

Aus Unfällen umfassend lernen: CAST

Zum tieferen Systemverständnis zielt die Analysemethode CAST auf eine ganzheitliche Betrachtung von Unfällen ab.

ALEXANDER FINK | JONAS PRADE |
BIRGIT MILIUS

Fehler passieren, und Unfälle sind trotz aller Maßnahmen nicht immer vermeidbar. Umso wichtiger ist es, zu analysieren, wie es zu dem Ereignis kommen konnte, um dadurch ähnliche Vorfälle verhindern zu können. Dazu sollen der Sachverhalt und alle beitragenden Faktoren möglichst offen und vorurteilsfrei betrachtet werden, um in der Analyse der tatsächlichen Unfallursache so nahe wie möglich zu kommen. Die hier anhand eines Beispielunfalls vorgestellte Methode CAST (Casual Analysis based on Systems Theory) stellt dafür eine geeignete Vorgehensweise dar, die als Basis für weitere Arbeiten dienen kann.

Allgemeines zur Methode CAST

Grundidee

Jedem technischen System ist ein Restrisiko inhärent. Dies bedeutet, dass Unfälle nicht völlig ausgeschlossen werden können. Es ist daher besonders wichtig, aus Unfällen zu lernen. Das Konzept von Unfallanalysen ist nicht neu. Die entsprechenden Methoden beruhen im Allgemeinen auf einem sogenannten Chain-of-Events-Modell, bei dem einzelne, voneinander abhängige Faktoren identifiziert werden, die linear miteinander verknüpft sind (Grundlagen z. B. in [1]). Grundsätzlich kann jeder der Faktoren als Ursache für das Ereignis angesehen werden. Ähnlich gelagert sind Analysen bzw. Unfallbeschreibungen nach dem „Schweizer-Käse-Modell“ [2]. Dieses stellt dar, dass es zu einem Ereignis kommt, wenn die Barrieren, die es verhindern sollen, durchbrochen werden. Auch dieses Modell impliziert, dass es einen klaren Zusammenhang zwischen Gefährdung verhindernden Barrieren und Unfallereignis gibt. Im Ergebnis dieser Art von Unfallanalysen kommt es häufig dazu, dass der Mensch als wesentliche Ursache ermittelt wird, bzw. dass zwar das „Wer“ und „Was“ eines Unfalls benannt wird, die Frage nach dem „Warum“ aber unbeantwortet bleibt. Genauso haben diese Verfahren zur Folge, dass eine Beherrschung des Risikos z.T. durch Überdimensionierung und Redundanzen einzelner Barrieren versucht wird [3].

Heutige Systeme sind häufig komplexe, eng gekoppelte Konstrukte, in denen jedes Teilelement exakt entsprechend seiner Spezi-

fikation arbeitet, es jedoch aufgrund von Abstimmungsproblemen oder Spezifikationsunschärfen zu gefährlichen Ereignissen kommen kann. Moderne Unfallanalysemethoden müssen daher so konzipiert sein, dass sie dieser Komplexität gerecht werden. Es ist nicht mehr ausreichend, lineare Zusammenhänge abzuleiten, sondern die Interaktion aller an einem Ereignis direkt und indirekt beteiligten Akteure muss erfasst werden können.

Eine weitere Herausforderung existierender Unfallanalysemethoden ist der Umgang mit dem Menschen, der oft wie ein technisches System behandelt wird und dessen Handlungen als richtig und falsch klassifiziert werden [4]. Viele Unfälle in der Vergangenheit wurden auf menschliches Versagen zurückgeführt. Menschen handeln aber nur in den wenigsten Fällen bewusst falsch. Häufig liegt der Grund für einen Fehler in einem falschen Systemverständnis oder in einer unkorrigierten, schleichenden Veränderung bzw. Anpassung von Handlungen und Prozessen. Es ist zu erwarten, dass mit einer zunehmenden Automatisierung und Digitalisierung diese Art von Fehlern zunimmt, wenn der Mensch nicht von vornherein systematisch in das Systemdesign einbezogen wird. Die Aufgaben des Menschen werden sich derart verändern, dass es unerlässlich ist, diese zu überdenken und sicherzustellen, dass der Mensch so eingebunden wird, dass er in der Lage ist, richtig und fehlerfrei zu handeln. Moderne Unfallanalysemethoden müssen daher schon heute herausarbeiten, warum der Mensch bei Ereignissen nicht wie erwartet gehandelt hat, um diese Erkenntnisse in System(-weiter-)entwicklungen berücksichtigen zu können.

Ziele von CAST

CAST versucht, die oben skizzierten Defizite vieler herkömmlicher Methoden aufzugreifen und ein Vorgehen bereitzustellen, mit dem es möglich ist, Ereignisse aus einer Gesamtsicht heraus zu analysieren. Ziel ist es dabei nicht mehr, einzelne Ursachen zu benennen, sondern vielmehr die Gesamtheit beitragender Faktoren zusammenzutragen. Mit Bezug auf den Menschen wird explizit gefordert, von Schuldzuweisungen abzugehen. Aussagen, wie „...macht einen Fehler, hat fälschlicherweise...“ oder Voreingenommenheit (Hindsight bias), also die rückwirkende Feststellung, was man hätte anders machen sollen, sind zu vermeiden.

Im Zentrum von CAST steht das Erstellen einer Sicherheitskontrollstruktur (Safety Control Structure), die Abhängigkeiten und Zu-

sammenhänge aller in einem System aktiven Akteure klar herausstellt und die als Basis für eine Überprüfung und Überarbeitung des Systems dient.

Die Methode wurde von Nancy Leveson entwickelt und kann in das größere Konzept der System-Theoretic Accident Model and Process Analysis (STAMP) eingegliedert werden. CAST setzt auf die dort gemachten Grundannahmen auf und ist das entsprechende „Tool“ zur Unfallanalyse [5].

Ablauf einer CAST-Analyse

Die hier vorgestellte CAST-Analyse orientiert sich an den Vorgaben im CAST-Handbuch

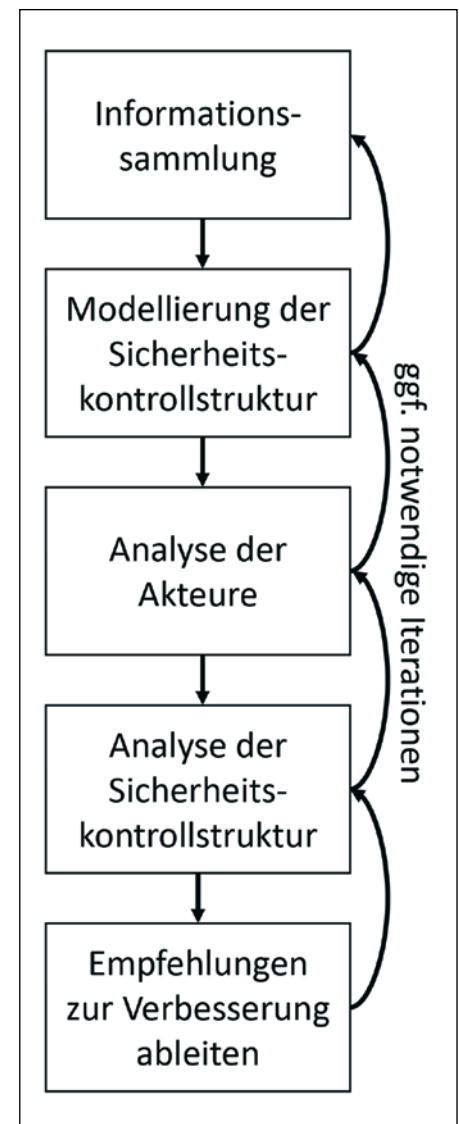


Abb. 1: Arbeitseinheiten einer CAST-Analyse

[6]. Da sich CAST im Lauf vor allem des letzten Jahrzehnts entwickelt und immer wieder verändert hat, gibt es auch Literatur, die ein etwas abweichendes Vorgehen zeigt.

Eine CAST-Analyse setzt sich aus fünf wesentlichen Arbeitseinheiten zusammen, die in Abb. 1 dargestellt sind. Diese werden im Folgenden vorgestellt und jeweils direkt beispielhaft anhand des Eisenbahnunfalls von Peine (2010) illustriert. Die wesentlichen Aspekte des Unfalls werden auszugsweise dargestellt, alle Sachverhalte zum Unfall sind dem Untersuchungsbericht der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes entnommen [7].

Allen Arbeitseinheiten gemeinsam ist, dass explizit gefordert wird, Fragen zu sammeln und bewusst nach offenen Punkten zu suchen. Es wird versucht, diese im Laufe der Analyse ggf. iterativ zu beantworten. Damit wird automatisch sichergestellt, dass keine Informationen verloren gehen und eine enge Kopplung der Arbeitseinheiten untereinander vorliegt. Das Verständnis für das Handeln eines Akteurs im Schritt Drei könnte sich beispielsweise erst offenbaren, wenn der Gesamtkontext im vierten Schritt betrachtet wird. Es kann dabei auch vorkommen, dass neu gewonnene Erkenntnisse in späteren Phasen eine Anpassung oder Erweiterung vorangegangener Schritte notwendig machen. Die einzelnen Schritte können mit variablem Detailgrad ausgeführt werden, in der folgenden Anwendung wird sich auf das zum Verständnis des Gesamtprozesses Notwendige beschränkt. Das CAST-Handbuch [6] enthält zu jedem Schritt

zahlreiche weitere Anregungen zur Ausgestaltung der Analyse.

Informationssammlung

Ziel des ersten Arbeitsschrittes ist sicherzustellen, dass alle wesentlichen Informationen zum betrachteten Ereignis zur Verfügung stehen. Dazu ist zunächst eine Abgrenzung des Systems notwendig, und die Schnittstellen zu benachbarten Systemen sind zu definieren. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um zum einen die Gefährdungen ableiten und zum anderen bei der Informationssammlung und Beschreibung des Ereignisses eine klare Struktur beibehalten zu können. Für das Gesamtsystem ist zu entscheiden, welches der zu betrachtende Schaden ist, sowie welche Gefährdung diesem Schaden vorausgegangen sein muss. Daraus ergibt sich die übergeordnete Sicherheitsbedingung, die verletzt wurde und damit die Gefährdung ermöglichte. Basierend auf den ermittelten Informationen ist das Ereignis wertungs- und vorurteilsfrei zu beschreiben. Dabei sollte möglichst jede Aussage daraufhin hinterfragt werden, ob sich aus ihr neue Fragen ergeben. Diese Fragen werden gesammelt (s.o.).

Beim hier betrachteten Beispielunfall kollidiert am 16. Juni 2010 um 23.23 Uhr im Bahnhof (Bf) Peine ein Regionalexpress mit zuvor entgleisten und dadurch nicht profilfrei stehenden Wagen eines Güterzugs im Gegengleis. Die wesentlichen Ereignisse des Unfalls sind in Abb. 2 dargestellt, für eine vertiefte Darstellung des Unfallhergangs wird auf den offiziellen Untersuchungsbericht [7] verwiesen.

Modellierung der Sicherheitskontrollstruktur

Im zweiten Schritt beginnt sich der entscheidende Unterschied von CAST zu anderen Analysemethoden herauszubilden: Wie oben bereits ausgeführt, wird ein Unfall nicht als die mehr oder weniger direkte Folge eines technischen oder menschlichen Versagens gesehen, sondern die Ursache wird im Nicht-Funktionieren der Sicherheitskontrollstruktur des Systems verortet. Deren Modellierung erfolgt in diesem Schritt, indem die am Unfall beteiligten Akteure und deren Interaktion dargestellt werden. Ein Akteur kann dabei auch eine Systemkomponente oder Institution und nicht nur eine menschliche Person sein. Eine Herausforderung ist hier, ein angemessenes Detaillierungsniveau zu erreichen. So ist es ggf. nicht notwendig, jeden einzelnen Mitarbeiter eines beteiligten Unternehmens zu identifizieren, genauso wenig ist es aber hilfreich, nur auf der Organisationsebene zu agieren. Es kann auch sinnvoll sein, unterschiedliche Akteure unterschiedlich detailliert auszuarbeiten. Hier hat es sich als günstig erwiesen, zunächst auf einer höheren hierarchischen Ebene zu beginnen und die Betrachtung je nach den Umständen des Unfalls zu verfeinern.

Abb. 3 stellt eine etwas vereinfachte Sicherheitskontrollstruktur für die am Unfall in Peine beteiligten Akteure dar. Die zum Infrastrukturbetreiber gehörenden Fahrdienstleiter (Fdl) stellen den Fahrweg für die Züge ein, die jeweils von einem Triebfahrzeugführer (Tf) gefahren werden und zu zwei unterschiedlichen Eisenbahnver-

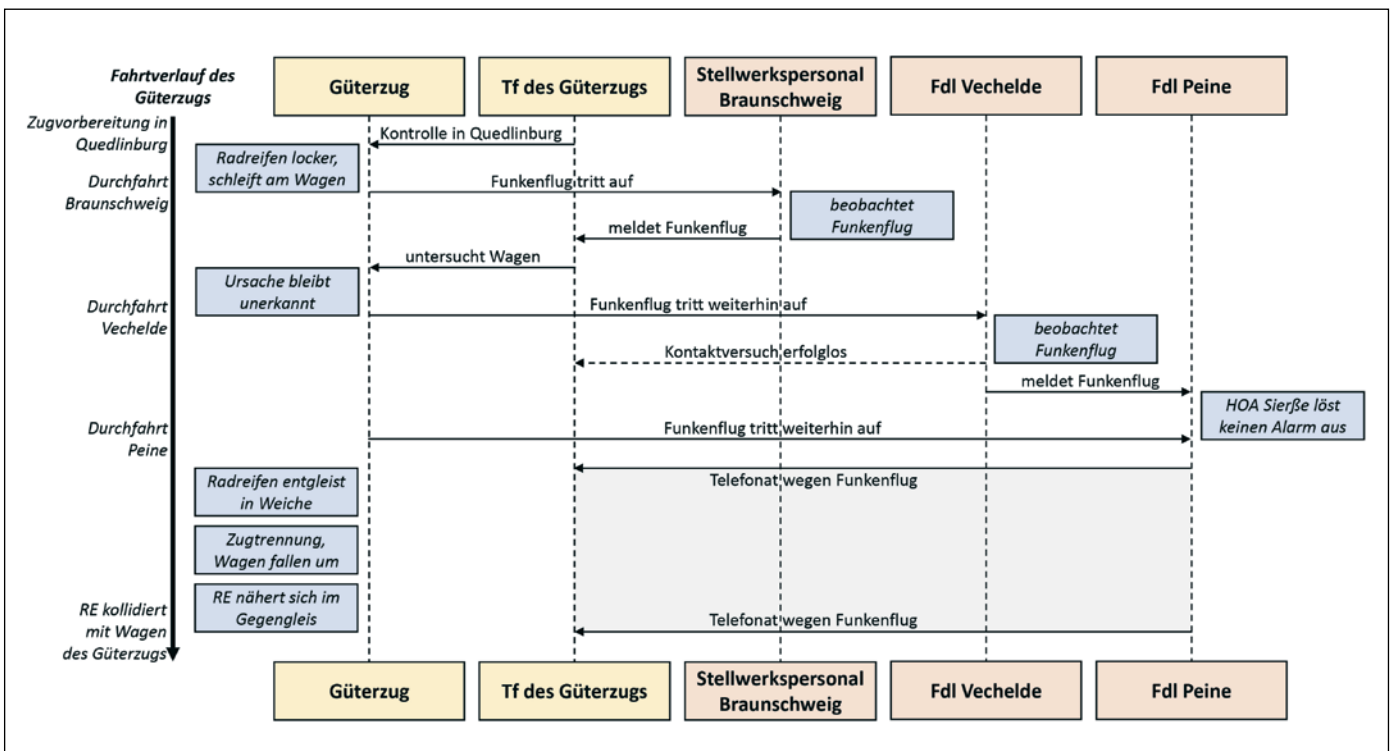


Abb. 2: Wesentliche Ereignisse im Verlauf des Eisenbahnunfalls von Peine

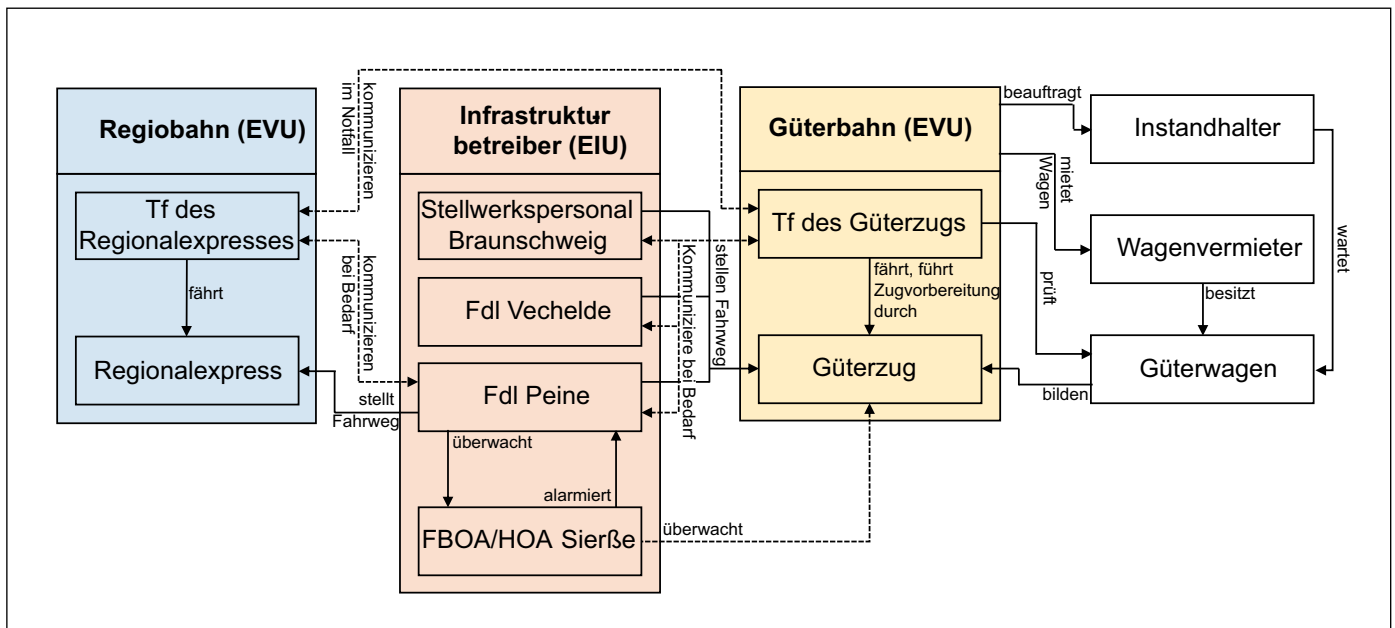


Abb. 3: Sicherheitskontrollstruktur zum Eisenbahnunfall von Peine

kehrunternehmen (EVU) gehören. Das EVU des Güterzugs („Güterbahn“) hat Wagen von einem entsprechenden Unternehmen gemietet und beauftragte ein weiteres Unternehmen mit der Instandhaltung der Wagen. Die Tf kommunizieren bei Bedarf mit den Fdl sowie im Notfall direkt miteinander. Die Festbrems- und Heißläuferortungsanlage (FBOA / HOA) Sierße überwacht vorbeifahrende Züge auf Unregelmäßigkeiten an den Bremsen und Radsätzen und benachrichtigt ggf. den Fdl Peine.

Auf die Referenzierung aller anzuwendenden betrieblichen Regelungen wird hier aus Übersichtlichkeitsgründen verzichtet.

Analyse der Akteure

In diesem, dem dritten Arbeitsschritt wird für jeden Akteur ermittelt, welche Aufgaben er hat, wie genau er zum Unfall beigetragen hat, durch welche Annahmen sein mentales Gedankenmodell geprägt war und in welchem Kontext seine Handlungen standen. Das mentale Gedankenmodell umfasst die Annahmen zur Situation, die der Akteur während seiner Handlungen als Entscheidungsgrundlage verwendet hat. Die subjektive Wahrnehmung steht hier im Vordergrund, indem sich die an der Analyse Beteiligten in den Akteur hineinversetzen und seine Denkweise in der Situation ergründen. Handelt es sich bei einem Akteur um ein technisches System, dann bezieht sich das mentale Gedankenmodell auf die während der Entwicklung des Systems getroffenen Annahmen und Designentscheidungen. Hier ist die wertungsfreie, faktenbasierte Beschreibung wieder besonders wichtig, da keine Schuldzuweisungen erfolgen sollen. Bezogen auf den Unfall in Peine werden im Folgenden exemplarisch drei Akteure vorgestellt.

Tf des Güterzugs

Die Aufgaben des Tf umfassen u. a. das Fahren und die Sicherstellung der technischen Funktionsfähigkeit des Zuges unter Annahme einer korrekt durchgeführten Instandhaltung. Dazu kontrolliert er vor der Abfahrt den Zug (im Rahmen der Zugvorbereitung) und ist auch während der Fahrt angehalten, auf ungewöhnliche Vorkommnisse zu achten und ggf. eingreifen, um die Sicherheit zu gewährleisten.

Der Tf des Güterzugs stellt die fehlende Sichtbarkeit der Radsatzverdrehmarkierungen im Rahmen der Zugvorbereitung nicht fest. Auch während der Überprüfung des Zugs in Braunschweig bemerkt er den losen Radreifen nicht. In Peine setzt er nach der unerwarteten Schnellbremsung durch die Trennung des Zuges keinen Notruf ab.

Sein mentales Gedankenmodell ist vermutlich von der Annahme beeinflusst, dass der Funkenflug von einer festen Bremse verursacht wird, weil die Fdl bei der Meldung ihrer Beobachtungen dies als mögliche Ursache erwähnen. Im Bf Peine ist er während der Entgleisung des Zugs im Gespräch mit dem dortigen Fdl, bis zum Unfall bleibt ihm nur wenig Reaktionszeit.

Im kontextuellen Zusammenhang ist zu nennen, dass eine feste Bremse im Betrieb wesentlich wahrscheinlicher ist als der hier aufgetretene lose Radreifen, sodass nachvollziehbar ist, warum mehrere am Unfall Beteiligte von Ersterem als Ursache für den Funkenflug ausgehen.

Güterzug

Die Aufgaben des Güterzugs bestehen im Hinblick auf die Sicherheit des Bahnbetriebs aus einer sicheren Konstruktion sowie der Offenbarung von sicherheitskritischen Unregelmäßigkeiten, damit diese bei regelmäßigen Kontrollen festgestellt werden können. Im Vorfeld

des Unfalls lockert sich ein Radreifen und führt zur Entgleisung eines Wagens.

Die Radsatzverdrehmarkierungen, die eine einfache Überprüfung des korrekten und festen Sitzes der Radreifen ermöglichen sollen, sind von Schmutz überdeckt. Im Kontext relevant ist, dass eine redundante Auslegung der Radreifen oder Radsätze prinzipbedingt nicht möglich ist. Ein Versagen dieser Bauteile muss daher durch regelmäßige Kontrollen ausgeschlossen werden.

Fdl Peine

Der Fdl Peine bedient das Stellwerk und gewährleistet einen sicheren Betrieb. Zugleich beobachtet er die Strecke und Züge und greift bei Unregelmäßigkeiten ein. Bezogen auf den Unfall erfährt er zuerst vom Fdl Vechele von der Funkenbildung am Güterzug. Nachdem er dies im Anschluss auch selbst beobachtet, setzt er keinen Notruf ab, sondern bereitet eine Untersuchung des Zuges in der nachfolgenden Betriebsstelle vor.

Anhaltspunkt für seine Entscheidung ist, dass er ebenfalls von einer festen Bremse ausgeht und deshalb die Durchfahrt des Zuges durch die FBOA / HOA Sierße zwischen Vechele und Peine abwarten will. Da diese keinen Alarm auslöst, geht er nicht von einer unmittelbaren Betriebsgefahr aus. Außerdem spielt in seinem mentalen Gedankenmodell eine Beta für die Nacht eine Rolle, durch die ein Anhalten des Güterzugs in seinem Bahnhof den Betrieb einträchtigen würde.

Im Kontext seines Handelns ist relevant, dass ihm die vorhergehenden Probleme des Güterzugs und die durchgeführte Untersuchung in Braunschweig nicht bekannt sind. Die FBOA hat am schadhafte Radsatz zwar eine deutlich erhöhte Temperatur gemessen, diese liegt jedoch unterhalb der Warnschwelle, sodass

kein Alarm ausgelöst wird. Unmittelbar vor dem Unfall befindet er sich im Gespräch mit dem Tf des Güterzugs und ist von der Vielzahl der Ereignisse überrascht. Es gelingt ihm offensichtlich nicht schnell genug, einen kausalen Zusammenhang herzustellen.

Analyse der Interaktion der Akteure

Der vierte Schritt ordnet die gewonnenen Aspekte wieder in den Gesamtkontext der Sicherheitskontrollstruktur ein, die Interaktion der Akteure steht dabei im Mittelpunkt. Es wird abstrahiert, auf welche Weise das System den Unfall nicht verhindern konnte. Die entsprechenden Schlussfolgerungen ergeben sich aus der Analyse der Akteure und der Sicherheitskontrollstruktur. Hier kann insbesondere auch deutlich werden, dass diese noch nicht detailliert genug bearbeitet wurden, um den Unfall ohne verbleibende Fragen zu erklären. Dann ist ein iteratives Vorgehen notwendig. Das CAST-Handbuch gibt einige Themenbereiche vor, die als Analyseansätze verwendet werden können, u. a. Sicherheitskultur, Sicherheitsmanagement und wirtschaftliche Rahmenbedingungen. Bezogen auf den Beispielfall wird hier ein Aspekt aus dem Bereich Kommunikation der Akteure untereinander näher betrachtet. Grundsätzlich kann jede Interaktion basierend auf den vorgeschlagenen Kategorien diskutiert werden, auch eigene Punkte können eingebracht werden. Den Fdl in Vechelde und Peine waren die Ereignisse in Braunschweig nicht bekannt, da eine Informationsweitergabe zwischen den Stellwerken auch bei ungewöhnlichen Ereignissen nicht vorgesehen ist. Wenn sie über die Beobachtung des Funkenflugs und die ergebnislose Untersuchung informiert worden wären, hätten sie eine umfangreichere Entscheidungsgrundlage gehabt. Für den Fdl Peine hat die FBOA / HOA Sierße zudem möglicherweise eine trügerische Rolle gespielt: Die Anlage misst bei der Durchfahrt des Güterzugs zwar eine erhöhte Temperatur, die jedoch un-

terhalb der Warnschwelle liegt und für den Fdl auch nicht einsehbar ist. Das Ausbleiben eines Alarms hat ggf. dazu geführt, dass er nicht von einer akuten Gefahr ausgeht.

Empfehlungen

Abschließend werden im letzten Schritt Empfehlungen zur Verbesserung des Systems entwickelt, um den untersuchten Unfall in Zukunft zu verhindern oder ggf. gefundene weitere Schwachstellen zu beseitigen. Im Unterschied zu klassischen Unfallanalysemethoden geht es hier um eine möglichst breit angelegte Zusammenstellung von Maßnahmen, die den Unfall hätten verhindern bzw. seine Wahrscheinlichkeit reduzieren können. Dies bedeutet nicht, dass alle Maßnahmen automatisch umzusetzen sind, sie sollen vielmehr als Grundlage für weitere Diskussionen dienen. In Bezug auf den Unfall in Peine hätte z. B. eine zentrale Datenbank, in der ungewöhnliche Ereignisse einzelner Züge eingetragen werden und bei Bedarf einsehbar sind, die Fdl in Vechelde und Peine unterstützen können. Außerdem wäre eine Möglichkeit für den Fdl, sich die Messwerte der ihm zugeordneten FBOA anzeigen zu lassen, im betreffenden Fall hilfreich gewesen. Insgesamt konnten sechs kleinere und größere Maßnahmen als direkte Sicherheitsempfehlungen abgeleitet werden. Dies ist eine im Verhältnis geringe Zahl. Es wird eingeschätzt, dass bei einer noch detaillierteren Analyse bzw. leicht anders gesetzten Systemgrenzen noch weitere Aspekte mit Sicherheitsrelevanz hätten identifiziert werden können.

Fazit

Im Unterschied zu anderen Methoden gibt sich CAST nicht damit zufrieden, direkte Ursachen zu identifizieren. Wo sonst versucht wird, Eindeutigkeit der Beziehung zwischen Ursache und Unfall herzustellen, versucht CAST Ansatzpunkte zur Erklärung des Versagens des Systems durch die Zusammenstel-

lung aller beitragenden Faktoren zu erklären. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der vertieften Analyse der Interaktion der Akteure. Insbesondere gelingt es dadurch, menschliche Handlungen zu plausibilisieren, indem sie in den Kontext des umgebenden Systems eingeordnet werden. Anstatt eine Schuldfrage zu klären, lassen sich dadurch Vorschläge für wirksame Sicherheitsverbesserungen des Gesamtsystems ableiten.

Aufgrund dieses Ansatzes stellt CAST besondere Anforderungen an den Anwender, insbesondere im Hinblick auf eine akkurate Durchführung der Analyse und präzise Formulierung der Ergebnisse. Idealerweise wird die Analyse in kleinen Teams vorgenommen, Fachwissen ist dabei genauso erforderlich wie eine kritische Distanz.

Die Ergebnisse für den Beispielfall zeigen aber auch deutlich, welches Potenzial die Methode hat. Es wurde mehrere Ansatzpunkte zur Systemverbesserung abgeleitet, die diskutiert und hinsichtlich z. B. Aufwand und Wirksamkeit bewertet werden sollten. Anschließend muss im Einzelfall geklärt werden, wo Änderungen am betrachteten System sinnvoll und notwendig sind. ■

QUELLEN

- [1] Perrow, C. (1984): Normal Accidents: Living With High-Risk Technologies, Basic, New York
- [2] https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/library/017_Swiss_Cheese_Model.pdf
- [3] Leveson, N. G. (2009): Engineering a Safer World. <http://sunnyday.mit.edu/safer-world.pdf>, 30.03. 2022, 18.31 Uhr
- [4] Thomas, J. (2018): A systems-theoretic approach to analyze human automation interactions. <https://www.sintef.no/globalassets/project/hfc/documents/07-jthomas-at-hfc-2slides.pdf>, 30.03. 2022, 18.33 Uhr
- [5] <http://psas.scripts.mit.edu/home/wp-content/uploads/2016/04/STAMP-Intro-2016.pdf>
- [6] Leveson, N. G. (2019): CAST-Handbuch: How to Learn More from Incidents and Accidents. <http://sunnyday.mit.edu/CAST-Handbook.pdf>, 30.03. 2022, 18.33 Uhr
- [7] Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes (Hrsg.): Untersuchungsbericht Zugentgleisung Peine, Bonn 2013. https://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de/SharedDocs/Downloads/EUB/Untersuchungsberichte/2010/044_Peine.pdf?__blob=publicationFile&v=4, 12.03.2022 um 14:56 Uhr



Alexander Fink, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Eisenbahn-
und Verkehrswesen
Universität Stuttgart, Stuttgart
a.fink@posteo.de



Jonas Prade, B.Sc.

Student des Masterstudiengangs
Planung und Betrieb, TU Berlin
Wissenschaftlicher Referent
Büro MdB Gastel, Berlin
kontakt@jonas-prade.de



Prof. Dr. Birgit Milius

Leiterin
Fachgebiet Bahnbetrieb u. Infrastruktur
TU Berlin, Berlin
birgit.milius@tu-berlin.de

**WISSEN, WAS
BAHNEN BEWEGT**

www.eurailpress.de

