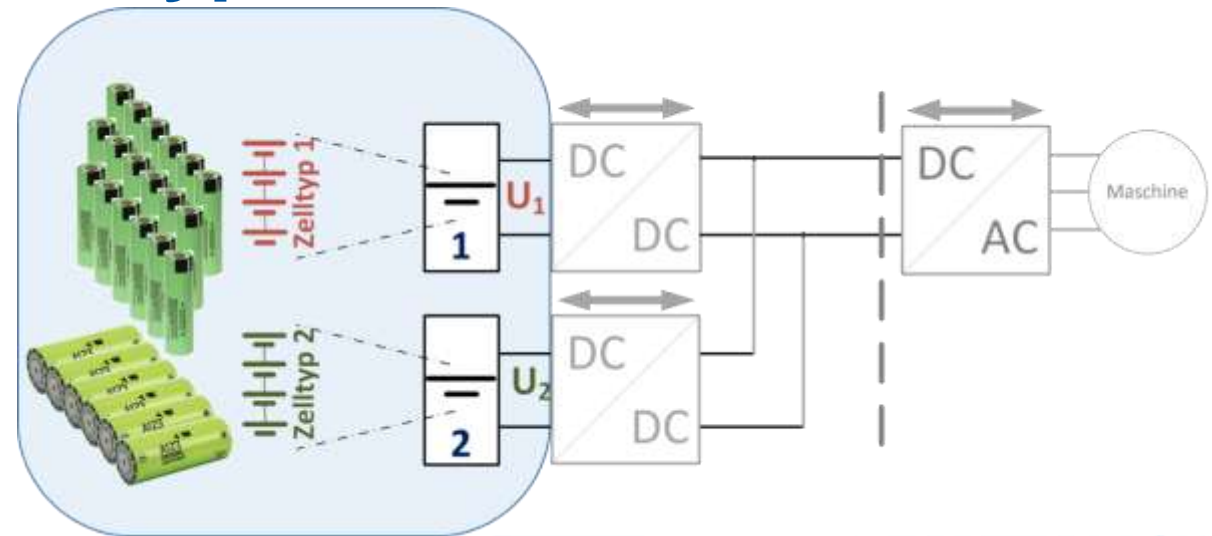




Optimierung hybrider Batteriespeicher bestehend aus unterschiedlichen Li-Ionen-Zelltypen

2. Herbstworkshop „Energiespeichersysteme“
an der TU-Dresden

29.11.2017
Jan Becker



Motivation

- Elektromobilität als Lösungsbeitrag zu Klimaschutzaufgaben
- Batterie ist eine der Kernkomponenten des elektrischen Antriebsstrangs
 - Aktuell Serien- / Parallelschaltung **eines** Typs Li-Ionenbatteriezellen
- viele verschiedene Batteriezellprodukte mit unterschiedlichen Charakteristika verfügbar...
 - Gehäuse / Bauform
 - Kosten
 - Sicherheit
 - Lebensdauer
 - Energie- und Leistungsdichte



Quelle: bmwusa.com

© Sergiy Serdyuk – Fotolia.com

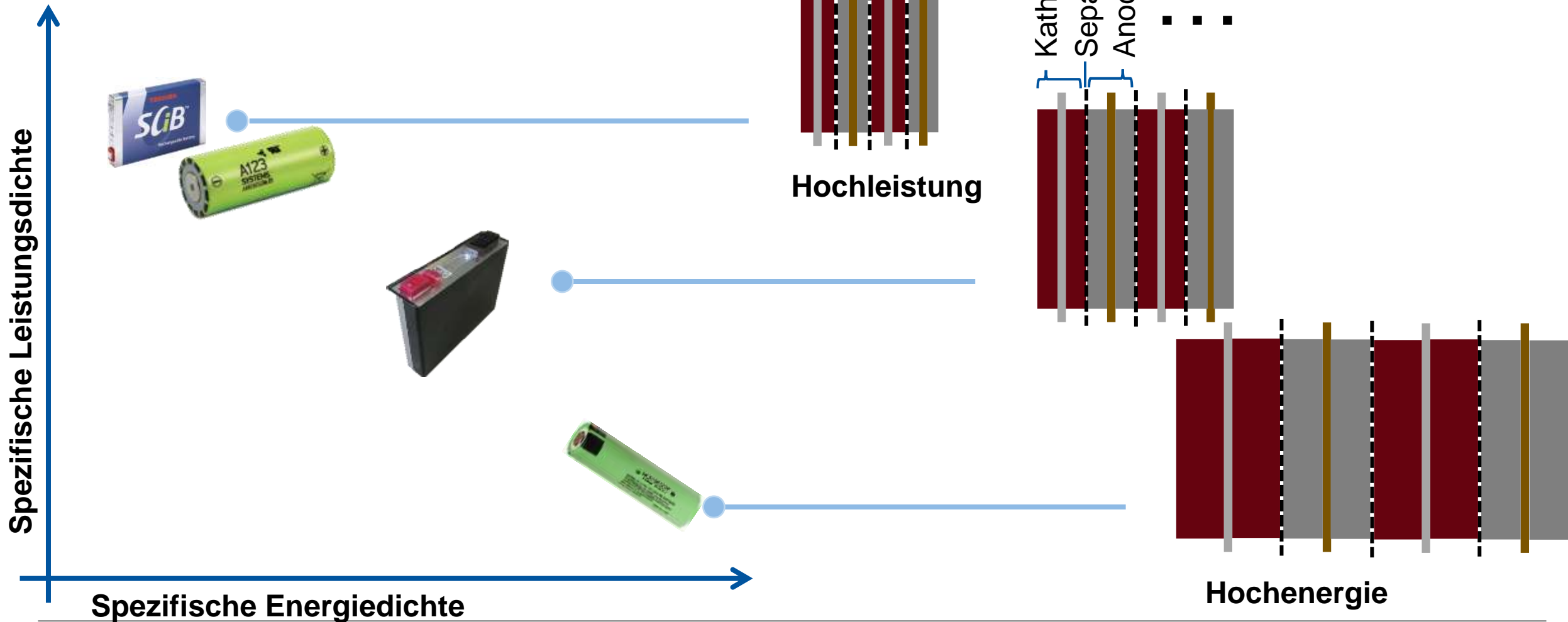
Motivation Hybridspeicher

- Ein Zelltyp passt gut für bestimmte Fahrzeugklassen...



- Leistungs-Energie-Verhältnis kann für bestehende Zelle nicht modifiziert werden

Motivation Hybridspeicher



Motivation Hybridspeichersystem

Kompakter?
Kostengünstiger?
Weniger Zelltypen?

Zelltyp 1



Zelltyp 2

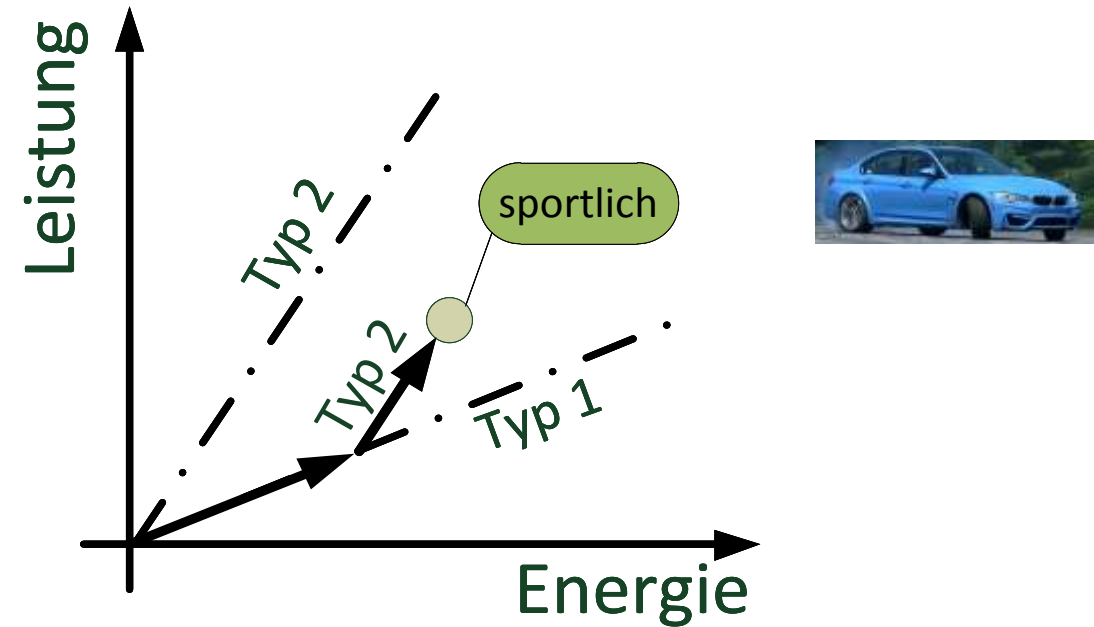
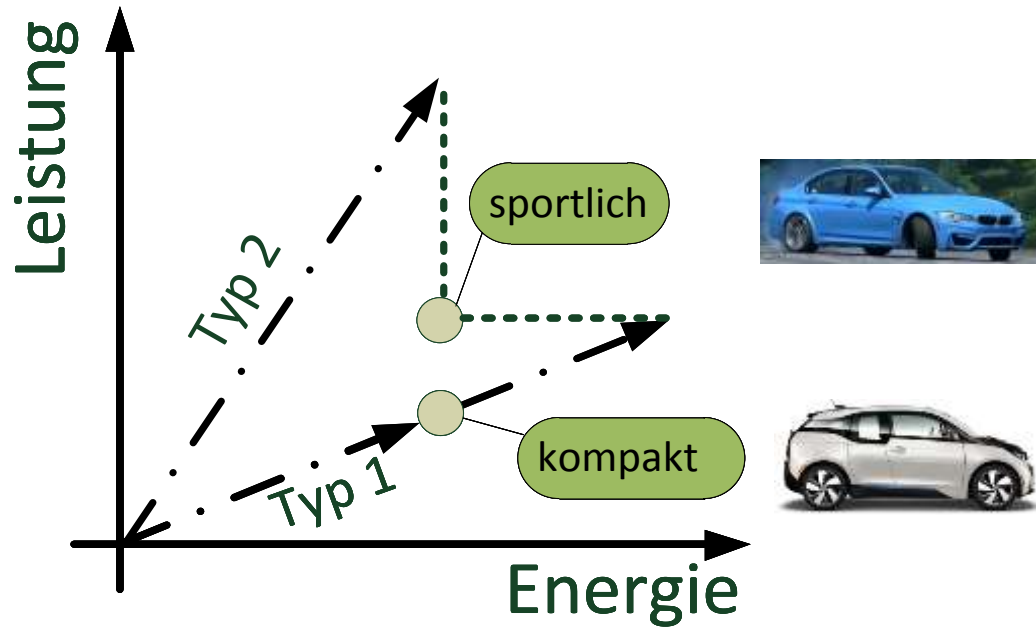


Hybridspeicher

Zelltyp 1



Zelltyp 2



Gliederung

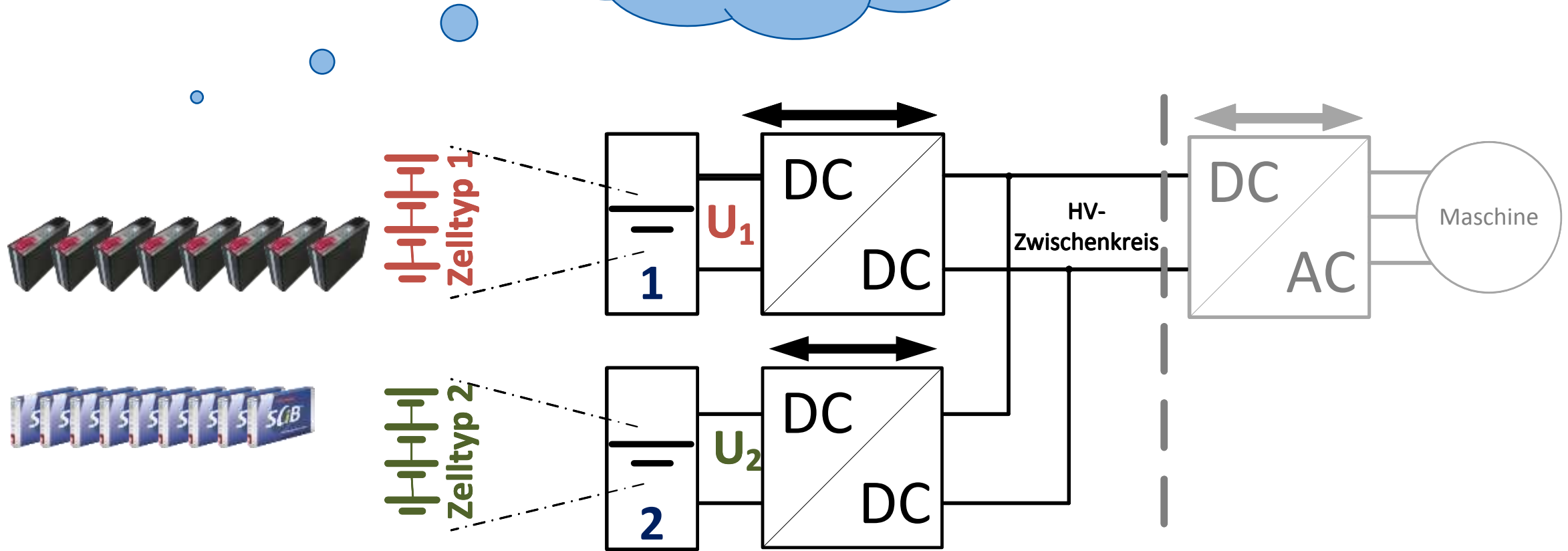
- 1 Motivation**
- 2 Hybrid-Batteriespeicher - Struktur und Dimensionierung**
- 3 Dimensionierungs-Werkzeug**
- 4 Anwendung und Ergebnisse für Fahrzeugklassen**
- 5 Zusammenfassung und Ausblick**

Gliederung

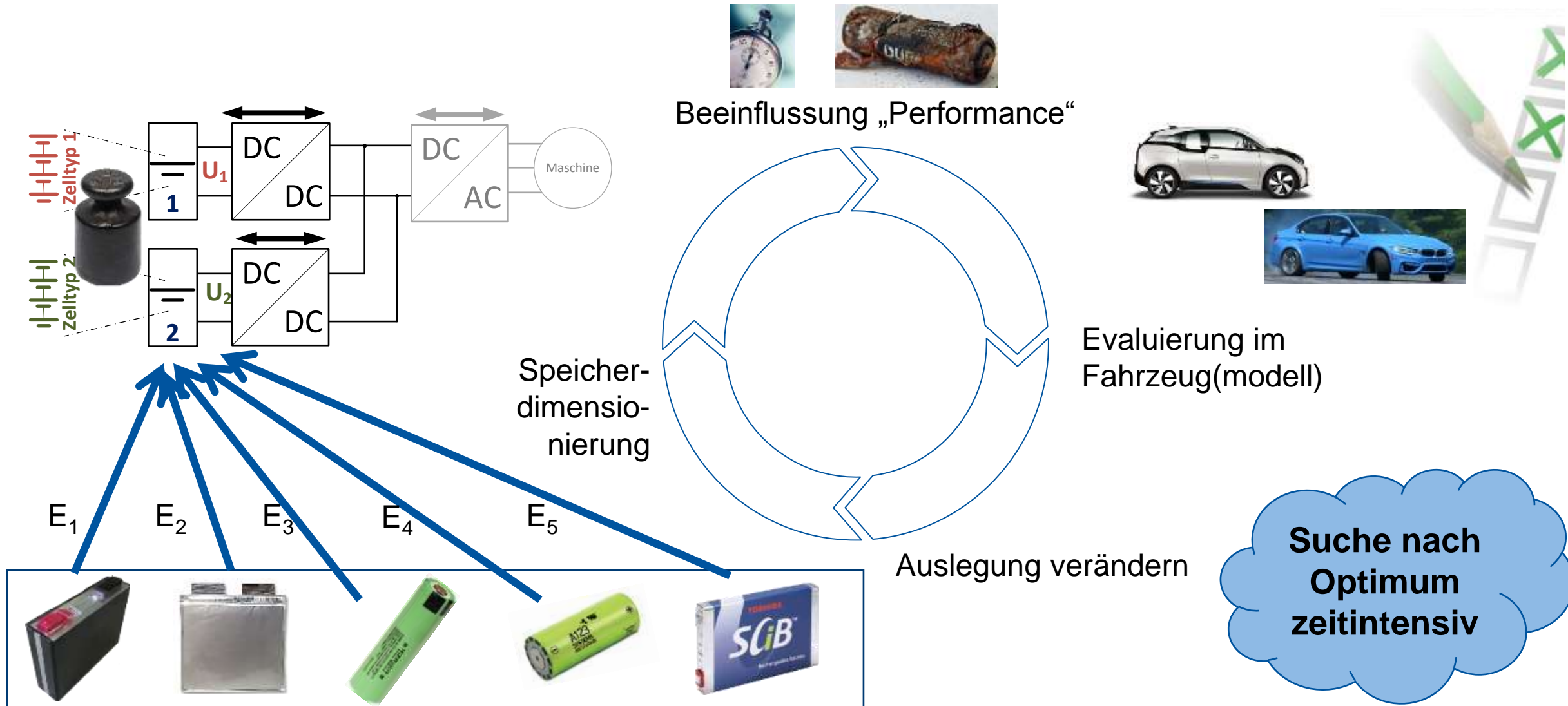
- 1 Motivation
- 2 Hybrid-Batteriespeicher - Struktur und Dimensionierung
- 3 Dimensionierungs-Werkzeug
- 4 Anwendung und Ergebnisse für Fahrzeugklassen
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

Systemstruktur

Wie viele Zellen des jeweiligen Typs optimal??



Dimensionierung - Problemstellung



Beeinflussung „Performance“



Evaluierung im Fahrzeug(modell)

Speicherdimensionierung

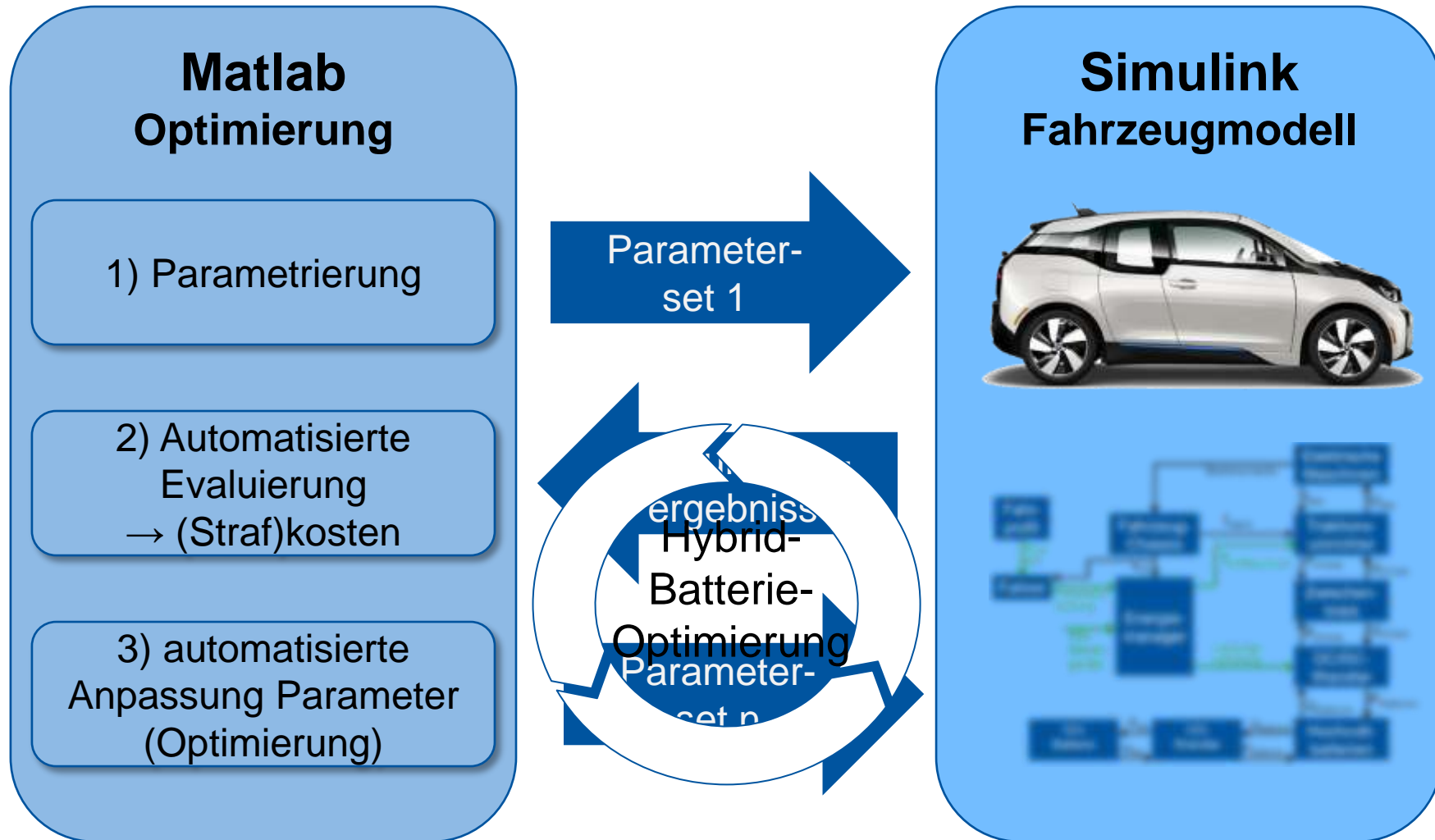
Auslegung verändern

Suche nach Optimum zeitintensiv

Gliederung

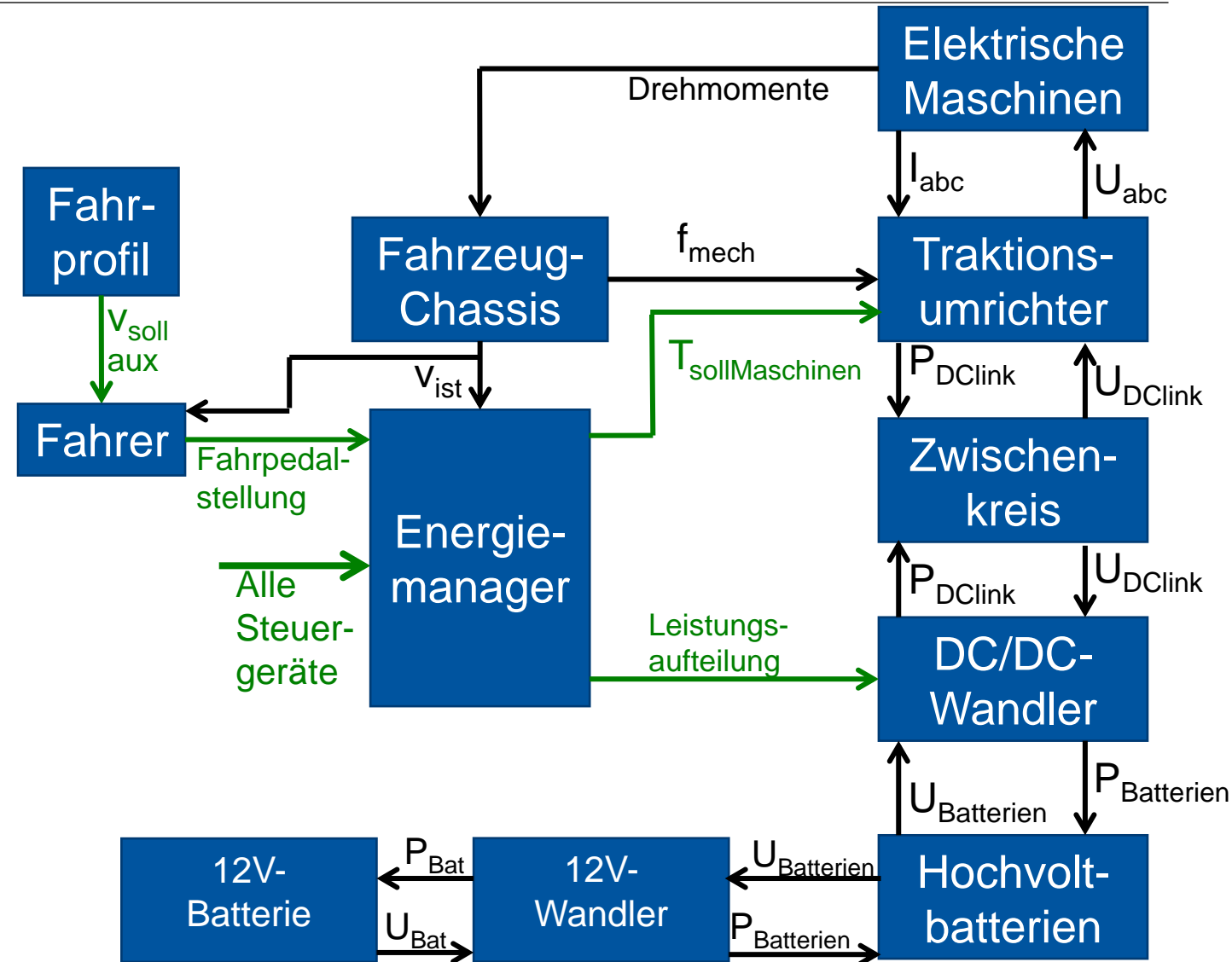
- 1 Motivation
- 2 Hybrid-Batteriespeicher - Struktur und Dimensionierung
- 3 Dimensionierungs-Werkzeug
- 4 Anwendung und Ergebnisse für Fahrzeugklassen
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

Optimierungswerkzeug - Übersicht



Fahrzeugmodell – Übersicht (vereinfacht)

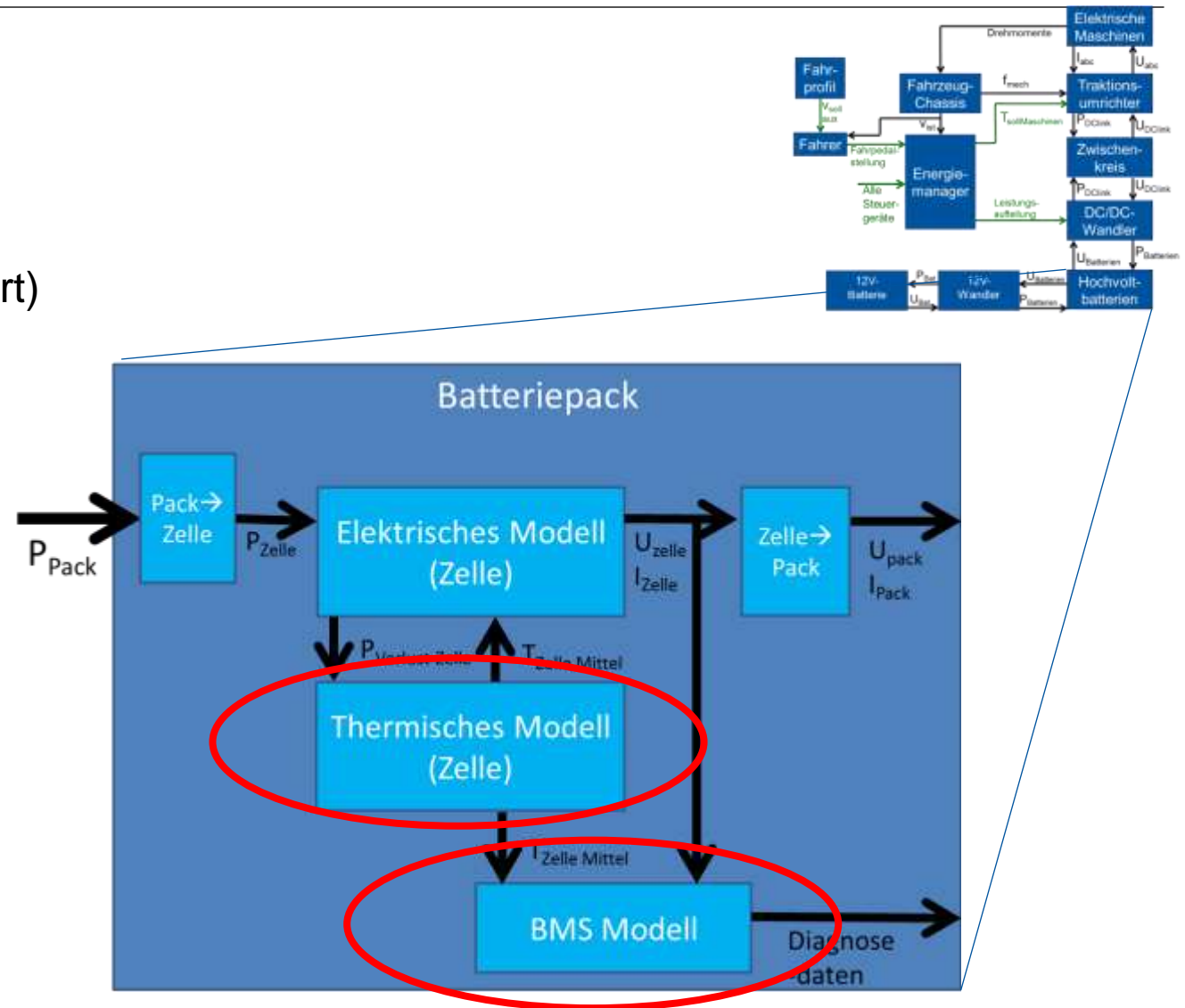
- Eingangsdaten
 - Fahrprofil – $v(t)$, $\Delta y/\Delta x(t)$
 - Nebenverbraucher
- Komponenten über Workspace parametrierbar



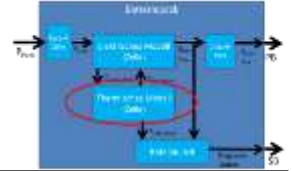
Modellierung der Batterie

■ Batteriepack

- Eingang: Leistung
- Ausgabe: Spannung, Diagnoseinfos
- Elektrisches Modell: OCV-R-RC (Zelle modelliert)

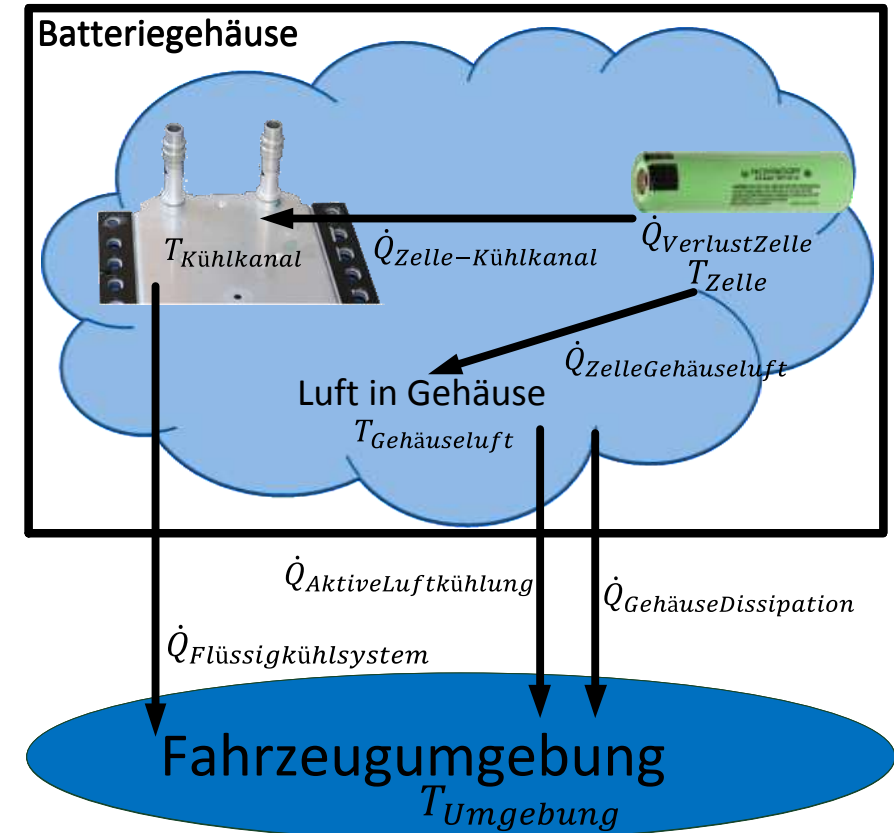


Modellierung der Batterie



■ Batteriepack

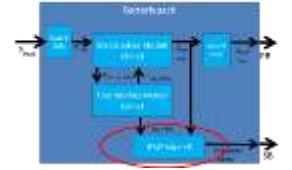
- Eingang: Leistung
- Ausgabe: Spannung, Diagnoseinfos
- Elektrisches Modell: OCV-R-RC (Zelle modelliert)
- **Thermisches Modell für verschiedene Kühlmedien**



$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

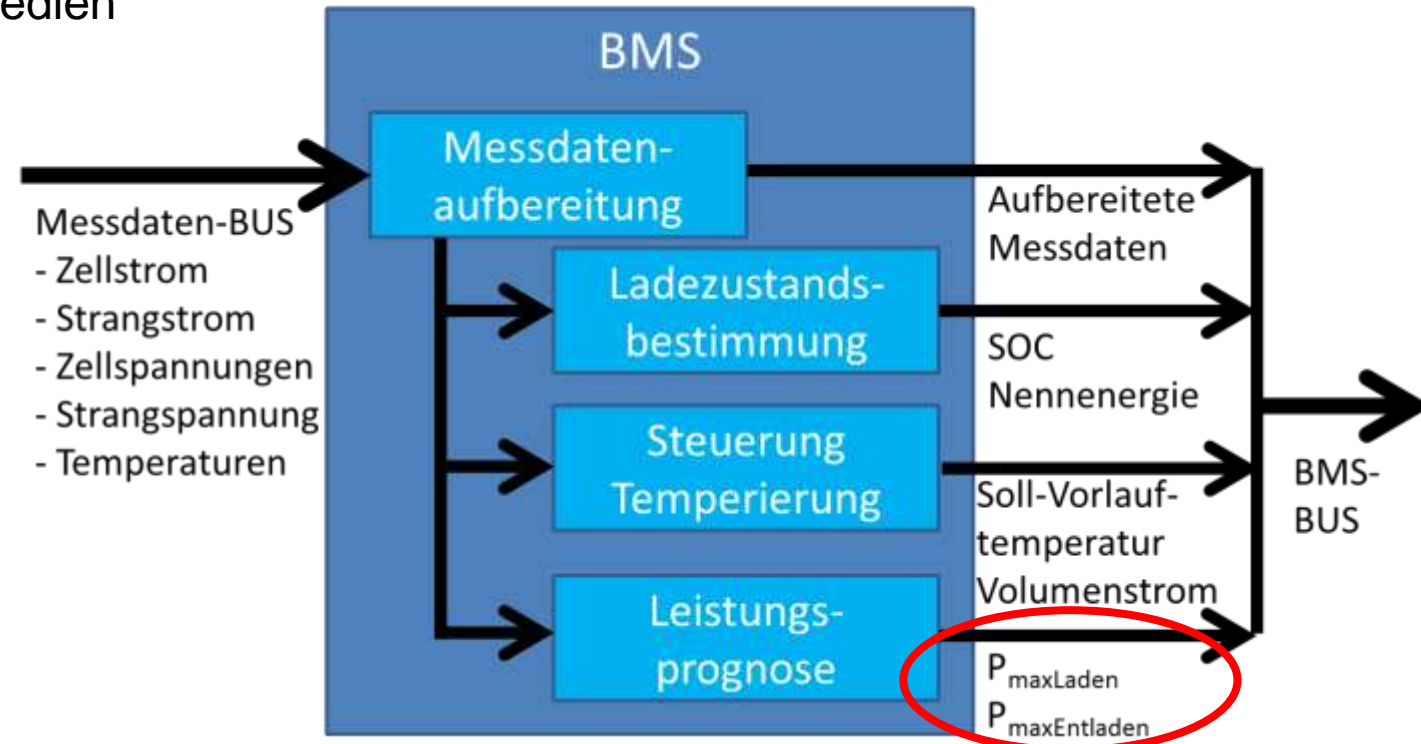
$$T_{\text{Komponente}} = T_{\text{Komponente initial}} + \int \frac{\dot{Q}_{\text{ein}} - \dot{Q}_{\text{aus}}}{m_{\text{Komponente}} \cdot c_{p,\text{Komponente}}} dt$$

Modellierung der Batterie



■ Batteriepack

- Eingang: Leistung
- Ausgabe: Spannung, Diagnoseinfos
- Elektrisches Modell: OCV-R-RC (Zelle modelliert)
- Thermisches Modell für verschiedene Kühlmedien
- **Batteriemanagement**

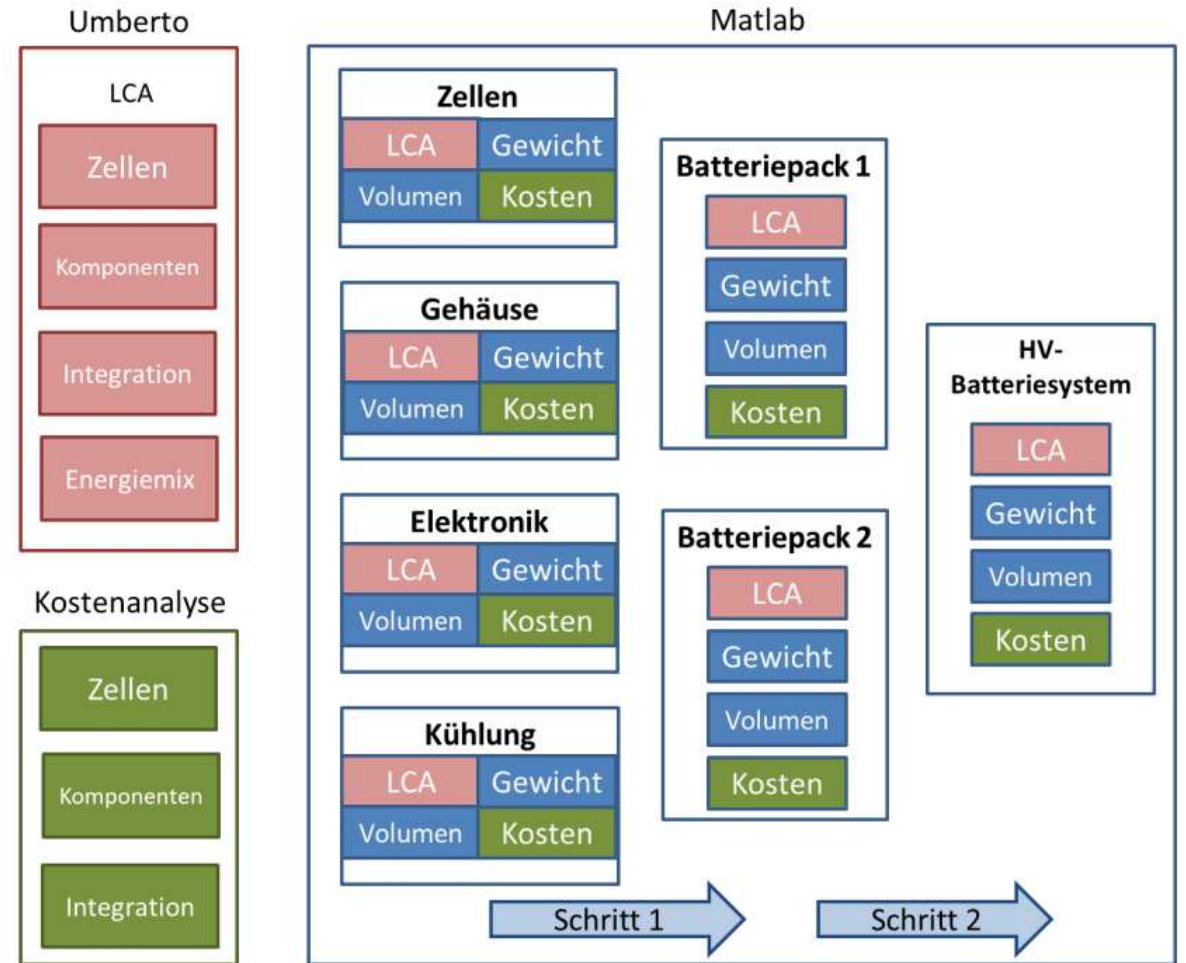


Modellierung der Batterie

■ Batteriepack

- Eingang: Leistung
- Ausgabe: Spannung, Diagnoseinfos
- Elektrisches Modell: OCV-R-RC (Zelle modelliert)
- Thermisches Modell für verschiedene Kühlmedien
- Batteriemanagement

■ Kosten- und Umweltmodell der Batterie



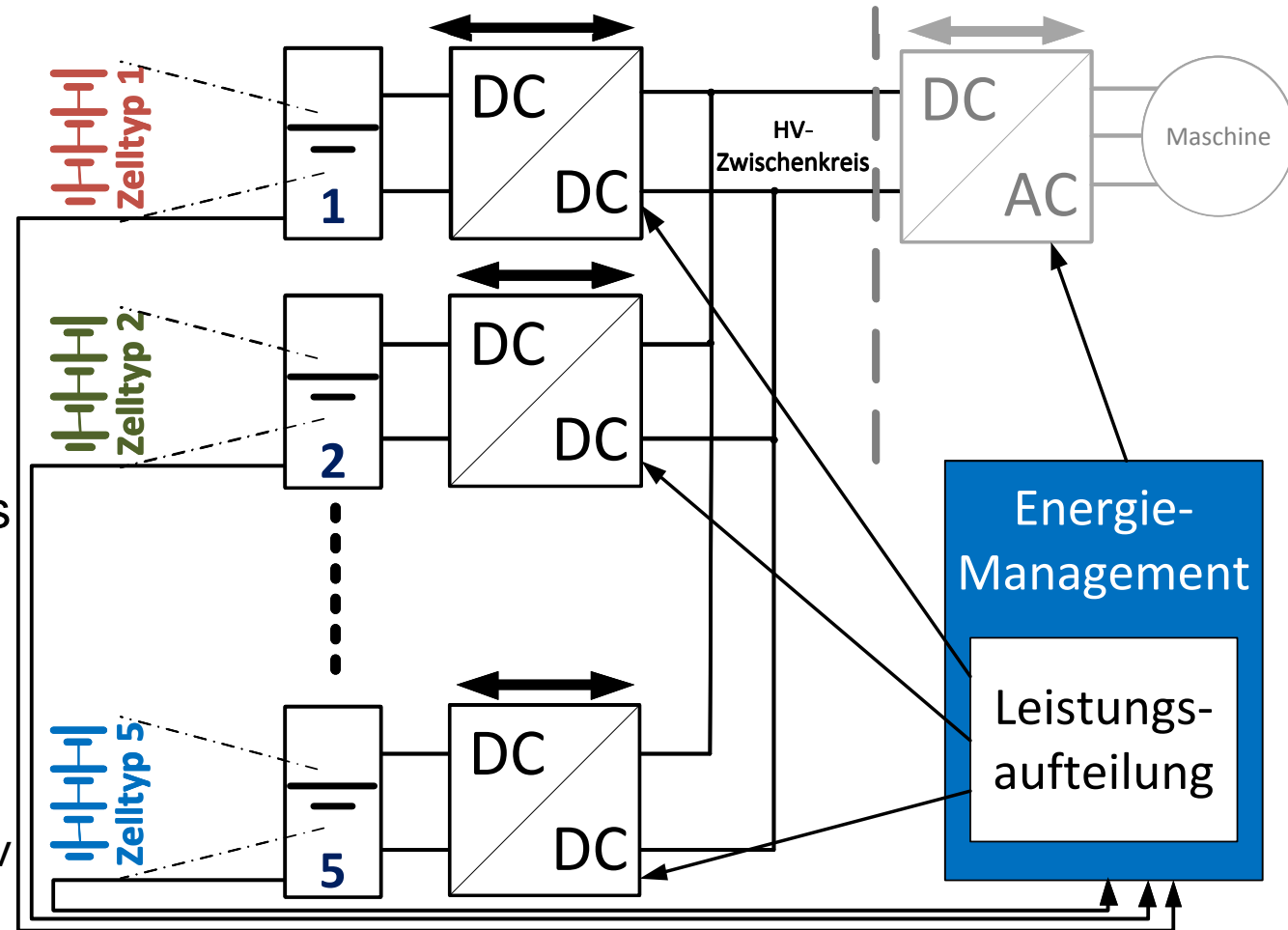
LCA = Life Cycle Assessment

Modellierung der Batterie

- Batteriepack
 - Eingang: Leistung
 - Ausgabe: Spannung, Diagnoseinfos
 - Elektrisches Modell: OCV-R-RC (Zelle modelliert)
 - Thermisches Modell für verschiedene Kühlmedien
 - Batteriemanagement
- Kosten- und Umweltmodell der Batterie
- **Batteriealterungsmodell**
- Evaluierung der (Fahrzeug)performance nach 8 Jahren / 120 t km Fahrzeugbetrieb
 - Anhand realistischer Fahrzyklen
 - Wochenfahrplan z.B. Pendelfahrten
- Batteriealterung basierend auf Alterungsdaten von Ecker, Schmalstieg
- Annahme:
 - lineares Alterungsverhalten bis 80 % Restkapazität

Leistungsaufteilung im Energiemanagement

- Online Beeinflussung der Leistungsflüsse
- keine Parametrierung / Optimierung auf bestimmte Batterietypen
- Informationen online über BMS der Packs
- Performancetests sollen nicht durch schlechte Leistungsaufteilung beeinflusst werden!
- Bei passender Auslegung der einzelnen Packs werden alle Packs für Leistung benötigt
 - → kein Pack deutlich schneller entladen
- implementierte Strategie
 - Primär: Ladezustandsausgleich
 - Packs mit höherem Ladezustand werden relativ mit mehr Leistung beaufschlagt und v. v.
 - Sekundär: Berücksichtigung der individuellen und aktuellen Leistungsgrenzen aller Packs

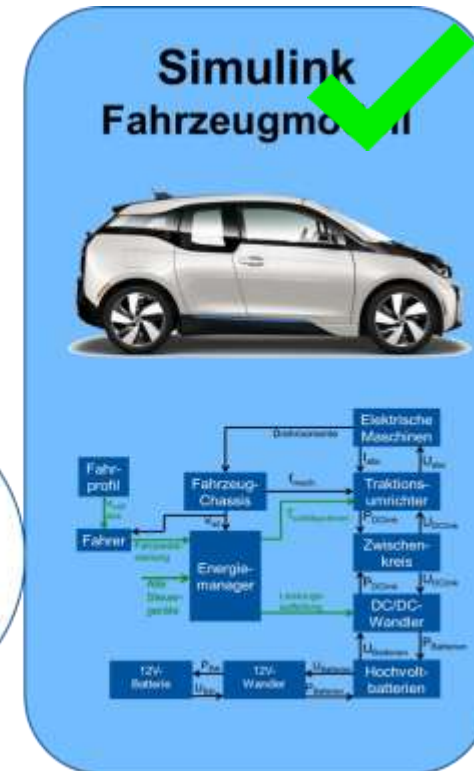
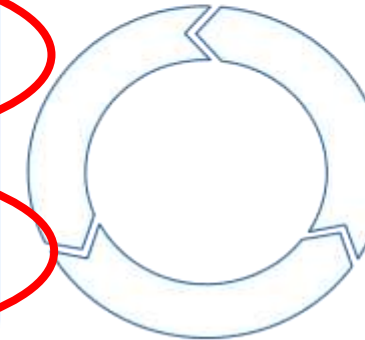
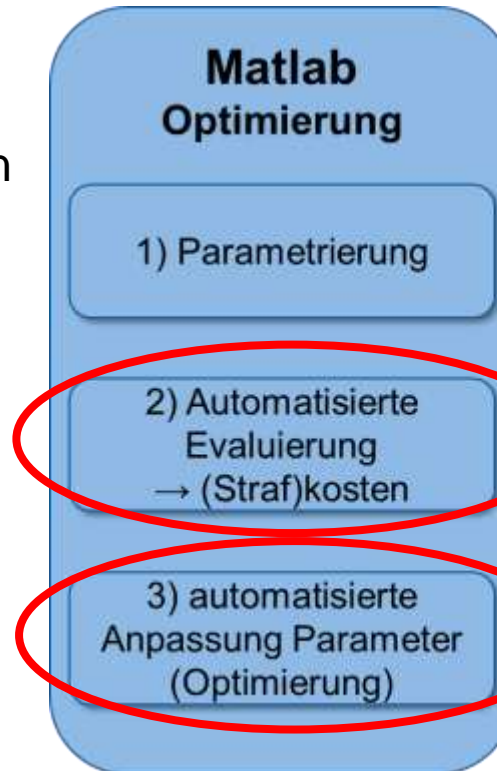


Optimierungsumgebung

Individuen

■ Optimierung

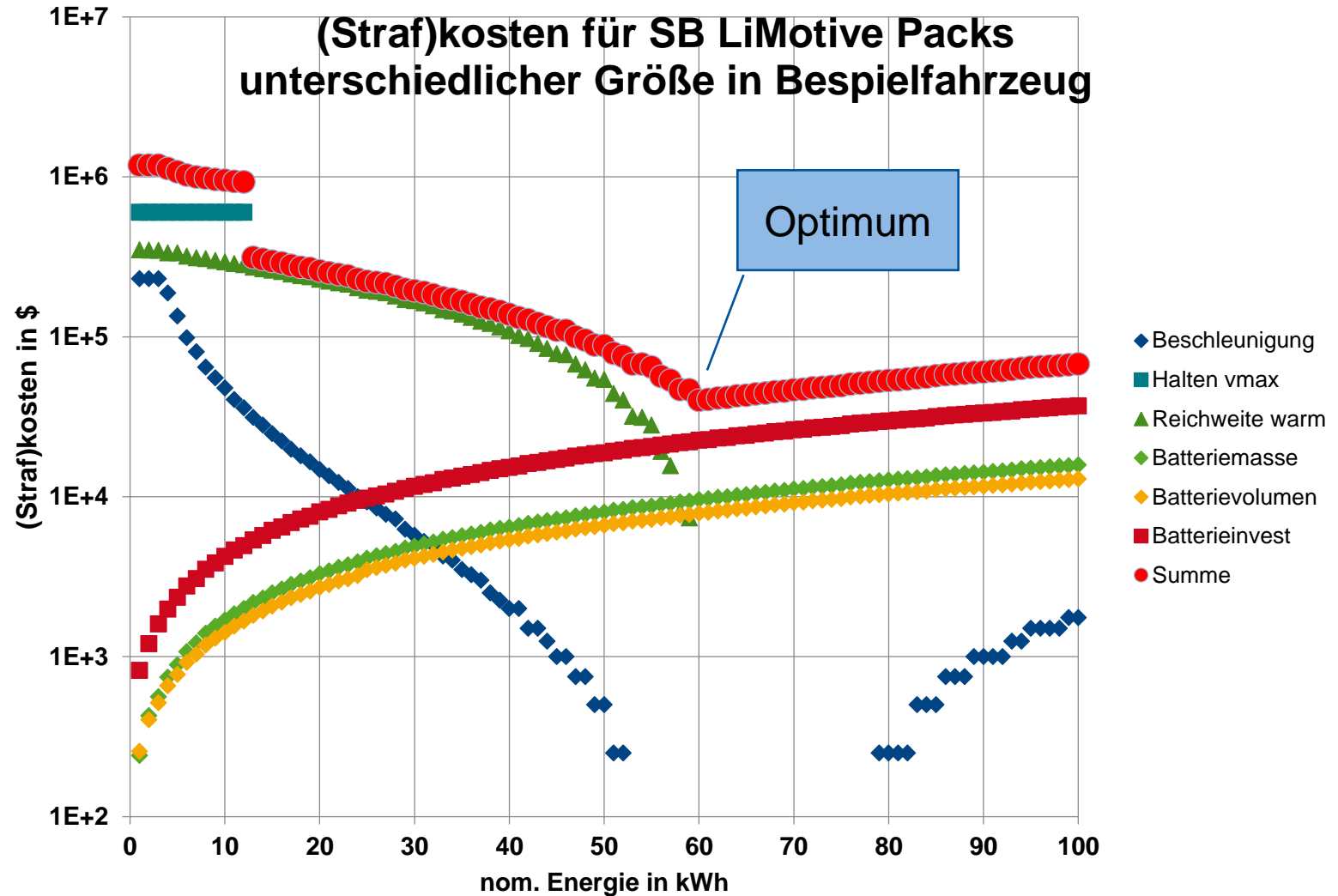
- Lernen aus evaluierten Batterie-Konfigurationen
- Anpassung der Parameter (Zelltyp, Größe...) → Erstellung neuer Konfigurationen
- Erneute Evaluierung
- ...Konvergenz hin zu sehr guten Lösungen
- Evolutionärer Optimierungsalgorithmus
 - Erste Generation besteht aus Anfangs**individuen** (Anfangspopulation)
 - Durch Bewertung der Individuen und Anwendung genetischer Operatoren entsteht eine neue Generation mit besseren Individuen
- Hier: CMAES (Hansen et al.)
Covariance-Matrix-Adaption-Evolution-Strategy
Vorteil: deutlich geringere Parametereinstellung als bei genetischem Algorithmus



Bewertungskriterien & Kostenfunktion

- Bewertung von Individuen (Batteriekonfigurationen) anhand harter Kriterien
- Bei Nichterfüllung: Strafkosten
 - Beschleunigung
 - Halten von v_{\max}
 - Reichweite
 - Masse
 - Volumen
 - Investitionskosten
- Umrechnung aller Kriterien in vergleichbare Währung (Real- & Strafkosten)
- Summation ergibt Gesamtkosten

} Simulationsergebnisse (unter versch. Bedingungen)
 } ohne Simulation ermittelt



Gliederung

- 1 Motivation
- 2 Hybrid-Batteriespeicher - Struktur und Dimensionierung
- 3 Dimensionierungs-Werkzeug
- 4 Anwendung und Ergebnisse für Fahrzeugklassen
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

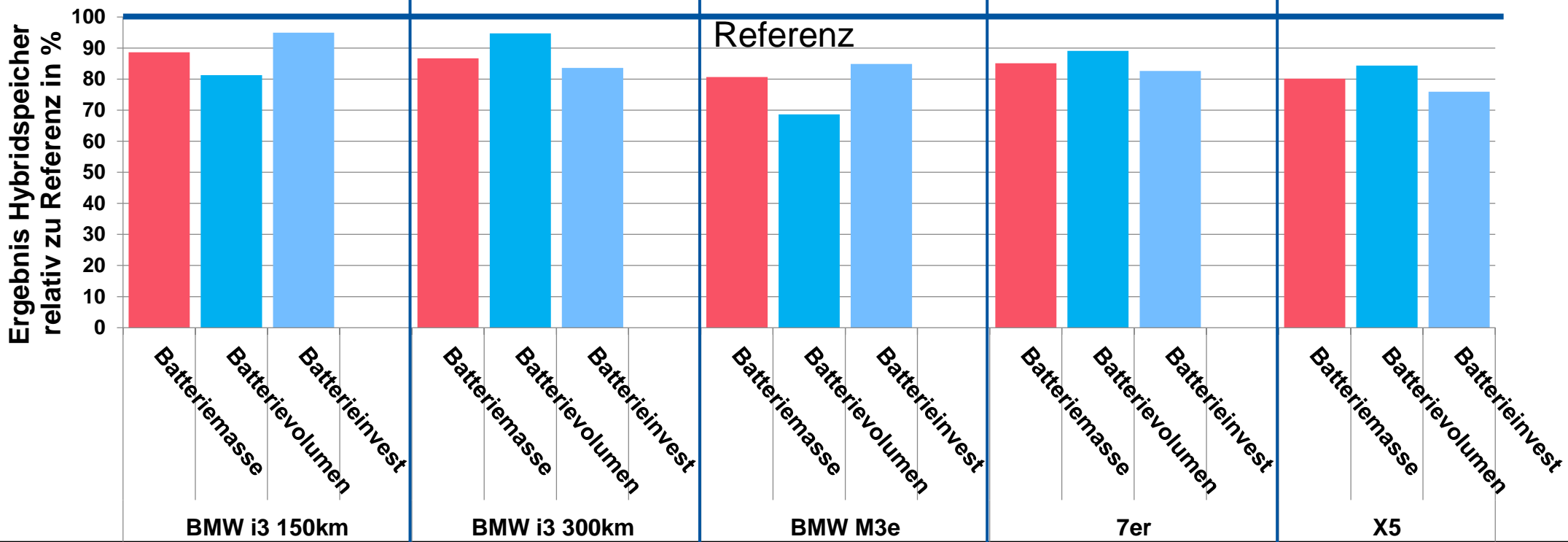
Untersuchte Fahrzeugtypen und Zellen

	Kleinwagen („i3 150km“)	Kleinwagen („i3 300km“)	Mittelklasse („M3e“)	Oberklasse („7er“)	SUV („X5“)
Anforderungen					
0..100km/h	7,3 s	7,3 s	3,9 s	5,1 s	5,1 s
Reichweite	150 km	300 km	350 km	400 km	500 km
Chassiswerte und weitere Fahrzeugparameter im Modell					
	SB LiMotive 	Kokam HR2 46Ah 	Panasonic NCR18650B 	A123 26650 M1B 	Toshiba SCiB 2,9Ah 
Hochenergie (HE) / Hochleistung (HP)	HE/HP	HE	HE	HP	HP

Dimensionierungsergebnisse

„wie gut sind Hybridspeicher?“

Referenz (=Einzelpack) (= 100%)	SB LiMotive 22 kWh 	Kokam 47 kWh 	SB LiMotive 61 kWh 	Kokam 77 kWh 	Kokam 118 kWh 
Beste Lösung (Hybridspeicher- Optimierung)	Panasonic 22 kWh A123 3 kWh 	Panasonic 46 kWh A123 3 kWh 	Panasonic 62 kWh Toshiba 3,2 kWh 	Panasonic 78 kWh Toshiba 1,8 kWh 	Panasonic 118 kWh Toshiba 1,9 kWh 



Gliederung

- 1 Motivation
- 2 Hybrid-Batteriespeicher - Struktur und Dimensionierung
- 3 Dimensionierungs-Werkzeug
- 4 Anwendung und Ergebnisse für Fahrzeugklassen
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

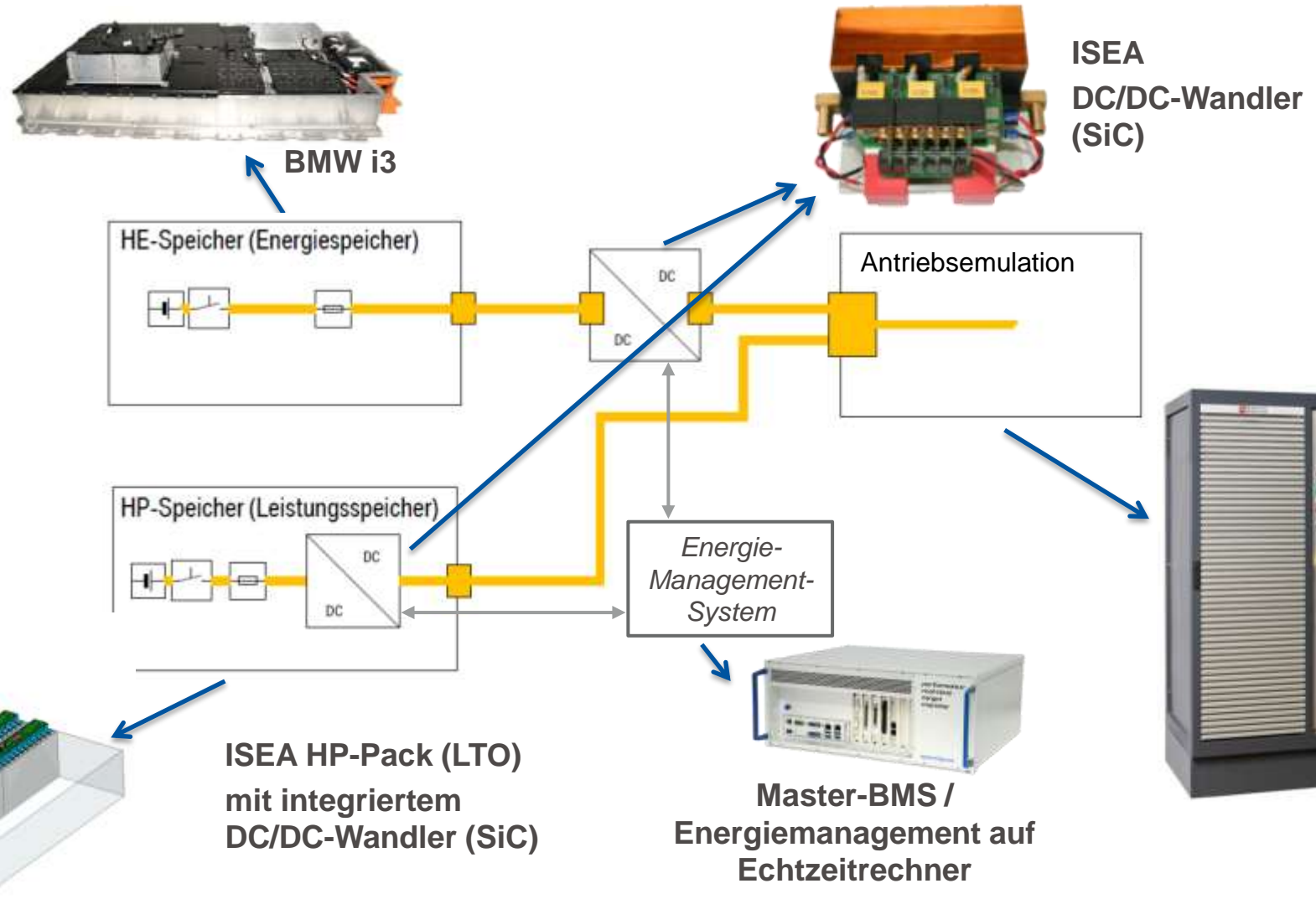
Zusammenfassung

- Modellbasiertes **Optimierungswerkzeug** zur automatischen **Auslegung von Hybrid-Batteriespeichern**
 - Fahrzeugmodell mit elektrisch-thermischem Batteriemodell
 - Alterungs-, Kosten- & Umweltmodell der Batterie
 - Optimierung mittels CMAES
 - Kostenfunktion bewertet jede Batterieausprägung
 - Beschleunigung
 - Halten von v_{\max}
 - Reichweite
 - Masse, Volumen, Investitionskosten

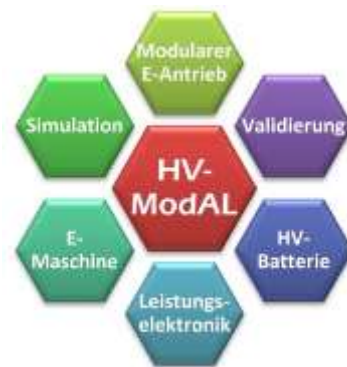
- Werkzeug für 5 Fahrzeugklassen und 5 Zelltypen genutzt
- Optimierungsergebnisse
 - Hybridspeicher zeigen gegenüber Referenzauslegung (Einzelpack) trotz zus. Leistungselektronik Vorteile
 - Reduktion Investitionskosten (5 .. 24 %)
 - Reduktion Systemmasse (11 .. 20 %)
 - Reduktion Systemvolumen (5 .. 31 %)

Ausblick

■ Aufbau und Erprobung eines Hybridspeicher-Demonstrators



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Kontakt

Jan Becker

Tel: 0241 80 49412

Email: Jan.Becker@isea.rwth-aachen.de
batteries@isea.rwth-aachen.de



Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung
und Speichersystemtechnik
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Dirk Uwe Sauer
RWTH Aachen University

Jägerstraße 17/19
52066 Aachen
GERMANY

www.isea.rwth-aachen.de



Wir danken



DAIMLER



Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik



BOSCH
Technik fürs Leben



Optimierung hybrider Batteriespeicher bestehend aus unterschiedlichen Li-Ionen-Zelltypen

2. Herbstworkshop „Energiespeichersysteme“
an der TU-Dresden

29.11.2017
Jan Becker

