

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19265 N

Thema

Untersuchungen der Umsetzbarkeit in Bezug auf Flexibilität, Anpassungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von ultraleichten Hängebahnen

Berichtszeitraum

01.01.2017 bis 31.07.2019

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V.

Forschungseinrichtung(en)

Forschungsstelle 1: Technische Universität Dortmund, Fachgebiet Maschinenelemente,
Leonhard-Euler-Str. 5, 44227 Dortmund

Forschungsstelle 2: Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Transportsysteme und -logistik,
Keetmanstraße 3-9, 47058 Duisburg

Dortmund, 19.11.2019

Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne

Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche



Ort, Datum

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

Gefördert durch:

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	Seite 3
2. Gegenüberstellung der durchgeführten Arbeiten und des Ergebnisses mit den Zielen von der Forschungsstelle 1	Seite 3
3. Gegenüberstellung der durchgeführten Arbeiten und des Ergebnisses mit den Zielen von der Forschungsstelle 2	Seite 9
4. Verwendung der Zuwendungen	Seite 17
5. Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	Seite 17
6. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten	Seite 18
7. Fortschreibung des mit dem Antrag vorgelegten Plans zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft	Seite 20
8. Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts	Seite 22
9. Projektzusammenfassung	Seite 22

1. Einleitung

Zur Erleichterung und Beschleunigung des Transports von Gütern und Produkten ist der Einsatz von Elektrohängebahnen in Unternehmen bereits weit verbreitet. Diese Systeme sind allerdings in der Regel stromschienengebundene, aufwendige, teure, schwere und teils unflexible Lösungen. Änderungen des Schienenverlaufes sind nur mit aufwendigen Maßnahmen möglich und oft sehr kostenintensiv.

Ziel dieses iGF-Forschungsvorhabens zwischen der Universität Duisburg-Essen und der TU Dortmund war die Entwicklung und Untersuchung eines flexiblen Elektrohängebahnsystems, was für geringe Lasten geeignet ist. Es soll dazu dienen, längere Transport- und Laufwege in Unternehmen zu überbrücken, indem kleine akkubetriebene Elektrohängebahnen über längere Strecken hinweg Lasten transportieren. Dazu sollten alle notwendigen mechanischen und steuerungstechnischen Komponenten der Transporteinheit an den beiden Forschungsstellen entwickelt werden. Die Transporteinheit soll zudem die komplette logistische und mechanische Steuerung und Sensorik beinhalten. Das Streckensystem soll aus einem flexiblen, kostengünstigen und leicht anpassungsfähigen Führungssystem bestehen sowie einer Ladestation für die Transporteinheit.

2. Gegenüberstellung der durchgeführten Arbeiten und des Ergebnisses mit den Zielen von der Forschungsstelle 1

Ergänzend zu den beiden Zwischenberichten aus dem Jahr 2017 und 2018 sind hier nochmals die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum kurz zusammengefasst.

2.1 Arbeitspaket 1

Durchgeführte Arbeiten

- In verschiedenen Abstimmungsterminen sind die Wünsche der Industrie und deren Umsetzbarkeit erarbeitet worden.
- Dabei wurden unterschiedliche Meinungen von Experten berücksichtigt und sich letztendlich auf konkrete Ziele geeinigt.
- Literaturrecherchen trugen zur Ergänzung der Expertenmeinungen bei.

Erzielte Ergebnisse

- Die Ziele sind in der Anforderungsliste festgehalten und wurden allen Projektbeteiligten zuteil.
- Die Pflege der Anforderungsliste wird kontinuierlich durchgeführt.

2.2 Arbeitspakete 2 bis 4

Durchgeführte Arbeiten

- Um einen großen Pool an Konzeptlösungen zu erhalten, wurden zur Ergänzung von eigenen Ideen studentische Arbeiten vergeben (beispielsweise in Form von Projektarbeiten, Bachelor- und Masterarbeiten), die Teile der projektbezogenen Problemstellung zum Inhalt haben.
- Die behandelten Themen waren z. B. die Erarbeitung von Konzeptlösungen für bestimmte Komponenten des Hängebahnsystems (Fahrwerk / Laufkatze, Weiche / Spurwechselsystem, Akkuladesystem) sowie Untersuchungen zur Umsetzbarkeit von einzelnen Lösungen.
- Die Arbeiten wurden von wissenschaftlichem Personal betreut.

- Auf Basis dieser Arbeiten wurden erste Konzepte ausgearbeitet und erprobt.
- Entwicklung und Aufbau des Führungs- und Schienensystems:
 - Kurven
 - Geraden
 - Steigungen in Auf- und Abwärtsrichtung
 - Seil
 - Übergangsstücke Seil – starre Schiene
 - Ständer
- Entwicklung und Aufbau der passiven Weiche
- Konzeptionierung und erste Umsetzung von Möglichkeiten zur Akkuwechselstation

Erzielte Ergebnisse

- Zu den erzielten Ergebnissen ist insbesondere die Entwicklung des Fahrwerks zu nennen. Aus Erprobungen abgeleitetes Verbesserungspotenzial führte zu einer Ausführung des Fahrwerks, die mittlerweile in der dritten Generation liegt und einen ausgereiften Zustand erreicht hat.
- Untersuchungen ergaben, dass die Verwendung eines Seils als Schiene für die Hängebahn nur bedingt sinnvoll ist.
- Um große Distanzen zu überbrücken wären enorme Kräfte nötig, um einen geringen Durchhang zu erreichen. Diese Kräfte können nur mit erhöhtem Aufwand abgestützt bzw. aufgenommen werden, wodurch die Flexibilität des Hängebahnsystems nicht mehr gegeben wäre. Weitere Untersuchungen finden im Moment an kurzen Seilstrecken statt.
- Kurvenfahrten oder Spurwechselfahrten sind mit einem Seil nicht möglich.
- Als Alternative sind starre Norm-Profile als Schiene geeignet.
- Mit ihnen können Distanzen von bis zu 6 m am Stück überwunden sowie Spurwechsel und Kurvenfahrten realisiert werden.
- Geradeaus- und Kurvenfahrten wurden bereits erfolgreich erprobt.
- Für das Akkuladesystem wird derzeit das Ziel eines automatischen Akkuwechsels verfolgt. Dies hat den Vorteil, dass für die Ladedauer nicht das ganze Fahrwerk ungenutzt bleibt, sondern mit einem vollaufgeladenen Akku sofort wieder einsatzbereit ist.
- Für das Spurwechselsystem wurden mehrere Konzepte entwickelt und bewertet.
- Funktionstüchtiger Versuchsstand mit allen Elementen, die für eine umlaufende Fahrt des Fahrwerks benötigt werden
- Erste funktionstüchtige Weiche, die vollkommen passiv ins System integriert werden kann und vom Fahrwerk selbsttätig gestellt wird

2.3 Arbeitspaket 5

Durchgeführte Arbeiten

- Aufbau eines funktionstüchtigen Demonstrators im Zusammenhang mit der LogiMAT 2018
- Klärung der organisatorischen und räumlichen Voraussetzungen an der LogiMAT 2018
- Planung, Entwicklung und Anpassung des uEHB-Systems an die gegebenen Voraussetzungen
- Ausbesserung von Fehlfunktionen

Erzielte Ergebnisse

- Messetauglicher Demonstrator

- Auftritt auf der LogiMAT
- Präsentation der bisherigen Ergebnisse
- Kontaktherstellung zu Interessenten und Ratgebern

2.4 Arbeitspaket 6

Durchgeführte Arbeiten

- Steigungsversuche, jeweils mit
 - Rechteckprofil
 - Flachprofil
 - Seil
- Dauerversuche zur Haltbarkeit der einzelnen Komponenten
- Untersuchung von verschiedenen Gummibeschichtungen am Laufrad
- Belastungstests

Erzielte Ergebnisse

- Steigungen bis 20° sind möglich
- Funktionen der einzelnen Komponenten (Motor, Steuerung, Mechanik, ...) wurden bestätigt
- Auswahl der am besten geeigneten Gummibeschichtung
- Beladung des Fahrwerks bis zu 20 kg problemlos möglich

Im Berichtszeitraum 2019 sind folgende Arbeiten durchgeführt worden.

2.5 Arbeitspaket 5: Bau eines Demonstrators

Nachdem die Versuchsstrecke mit einer 6 m langen Geraden und einem 6 m Seilabschnitt vergrößert wurde, konnte der aktuelle Versuchsstand auf der Logistikmesse Logistics & Distribution in Dortmund der Öffentlichkeit vorgeführt werden. Zuvor waren noch einige Anpassungsarbeiten für einen reibungslosen Betrieb nötig.

Durchgeführte Arbeiten

- Planung, Entwicklung und Anpassung des uEHB-Systems mit größeren Streckenabschnitten, für 6 m Seil- und Schienenlänge
- Optimierung des Weichensystems und Weichenverstellmechanismus; Einbinden in den Versuchsstand
- Aufbau und Inbetriebnahme eines funktionstüchtigen Demonstrators
- Optimierungsarbeiten

Erzielte Ergebnisse

- Messetauglicher Demonstrator
- Auftritt auf der EMPACK sowie Logistics & Distribution Dortmund 2019 mit vollständigen Versuchsstand Abmessungen HxBxL 2,4 x 3,5 x 7,8 m und ca. 6 m Seilfahrt
- Präsentation der bisherigen Ergebnisse auf Messe in Dortmund und vor PA
- Kontaktherstellung zu Interessenten und Ratgebern





2.6 Arbeitspaket 6: Untersuchungen des Gesamtsystems

Das Gesamtsystem wurde weiter untersucht und hinsichtlich der Schwachstellen optimiert. Dazu wurden vorwiegend Dauerversuche gefahren mit verschiedenen Konfigurationen. Des Weiteren wurden die Steigungsversuche abgeschlossen und zusätzliche Seilversuche durchgeführt, wo die Bahn mit Gewichten an einem Seil unter verschiedenen Winkeln (bis 90°) Höhenunterschiede zurücklegt.

Durchgeführte Arbeiten

- Dauerversuche zur Haltbarkeit der einzelnen Komponenten
- neuer bürstenloser Gleichstrommotor für mehr Energieeffizienz und höhere Geschwindigkeiten
- Belastungstests
- verschiedene Steigungsversuche am Seil

Erzielte Ergebnisse

- beseitigen von Schwachstellen durch Dauerversuche und Belastungstest
- höhere Geschwindigkeiten auf Geraden bis 2 m/s
- Kostenoptimierung durch Versuche mit Kunststofflaufrollen
- Erste Ergebnisse zu Seilfahrten bei Steigungsversuchen

Offene Aufgaben

- Automatische Akkuwechselstation, aktuell im Aufbau, Fertigstellung voraussichtlich Ende 2019
- Erste wirtschaftliche Betrachtung mit möglichen Einsparpotentialen, aktuell in Arbeit, Fertigstellung Anfang 2020
- Vollständige Auswertung der Seilfahrten und Klettereigenschaften der Elektrohängebahn, Thema Motorwahl, Laufradgeometrie, Umschlingungswinkel, Schlupf an den Rollen, maximale Lasten, Fertigstellung Anfang bis Mitte 2020
- Sicherheitskonzepte zum Thema Elektrohängebahn, was kann vereinfacht werden um Kosten und Aufwand einzusparen, wo liegen die Probleme und die Chancen
-> mögliches Folgeprojekt zusammen mit dem TÜV und Berufsgenossenschaften

2.7 Arbeitspaket 7: Ergebnistransfer und -dokumentation

Der Versuchsstand und das Konzept uEHB wurde 2018 auf der LogiMAT in Stuttgart und 2019 auf der EMPACK / Logistics & Distribution in Dortmund dem Fachpublikum vorgeführt. Zusätzlich wurde am 11. und 12. September am Fachkolloquium der WGTL in Rostock mit einer Posterpräsentation und einer Veröffentlichung im Tagungsband teilgenommen. Aktuell sind noch weitere Veröffentlichungen geplant. Die Demonstratorstrecke an der TU Dortmund soll für mindestens 2 Jahre weiter betrieben werden für weitere Live-Präsentationen (z.B. für interessierte Firmen, Studierende) und für weitere Erprobungsfahrten (neue Ideen, neue Komponenten sowie für Versuche für ein Folgeprojekt).

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

- Messeauftritt LogiMAT in Stuttgart 2018
- Messeauftritt EMPACK / Logistics & Distribution in Dortmund 2019

- Posterpräsentation auf dem WGTL-Fachkolloquium 2019 in Rostock
- Veröffentlichung/ Beitrag im Tagungsband WGTL-Fachkolloquium 2019 in Rostock
- Zwischenbericht 1
- Zwischenbericht 2
- Noch offen: Sachbericht

Alle Arbeitspakete aus dem Projektantrag wurden bearbeitet.

3. Gegenüberstellung der durchgeführten Arbeiten und des Ergebnisses mit den Zielen von der Forschungsstelle 2

Ergänzend zu den beiden Zwischenberichten aus dem Jahr 2017 und 2018 sind hier nochmals die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum kurz zusammengefasst.

3.1 Arbeitspaket 1

Durchgeführte Arbeiten

- basierend auf Standard EHB-Systemen und gemeinsam mit den Projektpartnern wurden die logistischen Anforderungen des neuen uEHB-Systems geklärt und definiert
- Expertenmeinungen wurden nachgefragt und zusammengefasst
- Literaturrecherchen und geltende Normen und Richtlinien wurden aufgearbeitet

Erzielte Ergebnisse

- die technischen und operativen logistischen Anforderungen wurden gemeinsam festgestellt
- ein Pflichtenheft für die steuerungstechnische Umsetzung wurde erstellt
- die Sicherheitsanforderungen wurden festgestellt

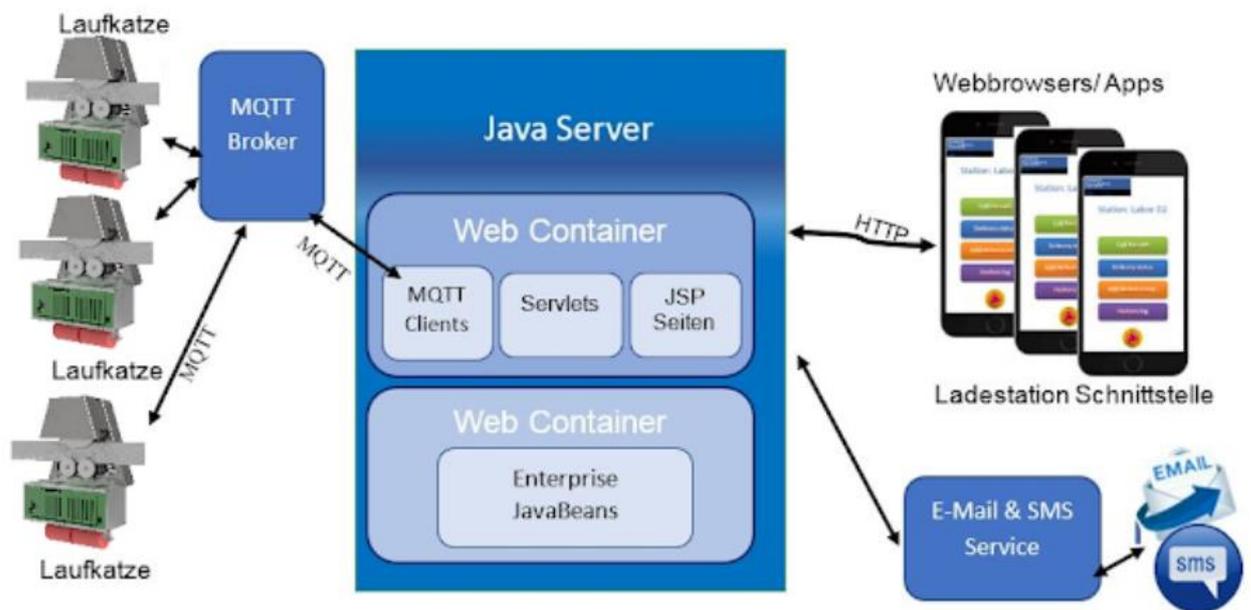
3.2 Arbeitspakete 2 bis 4

Durchgeführte Arbeiten

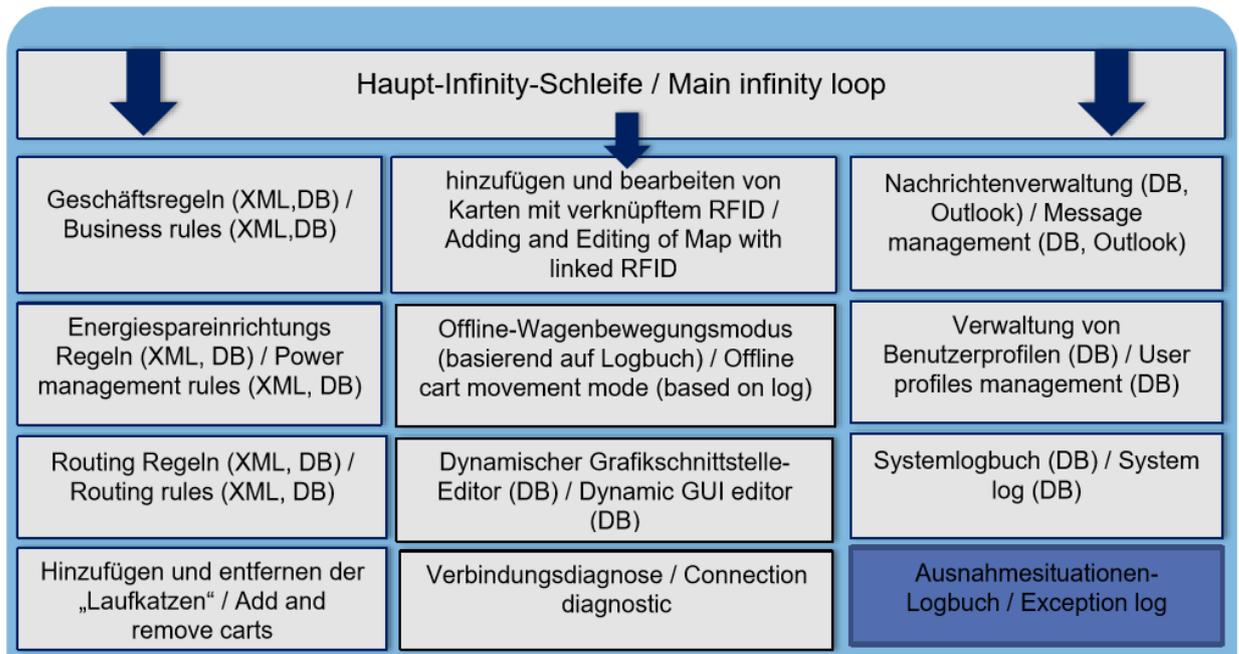
- Viele Varianten von Streckenlayouts und Befestigungskonzepten wurden untersucht und entwickelt.
- Eine technische und wirtschaftliche Auswertungs-Analyse wurde durchgeführt, um das beste Lösungskonzept zu finden, welches die erarbeiteten Anforderungen erfüllt.
- Um die Konzepte zu visualisieren wurden mehrere Animationen und Simulationen durchgeführt.
- In Rahmen konstruktiv-mechanischer Lösungen wurden Drehmagnete ausgewählt, Sicherheitsschloss-Konzepte und ein Strecken-Hebe- und Senk-System entwickelt.
- Im Rahmen der Systemkommunikation Forschung wurden Informationen über elf drahtlose Kommunikationstechnologien recherchiert, analysiert und die passendste Lösung gewählt. Die Erweiterung des drahtlosen Signales wurde untersucht und beschrieben. Die Laufkatze und der zentrale Serververhalten-Algorithmus bei Verlust der drahtlosen Verbindung wurden ausgewählt.
- Auf Basis dieser Arbeiten wurden erste Konzepte ausgearbeitet sowie Literaturrecherchen und Kalkulationen durchgeführt, des Weiteren Angebote eingeholt zu den Komponenten.

Erzielte Ergebnisse

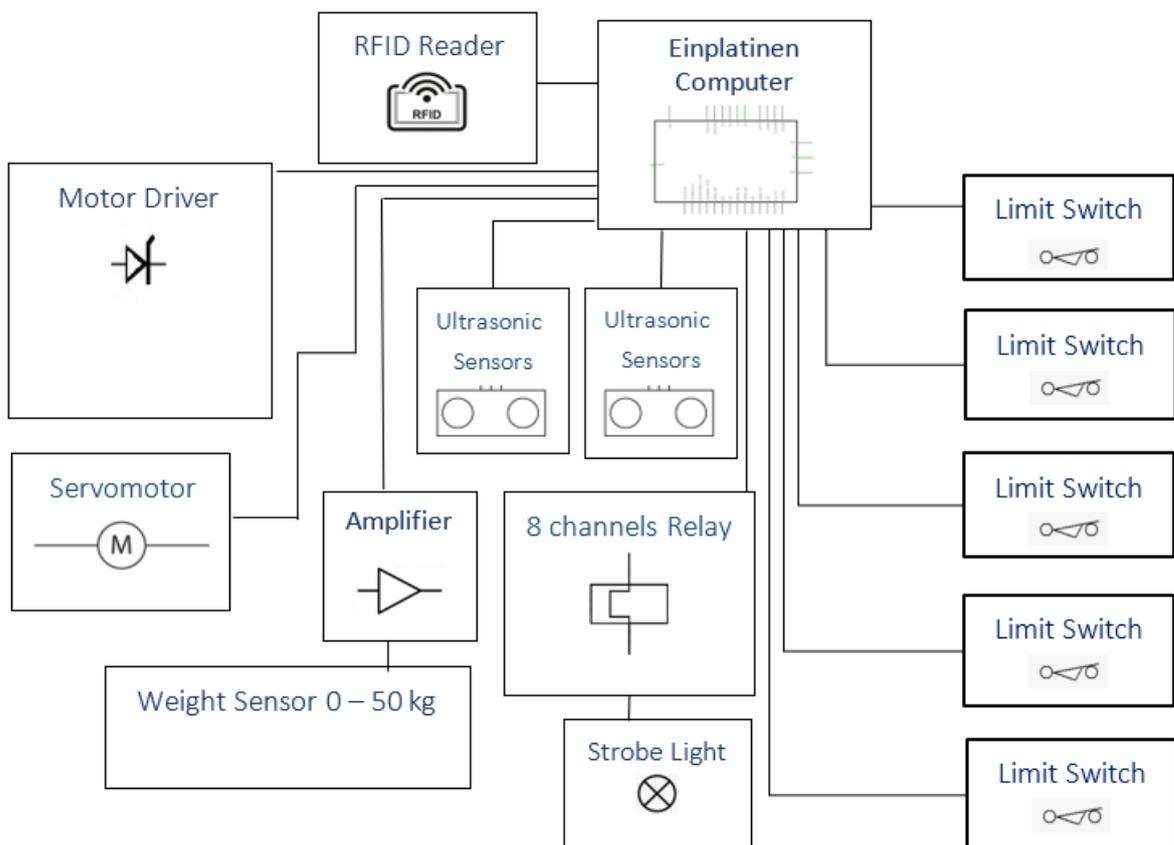
- Eine gemeinsame Entscheidung über das Streckenprofil, Streckenlayout und Befestigungskonzepte wurde getroffen.
- Ein weiterentwickeltes Ein- und Ausschleuse-Weichensystem wurde als Passiv-Weichenkonzept entwickelt.
- Im Rahmen konstruktiv-mechanischer Lösungen wurde ein Drehmagnet statt eines Elektromotors als Aktor ausgesucht, weitere Sicherheitsschloss-Konzepte sowie die Streckenkonzepte zum Heben und Senken der Last wurden bestimmt.
- Das System-Netzwerk-Konzept wurde in Form von System-Netzwerk-Diagrammen zusammengefasst.



- Das Laufkatzen-Echtzeit-Steuerungskonzept wurde entwickelt und als Laufkatzen-Echtzeit-Steuerungsdiagramm zusammengefasst. Entwicklung eines Client-Server Modells, welches Datenbanken und zwei getrennte Netzwerke für die Ladestation und die Laufkatzen beinhaltet.



- Die elektronischen Komponenten für die Laufkatze wurden validiert, zusammengefasst und unter Berücksichtigung der Beziehung zwischen den Komponenten entworfen.



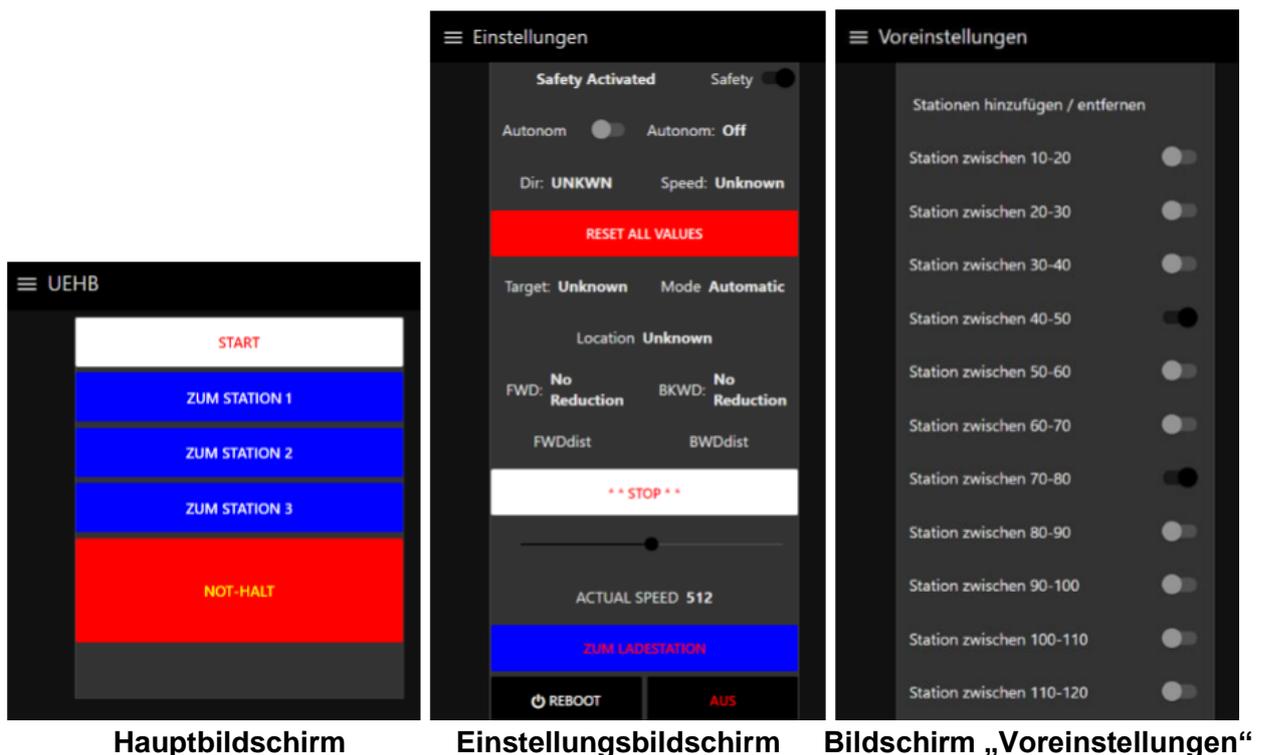
3.3 Arbeitspaket 5

Durchgeführte Arbeiten

- Neue elektronische Komponenten wurden für die Laufkatze beschafft, getestet und ins Gesamtsystem integriert.
- Die Einrichtung der Steuerung wurde durch eine Client-Server-Architektur in universeller Weise implementiert.

Erzielte Ergebnisse

- Die neue Version der Laufkatze beinhaltet folgende Komponenten: Raspberry Pi, Einplatinencomputer, Arduino Controller, Ultraschallsensoren zwecks Kollisionsvermeidung, Gleichspannungswandler zur Spannungswandlung von 24 V auf 5 V für Arduino, Gleichstrommotor, Motortreiber, Akku, Notausschalter, Ultrahochfrequenz RFID Leser zwecks grober Positionierung, Magnetsensor für eine präzise Positionierung und RFID Tags entlang der Strecke.
- Die Beta Version des Steuerungssystems mit der vollautonomen Fahrt, dem Sicherheitsmodul, der Initialisierung der Position nach dem Start, dem Selbstdiagnosemodul und dem Kommunikationsmodul wurde erfolgreich entwickelt.
- Die Steuerung der Laufkatze kann durch ein Mobilgerät, einen PC oder ein Tablet durchgeführt werden.
- Die Kommunikation der einzelnen Anlagenteile untereinander ist durch WiFi realisiert worden.



Hauptbildschirm

- Der Voreinstellungsbildschirm enthält die Taste „Start“, die für die Initialisierung der Laufkatze zu verwenden ist.
- Die Stationstasten „Zur Station ...“ sind für die Navigation zwischen den Stationen geeignet
- Die „Not-Halt“ Taste bewirkt das Stoppen und setzt alle vorherigen Voreinstellungen zurück.

- Während der Initialisierung verlangsamt sich die Laufkatze bis zum ersten RFID Transponder aus Sicherheitsgründen.
- Nach der Initialisierung ist die Laufkatze bereit die Befehle des Nutzers auszuführen.

Bildschirm „Einstellungen“

- Der Bildschirm „Einstellung“ enthält den Status des Sicherheitsmoduls und verfügt über die Fähigkeit dieses Modul auch zu deaktivieren.
- Es besteht die Möglichkeit zwischen einem autonomen und einem manuellen Fahrmodus umzuschalten.
- Die aktuellen Richtungs- und Geschwindigkeitsparameter sowie die Zielstation und die aktuellen Standortparameter werden hier angezeigt.
- Die Geschwindigkeitsreduzierung kann mit Hilfe der Tasten „FWD“ und „BKWD“ durchgeführt werden.
- Im Falle von Hindernissen auf der Route reduziert sich die Geschwindigkeit automatisch.
- Mit dem Geschwindigkeits-Schieberegler kann die Laufkatze im manuellen Modus mit verschiedenen Geschwindigkeiten in beide Richtungen bewegt werden.
- Die „Ladestation“ Taste schickt die Laufkatze im manuellen Modus zur Ladestation.
- Der Einstellungsbildschirm enthält auch die Schaltflächen „Neustart“ und „Herunterfahren“, mit denen der Controller der Laufkatze neu gestartet oder heruntergefahren wird.

Bildschirm „Voreinstellungen“

- Der Bildschirm „Voreinstellungen“ enthält eine Dynamics-Funktion, mit der der Bediener des Systems die Standardgeschwindigkeiten im automatischen Modus ändern kann, ohne Codeänderungen auf der Controller-Seite vornehmen zu müssen.
- Die Geschwindigkeit zwischen zwei RFID-Transpondern kann individuell eingestellt werden.
- Die Geschwindigkeit kann in 5 Stufen geregelt werden, wodurch eine sehr feine Abstimmung der optimalen Geschwindigkeit für jeden Teil der Route ermöglicht wird.
- Mit der zusätzlichen Dynamic-Funktion werden Stationen zwischen zwei RFID Transpondern hinzugefügt oder entfernt.
- Der Benutzer des Systems kann jede Station aktivieren oder deaktivieren, ohne Änderungen an der Steuerungssoftware vornehmen zu müssen.

3.4 Arbeitspaket 6

Durchgeführte Arbeiten

- Bei der Konzipierung der Steuerung ist ein Kollisionsschutz vorgesehen. Hardwaretechnisch erfolgt dieser mit Ultraschallsensoren.
- Die technischen Funktionalitäten, insbesondere aus logistischer Sicht, wurden gemäß dem zu erstellenden Versuchsplan erprobt.
- Die vollautonome Fahrt, das Sicherheitsmodul, die Initialisierung der Position nach dem Start, das Selbstdiagnosemodul und das Kommunikationsmodul wurden getestet, verbessert, ergänzt und in Betrieb genommen.
- Die Szenarien für den Notbetrieb wurden entwickelt und erprobt.

Erzielte Ergebnisse

- Die aktuelle Version des Steuerungssystems ist voll funktionsfähig.

Im Berichtszeitraum 2019 sind folgende Arbeiten durchgeführt worden.

3.5 Arbeitspaket 5: Bau eines Demonstrators

In der Vorbereitungsphase wurden verschiedene Steuerungsmethoden getestet: SPS- und Mikrocontrollerbasierte-Ansätze. Empfohlen haben sich Mikrocontrollerbasierte-Ansätze. Mehrere Navigationsalgorithmen wurden untersucht, um einen passenden zu finden und diesen weiter zu entwickeln, der für mehrere Laufkatzen geeignet ist. Für die Lokalisierung, zwecks Berechnung des optimalen Pfades suchten wir RFID Methoden aus. Für die präzise Lokalisierung wurde ein Magnetsensor ausgewählt. Das Systemdesign basiert auf einem Server-Client-Konzept. Verschiedene drahtlose Netzwerk-Kommunikationsmethoden wurden ausprobiert und der Funknetzwerkstandard Wi-Fi ausgewählt. In der letzten Phase des Projekts wurden mehrere Software-Überprüfungen durchgeführt. Als Folge wurde im Controller das Ersetzen der GUI durch Linux ersetzt, sodass das System mehrere Betriebsstunden einwandfrei funktionieren konnte und auf der Logistikmesse EMPACK Dortmund 2019 in Dortmund präsentiert werden konnte.

Durchgeführte Arbeiten

- Erprobung verschiedener Lokalisierungsmethoden: RFID, Barcode, Tracking Movements, UHF RFID.
- das Erzeugen der GUI wurde durch Linux ersetzt
- das Hinzufügen passiver Endschalter und aktiver Ultraschallsensoren
- Aufbau und Implementierung der neuen Elemente

Erzielte Ergebnisse

- Die Kombination aus UHF-RFID und Magnetsensor wurde ausgewählt, um die Bewegung auf der Strecke und das genaue Anhalten der Laufkatze an der Station und an der Kreuzung (Weiche) zu realisieren. Auswahl, Beschaffung und Integration von neuen Hardware-Elemente und Abändern der Software, damit diese unter Linux in Betrieb genommen werden konnte. Schreiben von Steueranwendungen, Entwicklung einer Webschnittstelle.
- Der Prototyp ist beständig gegen Staub, Dunkelheit und kleine mechanische Erschütterungen
- Vollautomatisches Routing wurde auf der Messe vorgestellt EMPACK Dortmund 2019
- Aktive und passive Kollision-Vermeidung wurde demonstriert
- Der stabile und robuste Systembetrieb wurde erreicht
- Die verbesserte Version des Steuerungssystems wurde installiert
- Präsentation der bisherigen Ergebnisse auf der Messe EMPACK Dortmund 2019 und Kontaktherstellung mit Interessenten

3.6 Arbeitspaket 6: Untersuchungen des Gesamtsystems

Nach der Präsentation auf der Messe wurden einige Funktionen als nicht optimal befunden. Die neue intuitive Benutzeroberfläche wurde zur Weiterentwicklung eingefügt, um das vollautomatische Routing zu implementieren. Eine zusätzliche Initialisierung der Funktionalität ist

nun erforderlich, um nach dem Herunterfahren des Systems oder nach einem Routenfehler weiterhin unktionsfähig zu bleiben.

Durchgeführte Arbeiten

- Die Initialisierungsfunktion und eine physische Schaltfläche wurden an beide Laufkatzen hinzugefügt.
- jeder „Arbeitsplatz“/ Stadion besitzt nun eine Remote-Taste mit WiFi-Konnektivität
- Das Webinterface wurde in „Standard“ und „Fortgeschritten“ unterteilt
- Die neue Teststrecke in Duisburg wurde für interne Tests gebaut
- Optimierung des zentralen Servers durch Einrichten eines Laufkatzen-Masters und andere Slave-Systeme
- Tests mit angeschlossener IP-Kamera

Erzielte Ergebnisse

- Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit
- Steuerung der Laufkatze mit Hilfe von physischen Knöpfen, ohne Webinterface
- Verbesserung des präzisen Haltens an Stationen
- die Echtzeitüberwachung mit einer IP-Kamera wurde ermöglicht

3.7 Arbeitspaket 7: Ergebnistransfer und -dokumentation

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

- Homepage-Entwicklung www.uehb.de

The screenshot shows the homepage of the Ultraleichtes Elektrohängebahnsystem (UEHB). At the top, there is a navigation bar with the UEHB logo and the text "Ultraleichtes Elektrohängebahnsystem". Below this, there are two columns of text and portraits. The left column identifies Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne, associated with the Technische Universität Dortmund, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Elements (FG ME). The right column identifies Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche, associated with the University of Duisburg-Essen, Faculty of Engineering Sciences, Chair of Transport Systems and Logistics (TuL). Below the portraits is a decorative banner with a blue grid pattern. Underneath the banner, the text "Ultraleichtes Elektrohängebahnsystem" is repeated. A navigation menu includes "Einleitung". The "Förderung" (Funding) section features logos for the German Federal Government (Bundeministerium für Wirtschaft und Energie), AIF, IGF, and BVL, with a note that the project is funded by a resolution of the German Bundestag.

- Messeauftritt LogiMAT in Stuttgart 2018



- Messeauftritt EMPACK in Dortmund 2019



- Videoaufnahme und Bearbeitung
- Posterpräsentation auf dem WGTL-Fachkolloquium 2019 in Rostock
- Veröffentlichung/ Beitrag auf dem WGTL-Fachkolloquium 2019 in Rostock
- Zwischenbericht 1
- Zwischenbericht 2
- Noch offen: Sachbericht

Alle Arbeitspakete aus dem Projektantrag wurden bearbeitet.

4. Verwendung der Zuwendungen

von der Forschungsstelle 1:

- Innerhalb des betrachteten Berichtszeitraumes (2017 – 2019) wurden 20,1 Personenmonate von wissenschaftlichem Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans) für das Projekt aufgewendet (siehe auch Anlage Nachweis bZ).
- Wissenschaftliche Hilfskräfte unterstützten insgesamt 12,9 Monate lang mit jeweils 7,5 h bis 17 h pro Woche innerhalb des Berichtszeitraumes (2017 – 2019) (siehe auch Anlage Nachweis bZ).
- Für Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans) wurden keine nachzuweisenden Kosten aufgewendet.
- Für Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) wurden keine nachzuweisenden Kosten aufgewendet.

von der Forschungsstelle 2:

- Innerhalb des betrachteten Berichtszeitraumes zwischen 2017 und 2019 wurden 23,5 Personenmonate von wissenschaftlichem Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans) für das Projekt aufgewendet (siehe auch Anlage Nachweis bZ).
- Wissenschaftliche Hilfskräfte unterstützten insgesamt 2,15 Personenmonate lang mit 19 h pro Woche innerhalb des Berichtszeitraumes (2017 – 2019) (siehe auch Anlage Nachweis bZ).
- Für Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans) wurden keine nachzuweisenden Ausgaben aufgewendet.
- Für Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) wurden keine nachzuweisenden Ausgaben aufgewendet.

5. Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Förderantrag geplanten Arbeitsaufwände und Inhalte konnten in nahezu allen Arbeitspunkten für den Berichtszeitraum (2017 - 2019) erbracht werden. Die Projektlaufzeit wurde auf Wunsch der beiden Forschungseinrichtungen um weitere 7 Monate verlängert bis zum 31.07.2019, um weitere ausführliche Evaluierungen und Tests am Gesamtsystem durchführen zu können.

Die gute Zusammenarbeit der beiden Forschungseinrichtungen im Rahmen des Projektes zeigt die technische Machbarkeit des Vorhabens und der Umsetzung der grundlegenden Idee einer ultraleichten Elektrohängebahn. Ziel war es eine leichte, kostengünstige, einfache, schnell erweiterbare und automatische Transporteinheit auf Akkubasis zu realisieren. Durch die Komplexität der zu Beginn des Projektes neuen Aufgabenstellung und insbesondere die Notwendigkeit der interdisziplinären Forschung und Entwicklung wäre eine alleinige Tätigkeit durch einen Industrie-, Entwicklungs- oder Forschungspartner im Projektvorhaben, neben all den Verbindlichkeiten des Tagesgeschäftes, nur mit großen Risiken und Zeitaufwendungen durchführbar gewesen. Hierzu sind Kompetenzen aus dem Bereich der Logistik, Maschinenbau, Konstruktion und Steuerungstechnik sowie Informationstechnologie der Logistiksysteme erforderlich. Die beiden Forschungsstellen setzen sich aus unterschiedlich fokussierten Experten dieser Bereiche zusammen und werden durch den projektbegleitenden Ausschuss ergänzt.

Durch diese besondere Zusammenstellung konnte ein Konsortium von verschiedenen Disziplinen erreicht werden, die ohne ein derartiges Projekt nicht möglich gewesen wäre.

Die Vergabe und Koordination der einzelnen Aufgaben wurde von dem wissenschaftlichen Mitarbeiter übernommen. Zudem brachte er seine Kenntnisse und Ideen in die Lösungsfindung mit ein.

Die wissenschaftlichen Hilfskräfte unterstützten vor allem in der Fertigung und Erprobung der bisher entwickelten Systemkomponenten. Darüber hinaus lieferten Sie Impulse für die Entwicklung bzw. Optimierung.

Dadurch konnten nennenswerte Fortschritte in der Entwicklung der uEHB erzielt werden. Die beiden Forschungsstellen können nach Projektende einen funktionierenden Demonstrator präsentieren, der die oben genannten Ziele verwirklicht.

6. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten

Der technische Nutzen des Elektrohängebahnprojektes, welches zw. der Technischen Universität Dortmund und der Universität Duisburg-Essen entstanden ist, wird als mittel bis hoch eingeschätzt. In den 2,5 Jahren Projektzeitraum konnte ein erster funktionierender Demonstrator entwickelt werden, welcher alle gestellten Forderungen grundsätzlich erfüllt. Ziel war es für KMUs ein vor allem kostengünstiges Transportsystem zu schaffen, was lange Transportwege mit Massen bis 20 kg realisiert. Die Kosteneinsparung ist vorwiegend realisiert worden durch ein universelles und flexibles Streckenführungssystem aus Stahl-Normprofilen und möglichen Seilabschnitten ohne Strom und ohne Aktuatoren.

Im Folgenden sind die erreichten Ergebnisse für die KMUs aufgelistet.

Innovation

- parallele Benutzung des Führungssystems durch mehrere Laufkatzen
- Geschwindigkeit 1 – 2 m/s sowohl vorwärts als auch rückwärts
- alle Aktuatoren und Sensoren sowie die komplette Steuerungstechnik sind in der Laufkatze enthalten
- Völlig autark agierende Transporteinheit, ca. 16 h Akkubetrieb
- Weichenverstellung allein durch Laufkatze
- Drahtlose Kommunikation untereinander und mit Leitrechner
- Nutzung der gegebenen Hallenstruktur
- Modulares Führungssystem: kostengünstiger Baukasten aus Seilen und Normprofilen; Streckenänderungen jederzeit und einfach realisierbar

Anwendungen

- Transport leichter Lasten bis 20 kg, Eigengewicht < 20 kg
- Überbrückung längerer Transportwege sowie von Neigungen bis 20°
- Ver- und Entsorgung an Arbeitsplätzen (Werkzeuge, Dokumente, Ersatzteile, Proben, Muster usw.)
- kurzfristige Versorgung (Baustellen, kurzzeitige Produktionslinien)
- Überwachung von Flächen und Anlagen (Kameras, Sensorik)
- Mögliche Nutzung als Sicherheitseinrichtung

Chancen für KMUs

- Geringe Anschaffungs- und Betriebskosten aufgrund der kleinen zu bewegenden Massen
- Hohe Anpassungsmöglichkeit, beispielsweise für den Einsatz bei der Produktion von Kleinserien
- Vielfältige Nutzung des Systems bietet breites Einsatzspektrum (Transport, Überwachung, Sensorträger usw.)
- Durch hohe Flexibilität auch Vermietung des Systems denkbar

Aktuell ist der wirtschaftliche Nutzen des Elektrohängebahnsystems nicht abzusehen bzw. einzuschätzen, da die beteiligten Firmen aus dem PA keine Angaben zum Bau und zur Realisierung einer ersten Teststrecke machen. Oftmals fehlen noch ganz konkrete Einsatzszenarien für mögliche Kunden und die entstehenden Kosten sind nicht abzuschätzen, welche durch teilweise aufwendige zusätzliche Sicherheitseinrichtungen im laufenden Betrieb entstehen. Vor allem das Transportieren von Lasten nicht in Bodennähe und evtl. über den Köpfen von Menschen bereitet Kopfzerbrechen. Hierfür gibt es aber bereits erste Überlegungen, welche im Betrieb von Lasten-Kränen und beispielsweise auf Theaterbühnen eingesetzt werden.

7. Fortschreibung des mit dem Antrag vorgelegten Plans zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Im Folgenden sind die durchgeführten Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit tabellarisch aufgelistet.

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
Gespräche mit PA; Befragung; Brainstorming	Genaue Anforderungen definieren / klären; aus Erfahrungen von Experten lernen / Expertenmeinung einholen	leider nur einzeln und telefonisch und meist E-Mailverkehr	Während des gesamten Projektzeitraumes
Internet-veröffentlichung	Präsentation der aktuellen Ergebnisse, Kontaktaufnahme mit der interessierten Fachwelt	Website: www.uehb.de	Frühjahr 2018
Flyer	Anwerben von Interessenten Präsentation der bisherigen Ergebnisse	Nach Gelegenheit LogiMAT Stuttgart und Weitere	Ab Frühjahr 2018
Video	Anwerben von Interessenten Präsentation der bisherigen Ergebnisse	Nach Gelegenheit LogiMAT Stuttgart und Weitere	Ab Frühjahr 2018
Messeauftritt LogiMAT	Vorführung des uEHB Konzeptes anhand eines Demonstrators und animierter Videos	LogiMAT Stuttgart 2018	13.-15.3.2018
Befragung mit Fachleuten und Fachfirmen	Präsentation der bisherigen Ergebnisse; (Verbesserungs-) Vorschläge einholen; über weiteres Vorgehen beraten	LogiMAT Stuttgart	13.-15.3.2018
Meeting mit PA	Präsentation der Forschungsergebnisse und Evaluation; tatsächliches Potenzial abschätzen; über weiteres Vorgehen beraten (Bsp.: Folgeprojekt)	Konferenz bei FG ME in Dortmund	12.3.2019
Messeauftritt EMPACK / Logistics & Distribution	Vorführung des uEHB Konzeptes anhand eines Demonstrators und animierter Videos	EMPACK / Logistics & Distribution in Dortmund 2019	8.-9.5.2019
Befragung mit Fachleuten und Fachfirmen	Präsentation der bisherigen Ergebnisse; (Verbesserungs-) Vorschläge einholen; über weiteres Vorgehen beraten	EMPACK / Logistics & Distribution in Dortmund	8.-9.5.2019
Meeting mit PA	Präsentation der Forschungsergebnisse und Evaluation; tatsächliches Potenzial abschätzen; über weiteres Vorgehen beraten (Bsp.: Folgeprojekt)	Besprechung auf EMPACK / Logistics & Distribution in Dortmund	9.5.2019
Veröffentlichung (Posterpräsentation & Fachbeitrag)	Präsentation von Ergebnissen für die interessierte Fachwelt; Einholung von weiteren Expertenmeinungen	WGTL Fachkolloquium 2019 in Rostock	11.–12.9.2019
Projektdokumentation, -evaluation und -abschluss	Dokumentation / Speicherung des erhaltenen Wissens / der erhaltenen Erfahrung; Projektdurchführung evaluieren; projektbezogene Organisationsstruktur auflösen	Schriftliche Dokumentation	bis Ende 2019 fertig stellen

Die nächsten fest eingeplanten Schritte nach Ablauf des Projektes sind in der nachstehenden Tabelle aufgezeigt, vor allem in Hinblick auf die Weiterentwicklung des uEHB-Konzeptes im Rahmen eines möglichen Folgeprojektes. Ausgewählt wurden nur Maßnahmen, wo aus heutiger Sicht eine hohe Realisierbarkeit gegeben ist.

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
Veröffentlichung der Projektergebnisse, Live-Präsentation des Demonstrators	Live-Vorfürungen für Interessierte (Firmen & Studierende); weitere Erprobung neuer Ideen aus z.B. der Industrie; Vorfürungen an Hochschulveranstaltungen wie Tag der offenen Tür; Vorteile der uEHB live präsentieren am Versuchsstand; Teilnehmern eigene Ideen unmittelbar am Demonstrator ausprobieren lassen	Einrichtungen in der Universität Dortmund / Duisburg	Bis mind. 2 Jahre nach Projektabschluss
Präsentation des Demonstrators	Verbreitung und Visualisierung der Möglichkeiten der neuen uEHB	Internetauftritt, YouTube-Videos	Bereits geschehen, mind. 2 Jahre aktualisieren
Veröffentlichung der Projektergebnisse	Erhaltenes Wissen, Erfahrungen und Ergebnisse der interessierten Fachwelt zugänglich machen; Chancen auf Einholung von weiteren Expertenmeinungen	Manuskripte oder Fachzeitschriften, Tagung; z.B. Fachmagazin Technische Logistik	Innerhalb von 6 Monaten nach Projektende
Nutzung der Erfahrungen für Folgeprojekte	Verbesserung und Erweiterung des Einsatzspektrum des uEHB-Systems (z.B. außerbetriebliche Nutzung des Systems); Erarbeiten von neuen Sicherheitskonzepten für Schienen- und seilgeführten Elektrohängebahnen in Zusammenarbeit mit Berufsverbänden und dem TÜV	Folgeprojekte, evtl. ZIM-Projekt	Im Anschluss an das uEHB-Projekt
Präsentation auf einem Diskussionsforum	Vorstellung der Lösung; Anregung zur Diskussion; Profitieren von Meinungen aus der Praxis und von Experten für Folgeprojekt	InFo in Dortmund	Voraussichtlich Mai 2021
Präsentation des Konzepts auf Firmenwebseiten	In Kontakt treten mit Firmen und Kunden um Rückmeldungen, Einschätzungen und neue Anwendungsbereiche zu finden für das uEHB-System (Informationen, Bilder, Videos – platzieren unter News)	Webseite von LogSystems GmbH	Bis Ende 2019, Rücksprache mit LogSystems

8. Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

Probleme gab es mit den ursprünglich geplanten Treffen zw. Forschungseinrichtungen und den Firmen im PA. Ein Austausch über das Projekt war oft nur mit E-Mails möglich. Telefonkonferenzen und gemeinsame Arbeitstreffen haben leider nur in geringem Umfang stattgefunden, da die Firmen oft zu wenig Zeit hatten aufgrund des vollen Alltagsgeschäftes. Hier konnte nur ein wesentlich geringerer Aufwand veranschlagt werden, als ursprünglich bei Projektbeantragung geplant.

Trotz Fürsprache der Industrie und den guten Rückmeldungen auf den beiden Logistik-Messen gibt es aktuell keinen Verwertungsplan, keinen wirtschaftlichen Nutzen oder eine baldige Realisierung einer Teststrecke bei einem der beteiligten KMUs.

Das entwickelte Elektrohängebahnsystem ist als erster Demonstrator allerdings voll funktionsfähig, die Machbarkeit wurde durch dieses Projekt aufgezeigt.

Eine immer wiederkehrende Frage ist das Thema Sicherheit und die dadurch entstehenden teilweise sehr hohen Kosten (Aufwand - Nutzen). Hier soll das Angebot der Firma LogSystems in Anspruch genommen werden, Inhalte, Bilder und Videos vom Demonstrator auf deren Internetseite zu zeigen, um weitere Einschätzungen und Anwendungsszenarien zu sammeln. Mit diesen speziellen Anwendungen und Interessenten sollen im nächsten Schritt die Sicherheitskonzepte in einem Folgeprojekt zusammen mit dem TÜV und verschiedenen Berufsgenossenschaften von verschiedenen Seiten betrachtet und untersucht werden (wo liegen die Probleme und die Chancen). Ziel soll es sein, die Sicherheit durch intelligente Anordnungen, Hilfsmittel, evtl. neue Richtlinien usw. auf das Nötigste zu beschränken, um die Kosten möglichst gering zu halten für das Gesamtsystem.

Wenn dies gelingt, sehen wir eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass das entwickelte Elektrohängebahnsystem die KMUs tatsächlich erreicht. Dann sind kostengünstige und einfache Lösungen für die Kommissionierung kleiner Teile, Transporte für beispielsweise Proben für die Qualitätssicherung oder Kontrollfahrten mit Sensorik und Kamerasystemen gut möglich.

9. Projektzusammenfassung

Im iGF-Kooperationsprojekt zwischen der Universität Duisburg-Essen und der TU Dortmund ist ein neues Transportsystem für leichte Nutzlasten bis 20 kg als Demonstrator erfolgreich entstanden. Das System ist universal anwendbar, der Aufbau einfach und schnell konfigurierbar. Das entstandene modulare Streckensystem besteht aus einfachen und kostengünstigen Stahl-Normprofilen und Seilabschnitten (Baukastensystem), sodass das Elektrohängebahnsystem für geringe Lasten besonders für KMUs attraktiv sein kann.

Der Demonstrator kann Lasten bis 20 kg transportieren, bei einem Eigengewicht von unter 20 kg, sodass die 40 kg Gesamtmasse nicht überschritten wird. Das Hängebahnsystem ist besonders geeignet für die Überbrückung von weiten Transportwegen mit Neigungen bis 20°, beispielsweise zur Ver- und Entsorgung von Arbeitsplätzen mit Werkzeugen, Dokumenten, Ersatzteilen, Proben und Muster für die Qualitätssicherung. Des Weiteren ist eine vielfältige Nutzung des Systems möglich um beispielsweise Überwachungsfahrten mit Sensorik oder Wärmebildkameras durchzuführen sowie Produktionsabläufe besser zu beaufsichtigen. Dabei helfen vor allem

kleineren Unternehmen die geringen Anschaffungs- und Betriebskosten (da kleinere Massen bewegt werden müssen), die parallele Benutzung des Führungssystems durch mehrere Laufkatzen (drahtlose Kommunikation untereinander und mit einem Leitreechner) und die Nutzung der gegebenen Hallenstruktur. Das Streckensystem kann aufgrund des geringen Gewichtes evtl. an die stabilen Hallenträger verschraubt werden. Auch die hohe Geschwindigkeit bis 2 m/s sowohl vorwärts als auch rückwärts hilft bei einem schnellen Transport. Das Innovative an der Laufkatze ist, dass alle Aktuatoren und Sensoren sowie die komplette Steuerungstechnik im Fahrwerk beinhaltet sind. Der Akkubetrieb der Laufkatze ermöglicht eine völlig autark agierende Transporteinheit, die aufgrund des großen Akkus viele Stunden zur Verfügung steht. Auf der Logistik-Messe LogiMAT in Stuttgart ist der Demonstrator über 16 h mit einer Akkufüllung im Dauerbetrieb gefahren. Auch die neuartige Weiche ist ein wichtiger Teil des Systems, da die Laufkatze allein die Fahrtrichtung wählen kann (kein Strom und keine Aktuatorik in der Weiche).

Das Elektrohängebahnsystem steht aufgebaut und voll funktionsfähig als Demonstrator an der Technischen Universität Dortmund sowie ein kleinerer Versuchsstand an der Universität Duisburg-Essen. Beide Versuchsstände können jederzeit besichtigt werden.

