

# Automatisierter Bahnbetrieb

Eine system-ökonomische Betrachtung von Anwendungsfällen  
im Vollbahn-Bereich

**Vortrag**

DLR-Veranstaltung „Der Zug zur Digitalisierung“

Braunschweig, 4. November 2020



# Automatisierter Betrieb existiert seit den frühen 80er Jahren – Digitalisierung und autonomes Fahren führen zu einem weiteren Schub

## Einführung

### Automatisierter Betrieb

- Vollautomatisierter – nicht autonomer (!)  
– Zugbetrieb
- Mit fahrerlosen oder vollständig unbegleiteten Zügen (GoA 3 & GoA 4)
- Unabhängig von der eingesetzten Technologie (ETCS, CBTC etc.)
- In verschiedenen Marktsegmenten der Bahn



### Modellierung von Business Cases

- Welche Anwendungsfälle und Szenarien sind sinnvoll?
- Welche Investitionen sind erforderlich?
- Welchen (monetarisierten) Nutzen generiert die Automatisierung?
- Welche Treiber verändern die Fälle mit welcher Sensitivität?

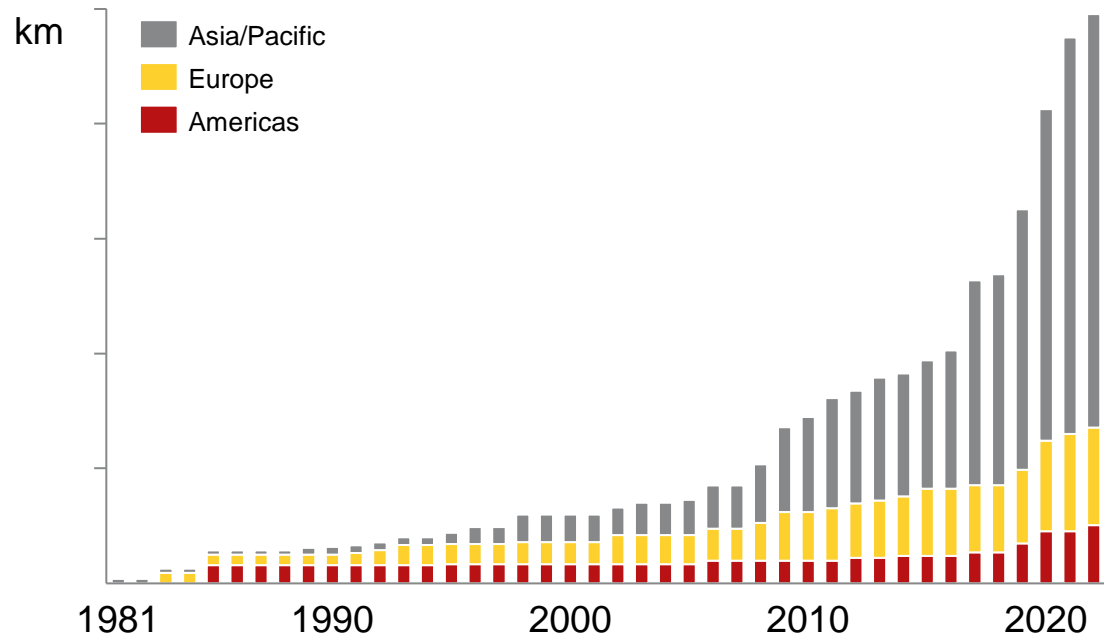


Gemeinsam mit dem DLR arbeiten wir an einem ökonomischen Modell, um verschiedene Anwendungsfälle im Gesamtsystem Bahn zu evaluieren

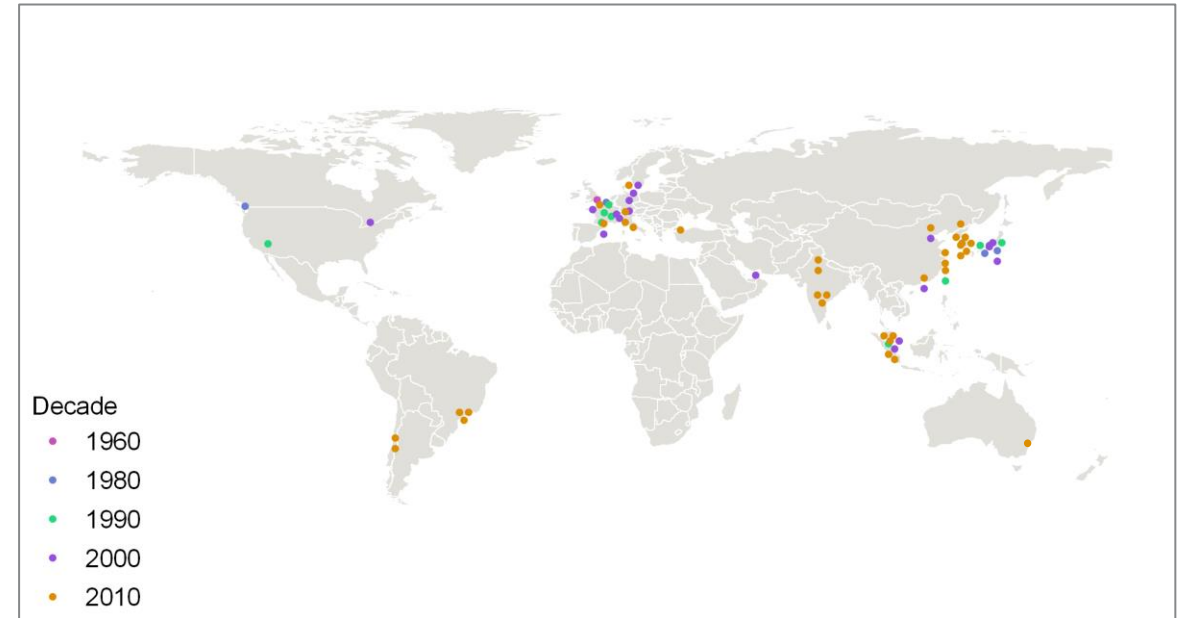
# Seit 1981 wurde der fahrerlose und unbegleitete Zugbetrieb vor allem weltweit in Metro-Systemen realisiert

## Fahrerloser Betrieb in Metros

### Entwicklung der Streckenlänge (kumuliert)



### Vollautomatischer fahrerloser Betrieb – Metros



Welchen Entwicklungsstand gibt es heute bei der Vollbahn?

# Die meisten Beispiele im Vollbahn-Bereich sind Pilotprojekte – überwiegend handelt es sich um Zugbetrieb mit Begleitpersonal

## Automatisierungsprojekte bei Bahnen



### Hochgeschwindigkeitsverkehr

- Peking, China: Peking-Shenyang, erste Phase (**GoA 3**) 2022, zweite Phase (**GoA 4**) 2030+
- Frankreich: Ankündigung des Betriebsbeginns **vollautomatisierter Züge** in 2023 und roll-out ab 2025

### Pendler- und S-Bahn-Verkehre

- Großbritannien, London: Thameslink – Automatisierung des Kernnetzes mit **GoA 2**
- Frankreich, Paris: RER Linie E – Automatisierung des Kernnetzes mit **GoA 2**

### Güterverkehr

- Australien, Pilbara Region: Rio Tinto AutoHaul –**voll automatisierter Güterverkehr (Bergbau)**
- Niederlande: Betuweroute – Test auf der Strecke mit **GoA2**



Wird sich der fahrerlose Betrieb in Zukunft im Vollbahnbereich durchsetzen?

# Für die Vollbahn haben wir fünf Anwendungsbereiche identifiziert

## Anwendungsfälle und Nutzen

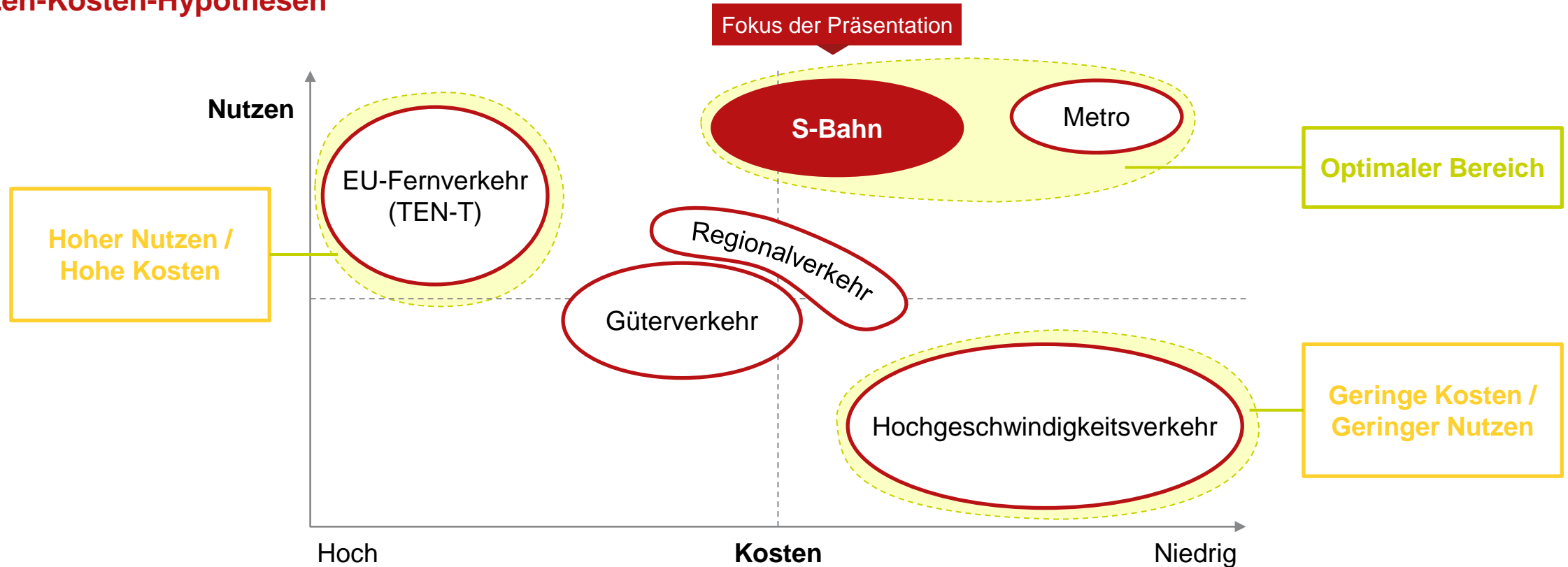
	METRO	S-Bahn	HGV	Fernverkehr (TEN-T)	Güterverkehr	Regionalverkehr
	<i>Getrenntes innerstädtisches Metro-System</i>	<i>Getrenntes S-Bahn-System</i>	<i>Komplett getrenntes Hochgeschwindigkeitsnetz</i>	<i>Intensiv genutzter Korridor mit Mischverkehren</i>	<i>Reine Güterverkehrsstrecke, kein Personenverkehr</i>	<i>Getrennte Regionalverkehrsstrecke</i>
Beispiele	Paris, Mailand etc.	S-Tog, S-Bahn, RER...	AVE (Spanien), HS1/HS2	DACH	USA, Australien	AKN, Lokaltog etc.
Treiber	Spezifische Infrastruktur	✓	✓	✓	✓	✓
	Leistungsfähige LST	✓	(✓)	✓	(✓)	(✓)
Nutzen	Kapazität	✓	✓	✓	(✓)	(✓)
	Personalkosten	✓	✓	✓	(✓)	(✓)
	Energie	✓	✓	✓	✓	(✓)



**Auf den ersten Blick sind die meisten Effekte in hoch ausgelasteten S-Bahn-Systemen zu erwarten**

# Ein hoch ausgelastetes S-Bahn-System mit kurzen Zugfolgezeiten ist der beste Anwendungsfall – andere Systeme erscheinen kompliziert mit geringerem Nutzen







## Nutzen-Kosten-Hypothesen



Welcher Nutzen entsteht durch Automatisierung in der S-Bahn?

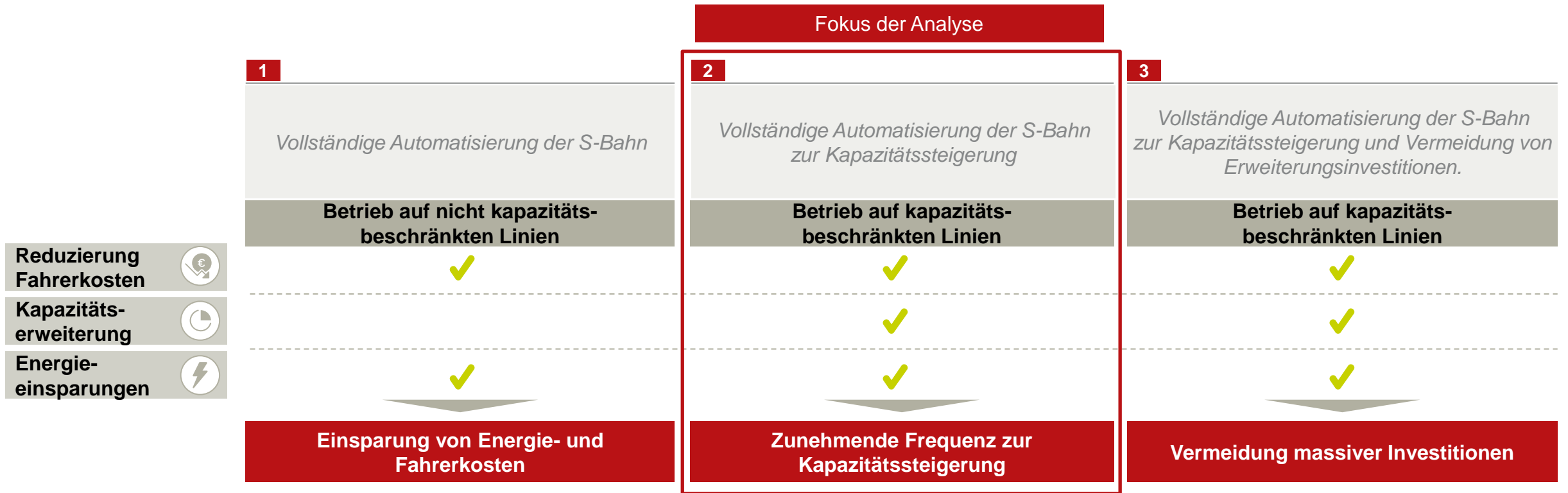
# Mit zunehmender Automatisierung entstehen weitere Investitionsbedarfe während der Personalbedarf rückläufig ist

## Grad der Automatisierung

	GoA1	GoA2	GoA2+	GoA3	GoA3+	GoA4
						
<b>Zusätzlich erforderliche Technologien</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatischer Zugbetrieb (Zug- und Streckenaus-rüstung)</li> <li>• Kommunikationssystem &gt; = 3G</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fernsteuerung (Zug und Kontrollzentrum)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Zugfern-steuerungssysteme</li> <li>• Hinderniserkennung</li> <li>• Bahnsteigsicherung</li> <li>• Zusätzliche Ortungsbalisen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fernsteuerung (Zug und Kontrollzentrum)</li> <li>• Automatische Türensicherung</li> <li>• HQ Bildübertragungssystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Zugfern-steuerungssysteme</li> <li>• Zugseitiges System für Betrieb im Störfall</li> <li>• Kein HQ Bildübertragungssystem</li> </ul>
<b>Beschleunigen/ Bremsen</b>	Triebfahrzeugführer	System	System	System	System	System
<b>Überwachung der Fahrt</b>	Triebfahrzeugführer	Triebfahrzeugführer	Triebfahrzeugbegleiter	System	System	System
<b>Sicherung des Fahrgastwechsels</b>	Triebfahrzeugführer	Triebfahrzeugführer	Triebfahrzeugbegleiter	Zugbegleiter/System	System	System
<b>Betrieb im Störfall</b>	Triebfahrzeugführer	Triebfahrzeugführer	Triebfahrzeugbegleiter/ Remote-Triebfahrzeugführer	Zugbegleiter/ Leitstellenpersonal	Remote-Triebfahrzeugführer	System / Leitstellenpersonal

# Drei Szenarien wurden zur Analyse der Auswirkungen von Automatisierung definiert

## Szenarien



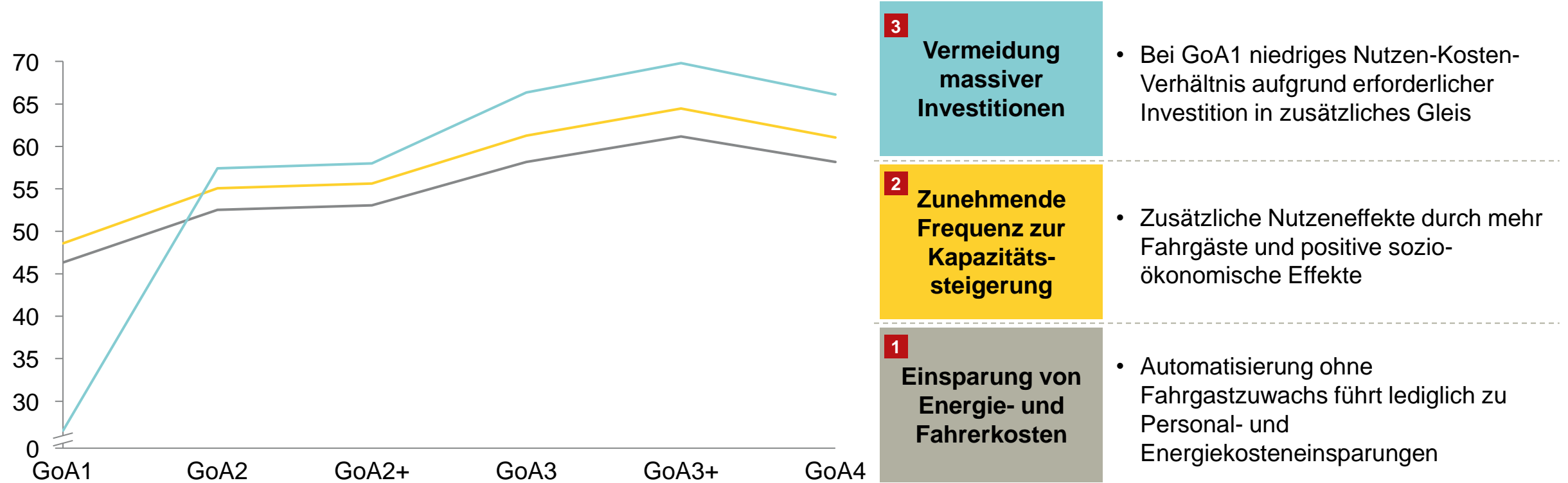
Welche Kosten-Nutzenverhältnisse entstehen für den S-Bahn-Betrieb durch die Automatisierung?



# In allen S-Bahn-Szenarien erreicht GoA3+ das beste Nutzen-Kosten-Verhältnis

## S-Bahn-Szenarien

Nutzen-Kosten-Verhältnis in %

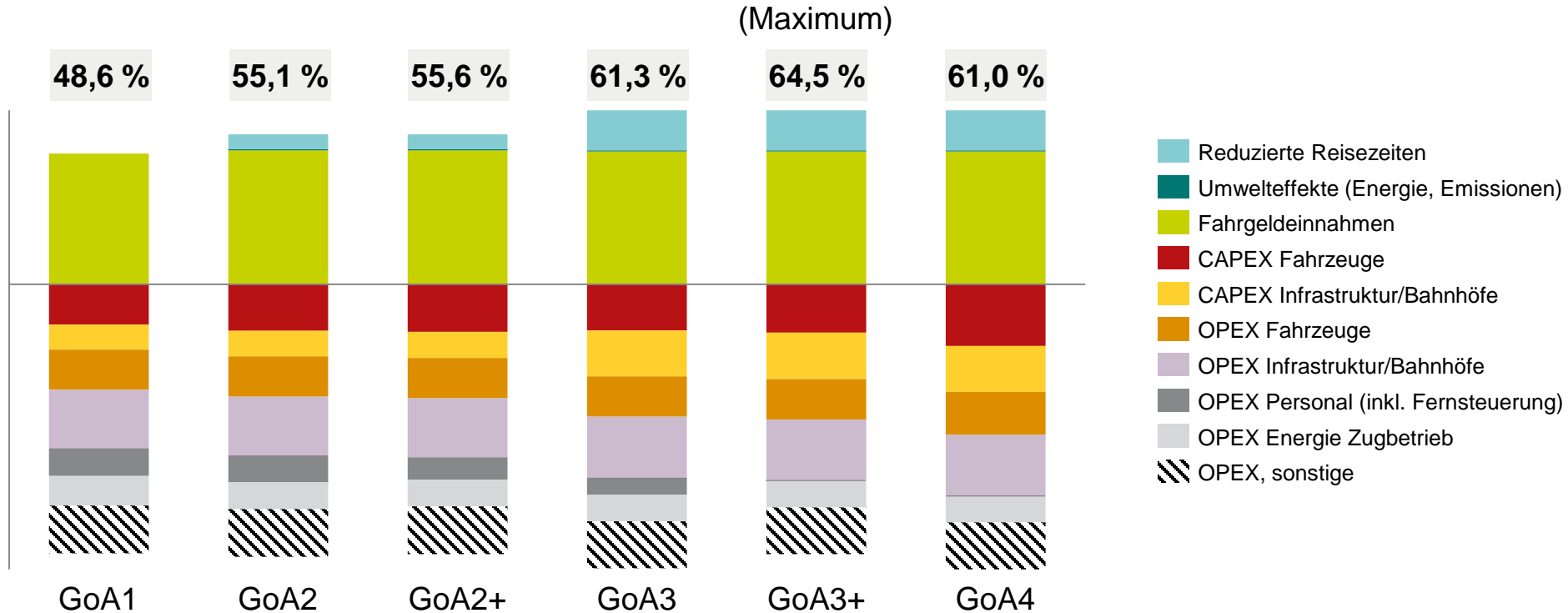


**!** In einem ökonomischen Modell wurde für verschiedene Automatisierungs-Szenarien des Gesamtsystems ein leistungsfähiges Pendlernetz simuliert

# Monetarisierte Reisezeitersparnisse erhöhen den Nutzen, zusätzliche Investitionen in Infrastruktur und Fahrzeuge treiben den Aufwand

## S-Bahn – Kapazitätserhöhung

Nutzen-Kosten-Verhältnis in %



2

**Zunehmende  
Frequenz zur  
Kapazitäts-  
steigerung**

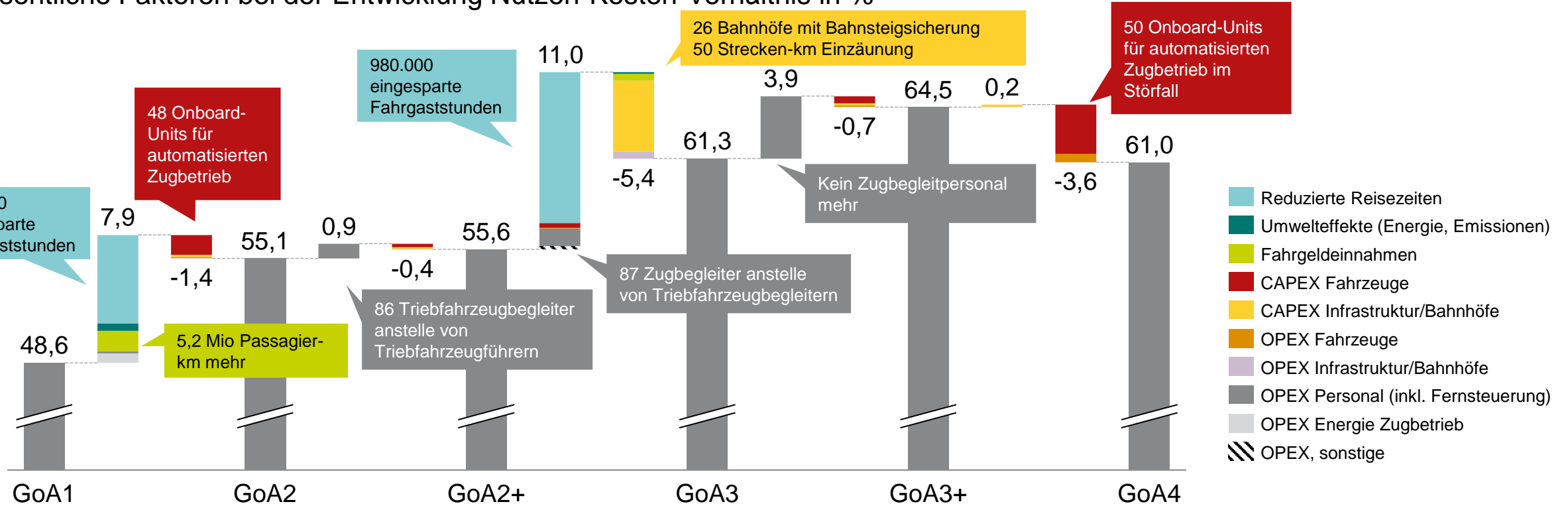


Warum ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis für GOA3+ am besten?

# Ohne positive Reisezeiteffekte wären die Automatisierungsszenarien kaum tragfähig

## S-Bahn – Kapazitätserhöhung

Wesentliche Faktoren bei der Entwicklung Nutzen-Kosten-Verhältnis in %

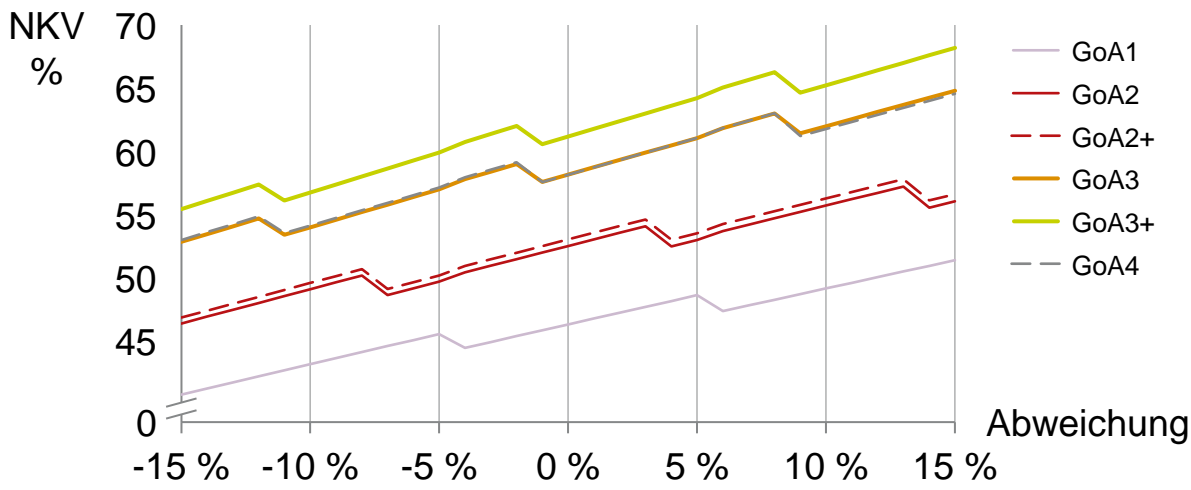


**GoA4 erfordert erhebliche zusätzliche Investitionen, denen kein weiterer Nutzen gegenübersteht**

# Änderungen der Nachfrage haben relativ hohe signifikante Auswirkungen auf die Nutzen-Kosten-Verhältnisse

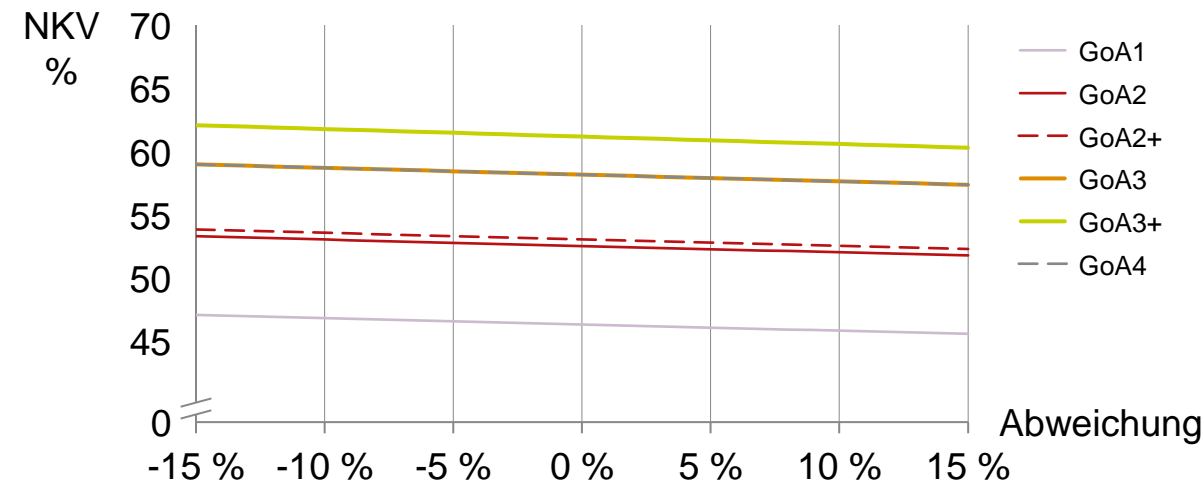
## Sensitivitäten einzelner Treiber

 Nachfrage – Basis 23 m Passagiere



**Eine 10 %ige Nachfragesteigerung führt bei GoA3+ zu einer 6,6 %igen Verbesserung des NKV**

 Energiekostenniveau – Basis 100%



**10 % niedrigere Energiekosten führen bei GoA3+ zu einer 1 %igen Verbesserung des NKV**

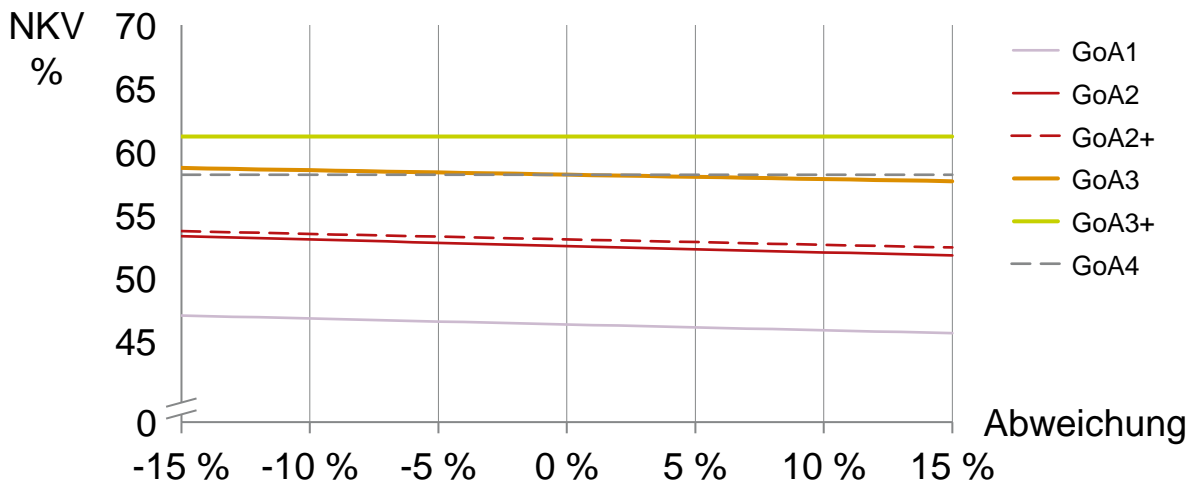
 Nachfrage wirkt auf Fahrgeldeinnahmen und Reisezeiteffekte

© civity 2018 // 02000224\_Robotrain\_DLR\_FZ\_20201104.pptx


# Veränderungen bei Lohnkosten und CAPEX führen geringen Auswirkungen

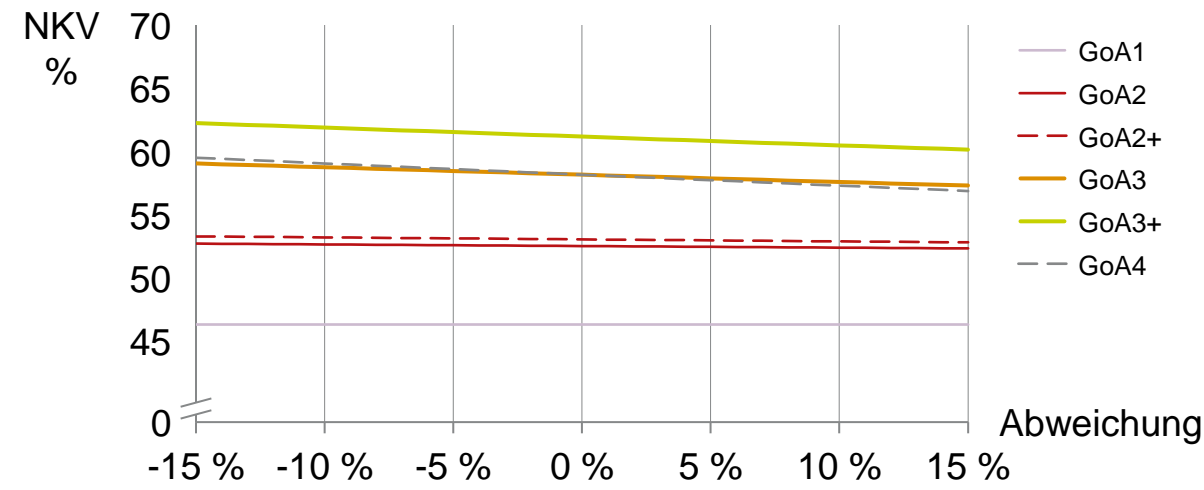
## Sensitivitäten einzelner Treiber

 Lohnkostenniveau – Basis 100 %



**10 % geringere Lohnkosten führen bis einschließlich GoA3 zu einer knapp 1 %igen Verbesserung des NKV**

 CAPEX zusätzliche Systeme ab GoA2 – Basis 100 %



**10 % günstigere Investitionen für zusätzliche Systeme führen bei GoA3+ zu einer 1,2 %igen Verbesserung des NKV**

 **Möglicherweise größere Abweichungen bei CAPEX**

# Das Modell stellt eine sehr gute Grundlage für die Evaluierung weiterer Anwendungsfälle und Szenarien dar

## Zusammenfassung und Ausblick

- **Umfassendes Modell** zur Bewertung der ökonomischen Auswirkungen der Automatisierung
  - Manche Parameter noch mit **Unsicherheiten** behaftet
- Möglichkeit der Formulierung von **Zielkosten** zur positiven Beeinflussung des NKV
  - **Entscheidungsgrundlage** für langfristige Investitionsentscheidungen von großer Tragweite
- Vertiefender **Dialog** mit Herstellern und Nutzern zur Verbesserung der Datengrundlagen
  - Simulation zusätzlicher **Anwendungsfälle** in den verschiedenen Marktsegmenten

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Frank Zschoche**



Große Reichenstraße 27  
20457 Hamburg  
phone: +49 (0)40 181 22 36 66  
mobile: +49 (0)171 771 17 90  
email: frank.zschoche@civity.de  
www.civity.de

Beratung aus **Begeisterung**



© civity 2018 // 02000224\_Robotrain\_DLR\_FZ\_20201104.pptx