



Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

**E-Automat**

# E-Automat

## Automatikgetriebe mit *Esprit*

- **Ausgangssituation im Getriebemarkt**
- **Weiterentwicklungen von Wandler-Automaten bis zum E-Automat**
- **Schalt- und Regelstrategie der E-Automaten**
- **Simulationen**
- **Bewertung**



Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

**E-Automat**



Fahrzeugklasse

**Automatikgetriebe**  
mit 4 und 5 Gängen

15%-20%

**Handschaltgetriebe**  
mit 5 und 6 Gängen

80%-85%

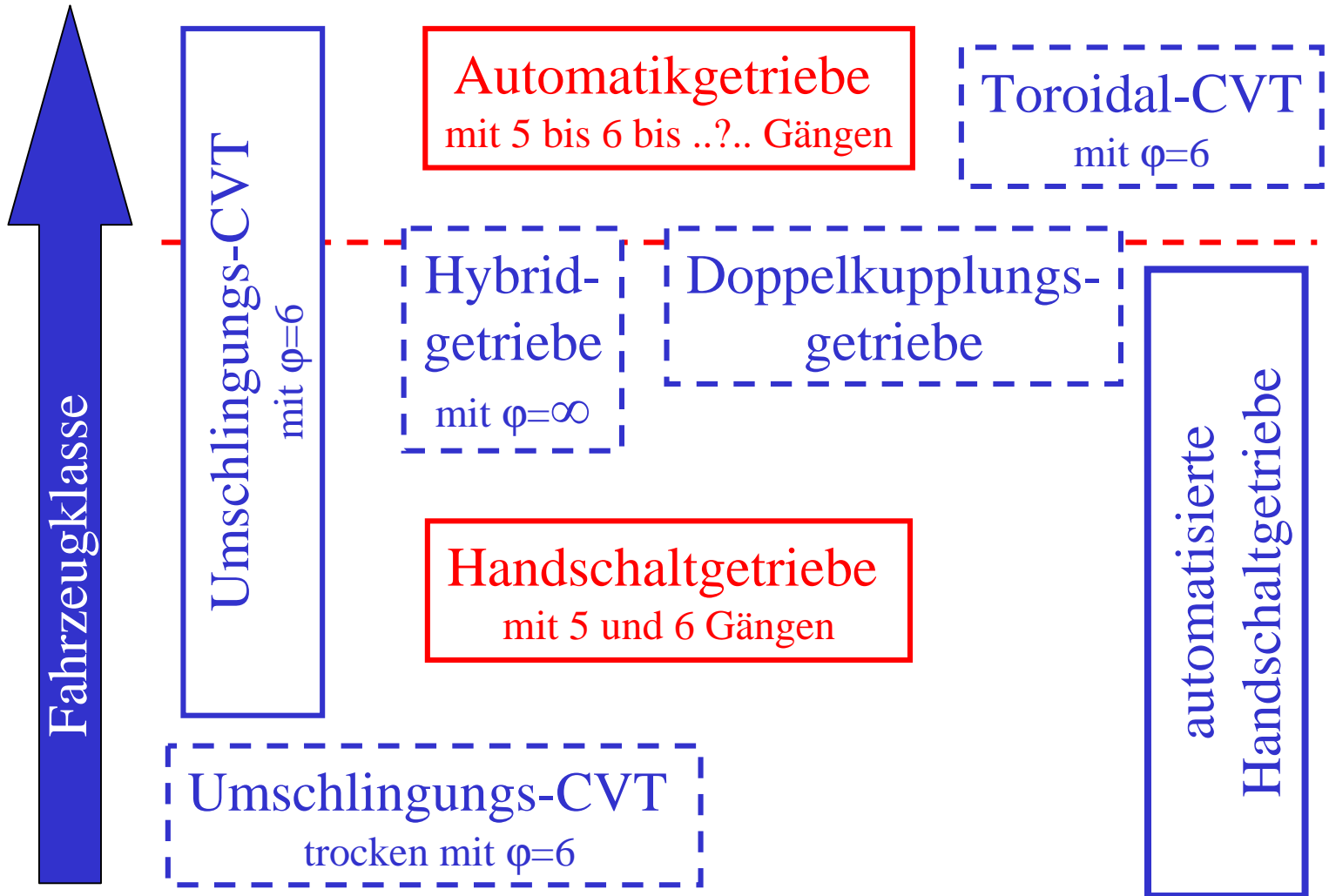
**Getriebemarkt**  
bis 1999 in Europa



Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat



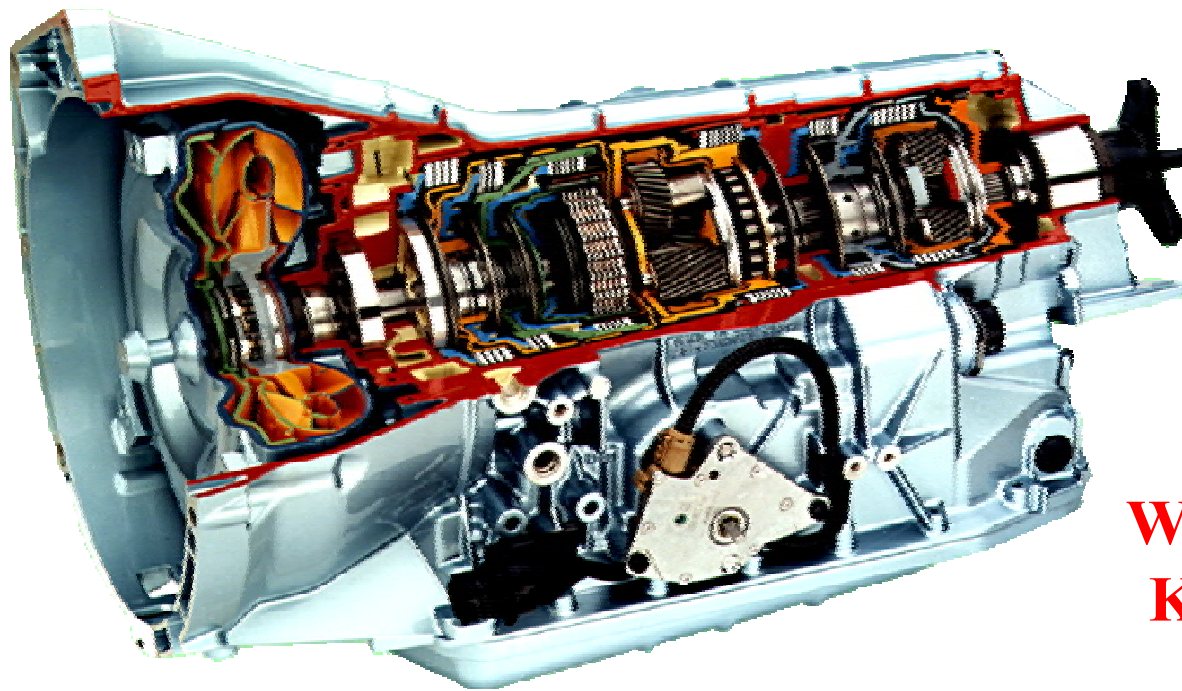
**Getriebemarkt**  
ab 2000 in Europa



Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

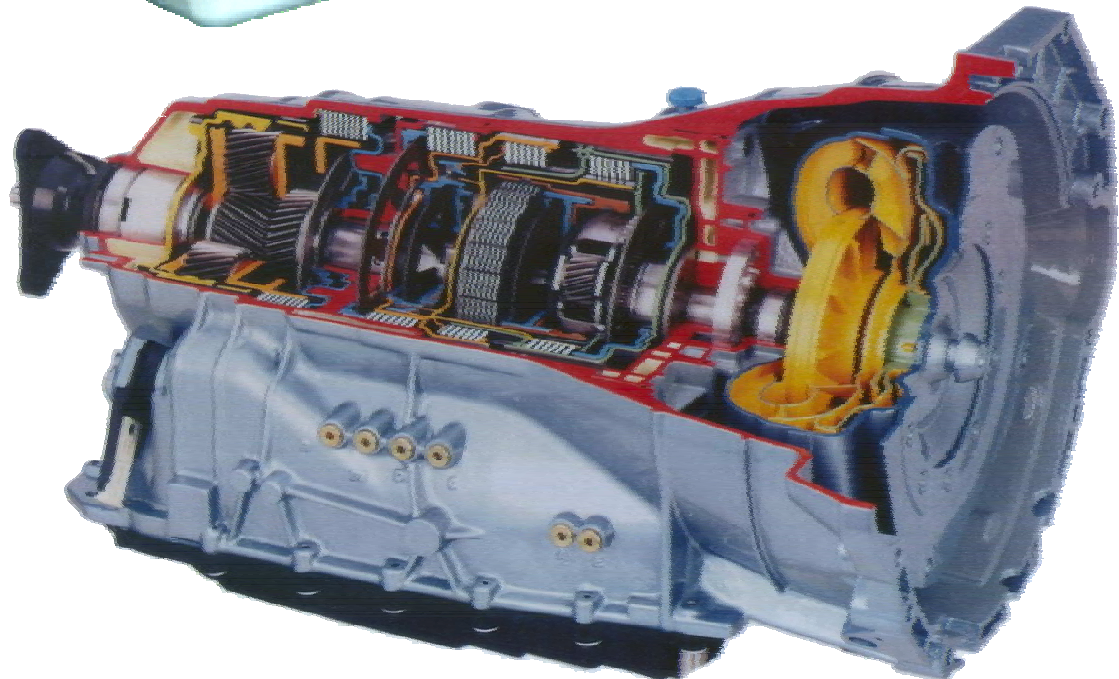
**E-Automat**

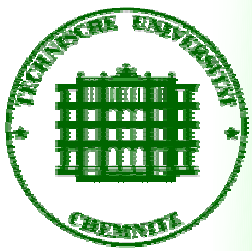


**5-Gang-  
Automat  
von ZF**

**Weltstandard in  
Komfortklasse**

**6-Gang-  
Automat  
von ZF**

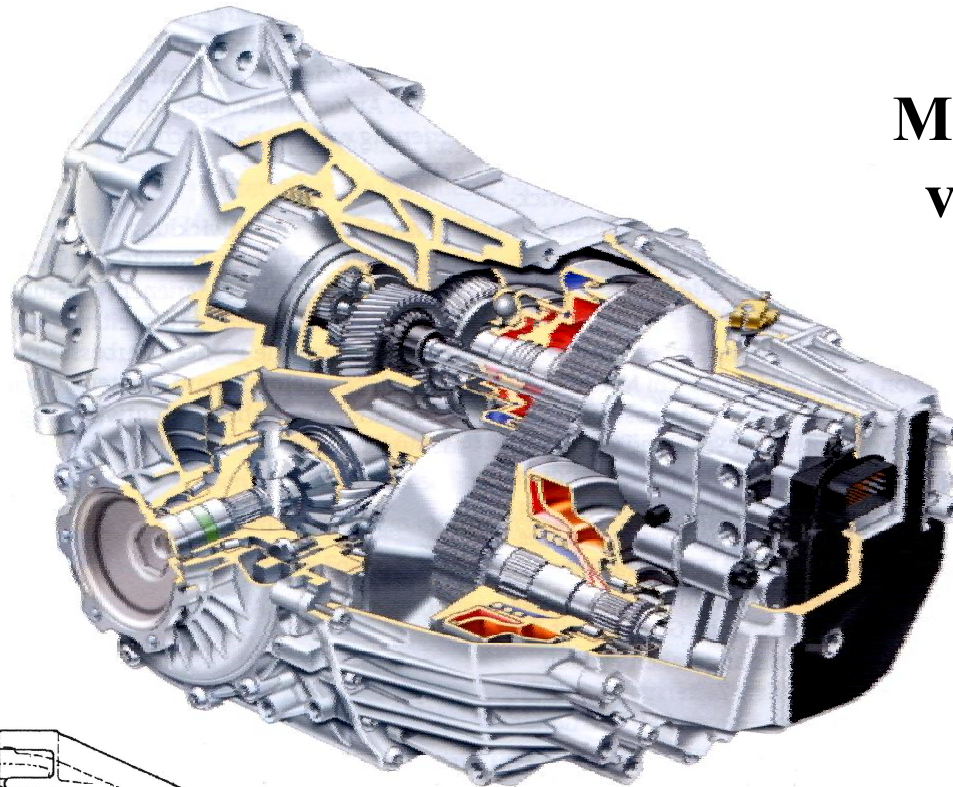




Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

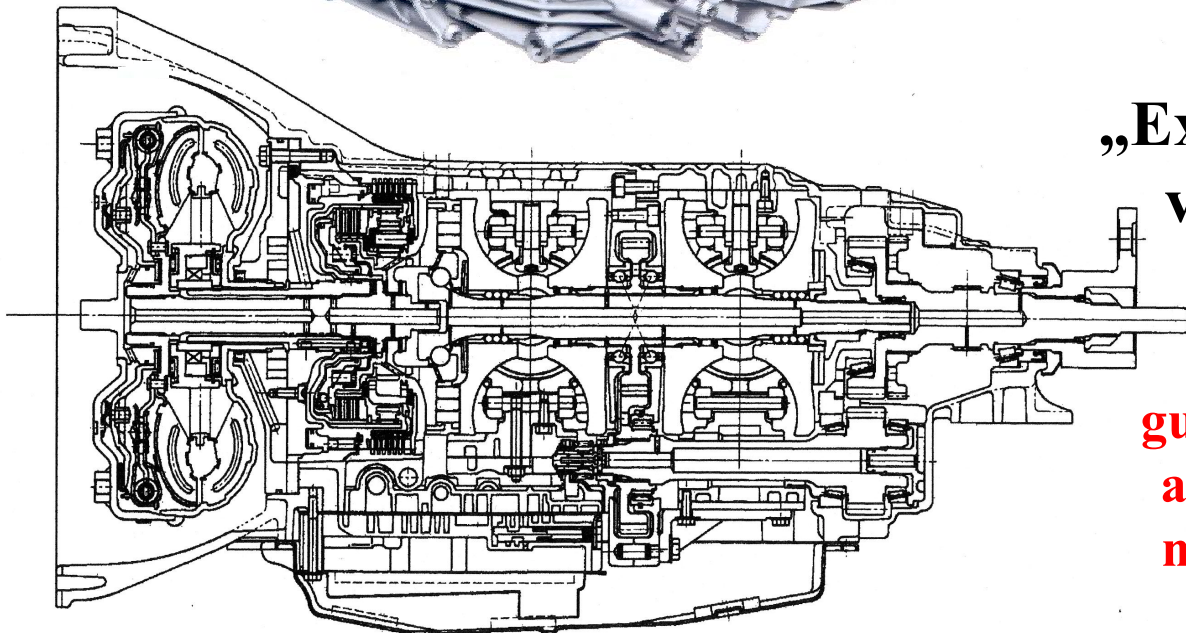
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

**E-Automat**



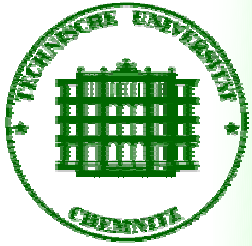
## Multitronic von Audi

**sehr gut,  
aber noch zu  
wenig Drehmoment**



## „Extroid“-CVT von Nissan

**gut, komfortabel,  
aber sonst noch  
nicht ausgereift**



**Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik**

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

**E-Automat**

## **Zielsetzungen für verbesserte Fahrzeuggetriebe**

- **Beibehaltung der Kraftübertragung über gekoppelte Planetengetriebe**
  - hoher Wirkungsgrad
  - hohe Leistungsdichte
  - hohe Drehmomentkapazität
  - bekannte Technologie
  - vorhandene Fabriken
- **Erweiterung des Lepelletier-Konzeptes**
  - **6 bis 9 Gänge**
- **Ersetze Wandler durch Starter/Generator**
  - Start/Stopp-Funktionalität
  - Booster
  - Stufenlosigkeit
  - Energierückgewinnung
  - Kat.-vorheizung im rein elektrischen Fahrbetrieb





Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

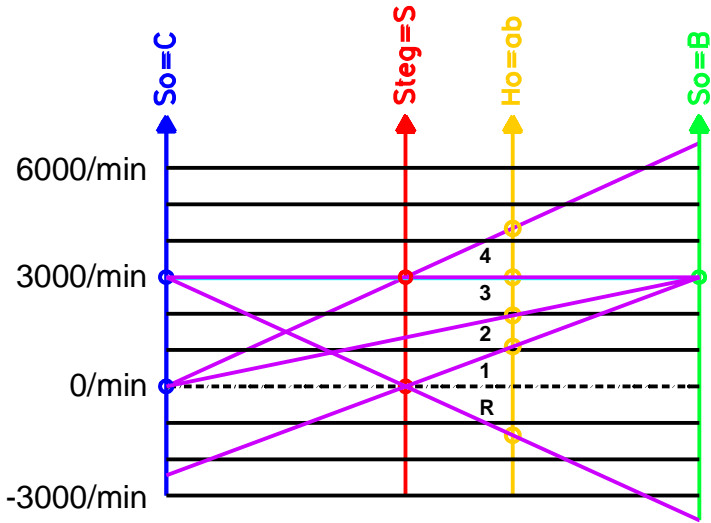
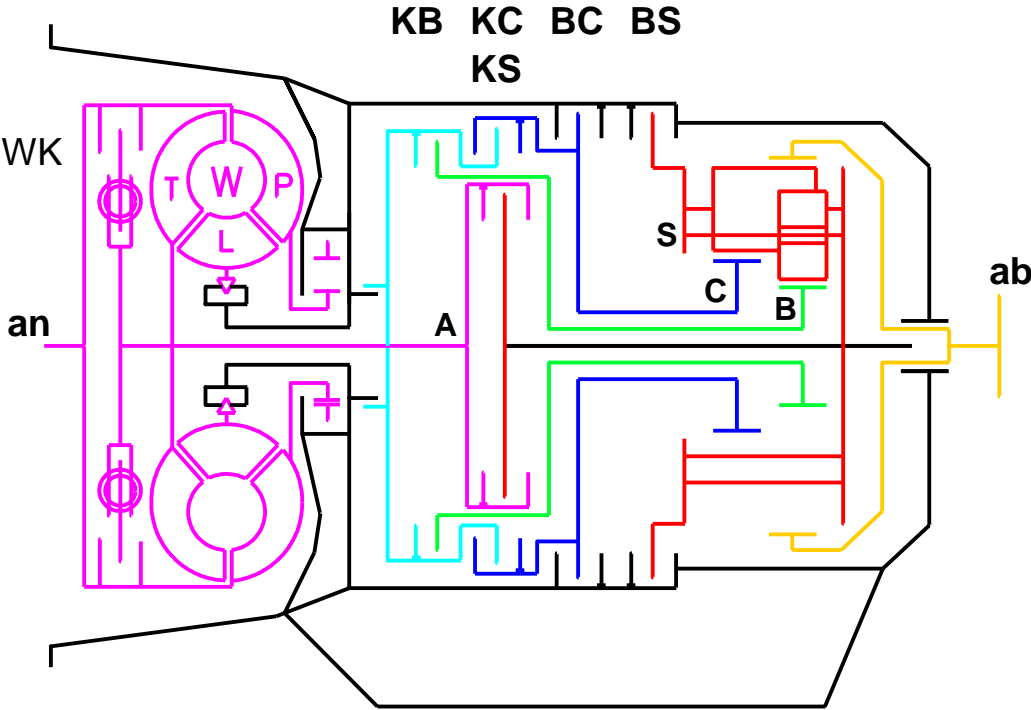
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

1	2	3	
1	2	3	4
1	2	3	4
	2	3	4

Gangsprünge  
mit einfachen  
Schaltungen

Gang	KC	KS	KB	BS	BC	$i_{\text{ges}}$
R						-2,55
N						
1						2,800
2						1,508
3						1,000
4						0,718

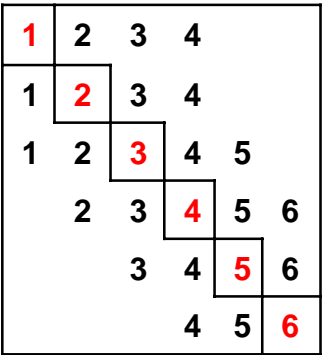




Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

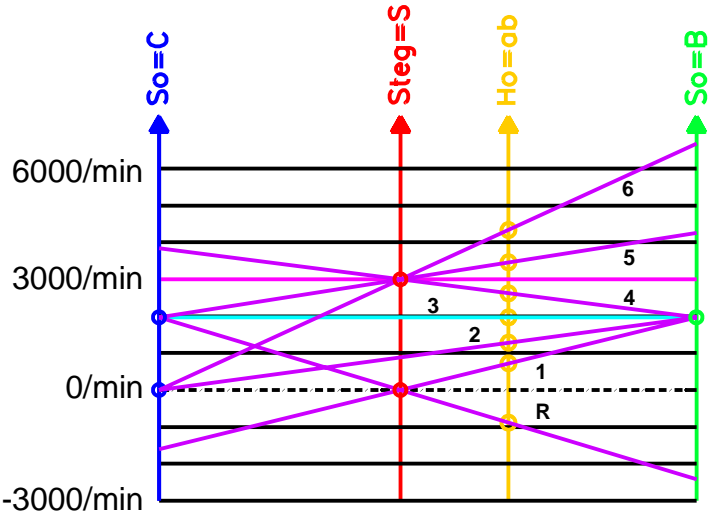
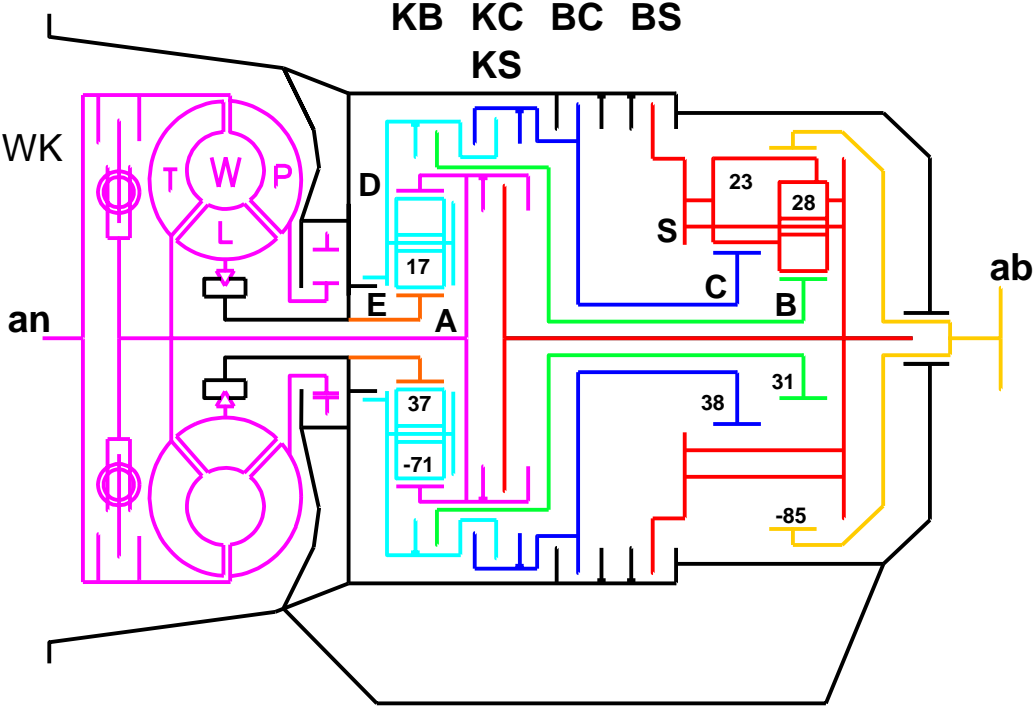
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

# E-Automat



Gangsprünge  
mit einfachen  
Schaltungen

Gang	KC	KS	KB	BS	BC	$i_{ges}$
R						-3,40
N						
1						4,171
2						2,340
3						1,521
4						1,143
5						0,867
6						0,691



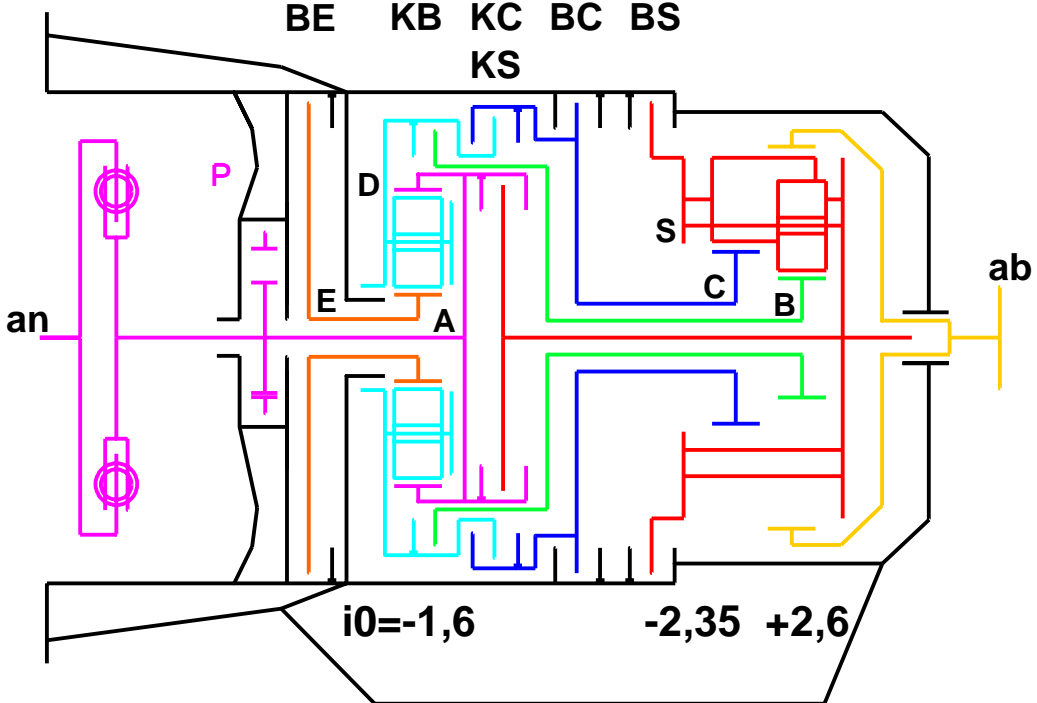




Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

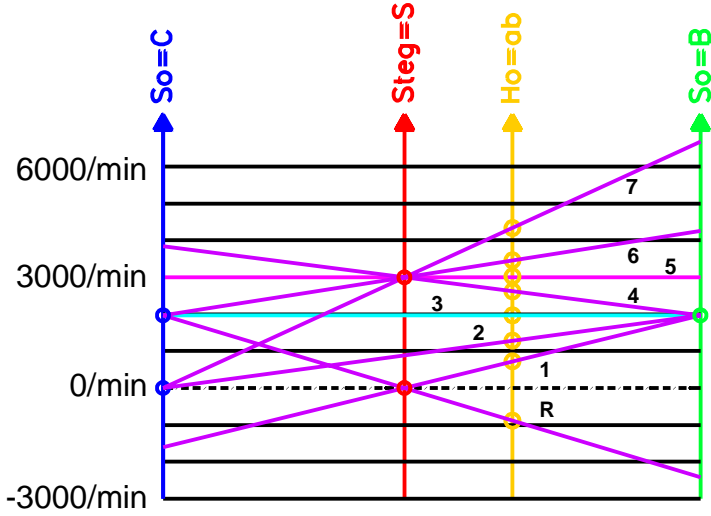
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

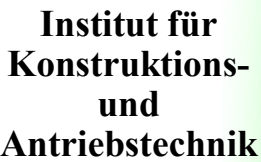
E-Automat



1	2	3	4				
1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	6		
1	2	3	4	5	6	7	
	2	3	4	5	6	7	
		3	4	5	6	7	
			4	5	6	7	

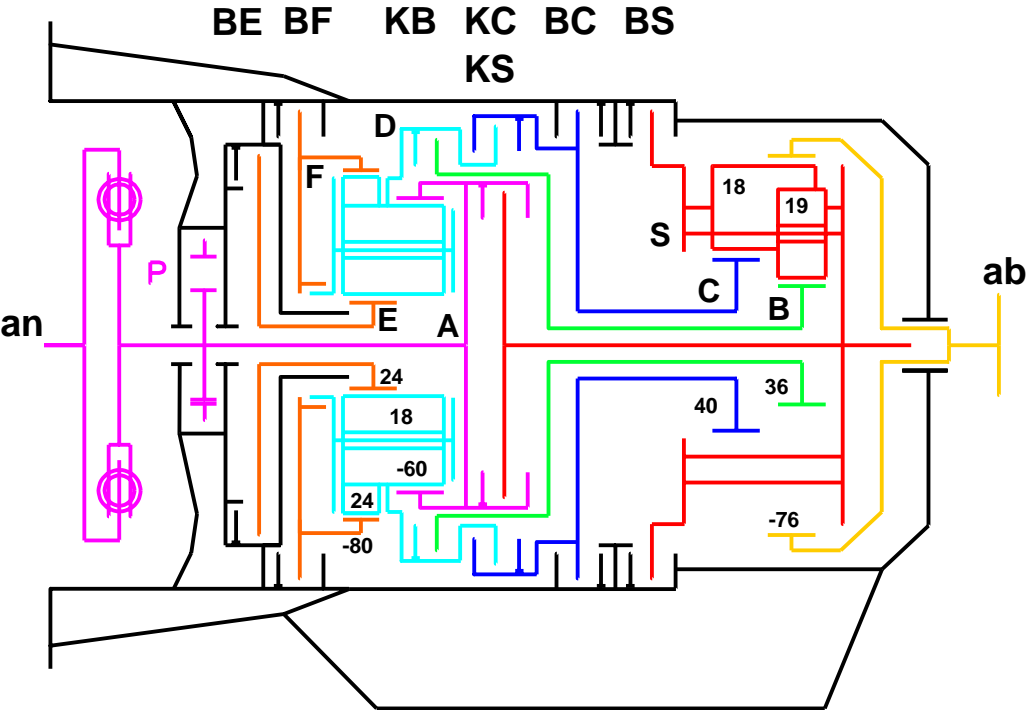
Gang	KC	KS	KB	BS	BC	BE	$i_{ges}$
R							-3,82
N							
1							4,225
2							2,401
3							1,625
4							1,174
5							1,000
6							0,859
7							0,701



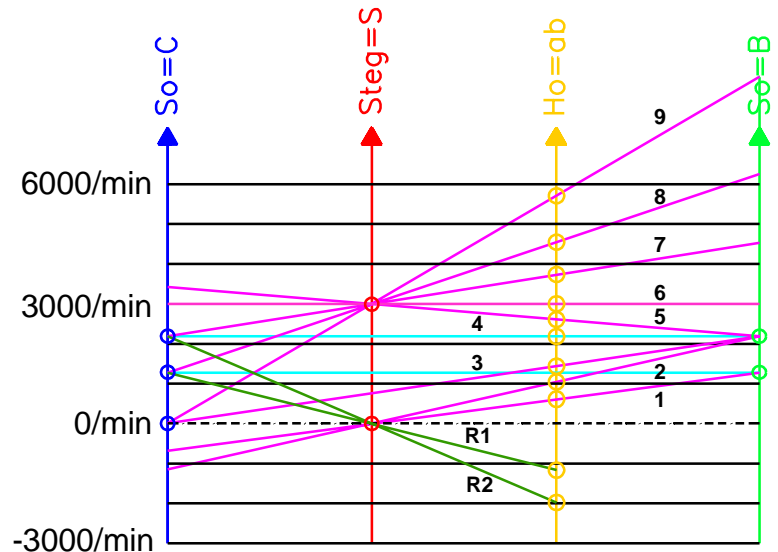


Prof. Dr.  
Peter Tenberge

# E-Automat

[illegible]

Gang	KC	KS	KB	BS	BC	BE	BR	i <sub>ges</sub>
R2								-2,660
R1								-4,433
N								
1								4,926
2								2,956
3								1,936
4								1,400
5								1,157
6								1,000
7								0,869
8								0,769
9								0,655



# 9-Gang-Automatikgetriebe

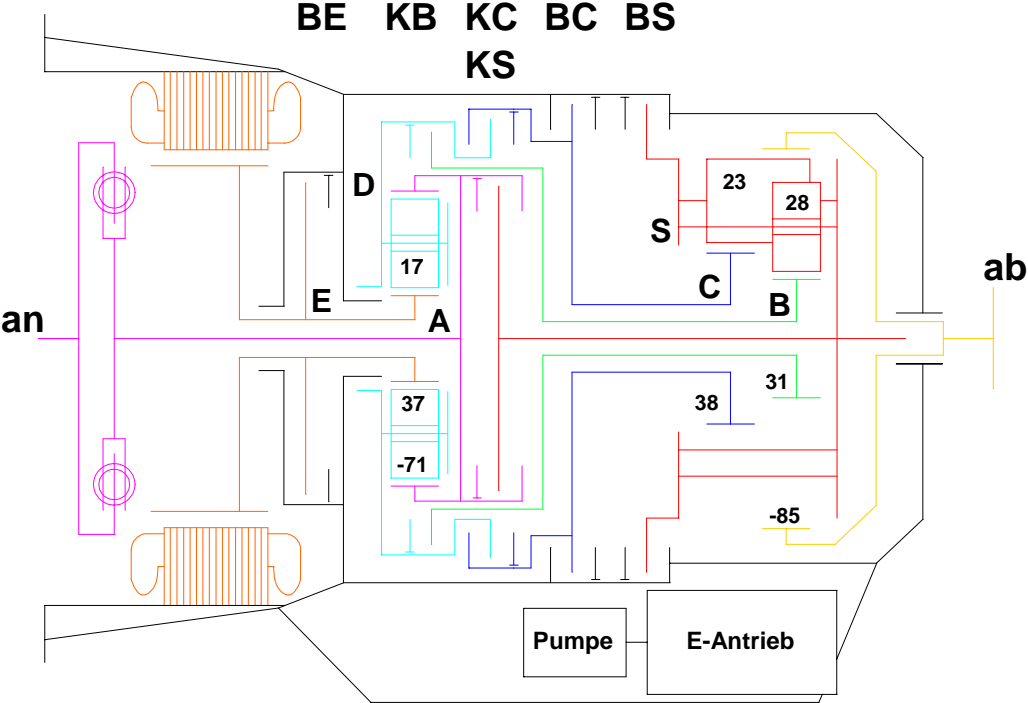


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

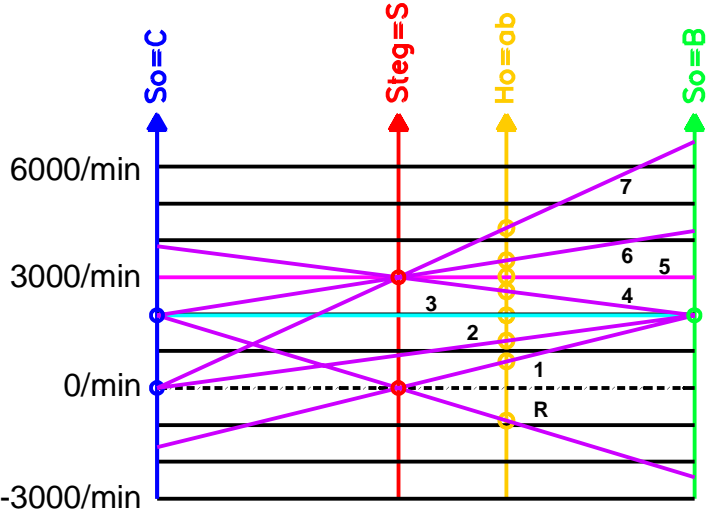
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

# E-Automat

<b>1</b>	2	3	4				
1	<b>2</b>	3	4	5			
1	2	<b>3</b>	4	5	6		
1	2	3	<b>4</b>	5	6	7	
	2	3	4	<b>5</b>	6	7	
		3	4	5	<b>6</b>	7	
			4	5	6	<b>7</b>	



Gang	KC	KS	KB	BS	BC	BE	$i_{ges}$
R							-3,40
N							
1							4,171
2							2,340
3							1,521
4							1,143
5							1,000
6							0,867
7							0,691



# E-Automatikgetriebe

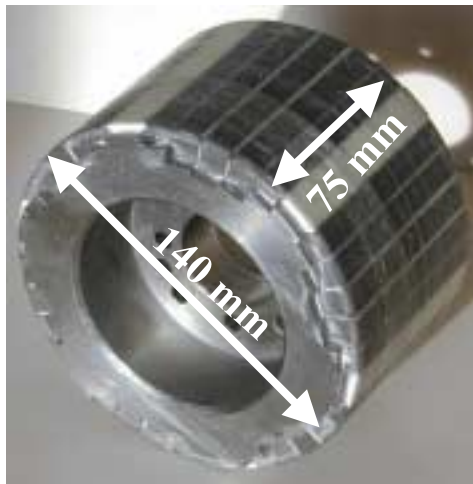


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

**E-Automat**

12



**Rotor mit 3 Polpaaren**



**Stator mit Kühlmantel**

Breite über Wickelköpfe = 115 mm

**Gehäuse mit Wasserkühlung**



**Elektrisches Getriebe mit  
zwei permanenterregten  
Synchronmaschinen**

$T_{\max} = 150 \text{ Nm}$ ,  $n_{\max} = 4000/\text{min}$

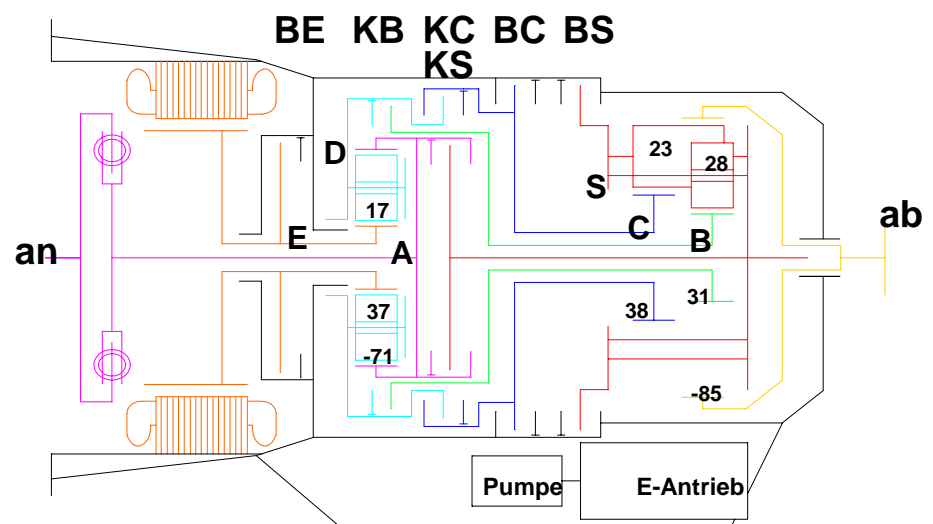


# Komplette Schaltlogik des E-Automaten

Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

**E-Automat**



	KC	KS	KB	BS	BC	BE	nan/nab	-Tab/TE	TVM/TE
Parken									
E.-Gang 2							0,000	-6,53	0,00
E.-Gang 1							0,000	8,00	0,00
Neutral									
R.-Gang							iR=-3,40	-6,53	1,92
geared neutral r.							variabel	-6,53	1,92
VM-Start									
geared neutral v2							variabel	4,49	1,92
geared neutral v1							variabel	8,00	1,92
1. Gang							i1=4,171	8,00	1,92
2. Gang							i2=2,340	4,49	1,92
3. Gang							i3=1,521	2,92	1,92
4. Gang							i4=1,143	8,00	7,00
D. Gang							iD=1,000	variabel	variabel
5. Gang							i5=0,867	-6,53	-7,53
6. Gang							i6=0,691	∞	∞

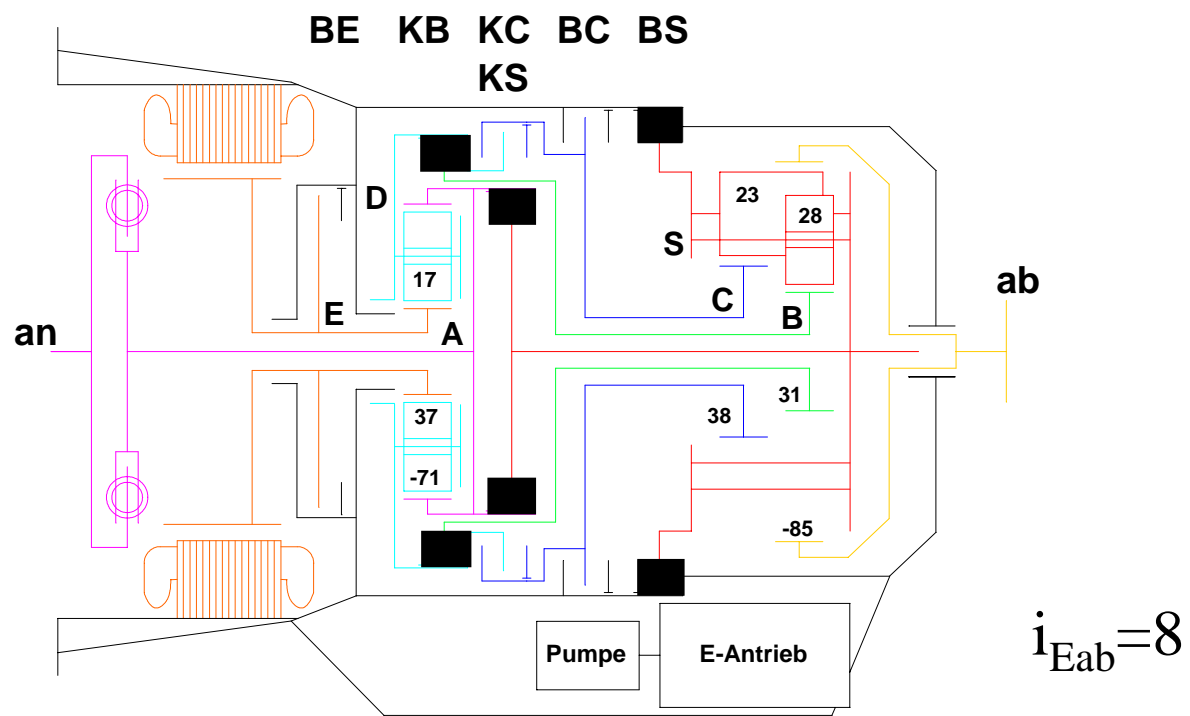


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

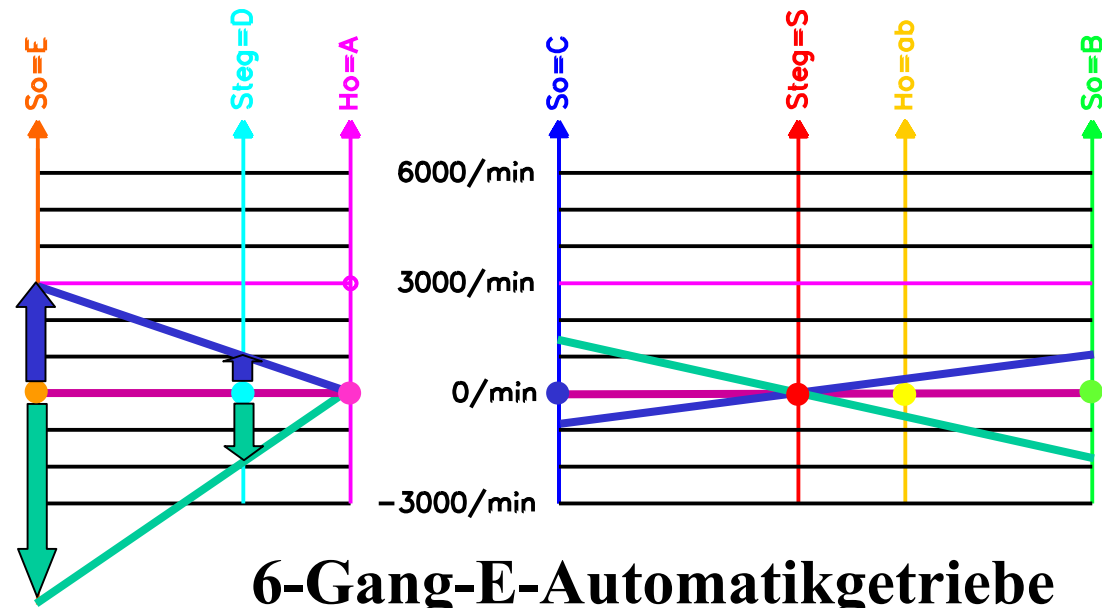
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

14



$$i_{Eab}=8$$



6-Gang-E-Automatikgetriebe  
E-Gang

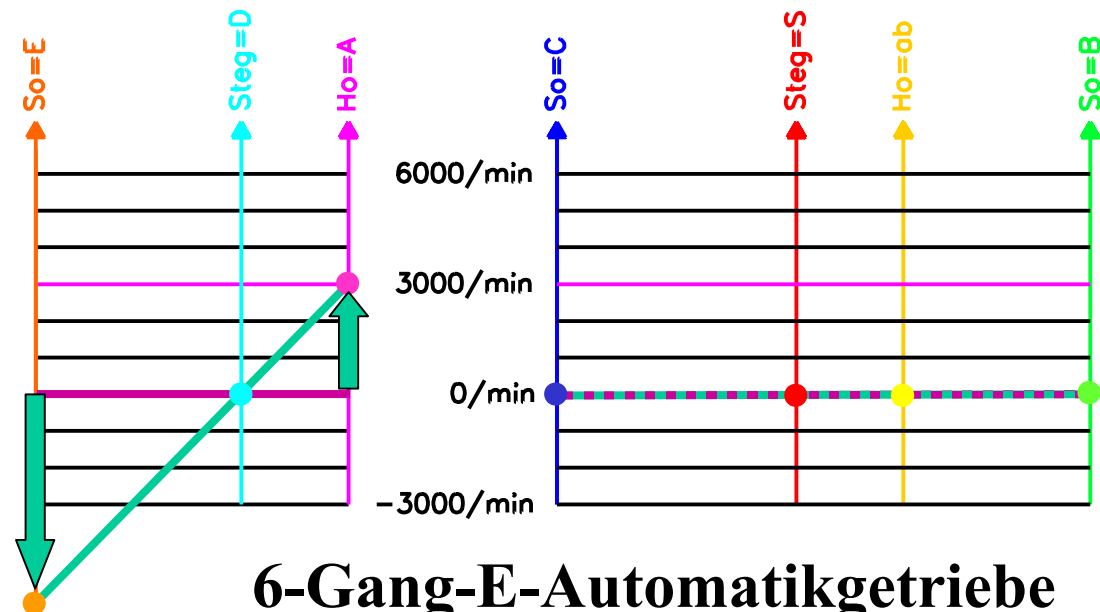
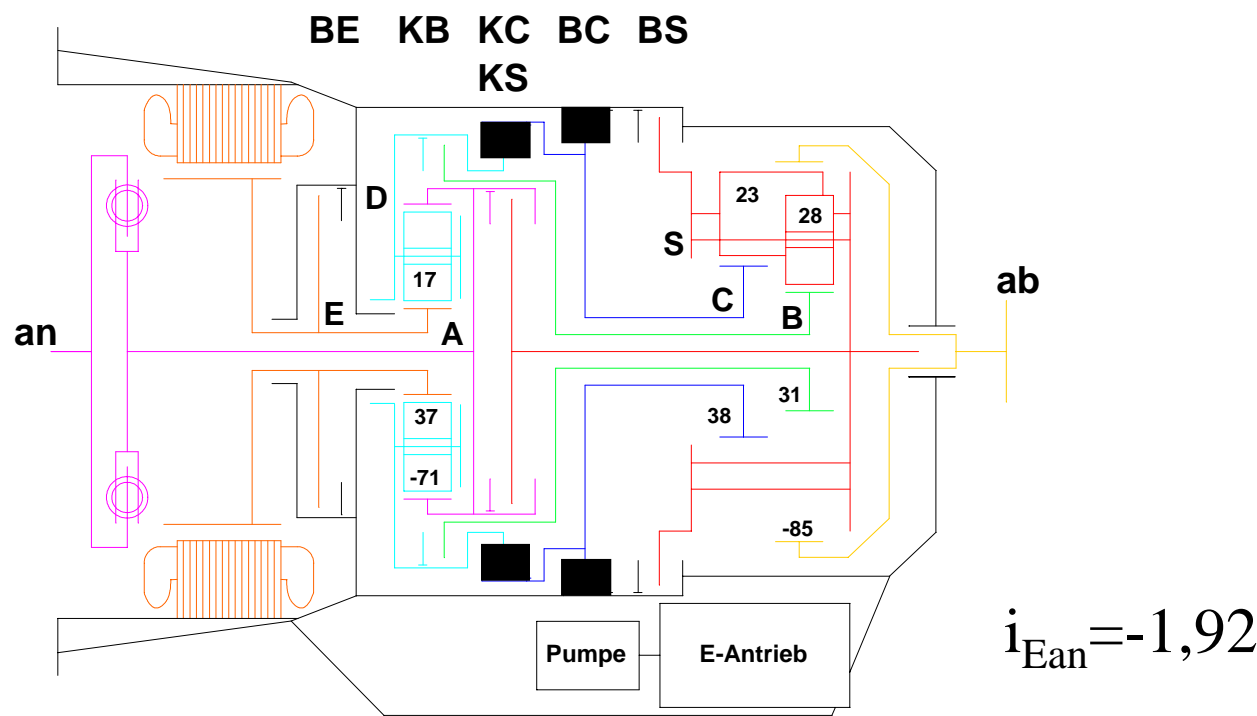


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

15



**6-Gang-E-Automatikgetriebe**  
Motorstart bei stehendem Fahrzeug



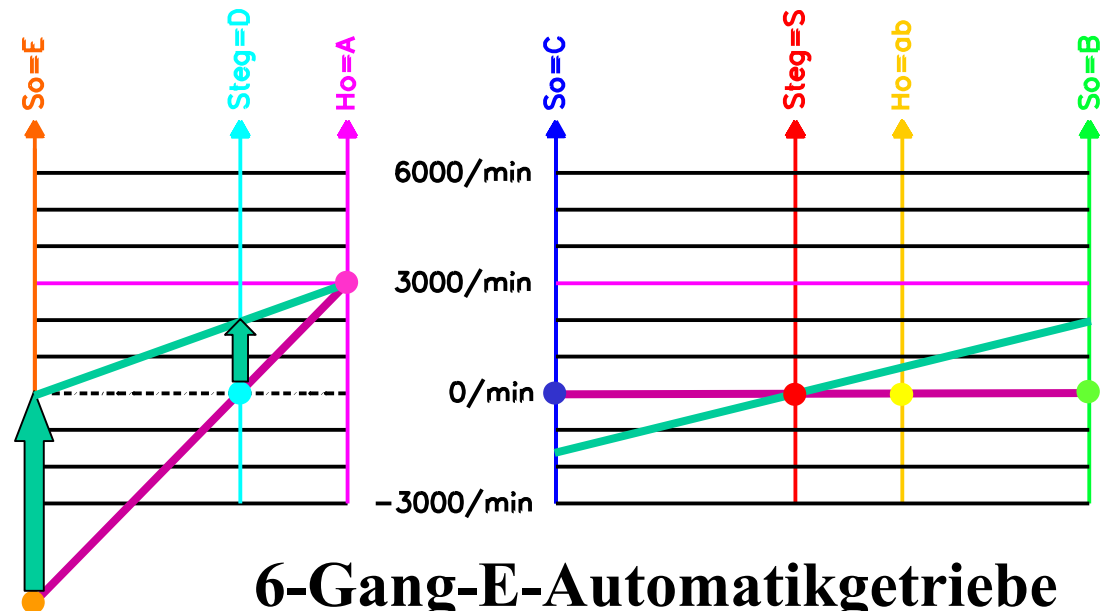
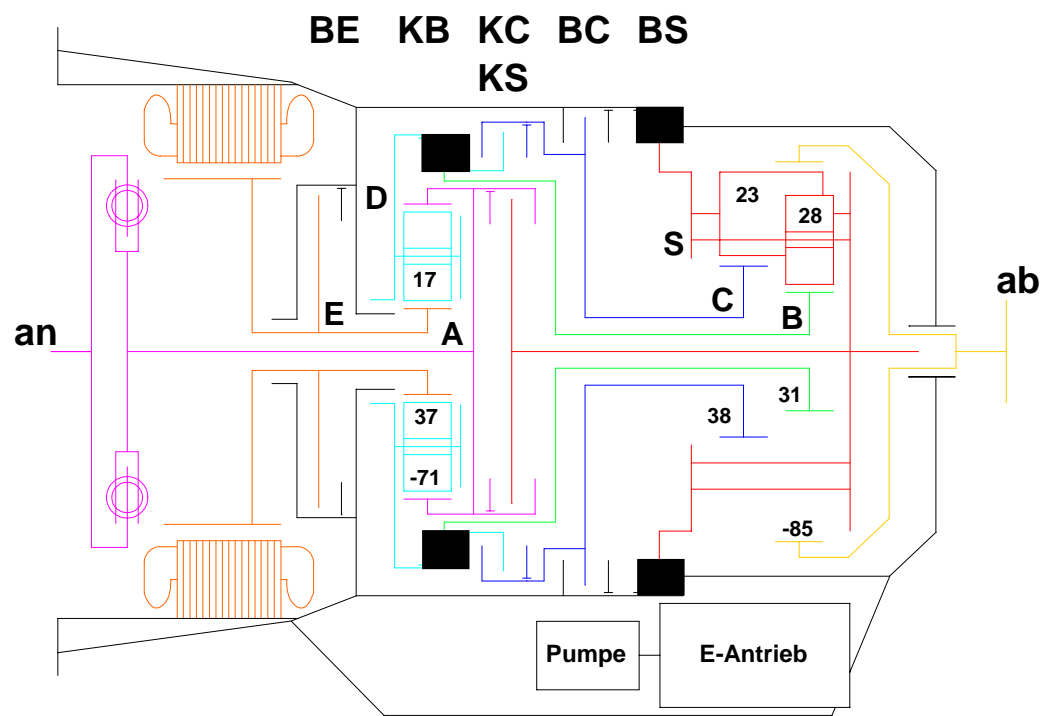


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

16



**6-Gang-E-Automatikgetriebe**  
Anfahren aus geared neutral in den 1. Gang

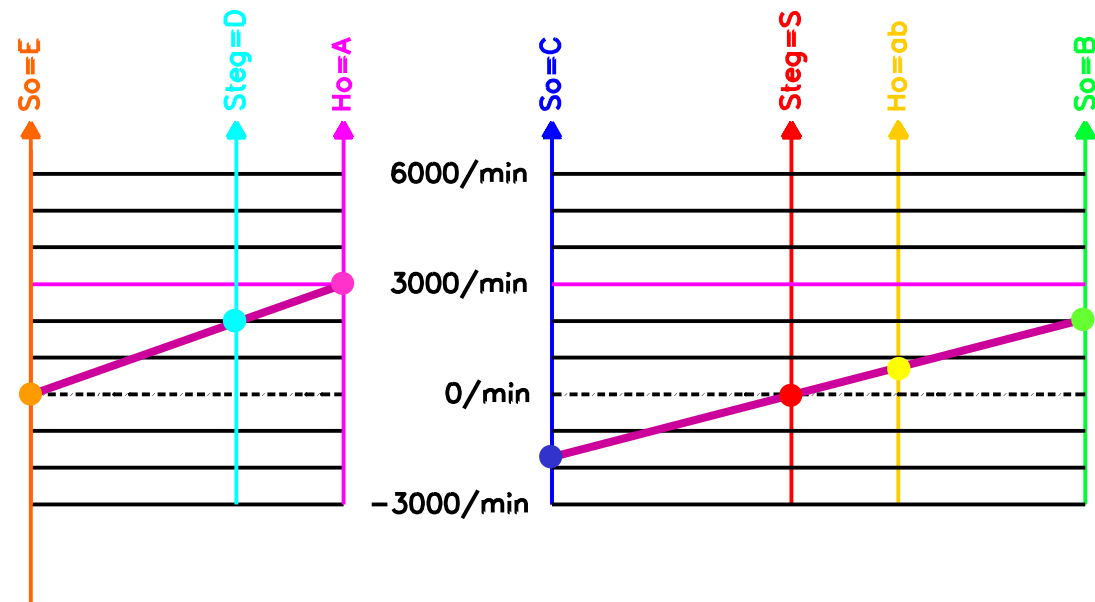
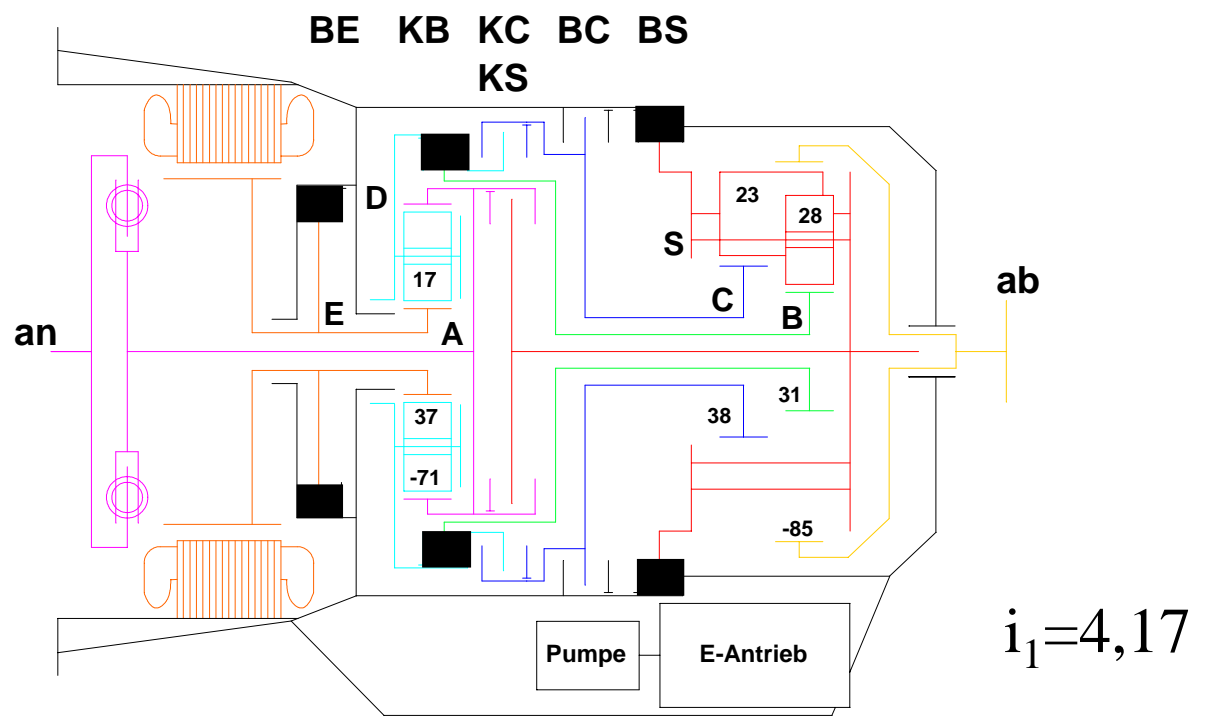


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

17



6-Gang-E-Automatikgetriebe (1. Gang)

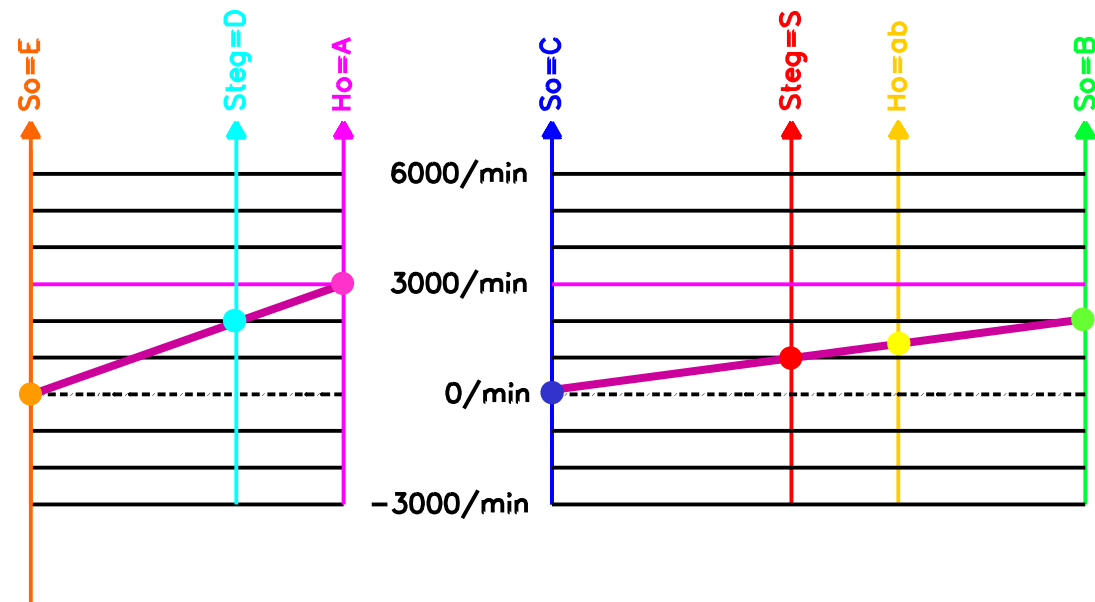
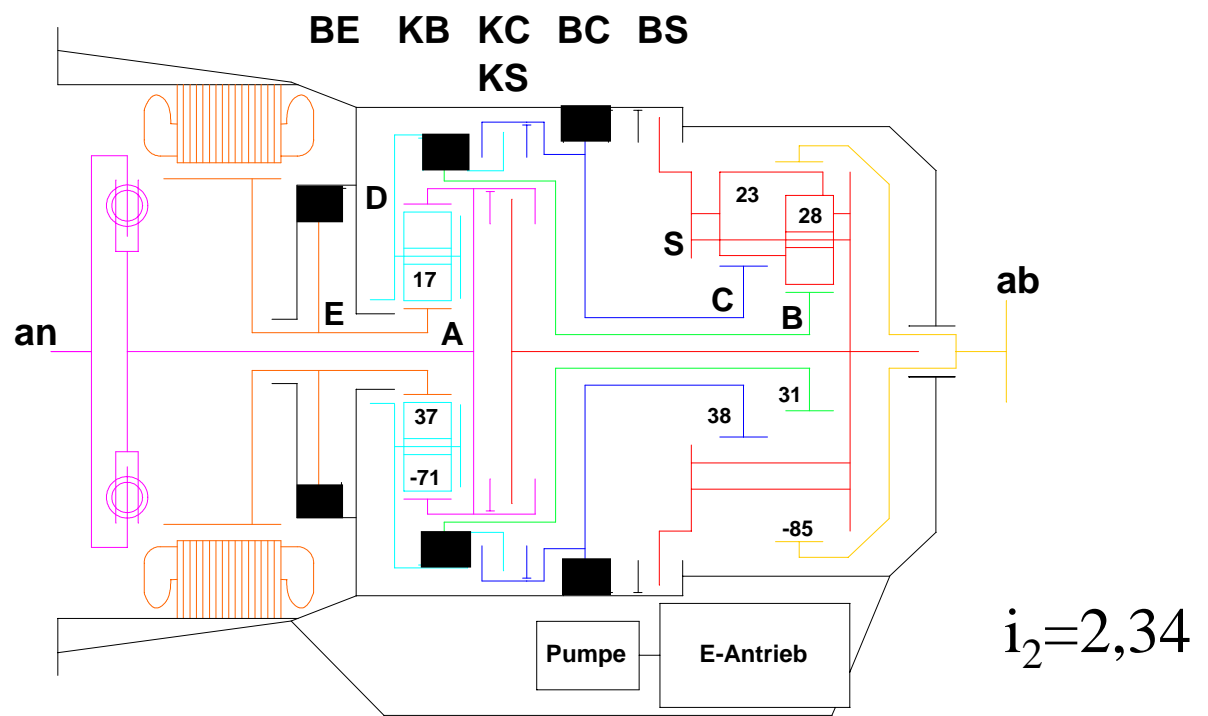


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

18



6-Gang-E-Automatikgetriebe (2. Gang)

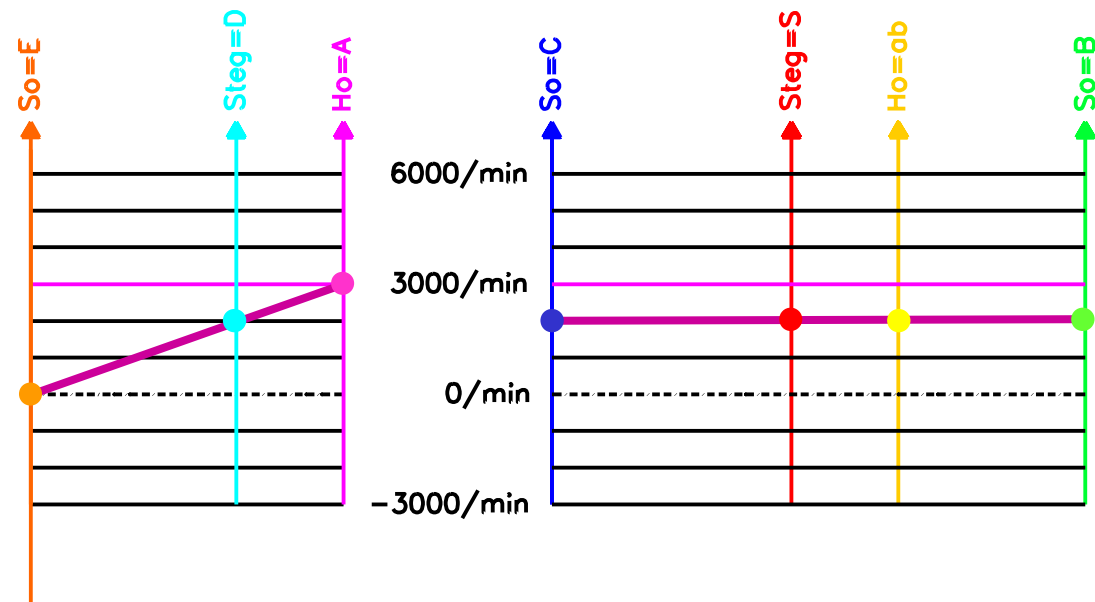
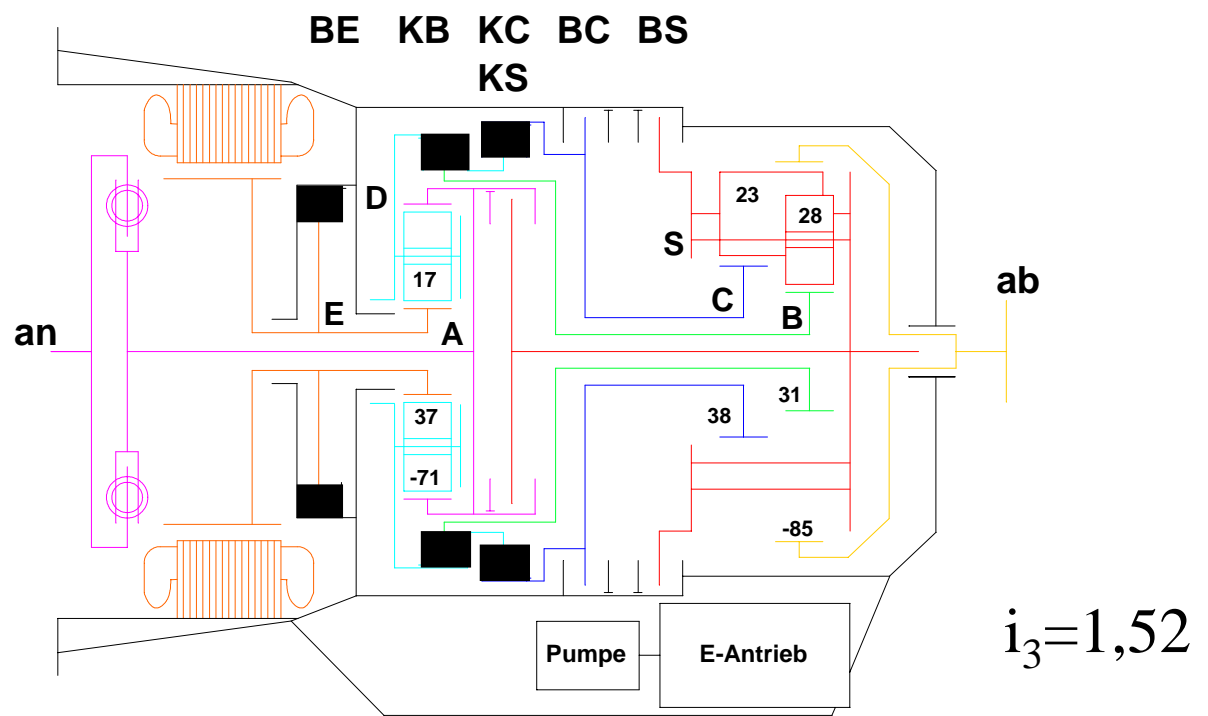


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

19



6-Gang-E-Automatikgetriebe (3. Gang)

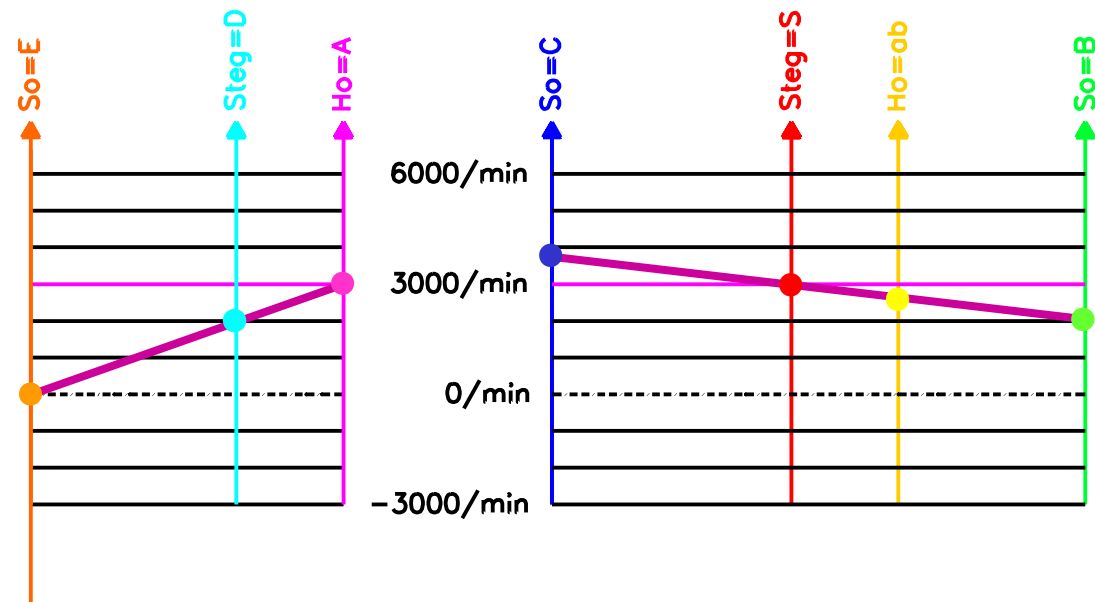
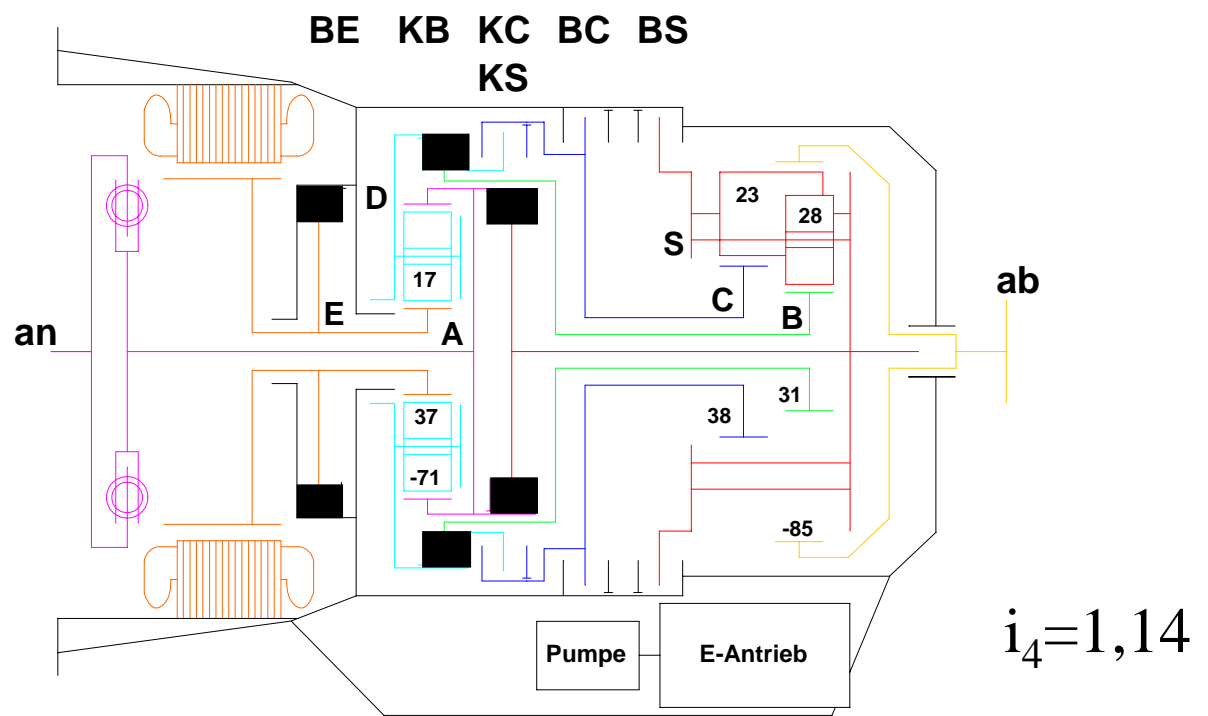


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

20



6-Gang-E-Automatikgetriebe (4. Gang)

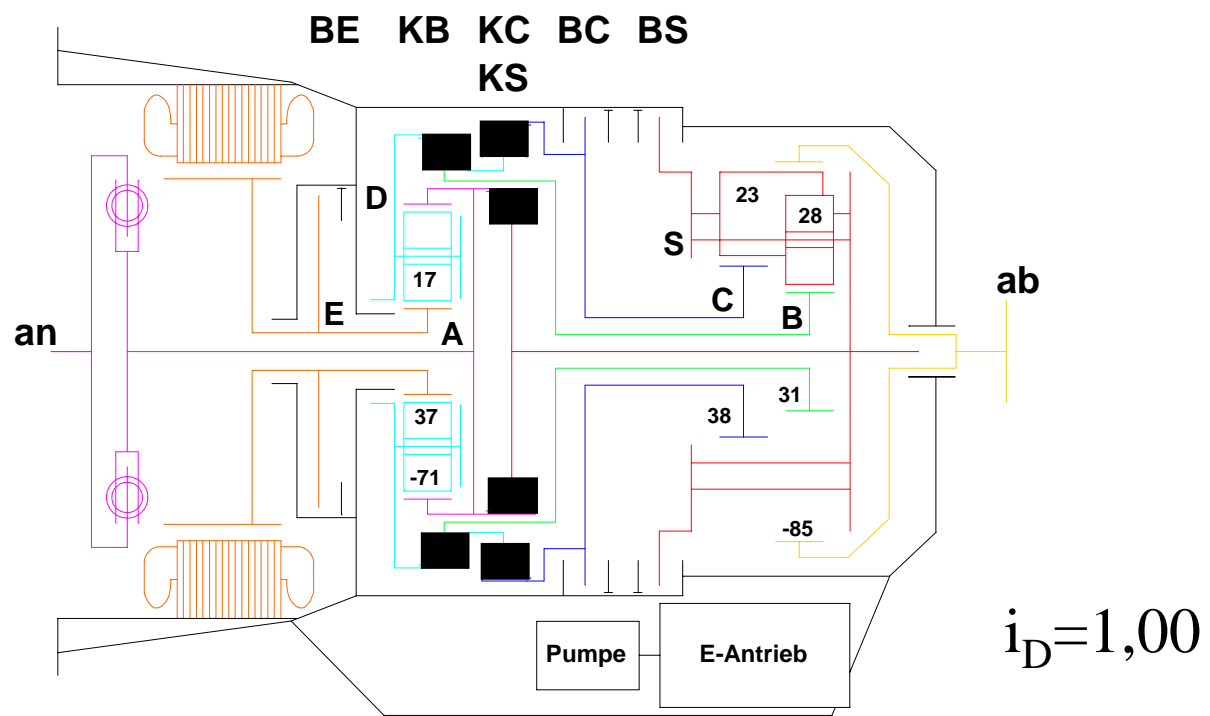


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

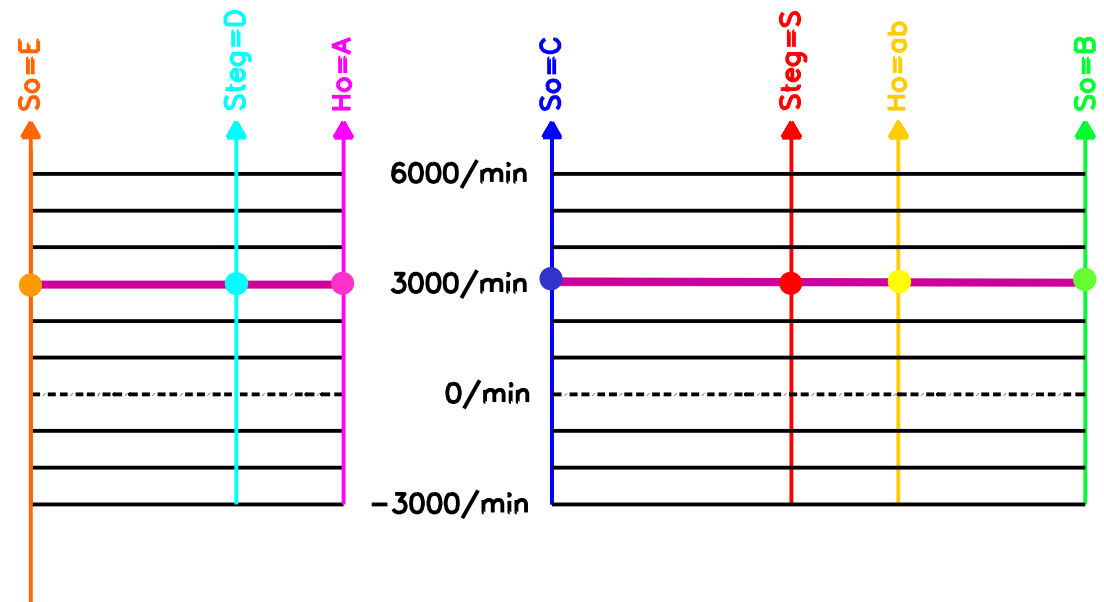
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

21



$i_D = 1,00$



6-Gang-E-Automatikgetriebe (D. Gang)

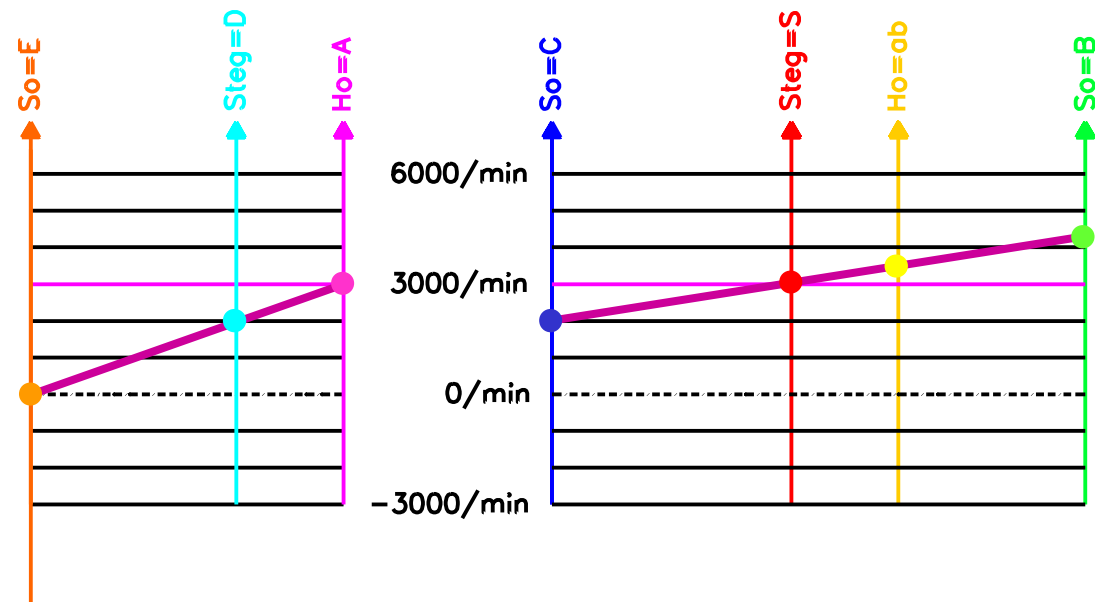
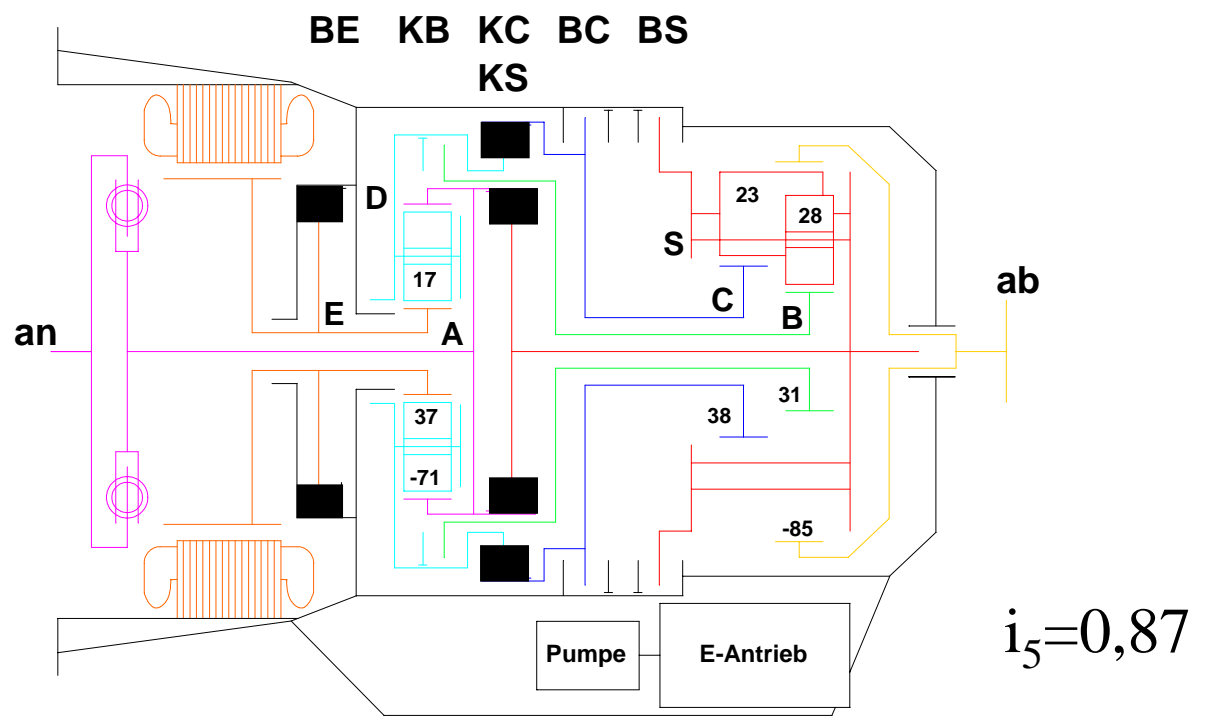


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

22



6-Gang-E-Automatikgetriebe (5. Gang)



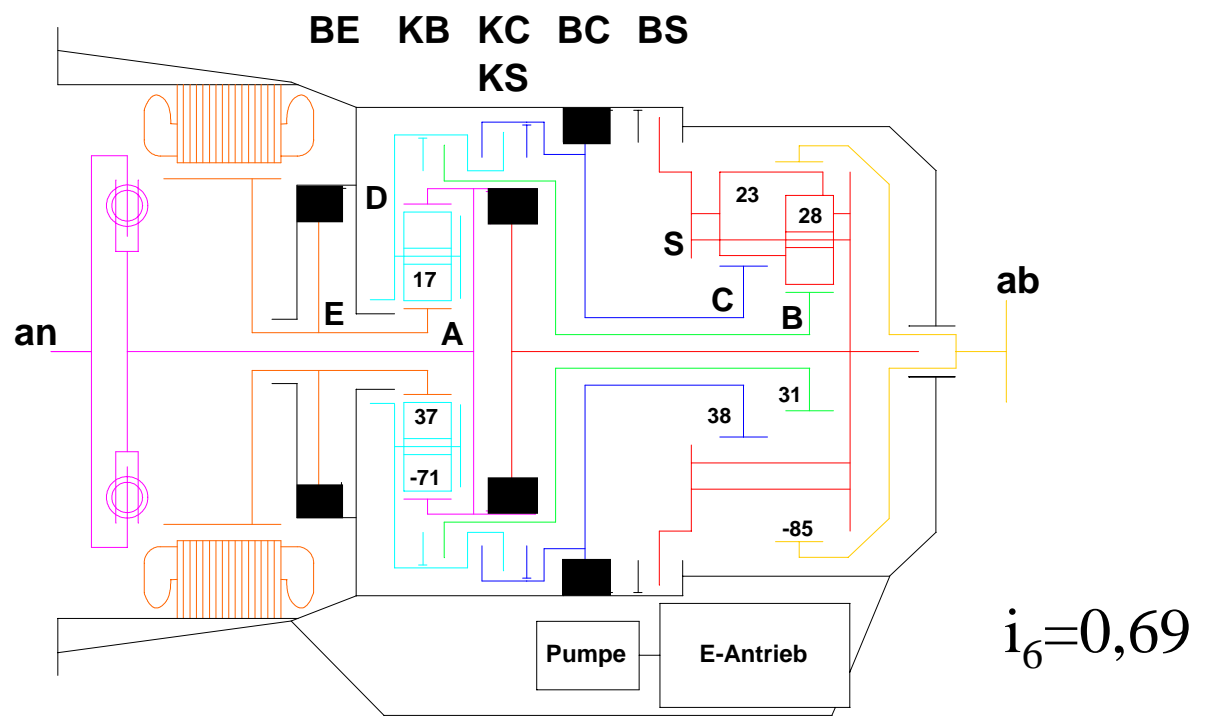


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

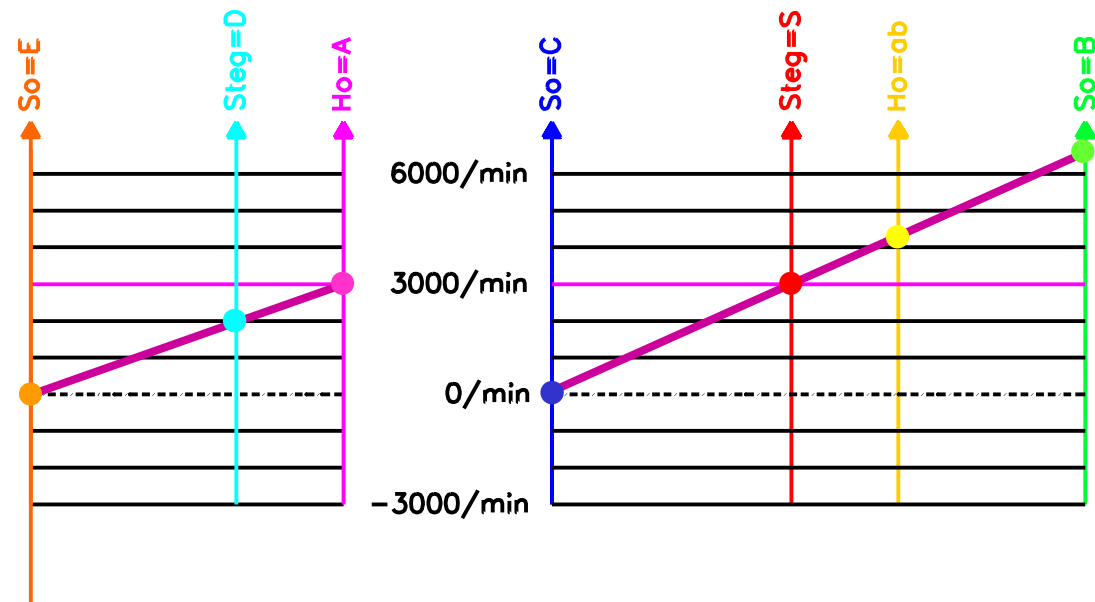
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

23



$$i_6 = 0,69$$



6-Gang-E-Automatikgetriebe (6. Gang)

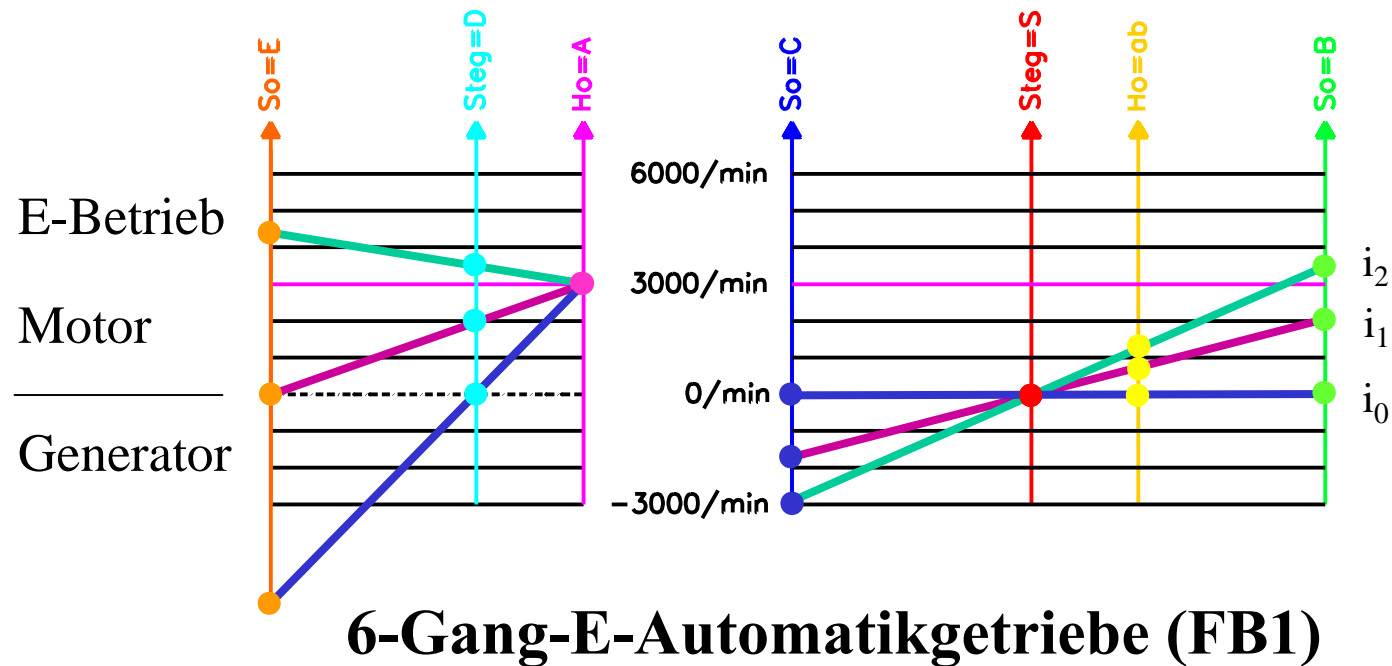
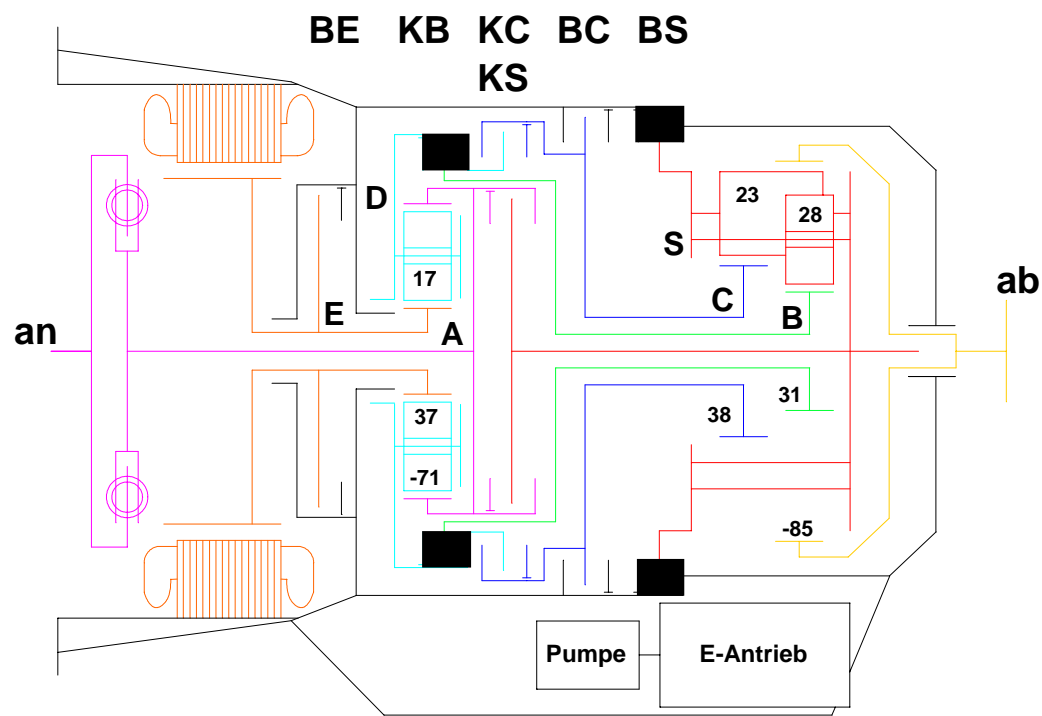


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

24



6-Gang-E-Automatikgetriebe (FB1)

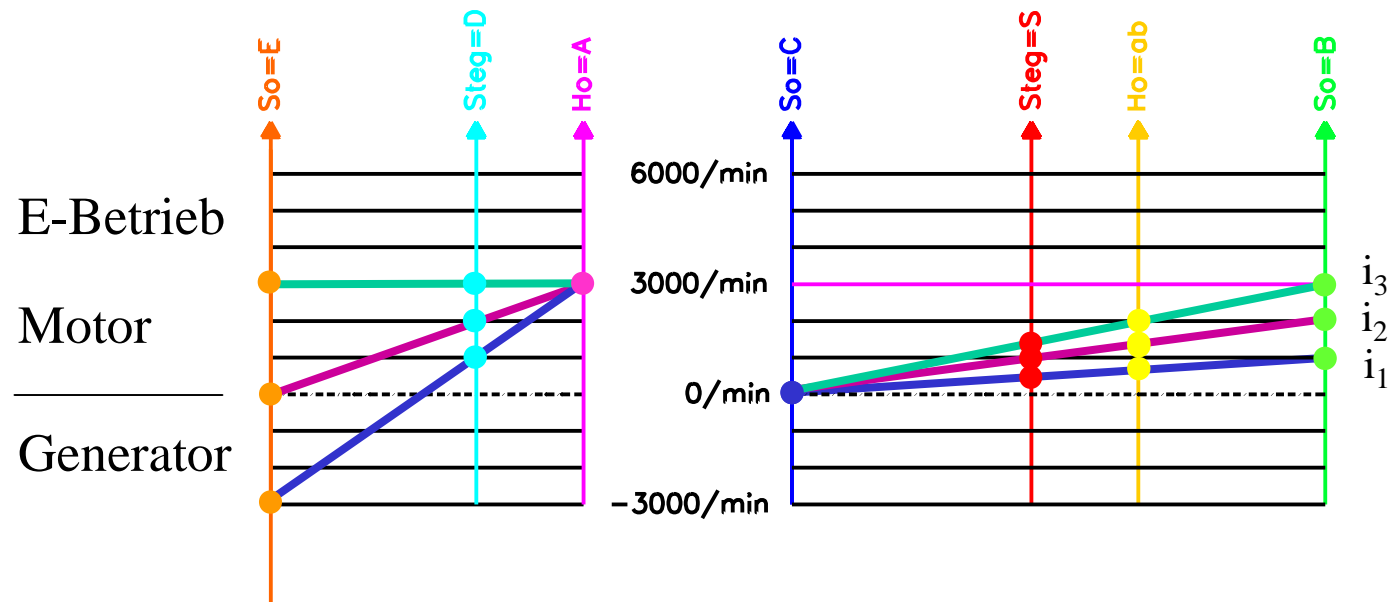
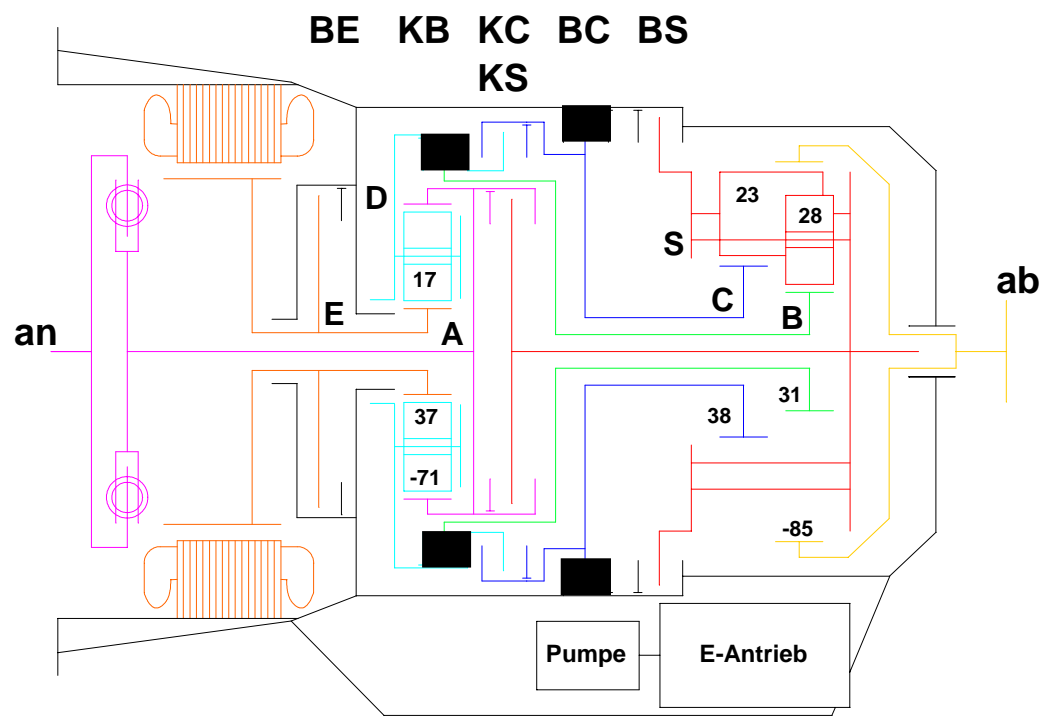


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

# E-Automat

25



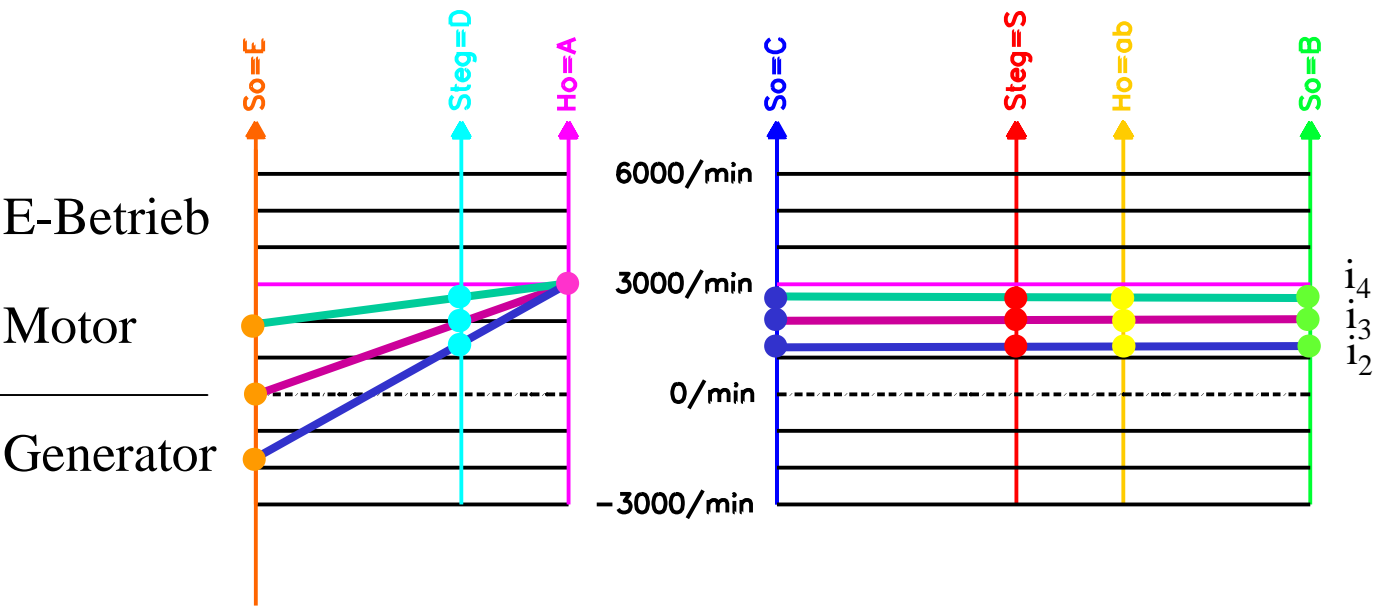
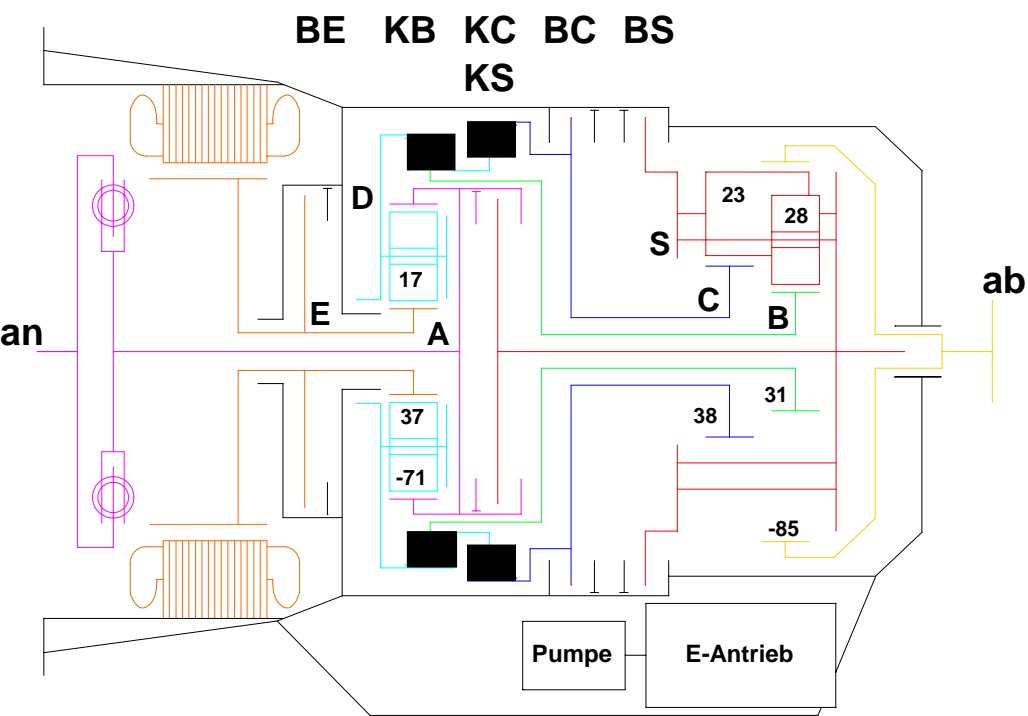
6-Gang-E-Automatikgetriebe (FB2)



Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

# E-Automat



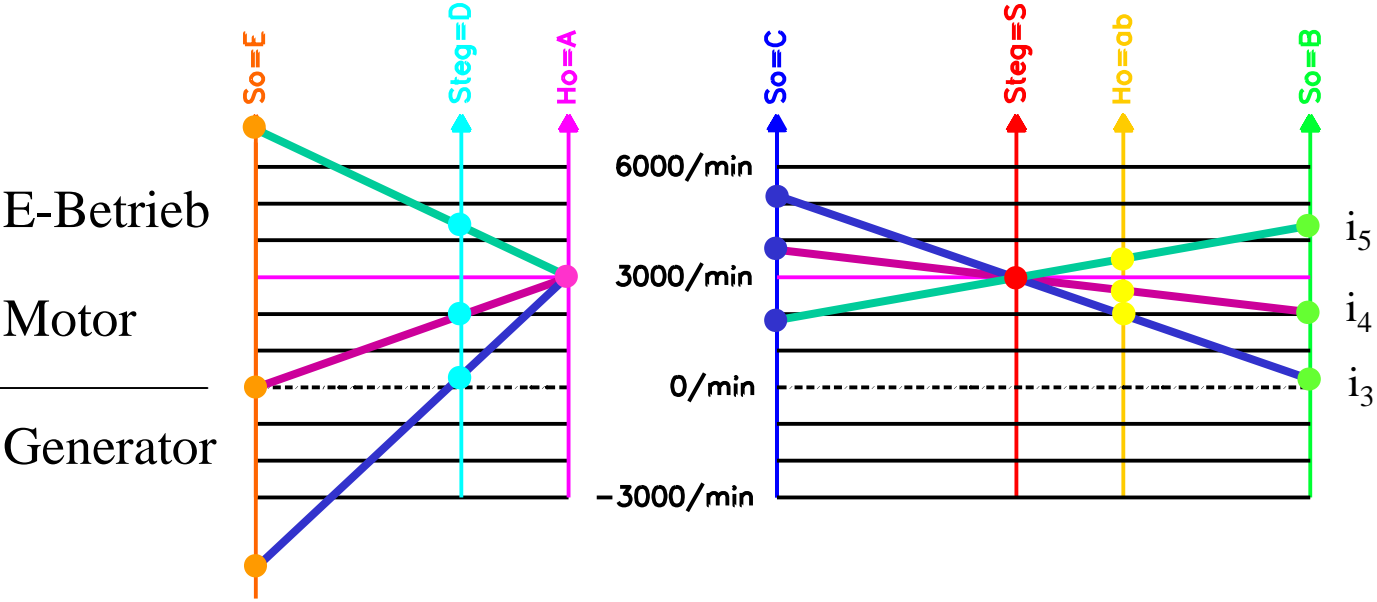
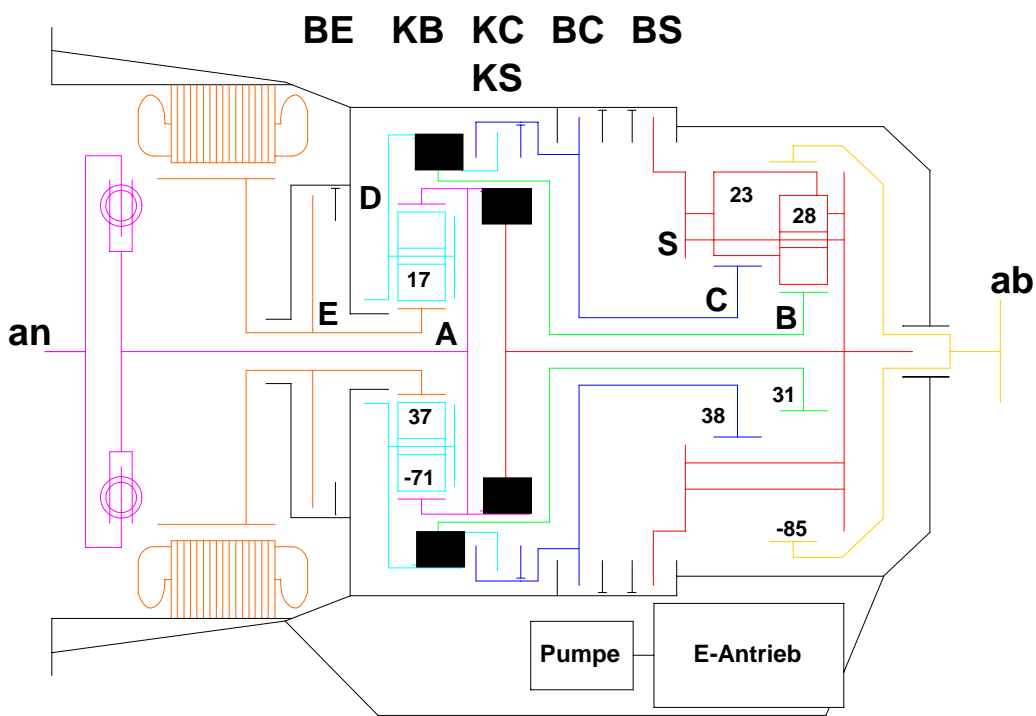
6-Gang-E-Automatikgetriebe (FB3)



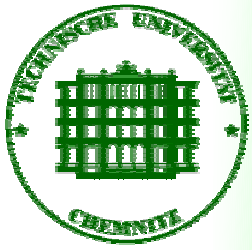
Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

# E-Automat



6-Gang-E-Automatikgetriebe (FB4)

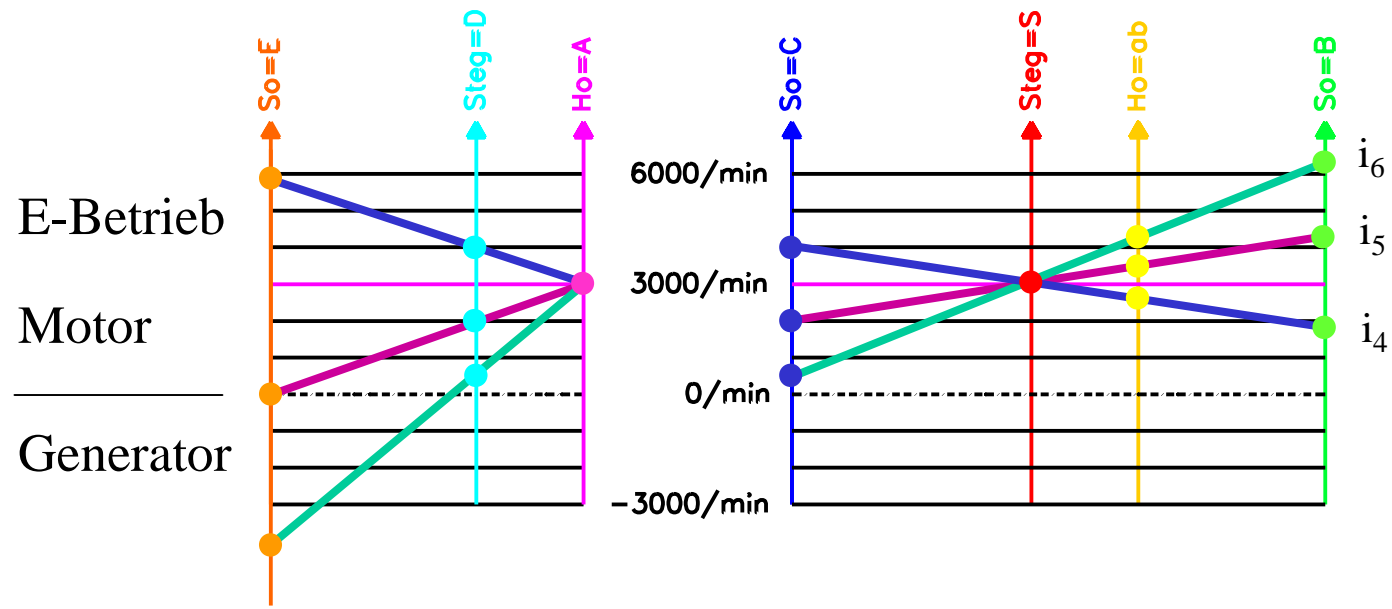
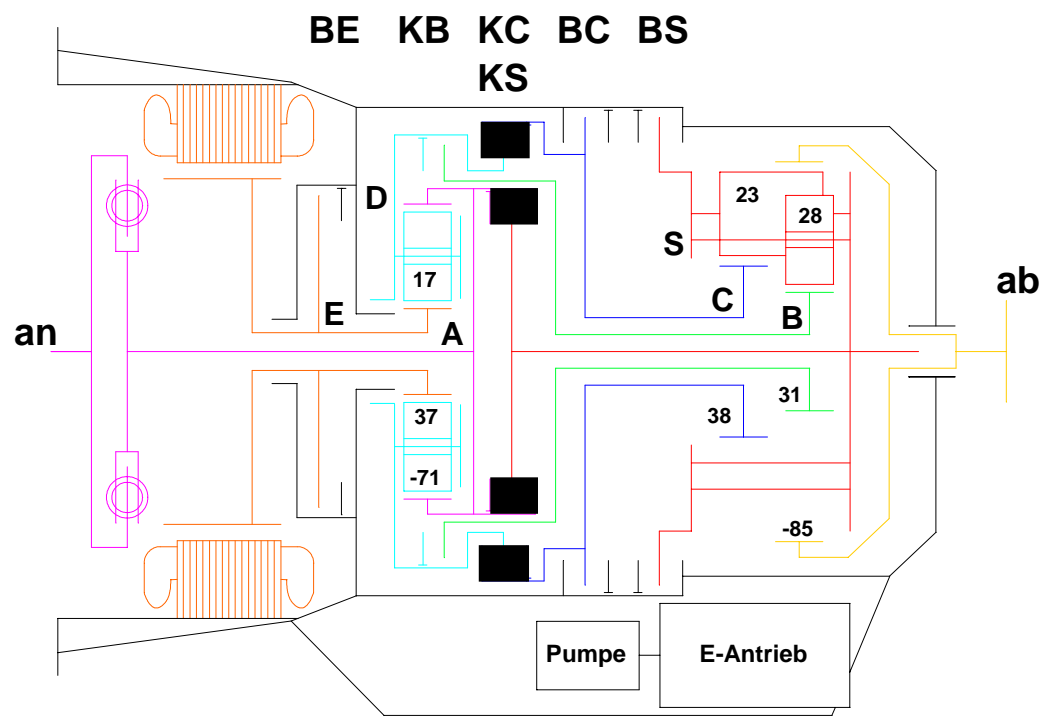


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

# E-Automat

28



6-Gang-E-Automatikgetriebe (FB5)

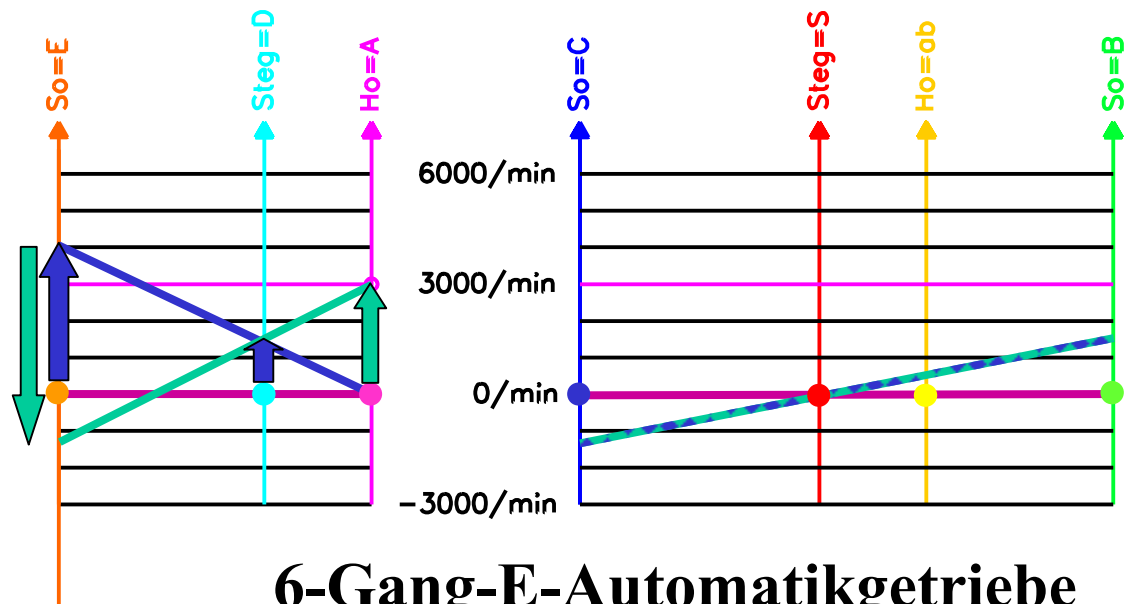
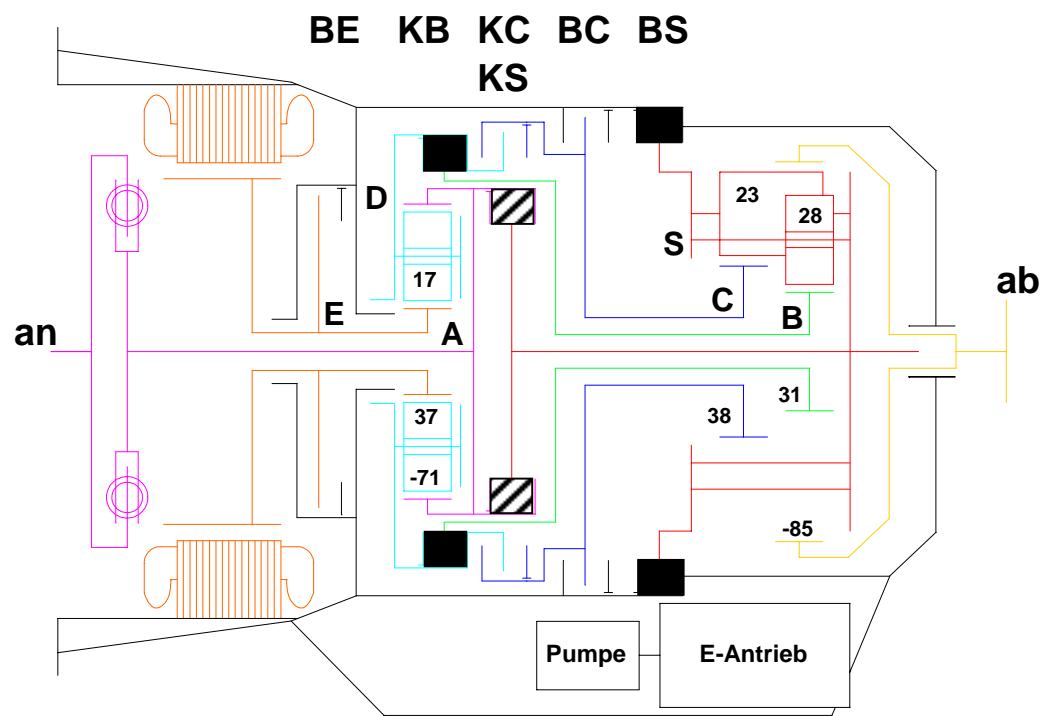


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

29



**6-Gang-E-Automatikgetriebe**  
Motorstart aus E-Gang nach FB1



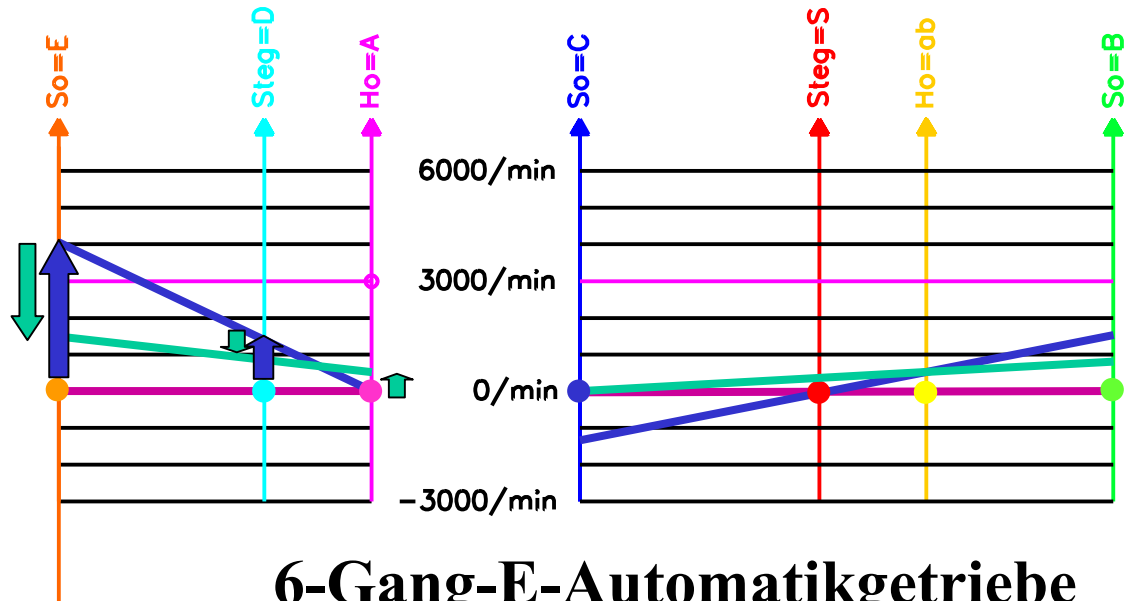
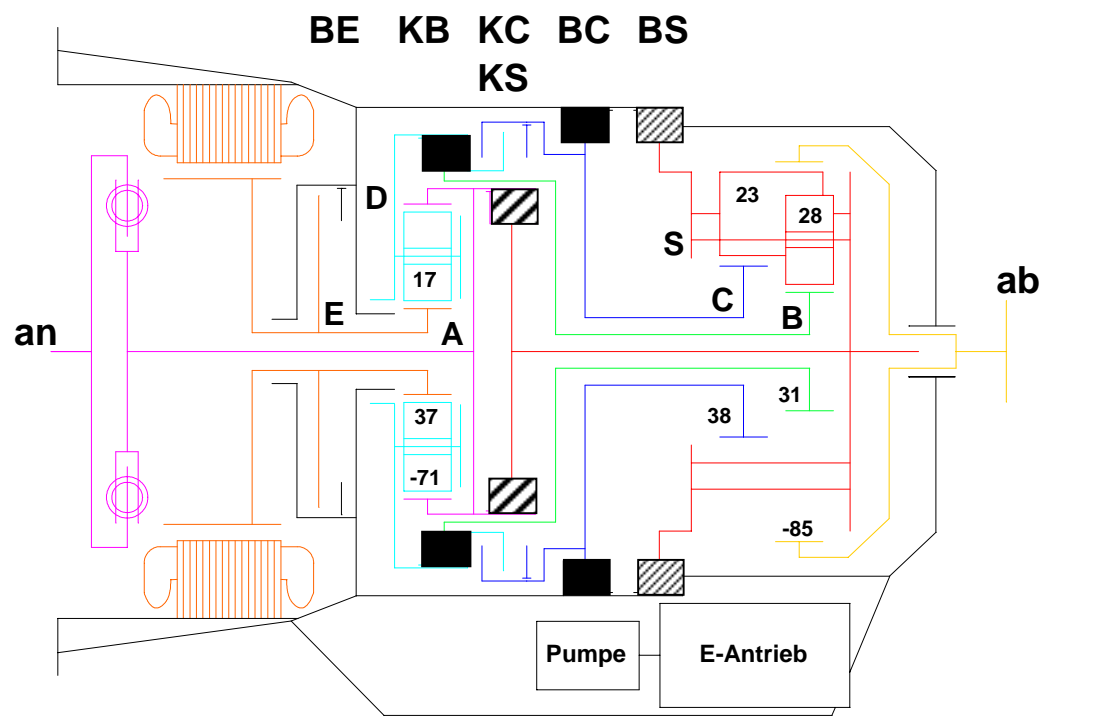


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

30



**6-Gang-E-Automatikgetriebe**  
Motorstart aus E-Gang nach FB2

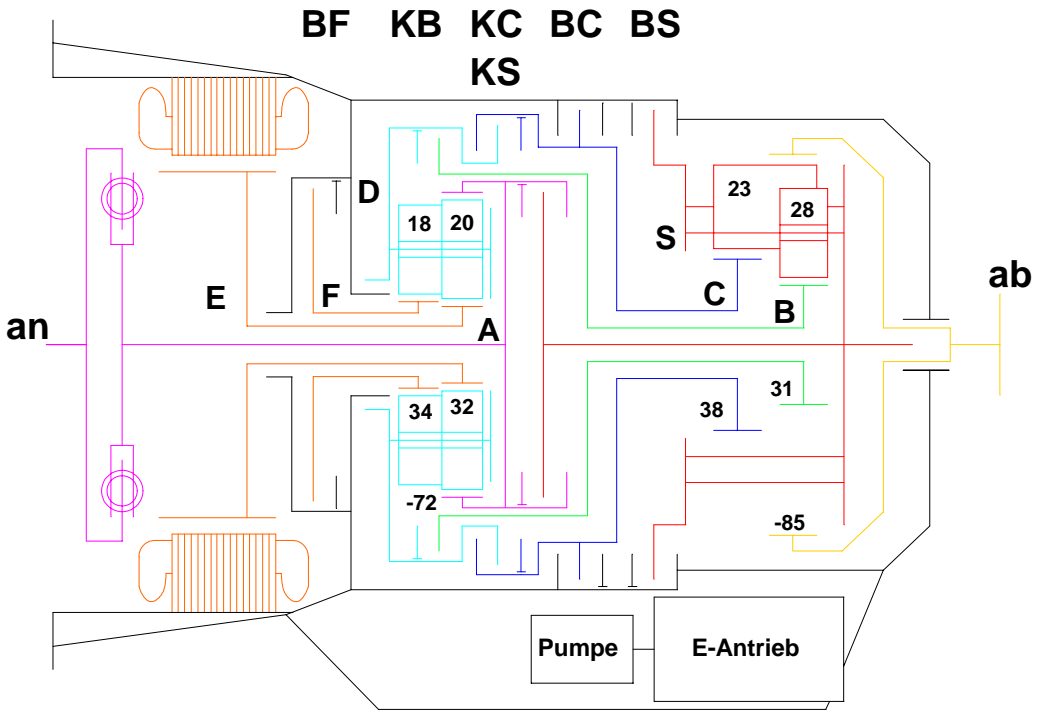


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

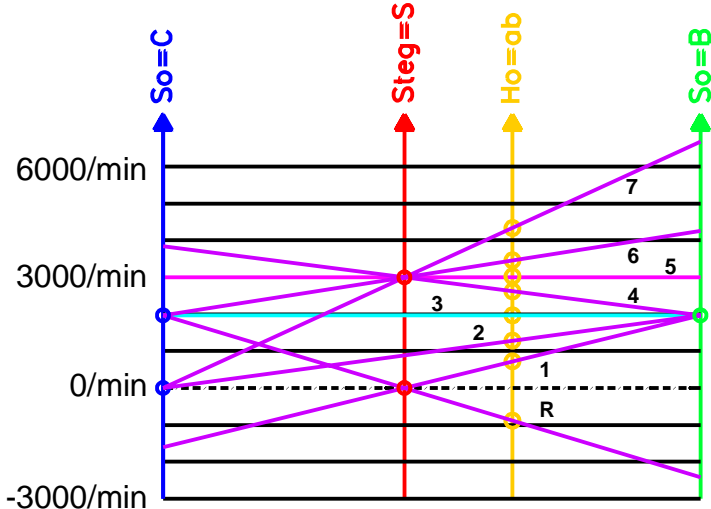
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

# E-Automat

<b>1</b>	2	3	4				
1	<b>2</b>	3	4	5			
1	2	<b>3</b>	4	5	6		
1	2	3	<b>4</b>	5	6	7	
	2	3	4	<b>5</b>	6	7	
		3	4	5	<b>6</b>	7	
			4	5	6	<b>7</b>	



Gang	KC	KS	KB	BS	BC	BF	$i_{ges}$
R							-3,40
N							
1							4,181
2							2,345
3							1,525
4							1,144
5							1,000
6							0,867
7							0,691



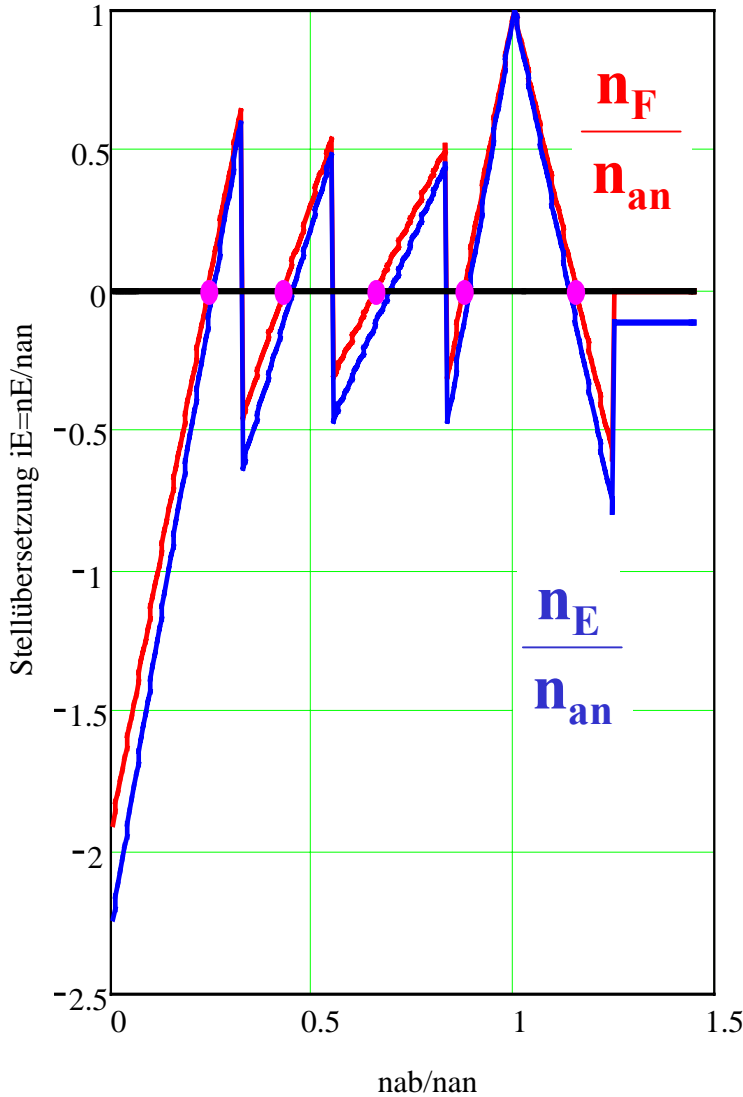
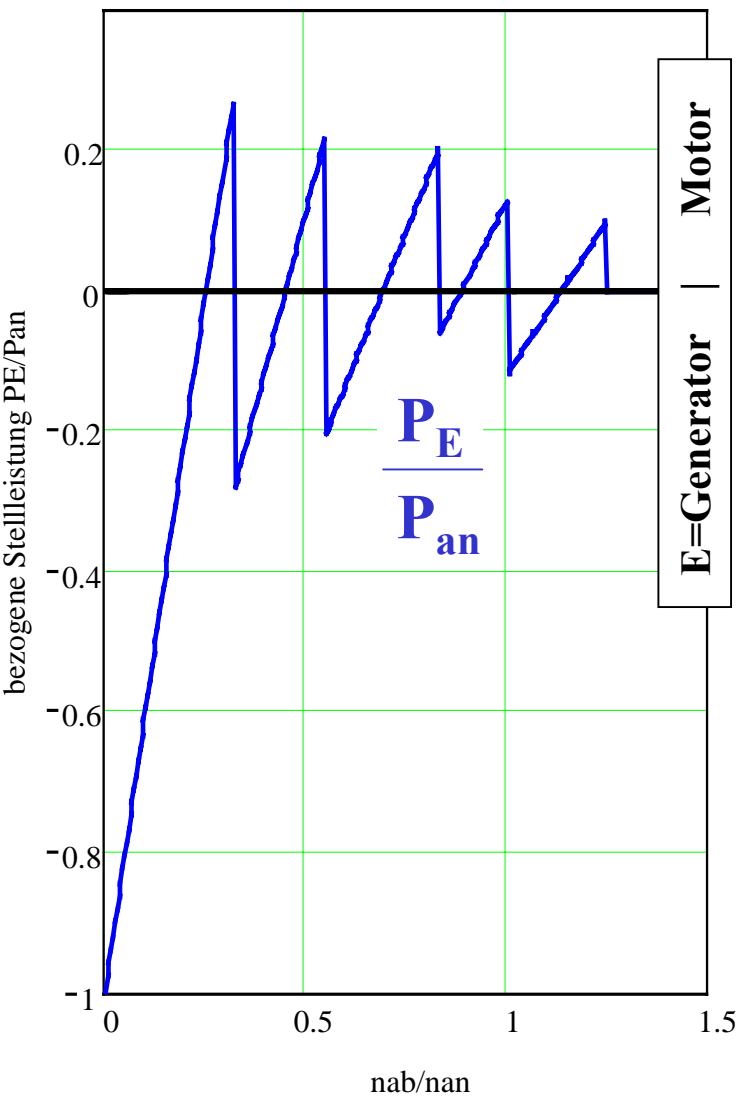
# EF-Automatikgetriebe



Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat



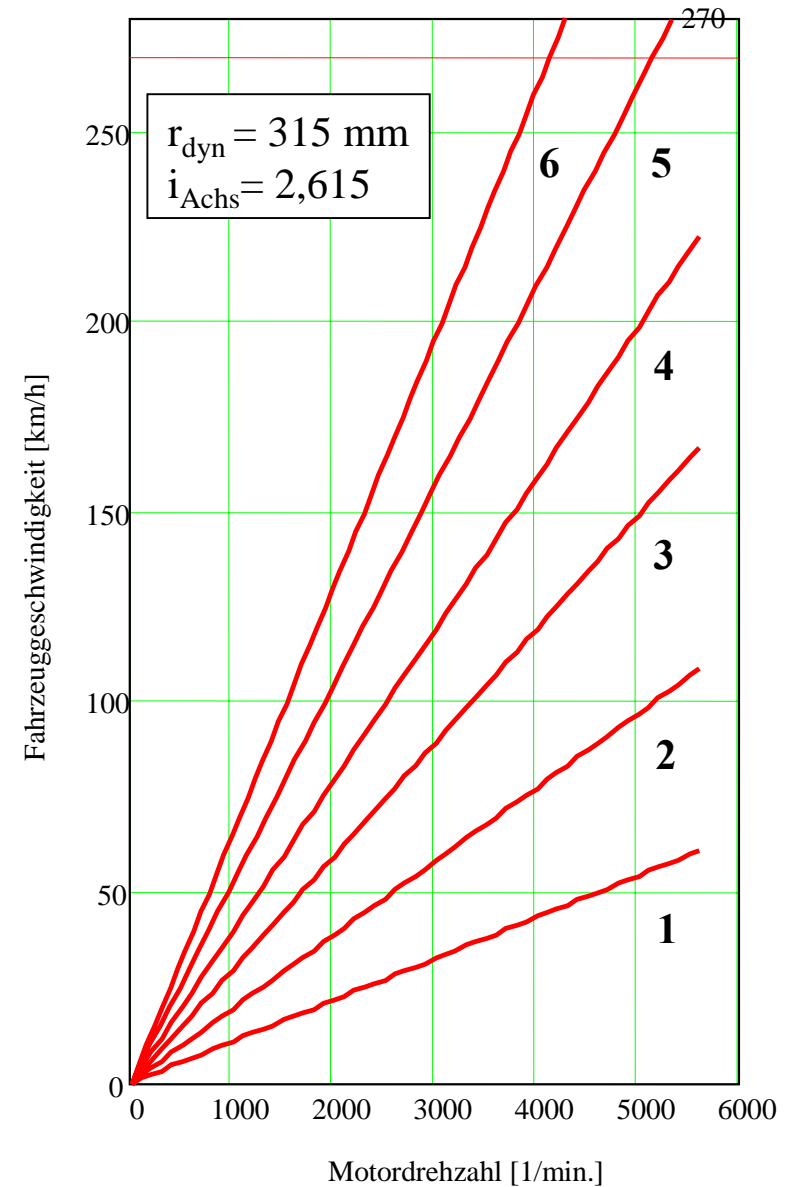
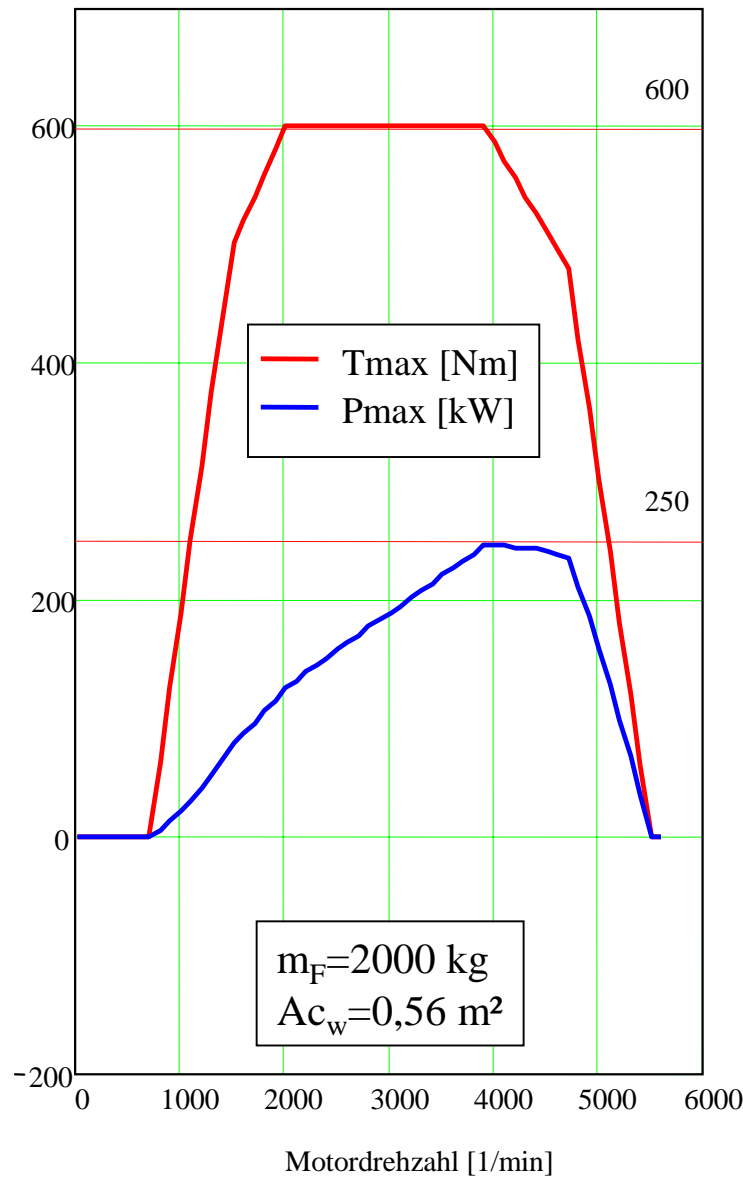


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

33



Motor- und Fahrzeugdaten für Anwendungsbeispiel

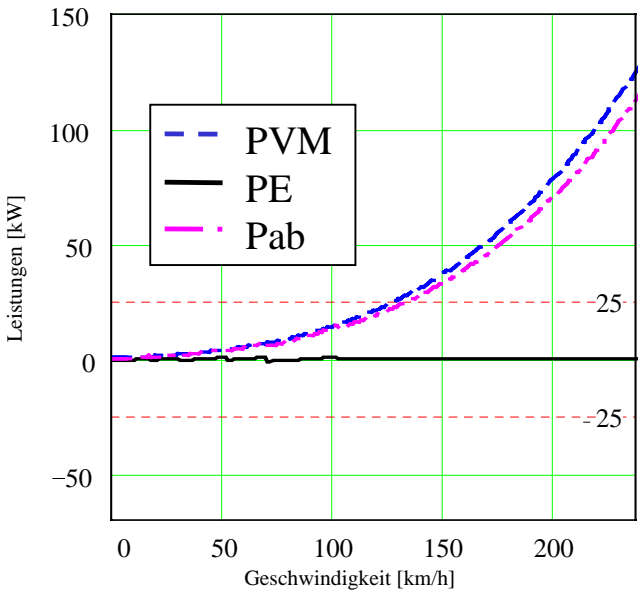
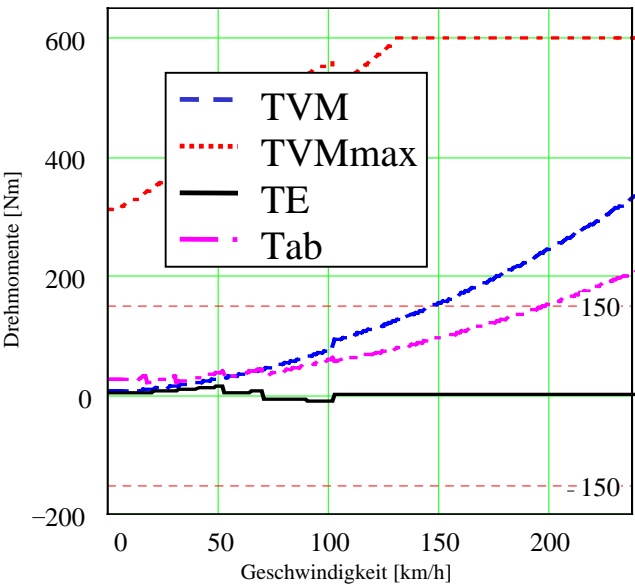
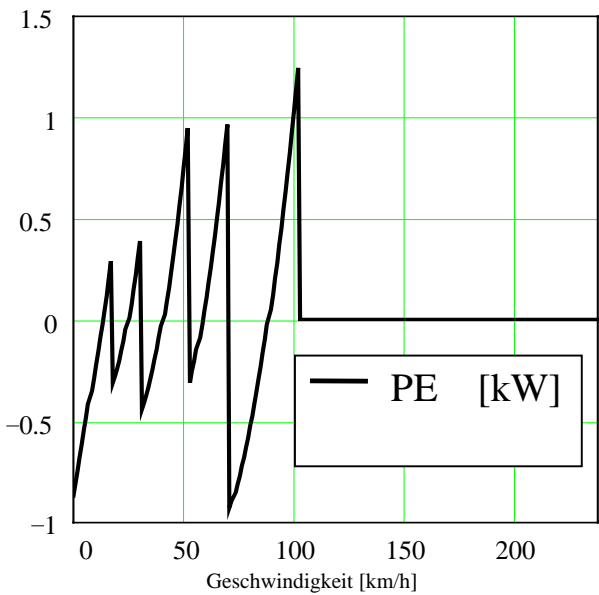
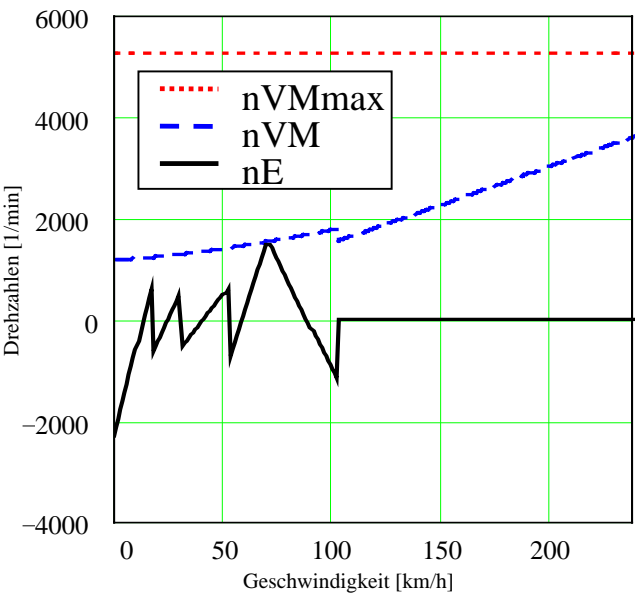


Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik

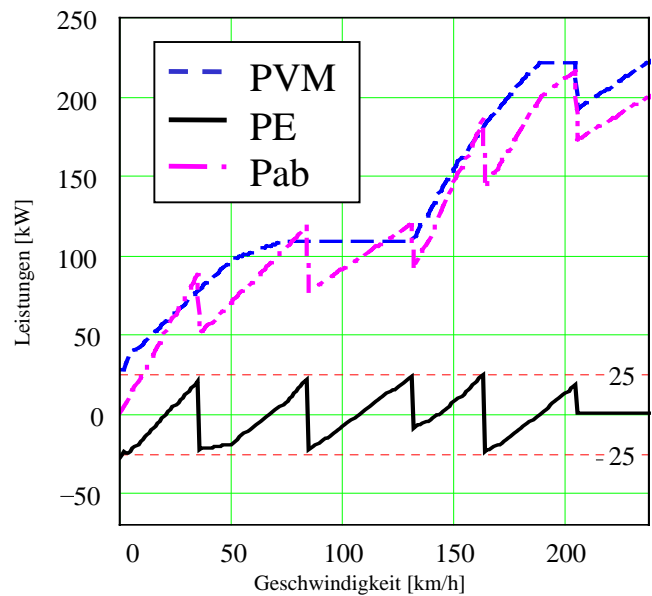
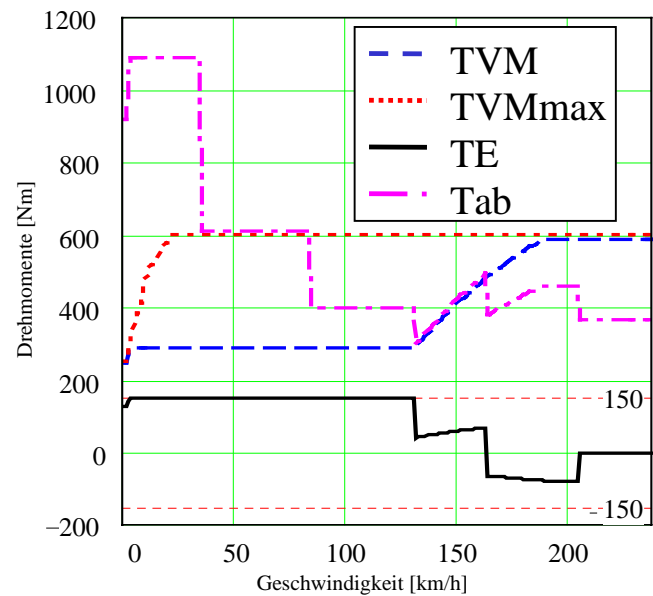
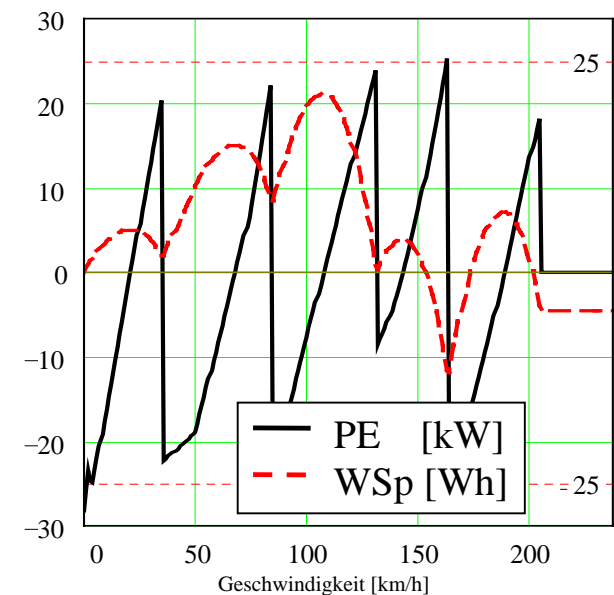
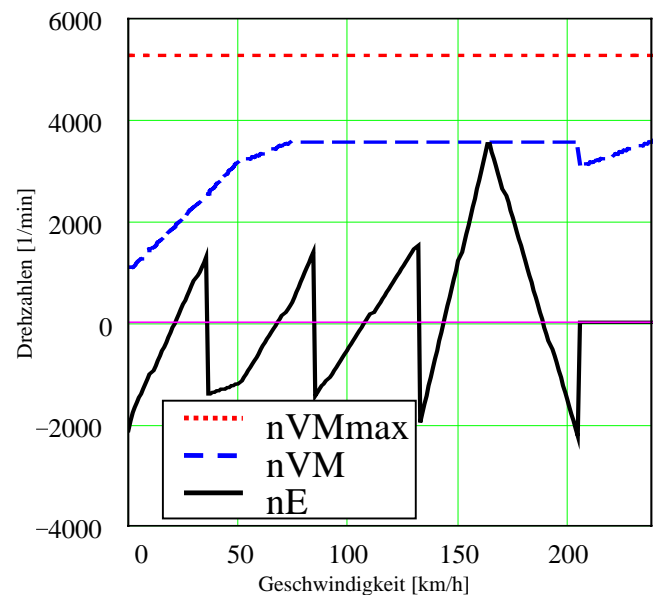
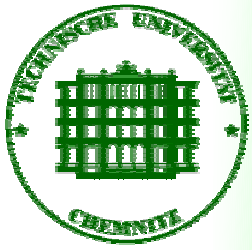
Prof. Dr.  
Peter Tenberge

E-Automat

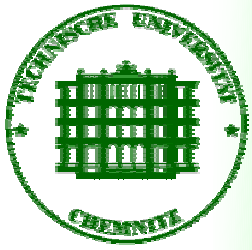
34



Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit **voll stufenlos fahrbar**



Teillastbeschl.  $t_{0-100 \text{ km/h}} = 11,6\text{s}$  mit  $\frac{TE_{\max}}{TVM_{\max}} = \frac{1}{4}$  voll stufenlos fahrbar

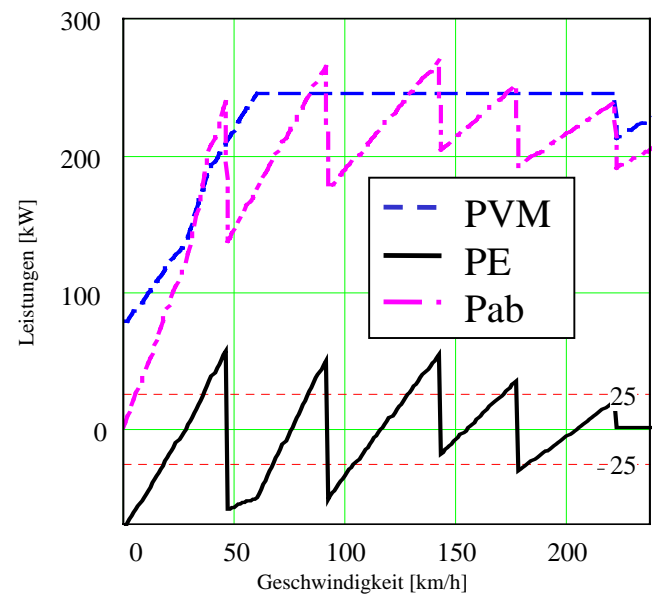
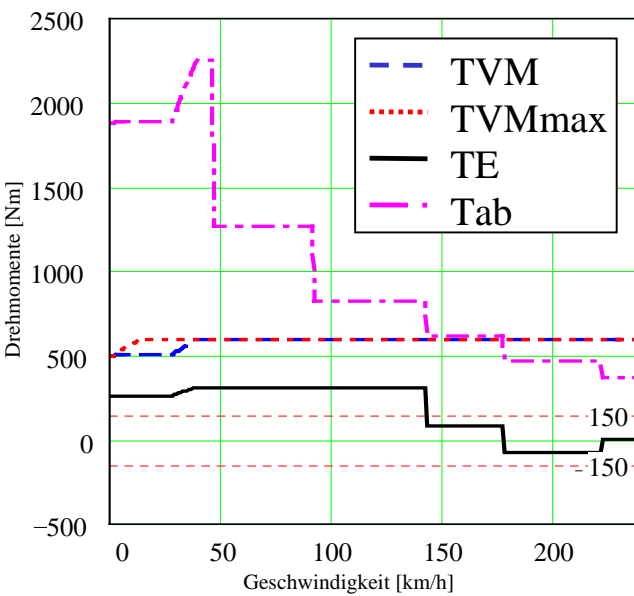
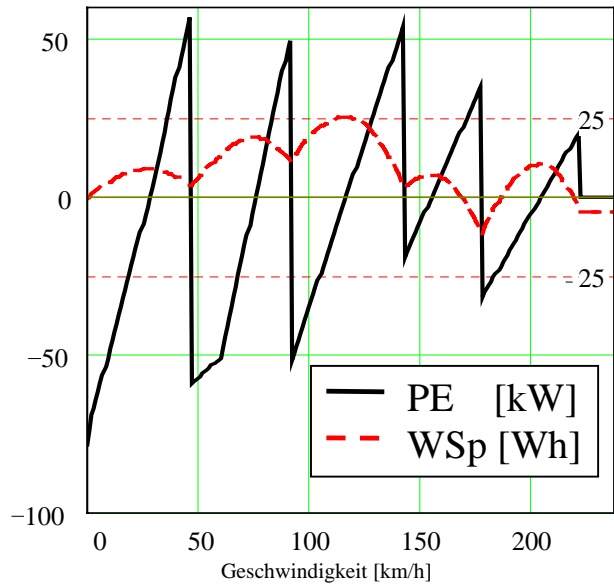
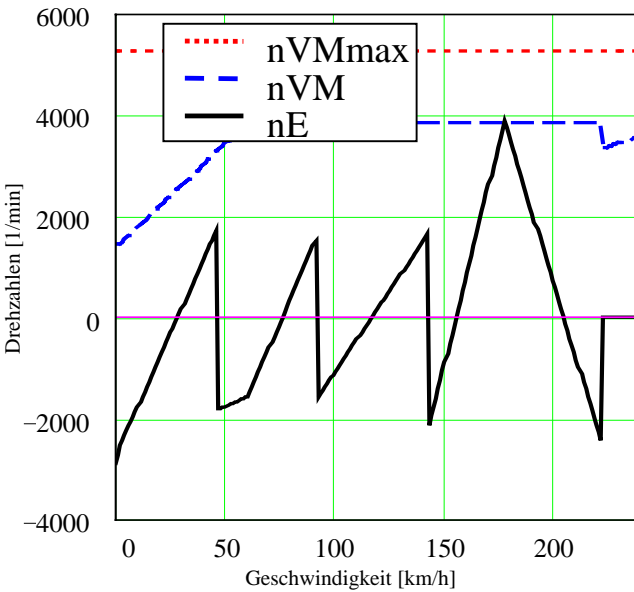


**Institut für  
Konstruktions-  
und  
Antriebstechnik**

Prof. Dr.  
Peter Tenberge

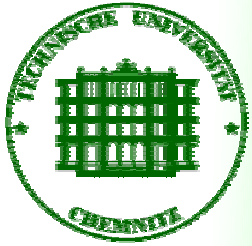
**E-Automat**

36



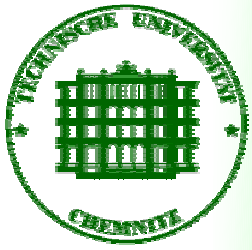
**Vollastbeschl.  $t_{0-100 \text{ km/h}} = 5,5\text{s}$  mit  $\frac{TE_{\max}}{TVM_{\max}} = \frac{1}{4}$  erst ab  $i=1,24$  stufenlos fahrbar**



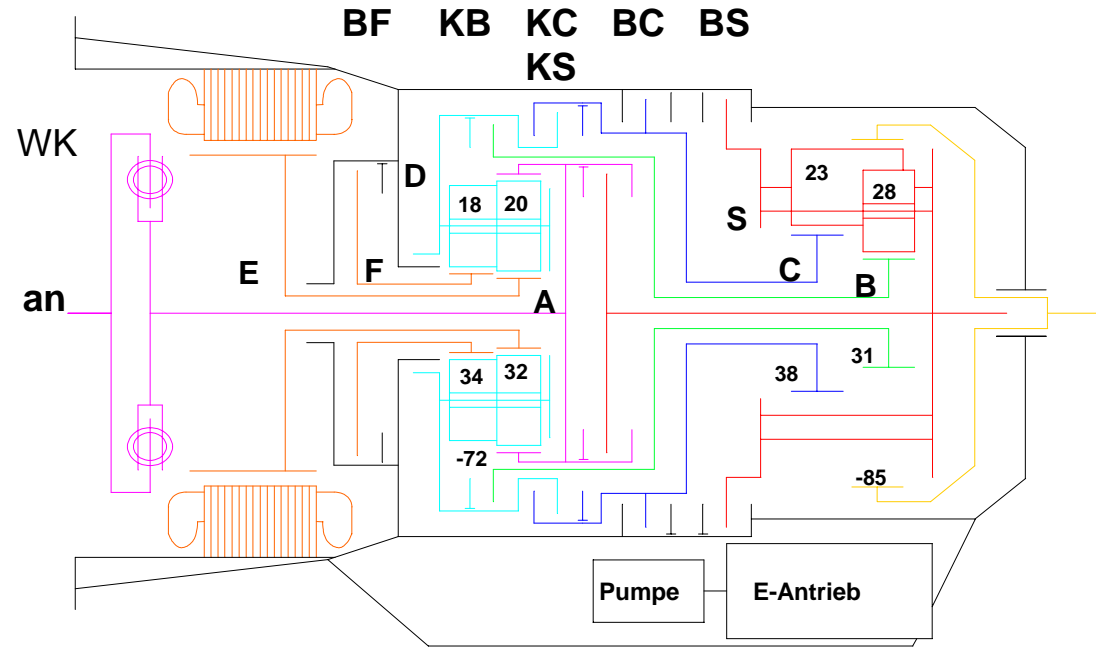


# Eigenschaften des E-Automaten

- **identisches Schaltgetriebe wie 6-Gang-Automat mit Lepelletier-Planetenradsatz**
  - **6 + 1 Gänge wie Wandler-Automat**
  - **zusätzlicher 7. Gang bei  $i=1$**
  - **gleicher Wirkungsgrad wie Wandler-Automat**
  - **gleicher Bauraum im Tunnel wie Wandler-Automat**
  - **gleiche Drehmomentkapazität wie Wandler-Automat**
- **42V-E-Maschine + Bremse BE anstelle Wandler + WK**  
**Zusatzaufwand: Leistungssteuerung + Speicher**
  - ⇒ **Starter/Generator-Betrieb**
  - ⇒ **Rekuperation im gesamten Übersetzungsbereich**
  - ⇒ **Anfahren aus geared neutral oder mit Bremse BE**
  - ⇒ **stufenloser Fahrbetrieb ab  $i=1,24$  bis Overdrive**
  - ⇒ **stufenloser Fahrbetrieb bis  $T_{VM}=2 T_{E_{max}}$  bei  $i>1,24$**   
**dabei kleine Energieschwankungen im Speicher**
  - ⇒ **rein elektrischer Fahr- und Rangierbetrieb**
  - ⇒ **Motorstart aus E-Betrieb heraus möglich**



# Zusammenfassung



Ein Großteil der Bauteile des E-Automaten sind  
identisch zum 6-Gang-Wandler-Automaten  
⇒ einfache und kostengünstige Adaption  
⇒ auch bei kleinen Stückzahlen  
geringes Entwicklungs- und Marktrisiko.

**E-Automat**

**E-Automat = gute Alternative zu CVT**