

# **Petrinetzbasierte Unfallanalyse am Beispiel des Zugunglücks von Brühl**

*Dipl.-Ing. J. May, Dipl.-Ing. J. Drewes, Dipl.-Ing. R. Slovák*

- 1 Motivation**
- 2 Unfallursachenanalyse mit Petrinetzen**
- 3 Analyse am Beispiel „Brühl“**
- 4 Präventive Unfallanalyse**
- 5 Zusammenfassung und Ausblick**



## Eisenbahnunfall in Brühl (06.02.2000)

Technische Universität Braunschweig

Institut für Verkehrssicherheit  
und Automatisierungstechnik

**iva**

# Petrinetze

ermöglichen die Darstellung von

**Struktur, Verhalten, Funktion** und **Zuständen**.

ermöglichen die **Analyse** von **Erreichbarkeiten** lokaler und globaler Zustände.

sind international **standardisiert** (ISO SC7 / WG1).

ermöglichen sowohl den **Top-Down**, als auch den **Bottom-Up** Ansatz.

lassen sich sowohl **qualitativ** als auch **quantitativ** auswerten.

## **Zustände – Plätze**



lokaler oder globaler Zustand



Markierung eines initialisierten Zustandes

## **Ereignisse – Transitionen**



kausales Ereignis

## **Abhängigkeiten – Zustandsänderungen**



Kante



Testkante (keine Zustandsänderung)



Inhibitor, (keine Zustandsänderung)

**EDSPN = Erweiterte deterministische stochastische Petrinetze**

**Notation der Petrinetze  
zur Beschreibung des Systemverhaltens**

Technische Universität Braunschweig

Institut für Verkehrssicherheit  
und Automatisierungstechnik

**iva**

## Zustände – Plätze



lokaler oder globaler Zustand



Markierung eines initialisierten Zustandes

## Ereignisse – Transitionen



kausales Ereignis



deterministisch-temporales Ereignis



stochistisch-temporales Ereignis (Verteilungsfunktion)

## Abhängigkeiten – Zustandsänderungen



Kante



Testkante (keine Zustandsänderung)



Inhibitor, (keine Zustandsänderung)

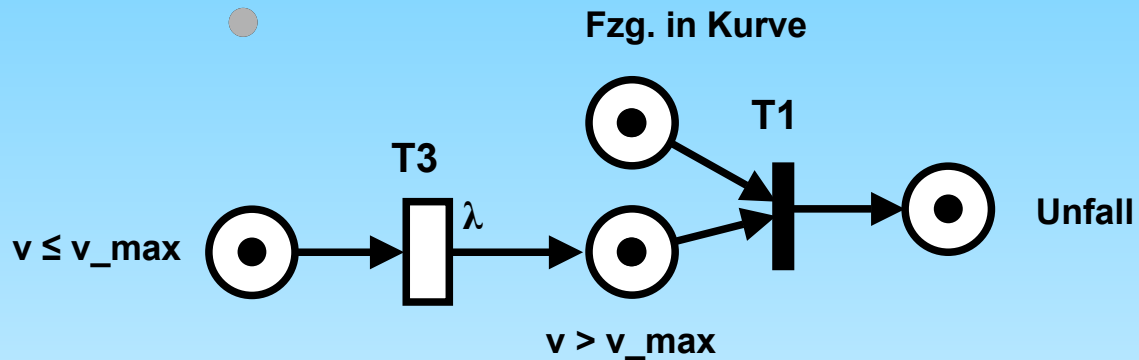
**EDSPN = Erweiterte deterministische stochastische Petrinetze**

**Notation der Petrinetze  
zur Beschreibung des Systemverhaltens**

Technische Universität Braunschweig

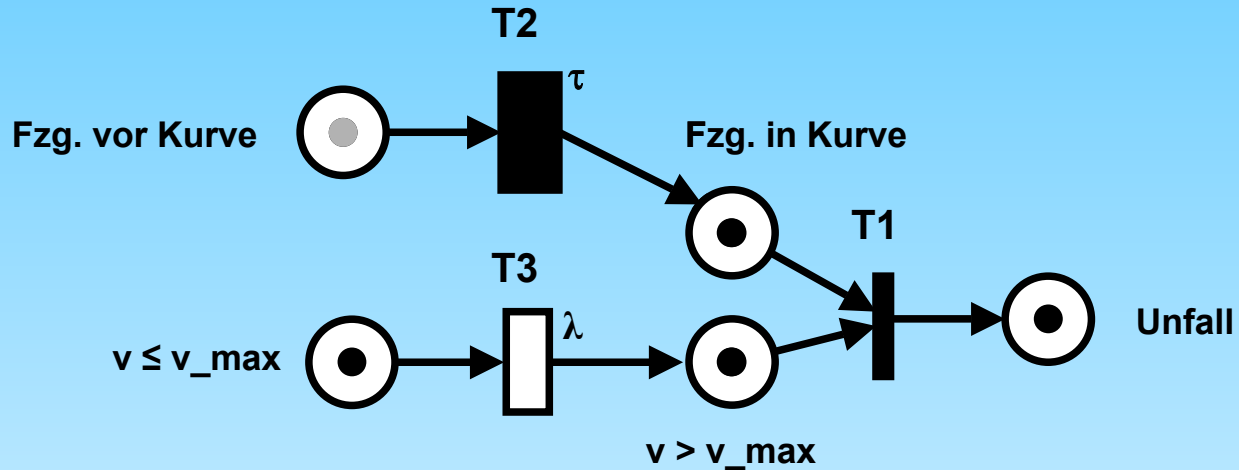
Institut für Verkehrssicherheit  
und Automatisierungstechnik

**IVA**



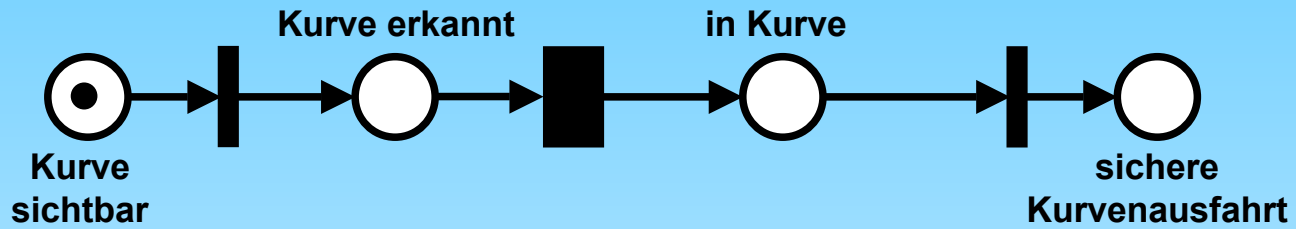
Transition **T1** schaltet nur wenn beide Plätze **Fzg. in Kurve** und  **$v \leq v_{\max}$**  markiert sind.

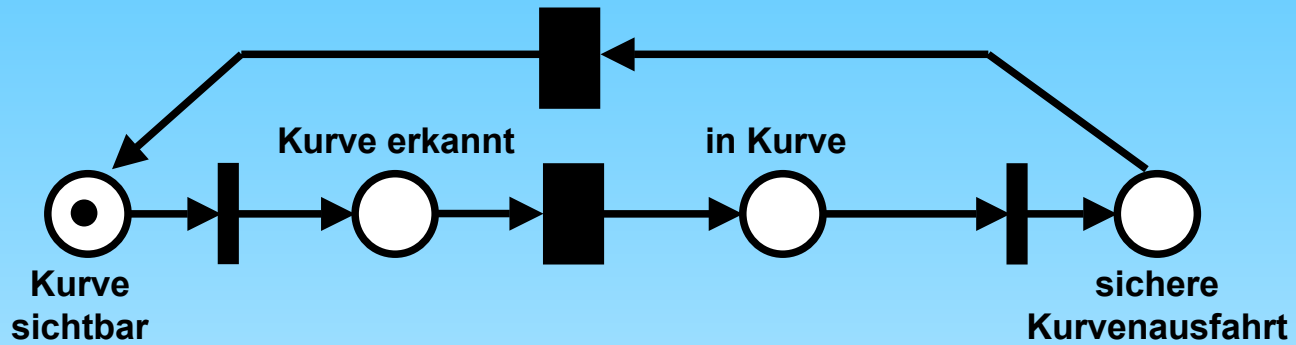
Transition **T3** schaltet zwangsabhängig mit einer zeitlichen Rate  $\lambda$ . Die Markierung des Platzes  **$v \leq v_{\max}$**  führt unmittelbar nach Ablauf der Zeit zum Zustand **Fzg. in Kurve**  **$v > v_{\max}$** .

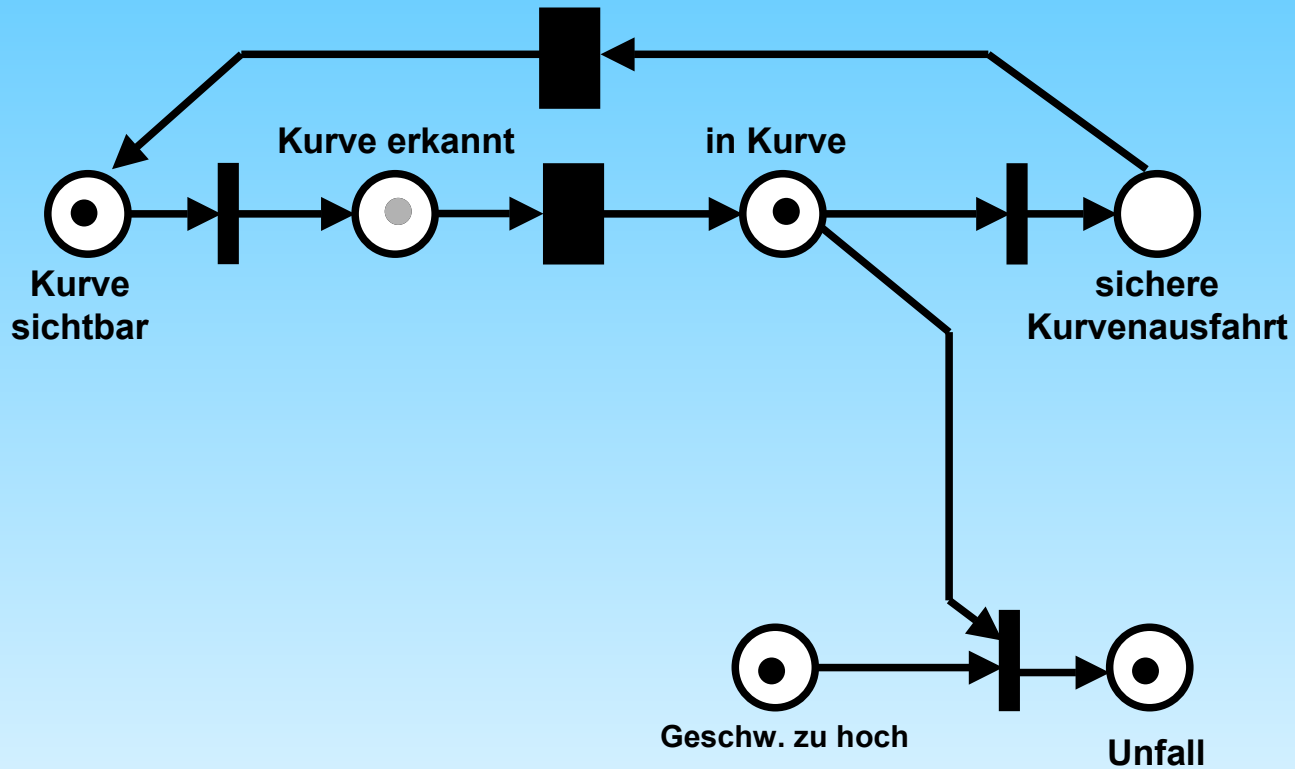


Transition **T2** schaltet nur wenn beide Plätze **Fzg. vor Kurve** und  **$v \leq v_{\max}$**  markiert sind.

Transition **T3** schaltet unabhängig von der Anzahl der Plätze  **$v \leq v_{\max}$**  und  **$v > v_{\max}$** . Die Markierung des Platzes  **$v \leq v_{\max}$**  führt unmittelbar nach Ablauf der Zeit zum Zustand  **$v > v_{\max}$** .

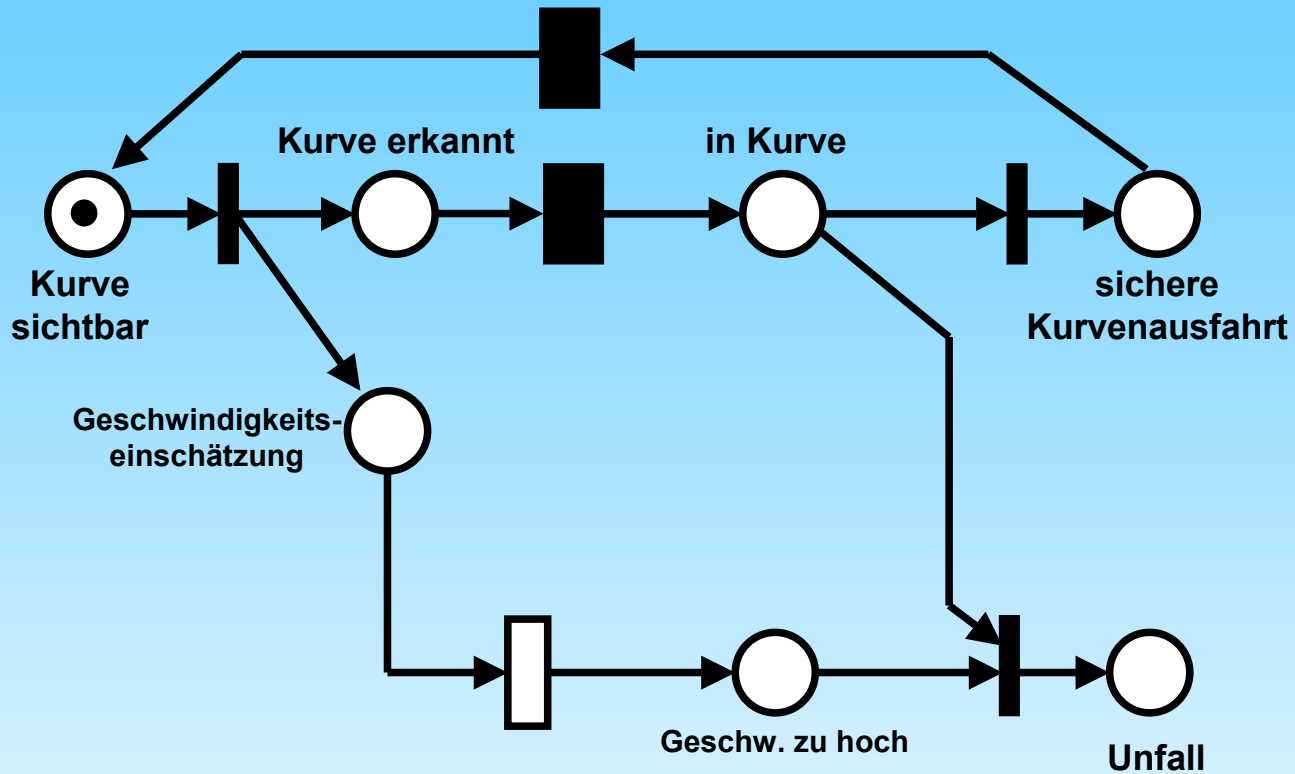






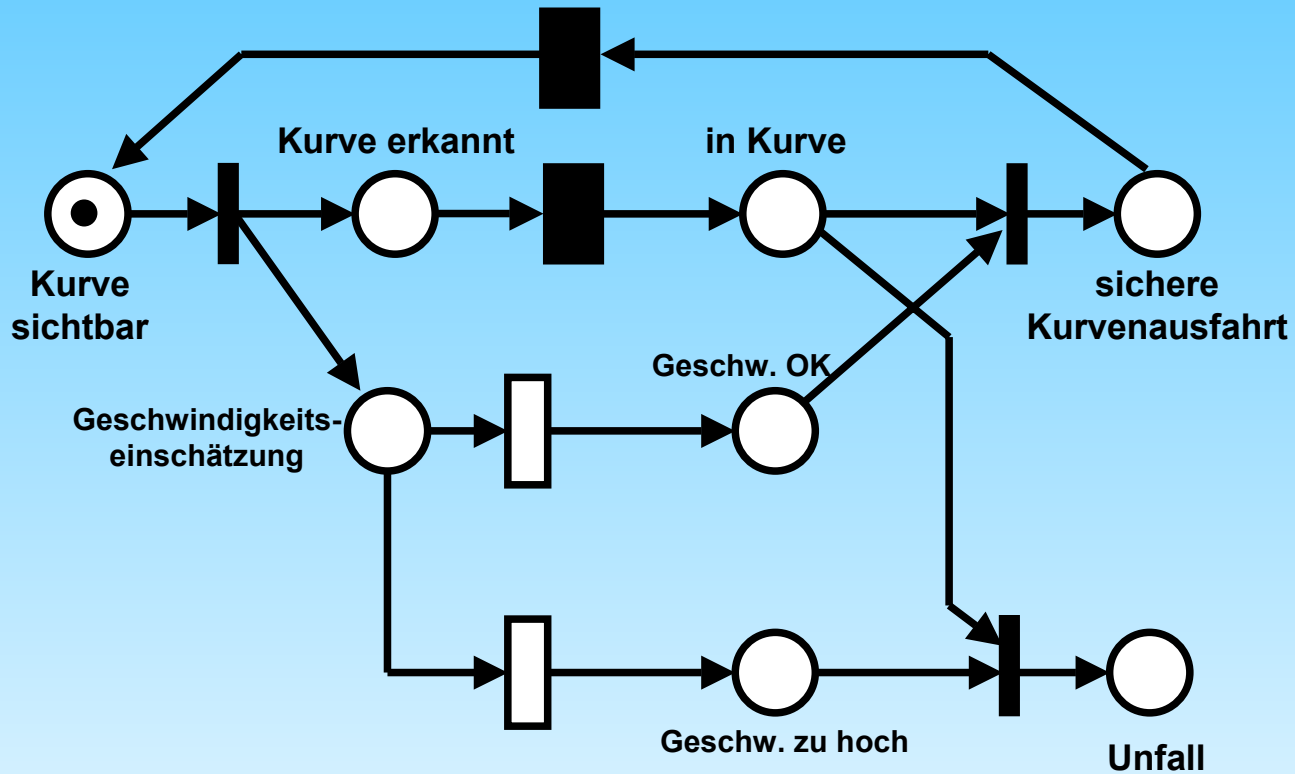
# Unfallanalyse

## Beispiel: Kurvenfahrt eines PKW

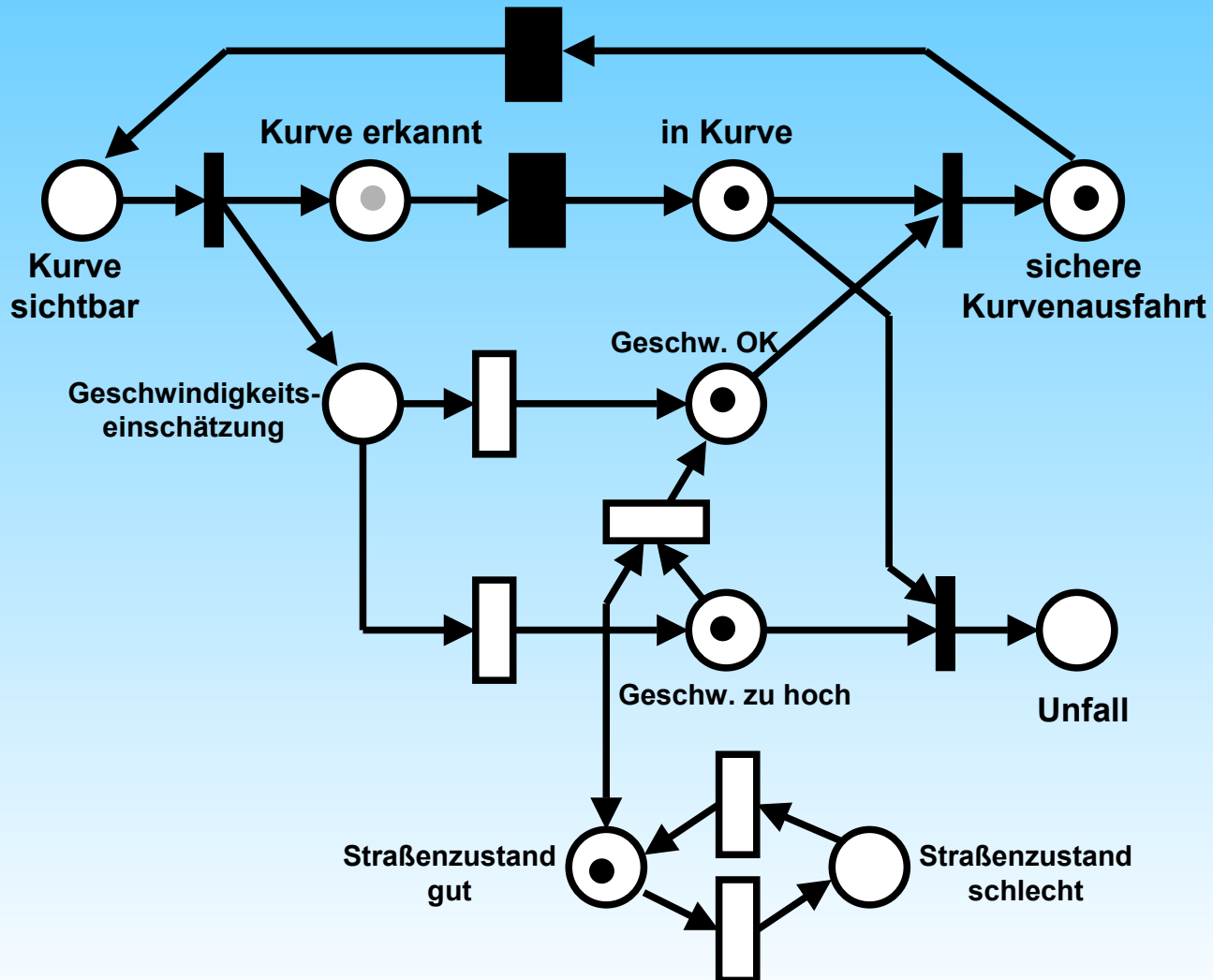


# Unfallanalyse

## Beispiel: Kurvenfahrt eines PKW

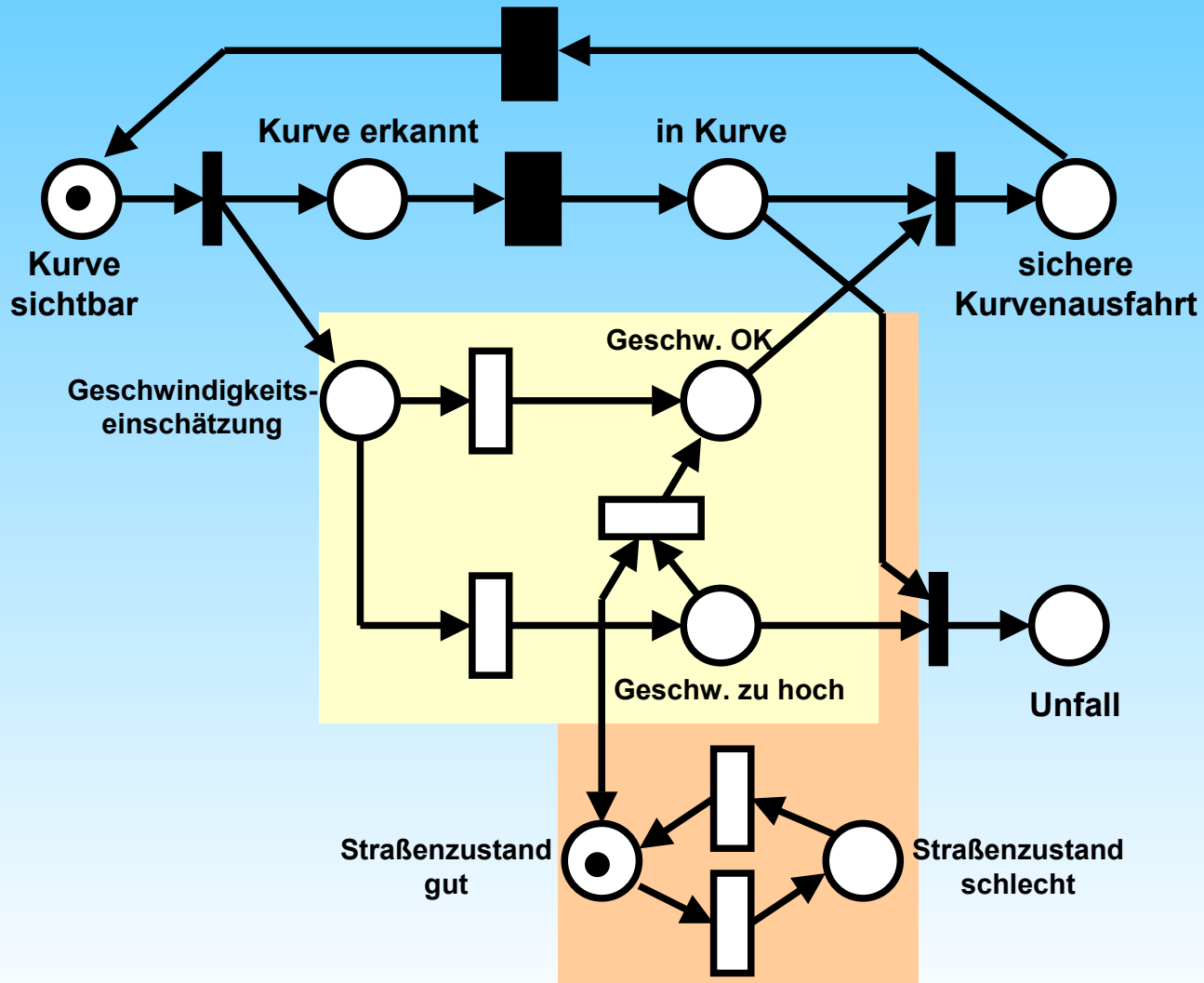


## Beispiel: Kurvenfahrt mit PKW



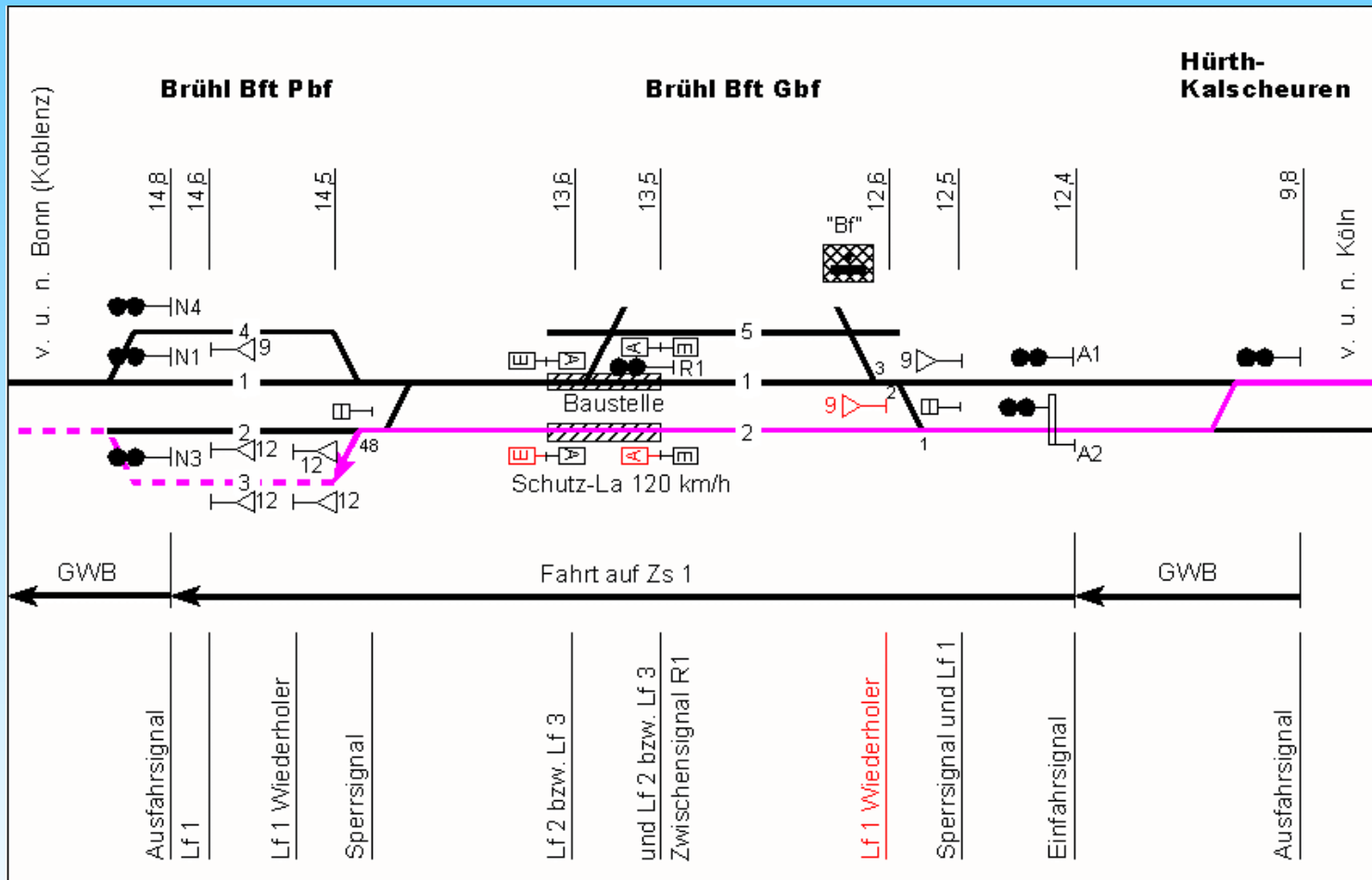
# Unfallanalyse

## Beispiel: Kurvenfahrt eines PKW



# Unfallanalyse

## Beispiel: Kurvenfahrt eines PKW



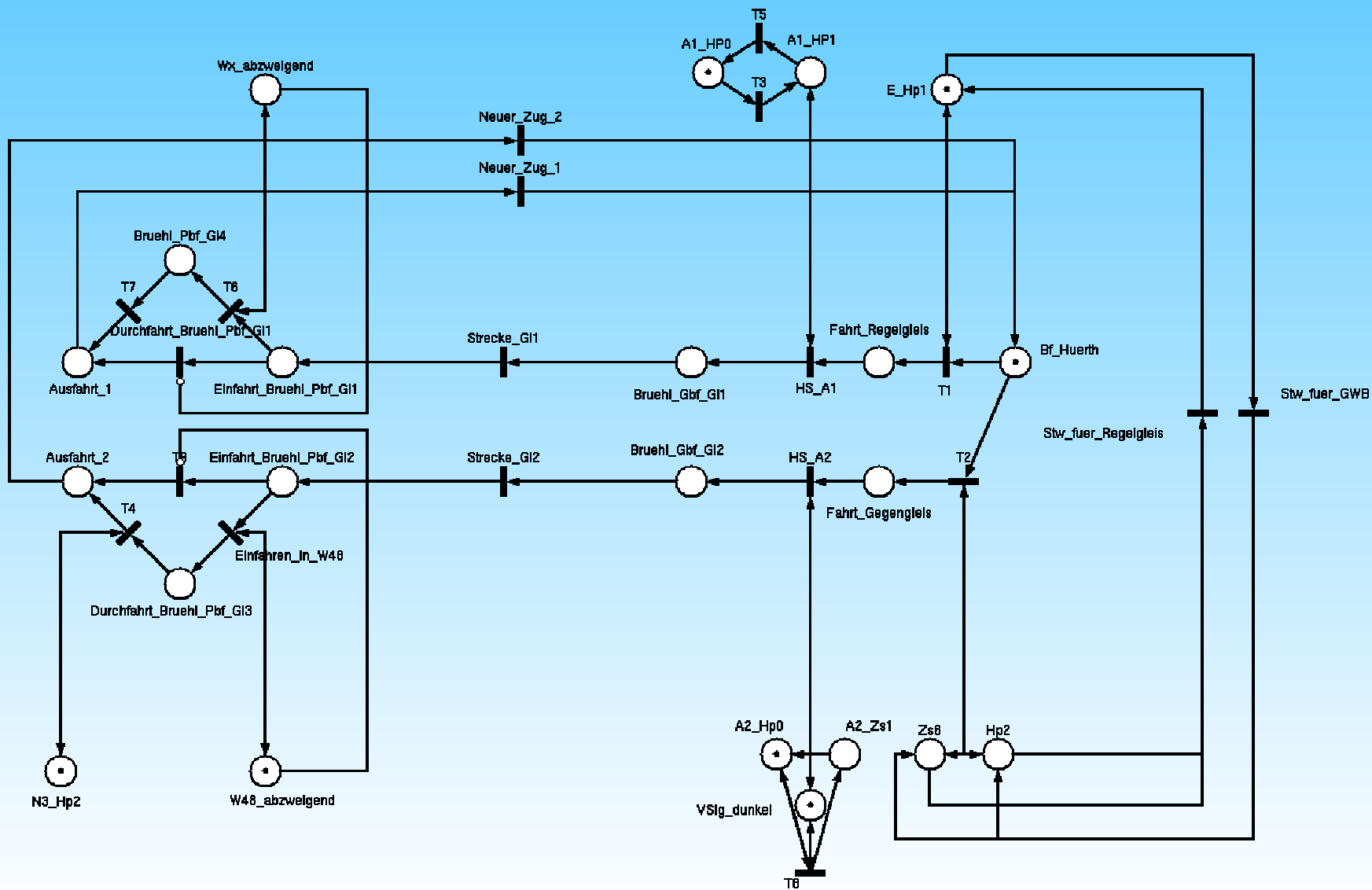
aus: Internetseite: <http://www.maschexx.de/> v. 13.05.03.

(geplante) Zugfahrt

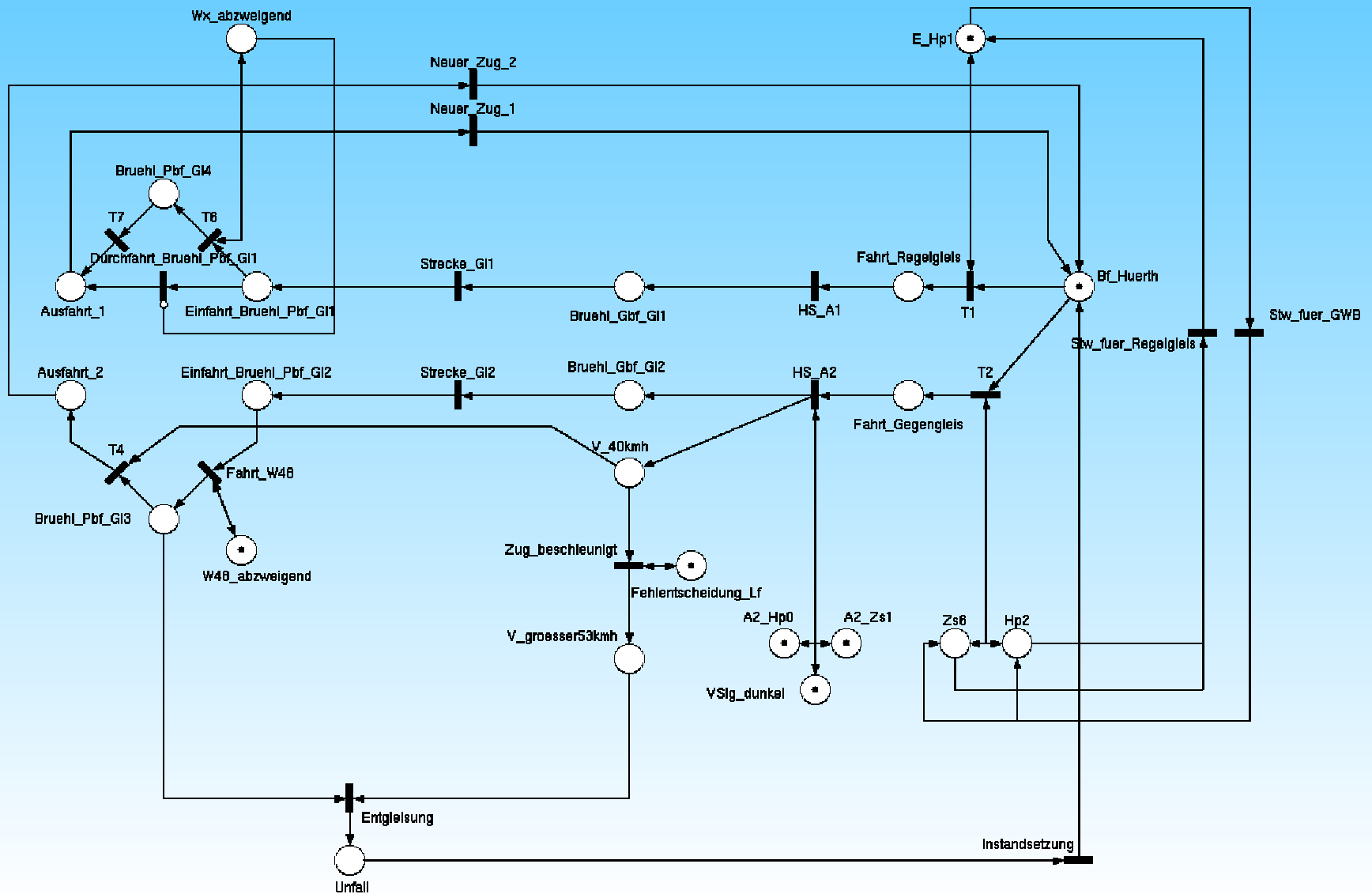
Technische Universität Braunschweig

Institut für Verkehrssicherheit  
und Automatisierungstechnik

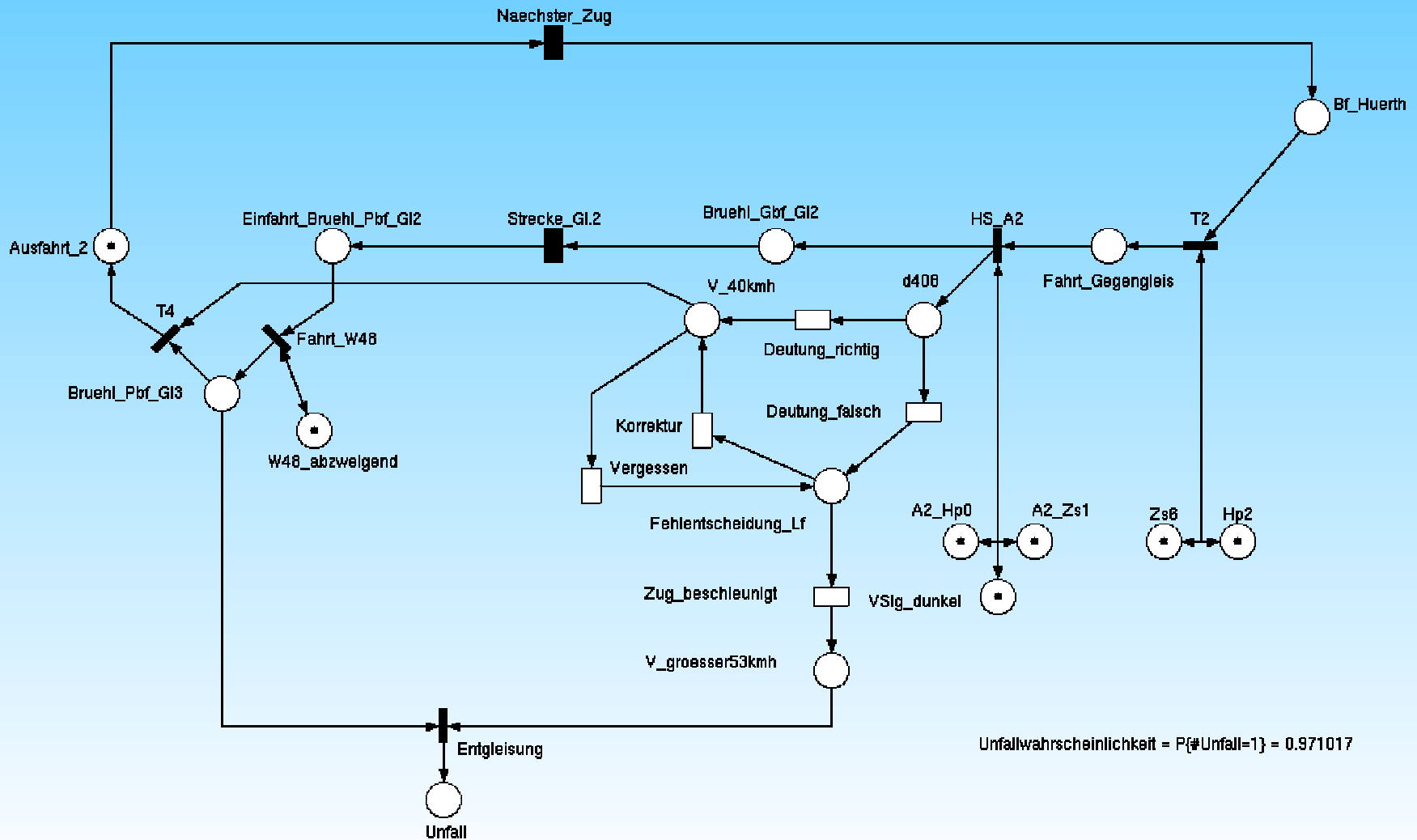
IVA

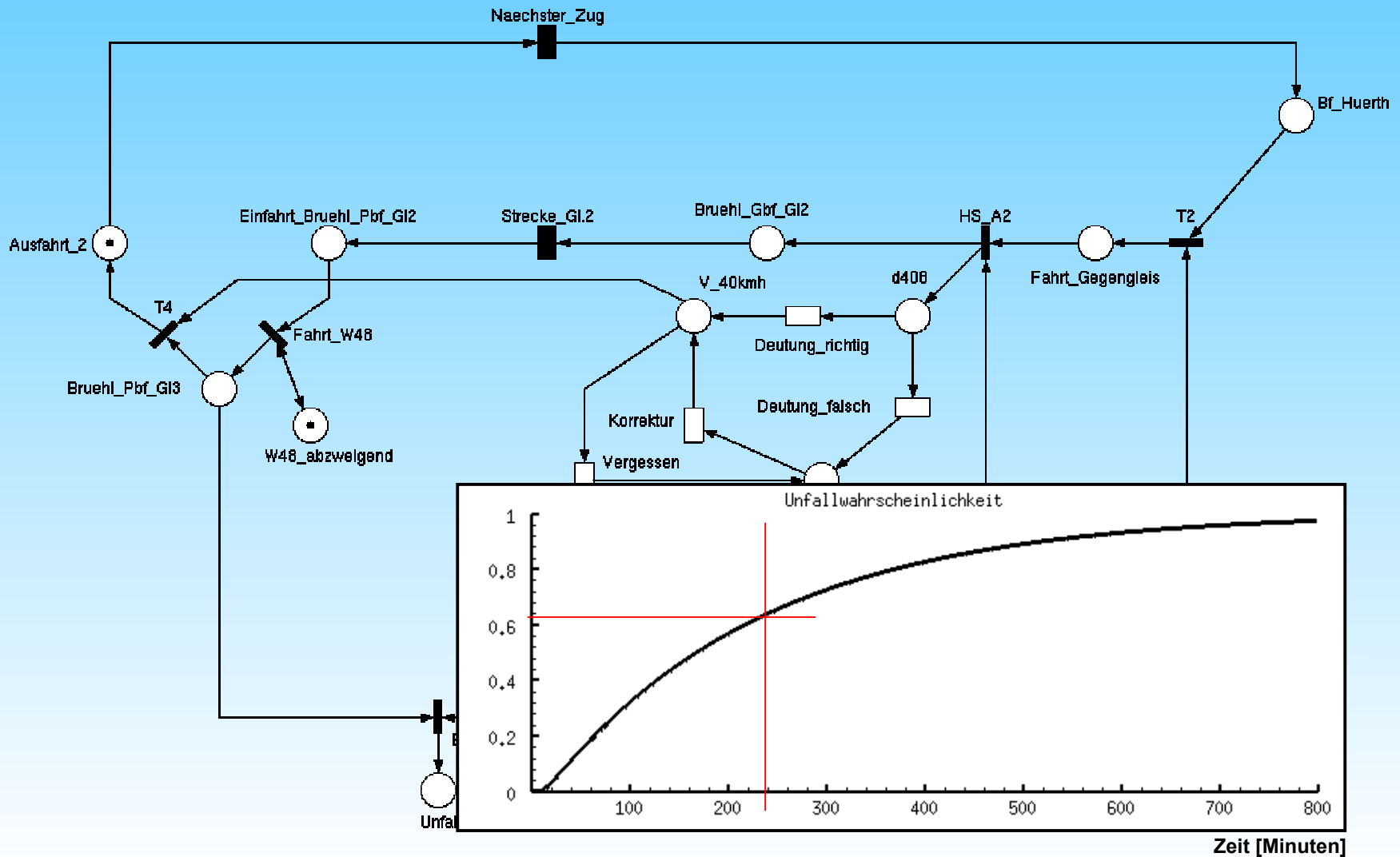


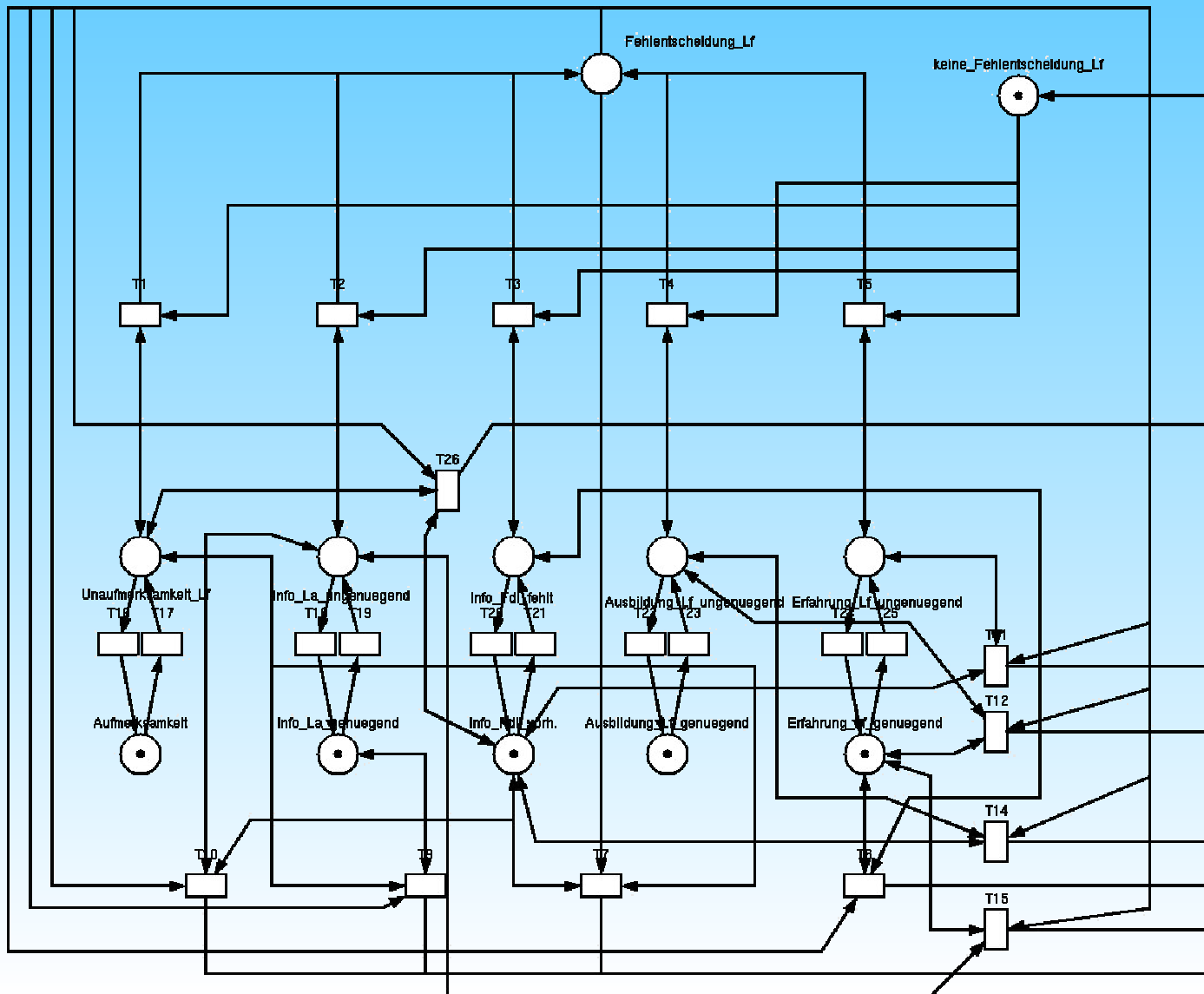
# Prozessmodell: Bahnhof Brühl



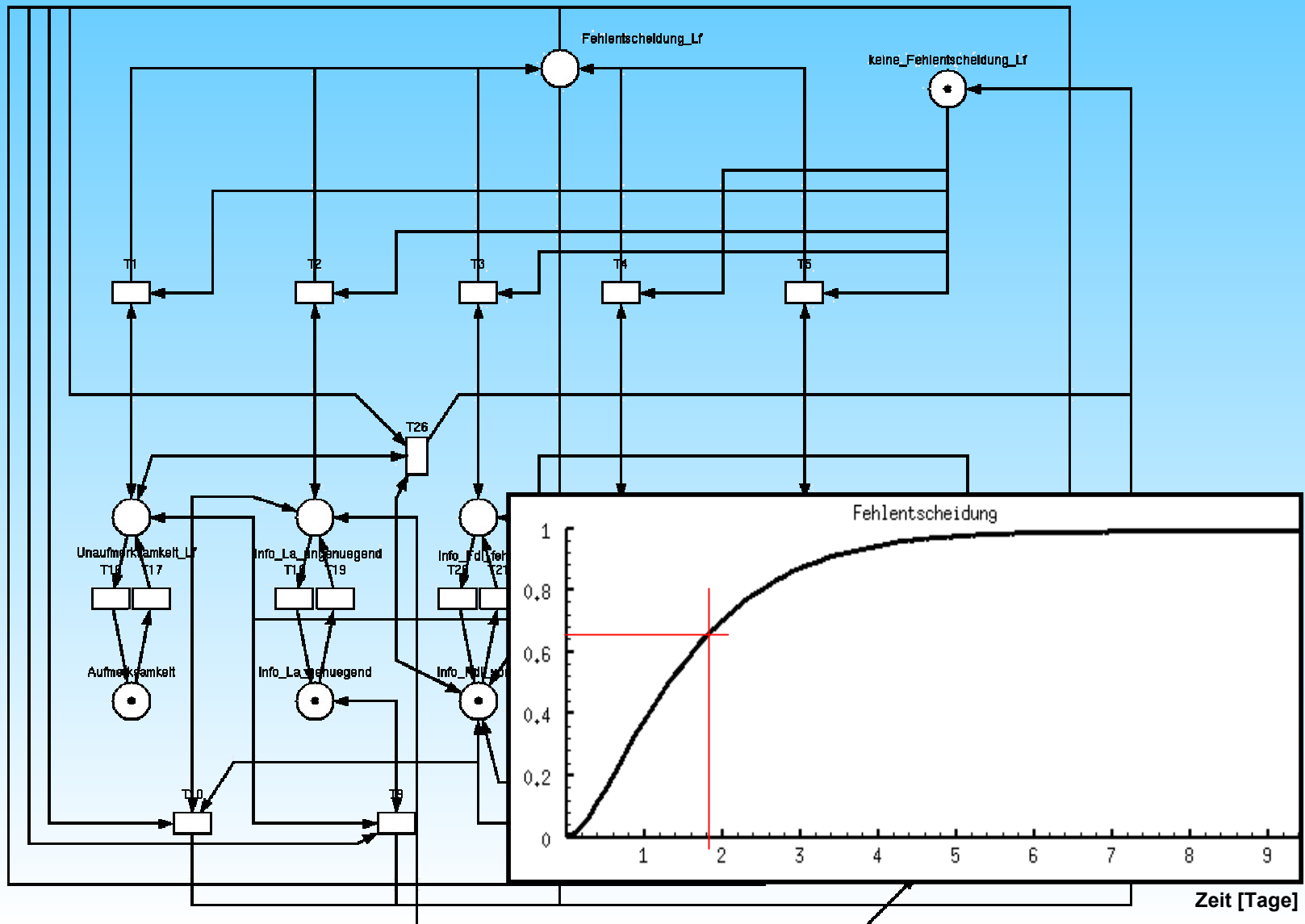
# Funktionales Modell: Bahnunfall Brühl



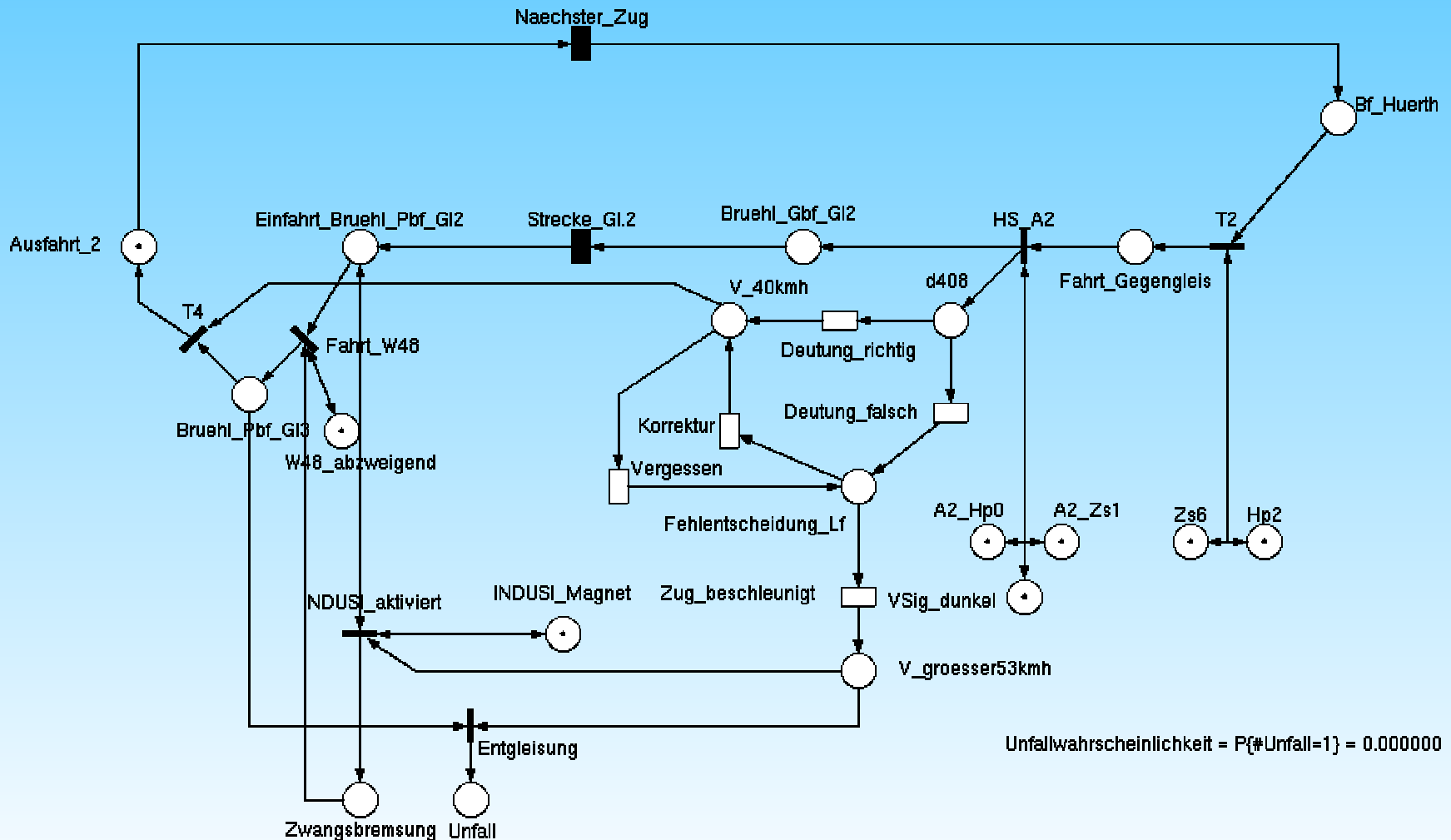


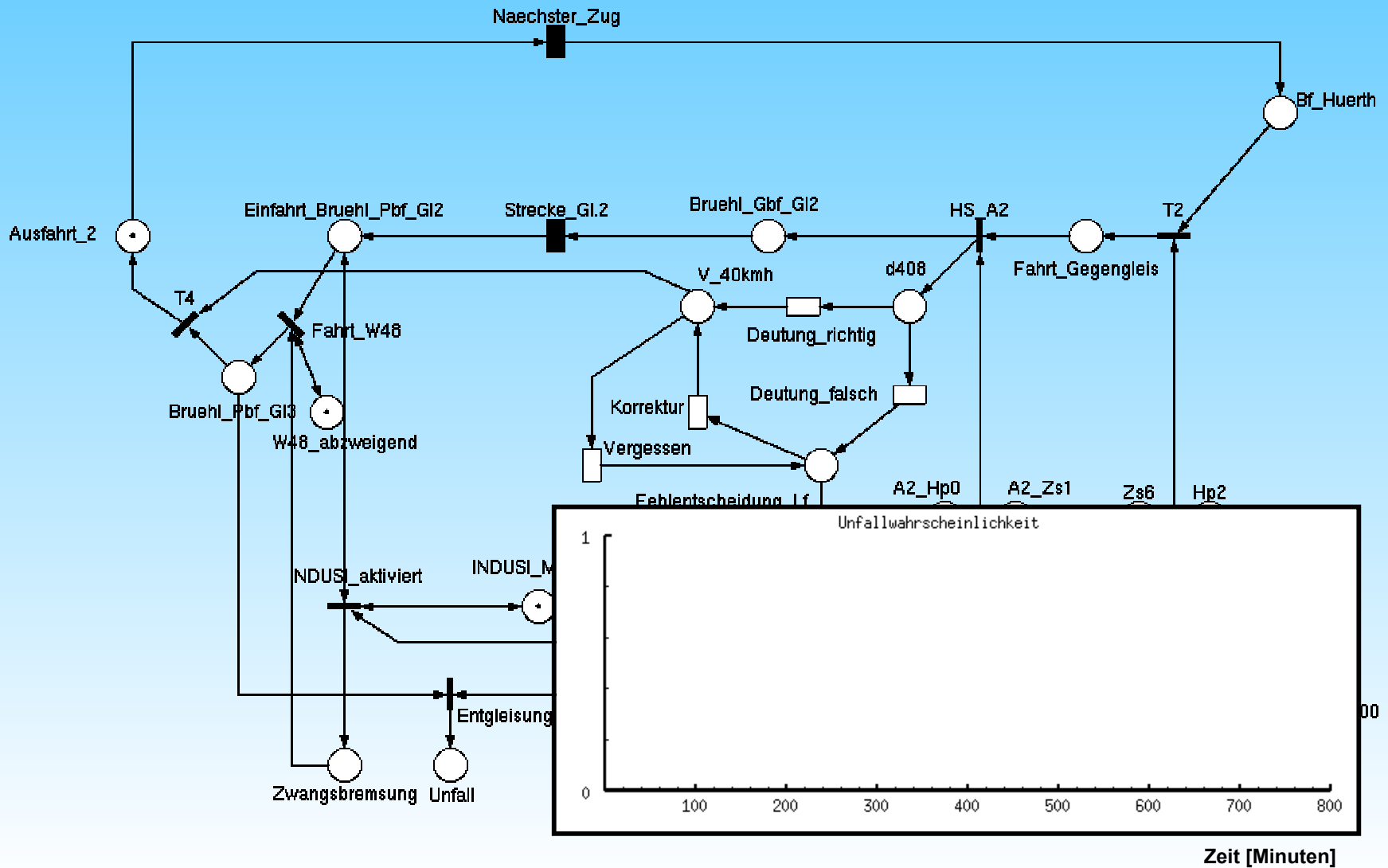


# Modell der Fehlentscheidung des Lokführers – Ermittlung der Wahrscheinlichkeit



# Modell der Fehlentscheidung des Lokführers – Ermittlung der Wahrscheinlichkeit





## Zielgruppe

Planungsaufgaben für unregelmäßigen Betrieb

## Werkzeugunterstützung

TimeNet

## Skalierbarkeit

komplexe Systeme erfordern höheren Abstraktionsgrad

## Grafische Repräsentation

Netze mit einfacher Semantik und Syntax

## Modularität

Methode unterstützt Komposition und Dekomposition,  
Tool nur in geringem Umfang

## Reproduzierbarkeit

Ergebnisse der Auswertungen sind identisch

## Plausibilitätsprüfung

Tokenspiel ermöglicht Plausibilitätsprüfung

## Formalismus

Formales Beschreibungsmittel nach ISO SC7 / WG1 standardisiert

## Verbesserungspotenzial

quantitative Auswertung

## Abdeckung

keine Vollständigkeitsprüfung

## Unterstützung von Sichten

Erreichbarkeitsgraphen

# Vor- und Nachteile der Grundursachen-Analyse mit Petrinetzen

## Vorteile:

- zeitliche Ereignisse werden berücksichtigt
- simulationsfähig (Was wäre wenn...?)
- quantitative Abschätzung der Unfallwahrscheinlichkeit
- Gewichtung der Grundursachen zueinander möglich
- Simulation potentieller Unfälle möglich (z.B. vor Bauarbeiten)

## Nachteile:

- Grundursachen auf ersten Blick nicht offensichtlich
- bei steigender Komplexität schnell unübersichtlich
- Toolunterstützung nicht ausgereift
- keine detaillierte Erläuterungen darstellbar (vgl. Why-Because Analyse)

# Weitere Überlegungen:

- Erweiterung der Methode um Dualität und Transitions-Token (vgl. Prof. Lautenbach, EKA 2003)
- Integration von Fuzzy-Petrinetzen
- Integration von (De-)komposition
- Entwicklung eines geeigneten Werkzeugs

- Untersuchungsbericht des EBA v. 20.04.00
- DB AG Konzernrichtlinie d408  
„Züge fahren und Rangieren“
- Informationen aus dem Internet