

Öffentlicher Verkehr der Zukunft

Presentation

Author(s):

Nold, Michael 

Publication date:

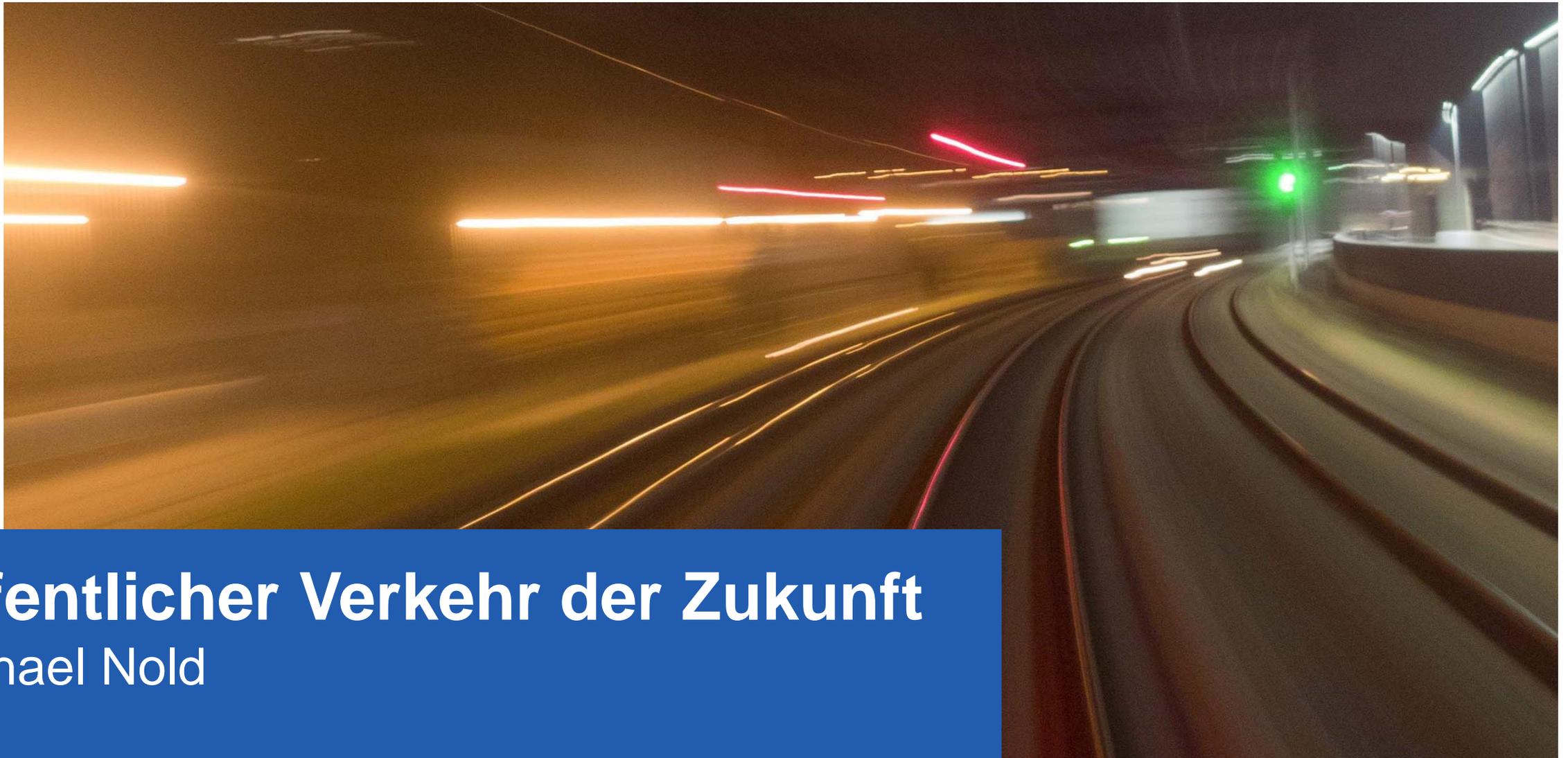
2023-05-16

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000612629>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted



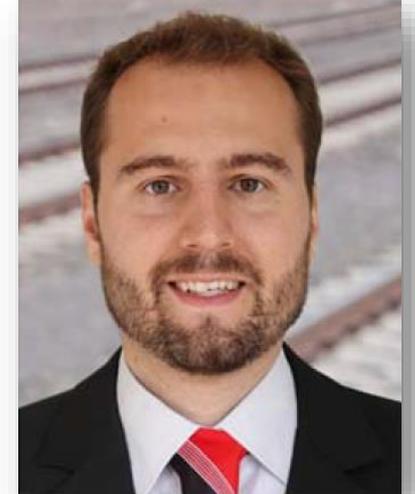
Öffentlicher Verkehr der Zukunft

Michael Nold

Tätigkeitsbeschreibung

Michael Nold

- Maschinenbau-Studium an der Universität Karlsruhe (KIT).
- 2014 bis 2018 Projektleiter und Ingenieur bei der Rhätischen Bahn im Geschäftsbereich Rollmaterial. Zuständig für die Systemverantwortungsbereiche: Entwicklungen, Berechnungen und Messtechnik.
- Seit 2019 am Institut für Transportsysteme der ETH Zürich in verschiedenen Funktionen und Aufgabenfeldern tätig. Die Tätigkeitsfelder sind systemübergreifend. Sie reichen von wissenschaftlichen und technischen, über diverse Funktionen in der Lehre, bis hin zu strategischen Entwicklungen des zukünftigen Verkehrssystems. Dazu zählen sowohl Forschungsarbeiten als auch diverse Industrieaufträge verschiedener Auftraggeber (unter anderem auch in der Funktion als externer Mitarbeiter). Im Rahmen der Lehrtätigkeit zählt das Vorlesungshalten, die Ausarbeitung neuer Lehrinhalte und das Betreuen verschiedener studentischer Arbeiten dazu und bezieht sich sowohl auf die Bachelor-Master-Studiengänge als auch auf die CAS-MAS-Studiengänge (bspw. CAS-MAS ÖV der Zukunft).



Inhalt

- Was ist öffentlicher Verkehr?
- Wird der öV in der Zukunft noch benötigt?
- Wie wirkt sich die Stromversorgung auf die Mobilität aus?
- Mögliche Zukunftsentwicklungen
- Fazit
- Quellen

Was ist öffentlicher Verkehr?

Was ist öffentlicher Verkehr?

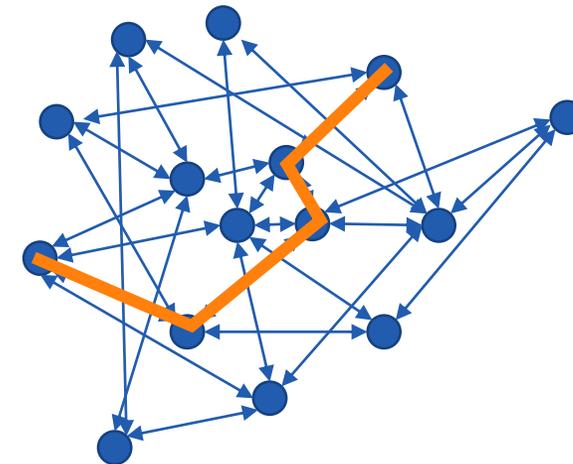
BAV Definition & Eigenschaften

«Der öffentliche Verkehr umfasst verkehrliche Angebote mit regelmässigen Fahrten gemäss einem definierten Fahrplan, die von allen Personen aufgrund vorgegebener Beförderungsbestimmungen genutzt werden können. In der Schweiz umfasst der öV nicht nur Verkehrsangebote mit Bahn, Tram und Bus, sondern auch per Schiff und Seilbahn.»

Bundesamt für Verkehr (2023) Öffentlicher Verkehr (öV). <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/glossar/oeffentlicher-verkehr.html>

Eigenschaften des öffentlichen Verkehrs

- die Kundennachfrage wird kollektiv bedient,
- wird in Linien mit festen Zugangspunkten gebündelt,
- wird nach einem Fahrplan abgewickelt
- und unterliegt vielen weiteren Randbedingungen.



Visualisierung räumlich verteilter Punkte und einer dazwischen vorhandenen Nachfrage, sowie einer exemplarischen möglichen Linie.

Was ist öffentlicher Verkehr?

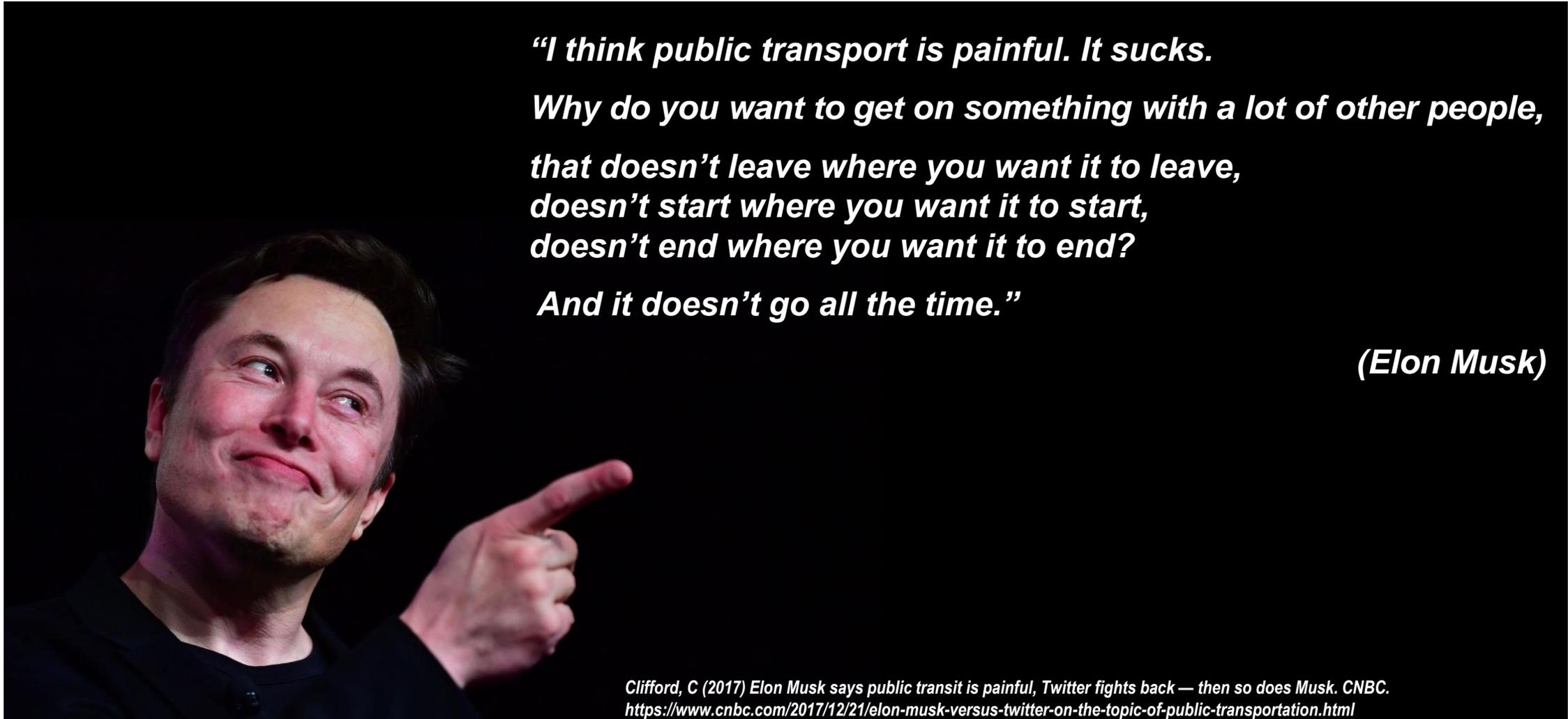
Eine Meinung:

“I think public transport is painful. It sucks.

*Why do you want to get on something with a lot of other people,
that doesn't leave where you want it to leave,
doesn't start where you want it to start,
doesn't end where you want it to end?*

And it doesn't go all the time.”

(Elon Musk)



Clifford, C (2017) Elon Musk says public transit is painful, Twitter fights back — then so does Musk. CNBC.
<https://www.cnn.com/2017/12/21/elon-musk-versus-twitter-on-the-topic-of-public-transportation.html>

Was ist öffentlicher Verkehr?

Kompromisse und Nachteile des öffentlichen Verkehrs

Der öV ist eine Kompromisslösung

- Der öV ist eine Kompromisslösung, welche aus Zielkonflikten und Trade-off Beziehungen resultiert, diese resultieren unter anderem aus den **Kosten bzw. Ressourcen** und:
 - der räumlichen Verfügbarkeit
 - der zeitlichen Verfügbarkeit
 - der Taktfrequenz
 - der Fahrzeit
 - der Zuverlässigkeit
 - ...

Wird der öV in der Zukunft noch benötigt?

Umweltaspekte

Ausgangssituation

- Fahrleitungsbasierter, elektrifizierter Schienenverkehr und der O-Bus Verkehr (Trolleybusse) lassen sich problemlos und ohne Akkus mit CO₂ frei produziertem Strom betreiben.
- Nicht fahrleitungsbasierter Verkehr lässt sich entweder mit Akkus, Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen (synthetic fuel) CO₂ frei betreiben.

Zukünftige Prognose

- «Mit einem zunehmenden Anteil an Elektroautos, **schwindet** der Umweltvorteil der Bahn. Wenn in Zukunft noch selbstfahrende PKWs folgen, erwarten Experten eine Verkehrsverlagerung auf die Strasse»

Quelle: Nold, M. et al (2022). Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050

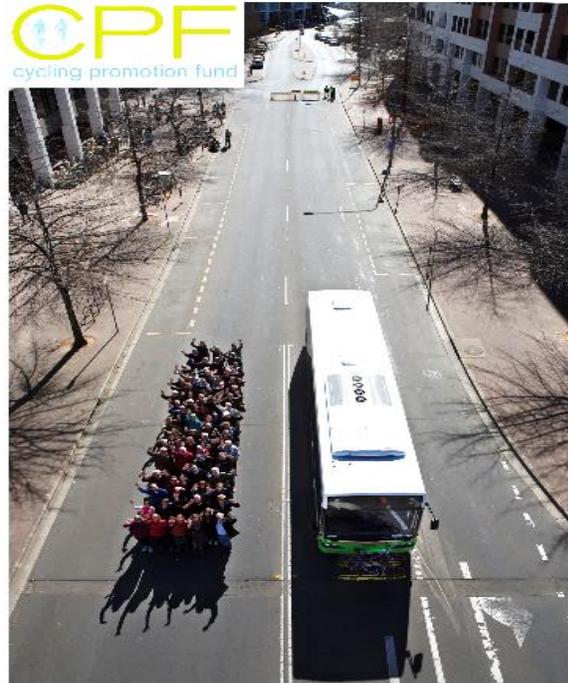
➔ Der Umweltvorteil des öVs **schwindet** und verringert sich somit, komplett verschwindet er aber nicht.

Umwelt & Energie

- Die Akkuherstellung und das Recycling hat **negative Auswirkungen** auf die Umwelt.
- Durch das Speichern der Energie (bspw. in Akkus, Wasserstoff oder E-Fuels) gehen erhebliche Mengen an Energie verloren.
 - Gemäss BUMV (2021) liegt bspw. der Energiewirkungsgrad eines E-Autos bei 64 % (Well-to-Wheel).
 - Gemäss ADAC (2022) gehen alleine beim Laden 5 bis 10 von 100 kWh als Verluste verloren und in Extremfällen noch mehr.
- Bei Schienenfahrzeugen mit elektrischer Oberleitung,
 - fällt die **Wirkungsgradreduktion** durch das Speichersystem weg.
 - fällt das **Zusatzgewicht**, welches aufgrund des Speichersystems entsteht, weg.
- Darüber hinaus ist der Schienenverkehr **aus physikalischen Gründen energieeffizienter als der Strassenverkehr**
 - da die Materialpaarung Stahlrad-Stahlschiene einen viel geringeren Rollwiderstandsverlust aufweist, als die Materialpaarung Gummi-Asphalt.
 - da durch das Hintereinanderkuppeln der Wagen der Frontluftwiderstand nur einmal auftritt.

Wird der öV in der Zukunft noch benötigt?

Externe Kosten – Raumeffizienz



Verkehrsmittel	Leistungsfähigkeit Personen pro Stunde (komfortorientiert)	Verkehrsmittel	Leistungsfähigkeit Personen pro Stunde (komfortorientiert)
Fussweg	700 – 3500	Tram	2000 – 5000
Velo	100 – 700	S-Bahn	4500 – 18000
Bus	1500 – 3000	MIV	4000 – 6000

Zahlen nach: Weidmann et al (2011) Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen

Wird der öV in der Zukunft noch benötigt?

Externe Kosten – Unfälle

- Der öV und insbesondere die Eisenbahn ist ein sicheres Verkehrsmittel.
- Durch das Vermeiden von Unfällen
 - reduziert sich das persönliche Leid der betroffenen Personen,
 - reduzieren sich die gesellschaftlichen Kosten, die Kosten und Belastung für das Gesundheitssystem und die Kosten der Beitragszahler.

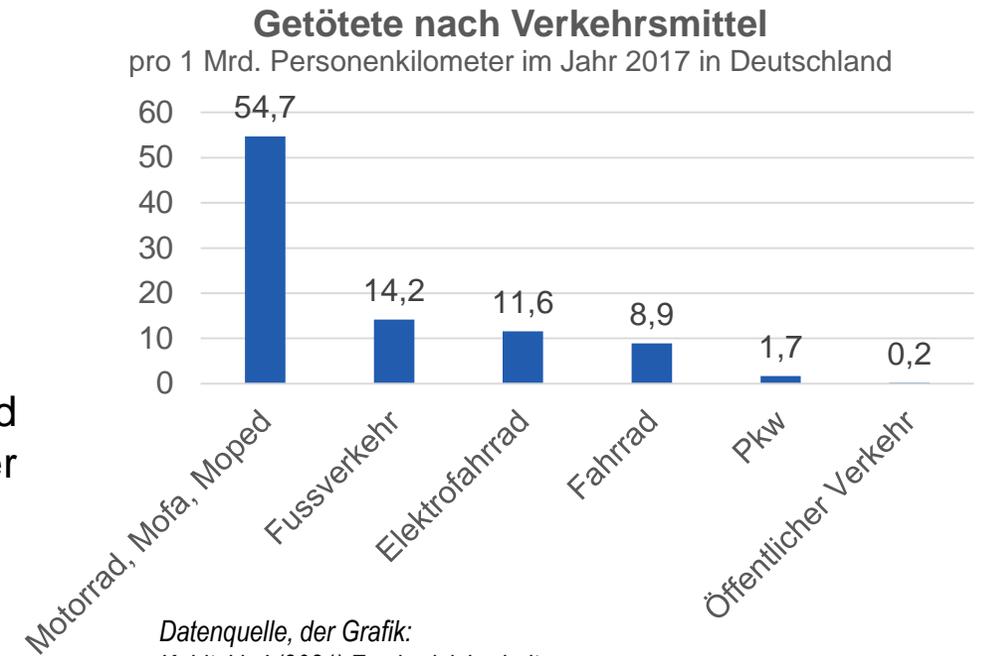
Ausblick in die Zukunft

- Die individuelle Elektromobilität wird höchstwahrscheinlich zu deutlich mehr Unfällen beitragen.
 - Beim E-Fahrrad aufgrund der höheren Fahrt- und Spitzengeschwindigkeit
 - Beim E-Auto aufgrund des „Overtapping“ +50% mehr Unfälle

Hintergrund zu den E-Autos:

Eine Studie der AXA zeigt, dass E-Autos 50% mehr Unfälle verursachen als herkömmliche Verbrenner. Ein Verbrennermotor benötigt im Gegensatz zu einem E-Motor deutlich mehr Zeit bis er Kraft aufbaut und beschleunigt. Das stärkere und schnellere Beschleunigungsvermögen von E-Autos führt zum sogenannten „Overtapping“ und zu einem „Problematischen Fahrverhalten bei Elektroautos“, welches letztendlich zu den Unfällen führt. D.h. die Unfälle entstehen nicht wegen der Geschwindigkeit oder des E-Autos, sondern wegen der Beschleunigung und Beschleunigungsänderung bzw. der Fahrweise.

Klatt, R (2022) Overtapping-Effekt - Elektroautos sind öfter an Unfällen beteiligt



Datenquelle, der Grafik:
Kubitzki, J (2021) Zweiradsicherheit.
Allianz Deutschland AG. AZT Automotive GmbH

Wird der öV in der Zukunft noch benötigt?

Beispiele für weitere Gründe

- Personen ohne Führerausweis
- Personen mit körperlichen Einschränkungen
- Nutzung der Reisezeit zum Arbeiten
- Wetterbedingter Bedarf

Fazit zum ersten Teil:

→ Auch in Zukunft wird ein öffentlicher Verkehr benötigt!

Wie wirkt sich die Stromversorgung auf die Mobilität aus?

Einfluss der Stromversorgung auf den nahtlosen Verkehr

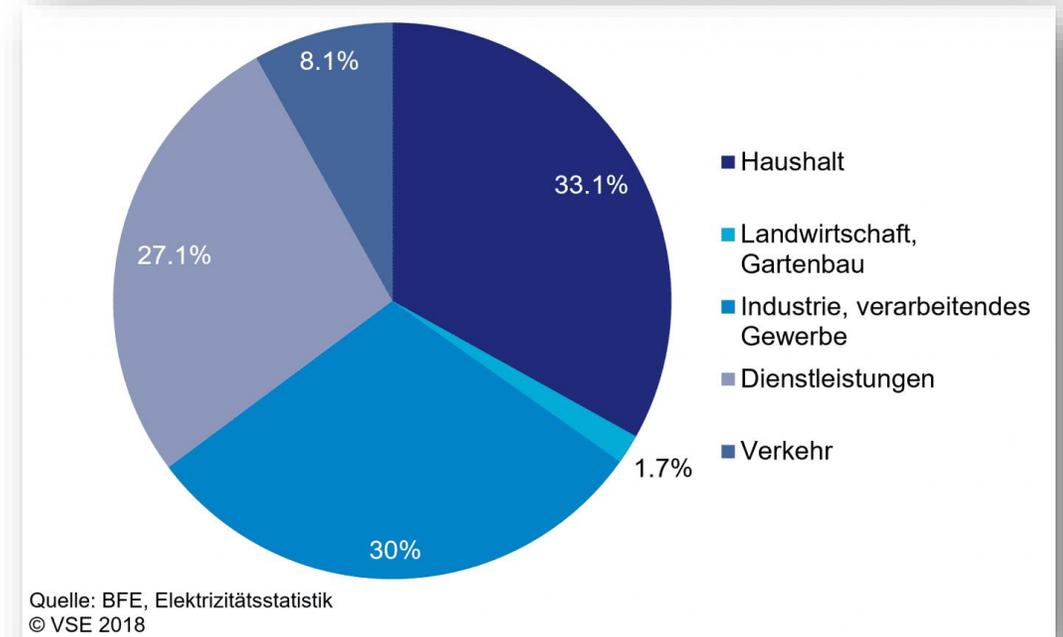
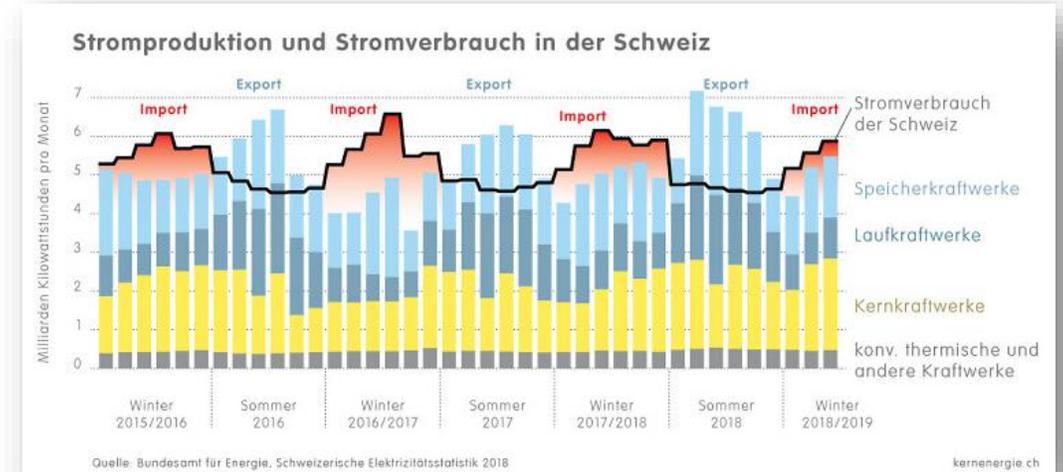
Übersicht

- Stromverbrauch
- Stromnetz
- Technische Ansätze & Lösungen
- Mögliche Zukunftsauswirkungen

Stromverbrauch

Schweizweiter Stromverbrauch

- Der heutige schweizweite Stromverbrauch ist jahreszeitabhängig und beträgt ungefähr
 - Schweizweit 56 TWh (Brutto 60 TWh)
 - davon:
 - öV-Anteil: 4.3 TWh
 - Haushaltsanteil: 18.5 TWh
- Mögliche Änderungen in den nächsten Jahren:
 - Reduktion durch effizientere Verbraucher und Energiesparmassnahmen
 - Steigerung durch zusätzliche Verbraucher und/oder eine höhere Konsumation
 - Steigerung durch die Elektrifizierung des Strassenverkehrs



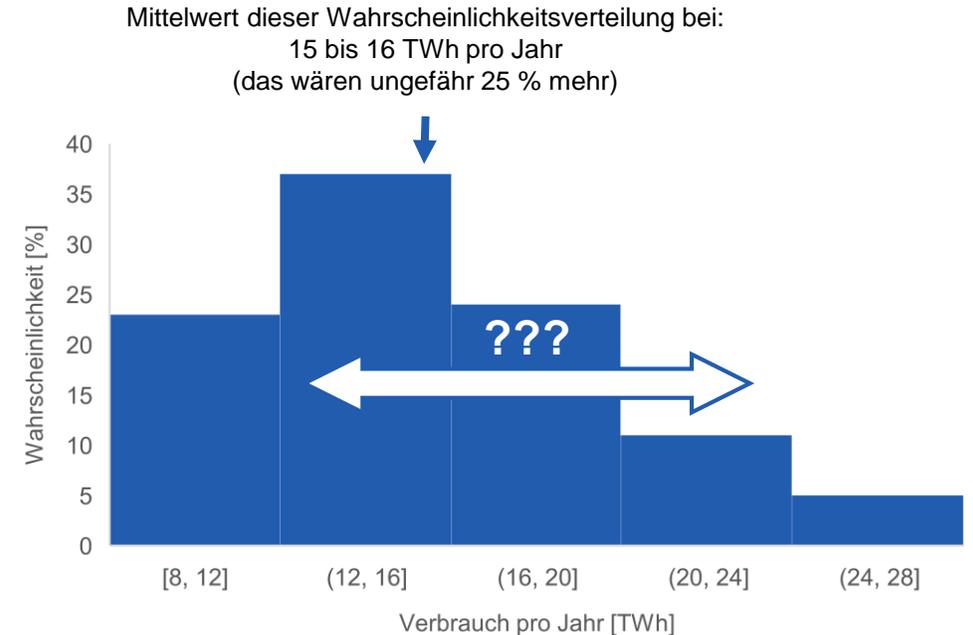
Stromverbrauch

PKW Vollelektrifizierung

- Die Vollelektrifizierung des Strassenverkehrs ist ein neuer Stromverbraucher
- Prognosen zum Strombedarf des PKW-Verkehrs haben viele ungewisse Einflussgrößen:
 - Fahrzeugtyp (verstärkt sich der Trend zum SUV oder gibt es eine Trendwende zu sparsameren PKWs)
 - Fahrzeugkilometer & Fahrzeugauslastung
 - Berücksichtigung der PKW-Heizung, Ladeverluste, etc.
 - Fahrweise

Hinweis: Da die einzelnen Einflussgrößen sich teilweise um bis zu einem Faktor 2 unterscheiden, kann die Zukunft grundsätzlich schwer vorhergesagt werden. Teilweise berücksichtigen Studien den Verbrauch für die Heizung/Klimatisierung sowie auch die Ladeverluste nicht. Aus diesen Gründen können Prognosen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen und ggf. in der Zukunft nicht oder anders eintreffen!

→ Durch PKW Elektrifizierung entsteht ein neuer Verbraucher, welcher das Netz belasten kann
(E-Busse und E-LKWs sind hier nicht berücksichtigt)



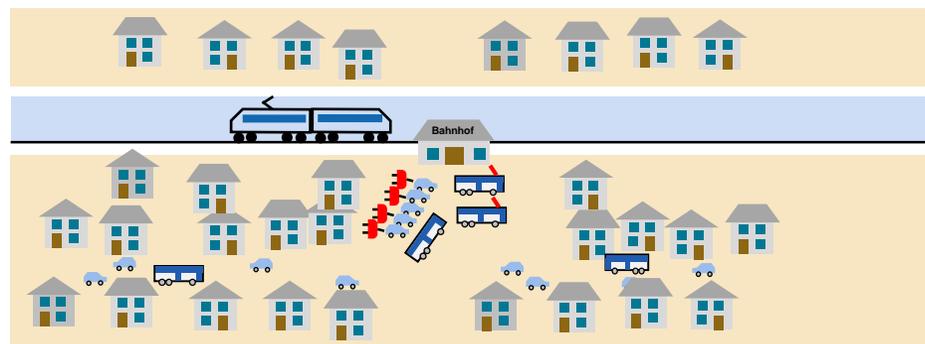
Wahrscheinlichkeitsverteilung des zusätzlichen schweizweiten Netto-Stromverbrauches durch eine Vollelektrifizierung der schweizer PKWs, wenn die Mobilitätsverhältnisse ähnlich bleiben

Eigene Berechnungen und Berücksichtigung verschiedener Szenarien, basierend auf Daten des Bundesamtes für Statistik, Bundesamtes für Raumentwicklung, ADAC, sowie 24 verschiedenen Fahrzeugherstellern. Ein mögliches Bevölkerungswachstum wurde nicht berücksichtigt.

Stromnetz

Allgemeine Aspekte

- Das Stromnetz ist aufgrund der Anforderungen in unterschiedliche Spannungsebenen mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit aufgebaut.
- Der Ausbau zu einer leistungsfähigeren Versorgung mit einem besseren Stromnetz ist nicht so einfach und schnell umsetzbar.



Höchstspannungsnetz
380 kV / 220 kV (50 Hz)

Überregionale Verteilernetze
36 kV < Spannung < 220 kV (50 Hz)

Regionale Verteilernetze
1 kV ≤ Spannung ≤ 36 kV (50 Hz)

Lokale Verteilernetze
Spannung < 1 kV (50 Hz)

Laden im Wohngebiet

Bahnstromnetz
132 kV (16.7 Hz)
(teilweise auch 66 kV)

Fahrleitung
zum Betreiben der
Züge
15 kV (16.7 Hz)

**Ausgelegt für
kurzzeitige hohe
Belastungen**

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (2021) Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
BFE (2018) Elektrizitätsstatistik

Stromnetz

Netzbelastung

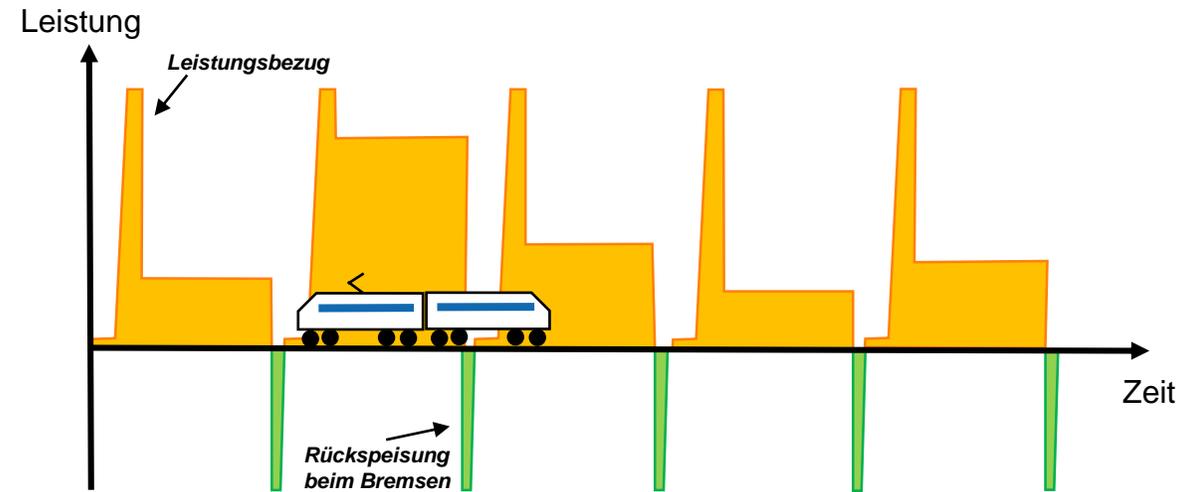
Unterschied

- Oberleitungsfahrzeuge beziehen kontinuierlich immer wieder mehr oder weniger Leistung aus dem Netz.
- Akkufahrzeuge beziehen beim Schnellladen so viel Leistung in einer so kurzen Zeit, wie möglich um gleich wieder weiterfahren zu können.

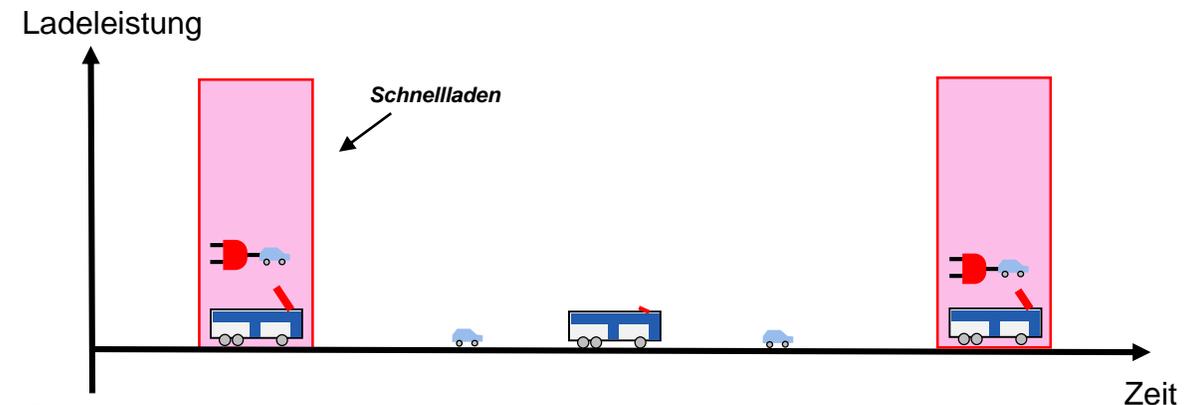
Größenordnung

- Eine SBB Turbo S-Bahn mit 160 Sitzplätzen bezieht bis 1300 kW als Spitzenleistung
(Ein IC mit rund 1000 Sitzplätzen bezieht rund 7000 kW Spitzenleistung)
- Ein PKW bei einer Schnellladestation bezieht bis 350 kW
(geplant sind bis 450 kW)
- Für Busse gibt es Ladestationen mit 800 kW
Spitzenleistung

Autobild (2021) So steht es um das Schnellladen von Elektroautos in Deutschland
Porsche (2018) Ultra-Schnellladetechnologie für die Elektrofahrzeuge der Zukunft
Siemens (2019) SiCHARGE UC Die flexible Lösung für die urbane Mobilität der Zukunft



Schematischer vereinfachter Leistungsbezug von Oberleitungsfahrzeugen



Schematischer vereinfachter Leistungsbezug von Akkufahrzeugen

Hinweis: Die Darstellungen sind nicht massstäblich dargestellt. Wenn ein Oberleitungsfahrzeug durch ein Akkufahrzeug ersetzt werden würde, so müssten die roten Flächen den orangenen Flächen abzüglich der grünen Flächen entsprechen.

Ansatz & Lösung

Ansätze zur Belastungsreduktion (Verbrauch & Peaks)

Allgemein

- Ausbau des Gesamtsystems (Kraftwerke und Netz)
(Nicht so schnell und einfach möglich aufgrund der Kosten, Einsprüche, Umwelteinflüsse, beschränkte Machbarkeit, etc.)
- **Genauere Simulation zur besseren Abschätzung**

Schienenverkehr

- **Energiesparende Fahrweise**
- **Peak Reduktion durch Fahrplanoptimierungen**

Akkubetriebener Strassenverkehr

- Powermanagement (bspw. durch: Spitzenglättung, Stromrationierung oder Drosselung)
(bspw. auf 5 kW)
- Netzabhängiger dynamischer Strompreis
(d.h. der Strompreis hängt von der aktuellen Netzsituation ab - In Extremsituationen gab es in der USA schon Preise von 9 \$ pro kWh → Das Aufladen eines 90 kWh Akku würde bei so einem Preis über 800 \$ kosten)
- **Laden mit der Bahnstromversorgung**

*Blick (2021) Nach dem Mega-Blackout gibts Mega-Rechnungen
eFahrener (2021) Um Blackout zu verhindern - In diesem Land werden Ladesäulen einfach abgeschaltet
FAZ (2021) „Spitzenglättung“ Zwangsabschaltung bei Netzüberlastung
Focus (2021) Drohende Überlastung der Stromnetze
Focus (2021) Stromrationierung Drehen Scholz, Baerbock und Laschet E-Auto-Fahrem den Saft ab?
Welt (2021) Spitzenglättung Drosselung statt Zwangs-Ladepausen für E-Autos
Blick (2021) Strom für das Elektroauto ist nur zu Hause garantiert günstiger als Sprit
Dailymail (2022) Charging points for electric cars 'will be preset to turn off for NINE HOURS a day' Daily Mail Online*

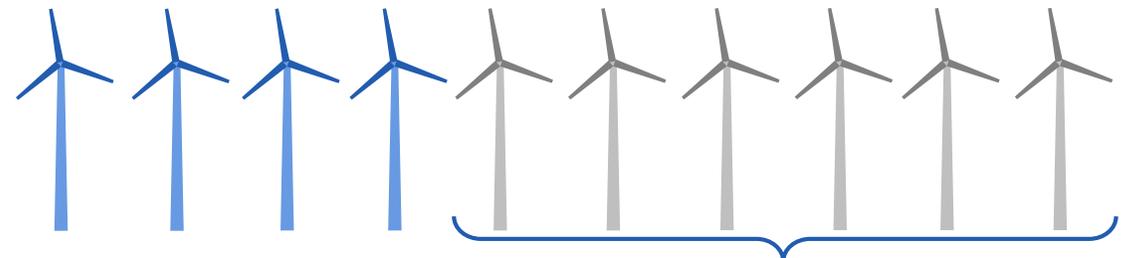
Ansatz & Lösung 1

Genauere Simulation

- Ungenaue Simulationen sind in der Industrie und Wissenschaft immer wieder anzutreffen. Hierzu zählt bspw.:
 - Vereinfachen der Fahrwiderstandsformel
 - Ignorieren der Komponentenverluste oder inkorrekte Annahmen für den Wirkungsgrad
 - Fehlerhafte Annahmen beim Fahrverlauf/Fahrverhalten
- Vereinfachte Modelle und die genannten Fehlerquellen, können dazu führen, dass im ungünstigsten Fall weniger als 40 % des realen Energiebedarfs ermittelt wird und der Bedarf somit deutlich unterschätzt wird.

Nold & Corman (2020) eco 4.0

- Genaue und korrekte Simulationen sind die Voraussetzungen für:
 - Energieoptimierungen
 - Energiebedarfsabschätzungen
- Hochpräzise Modelle werden durch das BAV-ETH-Projekt eco4.0 entwickelt und werden durch das SBB-ETH-RailPower Projekt weiterentwickelt um den Energiebedarf der Zukunft abzuschätzen.



könnten ohne genaue Modelle vergessen werden

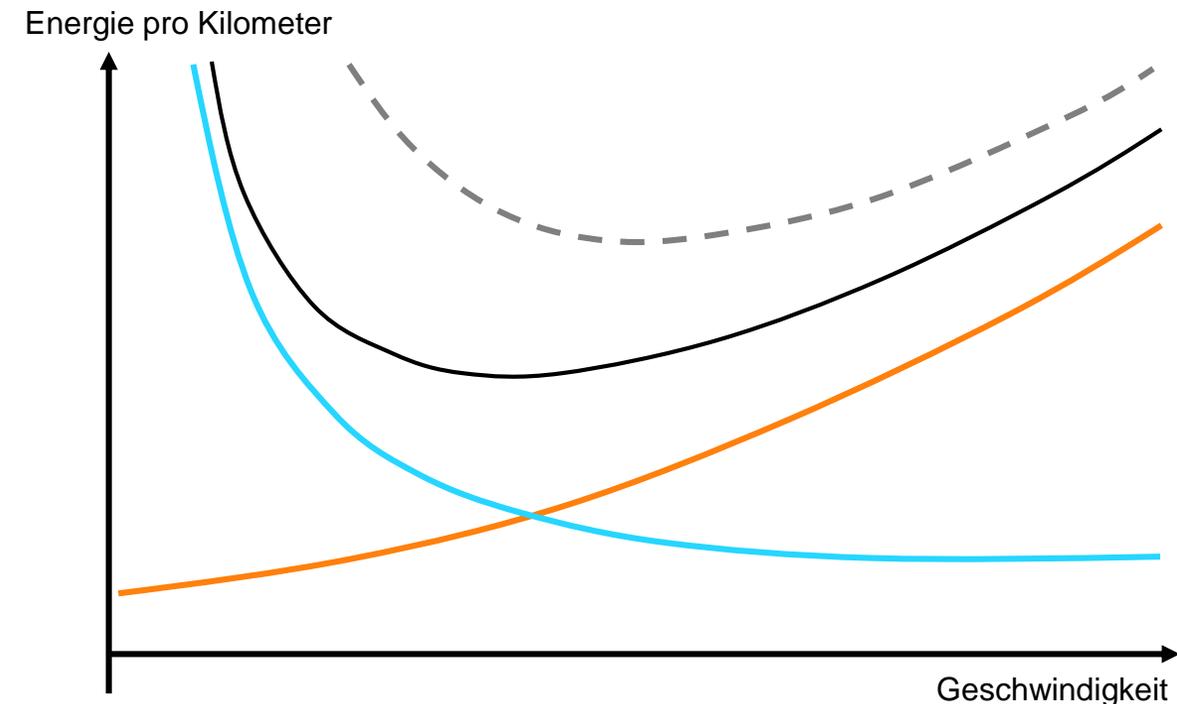
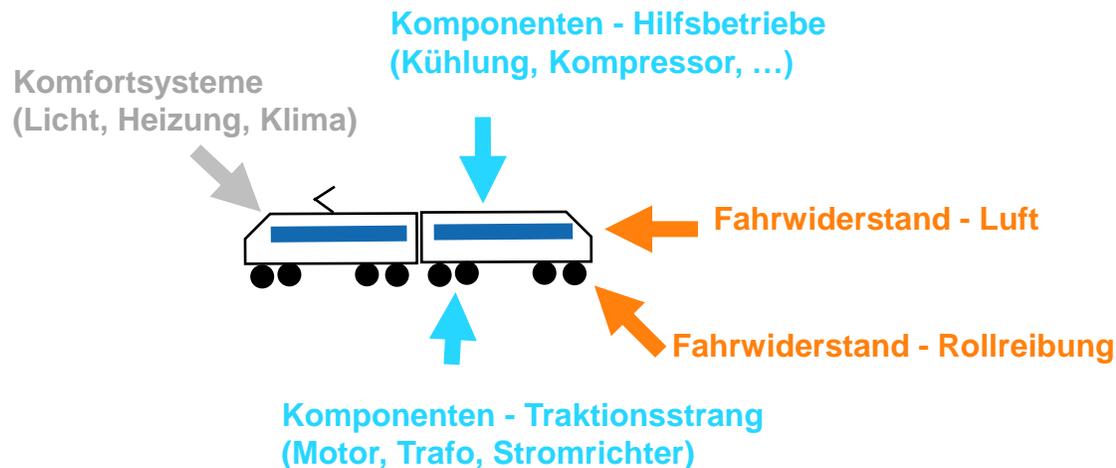
Ansatz & Lösung 2

Energiesparende Fahrweise (1)

Optimierung des Geschwindigkeitsprofils zur Reduktion des Gesamtenergiebedarfs für eine Fahrt

Minimieren der Summe folgender Verluste pro Kilometer Fahrt:

- Fahrwiderstandsverluste
- Komponentenverluste
- (Komfortsystemverbraucher)



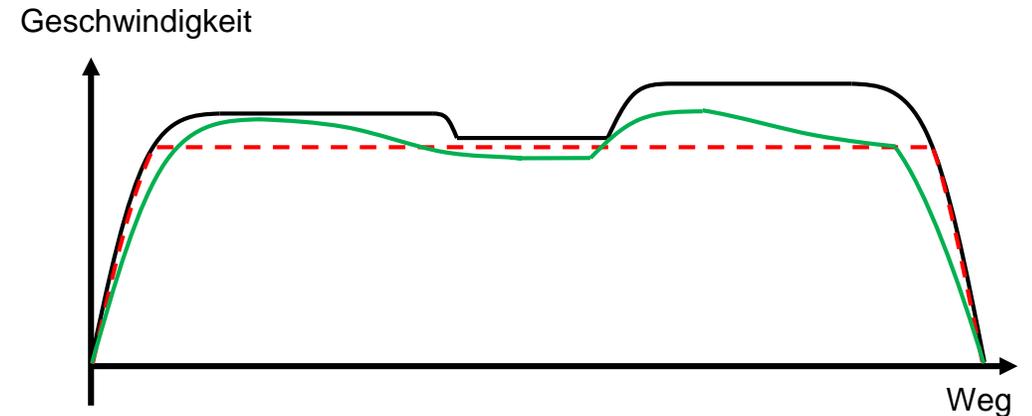
Qualitative Darstellung des Energieverbrauches pro Kilometer

Ansatz & Lösung 2

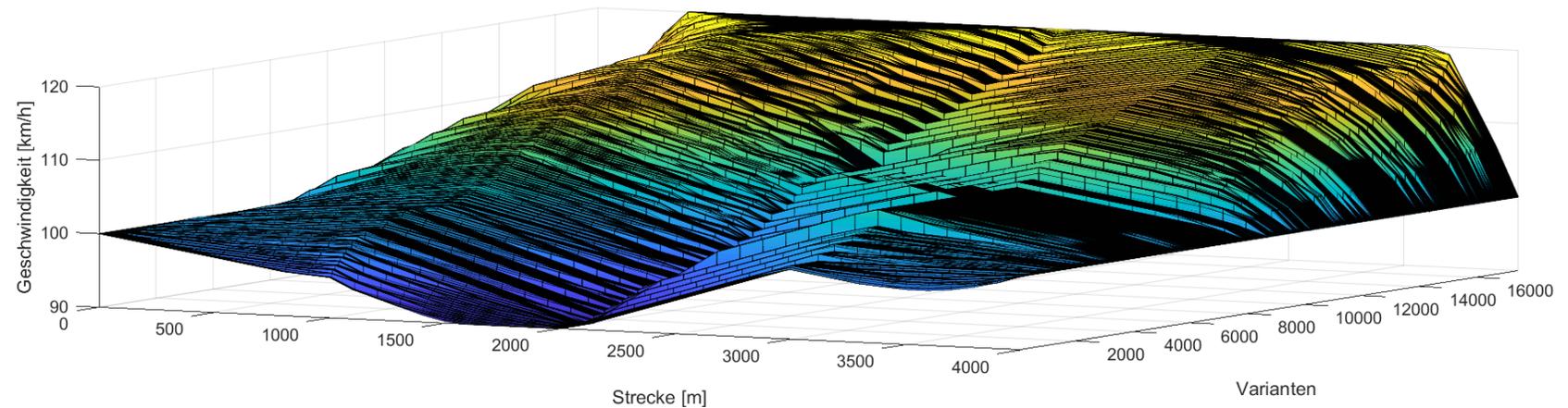
Energiesparende Fahrweise (2)

Auswirkung

- Der Zug fährt nicht automatisch langsamer, aber auf einem optimalen Fahrprofil
- Der Zug bleibt pünktlich
- Die Energieersparnis ist von der Fahrzeitreserve abhängig
- Energieersparnis 0 bis 30 %



Qualitative schematische Beispieldarstellung (keine Simulation)



Mehr Informationen zu lesen in der Eisenbahn Revue 2/2022
Nold, Huggenberger, Corman (2022) **Der Einfluss der Verluste in den Traktionskomponenten auf den Energieverbrauch von Zugfahrten**

Ansatz & Lösung 3

Peak Reduktion durch Fahrplanoptimierungen

Ausgangssituation

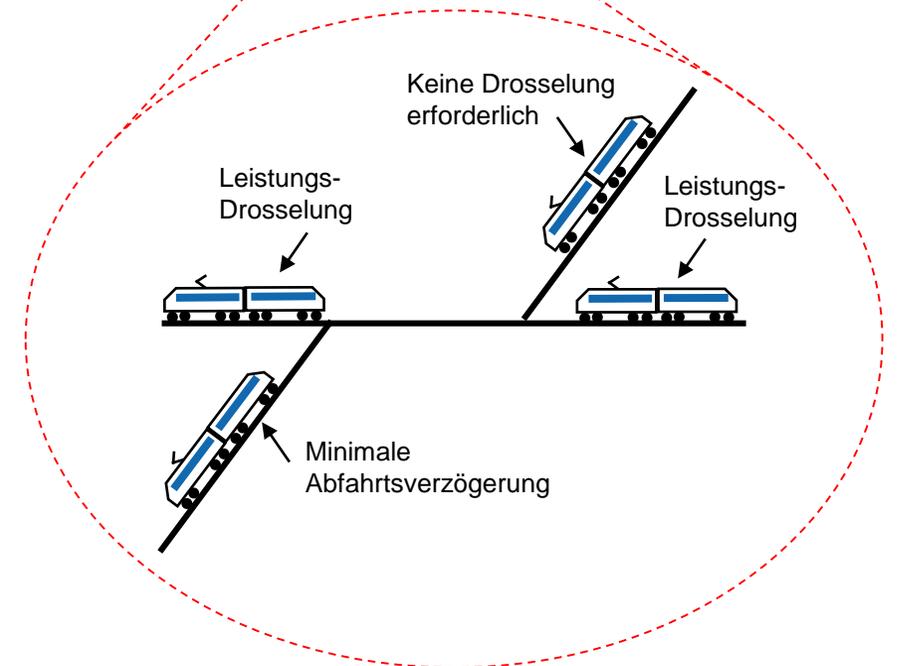
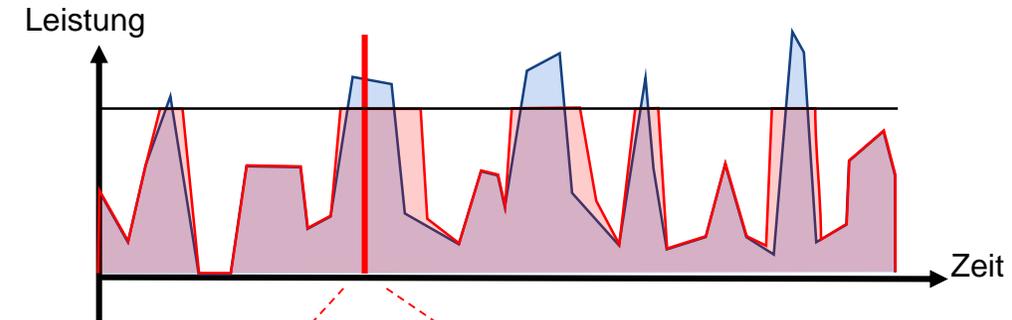
- Im Netz treten immer wieder peak-artige Belastungen auf

Ansatz

- Optimierung, welche verschiedene Züge in einem Netz so koordiniert, dass die Leistungspeaks reduziert werden, indem
 - gezielte Leistungsdrosselung und
 - minimale Abfahrtszeitverzögerung eingeleitet werden.

Auswirkung

- Fahrplanänderungen sind im Sekundenbereich möglich (teilweise 10 bis 30 Sekunden)
- Deutliche Reduktion der Leistungsspitzen und Netzbelastung (situationsabhängige Reduktion bis zu 50 %)

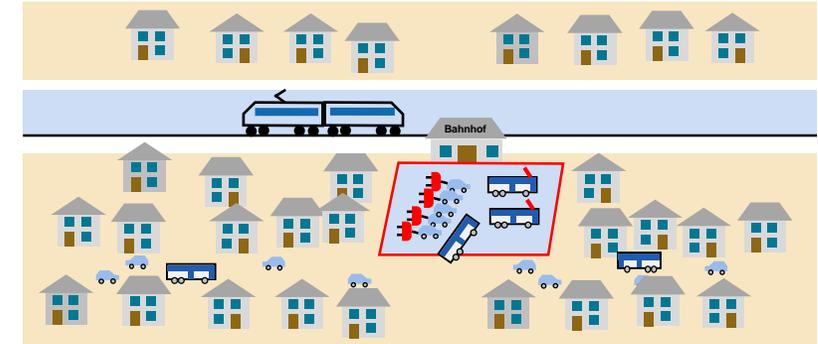


Ansatz & Lösung 4

Laden durch die Bahnstromversorgung

Ausgangssituation

- Das Bahnstromnetz führt teilweise durch zentrale innerstädtische Gebiete und ist erheblich leistungsfähiger als lokale Netze.
- Durch den Taktfahrplan und nächtliche Pausen ist es zeitweise ungenutzt. → Der Verbrauch ist prognostizierbar.

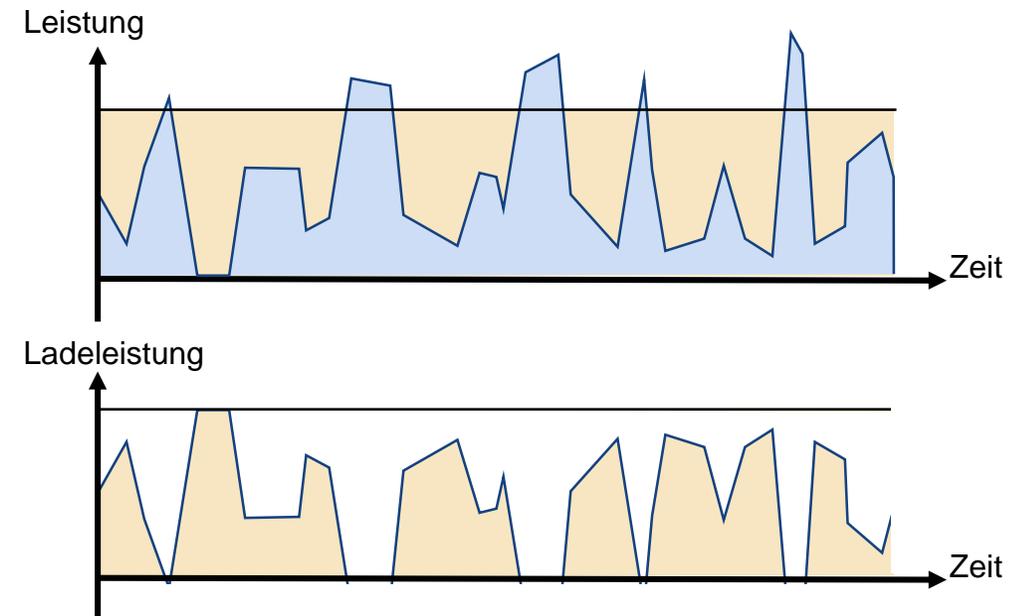


Ansatz

- Nutzung der Zeitfenster in denen das Bahnstromnetz ungenutzt ist oder Züge bremsen, um damit Strassenfahrzeuge zu laden.

Auswirkung

- Ermöglicht deutlich höhere Ladeleistungen als lokale Verteilernetze
- Minimale zusätzliche Frequenzumformverluste, wenn der Strom nicht in einem Bahnstromkraftwerk erzeugt wurde.



Mögliche Zukunftsauswirkungen Für die Mobilität durch die Stromversorgung

Schieneverkehr

- Die Bahn kann sich in der Schweiz aufgrund eigener Kraftwerke über ihr 16.7 Hz Netz zu einem beachtlichen Teil selber versorgen.
- Bei einer 50 Hz Strom-Mangellage sind Zugausfälle möglich, weil die Bahn mit dem 16.7 Hz Netz die eigenen 50 Hz Verbraucher (bspw. Bahnhöfe oder Stellwerke) häufig nicht versorgen kann, sodass diese auf das 50 Hz Netz angewiesen sind.
- Netzfremdliche leistungspeak-reduzierende und energiesparende Fahrweisen haben nur geringe Einflüsse auf die Fahrzeit.
- Das Bahnstromnetz hat das Potential dem Strassenverkehr leistungsfähiges Laden zu ermöglichen.

Akkubetriebener Strassenverkehr

- So lange der Akku für die Mobilitätsanforderung ausreicht, sind keine Mobilitätsauswirkungen zu erwarten.
- Wenn ein Aufladen erforderlich ist, kann es sein, dass Mobilitätsauswirkungen möglich sein können:
 - Gibt es zeitweise längere Ladezeiten (bspw. durch eine Spitzenglättung oder Drosselung)?
 - Müssen PKWs oder Busse, dann länger warten oder fallen ganze Busverbindungen aus?
 - Gibt es zeitweise höhere Strompreise (dynamischer Strompreis) und ggf. höhere Strompreise beim auswärts aufladen?
 - Ist das nur bei Langstreckenfahrten relevant?
 - Ist das nur bei niedrigen, sowie hohen Temperaturen (Heizung/Klima), sowie bei schlechtem Wetter (erhöhter Fahrwiderstand), da dies die Reichweite des Akkus reduziert (es ist möglich, dass ein E-Auto «unter bestimmten Verhältnissen» nur ungefähr die halbe Reichweite hat) relevant?

Wasserstoff / E-Fuels (Schiene und Strasse)

- Bei E-Fuels sind im Vergleich zu heute keine Auswirkungen auf die Mobilität und Reichweite zu erwarten, da bestehende Kraftstoffe durch E-Fuels ersetzt werden.
- Bei Wasserstoff sind Auswirkungen wenig wahrscheinlich. Eine abschliessende Beurteilung ist noch nicht möglich, weil sich viele Fahrzeuge noch in der Entwicklung befinden.
- Bei der Produktion und Verfügbarkeit dieser Treibstoffe sind viele Fragen offen:
 - Werden ausreichend häufig Zeiten mit Stromüberschuss vorhanden sein, um diese CO2 neutral herzustellen?
 - Sind sie bezahlbar und verfügbar?

ADAC (2021) Elektroautos im Winter Reichweitenverlust verringern
ADAC eFahrer (2021) Um Blackout zu verhindern - In diesem Land werden Ladesäulen einfach abgeschaltet
FAZ (2021) „Spitzenglättung“ Zwangsabschaltung bei Netzüberlastung
Focus (2021) Drohende Überlastung der Stromnetze
Focus (2021) Stromrationierung Drehen Scholz, Baerbock und Laschet E-Auto-Fahrern den Saft ab?
Welt (2021) Spitzenglättung Drosselung statt Zwangs-Ladepausen für E-Autos
KronenZeitung (2021) E-Auto macht schon nach 120 Kilometern schlapp
Blick (2021) Nach dem Mega-Blackout gibts Mega-Rechnungen
Blick (2021) Strom für das Elektroauto ist nur zu Hause garantiert günstiger als Sprit
DailyMail (2022) Charging points for electric cars 'will be preset to turn off for NINE HOURS a day' Daily Mail Online

Mögliche Zukunftsentwicklungen

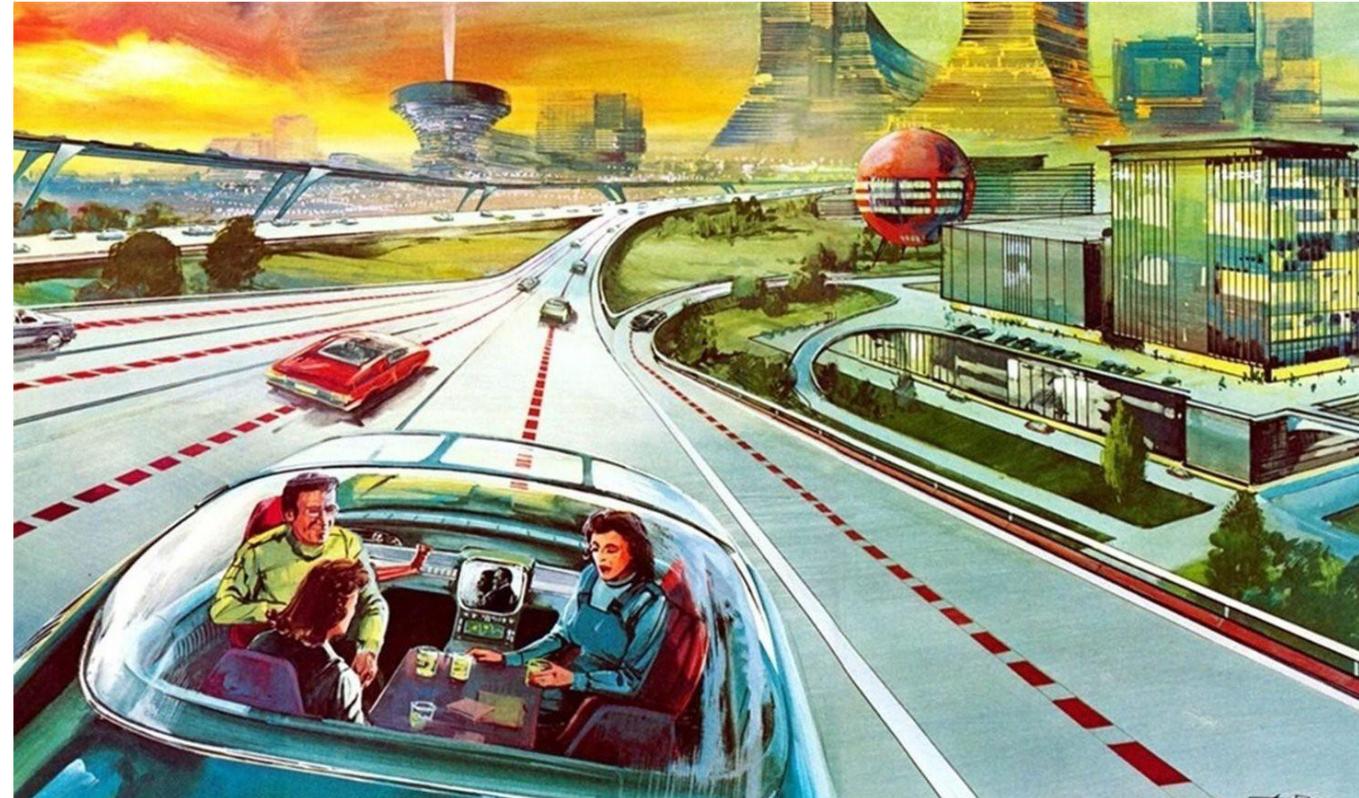
Was sind die Transportsysteme der Zukunft?



Domenica del Corriere (1964)



Prisma (1947)



Disneyland TV (1958) Magic Highway

- ➔ Die Verkehrssysteme und die zukünftige Entwicklung lässt sich nur schwer abschätzen.
- ➔ Ein Teil der im folgenden vorgestellten Technologien, Systeme, Ideen, Szenarien etc. kann Realität werden **oder auch nicht!**

Wie viel Verkehr gibt es überhaupt in der Zukunft?

- Die zukünftige Mobilität wird von vielen Aspekten beeinflusst, beispielsweise:
 - Bevölkerungsmenge & -verteilung
 - Berufliche Aspekte (bspw. Home Office, KI, etc.)
 - Freizeitinteressen
 - Finanzierbarkeit
 - Politische und Gesellschaftliche Rahmenbedingungen
- Abschätzungen sind ähnlich vage, wie die der Transportsysteme.
- Gründe für die Verkehrszunahme sind den meisten bekannt, allerdings sind Gründe für den Verkehrsrückgang weniger bekannt.

Wie viel Verkehr gibt es überhaupt in der Zukunft?

Beispiel: Verkehrsrückgang durch künstliche Intelligenz?

- Eine Expertenumfrage aus dem Jahr 2021 ist damals noch davon ausgegangen, dass KI mehr als Hilfsmittel für Analysen eingesetzt werden kann. *Quelle: Nold et al (2022) Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050*
- Jüngste Entwicklungen haben gezeigt, dass die KI-Systeme beachtliche Aufgaben in beachtlich hoher Qualität übernehmen können.
- Das Erstellen von Prognosen zu den Auswirkungen von KI bleibt extrem schwer und vage!

Mobilitätsunternehmen

- Die Bahn hat sehr viele sicherheitsrelevante Aufgaben. Diese dürfen aus Zulassungsgründen wahrscheinlich nicht durch KI ersetzt werden*.
- Das teilweise oder komplette Ersetzen einiger nicht sicherheitsrelevanter Tätigkeitsfelder (insbesondere Bürotätigkeiten) durch KI-Systeme macht Personalreduktionen und somit Kosteneinsparungen wahrscheinlich.
- KI macht verschiedene neue Analysemethoden möglich - bspw. zu Verkehrsströmen und Fahrzeugauslastungen**

* Heute werden sogar bei Neufahrzeugen einige sicherheitsrelevante Aspekte immer noch mechanisch anstatt elektronisch gelöst, weil die mechanischen Lösungen nachvollziehbarer sind und dadurch einfacher bei den Aufsichtsbehörden zugelassen werden können.

** Durch die Auswertungen der Kundendaten lassen sich bspw. Verhaltensprofile der einzelnen Kunden erstellen und somit abschätzen, wann welcher Kunde fährt und wie voll ein Zug sein wird.

Allgemein & Mobilität

- Aufgrund jüngster beachtlicher Resultate von KI Systemen ist es nicht mehr ausgeschlossen, dass sich eine Vielzahl an Berufen und Aufgaben in vielen Branchen (insbesondere Bürotätigkeiten) durch KI in den nächsten Jahren und Jahrzehnten teilweise oder komplett ersetzen lassen.
→ Dies könnte einen erheblichen Personalabbau zur Folge haben und somit einen Einfluss auf die Verkehrsströme (insbesondere den Berufsverkehr) und somit letztendlich auf die Mobilitätssysteme.

Wie viel Verkehr gibt es überhaupt in der Zukunft?

Verkehrsrückgang durch Push-Massnahmen?

Ausgangssituation

- Teile der Politik und Wissenschaft sind daran interessiert, eine Verkehrsverlagerung auf den öV zu erzielen oder den Verkehr ganz zu vermeiden.
- Dies soll durch sogenannte Push- und Pull-Massnahmen erreicht werden.

Push-Massnahmen verschlechtern die Attraktivität eines Verkehrsträgers → bspw. des PKWs durch:

- Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Weniger Parkplätze
- Weniger Strassen
- Mobility Pricing
- etc.

Pull-Massnahmen verbessern die Attraktivität eines Verkehrsträgers → bspw. des öVs durch:

- Nahtlosen Verkehr
- Geschwindigkeitserhöhungen
- etc.

Beispiele für Pull-Massnahmen:

Nold, M., & Corman, F. (2023). *Challenges and opportunities for the railway system in 2050*

Was ist als nahtloser Verkehr interpretierbar?

- Idealerweise umsteigefreie Tür-zu-Tür-Direktverbindungen.
 - Wenn das Umsteigen erforderlich ist, kann dies als relativ nahtlos empfunden werden, wenn:
 - die Anschlussverbindungen gewährleistet werden,
 - die Wartezeiten kurz sind (aber nicht zu kurz),
 - gute Umsteigebeziehungen, mit kurzen möglichst barrierefreien Wegen, gegeben sind.
- **Das notwendige Umsteigen wird meistens nachteilhaft interpretiert, daher sind umsteigefreie Verbindungen zu bevorzugen.**

Nahtloser Verkehr

Auswirkungen umsteigefreier Verbindungen

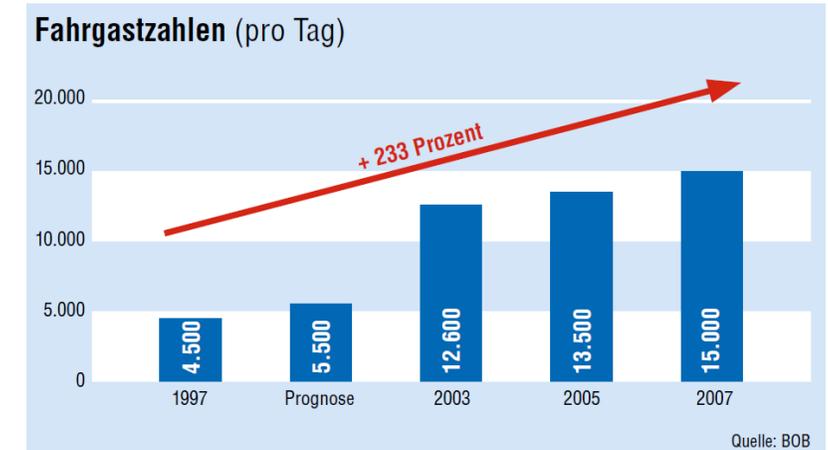
Allgemein

- Umsteigen wird in der Wissenschaft mit «interchange penalties» quantifiziert.
- Abhängig von der Person, der Region, dem Reisezweck, dem Verkehrsmittel und weiteren Faktoren, sind Fahrgäste bereit, längere Verbindungen zu wählen um weniger häufig umzusteigen. Bspw.:
 - Glasgow 8 min
 - London 4 min
 - Madrid 15 min
 - Zürich 15 min

Wardmann (2001) *Interchange and Travel Choice Volume 1*
 Garcia-Martinez, Andres, Cascajo, Rocio, Jara-Diaz, Sergio R., Chowdhury, Subeh, Monzon, Andres, 2018. *Transport. Res. A*
 Marra (2021) *Tracking Passengers to Analyse Travel Behaviour During Public Transport Disturbances*

Beispiele: Nachfragesteigerungen durch umsteigefreien Verkehr	Steigerung
Umsteigefreie Verbindung vom Bayrischen Oberland zum Münchener Hbf.	+233 %
Karlsruher Modell Direktverbindung vom Umland ins Stadtzentrum	+800 %
Direktverbindung: Freudenstadt – Stuttgart Hbf.	+180 %
Citybahn Chemnitz Direktverbindung vom Umland ins Stadtzentrum	+406 %

Allianz pro Schiene, e.V., 2010. 15 Beispiele erfolgreicher Bahnen im Nahverkehr
 AVG, 2015. Stadtbahn verbindet Stadt und Region - Eine Idee aus Karlsruhe setzt sich durch. Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH, Karlsruhe.



Allianz pro Schiene, e.V., 2010. 15 Beispiele erfolgreicher Bahnen im Nahverkehr

Nahtloser Verkehr

Beispiel: Zweisystemstadtbahn

Ausgangssituation

- Bahnhöfe liegen häufig 1 bis 2 km von den Ortszentren entfernt, sodass kein nahtloser Verkehr möglich ist

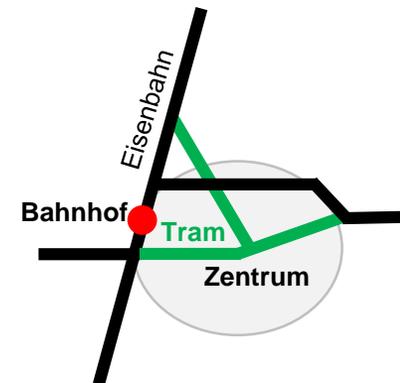
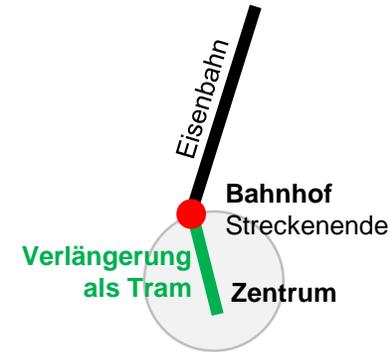
Folgen:

- Das Auto verwenden
- Umsteigen in einen Bus oder eine Tram
- Bauen eines teuren unterirdischen Innenstadtbahnhofes mit einer Tunnelanbindung
- Zu Fuss gehen

Lösung Zweisystemstadtbahnen

- Nahtlose Verbindung, indem die Eisenbahn/S-Bahn als Tram die «letzte Meile» in die Innenstadt verlängert wird.
- Zweisystemfahrzeuge sind eisenbahn- und strassenbahntauglich (benötigt bspw. Ausrüstung für 15kV und 750 V, spezielle Radprofile, ...)
- In der Schweiz relativ unbekannt, im Ausland seit über 30 Jahren etabliert
- Es wurden bspw. Nachfragesteigerungen von 2000 auf 18000 Fahrgäste pro Tag erreicht

AVG, 2015. Stadtbahn verbindet Stadt und Region - Eine Idee aus Karlsruhe setzt sich durch. Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH, Karlsruhe.

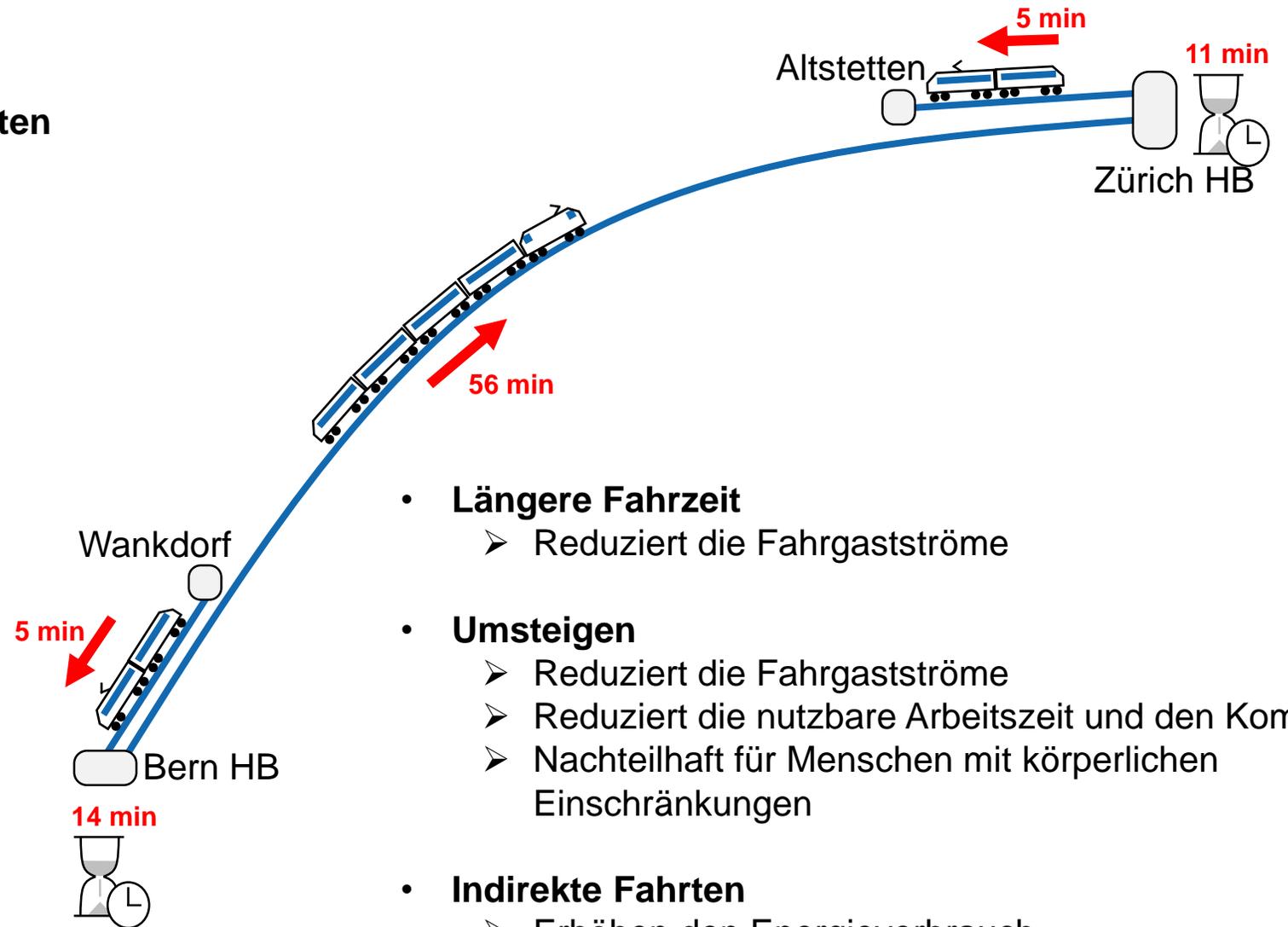


Nahtloser Verkehr Problem

Reise: Bern Wankdorf → Zürich Altstetten

- Reisezeit 91 min
- Nutzbar zum Arbeiten < 56 min
- 2 mal Umsteigen

- **Direktzüge sind nicht möglich**
(die Trassen sind voll ausgelastet)



- **Längere Fahrzeit**

- Reduziert die Fahrgastströme

- **Umsteigen**

- Reduziert die Fahrgastströme
- Reduziert die nutzbare Arbeitszeit und den Komfort
- Nachteilhaft für Menschen mit körperlichen Einschränkungen

- **Indirekte Fahrten**

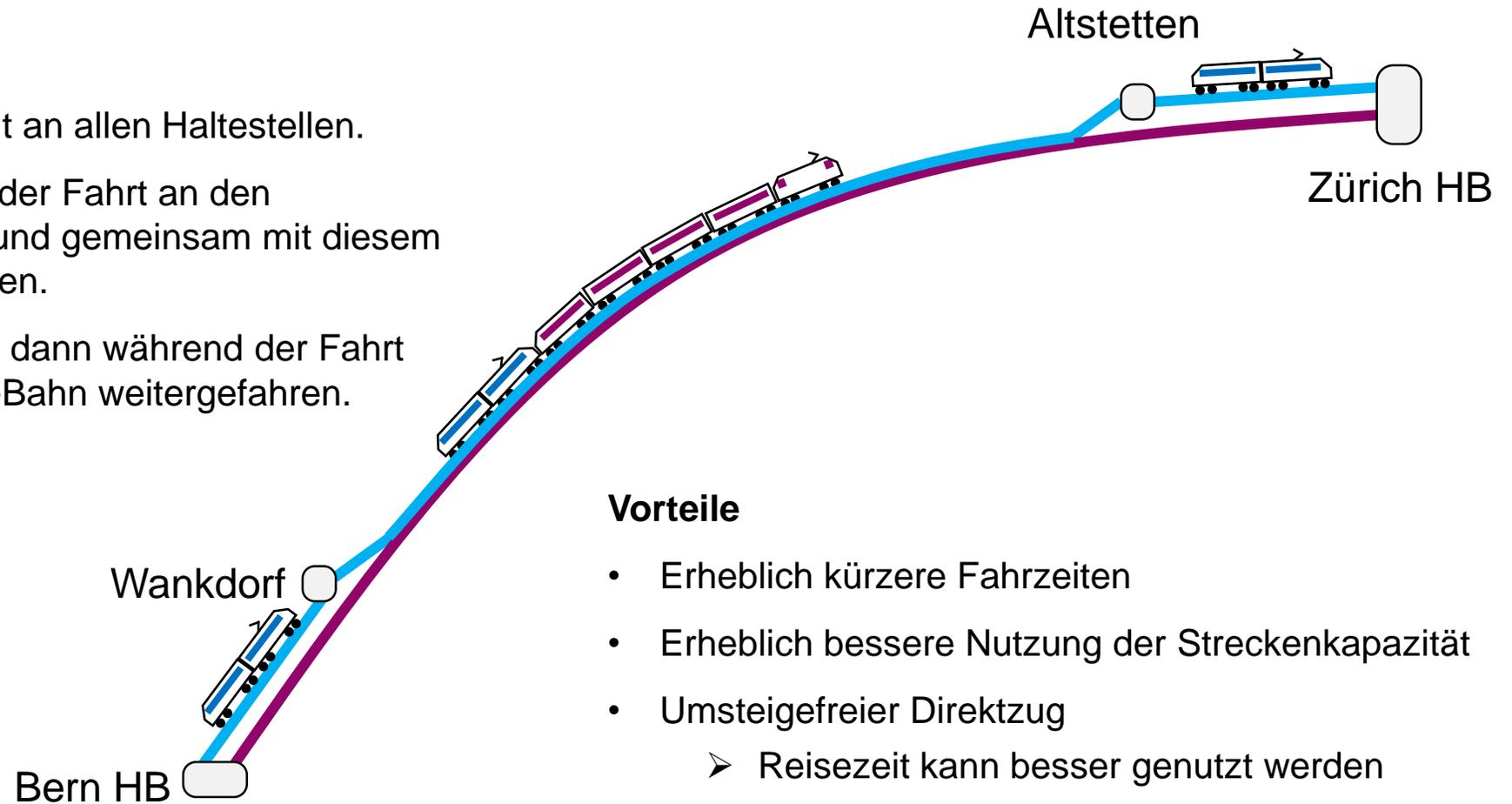
- Erhöhen den Energieverbrauch
- Erhöhen den Fahrzeugverschleiss

Nahtloser Verkehr - Forschungsprojekt: Dynamisches Kuppeln

Konzept

Betriebskonzept

- Zug fährt als S-Bahn und hält an allen Haltestellen.
- Am Stadtrand wird während der Fahrt an den Fernverkehrszug gekuppelt und gemeinsam mit diesem auf dessen Trasse mitgefahren.
- Kurz vor dem Stadtrand wird dann während der Fahrt abgekuppelt und dann als S-Bahn weitergefahren.



Vorteile

- Erheblich kürzere Fahrzeiten
- Erheblich bessere Nutzung der Streckenkapazität
- Umsteigefreier Direktzug
 - Reisezeit kann besser genutzt werden
 - Vorteilhaft für Menschen mit Gepäck und/oder körperlichen Einschränkungen

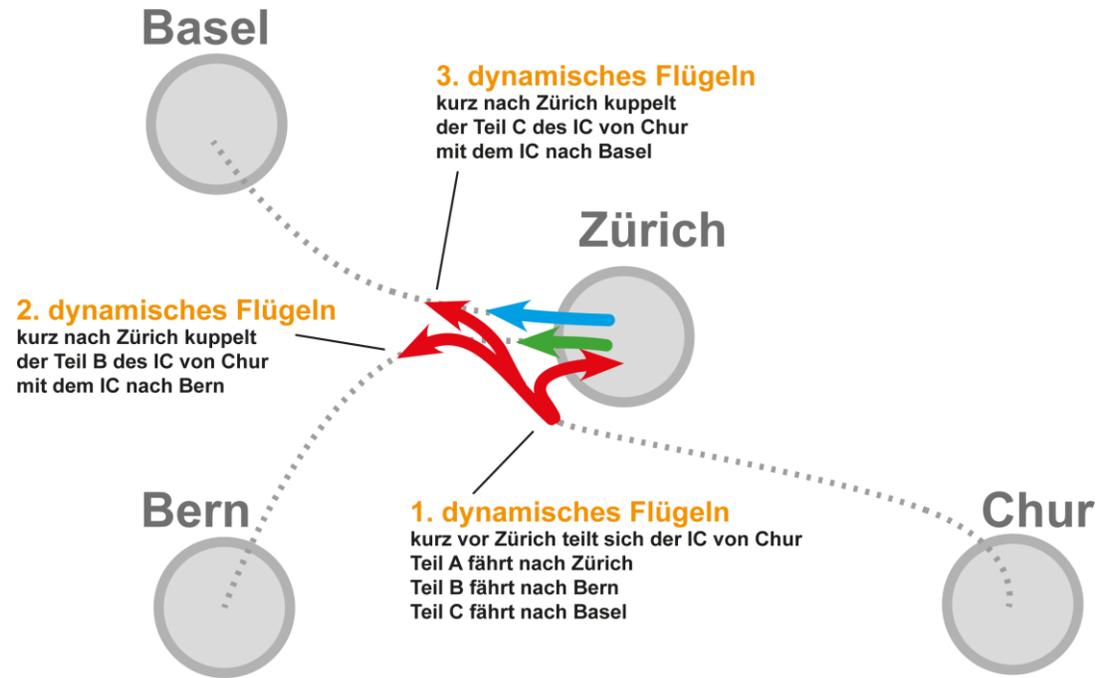
Weitere Information zu dem Forschungsprojekt:

Nold, M., & Corman, F. (2021). Dynamic train unit coupling and decoupling at cruising speed. Systematic classification, operational potentials, and research agenda. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 18, 100241.

doi:10.3929/ethz-b-000473438

Nahtloser Verkehr - Forschungsprojekt: Dynamisches Kuppeln

Weitere Betriebskonzepte



Weitere Information zu dem Forschungsprojekt:

Nold, M., & Corman, F. (2021). Dynamic train unit coupling and decoupling at cruising speed. Systematic classification, operational potentials, and research agenda. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 18, 100241. doi:10.3929/ethz-b-000473438

Höhere Geschwindigkeiten

Was sind die Vorteile des Hochgeschwindigkeitsverkehrs?

Expertenmeinungen aus der Studie «Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050»:

- «die grösste Sünde in den letzten Jahrzehnten ist, dass das Geschwindigkeitspotential, welches die Bahn im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln hat, nicht ausgenutzt wurde»
- «Von der Expertenseite wurde betont, dass die Bahn das technische Potential bietet um einen wirtschaftlich und technisch kosteneffizient realisierbaren Verkehr mit 320 km/h zu ermöglichen»

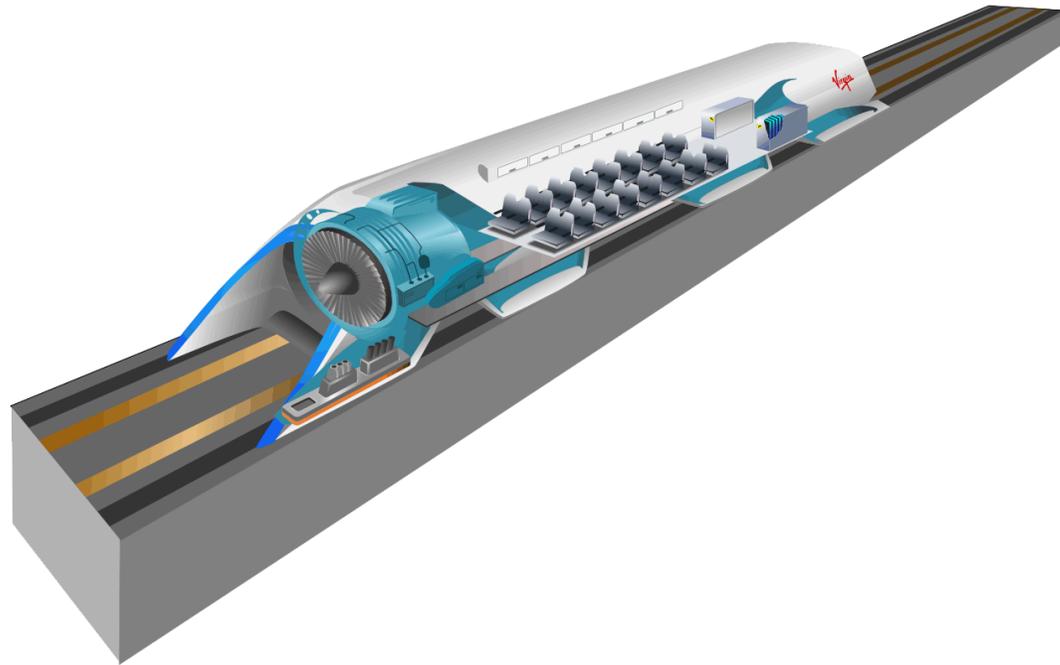
Hintergrund:

Die Reisezeit ist für die meisten Personen eines der wichtigsten Kriterien zur Verkehrsmittelwahl und lässt sich durch höhere Geschwindigkeiten reduzieren. Durch attraktivere Reisezeiten wechseln Personen vom Individualverkehr zum öV.

Höhere Geschwindigkeiten

Hyperloop, Swissmetro und ähnliche Systeme (1/2)

- Bis **1200 km/h** schnell
 - 6 min: Zürich-Bern (heute: 56 min)
 - 17 min: Stuttgart-München (heute: 133 min)



Watson (2020) Bern nach Zürich in 6 Minuten «Hyperloop» absolviert bemannte Testfahrt
Wikipedia (2021) Hyperloop



Höhere Geschwindigkeiten

Hyperloop, Swissmetro und ähnliche Systeme (1/2)

Allgemein

- Hohe Geschwindigkeit
- Hohe Investition
- Noch nicht ausreichend geklärt:
 - Machbarkeit Allgemein
 - Sicherheitsanforderungen / Evakuation
 - Weichenverbindungen zur Netzbildung
- Geringes Transportvolumen

Typ	Geschwindigkeit		Fahrzeug Länge [m]	Anzahl Sitzplätze	Prakt. Frequenz	Min. Folgezeit [s]	Streckenkapazität [Pass./h Richtung]
	Max. [km/h]	Betrieb [km/h]					
Flugzeug	900 900	600 400	60–70 40	400 200	15/h 20/h	180 180	6,000 4,000
HGV Zug	380 250	250 150	410 200	1000 450	10/h 12/h	180 180	10,000 5,400
Transrapid	500	225–250	125	438	12/h	300	5,250
SC Maglev	600	245		1000	10/h	180	10,000
Swiss-metro	500	323	78	200 (350)	10/h	360	2,000 (3500)
Hyperloop	1200	1000	25–30	28–40	12/h	300	336–480

Hansen (2019) Hochgeschwindigkeitsverkehr in Vakuumröhren - Ist Hyperloop machbar?

- Wenn das System machbar sein sollte und in der Schweiz eingeführt werden würde, wird es in der ganzen Schweiz wahrscheinlich nicht mehr als 5 Haltestellen geben, wenn der Geschwindigkeitsvorteil dieses Systems genutzt werden soll. In diesem Fall würden nur sehr wenige Personen einen umsteigefreien nahtlosen Zugang zu diesem System haben. → **Kein nahtloser Verkehr**

Höhere Geschwindigkeiten

Verkehrskreuz Schweiz (1/2)

Einordnung

- Es handelt sich um eine Projektidee zum Ausbau des Schweizerischen Schienennetzes, über dies noch wenig bekannt ist.

Wann wurde das Vorhaben priorisiert?

- Am 9.3.2023 durch das Parlament: «Der Bundesrat soll sich verstärkt auf den Bau des "Verkehrskreuzes Schweiz" und damit auf den Ausbau des Fernverkehrs auf der Schiene konzentrieren. Das fordert das Parlament mit einer überwiesenen Motion.»

Quelle: Parlament (09.03.2023) https://www.parlament.ch/de/services/news/Seiten/2023/20230309101405449194158159038_bsd073.aspx

Höhere Geschwindigkeiten

Verkehrskreuz Schweiz (2/2)

Was sind Ziele und Nutzen?

- «den motorisierten Individualverkehr und den Güterverkehr auf der Strasse zu entlasten»
- «Auf der Schiene eine Alternative zum Auto und zum Flugzeug mit hoher Reisegeschwindigkeit anzubieten», «Das Flugzeug für Tagesstrecken (4 Stunden oder 1'000 km) und Nachtstrecken (ca. 10 Stunden) zu ersetzen»
- «Die gesamte Schweiz erschliessen» «Verbesserung der Direktverbindungen zwischen den Städten, dem Mittelland und den Bergregionen»
- «alle Regionen der Schweiz, die Nachbarländer und Europa verbinden»

Was soll gebaut werden?

- «An erster Stelle soll das Verkehrskreuz Schweiz den Langstrecken-Fahrgastverkehr idealerweise mit den zwei Hochleistungsachsen West-Ost und Nord-Süd von Grenze zu Grenze sicherstellen,»
- Zusätzlich zu den «Hochgeschwindigkeitsachsen» werden «Ergänzungsachsen» beschrieben
- «Parallel dazu wird der neue Grimseltunnel in Kombination mit der Umspurungstechnik ein Meterspurnetz in den Alpen schaffen»

Quelle: SwissRailvolution (2021)

Höhere Geschwindigkeiten

Neigetechnik

Die Neigetechnik ist eine etablierte alte Technologie, die auch noch in Zukunft ein hohes Potential hat:

Vorteile

- Geschwindigkeitserhöhung und Fahrzeitreduktionen auf Bestandsstrecken.
- Kann Milliardeninvestitionen für Streckenausbauten sparen.

Nachteile

- Teurere Fahrzeuge und teurerer Fahrzeug- und Streckenunterhalt.
- Erspart Investitionen für Streckenausbauten.
- Für einen Teil der Fahrgäste fühlt sich die Fahrt unwohl an.

Ungünstige Situation:

Die Bahngesellschaften müssen die teureren Fahrzeuge meist bezahlen. Für Streckenausbauten würden sie meist aber deutliche Subventionen erhalten.



Ausgewählte Projekte & Technologien

Elektro-Busse

- Hintergrund kein CO2 Ausstoss
- Hohe Anschaffungspreise
- Die Strom-Netze können vielerorts nicht ausreichend Strom zum Laden liefern



Ausgewählte Projekte & Technologien

Elektro-Schiffe

- Es gibt verschiedene Bestrebungen Schiffe elektrisch zu betreiben um den CO2 Ausstoss auf dem Schiff zu vermeiden.
- Historisch gesehen sind batteriebasierte Antriebssysteme bei Wasserfahrzeugen aber schon bekannt.
- Derzeit gibt es erste Projekte eher im Kurzstreckenbetrieb, für die Zukunft sind längere Distanzen geplant.

Ausgewählte Projekte & Technologien

Wasserstoff oder E-Fuel Flugzeuge

- Derzeit gibt es viele Bestrebungen das Kerosin der Flugzeuge durch eine CO2 neutrale Alternative zu ersetzen.
- Die Ansätze hierzu sind Wasserstoff oder synthetische Treibstoffe (E-Fuels)
- Bei Wasserstoff besteht noch Entwicklungsaufwand bei den Flugzeugen.
- Bei synthetischen Treibstoffen besteht noch Entwicklungsaufwand bei der Erzeugung.

Ausgewählte Projekte & Technologien

Spurbusse und ähnliche Technologien

- Entwicklung seit den 1970er bis heute.
- Verschiedene Einsatzorte und Technologievarianten. Bis heute immer noch ein Nischenprodukt, da bis heute noch sehr viele technische Probleme nicht gelöst wurden.
- An einigen Orten wurde diese Technologie komplett aufgegeben oder auch durch Strassenbahnen ersetzt.



Ausgewählte Projekte & Technologien

Pods

- Personentransport in kleinen automatisch fahrenden Transporteinheiten
- Abhängig vom Konzept auf der Strasse oder auf eigener Infrastruktur.
- Entwicklung seit den 1970er, bis jetzt immer noch Prototypenstatus oder lediglich Kleinanwendung.

Ausgewählte Projekte & Technologien

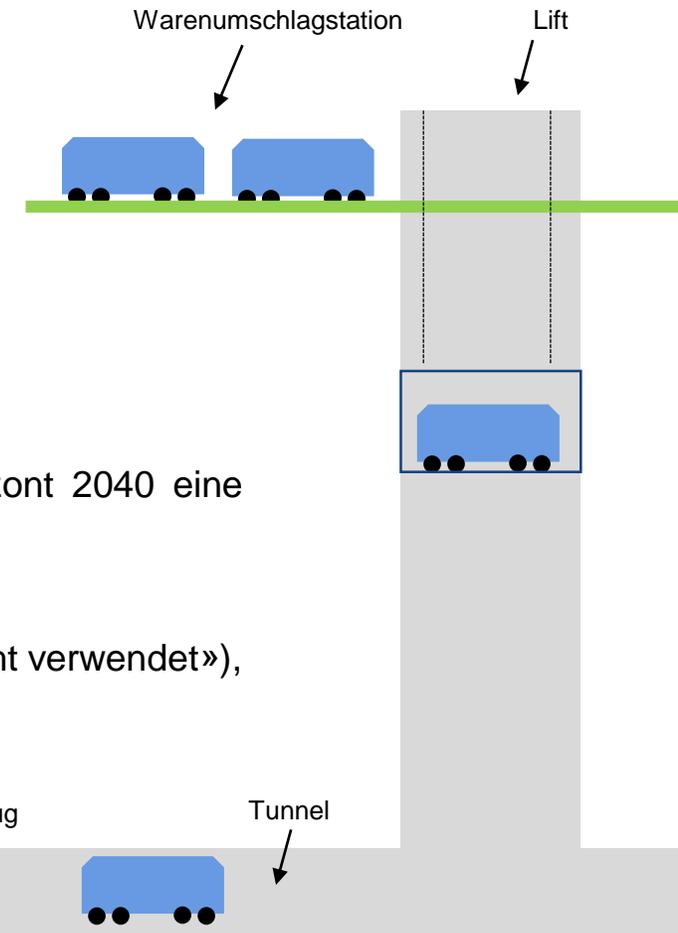
Cargo Sous Terrain

Beschreibung

- Cargo Sous Terrain ist ein Konzept zum Gütertransport in einem Tunnelsystem.
- Hierzu werden mit selbstfahrenden Fahrzeugen Güter durch das Tunnelsystem transportiert.

Weitere Aspekte

- Entlastung der oberirdischen Transportwege (Strassen und Schienen).
- Die unterirdische Lösung ist raumplanerisch und hinsichtlich der Flächennutzung vorteilhaft.
- Obwohl CST komplexer als viele existierende Transportmittel sind, sehen Experten im Zeithorizont 2040 eine Machbarkeit.
- Experten haben massive Zweifel an der Kostenseite und Wirtschaftlichkeit:
 - Weil der Güterverkehr extrem kostenorientiert ist («Wenn ein System nicht billiger ist, wird es nicht verwendet»),
 - CST aufgrund von Tunnels und Liftanlagen eine sehr kostenintensive Infrastruktur hat und
 - meist zusätzliche Warenumsschlagstationen, welche Kosten verursachen, erforderlich sind.



Quellen: www.cst.ch & Nold et al (2022) *Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050*

Ausgewählte Projekte & Technologien

Automatischer Zugbetrieb

- GoA 4 findet längst bei U-Bahnen eine Anwendung.
- Die grösste Problematik der Automatisierung ist nicht das selbstständige Fahren, sondern der Fehlerfall und dessen Automatisierung.
→ Deswegen ist GoA 2 und 3 vielerorts das Ziel.
- GoA 2 verbessert die Streckenkapazitätsausnutzung, sodass mehr Züge unterwegs sein können.
- GoA 2 ermöglicht komplexe energieeffiziente Fahrstrategien.

GoA	Vereinfachte Beschreibung
0	Fahren auf Sicht
1	Manuelle Fahrt, welche teilweise durch die Zugbeeinflussung beeinflusst wird.
2	Halbautomatischer Betrieb mit Fahrer.
3	Fahrerloser Betrieb mit Begleitpersonal.
4	Vollautomatisiert und Fahrerlos



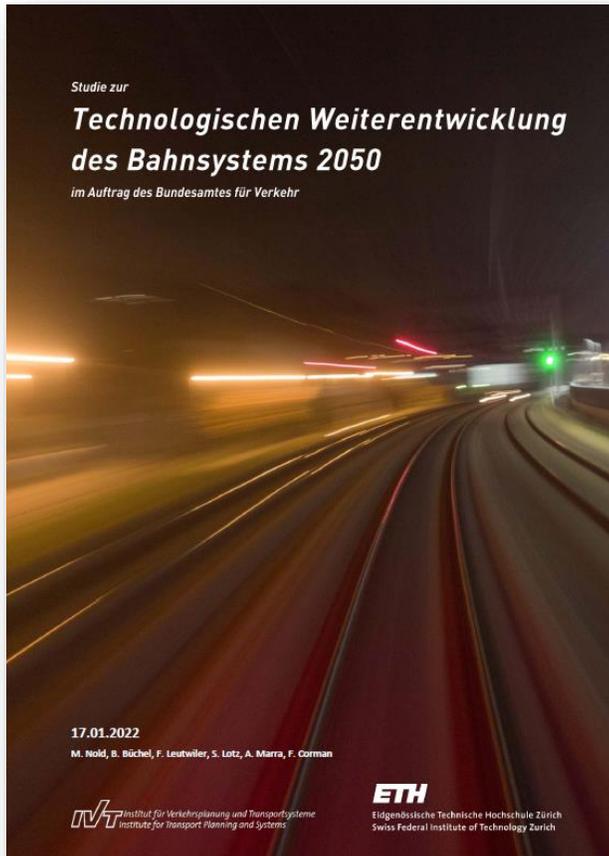
Öffentlicher Verkehr der Zukunft

Fazit

- Einige Technologien sind eher weniger zu erwarten, obwohl sie aus der Presse bekannt sind (bspw. Hyperloop).
- Einige Technologien werden funktionieren, werden aber von der Gesellschaft nicht akzeptiert (bspw. dynamisches Kuppeln).
- Einige Technologien, welche kommen, haben ungewisse und unbekannte Auswirkungen.

- Wahrscheinlich wird es viele kleine, eher evolutionäre Änderungen geben.
- Einige bekannte Technologien lassen sich noch immer deutlich optimieren.

Weiterführende Werke



Nold, M., et al (2022).

Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050

doi:10.3929/ethz-b-000554905

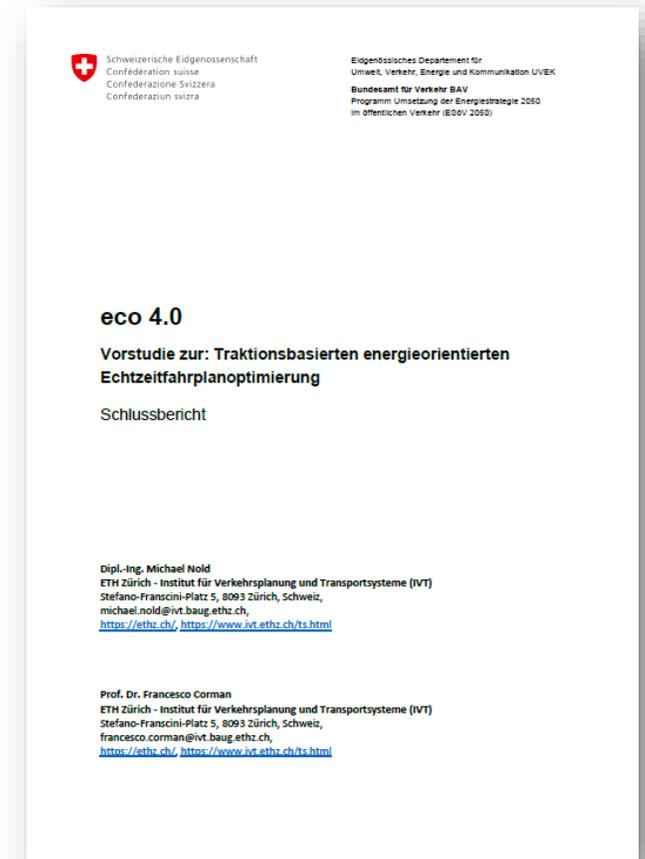
<https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/aktuell-startseite/berichte/perspektive-bahn-2050/technologische-entwicklung.pdf.download.pdf>

Nold, M., & Corman, F. (2020)

eco 4.0

doi: 10.3929/ethz-b-000462144

<https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/themen/umwelt/energiestrategie-projekte/schlussbericht-163.pdf.download.pdf>



Quellen

- ADAC (2022) Ladeverluste beim Elektroauto - So können Sie Kosten vermeiden. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/ladeverluste-elektroauto-studie/>
- Allianz pro Schiene, e.V., 2010. 15 Beispiele erfolgreicher Bahnen im Nahverkehr
- Autobild (2021) So steht es um das Schnellladen von Elektroautos in Deutschland
- AVG, 2015. Stadtbahn verbindet Stadt und Region - Eine Idee aus Karlsruhe setzt sich durch. Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH, Karlsruhe.
- BFE (2018) Elektrizitätsstatistik
- Blick (2021) Nach dem Mega-Blackout gibts Mega-Rechnungen
- Blick (2021) Strom für das Elektroauto ist nur zu Hause garantiert günstiger als Sprit
- BMUV (2021) Effizienz und Kosten lohnt sich der Betrieb eines Elektroautos. <https://www.bmuv.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/effizienz-und-kosten>
- Bundesamt für Verkehr (2023) *Öffentlicher Verkehr (öV)* <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/glossar/oeffentlicher-verkehr.html>
- Clifford, C (2017). *Elon Musk says public transit is painful, Twitter fights back — then so does Musk*. CNBC. <https://www.cnbc.com/2017/12/21/elon-musk-versus-twitter-on-the-topic-of-public-transportation.html>
- Corman, F., & Nold, M. (2022). *ÖV der Zukunft. Überall, jederzeit, nahtlos und komfortabel*. doi:10.3929/ethz-b-000531133
- Dailymail (2022) Charging points for electric cars 'will be preset to turn off for NINE HOURS a day' Daily Mail Online
- eFahrer (2021) Um Blackout zu verhindern - In diesem Land werden Ladesäulen einfach abgeschaltet
- FAZ (2021) „Spitzenglättung“ Zwangsabschaltung bei Netzüberlastung
- Focus (2021) Drohende Überlastung der Stromnetze
- Klatt, R (2022) Overtapping-Effekt - Elektroautos sind öfter an Unfällen beteiligt. <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/oekonomie/elektroautos-sind-oefter-an-unfaellen-beteiligt-13376600>
- KronenZeitung (2021) Zivilprozess in Linz - E-Auto macht schon nach 120 Kilometern schlapp krone.at
- Nold, M., & Corman, F. (2020). *eco 4.0. Vorstudie zur: Traktionsbasierten energieorientierten Echtzeitfahrplanoptimierung*. doi:10.3929/ethz-b-000462144
- Nold, M., & Corman, F. (2021). Dynamic train unit coupling and decoupling at cruising speed. Systematic classification, operational potentials, and research agenda. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 18, 100241. doi:10.3929/ethz-b-000473438
- Nold, M., Huggenberger, T., & Corman, F. (2022). Der Einfluss der Verluste in den Traktionskomponenten auf den Energieverbrauch von Zugfahrten. *Eisenbahn-Revue International*, 2022(2), 84–89.
- Nold, M., Büchel, B., Leutwiler, F., Lotz, S., Marra, A. D., & Corman, F. (2022). *Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050*. doi:10.3929/ethz-b-000554905
- Nold, M., & Corman, F. (2023). *Challenges and opportunities for the railway system in 2050. Results from a survey of experts*. 10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (RailBelgrade 2023), Belgrade, 25-28 April 2023
- Porsche (2018) Ultra-Schnellladetechnologie für die Elektrofahrzeuge der Zukunft
- SBB (2019) Verbrauch
- Siemens (2019) SiCHARGE UC Die flexible Lösung für die urbane Mobilität der Zukunft
- Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (2021) Netznutzungsmodell für das Schweizerische Verteilnetz
- Welt (2021) Spitzenglättung Drosselung statt Zwangs-Ladepausen für E-Autos
- Weidmann, U., Dorbritz, R., Orth, H., Scherer, M., & Spacek, P. (2011). *Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen* (Vol. 1345). Bern: Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen.

Michael Nold

Transportsysteme

Michael.Nold@ivt.baug.ethz.ch

Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)

Stefano-Franscini-Platz 5

8093 Zürich

Schweiz

www.ivt.ethz.ch

