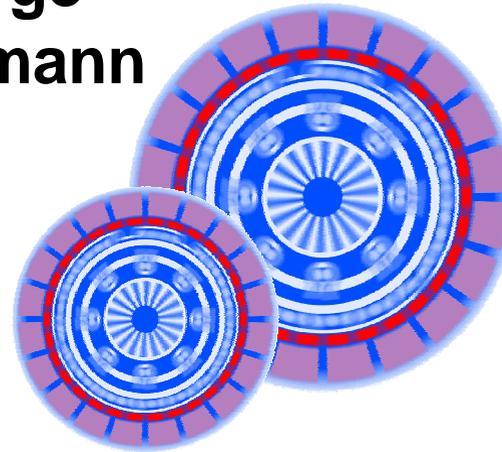


# Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung → Hybridgetriebe

---

Prof. Dr.- Ing. Peter Tenberge \*  
Prof. Dr.- Ing. Wilfried Hofmann



Fachtagung E-Maschine im Antriebsstrang



Institut  
für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes  
Fahrzeuggetriebe  
mit elektrischer  
Regelung



Hybridgetriebe

**Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung**



# **Hybridgetriebe**

**Anforderungen an ein Fahrzeuggetriebe**

**Konzept und Aufbau des Hybridgetriebes**

**Funktionen und Regelung des Hybridgetriebes**

**Simulationsergebnisse**



**Institut  
für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik**

**Prof. Dr. Tenberge**

**Automatisiertes  
Fahrzeuggetriebe  
mit elektrischer  
Regelung**



**Hybridgetriebe**

**4/1999**

**1**

# Stand der Technik bei Fahrzeuggetrieben (Serien)



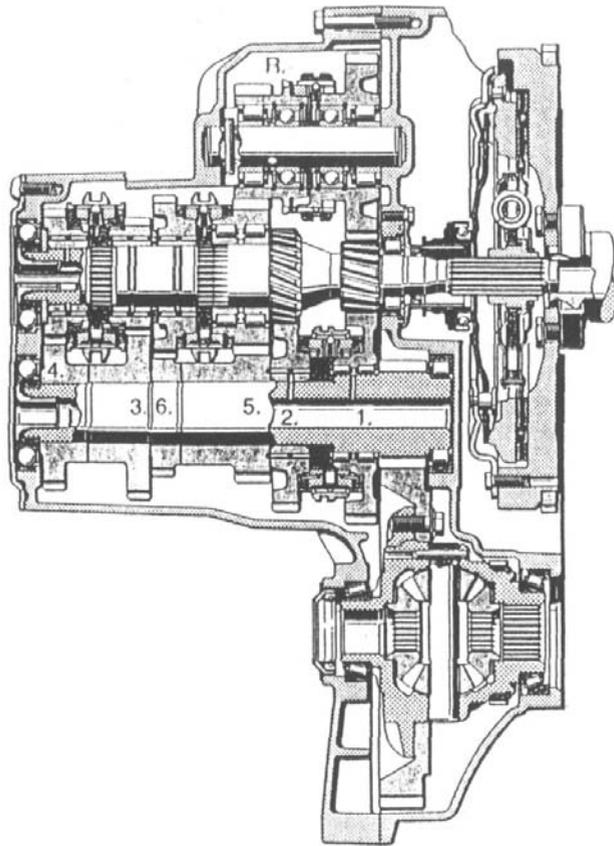
Institut  
für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

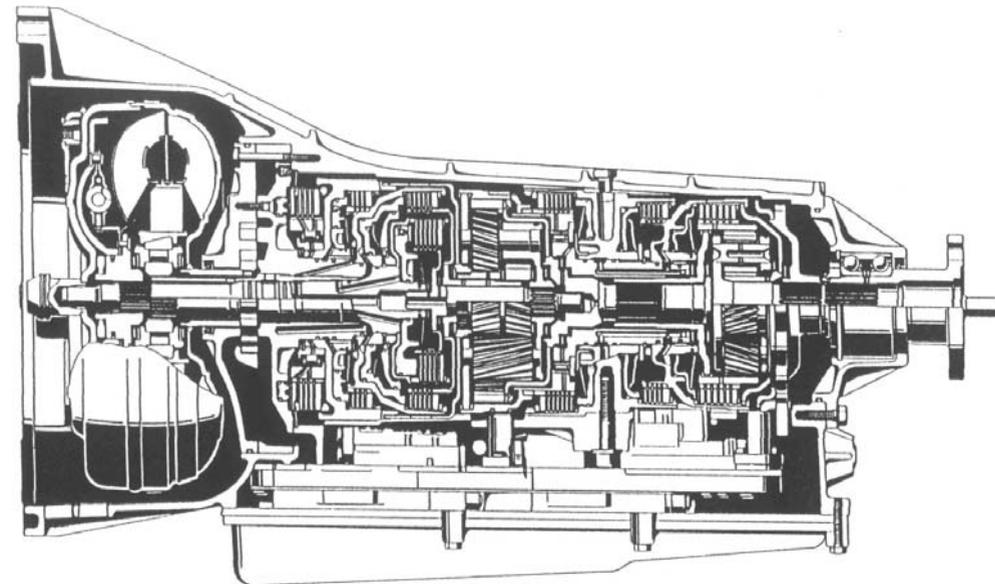
Automatisiertes  
Fahrzeuggetriebe  
mit elektrischer  
Regelung



Hybridgetriebe



**6-Gang  
PKW-Handschatgetriebe  
(OPEL F28-6)**



**5-Gang  
PKW-Automatgetriebe  
(ZF 5HP 18)**



Institut  
für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes  
Fahrzeuggetriebe  
mit elektrischer  
Regelung



Hybridgetriebe

4/1999

3

**Hoher  
Wirkungsgrad**



- Kraftübertragung möglichst über Zahnräder
- Wenig leerlaufende Zahnräder und Schaltelelemente

**Geringer  
Energieverbrauch**



- Weite Getriebespreizung  $\infty > i > 0,5$
- Stufenlose Übersetzungsänderung
- Bremsenergierekuperation

**Hoher  
Komfort**



- Leises Betriebsgeräusch
- Automatisierte Übersetzungsänderung nach Fahrerwunsch
- Wenige ruckfreie Schaltungen im Übersetzungsbereich

**Wettbewerbs-  
fähig bei Gewicht,  
Bauraum, Kosten**



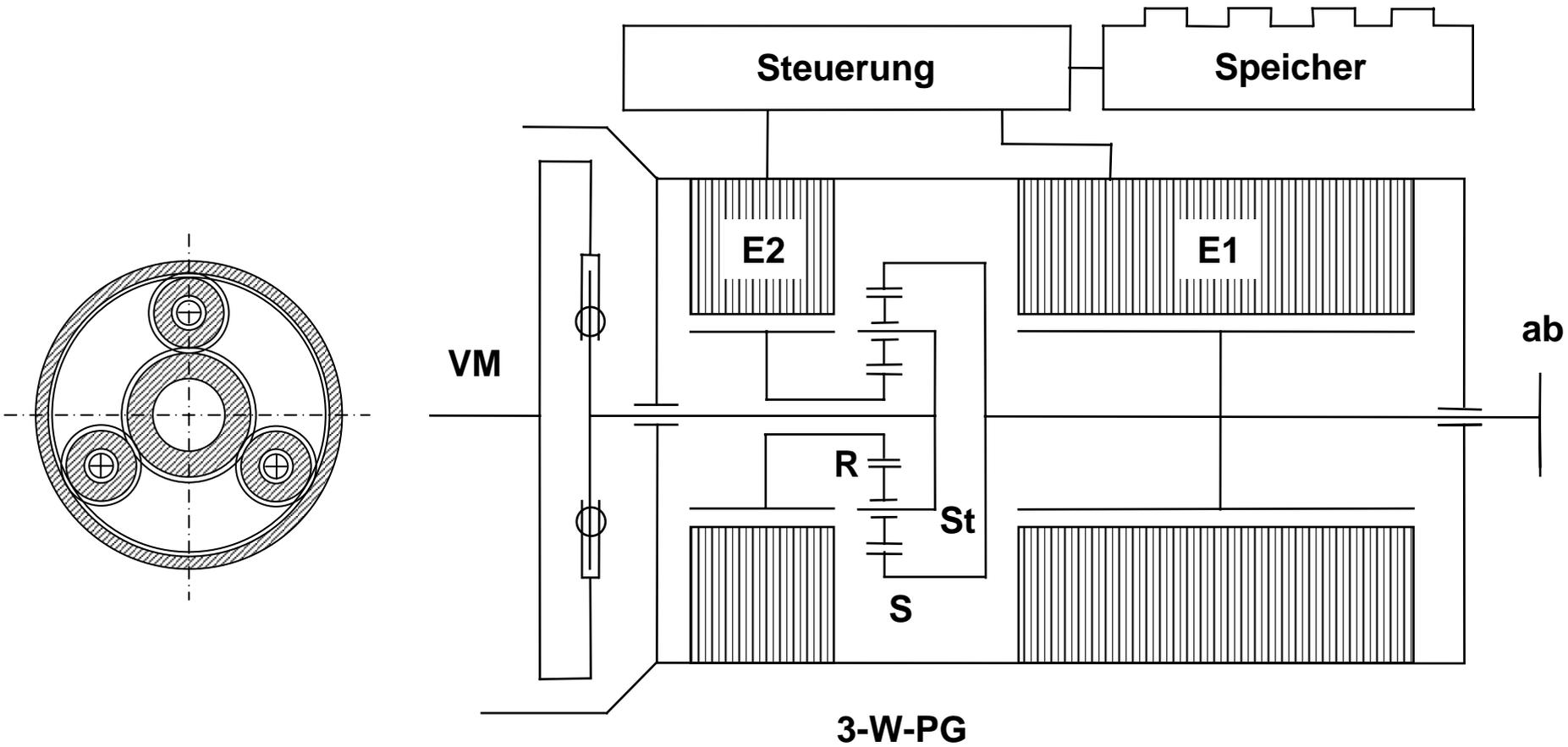
- Möglichst wenige, einfache Bauteile
- Mehrfach-Nutzung der Bauteile für alle Getriebefunktionen
- Anfahren, Drehmomentaufbau, Übersetzungsverstellung, Bremsen

**Zusatznutzen**

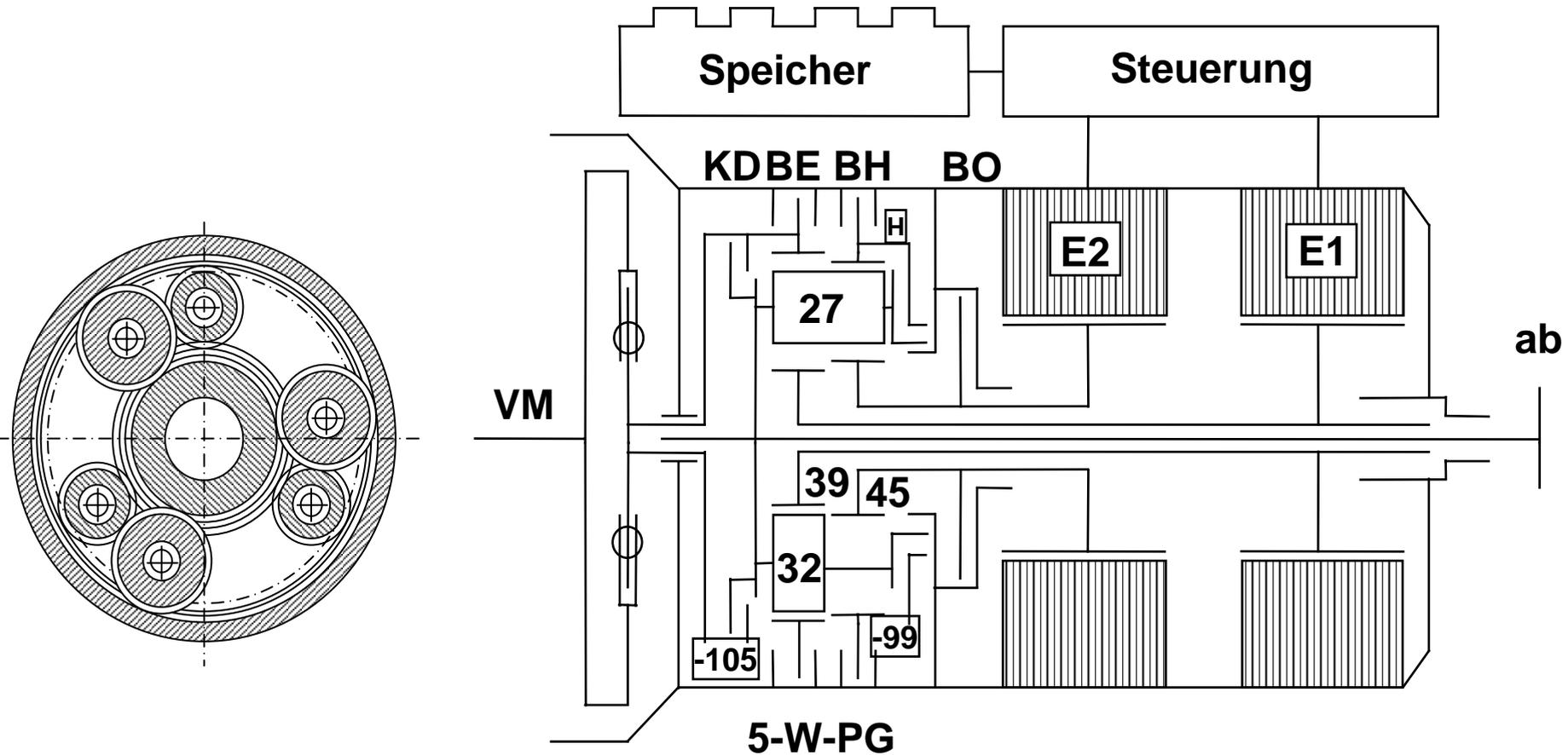


- Starterfunktion, Generatorfunktion

## Anforderungen an neuartige Fahrzeuggetriebe



# Konzept des TOYOTA-Hybridsystems mit 3-Wellen-Planetengeriebe



# Konzept des Hybridgetriebes HG 120 mit 5-Wellen-Planetengetriebe



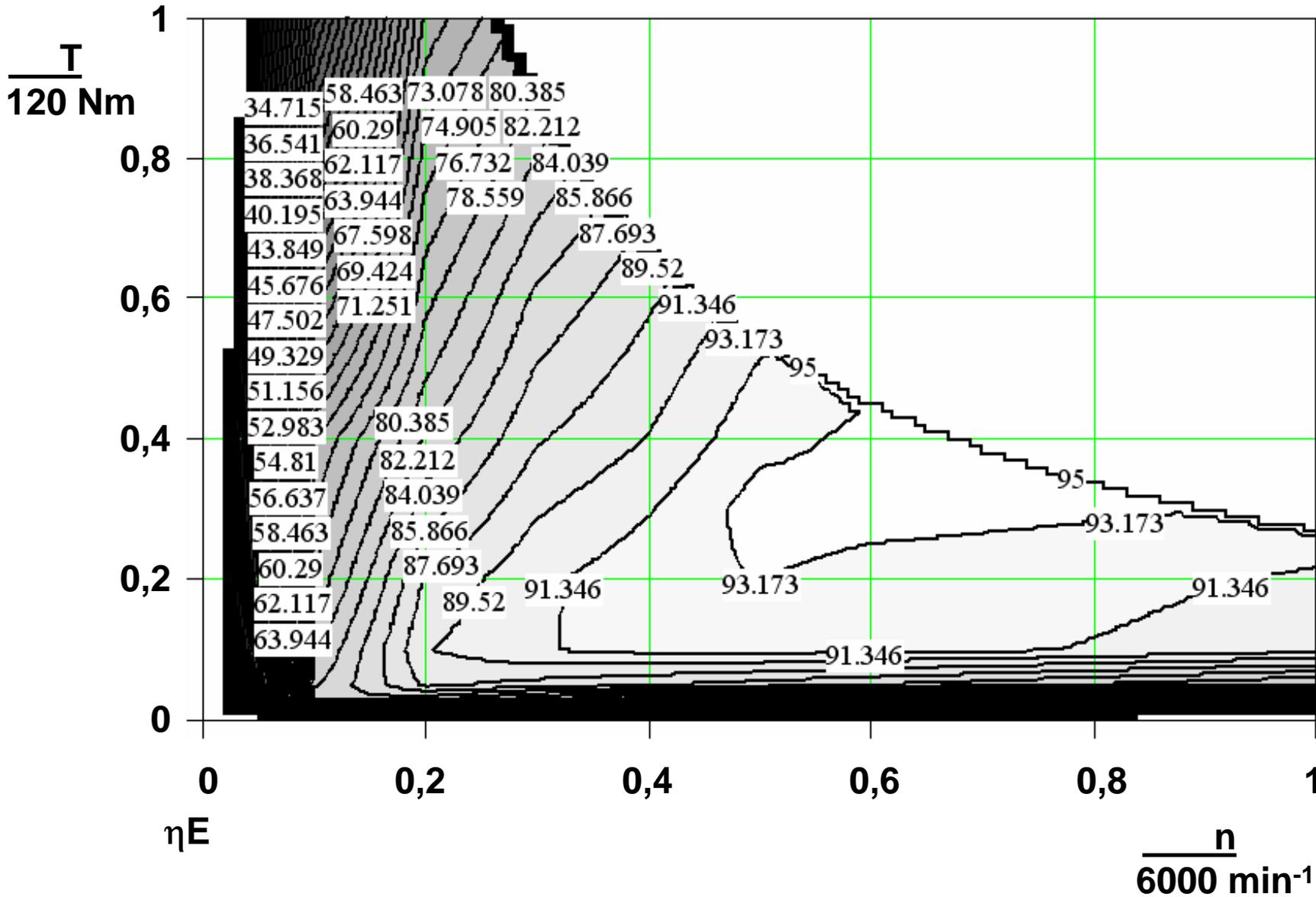
Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe



Wirkungsgradkennfeld einer permanentenerregten Synchronmaschine



Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

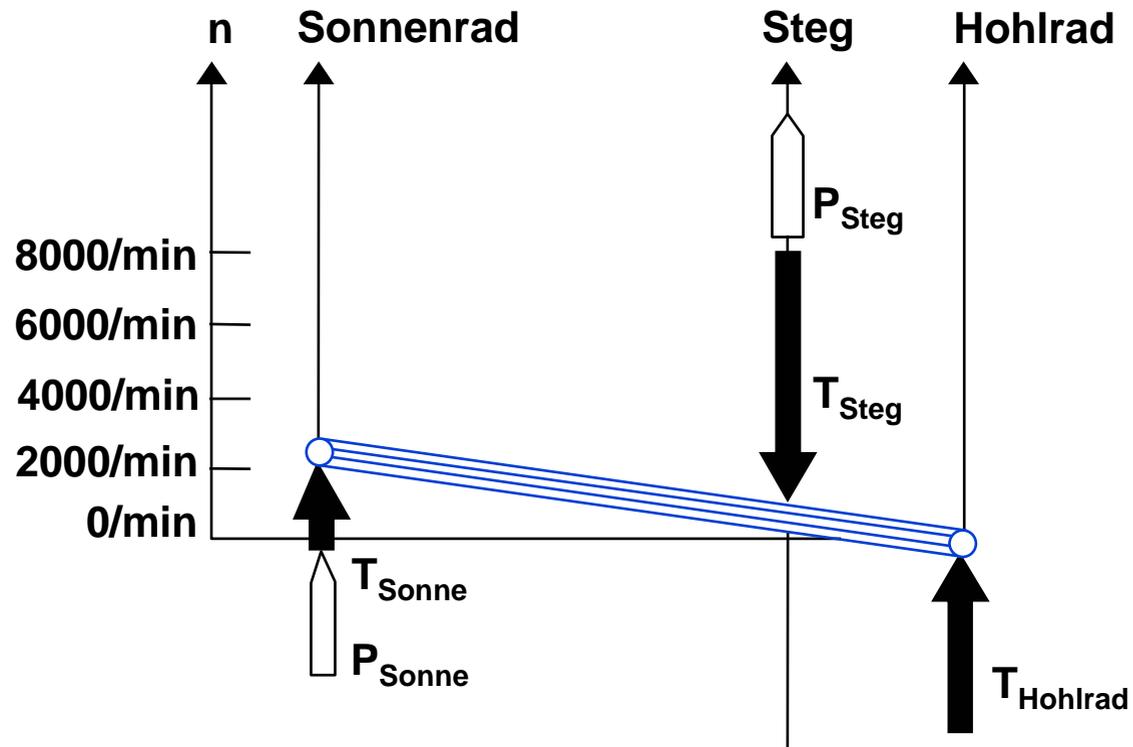
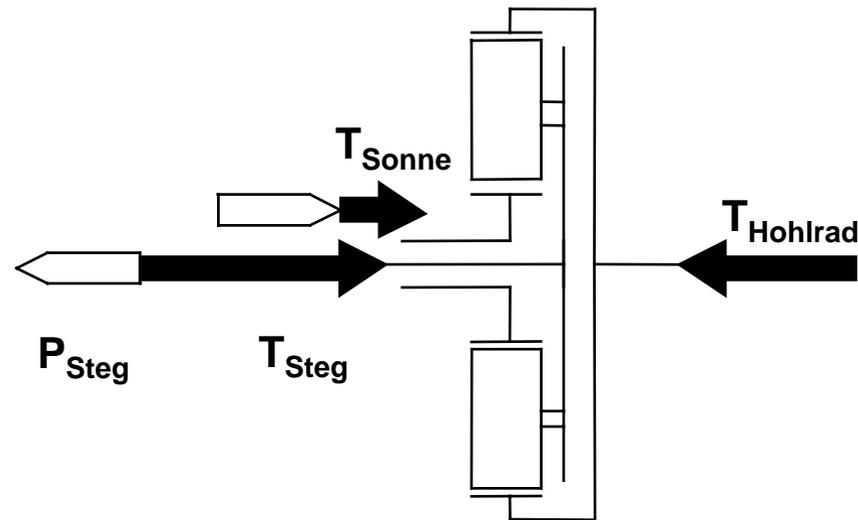
Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe

4/1999

7



# Drehzahlen, Drehmomente und Leistungen in Planetengetrieben



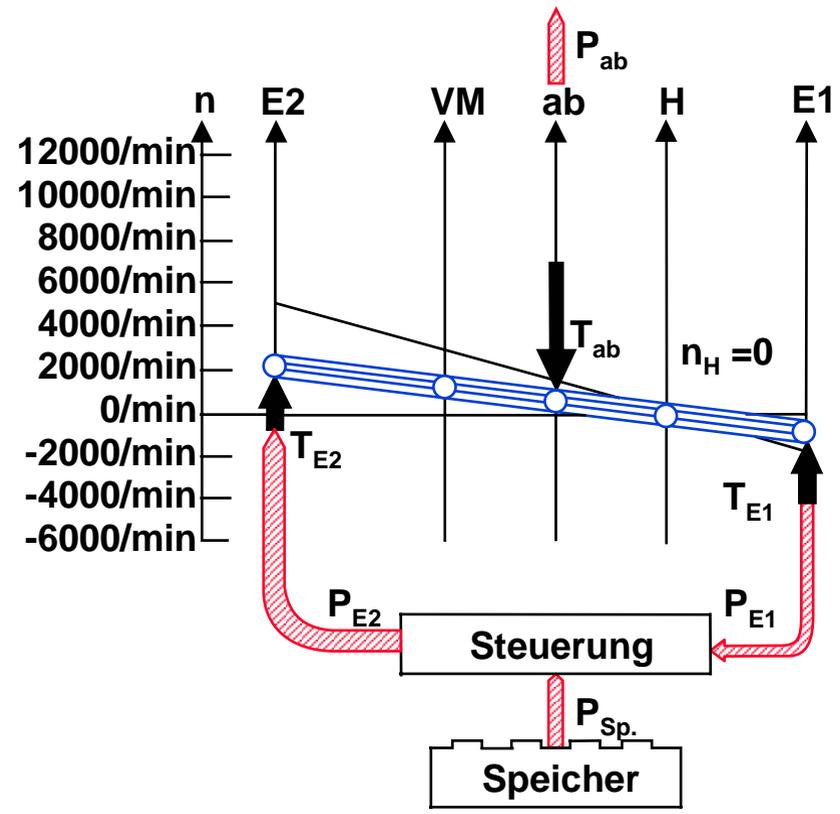
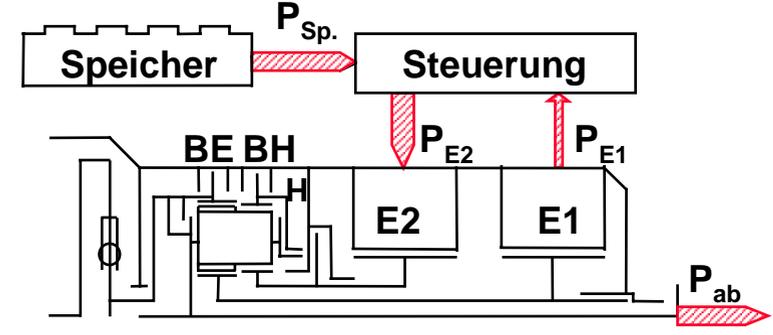
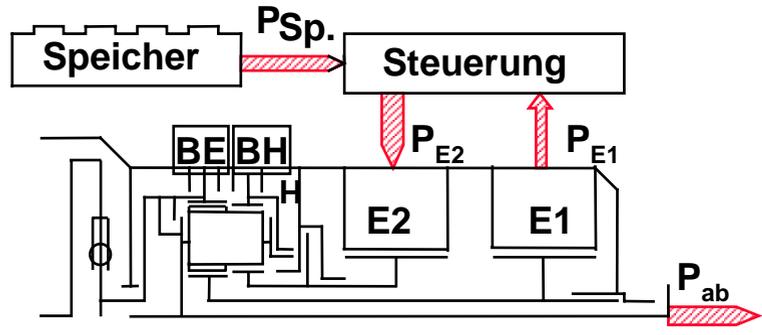
Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

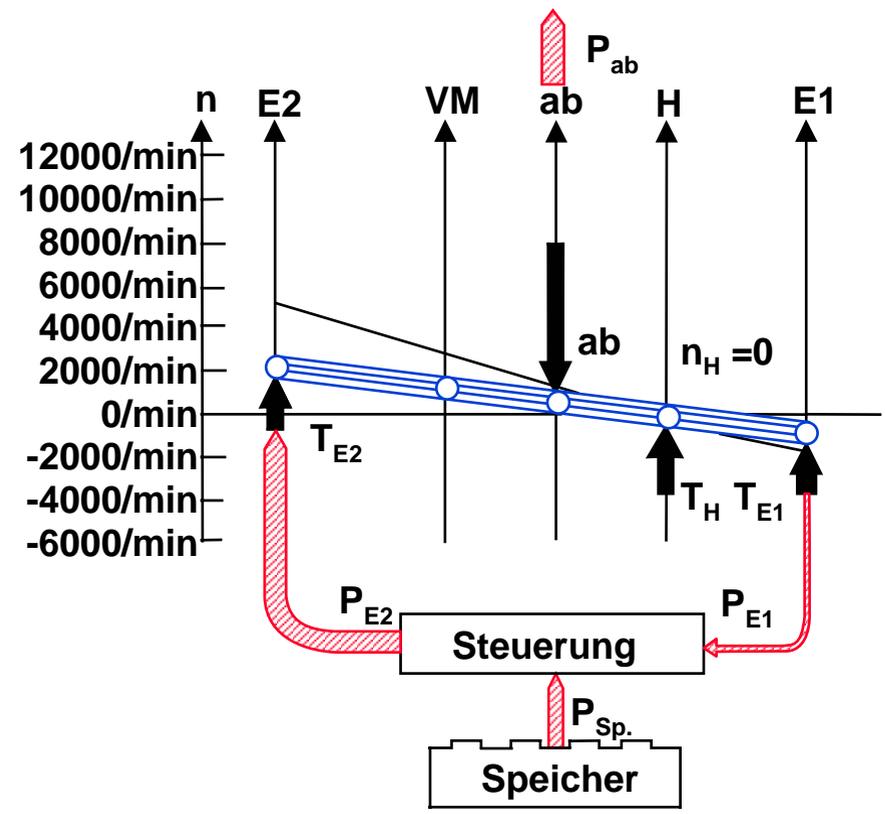
Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe



Anfahren mit kleiner Last



Anfahren mit mittlerer Last



Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

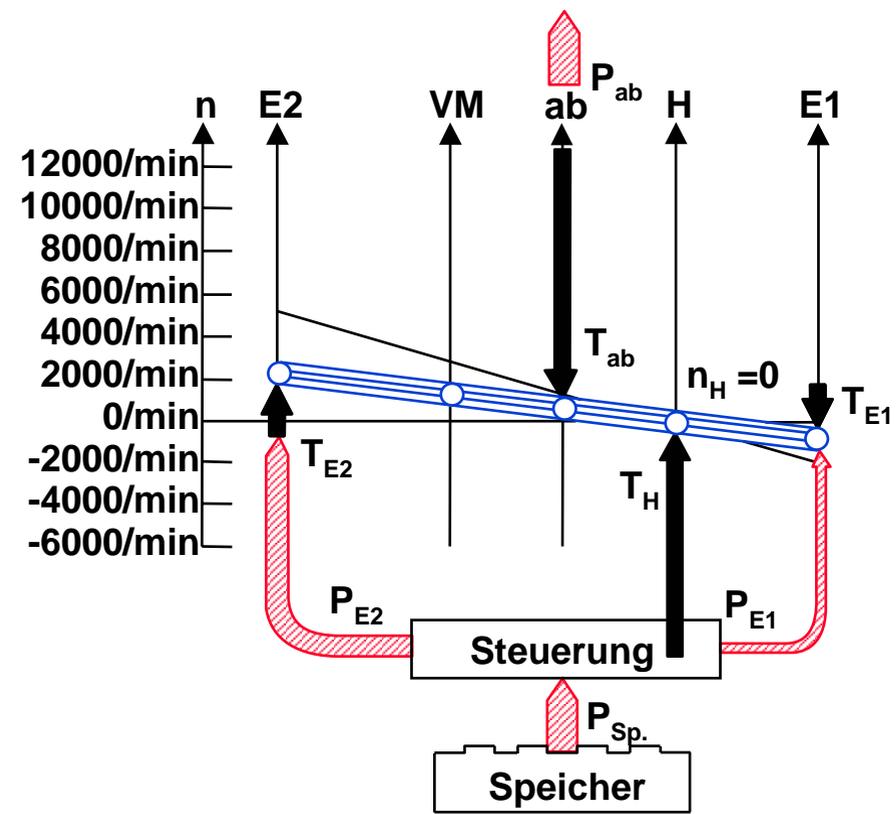
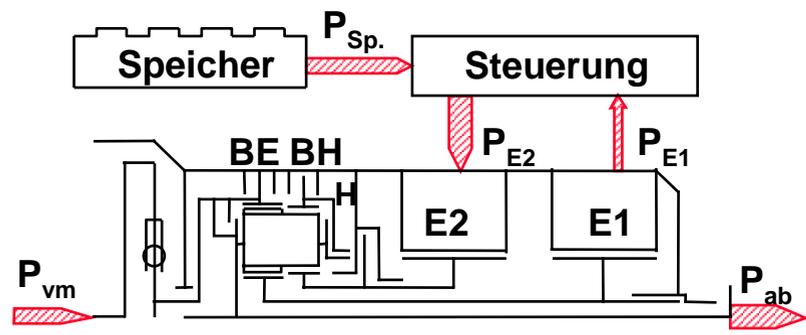
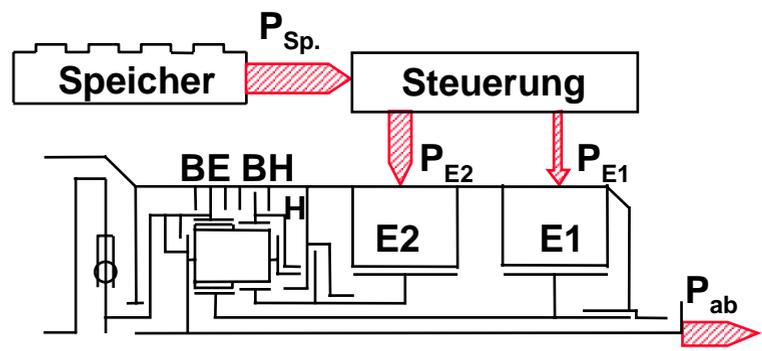
Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



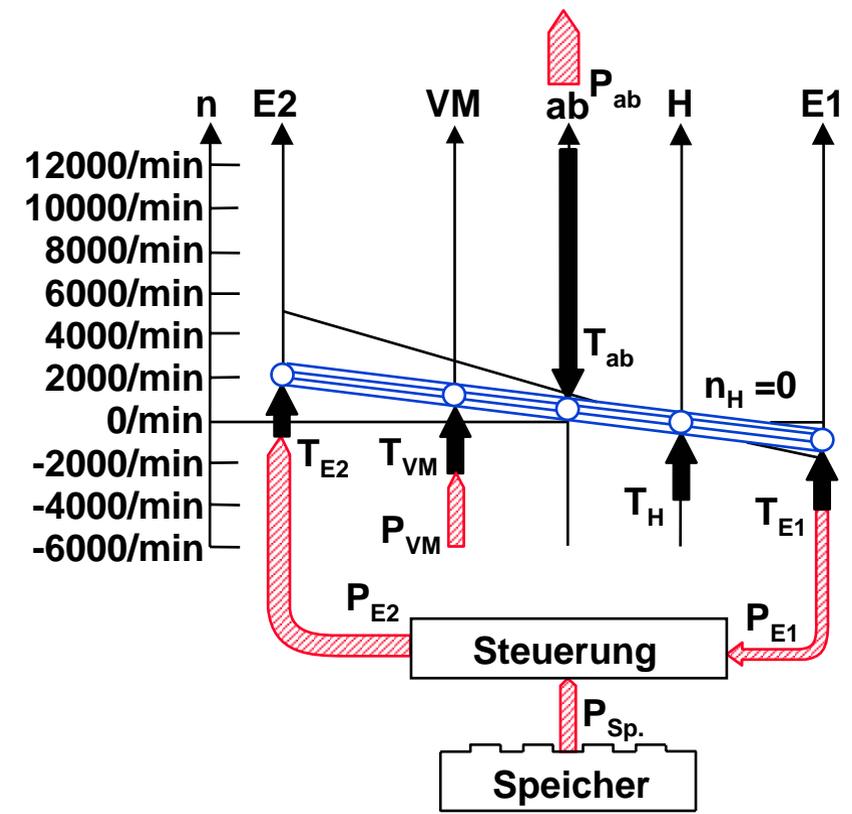
Hybridgetriebe

4/1999

9



Anfahren mit hoher Last



Anfahren mit 3 Antrieben



Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

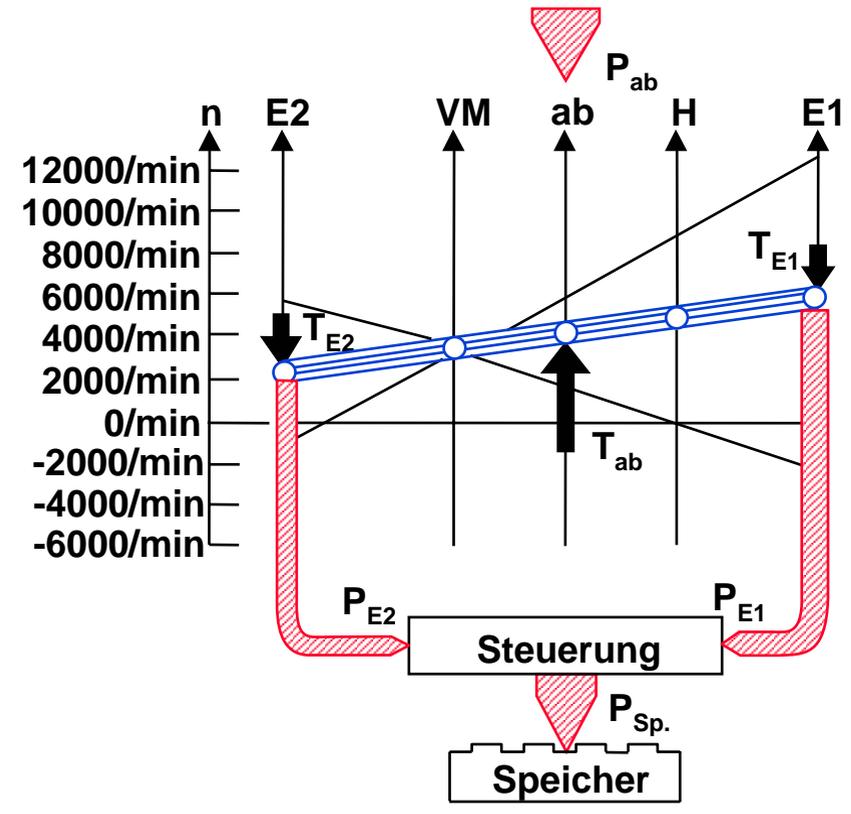
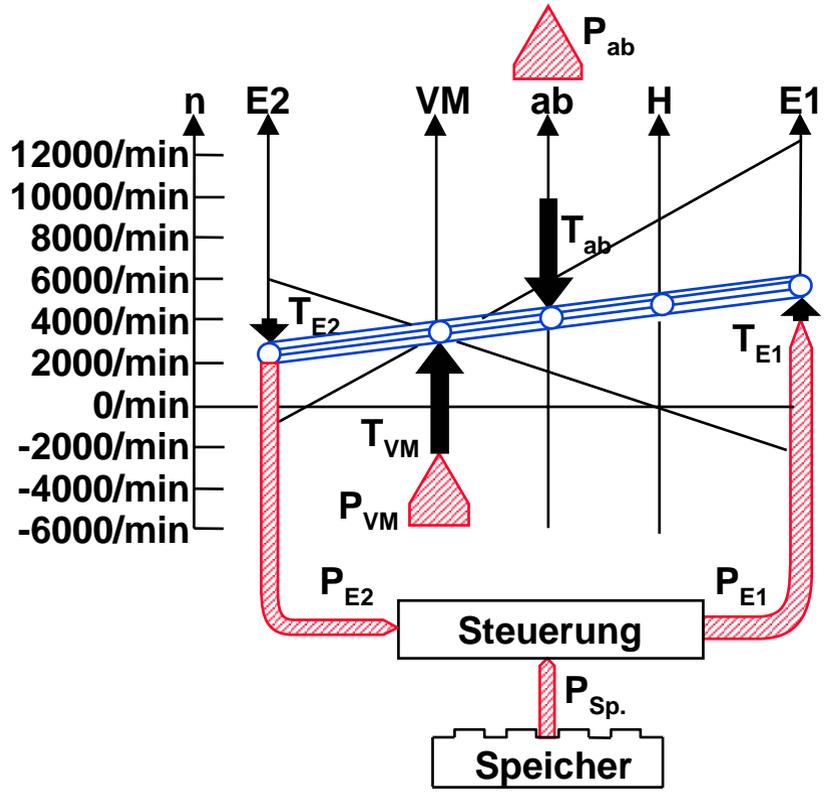
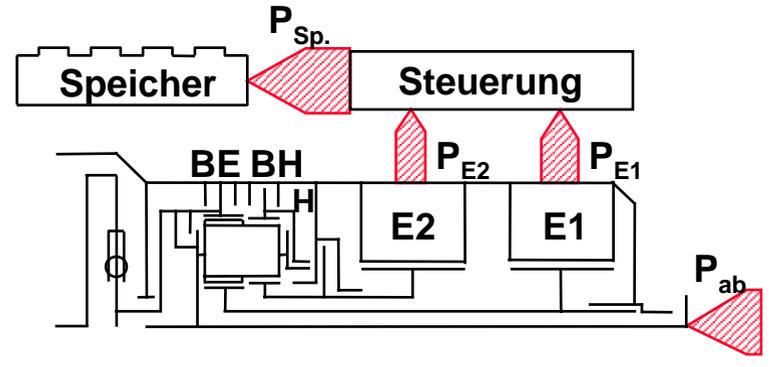
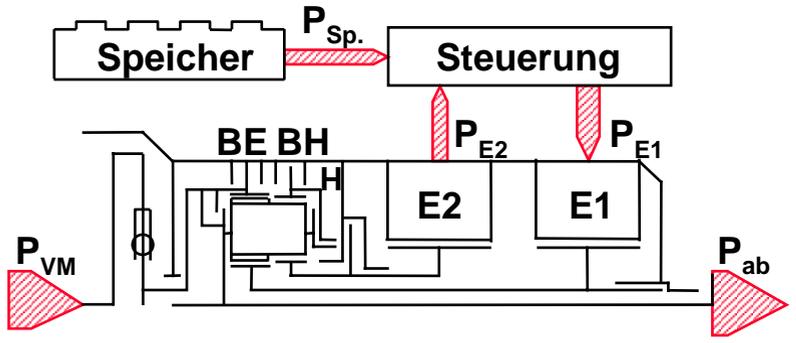
Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe

4/1999

10



Hybrides Fahren mit Speicherbetrieb

Elektrisches Bremsen



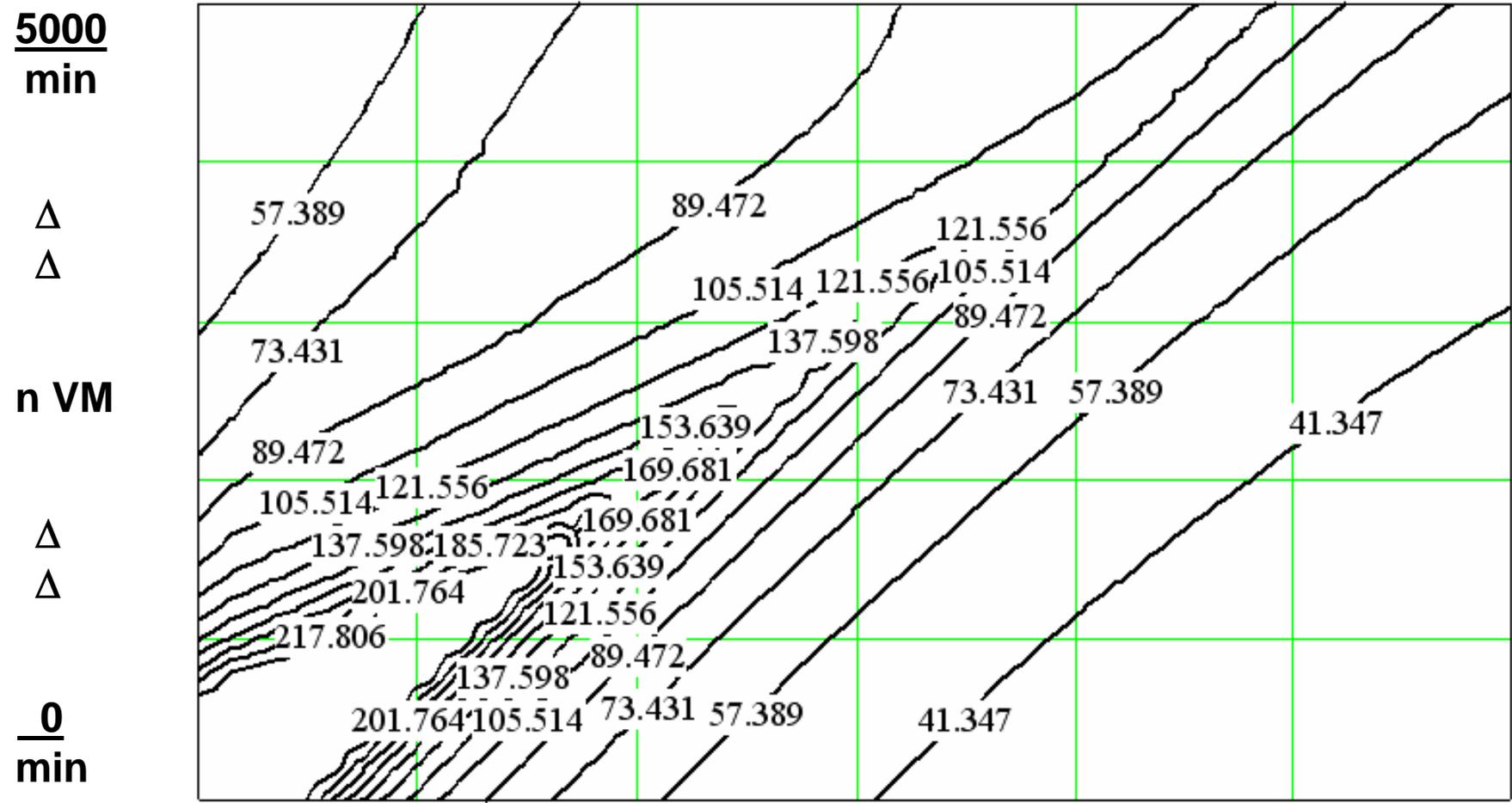
Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe



**TB**  
Nm

0/min >> nab >> 6000/min

# Maximale elektrische Bremsmomente am Abtrieb des HG 120



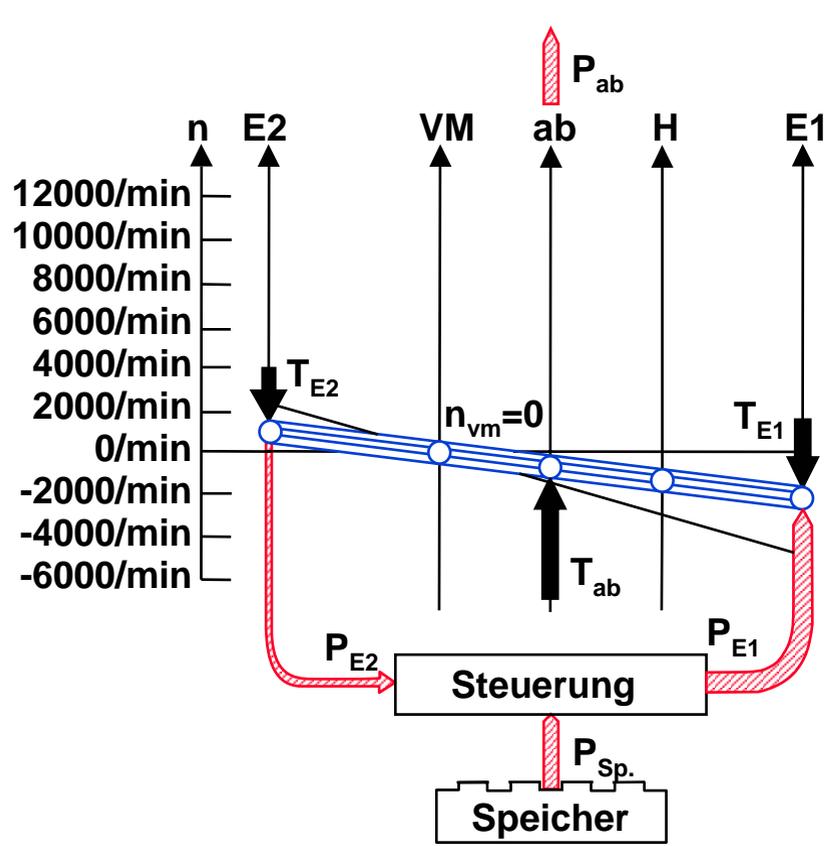
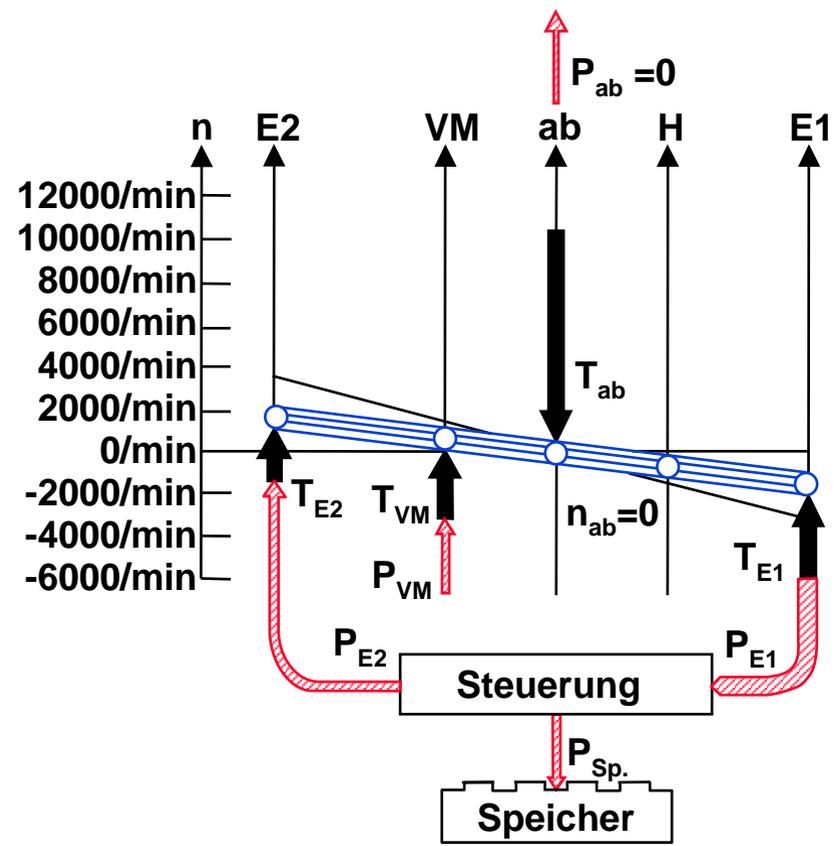
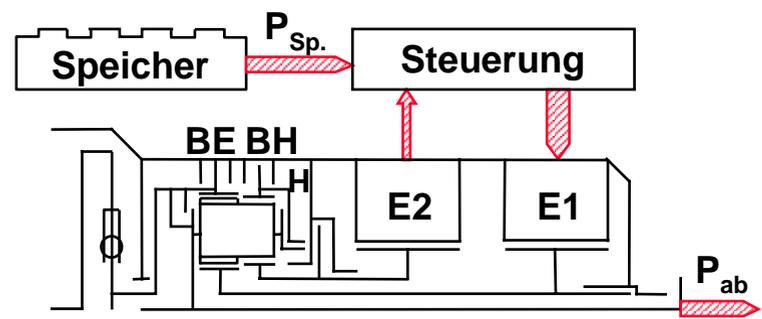
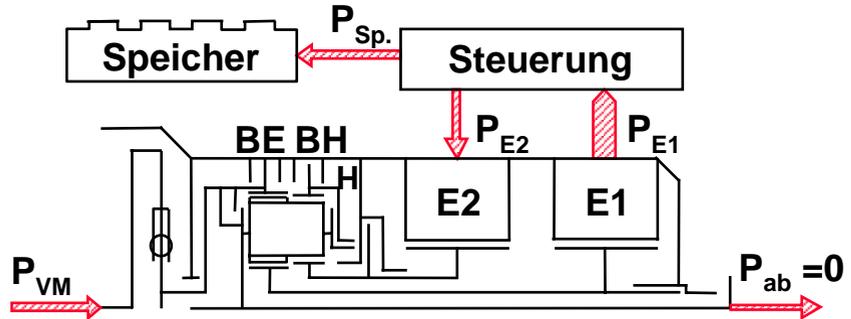
Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe



Anfahren mit geared neutral

Rangieren vorwärts/rückwärts

Betriebsmodus	Tab	E-Maschine		V-Motor	Welle H
		E1	E2		
Elektrisches Anfahren	klein	drehzahl geregelt	last geregelt	geschleppt	BH auf
	hoch	last geregelt	last geregelt	geschleppt	BH zu
Hybrides Fahren mit $i = i_1$ ca. 2	hoch	last geregelt	last geregelt	last geregelt	BH zu
	ca. -2 TVM	geschleppt	geschleppt	last geregelt	BH zu
Hybrides Fahren $i_1 > i > i_{min}$		drehzahl geregelt	last geregelt	last geregelt	BH auf
Geared neutral Anfahren $i > i_1$	klein	drehzahl geregelt	last geregelt	last geregelt	BH auf
Elektrisch Bremsen	f (nab,nan)	drehzahl geregelt	last geregelt	geschleppt	BH auf
Rangieren	klein	drehzahl geregelt	last geregelt	BE auf	BH auf
	hoch	last geregelt	last geregelt	BE zu	BH zu



Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe

## Übersicht über die Betriebszustände im HG 120

<b>P</b>		<b>=</b>	<b>Parken</b>	<b>Elektrisch entriegelte, federbelastete mechanische Parksperre auf Abtriebswelle wirkend</b>
<b>Rr</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>Rangieren</b>	<b>Rangieren vorwärts und Rangieren rückwärts in einer Fahrschalteebene</b>
<b>N</b>		<b>=</b>	<b>Neutral</b>	<b>Beide E-Maschinen lastfrei, alle Schaltelemente offen</b>
<b>D</b>		<b>=</b>	<b>Fahrbetrieb</b>	<b>Elektrisches Anfahren + hybrides Fahren mit adaptiver Drehzahlregelung. Anfahren mit geared neutral wird über den Ladezustand des Speichers automatisch erkannt</b>



Institut  
für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes  
Fahrzeuggetriebe  
mit elektrischer  
Regelung



Hybridgetriebe

## Fahrschalter für das Hybridgetriebe HG 120



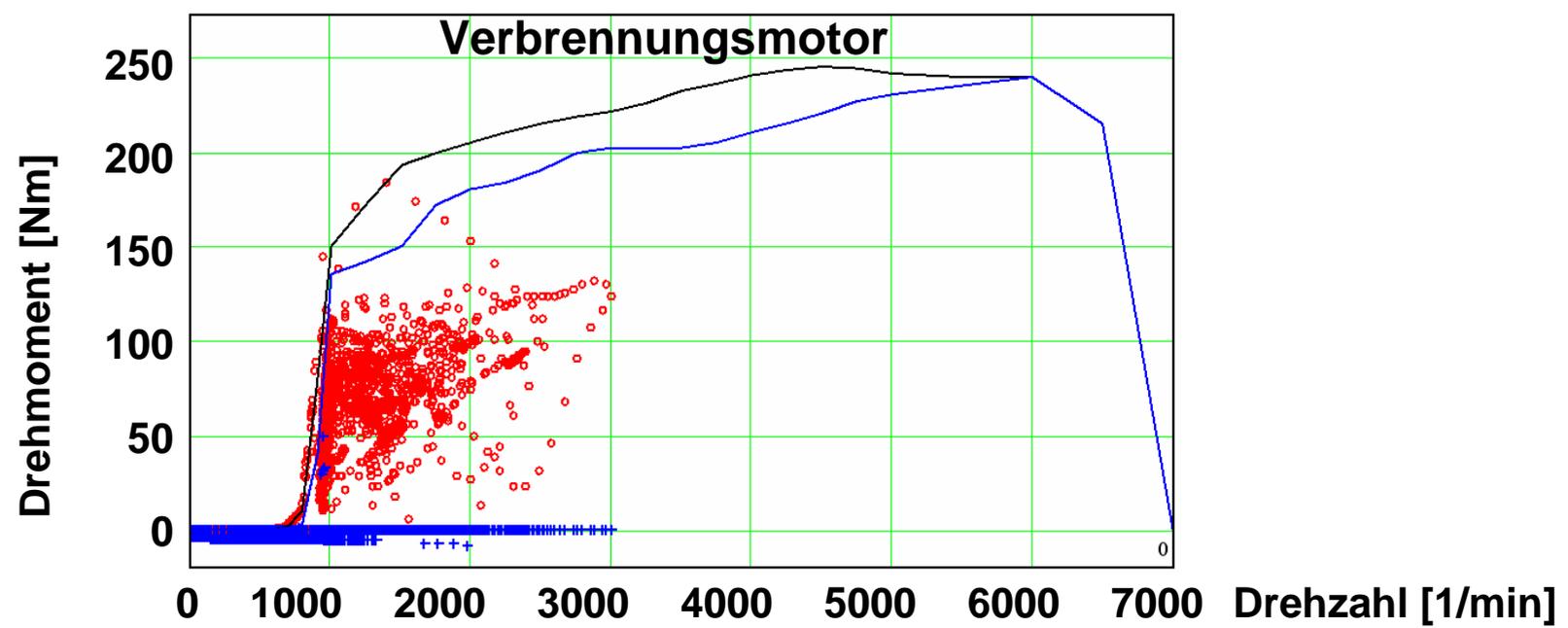
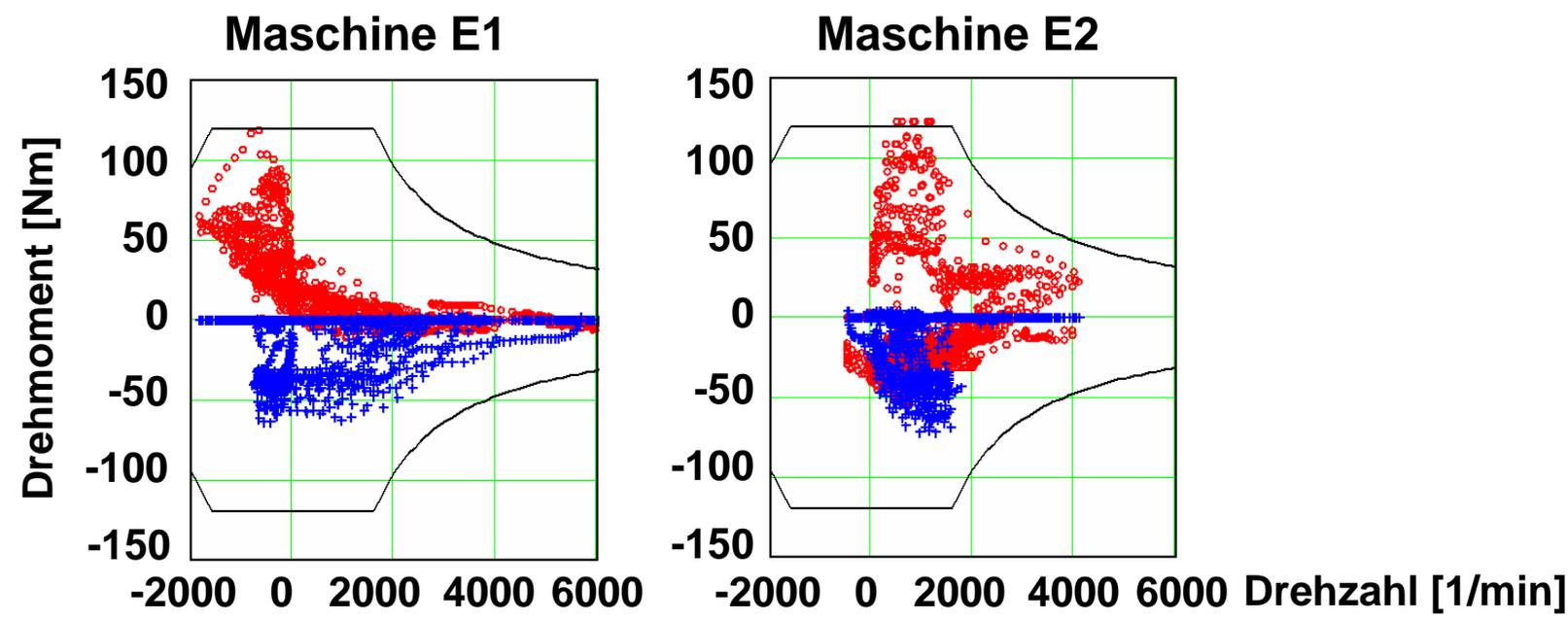
Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

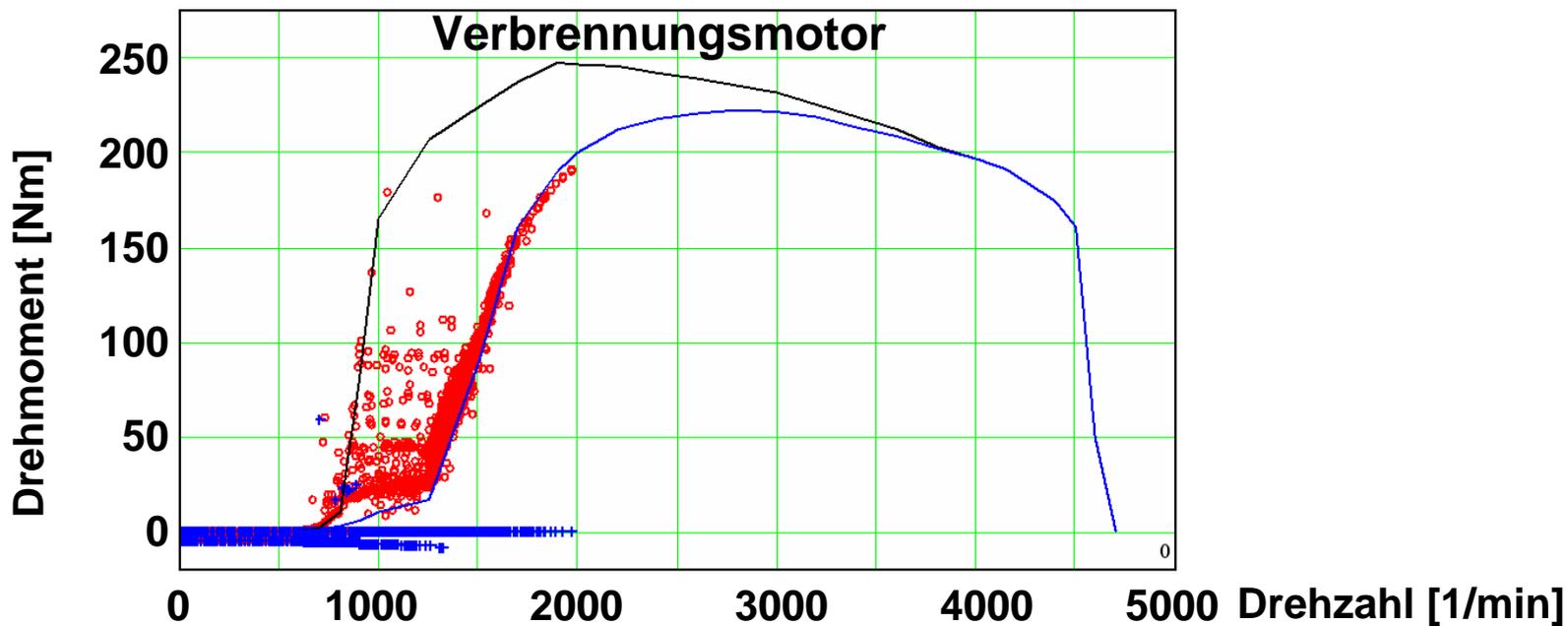
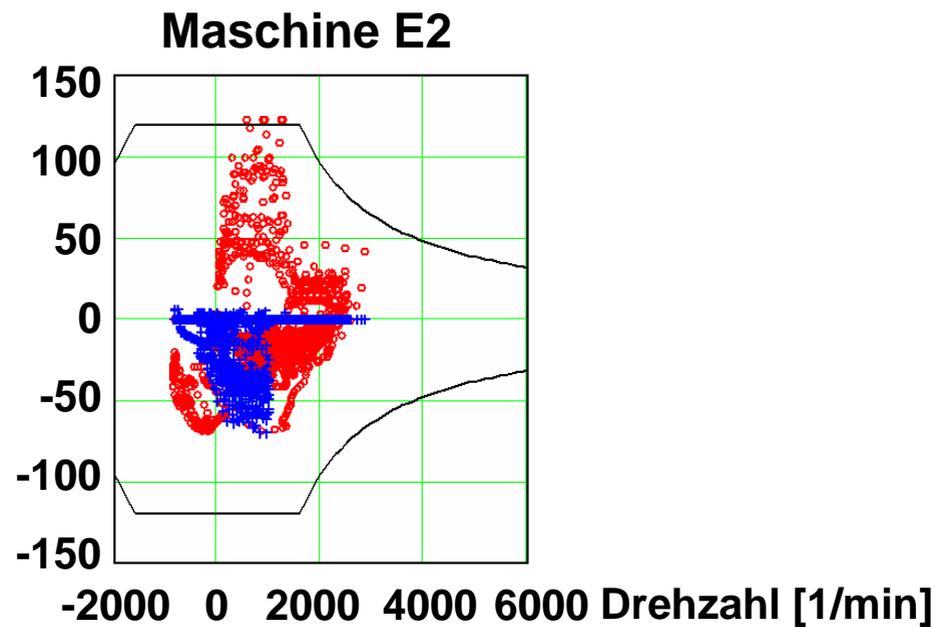
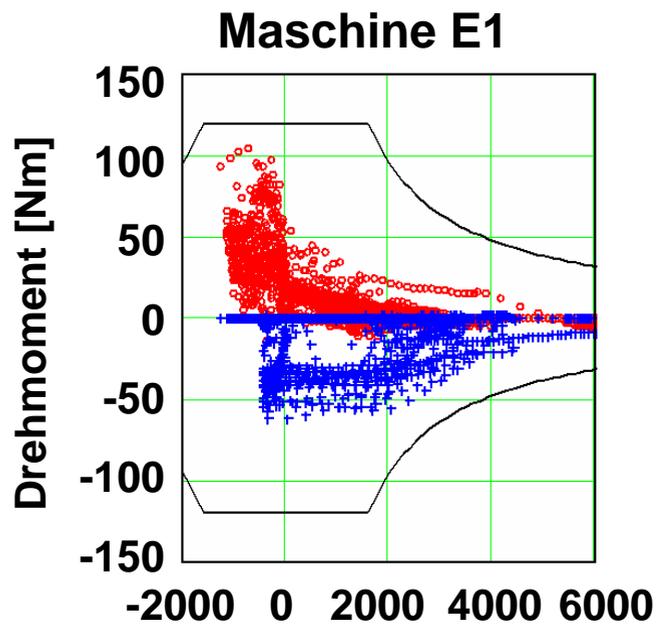
Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe



Auslastung des Hybridantriebes mit Ottomotor im US-City-Zyklus mit BSP bei Regelung auf Fahrdynamik



**Auslastung des Hybridantriebes mit Dieselmotor im US-City-Zyklus mit BSP bei Regelung entlang der MVK**



Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes Fahrzeuggetriebe mit elektrischer Regelung



Hybridgetriebe



Institut  
für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes  
Fahrzeuggetriebe  
mit elektrischer  
Regelung



Hybridgetriebe

<b>Fahrzeugdaten:</b>		Fahrzeugmasse	=	1475 kg					
		Zusatzmasse Leistungssteuerung	=	30 kg					
		Zusatzmasse Batterie (1 kWh)	=	30 kg					
		dyn. Reifenhalmmesser	=	299 mm					
		Luftwiderstandsfläche	=	0,63 m <sup>2</sup>					
<b>Motor:</b>		<b>Dieselmotor</b>			<b>Ottomotor</b>				
	Pmax	81 kW bei 4150/min			150 kW bei 6000/min				
	Tmax	235 Nm bei 1900/min			245 Nm bei 4500/min				
	bemin	198 g/kWh			247 g/kWh				
	ρ(Kraftstoff)	830 kg/m <sup>3</sup>			730 kg/m <sup>3</sup>				
	Vmax	191 km/h			236 km/h				
	iAchs	3,497			3,491				
	nabmax	6000/min			7300/min				
<b>stufenlose Betriebsweise des Getriebes</b>	imin	0,692°	0,45	0,822°	0,45				
	Bremsenergiespeicherung	keine BSP		mit BSP		keine BSP		mit BSP	
	Regelung entlang	MVK minus Dynamikleistung		MVK	MVK minus Dynamikleistung		MVK		
<b>US-City-Zyklus</b>	Verbr. [L/100 km]	<b>5,90</b>	<b>5,90</b>	<b>5,13</b>	<b>4,88</b>	<b>9,13</b>	<b>8,87</b>	<b>7,44</b>	<b>7,00</b>
	rel. Verbrauch [%]	100,0	100,0	86,9	82,7	100,0	97,1	81,5	76,7
	TE1 eff. [Nm]	21,0	21,0	25,2	25,0	21,0	21,2	25,6	24,2
	TE2 eff. [Nm]	25,1	25,1	27,4	30,1	27,3	30,9	31,0	37,4
<b>US-Highway-Zyklus</b>	Verbr. [L/100 km]	<b>4,57</b>	<b>4,46</b>	<b>4,26</b>	<b>4,22</b>	<b>7,48</b>	<b>6,79</b>	<b>6,48</b>	<b>6,48</b>
	rel. Verbrauch [%]	100,0	97,6	93,2	92,3	100,0	90,8	86,6	86,6
	TE1 eff. [Nm]	7,7	7,8	9,3	9,5	8,7	8,0	9,5	11,5
	TE2 eff. [Nm]	27,8	31,3	31,4	42,1	21,0	33,6	33,7	56,8

## Kraftstoffverbräuche beim Einsatz des HG 120 in einem PKW



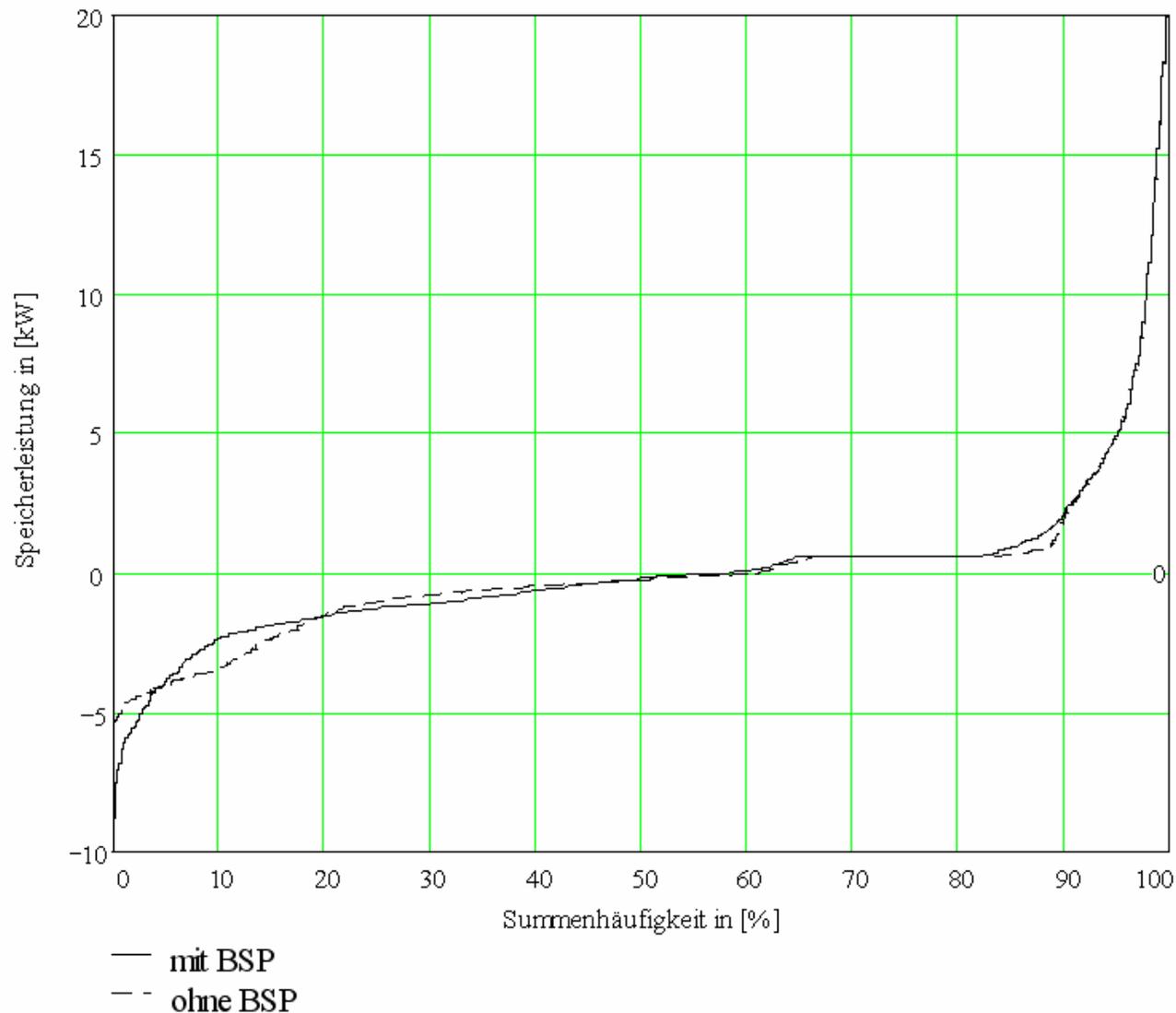
Institut  
für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes  
Fahrzeuggetriebe  
mit elektrischer  
Regelung



Hybridgetriebe



## Häufigkeitsverteilung der Speicherleistung im US-City-Zyklus (Ottomotor + Regelung auf Fahrdynamik mit und ohne BSP)

4/1999

18

**Leistung wird zu ca. 85% rein mechanisch über Zahnräder übertragen**

*⇒ hoher Wirkungsgrad*

**Trotzdem wenig Zahnräder und wenige, einfache Schaltelemente  
Elektrisches Stellgetriebe anstelle von Anfahr-Element, Synchronisierung, Variator**

*⇒ wettbewerbsfähiges Gewicht, Bauraum*

**Großer Stellbereich  $\infty > i > 0,45$  ohne Schaltungen stufenlos durchfahrbar**

**Feste Übersetzungen  $i^{\circ} = 2 / 1,35 / 1 / 0,57$  schaltbar**

**2 Bremsen nur beim Anfahren unter Vollast erforderlich**

**Drehmomentwandlung beim Anfahren und Boostereffekt durch  
Addition der Momente von V-Motor und E-Maschinen**

**Getriebe auch mit herkömmlicher Starterbatterie funktionsfähig  
Anfahren dann über geared-neutral**

**Bremsenergierekuperation und Start/Stop-Funktion erfordert zusätzlichen Speicher**

*⇒ zusätzlicher Minderverbrauch*

*⇒ reiner E-Betrieb möglich*

**Hybridgetriebe sehr gut geeignet in Verbindung mit Brennstoffzellenantrieb**



Institut  
für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr. Tenberge

Automatisiertes  
Fahrzeuggetriebe  
mit elektrischer  
Regelung



Hybridgetriebe

**Zusammenfassung der Eigenschaften des HG 120**

4/1999

19

