

## Bewertung von hydraulischen Hybridkonzepten für Nutzfahrzeuge mit DSHplus

Simulation der Energierückgewinnung bei einem Stadtbus





## Gliederung

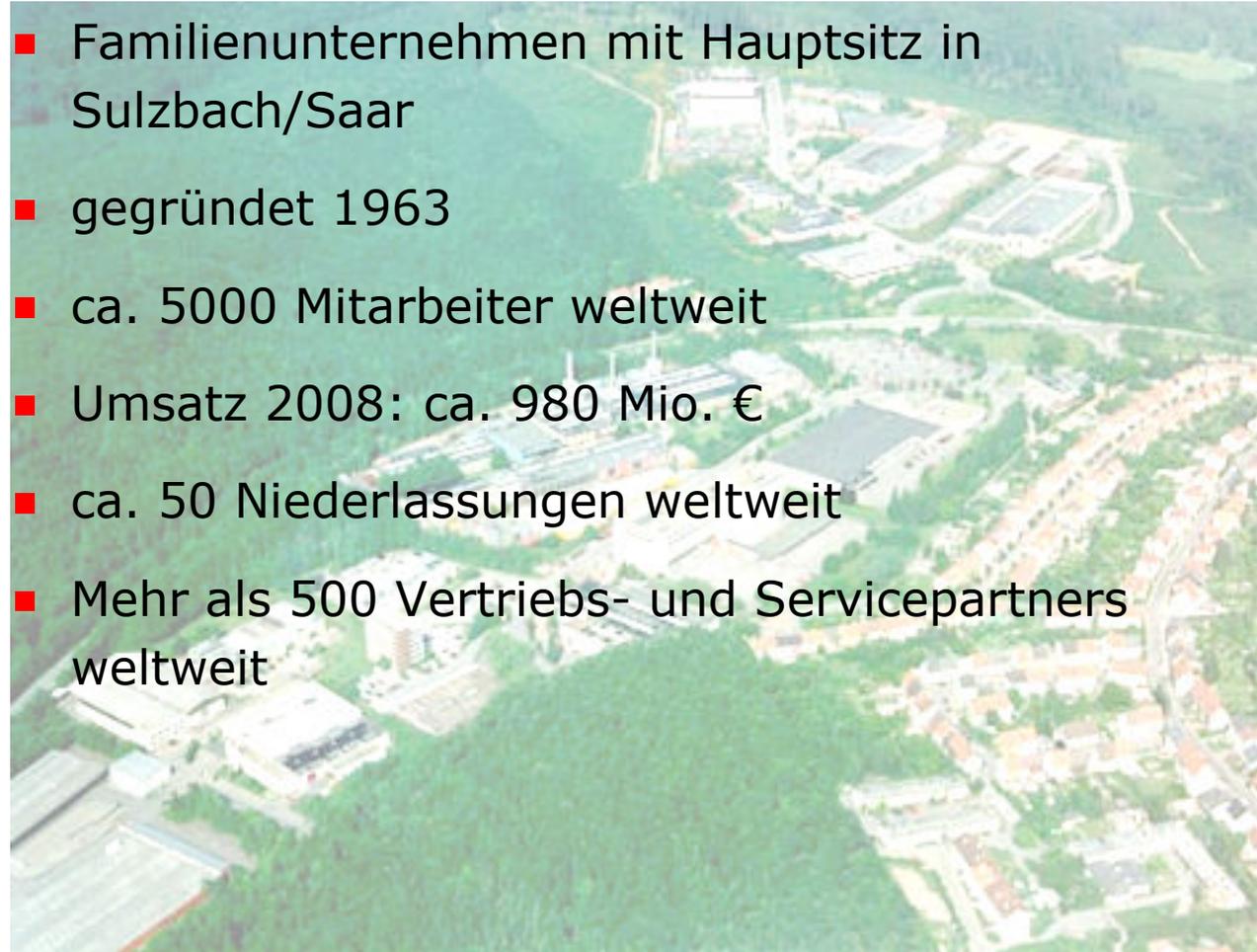
- **Hydac**
  - Das Unternehmen, Lösungen, ...
- **Hybridtechnologie**
  - Definition, Hybridarten, ...
- **Systemkonfiguration**
  - Antriebsstruktur & Fahrzyklus
- **Simulationsmodell**
  - Aufbau, Speichermodell, Randbedingungen, Speicherauslegung
- **Simulationsergebnisse**
  - Temperatur- & Druckverläufe, Wirkungsgrad, Energiebilanz
- **Parameterstudie: Einflussgrößen**
  - Vorspanndruck, Umgebungstemperatur, Isolierung, Haltezeit (Zyklus), ...
- **Fazit**



# HYDAC INTERNATIONAL

## ■ Der Hydac Unternehmensverbund

- Familienunternehmen mit Hauptsitz in Sulzbach/Saar
- gegründet 1963
- ca. 5000 Mitarbeiter weltweit
- Umsatz 2008: ca. 980 Mio. €
- ca. 50 Niederlassungen weltweit
- Mehr als 500 Vertriebs- und Servicepartners weltweit





# HYDAC INTERNATIONAL

**Komponenten**

**Systems**

**Fluid Engineering  
und Service**

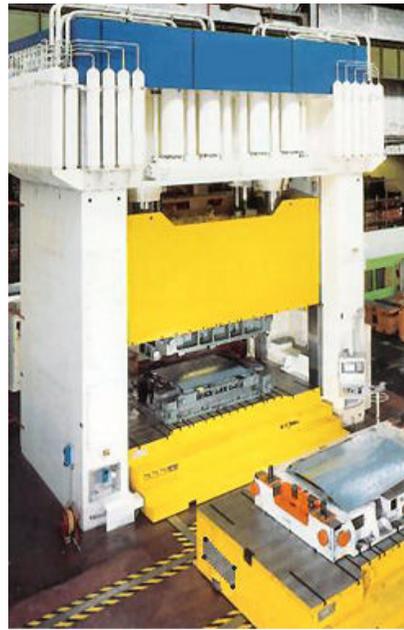




# HYDAC INTERNATIONAL

## Komponenten und Systeme

Komponenten,  
System und Fluid-  
Service für die  
Fluidtechnologie,  
Hydraulik und  
Elektronik für  
nahezu alle  
Anwendungen in  
Stationär- und  
Mobilmaschinen





**HYDAC INTERNATIONAL**

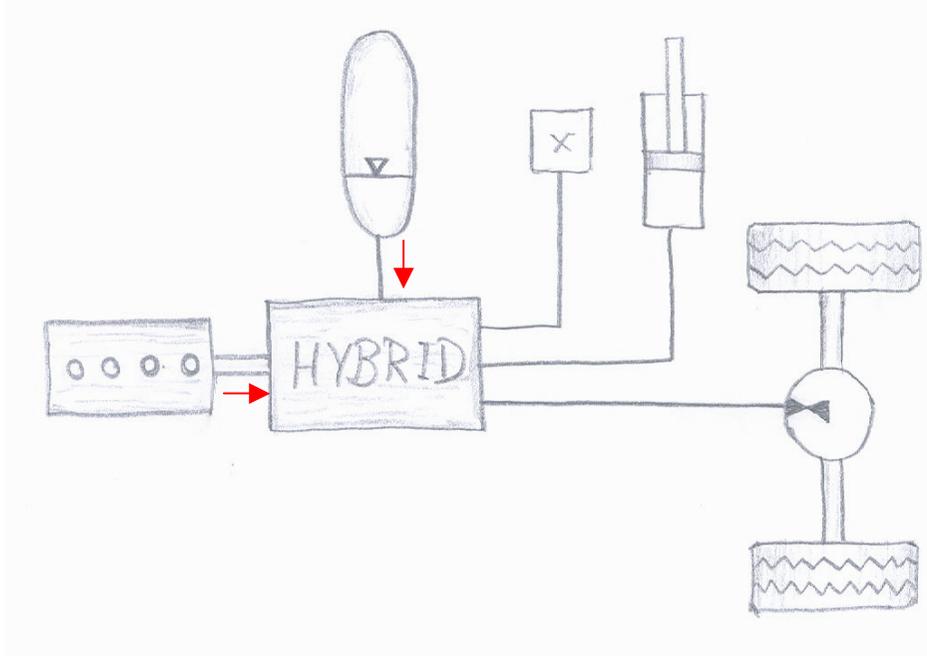
## Gliederung

- **Hydac**
  - Das Unternehmen, Lösungen, ...
- **Hybridtechnologie**
  - Definition, Hybridarten, ...
- **Systemkonfiguration**
  - Antriebsstruktur & Fahrzyklus
- **Simulationsmodell**
  - Aufbau, Speichermodell, Randbedingungen, Speicherauslegung
- **Simulationsergebnisse**
  - Temperatur- & Druckverläufe, Wirkungsgrad, Energiebilanz
- **Parameterstudie: Einflussgrößen**
  - Vorspanndruck, Umgebungstemperatur, Isolierung, Haltezeit (Zyklus), ...
- **Fazit**



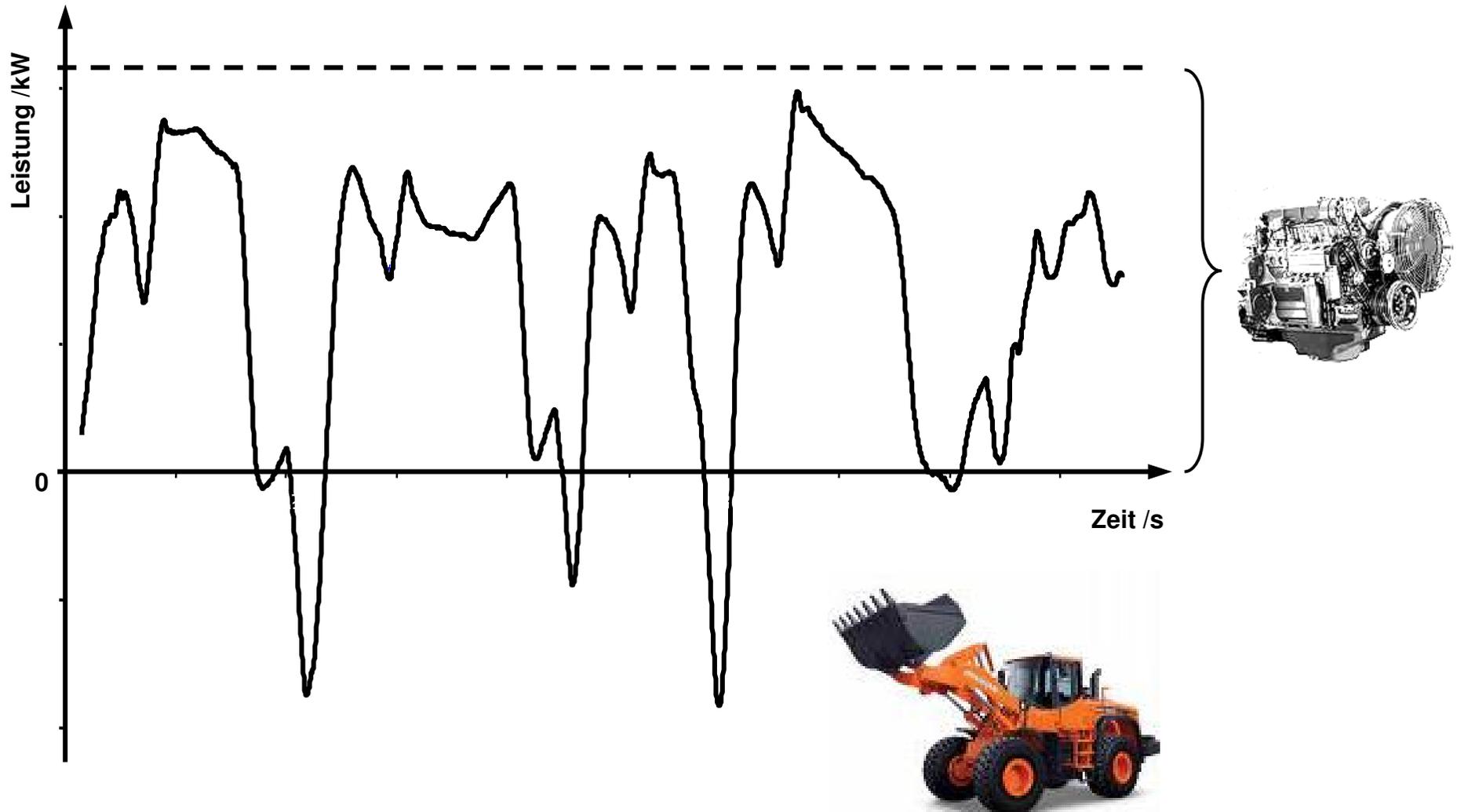
## ■ Definition Hybridantriebe

- Mindestens zwei unabhängige Antriebe mit unterschiedlichen Energiespeichern (z.B. VKM + Speicher)
- Energierückgewinnung (kinetisch und/oder potenziell) nicht zwingend erforderlich



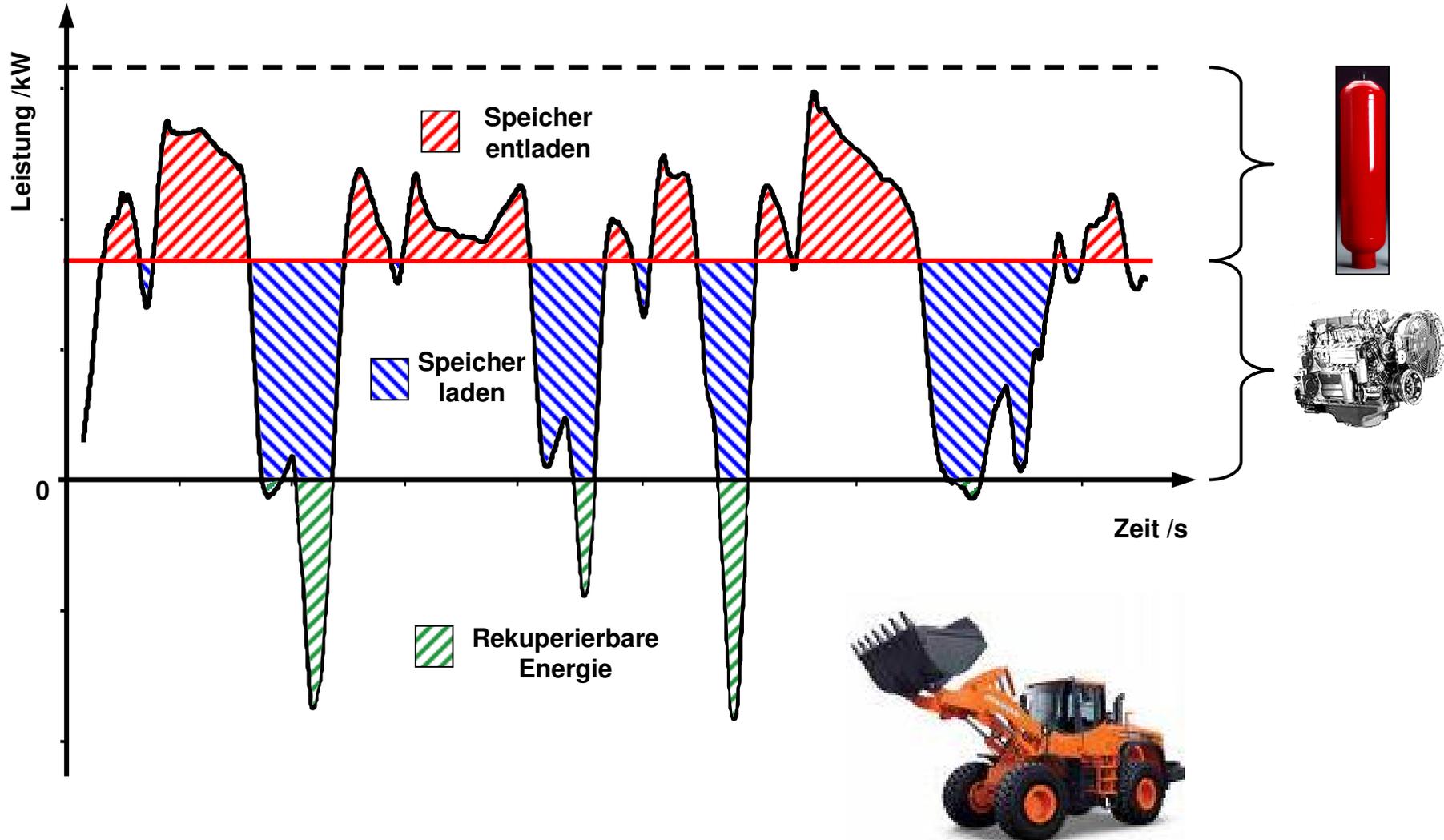


## Downsizing durch Hybridisierung





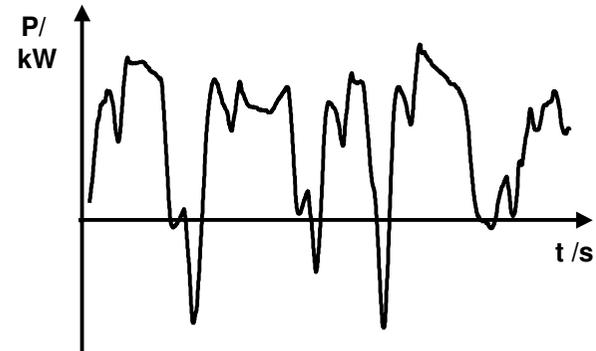
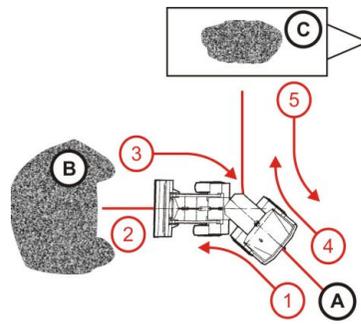
## Downsizing durch Hybridisierung



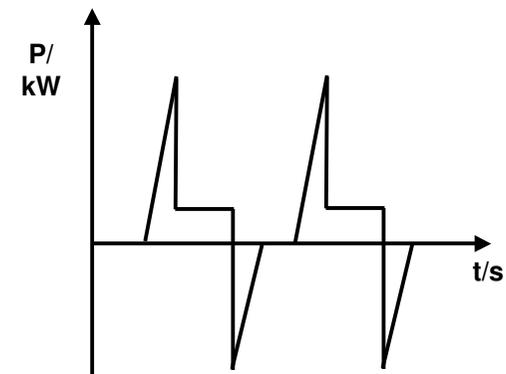
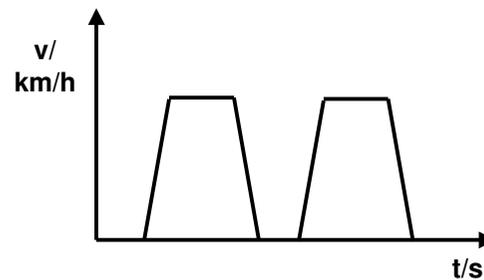
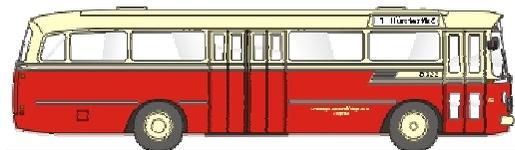


## ■ Applikationsunterschied Hybrid

- Lastspitzen glätten: z.B. Fahrtrieb Radlader



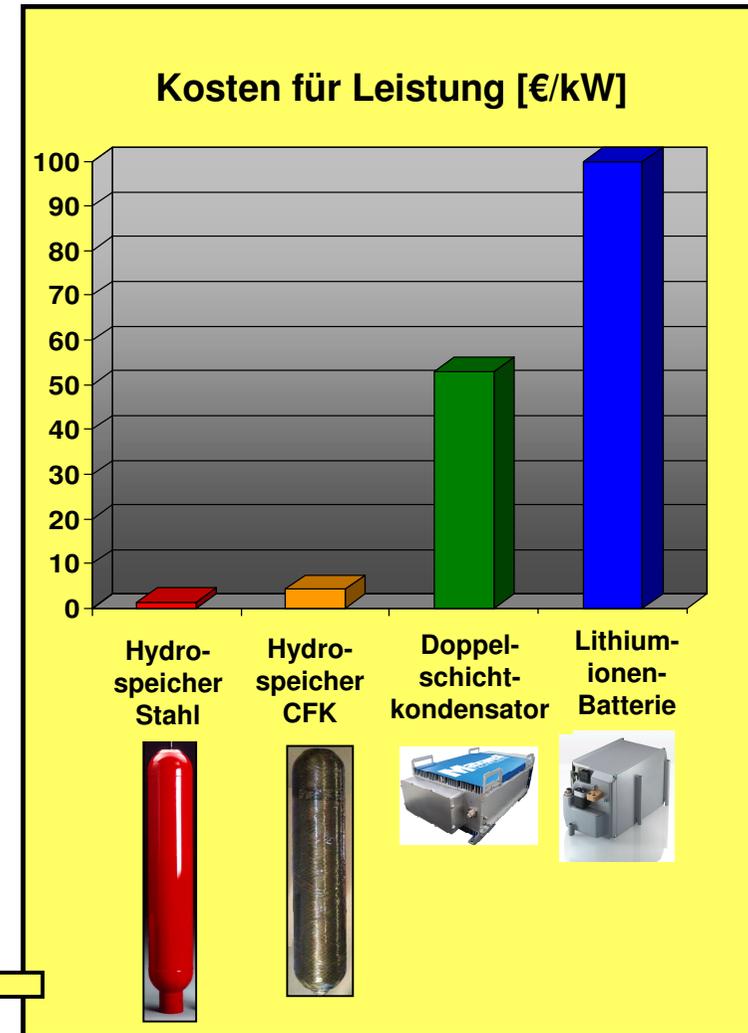
- Rekuperation: z.B. Linienbus





## Vergleich Energiespeicher

Vergleichskriterium	Hydraulik	Elektrik	
	Hydro-speicher	Doppel-schicht-kondensator	Lithium-ionen-Batterie
Energiedichte	-	0	0/+
Leistungsdichte	+	+	0/-
Alterung/ Kapazitätsverlust	+	0	-
Temperaturbereich	+	-	-
Selbstentladung	+	-	0
Packaging	0	0	0
<b>Kosten</b>	<b>+</b>	<b>-</b>	<b>0</b>





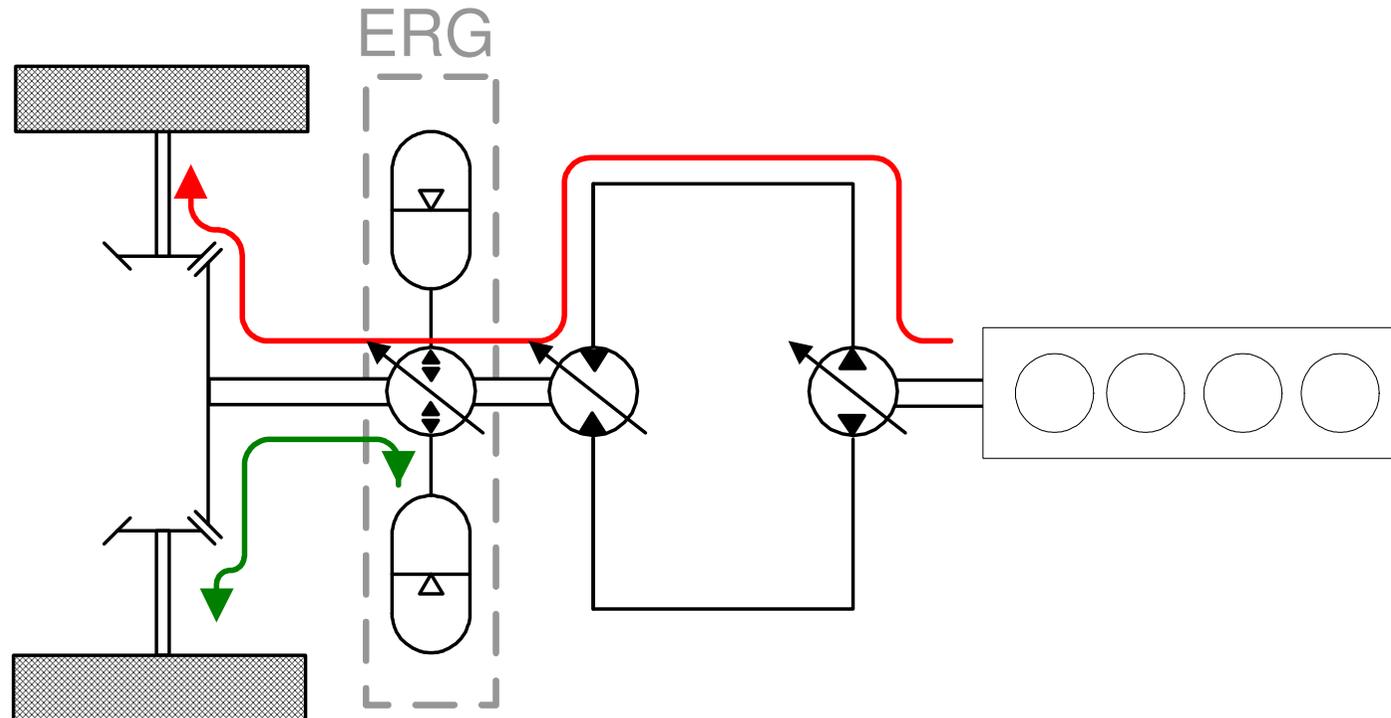
## Gliederung

- Hydac
  - Das Unternehmen, Lösungen, ...
- Hybridtechnologie
  - Definition, Hybridarten, ...
- **Systemkonfiguration**
  - Antriebsstruktur & Fahrzyklus
- Simulationsmodell
  - Aufbau, Speichermodell, Randbedingungen, Speicherauslegung
- Simulationsergebnisse
  - Temperatur- & Druckverläufe, Wirkungsgrad, Energiebilanz
- Parameterstudie: Einflussgrößen
  - Vorspanndruck, Umgebungstemperatur, Isolierung, Haltezeit (Zyklus), ...
- Fazit





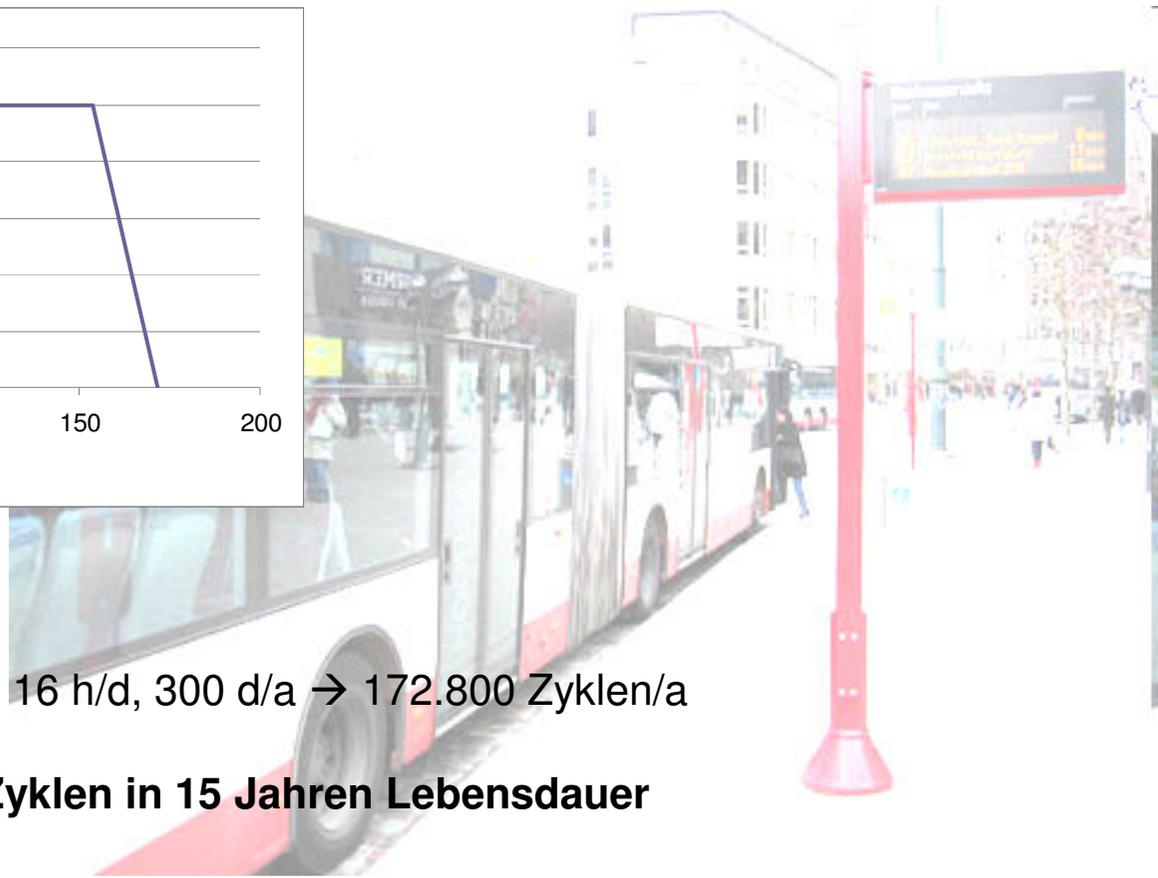
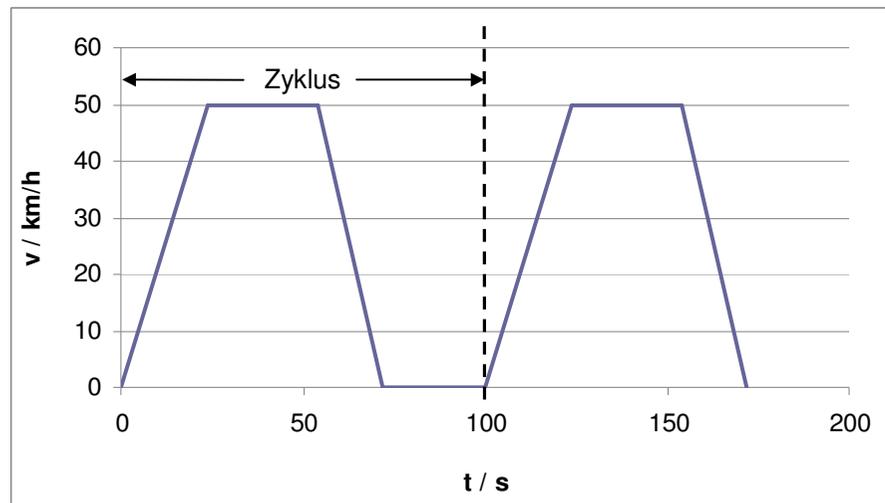
## ■ Antriebskonfiguration Hybrid: - Parallel-Hybrid mit HD- und ND-Speicher -





## Fahrzyklusdefinition Stadtbus

### Einfacher „Hydac-Buszyklus“



Annahme:

36 Zyklen/h, 16 h/d, 300 d/a → 172.800 Zyklen/a

→ 2,6 Mio. Zyklen in 15 Jahren Lebensdauer

→ **Erhebliche Anforderung an den Speicher**



## Gliederung

- Hydac
  - Das Unternehmen, Lösungen, ...
- Hybridtechnologie
  - Definition, Hybridarten, ...
- Systemkonfiguration
  - Antriebsstruktur & Fahrzyklus
- **Simulationsmodell**
  - Aufbau, Speichermodell, Randbedingungen, Speicherauslegung
- Simulationsergebnisse
  - Temperatur- & Druckverläufe, Wirkungsgrad, Energiebilanz
- Parameterstudie: Einflussgrößen
  - Vorspanndruck, Umgebungstemperatur, Isolierung, Haltezeit (Zyklus), ...
- Fazit



**HYDAC INTERNATIONAL**

## ■ Motivation, warum Simulation?

- Komfortable und schnelle Systembetrachtung
  - ⇒ Vielzahl von Fahrzeugen einfach abzubilden
  - ⇒ schnelle Konzeptbewertung
  
- Kosten- und Zeitsparende Einschätzung von Einsparpotentialen
  - ⇒ Kein Testfahrzeug notwendig
  
- Variation von Einflussgrößen
  - ⇒ Verschiedene Lastzyklen
  - ⇒ Umgebungsvariablen



**HYDAC INTERNATIONAL**

## ■ Simulationsmodell Parallelhybrid

- Lasteinheit berücksichtigt reale Fahrwiderstandskräfte
  - $F_{\text{Roll}}$ ,  $F_{\text{Besch}}$ ,  $F_{\text{Steig}}$ ,  $F_{\text{Luft}}$
  
- Annahme einer idealisierten Antriebseinheit / Leistungsquelle
  - keine Verluste, ohne Zugkraftunterbrechung, unendliche Dynamik
  
- Vereinfachte Verluste im Hydraulikkreis
  - viskose Dämpfung und Leckage an der Hydroeinheit
  - keine Wirkungsgradverluste im Teillastbereich der Hydroeinheit
  - wurzelförmigen Druckverluste an den Steuerkanten
  - keine Rohrleitungsverluste
  
- **Fokus auf detaillierter Betrachtung des Hydrospeichers**



## ■ Simulationsmodell des Hydrospeichers

- Import der Berechnungsroutinen von *ASP* (Hydac) → *DSHplus*
  - basiert auf 30-jähriger Anwendungserfahrung -

- Polytrope Zustandsberechnung mit Realgasverhalten

$$p_0, V_0 \quad \left(p + \left(\frac{n}{V}\right)^2 a\right)(V - nb) = nRT$$

- Wärmeaustausch mit Umgebung mittels Eigenzeit

- Speicherbauart, Speichergröße, Materialien, ...
- Eigenzeit: Verhältnis von Wärmespeicher- / Wärmeübergangsvermögen

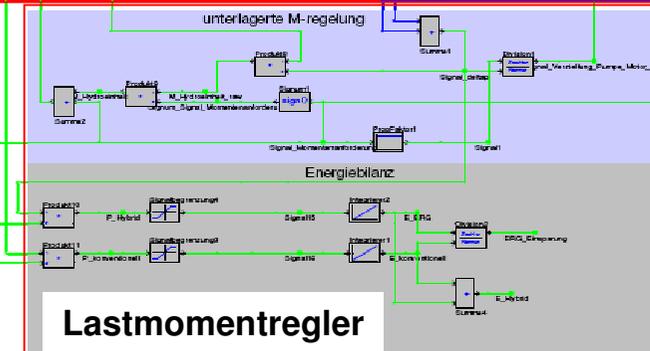
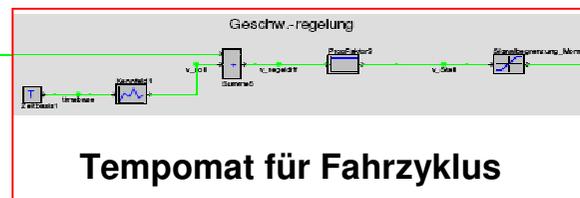
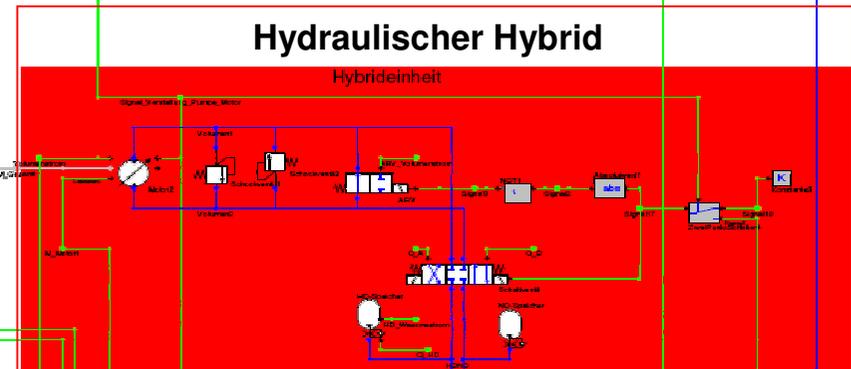
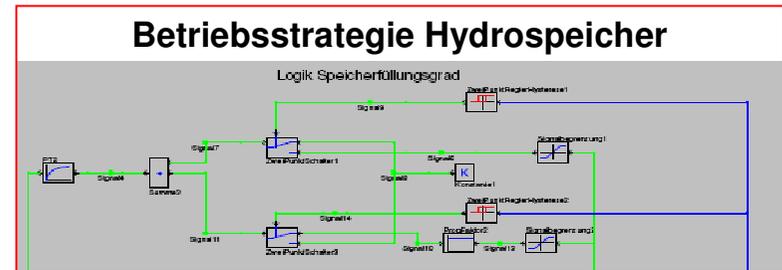
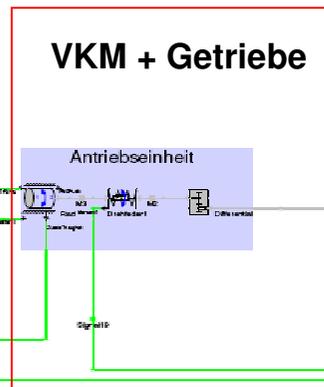
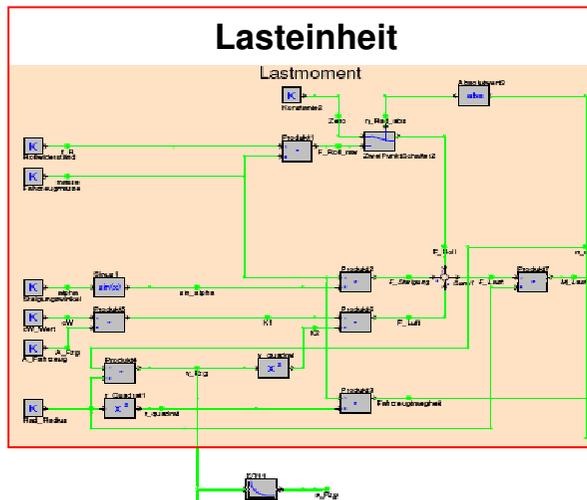
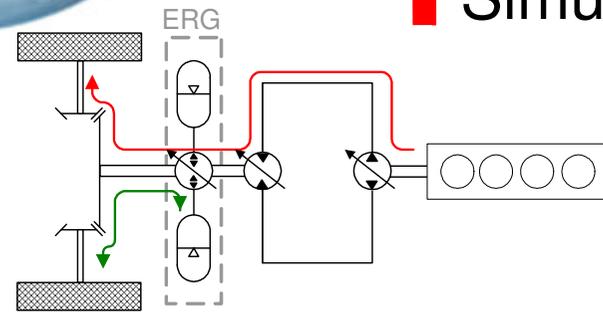
$$\tau = \frac{m c_v}{\alpha A}$$

- Berücksichtigung der Druckverluste im Absperrblock
- Speicherwirkungsgrad pro Zyklus (eingeschw. Zustand)

$$\eta = \frac{\int p \cdot Q_{aus} dt}{\int p \cdot Q_{ein} dt}$$

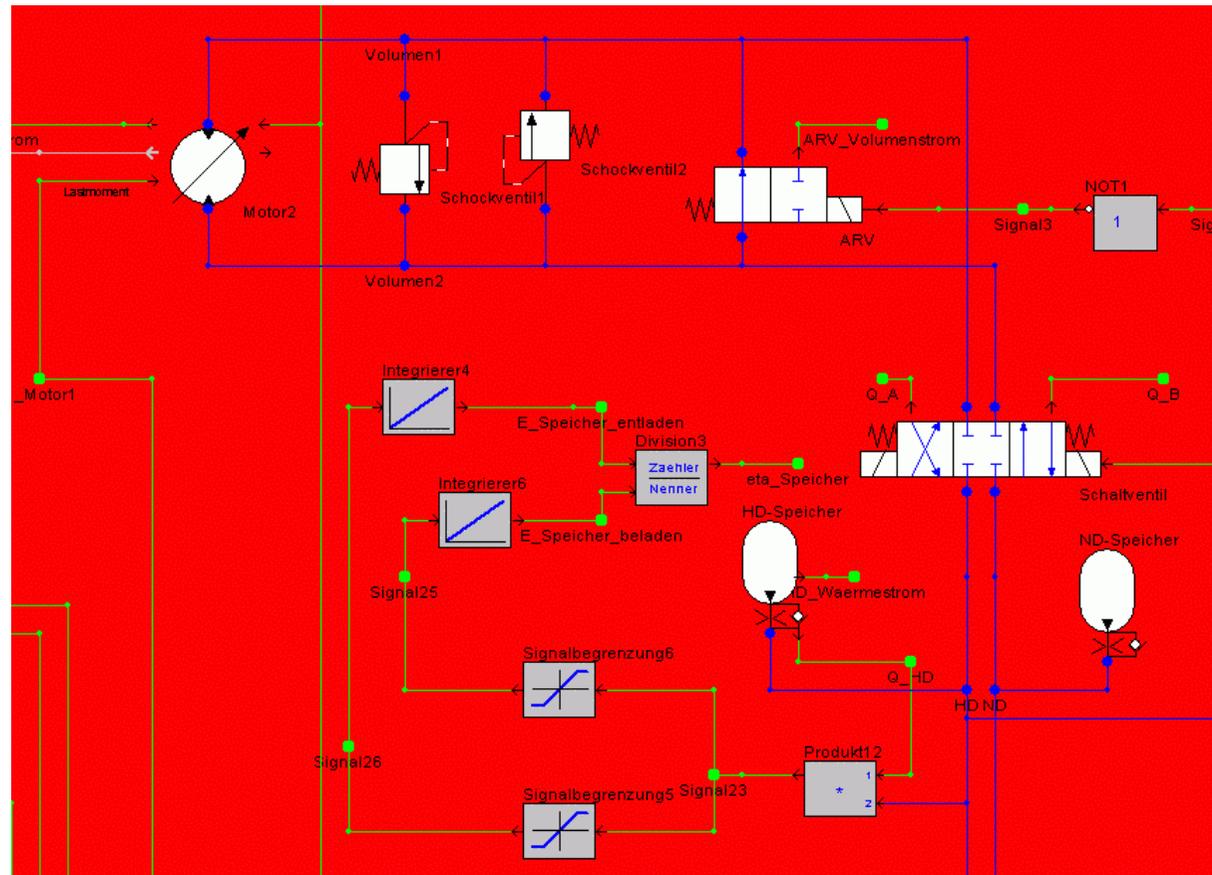
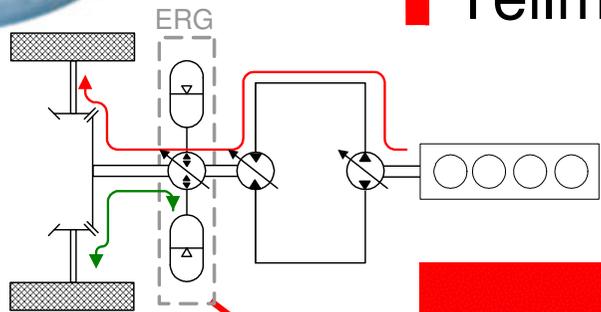


## Simulationsmodell des Antriebsstranges





## Teilmodell hydraulischer Hybrid



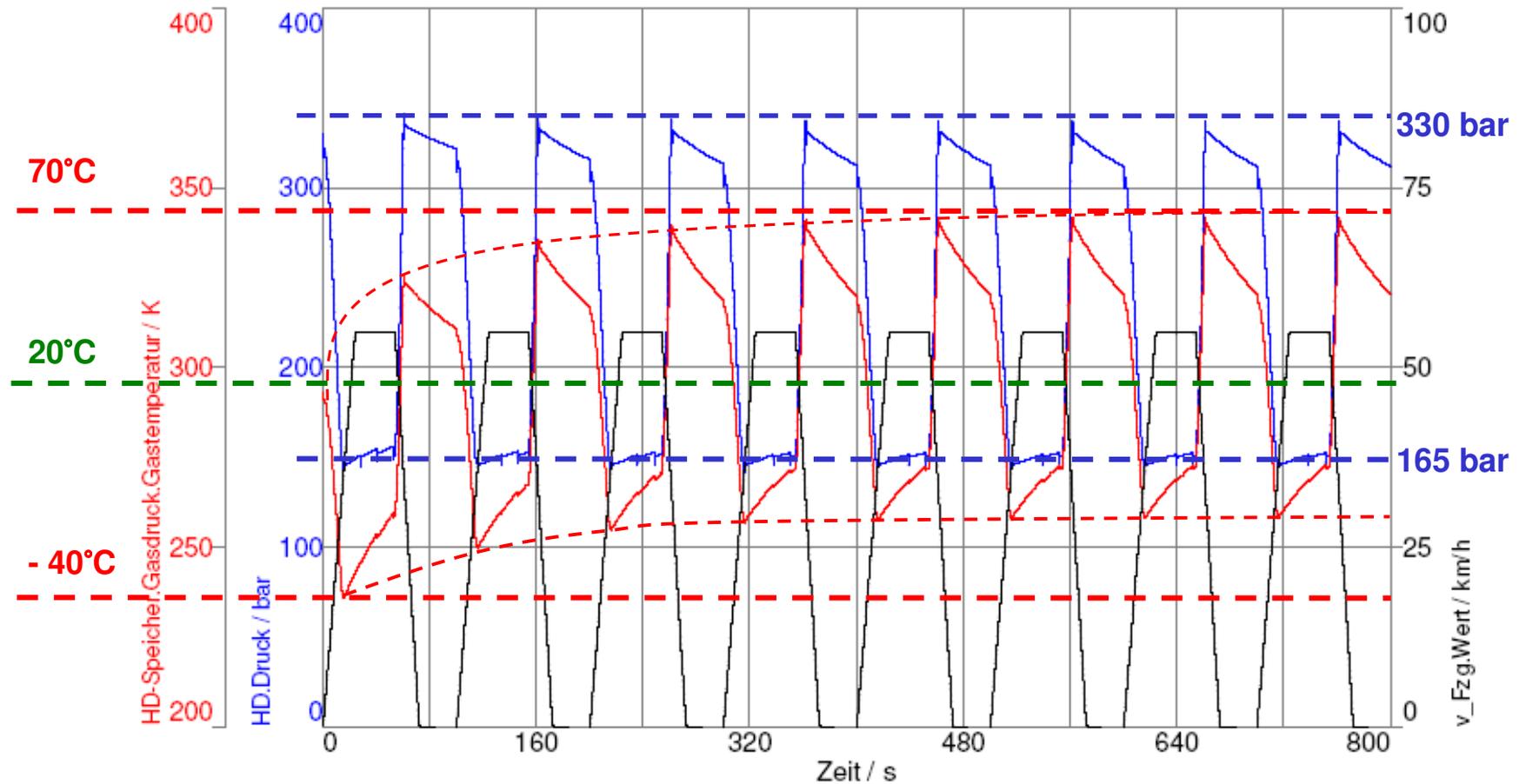


## Gliederung

- Hydac
  - Das Unternehmen, Lösungen, ...
- Hybridtechnologie
  - Definition, Hybridarten, ...
- Systemkonfiguration
  - Antriebsstruktur & Fahrzyklus
- Simulationsmodell
  - Aufbau, Speichermodell, Randbedingungen, Speicherauslegung
- **Simulationsergebnisse**
  - Temperatur- & Druckverläufe, Wirkungsgrad, Energiebilanz
- Parameterstudie: Einflussgrößen
  - Vorspanndruck, Umgebungstemperatur, Isolierung, Haltezeit (Zyklus), ...
- Fazit



## ■ Einschwingvorgang im „Hydac-Buszyklus“

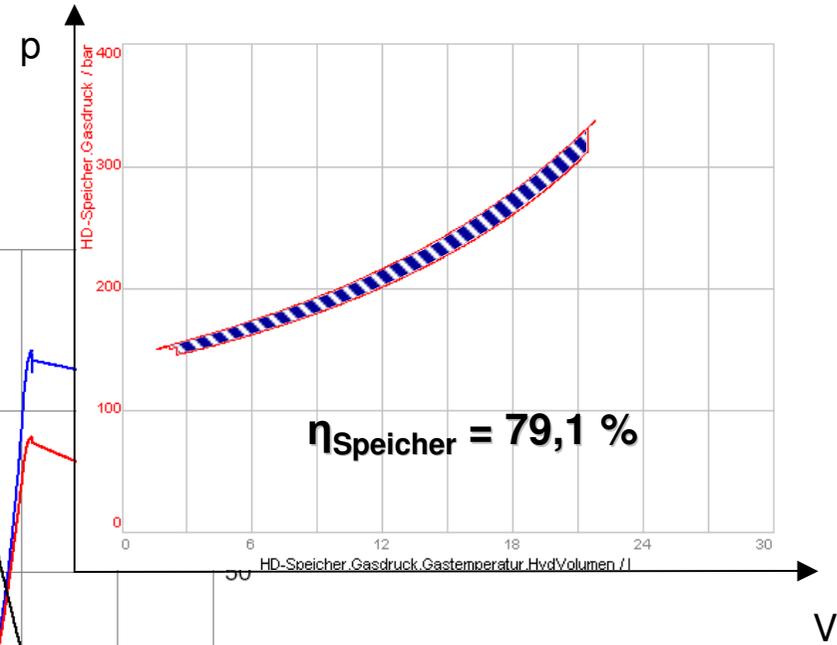
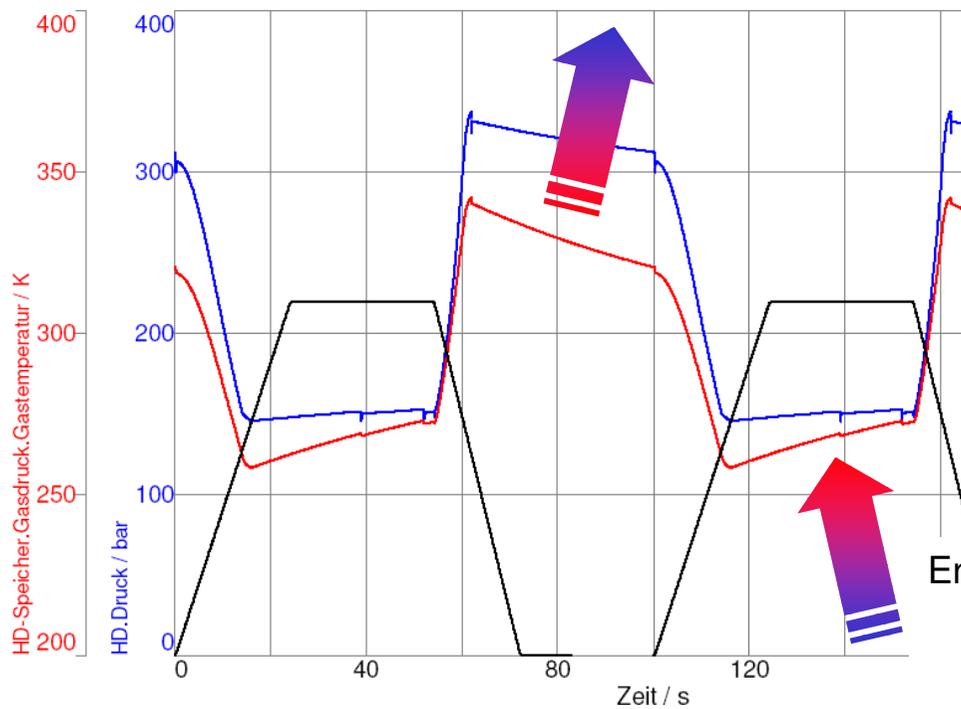


**Thermisches Einschwingen nach ca. 5 Zyklen**



## Speicherbetrachtung „Hydac-Buszyklus“ - Eingeschwungen -

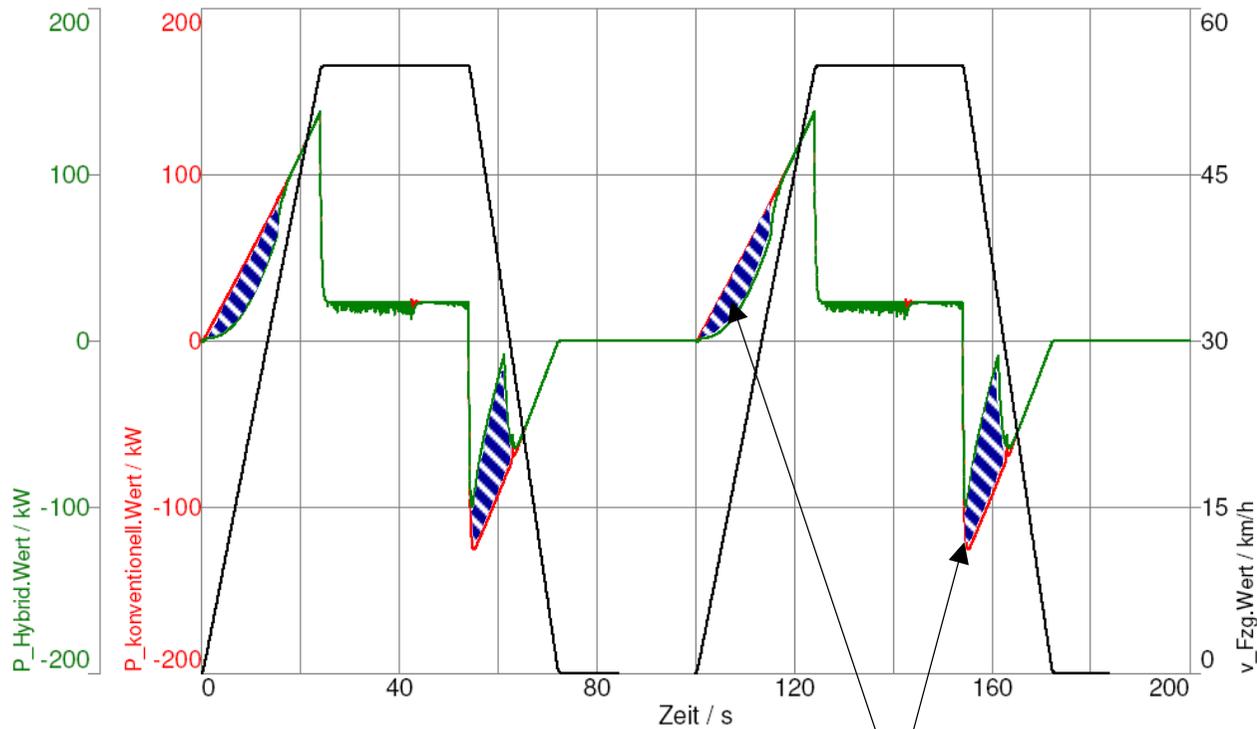
Energieverlust durch Wärmetransport  
bei Fahrzeugstillstand  
→ Druckabfall



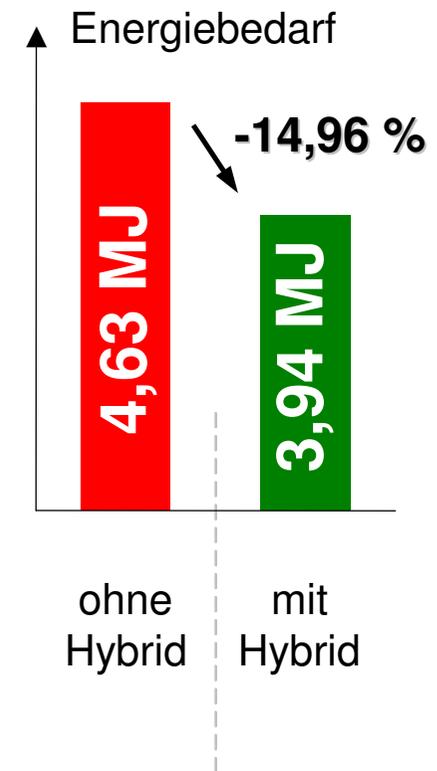
Energieaufnahme durch Wärmetransport  
bei Fahrt ohne Speicher  
→ Druckanstieg



## Energiebilanz im „Hydac-Buszyklus“



**Reduzierung der benötigten  
Antriebs- und Bremsleistung**





## Gliederung

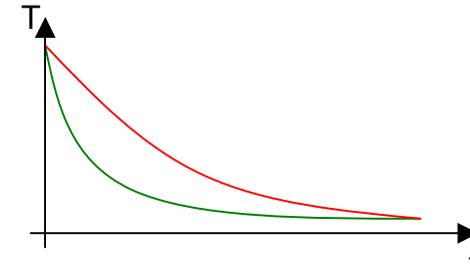
- Hydac
  - Das Unternehmen, Lösungen, ...
- Hybridtechnologie
  - Definition, Hybridarten, ...
- Systemkonfiguration
  - Antriebsstruktur & Fahrzyklus
- Simulationsmodell
  - Aufbau, Speichermodell, Randbedingungen, Speicherauslegung
- Simulationsergebnisse
  - Temperatur- & Druckverläufe, Wirkungsgrad, Energiebilanz
- **Parameterstudie: Einflussgrößen**
  - Vorspanndruck, Umgebungstemperatur, Isolierung, Haltezeit (Zyklus), ...
- Fazit



## ■ Parametervariation: Speichereinflussgrößen

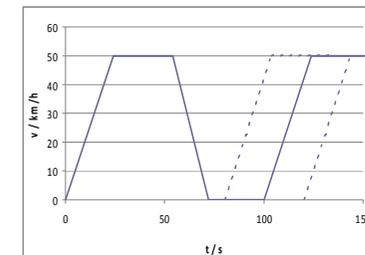
### ■ Speicherparameter

- Vorspanndruck, Eigenzeit (*Isolierung*), ...



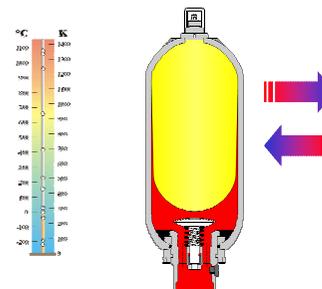
### ■ Fahrzyklusvariationen

- Zyklen, Haltezeiten, *Beschleunigungen*, *Verzögerungen*, ...



### ■ Umgebungseinflüsse

- Temperatur, ...





**HYDAC INTERNATIONAL**

## ■ Gliederung

- Hydac
  - Das Unternehmen, Lösungen, ...
- Hybridtechnologie
  - Definition, Hybridarten, ...
- Systemkonfiguration
  - Antriebsstruktur & Fahrzyklus
- Simulationsmodell
  - Aufbau, Speichermodell, Randbedingungen, Speicherauslegung
- Simulationsergebnisse
  - Temperatur- & Druckverläufe, Wirkungsgrad, Energiebilanz
- Parameterstudie: Einflussgrößen
  - Vorspanndruck, Umgebungstemperatur, Isolierung, Haltezeit (Zyklus), ...
- **Fazit**



**HYDAC INTERNATIONAL**

## Fazit

- Schnelle und einfache Bewertung von Hybridsystem
- Besseres Systemverständnis
- Optimale Abbildung kundenspezifischer Lösungen
- Optimierung des Systems „per Mouseklick“



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !