

Digitalisierung für die Schiene: Sicherheit auch mit KI

Stand der Forschung

Markus Reinhardt

DZSF

Für die Zukunft
des Schienen-
verkehrs!

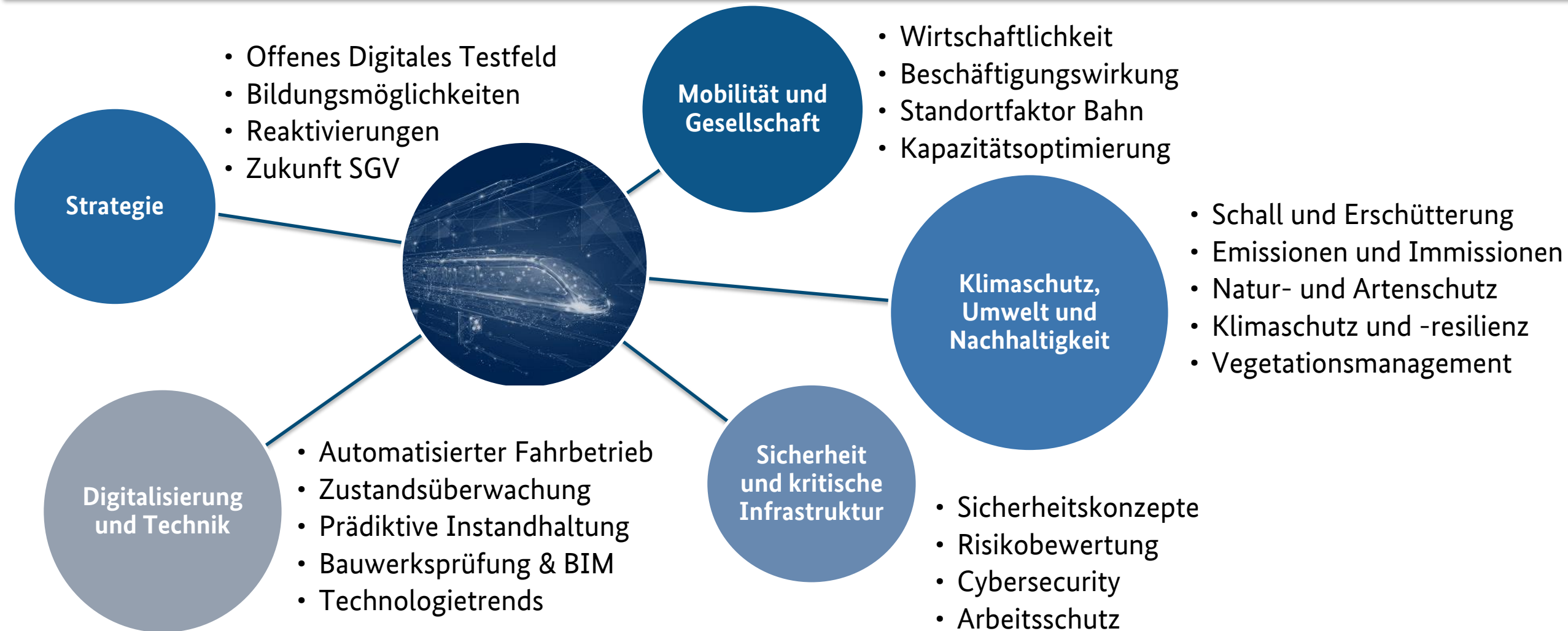
Wir forschen im Auftrag des
Bundes.

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

Forschungsthemen des DZSF Bundesinteresse



Unsere Instrumente der Forschung

lösungsorientiert
interdisziplinär
praxisnah
vernetzt
neutral



**Antrags-
forschung**
DZSF-Beteiligung



**Auftrags-
forschung**
Vergabe durch DZSF

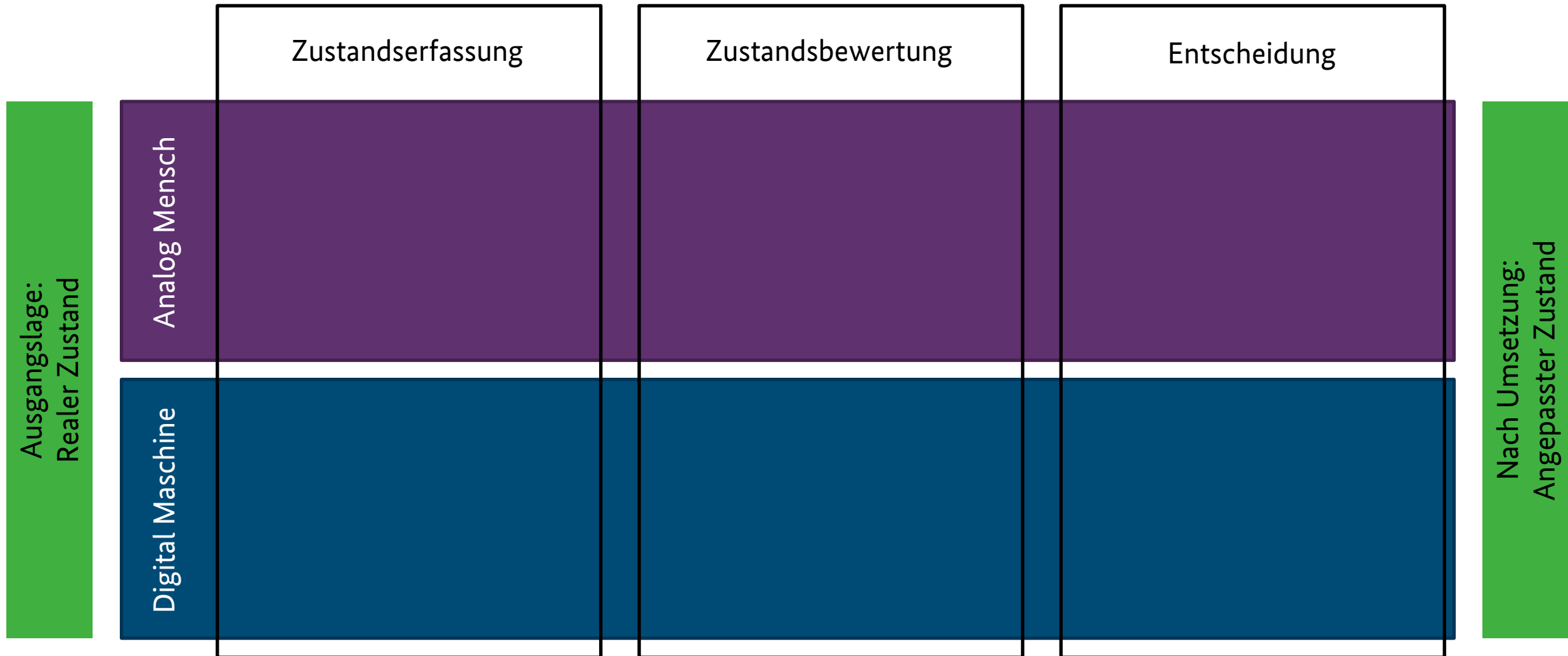


**Förder-
programme**
Projektträger für das BMDV



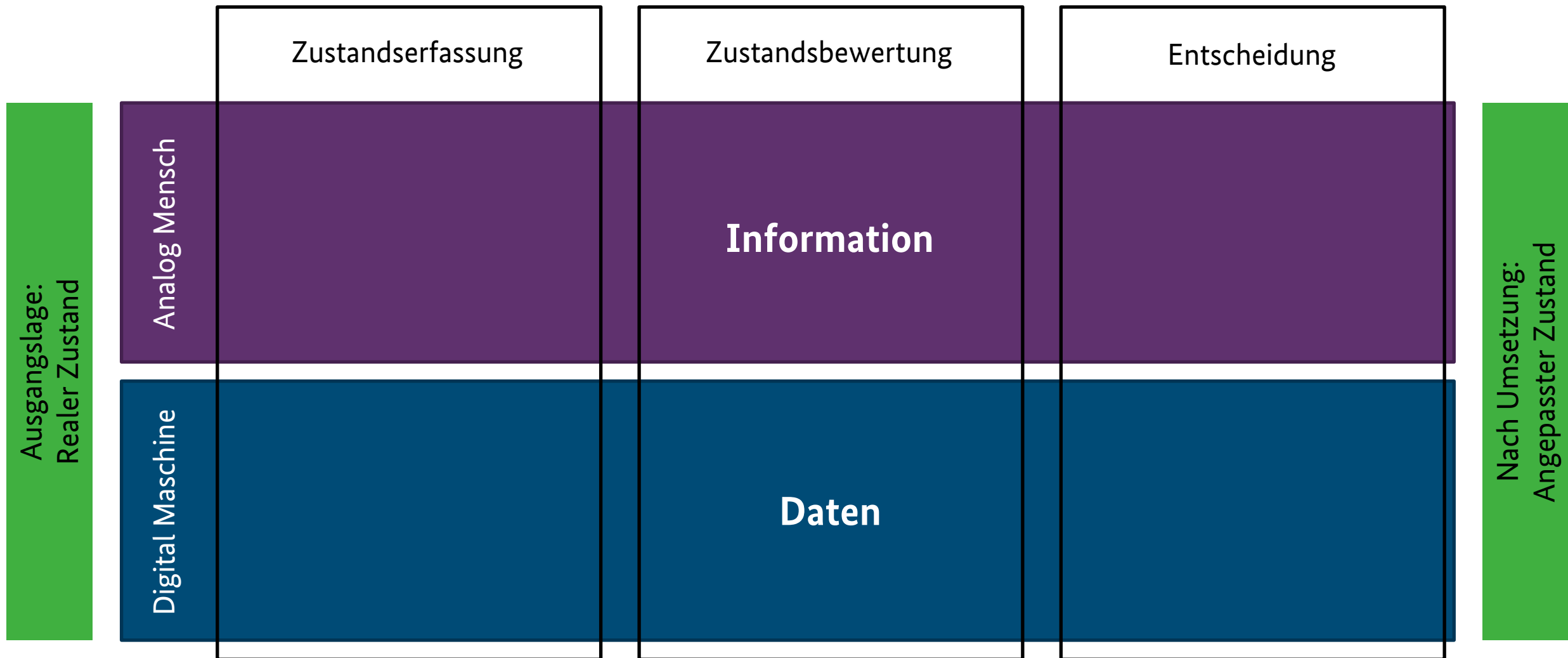
**Inhouse-
Forschung**
Eigene Ressourcen

Digitalisierung in kurz und oberflächlich Aufgaben



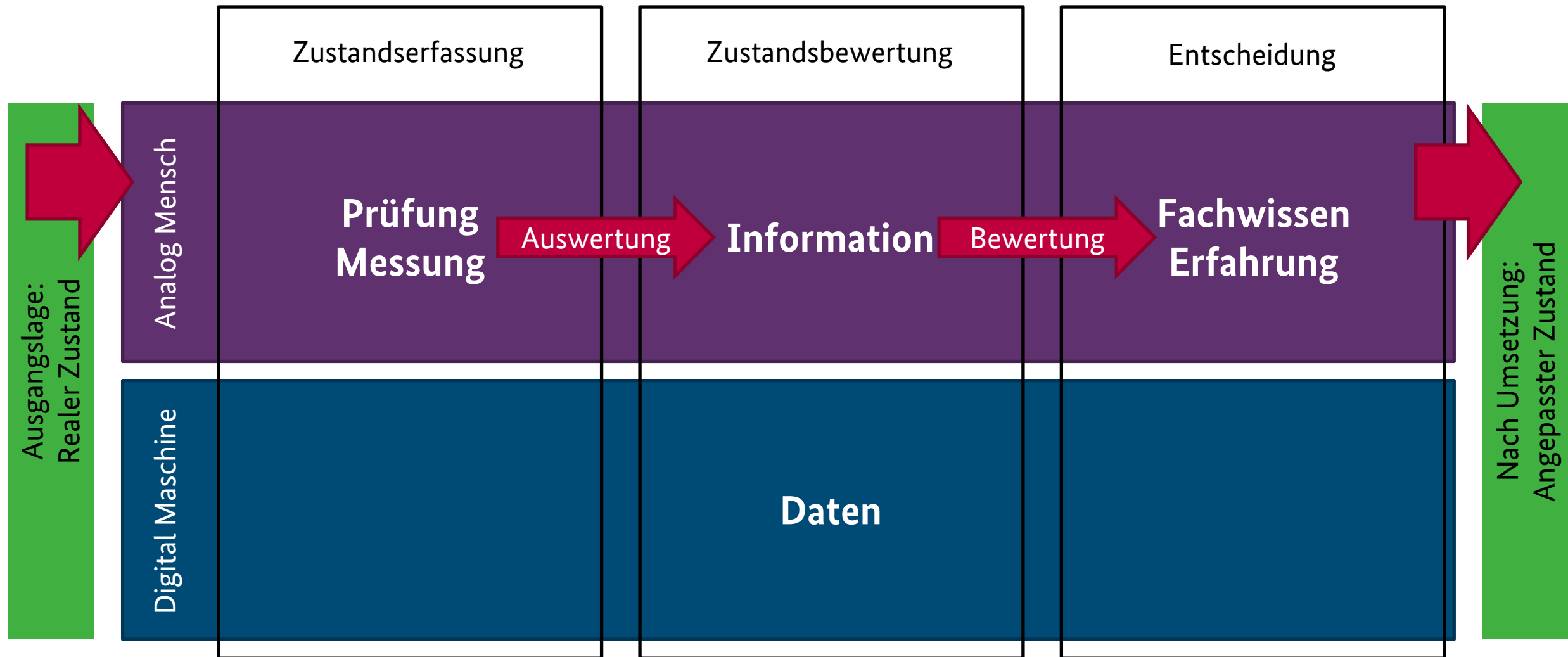
Digitalisierung in kurz und oberflächlich

Zentraler Unterschied



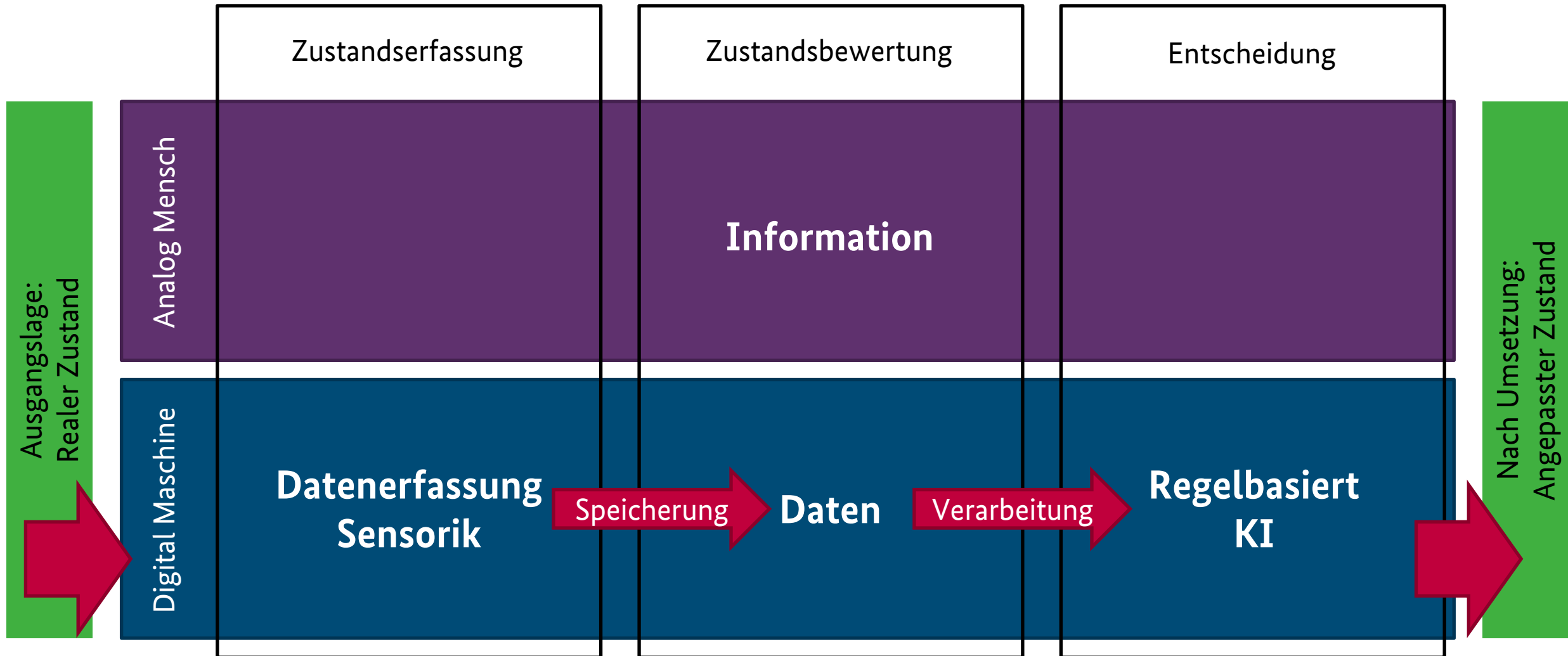
Digitalisierung in kurz und oberflächlich

Analoger Prozess



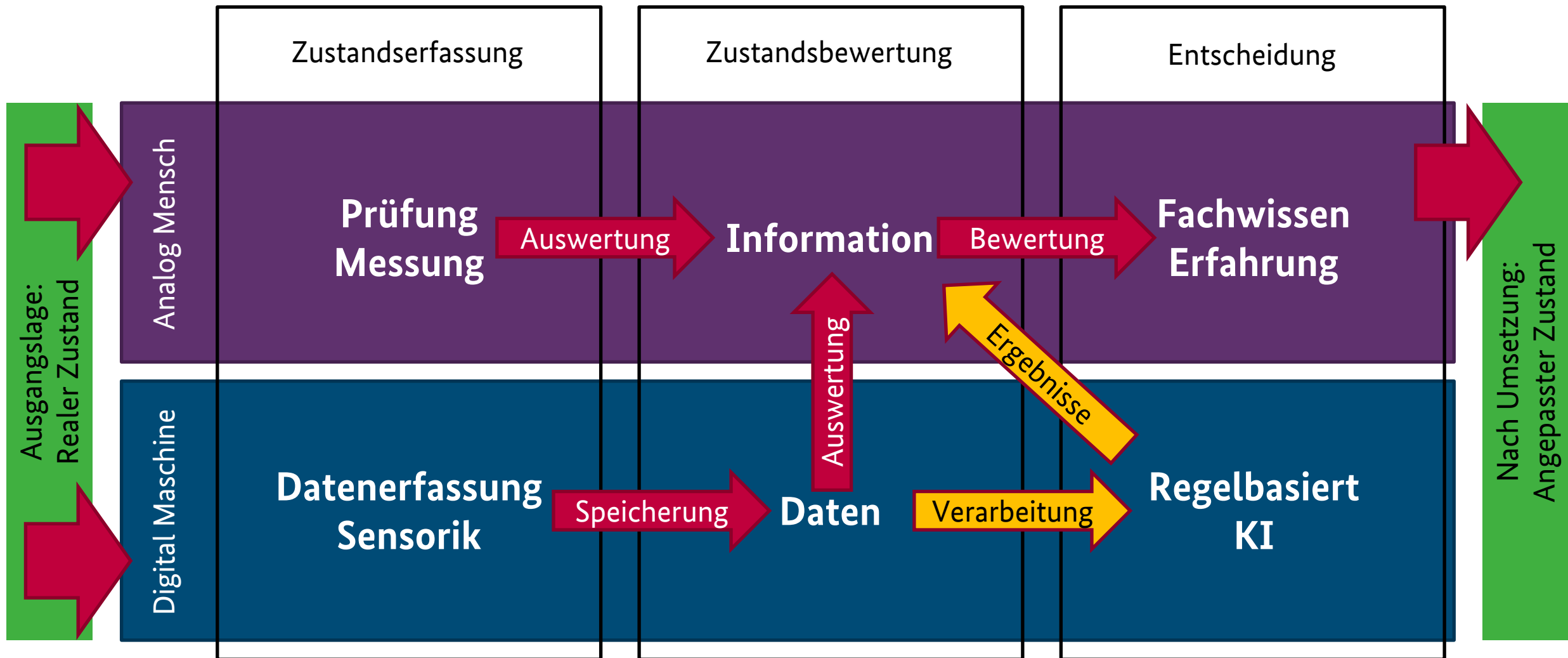
Digitalisierung in kurz und oberflächlich

Digitaler Prozess



Digitalisierung in kurz und oberflächlich

Digitalisierung zur Informationsgewinnung



Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

Automatisierung: Der Weg zu selbstfahrenden Zügen

Automated Train Operation (ATO)

zur Steigerung der Kapazität, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit



Automatische U-Bahn Nürnberg
aus Zwischenbericht ATO Risk

(Voll-) automatisch fahrende Züge versprechen:

- Energie-/zeitoptimales Fahren
- Netzweite optimale Koordination der Fahrzeuge
Pünktlichkeit, Kapazität, höhere Taktfolge
- Umgang mit Personalknappheit
- Automatisiertes Rangieren, Zugbereitstellung

Automated Train Operation (ATO) aus technischer Sicht

→ warum machen wir es dann nicht längst?

Sicht von außen

→ Das müsste doch ganz leicht zu automatisieren sein

(im Vergleich zum Straßenverkehr)

- Bahn läuft ohnehin spurgeführt und auf separatem Gelände
- wird von außen gelenkt
- Sicherheit durch LST gewährleistet, sicherheitsrelevant v. A. Bremsen
- Betriebliche Regeln und Abläufe sind viel klarer geregelt als im Straßenverkehr, Interaktion geringer

Sicht von innen

→ was ist zu tun?

- [GoA 2] Integration ins System: Leit-/Sicherheitstechnik, Kommunikation, Disposition, Störfallmanagement
- Technologieentwicklung: Sensorik, Perzeption, Lokalisation
- Systemdefinition, Sicherheitsbewertung, Validierung und Genehmigung von automatischen Fahrfunktionen im Vollbahn-Bereich

ATO GoA (Grade of Automation)

Fokus auf Stufe 3 und 4

Basisfunktionen des Fahrbetriebs	GoA0	GoA1	GoA2	GoA3	GoA4	Umsetzung im Fahrzeug, vereinfacht
BF1: Zugbewegung absichern (systeminterne Gefahren)	Mensch	X	X	X	X	PZB, LZB, evtl. Bildverarbeitung im Rangierbetrieb
BF2: Zugbewegung steuern (Beschleunigen und Bremsen)	Mensch	Mensch	X	X	X	ETCS, evtl. Bildverarbeitung mit Signalerkennung
BF3: Fahrweg frei von ext. Hindernissen (z.B. Personen im Gleis)	Mensch	Mensch	Mensch	X	X	Bildverarbeitung zur Hinderniserkennung
BF4: Betreiben des Zugs (wie Türen, Bremsprobe, Notfälle)	Mensch	Mensch	Mensch	Mensch	X	Diverse Subsysteme

Automatisiertes Fahren im Metro-Bereich

Metro / U-Bahn:

- Voll Automatisiertes Fahren GoA 4 Stand der Technik
- Vorteil: abgeschlossenes Netz, nicht zugänglich für Verkehr/Personen
- Größte Herausforderung: Sicherheit am Bahnsteig, Lösung: Bahnsteigtüren oder Überwachungssysteme
- Normung: EN 62267



Métro L.1 Paris: „Steuerpult“ – bei Kindern beliebt



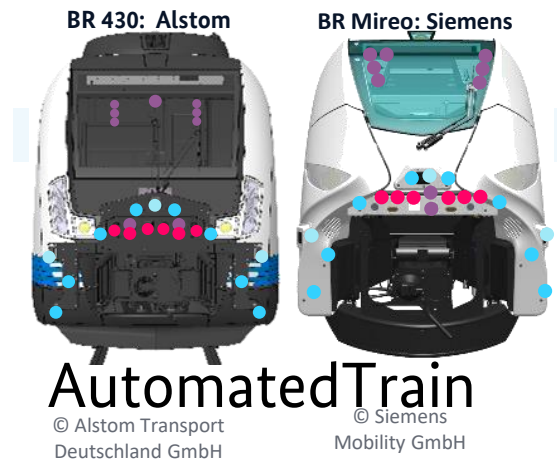
Automatische U-Bahn Nürnberg: GoA4 nach BOStrab aus Zwischenbericht ATO Risk

Vollbahn:

- **Derzeit nur GoA2 realisiert**
- **Projekte für GoA4 mit Forschungscharakter**
 - Rangieren
 - Bereitstellungsfahrten
 - Regionalbahn
 - Güterverkehr

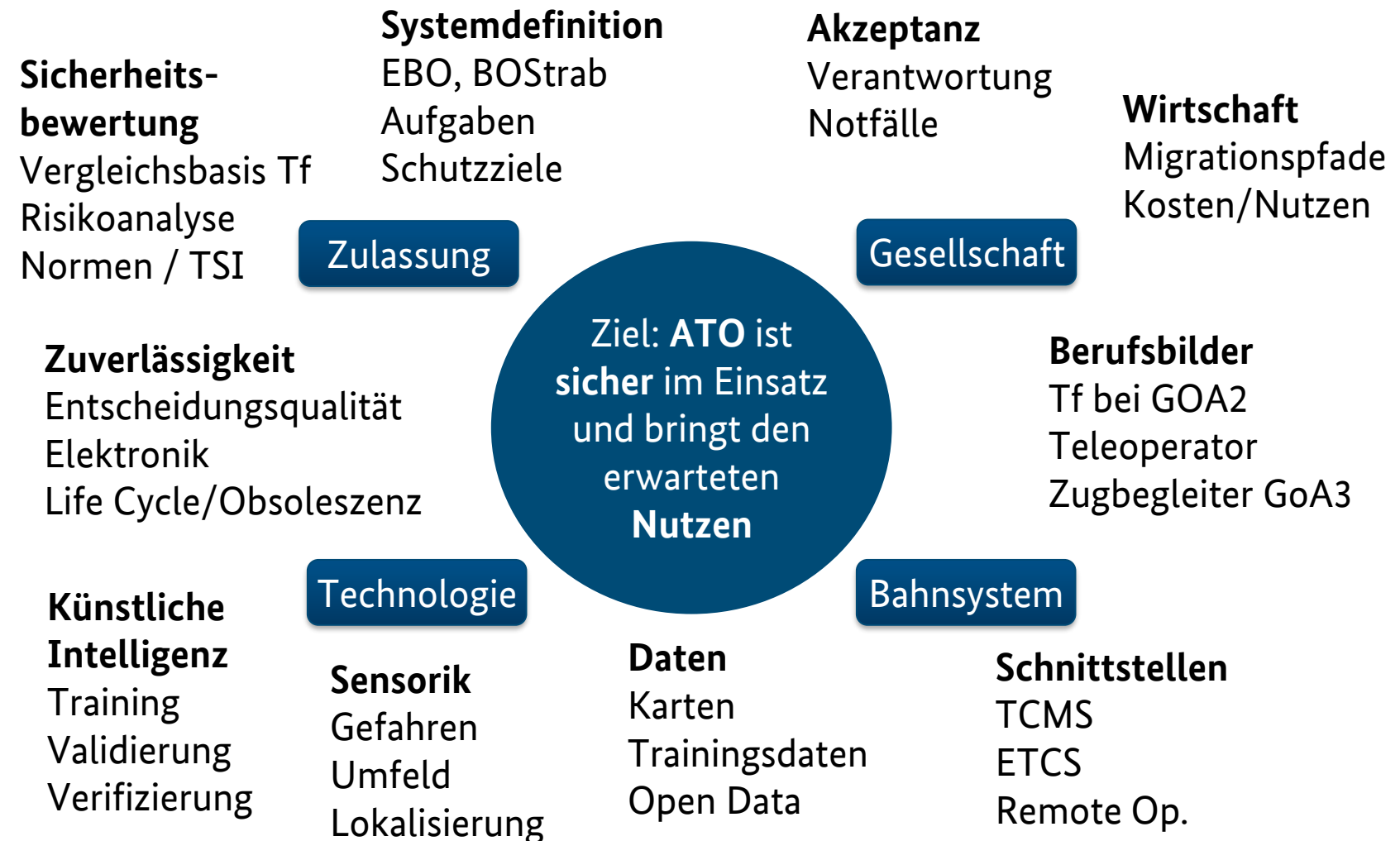
Problemstellung:

- Sicherheit: Vermeidung von Kollisionen mit Hindernissen, Personen, Schäden der Infrastruktur etc.
 - a) Entwicklung der Systeme
 - b) Nachweis der Sicherheit



Automated Train Operation (ATO)

Forschungsansätze / Lückenfüller

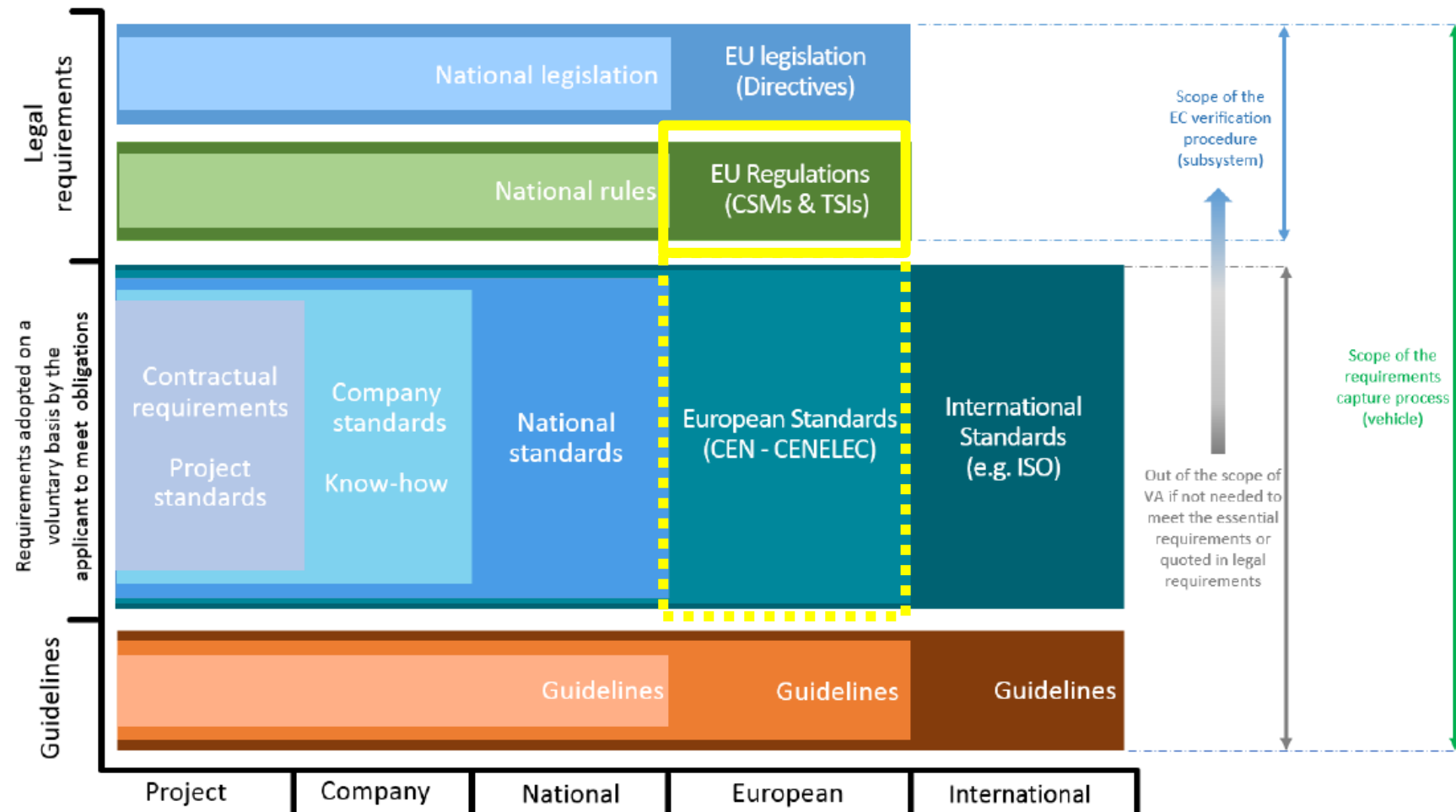


Überblick ATO-Projekte DZSF

Kurztitel			
Sensorik ATO		Teleoperation ATO	
ATO Risk		Performance Strecke	
Offene Sensordaten ATO		Erklärbare KI für ATO	
ATO Sense		Szenarien ATO	
ATO Akzeptanz		ATO Fahrversuche	
Weiterentwicklung Offene Sensordaten ATO		Offene Kartendaten ATO	

Anforderungen an Fahrzeuge

Fokus auf Zulassung – Drei Wege zum Sicherheitsnachweis



Quelle: ERA, Leitlinien über die praktischen Modalitäten für die Fahrzeuggenehmigung

Risikoevaluation – Tf als Referenzsystem

ATO Sense



Quelle: Zwischenpräsentation ATO Sense

Ermittlung der menschlichen Leistungsfähigkeit

Als Grundlage für Anforderungen an technische Systeme

ATO Sense

Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik



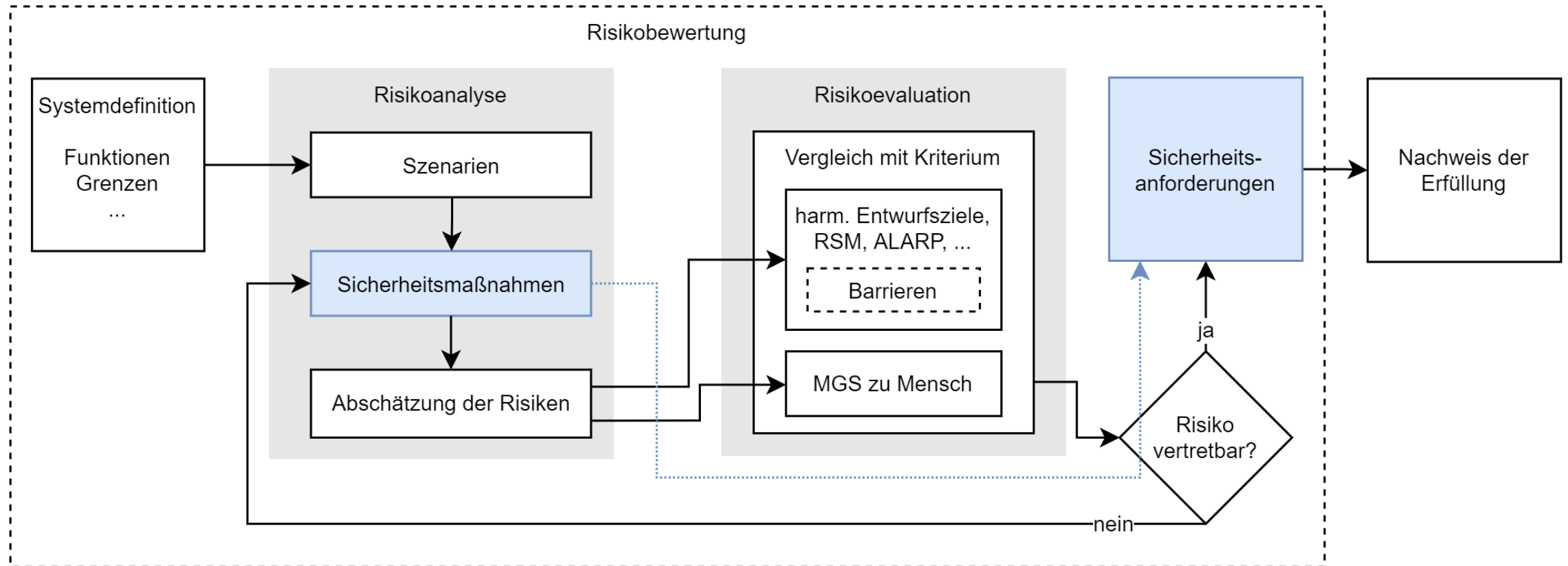
- Erkennung spezieller Objekte (Box, orange)
- Variation von Fahrgeschwindigkeit, Objektgröße, Kontrast, Sicherungstechnik
- Statistische Analyse und Modellierung der Reaktionszeiten

ATO Perzeption

Fahrversuche zur menschlichen Perzeptionsfähigkeit



- Aufnahme von Sensordaten zum Vergleich
- Auswahl praxisrelevanter Szenarien



Gefährdungsidentifikation, Systemdefinition ATO Risk

Gefährdung	Hindernis- kategorie	Mögliche Schutzeinrichtungen
Hindernis ist auf der freien Strecke von außerhalb des Systems in das Lichtraumprofil eingedrungen		
- Trespasser	Vorhersehbarer Missbrauch	Gesetzliche Vorschriften
- (Spielende) Kinder	Unbeabsichtigt auftretende Hindernisse (3d)	Hinderniserkennung, Aufsichtspflicht, Warnen
- Beeinträchtigte/behinderte Personen ○ Eingeschränktes Wahrnehmungsvermögen (Sprachbarrieren, Alkohol, Drogen) ○ Eingeschränkte Mobilität (ältere Bürger, körperbehinderte Menschen) ○ Geistig behinderte Personen (dement) ○ In Begleitung von Kindern, Tieren oder persönlichen (sperrigen) Gegenständen ○ Hör- und oder sehbehinderte Personen	Unbeabsichtigt auftretende Hindernisse (3d)	Hinderniserkennung, Warnen
- Suizid		

 = Schutzobjekte für Funktion 3.1.1.4.1
(Hindernisdetektion Personen auf Strecke)

Gefährdung	Hindernis- kategorie	Mögliche Schutzeinrichtungen
Hindernis ist am Gefahrenpunkt von außerhalb des Systems in das Lichtraumprofil eingedrungen		
- Personen am gesicherten Bahnübergang ○ (Verunglückter) eingeschlossener Wegebewohner ○ Missachtung der Signale (Trespasser)	vorhersehbarer Missbrauch oder unbeabsichtigt auftretende Hindernisse (3d)	Sc Ge Ge Ba
- Personen an einem Reisendenübergang im Bahnhof ○ Reisende (alle Personengruppen) (inkl. externe Bauarbeiter für Straßenbau am BÜ)		
- Personen am Bahnsteig ○ Reisende (alle Personengruppen) ○ Personal ○ (Suizid) (inkl. in den Lichtraum ragende Körperteile, Sog durch den Zug, sowie in den Gleisbereich gestürzte/gekletterte Person)	unbeabsichtigt auftretende Hindernisse (3d) oder vorhersehbarer Missbrauch	Ge M ge Sc
Hindernis von innerhalb des Systems		

Quelle: Abschlusspräsentation ATO Risk

Hinderniserkennung: Personen im Bahnsteiggleisbereich

Zugdurchfahrt – explizite Risikoanalyse nach DIN VDE V 0831-103

Sicherheits- anforderung 1/h	Risk Score Matrix						
keine							
10^{-5}							
3×10^{-6}							
10^{-6}							
3×10^{-7}							
10^{-7}							
3×10^{-8}							
10^{-8}						2	
3×10^{-9}							
10^{-9}							
	A	B	C	D	E	F	G
	Unfallklasse						

Unfallklasse F entspricht
einem Todesfall

Szenarien:

Zugart (Personenzug/Güterzug) für Schadensausmaß nicht relevant

1. Zugeinfahrt (abgedeckt über Regelwerk)
2. Zugdurchfahrt

Bewertung von Barrieren:

- **Selbst-/Fremdrettung:** Fertigkeitsbasierte Handlung, schlechten Bedingungen, Überforderung → 4 Barrierepunkte
- **Exposition (Zug muss erst einfahren):** schwer zu bewerten
- **Geschwindigkeitsbeschränkungen/Nottaster etc.:** betrieblich festzulegen (nicht im Umfang von ATO-RISK)

Sicherheitsanforderung:

- $10^{-5}/h$ (für Ausfallart „Person nicht oder zu spät erkannt“ – bei Zugeinfahrt)
- $10^{-6}/h$ (für Ausfallart „Person nicht oder zu spät erkannt“ – bei Zugdurchfahrt)

Szenarienbildung

Verfeinerung der Szenarien

ATO Sense

Geschwindigkeit

- 40 km/h
- 100 km/h
- 160 km/h

Zugsicherungssystem

- PZB
- ETCS
- Fahren auf Sicht

Größe

- Klein (90 cm)
- Groß (180 cm)

Kontrast

- Niedrig 
- Hoch 

Konkretisierung für ML-KI

Projekt „Szenarien ATO“

- Modell zur Definition von (feinen) Testszenarien
- Vorschläge für ODD

Betriebliche Bedingungen

- Geschwindigkeit
- Art des Objekts
- Entfernung zum Objekt

Umgebungsbedingungen

- Tag/Nacht
- Tiefstehende Sonne; schlechte Sicht

Szenarienbildung Objekte



Quelle: DB Netz AG, Kooperation mit dem DZSF im Projekt Offene Daten ATO

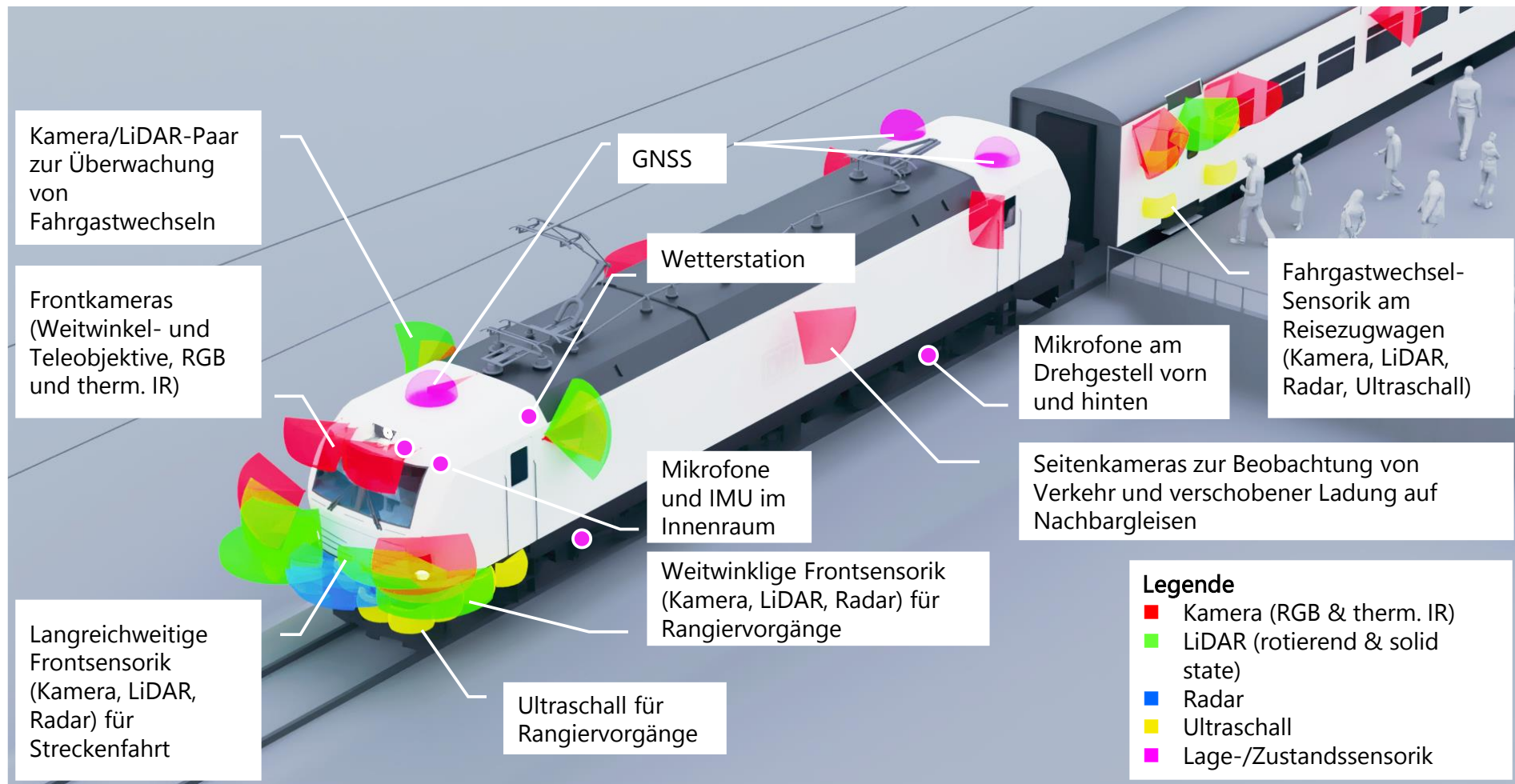
Szenarienbildung Sichtbedingungen



Quelle: DB Netz AG, Kooperation mit dem DZSF im Projekt Offene Daten ATO

Hinderniserkennung auf dem Fahrzeug

Sensorik



Quelle: DB Systemtechnik, Präsentation DZSF-Projekt ATO Sensorik

Hinderniserkennung auf dem Fahrzeug Bildauswertung mittels Deep Learning



Quelle: DB Netz AG, Kooperation mit dem DZSF im Projekt Offene Daten ATO

Abschätzung der Risiken

Analyse und Evaluation der Szenarien

Bezogen auf Betriebsstunde

Unfallklassen

- RSM: A bis G
- Harm. Entwurfsziele: kritisch, katastrophal

Einordnung in (grobe) betriebliche Szenarien

1. Reisezug, Raumabstand, sehr hohe Geschwindigkeit
2. Reisezug, Raumabstand, hohe Geschwindigkeit
3. ...

Tabelle 22: Auswirkungen und Unfallklassen

Ausfallart Szenarien	Gefährlicher Gegenstand wird nicht erkannt (a)	Gefährlicher Gegenstand wird zu spät erkannt (b)	Gefährlicher Gegenstand wird zur Unzeit erkannt (c)
1	Aufprall; Unfallklasse E vgl. Abbildung 18	Aufprall; Unfallklasse D	Sturz von Person im Zug; Unfallklasse A
2	Aufprall; Unfallklasse D	Aufprall; Unfallklasse C	Sturz von Person im Zug; Unfallklasse A
3	Aufprall; Unfallklasse C	Aufprall; Unfallklasse B	Sturz von Person im Zug; Unfallklasse A

Ereignisbezogen

Wie schwer fällt der Unfall aus?

Wie oft treten die Szenarien auf?

- Datenlage schwierig
- Häufigkeit (wohl) streckenabhängig
- Projekt: **Performance Strecke**

Abgleich mit Kriterien

- Explizit: RSM, harm. Entw., ...
- Ref.-Tf.: ATO Sense; Nachfolger: **ATO Fahrversuche**

Nachweisführung KI – XAI

Abschätzung der Risiken

Probleme bei der Nachweisführung bei der Bilderkennung

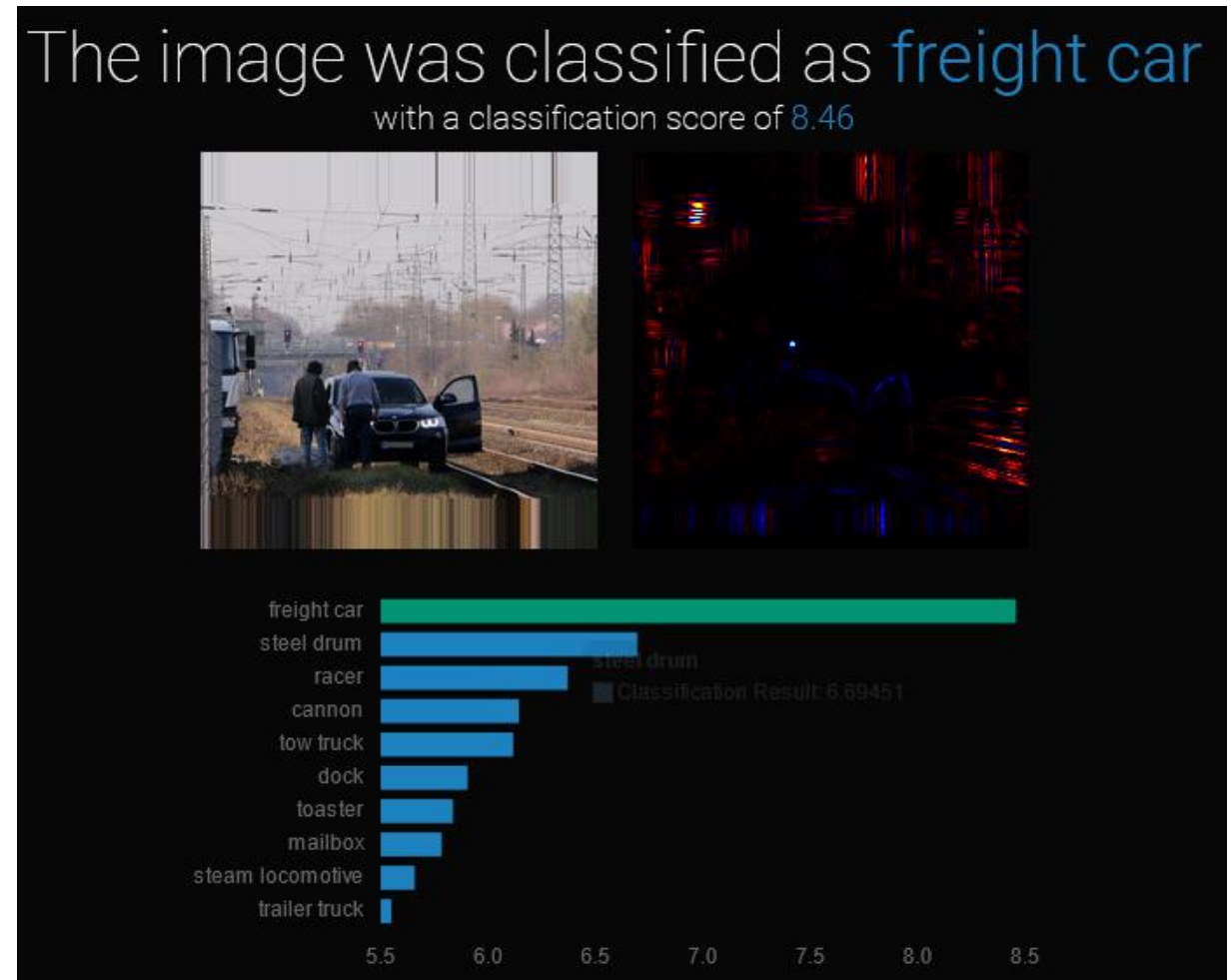
- Zu viele Eingabemöglichkeit
- Korrektheit der Ausgabedaten nicht vollständig prüfbar
- Sehr große Datensätze notwendig

Nutzen von Explainable AI-Verfahren

- Senkung des Testaufwands
- Beitrag zur Sicherheitsargumentation

Beispiel Bild

- Fehleinordnung aufgrund der Gleise und der Oberleitung



Nachweisführung bei KI Simulierte oder reale Daten?



4. Daten und Daten-Governance

EU KI-Verordnung ([COM\(2021\) 206 final](#))

- Entwurf in der Diskussion
- Eisenbahn: bei Aktualisierung TSI (Art. 79)

Edge and Corner Cases – seltene (relevante?) Fälle

Verwaltungsverfahren bei Erstellung (Art. 10 Abs. 2)

Abgestimmt auf ODD (Art. 10 Abs. 3)

- Relevant
- Repräsentativ
- Fehlerfrei
- Vollständig

Abgestimmt auf Sensorik

4. Daten und Daten-Governance

Offener Datensatz

Hochauflösende Farbbildkameras



Linke Kamera

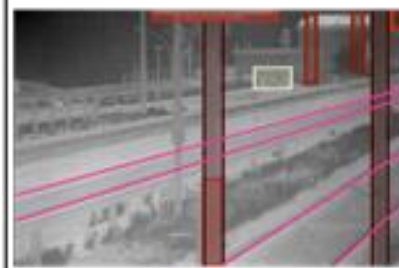


Mittlere Kamera

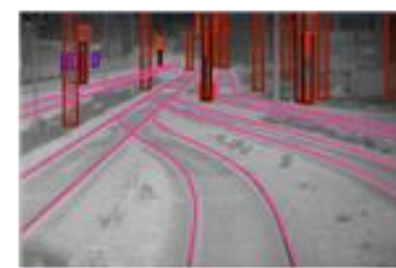


Rechte Kamera

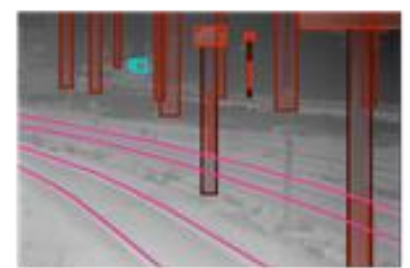
Infrarotkameras



Linke Kamera



Mittlere Kamera



Rechte Kamera

Niedrigauflösende Farbbildkameras



Linke Kamera

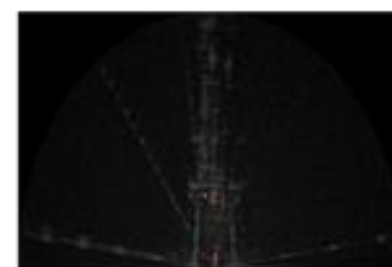


Mittlere Kamera

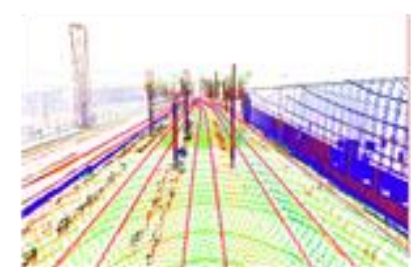


Rechte Kamera

RaDAR-Bild und LiDAR-Punktwolke



RaDAR



LiDAR

4. Daten und Daten-Governance

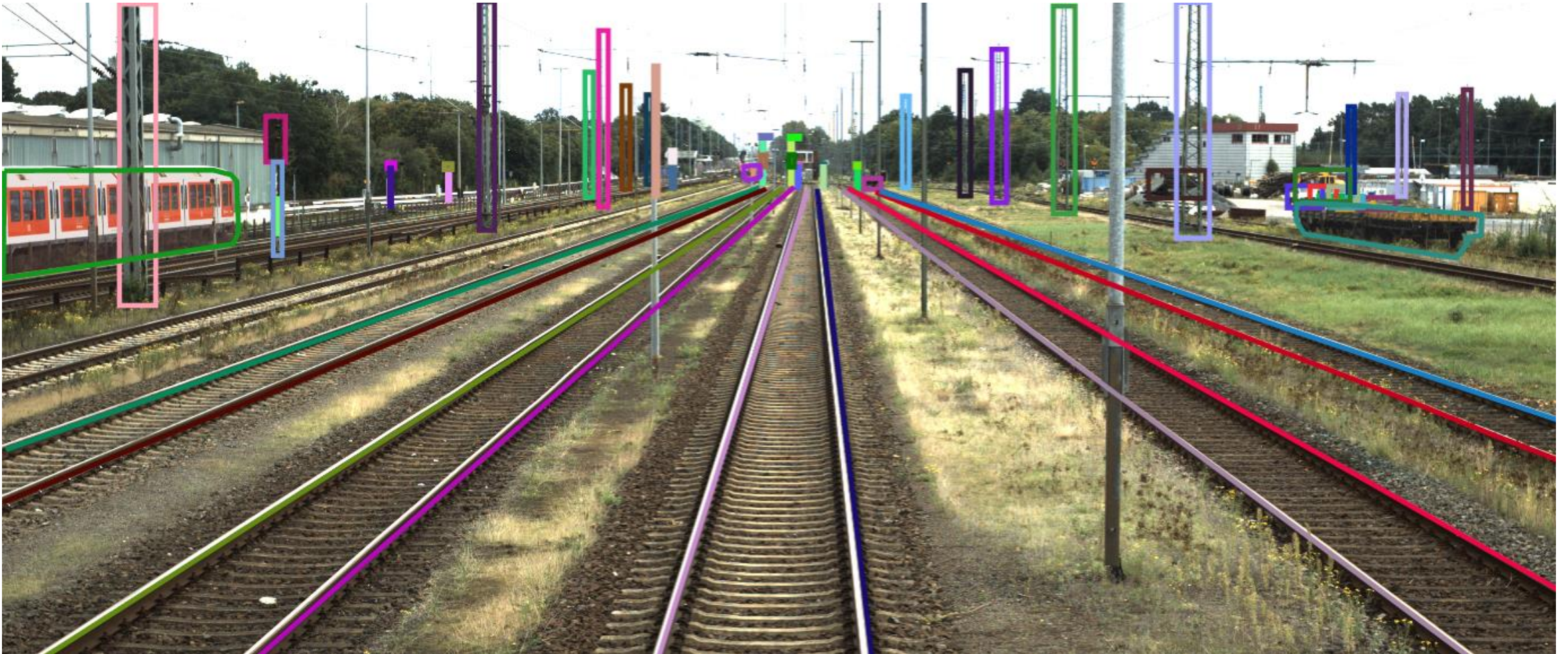
Offener Datensatz



Quelle: DB Netz AG, Kooperation mit dem DZSF im Projekt Offene Daten ATO

4. Daten und Daten-Governance

Offener Datensatz

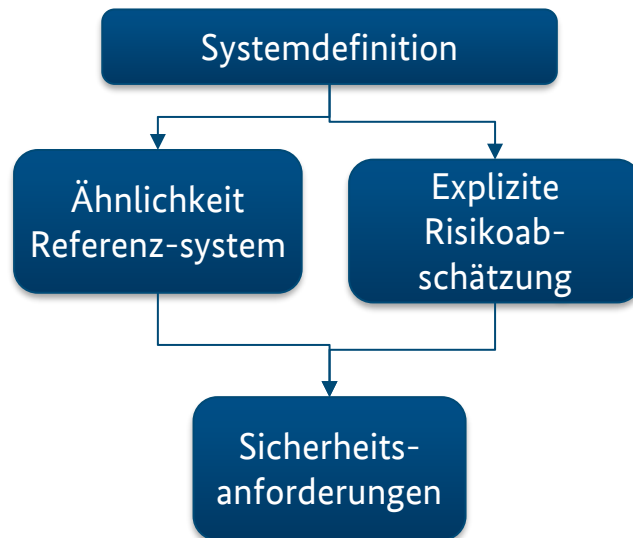


Quelle: DB Netz AG, Kooperation mit dem DZSF im Projekt Offene Daten ATO

Zusammenfassung

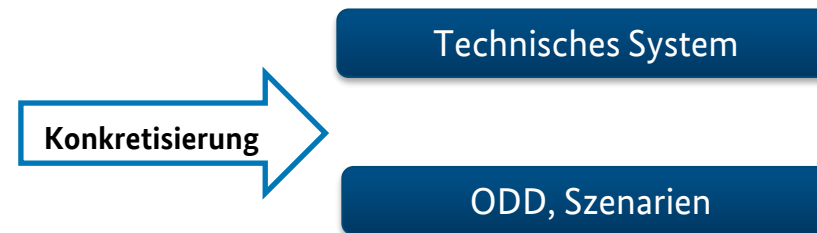
Einordnung von DZSF-Projekten

Risikobewertung



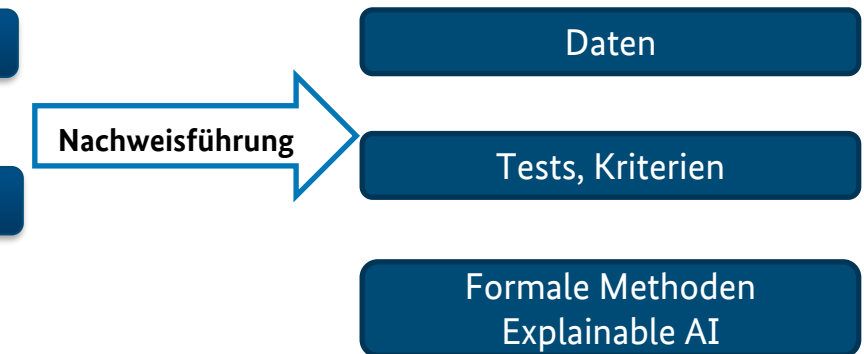
- ATO-RISK
- ATO-SENSE
- **Fahrversuche ATO**

Systembeschreibung



- Sensorik ATO
- **ATO Szenarien**
- **Performance Strecke**
- **ATO Akzeptanz**
- **Teleoperation**

Nachweis



- Offene Sensordaten I / II
- **Aufzeichnung sicherheitsr. Szenarien**
- **ATO XAI**
- **ATO Interpretierbare KI**