



# **Integriertes modulares Bremssystem – Funktionsentwicklung am HIL-Simulator und im Fahrzeug**

**6. dSPACE Anwenderkonferenz**

**Paderborn, den 10. November 2010**

**Dr. Thomas Leiber, Christian Köglsperger**

**Confidential**

Copyright 2010

- **Einleitung**
  - **Motivation / Entwicklungsziele**
  - **Transition vom heutigen Bremssystem zum IBS**
- **IBS Funktionen**
  - **Grundlagen für hochdynamische Drucksteuerung**
  - **Funktionalität und Sicherheit**
- **Funktionsentwicklung am RPC-System**
  - **Anforderungen an das RPC-System**
  - **Umsetzung der Toolkette SIL-HIL-Fzg.**
  - **Vorteile des gewählten Ansatzes**
- **Zusammenfassung**

## Hintergrund

- Grundprinzip ABS/ESP und Vakuumverstärker sind über 40 Jahre in Anwendung → **wenig Potenzial für Kostenreduzierung und Funktionsverbesserung**
- zukünftige Systeme (Fahrerassistenz, Pre-Crash, Hybrid) erfordern **adaptive Bremssysteme**
- **EMB und EWB sind zu aufwändig** und haben zu hohes Entwicklungsrisiko

## Basis für Entwicklung

- Eigenentwicklung eines **hochdynamischen EC-Motors** war Basis für einen völlig neuen Systemansatz
- umfassende **Systemkompetenz für Bremssysteme bei LSP** und Mechatronik Systementwicklungen (Heinz Leiber, Dr. van Zanten, u.a.)

## Entwicklungsziele

- weitere **Bremswegverkürzung**
- minimale **Variantenvielfalt**
- geringe Komplexität durch weitgehende Verwendung von Standardkomponenten
- Verringerung Montageaufwand, Bauvolumen, Gewicht und Kosten
- 12V-Bordnetz
- hohe Systemzuverlässigkeit durch geringe Komplexität
- Abbildung aller **Funktionalitätsanforderungen** für zukünftige Bremssysteme

IBS

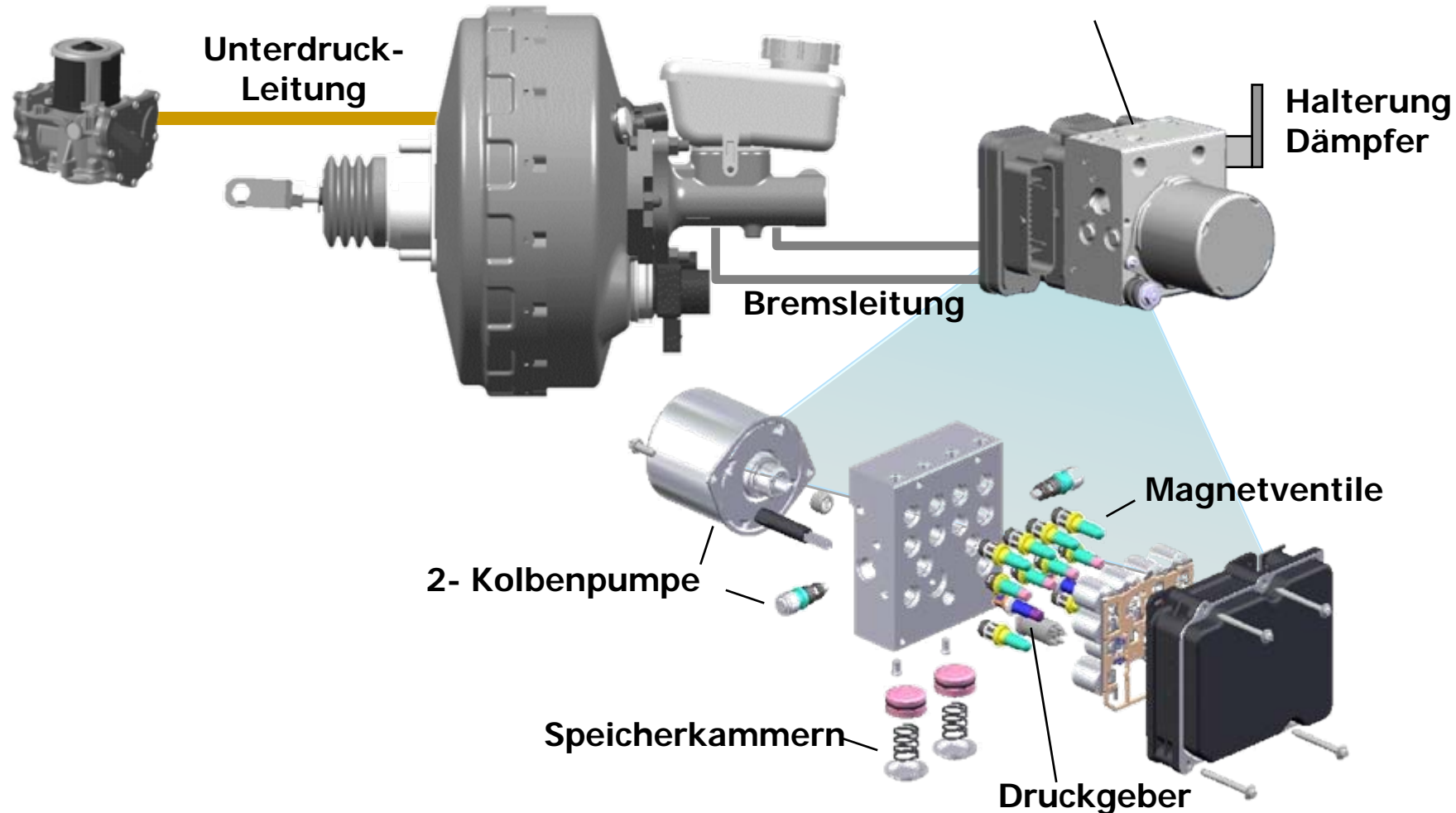
# Aufbau einer heutigen ESP Anlage

Die Standard ESP Bremsanlage besteht aus Vakuumpumpe, Vakuumbremskraftverstärker und einer ESP Einheit, die mit Leitungen miteinander verbunden sind.

**Vakuumpumpe**

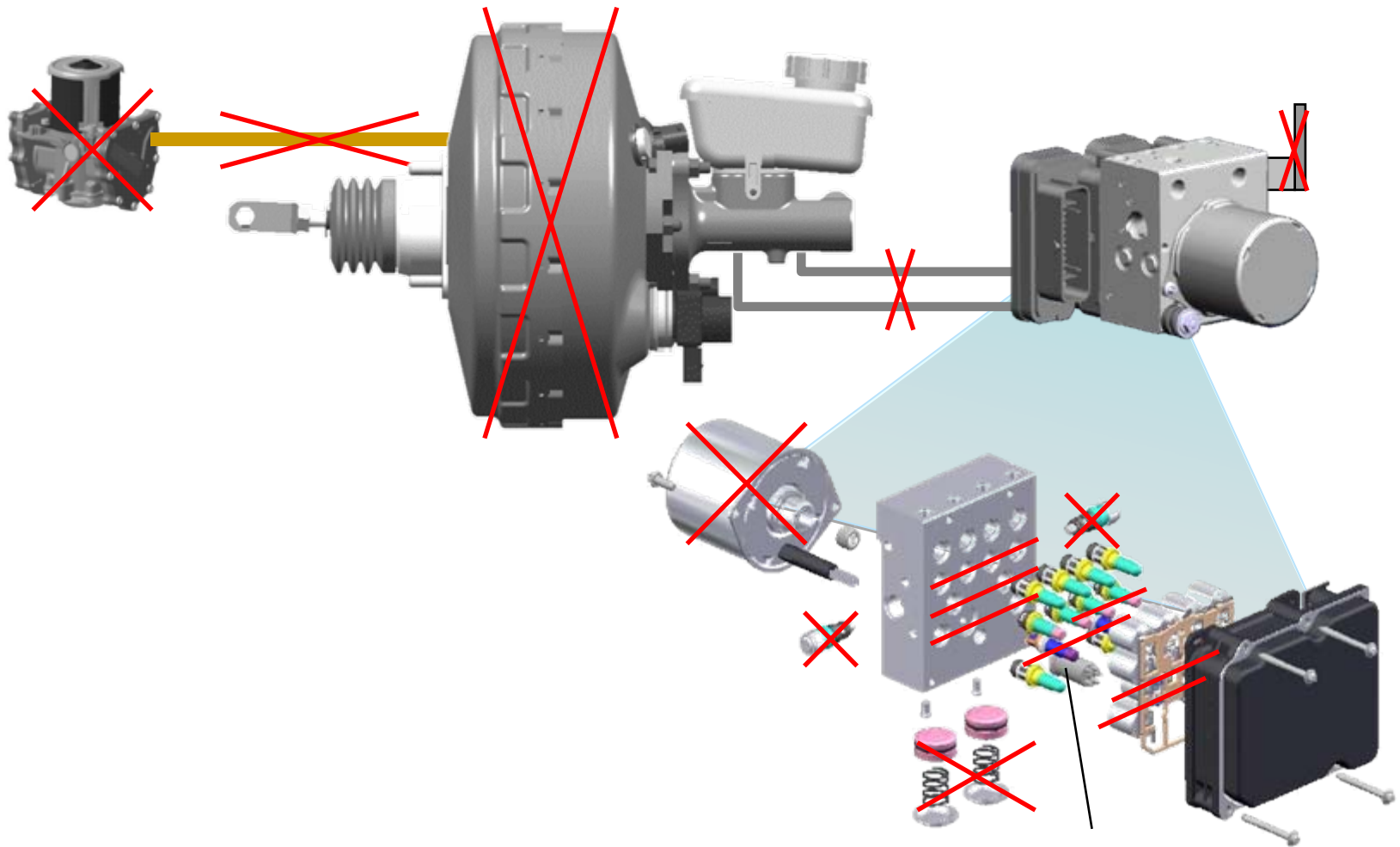
**Vakuumb-KV**

**ESP HCU/ECU**



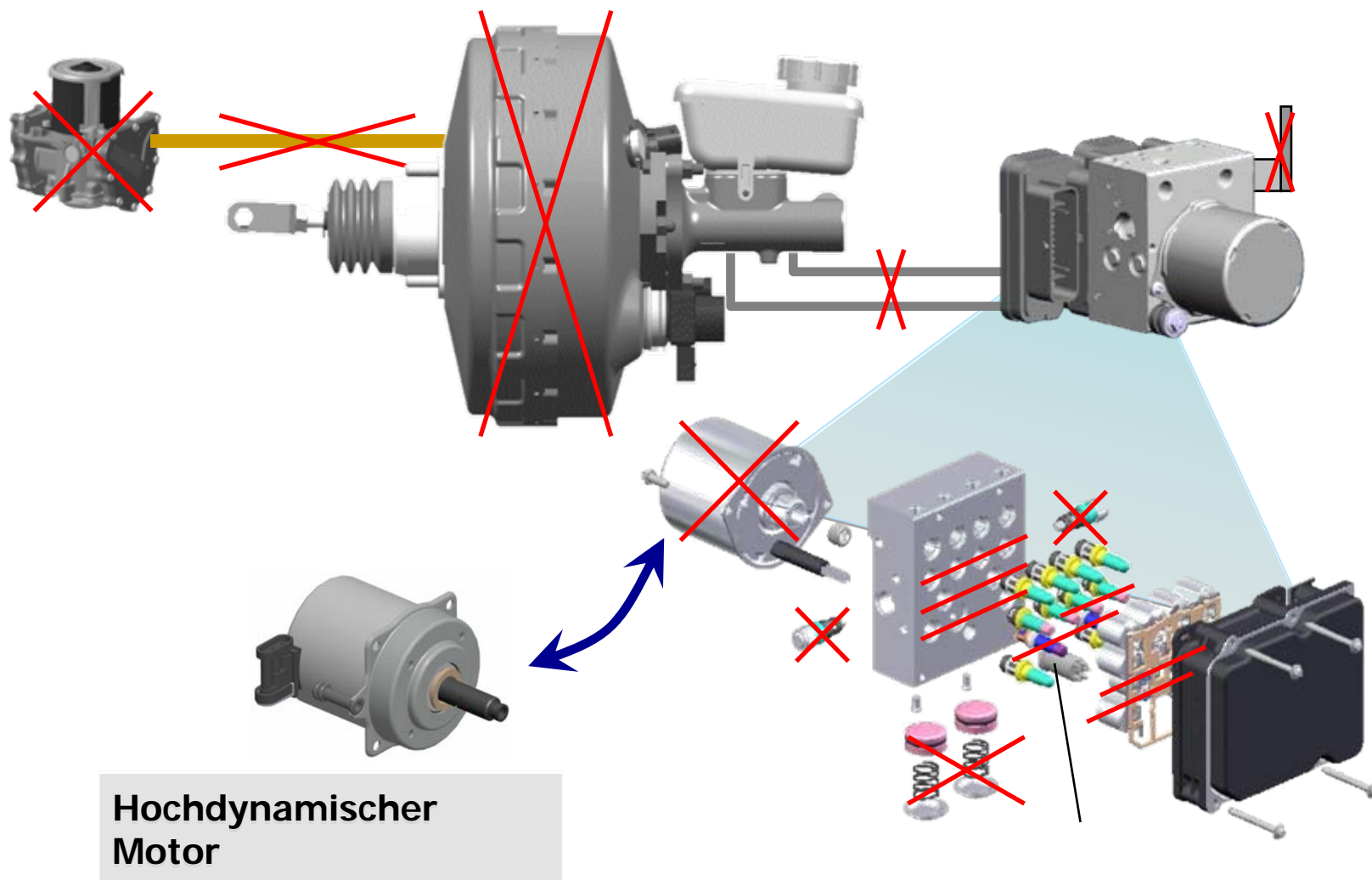
# Entfall diverser Komponenten durch IBS

Beim IBS kann ein Großteil der Komponenten einer heutigen Bremsanlage entfallen.



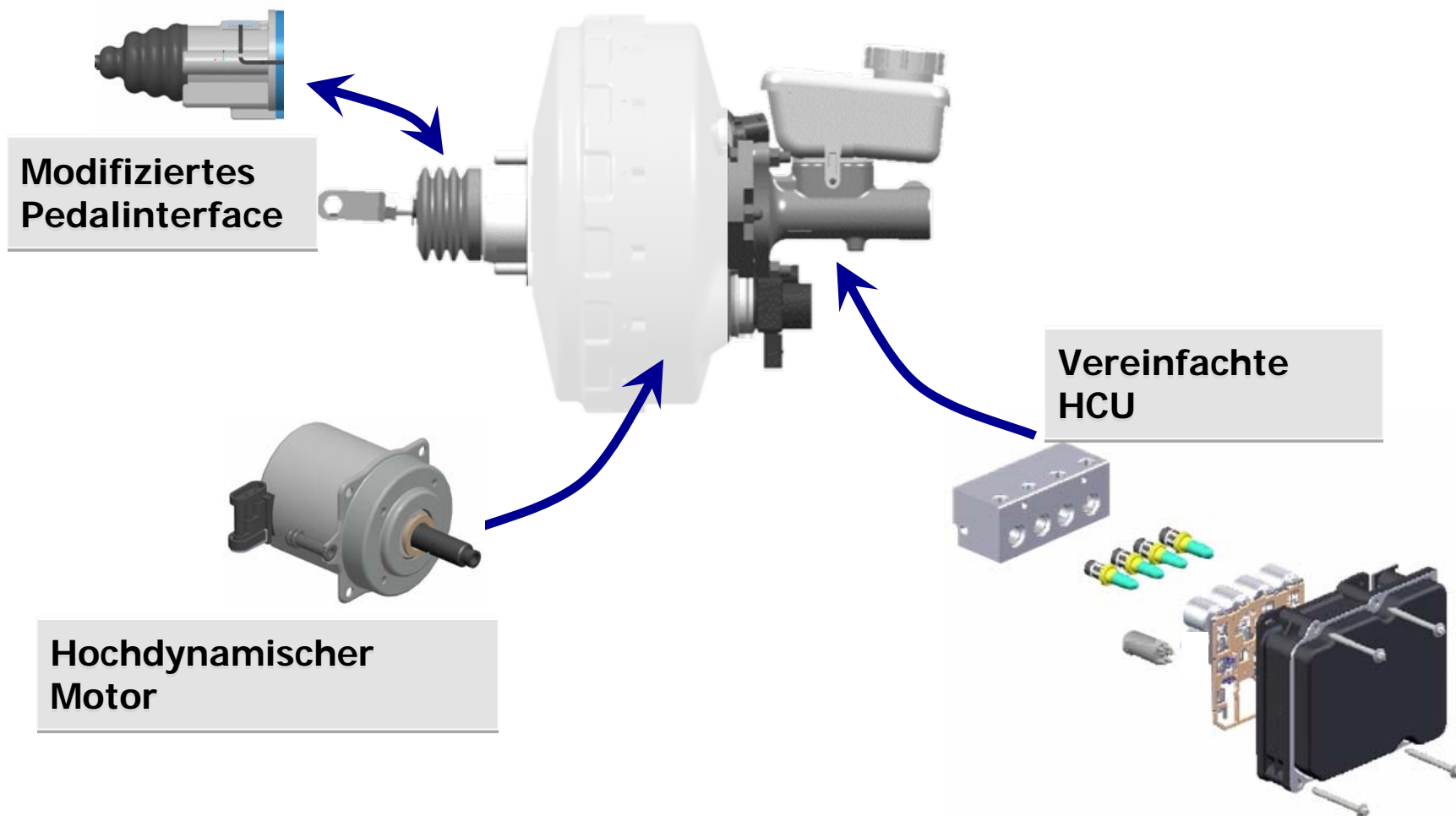
# Entfall diverser Komponenten durch IBS

Der Motor der HCU wird durch einen leicht größeren hochdynamischen Motor ersetzt.



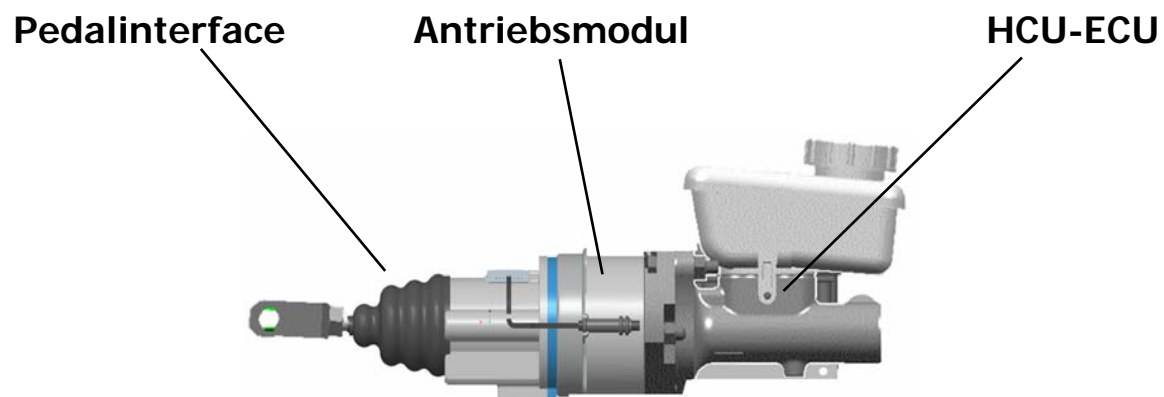
# IBS Systemintegration

Die verbleibenden Elemente werden schließlich zum integrierten System zusammengeführt.



# Integration der drei Module des IBS

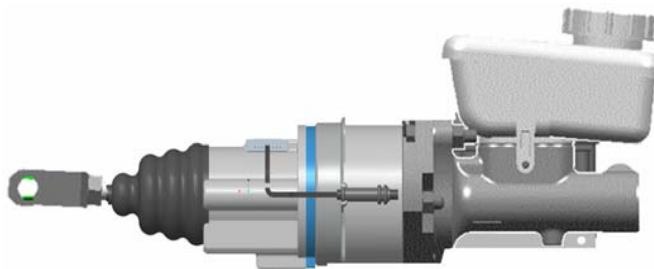
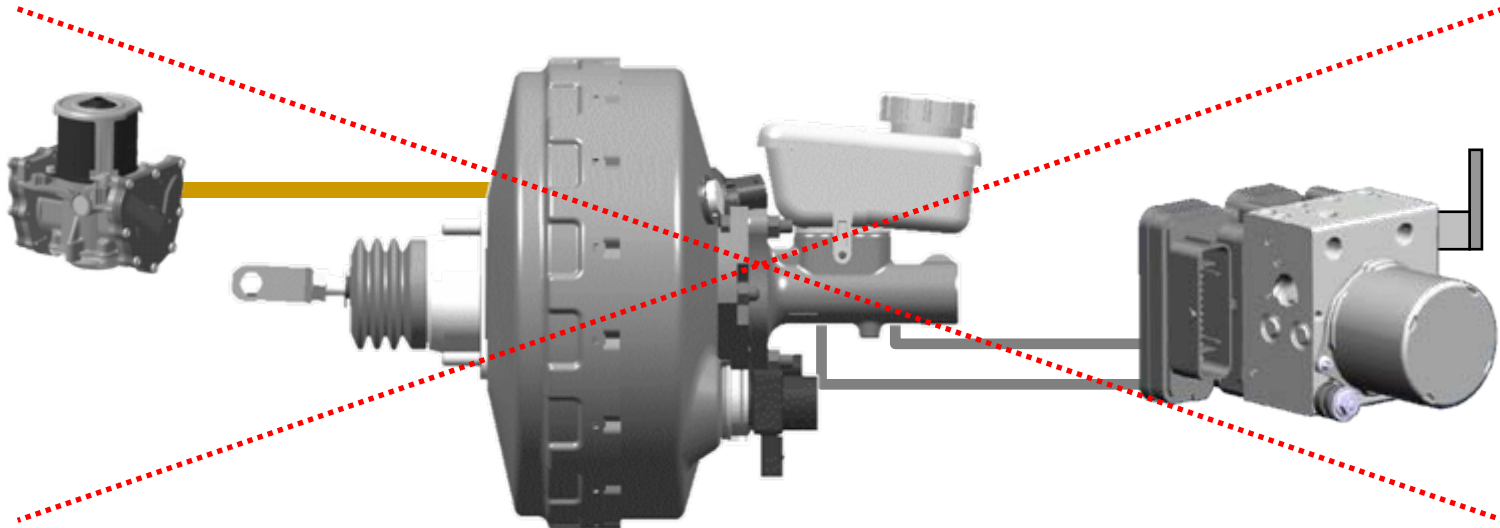
Übrig bleibt eine kleine integrierte Einheit...





# IBS Packaging Vergleich mit Standard ESP

... die um Größenordnungen kompakter und leichter baut.

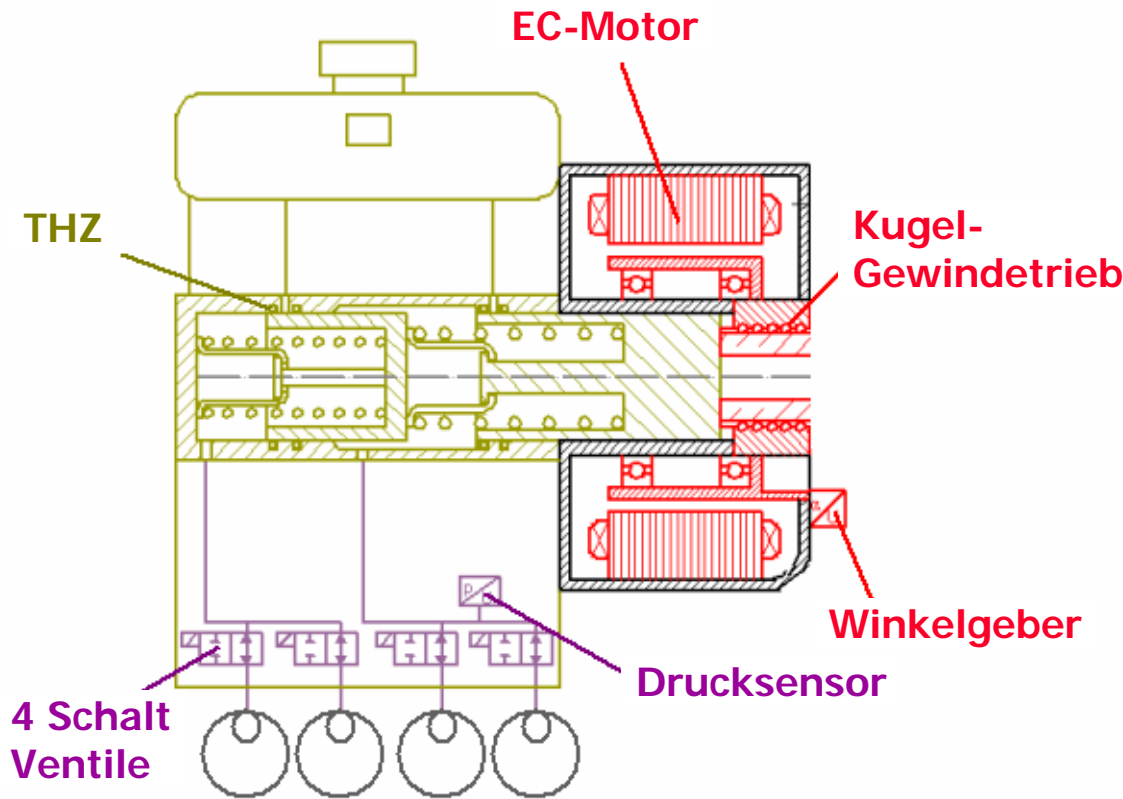


## IBS Packagingvorteile:

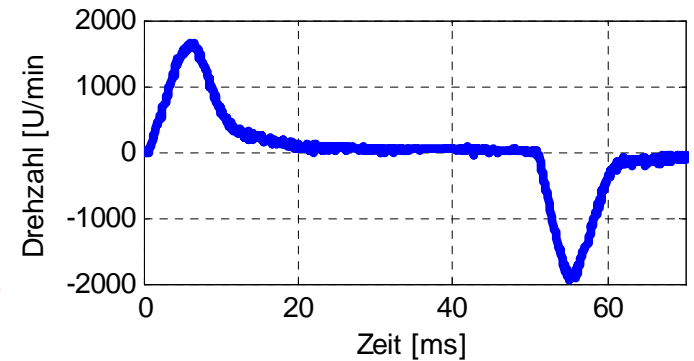
- Gewicht: - 4 bis 5 kg
- Volumen: - 70%
- Länge: - 70 mm

- **Einleitung**
  - **Motivation / Entwicklungsziele**
  - **Transition vom heutigen Bremssystem zum IBS**
- **IBS Funktionen**
  - **Grundlagen für hochdynamische Drucksteuerung**
  - **Funktionalität und Sicherheit**
- **Funktionsentwicklung am RPC-System**
  - **Anforderungen an das RPC-System**
  - **Umsetzung der Toolkette SIL-HIL-Fzg.**
  - **Vorteile des gewählten Ansatzes**
- **Zusammenfassung**

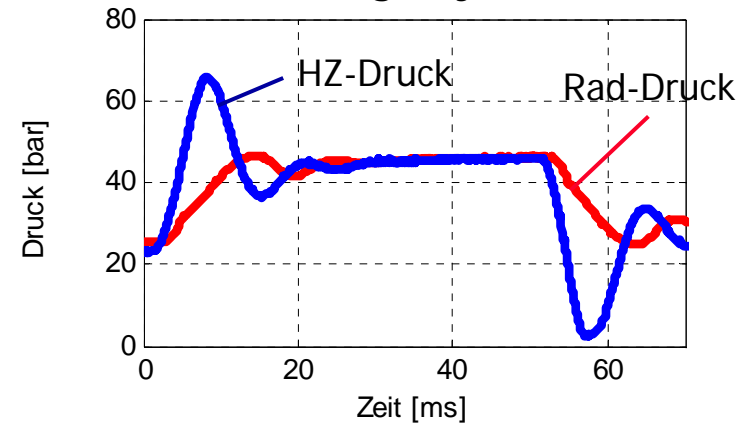
Herz des IBS ist ein hochdynamischer EC-Motor, der über einen Spindeltrieb den Kolben eines THZ antreibt. Der Druck wird über 4 Schaltventile hochdynamisch auf die Bremssättel geschaltet.



### Motordynamik mit Antrieb



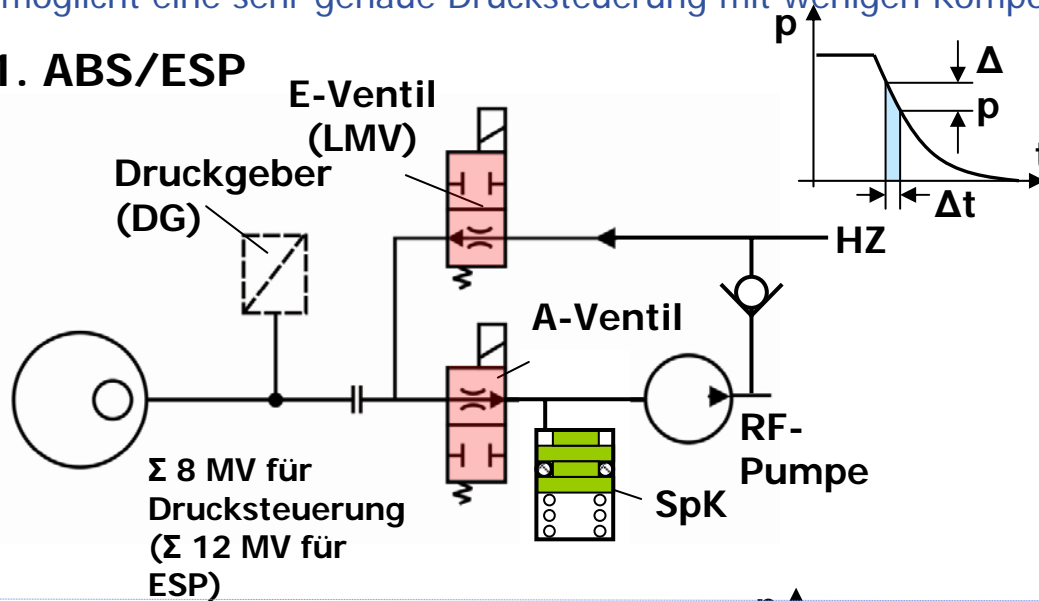
### Druckregeldynamik



# Hydraulischer Aufbau im Vergleich

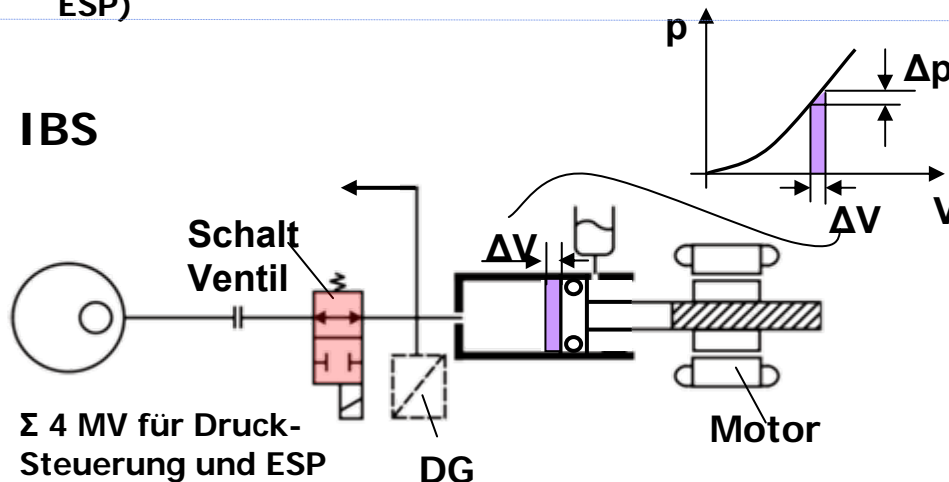
Anstatt der heutigen Zeitsteuerung mit Drosselventilen wird beim IBS-System der Druck durch einen hochdynamischen Kolbenmotor volumengesteuert, wobei nur noch ein Ventil pro Rad erforderlich ist. Dies ermöglicht eine sehr genaue Drucksteuerung mit wenigen Komponenten.

## 1. ABS/ESP



- Regelventile mit Drossel bestimmen Druckgradienten (Fahrzeuganpassung)
- Druckänderung  $\Delta p$  über Zeitsteuerung  $\Delta t$  von MV
- Aufwändige Simulationsmodelle für PWM-Steuerung
- Diese ist nicht linear und abhängig von
  - $\Delta p$
  - Viskosität (Temperatur)
  - Toleranzen MV
  - Druckniveau

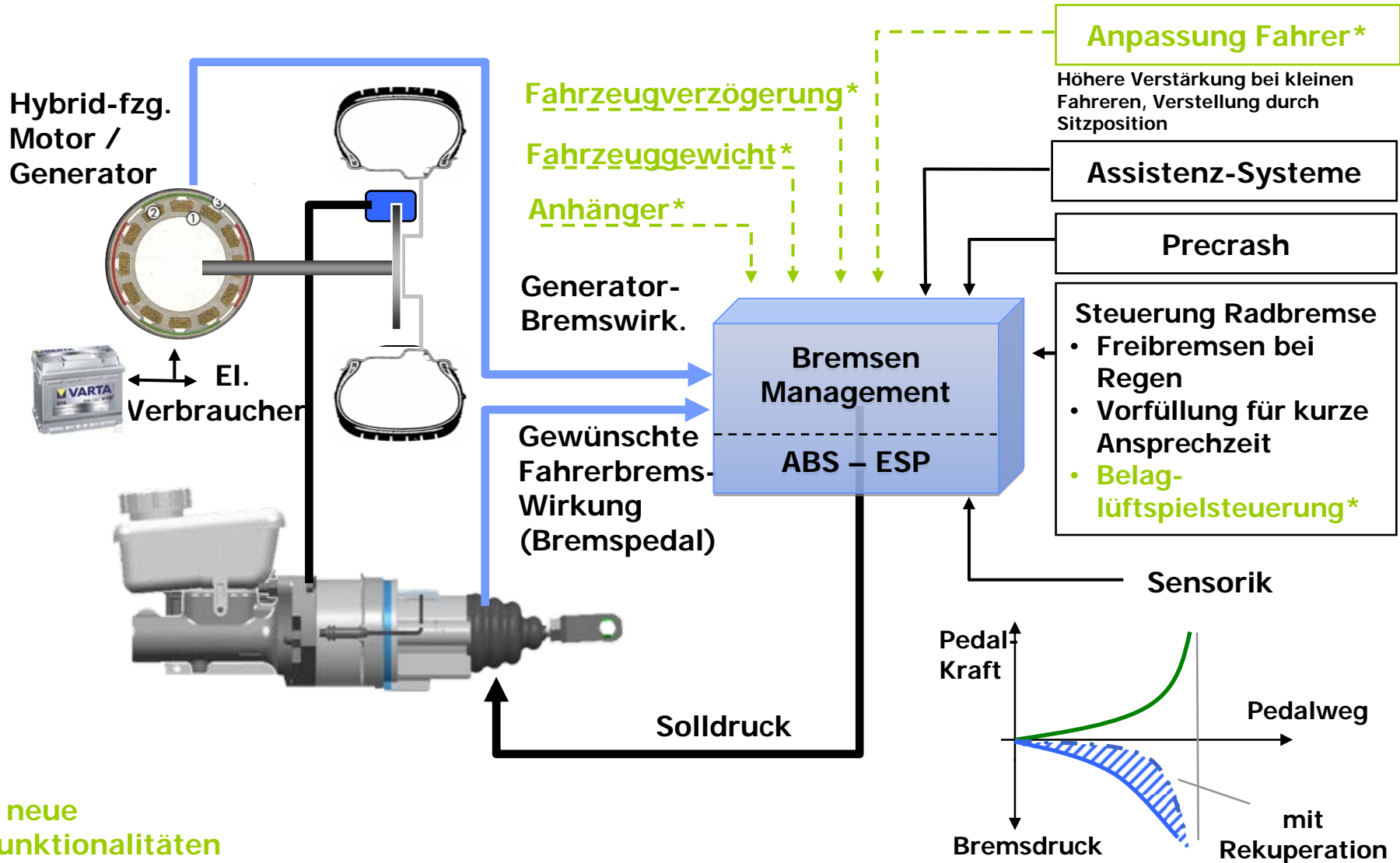
## 2. IBS



- Schaltventil ohne Drosselung d.h. EC-Motor mit Kolbensteuerung bestimmt  $\Delta p$  und Druckgradient
- Hohe Druckab- und -aufbaugradienten möglich
- => Individuelle Fahrzeuganpassung über Software

# Zukünftiges Bremsenmanagement

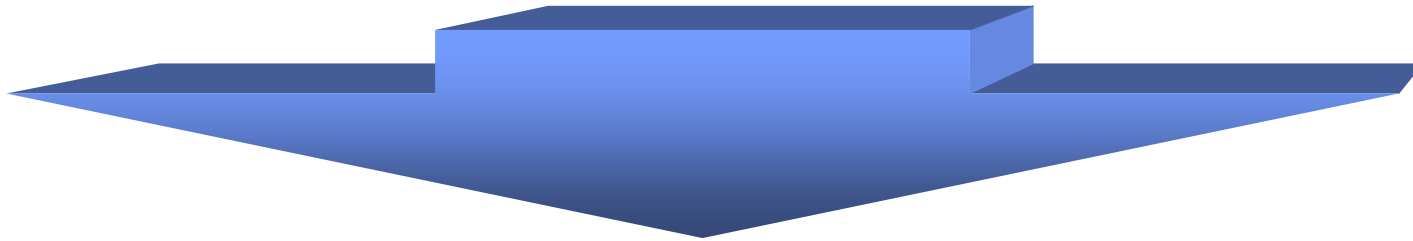
IBS erfüllt zudem alle Funktionsanforderungen, die an zukünftige Bremsysteme gestellt werden.



\* neue Funktionalitäten

- **Einleitung**
  - **Motivation / Entwicklungsziele**
  - **Transition vom heutigen Bremssystem zum IBS**
- **IBS Funktionen**
  - **Grundlagen für hochdynamische Drucksteuerung**
  - **Funktionalität und Sicherheit**
- **Funktionsentwicklung am RPC-System**
  - **Anforderungen an das RPC-System**
  - **Umsetzung der Toolkette SIL-HIL-Fzg.**
  - **Vorteile des gewählten Ansatzes**
- **Zusammenfassung**

- Skalierbare modulare Hardware
- große Anzahl an IO's
- RPC-System als Mess- und Regelsystem einsetzbar
- Durchgängige Struktur von SIL/HIL ins Fahrzeug
- Online Visualisierung der Messergebnisse
- Geeignetes Auswerte-Tool



## Eingesetzte Tools:

- dSPACE AutoBox mit modularer Hardware
- dSPACE ControlDesk
- MATLAB / Simulink



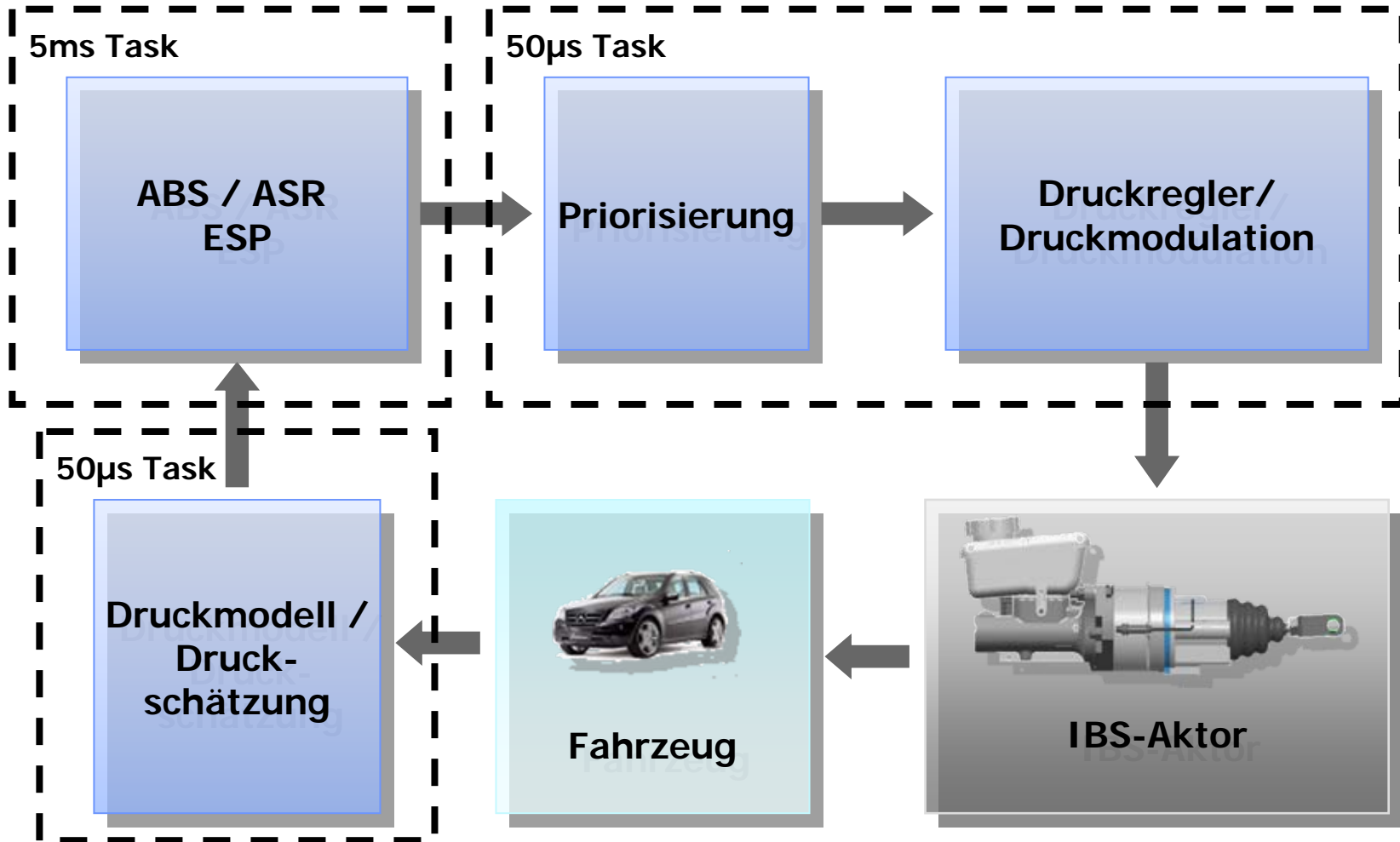
Quelle: dSpace-Homepage



Quelle: dSpace-Homepage



Quelle: MATLAB-Homepage





# Umsetzung der Toolkette SIL-HIL-Fahrzeug

## Vorgehensweise:

- Programmierung aller Funktionen in C
- Zusammenfassung der Funktionsblöcke in Libarys

## Software in the Loop (SIL):

- Simulationsmodell in MATLAB/Simulink
- Einbindung der Libarys über S-Funktionen und Wrapper-Funktionen



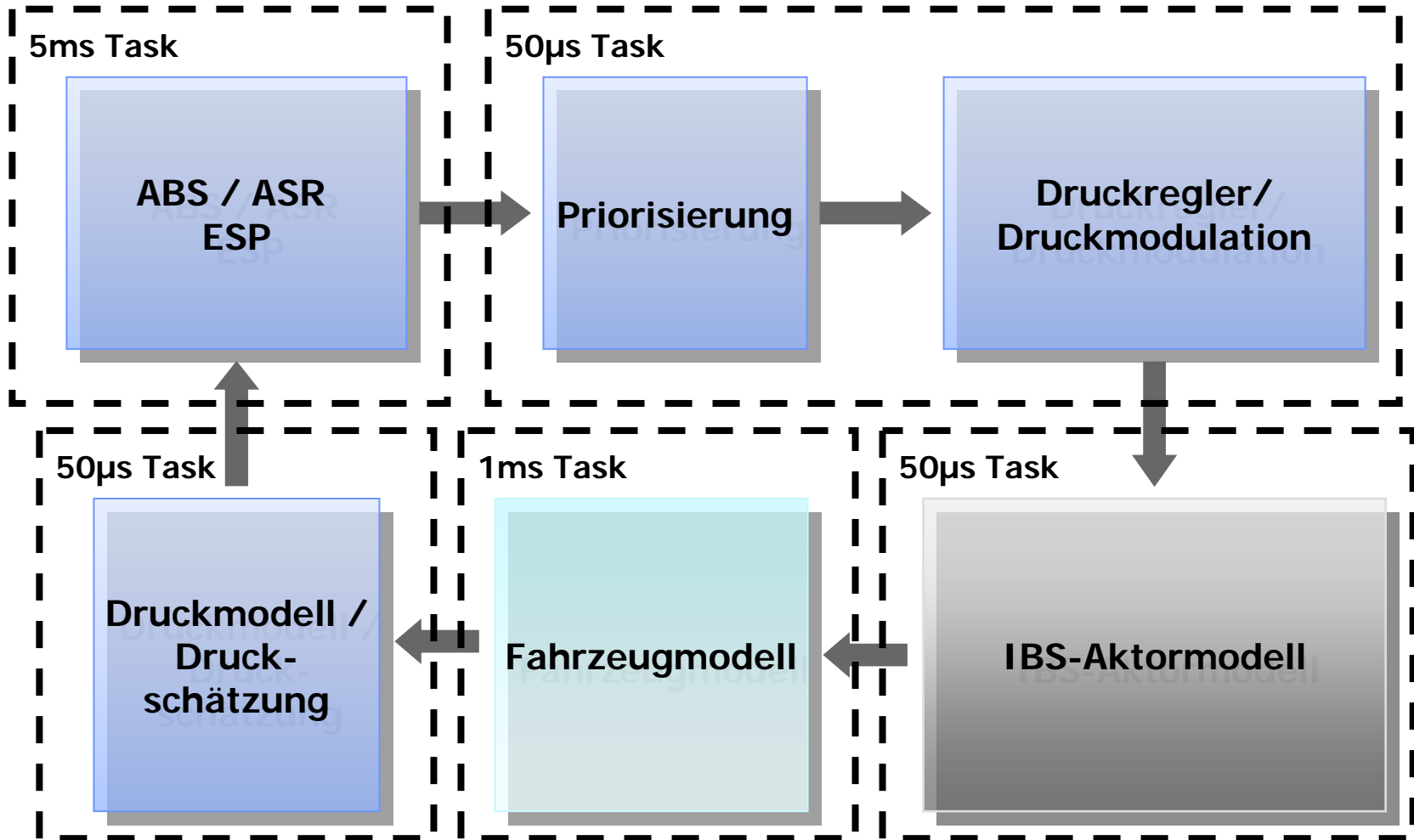
**MATLAB/Simulink Modell, Wrapper-Funktionen und S-Funktionen bilden Framework**

## Hardware in the Loop (HIL) und Fahrzeug

- Programmierung Real-Time-Kernel für verschiene Tasks
- Schnittstellenfunktionen

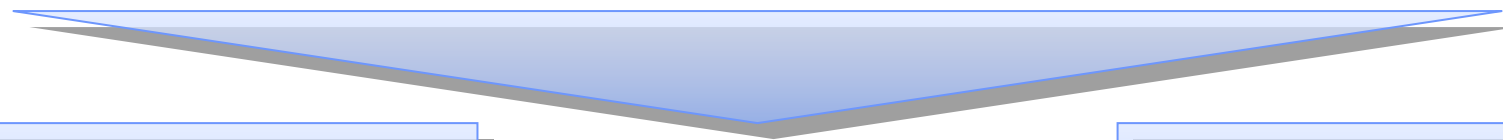


**Real-Time-Kernel und Schnittstellenfunktionen bilden Framework**



# Vorteile der Vorgehensweise

- Alle Vorteile von SIL/HIL gegeben
  - In SIL/HIL entwickelte Funktionen können komplett ins Fahrzeug transferiert werden
  - Risikominimierung bei Testfahrten durch SIL/HIL
  - Aktordefekte durch mögliche Softwarebugs können vermieden werden
  - Reproduzierbare Versuchsbedingungen in SIL/HIL
- Höhere Entwicklungsgeschwindigkeit durch Programmierung in C
- kostengünstige Variante bzgl. RPC-System und Softwarekosten
- RPC-System agiert gleichzeitig als Messsystem
  - Regelsignale und Messsignale auf einem Bildschirm
  - Alle Signale in einem Datensatz



**Entwicklungs-  
geschwindigkeit**

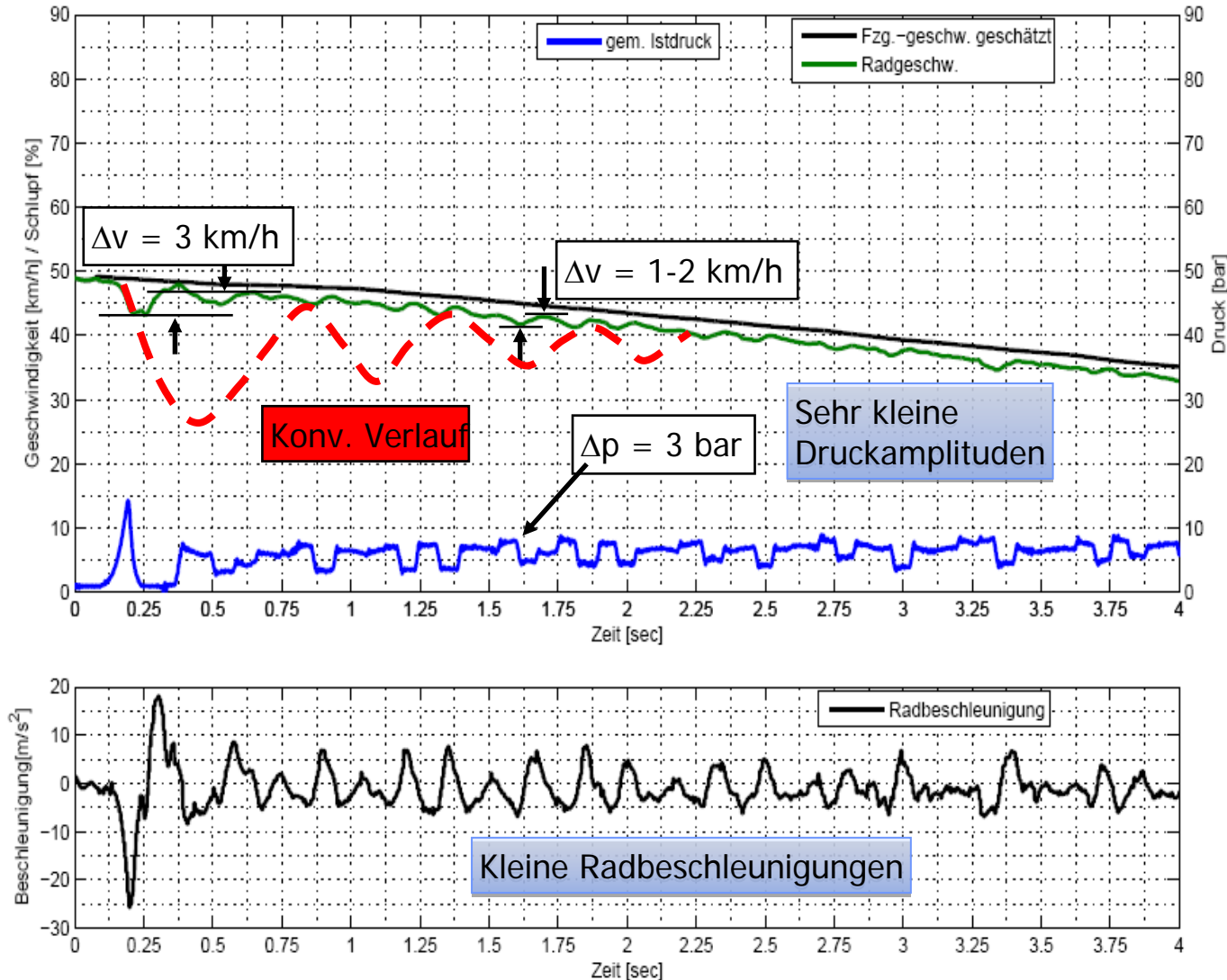
**Bewertbarkeit  
der Ergebnisse**

**Sicherheit**

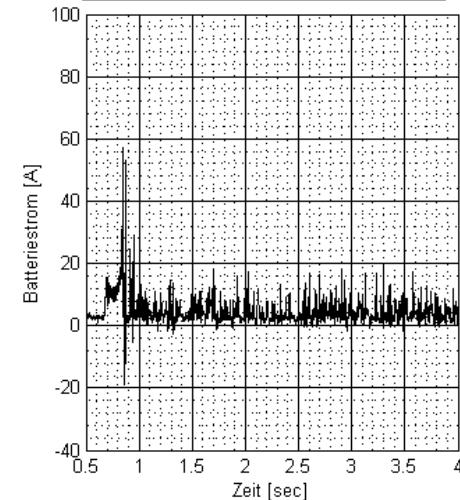
- **Einleitung**
  - **Motivation / Entwicklungsziele**
  - **Transition vom heutigen Bremssystem zum IBS**
- **IBS Funktionen**
  - **Grundlagen für hochdynamische Drucksteuerung**
  - **Funktionalität und Sicherheit**
- **Funktionsentwicklung am RPC-System**
  - **Anforderungen an das RPC-System**
  - **Umsetzung der Toolkette SIL-HIL-Fzg.**
  - **Vorteile des gewählten Ansatzes**
- **Zusammenfassung**

# Wintererprobung 2010: Performance auf Eis

Mit diesem Funktionsprinzip konnte bei einer sehr geringen Bordnetzbelastung eine sehr harmonische Regelung um den Optimalschlupf erreicht werden...



geringe  
Bordnetzbelastung  
Eis  $\rightarrow$  2-3 A



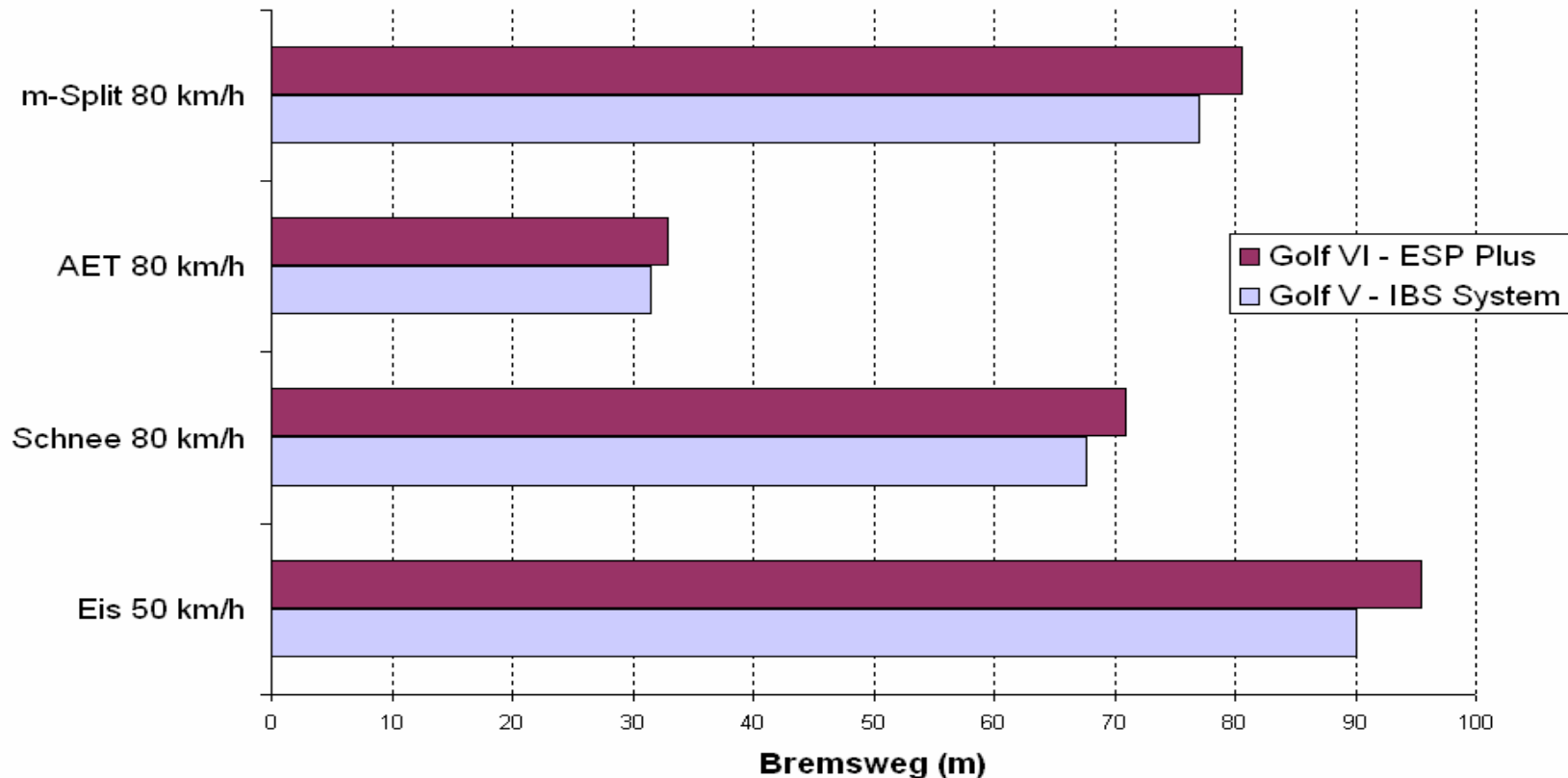
# Wintererprobung 2010: Performanceergebnisse

...was letztlich bereits mit einem eigens entwickelten rudimentären ABS-Regler zu einer Bremswegverkürzung in allen Disziplinen geführt hat. Es besteht weiteres Potenzial zur weiteren signifikanten Performanceverbesserung.

## Randbedingungen:

- Erprobungszeitraum: März 2010, Testgelände Arjeplog, Schweden
- Golf V mit IBS Premium, Serienfahrzeug Golf VI (ESP plus) als Referenz , Temperaturen 0°C bis -20°C

**Bremsvergleichsmessung**



- IBS hat die **höchste Funktionalität** vergleichbar oder **besser als EMB, EWB und EHC** bei erheblich geringerem **Gewicht, Aufwand und Komplexität**.
- Wie der Fachmann weiß, bedeutet dies auch eine **transparente und höhere Fehlersicherheit**, weniger Beanstandungen und letztlich ein **geringeres Entwicklungsrisiko** zur Serieneinführung.

