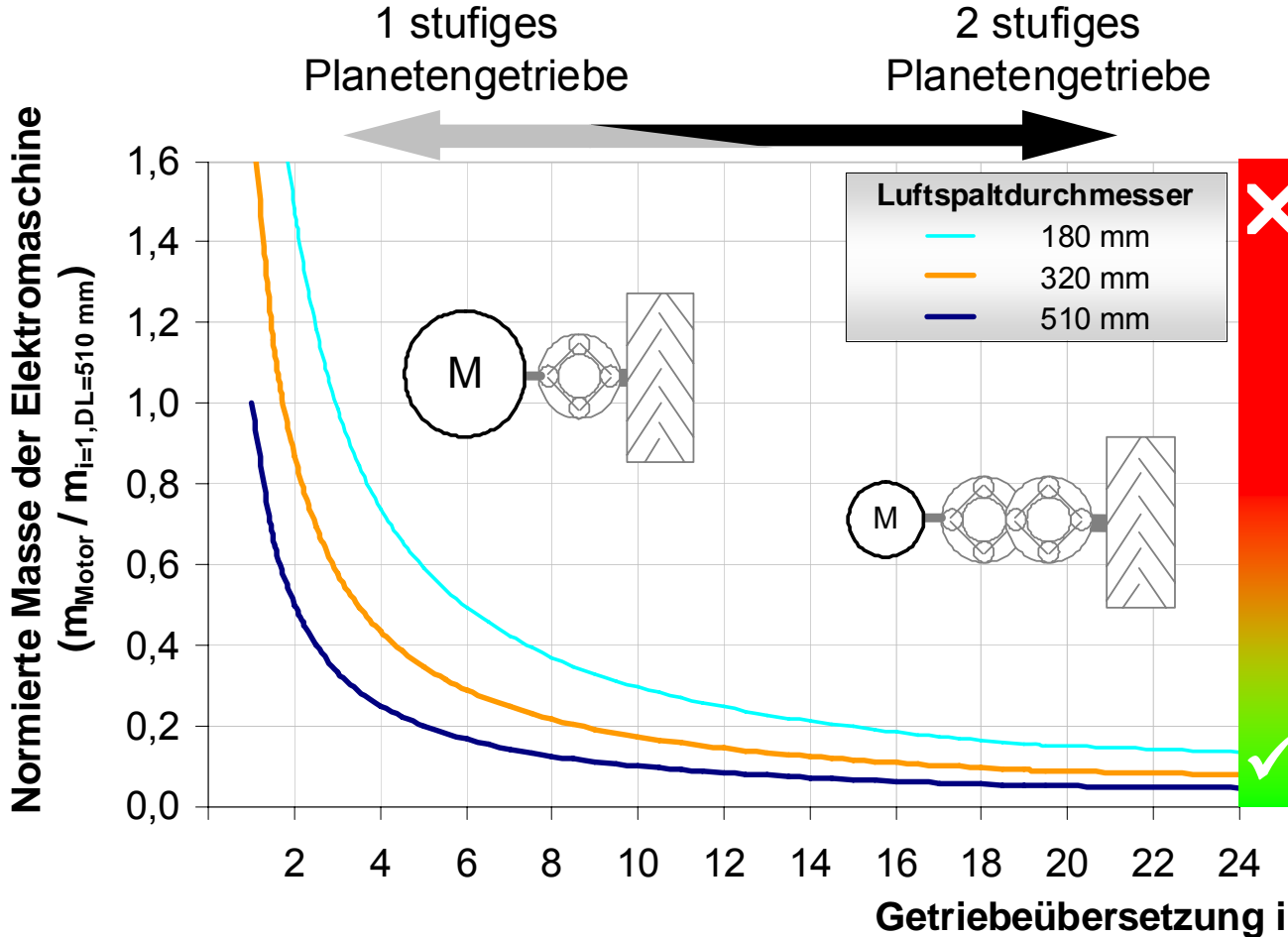
$$M_{soll} = i \cdot \frac{\tau \cdot \pi \cdot D_L^2 \cdot L_p}{2}$$

Optimierungsmöglichkeiten  $\rightarrow i_{optimal}$

- Motormasse:  $m = f(M)$
- Kinetische Energie des Fahrzeugs:  $E \sim J$

Drehmoment → Masse → Kosten

$$M_{soll} = i \cdot \frac{\tau \cdot \pi \cdot D_L^2 \cdot L_P}{2}$$



Vergleichsbasis:  
Synchronmotor mit  
 $D_L = 510 \text{ mm}$   
 $\tau = 3,0 \text{ N/cm}^2$

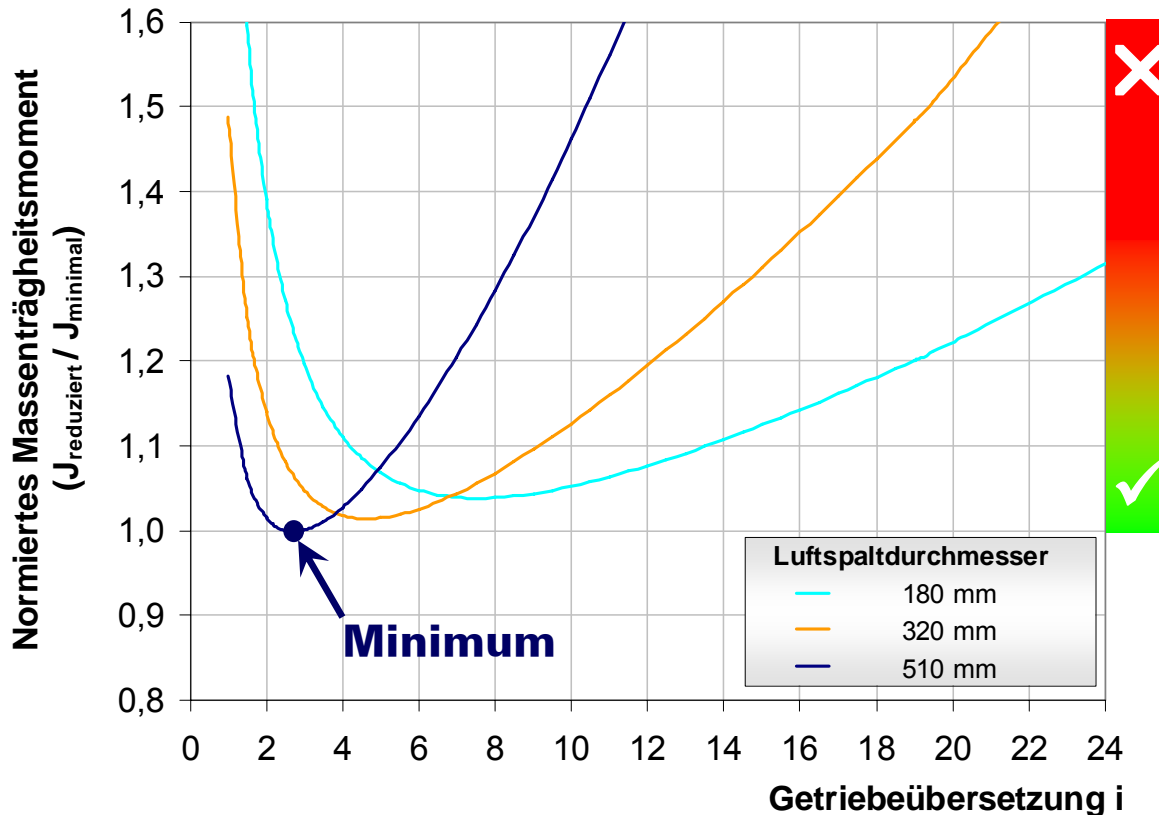
$$P = M \cdot \omega$$

$$P = \text{const.}$$

$$\rightarrow n \sim \frac{1}{M}$$

Kinetische Energie des Fahrzeugs (  $E \sim J$  )  $\rightarrow$  Fahrdynamik  
Transformation aller Trägheiten des Fahrzeugs

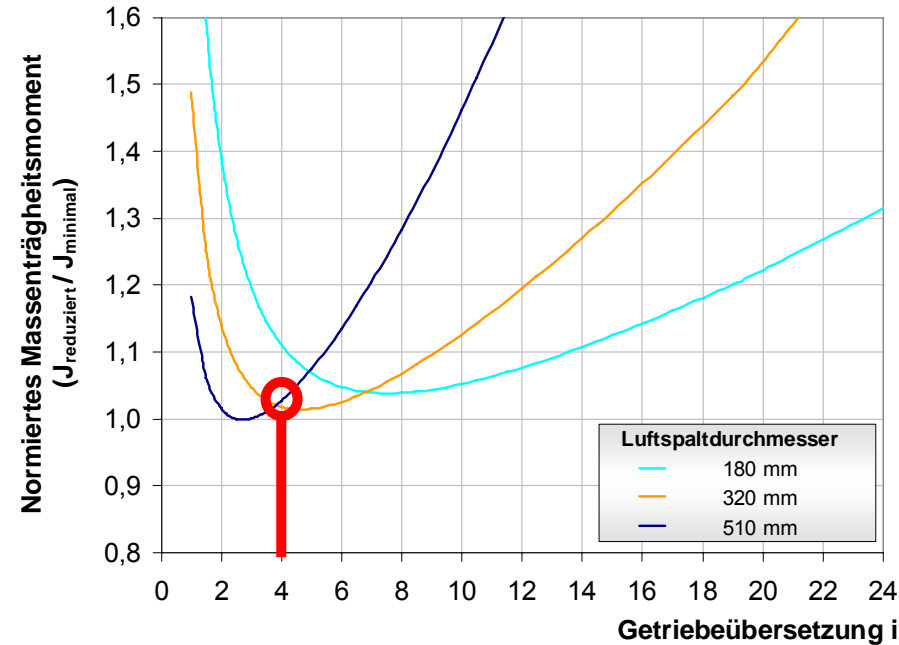
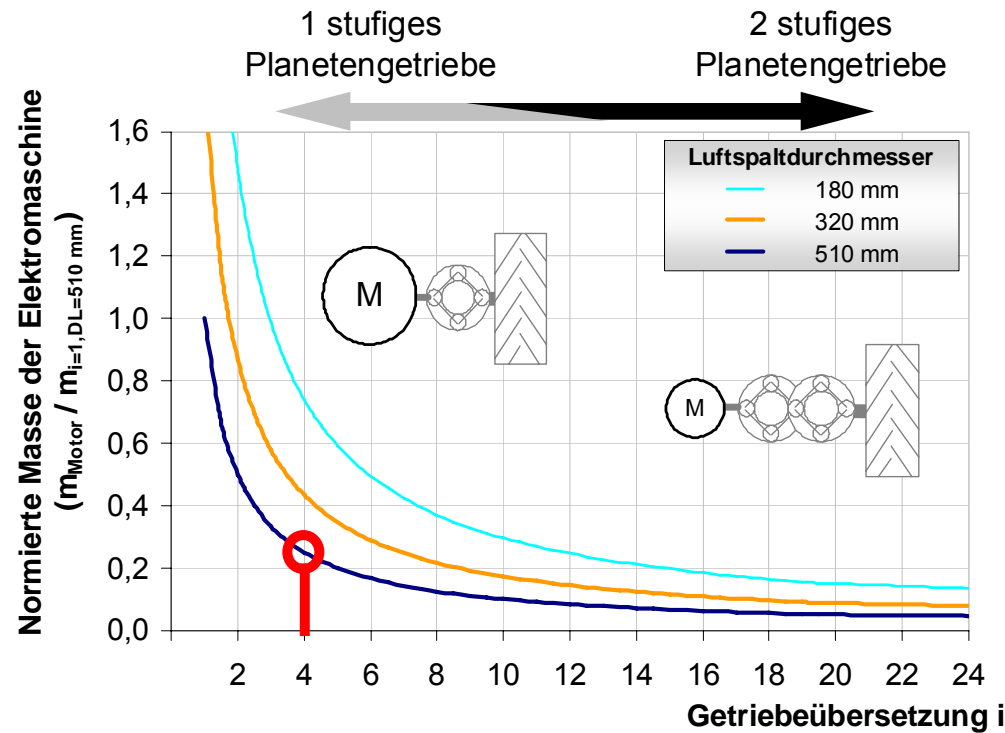
$$J_{\text{reduziert}}(i) = m_{\text{Fzg}} \cdot r_{\text{Rad}}^2 + n \cdot J_{\text{Rad}} + k \cdot m_{\text{Motor}}(i) \cdot r_{\text{Rad}}^2 + k \cdot i^2 \cdot J_{\text{Rotor}}(i)$$



- k ... Anzahl Motoren
- $m_{\text{Fzg}}$  ... Fahrzeugmasse
- $m_{\text{Motor}}$  ... Motormasse
- $r_{\text{Rad}}$  ... Radradius
- n ... Anzahl Räder
- $J_{\text{Rad}}$  ... Massenträgheit Rad
- $J_{\text{Rotor}}$  ... Massenträgheit Rotor

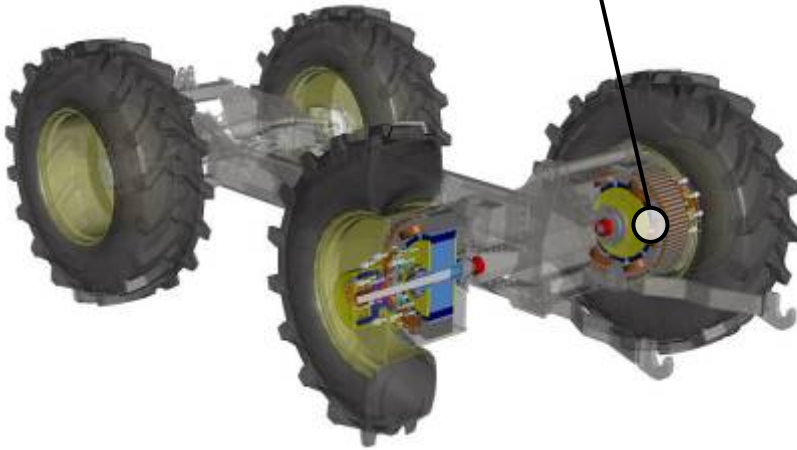
## Drehmoment vs. Drehzahl

( oder Motormasse vs. Kinetische Energie des Fahrzeugs )



→ Übersetzung von  $i = 4$  ist ein akzeptabler Kompromiss

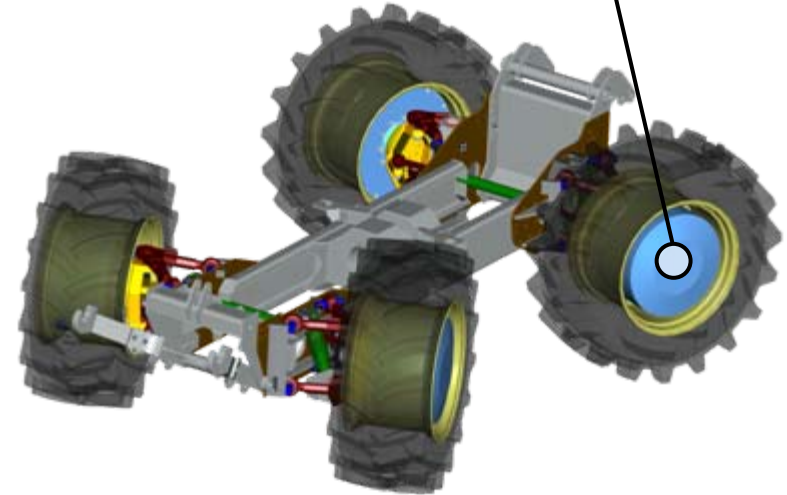
## 1. Phase



- Einzelradantriebe an der Hinterachse
- Standardkomponente - Getriebe
- Sonderanfertigung - Elektromotor
- Starrachse

- ✓ Überschaubares Entwicklungsrisiko
- ✗ Hohe Masse

## 2. Phase



- 4-Radantrieb
- Integration der Antriebskomponenten in die Felge (Motor, Getriebe, Bremse)
- Einzerradaufhängung

- ✓ Geringe Masse
- ✗ Hohe Entwicklungskosten





- Fahrzeug mit 4 identischen Rädern

Motorleistung 95 kW  
Bereifung 540/60 R28

zul. Gewicht 8000 kg

- Antriebsdaten für 1 Rad

$P_{\max} = 44 \text{ kW}$

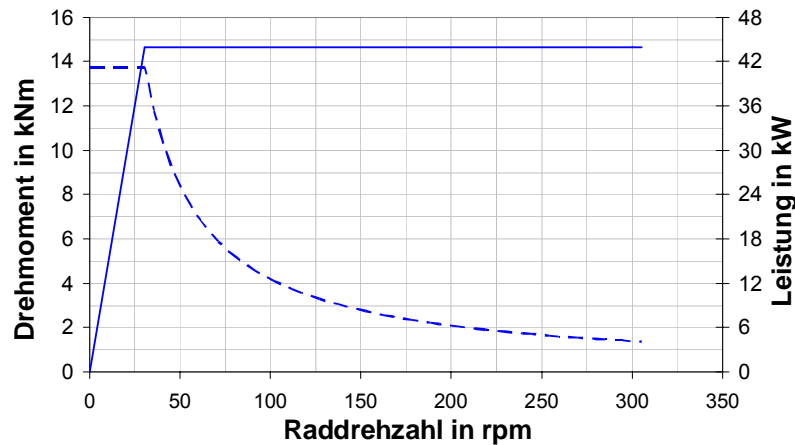
$P_{\text{Dauer}} = 33 \text{ kW}$

$M_{\max} = 14000 \text{ Nm}$

$M_{\text{Dauer}} = 8200 \text{ Nm}$

$v_{\max} = 65 \text{ km/h}$

- Radkennlinie (Spreizung 1:8,5)



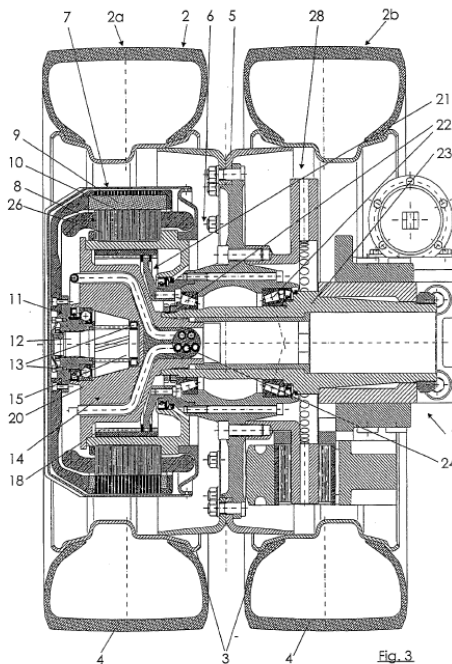
--- Maximaldrehmoment — Maximalleistung

## Konstruktive Anforderungen an einen Einzelradantrieb

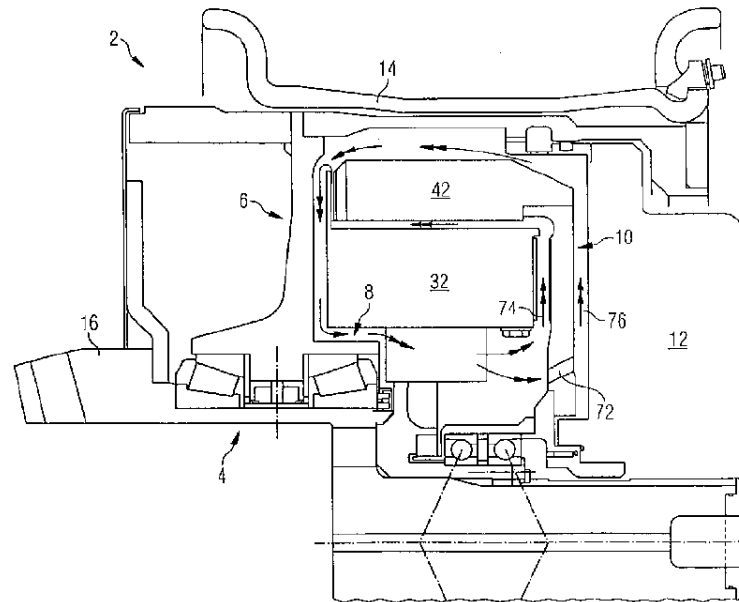
- Integration von Elektromaschine, Getriebe, Feststell- und Betriebsbremse für eine geringe Gesamtmasse
- Modularer Aufbau der Antriebseinheit  
→ Austauschmöglichkeit von Motor, Bremse, Getriebe und verschleißbehaftete Bauteile
- Nutzen des freien Bauraums in der Felge → Axial kurz, Radial groß
- Einfache Anbindung an das Fahrzeug
- Trennung zwischen den elektromechanischen Komponenten und den mechanischen Hauptbelastungen
- Anwendung: Traktoren, mobile Landmaschinen, Anhänger mit Triebachse, Baumaschinen

## Patentsituation

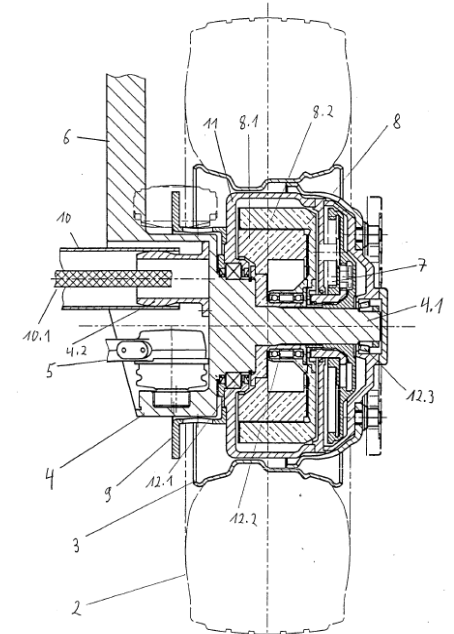
- 1896 Schriften gesichtet und unterteilt in „Direktantrieb ohne Getriebe“, „Radantrieb mit Getriebe“ und „Achsantrieb“
- 12 Schriften für Getriebeantriebe mit einem Außenläufermotor



DE 197 32 637 C5

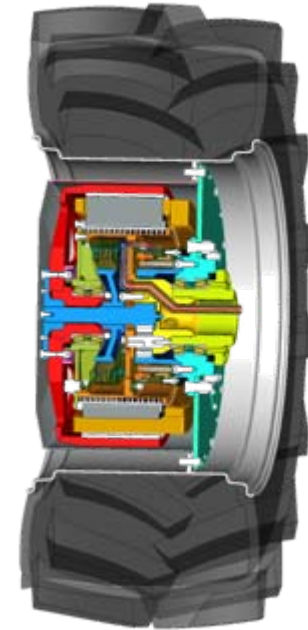
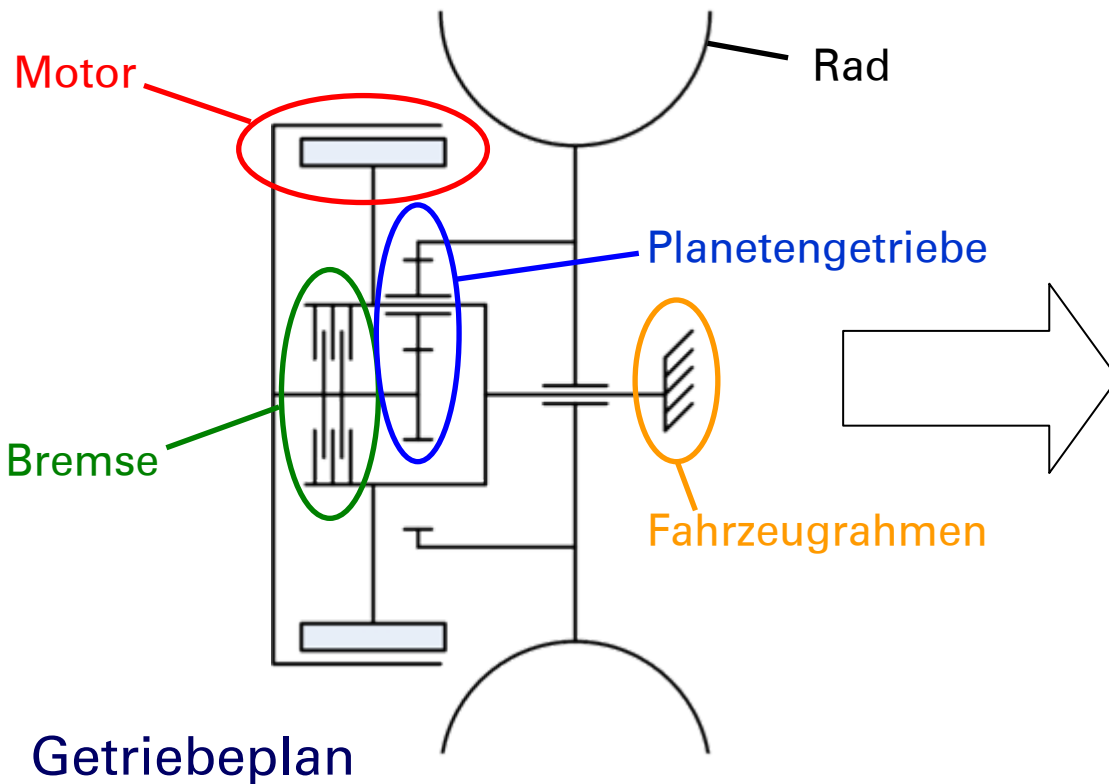


DE 10 2004 044 688 A1

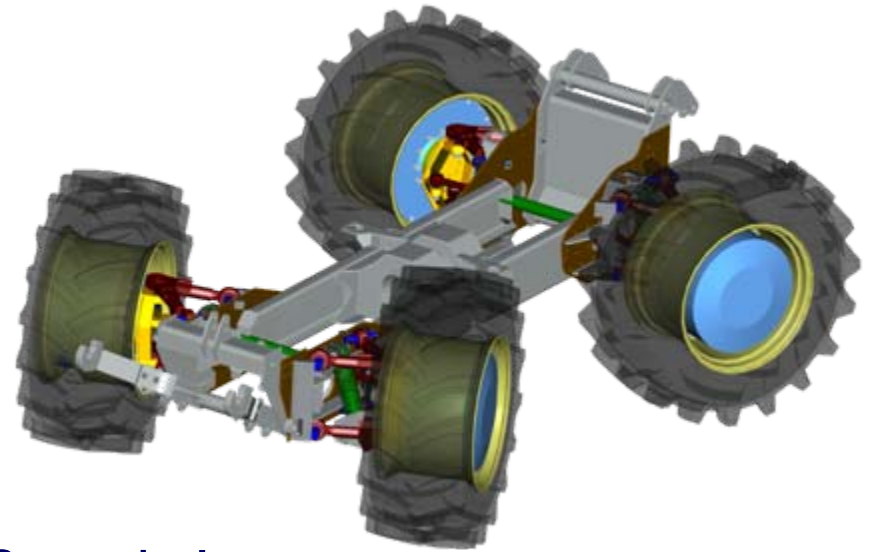


DE 101 21 372 A1

- 106 mögliche Varianten aufgestellt
- 30 realisierbare Varianten bewertet



- Ausführliche Untersuchung des gesamten Antriebssystems
- Optimieren der Elektromotoren mit einer leistungsfähigeren Kühlung
- Entwickeln von Radantrieben größerer Leistung
- Integration der Leistungselektronik in das Rad
- Anpassen des Konzeptes an weitere Anwendungen, wie mobile Landmaschinen, Anhänger mit Triebachsen, Baumaschinen



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

gefördert durch:



Projektpartner:



unterstützt durch:

