

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 19327 N

## Thema

Fallbasiertes Expertensystem zur automatisierten Reaktion auf Betriebsstörungen in frei navigierenden fahrerlosen Transportsystemen

## Berichtszeitraum

01.02.2017 – 31.12.2019

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

## Forschungseinrichtung(en)

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Hannover, 14.04.2020

---

Ort, Datum

Benjamin Küster

i.V. 

---

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der  
Forschungseinrichtung(en)

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Verwendung der Zuwendung.....</b>	<b>26</b>
<b>5. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....</b>	<b>27</b>
<b>6. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen.....</b>	<b>27</b>
<b>7. Durchgeführte Transfermaßnahmen.....</b>	<b>28</b>
<b>8. Einschätzung der Realisierbarkeit des Transferkonzepts.....</b>	<b>30</b>
<b>9. Durchführende Forschungsstelle.....</b>	<b>31</b>

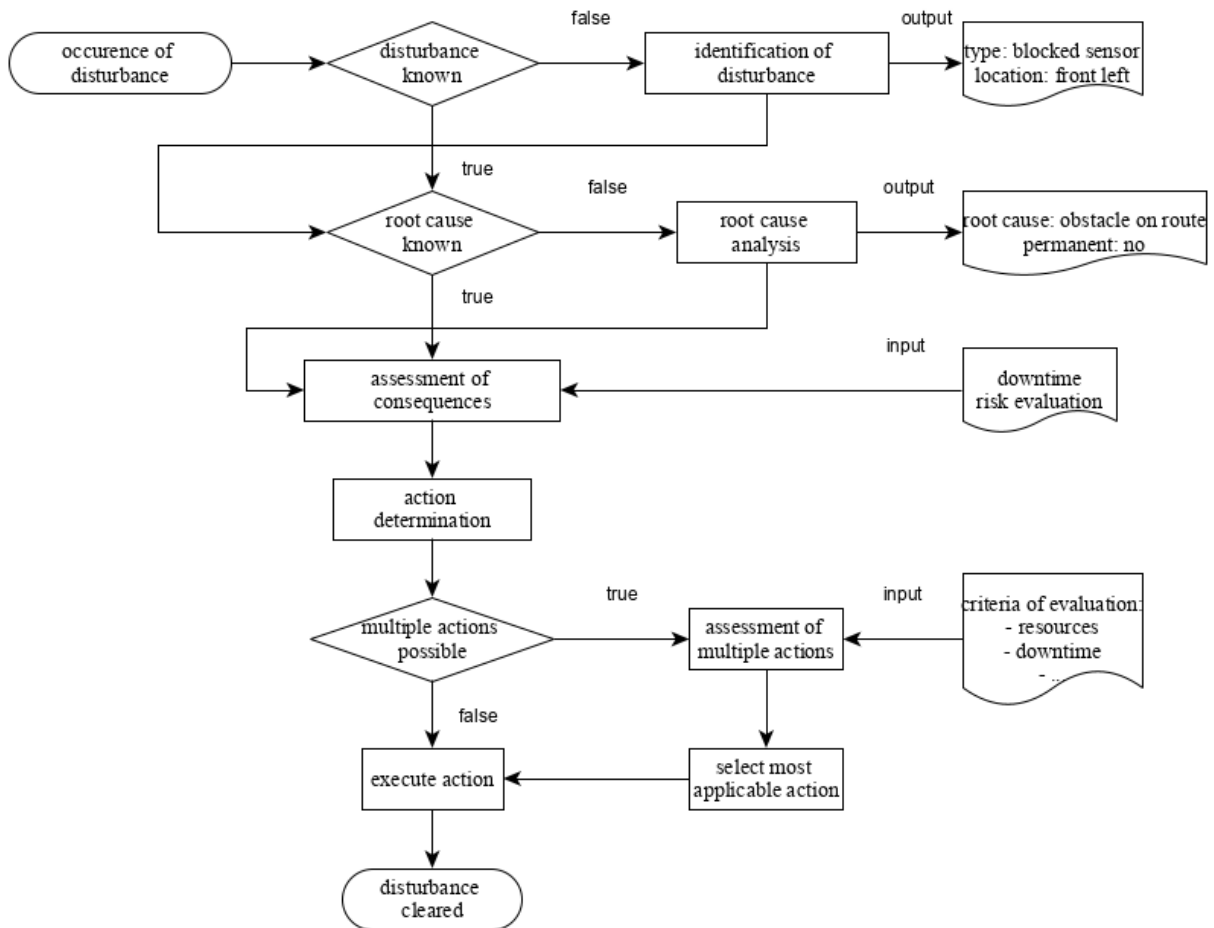
## **1. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung**

Bei der Einführung und dem Betrieb von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) hat die Betrachtung der zu erreichenden Effizienz des Systems eine große Bedeutung. Anbieter von FTS müssen potentiellen Kunden gewährleisten können, dass durch den Einsatz von FTS die Effizienz des Gesamtbetriebs gesteigert werden kann. Die Verfügbarkeit des FTS muss entsprechend hoch sein und Störungen müssen vermieden werden. Treten dennoch Störungen auf, spielt ein erfolgreiches Störungsmanagement eine zentrale Rolle. Gerade bei produzierenden Unternehmen können erhebliche wirtschaftliche Schäden auftreten, wenn Material nicht rechtzeitig an der richtigen Station angeliefert wird. Auftretende Verzögerungen können zu einer reduzierten Termintreue führen.

FTS mit frei navigierenden Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) sind Betriebsstörungen wie beispielsweise Maschinenausfällen, FTF-Ausfällen, Hindernissen im Fahrweg oder Routensperrungen unterlegen. Hierauf muss schnell reagiert werden, um Ausfallzeiten gering zu halten. Aktuell entscheiden zum einen Experten manuell und auf Basis von Erfahrungen, welche Maßnahmen (z. B. Routenumplanung, Fahrzeugaustausch, Auftragsdisposition) ergriffen werden müssen, zum anderen haben einige FTS in ihrer Steuerung Handlungsanweisungen bei Problemfällen hinterlegt (z. B. Umfahrung des Hindernisses, Warten).

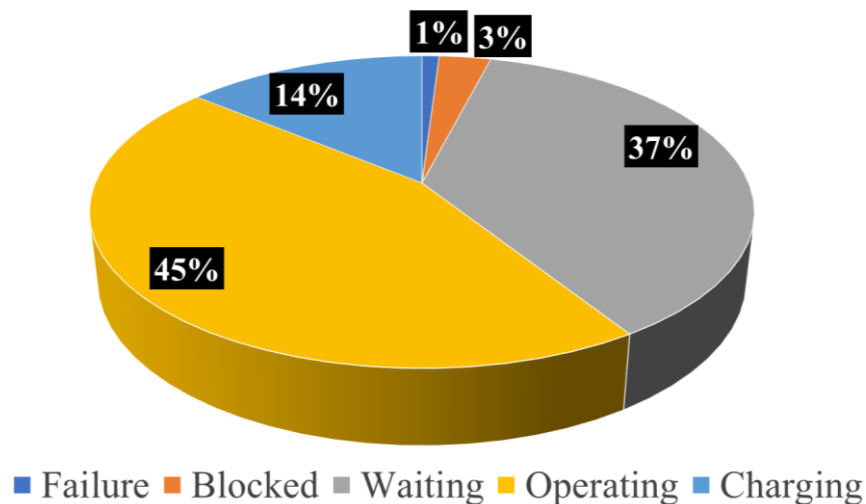
Durch die Verzögerung für das qualifizierte Abwägen und Treffen dieser Entscheidungen entstehen negative Folgen, wie z. B. die Erhöhung der Durchlaufzeit, die Reduktion der Termintreue, die Reduktion der Auslastung und die Erhöhung der Kosten zur Fehlerbehebung.

Bei flexiblen, frei navigierenden FTF ist die Art der Störungsbehebung aufwändig, da zahlreiche Freiheitsgrade (z. B. diverse Routenalternativen, autonome Bahn- und Routenplanung, flexible Auftragsabarbeitung) vorliegen, die Störpotential beinhalten. Bild 1 zeigt exemplarisch den Ablauf einer manuell durchgeführten Störungsbehebung am Beispiel eines blockierten Sensors am FTF. Nach Auftreten einer Störung muss geklärt werden, ob es sich um eine bekannte Störung handelt, welche Konsequenzen und mögliche Lösungsansätze sich ergeben und was geeignete Lösungsmaßnahmen darstellen, um diese auszuführen.



**Bild 1: Ablauf einer manuellen Störungsbehebung am Beispiel eines blockierten Sensors**

Einige Prozesse wie die Planung der Transportreihenfolge oder die Routenplanung erfolgen teilweise automatisiert. Falls aber eine nicht bekannte, vorherzusehende Störung auftritt, muss ein Experte selbstständig bewerten, welche Maßnahme ergriffen werden soll. Neben dem Beispiel aus Bild 1 gibt es zahlreiche weitere mögliche Fehlerursachen. Falls bspw. ein Weg durch ein liegengebliebenes Fahrzeug versperrt ist, muss der Experte entscheiden, ob ein Alternativweg geplant werden soll und/oder ein Ersatzfahrzeug eingesetzt wird und/oder die Transportreihenfolge geändert werden soll. Ein Mitglied des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) hat die in Bild 2 dargestellten Betriebszustände einer realen Kundenanlage zur Verfügung gestellt. Im Szenario waren vier FTF eine Woche in Betrieb. Zu sehen ist, dass die FTF 3% der Zeit blockiert waren und in 1% der Zeit eine Störung auftrat. Dies bedeutet einen wirtschaftlichen Schaden für das Unternehmen. Gerade im Bezug zu den erheblichen Investitionskosten für FTS muss diese Ausfallzeit weiter reduziert werden.



**Bild 2: Übersicht der Betriebszustände von vier FTF innerhalb einer Woche**

Vor dem beschriebenen Hintergrund müssen alle Unternehmen, die ein FTS betreiben wollen, Störungen, die durch die Integration oder den Betrieb der FTF entstehen, effizient beheben können.

Um Unternehmen bei der Behebung von auftretenden Betriebsstörungen zu unterstützen, sollte ein Expertensystem entwickelt werden, das automatisiert auf Betriebsstörungen in FTS reagiert. Mit Hilfe des zu entwickelnden Systems sollen diese Unternehmen standardisiert und automatisiert auf Störungen im Betrieb reagieren und somit die Effizienz ihrer Transportprozesse steigern sowie ihren wirtschaftlichen Erfolg absichern.

## 2. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse

Primäres Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung eines Expertensystems zur automatisierten Reaktion auf Störungen in frei navigierenden FTS. Die wesentliche Innovation liegt dabei, in der Formalisierung von Expertenwissen, um auch auf unbekannte Störungen, eine automatisierte Reaktion (Maßnahme) zu generieren.

Die genannte Zielsetzung wurde im Forschungsantrag in vier Teilzielen konkretisiert und wird im Folgenden den erzielten Ergebnissen gegenübergestellt.

### Teilziel 1: Identifikation und Analyse des Expertenwissens

*Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag:*

*Das erste Teilziel umfasst die Identifikation und Analyse des Expertenwissens zur Behebung von FTS-Störungen. Dabei steht die Herstellung von Wirkungszusammenhängen zwischen Störungen im Betrieb von FTS und deren Lösungen im Vordergrund. Wichtig ist in diesem Teilziel auch die Bewertung von Dringlichkeiten der jeweiligen Störungen.*

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens:

Mit Hilfe des PA wurden verschiedene Störszenarien und geeignete Maßnahmen zur Behebung dieser Störszenarien durchexerziert. Auf Basis von vorliegenden, relevanten Informationen (z. B. Hallenlayout, Transportmatrix, Anzahl von FTF, Aufbau der Leitsteuerung, Handlings- und Transportzeiten von FTF) wurden in Zusammenarbeit mit Mitgliedern des PA und Erkenntnissen

aus Methoden von Literaturrecherchen Wirkungszusammenhänge analysiert. Weiterhin wurden im Rahmen von AP 1 Validierungskriterien (z. B. Ausfallzeit, Kosten) definiert, um Dringlichkeiten auftretender Störungen zu evaluieren. Bild 1 zeigt beispielhaft ein durchexerziertes Störszenario.

## **Teilziel 2: Modellierung des Expertenwissens in einer Wissensbasis**

*Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag:*

*Das zweite Teilziel besteht in der Modellierung des Expertenwissens in einer Wissensbasis mittels Case-Based Reasoning (CBR). Dabei ist es wichtig, die im Unternehmen dokumentierten Störungsfälle und deren Lösungen in einer maschinenlesbaren Form zu speichern. Dazu wird ein System entwickelt, das die gespeicherten Fälle für die Wiederverwendung bei neu auftretenden Störungen zur Verfügung stellt und in der Lage ist, Lösungen für ähnliche Störungsfälle so zu adaptieren, dass sie auf neue Störung anwendbar sind. Zusätzlich wird ein Speichermechanismus implementiert, der die neu erstellten Lösungen in einer Fallbasis speichert.*

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens:

Da es FTF-Hersteller übergreifend keine einheitliche Struktur von Fehlerprotokollen gibt, wurde zunächst eine standardisierte Struktur zur Beschreibung und Formalisierung von Störungen entwickelt. Der entwickelte Fehlervektor, welcher gemeinsam mit dem PA – unter Berücksichtigung eines internen Arbeitspapiers des VDI (Entwurf VDI 2710 Blatt 6) – entwickelt wurde, beschreibt Fehler durch alle relevanten Informationen (Attribute), welche systemseitig gespeichert werden. Diese Attribute umfassen z. B. Standortinformationen der FTF in Form von Koordinaten, Batterielevel oder Auftragsinformationen. Gespeichert wurden die Störszenarien, bestehend aus Fehlervektor und Lösungsmaßnahmen, in dem Datenformat .csv. Durch Clustering-Algorithmen im entwickelten CBR-Zyklus ist die Anwendung gespeicherter Lösungen durch Adaption auf neue Störungen möglich. Bearbeitete Störfälle können durch das gegebene Datenformat problemlos gespeichert und die Wissensbasis vergrößert werden.

## **Teilziel 3: Definition von Entscheidungsfreiräumen des Expertensystems**

*Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag:*

*Gegenstand des dritten Teilziels ist die Definition von Entscheidungsfreiräumen des Expertensystems. Wichtig ist zu definieren, in welchen Störungsszenarien das System eine Maßnahme automatisiert umsetzen darf. Hierbei sind vor allem die potentiellen Kritizitäten auf die Gesamteffizienz (Durchlaufzeit Produkt, durchschnittliche Wartezeit etc.) von Bedeutung. Zusätzlich ist aber auch die Erfahrung der Experten relevant, die einschätzen können, welche Folgen eine automatisierte Fehlplanung hätte und wann diese deshalb nicht geeignet ist.*

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens:

Auf Basis der durchexerzierten realen Störszenarien (vgl. Teilziel 1) und des Expertenwissens der PA-Mitglieder Götting KG (FTS-Hersteller), E&K Automation GmbH (FTS-Hersteller) und Miele & Cie. KG (FTS-Anwender) wurden Rahmenbedingungen für eine automatisierte Reaktion des FTS definiert. Eine essentielle Betrachtung hierfür wird durch das Anwendungsszenario im Hinblick auf den Mischbetrieb mit Mitarbeitern diktiert. Bei Mischbetrieb (Mitarbeiter und FTF sind räumlich während des Betriebs nicht getrennt) ist aus sicherheitsrelevanten Gründen, unter Berücksichtigung geltender Normen und Richtlinien, eine automatisierte Reaktion nicht zulässig.

Die FTF werden bei Meldung eines Fehlers, z B. ausgelöst durch Hindernisse auf der Route zu einem Notstopp gezwungen. Eine automatisierte Generierung von Lösungsmaßnahmen, wird aber in jedem Fall durchgeführt, sodass der Mitarbeiter während der Störungsbehebung durch die Wissensbasis des Expertensystems unterstützt wird.

#### **Teilziel 4: Implementierung und Validierung des Expertensystems**

*Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag:*

*Das vierte Teilziel ist die Implementierung und die Validierung des Expertensystems. Zur Validierung soll das System auf realen Betriebs- und Störungsdaten getestet und mittels Simulationen die Einflüsse auf die Produktionsumgebung und die Leistungsfähigkeit des FTS ermittelt werden.*

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens:

Das Expertensystem wurde in Form eines funktionalen Anwendungs-Demonstrators in Matlab umgesetzt. Einzelne Algorithmen des CBR-Zyklus wurden zunächst in der Programmiersprache Python als Module umgesetzt. Die Validierung geschah in der Simulationsumgebung Visual Components, auf Basis von Echtdateien (Hallenlayout, Transportmatrix, Anzahl FTF etc.) eines Projektpartners mit Hilfe von Experten. Durch eine realisierte Feedback Funktion für den Anwender ist sichergestellt, dass die Wissensbasis mit jedem bearbeiteten Störfall wächst.

### **3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse**

#### **AP 1: Identifizierung von Anforderungen und Definition von Validierungsparametern**

*Durchgeführte Arbeiten*

Im Rahmen von AP 1 wurden die Anforderungen an ein Expertensystem für die automatisierte Reaktion auf Störungen in einem Fahrerlosen Transportsystem (FTS) aufgenommen und mit dem Projektbegleitenden Ausschuss (PA) diskutiert. Im Rahmen der Vorbereitung der Anforderungsaufnahme wurde ein Fragebogen erstellt, der an die Mitglieder des PA verschickt und anschließend ausgewertet wurde. Der Fragebogen diente als Vorbereitung auf das erste Projekttreffen sowie als Grundlage für die Anforderungsaufnahme. Die Fragebögen wurden teilweise im Kollektiv, während des ersten Projekttreffens am 04.07.2017 und teilweise im Vorfeld durch die Industriepartner selbstständig bearbeitet.

*Erzielte Ergebnisse*

Als Ergebnis der Anforderungsaufnahme ist ein Lastenheft, mit priorisierten Anforderungen an das Expertensystem entstanden, welche auszugsweise in Tabelle 1 genannt sind:

**Tabelle 1: Ausschnitt der priorisierten Anforderungen an das Expertensystem**

<b>Priorisierung</b>	<b>Funktionale Anforderung</b>	<b>Nicht-Funktionale Anforderung</b>
Muss	Einbeziehung vorhandener Sensordaten	
Muss	Abbildung der Fahrzeugkomponenten (z. B. Antrieb, Sensorik, externe Peripherie)	

Muss	Qualifizierte Kategorisierung unbekannter Störungen	
Muss		Verwendung der Methode: Case-Based Reasoning (CBR)
Kann	Proaktive Meldungen und Handlungsempfehlungen des FTS-Herstellers	

Weiterhin wurden zur Prüfung des zu entwickelnden Expertensystems Validierungskriterien festgelegt, wie z. B. die Ausfallzeit (engl. downtime) während die Fahrzeuge nicht zur Verfügung stehen, die Rechenzeit, die das System benötigt, um eine Handlungsempfehlung zu generieren oder die Güte einer Handlungsempfehlung. Gemeinsam mit dem PA wurden Referenzszenarien definiert und durchexerziert.

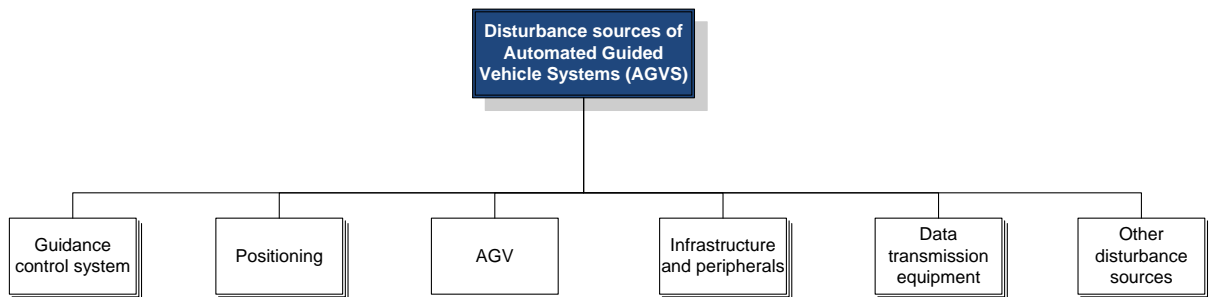
**AP 2: Analyse und Kategorisierung von Störungen und zugehörigen Lösungen in FTS**

*Durchgeführte Arbeiten*

In diesem AP wurden gemeinsam mit Mitgliedern des PA, Kategorien für Störungen anhand von Störszenarien eines FTS definiert. Eine ausführliche Literaturrecherche zum Thema Störungsmanagement im Bereich FTS sowie die Berücksichtigung geltender VDI-Richtlinien, führten zur Identifikation weiterer Störquellen. Die Dokumentation entsprechender Ursachen sowie Maßnahmen zur Behebung der Störungen war ebenfalls Inhalt dieses AP.

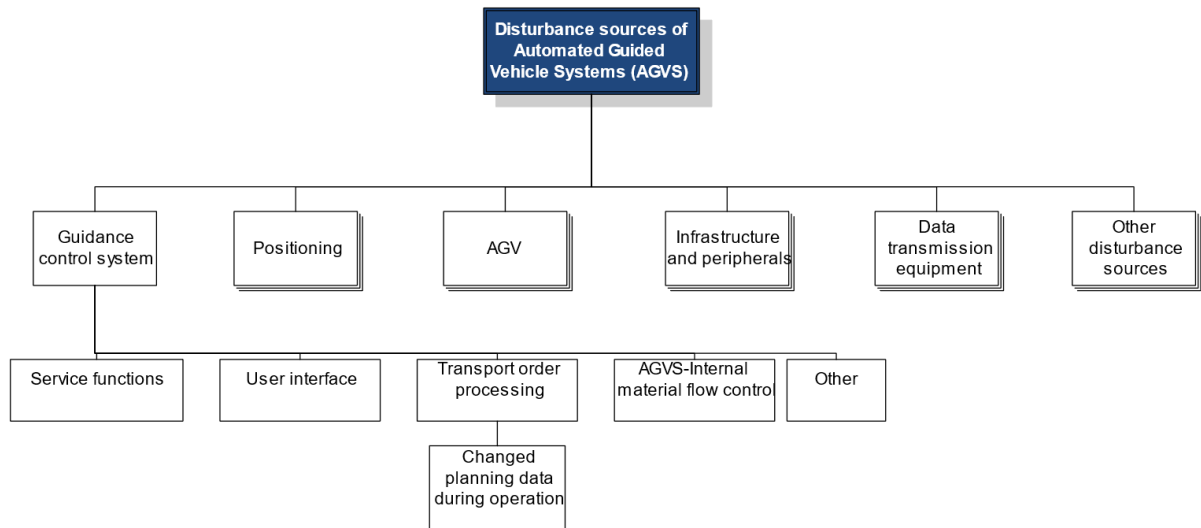
*Erzielte Ergebnisse*

Bild 3 bis Bild 5 zeigen Ausschnitte der entwickelten Dokumentation möglicher Störquellen von FTS in Form von Fehlerbäumen.

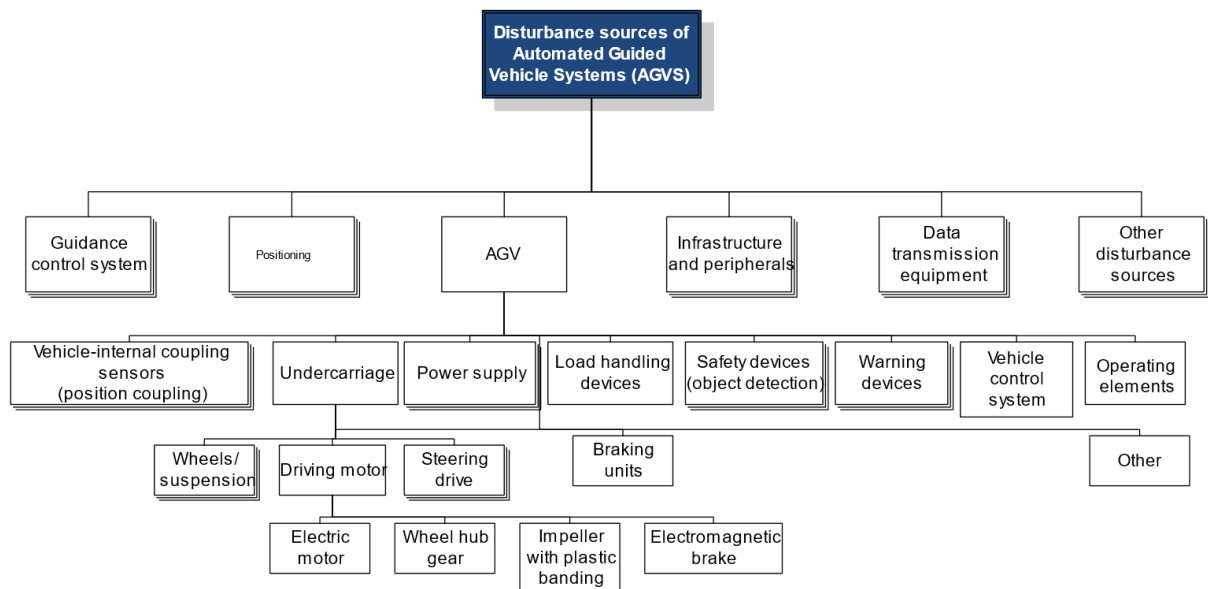


**Bild 3: Ansicht der Hauptkategorien von Störquellen in einem FTS**





**Bild 4: Erweiterte Ansicht von Störquellen der Unterkategorie Guidance control system (deutsch: Leitsteuerung)**



**Bild 5: Erweiterte Ansicht von Störquellen der Unterkategorie AGV (deutsch: FTF)**

Die aufgeführten Kategorien sind jeweils mehrfach in Unterkategorien aufgeteilt und mit Beispielen erweitert. Am Beispiel der Kategorie AGV zeigt Bild 5 die zahlreichen Unterkategorien möglicher Fehlerquellen. Zu jeder Unterkategorie sind Beispiele, Fehlertexte, Fehlerursachen und zielführende Maßnahmen zur Behebung der Störung dokumentiert und in einer Excel-Datei zusammengefasst (Tabelle 2). Aufgrund der Komplexität eines FTS ist eine vollständige Abbildung aller Störungen nur sehr schwer zu realisieren, daher wird Anwendern die fortwährende Erweiterung der Excel-Datei empfohlen.

**Tabelle 2: Ausschnitt des erstellten Störungskatalogs**

<b>Fehlertext</b>	<b>Ursache</b>	<b>Behebung</b>
Fahrzeug meldet Störung: Rechts auf Bereich X	Sensor betätigt	Person oder Gegenstand entfernen. Fehler quittieren. Fahrzeug starten. Bleibt der Fehler bestehen, ist der Sensor eventuell defekt.
Fahrzeug meldet Störung: Hinterer Fußschutz links hat ausgelöst auf Bereich Y.	Hinterer Sensor links (Lichttaster in der Gabelspitze) ausgelöst	Hindernis entfernen. Fehler quittieren. Fahrzeug starten. Eventuell gibt es in der Umgebung stark reflektierende Gegenstände, die vom Lichttaster erkannt werden. Diese müssen im Fehlerfall verdeckt werden, damit das Fahrzeug weiterfahren kann.
Fahrzeug meldet Batteriestörung	Batterie entladen	Ladestatus der Batterie im Batterie-Management-System überprüfen, ggfs. Batterie austauschen.
Fahrzeug meldet Statusfehler: Ladung	Übergabestation nicht bereit	Fahrzeug manuell zurücksetzen.

**AP 3: Entwicklung und Implementierung einer Falldatenbank***Durchgeführte Arbeiten*

Inhalt dieses AP war die Formalisierung der in AP 2 recherchierten und definierten Störszenarien – bestehend aus Störungsbeschreibung und Behebungsmaßnahme – sowie weiterer Störfälle in einer Datenbank. Abhängig von FTS-Hersteller unterscheidet sich jedoch der Aufbau der Fehlerprotokolle (Log-Files) stark. Das bedeutet, nicht nur Struktur (Datentypen, Datenformat), sondern auch der Informationsgehalt (Fehlercode, Fehlertext, Fehlerparameter) unterscheiden sich. Daher wurde zunächst eine einheitliche Struktur für Fehlerprotokolle entwickelt. Anschließend wurden mit Hilfe der Simulationsumgebung Visual Components Trainingsdaten für das Expertensystem entwickelt. Gemeinsam mit Mitgliedern des PA sind signifikante Eingangsparameter (bspw. Layout-Informationen, Anzahl eingesetzter Fahrzeuge, Betriebsdauer) für das Simulationsmodell definiert worden, um so eine realistische Einsatzumgebung nachzubilden. Außerdem wurden die Echtdaten eines Projektpartners in einem Simulationsmodell umgesetzt. Die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Simulationsergebnisse sind in Anlehnung an VDI 3633, Bl. 1 erfolgt (Bild 7). Eine Diskussion über die Notwendigkeit der Simulation (vgl. Bild 7: Problemstellung) fiel aus, da sich diese Notwendigkeit aus der fehlenden, strukturierten Datengrundlage ergab. Im nächsten Schritt wurde das Ziel der Simulation definiert, welches in die Erzeugung von konsistenten Trainingsdaten in der vorher definierten Fehlerstruktur bestand.

### Erzielte Ergebnisse

Die entwickelte Fehlerstruktur soll herstellerübergreifend anwendbar sein, um möglichst viele Unternehmen zu unterstützen. Bild 6 zeigt die entwickelte Fehlerstruktur. Jeder Störfall (case) besitzt eine eindeutige *id* und beschreibt Störszenarien mit Hilfe von Attributen und Attributwerten. Die Fehlerstruktur, welche gemeinsam mit dem PA – unter Berücksichtigung eines internen Arbeitspapiers des VDI (Entwurf VDI 2710 Blatt 6) – entwickelt wurde, beschreibt Fehler durch alle relevanten Informationen (Attribute), welche systemseitig gespeichert werden. Weiterhin wurden Interviews mit Servicemitarbeitern der FTF-Hersteller geführt, um die Signifikanz der definierten Attribute zu verifizieren. Diese Attribute umfassen z. B. Standortinformationen der FTF, in Form von Koordinaten (*x\_coordinate*, *y\_coordinate*), Batterielevel (*battery\_level*) oder Auftragsinformationen (*LoadStatus*). Gespeichert wurden die Störszenarien, bestehend aus Fehlervektor und Lösungsmaßnahmen, in dem Datenformat *.csv*. Bild 6 illustriert das Fehlerbeispiel eines ausgelösten/blockierten Sensors. Diese Information ist dem Attribut „error“ zu entnehmen, welcher den Attributwert „FailureOptical“ ausgibt. Um zu identifizieren, an welcher Stelle des Fahrzeugs der Fehler auftritt, wird zusätzlich die Position des ausgelösten Sensors ausgegeben mit dem Attribut „sensor“ und dem zugehörigen Attributwert „left“. Weitere Attribute die gespeichert werden, sind der Störungszeitpunkt (*EventTime*) und der Winkel der Lenkachse der FTF (*in.angle*). Die Lösung (*Solution*) ist in dem gezeigten Beispiel in Dialogform realisiert.

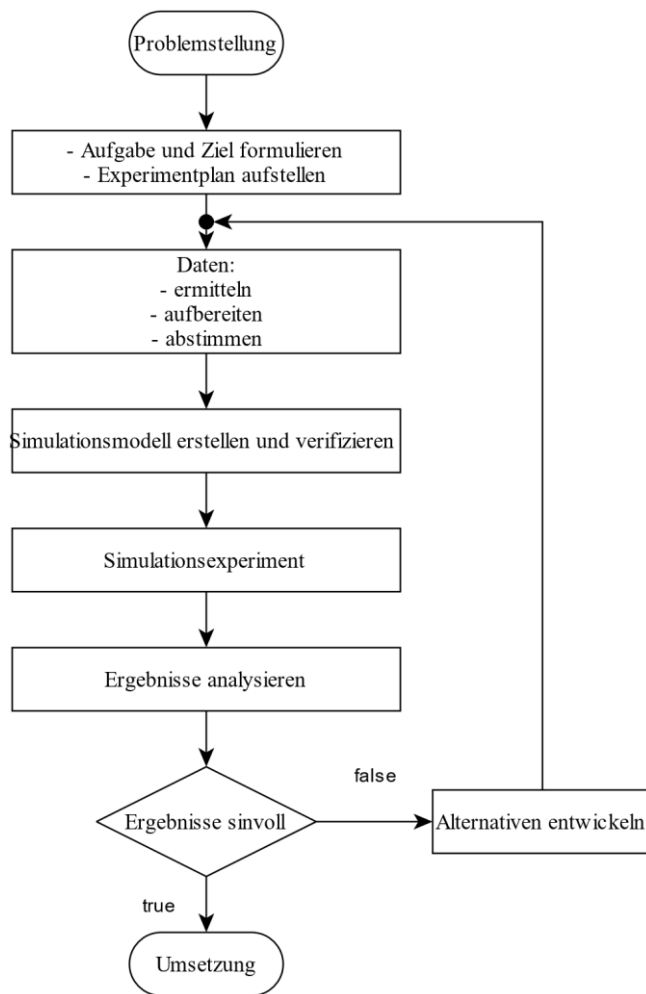
case id: [0119]	
Attribute	Attribute Value
AGV_id: [3]	integer
EventTime: [12:05:02]	integer
in.angle [90.6]	integer
x_coordinate [26.5]	integer
y_coordinate [10]	integer
battery_level [68]	integer
LoadStatus [1]	boolean
error [FailureOptical]	string
sensor [left]	string
Solution []	

```

check Sensor;
if obstacle on route
remove obstacle;
restart agv;
else if
sensor dusty
clean sensor;
restart agv;
else
call service

```

**Bild 6: Aufbau der entwickelten Fehlerstruktur bestehend aus Fehlervektor und Lösungsvorschlag**

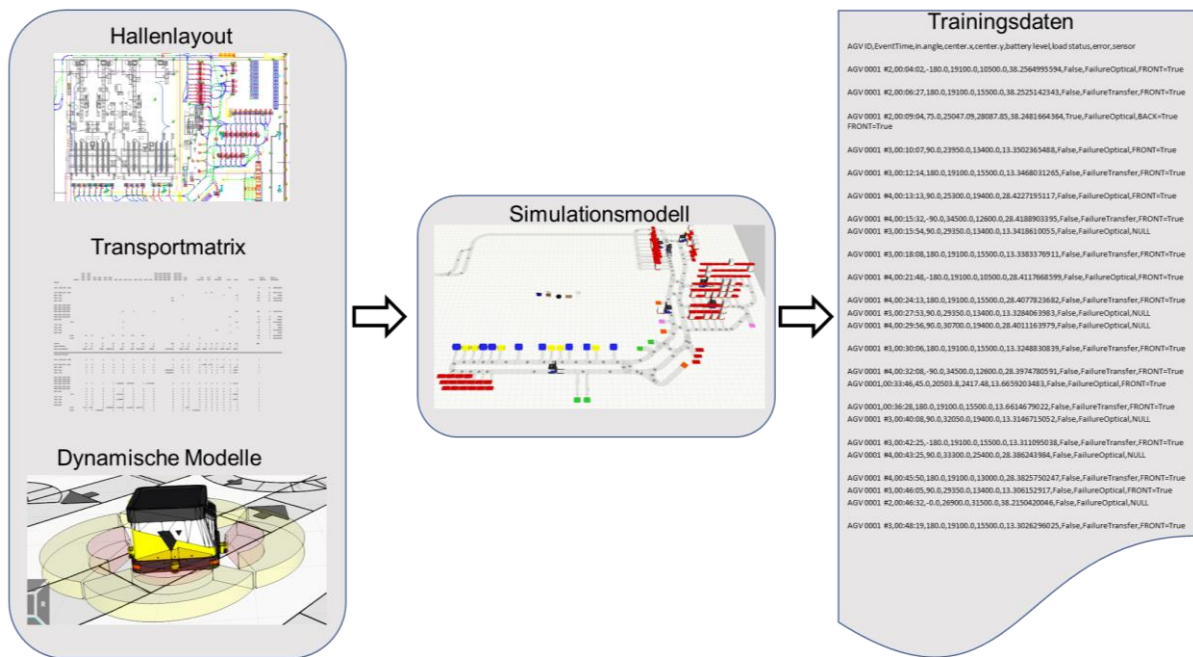


**Bild 7: Vorgehensweise bei der Erzeugung der Trainingsdaten (in Anlehnung an VDI 3633, Bl. 1)**

Bild 8 zeigt den prinzipiellen Ablauf zur Erzeugung der Trainingsdaten. Die benötigte Datengrundlage (Bild 8, links) besteht aus:

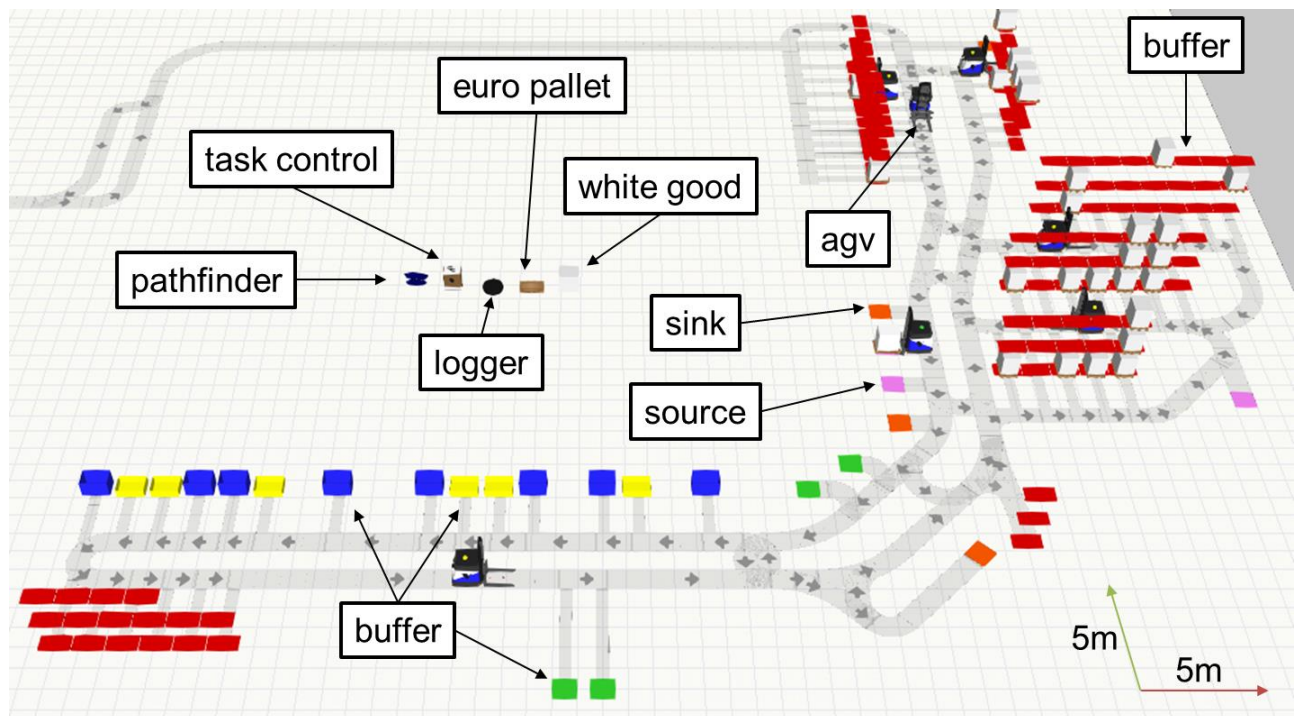
- einer CAD-Zeichnung des Hallenlayouts aus der die Abstände, Positionen der Quellen und Senken (z. B. Wareneingang, Übergabestationen, Regale und Puffer) sowie Routenführung hervorgehen
- einer Transportmatrix für die Zusammenfassung auftragsbezogener Daten der einzelnen Quellen und Senken und des Wareneingangs über einen definierten Zeitraum
- Bibliotheken für das Simulationsmodell zur Abbildung dynamischer Modelle der eingesetzten Elemente (FTF, Übergabestation). Im Rahmen dieses Vorhaben wurden gemeinsam mit dem PA, Anforderungen an ein realistisches Modell für FTF definiert und softwaretechnisch umgesetzt.

Auf Basis dieser Datengrundlage wird das Simulationsmodell (Bild 8, mittig) erstellt, um anschließend Trainingsdaten (Bild 8, mittig und Tabelle 4), also Störungen zu simulieren. Die Trainingsdaten werden automatisch in der vorher definierten Struktur (Bild 6) in eine csv-Datei gespeichert.



**Bild 8: Ablauf zur Erzeugung der Trainingsdaten**

Bild 9 zeigt eine Übersicht der realisierten Elemente des Simulationsmodells im Detail. Die Erläuterungen sind Tabelle 3 zu entnehmen.



**Bild 9: Simulationsmodell im Detail**

**Tabelle 3: Überblick der umgesetzten Elemente im Simulationsmodell**

Element im Simulationsmodell	Funktion
pathfinder	Berechnung der Routen über einen hinterlegten Algorithmus, hier A*
task control	Bildet die Leitsteuerung nach und verantwortet die Auftragsvergabe
logger	Speichert die Störfälle in der definierten Struktur in eine csv-Datei
euro pallet & white good	Beispiel für Transportgut
sink	Senke
source	Quelle / Wareneingang
buffer	Puffer / Regal- und Zwischenlager
agv	FTF

Ein Ausschnitt der erzeugten Trainingsdaten ist in Tabelle 4 dargestellt. Die Struktur der ausgegebenen Datei ist analog zu der entwickelten Struktur aus Bild 6.

**Tabelle 4: Ausschnitt der erzeugten Trainingsdaten**

AGV ID,EventTime,in.angle,center.x,center.y,battery level,load status,error,sensor
AGV #4,00:00:19,-90.0,34500.0,12600.0,98.3051921005,False,FailureTransfer,FRONT=True
AGV #4,00:02:09,-180.0,19100.0,10500.0,98.3023884425,True,FailureTransfer,BACK=True FRONT=True
AGV #4,00:03:29,-180.0,19100.0,10500.0,98.3004665781,False,FailureOptical,FRONT=True
AGV #4,00:05:53,180.0,19100.0,15500.0,98.2964818086,False,FailureTransfer,NULL
AGV #4,00:07:51,0.0,26900.0,31500.0,98.2932366023,False,FailureTransfer,BACK=True
AGV 0001,00:08:48,90.0,25300.0,19400.0,42.3610805541,False,FailureOptical,FRONT=True
AGV 0001,00:10:58,180.0,19100.0,15500.0,42.3576117239,False,FailureTransfer,FRONT=True
AGV #2,00:14:38,45.0,20503.8,2417.48,7.6583246685,False,FailureOptical,FRONT=True
AGV #2,00:17:19,180.0,19100.0,15500.0,7.6538716668,False,FailureTransfer,FRONT=True
AGV 0001,00:20:59,-180.0,19100.0,10500.0,42.3469696581,False,FailureOptical,FRONT=True
AGV 0001,00:23:24,180.0,19100.0,15500.0,42.3429851664,False,FailureTransfer,FRONT=True
AGV #2,00:26:45,90.0,29350.0,13400.0,7.64419998598,False,FailureOptical,NULL
AGV #2,00:28:57,-90.0,34500.0,12600.0,7.6405675889,False,FailureTransfer,FRONT=True
AGV 0001,00:29:00,90.0,32050.0,19400.0,42.3362895128,False,FailureOptical,NULL
AGV 0001,00:31:17,180.0,19100.0,15500.0,42.3327130455,False,FailureTransfer,FRONT=True
AGV #2,00:34:57,90.0,33300.0,25400.0,7.63369749398,False,FailureOptical,NULL
AGV #2,00:37:19,-180.0,19100.0,15500.0,7.63005529951,False,FailureTransfer,FRONT=True
AGV #2,00:40:59,90.0,29350.0,13400.0,7.6251131785,False,FailureOptical,FRONT=True
AGV #3,00:43:01,0.0,5181.1,1562.58,12.7962031229,False,FailureOptical,NULL
AGV #2,00:43:13,180.0,19100.0,15500.0,7.62158986408,False,FailureTransfer,FRONT=True
AGV #4,00:43:21,0.0,26900.0,31500.0,98.2614324915,False,FailureOptical,NULL
AGV #3,00:45:43,180.0,19100.0,13000.0,12.791734595,False,FailureTransfer,RIGHT=True FRONT=True

Auf Basis der definierten Maßnahmen aus Tabelle 2 wurde gemeinsam mit dem PA und Servicemitarbeitern, den Fehlerfällen Lösungsmaßnahmen zugeordnet und gespeichert, um das Expertensystem mit diesen Daten trainieren zu können (Tabelle 5).

**Tabelle 5: Ausschnitt der gespeicherten Lösungsmaßnahmen zu den simulierten Störfällen**

<b>error</b>	<b>Solution</b>	<b>Kommentar</b>
FailureOptical	check Sensor; if obstacle on route remove obstacle; restart agv; else if sensor dusty clean sensor; restart agv; else call service	<i>Fehler, der durch blockierte / gestörte Sensoren entsteht.</i>
FailureTransfer	check load; if load is not positioned correctly position load according to guideline; restart agv; else if load/object/wrapping is blocking sensor position load according to guideline; restart agv; else call service	<i>Fehler, der bei Lastaufnahmevorgängen an Übergabestationen entsteht.</i>
FailureInteraction	check agv position; if agv is blocked due to other agv check job assignment; move agv; if sensor areas are compromised move agv; else if sensor dusty clean sensor; restart agv; else call service	<i>Fehler, der beim Blockieren der FTF untereinander entsteht.</i>

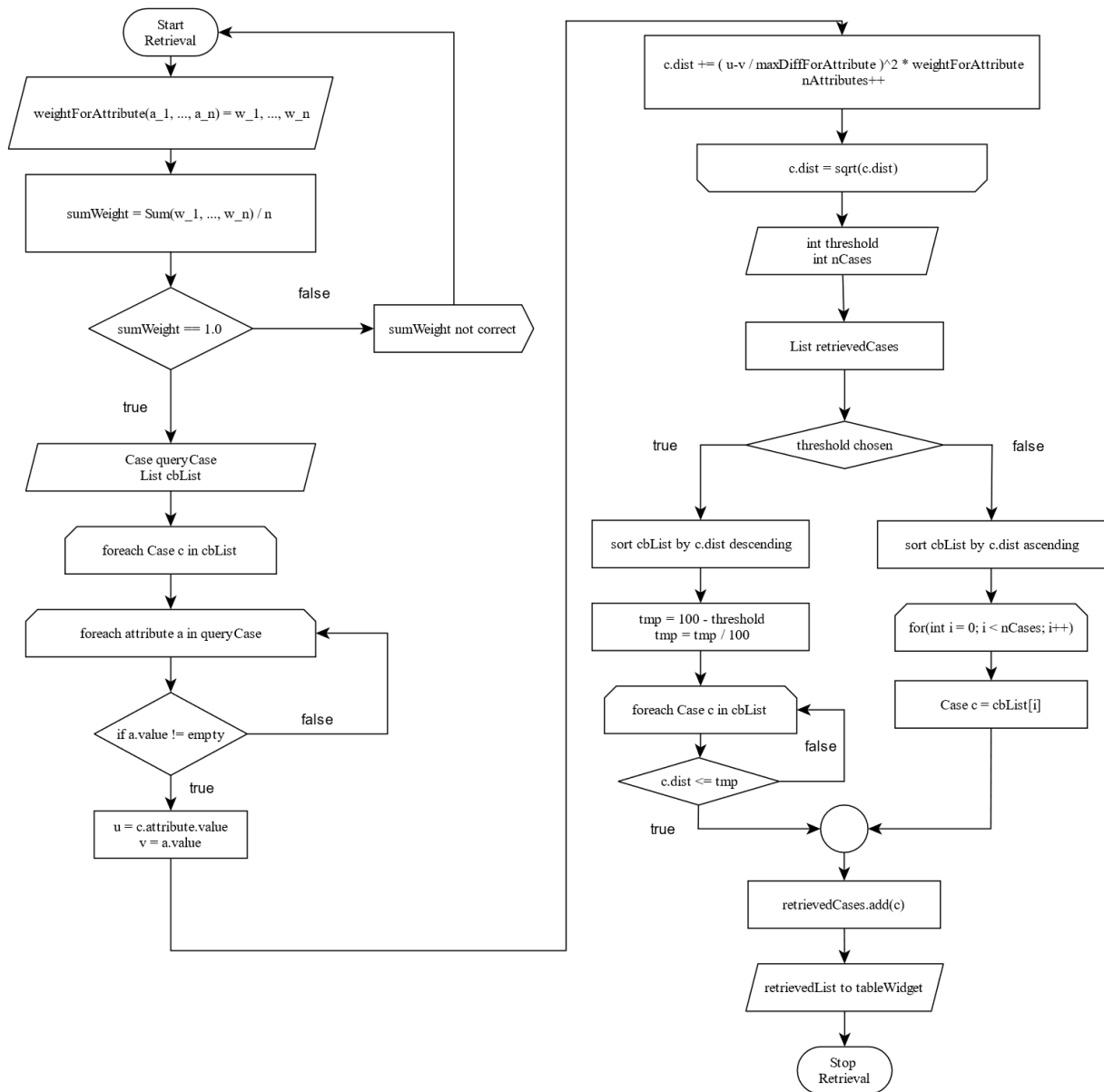
#### **AP 4: Entwicklung des Cased-Based Reasoning Zyklus**

##### *Durchgeführte Arbeiten*

In AP 4 wurden Algorithmen entwickelt, die den Kern des CBR-Expertensystems bilden. Für den ersten Schritt des CBR-Zyklus (retrieval) wurden unterschiedliche Ähnlichkeits- und Distanzmaße analysiert und mit Hilfe der definierten Struktur aus AP 2 getestet. Für die Entwicklung der Adaptionalgorithmen (revise/reuse) wurden Clustering-Algorithmen entwickelt und implementiert. Um bearbeitete Störfälle speichern zu können und so die Wissensbasis stetig zu vergrößern (retain), wurde eine Feedbackfunktion als Dialoglösung softwaretechnisch umgesetzt.

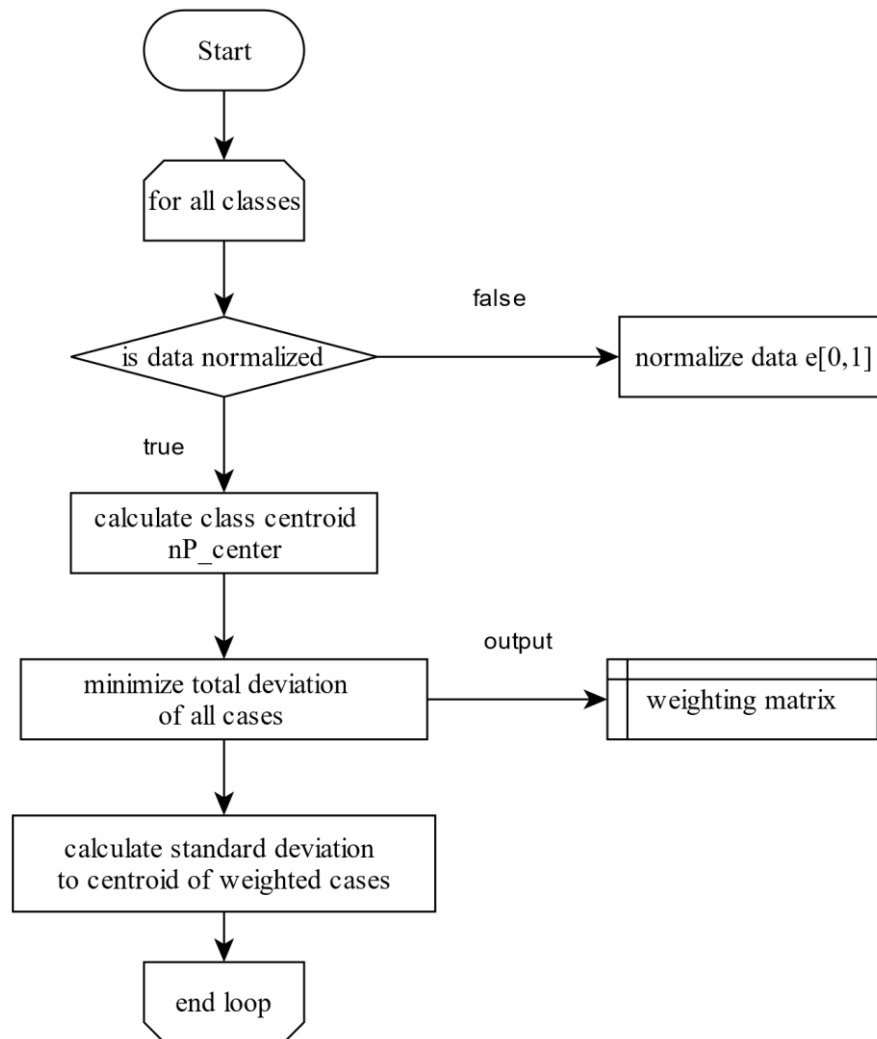
### Erzielte Ergebnisse

Bild 10 zeigt das Ablaufdiagramm zum entwickelten Algorithmus zur Berechnung und Ausgabe der ähnlichsten Fälle zu einem aufgetretenen Störfall. Im ersten Schritt wird die Gewichtung der Attribute geprüft, um anschließend jeden Fall in der Fallbasis mit dem aktuell aufgetretenen Störfall zu vergleichen, indem die euklidische Distanz berechnet wird. Je nach Vorhandensein eines Mindestabstandswertes, werden die ähnlichsten Fälle in eine Liste geschrieben und als csv-Datei gespeichert.



**Bild 10: Ablaufdiagramm des entwickelten Algorithmus zur Ähnlichkeitsanalyse**

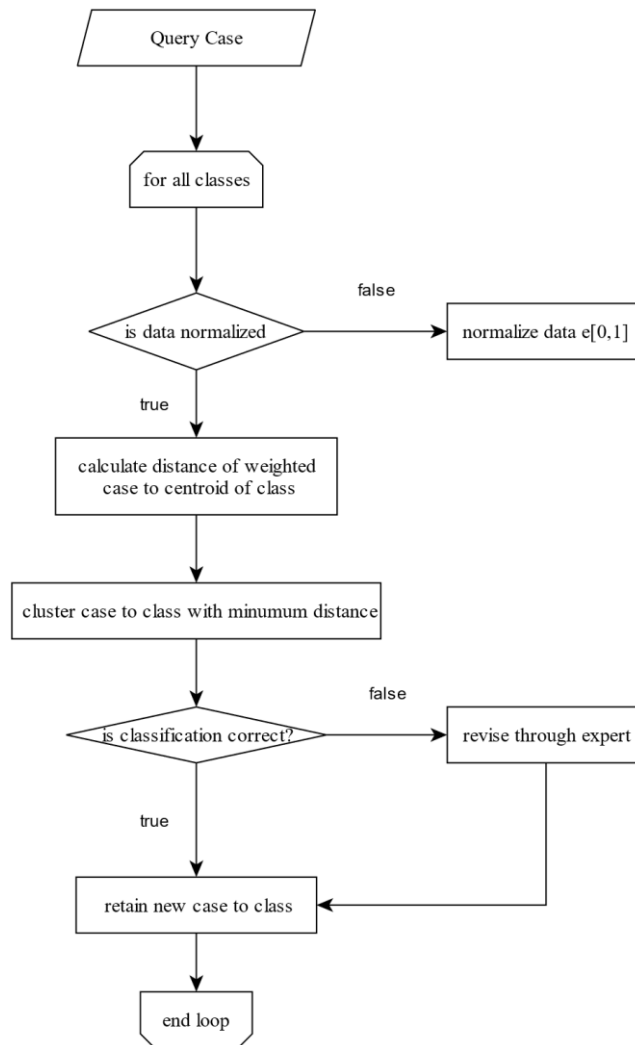




**Bild 11: Ablaufdiagramm zum entwickelten Algorithmus zur Bestimmung der Gewichtungsmatrix**

Da die Signifikanz (Gewichtung) der Attribute (vgl. Bild 6), abhängig von Fehlerklasse (vgl. Bild 5) unterschiedlich sein kann, wurde der in Bild 11 dargestellte Algorithmus entwickelt. Für jede Kategorie (Fehlerklasse, vgl. Bild 3 bis Bild 5) wird der Schwerpunkt auf Basis der vorhandenen Datenpunkte bestimmt, um im Anschluss die Gesamtabweichung zu allen Fehlerfällen zu bestimmen. Als Ergebnis wird eine Gewichtungsmatrix berechnet, mit der sich die Signifikanz der einzelnen Attribute je Fehlerklasse quantifizieren lässt. Abschließend wird mit Hilfe der Gewichtungsmatrix pro Fehlerklasse die Standardabweichung bestimmt. Dieser Algorithmus wird in definierten Intervallen iterativ durchgeführt, da sich mit jedem hinzukommenden Störfall, die Signifikanz der Attribute ändern kann.

Bild 12 zeigt den Ablauf des entwickelten Adaptionalgorithmus auf Basis von Clustering. Außerdem ist die Funktion der Speicherung neuer Störfälle realisiert. Mit Hilfe der aus Bild 11 ermittelten Gewichtungsmatrix wird der Abstand eines auftretenden (neuen) gewichteten Störfalles zum Schwerpunkt jeder Fehlerklasse bestimmt und der Fehlerklasse mit dem geringsten Abstand zugeordnet (clustering) und dem Anwender vorgeschlagen. Mit Hilfe einer realisierten Feedbackfunktion ist es so möglich, bearbeitete Störfälle in die Wissensbasis mit aufzunehmen und diese zu vergrößern.



**Bild 12: Ablaufdiagramm zum entwickelten Algorithmus zur Adaption und Speicherung neuer Störfälle**

## AP 5: Implementierung und Test des Expertensystems

### *Durchgeführte Arbeiten*

Inhalt dieses AP war die softwaretechnische Umsetzung der in AP 4 entwickelten Algorithmen. Zunächst wurden bestehende CBR-OpenSource-Systeme auf ihre Anwendbarkeit im Rahmen des Vorhabens untersucht und bewertet. Anschließend wurde die softwaretechnische Umsetzung des Expertensystems in Form eines funktionalen Anwendungs-Demonstrators in Matlab realisiert und getestet. Einzelne Algorithmen des CBR-Zyklus wurden zunächst in der Programmiersprache Python als Module umgesetzt.

### *Erzielte Ergebnisse*

Tabelle 6 beschreibt die Anforderungen und Tabelle 7 die Metrik, nach denen bestehende CBR-OpenSource-Systeme<sup>1</sup> bewertet wurden. Das Prioritätslevel gibt an, wie groß der Einfluss der

<sup>1</sup> Analysiert und bewertet wurden die beiden Systeme: myCBR ([www.myCBR-project.net](http://www.myCBR-project.net)) und JColibri (<http://gaia.fdi.ucm.es/research/colibri>)

einzelnen Anforderungen ist und ist maßgeblich für eine spätere Gewichtung im Bewertungsprozess.






















**Tabelle 6: Anforderungen an bestehende CBR-OpenSource-Systeme**





Anforderung	Erläuterung
Bedienbarkeit (Priorität 1)	Bedienung und Anwendung des Tools sollen einfach und intuitiv erfolgen können
Verständlichkeit (Priorität 1)	Zu erwartender Programmieraufwand
Bedienungsanleitung (Priorität 1)	Vorhandensein und Qualität
Adaptionsfähigkeit (Priorität 2)	Automatisierte und manuelle Adaptionsfähigkeit
Speichermöglichkeit (Priorität 2)	Erweiterbarkeit der Fallbasis
Beschaffungsaufwand (Priorität 2)	Ressourcen und Kosten
Systemkompatibilität (Priorität 3)	Einsatzmöglichkeit für unterschiedliche Betriebssysteme

**Tabelle 7: Bewertungsmetrik**

Bedienbarkeit (Priorität 1)	1 = Die Bedienung des CBR-Tools ist kompliziert 4 = Die Bedienung des CBR-Tools ist intuitiv
Verständlichkeit (Priorität 1)	1 = Die Programmierung erfordert sehr gute Programmierkenntnisse 4 = Die Programmierung erfordert grundlegende Programmierkenntnisse
Bedienungsanleitung (Priorität 1)	1 = Nicht vorhandene Bedienungsanleitung 4 = Gute Bedienungsanleitung.
Adaptionsfähigkeit (Priorität 2)	1 = Lösungen können nur mit hohem Aufwand adaptiert werden 4 = Lösungen können mit wenig Aufwand adaptiert werden
Speichermöglichkeit (Priorität 2)	1 = Speicherung nur manuell und mit hohem Aufwand möglich 4 = Speicherung geschieht automatisiert
Beschaffungsaufwand (Priorität 2)	1 = Sehr schwierig / hoch 4 = Einfach / niedrig
Systemkompatibilität (Priorität 3)	1 = Aufwendige Installation, nicht betriebssystemübergreifend 4 = Einfach und kompatibel zu mehreren Betriebssystemen

**Tabelle 8: Ergebnis der Analyse und Bewertung der CBR-OpenSource-Systeme**

Anforderung	CBR-OpenSource-System	
	MyCBR	Jcolibri
Bedienbarkeit		
Verständlichkeit		
Bedienungsanleitung		
Adaptionsfähigkeit		
Speichermöglichkeit		
Verfügbarkeit		
Anpassungsfähigkeit		
Parametereinstellung		
Systemkompatibilität		
Gesamtwertung	 / 	

 = 4    = 3    = 2    = 1

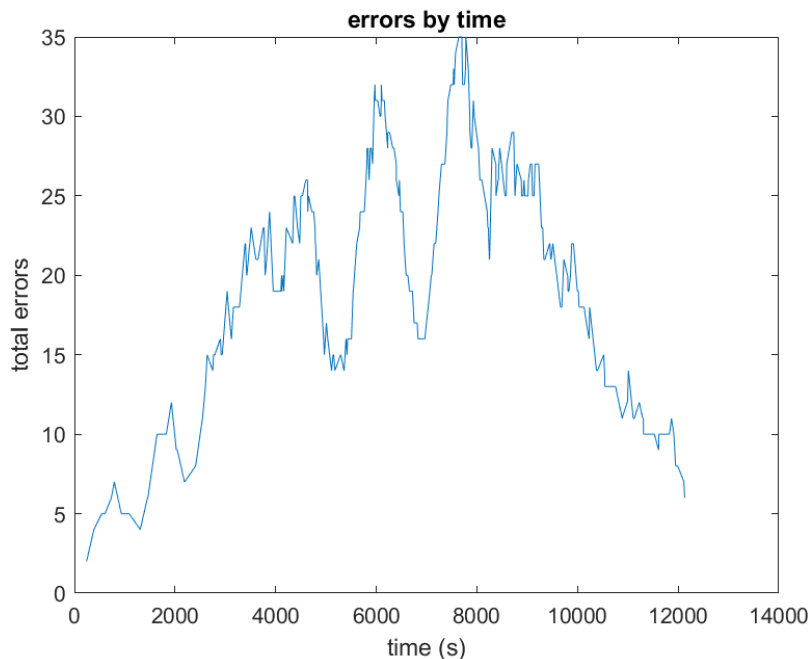
Die bestehenden Systeme konnten die gestellten Anforderungen nicht gänzlich erfüllen (Tabelle 8). Daher wurde im Rahmen dieses Vorhabens die Umsetzung der in AP 4 entwickelten Algorithmen in Form eines eigens entwickelten Anwendungs-Demonstrators in Matlab umgesetzt.

The screenshot displays the FTS-Expert software interface. It is divided into three main sections:

- CaseBase:** A table listing 29 cases with columns for eventCode, ftfid, severity, weekday, hour, minute, and a descriptive text. The text for all cases is "Fahrzeug X meldet: Notstopp aufgehoben. in Segment 10".
- Retrieval:** A form for defining a "New Case". Fields include EventCode (384), FTFID (3), Severity (2), EventTime (06.09.2018 00:00), X-Koordinate (32322), Y-Koordinate (88741), and Ausrichtung FTF (70). There are also sliders for Threshold (set to 68) and a dropdown for k-NN (set to 5). A "Retrieve Cases" button is present.
- Retrieved Cases:** A table showing 15 retrieved cases. Columns include dissimilarity, eventCode, ftfid, severity, weekday, hour, minute, and a descriptive text. The text for all cases is "Fahrzeug 3 meldet N".

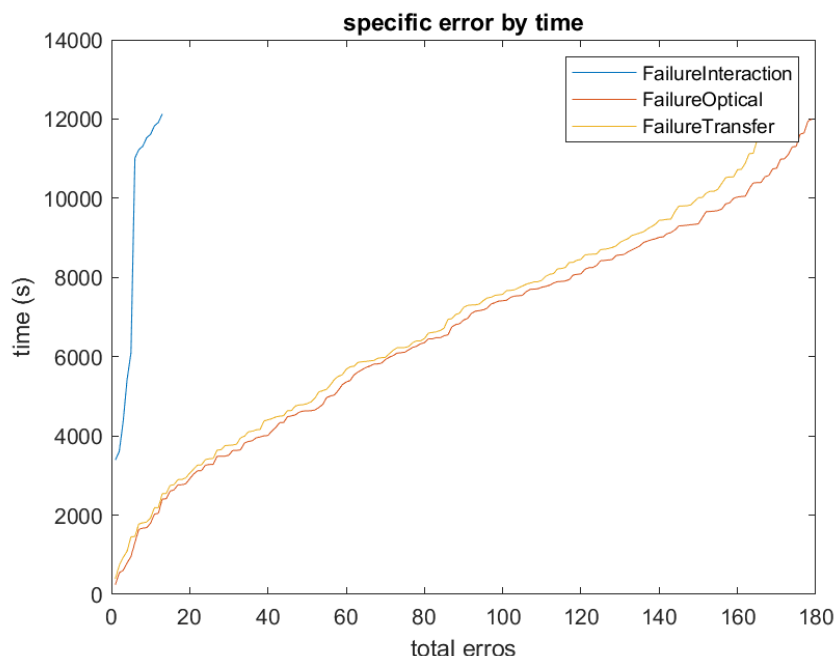
Bild 13: FTS-Expert GUI

Bild 13 zeigt den entwickelten Softwaredemonstrator „FTS-Expert“. Über die Schaltfläche „Load Case Base“ lassen sich Störfälle aus einer abgelegten Datenbank (im csv-Format) in den Softwaredemonstrator laden. Nach Eingabe der Attributwerte unter „New Case“ werden nach betätigen der Schaltfläche „Retrieve Cases“, die dem aktuellen Fall ähnlichsten Fälle berechnet und ausgegeben. Über „Threshold“ kann der Schwellwert für die Mindestähnlichkeit eingestellt werden oder alternativ mit Hilfe des implementierten k-nearest neighbor Algorithmus (k-NN) die Quantität der gefundenen ähnlichsten Fälle limitiert werden. Unter „Retrieved Cases“ werden die ähnlichsten Fälle – abhängig von der gewählten Einstellung (Threshold/k-NN) – mit absteigender Ähnlichkeit gelistet. Um die softwaretechnisch umgesetzten Algorithmen auf Funktionalität und Konsistenz zu prüfen, wurden Testdaten in den Demonstrator geladen und die Ergebnisse mit Hilfe der PA-Mitglieder diskutiert und ausgewertet. Alle Trainings- und Testdaten wurden mittels der in AP 3 beschriebenen Vorgehensweise erstellt. Als Trainingsdatensatz wurden 302 Störfälle erzeugt, analysiert und gelöst. Als Testdatensatz wurden 103 ungesehene Störfälle in den Demonstrator gegeben. Im Folgenden sind die Ergebnisse auszugsweise für die drei Störfälle „FailureInteraction“, „FailureOptical“, „FailureTransfer“ (vgl. Tabelle 5) dargestellt.



**Bild 14: Gesamtzahl der aufgetretenen Fehler über einen Zeitraum von drei Stunden**

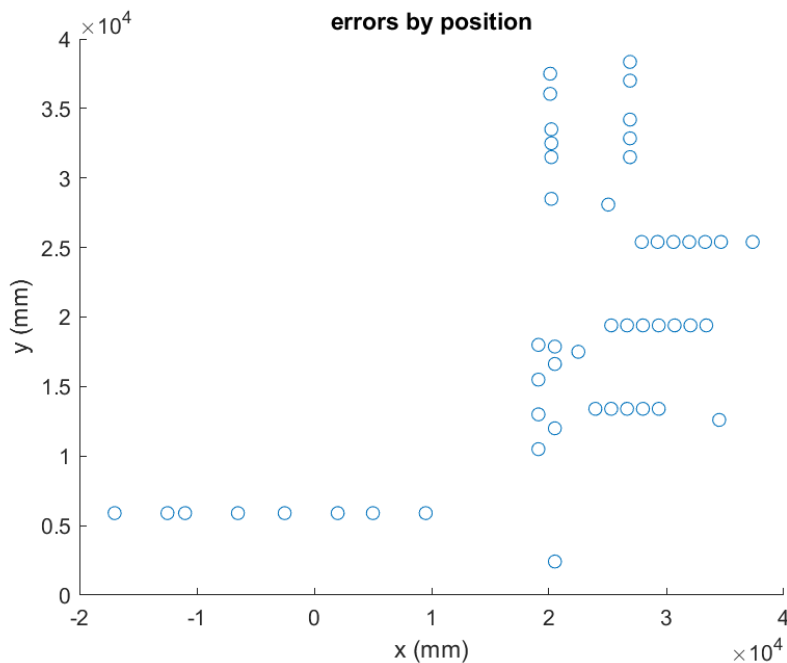
Bild 14 zeigt den Verlauf der Fehler für einen Zeitraum von 3 Stunden. Abhängig von Parametern wie Layout, Transportmatrix, Anzahl eingesetzter Fahrzeuge variiert die Gesamtzahl auftretender Fehler. In dem Beispiel aus Bild 14 geht hervor, dass nach ca. 2 Stunden die maximale Anzahl (34 Fehlerfälle) aufgetreten ist. Grund hierfür ist die Anzahl der Transportaufträge, die zu diesem Zeitpunkt maximal ist.



**Bild 15: Gesamtzahl der aufgetretenen Fehler nach Fehlerart (error) für einen Zeitraum von drei Stunden**

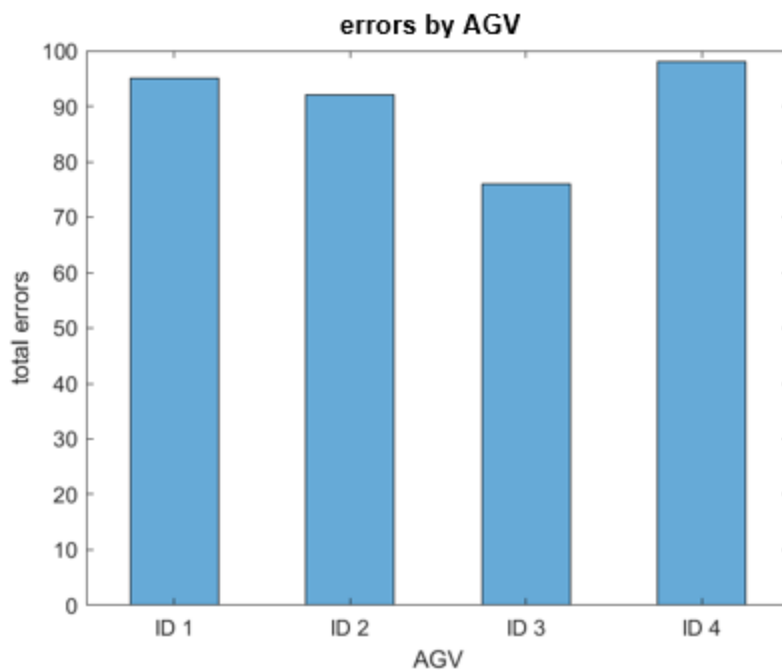
Bild 15 zeigt die Klassifizierung der aufgetretenen Fehler nach Fehlerkategorie und Zeit über der Gesamtzahl der Fehler. Eine Störung der Fahrzeuge untereinander (FailureInteraction) ist

deutlich seltener zu beobachten, was nach Meinung der Mitglieder des PA für eine gute Routenplanung spricht.



**Bild 16: Raumbezogene Darstellung der Störfälle**

Für das untersuchte Layout ist zu erkennen, dass in bestimmten Bereichen des Layouts häufiger Störfälle auftreten. Die in Bild 16 gezeigte Verteilung begründet sich mit der Anzahl der Positionierung der Übergabestationen im Referenzlayout.



**Bild 17: Übersicht der aufgetretenen Fehler nach Fahrzeug (AGV ID)**

Gemäß Bild 17 ist die Bedeutung des AGV ID für das Auftreten von Fehlern nahezu irrelevant (Voraussetzung ist die einwandfreie Funktionsfähigkeit der Fahrzeuge). Dies wurde ebenfalls von den Experten so bestätigt. Die Schwankung der Störfälle bezogen auf die AGV ID ist mit der Aufteilung der Transportaufträge je Fahrzeug zu begründen.

## **AP 6: Validierung**

### *Durchgeführte Arbeiten*

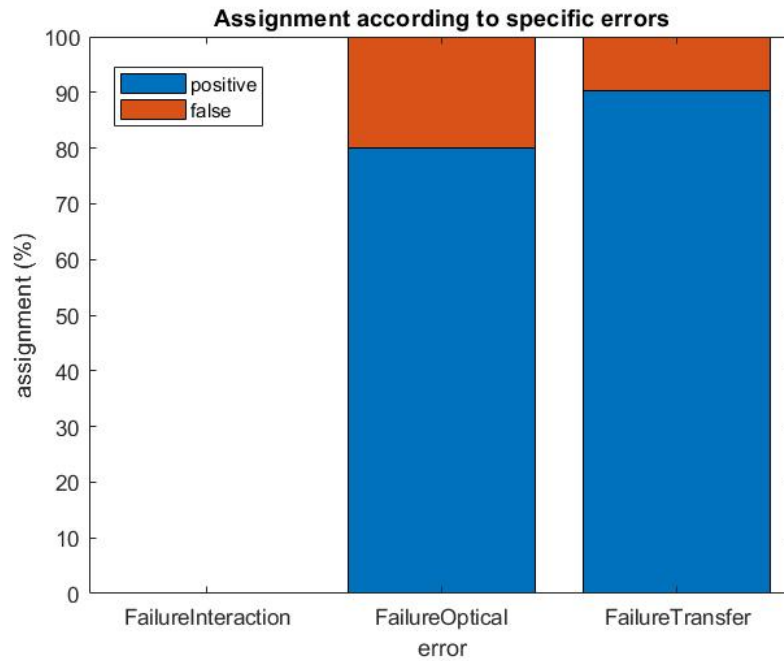
Auf Basis der Ergebnisse aus den vorangegangenen Arbeitspaketen sowie der erzeugten Testdaten, wurde das System mit weiteren Daten der installierten Anlage eines PA-Mitglieds getestet und validiert. Die Ergebnisse wurden mit den Mitgliedern des PA diskutiert und bewertet. Hierzu wurden die gemeinsam definierten Bewertungskriterien herangezogen. Das Referenzszenario ist Tabelle 9 zu entnehmen.

**Tabelle 9: Referenzszenario**

<b>Hallengröße in m<sup>2</sup></b>	<b>Anzahl eingesetzter Fahrzeuge</b>	<b>Anzahl Übergabestationen (Quellen+Senken)</b>	<b>Gesamtzahl an Transporten</b>	<b>Betrachteter Zeitraum in h</b>
2608	7	262	1669	24

### *Erzielte Ergebnisse*

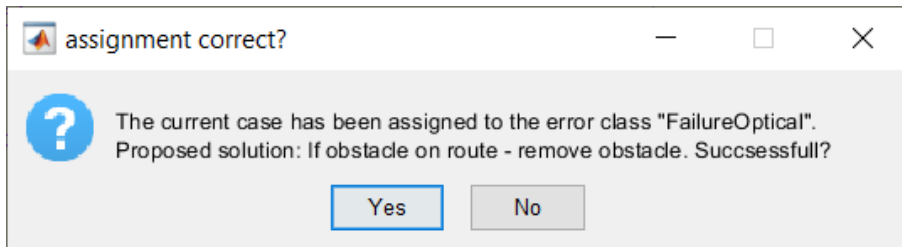
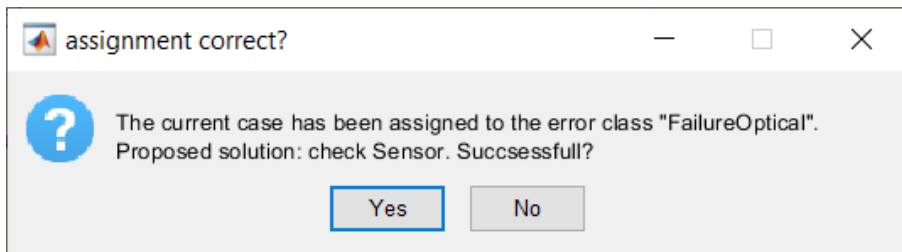
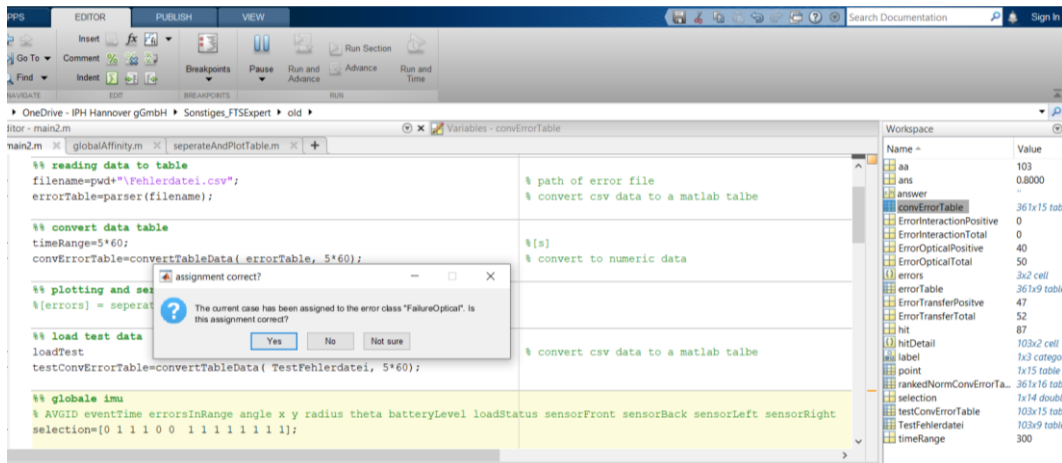




**Bild 18: Ergebnis der Klassifizierung der Testdaten**

Bild 18 zeigt das Ergebnis der Klassifizierung durch das Expertensystem auszugsweise für die Fehlerarten analog zu AP 5. In den Testdaten kamen nur zwei Fehlerarten vor (FailureOptical und FailureTransfer). Das System hat die Klassifizierung der Störfälle für die Kategorie FailureOptical mit ca. 80 % Genauigkeit identifiziert. Für die Störfälle der Kategorie FailureTransfer waren es ca. 90 %. Die Generierung der entsprechenden Lösungsmaßnahmen durch das Clustering hat pro Fehlerfall unter einer Sekunde gedauert. Als Referenz dienten Systemexperten, die zuvor die Störfälle entsprechend klassifiziert hatten.

Um die Wissensbasis des Expertensystems pro bearbeiteten Störfall zu vergrößern (vgl. CBR-Zyklus „retain“), wurde eine Feedbackfunktion in Dialogform softwaretechnisch implementiert (Bild 19).



**Bild 19: Realisierung der Feedbackfunktion des Expertensystems**

Die Handhabbarkeit des Systems aus Anwendersicht wurde durch die PA-Mitglieder als logisch und intuitiv eingeschätzt. Für die Weiterentwicklung des Systems wurde die Integration zusätzlicher Funktionalitäten zur Darstellung der Wissensbasis angeregt.

#### 4. Verwendung der Zuwendung

Ein wissenschaftlicher Mitarbeiter des IPH war im Umfang von 26 Personenmonaten für die Projektbearbeitung verantwortlich. Unterstützt wurde er von einem weiteren wissenschaftlichen Mitarbeiter in einem Umfang von 2 Personenmonaten und einem wissenschaftlich technischen Mitarbeiter in Höhe von 8 Personenmonaten. Während der Projektlaufzeit hat eine studentische Hilfskraft ebenso die Arbeiten im Projekt unterstützt.

## **5. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die in den Haushaltsjahren 2017, 2018 und 2019 durchgeführten Arbeiten entsprechen dem bewilligten Arbeitsplan und waren für die Erreichung der im Projekt angestrebten Ziele notwendig und angemessen.

Mit der Einstellung eines neuen für die Projektbewältigung geeigneten wissenschaftlichen Mitarbeiters startete die Projektbearbeitung mit einer dreimonatigen Verspätung.

Im Rahmen des Tests und der Validierung des entwickelten Expertensystems war die Forschungsstelle stark auf Daten des PA angewiesen. Konkret handelt es sich bei diesen Daten um Layoutinformationen, Transportmatrizen, Auftragsverwaltung etc. die aufgrund der vorher nicht vereinheitlichten Datenstruktur von den teilnehmenden Unternehmen nicht direkt zu erbringen war. Dieser Prozess dauerte bei den Unternehmen des PA länger als geplant, da zunächst eine einheitliche Struktur entwickelt werden musste, um diese Daten simulativ zu erstellen. Um eine valide und aussagekräftige Evaluierung des Expertensystems durchführen zu können, wurde das Projekt daher kostenneutral bis zum 31.12.2019 verlängert.

## **6. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen**

Die Ergebnisse des Projektes wurden in einem funktionalen Anwendungs-Demonstrator in Matlab realisiert und stehen somit den beteiligten Projektpartnern zur Verfügung. Aufgrund der entwickelten einheitlichen Struktur der Störfälle ist ein Einsatz ohne viel Vorwissen und Aufwand möglich. Durch die implementierte Feedbackfunktion und somit Speicherung bearbeiteter Störfälle wächst die Wissensbasis mit jedem bearbeiteten Fall. Aufgrund des modularen Aufbaus des Demonstrators ist es dennoch Herstellern und Anwendern von FTS möglich, Anpassungen an dem Softwaredemonstrator vorzunehmen. Zum Beispiel können Änderungen an der entwickelten Störfallstruktur vorgenommen werden, um bislang nicht berücksichtigte Attribute mit einzubinden. Durch die Nutzung des Expertensystems können Hersteller und Anwender von FTS ihre Anlagen effizienter gestalten, aufgrund der beschleunigten Lösungsfindung bei auftretenden Fehlern. Auch neue Mitarbeiter, speziell im Service- und Wartungsbereich, werden aufgrund der in der Wissensbasis gespeicherten Fälle, bei ihrer Arbeit unterstützt. Dies kommt gerade KMU wegen der grundsätzlich begrenzten Ressourcen sehr entgegen. Die Forschungsergebnisse tragen somit zur Verbesserung und zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU (Hersteller und Anwender von FTS) bei.

## 7. Durchgeführte Transfermaßnahmen

Erste Schritte zum Ergebnistransfer sind während der Projektlaufzeit durchgeführt worden. Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse sind im Anschluss an das Projekt vorgesehen. Über den Austausch zwischen den Forschungsstellen und den Unternehmen des PA sowie weiteren interessierten Unternehmen hat bereits ein erster Wissenstransfer stattgefunden. Tabelle 10 zeigt detailliert die bereits durchgeführten Transfermaßnahmen mit den zugehörigen Zeiträumen. Tabelle 11 zeigt die geplanten Transfermaßnahmen nach Projektende.

**Tabelle 10: Durchgeführte Transfermaßnahmen**

Durchgeführte spezifische Maßnahmen	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Information der Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)	Unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft, Fortschrittsbericht, Diskussion, Festlegungen, Abstimmung, Erfahrungsaustausch innerhalb des PA	1. PA-Treffen	04.07.2017
		2. PA-Treffen	19.07.2018
		3. PA-Treffen	05.09.2019
Publikation der Projektergebnisse im Internet	Informationstransfer und Austausch mit Interessenten aus Industrie und Wissenschaft	Projekt-Homepage ( <a href="http://www.fts-expert.iph-hannover.de">www.fts-expert.iph-hannover.de</a> )	fortlaufend
		IPH-Pressemitteilung	26.06.2017
Wissenschaftliche Publikationen/ Dissertation, in Fachzeitschriften oder sonstigen gedruckten Veröffentlichungen	Internationaler Ergebnistransfer	Konferenzbeitrag und -teilnahme ISSL 2018 “Expert systems for the design support and disturbance management in automated guided vehicle systems”	13.06.2018 – 14.06.2018
		Konferenzbeitrag und -teilnahme WGTL 2019 “Development of a Case-Based Reasoning expert system for the disturbance management in automated guided vehicle systems”	11.09.2019 – 12.09.2019

Durchgeführte spezifische Maßnahmen	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Wissenschaftliche Publikationen/ Dissertation, in Fachzeitschriften oder sonstigen gedruckten Veröffentlichungen	Nationaler Ergebnistransfer	Artikel in Hebezeuge Fördermittel „Automatisierte „Pannenhilfe – Expertensystem zur Reaktion auf Störungen im FTS-Betrieb	Ausgabe 7-8 2017
Information der interessierten Öffentlichkeit	Unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft	Vortrag beim Autonomous Systems University	29.11.2017
Personaltransfer	Qualifizierung von Studierenden	Bachelorarbeit „Untersuchung von Adaptionismethoden in Case-Based-Reasoning Systemen“	20.06.2018 – 22.08.2018
		Bachelorarbeit „Künstliche Intelligenz im Störungsmanagement – Analyse und Validierung anwendbarer Case-Based Reasoning Systeme“	04.01.2018 – 04.07.2018
		Masterarbeit „Untersuchung von Methoden zur Bestimmung des Ähnlichkeitsmaßes beim Case-Based-Reasoning“	27.10.2017 – 26.04.2018

**Tabelle 11: Geplante Transfermaßnahmen nach Projektende**

Geplante spezifische Maßnahmen	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Wissenschaftliche Publikationen/ Dissertation, in Fachzeitschriften oder sonstigen gedruckten Veröffentlichungen	Internationaler Ergebnistransfer	Konferenzbeitrag und -teilnahme WGTL 2021	2021

Geplante spezifische Maßnahmen	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Wissenschaftliche Publikationen/ Dissertation, in Fachzeitschriften oder sonstigen gedruckten Veröffentlichungen	Nationaler Ergebnistransfer	Dissertation an der Leibniz Universität Hannover	2021
Information der interessierten Öffentlichkeit	Unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft	Veröffentlichung des Abschlussberichts über BVL-Homepage	2020

## 8. Einschätzung der Realisierbarkeit des Transferkonzepts

Nach Aussagen der Mitglieder des PA sind die erreichten Ergebnisse ein vielversprechender Ansatz zur automatisierten Reaktion auf Störungen in FTS. Die fortwährende Ansprache potenziell interessierter Unternehmen erscheint daher sinnvoll und realisierbar. Zur Benutzung des entwickelten Demonstrators sind keine Expertenschulungen o. Ä. notwendig.

Die Durchführung eines Pilotprojekts zur Übertragung der Projektergebnisse in die industrielle Anwendung wird zum Zeitpunkt der Berichterstellung mit einem Unternehmen aus dem PA abgestimmt.

Die Anfertigung einer Dissertation ist geplant. Die Ergebnisse des Projekts werden in der Dissertation vertieft und erweitert. In ca. zwei Jahren steht der interessierten Öffentlichkeit eine sehr ausführliche Beschreibung des Expertensystems zur Verfügung.

## **9. Durchführende Forschungsstelle**

Das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH forscht und entwickelt auf dem Gebiet der Produktionstechnik, berät Industrieunternehmen und bildet den ingenieurwissenschaftlichen Nachwuchs aus. Gegründet wurde das IPH 1988 aus der Leibniz Universität Hannover heraus. Bis heute wird es als gemeinnützige GmbH von drei Professoren der Universität geleitet.

### **Leiter der Forschungsstelle:**

### **Geschäftsführende Gesellschafter:**

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer  
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens  
Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

### **Koordinierender Geschäftsführer:**

Dr.-Ing. Malte Stonis

### **Projektleiter:**

Dr.-Ing. Benjamin Küster

### **Anschrift:**

IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH  
Hollerithallee 6  
30419 Hannover

Telefon: +49 511 27976-0

Telefax: +49 511 27976-888

E-Mail: [info@iph-hannover.de](mailto:info@iph-hannover.de)

Internet: [www.iph-hannover.de](http://www.iph-hannover.de)