Informeller Vergleich zweier Why-Because-Analysen

(am Beispiel des S-Bahn-Unfalls von Neufahrn)

Dipl.-Ing. Oliver Lemke, TU Braunschweig, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung

Dipl.-Ing. Enrico Anders, TU Dresden, Fakultät für Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

Version 1.0.0, 20.12.2005

Inhaltsverzeichnis

1 Document control 1

2 Einleitung 1

3 Beschreibung des Unfalls 1

3.1 Beschreibung der Örtlichkeit 1

3.2 Unfallablauf 2

4 Vergleich der Analysen 3

4.1 Gegenüberstellung der List-of-facts 3

4.2 Untersuchung auf inhaltliche Übereinstimmung 4

4.3 Ermittlung von Ersatzgruppen 5

5 Interpretation der Vergleichsergebnisse 6

5.1 Unterschiedliche Ermittlungstiefe 6

5.2 Nicht erkannte Sachverhalte 7

6 Zusammenfassung 8

1 Document control

ID: IfEV/TUD-WBA-Le/An-003

Autor und ©: Dipl.-Ing. Enrico Anders, Dipl.-Ing. Oliver Lemke

Version: 1.0.0

Datum: 20.12.2005

Lizenz: (noch nicht zugewiesen)

Änderungen: -

2 Einleitung

Die Why-Because-Analyse (WBA) nimmt für sich in Anspruch, eine objektive Unfallanalyse-Methode zu sein. Dies bedeutet, dass mit der gleichen Menge an Ausgangsinformationen unterschiedliche Bearbeiter zu ähnlichen Analyseergebnissen gelangen sollen. Um diese These zu überprüfen und um eine Methode zum Vergleich mehrerer WB-Analysen ableiten zu können, wurde ein Eisenbahnunfall (Auffahrunfall zweier S-Bahnen im Bahnhof Neufahrn, 16.08.2003) auf Basis der gleichen Ausgangsdaten unabhängig von zwei Arbeitsgruppen untersucht.

Beteiligt waren das Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung der TU Braunschweig und die Professur für Verkehrssicherungstechnik der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden. Die Analyse der TU Dresden wurde beim 4. Bieleschweig Workshop "Root Cause Analysis and Risk Analysis" im September 2004 vorgestellt, die Ergebnisse der TU Braunschweig beim 5.5. Bieleschweig-Workshop im Juni 2005. Dieses Dokument beschreibt die Vorgehensweise, mit der die beiden Analyseergebnisse verglichen wurden.

3 Beschreibung des Unfalls

Die Beschreibung des analysierten Unfalles an sich erfolgt hier nur in knapper Form, um die Hintergründe besser verständlich zu machen. Der Schwerpunkt dieses Papiers liegt auf der Vergleichssystematik, die in den Kapiteln 4 und 5 beschrieben wird.

3.1 Beschreibung der Örtlichkeit

Der Bahnhof Neufahrn liegt im S-Bahn Netz des Großraums München an der Strecke München – Freising und wird durch die S-Bahnlinie 1 bedient. Im Bahnhof Neufahrn zweigt über die so genannte

„Neufahrner Spange“ die Strecke zum Flughafen München ab. Der Bahnhof ist dreigleisig und wird durch ein ESTW gesichert, welches durch die Betriebszentrale München ferngesteuert wird.

Im regulären Betriebsgeschehen kommen zwei Triebwagen der Baureihe 423 als Zugverband gekuppelt im Bahnhof Neufahrn an. Dort trennt sich der Zugverband und der vordere Triebwagen verlässt den Bahnhof in Richtung Freising. Nach Auflösen der ersten Ausfahrstraße, dem Einstellen einer neuen Ausfahrt und dem Aufrüsten des zweiten Zugteils fährt dieser in Richtung München Flughafen aus.

3.2 Unfallablauf

Am Sonnabend, den 16.08.2003, kam es im Bahnhof Neufahrn zum Zusammenstoß zweier S-Bahnen. Die erste Besonderheit an diesem Tag bestand darin, dass der aus den beiden Triebwagen 423 227-8 (1. Zugteil) und 423 225-2 (2. Zugteil) bestehende Zug S9010 in München Hbf und nicht in München Ost eingesetzt wurde. Dafür wurde im Zusammenhang mit den „Besonderheiten für die Zugmeldestelle Bf München Hbf“ neben einer Betra (Betriebs- und Bauanweisung) auch eine Fahrplanordnung (Fplo 7245) ausgegeben. In dieser Fahrplanordnung war für den Zug S9010 statt „Freising/Flughafen“ als Zuglenkziel nur „Flughafen“ vermerkt. Die dadurch falsch eingegebene Zuglenkziffer war ursächlich für das Einlaufen der falschen Fahrstraße im Bahnhof Neufahrn. Statt der Fahrstraße in Richtung Freising, lief die Fahrstraße in Richtung Flughafen für den ersten Zugteil (S9010) ein. Dadurch begünstigt, dass keine Richtungsanzeiger am Signal vorhanden waren, setzte der Triebfahrzeugführer nach dem Fahrgastwechsel und dem Trennen der beiden Triebwagen seinen Zug ohne den nach Modul 408.0331 geforderten Auftrag durch den örtlich zuständigen Fahrdienstleiter in Bewegung.

Auf der Weiche 31 erkannte er die Fehlleitung in Richtung Flughafen und brachte den Zug durch eine Schnellbremsung zum Stehen. Der Zug stand nach der Schnellbremsung noch vollständig im ersten Freimeldeabschnitt hinter dem Ausfahrsignal 16N1. Da der automatische Haltfall des Ausfahrsignals erst mit Einfahrt in den zweiten Gleisfreimeldeabschnitt (Signalhaltfallabschnitt) hinter dem zugehörigen Signal erfolgt, verblieb das Ausfahrsignal 16N1 noch in Fahrtstellung.

Der Triebfahrzeugführer des zweiten Zugteiles (S5210) konnte von seinem Halteplatz aus auf Grund der schlechten Sicht - es herrschte Nebel mit Sichtweiten um 50 m - das Ausfahrsignal und dessen Signalbild nicht beobachten. Damit entging ihm auch, dass das Signal immer noch den Fahrtbegriff für den ersten Zugteil zeigte und zwischendurch nicht auf Halt gefallen war. Nach Erreichen der Abfahrtzeit setzte der Triebfahrzeugführer - abweichend von der Regel ohne mündlichen Auftrag durch den örtlich zuständigen Fahrdienstleiter - seinen Triebwagen in Bewegung. Er ging davon aus, dass das Ausfahrsignal für seinen Zug den Fahrtbegriff zeigte.

Am Km 31,090 kam es zum Zusammenstoß mit dem ersten Zugteil (S9010), wobei der Triebfahrzeugführer des zweiten Zugteils (S5210) sowie 3 Fahrgäste schwer und 20 weitere leicht verletzt wurden. Es entstand ein Sachschaden in Höhe von ca. 1,6 Mio. Euro.

4 Vergleich der Analysen

Zu den WB-Analysen der TU Braunschweig und der TU Dresden liegen als Ergebnis jeweils ein WB-Graph und eine List-of-facts vor. Im Anhang A sind diese Arbeitsergebnisse dargestellt.

Bereits auf den ersten Blick zeigt sich, dass insbesondere die WB-Graphen deutlich voneinander abweichen, wobei die Unterschiede intuitiv nicht zu erfassen sind. Interessant ist, dass beide List-of-facts die gleiche Anzahl von 37 Einträgen umfassen. Auf Basis der vorliegenden Darstellungsformen „WB-Graph“ und „List-of-facts“ ist ein unmittelbarer Vergleich beider Analysen jedoch nicht möglich. Alleine die unterschiedliche graphische Darstellung der WB-Graphen verhindert eine präzise Aussage, wo sich die beiden Analysen unterschieden und wo Übereinstimmung besteht.

Es musste daher eine praktikable Vergleichssystematik entwickelt werden. Diese soll die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Intuitive Darstellung von Ähnlichkeiten und Abweichungen zwischen beiden Analysen
- Hervorheben von diskussionswürdigen Differenzen
- Praxisorientierter Zuschnitt der Methodik

Das entwickelte Vorgehen erfüllt diese Anforderungen im Wesentlichen. Der gewählte Ansatz ist noch nicht formal untermauert und bislang nur an einem Vergleich erprobt. Er soll damit insbesondere als Ausgangspunkt für weitere Entwicklungen in diesem Bereich dienen.

Die einzelnen Arbeitsschritte der Vergleichsmethodik werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt.

4.1 Gegenüberstellung der List-of-facts

Als Ausgangspunkt für den Vergleich der beiden Analysen wurden die List-of-facts gewählt. Dieses Vorgehen ist sinnvoll, da so - einfacher als im WB-Graph - die semantischen Inhalte der kausalen Faktoren beider Analysen miteinander verglichen werden können. Dazu wurden in einer Tabellenkalkulation die Einträge der beiden List-of-facts in zwei Spalten gegenübergestellt. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt dieser tabellarischen Gegenüberstellung (die gesamte Tabelle findet sich in Anhang A). Links sind die kausalen Faktoren der Braunschweiger Analyse aufgeführt, rechts die Faktoren der Analyse aus Dresden. Die äußerst linke bzw. rechte Spalte beinhaltet dabei einen Index zur eindeutigen Identifikation des jeweiligen kausalen Faktors.

	Braunschweig
CF1	1. Zug fährt in Strecke in Richtung Flughafen ein
CF2	2. Zug fährt auf 1. Zug auf.
CF3	2. Zug hat hohe Fahrgeschwindigkeit erreicht.
CF4	**1. Zug nähert sich Bhf. Neufahrn**
CF5	**Tf erkennt am Standort des Ausfahrsignals die Fehlleitung nicht**
CF6	**Schlechte Sicht durch Nebel**
CF7	**Planmäßige und zugelassene Ausfahrgeschwindigkeit**
CF8	**Fahrplanbearbeiter trägt falsches Fahrziel und falsche Zuglenkziffer in die "Besonderheiten für die Zugmeldestelle München Hbf." ein.**
CF9	**Zulässig nach KoRil 408.0333 5d)**
CF10	**Verhältnismäßig gute Haftwertbedingungen**
CF11	**Fdl. München-Moosach, München-Feldmoching und Neufahrn erkennen falsche Zuglenkziffer nicht.**
CF12	Fdl. München Hbf. Nimmt 1. Zug mit falscher vorgegebener Zuglenkziffer in die ZL auf
CF13	1. Zug kommt vor dem Haltfallabschnitt des Ausfahrsignals zum Stehen
CF14	**Planmäßige Abfahrtszeit des 1. Zuges bereits überschritten**

Dresden	
Ausfahrt 2. Zug (S5210)	CF1
2. Zug stößt mit 1. Zug (S9010) zusammen	CF2
Gemeinsamer Fahrwegabschnitt 1. Zug und 2. Zug	CF3
Flügelkonzept Linie S1 im Bahnhof Neufahrn	**CF4**
Tf bringt 1. Zug durch Schnellbremsung zum Stehen	CF5
Abweichend von der gängigen Praxis lange Distanz zwischen Hauptsignal und Haltfallabschnitt	CF6
KoRil 819 gibt keine Längenbegrenzung für den Haltfall von Signalen vor	**CF7**
Tf des 1. Zuges erkennt beim Überfahren der Weiche (W31) eine Fehlleitung	CF8
Tf des 1. Zuges bringt nach Erkennen des Ks1 am Ausfahrsignal (16N1) den Zug zur Ausfahrt	CF9
Fehlender Richtungs- und Geschwindigkeitsanzeiger am Ausfahrsignal	**CF10**
ESTW Neufahrn stellt (falsche) Ausfahrstraße ein	CF11
Fdl schaltet Zuglenkung ein	**CF12**
Eingabe der falschen Steuerziffer in die ZN-Anlage	CF13
Fdl bemerkt falsche Zuglenkziffer und falsche Fstr-Einstellung nicht	**CF14**

Abbildung 1 - Gegenüberstellung der List-of-facts

4.2 Untersuchung auf inhaltliche Übereinstimmung

Anschließend erfolgte ein Vergleich der einzelnen kausalen Faktoren auf inhaltlicher Basis. Dazu wurde eine der beiden Spalten als Referenz verwendet und jeder Faktor in dieser Spalte auf seinen semantischen Inhalt hin untersucht. Anschließend wurde versucht, in der anderen Spalte einen Faktor ausfindig zu machen, der den gleichen oder einen ähnlichen Sachverhalt beschreibt. Die Faktoren beider Spalten wurden daraufhin genau dann mit einer Linie verbunden, wenn beide Faktoren zumindest eine teilweise inhaltliche Übereinstimmung aufwiesen. Zur Sicherstellung der Vollständigkeit dieser Zuordnung wurde der Vorgang nochmals wiederholt, wobei diesmal die andere Spalte der Tabelle als Referenz diente.

Anschließend wurden die entstandenen Relationen zwischen den Faktoren untersucht. Dabei konnte zwischen drei verschiedene Arten von inhaltlichen Übereinstimmungen differenziert werden:

- Exakte 1:1-Überstimmung des Faktoreninhalts: Einem kausalen Faktor in der Braunschweiger Analyse kann genau ein kausaler Faktor in der Dresdener Analyse zugeordnet werden, der exakt den gleichen Sachverhalt beschreibt.

- Keine Übereinstimmung: Der betrachtete Eintrag beschreibt ein Phänomen, dass in keinem kausalen Faktor der anderen Analyse repräsentiert wird.

- m:n-Relation: Eine Gruppe von kausalen Faktoren beschreibt den gleichen Sachverhalt, wie eine Gruppe von kausalen Faktoren der anderen Analyse. Dabei gibt es jedoch auf Basis der einzelnen kausalen Faktoren keine direkten inhaltlichen Übereinstimmungen.

Abhängig vom oben beschriebenen Grad der Übereinstimmung wurden die kausalen Faktoren in den beiden Listen unterschiedlich eingefärbt. Grün hinterlegt wurden dabei diejenigen Faktoren, für die eine 1:1-Relation ermittelt wurde, gelb die Faktoren, die sich in einer m:n-Relation befinden und mit einem blauen Hintergrund sind die Faktoren versehen, für die sich in der jeweils andern Analyse keine Entsprechung finden ließ. Die so eingefärbte Tabelle mit allen Verbindungen zwischen den Faktoren kann Anlage B entnommen werden.

4.3 Ermittlung von Ersatzgruppen

Wie im vorherigen Kapitel festgestellt wurde, werden bestimmte Phänomene in beiden Analysen durch eine unterschiedliche Zahl an kausalen Faktoren ausgedrückt („gelbe Faktoren“). Dies erschwert den direkten Vergleich, da diese unterschiedliche Faktorenzahl auch zu unterschiedlichen Strukturen in den WB-Graphen führt.

Um die Vergleichbarkeit zu verbessern, wurden im nächsten Bearbeitungsschritt für die betroffenen kausalen Faktoren zusammenfassende sog. „Gruppenfaktoren“ eingeführt. Durch diese Transformation wird ein (zuvor durch unterschiedlich viele kausale Faktoren beschriebener) Sachverhalt in beiden Graphen jeweils durch den gleichen Gruppenfaktor repräsentiert. Untenstehendes Beispiel soll dies zeigen:

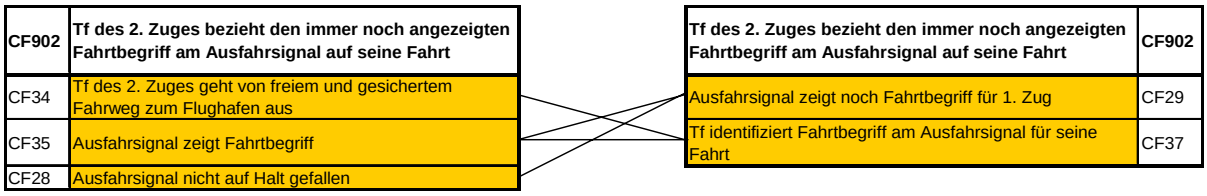


Abbildung 2 - Beispiel für Ersatzgruppen

Betrachtet wird im dargestellten Beispiel der Sachverhalt, dass der Lokführer des 2. Zuges das vom 1. Zug immer noch auf „Fahrt“ stehende Ausfahrsignal auf seine Fahrt bezog. In der Braunschweiger Analyse (linke Spalte) wird dieses Phänomen durch die kausalen Faktoren CF34, CF35 und CF28 beschrieben. In der Dresdener Untersuchung wird ein äquivalenter Sachverhalt jedoch nur durch zwei kausale Faktoren (CF29 und CF37) dargestellt. Für eine verbesserte Vergleichbarkeit wurden in beiden Analysen die oben aufgeführten Faktoren durch einen einheitlichen Gruppenfaktor (CF902) ersetzt, der gewissermaßen eine „semantische Summe“ der Inhalte der einzelnen Faktoren darstellt und die Knotenzahl auf 1 normiert.

Will man diese Verschmelzung von Faktoren durchführen, stellt sich jedoch die Frage, welche Auswirkungen dies auf die Strukturen im zugehörigen WB-Graphen hat. Insbesondere betroffen sind die

kausalen Relationen zwischen den Knoten, d.h. es muss konkrete Regeln geben, wie mit den eingehenden und ausgehenden Kanten der ursprünglichen kausalen Faktoren verfahren werden soll. Zurzeit existieren keine allgemeingültigen Regeln für das Verschmelzen von Faktoren. Die Untersuchung dieser Graphenoperationen ist Teil der aktuellen Forschungsarbeit, z.B. der Arbeitsgruppe RVS (Prof. Ladkin) der Universität Bielefeld [LAD05].

Für den hier vorgestellten Vergleich wurde daher ein informelles Verfahren gewählt. Für jeden neu eingeführten Gruppenfaktor wurde anhand seines Kontextes und seines semantischen Inhalts separat entschieden, welche kausalen Verbindungen zu den umgebenden Knoten hergestellt werden mussten. Die Gruppenfaktoren selbst wurden im Graph durch orange Ellipsen dargestellt.

Nachdem in beiden WB-Graphen die Ersatzgruppen integriert wurden, wurden die übrigen kausalen Faktoren entsprechend den in 4.2 beschriebenen Regeln eingefärbt, um auch direkt im WB-Graph Ähnlichkeiten und Unterschiede erkennen zu können. Es ergaben sich die in Anhang C dargestellten WB-Graphen.

5 Interpretation der Vergleichsergebnisse

Nach dem durchgeführten Vergleich der beiden Graphen wurde das Ergebnis interpretiert. Dabei lag der Schwerpunkt der Betrachtungen auf den „blauen“ Faktoren. Diese stellen gemäß den Ausführungen in Kapitel 4.2 Sachverhalte dar, die jeweils nur in einer der beiden Analysen als kausale Unfallursachen ermittelt wurden und repräsentieren somit die Unterschiede in beiden Analysen. Die Untersuchung dieser Unterschiede verspricht den größten Erkenntnisgewinn, insbesondere vor der Fragestellung, wieso es auf Basis gleicher Ausgangsmaterialien überhaupt zu unterschiedlichen Analyseergebnissen kommen kann.

Bei der Analyse der „blauen Faktoren“ in beiden Graphen fällt zunächst auf, dass sich einige davon in Gruppen zusammenballen, andere aber eher gleichmäßig über den Graph verteilt sind. Diese Verteilung lässt sich durch zwei Phänomene erklären, die in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt werden.

5.1 Unterschiedliche Ermittlungstiefe

Die eher einzeln verteilten „blauen Faktoren“ entstehen durch unterschiedliche Abbruchkriterien bei der Durchführung der WBA. Wurde beispielsweise in der Brauschweiger Analyse als einer der Root-Causes der Faktor CF29 „Unkenntnis der Betriebsvorschriften bei allen Beteiligten“ ermittelt, wurde in der Dresdener Analyse dieser Ast des Graphen eine Ebene tiefer entwickelt: Root-Cause ist hier der kausale Faktor für den zuvor beschriebenen Sachverhalt, der Knoten CF34 „Bestimmung erst 2 Monate in der Anwendung“. Ähnliche Strukturen finden sich auch an anderen Stellen im Graphen.

Diese Art von Unterschieden zwischen beiden Graphen sind weniger gravierend, da die wesentlichen Phänomene (in obigem Beispiel die Unkenntnis der Vorschriftenlage) in beiden Fällen prinzipiell erkannt wurden. Lediglich die Analysetiefe ist unterschiedlich.

5.2 Nicht erkannte Sachverhalte

Inhaltlich schwerwiegender sind diejenigen „blauen Faktoren“ zu bewerten, die sich in Gruppen zusammenballen: Sie repräsentieren Sachverhalte, die nur in der betrachteten Analyse berücksichtigt wurden, in der jeweils anderen Analyse aber nicht als kausal relevant für das Unfallereignis erkannt wurden. So tauchen z. B. die fehlenden Richtungsanzeiger nur in der Dresdener Analyse als Unfallursache auf, wohingegen die vergebliche Schnellbremsung des 2. Zuges nur in der Braunschweiger WBA als für den Unfall ursächlich erkannt wurde.

Beide oben genannten Phänomene dieser Kategorie repräsentieren dabei unterschiedliche Arten von Einflussfaktoren auf den Unfall. Bei der nicht erfolgreichen Schnellbremsung handelt es sich prinzipiell nicht um ein Systemversagen. Bei der Eisenbahn wird im Regelbetrieb nicht auf Sicht gefahren, daher hätte in der vorliegenden Situation der 2. Zug gar nicht rechtzeitig vor dem 1. Zug anhalten können müssen[1]. Aus unserer Sicht ist es dennoch sinnvoll, auch derartige regelkonforme Abläufe mit in den Graph aufzunehmen. So können möglichst viele Informationen zum Unfallhergang und dessen Randbedingungen mit in die kausale Struktur des Graphen integriert werden. Offenbar ist die Entscheidung über die Aufnahme/Nicht-Aufnahme dieser Art von kausalen Faktoren eine Frage des persönlichen Analysestils.

Die fehlenden Richtungsanzeiger hingegen beschreiben einen tatsächlichen Mangel im System. Offenbar wurde jedoch die kausale Relevanz dieses Sachverhalts von den beiden Analyseteams unterschiedlich eingeschätzt. Tatsächlich entspannte sich bei der Vorstellung des hier beschriebenen Vergleichs beim „6.5 Bieleschweig-Workshop“ am 29./30. November 2005 in Dresden eine kontroverse Diskussion um die unfallvermeidende Wirksamkeit eines vorhandenen Richtungsanzeigers. Von Braunschweiger Seite aus wurde argumentiert, dass auch ein vorhandener Richtungsanzeiger den Unfall nicht zwangsläufig verhindert hätte (=Counterfactual Test nicht bestanden). Das Dresdener Analyseteam ging davon in seiner Unfalluntersuchung jedoch aus (=Counterfactual Test bestanden). Die blauen Faktoren scheinen in diesem Fall einen Sachverhalt zu repräsentieren, dessen kausale Auswirkungen nicht eindeutig geklärt sind bzw. sich anhand der vorliegenden Informationen nicht klären lassen.

[1] Hätte er dennoch rechtzeitig bremsen können, wäre der Unfall nicht passiert. Der Counterfactual-Test ist somit erfüllt.

Die „blauen Faktoren“ dieser Kategorie beschreiben offensichtlich besonders diskussionswürdige Aspekte des Unfallgeschehens. Ihnen sollte daher bei der Auswertung von Unfällen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

6 Zusammenfassung

Durch die hier vorgestellte Vergleichssystematik konnte eine grafische Darstellung abgeleitet werden, die Übereinstimmungen und Unterschiede in zwei WB-Graphen zum gleichen Vorfall herausstellen kann. Durch die unterschiedliche Einfärbung kann schnell erkannt werden, in welchen Bereichen Einigkeit zwischen beiden Analysen besteht und in welchen Bereichen Unterschiede dominieren. Diese Unterschiede lassen sich dabei in verschiedene Kategorien einteilen:

1. Unterschiedlich „tiefe“ Analyse (unterschiedliche Abbruchkriterien für Root-Causes)
2. Unterschiedlicher Mächtigkeit der als kausal-relevant bewerteten Sachverhalte, dabei :
    a. Einflüsse des Analysestils
    b. Unterschiedliche Bewertung der kausalen Relevanz

Insbesondere zum Punkt 2b erscheint eine Weiterführung der Forschungsarbeit reizvoll. Interessant ist beispielsweise die Frage, ob sich bei verschiedenen Unfällen Ähnlichkeiten unter den jeweils nicht als kausal relevant eingestuften Phänomenen ermitteln lassen (z.B. überwiegendes Auftreten von menschlichen Fehlhandlungen in diesem Bereich). Dazu ist eine größere Zahl an analysierten Unfällen nötig. Dieses Ziel ist in der Fachdomäne des Eisenbahnwesens zurzeit nur schwierig zu erreichen. Es werden leider nur wenige aktuelle Unfallberichte veröffentlicht, anders als beispielsweise im Bereich der Luftfahrt. Aus unserer Sicht besteht in der Dokumentation und Veröffentlichung von Unfallereignissen bei der Bahn erheblicher Nachholbedarf.

Zur Formalisierung der Vergleichssystematik müssten zudem durch weitere Forschungsaktivitäten Regeln und Prozeduren geschaffen werden, die ein Verschmelzen und einen Vergleich von Faktoren systematisiert und formal-logisch fundiert.

Literatur

[LAD05] Ladkin, Peter B.:„Checking and Comparison of WB-Graphs“, 2005

Abbildungen

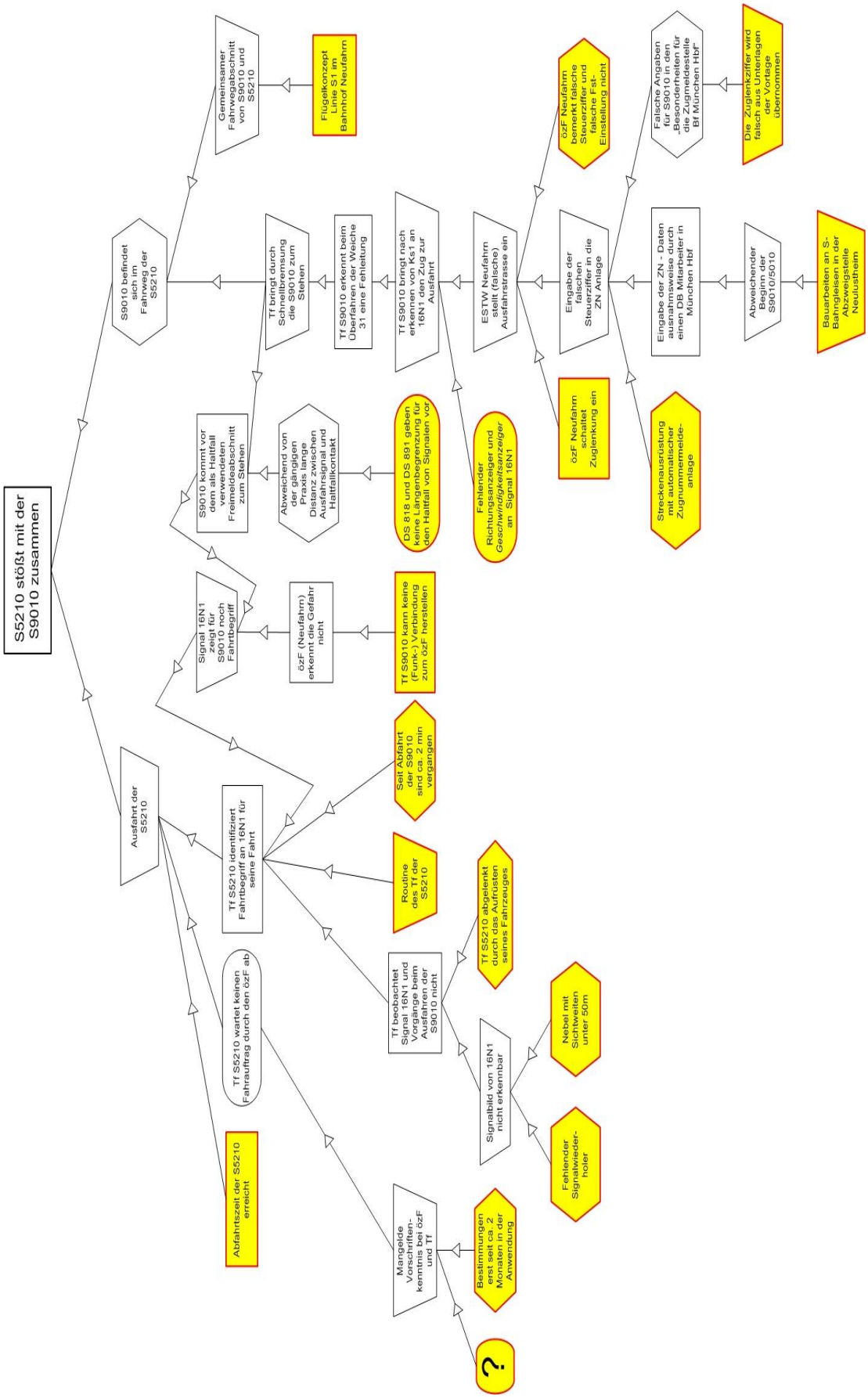
Abbildung 1 - Gegenüberstellung der List-of-facts 4

Abbildung 2 - Beispiel für Ersatzgruppen 5

Anhang A

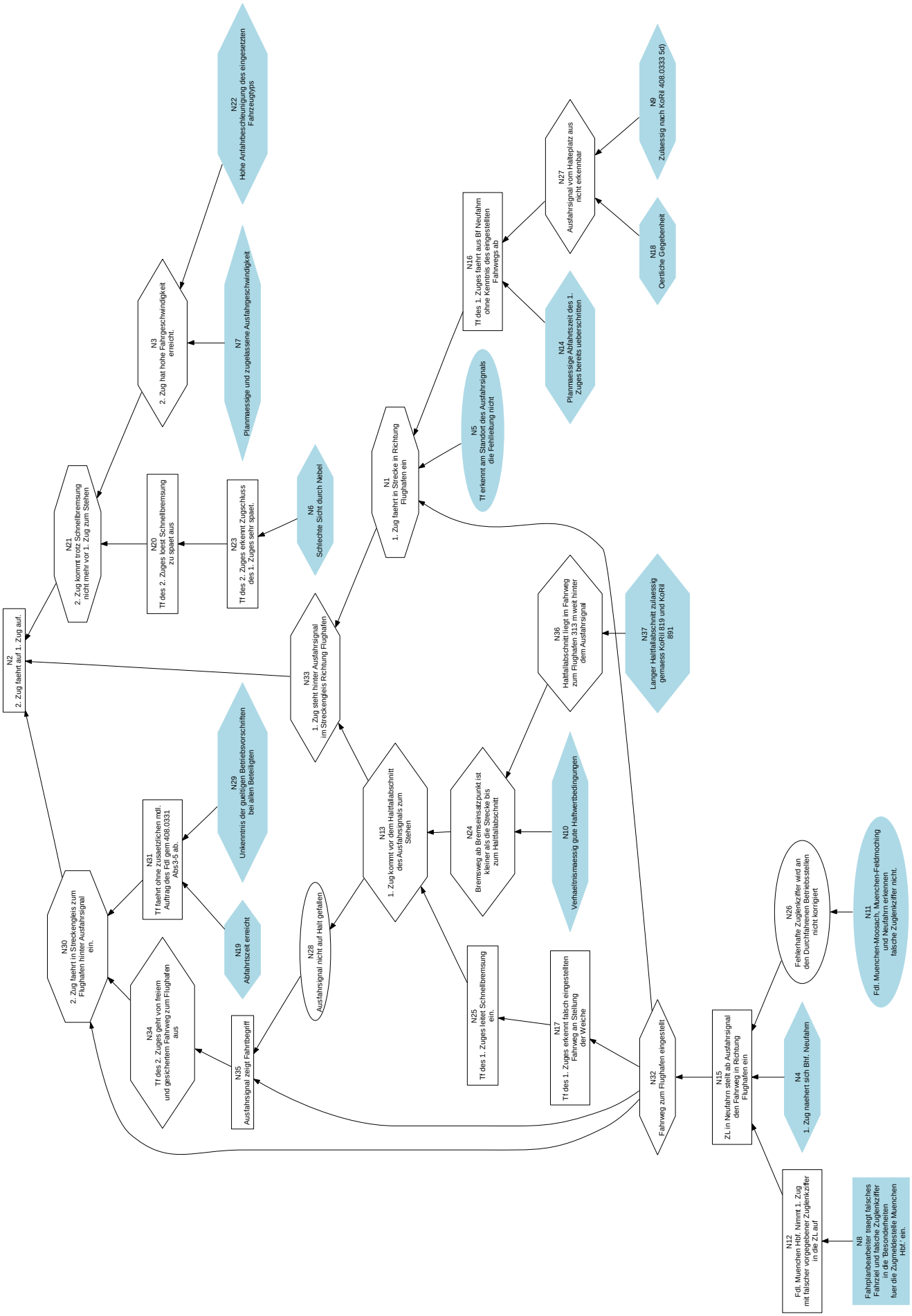
WB-Graphen und List-of-facts der Ausgangsanalysen.

WB-Graph, TU Dresden



Index	Kausale Faktoren (causal factors)	Grundursache	Mensch	Technik	Organisation	Tatsache
CF1	Ausfahrt 2. Zug (S5210)					
CF2	2. Zug stößt mit 1. Zug (S9010) zusammen					
CF3	Gemeinsamer Fahrwegabschnitt 1. Zug und 2. Zug					
CF4	**Flügelkonzept Linie S1 im Bahnhof Neufahrn**	**1**			**1**	
CF5	Tf bringt 1. Zug durch Schnellbremsung zum Stehen					
CF6	Abweichend von der gängigen Praxis lange Distanz zwischen Hauptsignal und Haltfallabschnitt					
CF7	**KoRil 819 gibt keine Längenbegrenzung für den Haltfall von Signalen vor**	**1**			**1**	
CF8	1. Zug erkennt beim Überfahren der Weiche (W31) eine Fehlleitung					
CF9	Tf des 1. Zuges bringt nach Erkennen des Ks1 am Ausfahrsignal (16N1) den Zug zur Ausfahrt					
CF10	**Fehlender Richtungs- und Geschwindigkeitsanzeiger am Ausfahrsignal**	**1**			**1**	
CF11	ESTW Neufahrn stellt (falsche) Ausfahrstraße ein					
CF12	**Fdl schaltet Zuglenkung ein**	**1**	**1**			
CF13	Eingabe der falschen Steuerziffer in die ZN-Anlage					
CF14	**Fdl bemerkt falsche Zuglenkziffer und falsche Fstr-Einstellung nicht**	**1**	**1**			
CF15	**Streckenausrüstung mit automatischer Zugnummernmeldeanlage**	**1**				**1**
CF16	Falsche Angaben für 1. Zug in den "Besonderheiten für die Zugmeldestelle München Hbf"					
CF17	**Zuglenkziffer wird falsch aus den Unterlagen der Vortage entnommen**	**1**	**1**			
CF18	Abweichender Beginn des Doppelzuges (1. Zug/2. Zug)					
CF19	Eingabe der ZN-Daten ausnahmsweise durch einen Mitarbeiter in München Hbf					
CF20	**Bauarbeiten an den S-Bahngleisen in der Abzweigstelle Neulustheim**	**1**				**1**
CF21	1. Zug kommt vor dem als Haltfall verwendeten Freimeldeabschnitt zum Stehen					
CF22	Fdl erkennt Gefahr nicht					
CF23	**Tf 1. Zug kann keine Funkverbindung zum Fdl herstellen**	**1**		**1**		
CF24	**Fehlender Vorsignalwiederholer/Fahrtanzeiger**	**1**				
CF25	Signalbild vom Ausfahrsignal nicht erkennbar					
CF26	**Tf des 2. Zuges abgelenkt durch das Aufrüsten seines Fahrzeuges**	**1**			**1**	
CF27	**Nebel mit Sichtweiten unter 50 m**	**1**				**1**
CF28	1. Zug befindet sich im Fahrweg des 2. Zuges					
CF29	Ausfahrsignal zeigt noch Fahrtbegriff für 1. Zug					
CF30	Tf beobachtet Ausfahrsignal und Vorgänge beim Abfahren des 1. Zuges nicht					
CF31	**Seit Abfahrt des 1. Zuges ca. 2 min vergangen**	**1**				**1**
CF32	**Routine des Tf des 2. Zuges**	**1**	**1**		**1**	
CF33	Mangelnde Vorschriftenkenntnis bei Fdl und Tf					
CF34	**Bestimmung erst seit 2 Monaten in der Anwendung**	**1**				**1**
CF35	**Abfahrtszeit des 2. Zuges erreicht**	**1**				**1**
CF36	Tf wartet Fahrauftrag des Fdl nicht ab					
CF37	Tf identifiziert Fahrtbegriff am Ausfahrsignal für seine Fahrt					
	Anzahl:	**16**	**4**	**1**	**5**	**6**

WB-Graph, TU Braunschweig



Index	Kausale Faktoren (causal factors)	Grundursache	Mensch	Technik	Organisation	Tatsache
CF1	1. Zug fährt in Strecke in Richtung Flughafen ein					
CF2	2. Zug fährt auf 1. Zug auf.					
CF3	2. Zug hat hohe Fahrgeschwindigkeit erreicht.					
CF4	**1. Zug nähert sich Bhf. Neufahrn**	**1**				**1**
CF5	**Tf erkennt am Standort des Ausfahrsignals die Fehlleitung nicht**	**1**	**1**			
CF6	**Schlechte Sicht durch Nebel**	**1**				**1**
CF7	**Planmäßige und zugelassene Ausfahrgeschwindigkeit**	**1**				**1**
CF8	**Fahrplanbearbeiter trägt falsches Fahrziel und falsche Zuglenkziffer in die "Besonderheiten für die Zugmeldestelle München Hbf." ein.**	**1**	**1**			
CF9	**Zulässig nach KoRil 408.0333 5d)**	**1**				
CF10	**Verhältnismäßig gute Haftwertbedingungen**	**1**				**1**
CF11	**Fdl. München-Moosach, München-Feldmoching und Neufahrn erkennen falsche Zuglenkziffer nicht.**	**1**	**1**			
CF12	Fdl. München Hbf. Nimmt 1. Zug mit falscher vorgegebener Zuglenkziffer in die ZL auf					
CF13	1. Zug kommt vor dem Haltfallabschnitt des Ausfahrsignals zum Stehen					
CF14	**Planmäßige Abfahrtszeit des 1. Zuges bereits überschritten**	**1**				**1**
CF15	ZL in Neufahrn stellt ab Ausfahrsignal den Fahrweg in Richtung Flughafen ein					
CF16	Tf des 1. Zuges fährt aus Bf Neufahrn ohne Kenntnis des eingestellten Fahrwegs ab					
CF17	Tf des 1. Zuges erkennt falsch eingestellten Fahrweg an Stellung der Weiche					
CF18	**Örtliche Gegebenheit**	**1**				**1**
CF19	**Abfahrtszeit erreicht**	**1**				**1**
CF20	Tf des 2. Zuges löst Schnellbremsung zu spät aus					
CF21	2. Zug kommt trotz Schnellbremsung nicht mehr vor 1. Zug zum Stehen					
CF22	**Hohe Anfahrbeschleunigung des eingesetzten Fahrzeugtyps**	**1**		**1**		
CF23	Tf des 2. Zuges erkennt Zugschluss von 1. Zug sehr spät.					
CF24	Bremsweg ab Bremseinsatzpunkt ist kleiner als die Strecke bis zum Haltfallabschnitt					
CF25	Tf des 1. Zuges leitet Schnellbremsung ein.					
CF26	Fehlerhafte Zuglenkziffer wird an den Durchfahrenen Betriebsstellen nicht korrigiert					
CF27	Ausfahrsignal vom Halteplatz aus nicht erkennbar					
CF28	Ausfahrsignal nicht auf Halt gefallen					
CF29	**Unkenntnis der gültigen Betriebsvorschriften bei allen Beteiligten**	**1**	**1**			
CF30	2. Zug fährt in Streckengleis zum Flughafen hinter Ausfahrsignal ein.					
CF31	Tf des 2. Zuges fährt ohne zusätzlichen mdl. Auftrag des Fdl gem 408.0331 Abs. 3-5 ab.					
CF32	Fahrweg zum Flughafen eingestellt					
CF33	1. Zug steht hinter Ausfahrsignal im Streckengleis Richtung Flughafen					
CF34	Tf des 2. Zuges geht von freiem und gesichertem Fahrweg zum Flughafen aus					
CF35	Ausfahrsignal zeigt Fahrtbegriff					
CF36	Haltfallabschnitt liegt im Fahrweg zum Flughafen 313 m weit hinter dem Ausfahrsignal					
CF37	**Langer Haltfallabschnitt zulässig gemäß KoRil 819 und KoRil 891**	**1**			**1**	
	Anzahl:	**14**	**4**	**1**	**1**	**7**

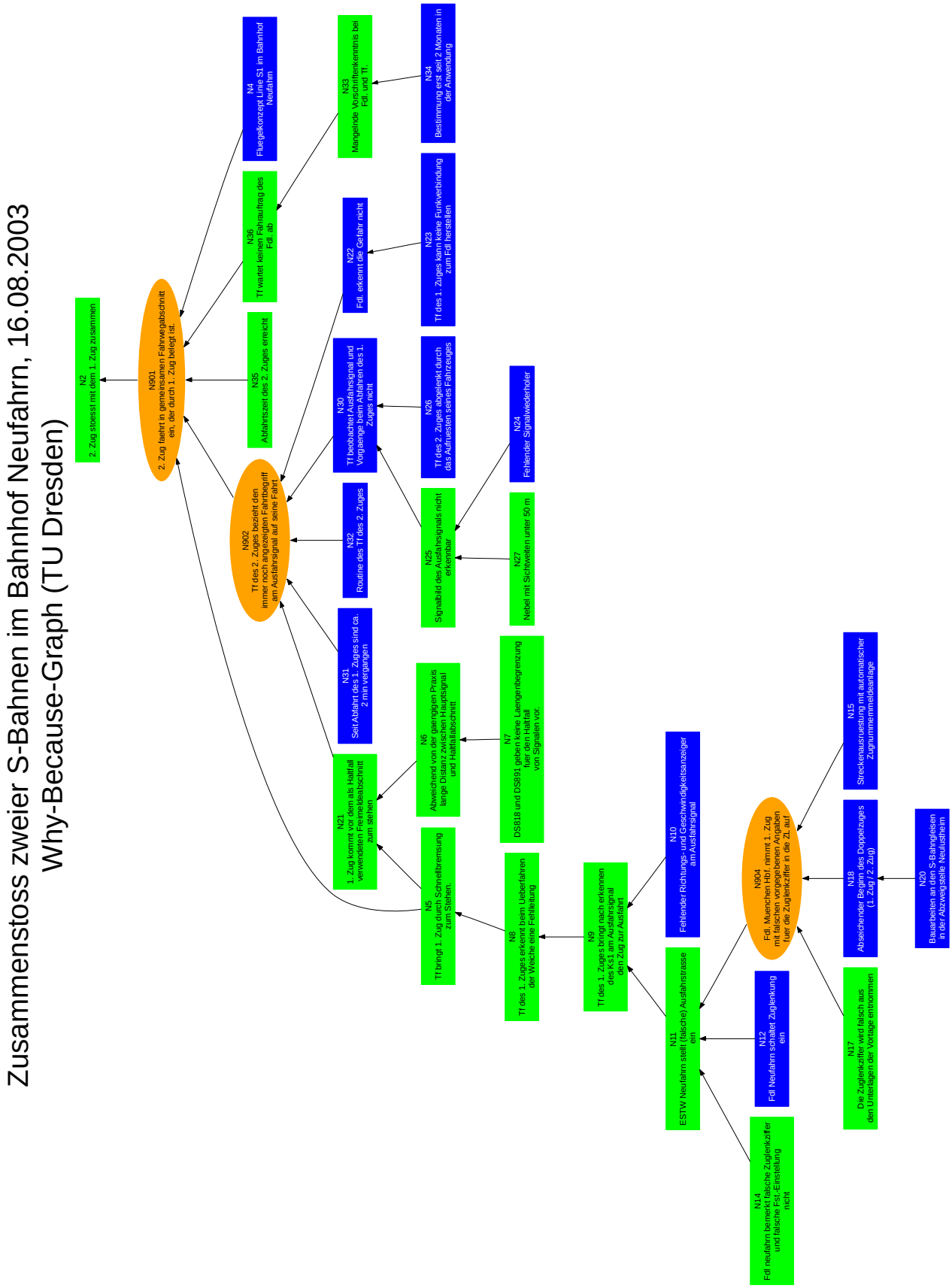
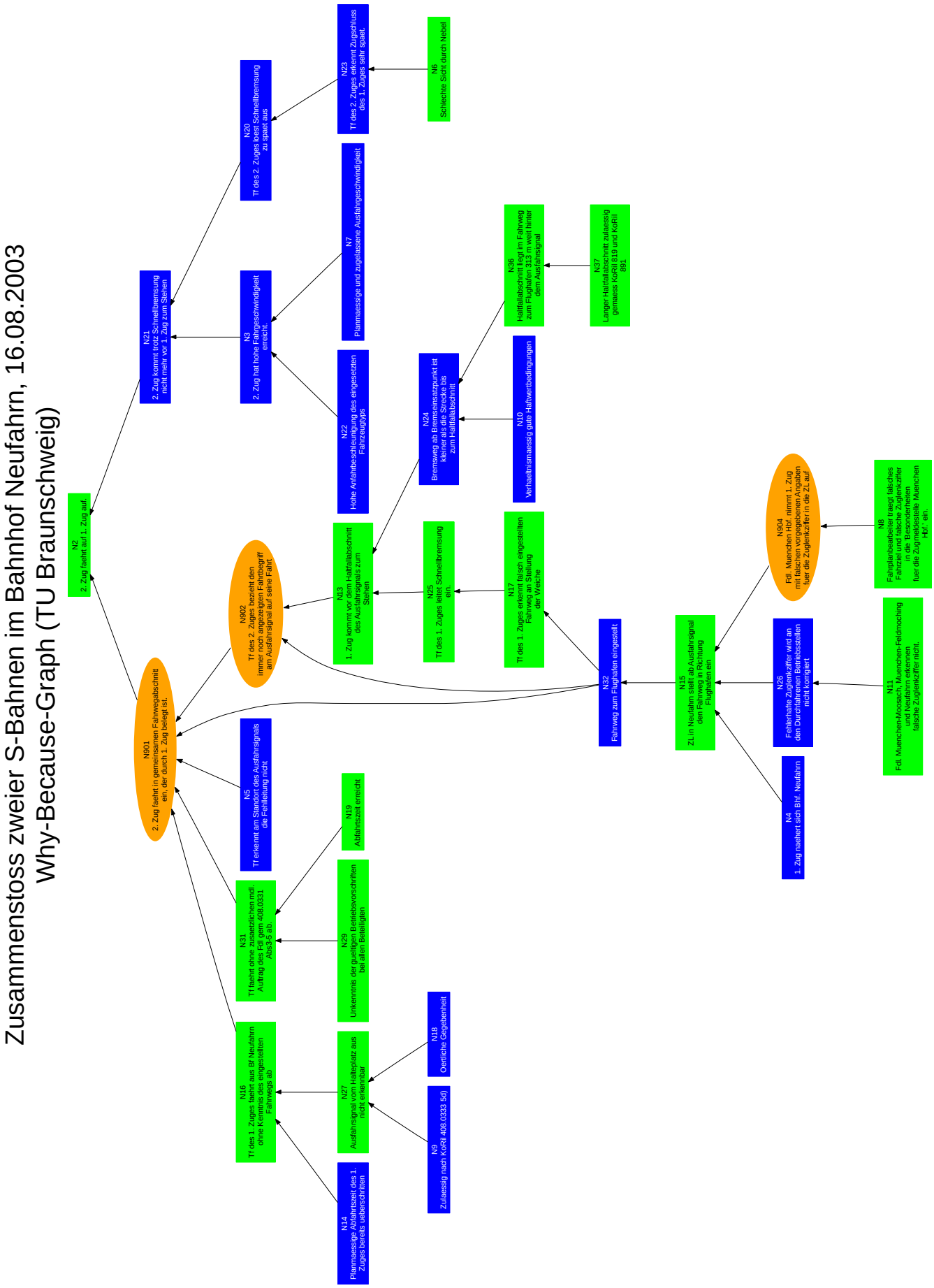
Anhang B

Gegenüberstellung der kausalen Faktoren

	Braunschweig		Dresden	
CF1	1. Zug fährt in Strecke in Richtung Flughafen ein		Ausfahrt 2. Zug (S5210)	CF1
CF2	2. Zug fährt auf 1. Zug auf.		2. Zug stößt mit 1. Zug (S9010) zusammen	CF2
CF3	2. Zug hat hohe Fahrgeschwindigkeit erreicht.		Gemeinsamer Fahrwegabschnitt 1. Zug und 2. Zug	CF3
CF4	**1. Zug nähert sich Bhf. Neufahrn**		**Flügelkonzept Linie S1 im Bahnhof Neufahrn**	**CF4**
CF5	**Tf erkennt am Standort des Ausfahrsignals die Fehlleitung nicht**		Tf bringt 1. Zug durch Schnellbremsung zum Stehen	CF5
CF6	**Schlechte Sicht durch Nebel**		Abweichend von der gängigen Praxis lange Distanz zwischen Hauptsignal und Haltfallabschnitt	CF6
CF7	**Planmäßige und zugelassene Ausfahrgeschwindigkeit**		**KoRil 819 gibt keine Längenbegrenzung für den Haltfall von Signalen vor**	**CF7**
CF8	**Fahrplanbearbeiter trägt falsches Fahrziel und falsche Zuglenkziffer in die "Besonderheiten für die Zugmeldestelle München Hbf." ein.**		Tf des 1. Zuges erkennt beim Überfahren der Weiche (W31) eine Fehlleitung	CF8
CF9	**Zulässig nach KoRil 408.0333 5d)**		Tf des 1. Zuges bringt nach Erkennen des Ks1 am Ausfahrsignal (16N1) den Zug zur Ausfahrt	CF9
CF10	**Verhältnismäßig gute Haftwertbedingungen**		**Fehlender Richtungs- und Geschwindigkeitsanzeiger am Ausfahrsignal**	**CF10**
CF11	**Fdl. München-Moosach, München-Feldmoching und Neufahrn erkennen falsche Zuglenkziffer nicht.**		ESTW Neufahrn stellt (falsche) Ausfahrstraße ein	CF11
CF12	Fdl. München Hbf. Nimmt 1. Zug mit falscher vorgegebener Zuglenkziffer in die ZL auf		**Fdl schaltet Zuglenkung ein**	**CF12**
CF13	1. Zug kommt vor dem Haltfallabschnitt des Ausfahrsignals zum Stehen		Eingabe der falschen Steuerziffer in die ZN-Anlage	CF13
CF14	**Planmäßige Abfahrtszeit des 1. Zuges bereits überschritten**		**Fdl bemerkt falsche Zuglenkziffer und falsche Fstr-Einstellung nicht**	**CF14**
CF15	ZL in Neufahrn stellt ab Ausfahrsignal den Fahrweg in Richtung Flughafen ein		**Streckenausrüstung mit automatischer Zugnummernmeldeanlage**	**CF15**
CF16	Tf des 1. Zuges fährt aus Bf Neufahrn ohne Kenntnis des eingestellten Fahrwegs ab		Falsche Angaben für 1. Zug in den "Besonderheiten für die Zugmeldestelle München Hbf"	CF16
CF17	Tf des 1. Zuges erkennt falsch eingestellten Fahrweg an Stellung der Weiche		**Zuglenkziffer wird falsch aus den Unterlagen der Vortage entnommen**	**CF17**
CF18	**Örtliche Gegebenheit**		Abweichender Beginn des Doppelzuges (1. Zug/2. Zug)	CF18
CF19	**Abfahrtszeit erreicht**		Eingabe der ZN-Daten ausnahmsweise durch einen Mitarbeiter in München Hbf	CF19
CF20	Tf des 2. Zuges löst Schnellbremsung zu spät aus		**Bauarbeiten an den S-Bahngleisen in der Abzweigstelle Neulustheim**	**CF20**
CF21	2. Zug kommt trotz Schnellbremsung nicht mehr vor 1. Zug zum Stehen		1. Zug kommt vor dem als Haltfall verwendeten Freimeldeabschnitt zum Stehen	CF21
CF22	**Hohe Anfahrbeschleunigung des eingesetzten Fahrzeugtyps**		Fdl erkennt Gefahr nicht	CF22
CF23	Tf des 2. Zuges erkennt Zugschluss von 1. Zug sehr spät.		**Tf 1. Zug kann keine Funkverbindung zum Fdl herstellen**	**CF23**
CF24	Bremsweg ab Bremseinsatzpunkt ist kleiner als die Strecke bis zum Haltfallabschnitt		**Fehlender Vorsignalwiederholer/Fahrtanzeiger**	**CF24**
CF25	Tf des 1. Zuges leitet Schnellbremsung ein.		Signalbild vom Ausfahrsignal nicht erkennbar	CF25
CF26	Fehlerhafte Zuglenkziffer wird an den Durchfahrenen Betriebsstellen nicht korrigiert		**Tf des 2. Zuges abgelenkt durch das Aufrüsten seines Fahrzeuges**	**CF26**
CF27	Ausfahrsignal vom Halteplatz aus nicht erkennbar		**Nebel mit Sichtweiten unter 50 m**	**CF27**
CF28	Ausfahrsignal nicht auf Halt gefallen		1. Zug befindet sich im Fahrweg des 2. Zuges	CF28
CF29	**Unkenntnis der gültigen Betriebsvorschriften bei allen Beteiligten**		Ausfahrsignal zeigt noch Fahrtbegriff für 1. Zug	CF29
CF30	2. Zug fährt in Streckengleis zum Flughafen hinter Ausfahrsignal ein.		Tf beobachtet Ausfahrsignal und Vorgänge beim Abfahren des 1. Zuges nicht	CF30
CF31	Tf fährt ohne zusätzlichen mdl. Auftrag des Fdl gem 408.0331 Abs. 3-5 ab.		**Seit Abfahrt des 1. Zuges ca. 2 min vergangen**	**CF31**
CF32	Fahrweg zum Flughafen eingestellt		**Routine des Tf des 2. Zuges**	**CF32**
CF33	1. Zug steht hinter Ausfahrsignal im Streckengleis Richtung Flughafen		Mangelnde Vorschriftenkenntnis bei Fdl und Tf	CF33
CF34	Tf des 2. Zuges geht von freiem und gesichertem Fahrweg zum Flughafen aus		**Bestimmung erst seit 2 Monaten in der Anwendung**	**CF34**
CF35	Ausfahrsignal zeigt Fahrtbegriff		**Abfahrtszeit des 2. Zuges erreicht**	**CF35**
CF36	Haltfallabschnitt liegt im Fahrweg zum Flughafen 313 m weit hinter dem Ausfahrsignal		Tf wartet Fahrauftrag des Fdl nicht ab	CF36
CF37	**Langer Haltfallabschnitt zulässig gemäß KoRil 819 und KoRil 891**		Tf identifiziert Fahrtbegriff am Ausfahrsignal für seine Fahrt	CF37

Anhang C

Aufbereiteter Graph, TU Dresden



Aufbereiteter Graph, TU Braunschweig