

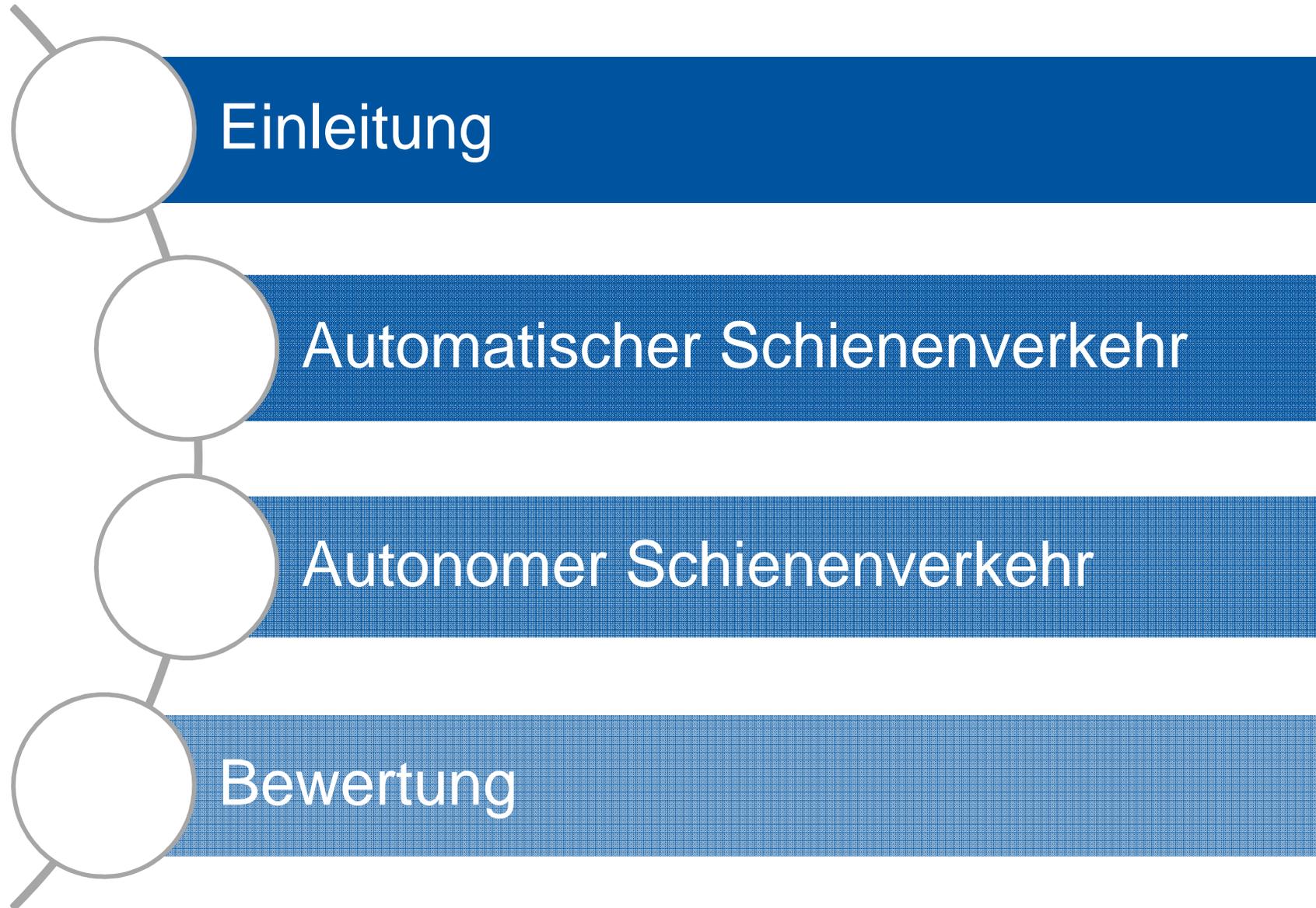
Fachtagung Eisenbahnrecht und Technik 2019

Autonomes Fahren – technisch betrachtet

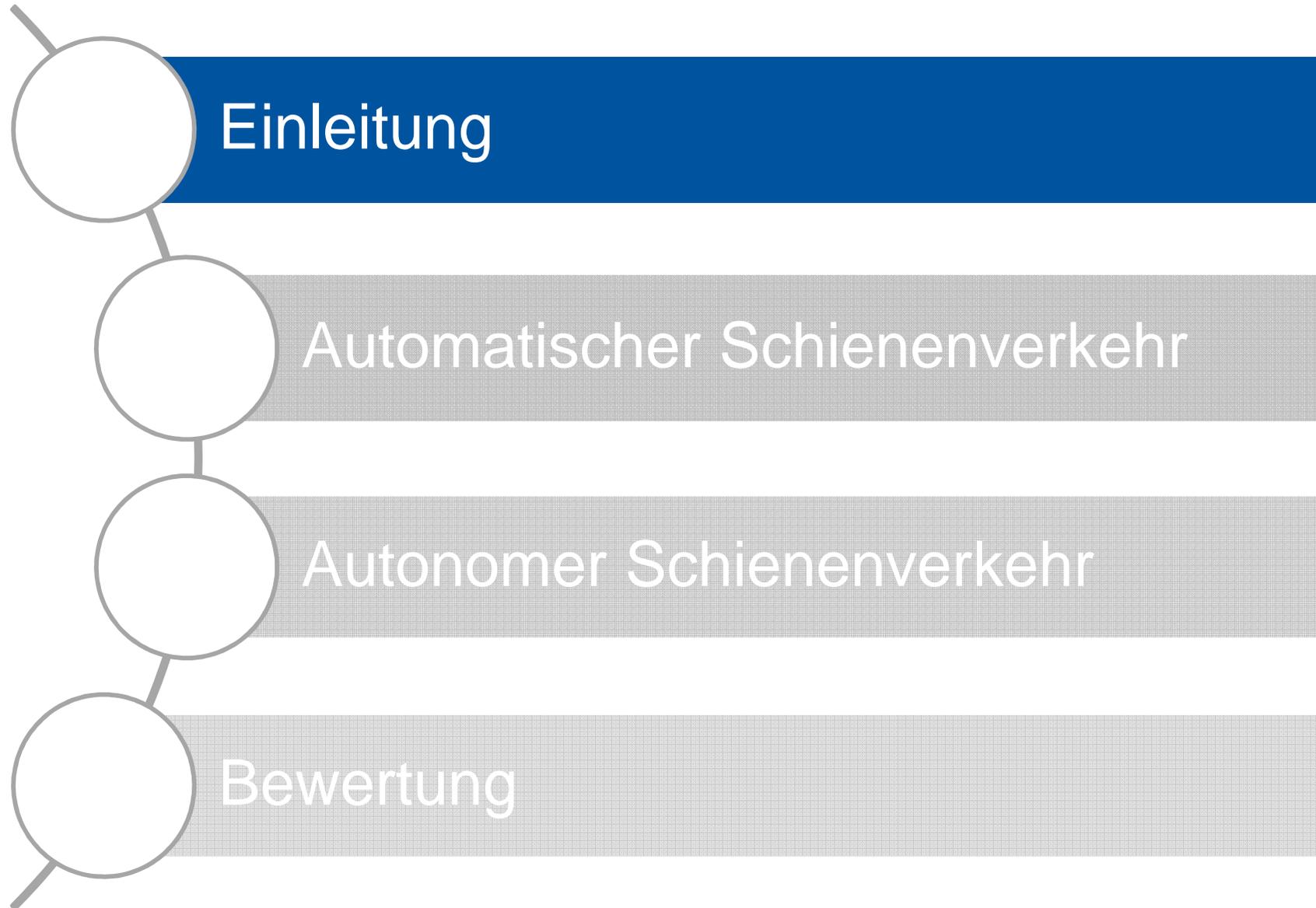
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

Verkehrswissenschaftliches Institut und
Lehrstuhl für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft
der RWTH Aachen

Übersicht



Übersicht



Autonomes Fahren

In der öffentlichen Diskussion überwiegend Straßenverkehr



Google Car
© Grendelkhan

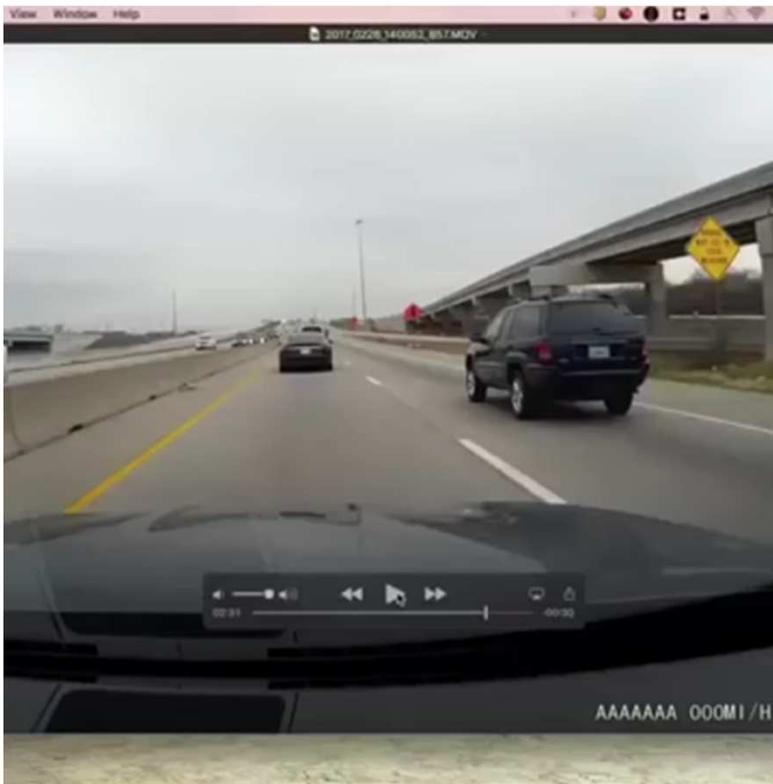


Deutsche Bahn ioki
© Deutsche Bahn

- Die Sensorik auf dem Fahrzeug ersetzt den (Gesichts-)Sinn des Fahrers.
- Gefahren wird, wenn der Weg auf Sicht frei ist.
- Spurhaltung durch Erkennung von fahrwegseitigen Markierungen und ggf. hinterlegten Karten/Koordinaten.
- Kameras erkennen Verkehrsschilder und Lichtanlagen, welche von Algorithmen ausgewertet werden.

Autonomes Fahren basiert auf Daten und Algorithmen

- Insgesamt werden durch autonome Fahrzeuge weniger Unfälle entstehen, da „menschliches Versagen“ oder Missachten der Verkehrsregeln ausgeschlossen ist.
- Neue Fehlerquellen entstehen durch „unsaubere Daten“, fehlerhafte Algorithmen oder unzureichende Spezifikationen.



Quelle: youtube

Ampel → Backofen

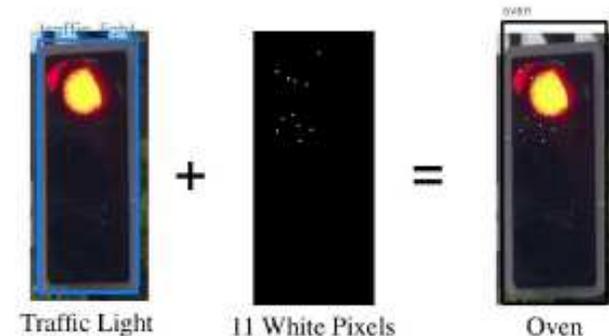


Fig. 1: An adversarial example for the YOLO object recognition network.

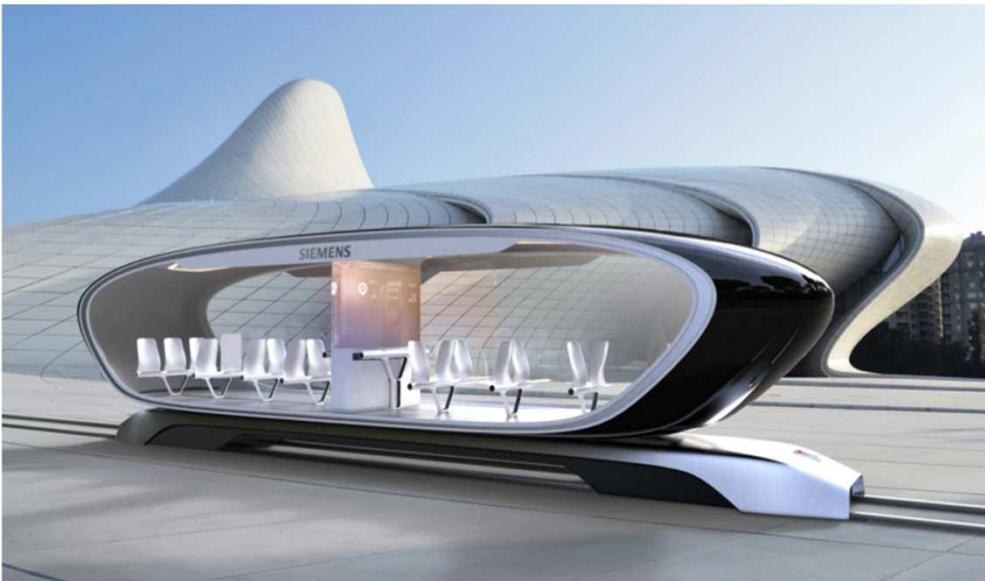
Quelle: Wicker et al. (2018)

Autonomes Fahren auf der Schiene?

Aufgrund der Spurführung ist der Schienenverkehr für ein automatisiertes bzw. autonomes Fahren sehr gut prädestiniert und verfügt über deutlich bessere Voraussetzungen als der Straßenverkehr.

Im Vergleich zum Straßenverkehr ist Bahnfahren viel sicherer. Das Verletzungsrisiko ist etwa 130-mal¹ geringer als im Pkw.

¹Quelle: Allianz pro Schiene



ANTS
© Siemens



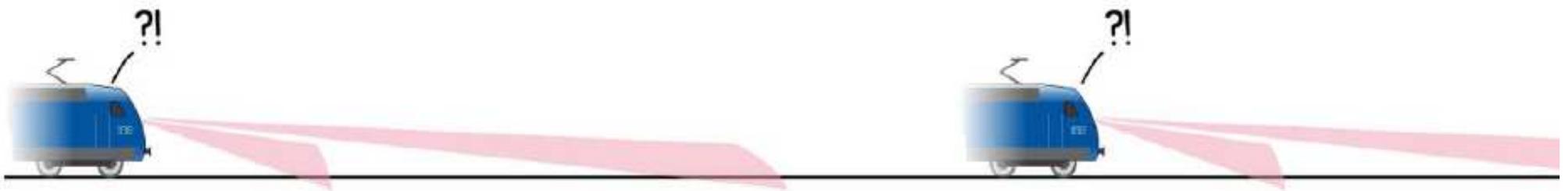
Aachener Rail Shuttle
© RWTH Aachen, IFS

Unterschied zwischen automatischem und autonomem Schienenverkehr

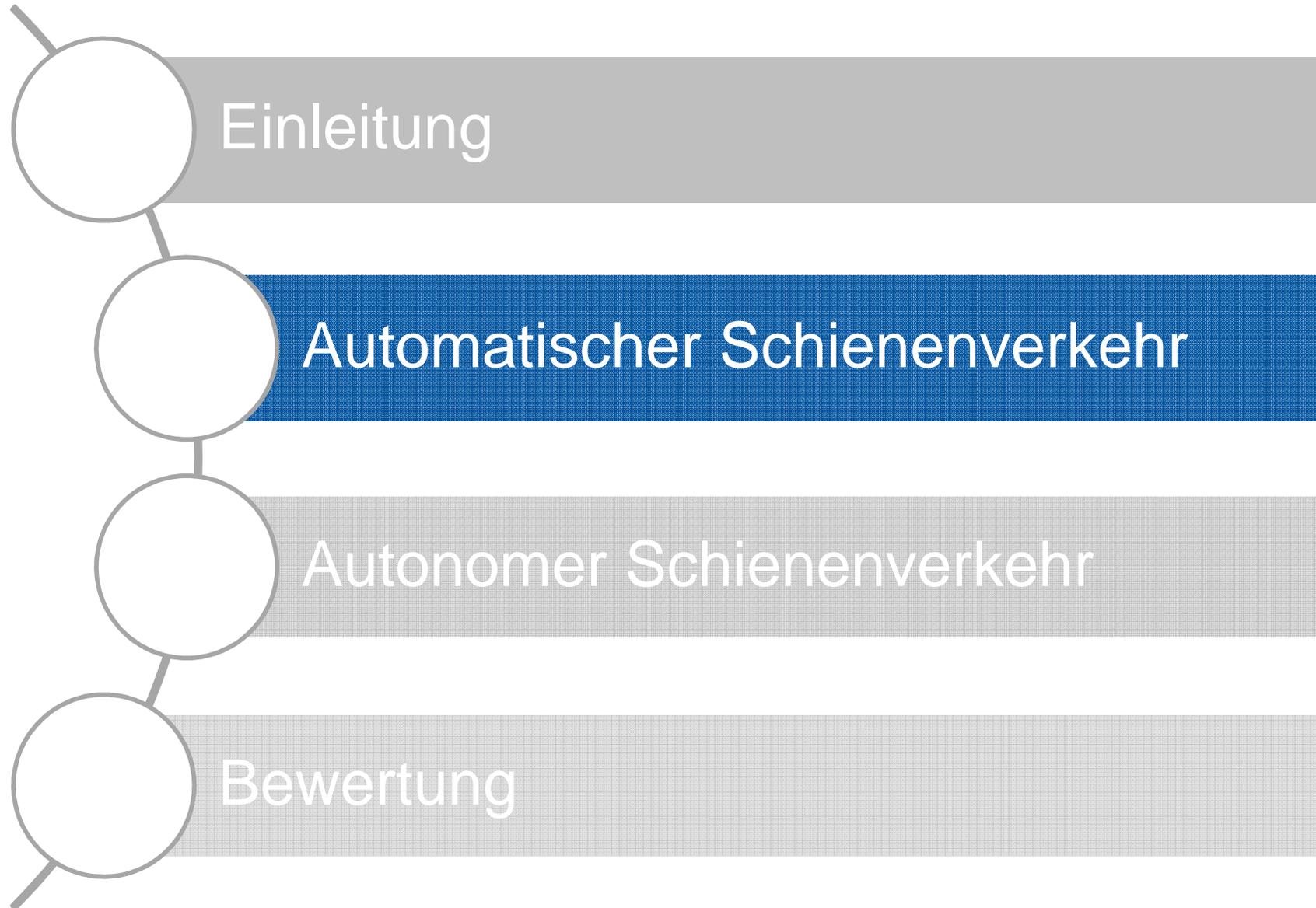
Automatisch = von selbst durch Steuerung oder Regelung von außen erfolgend



Autonom = selbstverantwortlich, selbständig, unabhängig



Übersicht



Rahmenbedingungen des (voll-)automatischen Schienenverkehrs

Beim vollautomatisierten Schienenverkehr wird das Fahrzeug weitgehend von außen über eine **Leitstelle** geführt.

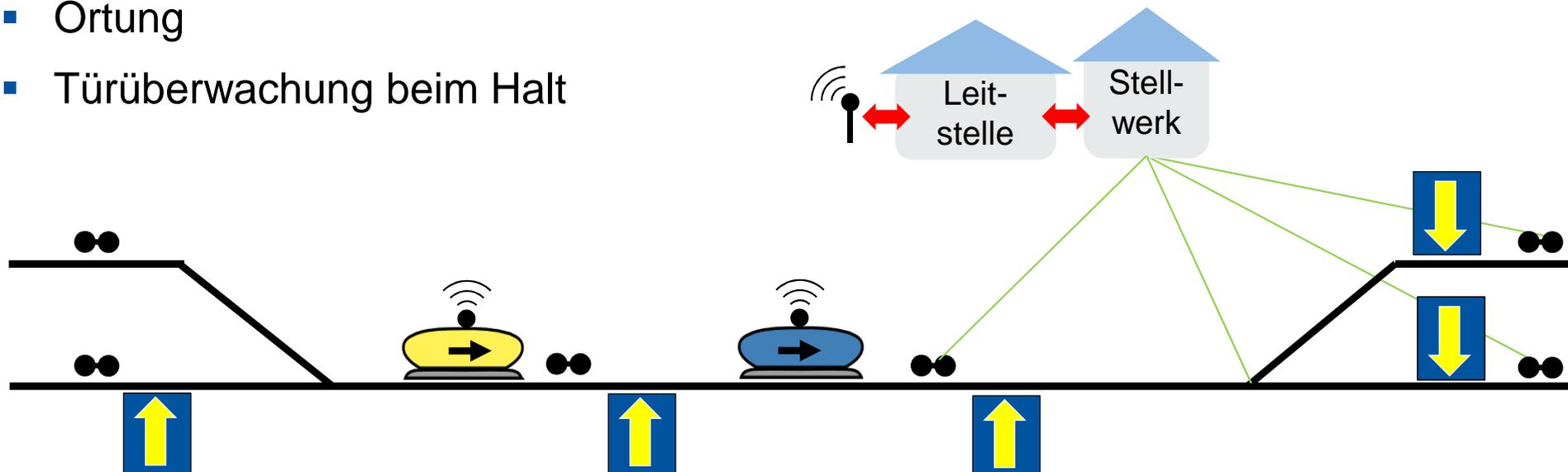
Bei Verlust der Verbindung zur Leitstelle muss es in einen sicheren Zustand zurückfallen (fail safe), d. h. Stillstand oder Fahren auf Sicht.

- Fahrtfreigabe wird von einer zentralen Leitstelle vorgegeben
- Kommunikation mit dem Fahrzeug und Ortung über Funk, Balisen o. ä.
- Fahrgeschwindigkeitsprofil und Bremskurve werden
 - zentral vorgegeben oder
 - auf dem Fahrzeug berechnet
- Türüberwachung beim Halt durch
 - zentrale Leitstelle per Video oder
 - bahnsteigseitige Vorkehrungen (z. B. Bahnsteigtüren und positionsgenaueres Halten)

Benötigte technische Einrichtungen für den automatischen Schienenverkehr

Der (voll-)automatisierte Schienenverkehr basiert auf dem derzeitigen Systemverständnis „Bahn“ mit externer Fahrwegstellung und -sicherung. Benötigte technische Einrichtungen sind i. d. R.:

- Zugsicherung mittels Stellwerk
- Zentrale Leitstelle
- Zugbeeinflussung (z. B. ETCS, LZB)
- Zugsteuerungssysteme (ATO)
- Ortung
- Türüberwachung beim Halt



Unterschiedliche Ausprägungen der Automatisierung

Im Eisenbahnwesen werden vier Automatisierungsstufen - sogenannte Grade of Automation (GoA) - unterschieden.

- Der automatisierte Betrieb (GoA2) stellt den Stand der Technik für Vollbahnen dar. Teilweise kommt auch das hochautomatisierte Fahren zur Anwendung.
- Im Nahverkehr existieren auch vollautomatische Systeme (GoA4).



© Siemens

Stufen der Automatisierung

Grade of Automation nach UITP (2012)

Automatisierungsgrad	Art des Zugbetriebs	Beschleunigen Bremsen	Türschließung	Störungsbehebung
GoA 1 	ATP mit Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer
GoA 2 	ATP und ATO mit Fahrer	Automatisch	Fahrer	Fahrer
GoA 3 	Fahrerlos	Automatisch	Zugbegleiter	Zugbegleiter
GoA 4 	Unbegleitet	Automatisch	Automatisch	Automatisch

ATP – Automatic Train Protection

ATO – Automatic Train Operation

Beispielanwendungen für spurgeführte vollautomatische Systeme

SkyTrain, Düsseldorf



© Elasto

U-Bahn, Nürnberg



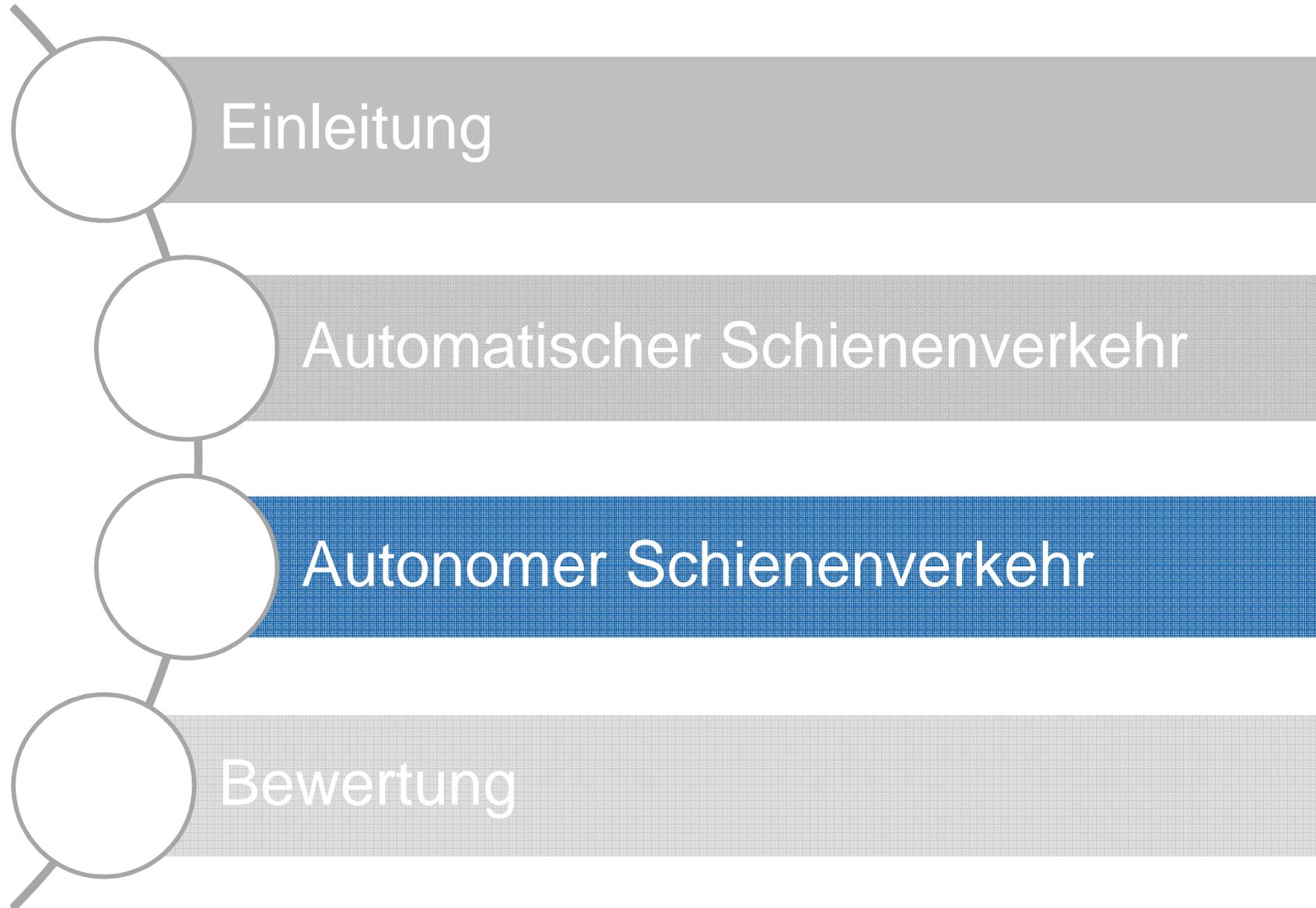
© Tobias Bär

Erzzug, Australien



© Rio Tinto

Übersicht



Rahmenbedingungen des autonomen Schienenverkehrs

Beim autonomen Schienenverkehr bewegt sich das Fahrzeug vollkommen **selbstständig** aufgrund der an Bord installierten Sensorik und künstlichen Intelligenz im Verkehrsraum.

Es kommt – ggfs. bei geringerer Performanz – ohne externe Informationen und Hilfsmittel ans Ziel. Es kann auf unvorhergesehene Änderungen der Umgebungsbedingungen reagieren.

- Sensorik erkennt, ob der Fahrweg frei ist
- Kommunikation mit anderen Fahrzeugen zur Deadlockvermeidung notwendig
- Weichen werden vom Fahrzeug aus gestellt
- Fahrverlauf und zulässige Geschwindigkeit kennt der Bordcomputer

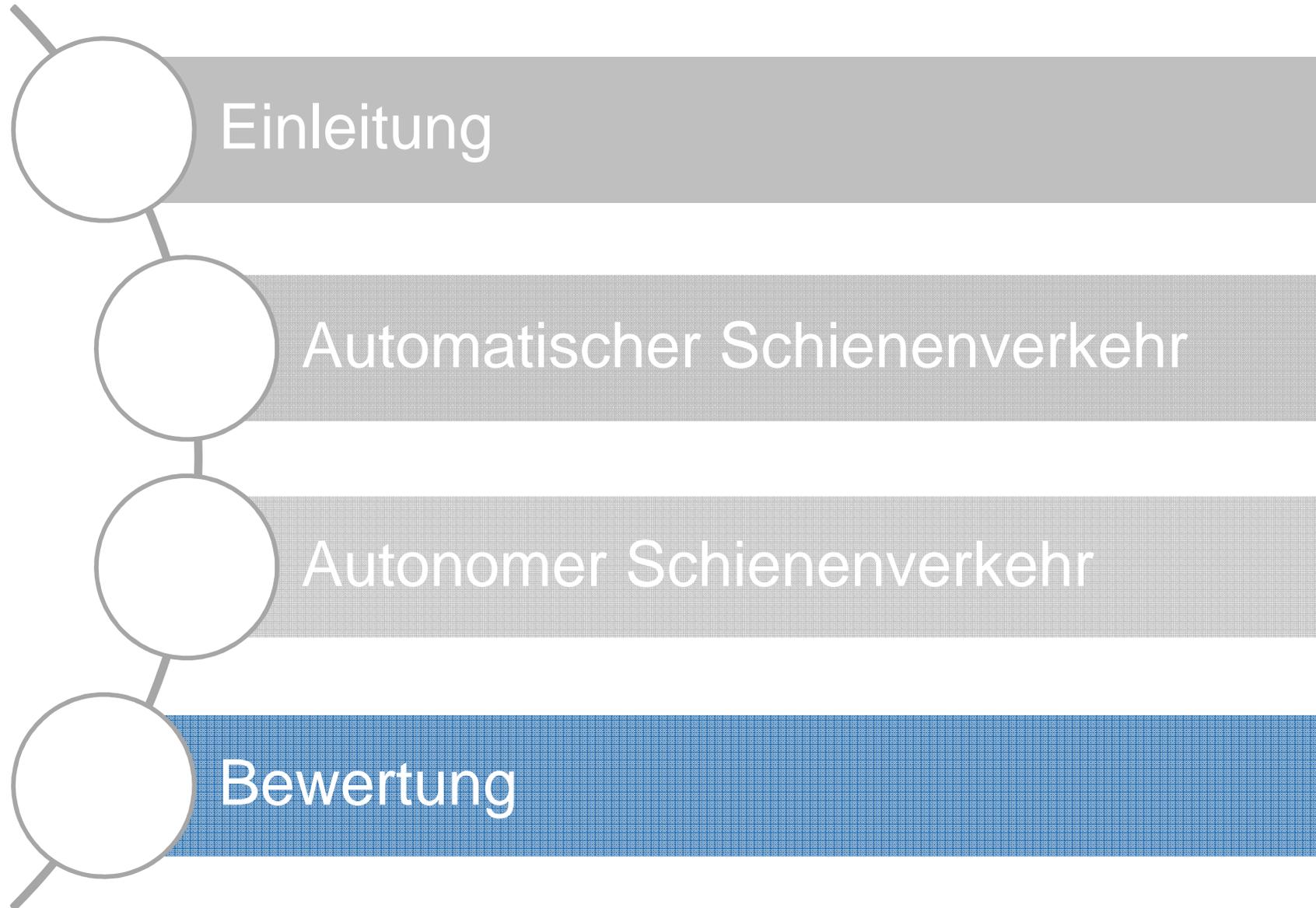
Benötigte technische Einrichtungen für den autonomen Schienenverkehr

Beim autonomen Schienenverkehr organisieren sich die Fahrzeuge eigenständig dezentral.

- Zugsicherung durch Fahrzeuge (beispielsweise Folgefahrschutz durch Kamera, Radar,...)
- Dezentrale Steuerung
- Ansteuern der Weichen, Bahnübergänge durch Fahrzeuge
- Eigenständige Ortung
- Türüberwachung beim Halt



Übersicht



Vorteile des automatisierten und autonomen Schienenverkehrs (I/II)

Vorteile des automatisierten Schienenverkehrs:

- Besseres „Abfahren“ der geplanten Zeiten und dadurch pünktlichere Züge
- Energieeffizientere Fahrweise
- Ggf. Verzicht auf Triebfahrzeugführer (eher im Nahverkehr und bei urbanen Systemen)
- Kapazitätsgewinn ?

Vorteile des automatisierten und autonomen Schienenverkehrs (II/II)

Vorteile des autonomen Schienenverkehrs:

- In schwach ausgelasteten Teilnetzen Verkehr nach Bedarf möglich (Angebotsausweitung)
- Energieeffizientere Fahrweise
- Verzicht auf Triebfahrzeugführer
- Platzgewinn im Zug (Entfall des Fahrerraums)
- Kostengünstigere Infrastruktur (dafür mehr Technik auf dem Fahrzeug)

Offene Punkte bei einer Vollautomatisierung und autonomem Schienenverkehr

Der Regelbetrieb lässt sich technisch betrachtet heutzutage in vielen Fällen bereits sowohl (voll-)automatisch als auch autonom abwickeln.

Offene Fragen und Probleme ergeben sich in Hinblick auf:

- Die Frage der Rückfallebene bei Unvorhergesehenem
 - Technische Störung am Zug oder an der Infrastruktur
 - Bereithaltung von Notfallmanagern?
 - Fernwartung und Diagnose?
 - Aufschaltung der Strecke per Kamera in die Leitzentrale?
- Akzeptanz der Nutzer für fahrerlosen Betrieb
 - Sicherheitsempfinden insbesondere in den Schwachlastzeiten

Schlussfolgerungen

Schieneverkehr findet bereits heutzutage oftmals automatisiert statt.

- Schienenfernverkehr
 - Im Schienenfernverkehr hat sich GoA2 (z. B. ATO over ETCS) als Serienprodukt am Markt etabliert.
 - Eine Vollautomatisierung ist zwar möglich, aber nicht unbedingt notwendig. Der Triebfahrzeugführer überwacht die Systeme und kann bei unvorhergesehenen Ereignissen eingreifen.
 - Durch eine automatische Zugsteuerung lässt sich der Energieverbrauch verringern.
 - Die Kapazität kann leicht gesteigert werden.
- Schienennahverkehr
 - In abgeschotteten Systemen kommen beim Neubau oftmals vollautomatische Systeme zum Einsatz (GoA4).
 - Im Nahbereich ergeben sich für schwach ausgelastete Bereiche auch Anwendungsfälle für einen autonomen Betrieb (Nebenstrecken, Abstellanlagen,...)