

Willkommen

~500'000 kWh/ pro Jahr?



- ~125 Haushalte
- ~1'666 Kühlschänke
- ~2'800 PC
- ~5'600 Fernsehgeräte
- ~500'000 Kleider-Waschvorgänge
- ~5'000'000 Tassen Kaffee

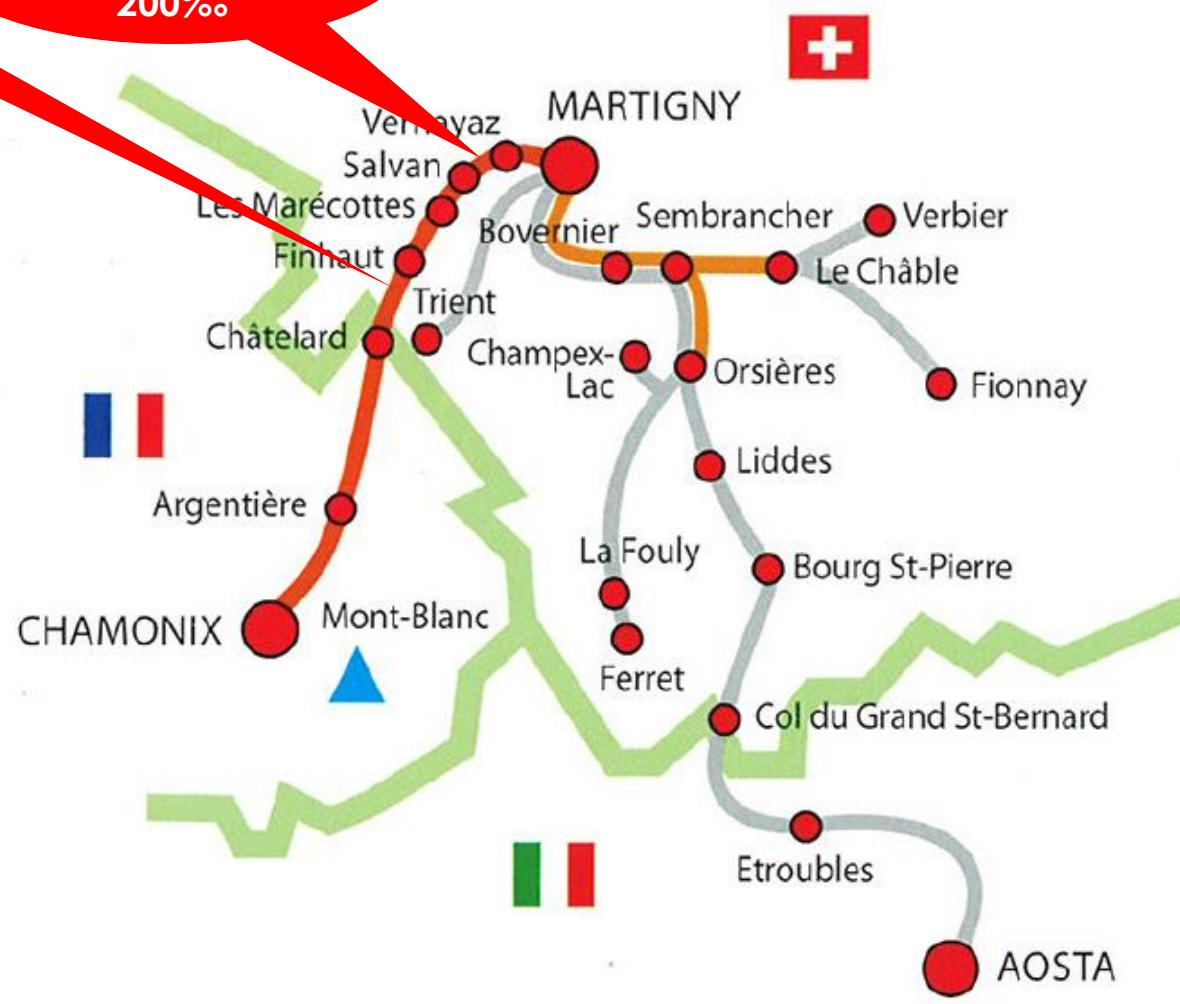


Rekuperation der Bremsenergie beim Mont-Blanc Express

VöV AGr Energieeffizienz - Schwerpunkt Infrastruktur (01/19)
22.03.2019 - Bern

CH:
18 km

Abschnitt mit
Zahnstange
200%.



Mont-Blanc Express
Saint-Bernard Express



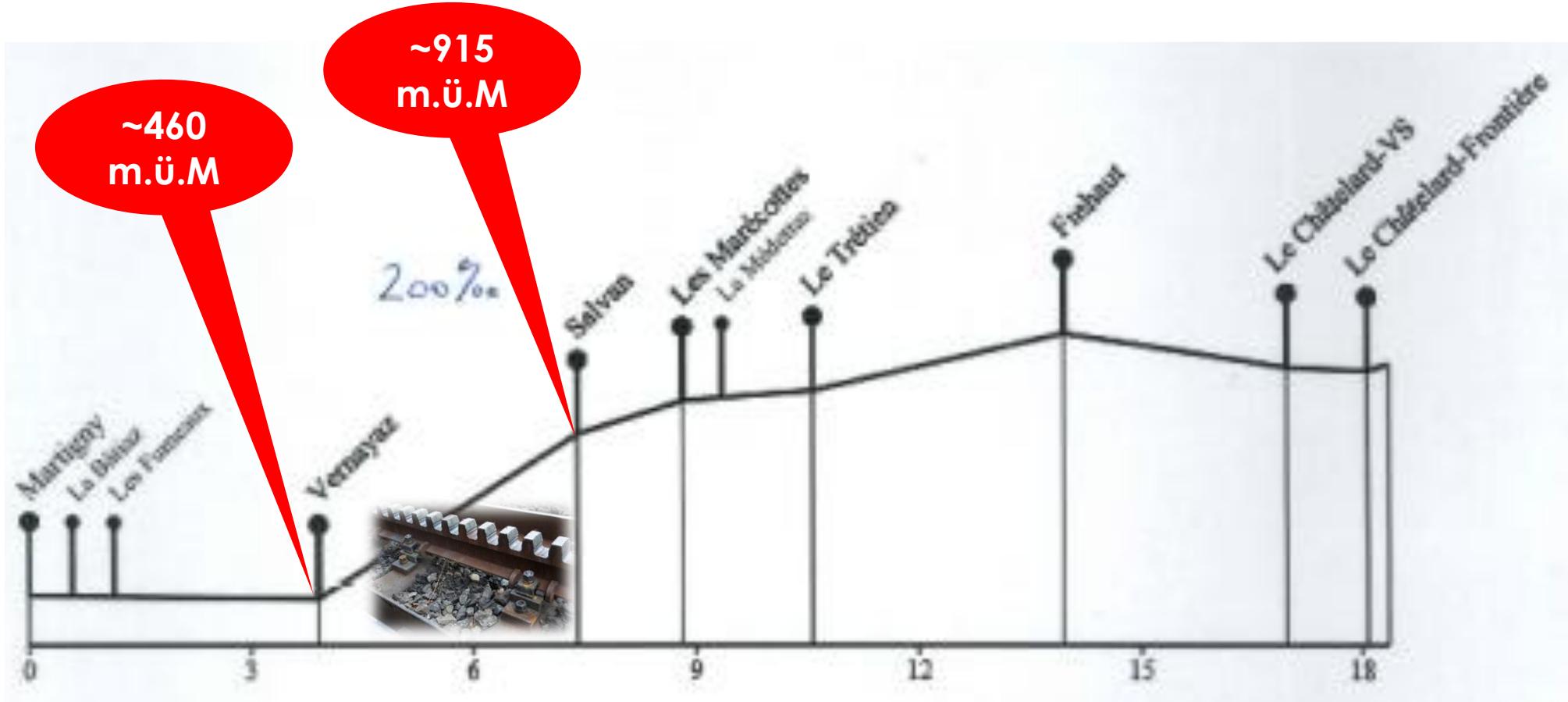
Car





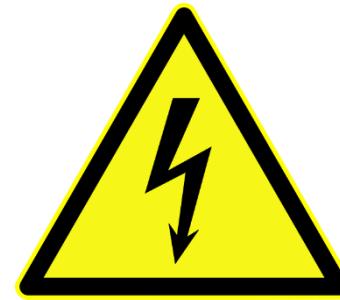
Streckenprofil

- Höhendifferenz ~455 m zwischen Salvan und Vernayaz



Eigenschaften der Strecke

- Traktionsstromversorgung durch seitliche Stromschiene und Oberleitung
- 850 V DC
- 3 Unterwerke



Ausgangspunkte für das Projekt



- Umweltpolitik der TMR:
Energieeffizienz!
- Absicht, die Bremsenergie nutzen zu
können
- Mehrere Studien
- Untersuchung verschiedener Varianten
- SETP 2050 & Unterstützung durch das BAV

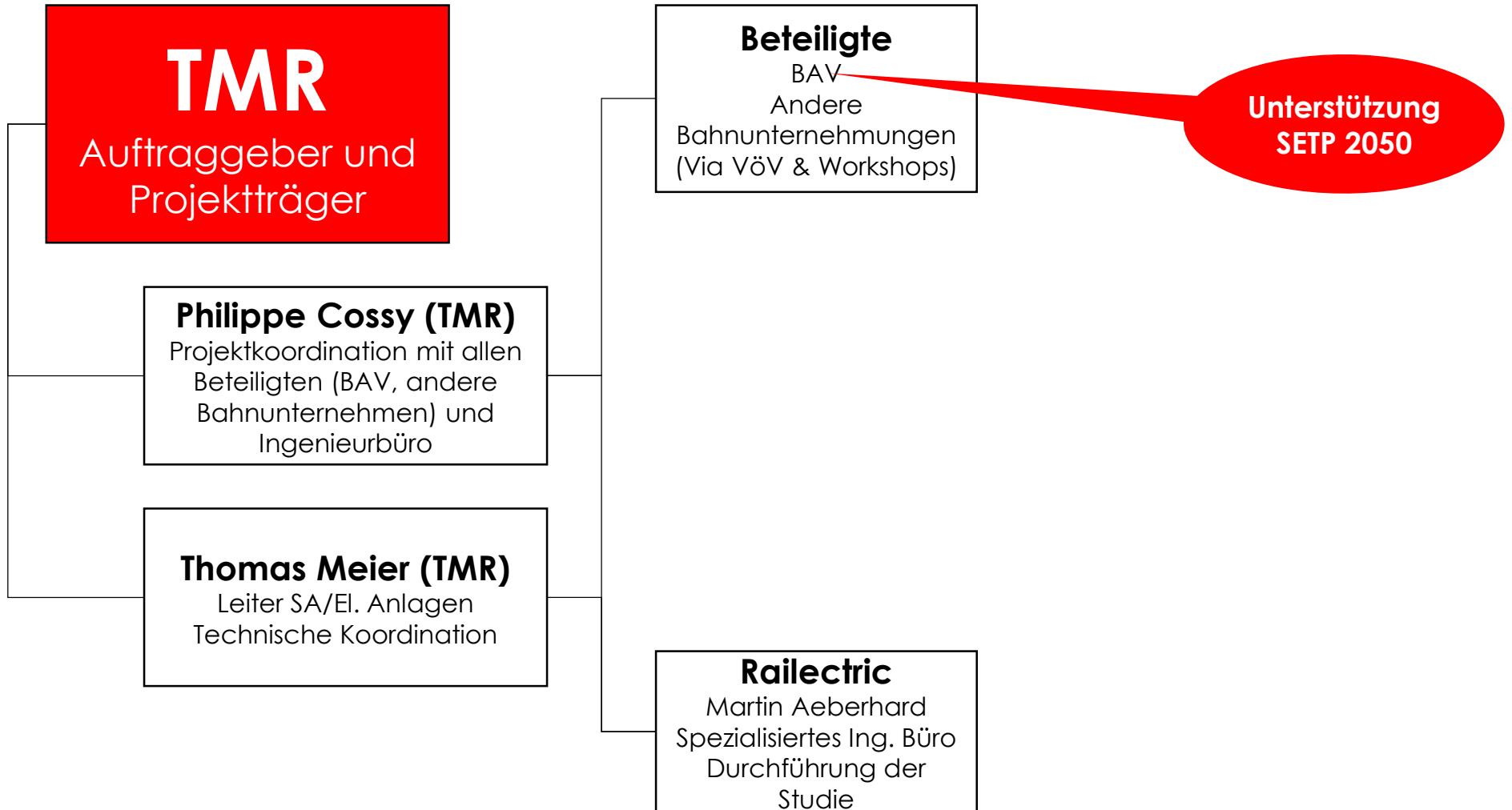
Varianten

Option	Hindernisse
Direkte Nutzung der rekuperierten Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Beim Zeitpunkt maximaler Rekuperation befindet sich der Gegenzug ebenfalls im Gefälle. Der Kreuzungsort müsste geändert werden. • Distanz zwischen Erzeuger und Verbraucher, sowie elektrischer Widerstand der (Stahl)-Stromschienen = zu grosser Spannungsabfall.
Wiederverkauf der elektrischen Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Notwendigkeit eines rückspeisefähigen Unterwerks • Zu tiefe Vergütung für die zurückgegebene Energie • Fluktuierende Energieerzeugung, kaum Interesse seitens der Käufer
Speicherung auf den Fahrzeugen	<ul style="list-style-type: none"> • Zu wenig Platz auf den Fahrzeugen • Notwendigkeit einer Neu-Zulassung • Zusätzliches Gewicht, bei einer Zahnradbahn besonders unerwünscht

Projektziele

- Mittels Simulation: Bestimmung der notwendigen Speicherkapazität und eines geeigneten Standorts für einen stationären Speicher. Erstellen einer funktionalen Spezifikation.
- Einholen von Richtofferten für geeignete Speichersysteme gemäss Spezifikation bei Firmen welche geeignete Produkte anbieten können.
- Untersuchungsergebnisse allen Interessenten zur Verfügung stellen.

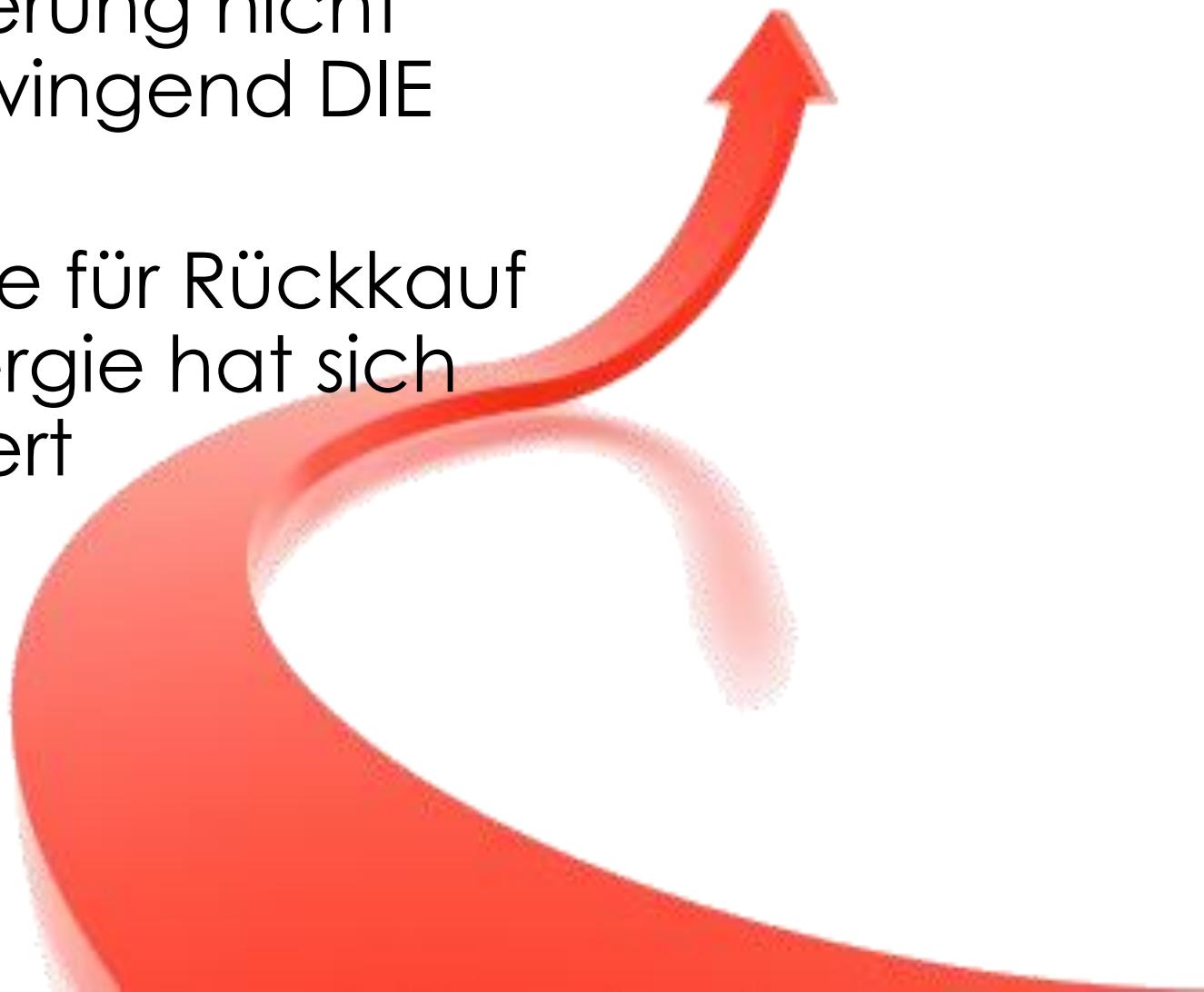
Organigramm



Überprüfung der Ziele!



- Speicherung nicht mehr zwingend DIE Lösung
- Interesse für Rückkauf der Energie hat sich geändert



Rekuperation bei Zahnradbahnen

Eine besondere Herausforderung...

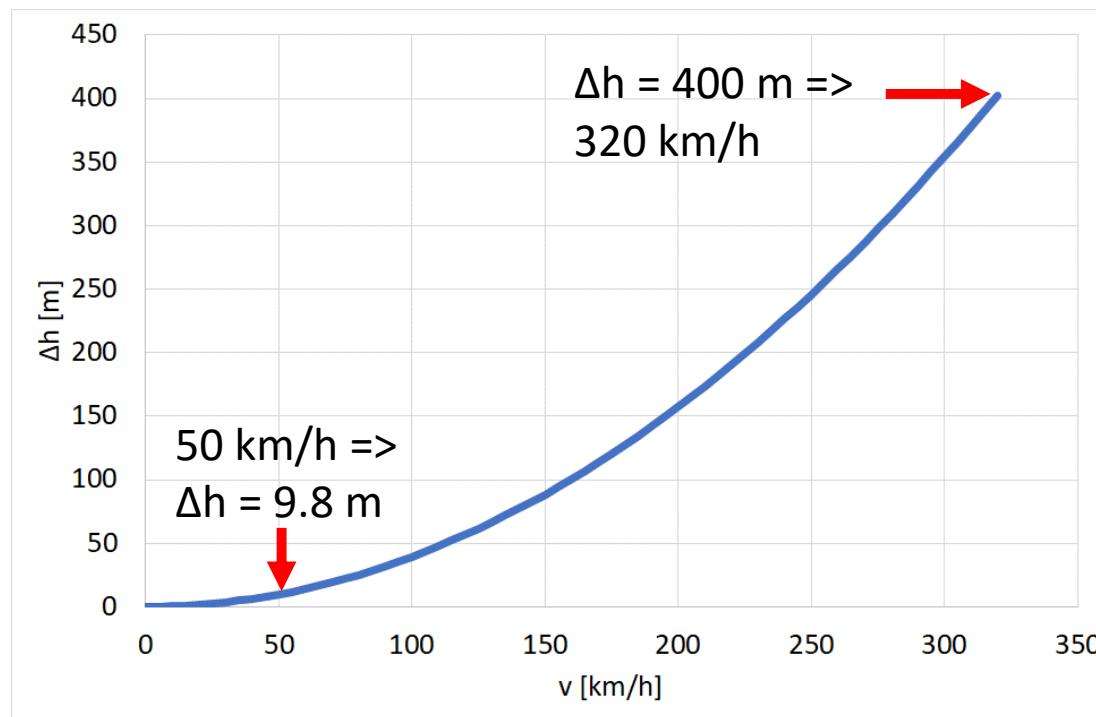


$$\text{Kinetische Energie: } E = \frac{1}{2} * m * v^2$$

$$=$$

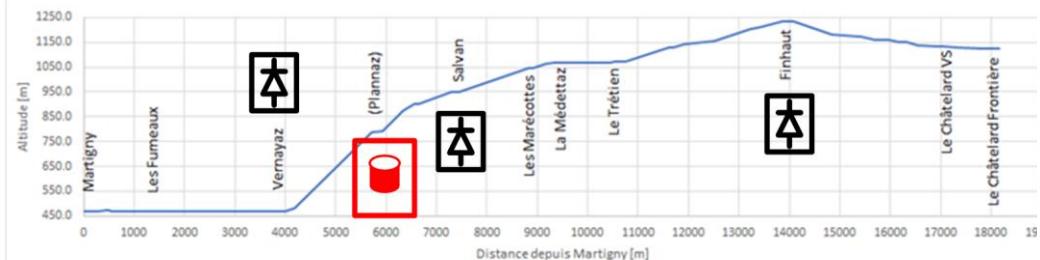
$$\Delta h = \frac{v^2}{2 * g}$$

$$\text{Potentielle Energie: } E = m * g * \Delta h$$

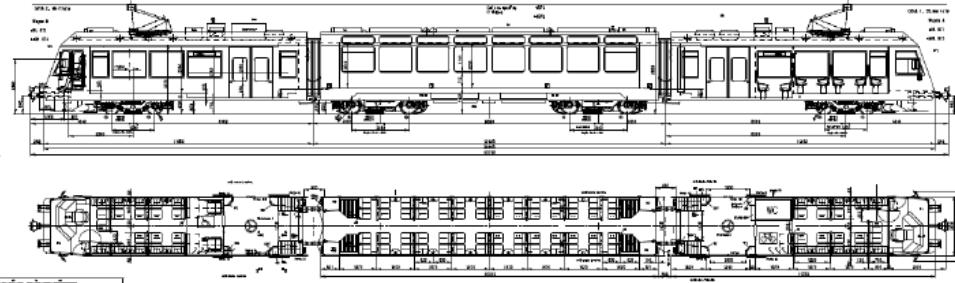


Simulationsmodell (Tool µPAS/ZFS)

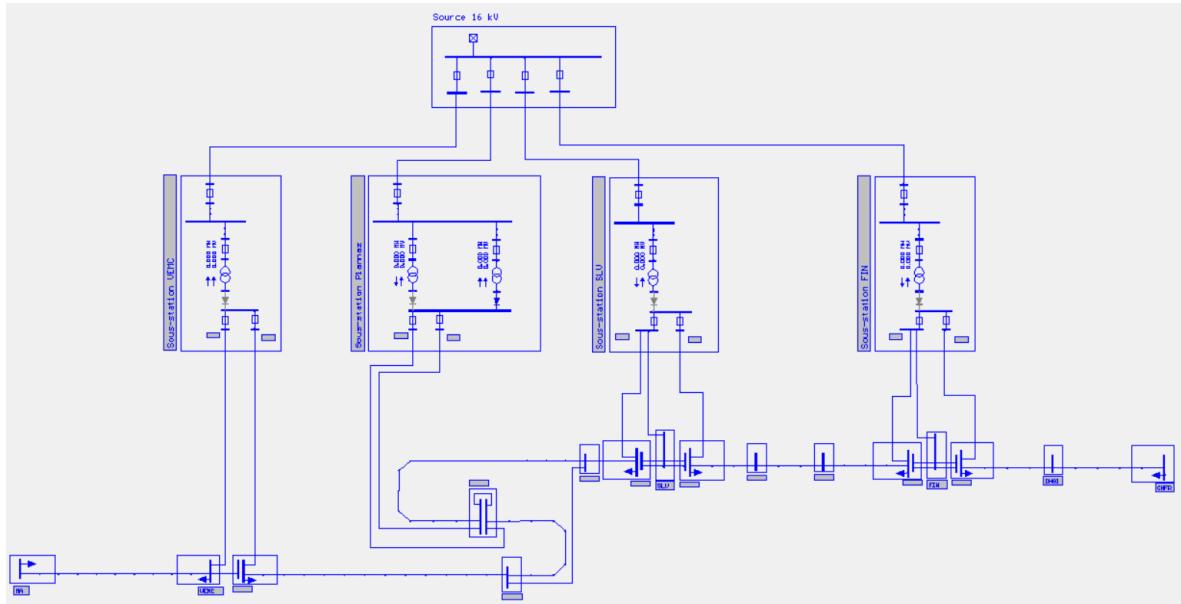
Streckendaten



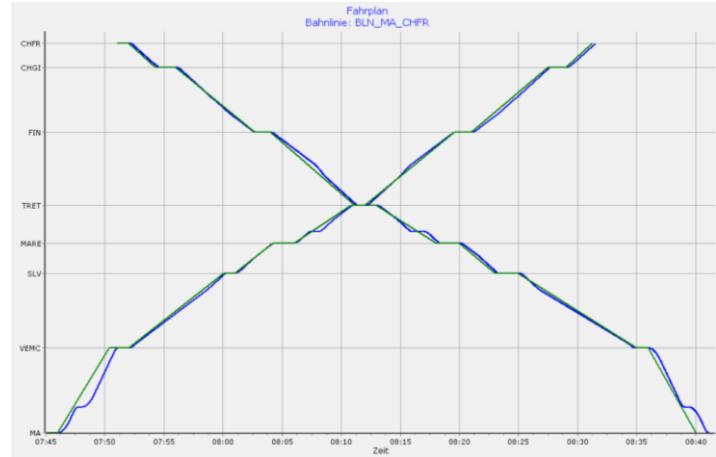
Rollmaterial



Speiseschema

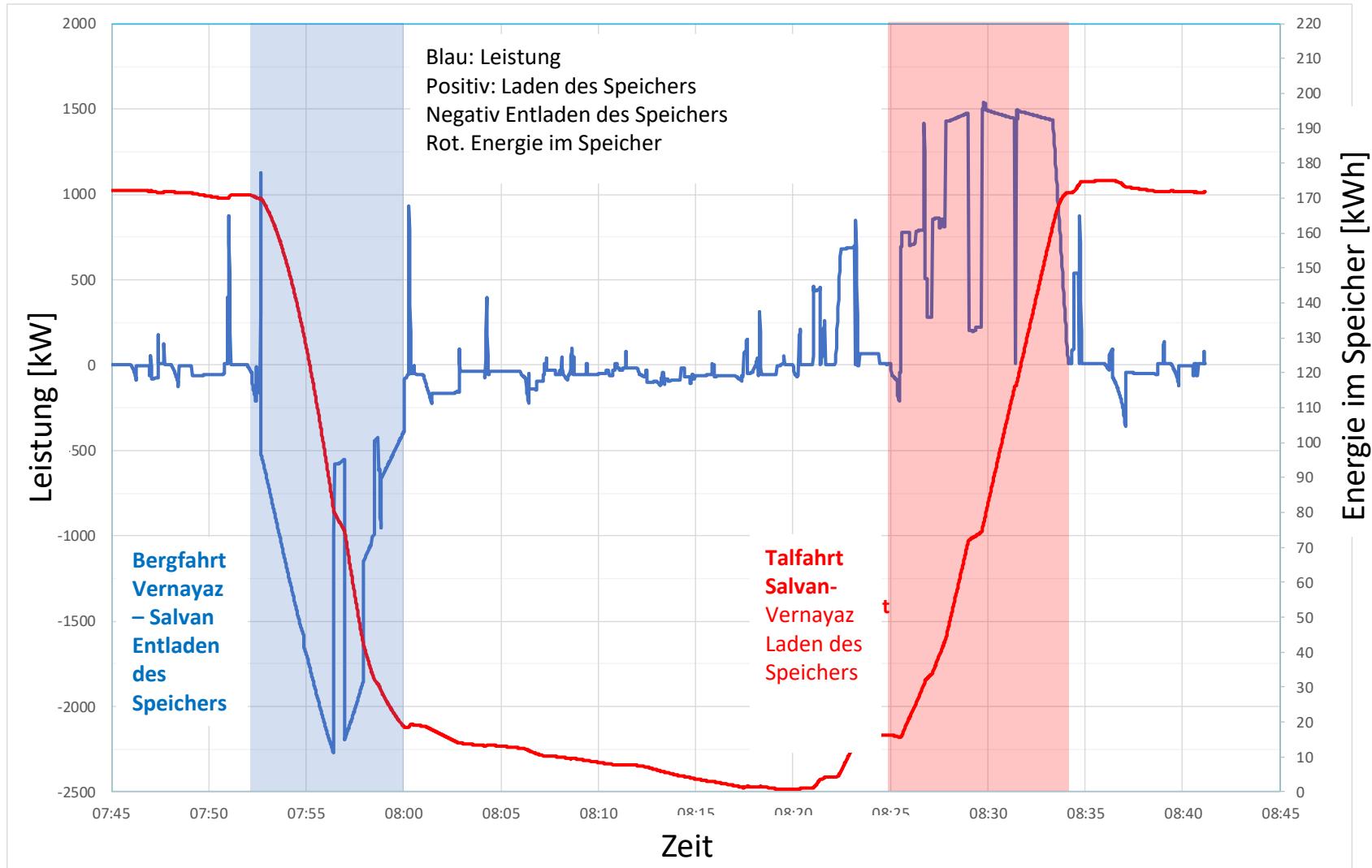


Fahrplan



Ergebnisse der Simulationen

1 Beispiel, zwei Z870 in Vielfachsteuerung, maximale Zuladung



Einflussfaktoren



Zum Beispiel...



... Beladung der Züge

Einflussfaktoren

Das Rekuperations-Potential ist abhängig von verschiedenen Faktoren :

- Zugskomposition (Einfach- oder Doppeltraktion)
- Typ des Rollmaterials (Z800 oder Z870)
- Beladung (Anzahl Passagiere)
- Hilfsbetriebe-Leistung (Hilfsbetriebe Traktion / Heizung / Klimatisierung)

- Um ein realistisches Bild zu erlangen, ist eine grössere Anzahl Simulationen erforderlich

Einflussfaktoren



Z800 US

masse vide: 72 t

2700 aller retour par an

	Puissance auxiliaire minimale (45%) 14 kW (20% Ptot)	Puissance auxiliaire moyenne (45%) 35 kW (50% Ptot)	Puissance auxiliaire maximale (10%) 69 kW
Charge minimale 750 kg (60%) 2082 A/R (10 personnes)	A1 937 circulations A/R par an	A2 937 circulations A/R par an	A3 208 circulations A/R par an
Charge moyenne 6'000 kg (20%) 694 A/R (80 personnes)	A4 312 circulations A/R par an	A5 312 circulations A/R par an	A6 70 circulations A/R par an
Charge maximale 13'350 kg (20%) 694 A/R (178 personnes)	A7 312 circulations A/R par an	A8 312 circulations A/R par an	A9 70 circulations A/R par an

Z800 UM

masse vide: 144 t

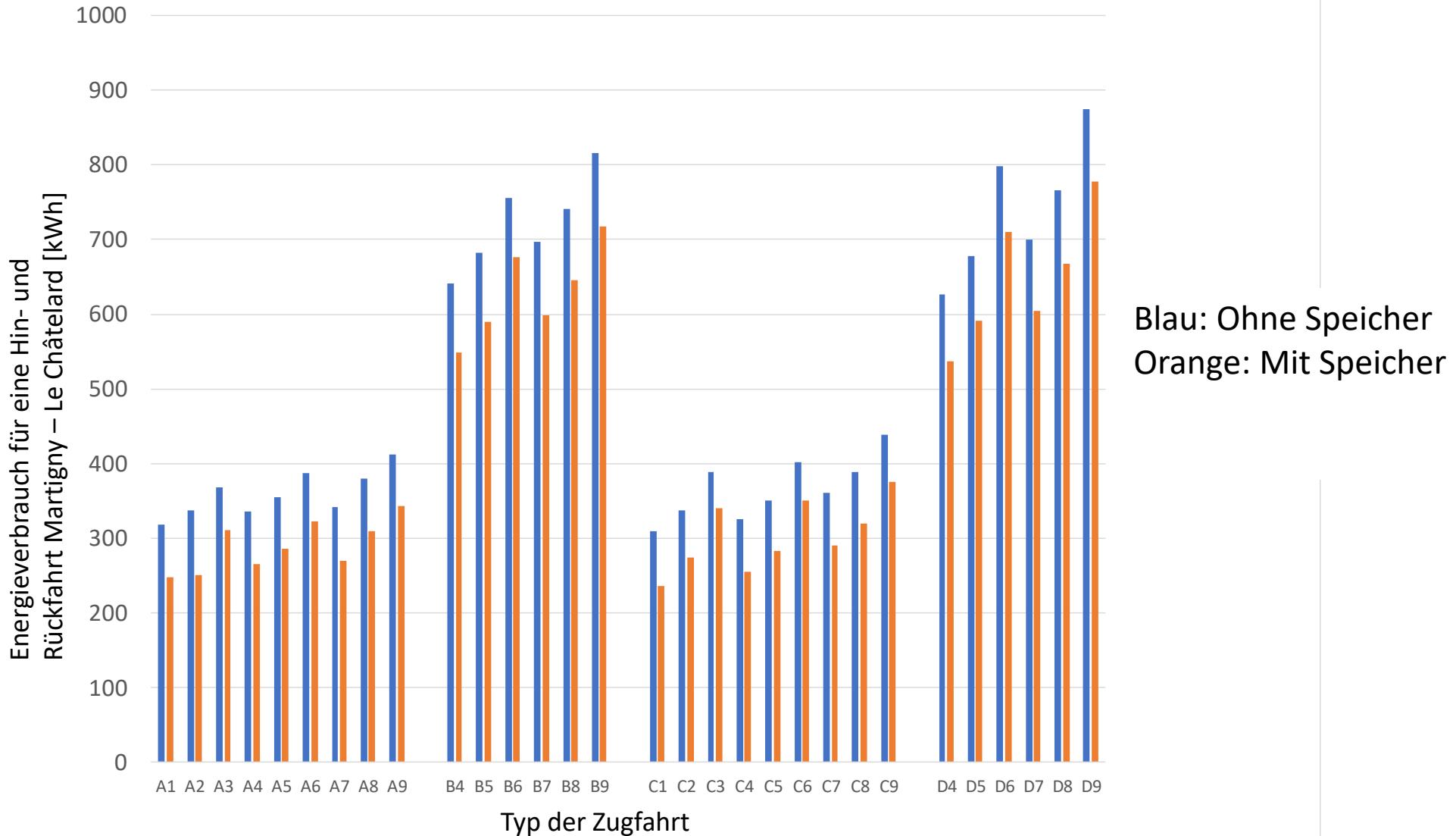
720 aller retour par an

	Puissance auxiliaire minimale (45%) 28 kW (20% Ptot)	Puissance auxiliaire moyenne (45%) 70 kW (50% Ptot)	Puissance auxiliaire maximale (10%) 138 kW
Charge minimale 750 kg (10 personnes)	B1 0 circulations A/R par an	B2 0 circulations A/R par an	B3 0 circulations A/R par an
Charge moyenne 12'000 kg (80%) 576 A/R (160 personnes)	B4 259 circulations A/R par an	B5 259 circulations A/R par an	B6 58 circulations A/R par an
Charge maximale 26'700 kg (20%) 144 A/R (356 personnes)	B7 65 circulations A/R par an	B8 65 circulations A/R par an	B9 14 circulations A/R par an

Und gleiche
Tabellen für die
Z870...

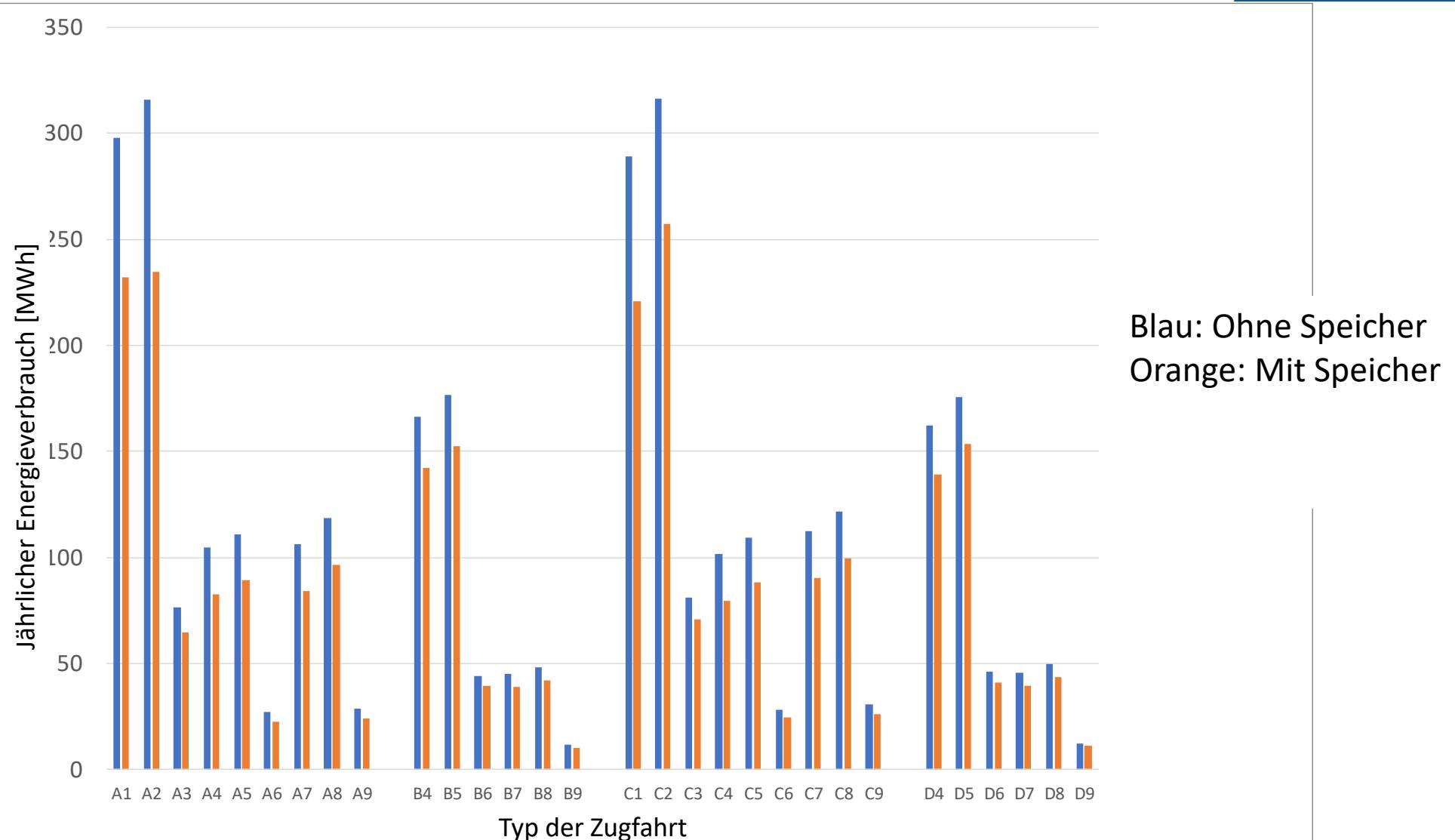
Ergebnisse der Simulationen

Nach Typen der Zugfahrten, Speicherkapazität 90 kWh



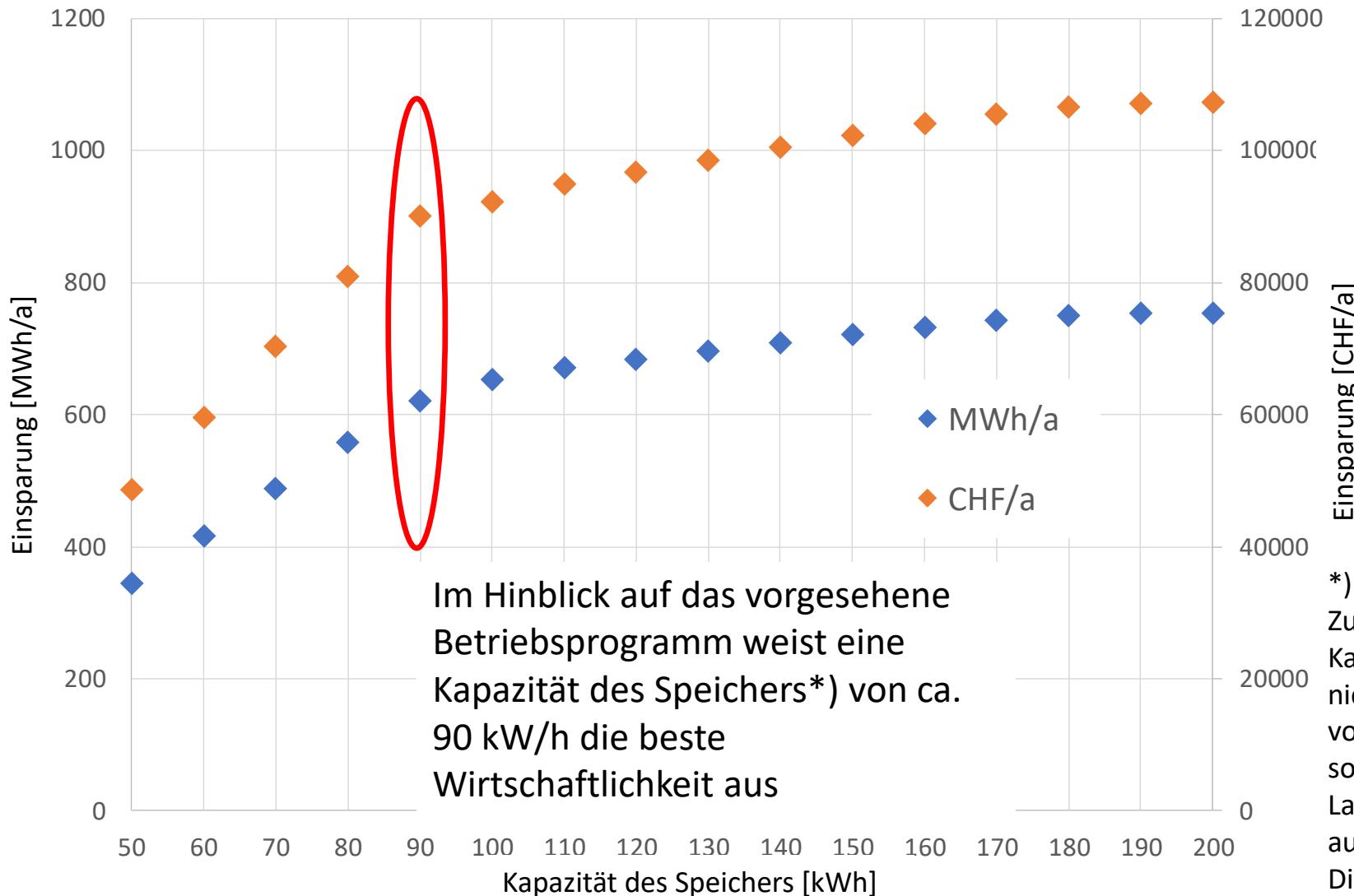
Ergebnisse der Simulationen

Nach Typen der Zugfahrten, **pro Jahr**, Speicherkapazität 90 kWh



Ergebnisse der Simulationen

Einfluss der Speichergrösse



*) In diesem Zusammenhang bedeutet Kapazität des Speichers nicht die physikalisch vorhandene Kapazität, sondern die bei jedem Lade-/Entladezyklus auftretende Energie-Differenz

Vorgeschlagene Lösungen

Seitens Industrie sind folgende Vorschläge eingegangen

- 3 Varianten mit Batteriespeichern
- 1 Variante mit Schwungradspeicher
- 1 Variante eines Wechselrichters, welcher parallel zum vorhanden UW Vernayaz geschaltet würde (dieses wird dadurch reversibel)

Batteriespeicher

➤ Investitionskosten

Kosten für Tiefbau, Transport und Installation eingeschlossen

1.1 – 2.1 MCHF

➤ Lebensdauer der Batterien

3.8 – 14 Jahre

➤ Kosten für Batterie-Ersatz

520 – 600 kCHF

➤ Kosten für Batterie-Recycling (pro Austausch)

15 - 25 kCHF

➤ System-Wirkungsgrad

Stromrichter 96 %, Batterie 90 %

84.6 %

➤ Zusätzlich Abschätzung der Kosten für Unterhalt, Heizung/Klimatisierung

Schwungradspeicher



- Investitionskosten 3.5 MCHF
Kosten für Tiefbau, Transport und Installation eingeschlossen
 - Lebensdauer Hauptkomponenten ≥ 25 Jahre
 - System-Wirkungsgrad 82 %
 - Zusätzlich Abschätzung der Kosten für Unterhalt, Kühlung

Wechselrichter

Parallel zum Gleichrichter-Unterwerk Vernayaz



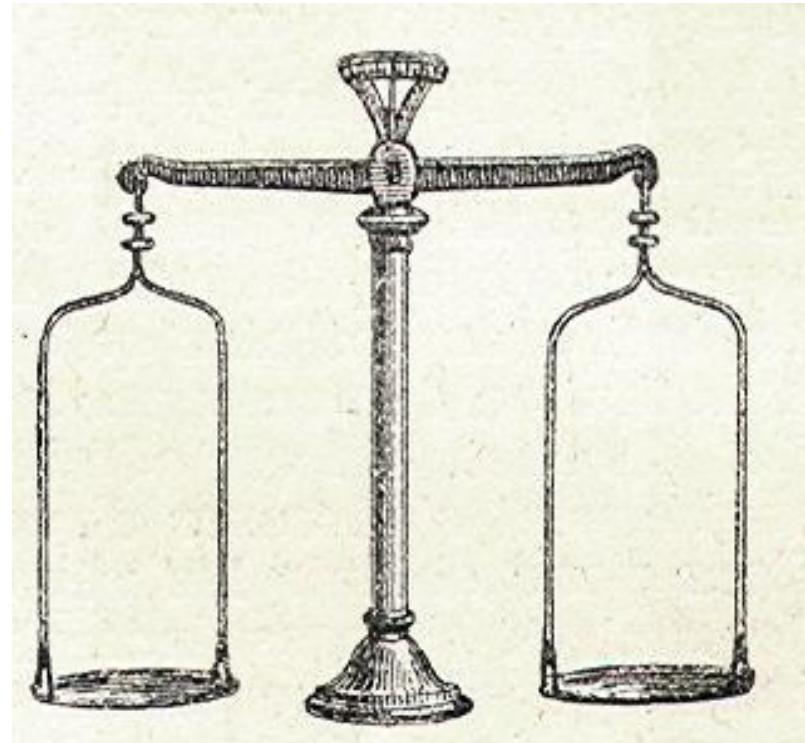
- Investitionskosten
MCHF
Kosten für Tiefbau, Transport und Installation eingeschlossen 0.915
- Lebensdauer Hauptkomponenten ≥ 25 ans
- System-Wirkungsgrad 97 %
- Zusätzlich Abschätzung der Kosten für Unterhalt,
Kühlung
- Container mit zwei Systemen à je 750 kW, mit der Option, das zweite
System erst später nachzurüsten (im folgenden wird aber immer davon
ausgegangen, dass von Anfang an 2 x 750 kW ausgerüstet werden)
- Inklusive zusätzlichem Abgangsfeld 16 kV
- Optional auch nutzbar als Blindleistungskompensator auf der 16-kV-Seite

Life Cycle Costs (LCC)



Investitionskosten

Unterhalt / Ersatz
von Komponenten
(insbesondere der
Batterien)



Einsparung
Energiekosten

Life Cycle Costs (LCC)



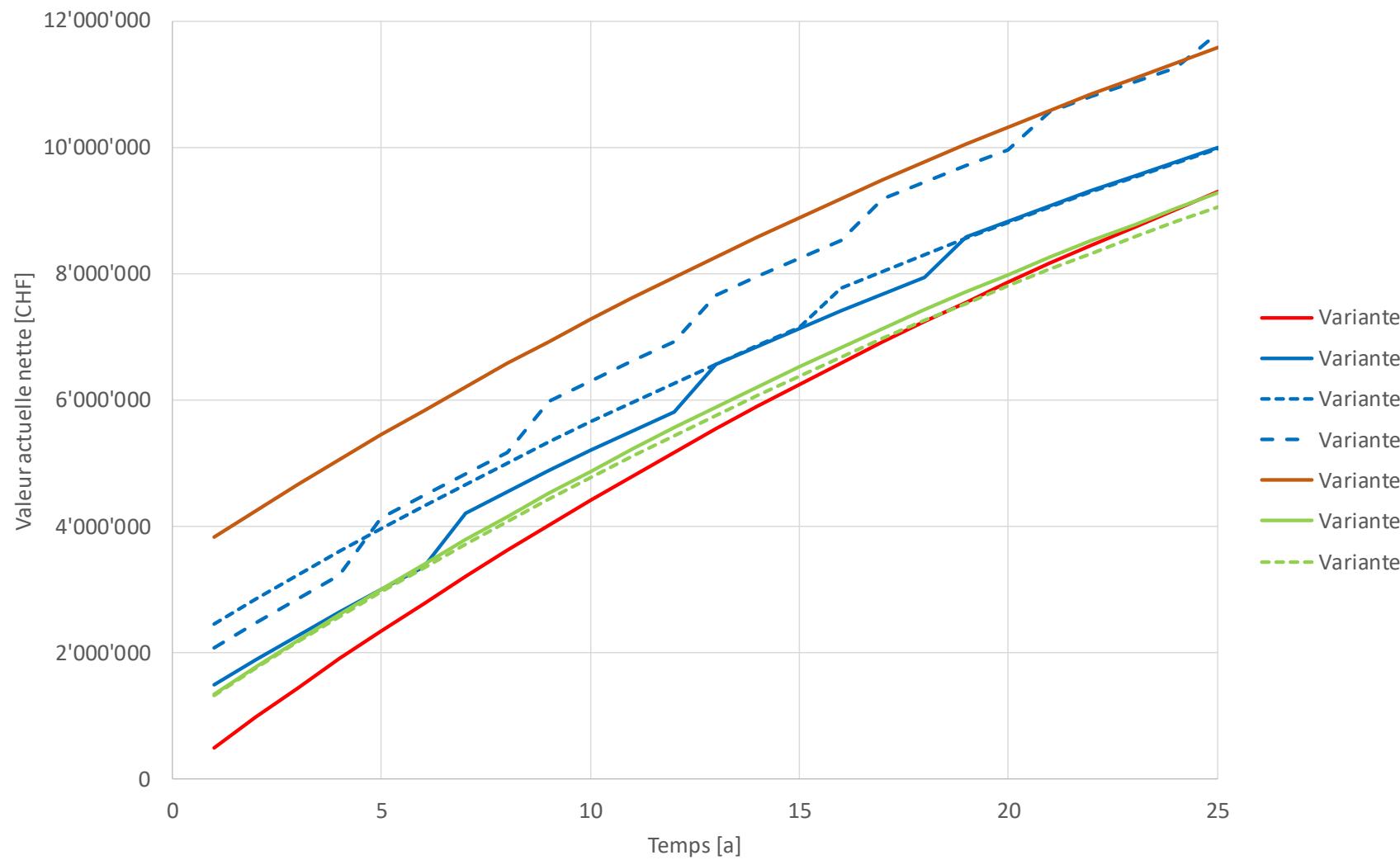
Für alle Varianten gemeinsame Annahmen

- System-Lebensdauer: 25 ans
- Technischer Zinssatz: 2.5 %
- Kosten für Energiebeschaffung
(inkl. Kosten Netznutzung): 0.15 CHF/kWh
- Rückverkauf der Energie
(inkl. Kosten Netznutzung): 0.05 CHF/kWh
- Wechselkurs: 1.15 CHF/Euro

LCC Ergebnisse



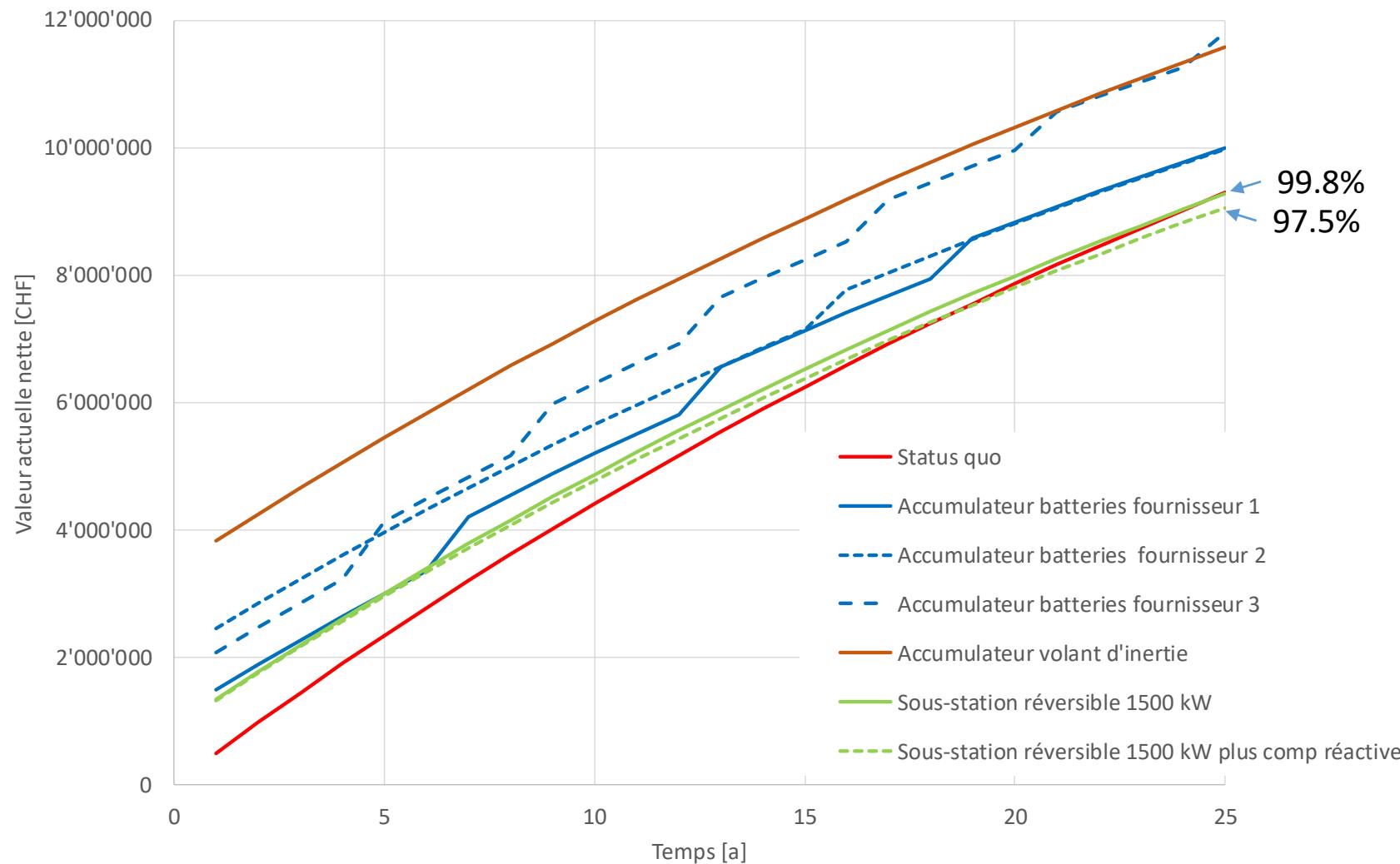
LCC 25 ans



LCC Résultats (was sich hinter den Varianten verbirgt)



LCC 25 ans

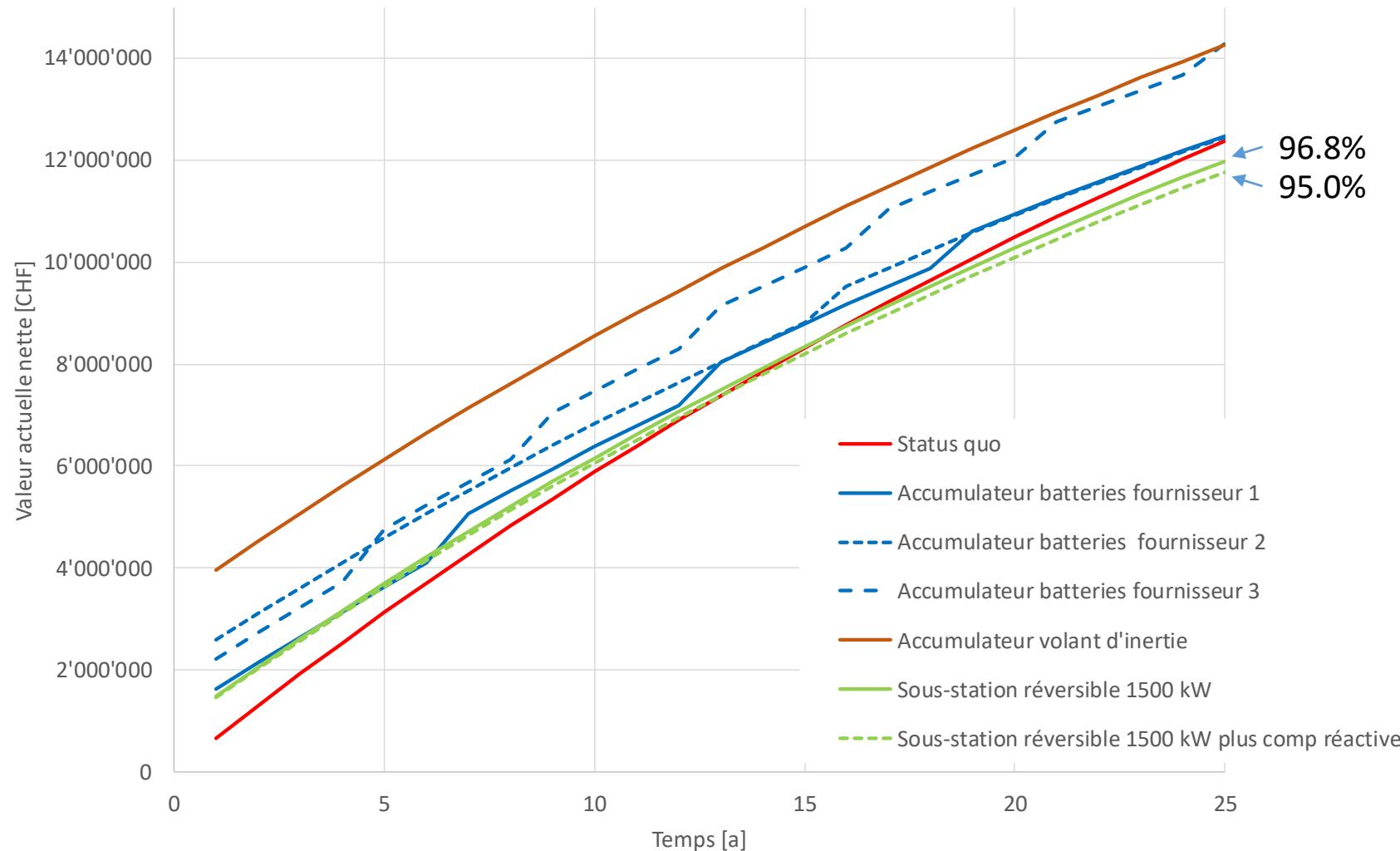


LCC Sensitivitätsanalyse

Energie-Einkauf 0.15 -> 0.20 CHF/kWh, Energie-Verkauf 0.05 ->
0.07 CHF/kWh



LCC 25 ans



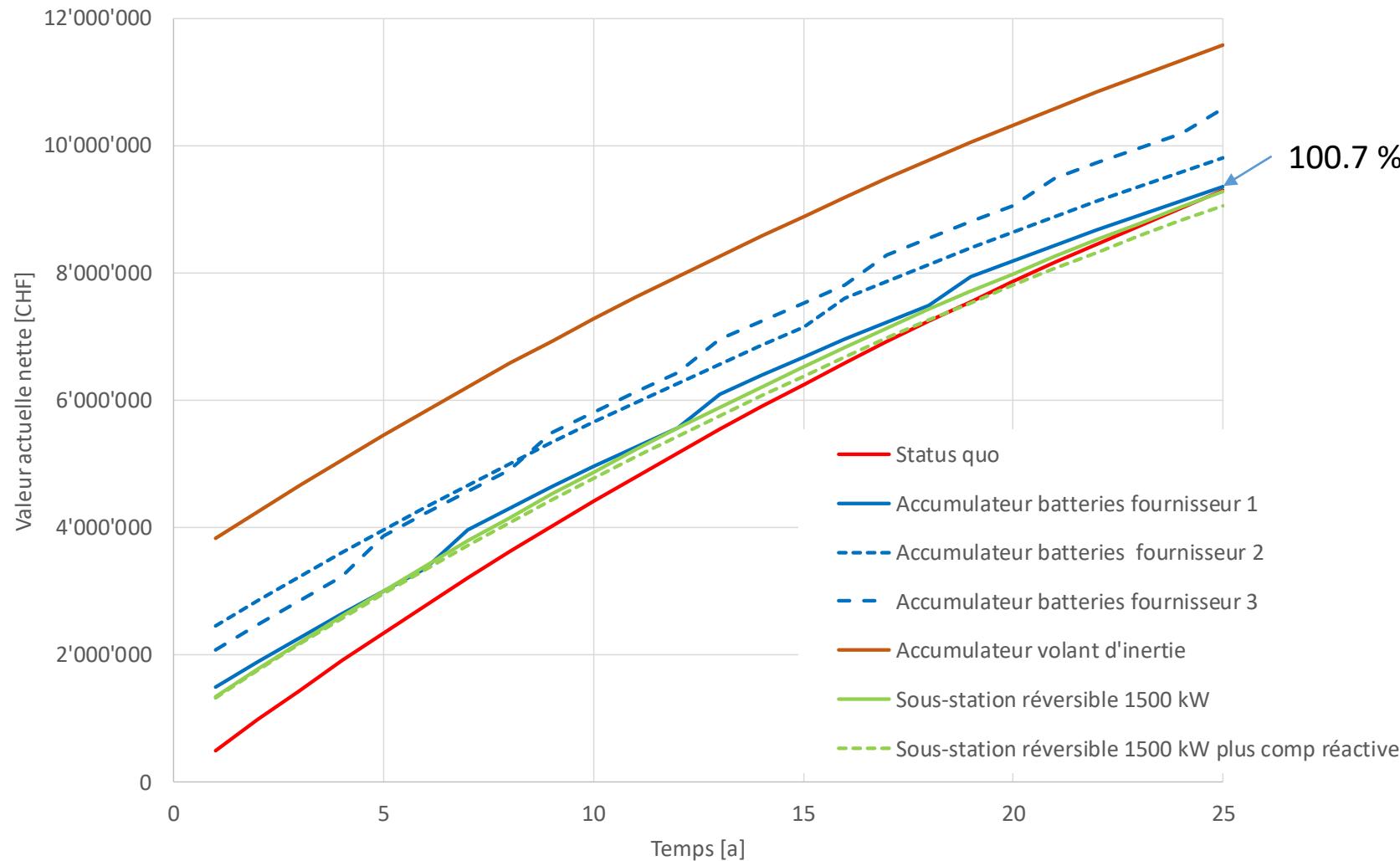
LCC Sensitivitätsanalyse

Energie-Einkauf 15 CHF/kWh, Energie-Verkauf 0.05 CHF/kWh

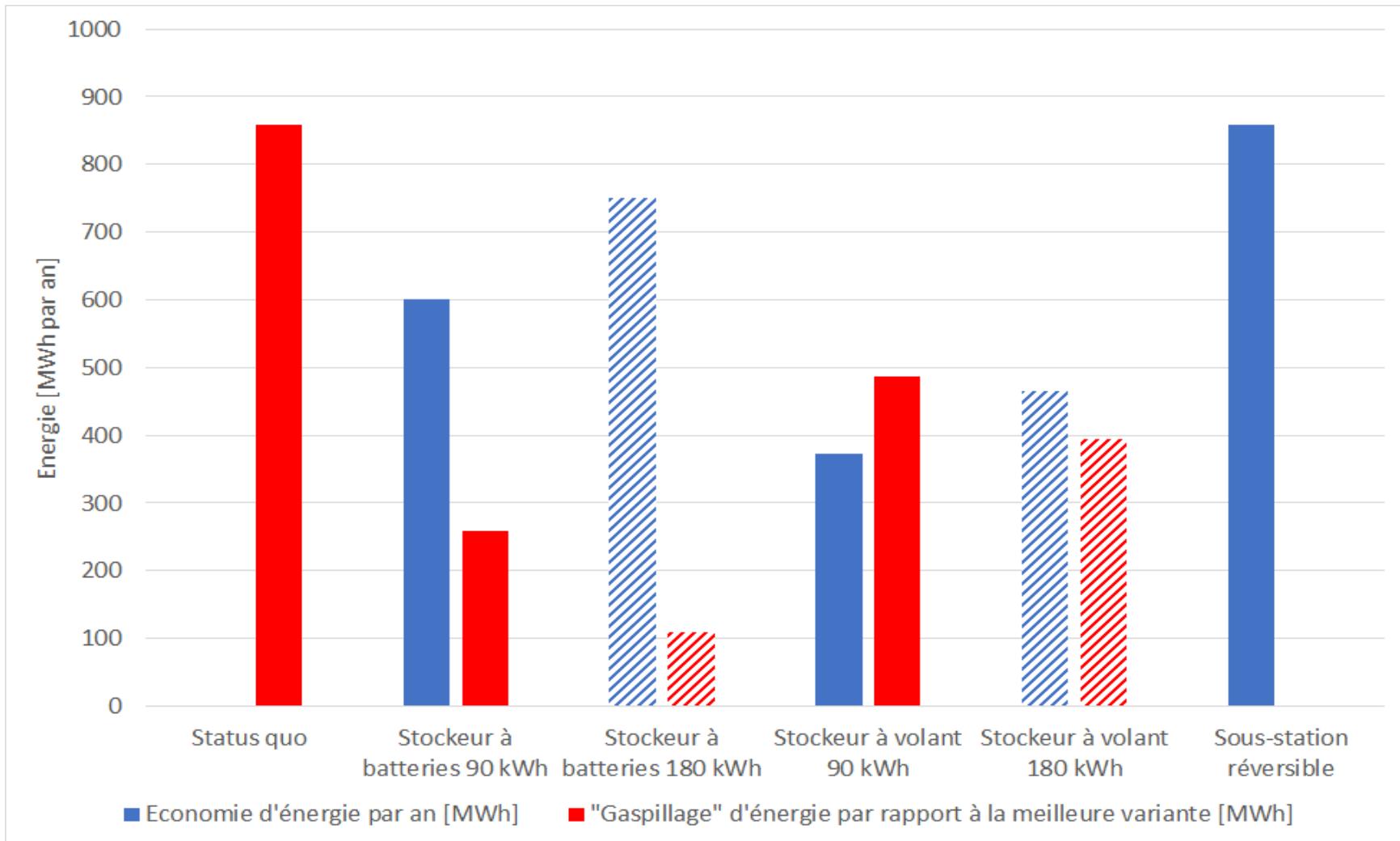
Kosten für Batterieersatz um 50% reduziert



LCC 25 ans



Abgesehen von den finanziellen Aspekten...



Abgesehen von den finanziellen Aspekten...



Weitere Aspekte, die berücksichtigt werden müssen:

- «Graue» Energie
- Ökologische Aspekte der Rohstoffgewinnung, der Produktion und des Recyclings
- Bewertung des Nutzens einer zeitlich begrenzt nutzbaren, unabhängigen Energiequelle (z.B. um bei einem Stromausfall einen Zug bergwärts evakuieren zu können) ?



Diskussion



Merci !

www.tmrsa.ch – www.railelectric.com