



EcoTrain: Ein serieller Hybrid für die Erzgebirgsbahn

Dr.-Ing. H. Fichtl (Fraunhofer IVI)

C. Werner (DB RegioNetz Verkehrs GmbH)

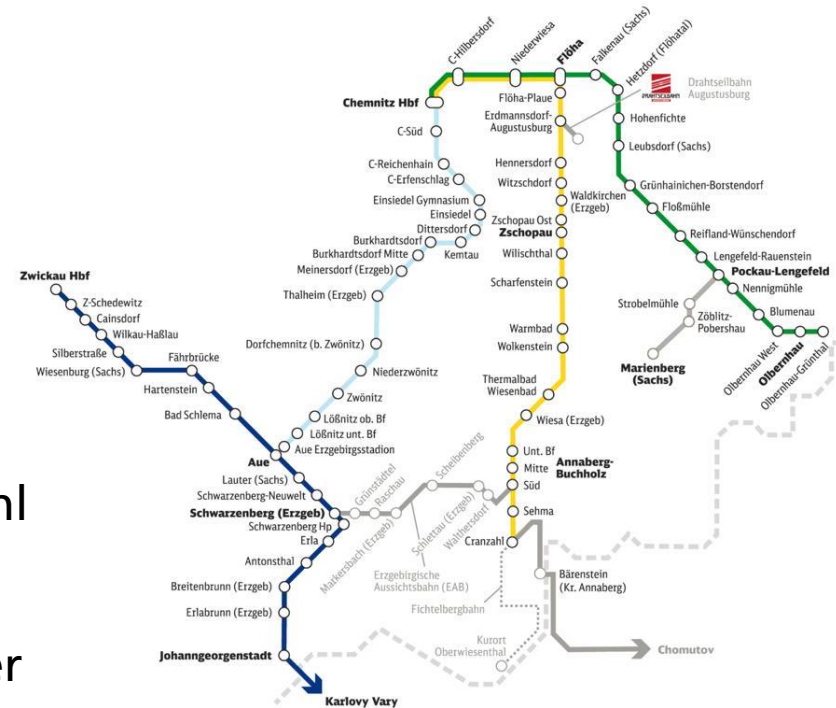
Dipl.-Kfm. S. Claus (DB RegioNetz Verkehrs GmbH)

Gliederung

- Motivation
- Projekt EcoTrain
- Antriebssystem
- Energie-Effizienz-Modul
- Zusammenfassung

Erzgebirgsbahn

- Erschließung des Erzgebirges
- Strecken der Erzgebirgsbahn
 - Chemnitz – Aue
 - Zwickau – Johanngeorgenstadt
 - Flöha – Olbernhau-Grünthal
 - Flöha – Annaberg-Buchholz-Cranzahl
- Streckenlänge 217 km
- Nebenbahn mit Mittelgebirgscharakter
- Kurvenreiche Strecken mit Höhendifferenzen bis zu 450 m



Quelle: www.erbgebirgsbahn.de

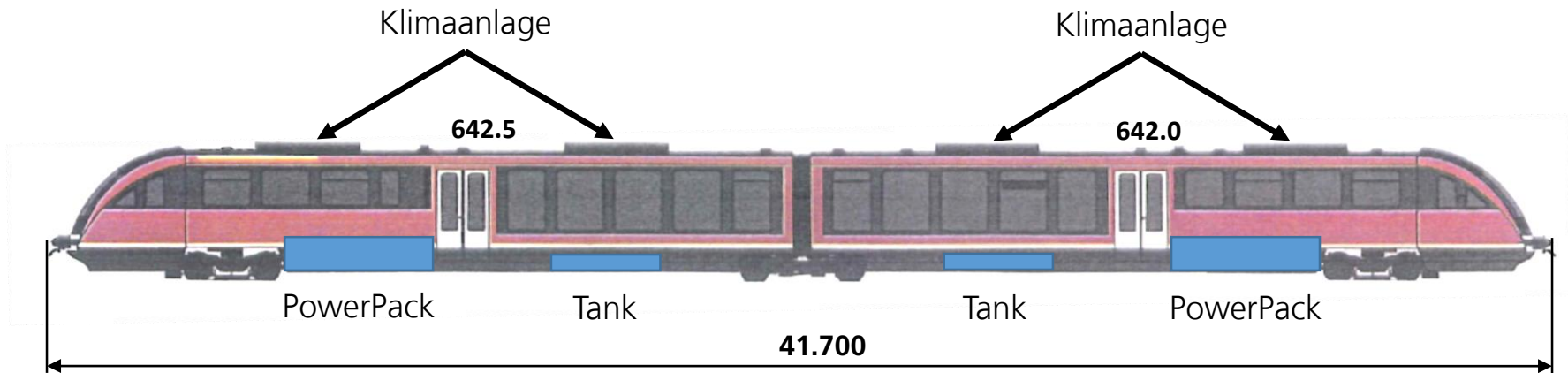
Erzgebirgsbahn - Triebfahrzeuge

- 16 Triebwagen BR 642 (Desiro Classic)
- Technische Fahrzeugdaten
 - Zwei dieselmechanische Antriebsanlagen mit 275 bzw. 315 kW
 - Höchstgeschwindigkeit 120 km/h
 - Zul. Höchstmasse ca. 88 t
 - Anzahl Fahrgäste
 - 121 Sitzplätze (davon 12 in der 1. Klasse)
 - 90 Stehplätze



Quelle: www.erzgebirgsbahn.de

Erzgebirgsbahn - Triebfahrzeuge



■ PowerPack

- Masse ca. 4,5 t
- Abmessungen (ca.) L x B x H 3.500 x 2.300 x 750 mm
- Verbrennungsmotor, mechanisches 5-Gang-Getriebe
- Mechanisch angetriebene Luft- und Klimaverdichter

Projekt EcoTrain - Projektziele

- Entwicklung eines Vorserienfahrzeuges
 - Steigerung der Energieeffizienz
 - Senkung der Betriebs- und Wartungskosten
- dieselektrischer, serieller und modularer Hybridantrieb
- Umweltfreundliche vollelektrische Klimaanlage mit Kältemittel CO₂ und Wärmepumpe
- Prädiktives Energiemanagement unter Einbeziehung des Fahrplans und des Leistungsbedarf der elektrifizierten Nebenaggregate
- Wegseitige Nachlademöglichkeit

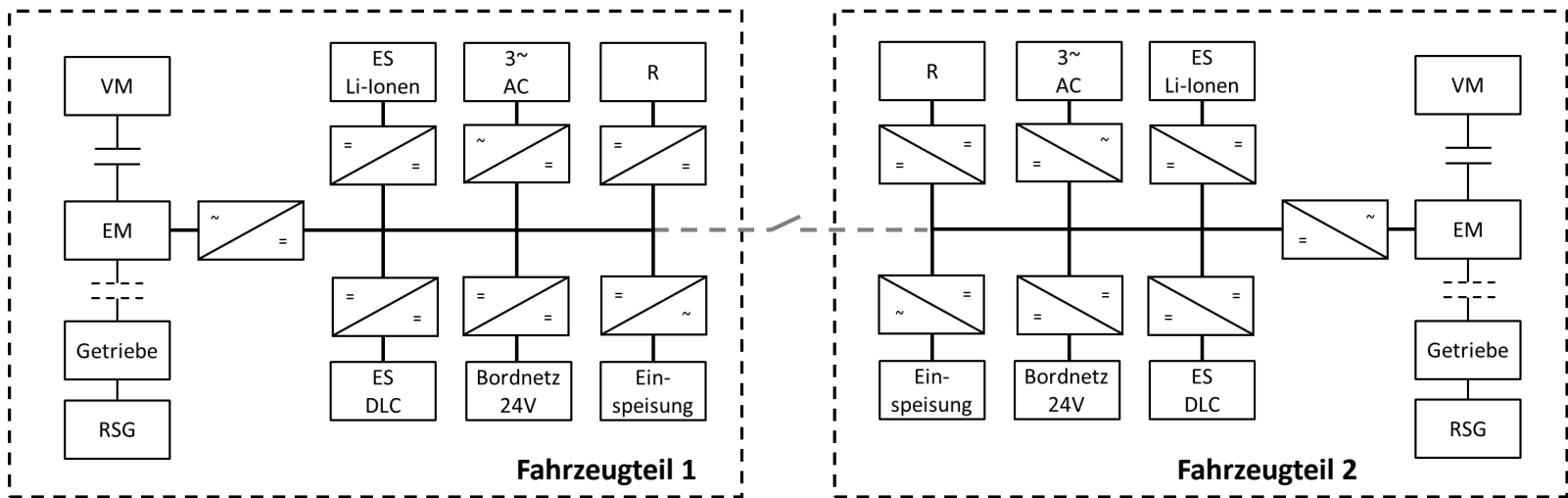


■ Gefördert durch:



Projekt EcoTrain - Antriebsstrangkonzeppte

- Paralleler Hybrid
 - PH1 ohne Kopplung
 - PH2 mit Kopplung

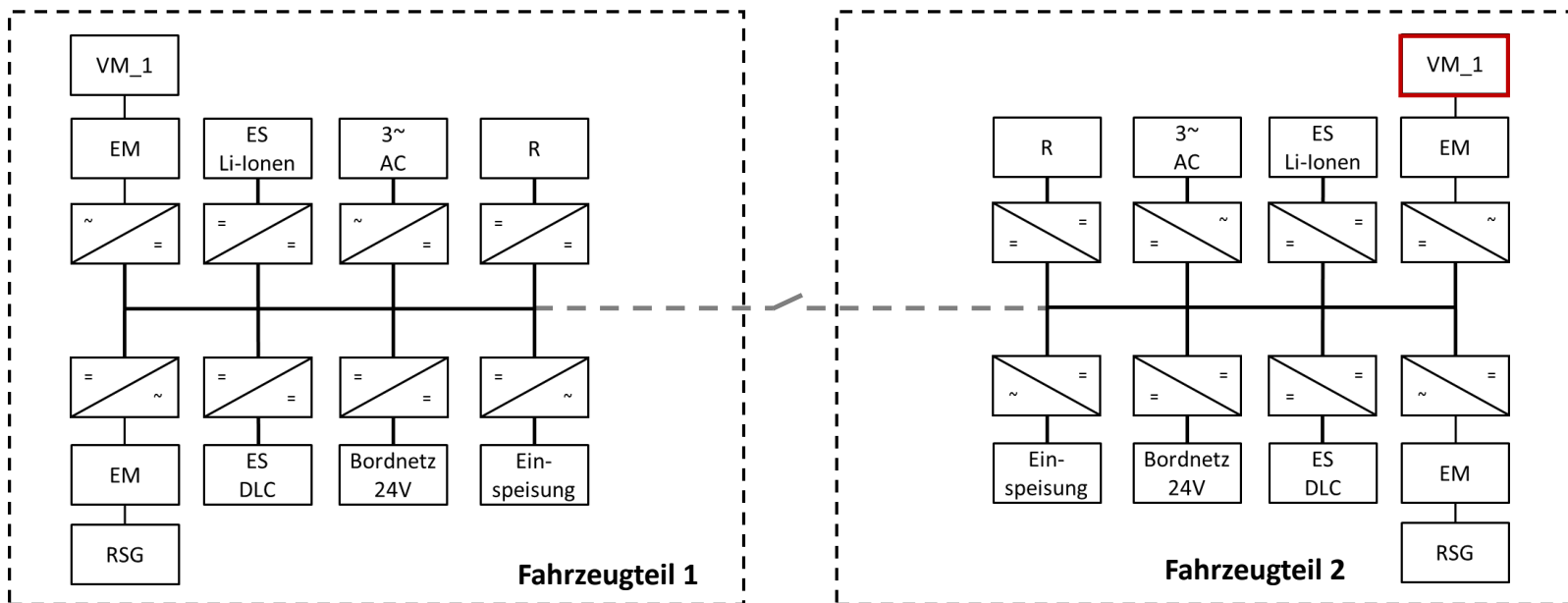


VM Verbrennungsmotor
 ES Energiespeicher
 EM Elektromaschine

RSG Radsatzgetriebe
 DLC Kondensator
 AC 3-Phasen Wechselfspannung für Hilfsbetriebe

Projekt EcoTrain - Antriebsstrangkonzeppte

■ Serieller Hybrid (SH1 ohne Kopplung; SH2 mit Kopplung)

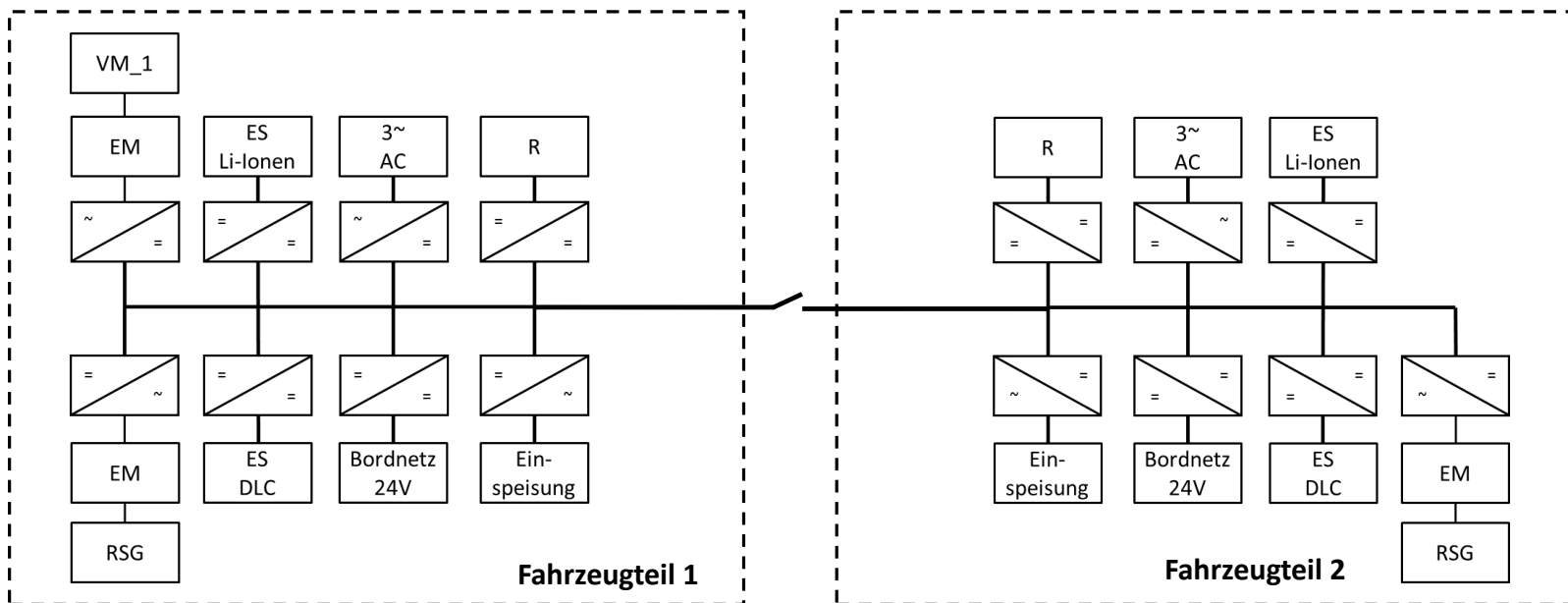


VM Verbrennungsmotor
 ES Energiespeicher
 EM Elektromaschine

RSG Radsatzgetriebe
 DLC Kondensator
 AC 3-Phasen Wechselspannung für Hilfsbetriebe

Projekt EcoTrain - Antriebsstrangkonzeppte

- Serieller Hybrid mit einem Dieselmotor
 - Energiespeicher in beiden Fahrzeugteilen (SH4)
 - Energiespeicher nur in einem Fahrzeugteil (SH5)



VM Verbrennungsmotor
 ES Energiespeicher
 EM Elektromaschine

RSG Radsatzgetriebe
 DLC Kondensator
 AC 3-Phasen Wechselfspannung für Hilfsbetriebe

Projekt EcoTrain - Antriebsstrangkonzeppte

Variante	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	PH1/2	SHP1/2
Kraftstoffverbrauch	1	2	2	3	3	2	3
Motorbetriebsstunden	1	1	2	3	3	1	3
Schadstoffemissionen	1	2	2	3	3	1	3
Anteil Betrieb Bestpunkt	2	2	3	3	3	1	2
Zugkraftverlauf	3	3	3	3	3	1	2
Nutzung Rekuperation	3	3	3	3	3	2	2
Antriebssteuerung	3	2	2	3	3	3	1
Massenfreiheitsgrad	1	1	2	2	3	1	3
Freiheitsgrad Bauraum	1	1	2	2	3	1	3
Wartungsaufwand	1	1	1	3	3	1	3
Summe	17	18	22	28	30	14	25

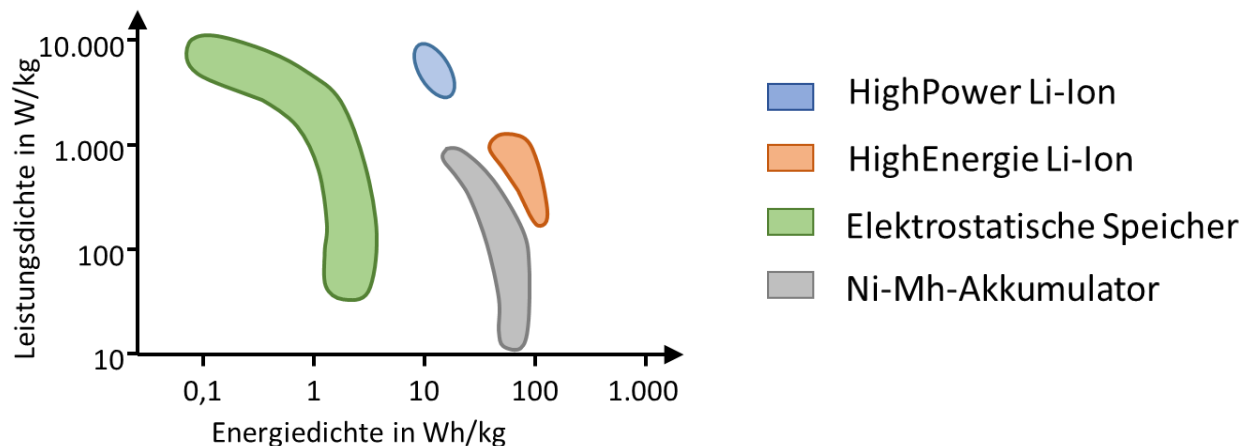
EcoTrain – Auslegung Energiespeicher

■ Elektrische Energiespeicher

- Elektrochemisches Speicherprinzip (NiMh, Li-Ionen)
- Elektrostatisches Speicherprinzip (Kondensatoren)
- Elektromechanisches Speicherprinzip (Schwungräder)

■ Technische Randbedingungen

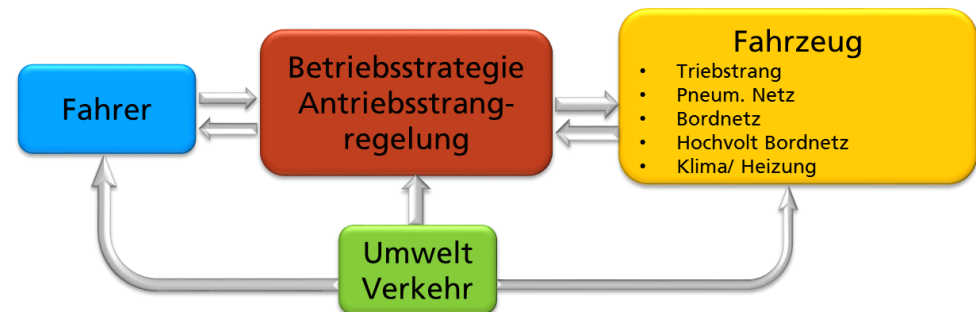
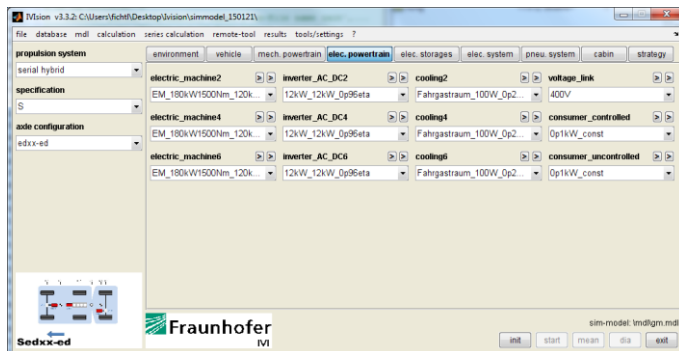
- Vorgesehener Bauraum ca. 2,6 x 2,6 x 0,75 m
- Gesamtmasse ca. 5.000 kg



EcoTrain – Auslegung Energiespeicher

■ Fahrzeugparameter

- Fahrzeugmasse 76 t (Dienstmasse + Zuladung)
- Dieselmotor 390 kW
- Fahrmotoren 2x 270 kW
- Konstante Leistung für Nebenaggregate



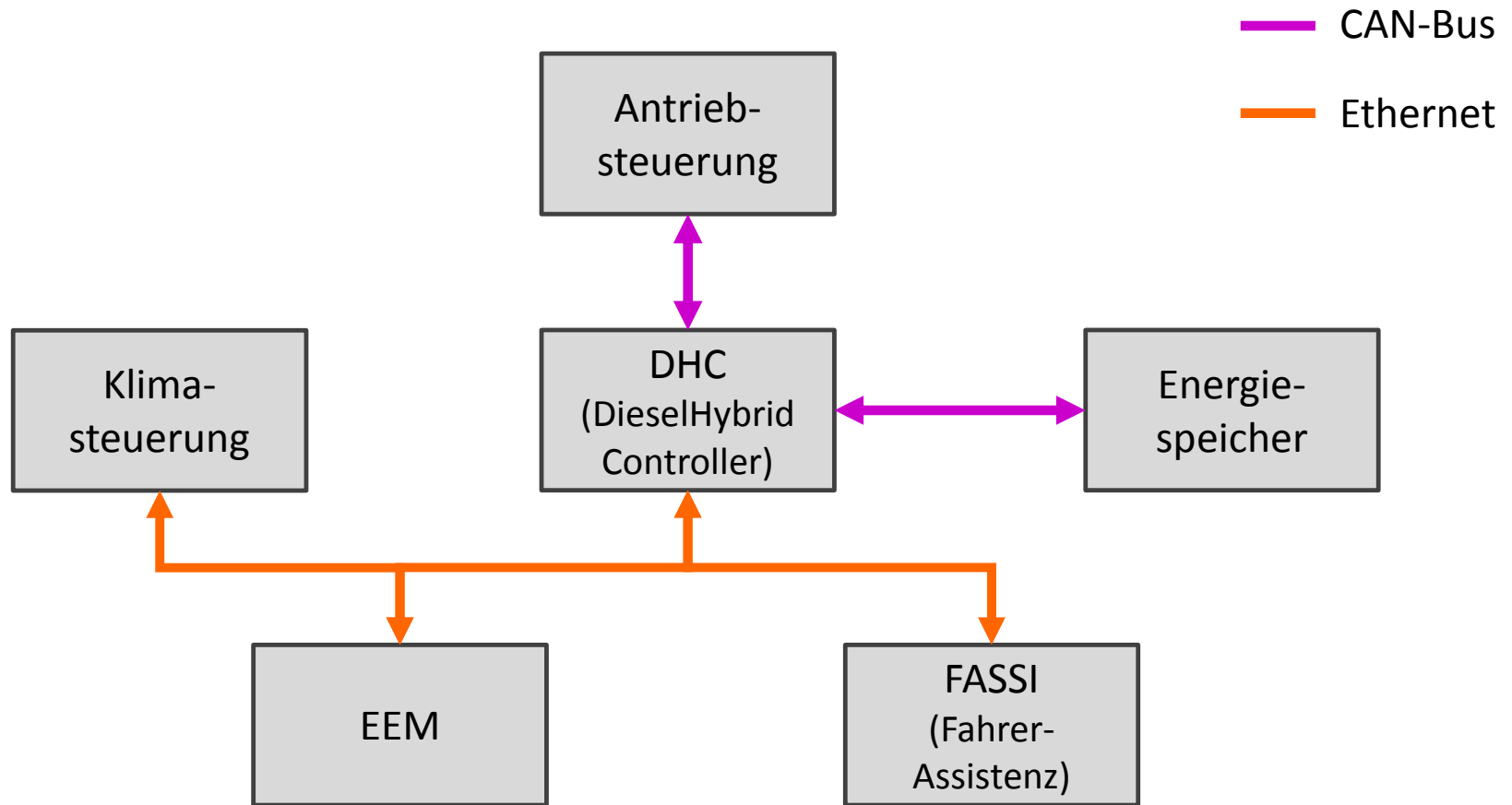
Fazit zur Auslegung der Energiespeicher

- Elektrostatischer Energiespeicher nicht geeignet
- Energiespeicher: HighPower-Typ
- SOC-Führung des Energiespeichers
 - Kraftstoffverbrauch versus Energieumsatz
- Einsparpotential aus betrieblichen Fahrten
- Energieumsatz am Energiespeicher
- Reduzierung der Leistungsaufnahme der Nebenaggregate
- Lokales emissionsfreies Fahren (z. B. Bahnhofsein- und -ausfahrt)

EEM EnergieEffizienzModul

- Hauptaufgaben des EEM
 - Sicherstellung einer effizienten und betriebssicheren Zugfahrt
 - Prädiktive Steuerung des Ladezustandes des Energiespeichers
 - Vorgabe der Leistungsaufteilung zwischen verbrennungsmotorischem Antrieb und Energiespeicher

EEM - Integration in die Leittechnik



DHC - Fahrzeugsteuerung

EEM - Funktionsweise

Hauptroutine

- Initialisierung EEM
- Netzwerkverbindungen herstellen
- Starten der Unterprogramme
- Überwachung Programmablauf

Datentransfer DHC

- Senden und Empfangen von Fahrzeugdaten
- Datenprüfung und Bereitstellung

Datentransfer FASSI

- Senden von grafischen Ausgabedaten
- Empfangen von Strecken- und Umlaufdaten
- Datenprüfung und Bereitstellung

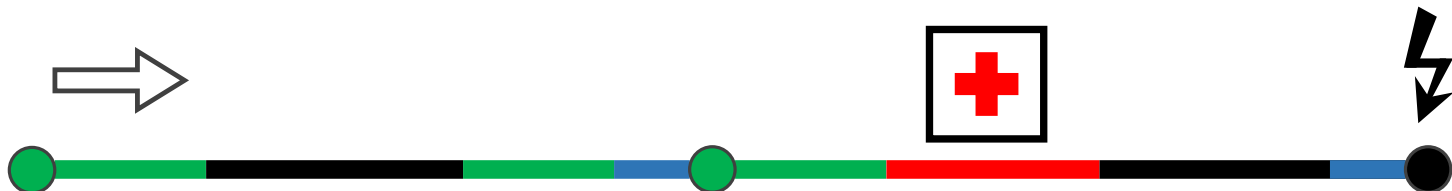
EEM

- Fusion der Strecken-, Umlauf - und Fahrzeugdaten
- Fahrzyklus erstellen
- Berechnung Stell- und Steuersignale
- Ausgabedaten für DHC und FASSI bereitstellen

EEM - Funktionsweise

■ Definition von Streckenabschnitten

- — Normale Streckenabschnitte (NormalTrack)
- — Streckenabschnitte elektrische Fahrt (ElecDriving)
- — Bremsabschnitt (Braking)
- Emissionsfreie Streckenabschnitte (EFZTrack)
- — Streckenabschnitte mit erhöhten Anforderungen an Lärmreduktion (NAZTrack)



EEM - Funktionsweise

- Definition von Haltepunkten
 - Normaler Haltepunkt
 - Haltepunkt in emissionsfreier Zone
 - Haltepunkt in Zone mit erhöhten Anforderungen an Lärmreduktion
 - Mit externer Nachladeeinrichtung 400 oder 1000 V, Ankopplung vom Triebfahrzeugführer auszulösen
 - Mit externer Nachladeeinrichtung 230 oder 400 V, manuelles Anschließen durch den Triebfahrzeugführer

EEM - Funktionsweise

■ Definition von Prioritätsstufen

■ Neun Prioritätsstufen

- Festlegung der zulässigen verbrennungsmotorischen Leistung für die fünf Typen Streckenabschnitte

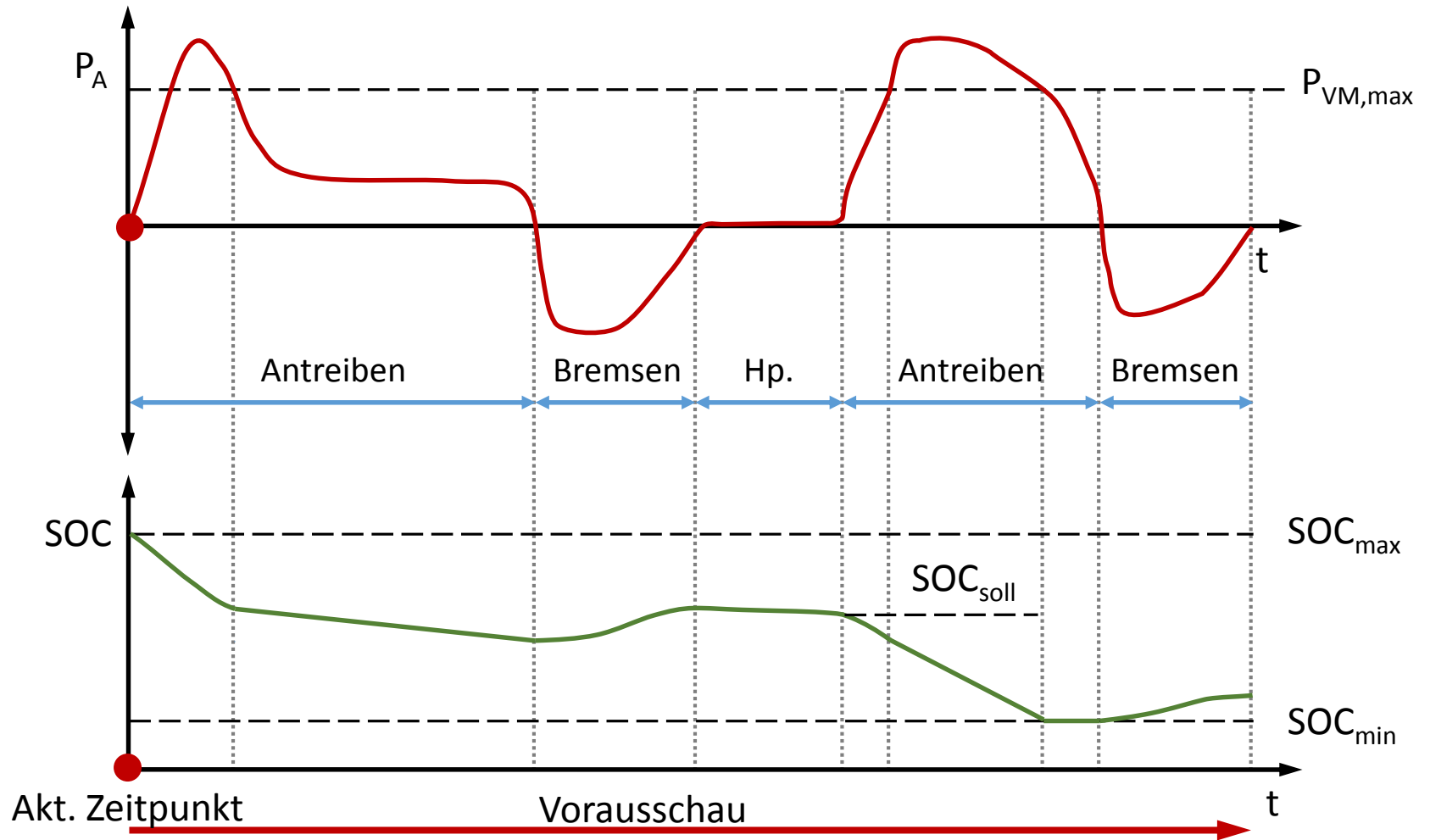
■ priority3

- engPwrNormalTrack: 390 kW
- engPwrBraking: 0 kW
- engPwrElecDriving: 200 kW
- engPwrEFZTrack: 0 kW
- engPwrNAZTrack: 0 kW

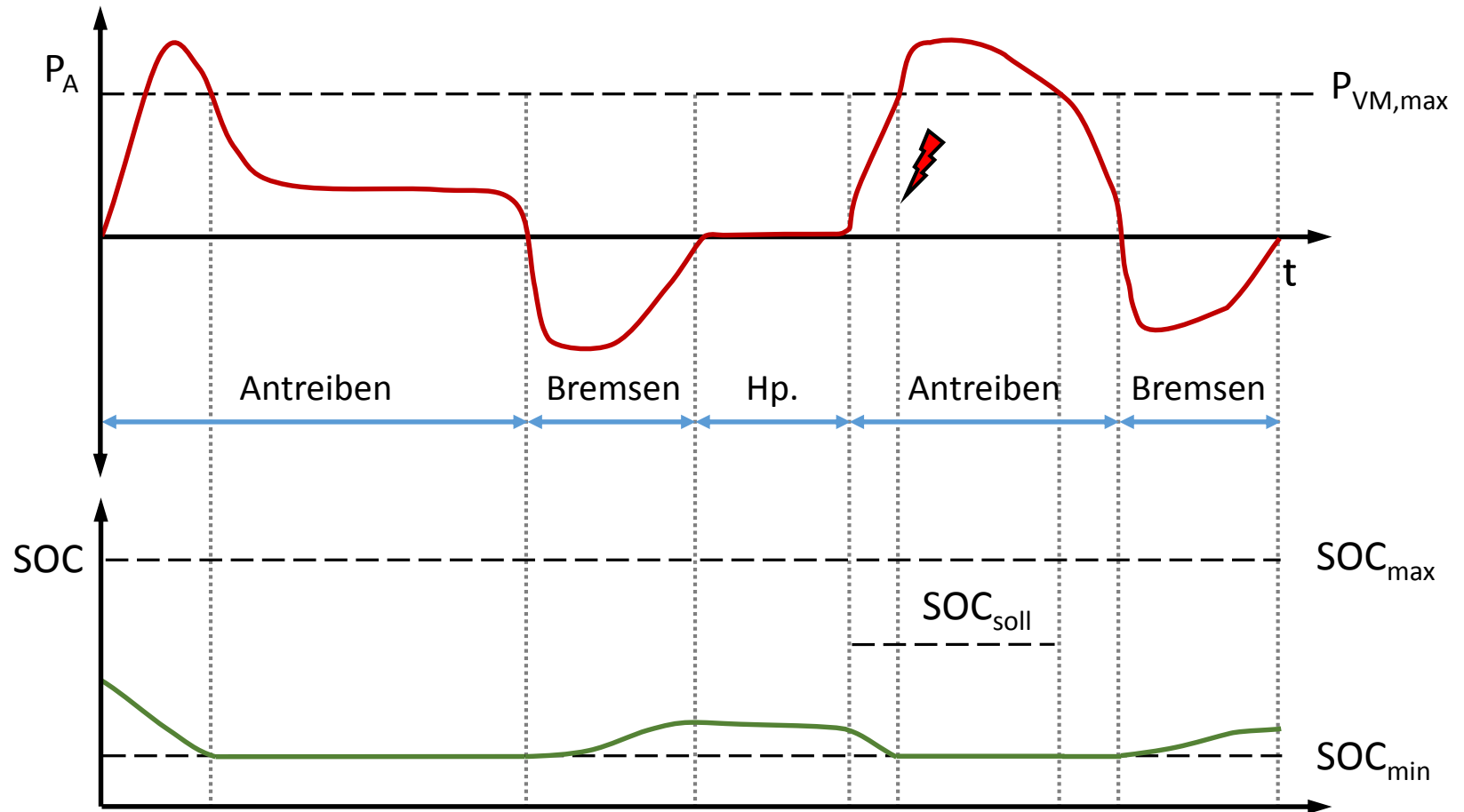
■ priority9

- engPwrNormalTrack: 390 kW
- engPwrBraking: 390 kW
- engPwrElecDriving: 390 kW
- engPwrEFZTrack: 0 kW
- engPwrNAZTrack: 200 kW

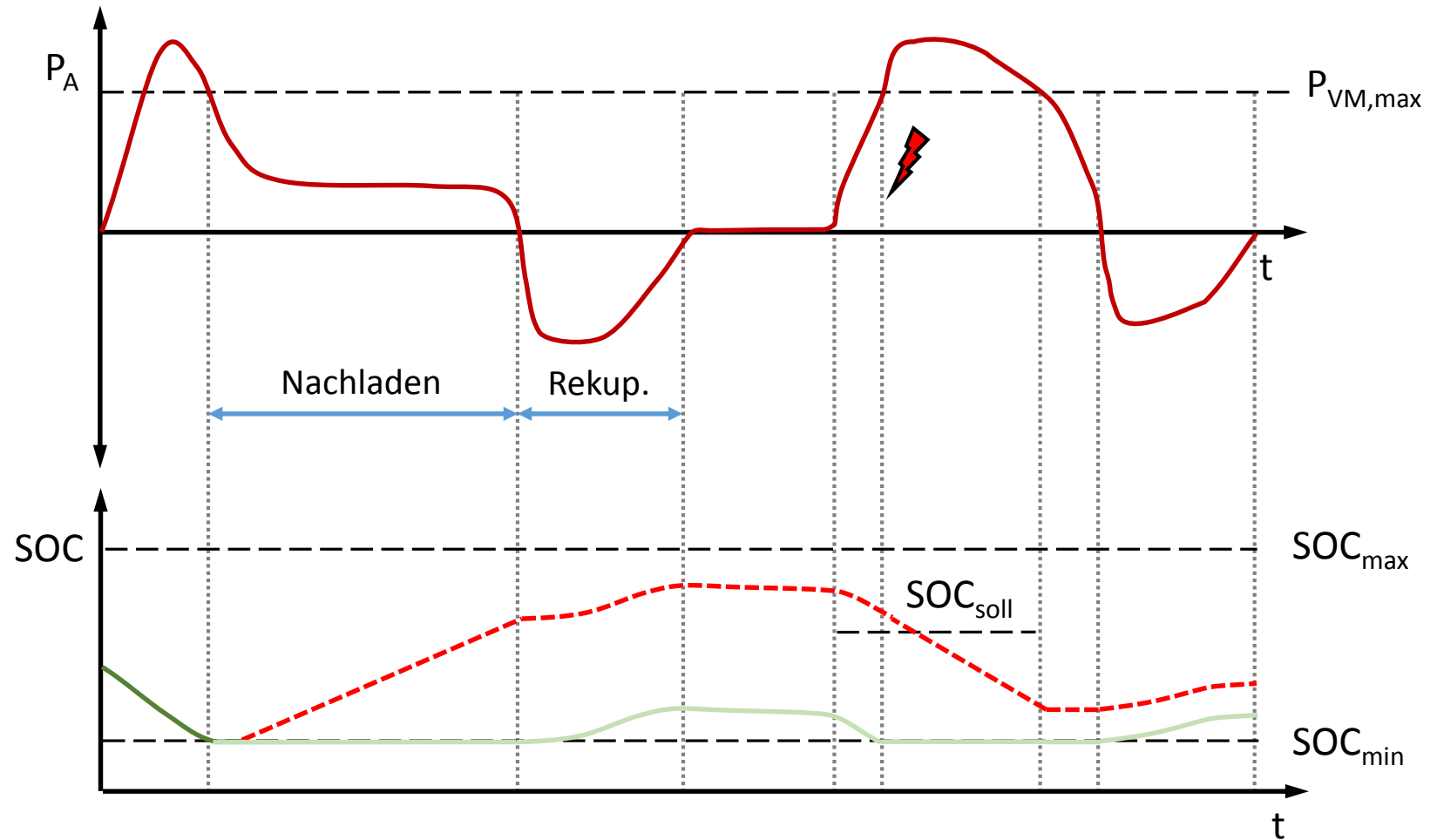
EEM - Funktionsweise



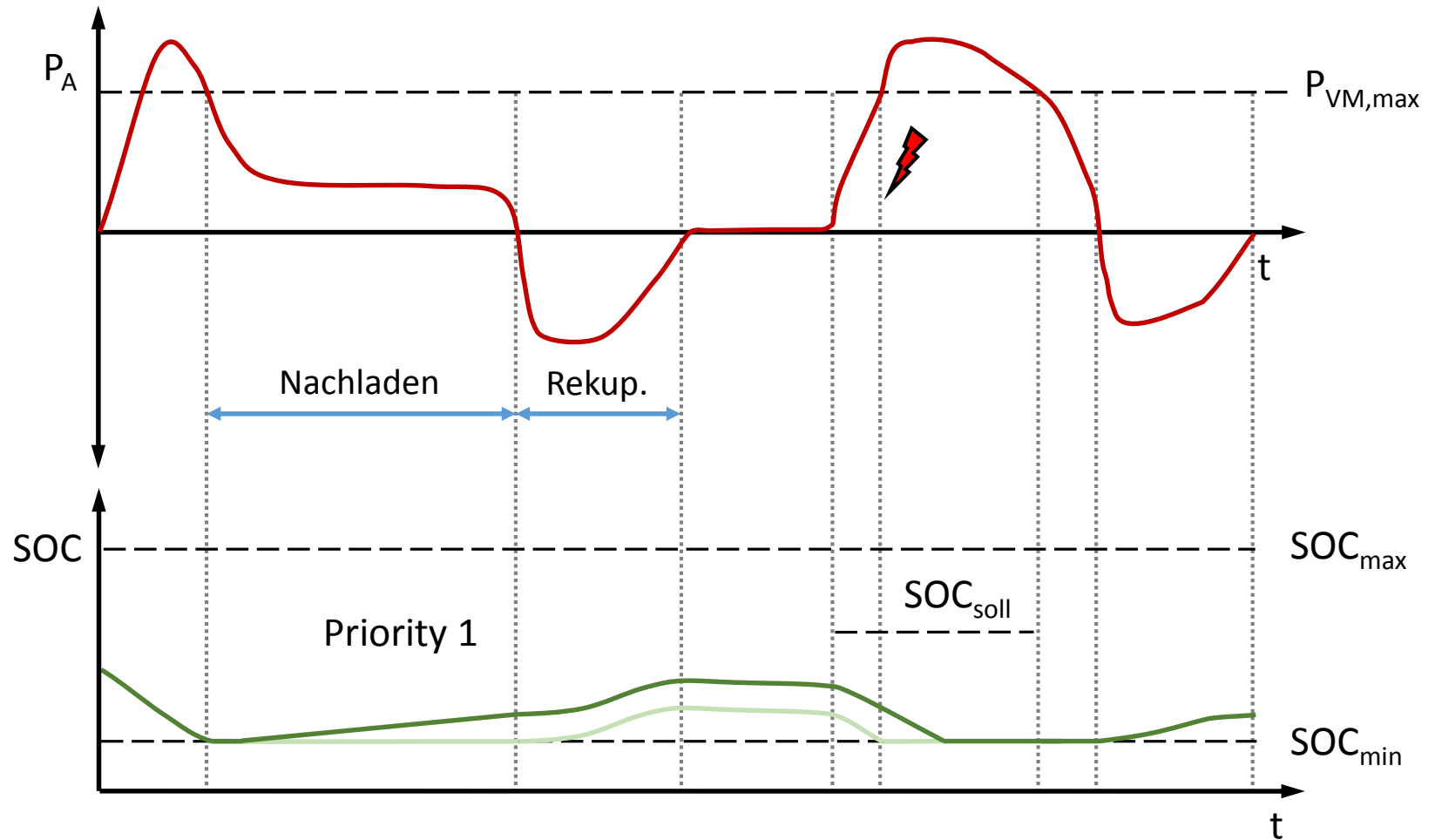
EEM - Funktionsweise



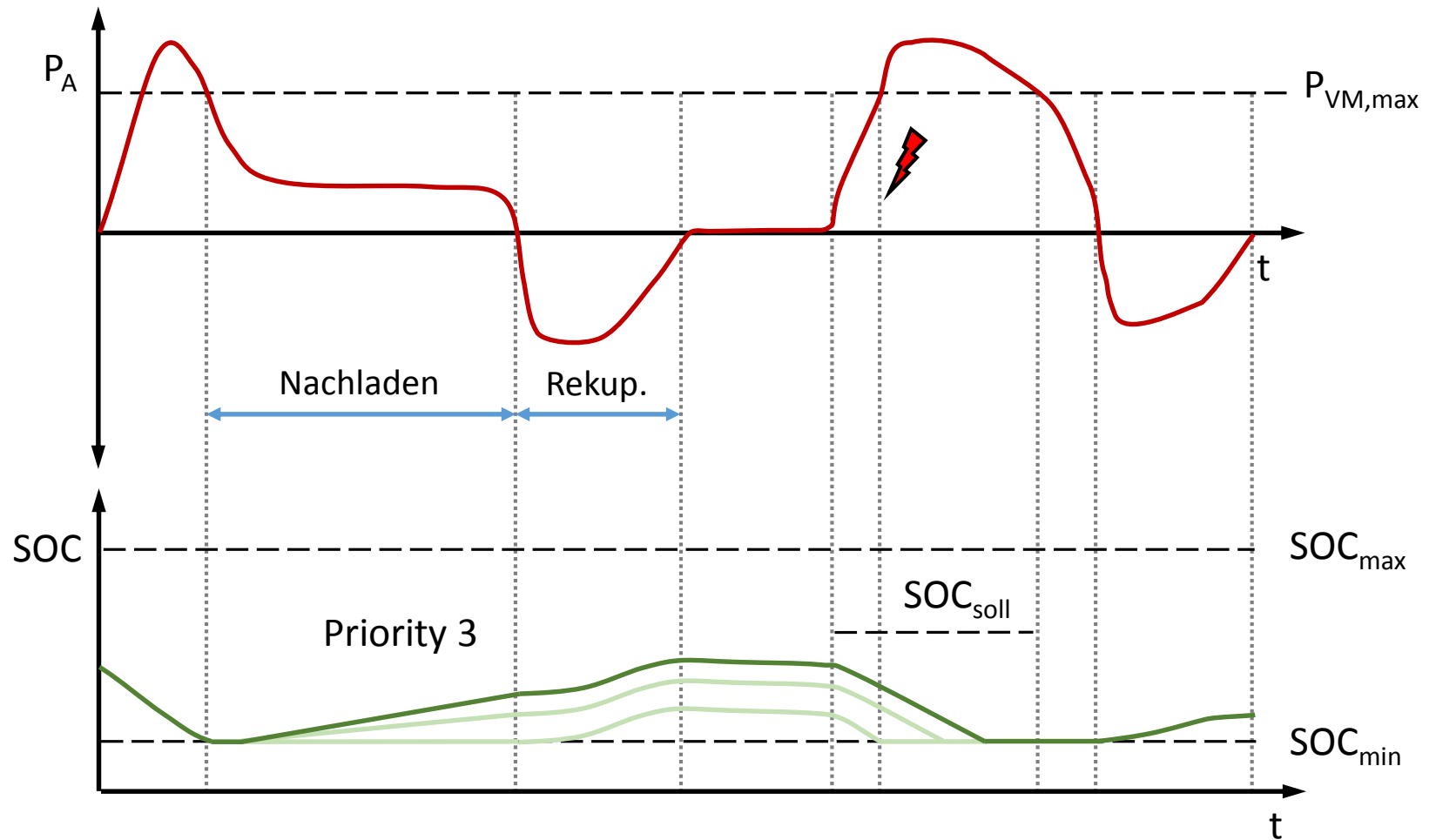
EEM - Funktionsweise



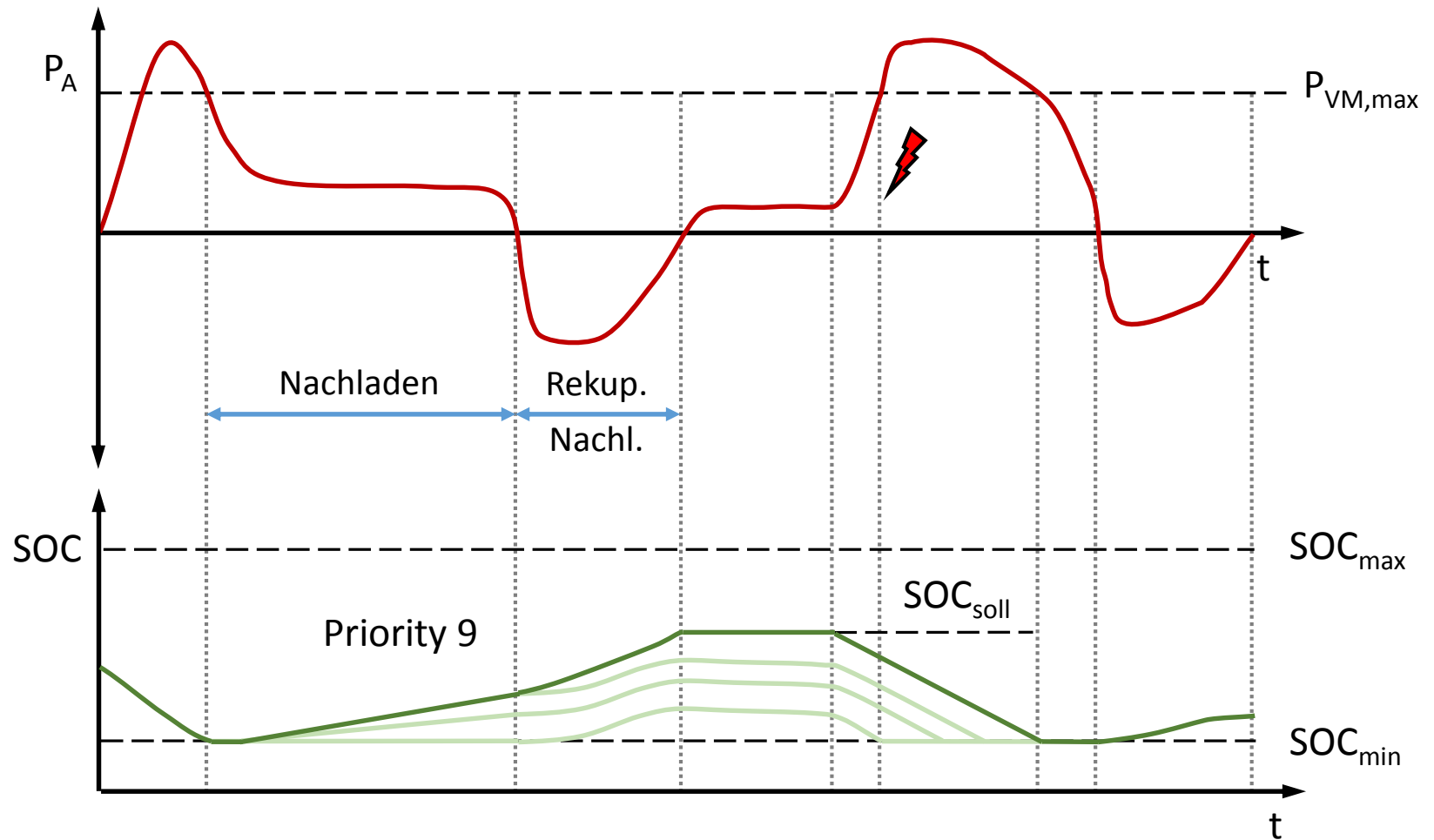
EEM - Funktionsweise



EEM - Funktionsweise



EEM - Funktionsweise



Zusammenfassung und Ausblick

- EcoTrain
 - Modularer serieller hybrider Antriebsstrang
 - Aufbau des Fahrzeuges
 - Erprobung

- Entwicklung eines Energieeffizienz-Moduls
 - Erfassung des Fahrzeugumlaufes
 - Prädiktion des Leistungsbedarfes
 - SOC-Führung des Energiespeichers (Sollwert)
 - Situative Ansteuerung von Nebenverbrauchern