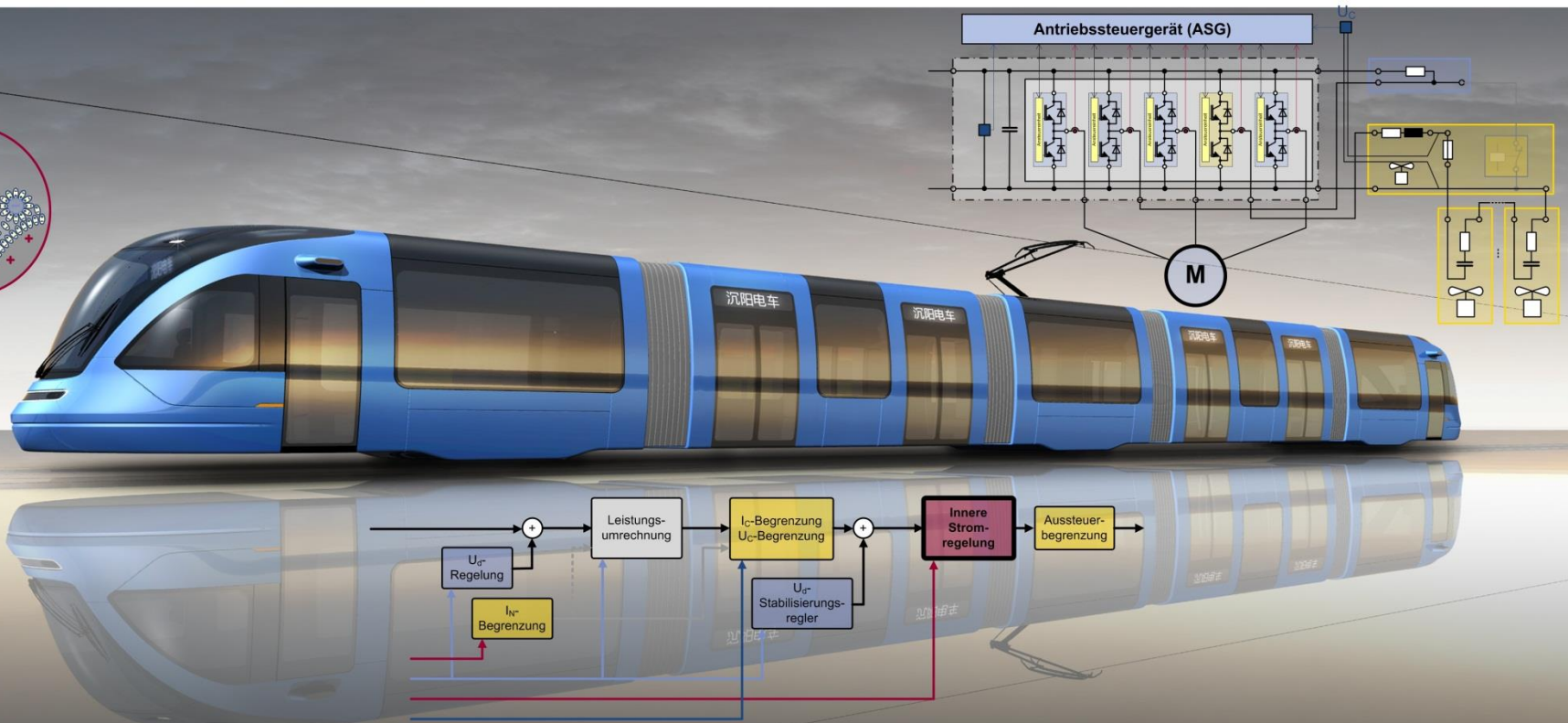


Voith Smart Solutions: Traktionsantriebe mit Energiespeicher für LRV

Graz, 2014-09-10

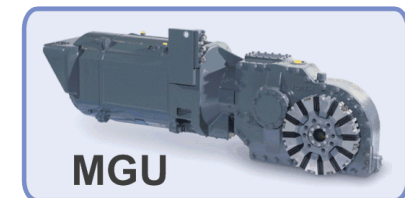
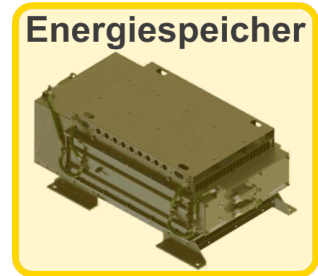


Übersicht

1. Einleitung
2. Supercaps als Energiespeicher für LRVs
3. Voith Systemlösung
4. Beispiel einer praktischen Realisierung
5. Schlussbetrachtung

Einleitung Umfeld und Ziel

- **Voith „Smart Solutions“**
 - Voith Turbo GmbH
Business Unit „Elektrische Antriebe“
Standort St. Pölten
 - Integrierte elektrische Systemlösung für Traktionsantriebe mit Energiespeicher
 - Entwicklung, Auslegung und Realisierung
- **Ziel**
 - Präsentation eines innovativen System- und Regelungskonzeptes basierend auf Supercap-Energiespeicher
 - Vorstellung einer praktischen Umsetzung



2. Supercaps als Energiespeicher für LRVs

- Aufbau eines Doppelschichtkondensators
- Eigenschaften
- Alterung

Supercaps als Energiespeicher für LRVs

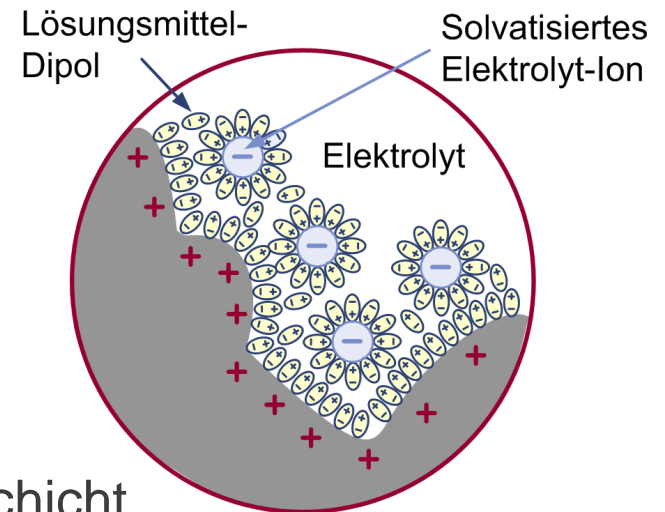
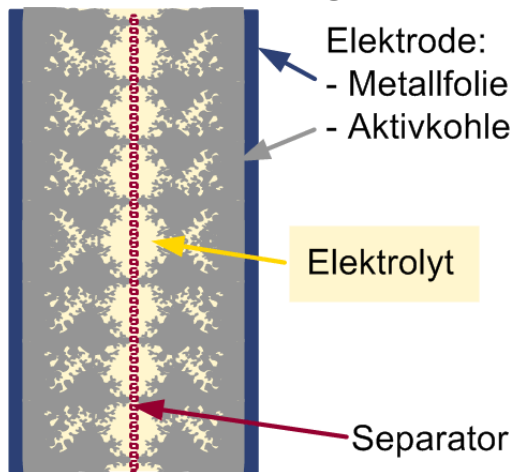
Aufbau eines Doppelschichtkondensators

Energiespeicherung

- Trennung elektrischer Ladung
- Bei regulärem Betrieb: rein physikalische, reversible Prozesse

Aufbau

- Elektrode: poröse Kohleschicht
- Flüssiger / gelartiger Elektrolyt
- Separator: Trennung der Elektroden



Doppelschicht

- Lösungsmittel-Moleküle mit Dipol-Charakter

Supercaps als Energiespeicher für LRVs

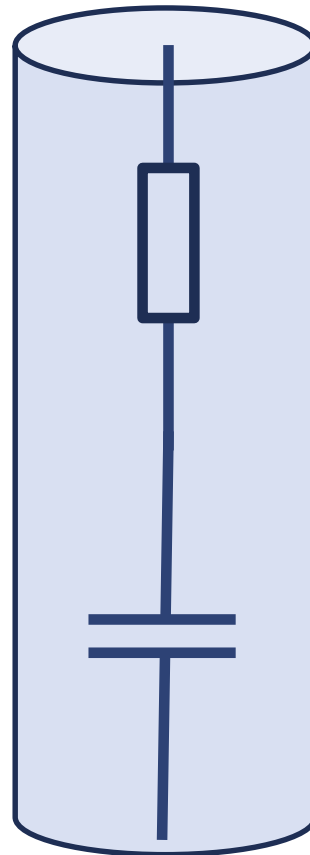
Eigenschaften von Supercap-Zellen

Max. Zellspannung:

- Elektrolyt-abhängig
- ca. 2.70 V

Zersetzungsspannung:

- Trennung der Lösungsmitteldipole
- Gasbildung
- irreversibel
- ca. 2.85 V



Geringer Innenwiderstand:

- Beweglichkeit der Ladungsträger, Elektrodenstruktur, Separator
- Nennwert: 0.26 mΩ
 - ca. 175% bei -40°C

Hohe Kapazität:

- große Oberfläche
- dünne Doppelschicht
- Nennkapazität: 3000 F
 - ca. 90% bei -40°C

Supercaps als Energiespeicher für LRVs

Alterung (1)

Folgen der Alterung

- Verringerung der Kapazität (Lebensdauer-Ende: $0.7-0.8 \times C_{\text{Nenn}}$)
- Ansteigen des Innenwiderstandes (Lebensd.-Ende: $2.0-2.5 \times R_{\text{Nenn}}$)

Parasitäre elektrochemische Reaktionen im Elektrolyten

- durch ansteigende Spannung
- durch höhere Temperaturen
- Gase und Verunreinigungen verlegen feine Poren
 - => Verringerung der aktiven Oberfläche
 - => Geringere Beweglichkeit der Ionen
- Lösung der Verbindung zw. Metallfolie und Kohleschicht

Supercaps als Energiespeicher für LRVs

Alterung (2)

Kalender-Lebensdauer

- Zellspannung
 - Verringerung um 0.10 – 0.20 V (um den Nennwert)
 - => Verdoppelung der Lebensdauer
- Temperatur
 - Arrhenius-Regel für elektrochemische Prozesse
 - Verringerung um 10 K
 - => Verdoppelung der Lebensdauer

Zyklen-Lebensdauer

- Geringere Bedeutung
 - „Reinigung“ der Poren?
- Hohe Zyklenzahl
 - Laden und Entladen zw. 50% und 100% der Nennspannung
 - Kein standardisierter Zyklus
 - ca. 1 Mio. Zyklen

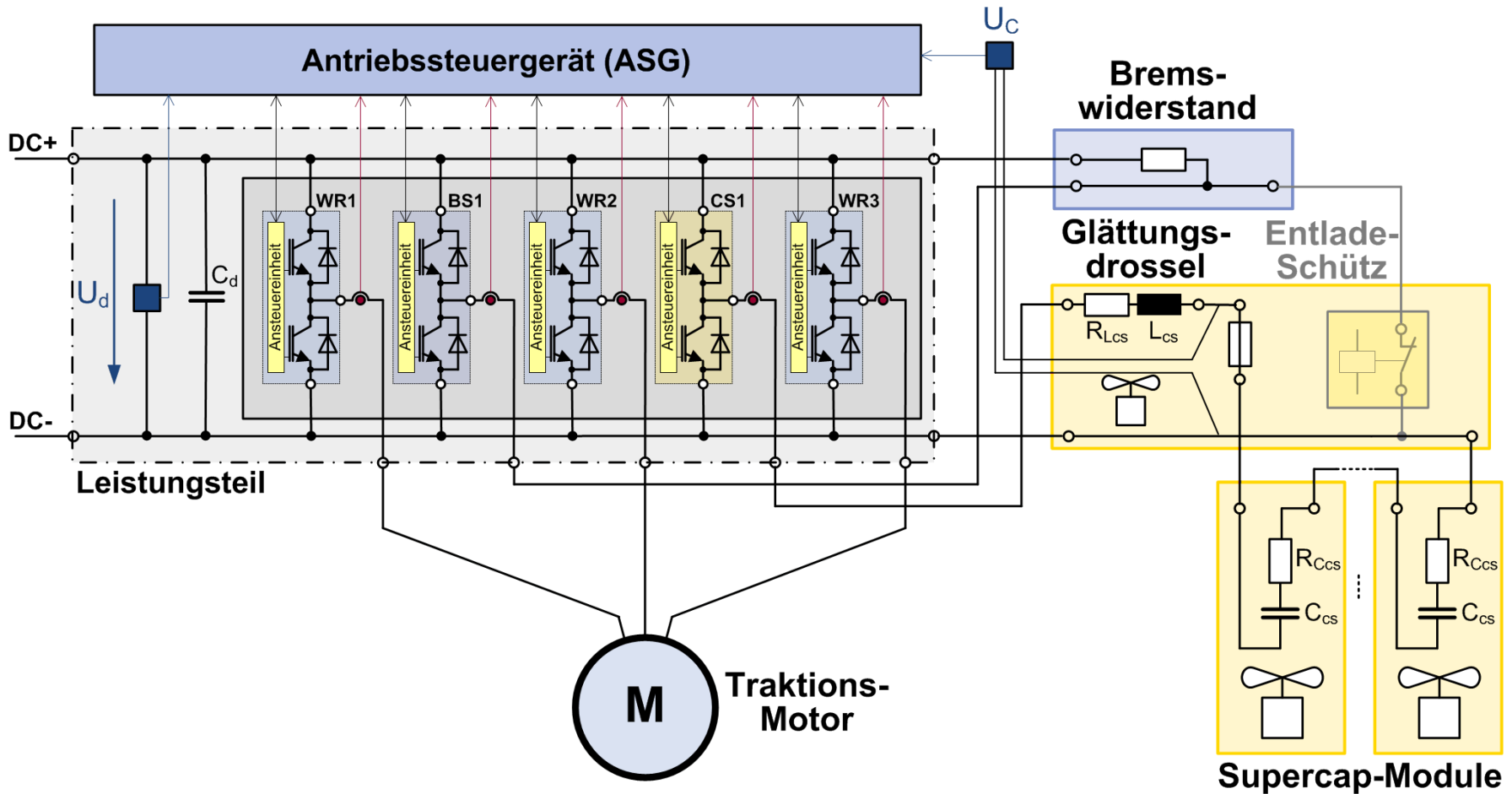
Langzeit-Effekte

- Langfristige Auswirkungen parasitärer Prozesse noch nicht dokumentiert
- Hersteller begrenzen Lebensdauer meist mit max. 10 (– 14) Jahren

3. Voith Systemlösung „Smart Solutions“

- Systemkonzept
- Regelungskonzept
- Energie-Management
- Betriebsmodi

Voith Systemlösung Systemkonzept (1)



Voith Systemlösung

Systemkonzept (2)

Integration des Cap-Stellers in den Traktionsstromrichter

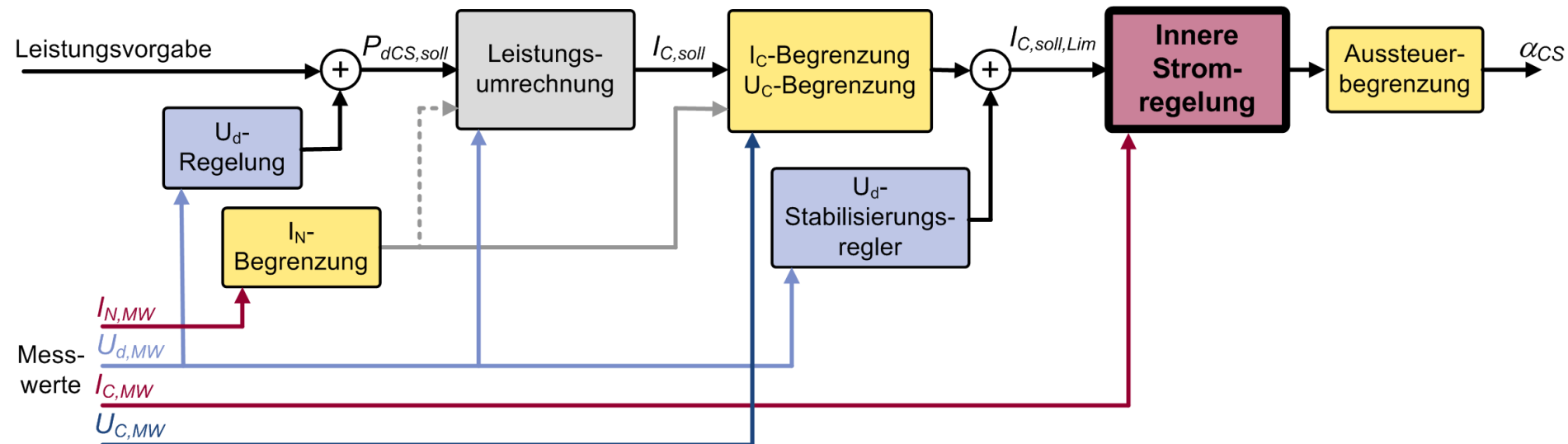
- **Redundanz**
 - (eingeschränkter) Betrieb bei Ausfall einer Einheit weiter möglich
- **Gemeinsames Antriebssteuergerät (ASG)**
 - Reduktion der wirksamen Totzeiten auf ein Minimum
 - keine Buskommunikation
 - hochdynamische Kontrolle des Leistungstransfers (Wechselrichter – Bremssteller – Supercap – Netz)
- **Oberleitungsfreier Betrieb**
 - Hochsetzen der Zwischenkreisspannung aus Supercap
 - Versorgung der Hilfsbetriebe-Umrichter (HBU)
 - Ausreichend hohe Kippgrenze des Motors

Voith Systemlösung

Regelungskonzept (1)

Ziel der Cap-Steller (CS) Regelung

- Einstellung der Aussteuerung für den CS
- sodass unter Einhaltung aller zu berücksichtigenden Grenzen
- ein vorgegebener Leistungstransfer zw. Zwischenkreis und Energiespeicher stattfindet



Voith Systemlösung

Regelungskonzept (2)

Komponenten des Regelungssystems

- **Innere Stromregelung**
 - Vorwärtssteuerung (aus System-Differentialgleichungen)
 - Korrekturregler (z.B. PI-Regler)
- **Stabilisierung und Regelung der Zwischenkreisspannung**
 - Stabilisierung des LC-Eingangsfilters (Leistungssenke)
 - Ud-Regelung für den oberleitungsfreien Betrieb
- **Begrenzungen und Schutzfunktionen**
 - Lade- und Entladestrom (funktionale und thermische Grenzen des Cap-Stellers, Energiespeichers, etc.)
 - Netzstrom (Stromabnehmer im Stillstand)
 - Supercap-Spannung (funktionelle obere Grenzen und geschwindigkeitsabhängige Steuerung des Ladezustandes)

Voith Systemlösung

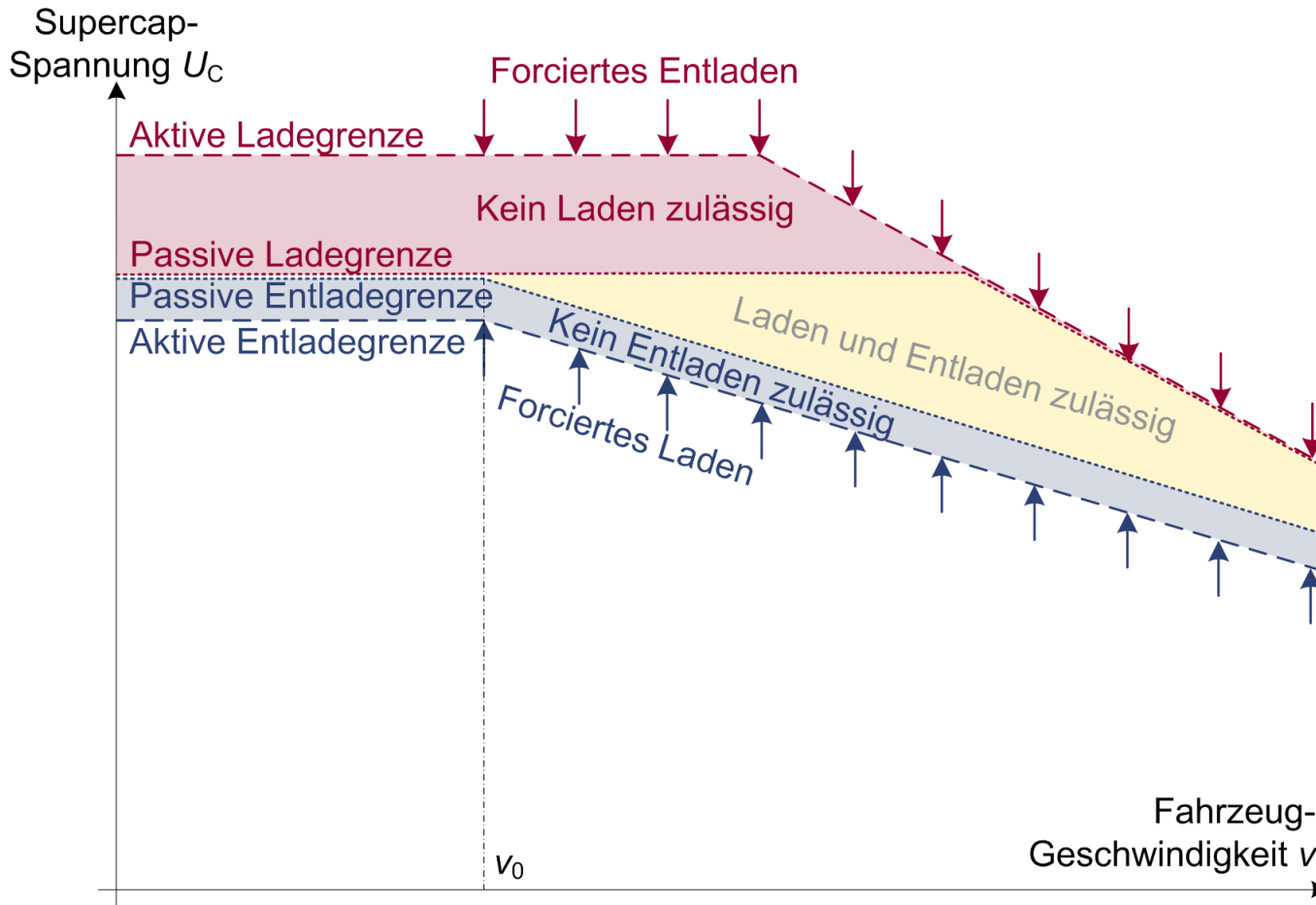
Energie-Management (1)

Grundprinzip

- **Aufschaltung der Traktionsleistung**
 - gesamte Traktionsleistung (Treiben und Bremsen) wird der CS-Regelung als Sollwert aufgeschaltet
- **Begrenzung**
 - Steuerung des Ladezustandes über geschwindigkeitsabhängige Lade- und Entladegrenzen
- **Netz**
 - Nicht vom Energiespeicher gelieferte Leistung wird vom Netz aufgenommen
 - Nicht vom Energiespeicher aufgenommene Leistung wird an das Netz rückgespeist oder über den Bremssteller abgeführt

Voith Systemlösung

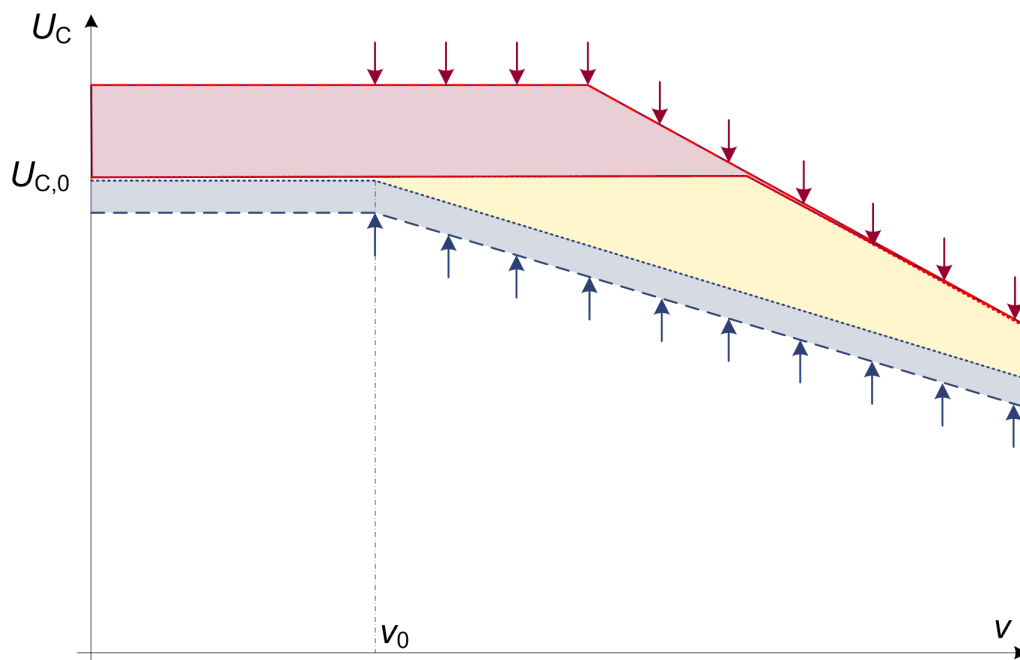
Energie-Management (2)



Voith Systemlösung Betriebsmodi (1)

Betrieb mit Oberleitung

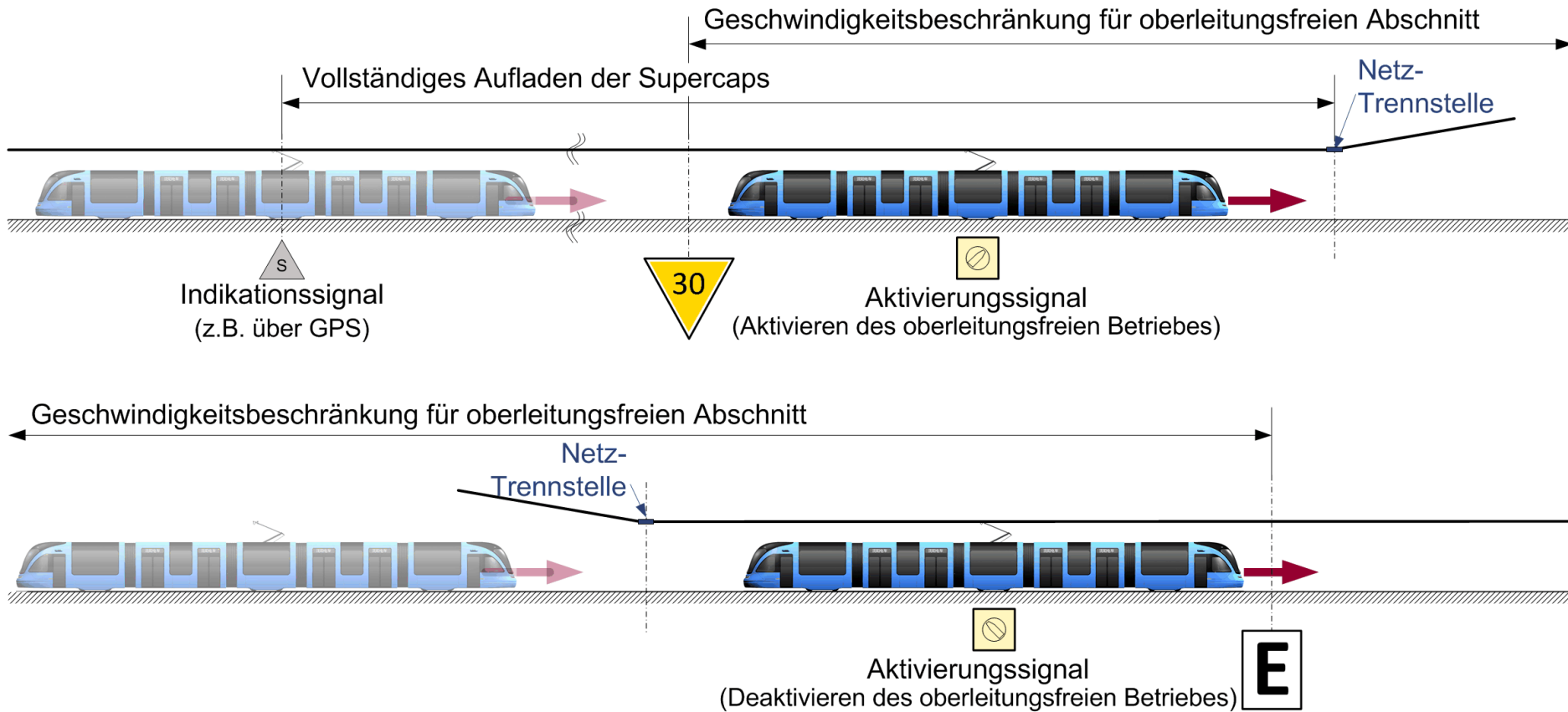
- Steuerung über Lade- und Entladegrenzen



- für $v < v_0$
 - Energiespeicher auf $U_{C,0}$ geladen => Lebensdauer
 - Traktionsenergie zur Gänze aus dem Netz
- für $v > v_0$
 - Entladen der Supercaps
 - Aufnahme von Brems-Energie

Voith Systemlösung Betriebsmodi (2)

Übergang zum oberleitungsfreien Betrieb



Voith Systemlösung

Betriebsmodi (3)

Oberleitungsfreier Betrieb

- **Normalbetrieb**
 - Reduzierte Höchstgeschwindigkeit und Traktionsleistung
 - Regelung der Zwischenkreisspannung
 - Entladung der Supercaps bis max. auf die halbe Nennspannung
 - hohe Lade- und Entladeleistung bei begrenztem CS-Strom
 - max. Rückführung der Bremsenergie in den Supercap
 - Deaktivierung der Lüftung
- **Notbetrieb**
 - Nutzung der verbleibenden Energie, um mit deutlich reduzierter Performance den oberleitungsfreien Bereich noch zu verlassen
 - CS wird nicht mehr aktiv getaktet

4. Beispiel einer praktischen Realisierung

- Fahrzeug
- Betriebliche Anforderungen
- Betriebsverhalten

Praktische Realisierung Fahrzeug (1)



5-teiliges Niederflur-Fahrzeug

- 2 Triebdrehgestelle + 1 Laufdrehgestell
- 70 t (AW3-Beladung)
- 700 kW (Treiben), 1200 kW (ED-Bremsen)
- 80 km/h, betrieblich: 70 km/h

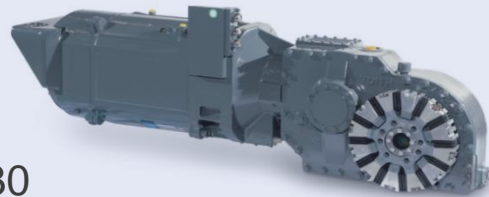
2 x Doppel-Traktionsstromrichter

- Voith DI1000-5AR (mit integriertem Cap-Steller)
- 2 x 200 kW Dauerleistung, 2 x 400 kW Spitzenleistung
- modernste Leistungselektronik, optimierte Luftkühlung



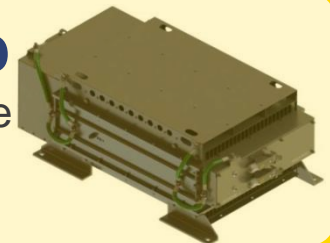
4 x MGU

- 130 kW
- Voith KSH 330



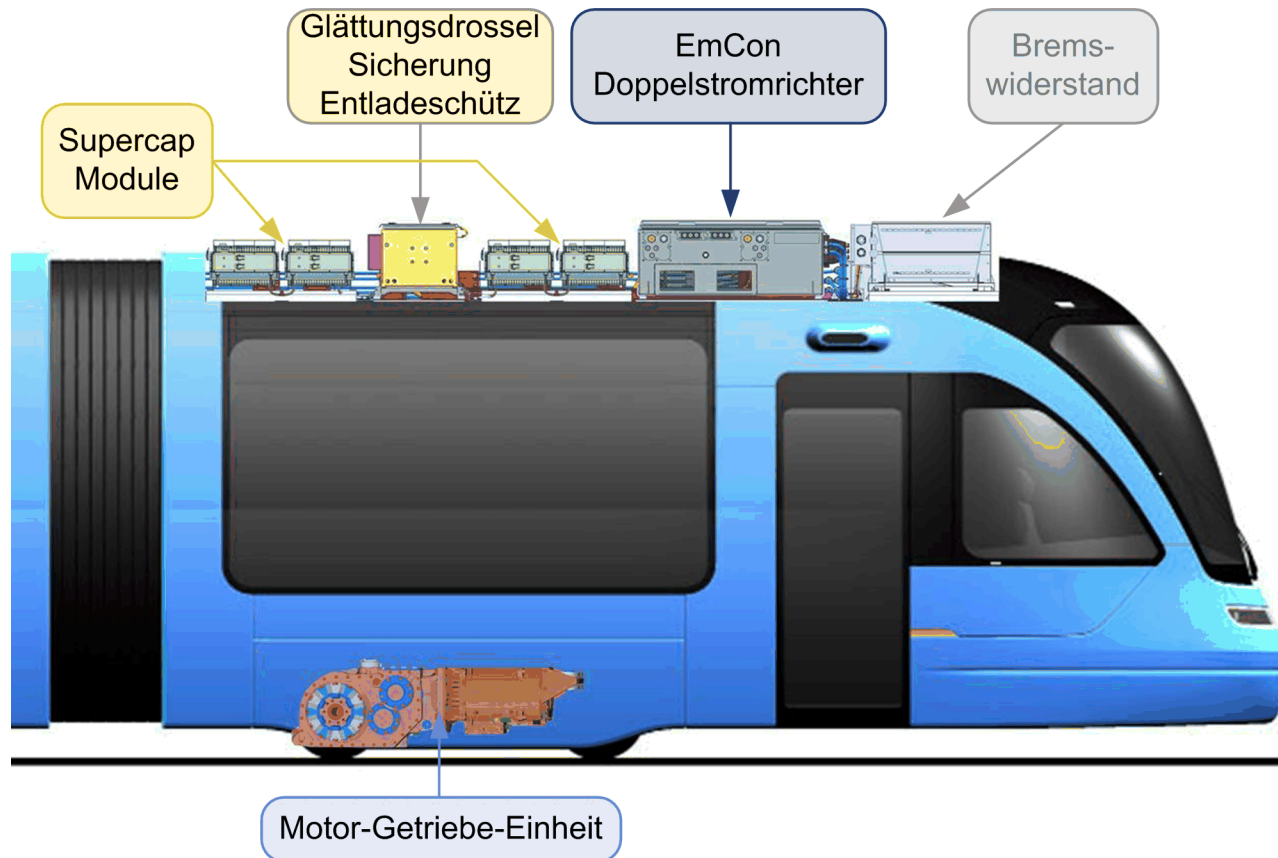
16 x Supercap

- je 4 Module in Serie
- 125 V / 62 F
- 2.15 kWh installiert



Praktische Realisierung Fahrzeug (2)

Dachanordnung



Praktische Realisierung Betriebliche Anforderungen

- **Klima – ausgeprägte Jahreszeiten**
 - Winter: Schnee und Temperaturen bis zu -40°C
 - Sommer: hohe Luftfeuchte und Temperaturen bis zu 40°C
- **Strecke – Randbezirke einer Großstadt**
 - Normalspur, meist eigener Gleiskörper
 - 4 Linien (je 15-20 km)
 - Großteils eben, max. Steigung 3.2%
- **Netz**
 - DC 750 V, 80-90% mit Oberleitung überspannt
 - Oberleitungsfreie Abschnitte:
 - einige 100 m im Bereich mehrsp. Kreuzungen
 - bis zu **700 m** im Bereich der Endstationen
(mit Lade-Einrichtungen)



Schlussbetrachtung

- **Supercap-Energiespeicher**
 - Geeignet für Energie-Einsparung, Verringerung der Netzbelastung und Befahren oberleitungsfreier Abschnitte von einigen 100 Meter
 - Hohe Zyklen-Lebensdauer, weiter Temperaturbereich und hohe Leistungsdichte, jedoch begrenzte Energie
- **System- und Regelungskonzept – „Smart Solution“**
 - Optimale Ausnützung der Energie, „lebensdauerschonender“ Betrieb und Redundanz sind entscheidende Kriterien
 - Integrierter Cap-Steller erlaubt hochdynamische Leistungssteuerung zwischen den elektrischen Traktionskomponenten
 - Geschwindigkeitsabhängige Lade- und Entladegrenzen ermöglichen flexible Anpassung und weite Abdeckung an Kundenanforderungen
- **Serienfahrzeuge im regulären Passagierbetrieb**
 - bis zu 80 000 km seit August 2013

Kontakt:

Peter Haumer

System- und Regelungstechnik,

Elektrische Antriebe

VTAS St. Pölten

Tel. +43 (0) 2742 806-23180

peter.haumer@voith.com

Dr. Markus Glasl

Leiter System- und Regelungstechnik,

Elektrische Antriebe

VTAS St. Pölten

Tel. +43 (0) 2742 806-22945

markus.glasl@voith.com

VOITH

Engineered Reliability

VOITH

Engineered Reliability