

La société IRFP ([www.irfp.de](http://www.irfp.de)), qui a conçu et commercialise le logiciel de graphicage FBS, excellent logiciel qui va bien au-delà du seul graphicage, qui parle français et anglais, et qui est utilisable non seulement pour du train, mais aussi pour du tramway et des BHNS en site propre (utilisé pour l'étude du BHNS de Metz), réunit périodiquement ses utilisateurs.

Lors d'une précédente réunion, a eu lieu la présentation de la façon dont la Bavière aborde la question des motorisations alternatives pour le ferroviaire. Cette présentation a été faite par la Bayerische Eisenbahngesellschaft (BEG) qui planifie, finance et contrôle le transport ferroviaire local de voyageurs (SPNV) pour le compte de l'État de Bavière, avec comme marque commerciale Bahnland Bayern (<https://beg.bahnland-bayern.de>).

Cette présentation m'apparaissant particulièrement intéressante, la société IRFP et l'auteur M. Thomas HORNUNG, qu'ils en soient remerciés, m'ont autorisé à la traduire et à la diffuser; Vous la trouverez dans les pages qui suivent. A noter que je me pose quand même quelques questions quant à certaines affirmations.

Aucune modification n'a été apportée par rapport au document original, seules de légères modifications de mise en page ont été faites pour pouvoir insérer les textes en français. Merci de me signaler toute erreur de traduction.

Le présent document peut bien évidemment être envoyé à toute personne intéressée.

Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette FR 51200 EPERNAY  
Gare SNCF Epernay + 1500 m Mob + 33 (0)6 60 93 72 66 [pdebano@laposte.net](mailto:pdebano@laposte.net)  
<https://fr.linkedin.com/in/pierre-debano-a2b62a123>

Coordonnées de M. Thomas HORNUNG  
Bayerische Eisenbahngesellschaft mbH, Boschetsrieder Straße 69 | 81379 München  
Telefon: 089 748825-27 | Telefax: 089 748825-50 E-Mail: [Thomas.Hornung@bahnland-bayern.de](mailto:Thomas.Hornung@bahnland-bayern.de)  
[www.bahnland-bayern.de](http://www.bahnland-bayern.de)

Attention quant au terme Hybride (Hybrid en allemand)

Sauf dans le cas de « Hybrid Diesel » où c'est alors une chaîne de traction hybride Diesel comme on en trouve sur les bus, c'est-à-dire que le moteur Diesel charge des batteries qui reçoivent aussi l'énergie du freinage à récupération, batteries qui alimentent un moteur électrique, le terme « Hybrid » est utilisé pour « bimode » en français mais j'ai conservé le terme « hybride » dans la traduction.

BEMU : Battery Electric Multiple Unit (mais attention, Multiple Unit ne veut pas dire Unité Multiple mais automotrice à plusieurs caisses) . C'est une automotrice électrique bimode Caténaire-batteries.

HEMU : Hydrogen Electric Multiple Unit (mais attention, Multiple Unit ne veut pas dire Unité Multiple mais automotrice à plusieurs caisses) . C'est une automotrice électrique bimode Caténaire-hydrogène, comme la solution Coradia Polyvalent hydrogène française.

# ***Bahnland Bayern***

*Zeit für Dich*

# Alternative Antriebe – der bayerische Weg

**FBS-Anwendertreffen Frühjahr 2021**

Thomas Hornung

15.04.2021

# Motorisations alternatives – la voie suivie par la Bavière

**Réunion des utilisateurs de FBS (NdT : logiciel de  
graphicage ferroviaire [www.irfp.de](http://www.irfp.de))- Printemps 2021**

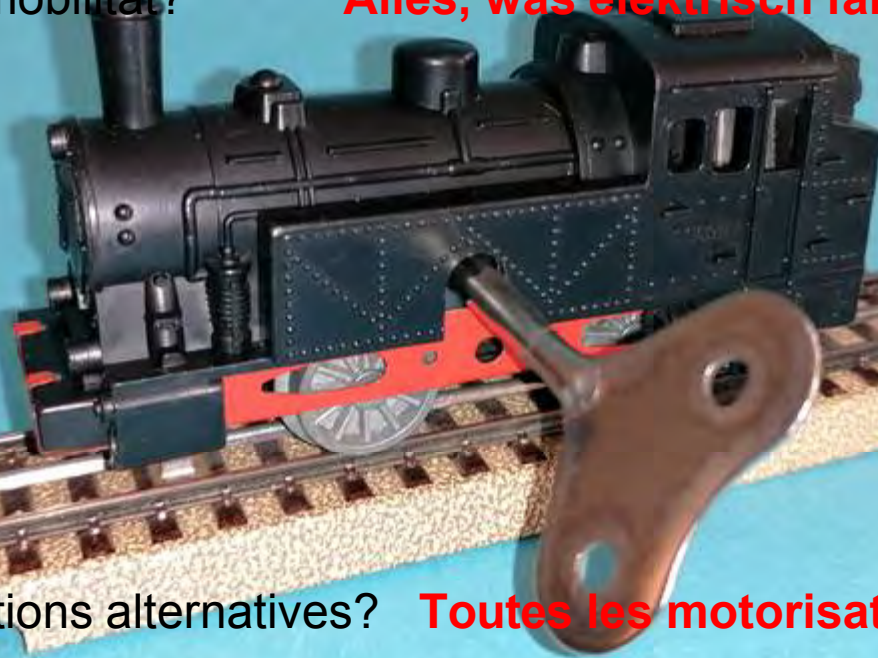
# Alternative Antriebe = Elektromobilität ?

## Versuch einer Definition

# Motorisations alternatives = Mobilité électrique ?

## Recherche d'une définition

- Alternative Antriebe? **Alle Antriebe ohne fossile Kraftstoffe**
- Alternative Kraftstoffe? **Alle nicht fossilen Kraftstoffe**
- Elektromobilität? **Alles, was elektrisch fährt**



- Motorisations alternatives? **Toutes les motorisations sans carburants fossiles**
- Carburants alternatifs? **Tous les carburants non fossiles**
- Mobilité électrique? **Toutes, qui fonctionnent à l'électricité**

# Elektromobilität – ein alter Hut? Oder der lange Weg zu elektrischem Fahren

L'électromobilité – une vieille lubie? Ou le long chemin vers le voyage électrique

**Bahnland  
Bayern**  
*Zeit für Dich*

- Fossile Ressourcen sind endlich (Ölkrise 1973)
- Les ressources fossiles sont limitées (crise pétrolière de 1973).
- Die Eisenbahn fährt schon seit über hundert Jahren sowohl fahrleitungsgebunden als auch batterieelektrisch, Akkutechnik gerät aber in Vergessenheit
- Les chemins de fer fonctionnent depuis plus de cent ans sous caténares ainsi qu'avec des batteries, mais la technologie des batteries est en train de tomber dans l'oubli.(NdT : l'auteur évoque les automotrices électriques avec batteries au plomb qui ont été nombreuses en Allemagne durant 40 ans, les Akkutriebwagen ETA 150/515).
- Bahn erbringt nahezu 90 % ihrer Verkehrsleistung fahrleitungsgebunden elektrisch. Weiterer Handlungsbedarf bestand kaum.
- Le chemin de fer assure près de 90 % de ses services de transport électriquement sous caténares. Il n'y a guère nécessité d'agir.
- Alternative Antriebe zunächst bei städtischen Verkehrsbetrieben
- Les motorisations alternatives d'abord dans les transports urbains
- Der Dieselskandal bringt schließlich Alternativen ins Rollen rüttelt auch die Bahnbranche wach
- Le scandale des moteurs Diesel fait enfin bouger les choses et secoue également le secteur ferroviaire.
- Elektromobilität liegt mittlerweile im Trend. Die Zeit des Verbrenners geht trotz alternativer Kraftstoffe unweigerlich zu Ende.
- L'électromobilité est désormais la tendance. Malgré les carburants alternatifs, l'ère du moteur à combustion touche inévitablement à sa fin.

**Aber: E-Mobilität findet in der öffentlichen Wahrnehmung fast ausschließlich auf der Straße statt**

**Mais : Dans l'esprit du public, l'e-mobilité se pratique presque exclusivement sur la route.**

# Erste Alternativen – Es geht auch ohne Fahrleitung elektrisch

## Premières alternatives - Cela fonctionne également sans caténaies

- **Alstom** wagt 2014 den Vorstoß und kündigt auf der Innotrans seinen Brennstoffzellen-Triebzug iLint an.
  - Kurze Zeit später lanciert **Bombardier** erste Entwürfe für ein batterieelektrisches Fahrzeug auf Basis des populären E-Triebzugs Talent 2, das unter Oberleitungen geladen werden kann
  - **Stadler** zog mit einem ähnlichen Konzept auf Basis des bewährten E-Triebzugs Flirt nach.
  - **Siemens** hat zwischenzeitlich vergleichbare Fahrzeuge auf Basis des neuen Triebzugs Mireo angekündigt, will aber auch in die Brennstoffzellentechnik einsteigen.
  - Ebenso hat **CAF** einen Batteriehybrid in petto.
- 
- **Alstom** se lance en 2014 et annonce son automotrice à pile à combustible iLint à Innotrans.
  - Peu de temps après, **Bombardier** a lancé les premiers plans d'un véhicule électrique à batteries, basé sur le populaire automoteur Talent 2, qui peut être rechargé sous les lignes aériennes.
  - **Stadler** a suivi avec un concept similaire basé sur l'automotrice électrique éprouvée Flirt
  - **Siemens** a depuis annoncé des véhicules comparables basés sur la nouvelle automotrice Mireo, mais prévoit également de se lancer dans la technologie des piles à combustible.
  - **CAF** a également en tête un véhicule hybride batteries.

# Die Technik – Richtungsentscheidungen?

La technologie - des décisions orientées ?

## H2-Brennstoffzellen-Hybrid – iLint, Mireo plus H

- Protonen-Membran-Brennstoffzellen verwandeln den an Bord mitgeführte Wasserstoff in elektrischen Strom. Akkus puffern die überschüssige elektrische Energie der Brennstoffzelle, speisen die Fahrmotoren und nehmen beim Bremsen generatorisch erzeugten Strom auf.
- Brennstoffzellenfahrzeuge schaffen mit einer Tankfüllung von H<sub>2</sub> etwa 800 km bis 1000 km und emittieren dabei lediglich Wasserdampf.
- Diesen betrieblichen Vorteilen stehen eine aufwändige H<sub>2</sub>-Versorgungsinfrastruktur, die begrenzte Speicherfähigkeit von H<sub>2</sub>, die komplexe, schwere Fahrzeugtechnik und der geringe Gesamtwirkungsgrad von etwa 20 bis 25 % gegenüber. In Summe führt das zu hohen Energie- und Gesamtkosten.

## Hybride à pile à combustible H<sub>2</sub> - iLint, Mireo plus H

- Les piles à combustible à membrane d'échange de protons, (NdT : à membrane électrolyte polymère PEMFC) transforment l'hydrogène transporté à bord en courant électrique. Les batteries absorbent l'excédent d'énergie électrique de la pile à combustible, alimentent les moteurs de traction et absorbent l'énergie récupérée lors du freinage.
- Les véhicules à pile à combustible peuvent parcourir environ 800 à 1000 km avec un réservoir d'H<sub>2</sub> et n'émettent que de la vapeur d'eau.
- Ces avantages opérationnels sont contrebalancés par une infrastructure d'approvisionnement en H<sub>2</sub> complexe, la capacité de stockage limitée de l'H<sub>2</sub>, la technologie complexe de véhicules lourds, et le faible rendement global d'environ 20 à 25 %. Au total, cela entraîne des coûts énergétiques et globaux élevés.



# Die Technik – Richtungsentscheidungen?

## H2-Brennstoffzellen-Hybrid

## La technologie - des décisions orientées ?

## Hybride-H2 à pile à combustible

Siemens Mireo plus H

Alstom Coradia iLint



# Die Technik – Richtungsentscheidungen?

## La technologie - des décisions orientées ?

### **Oberleitungs-Hybrid – Alstom Coradia Continental BEMU,**

### **Bombardier Talent BEMU, Stadler Flirt Akku, Siemens Mireo Plus, CAF Civity**

- Alle Hersteller verfolgen mit ihren Oberleitungs-Hybriden, kurz E-E-Hybrid, sehr ähnliche Konstruktionsprinzipien. Vereinfacht gesagt ergänzen Batteriepacks mit den zugehörigen Ladegeräten die Hochspannungsausrüstung handelsüblicher E-Triebzüge.
- Im Betrieb versorgt Strom aus der Oberleitung das Fahrzeug mit Fahrstrom und lädt auch den Akku. Der Akku wiederum speist im oberleitungsfreien Betrieb die Fahrmotoren und nimmt beim Bremsen generatorisch erzeugten Strom auf.
- Je nach Terrain und klimatischen Bedingungen schaffen die emissionsfreien Fahrzeuge mit einer Ladung nach Herstellerangaben 40 bis 80 Kilometer.
- Dem hohen Gesamtwirkungsgrad von 70% steht eine vergleichsweise geringe Reichweite – auch im Kontext zu historischen Bleiakku-Triebwagen mit deutlich größeren Reichweiten – gegenüber.

### **Hybride caténaire-batteries - Alstom Coradia Continental BEMU,**

### **Bombardier Talent BEMU, Stadler Flirt Akku, Siemens Mireo Plus, CAF Civity**

- Tous les fabricants suivent des principes de conception très similaires pour leurs hybrides-caténaire, ou hybrides E-E en abrégé. En bref, les packs de batteries et les chargeurs associés complètent l'équipement haute tension des trains électriques disponibles sur le marché.
- En fonctionnement, l'électricité provenant de la ligne aérienne alimente le véhicule en courant de traction et charge également le bloc de batteries. La batterie, quant à elle, alimente les moteurs de traction en fonctionnement sans ligne aérienne et emmagasine l'électricité générée lors du freinage.
- En fonction du terrain et des conditions climatiques, les véhicules sans émissions polluantes peuvent parcourir 40 à 80 kilomètres avec une seule charge, selon le constructeur.
- Le rendement global élevé de 70 % contraste avec une autonomie relativement faible, en plus en comparaison avec les automotrices historiques à batteries au plomb (NdT : les ETA 150/515 déjà citées) qui avaient une autonomie beaucoup plus grande.

# Die Technik – Richtungsentscheidungen? La technologie - des décisions orientées ? Oberleitungs-Hybrid Hybride-caténaire

- Bombardier Talent 3
  - Probebetrieb mit Fahrgästen ab Sommer 2022 zwischen Pleinfeld und Gunzenhausen am Wochenende geplant
  - *Exploitation expérimentale avec des voyageurs prévue à partir de l'été 2022 entre Pleinfeld et Gunzenhausen les week-ends.*

- Siemens Mireo plus
- Stadler Flirt Akku
- CAF Civity BEMU
- Alstom Coradia Continental



# Die Technik – Richtungsentscheidungen?

## Brennstoffzelle vs. Oberleitungshybrid

Traduction : voir dia suivante

### Brennstoffzelle

#### Vorteile

- Hohe Speicherdichte von H<sub>2</sub>
- Hohe Reichweite

#### Nachteile

- Aufwändige H<sub>2</sub>-Versorgungsinfrastruktur (Hydrolyse, Transport, Speicherung)
- Begrenzte Speicherkapazität von H<sub>2</sub> (Diffusion aufgrund Molekülgröße)
- Komplexe Fahrzeugtechnik (Wasserstofftank, Brennstoffzelle, Akku + E-Antrieb)
- Geringer Gesamtwirkungsgrad (20 – 25 %)
- Hohe Energie- und Gesamtkosten
- Zulassung für Tunnelstrecken und -bahnhöfe unklar. „Gleiche betriebliche Zulassungsbedingungen wie Lint mit Dieselantrieb“ (Aussage Alstom per Mail vom 10.10.2016)

### Oberleitungshybrid

#### Vorteile

- Hoher Gesamtwirkungsgrad (70%)
- Unter Oberleitung nachladbar
- Im Betrieb komplett emissionsfrei
- Geringe Energiekosten
- Zulassung für Tunnelstrecken und -bahnhöfe wird als möglich erachtet, keine Restriktionen wie Dieselfahrzeuge (Aussage Bombardier in Präsentation vom 13.04.2016)

#### Nachteile

- Geringe Reichweite im Akkubetrieb

Quellen: Alstom, Bombardier, IFEU Heidelberg 2009

# La technologie - des décisions orientées ?

## Pile à combustible H2 vs. Hybride caténaire-batteries

### Pile à combustible H2

#### Avantages

- Grande capacité de stockage de H<sub>2</sub>
- Grand rayon d'action

#### Inconvénients

- Infrastructure complexe d'approvisionnement en H<sub>2</sub> (hydrolyse, transport, stockage)
- Capacité de stockage limitée de l'H<sub>2</sub> (diffusion due à la taille des molécules)
- Technologie complexe des véhicules (réservoir d'hydrogène, pile à combustible, batterie + chaîne de traction électrique)
- Faible rendement global (20 - 25 %)
- Coûts énergétiques et totaux élevés
- L'autorisation pour des circulation en tunnel et dans des gares souterraines n'est pas claire. "Mêmes conditions d'autorisation d'exploitation que Lint avec traction Diesel" (déclaration d'Alstom par courriel du 10.10.2016).

### Hybride caténaire-batteries

#### Avantages

- Rendement global élevé (70%)
- Rechargeable sous la ligne aérienne
- Fonctionnement totalement exempt d'émissions polluantes
- Faibles coûts énergétiques
- L'autorisation pour les circulations en tunnel et dans les gares souterraines est considérée comme possible, pas de restrictions donc identique aux véhicules diesel (déclaration de Bombardier dans la présentation du 13.04.2016).

#### Inconvénients

- Faible rayon d'action en exploitation sur batteries

Source: Alstom, Bombardier, IFEU Heidelberg 2009

# Die Technik – Richtungsentscheidungen?

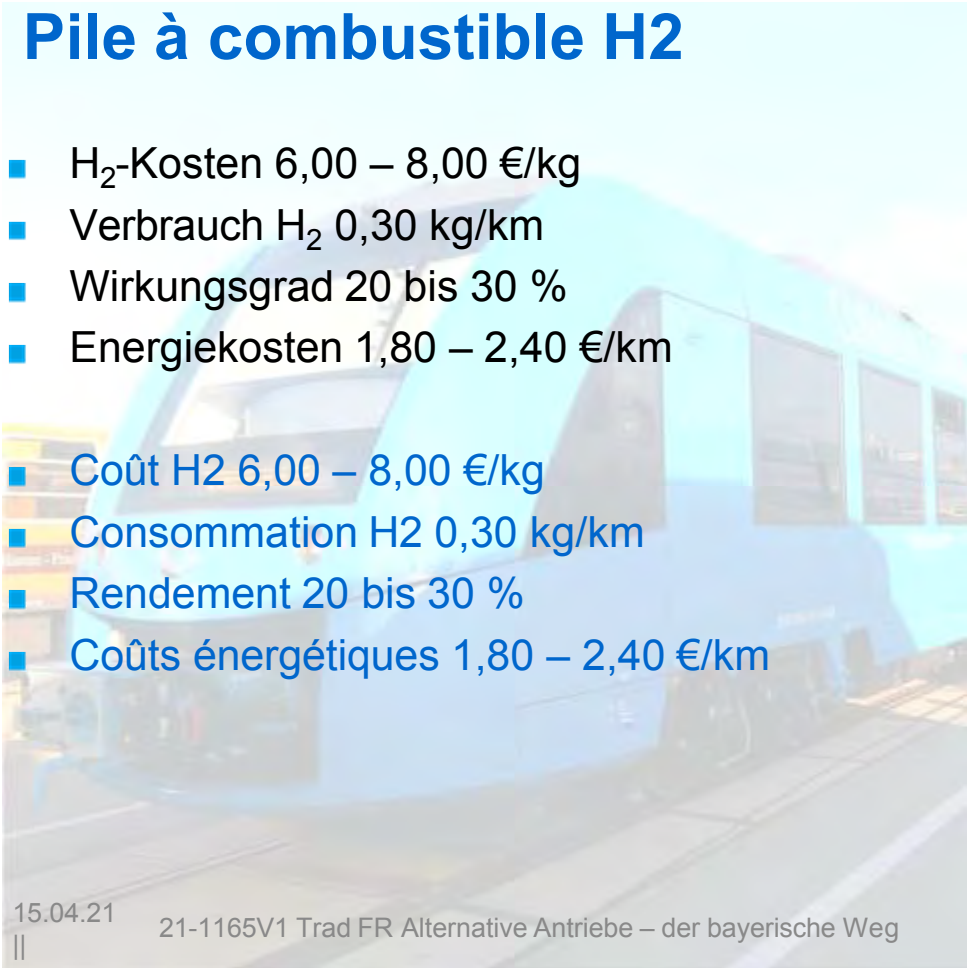
## Brennstoffzelle vs. Oberleitungshybrid

## La technologie - des décisions orientées ?

## Pile à combustible H2 vs. Hybride caténaire-batteries

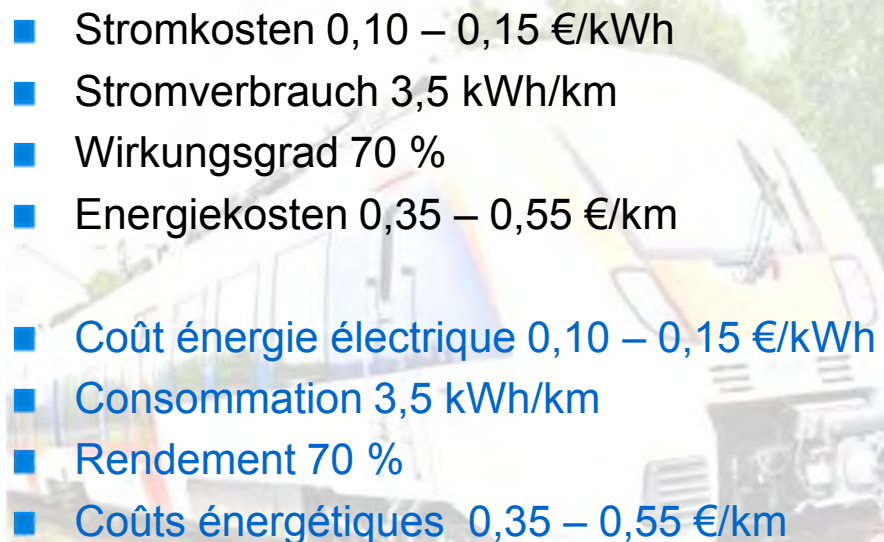
### Brennstoffzelle

#### Pile à combustible H2

- H<sub>2</sub>-Kosten 6,00 – 8,00 €/kg
  - Verbrauch H<sub>2</sub> 0,30 kg/km
  - Wirkungsgrad 20 bis 30 %
  - Energiekosten 1,80 – 2,40 €/km
- 
- Coût H<sub>2</sub> 6,00 – 8,00 €/kg
  - Consommation H<sub>2</sub> 0,30 kg/km
  - Rendement 20 bis 30 %
  - Coûts énergétiques 1,80 – 2,40 €/km

### Oberleitungshybrid

#### Hybride caténaire-batteries

- Stromkosten 0,10 – 0,15 €/kWh
  - Stromverbrauch 3,5 kWh/km
  - Wirkungsgrad 70 %
  - Energiekosten 0,35 – 0,55 €/km
- 
- Coût énergie électrique 0,10 – 0,15 €/kWh
  - Consommation 3,5 kWh/km
  - Rendement 70 %
  - Coûts énergétiques 0,35 – 0,55 €/km

Quellen *Source* : Alstom, Bombardier, IFEU Heidelberg 2009

# Die Technik – Richtungsentscheidungen? La technologie - des décisions orientées ?

## Diesel-Hybride – Stadler Wink, Eco-Train, MTU-Hybrid u.a.

- Konservativer und am Markt kaum nachgefragt stellen sich unterschiedlich skalierbare Diesel-Hybride dar, die ihre Entsprechung auch in der Automobilindustrie finden. Die Mehrzahl der Diesel-Hybride nutzen dabei dieselektrische Lösungen, die mit einem Stromspeicher zu einem seriellen Hybrid weiterentwickelt werden. In einer weiteren Stufe lässt sich der Diesel-Hybrid mit einer zusätzlichen Hochspannungsausrüstung und Dachstromabnehmer zu einem Multimodal-Hybrid aufrüsten. Solche multimodalen Lösungen sind auch bei grenzüberschreitenden und möglicherweise nur teilelektrifizierten Linien mit unterschiedlichen Stromsystemen denkbar.
- MTU verfolgt einen anderen Ansatz, indem man dieselmechanische Powerpacks mit direkt verbundenem E-Antrieb und Akku zu einem Parallelhybrid weiterentwickelt.
- Hybridisierungseffekte bei Dieselmotoren gering. Diesel-Hybride können als Übergangstechnologie für längere, nicht elektrifizierte Strecken eine wirtschaftlichere und umweltverträglichere Alternative zu konventionellen Dieselantrieben darstellen.
- Plus traditionnels et peu demandés sur le marché, les hybrides Diesel, plus ou moins évolutifs, trouvent également leur équivalent dans l'industrie automobile. La majorité des hybrides Diesel utilisent des solutions Diesel-électriques qui sont ensuite développées en hybride série avec un système de stockage d'électricité. Dans une étape ultérieure, l'hybride Diesel peut être transformé en hybride bimode avec un équipement haute tension supplémentaire et des pantographes montés sur le toit. De telles solutions bimodes sont également envisageables pour les lignes transfrontalières et éventuellement partiellement électrifiées avec des systèmes électriques différents.
- MTU poursuit une approche différente en continuant à développer des groupes motopropulseurs diesel-mécaniques avec une chaîne de traction électrique et une batterie directement connectés pour en faire un hybride parallèle.
- Faibles effets de l'hybridation avec les moteurs Diesel. En tant que technologie de transition pour les itinéraires plus longs non électrifiés, les hybrides Diesel peuvent constituer une alternative plus économique et plus écologique aux moteurs Diesel classiques.

# Die Technik – Richtungsentscheidungen? La technologie - des décisions orientées ?

## Ein vorläufiges Fazit

- Alle alternativen Antriebe bewegen sich im Spannungsfeld zwischen den noch geringen Reichweiten bei reinen Akkulösungen und den besten Alternative zur Wandlung eines Brennstoffs in elektrische Energie an Bord, um höhere Reichweiten zu ermöglichen.
- Alle alternativen Antriebe benötigen mehr oder weniger umfangreiche Infrastrukturen, die von konventionellen Tankanlagen über Nachladestellen und Teilelektrifizierungen bis hin zu komplexer H2-Infrastruktur reichen.
- Abhängig von der Entwicklung der Akkutechnik wird die Energiewandlung an Bord – vornehmlich in Form einer Verbrennungsmaschine – voraussichtlich noch ein gewisse Zeit eine Rolle spielen.
- Alternative Antriebe sind noch nicht am Markt etabliert
- EVU scheuen daher Risiken bei der Markteinführung

## ■ Une conclusion provisoire

- Toutes les chaines de traction alternatives sont prises en étau entre des rayons d'action encore faibles des solutions à batteries pures et de meilleures solutions pour convertir un carburant en énergie électrique à bord afin de permettre des rayons d'action plus grands.
- Toutes les chaines de traction alternatives nécessitent des infrastructures plus ou moins conséquentes, allant des stations de ravitaillement classiques aux points de recharge et à l'électrification partielle, en passant par une infrastructure H2 complexe.
- En fonction de l'évolution de la technologie des batteries, la conversion d'énergie à bord - surtout sous la forme d'un moteur à combustion interne - continuera probablement à jouer un rôle pendant un certain temps.
- Les chaines de traction alternatives ne sont pas encore implantées sur le marché.
- Les Entreprises de Transport Ferroviaire redoutent pour cela les risques lors de l'introduction sur le marché.



# Der bayerische Weg

## La voie suivie par la Bavière

### Alternative Antriebe unter wissenschaftlichen Aspekten

Angesichts vieler ungeklärter Fragen hat die BEG den Lehrstuhl Elektrische Bahnen der TU Dresden beauftragt, unterschiedliche alternative Antriebskonzepte auch im Kontext zu klassischen Streckenelektrifizierungen wissenschaftlich zu bewerten:

- Langfristig ist für einen mindestens stündlichen SPNV und Kapazitäten, die zwei 42 Meter langen Triebzügen entsprechen, die Elektrifizierung am wirtschaftlichsten.
- Will man schnelle Effekte erzielen, sind E-E-Hybride abhängig von der Streckenlänge zweckmäßig, wenn es bereits Elektrifizierungsanteile gibt oder wenn an den Endpunkten vorrangig aus der Oberleitung nachgeladen werden kann.
- Für Verkehre abseits elektrifizierter Strecken ohne Elektrifizierungsperspektive sind Diesel-Hybride wirtschaftlicher als ein klassischer Dieselmotorbetrieb.
- Brennstoffzellen-Hybride sind nahezu in allen Szenarien, trotz H<sub>2</sub>-günstiger Ansätze am teuersten. Wenn sich die Austauschkosten für Brennstoffzellen-Stacks und Traktionsbatterien deutlich verringern lassen, können auch Brennstoffzellen-Fahrzeuge wirtschaftlicher sein als klassische Dieselfahrzeuge.

### Alternative Antriebe sind immer eine Frage der Infrastruktur

#### Chaines de traction alternatives vues sous des aspects scientifiques

Compte tenu des nombreuses questions sans réponse, le BEG (NdT : le service ferroviaire délégué de la Bavière) a chargé le département des trains électriques de l'Université Technique de Dresde d'évaluer scientifiquement différents concepts de chaînes de traction alternatives, également dans le contexte de l'électrification des lignes classiques :

- À long terme, l'électrification est l'option la plus économique pour un chemin de fer régional à cadence au moins horaire et des capacités correspondant à une unité multiple de deux trains 42 mètres de long.
- Si l'on veut obtenir des effets rapides, les hybrides Electric-Électrique (NdT : il s'agit d'un bimode caténaire-batteries) sont appropriés en fonction de la longueur du trajet, s'il existe déjà des parties électrifiées ou si, aux points terminaux, la recharge, prioritairement à partir de la ligne aérienne est possible
- Pour les transports éloignés des itinéraires électrifiés et sans perspective d'électrification, les hybrides Diesel sont plus économiques que l'exploitation Diesel classique.
- Les hybrides à pile à combustible sont les plus chers dans presque tous les scénarios, malgré des approches favorables au H<sub>2</sub>. Si les coûts de remplacement des piles à combustible et des batteries de traction peuvent être considérablement réduits, les véhicules à pile à combustible peuvent également être plus économiques que les véhicules Diesel classiques.

#### Les chaînes de traction alternatives posent toujours la question des infrastructures

# Der bayerische Weg

## La voie suivie par la Bavière

### **BESS – Die bayerische Elektromobilitätsstrategie Schiene**

Am 23. Januar 2018 hat der damalige bayerische Verkehrsminister Joachim Herrmann die „Bayerische Elektromobilitäts-Strategie Schiene zur Reduzierung des Dieserverkehrs im Bahnnetz in Bayern“ – kurz BESS genannt vorgestellt.

- Zum einen schlägt Herrmann vor, die wichtigsten Schienenpersonenverkehrs-Strecken möglichst rasch zu elektrifizieren. Neben dem Bundesverkehrswegeplan sei dafür notwendig, dass der Bund wie angekündigt ein Sonderprogramm zur Elektrifizierung auflege.
- Zum anderen will Bayern auf Strecken im Schienenpersonennahverkehr, die noch nicht konkret zur Elektrifizierung anstehen, mit Pilotprojekten für alternative Antriebe weitere Erkenntnisse über deren Eignung für die bayerische SPNV-Flotte gewinnen.

### **BESS - La Stratégie Bavaroise d'Electromobilité Ferroviaire**

Le 23 janvier 2018, le ministre bavarois des transports de l'époque, Joachim Herrmann, a présenté la "stratégie bavaroise d'électromobilité ferroviaire visant à réduire le trafic en Diesel sur le réseau ferroviaire en Bavière" - appelée BESS en abrégé.

D'une part, M. Herrmann propose d'électrifier le plus rapidement possible les lignes ferroviaires de transport de voyageurs les plus importantes. En plus du plan fédéral d'infrastructures de transport, il est nécessaire que le gouvernement fédéral lance un programme spécial pour l'électrification comme annoncé.

D'autre part, la Bavière souhaite acquérir des connaissances supplémentaires sur l'adéquation des chaînes de traction alternatives pour le parc régional bavarois de transport ferroviaire de voyageurs en réalisant des projets pilotes sur des lignes qui ne sont pas encore prêtes à être électrifiées.

# Der bayerische Weg

## La voie suivie par la Bavière

### **BESS – Die Fahrzeugindustrie spielt nicht immer mit**

Die BEG hat zunächst auf drei Strecken Planungen zu Pilotprojekten aufgenommen, die bislang jedoch nicht umgesetzt werden konnten.

- **Eco-Train** der DB Regionetze Verkehrs GmbH auf der Strecke Hanau - Schöllkrippen – **Fahrzeugkonzept wird nicht weiterverfolgt**
- **Stadler Flirt BEMU** auf der Strecke Bamberg – Ebern – **Fahrdynamik des Fahrzeugs ist zu schwach und Stadler hat kein Interesse am Einsatz des Prototypen**
- **Bombardier Talent 2 BEMU** auf der Strecke Pleinfeld – Gunzenhausen – **Pilot für Sommer 2022 geplant, aber unklar, ob die Fahrzeugplattform unter neuem Dach weitergeführt wird.**

### **BESS (Stratégie Bavaroise d'Electromobilité Ferroviaire)- Les constructeurs de matériel roulant ne jouent pas toujours le jeu**

Initialement, la BEG a commencé à planifier des projets pilotes sur trois lignes, mais ceux-ci n'ont pas encore été mis en œuvre.

- **L'Eco-Train de DB Regionetze Verkehrs GmbH sur la ligne Hanau - Schöllkrippen - Le concept de véhicule ne sera pas poursuivi**
- **Le Flirt BEMU Stadler sur la ligne Bamberg - Ebern - L'accélération dynamique du véhicule est trop faible et Stadler ne montre pas d'intérêt à la mise en service du prototype.**
- **Le Talent 2 BEMU de Bombardier sur la ligne pilote Pleinfeld - Gunzenhausen prévu pour l'été 2022, mais on ne sait pas si la plateforme de véhicules sera poursuivie sous un nouveau toit (NdT : suite au rachat de Bombardier par Alstom)**

# Der bayerische Weg

## La voie suivie par la Bavière

### Abschied vom Diesel – Stand 2021

### Adieu au Diesel – Etat 2021

- **79 Linien** mit **elektrischen Fahrzeugen** erbracht
  - **92 Linien** mit **Dieselfahrzeugen** erbracht
  - **2 Linien wechseln** im Fahrtverlauf die **Traktion**
  - **23 Linien** stehen in den nächsten 20 Jahren zur **Elektrifizierung** an
  - **71 Linien** verbleiben mittelfristig ohne **Elektrifizierung**
- 
- **79 lignes** exploitées avec des **véhicules électriques**
  - **92 lignes** exploitées avec des **véhicules Diesel**
  - **2 lignes changent de mode de traction** en cours de route
  - **23 lignes** doivent être **électrifiées** au cours des 20 prochaines années.
  - **71 lignes** resteront **sans électrification** à moyen terme

# Der bayerische Weg Lösungsweg der BEG (1)

## La voie suivie par la Bavière La solution de BEG (1)

- Die BEG untersucht für **jede der 71 Diesellinien ohne Elektrifizierungsperspektive** die Möglichkeiten einer Umstellung auf BEMU- und HEMU-Fahrzeuge.
- **Je Strecke** wird geprüft, welche **infrastrukturelle Lösung zur Versorgung** notwendig ist.
- Prämisse ist, dass **Akku-Hybrid-Fahrzeuge (BEMU)** eine **Reichweite von mindestens 80 km** aufweisen.  
→ Für **Strecken mit längeren oberleitungslosen Abschnitten** werden vorbehaltlich der Akku-Entwicklung zunächst i. d. R. **Wasserstoff-Fahrzeuge (HEMU)** vorgesehen.
- In **enger Absprache mit den Fahrzeugherstellern, DB Energie und DB Netz** werden bedarfsgerechte Lösungen entwickelt. Die **Einbeziehung erfolgt frühestmöglich**.
- La BEG étudie les possibilités de conversion avec des véhicules BEMU et HEMU pour chacune des 71 lignes Diesel sans perspective d'électrification.
- Pour chaque ligne, on examine quelle solution d'infrastructure est nécessaire pour l'approvisionnement.
- Le principe est que les véhicules hybrides à batterie (BEMU) ont une autonomie d'au moins 80 km.  
Pour les itinéraires comportant des sections plus longues sans lignes aériennes, sous réserve d'abord du développement des batteries, en règle générale des véhicules à hydrogène (HEMU) sont prévus. (NdT : précision donnée par M HORNUNG « First of all after electrification with catenary we would prefer Akku with more powerful batteries. If not, we will also see for H2-vehicles“ Tout d'abord, après l'électrification par caténaire, nous préférons des Akku (BEMU) avec des batteries plus puissantes. Sinon, nous verrons aussi pour des véhicules H2).
- En étroite concertation avec les constructeurs ferroviaires, DB Energie et DB Netz développeront des solutions adaptées à la demande. La collaboration aura lieu le plus tôt possible.

# Der bayerische Weg

## Lösungsweg der BEG (2)

### La voie suivie par la Bavière

### La solution de BEG (2)

- **Best-Practice-Beispiele** aus Schleswig-Holstein und Rheinland-Pfalz werden untersucht und Erkenntnisse für Bayern daraus gewonnen.
- Die **TU Dresden** und ggf. **weitere Gutachter** unterstützen die BEG bei der Planung und Umsetzung der Projekte.
- **Aktueller abgeschlossener Auftrag** der BEG an die TU Dresden (Prof. Stephan, Professur für Elektrische Bahnen) Aktualisierung der Studie „Alternative Antriebe“
- Les exemples de bonnes pratiques du Schleswig-Holstein et de la Rhénanie-Palatinat sont étudiés, et des enseignements en sont tirés pour la Bavière.
- La TU Dresden (Université Technique de Dresde), et le cas échéant d'autres experts, assistent la BEG dans la planification et la mise en œuvre des projets.
- La mission confiée par la BEG à la TU Dresden (Prof. Stephan, département des trains électriques) d'actualisation de l'étude « Modes de traction alternatifs » est terminée.

# Der bayerische Weg. La voie suivie par la Bavière Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple



# Der bayerische Weg

## La voie suivie par la Bavière

### Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple

### Umstellung auf BEMU-Fahrzeuge als Pilotprojekt „Bayerwald“ ab 12/2027 – offene Fragen:

- Weiterführung des Betriebs Gotteszell – Viechtach? Grundsätzlich besteht Bereitschaft der Regentalbahn als EIU, die notwendige Nachladeinfrastruktur zu schaffen (bspw. in Viechtach)
- Oberleitungsinsel in Zwiesel erforderlich? Auch für die Strecken nach Bodenmais und Grafenau nutzbar.
- Mehrsystemfahrzeug für 25-kV-Ladung bei Durchbindung von Bayerisch Eisenstein nach Klatovy notwendig
- Akkureichweiten geeignet für Plattling – Zwiesel – Bayerisch Eisenstein – Klatovy oder Teilstrecken?

### Conversion vers des véhicules BEMU en tant que projet pilote "Bayerwald" à partir de 12/2027 - questions posées :

- Poursuite de l'opération Gotteszell - Viechtach ? En principe, la Regentalbahn, en tant que gestionnaire de l'infrastructure, est prête à créer l'infrastructure de charge nécessaire (par exemple à Viechtach).
- Une section caténaire est-elle nécessaire à Zwiesel ? Peut également servir pour les lignes vers Bodenmais et Grafenau.
- Véhicule multi-courant pour la charge sous 25 kV nécessaire pour la circulation transfrontalière de Bayerisch Eisenstein à Klatovy. (NdT : réseau allemand électrifié en 15kV, réseau tchèque en 25 kV)
- Rayon d'action suffisant des batteries pour Plattling - Zwiesel - Bayerisch Eisenstein - Klatovy ou services partiels ?



# Der bayerische Weg La voie suivie par la Bavière

## Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple

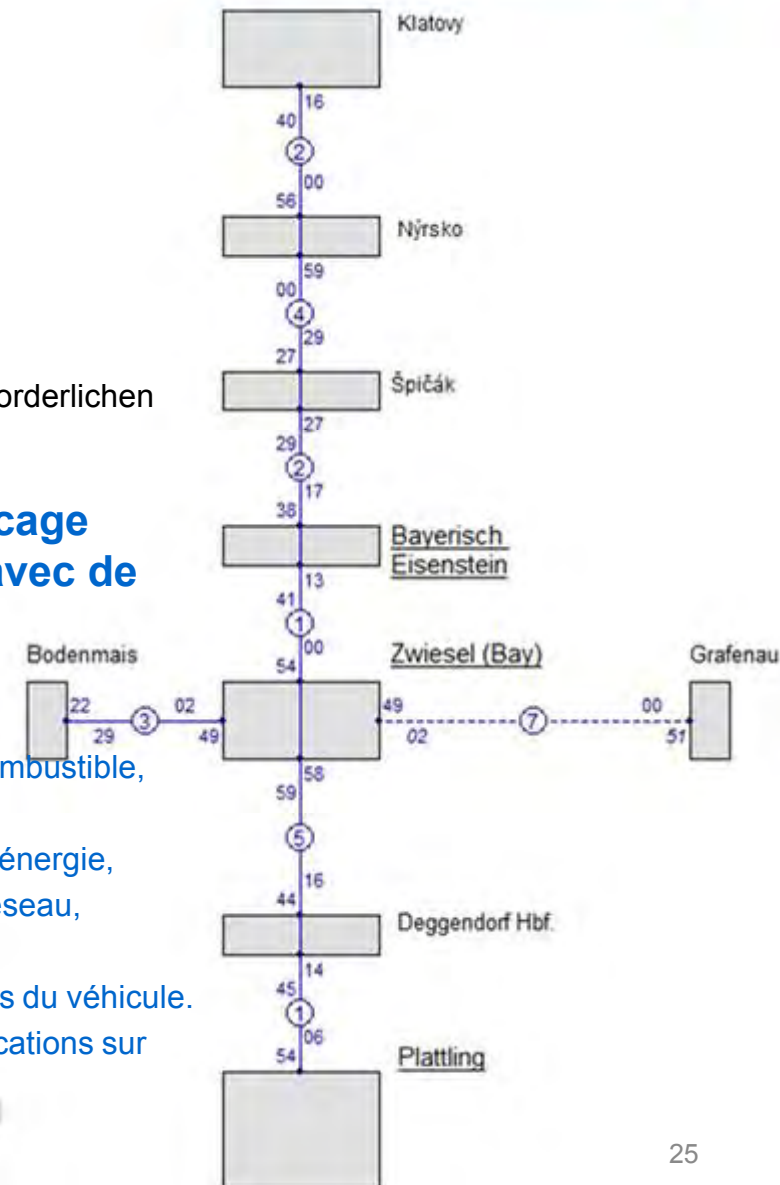
...und hier kann FBS mit neuen Tools helfen:

- Exakte Berechnung von Energieverbräuchen
  - am Stromabnehmer und im Energiespeicher,
  - für elektrische Traktion mit und ohne Stromspeicher (Akku) und Brennstoffzelle,
  - abhängig vom Streckenprofil und Trassierungsparametern,
  - bei kürzester Fahrzeit und energiesparender Fahrweise,
  - mit Rückspeisen in Bordenergiespeicher oder ins Netz,
  - optional mit „vorausschauendem Laden“,
  - unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade und Erwärmung der elektrischen Komponenten im Fahrzeug.
- Dimensionierung von Stromspeichern und anderer Komponenten und Aussagen zur erforderlichen Infrastruktur

....et c'est là que FBS (NdT : remarquable programme de graphicage ferroviaire et +, parle français, anglais, [www.irfp.de](http://www.irfp.de)) peut aider avec de nouveaux outils :

- Calcul exact de la consommation d'énergie
  - au niveau du pantographe et du stockage de l'énergie,
  - pour la traction électrique avec et sans stockage d'énergie (batteries) et pile à combustible,
  - en fonction du profil de la ligne et des paramètres de graphicage,
  - avec le temps de trajet le plus court possible ou un fonctionnement économe en énergie,
  - avec récupération de l'énergie vers le stockage d'énergie embarqué ou vers le réseau,
  - éventuellement avec une "charge prédictive",
  - en tenant compte du rendement et de l'échauffement des composants électriques du véhicule.
- Dimensionnement des systèmes de stockage d'électricité et autres composants, et indications sur l'infrastructure nécessaire

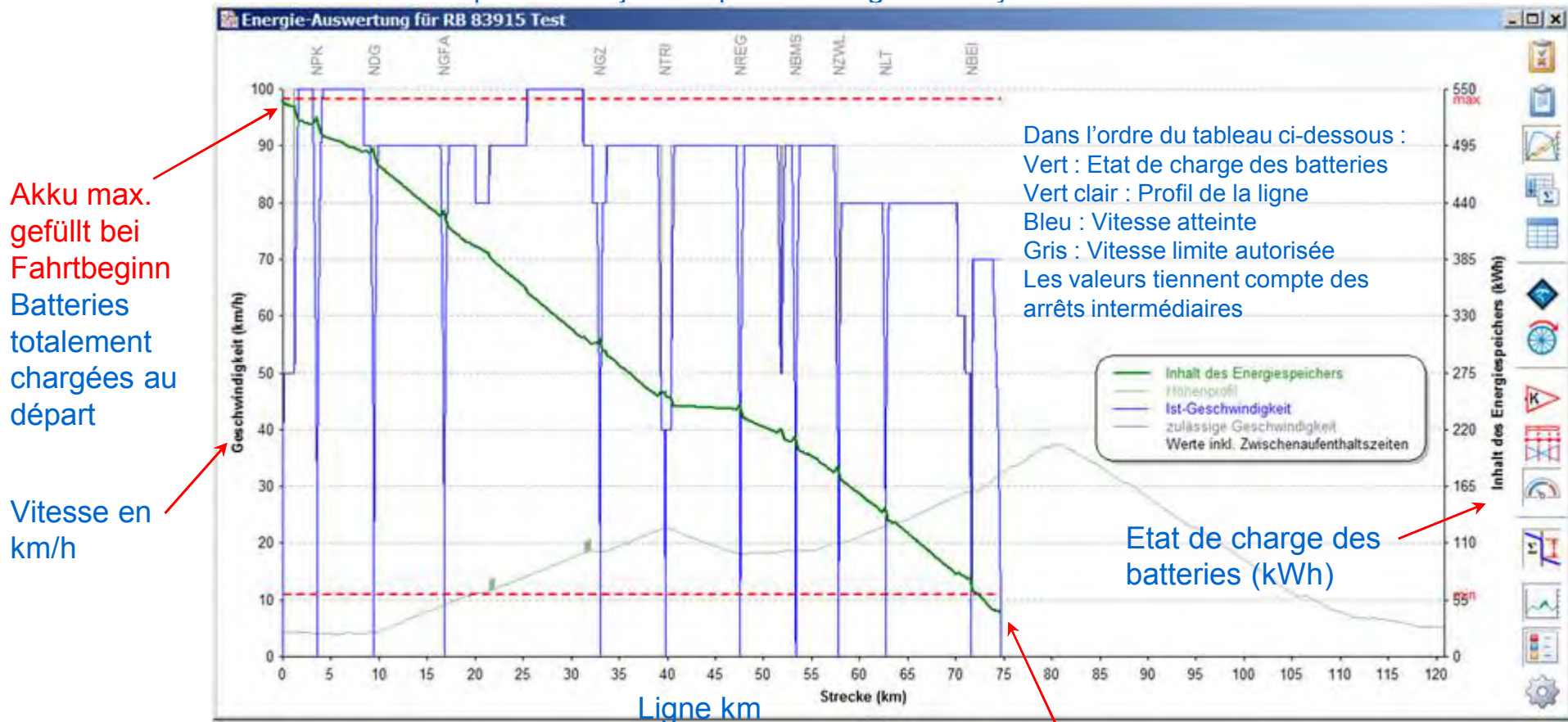
**Bahnland Bayern**  
*Zeit für Dich*



# Der bayerische Weg La voie suivie par la Bavière

## Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple

- 1. Versuch – von Elektrifizierung zu Elektrifizierung:  
Reicht der Akku für eine durchgehende Fahrt Plattling – Klatovy?
- 1er essai - de l'électrification à l'électrification :  
la batterie est-elle suffisante pour un trajet complet Plattling - Klatovy ?



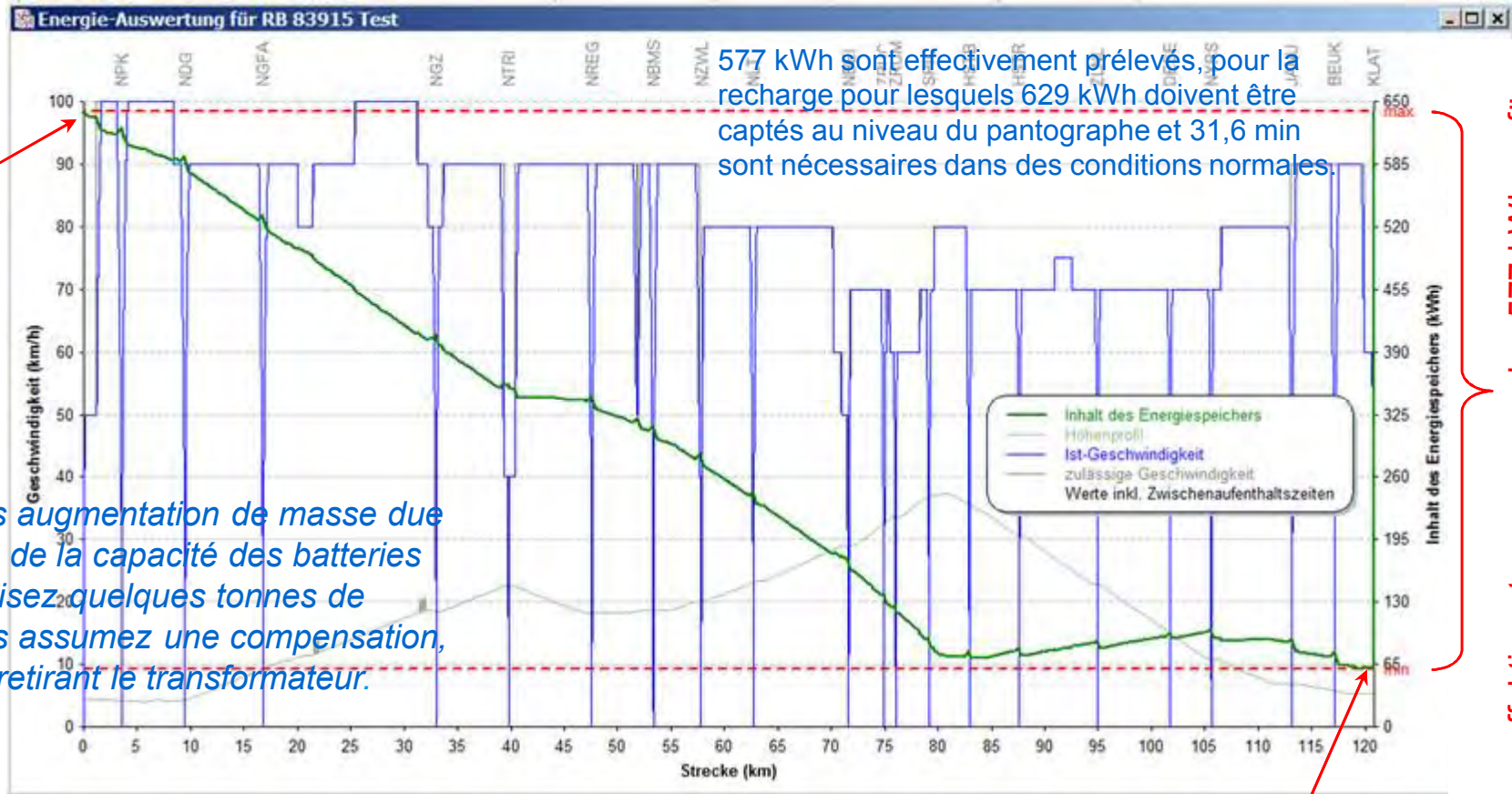
Le véhicule tombe en panne après Bay. Eisenstein (NBEI) avec batteries vides

Fahrzeug bleibt hinter Bay. Eisenstein (NBEI) mit leerem Akku liegen

# Der bayerische Weg La voie suivie par la Bavière

## Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple

- 2. Versuch – von Elektrifizierung zu Elektrifizierung:  
Wieviel Akku-Kapazität würde man für eine durchgehende Fahrt Plattling – Klatovy brauchen?
- 2ème essai - de l'électrification à l'électrification :  
Quelle capacité de batterie serait nécessaire pour un trajet complet Plattling - Klatovy ?



577 kWh sont effectivement prélevés, pour la recharge pour lesquels 629 kWh doivent être captés au niveau du pantographe et 31,6 min sont nécessaires dans des conditions normales.

bei Fahrtbeginn mit 640 kWh..  
640 kWh au départ

- ici, en gros, sans augmentation de masse due à l'augmentation de la capacité des batteries
- soit vous introduisez quelques tonnes de charge, soit vous assumez une compensation, par exemple en retirant le transformateur.

effektiv entnommen werden 577 kWh, wofür 629 kWh zum Wiederaufladen am Stomabnehmer aufgewandt werden müssen und 31,6 min unter Normalbedingungen notwendig sind

- hier überschläglich ohne Massezuwachs aus erhöhter Kapazität
- entweder einige Tonnen Last eingeben oder Annahme der Kompensation z. B. durch Ausbau des Transformators

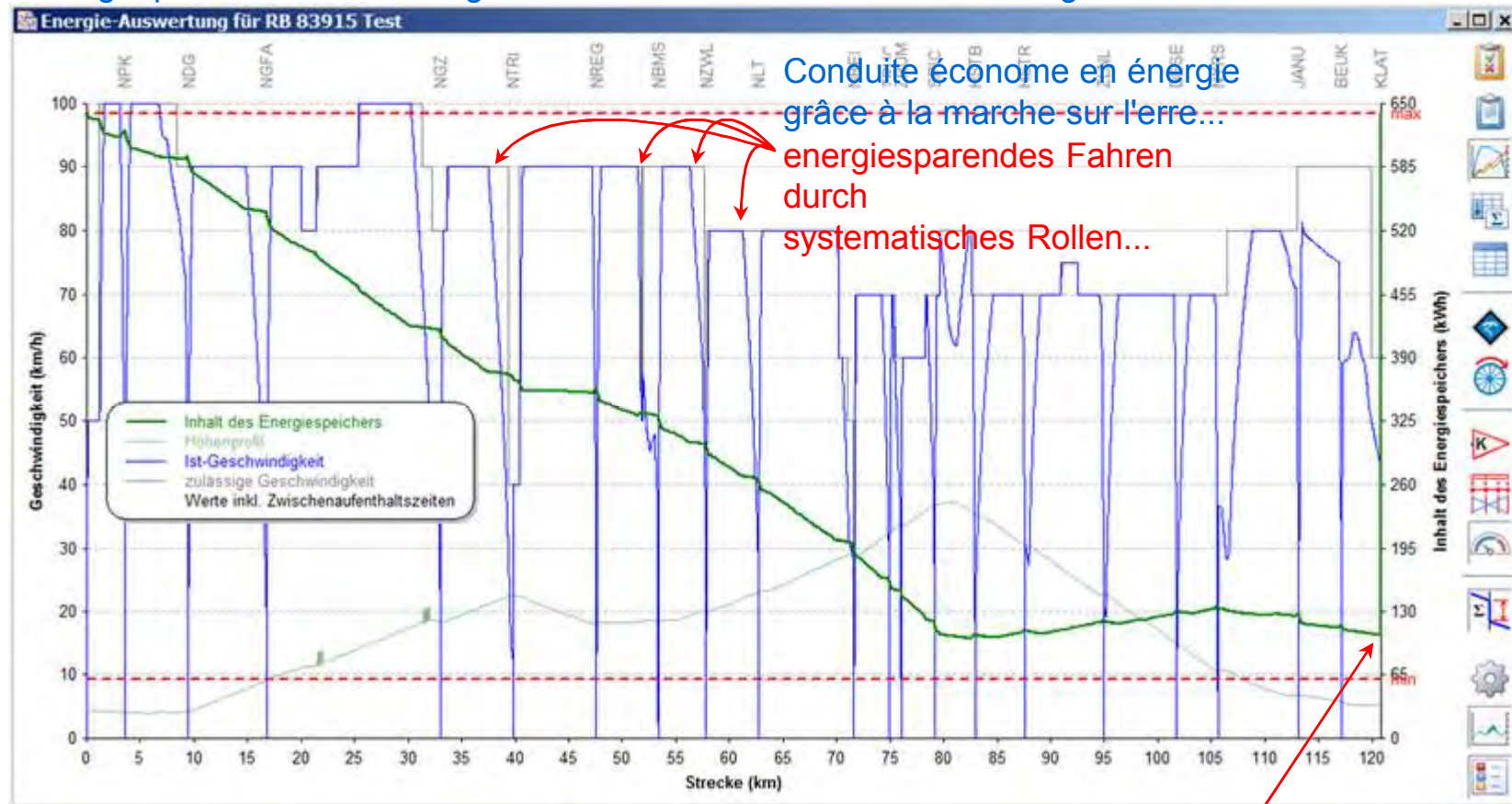
...wird -- bei kürzester Fahrzeit – der minimal zulässige Füllstand gerade nichtunterschritten

...on ne va pas en dessous du niveau de charge minimum autorisé - avec le temps de parcours le plus court.

# Der bayerische Weg La voie suivie par la Bavière

## Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple

- 3. Versuch – Abschätzung des Spielraums:  
Wieviel Energieumsatz lässt sich durch energiesparendes Fahren sparen?
- 3ème essai - estimation de possibilités :  
Combien d'énergie peut-on économiser grâce à une conduite économe en énergie ?



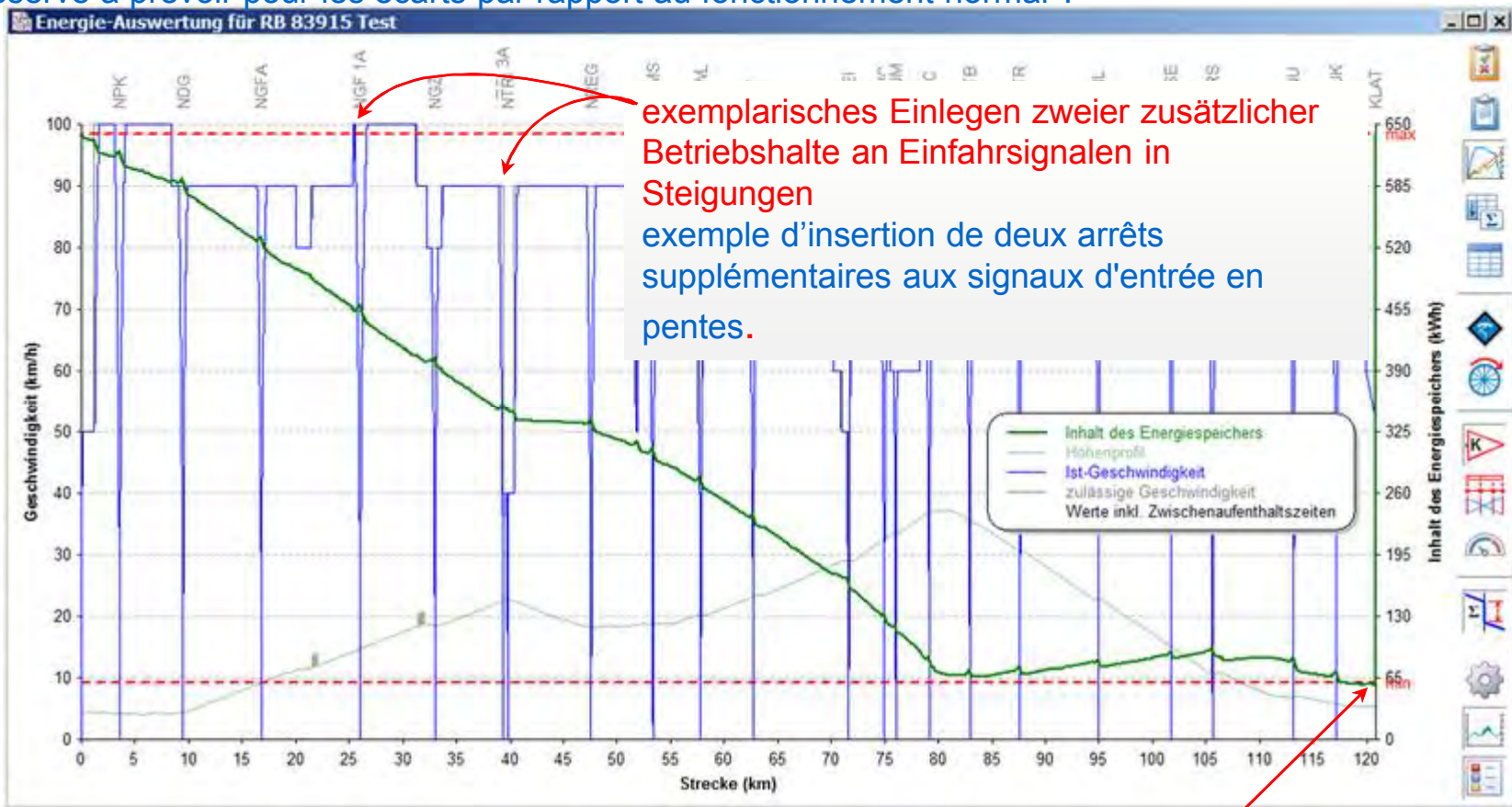
...führt zur Einsparung von 46 kWh brutto (7%)  
cela conduit à une économie brute de 46 kWh (7%)

# Der bayerische Weg La voie suivie par la Bavière

## Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple

- 4. Versuch – Abschätzung des Spielraums:  
Wieviel Reserve für Abweichungen vom Regelbetrieb sollte vorgesehen werden?
- 4ème essai - estimation de possibilités :  
Quelle réserve à prévoir pour les écarts par rapport au fonctionnement normal ?

Les valeurs énergétiques sont relativement stables face aux écarts par rapport au fonctionnement normal ; le potentiel d'économies par une conduite économe en énergie est au moins 10 fois supérieur à la demande en énergie supplémentaire dans le cas des perturbations considérées ici.



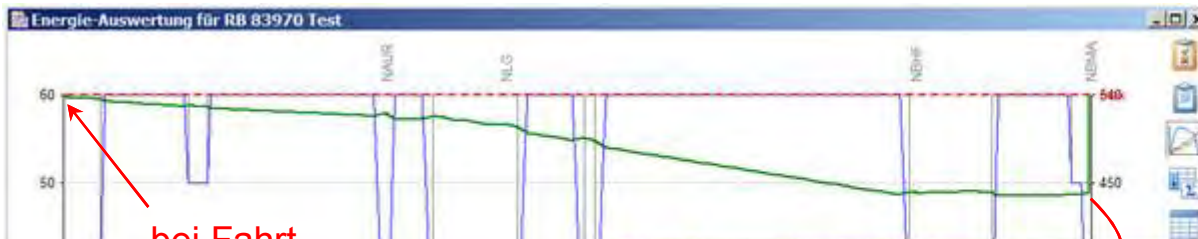
Die Energiewerte sind relativ stabil gegen Abweichungen vom Regelbetrieb;  
das Einsparpotential durch energiesparendes Fahren ist mind. 10fach

Der notwendige Speicherinhalt steigt um 3,4 kWh (<1%) auf effektiv 580 kWh. La capacité de stockage nécessaire augmente de 3,4 kWh (<1%) pour 580 kWh utilisables

# Der bayerische Weg La voie suivie par la Bavière

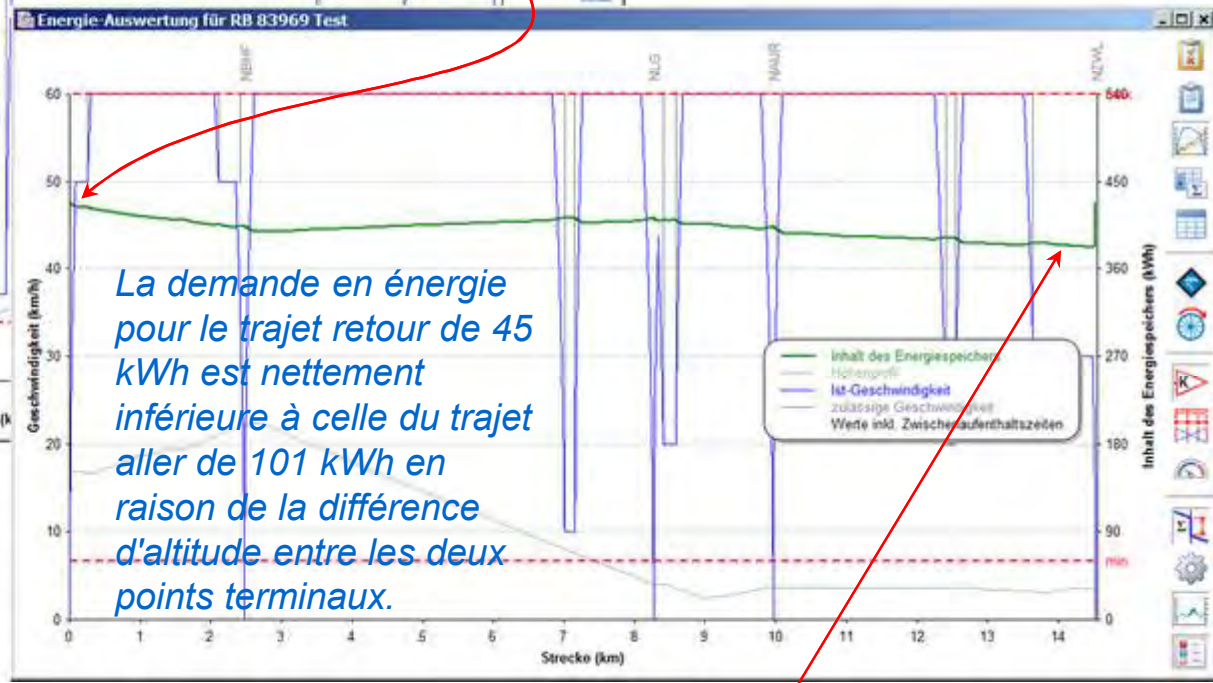
## Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple

- Zwiesel – Bodenmais und zurück mit einer Akku-Ladung?
- Zwiesel - Bodenmais et retour avec une seule charge des batteries ?



bei Fahrtbeginn in Zwiesel mit 540 kWh.  
Avec 540 kWh au départ de Zwiesel

...beträgt der Füllstand bei Ankunft in Bodenmais noch 439 kWh.  
...le niveau de charge à l'arrivée à Bodenmais est encore de 439 kWh.



La demande en énergie pour le trajet retour de 45 kWh est nettement inférieure à celle du trajet aller de 101 kWh en raison de la différence d'altitude entre les deux points terminaux.

Wird nicht geladen, beträgt der Verbrauch während der planmäßigen Wendezeit von 7 min 10,6 kWh, so dass die Rückfahrt mit 428 kWh begonnen wird:  
Si la charge n'est pas effectuée, la consommation pendant le temps de retournement prévu de 7 min est de 10,6 kWh, de sorte que le trajet de retour est entamé avec 428 kWh :

Der Energiebedarf für die Rückfahrt ist mit 45 kWh deutlich niedriger als der der Hinfahrt mit 101 kWh auf Grund der Höhendifferenz der beiden Endpunkte.

Der Füllstand am Ende eines Fahrtenpaars in Zwiesel beträgt 383 kWh, die Zeit zum Wiederaufladen unter Normalbedingungen 8,4 min.  
Le niveau de charge à Zwiesel à la fin d'un AR est de 383 kWh, le temps de recharge dans des conditions normales est de 8,4 min.

# Der bayerische Weg La voie suivie par la Bavière

## Die Waldbahn – Ein Beispiel. Le Waldbahn- un exemple

- Zusammenfassung der Energieberechnungen mit FBS:
- Résumé des calculs énergétiques avec FBS :

Bilan énergie Test véhicule 1	Temps de parcours le plus court		Marche économique	
Relation	Aux batteries	Au pantographe	Aux batteries	Au pantographe
Energieumsatz Testfahr- zeug 1	kürzeste Fahrzeit		energiesparendes Fahren	
Relation	im Energie- speicher	am Stromab- nehmer	im Energie- speicher	am Stromab- nehmer
Plattling – Klatovy	576,6 kWh	628,8 kWh	533,3 kWh	581,6 kWh
Plattling – Bay. Eisenstein	463,4 kWh	505,4 kWh	440,3 kWh	480,2 kWh
Plattling – Zwiesel	356,0 kWh	388,2 kWh	335,9 kWh	366,4 kWh
Klatovy – Plattling	578,1 kWh	630,5 kWh	526,5 kWh	574,2 kWh
Klatovy – Bay. Eisenstein	354,5 kWh	386,7 kWh	332,8 kWh	362,9 kWh
Klatovy – Zwiesel	371,7 kWh	405,4 kWh	347,2 kWh	378,7 kWh
Zwiesel – Bodenmais	100,7 kWh	109,8 kWh	98,0 kWh	106,9 kWh
Bodenmais – Zwiesel	44,9 kWh	48,9 kWh	41,9 kWh	45,8 kWh
Zwiesel – Grafenau	149,6 kWh	163,2 kWh	146,9 kWh	161,3 kWh
Grafenau – Zwiesel	149,2 kWh	162,8 kWh	149,0 kWh	162,5 kWh

- Auf Basis dieser Zwischenergebnisse werden einige technische Lösungen geprüft und entschieden (Umsetzbarkeit erhöhte Speicherkapazität, ggf. Massezuwachs, Ladetechnologie) und die Rechnungen danach in einem Iterationsschritt wiederholt.
- Sur la base de ces résultats intermédiaires, certaines solutions techniques sont testées et décidées (faisabilité d'une augmentation de la capacité de stockage, augmentation de la masse le cas échéant, technologie de charge) et les calculs sont ensuite répétés dans une étape d'itération.

# ***Bahnland Bayern***

*Zeit für Dich*