



## Kurzbeschrieb Projekte ESöV 2050 (Résumé en français / English summary)

P-163 eco4.0

(Vorstudie zur: Traktionsbasierten energieorientierten Echtzeitfahrplanoptimierung)

<b>Arbeitsfeld / Projektart</b>	Fahrzeuge Vorstudie/Forschungsprojekt	<b>Voraussichtliche Projektdauer</b>	08.2019-12.2020
<b>Auftragnehmer / Projektleitung</b>	ETH Zürich Michael Nold (michael.nold@ivt.baug.ethz.ch) Francesco Corman (Projektleitung) (francesco.corman@ivt.baug.ethz.ch)	<b>Budget total / Anteil BAV</b>	224 T-CHF 74 T-CHF

### Ziele

Triebfahrzeuge haben in Abhängigkeit der benötigten Zugkraft und Geschwindigkeit unterschiedliche Wirkungsgrade. Das Ziel der Studie besteht darin, anhand von Simulationen zu untersuchen, in welchem Umfang dies betrieblich zum Energiesparen genutzt werden kann, um den Energieverbrauch von Schienenfahrzeugen noch weiter zu reduzieren.

### Vorgehen / Module

1. Es wird die Fahrweise von einem Punkt A zu einem Punkt B simuliert. Dabei wird die Fahrweise so optimiert, dass sich der Energieverbrauch reduziert. Hierzu ist die Randbedingung, dass eine maximale Fahrzeit nicht überschritten wird um die Pünktlichkeit zu gewährleisten.
2. Die Optimierung dieser Studie berücksichtigt nicht nur die Fahrwiderstandsverluste. Diese Studie geht einen Schritt weiter und berücksichtigt zusätzlich die Verluste der einzelnen Traktionskomponenten. So wird folgendes betrachtet:
  - Verluste im Antriebsstrang des Triebfahrzeuges
  - Verschiedene triebfahrzeugbasierte Betriebszustände, welche sich aus dem Abschalten einzelner Komponenten ergeben.
3. Vergleich der verschiedenen Fahrweisen und Optimierungsansätze. Hierbei werden folgende drei Ansätze verglichen:
  - Normale Fahrweise (ohne Optimierung)
  - Optimierung, welche lediglich die Fahrwiderstandsverluste berücksichtigt
  - Optimierungen, welche die Verluste im Antriebsstrang des Triebfahrzeuges berücksichtigen und zusätzlich das Abschalten einzelner Komponenten miteinbeziehen.

### Erwartete Resultate

Folgende Resultate werden erwartet:

1. Es wird erwartet, dass eine Optimierung, welche lediglich die Fahrwiderstandsverluste betrachtet nicht zu den geringsten Verlusten führt, da die geringsten Verluste der Traktionskomponenten auf anderen physikalischen Grundlagen beruhen.
2. Es wird erwartet, dass gezieltes Ausrollen von Zügen und des Abschaltens von Antriebskomponenten dazu führt, weiter Energie zu sparen.
3. Weiter wird erwartet, dass jeder Fahrzeugtyp, wenn er eine andere Art von Traktionskomponenten hat, eine andere ideale Fahrweise hat, um eine Strecke von einem Punkt A zu einem Punkt B am energieeffizientesten zu befahren.

Die Mathematik zum Lösen dieses Optimierungsproblems ist sehr komplex. Daher soll im Folgenden ein einfaches Beispiel der Optimierung zur Erläuterung der Resultate dargestellt werden. Die Grafik zeigt hierzu drei Geschwindigkeitsprofile und ein Höhenprofil.



## Kurzbeschreibung Projekte ESöV 2050 (Résumé en français / English summary)

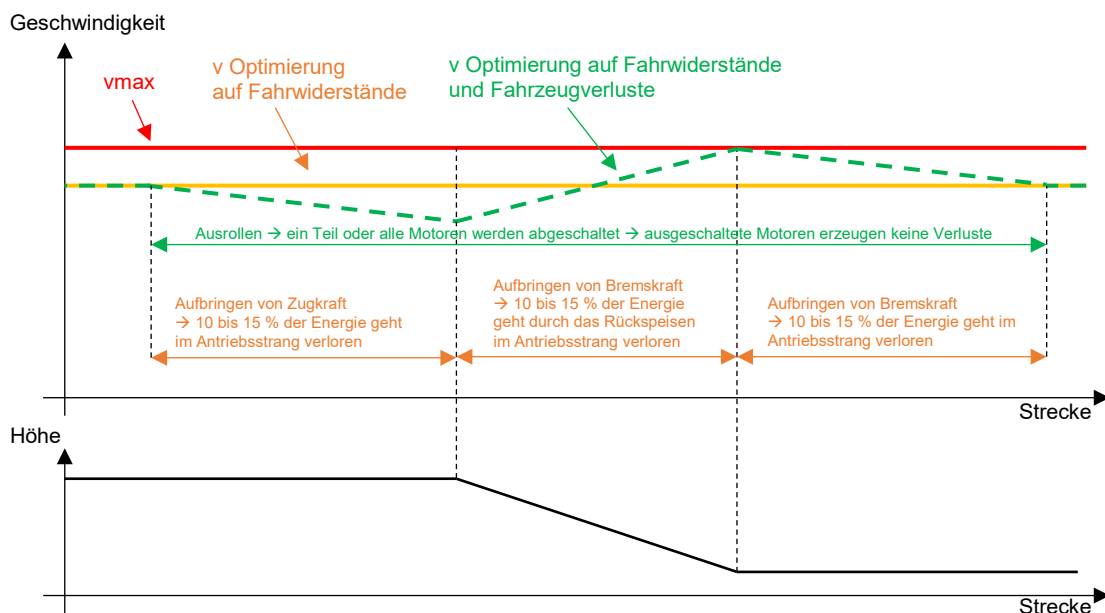
Das rote Geschwindigkeitsprofil stellt die maximale Geschwindigkeit auf der Strecke dar. Hierbei wird die Geschwindigkeit gefahren, welche technisch möglich ist. Diese Fahrweise führt zu den höchsten Verlusten.

Das orangene Geschwindigkeitsprofil stellt ein Geschwindigkeitsprofil mit einer niederen Geschwindigkeit dar. Dieses Geschwindigkeitsprofil hat geringere Fahrwiderstände als das rote Profil und auch als das grüne Profil. Dies liegt daran, dass die Fahrwiderstände einen quadratischen Einfluss haben und die geringsten Fahrwiderstandsverluste erreicht werden, wenn eine konstante niedrigere Geschwindigkeit gefahren wird. Zusätzlich zu den Fahrwiderstandsverlusten summieren sich aber auch noch die Antriebsverluste. Daher ist es notwendig bei der Optimierung auch noch diese zu betrachten.

So ist in der Grafik zu sehen, dass der Zug den Berg herabfährt. Beim orangenen Geschwindigkeitsprofil wird bis zum Beginn des Gefälles Antriebsleistung aufgebracht. Durch das Aufbringen der Antriebsleistung entstehen 10 bis 15 % Verluste, da der Wirkungsgrad eines Triebfahrzeuges üblicherweise zwischen 85 und 90 % liegt. Während der Gefällefahrt wird durch die elektrische Bremse Energie zurückgespeist. Während des Rückspeisens entstehen beim orangenen Fahrprofil also wiederum Antriebsverluste. Anschliessend wird wieder Zugkraft aufgebracht und es entstehen wieder Antriebsverluste.

Das grüne Fahrprofil reduziert die Antriebsverluste. Hierzu wird in einem korrekt berechneten Abstand vor dem Gefälle ein Teil der Motoren oder alle Motoren abgeschaltet und Energie gespart. Dadurch reduziert der Zug seine Geschwindigkeit. Durch das darauffolgende Gefälle beschleunigt der Zug und erhöht seine Geschwindigkeit. In der anschliessenden Ebene rollt der Zug weiter. Am Ende dieses Abschnittes werden die Motoren wieder angeschaltet. Dadurch sind beim grünen Geschwindigkeitsprofil (bezogen auf die Gesamtverluste) Energieeinsparungen gegenüber dem orangenen Profil zu erwarten.

Ähnlich wie bei dem grün dargestellten Geschwindigkeitsprofil handelt auch ein vorausschauender fahrender Velofahrer. Denn ein Velofahrer optimiert seine Geschwindigkeit nicht darauf möglichst gleichmässig langsam zu fahren. Ein vorausschauender Velofahrer möchte wenig Energie verbrauchen und versucht den Schwung zu nutzen.



Grundsätzlich ist zu betonen, dass nicht nur bei diesem Anwendungsbeispiel Energieeinsparungen zu erwarten sind. So werden zusätzlich zu diesem Beispiel auch weitere Anwendungen des Ausrollens, der Komponentenwirkungsgradeinflüsse und des Abschaltens einzelner Komponenten zum energieeffizienten Fahren durch Simulationen untersucht.



## **Kurzbeschrieb Projekte ESöV 2050** (Résumé en français / English summary)

---

### **Résumé en français**

Cette étude s'intéresse au style de conduite économe en énergie pour le train. Pour déterminer un style de conduite économe en énergie, des simulations et optimisations seront effectuées. Les simulations optimisent un trajet d'un point A à un point B, avec pour objectif de réduire les pertes d'énergie. Les pertes liées à la résistance à la conduite et les pertes supplémentaires dans les composants de traction seront prises en compte dans ces optimisations. Enfin, il sera envisagé de couper les moteurs et de fonctionner en roue libre ou en coût partiel pour réduire les pertes d'énergie

---

### **English summary**

This study investigates the energy efficient driving style for railways. To determine an energy efficient driving style, simulations and optimizations will be made. These simulations optimize a ride from a point A to a point B, with the target to reduce the energy losses. The losses from the driving resistance and additional the losses in the traction components will be considered in this optimizations. Further, it will be considered to switch motors off and operate in coasting or in partial coasting to reduce the energy losses.