

# **Nutzung arbeitspsychologischer Methoden zur Einschätzung menschlicher Fehler gegenüber dem Regelwerk des Eisenbahnbetriebs**

Dipl.-Ing. Malte Hammerl

Dr. Dipl.-Psych. Monica De Filippis

Dipl.-Psych. Frederike Feldmann

Dr.-Ing. Michael Meyer zu Hörste



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

9. Juni 2008 > Folie 1

Institut für Verkehrssystemtechnik > Technologien aus Luft- und Raumfahrt für Straße und Schiene



# Gliederung

- 1 Motivation
- 2 Modell des Arbeitssystems
- 3 Die Idee eines Baukastens
- 4 HTA/Team HTA
- 5 Kognitive Arbeitsanalyse
- 6 Fehleranalyse
- 7 Zusammenfassung und Ausblick





## 1.1 Motivation

- Regelwerk
  - Grundlage des Eisenbahnbetriebs
  - Analyse der Sicherheit und Effizienz des Regelwerks
    - Vollständigkeit, Redundanz
    - menschliche Nutzung des Regelwerks
    - systematische Herangehensweise
  - Empfehlungen zur Gestaltung
  - Interoperabilität in Europa
  
- Risikoanalysen und Sicherheitsbetrachtungen: Integration des Menschen
  
- Ergänzung der konventionellen, technischen Betrachtung des Bahnbetriebs durch Analyse der menschlichen Faktoren



## 1.2 Herangehensweise „Human factors“

Das Thema *Rail human factors* beschäftigt sich mit dem Verständnis der Interaktion zwischen Menschen innerhalb des Eisenbahnsystems sowie zwischen Menschen und dem Eisenbahnsystems und zielt darauf ab,

- das menschliche Wohlbefinden sowie
- die Leistungsfähigkeit und
- die Sicherheit des Eisenbahnsystems

zu optimieren.



## 1.2 Herangehensweise „Human factors“ Interdisziplinarität



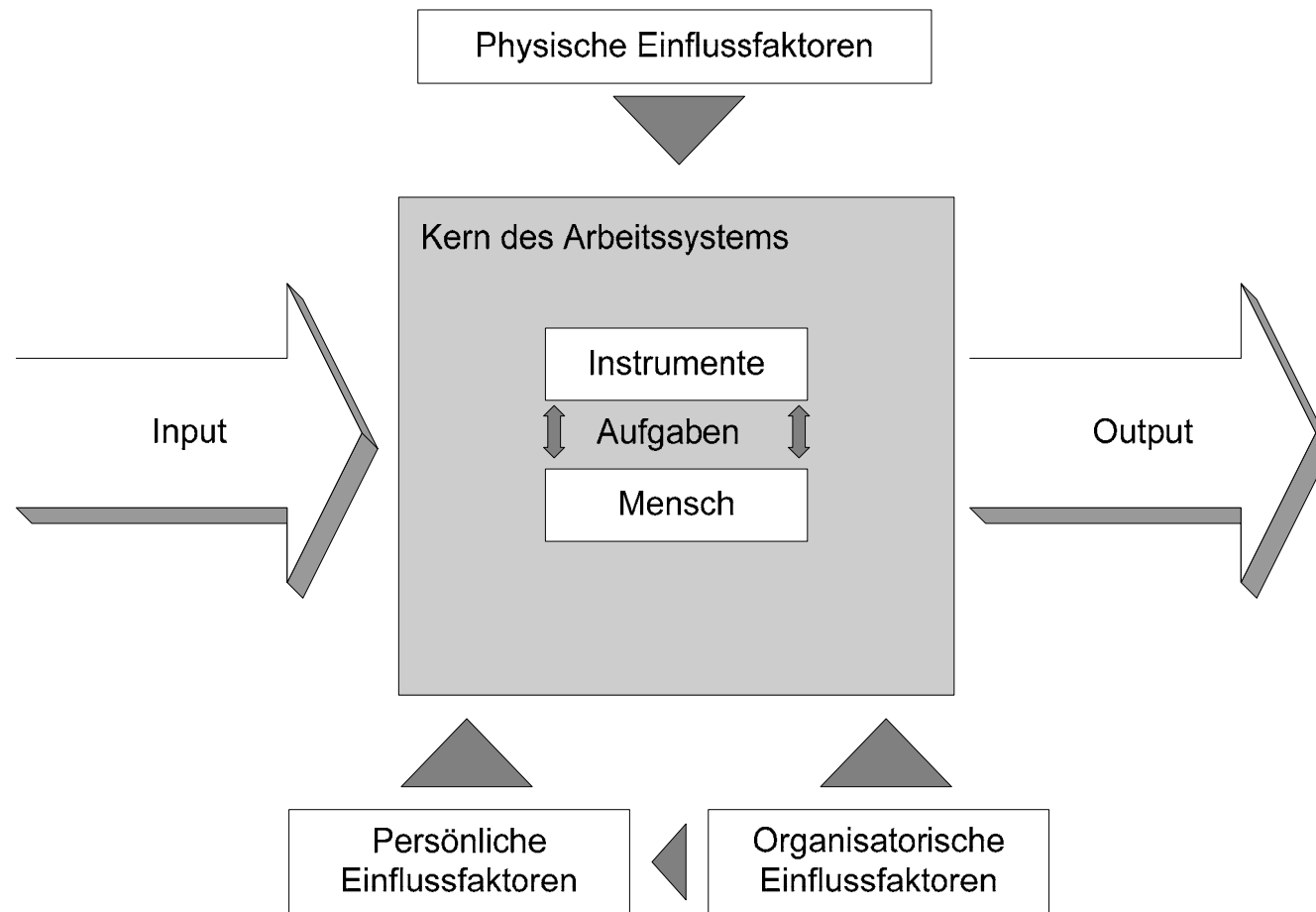


## 1.3 Vorgehensweise

- Modell des Arbeitssystems für Triebfahrzeugführer (Tf) und Fahrdienstleiter (Fdl)
  - Visualisierung
    - der Stellgrößen
    - der Wirkungszusammenhänge
  - Einfluss des Zusammenspiels von Mitarbeiter, Aufgaben und Regelwerk auf die Ziele
  
- Arbeitspsychologische Methoden
  - Aufgabenanalysen
  - Fehleranalysen



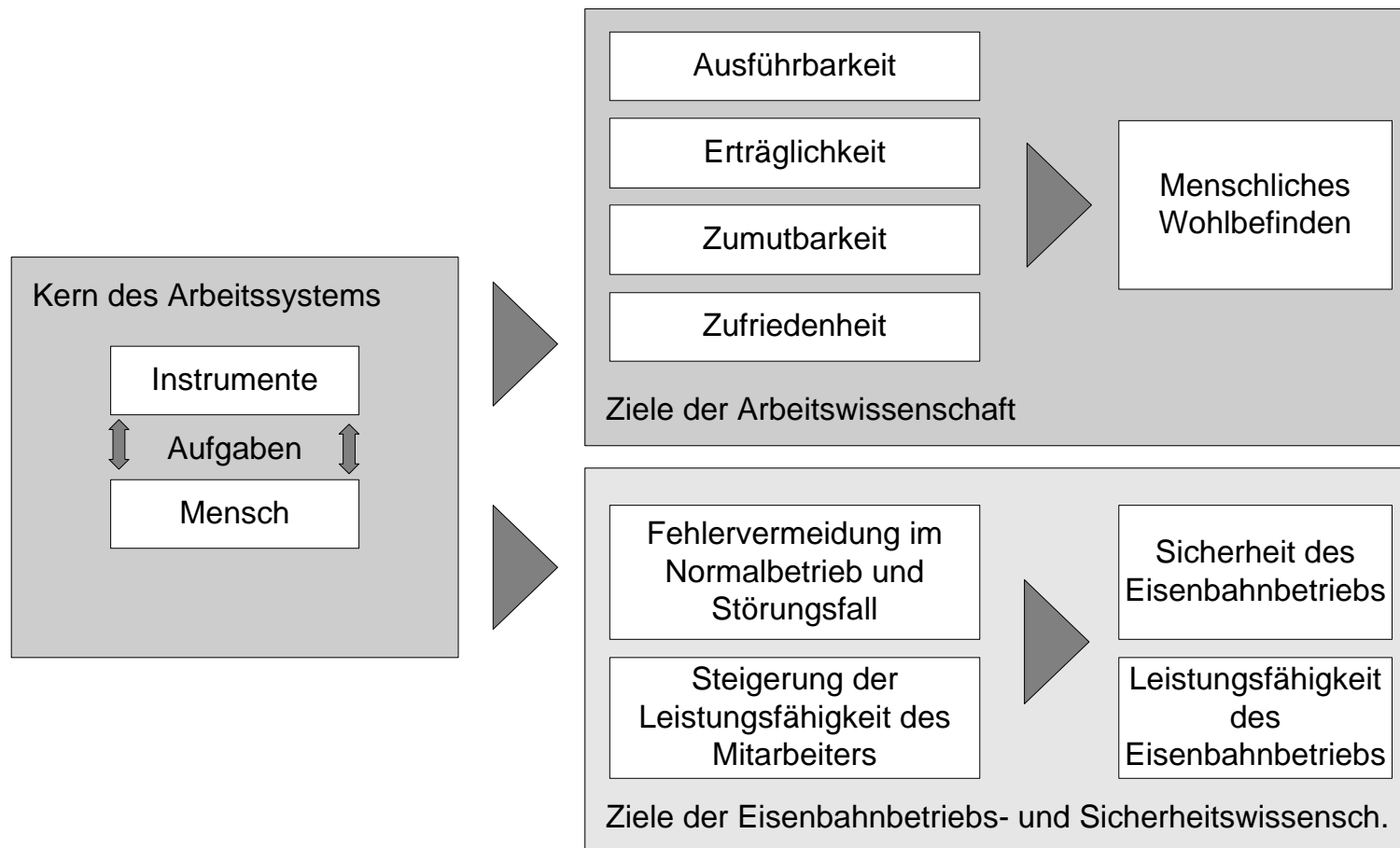
## 2. Modell des Arbeitssystems Grundlage





# Modell des Arbeitssystems

## Ziele

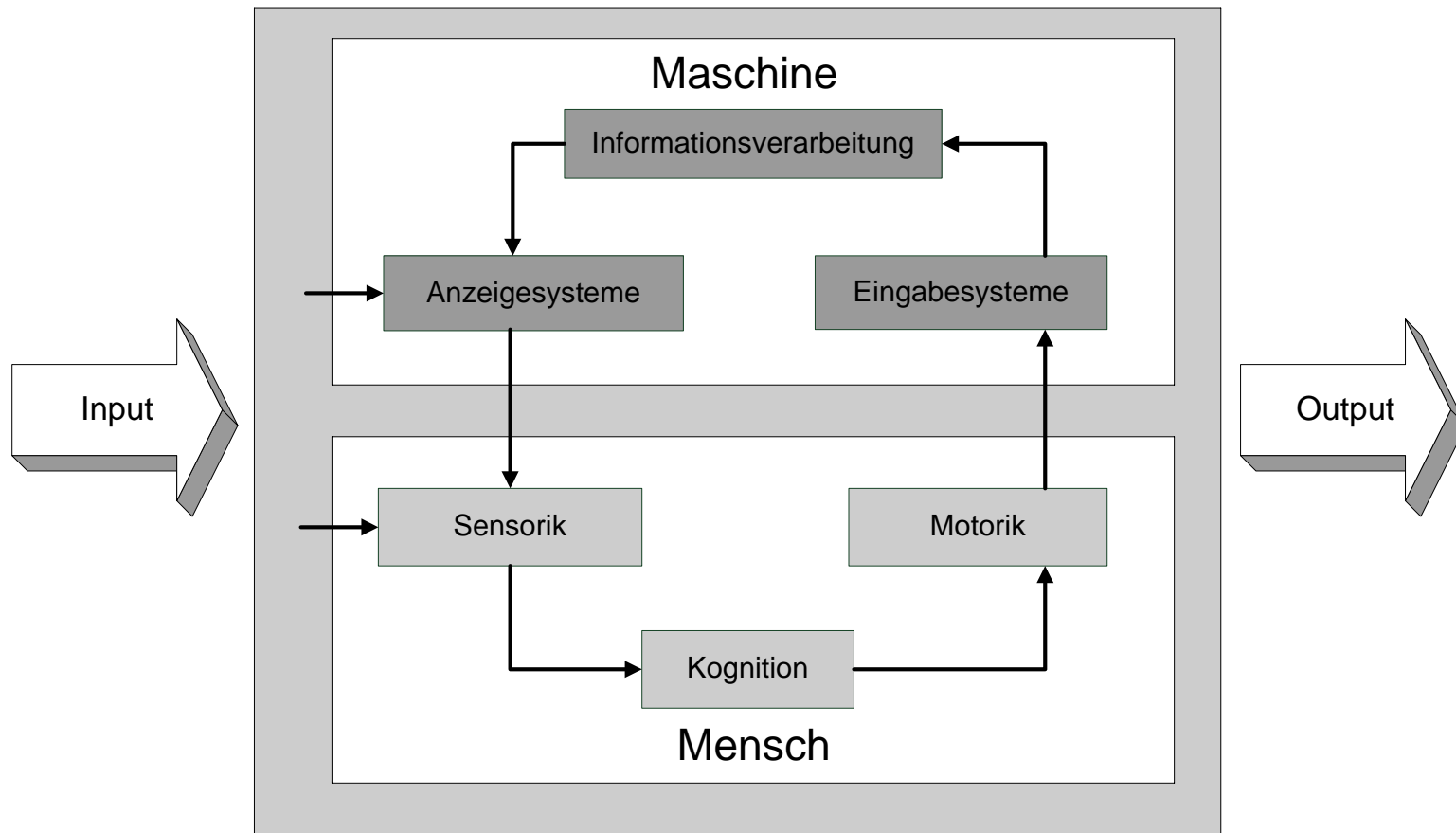






# Modell des Arbeitssystems

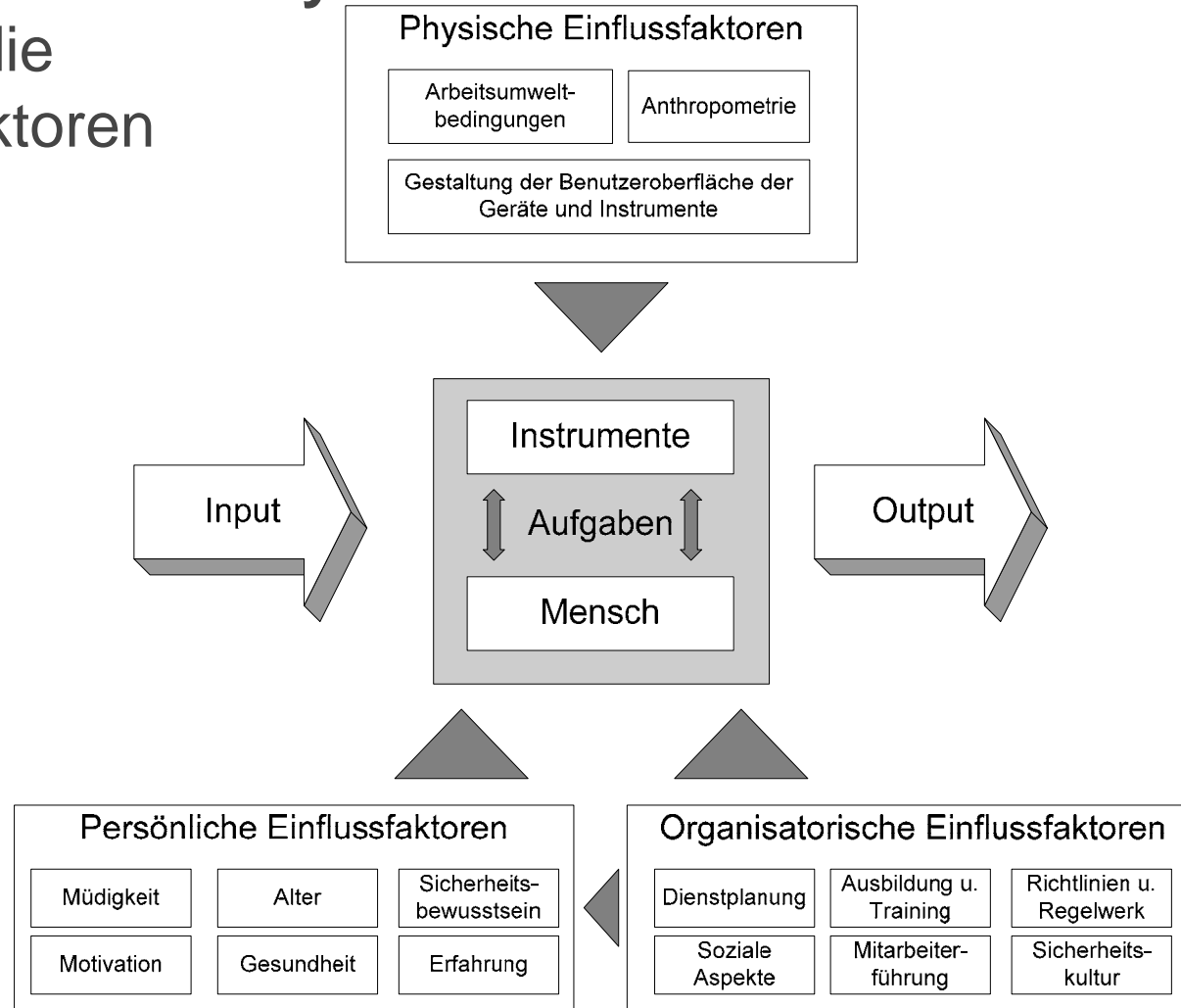
## Lupe auf die Mensch-Maschine-Interaktion





# Modell des Arbeitssystems

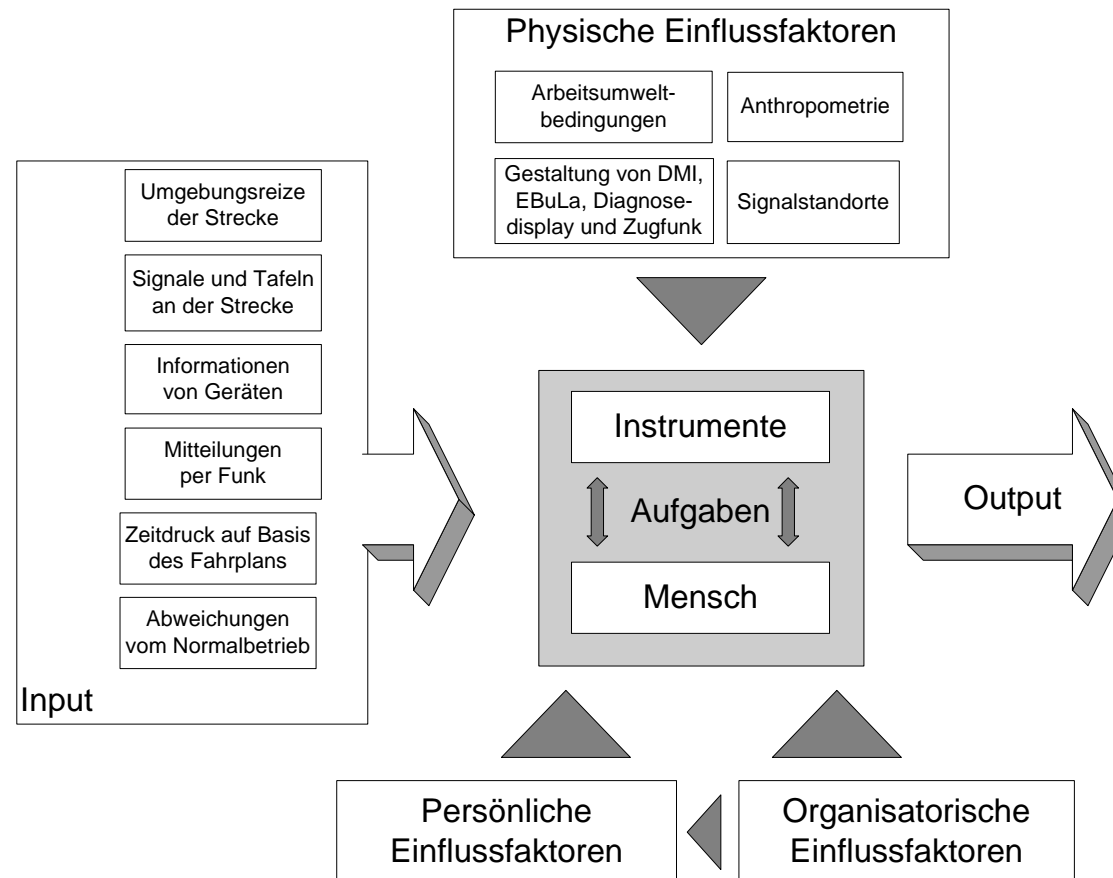
## Lupe auf die Einflussfaktoren





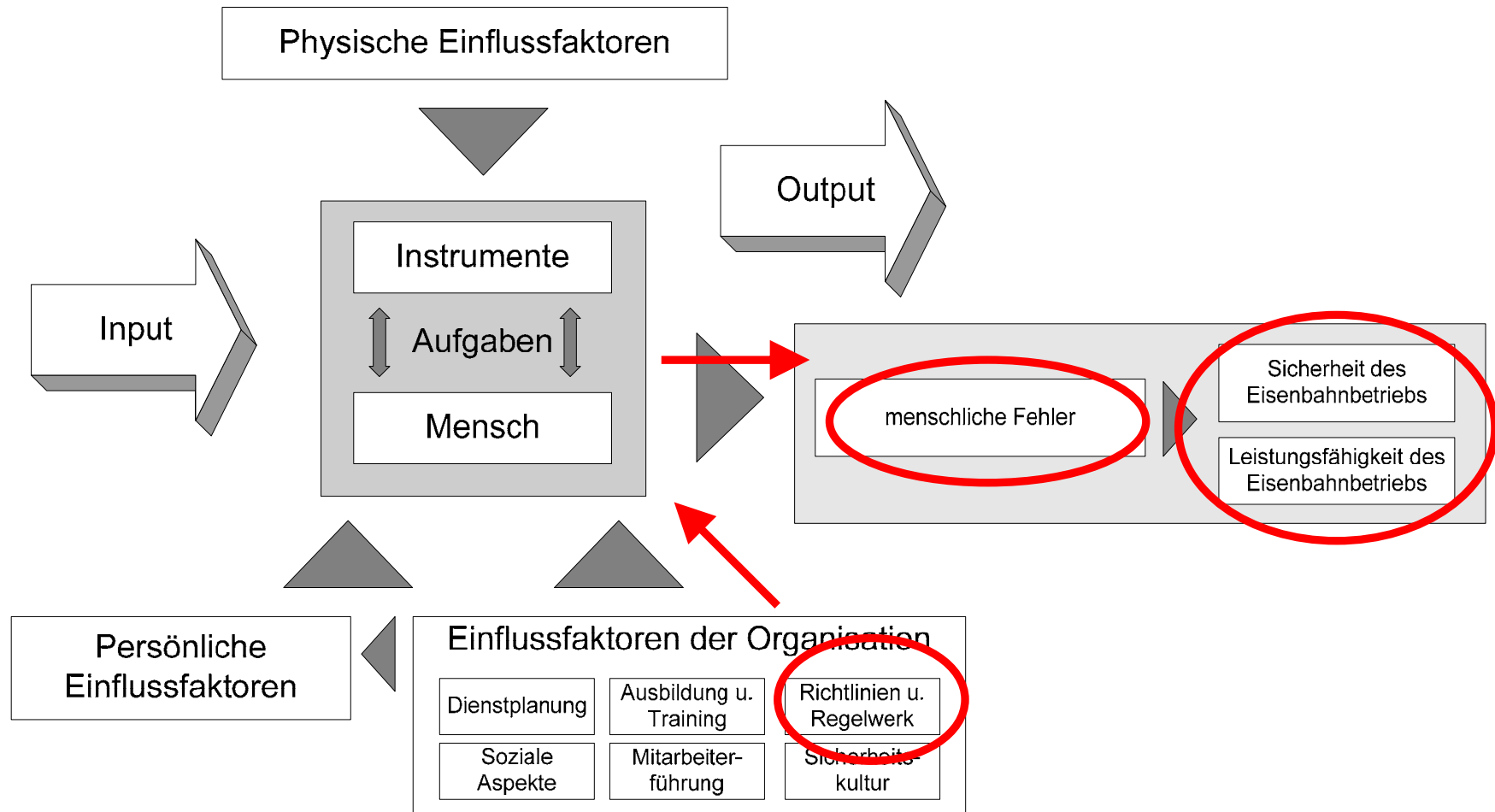
# Modell des Arbeitssystems

## Anwendung auf den Triebfahrzeugführer





# Modell des Arbeitssystems Einordnung des Regelwerks





### 3. Human Factors Vorgehensweise zur Analyse und Evaluation der Struktur des Arbeitsplatzes Bahn

	Analyse	Evaluation
Ziel	Das System verstehen	Einen Parameter messen
Beispiel	Arbeitsanalysen etc.	Belastungsmessung etc.
Reliabilität (Zuverlässigkeit der Vorgehensweise)	Messbare Daten müssen zu den Vorhersagen des Modells passen	Unterschiedliche Messungen müssen zusammenpassen

nach Annett (2002)

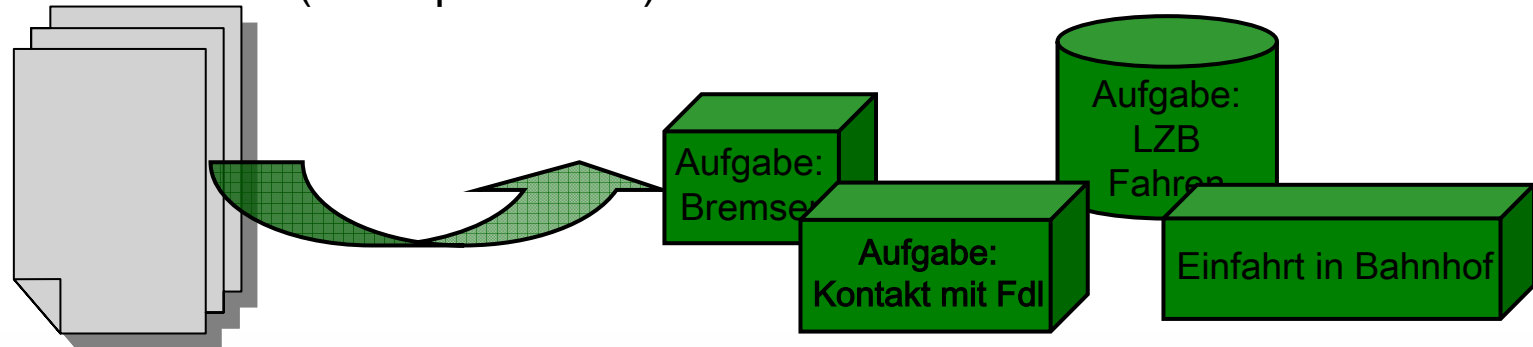


## 3.1 Die Idee eines Baukastens

### ➤ Erster Schritt:

Bereits vorhandene Information über die Struktur des Arbeitsplatzes Bahn wird genutzt, um die grundlegenden Arbeitsschritte zu **strukturieren** und zu **beschreiben**

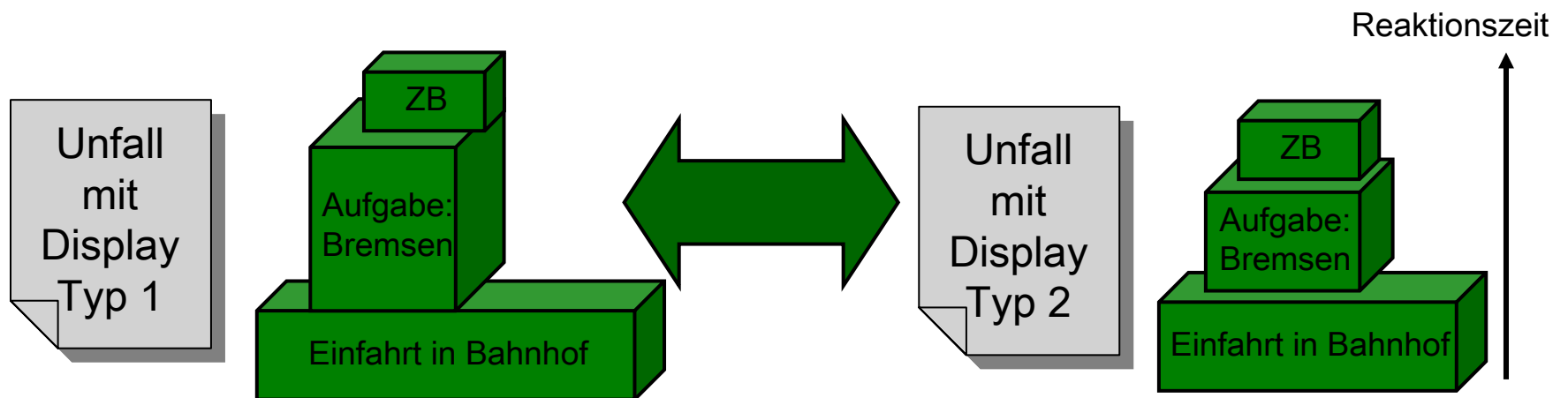
- Quellen: Untersuchungsberichte, Bedienanleitungen, KoRil, Interviews....
- Nachteil: Nur deskriptiver Nutzen
- Vorteil: Unterschiedliche Strukturen werden vergleichbar gemacht (Interoperabilität)





## 3.1 Die Idee eines Baukastens

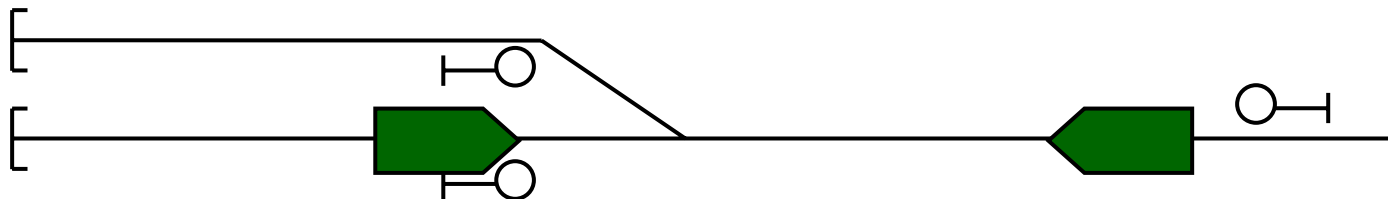
- **Zweiter Schritt:**
- Aus den einzelnen analysierten Arbeitsschritten lassen sich - wie in einem Baukasten - anschließend neue Situationen zusammenstellen, für die es keine expliziten Quellen gibt (ohne Interviews).
  - Neuwert: Aus der **Analyse** entsteht die Möglichkeit zur **Vorhersage** und zur **Prospektiven Gestaltung** (Design und Veränderung)





## 3.2 Beispiel: Der Zusammenstoß der S-Bahn 5711 mit der S-Bahn 5712 (Bhf. Flughafen Hannover-Langenhagen 2000)

- **Ziel:** Beschreibung und Analyse der Aufgaben von Tf und Fdl
- **Vorgehen:** Arbeitspsychologische Verfahren zur Strukturierung und Fehleranalyse
- **Quellen:** Untersuchungsbericht des EBA & Konzernrichtlinien der DB AG

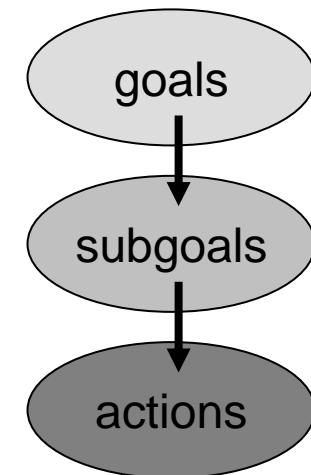






## 4. Arbeitsanalyse: Die HTA (Hierarchical Task Analysis)

- Idee: Der Mensch als informationsverarbeitende Einheit mit Zielen, die sich in beobachtbaren und messbaren Aktionen niederschlagen
  - **Methode** zur Darstellung der
    - **Aufgaben und des Arbeitsumfelds**
    - **Belastungssituation**
    - Informationsflusses
    - Interaktion innerhalb von Arbeitsplätzen
  - **Messung** von
    - Aufgabenerfüllung (Ziel erreicht?)
    - Problemen in der Performanz
    - Dual-Task Kapazität (Belastung)....



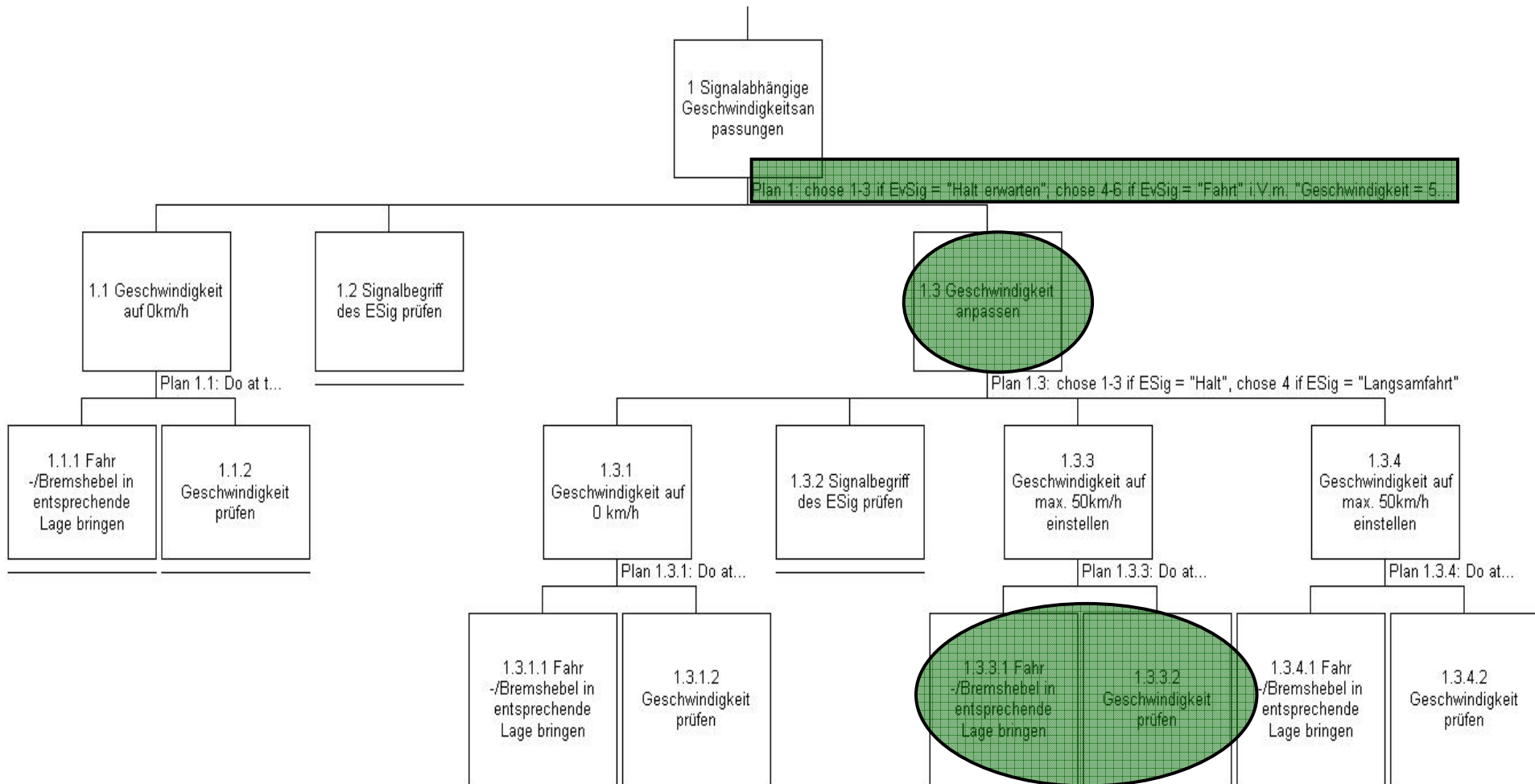


## 4.1 Was kann uns die HTA Arbeitsanalyse liefern?

- **Bausteine** mit der Aufgabenbeschreibung und der logischen Struktur von Arbeitsplätzen der Bahn
- Vergleich: **Ideale Strukturen** vs. **Suboptimale Strukturen** (Beobachtungen) vs. **Fehler** (Beobachtungen und Berichte)
  - Ideale Strukturen vs. Vorgegebene Strukturen (KoRil)
- **Parallele** vs. **Serielle** Aufgabenstrukturen (Hinweise auf Belastung)
- **Entscheidungsprozesse** sichtbar (Hinweise auf Schwierigkeit)

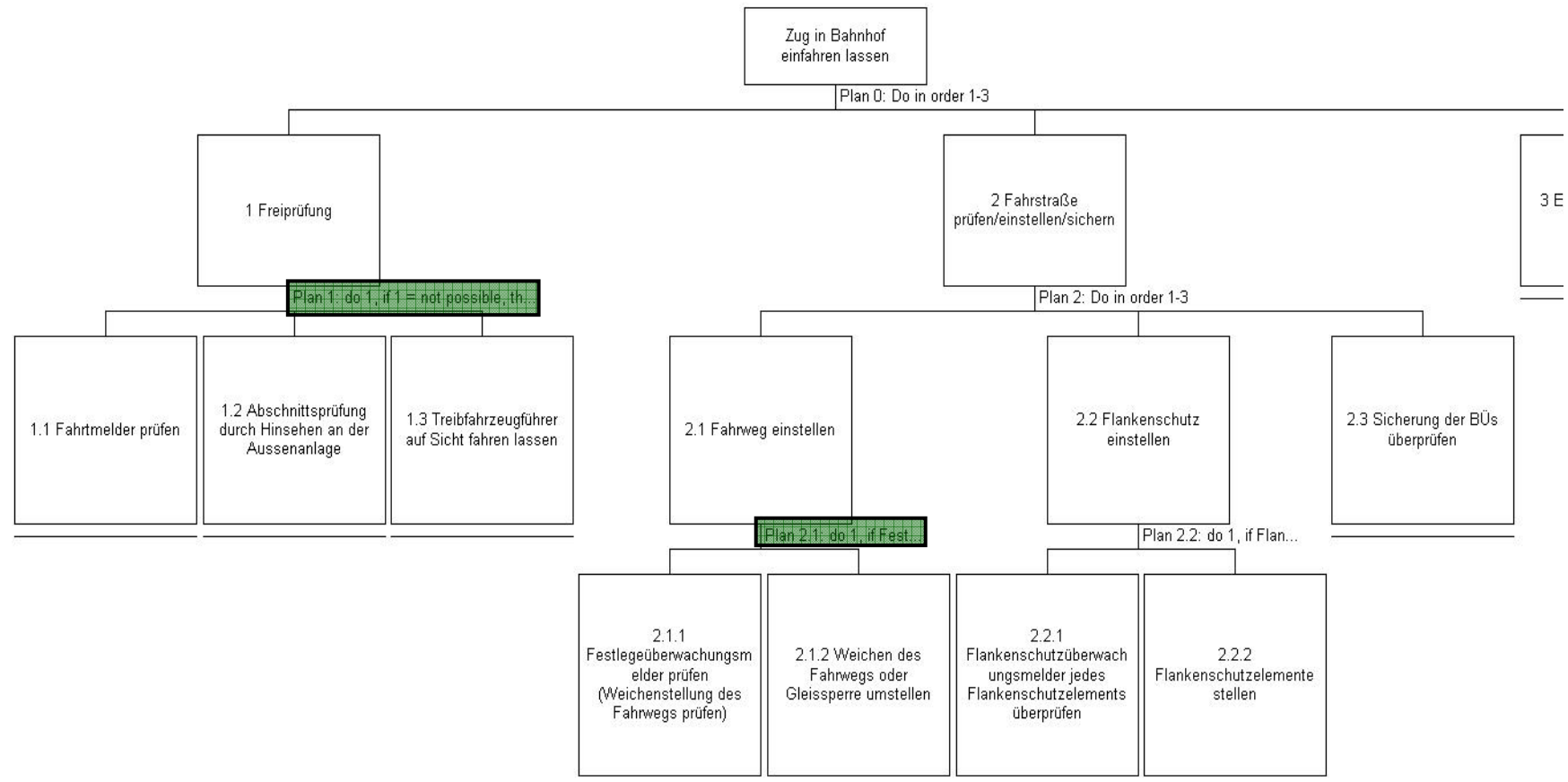


## 4.2 Einfahren in den Bahnhof (Tf)





## 4.2 Einfahren in den Bahnhof (Fdl)





## 4.3 Die HTA: Aufbau und enthaltene Information

- **Syntax** und **Notationsregeln**: Pläne, Strukturen....
- Unterschiedliche **Visualisierungsmöglichkeiten**
  - Flowcharts, Tabellen...

### **Ergebnis:**

- Isolierte Blöcke mit detaillierten und beobachtbaren Arbeitsschritten und den Selektionsregeln für Tf/Fdl
- z.B. **nutzbar für**:
  - Ideale Strukturen vs. Vorgegebene Strukturen (KoRil)
    - Interoperabilität!
  - Können jetzt durch Beobachtungen und Interviews ergänzt werden



## 4.4 Die HTA: Ideale Strukturen vs. Vorgegebene Strukturen (KoRil)

Task Step	Task	KoRil
0	1 Befehl von Fdl entgegennehmen 2 Lösen aus der ZB 3 Fahrt fortsetzen	
1	<b>Befehl von Fdl entgegennehmen</b> Plan 1: Do in order 1-2 1.1 Befehl aufschreiben 1.2 Befehl wiederholen	483.0101 Seite 16 408.0501 Fdl erteilt nach unzulässiger Vorbeifahrt an Haltsignalen per Zugfunknt entweder Befehl 1 o. 2 oder verwirft die Weiterfahrt. Befehl muss auf Vordruck 408.0412V01 diktiert, vom Tff wiederholt und nach Aufforderung vom Fdl
1.1	<b>Befehl aufschreiben</b>	
1.2	<b>Befehl wiederholen</b>	
2	<b>Lösen aus der ZB</b> Plan 2: Do in order 1-3 2.1 Befehlstaste drücken 2.2 Fahr-/Bremshebel komplett zurück 2.3 Fahr-/Bremshebel in Nullstellung	483.0101 Freitaste zur Lösung aus der Zwangsbremung betätigen bis akustisches Signal versummt. 483.0101 Seite 1 Eine Lösung aus der ZB ist möglich: Erlaubte Freitastenbetätigung von mind. 3 s Dauer (6 s Dauer bei PZ 80 R, PZ 80 ) bei einer Geschwindigkeit unter 30 km/h
2.1	<b>Befehlstaste drücken</b>	
2.2	<b>Fahr-/Bremshebel komplett zurück</b>	
2.3	<b>Fahr-/Bremshebel in Nullstellung</b>	
3	<b>Fahrt fortsetzen</b> Plan 3: Do in order 1-2 3.1 Warten auf Befüllung der Druckluftleitung 3.2 Fahr-/Bremshebel nach vorn legen	408.0501 Fahrt nach Befehl 1 oder 2 fortsetzen



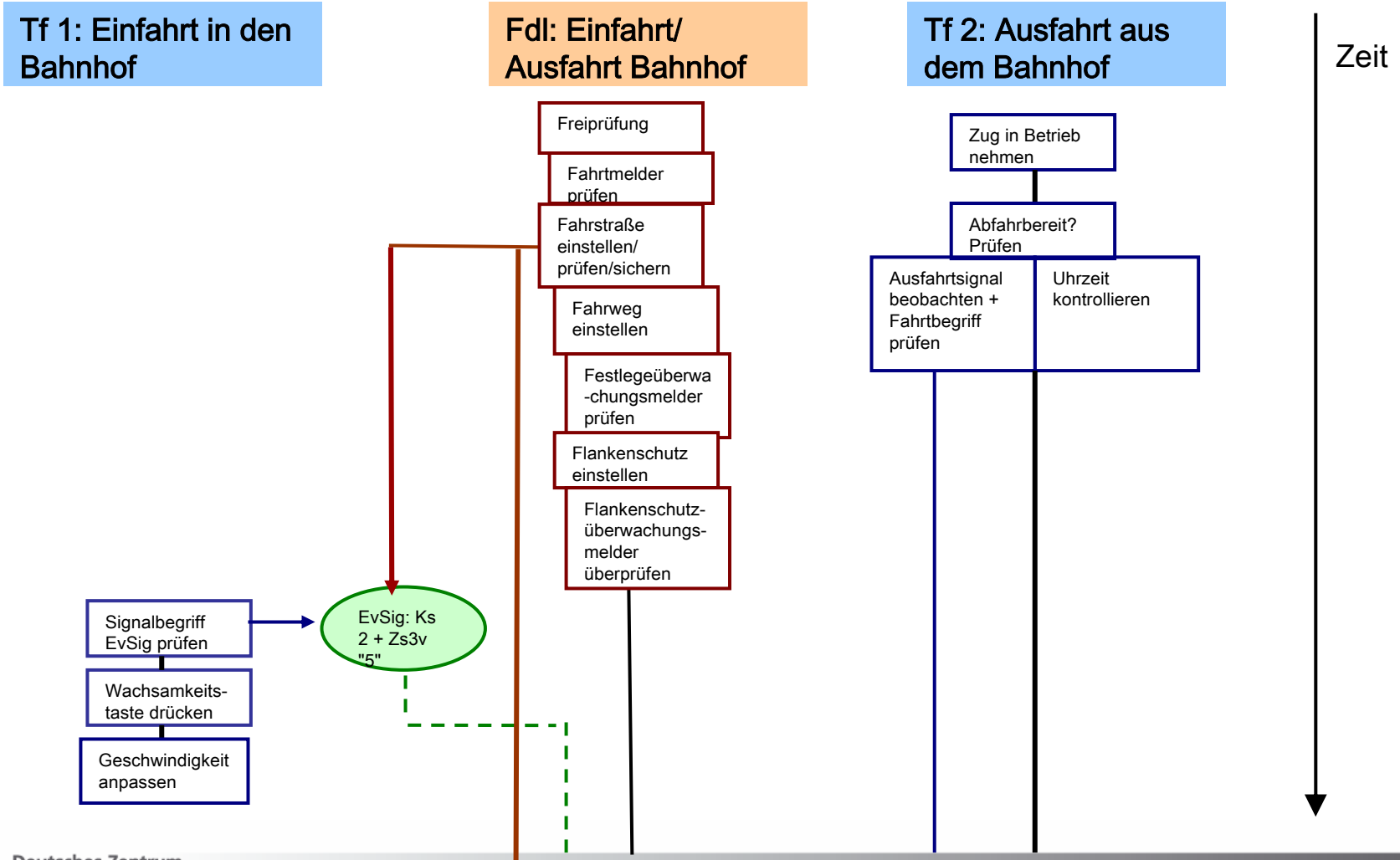


## 4.5 Arbeitsplatz Bahn: Die Team-HTA – Arbeiten im Team

- HTA für Gruppen von zusammen arbeitenden Personen
  - **Methode** zur Darstellung der
    - Aufgaben und des Arbeitsumfelds
    - Belastungssituation
    - **Informationsflusses**
    - **Interaktion innerhalb von Arbeitsplätzen**
  - **Messung** von
    - **Informationserfordernissen/ Informationsflüssen** über Arbeitsplätze hinweg/ **Informationshindernissen**



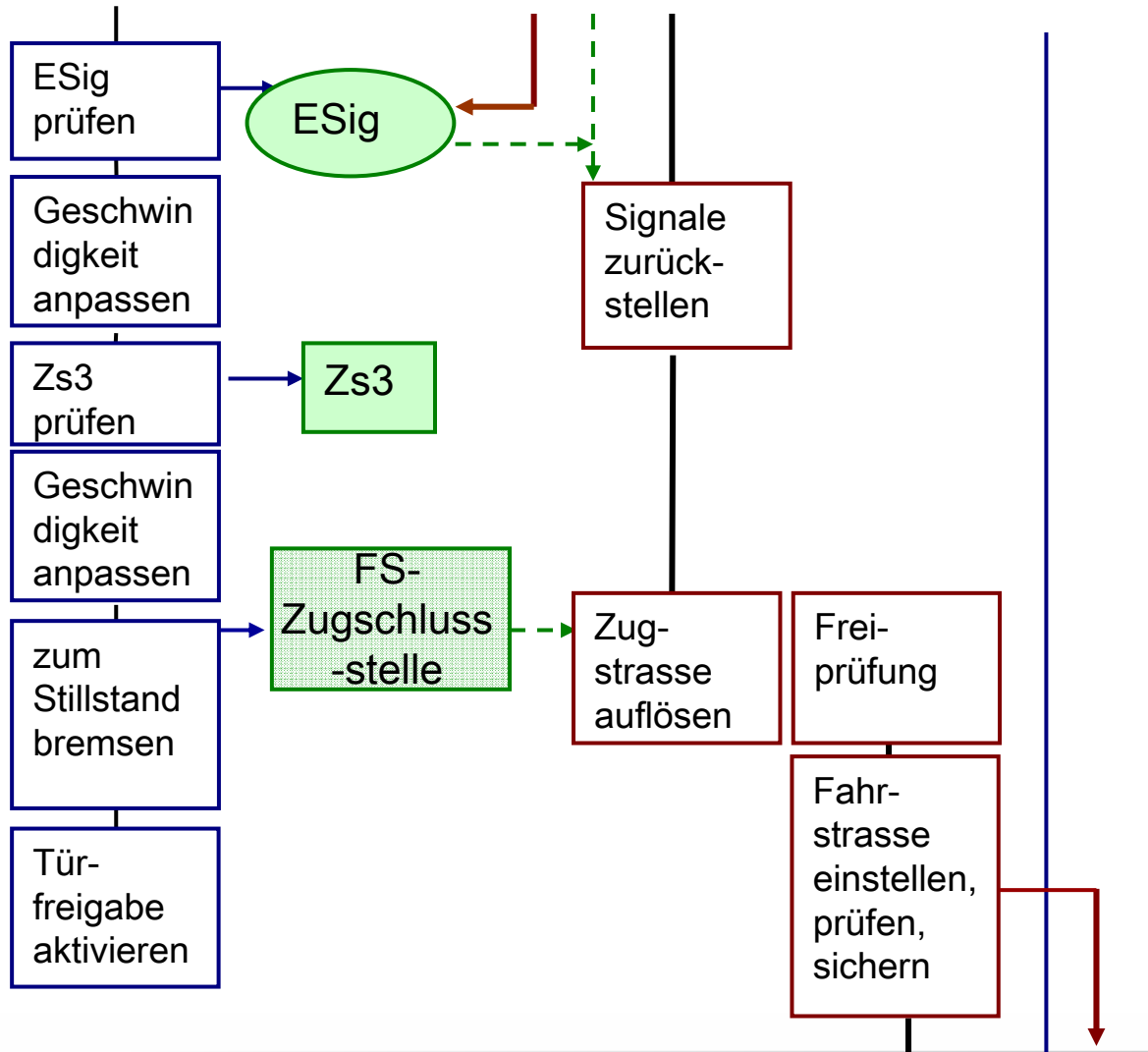
# 4.6 Team-HTA am Beispiel Hannover





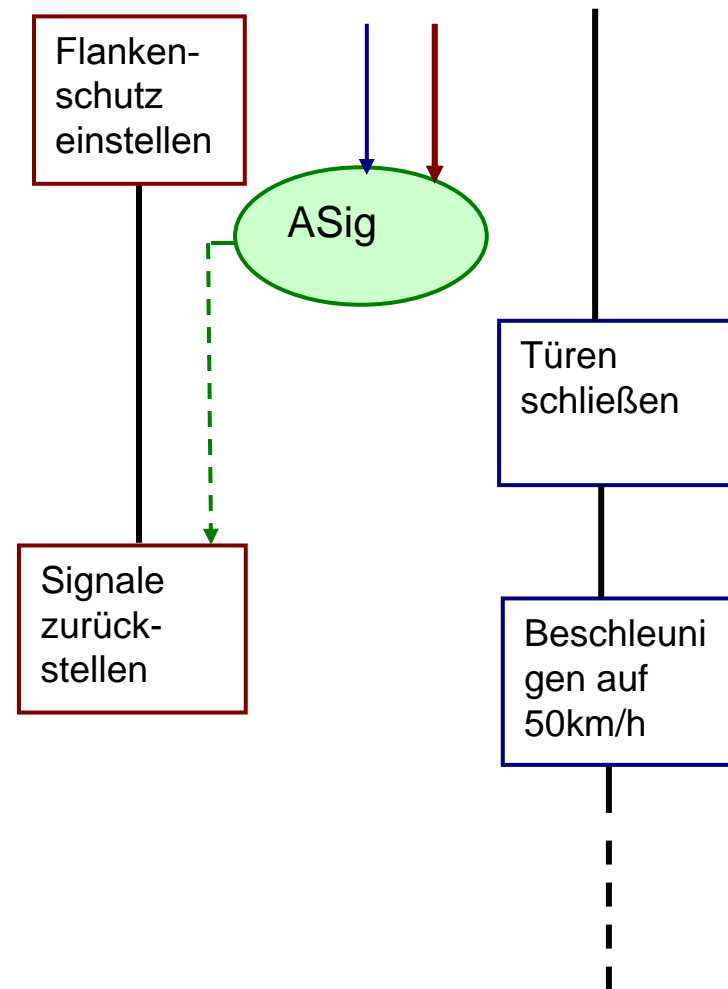


## 4.6 Team-HTA am Beispiel Hannover



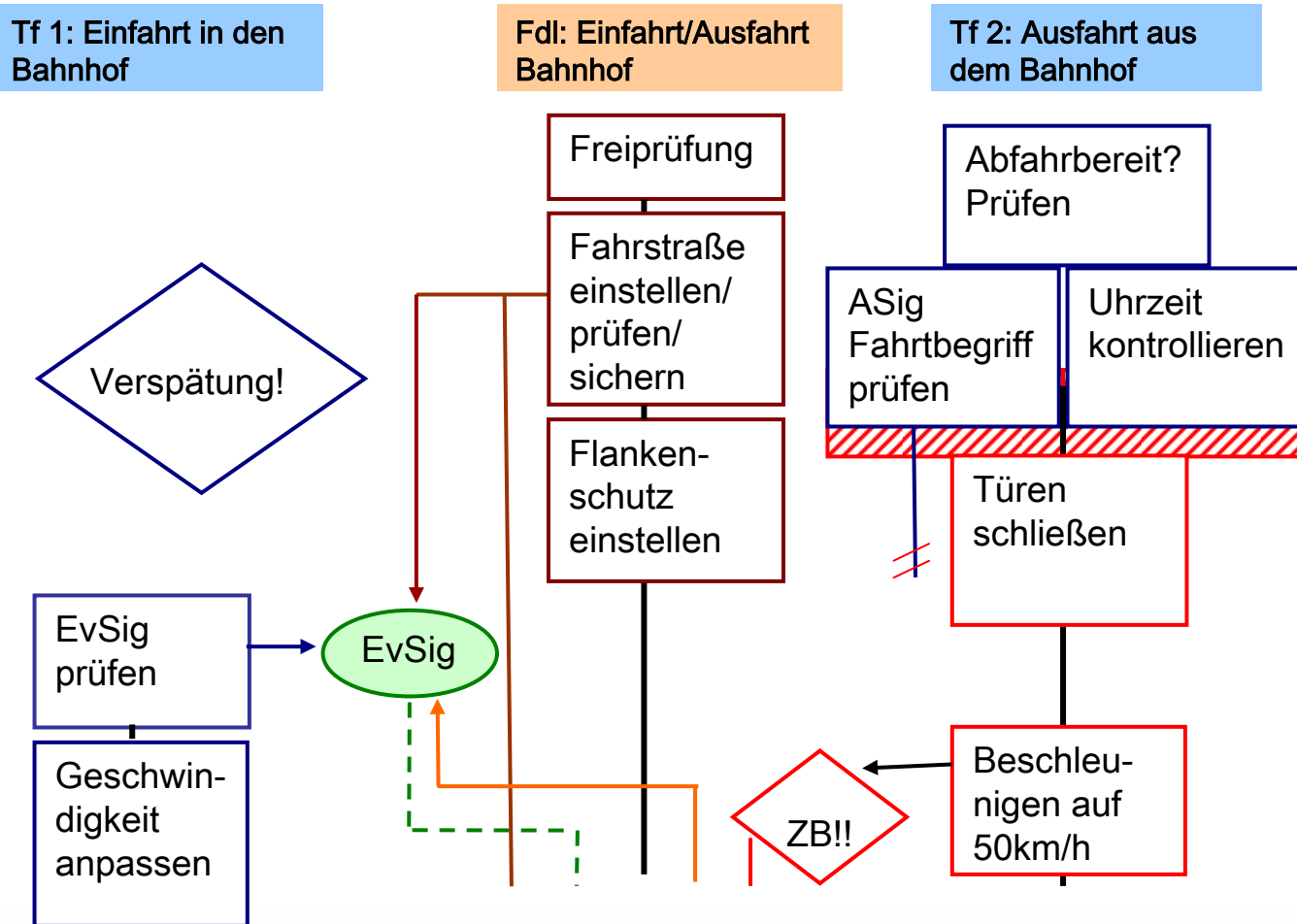


## 4.6 Team-HTA am Beispiel Hannover



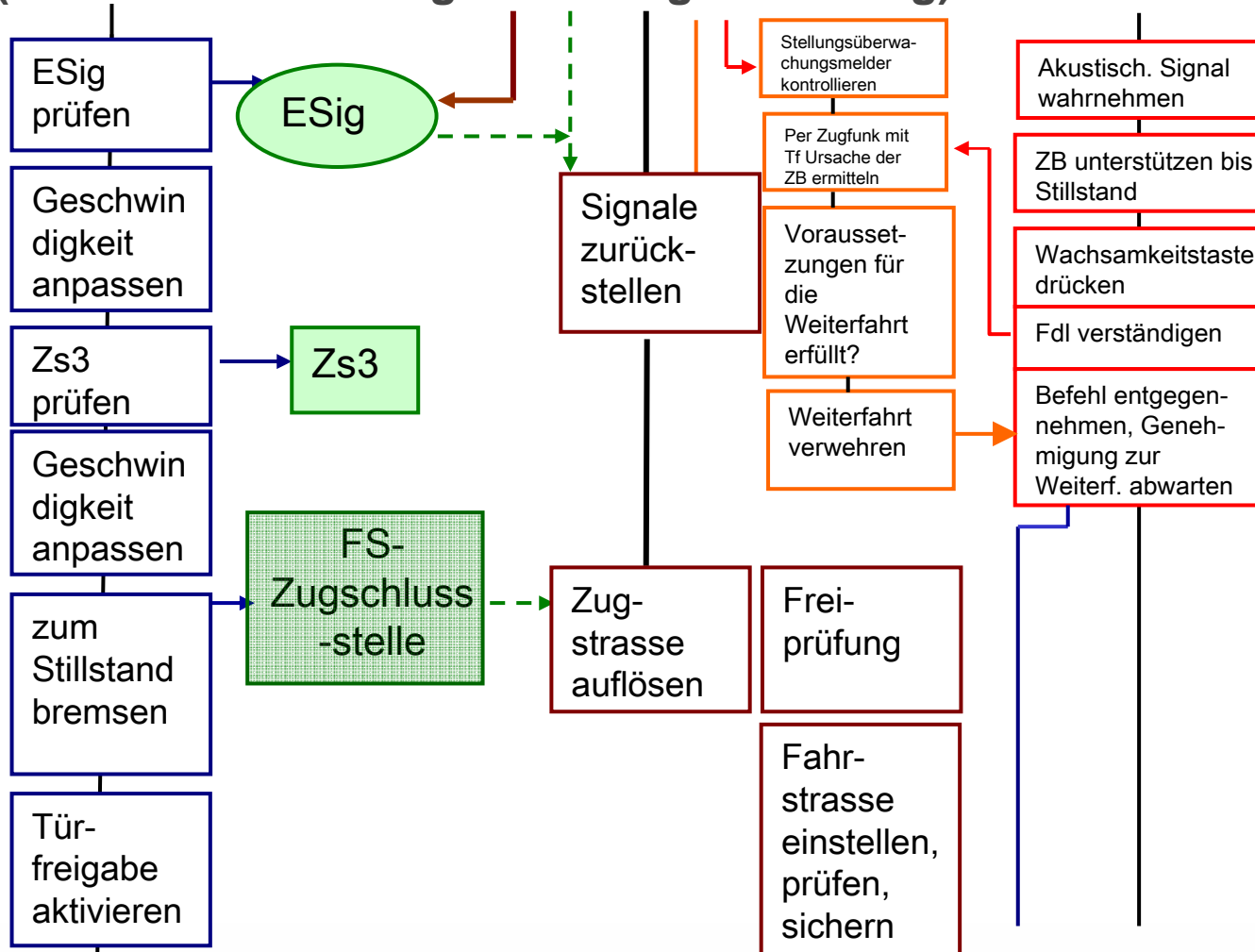


## 4.6 Team-HTA am Beispiel Hannover (Überfahren des ASig mit Zwangsbremmung)



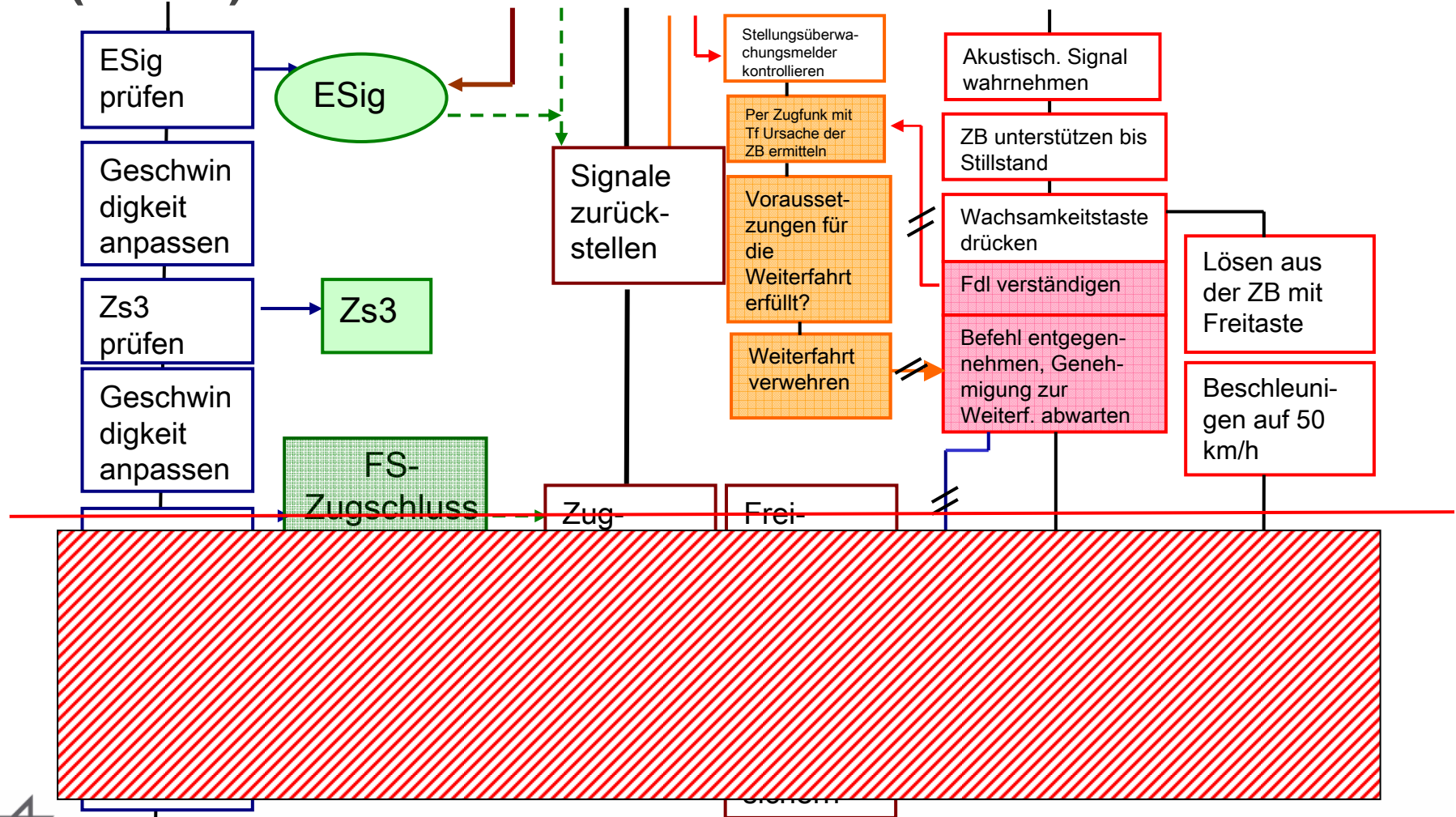


## 4.6 Team-HTA am Beispiel Hannover (Überfahren des ASig mit Zwangsbremmung)





## 4.6 Team-HTA am Beispiel Hannover (Unfall)





## 4.7 Die Team-HTA: Aufbau und enthaltene Information

### ➤ Ergebnisse:

- Identifikation/Beschreibung der Interaktionsflüsse und der kritischen Interaktionshindernisse

### ➤ Offene Frage: Warum?

#### ➤ **Kognitive Arbeitsanalyseverfahren (Cognitive Work Analysis)**

- Idee: Wenn die den Reaktionen zugrundeliegenden kognitiven Prozesse in verschiedenen Arbeitsschritten bekannt sind/strukturiert beschrieben werden können, lässt sich

- **prospektiv gestalten** und

- **Fehler voraussagen**

#### ➤ **Messung** von

- qualitativen Maßen der Kognition



## 5. Die Kognitive Arbeitsanalyse: Beispiel

Task Step	Task	KoRil	Notwendiges Wissen
3	<p>Weiterfahren nach Zwangsbremmung</p> <p>Plan: Do in order 1-6</p> <hr/> <p>3.1 Wahrnehmen von akustischem Signal</p> <p>3.2 ZB unterstützen bis zum Stillstand</p> <p>3.3 Wachsamkeitstaste drücken innerh. von 4 s</p>	<p>483.0101</p> <p>Die PZB leitet Zwangsbremmung bis Stillstand ein, wenn Vorbeifahrt an einem Halt zeigenden Signal ohne Befehlstastenbetätigung (schriftl. Befehl des Fdl nötig)</p>	
3.1	<p>Wahrnehmen von akustischem Signal</p>		<p>Dieses Warnsignal folgt u.a. einer extern veranlassten ZB, mit möglichen Ursachen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wachsamkeitstaste nicht innerhalb von 4 s nach 1000 Hz Beeinflussung gedrückt</li> <li>2. Prüfgeschwindigkeit überschritten</li> <li>3. An einem Halt zeigenden Signal ohne Befehlstastenbetätigung vorbeigefahren</li> <li>4. Sich aus der 1000 Hz Überwachungsfunktion unzulässig befreit</li> </ol>



## Zwischenstatus

➤ Bisher:

Struktur des Arbeitsplatzes Bahn beschrieben:

➤ **Bausteine** mit der Aufgabenbeschreibung und der logischen Struktur von Arbeitsplätzen der Bahn

➤ Vergleich: **Ideale Strukturen** vs. **Suboptimale Strukturen** (Beobachtungen) vs. **Fehler** (Beobachtungen und Berichte)

➤ Ideale Strukturen vs. Vorgegebene Strukturen (KoRil)

➤ **Kognitive Prozesse** erfasst und beschrieben:

Warum werden bestimmte Aufgaben so gelöst, wo sind kritische Schritte?

➤ Generell: **Möglichkeit zur prospektiven Gestaltung eröffnet**







## 6. Menschliche Zuverlässigkeit berücksichtigen: Die Fehleranalyse

- **CENELEC Normen:**  
fordern systematischen Nachweis der Zuverlässigkeit bzw. Sicherheit
- Die **Zuverlässigkeit/Sicherheit** des Gesamtsystems Bahn ist abhängig von der Zuverlässigkeit
  - der **technischen Komponenten** und
  - des **Menschen** (z.B. in Funktion des Tf oder des Fdl)
- Sicherheitsanalysen von technischen Komponenten (z.B. FMEA)
- Analoge systematische Analyse der menschlichen Handlungen auf Fehler
- **Human Error Identification (HEI) Techniken** (Fehleranalysen)
  - Systematisches Vorgehen



## 6.1 Die Fehleranalyse: SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach)

### ➤ Einteilung der HTA Unterziele in **Verhaltenskategorien**:

Beispiele:

- Handlung (z.B. Fahr-/Bremshebel betätigen)
- Kontrolle (z.B. Anzeige im Führerhaus überprüfen, ob Außentüren geschlossen)

### ➤ Analyse jedes Unterziels auf potentielle **Fehlermöglichkeiten**:

Beispiele:

- Handlung auslassen
- Zu früh/ zu spät/ zu viel/ zu wenig

### ➤ **Konsequenzen der Fehler** ermitteln

### ➤ **Recovery-Analyse** erstellen:

- Folgt ein Handlungsschritt, durch den der Fehler auffällt/korrigiert wird?





## 6.2 Vorteile der Fehleranalyse

- Differenzierte Fehlerbeschreibung: nicht nur „Tätigkeit korrekt ausgeführt“ und „Tätigkeit inkorrekt ausgeführt“
- Berücksichtigung der Folgen und Kosten, Konzentration auf wesentliche Fehler:
  - verschiedene Arten der falschen Ausführung haben unterschiedliche Folgen



## 6.2 Vorteile der Fehleranalyse

➤ Beispiel:

Task Step	Task	Aufgabenklassifizierung	Fehleridentifikation		schlimmste Konsequenz des Fehlers	Recovery-Potential		Sicherheitsrelevanz
						technisch	Mensch	
2.1.2	Fahr-/Bremshebel nach vorne legen	Handlung	1	auslassen	Verspätung		Kontaktaufnahme durch FdI	keine
			2	zu weit	Geschwindigkeit > erlaubte Geschwindigkeit	keine	EBuLa und Streckenkennntnis	Was passiert wenn Geschwindigkeit > 50km/h vor km 14,9?
			3	zu wenig	Geschwindigkeit < erlaubte Geschwindigkeit	keine	EBuLa und Streckenkennntnis	keine
			4	zu spät	Geschwindigkeit < erlaubte Geschwindigkeit	keine	EBuLa und Streckenkennntnis	keine
			5	falschen Hebel benutzen	Verspätung		wird unmittelbar bemerkt	keine
			6	Tacho nicht ablesen	wenn bei Schritt 2.1.2 Fehler 2 aufgetreten ist, dann Geschwindigkeit > erlaubte Geschwindigkeit	keine	EBuLa und Streckenkennntnis	Was passiert wenn Geschwindigkeit > 50km/h vor km 14,9?



## 7. Welchen Mehrwert generieren diese arbeitspsychologischen Analysemethoden?

### Mehrwert:

- Strukturierte, einheitliche und beobachtbare Beschreibung der Handlungen: **Interoperabilität**
- **Baukastenprinzip**: auch nicht beschriebene Situationen sind später beschreibbar
- Analyse der KoRil und des Betriebsablaufs auf **Schwachstellen der Nutzung** (menschliche Faktoren) und Möglichkeit der **prospektiven Gestaltung** (Neu-/Re-Design)





## 7. Der Nutzen arbeitspsychologischer Methoden: Zusammenfassung und Ausblick

- Momentaner Stand: exemplarische Aussagen zum Einfluss des Regelwerks auf menschliche Fehler
- Bei Berücksichtigung weiterer Szenarien: Baukastensystem, das konkrete Empfehlungen zur Gestaltung der Richtlinien erlaubt und die Wahrscheinlichkeit menschlicher Fehler verringert
- Zusätzlicher Nutzen: Differenziertere Untersuchungen menschlicher Fehler werden möglich, die Risikoanalysen und Sicherheitsbetrachtungen unterstützen
- Grundlage für die Zusammenführung nationaler und internationaler Regelwerke durch Methoden zur systematischen Abstraktion und Analyse



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Kontakt:

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Verkehrssystemtechnik  
Lilienthalplatz 7  
38108 Braunschweig
- Dr. rer. nat. Dipl.-Psych. Monica De Filippis  
monica.filippis@dlr.de, 0531/295 3517
- Dipl.-Ing. Malte Hammerl  
malte.hammerl@dlr.de, 0531/295 3416