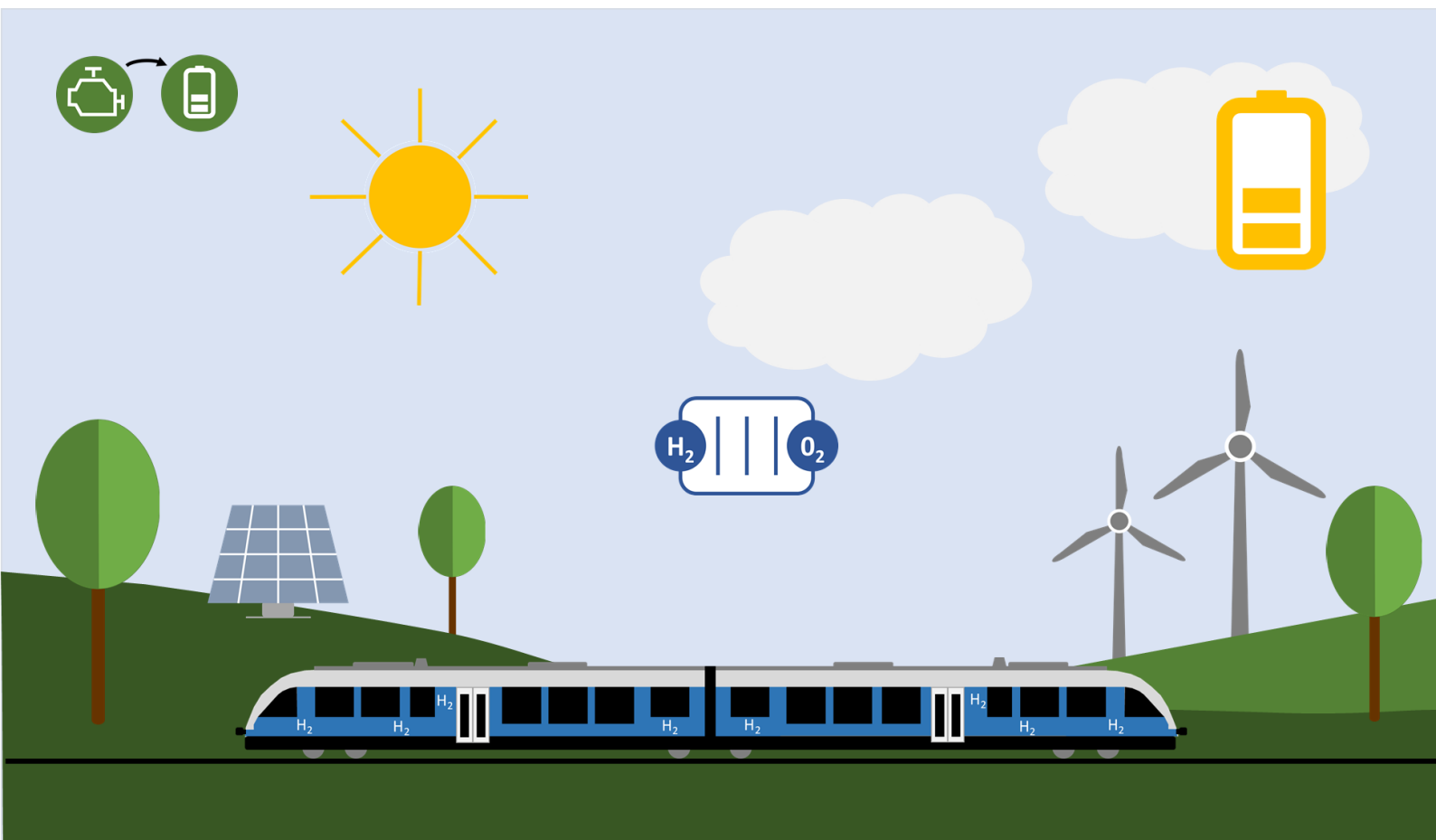


Modellierung von Fahrdynamik, Leistung und Energiebilanz bei Nutzung alternativer Antriebskonzepte



Alternative Antriebskonzepte: Im Bahnverkehr bald Alltag

Im Gegensatz zum Kraftfahrzeugverkehr ist Elektromobilität bei der Eisenbahn eine seit Jahrzehnten weit verbreitete Technologie. Freilich bestehen daneben – i.d.R. auf verkehrlich weniger stark beanspruchten Relationen – noch Strecken, die über keine Fahrleitung verfügen (Deutsche Bahn: ca. 39 % des Netzes, Stand 2020) und von durch fossile Brennstoffe angetriebenen Fahrzeugen befahren werden.

Ogleich die öffentlich verlautbarte Absicht besteht, den Anteil elektrifizierter Eisenbahninfrastruktur weiter zu vergrößern, ist aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und sehr langer Planungs- bzw. Bauzeiträume auf diesem Wege keine kurzfristige Substitution umweltpolitisch nicht mehr zeitgemäßer Dieserverkehr zu erwarten. Es sind also ergänzende technische Lösungen erforderlich: alternative Antriebskonzepte.

Zur Anwendung kommen hierbei innovative Konstruktionen für Schienenfahrzeuge, die zwar Fahrmotoren besitzen, ihre Betriebsspannung jedoch nicht (bzw. nicht nur) aus der Fahrleitung (oder Stromschiene) beziehen – und natürlich auch nicht mithilfe des altbekannten, dieselektrischen Prinzips.



(Quelle: Dirk Bräuer, iRFP)

Solche – innerhalb der Branche oft als *BEMU* (Battery Electric Multiple Unit, Akkutriebswagen) oder *HEMU* (Hydrogen Electric Multiple Unit, Brennstoffzellentriebwagen) bezeichneten – Eisenbahnfahrzeuge finden demnächst zunehmend breitere Anwendung: In Deutschland schreiben Aufgabenträger bereits Nahverkehrsnetze unter der Prämisse ihres Einsatzes aus (z.B. im „XMU-Netz“ Schleswig-Holstein, geplant ab Dez. 2022 oder Netz Ostbrandenburg, geplant ab 2024) oder es sollen Strecken, deren klassische Elektrifizierung mit 15 kV, 16²/₃ Hz mittelfristig geplant ist, Übergangsweise bereits batterieelektrisch betrieben werden (z.B. Leipzig – Chemnitz, geplant ab 2023).

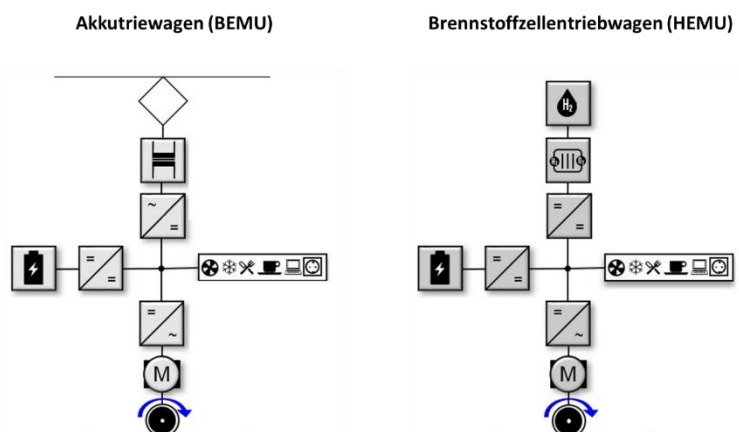
Energie- und Leistungsaspekte bei Traktion mit Brennstoffzelle oder Batterieelektrik

Grundlage rechnergestützter Fahrzeitberechnungen sind u.a. fahrzeugspezifisch hinterlegte Leistungsdaten und das darauf aufbauende Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm. Bei klassischen Antriebskonzepten steht im Bedarfsfall den Fahrmotoren i.d.R. deren volle Traktionsleistung zum Beschleunigen zur Verfügung.

Schienenfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb und solche, die nicht nur über Traktionsbatterien verfügen, sondern auch Fahrleitungsbetrieb zulassen, gelten als Hybridfahrzeuge: Die für die (Nenn-)Leistung der Fahrmotoren benötigte Energie wird, teilweise parallel, aus verschiedenen Quellen bezogen, z. B.:

- Brennstoffzelle und Batterie (HEMU)
- Fahrleitung und Batterie (BEMU im Fahrleitungsbetrieb)

Die in der Brennstoffzelle gewonnene Elektroenergie lädt – wo der Fahrtverlauf es zulässt – die Traktionsbatterie nach.



Im batterieelektrischen Betrieb geschieht dies unter der Fahrleitung. Im Stillstand des Fahrzeugs (Aufenthalte, Wenden) ist der Ladestrom jedoch technisch begrenzt und das Zeitfenster zum Wiederaufladen stellt eine wichtige Variable dar.

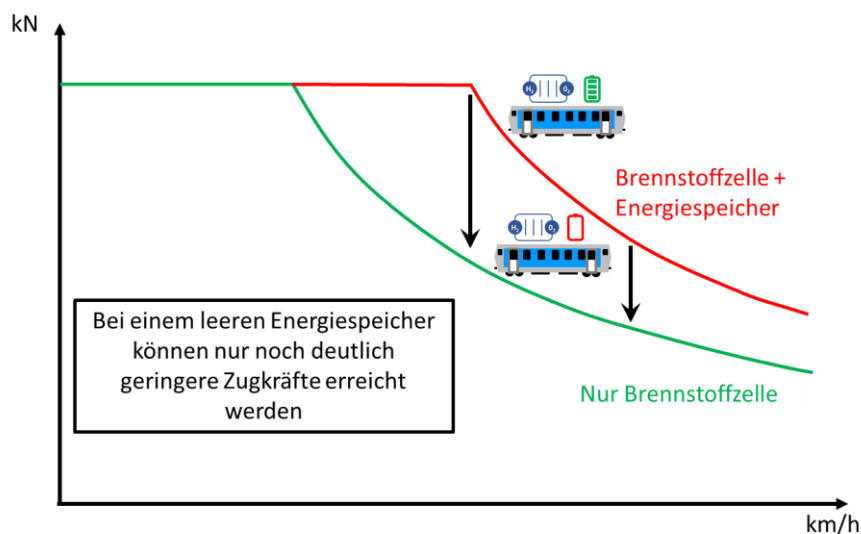
Dies bedeutet: Wenn dem Fahrzeug phasenweise nicht Energie aus jeweils allen beteiligten Ressourcen zur Verfügung steht (z. B. bei erschöpfter Batterie), dann können die Fahrmotoren nur im Teilleistungsbereich arbeiten. Dieser Sachverhalt wirkt sich natürlich unmittelbar auf die Fahrdynamik und damit auf Fahrzeit und Trassenkonstruktion aus.

Konstruktionsseitige Zwänge einer derartigen Dimensionierung von Antriebselementen untersucht diese Studie nicht. Vielmehr wird gezeigt, weshalb die Auswirkungen jener noch neuen Technologien auf den Fahrplan berücksichtigt werden müssen.

Konsequenzen für die rechnergestützte Fahrplankonstruktion

Energetische Berechnungen bzw. Bilanzbetrachtungen sind für Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten – bei realistischer Ausführung – notwendiger Bestandteil der Fahrzeitberechnung und damit der Fahrplankonstruktion.

Erheblich stärker als bei klassischen Traktionsarten entscheiden im Falle hybrider bzw. alternativer Antriebe solche Faktoren wie Streckenwiderstand und Trassenmerkmale (z. B. vorgesehene Aufenthaltszeiten, Fahrzeitzuschläge) darüber, ob ein konkretes Triebfahrzeug überhaupt geeignet wäre, eine definierte Betriebsleistung zu erbringen, d. h. inwieweit diese mit dem gewünschten Rollmaterial „fahrbar“ ist.



Das üblicherweise für Berechnungen hinterlegte Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm mit einzelner Leistungshyperbel genügt zur Erfassung der genannten Effekte nicht mehr. Die, sich jeweils fahrzeug- und fahrlagenspezifisch an jeder Stelle ergebende, Energie- und Leistungsbilanz müsste im Rahmen der Fahrplankonstruktion in einem möglichst vollständig integrierten Modellierungsansatz von der Konstruktionssoftware permanent mitgeführt und auf die Fahrzeitberechnung rückgekoppelt werden.

Konkret könnte das u.U. beispielsweise bedeuten, dass die Fahrzeit zwischen zwei Betriebsstellen (also die Neigung der Zuglinie im grafischen Fahrplan) abhängig davon ist, ob am vorherigen Stopp die Aufenthaltszeit variiert und damit der Batterieladestand verändert wird. Im Idealfall würde der Fahrplanbearbeiter von der Software darauf hingewiesen, wenn eine Trasse Fahrzeitverlängerungen enthält, die auf energiebilanzbedingte Leistungseinbrüche zurückzuführen sind.

Exemplarische Modellrechnungen – Fahrzeitaspekte, Leistungsbilanz und Energieverlauf bei Einsatz alternativer Antriebstechnologien:

Eine Auswahl möglicher Szenarien des Verlaufs der Energiebilanz wird anhand nachfolgender Grafiken verdeutlicht. Alle Grafiken entstammen dem in FBS integrierten Energieberechnungsmodul.

Für die Berechnungen wurden zwei fiktive Fahrzeuge mit den hier genannten Leistungsdaten exemplarisch verwendet:

Akkutriebwagen (BEMU)

- 2-teiliger Triebwagen
- Fahrzeugmasse: 75 t
- Geschwindigkeit: 160 km/h
- Leistung am Treibrad: 1.165 kW
- Trafoleistung: 1.000 kW

Kennwerte Akku:

- Nennkapazität: 270 kWh
- Leistung beim Antreiben: 600 kW
- Ladeleistung: 800 kW

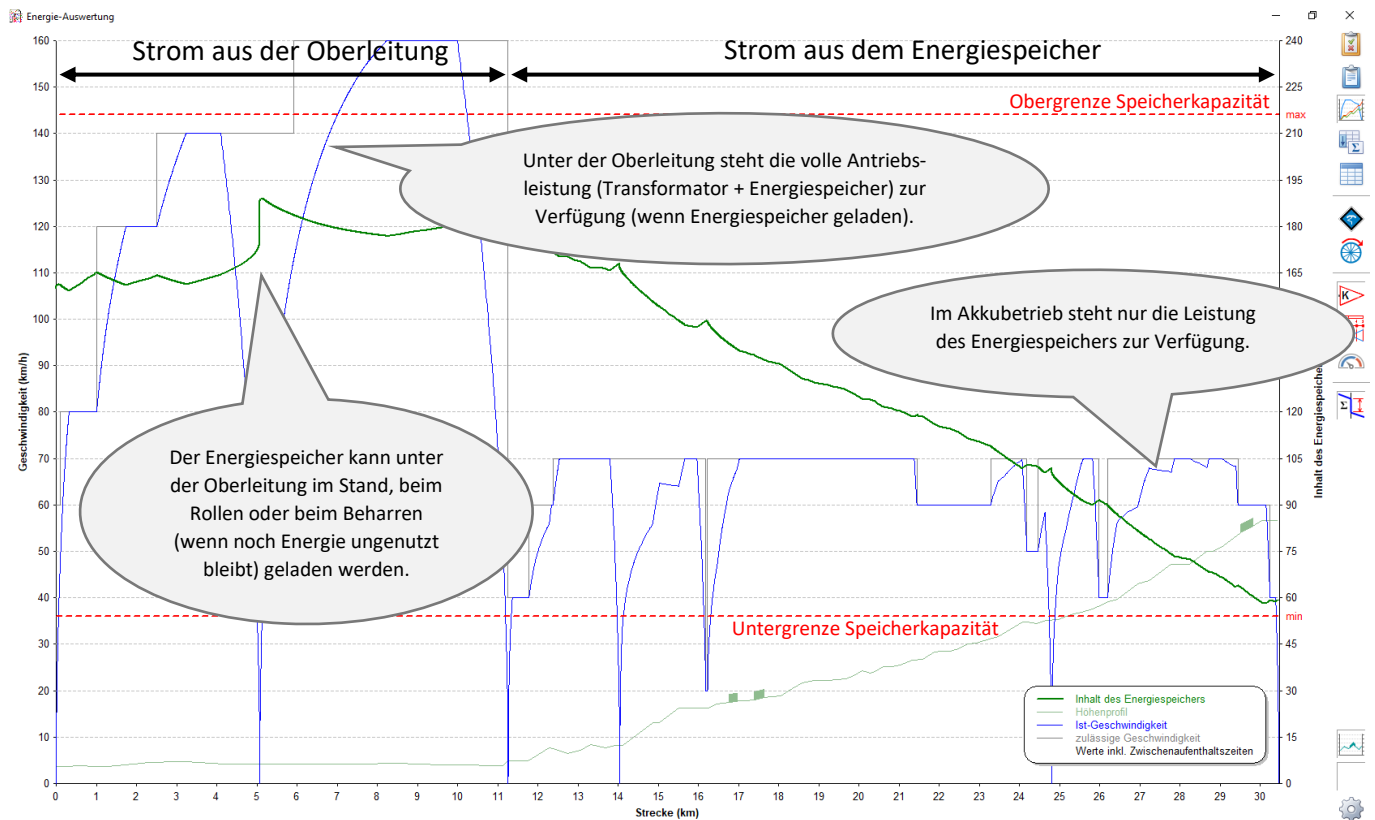
Brennstoffzellentriebwagen (HEMU)

- 2-teiliger Triebwagen
- Fahrzeugmasse: 128 t
- Geschwindigkeit: 160 km/h
- Leistung am Treibrad: 1.030 kW
- Leistung Brennstoffzelle: 400 kW

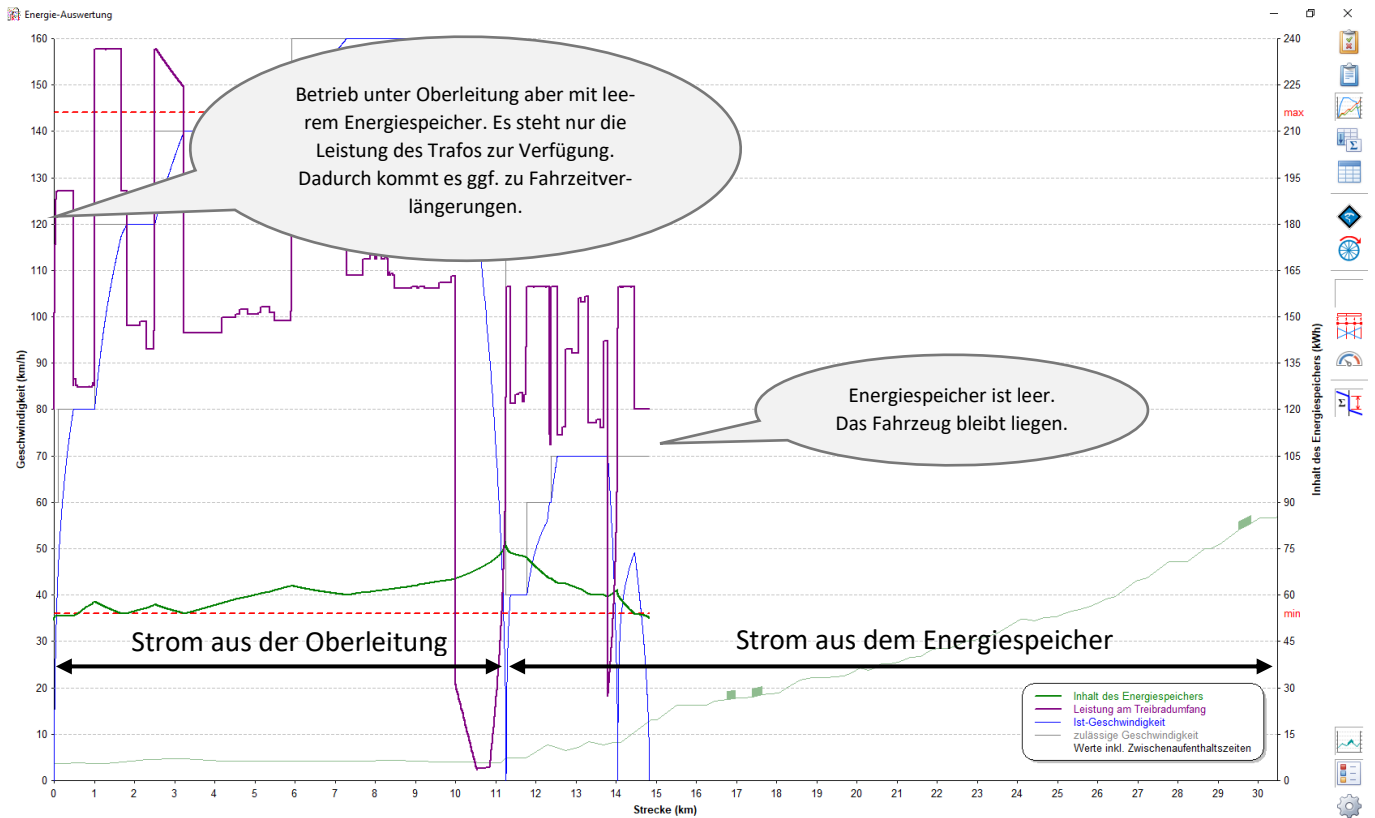
Kennwerte Akku:

- Nennkapazität: 180 kWh
- Leistung beim Antreiben: 1000 kW
- Ladeleistung: 800 kW

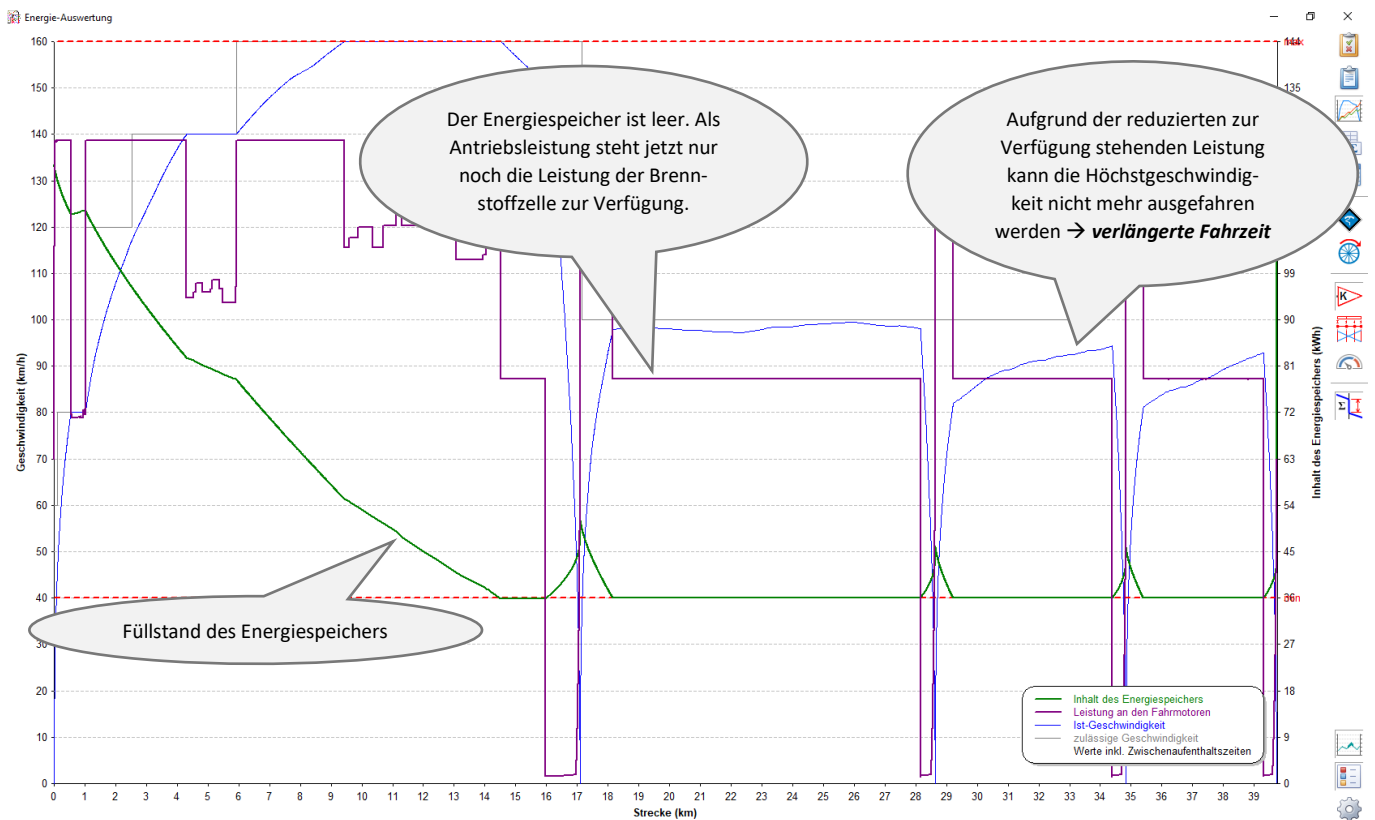
Szenario 1 – Akkutriebwagen bei planmäßiger Fahrt:



Szenario 2 – Akkutriebwagen bleibt mit leerem Akku liegen:



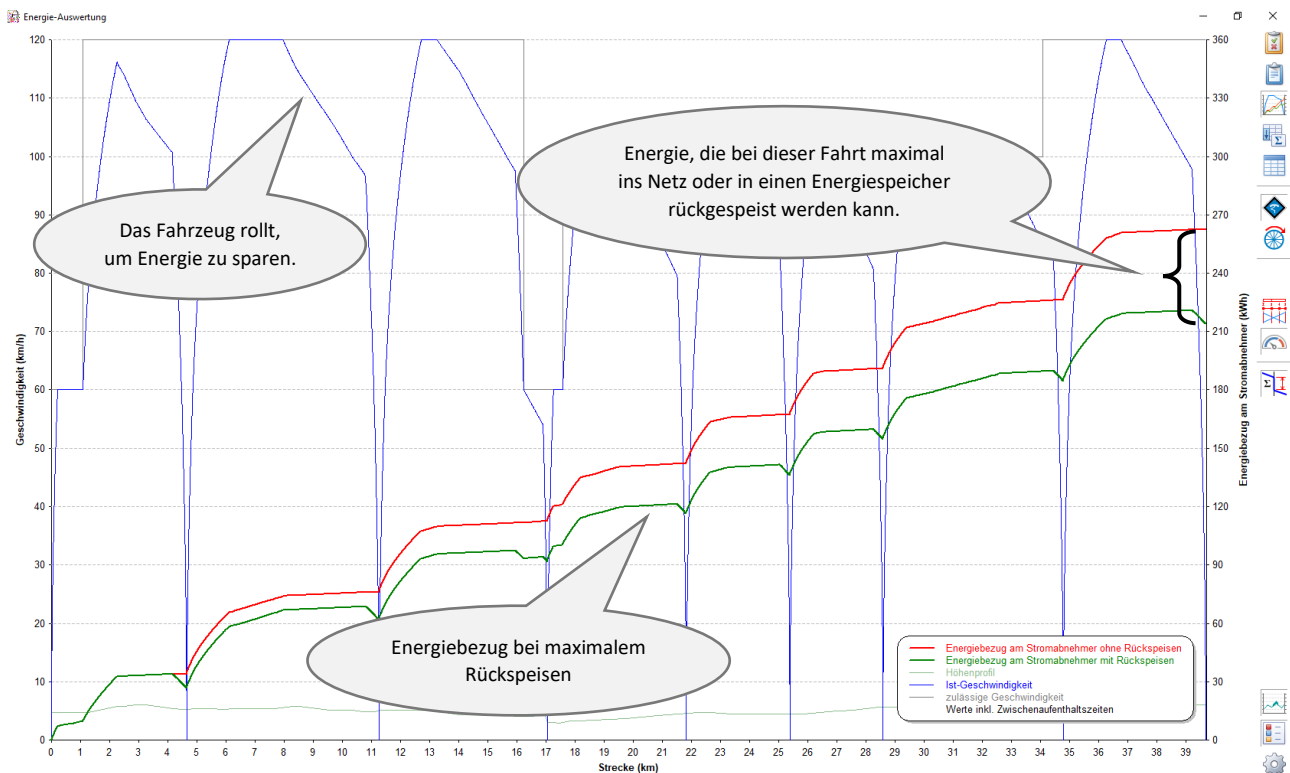
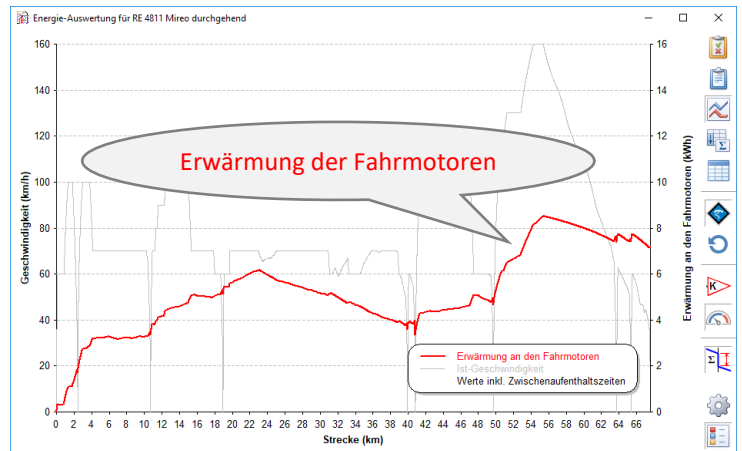
Szenario 3 – Brennstoffzellenfahrzeug bei der Fahrt mit sich leerendem Energiespeicher:



Weitere Aspekte der Energieberechnungen mit FBS

Die in FBS integrierte Energieberechnung deckt eine Vielzahl von Aspekten ab, z. B.:

- Energiebedarf über den Fahrtverlauf / des Betriebsprogramms
- Einsparung durch energiesparendes Fahren
- Darstellung weiterer Parameter (z.B. Erwärmung, Leistung, Wirkungsgrade)
- zeitgewichtete Belastungsdauerkurve
- Rückspeisung (Akku bzw. Netz)
- umlaufbezogene Auswertung
- Werte auch für Komponenten der Energieübertragung (von Stromabnehmer bis Treibrad)
- verschiedene Fahrregime
- grafische und tabellarische Auswertung
- Zusammenhang zwischen Fahrzeit- und Energieberechnung permanent aufeinander bezogen
- auch Energiebedarf der Hilfsbetriebe sowie im Stillstand eingeschlossen
- u. v. a. m.



Sie haben Interesse an einer Studie zu den Themen Energieberechnung oder Energiespeicher-Hybrid-Fahrzeuge?

Dann nehmen Sie gern Kontakt mit uns auf!