SIEMENS
Ingenuity for life

STEYRMOTORS
INNOVATION WITH LIGHTNESS

Herausforderungen bei der Entwicklung eines Diesel Power Modules (DPM) zur Elektrifizierung der letzten Meile

43. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge, Graz
3. - 6. April 2016

M. Aschaber / Ch. Thoma

Inhalt

- Vom Begriff der „letzten Meile“ bis zur Definition der DPM Eingangsgrößen
- Von der Grundauslegung bis zur technologischen Umsetzung des DPM
- Die Verifikation des DPM im realen Fahrbetrieb mit der erreichten Zugkraft
- Zusammenfassung und kurzer Film

Was ist die „letzte Meile“

1. Verschieben ganzer Züge in Umschlagbahnhöfen

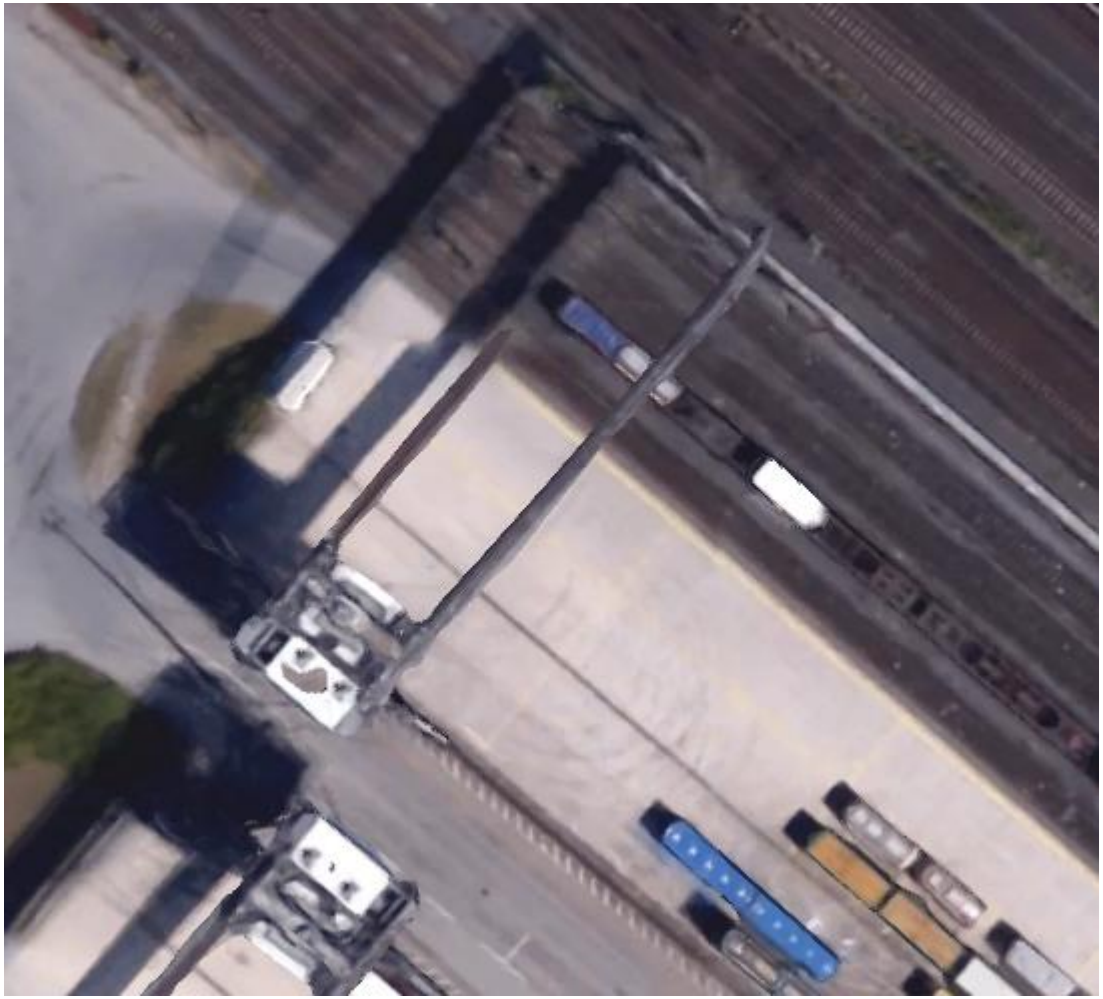
2. Umsetzen der Lok in Systemwechselbahnhöfen

3. Befahren von nicht elektrifizierten Gleisanschlüssen als Übergabefahrt oder als Rangierfahrt

SIEMENS

STEYRMOTORS

Umschlagbahnhof Hamburg Billwerder (Westkopf)



Umschlagbahnhof Hamburg Billwerder (Westkopf)

SIEMENS

STEYRMOTORS

Beispiel einer Übergabefahrt

Parameter für das Befahren der „letzten Meile“

Infrastrukturparameter:

1. Umschlagbahnhöfe: max. Neigung 1,5 - 2,5 ‰
2. Gleisanschlüsse: kurze Strecke mit max. Neigung 40 ‰

Betriebliche Parameter:

1. Max. zul. Wagenzuglänge 700 m (max. Gleislänge 750 m)
2. Max. zul. Rangiergeschwindigkeit 25 km/h (bei Ansage des „freien Fahrweges“ 40 km/h)
3. Mindestgeschwindigkeit ist nicht definiert, jedoch müssen angemessene Räumzeiten eingehalten werden

Auslegungsanforderungen für das DPM

1. Möglichst hohe Zugkraft am Rad nur im unteren Geschwindigkeitsbereich (bei Anfahrt) erforderlich

2. Max. Geschwindigkeit < 40 km/h mit ausreichender Zugkraft am Rad bei geringen Anhängelasten

3. Beibehaltung des Vectron-Plattformkonzeptes mit vollständiger Modularität und Nachrüstbarkeit

→ **„Kämpfen um jedes kW“ am Rad**

Fahrdynamische Grundlagen:

Beeinflussende Faktoren zur optimalen Umsetzung der Bewegungsgleichung:

$$P = F * v$$

$$P = (F_w + F_h) * s/t$$

Zug-wider-stands-kraft

Hang-abtriebs-kraft

Wird bestimmt durch:

Wagen-material

Infra-struktur

- Betriebliche Anforderungen
- angemessene Räumzeit

SIEMENS

STEYRMOTORS

Verifizierung „Zugwiderstand“ im unteren Geschwindigkeitsbereich

Aufgabe:

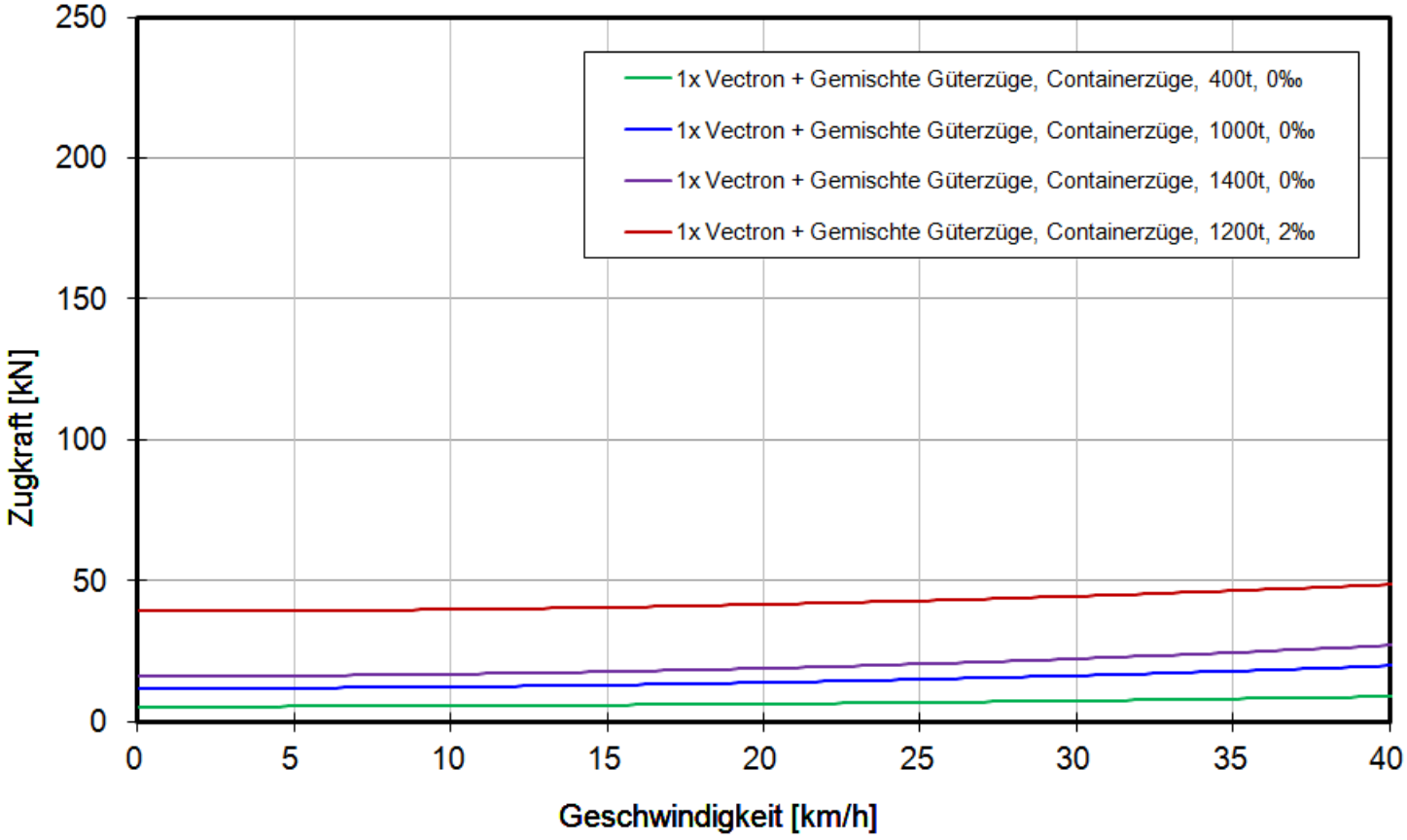
1. Ermittlung des Losbrechverhaltens
2. Verhalten in Weichen
3. Befahren von Gleisbögen und Gegenbögen

Vorgehensweise:

1. Messungen in einem Bahnhof mit geeignetem Bahnhofskopf und Ausfahrgleisen mit anschließenden Gleisbögen
2. Softwaretechnische Anpassung der Leistung einer ES 64 U4 auf 60 kW und 120 kW am Rad
3. Variierung der Anhängelasten mit 26 offenen Eaos-Güterwagen (Gesamtlast stufenweise von 350 t bis zu 1415 t)

Ergebnis Verifizierung „Zugwiderstand“ im unteren Geschwindigkeitsbereich

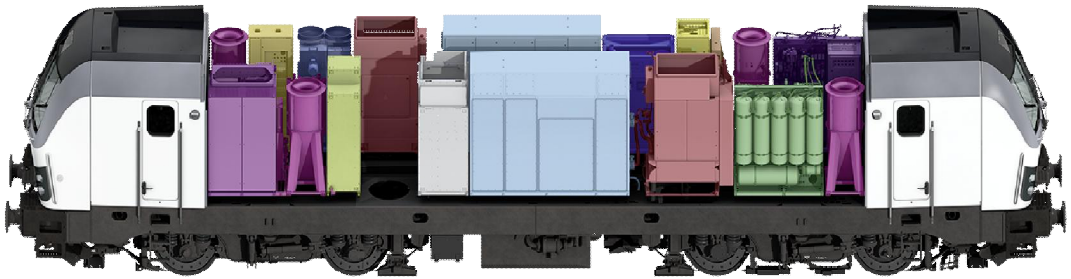
- Ergebnisse: W-V-Diagramm



Einflussgrößen für die Auslegung des DPM

Integration des DPM in das modulare Lokkonzept

Vectron AC

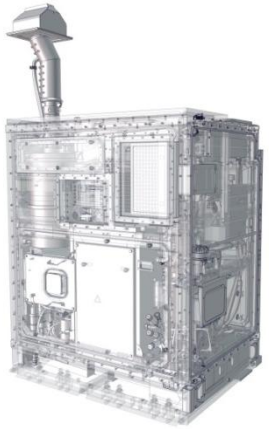


Vectron DC

SIEMENS

STEYRMOTORS

Eingangsgrößen für die Auslegung von Steyr Motors



- Integration max. möglicher Ausgangsleistung
- Autarkes Gerüst mit allen zum Betrieb benötigten Komponenten
- Zu-/Abluft und Abgasführung über das Dach
- Elektrische Anschlüsse und Kraftstoffzuführung von unten
- Wartung von Maschinenraumgang
- Gewicht max. 1400 kg
- Nachrüstbarkeit

Thermische Betrachtung

$P_{therm.} = P_{VKM} + P_{Abgas} + P_{Kühlung}$

$P_{el.} = P_{VKM} - P_{Nebenabtrieb\ (Lüfter,etc.)} - P_{Verlust\ el.}$

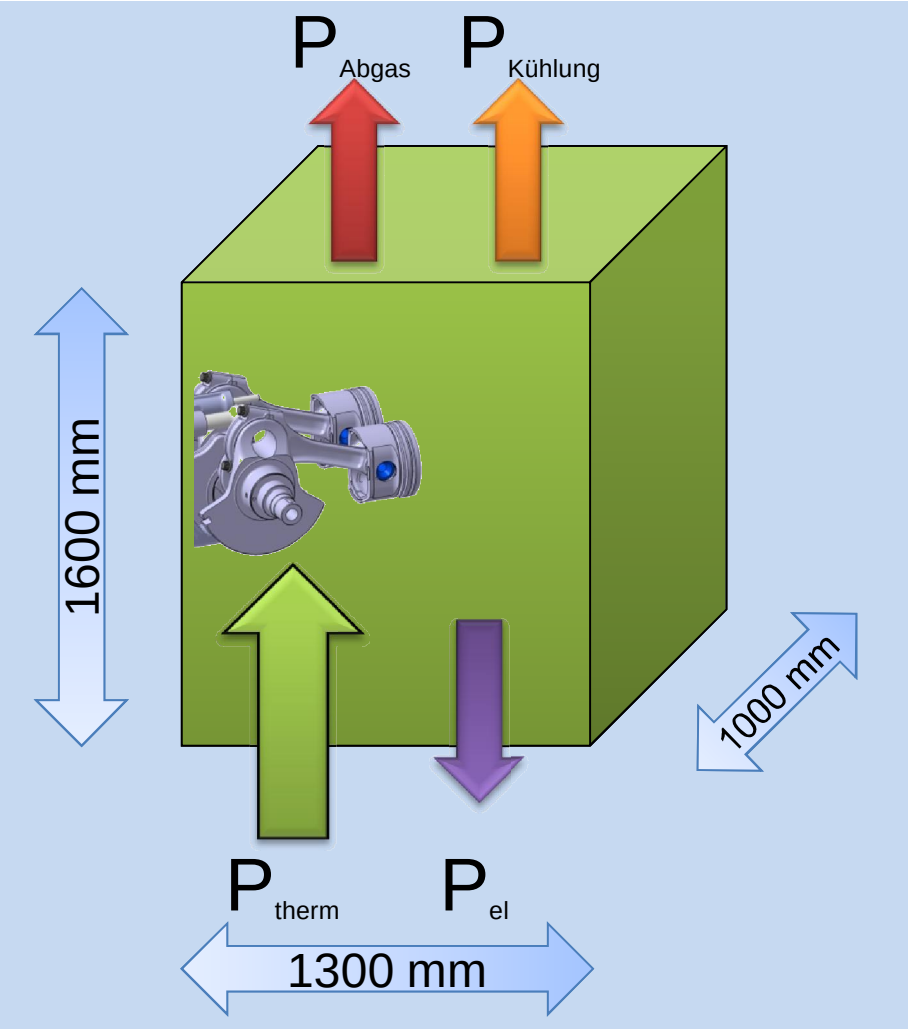
→ $P_{therm} \approx 3.4 * P_{el.}$

→ **540 kW** sind thermisch für 160 kW elektrische Leistung zu verarbeiten

260 kW/m³; 2,6 kg/kW

→ **180 kW** Verbrennungsmotorleistung ergeben 160kW elektrische Leistung

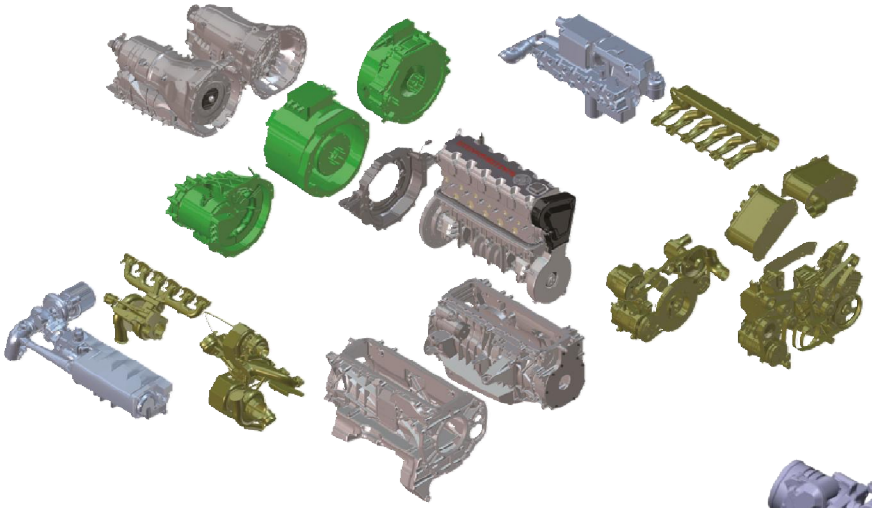
87 kW/m³; 7,7 kg/kW



SIEMENS

STEYRMOTORS

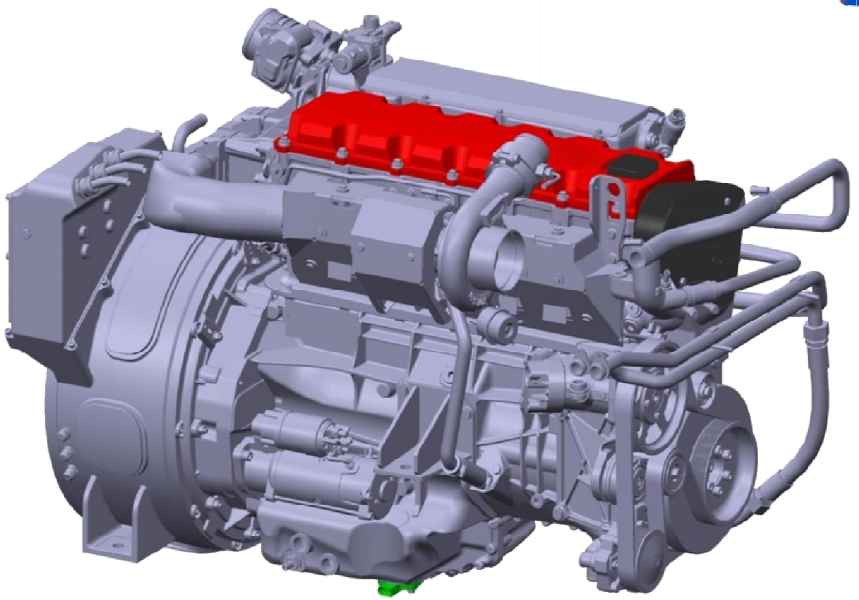
Modulares Grundmotorenkonzept



+

Hohe Packungsdichte aus Spezialanwendungen

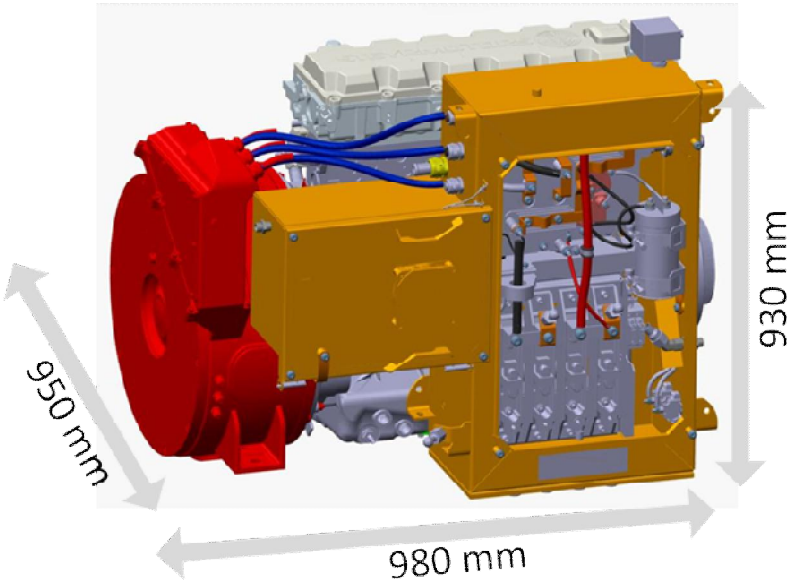
=



Integrierte Motor-Generatoreinheit für StageIIIB mit gekühlter Hochdruck-AGR und DPF

Kompaktes Herz mit Energieverteilung

- wassergekühlter PM-Generator
  - 2 Spannungsebenen, umklemmbar in der Generator-Anschlussbox
- kompakte Energieverteilung "HV-BOX"
  - inkl. Trenner, Gleichrichtung und Eigenversorgung des Gerüstes
  - inkl. Sensorik zur Fehlerüberwachung und Leistungsberechnung
  - Ausführung als IP65 Gehäuse

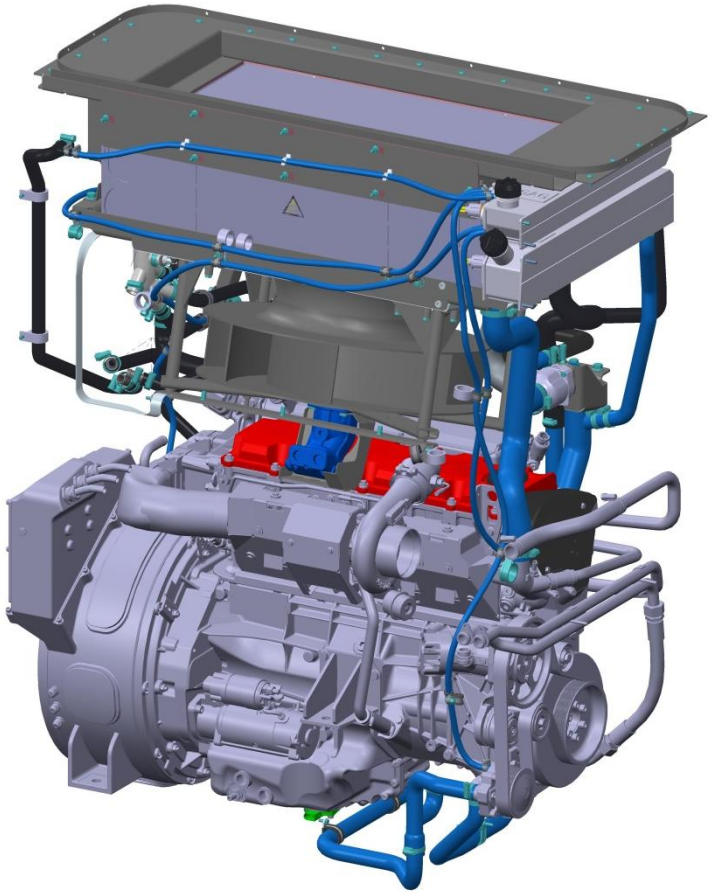


Volumen <1 m³!

SIEMENS

STEYRMOTORS

Hochintegrierte, komplette Kühlanlage für alle Systemkomponenten

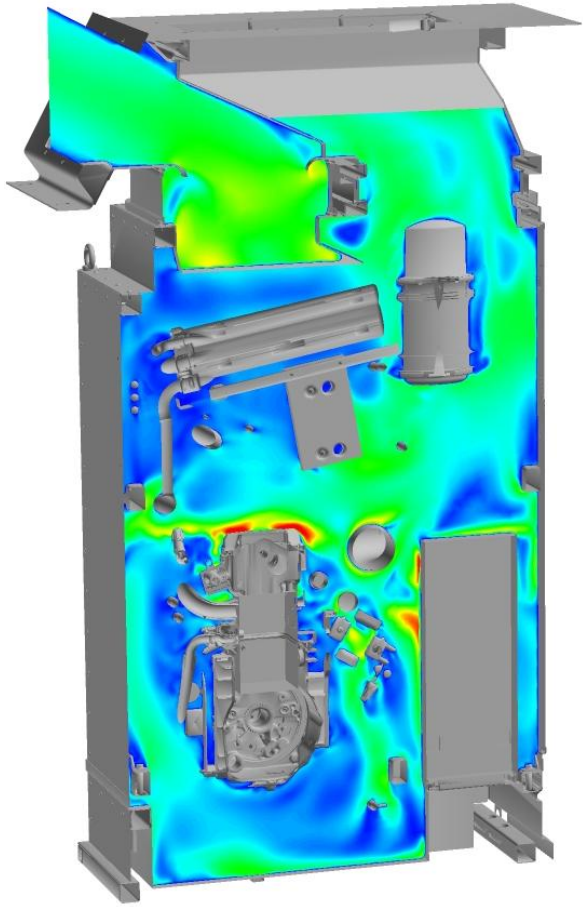


- 8 Systemkomponenten liefern einen Wärmeeintrag in das System
- Umgebungstemperaturbereich von -40°C bis +40°C
- Kompakter Doppelblockkühler für HT und NT Kühlkreislauf
- NT Kühlkreislauf durch eine mechanisch im Riementrieb angeordnete Kühlwasserpumpe
- Hochdruck Radiallüfterrad
- Hydraulischer Antrieb für Lüfterrad (bedarfsgerechte Lüfteransteuerung)

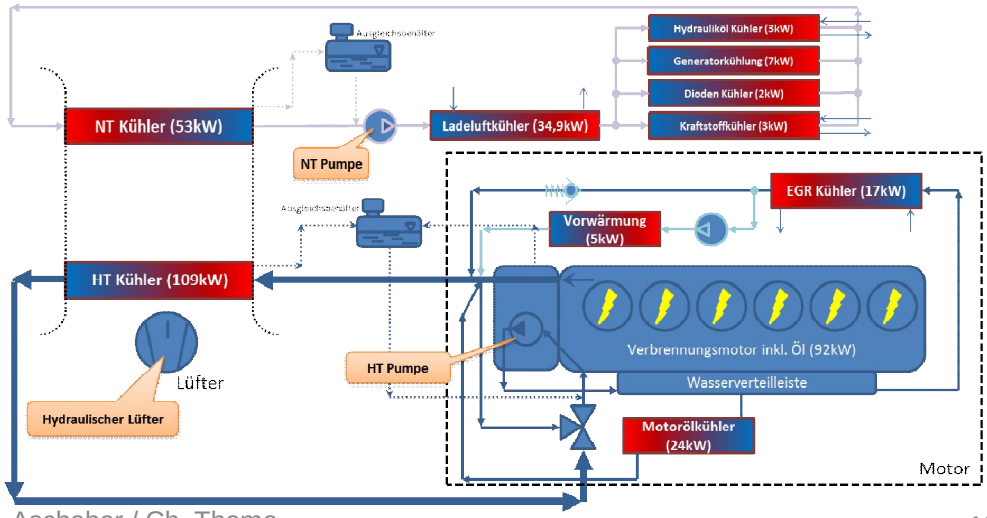
SIEMENS

STEYRMOTORS

Der Kühlluftmassenstrom - Zentrale Größe des thermischen Managements

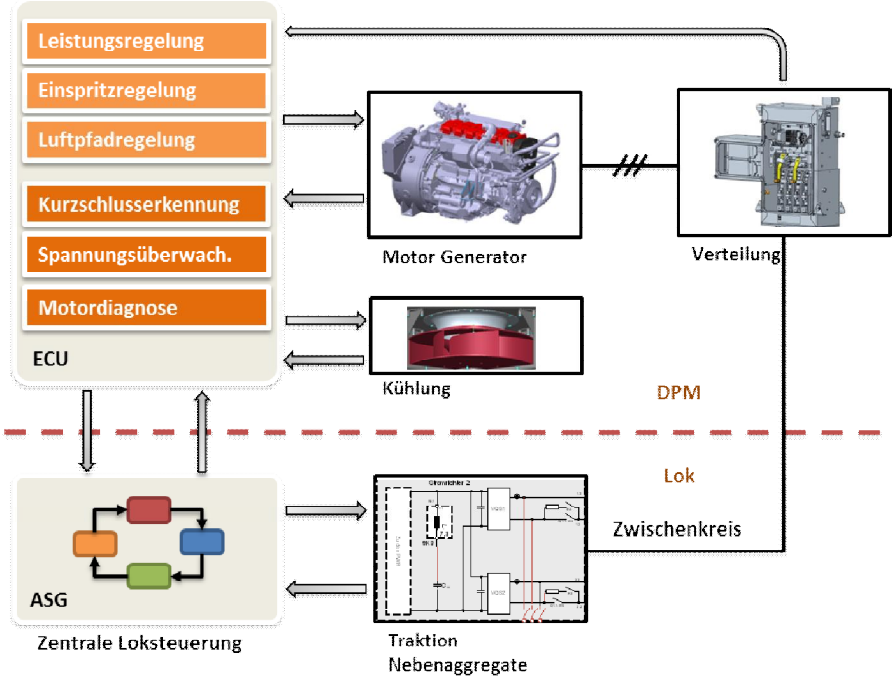


- Sicherstellen Luftmassenstrom über das Kühlpaket
- Schaffung thermischer Stabilität im Gesamtsystem
- Kühlung aller Komponenten in Innenraum
- Reduktion der Oberflächentemperatur
- Einhaltung der Akustikgrenzwerte
- Trennung der Umgebung zum Lokinnenraum



Modulare Regelung - Schnittstellen zur Lok

- Leistungsbedarf wird über die Lok-Schnittstelle an das DPM gegeben
- Leistungsbereitstellung erfolgt über eine Spannungsregelung basierend auf Drehzahlregelung der VKM
- Leistungsschnittstelle ist der Zwischenkreis des Wechselrichters
- Bewährte Motorregelung wird um DPM-spezifische Reglerstrukturen erweitert

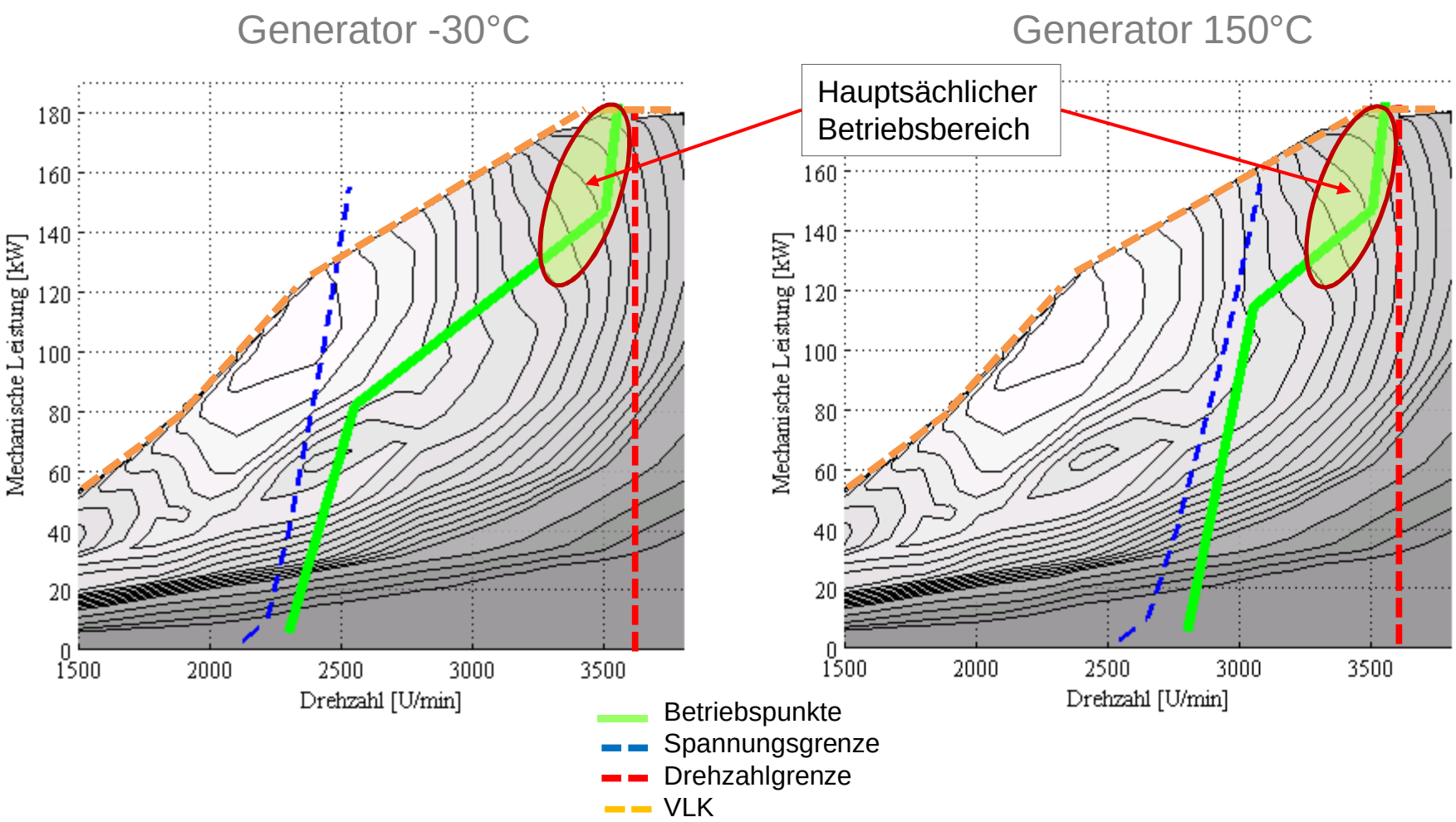


Ausgangsbasis für den DPM Betriebsbereich

- Grenzen
  - Spannungsgrenzen des Zwischenkreises der Lok vorgegeben
  - Generatorspannung variiert mit Temperatur und verschiebt somit die erlaubten Betriebsbereiche
  - Volllastkennline (VLK) und Drehzahlgrenzen des Motors

- Betriebspunktwahl
  - für möglichst geringen Kraftstoffverbrauch
  - unter Einhaltung der Grenzen (Spannung, VLK, Drehzahl) stationär und dynamisch (z.B. auch bei Lastabwurf)
  - mit ausreichender Leistungsreserve zur Änderung des Betriebspunktes (Energie die notwendig ist zum Beschleunigen der rotatorischen Trägheiten Motor und Generator)
  - bei Berücksichtigung der Lüfterleistung

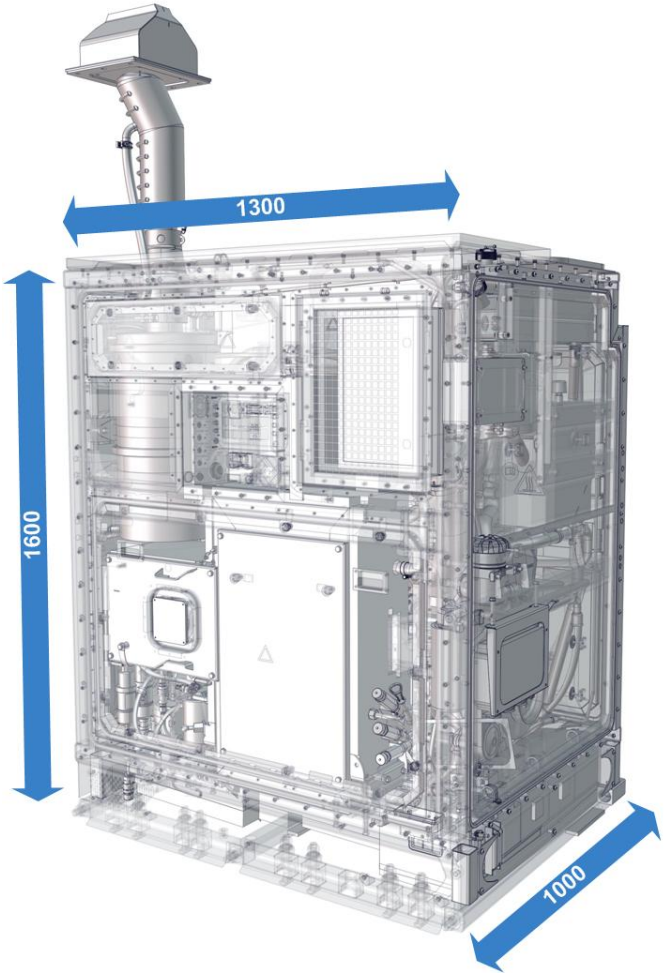
Betriebspunktwahl im Motorwirkungsgradkennfeld



SIEMENS

STEYRMOTORS

„all, but impossible“ – das Ergebnis



- Leistung: **180 kW**
- Zwei Ausgangsspannungen mit gleicher Hardware:

  1,8 / 3,6 kV DC
- Integriertes Vorwärmkonzept:

  Maximierung der Verfügbarkeit

  Minimierung der Zeit bis zur Vollastabnahme
- Abgasanforderungen:

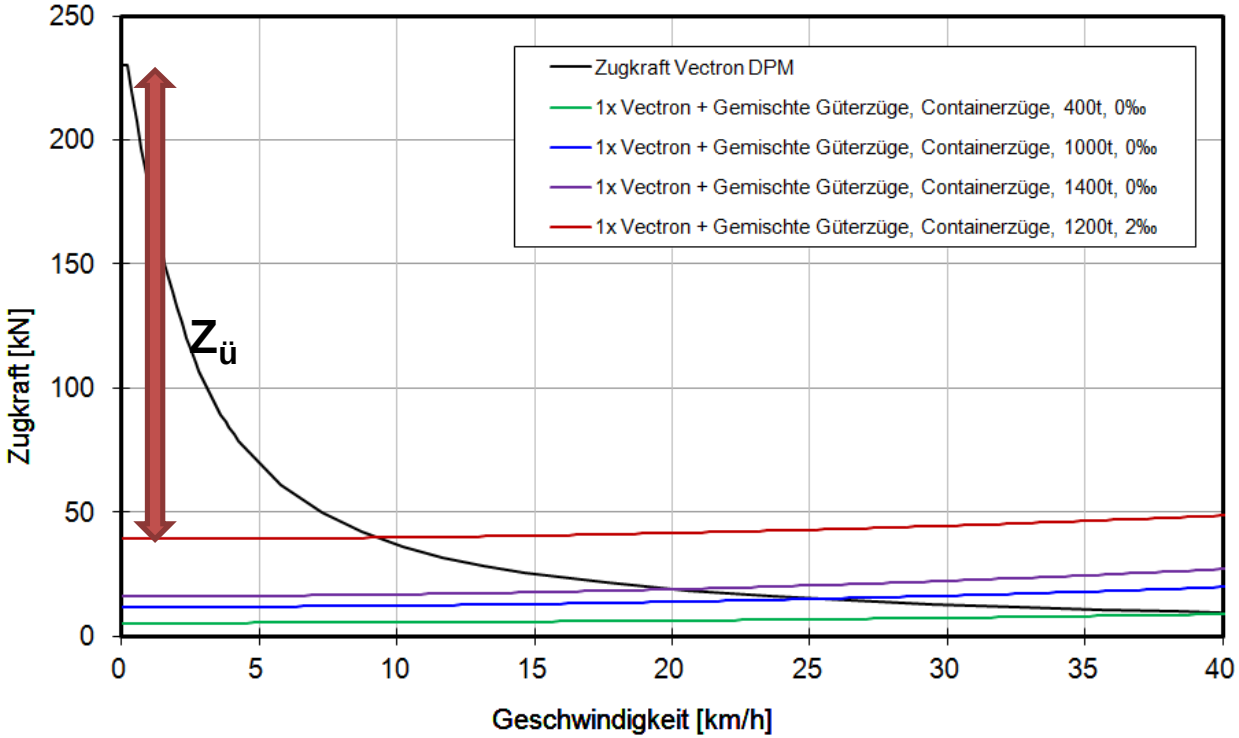
  Tier - Stage 3B (AGR, DPF)
- Leistungsdichte:

  86,54 kW/m³
- Leistungsgewicht:

  7,77 kg/kW

Theoretische Überprüfung der Performance

- Vollständiges ZV-Diagramm mit DPM



- Hoher Zugkraftüberschuss im Anfahrbereich
- Schnelles Erreichen der Rangiergeschwindigkeit beim Umsetzen der Lok alleine
- Angemessene Räumzeit mit gebräuchlichen Anhängelasten

Praktische Überprüfung der Performance

Überstellfahrt mit voll beladenem Kesselwagenzug

Verschubfahrt mit schwerem Eisenerzzug bei voestalpine Stahl GmbH

Testfahrten mit 1000 t Kohlezug

SIEMENS

STEYRMOTORS

Fazit

1. Erfüllung aller Anforderungen der „letzten Meile“
2. Einbaubarkeit in allen Vectron AC- und DC-Varianten
3. Volle Modularität und Nachrüstbarkeit
4. Leistungskaskadierung bedarfsweise durch Einbau eines zweiten DPM möglich (aktive Ballastierung)

Vectron‘s extra mile

Vectron‘s extra mile