

**Universität Stuttgart**  
Institut für Fördertechnik  
und Logistik

# jahresbericht



2022

# Liebe Leserinnen und Leser,

auch im Jahr 2022 prägte anfangs noch die Pandemie unsere Lehre und Forschung, doch die Einschränkungen fallen nacheinander weg und mehr „Normalität“ kehrt in unser Leben zurück. Mit der russischen Invasion folgte dann die nächste Krise und in der Ukraine tobt seit dem 24.02.2022 ein Krieg mitten in Europa zum Leid vieler unschuldiger Menschen. Es folgen die Energiekrise und eine galoppierende Inflation, und auch die Lieferketten bleiben unbeständig. Volatile Zeiten werden uns voraussichtlich noch lange beschäftigen; eine Beständigkeit in Wirtschaft und Politik wie noch in den Nullerjahren werden wir wohl nicht mehr so bald erleben.

Auch in der Wissenschaft und der Forschung werden wir uns daran anpassen und uns Gedanken machen, wie wir der VUKA-Welt begegnen. Zukünftig geht es wohl eher darum, sich flexibel auf stetige Veränderungen einstellen zu können und selbst Teil des Wandels zu werden. Dabei spielt Resilienz in der Wertschöpfungs- und Lieferkette eine wesentliche Rolle.

Ein Beispiel für eine unsichere und komplexe Situation stellt das Erreichen der Klimaschutzziele dar. Wir arbeiten beispielsweise daran, wie wir mit Hilfe der Elektrifizierung des urbanen Lieferverkehrs in Kombination mit der Nutzung Erneuerbarer Energien zum Teilziel „Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen“ beitragen können. Darauf müssen Stromnetz, Stadtlogistik und Kommunen durch die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen frühzeitig vorbereitet werden. Dies beschreibt das interdisziplinäre Projekt REALIST (Reallabor zur beschleunigten Elektrifizierung des urbanen Logistikverkehrs in Stuttgart), gefördert durch den von der Stadt Stuttgart aufgelegten Klima-Innovationsfonds.

Ende Mai fand die LogiMAT, die wichtigste Intralogistikmesse, hier in Stuttgart vor unserer Haustür wieder vollständig in Präsenz statt. Das IFT war wieder mit Beiträgen im LogiMAT-Forum und mit einem eigenen Messestand vertreten. Der persönliche Austausch mit vielen Besuchern, Kunden und Interessierten hat allen Beteiligten sichtlich viel Spaß bereitet.



Im September fand endlich nach einer langen Corona-bedingten Pause die OIPEEC-Konferenz zusammen mit den Stuttgarter Seiltagen wieder statt. Veranstaltungsort der dreitägigen Konferenz war Stuttgart (Maritim-Hotel, Reithalle). Mit über 150 Teilnehmern war diese internationale Veranstaltung rund um die Seiltechnik ein voller Erfolg und knüpfte nahtlos an die Zeit vor Corona an. Auch dies ist heute nicht mehr selbstverständlich.

Nach insgesamt 15 Jahren Tätigkeit am IFT – davon drei Jahre als wissenschaftliche Hilfskraft, sieben Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter und fünf Jahre als Leiter der Abteilung Seiltechnologie verlässt Dr. Gregor Novak das Institut. Wir bedanken uns ganz herzlich für seine Unterstützung und wünschen ihm für seine neuen Aufgaben bei der Deutschen Bahn alles Gute und viel Erfolg. Mit Stefan Hecht übernimmt ein ebenfalls erfahrener und langjähriger Mitarbeiter des IFT die Abteilungsleitung.

Mein Dank gilt insbesondere allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des IFT. Durch ihren Einsatz und ihr Engagement – sowohl vor Ort als auch im Homeoffice – konnten wir gemeinsam bestehende und neue Herausforderungen meistern. Bei unseren Kunden und Projektpartnern bedanke ich mich für die gute, teilweise langjährige Zusammenarbeit und ihr Vertrauen und freue mich auf die gemeinsame Weiterführung der laufenden Projekte sowie auch auf das Angehen neuer Aufgaben.

Ich wünsche Ihnen eine anregende und informative Lektüre.

Ihr

Robert Schulz, Institutleiter

4	<b>SEILTECHNOLOGIE</b>	26	<b>MASCHINENENTWICKLUNG UND MATERIALFLUSSAUTOMATISIERUNG</b>
4	Zerstörende Seilprüfung	28	Leichtbau von Intralogistiksystemen
6	Forschung zum Bruchkraftverlust von Seilen durch Umlenkung	30	Rekonom – (Re)Konfiguration und dezentrale Koordination autonomer Fahrzeuge
8	Forschung zum Verformungsverhalten von Seilen unter Zug bei definierter Temperatur	34	BulkID – Schüttgutlagerstätten kontinuierlich überwachen
10	Zerstörungsfreie Seilprüfungen und Seilbahntechnik	36	Radprüfstand
12	Sonderprüfung Schrägseilbrücke	38	Kettenverschleißprüfstand
14	Neubauabnahme Schiffshebewerk Niederfirnow	40	<b>STUDIERN 2022</b>
16	Prüflabor für Persönliche Schutzausrüstung (PSA)	42	MASTER:ONLINE Logistikmanagement
18	<b>LOGISTIK</b>	44	Studentische Arbeiten
20	Elektro-Mobilitätskonzepte für den Güterverkehr	48	<b>DATEN</b>
22	TruckConnect – Wie schwere E-LKW sicher ins Rollen kommen	48	Veranstaltungen, Messen
24	Durchsatzsteigerung in Lagersystemen durch Künstliche Intelligenz	58	Dissertationen
		60	Veröffentlichungen, Vorträge
		63	Gremien- und Normungsarbeit
		66	<b>TEAM DES IFT</b>
		68	<b>IMPRESSUM</b>

# Seiltechnologie Zerstörende Seilprüfung

Die vielfältigen Anwendungsfelder der Seiltechnologie zeigen sich in den unterschiedlichsten Aufgaben und Projekten der zerstörenden Seilprüfung. Dabei machen die klassischen Seilanwendungen der Fördertechnik wie beispielsweise Aufzugs- und Krananwendungen laufender Seile oder Offshore-Anwendungen stehender Seile noch immer einen Großteil des Versuchsbetriebes aus. Vermehrt werden auch Prüfungen aus speziellen Anwendungsfeldern wie Baumaschinen, Caravaning oder Luftfahrt angefragt. Geprüft werden auch Seile und Seilanwendungen im Freizeitbereich wie bspw. Hochseilgärten.

Die Tätigkeitsbereiche der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter umfassen neben den klassischen Prüfaufträgen aus der Industrie zunehmend auch Beratungsleistungen zu individuell aufgetretenen Problemen mit Seilen und Seiltrieben. Hier werden individuelle Optimierungsmöglichkeiten für den spezifischen Anwendungsfall des Auftraggebers erarbeitet.

Gefragt sind auch gutachterliche Tätigkeiten zu den Ursachen und Optimierungsmöglichkeiten nach Unfällen durch (Fast-)Seilrisse mit und ohne Personenschäden. Im Rahmen durchgeführter Schadensgutachten im vergangenen Jahr konnte in den meisten Fällen die Ursache des Schadens gefunden oder zumindest sehr stark auf wenige mögliche Effekte eingegrenzt werden. So erhielten die Beauftragenden zusätzlich zur Frage der Haftung und Verantwortlichkeit weitere wichtige Informationen, um derartige Schäden in Zukunft durch z. B. konstruktive oder organisatorische Maßnahmen vermeiden zu können.

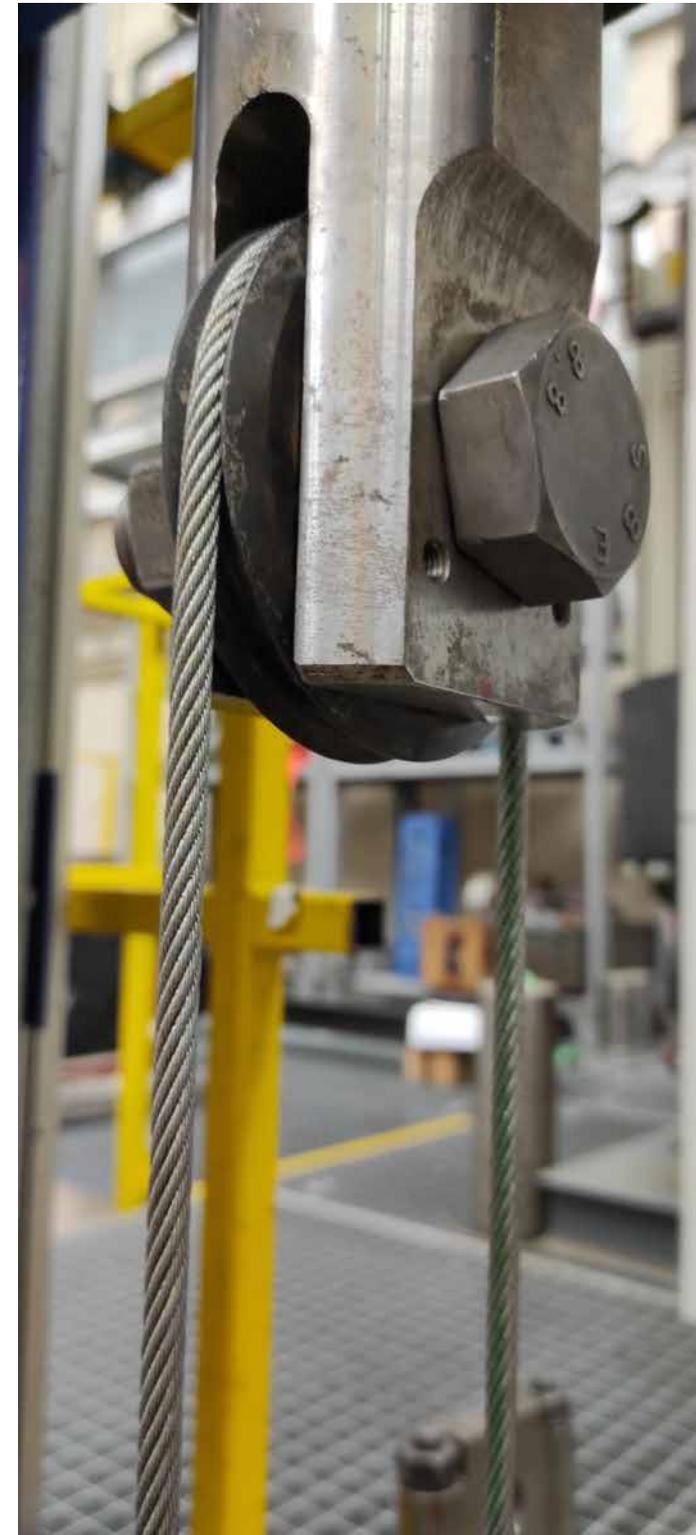
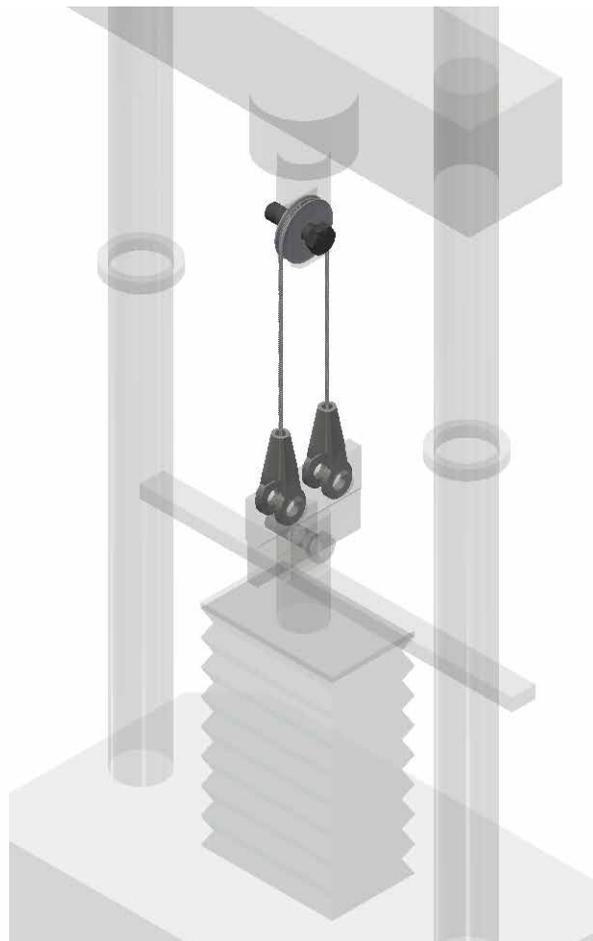
Einige Prüfstände im Seillabor haben wir optimiert und weiterentwickelt. Aufgrund der zahlreichen Versuche und Prüfungen lag die Auslastung des Seillabors auf einem hohen Niveau.

*Stefan Hecht*

# Forschung zum Bruchkraftverlust von Seilen durch Umlenkung

DAS DRAHTSEIL – SO KOMPLEX WIE KEIN ANDERES MASCHINENBAUTEIL. NEBEN REIBUNG, BIEGUNG UND ZUGSPANNUNGEN ERFÄHRT DAS SEIL Z.B. BEIM LAUF ÜBER UMLENKSCHIEBEN ZUSÄTZLICH KRÄFTE QUER ZUR SEILACHSE. IM SEILVERBUND ÜBERKREUZEN SICH DRÄHTE, SO DASS PUNKTUELLE BERÜHRUNGEN VORLIEGEN. BEIM LAUF DER SEILE ÜBER UMLENKSCHIEBEN BILDEN SICH AN DIESEN KREUZUNGSSTELLEN DER EINZELNEN DRÄHTE IM SEILINNEREN MEHRACHSIGE SPANNUNGSZUSTÄNDE UND ES ENTSTEHEN PLASTISCHE VERFORMUNGEN (PRESSELLIPSEN).

Ermittlung des Bruchkraftverlustes von Seilen durch Umlenkung



Als anwendungsorientiertes Forschungsinstitut der Universität Stuttgart beschäftigt sich das IFT mit der Bestimmung von Lebensdauern laufender Seile sowie beeinflussender Faktoren.

In einer Forschungsarbeit wurde untersucht, inwiefern sich Pressellipsen an den im Seilverbund vorhandenen Drahtkontaktstellen je nach Seilbelastung ausbilden. Hierzu wurden zunächst die unterschiedlichen Kreuzungswinkel der Drähte in verschiedenen Seilkonstruktionen recherchiert. Ziel war es, durch Seilbelastung in Biegeversuchen und in Zugversuchen die Entstehung und Größe der Pressellipsen und die gewirkte Pressung zu beschreiben. Die im Versuch belasteten Seile wurden geöffnet und die aus mehreren Belastungsstufen an jeweils derselben Seilkonstruktion festgestellten Pressellipsen gegenübergestellt.

Um den Bruchkraftverlust von Drahtseilen aufgrund von Umlenkung festzustellen, wurden im weiteren am IFT nach einer Detailplanung Zerreißversuche durchgeführt und ausgewertet. Die Versuche wurden dabei direkt um Umlenkscheiben mit verschiedenen großen Durchmessern bei einer Ablenkung von 180° durchgeführt. Auf Basis unterschiedlicher Seilkonstruktionen (Überkreuzungswinkel) und Verhältnis aus Umlenkscheiben- zu Seildurchmesser ( $D/d$ -Verhältnis) wurde eine Parameterstudie erstellt.

*Wendel Frick*

Zugversuch am 6 mm Seil um eine 150 mm Umlenkscheibe

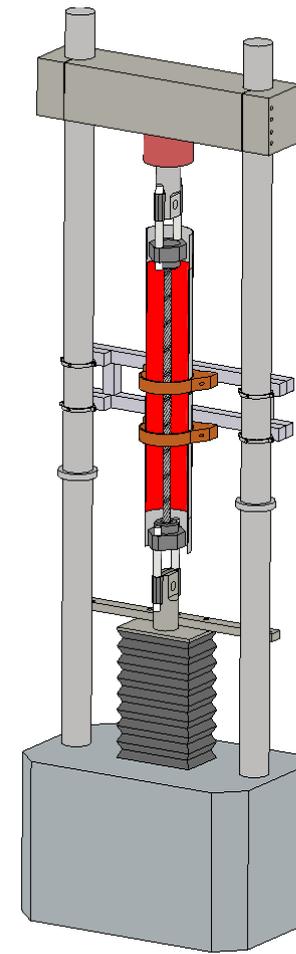
# Forschung zum Verformungsverhalten von Seilen unter Zug bei definierter Temperatur

Seile und deren Einsatz – zum Heben von Lasten bei Aufzügen und Kränen, zum Fördern bei Seilbahnen oder im Bauwesen für Brücken, Geländer und Reklamen. Das Verwenden von Faserseilen anstelle von Drahtseilen bietet Vorteile bspw. bei Gewicht und Handling.

Die Abteilung Seiltechnologie untersucht Versagenskriterien bei Fasern und daraus hergestellten Seilen. Auf der Grundlage dieser Nachweise können Aussagen über die Eigenschaften von Seiltypen sowohl unter allgemeinen als auch unter spezifischen Bedingungen erbracht werden.

Insbesondere Faserseile unterliegen hinsichtlich ihrer Bruchfestigkeit zum Teil erheblich dem Einfluss der Umgebungstemperatur. Aber

auch das Verformungs- und Ermüdungsverhalten von Drahtseilen kann bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur variieren. Um den Einfluss erhöhter Umgebungstemperatur auf das Seilverhalten zu untersuchen, wurde neben einer am Institut bereits vorhandenen Klimakammer eine weitere Zugprüfmaschine mit einer speziell auf die entsprechenden Einspannpunkte abgestimmten Klimakammer ausgerüstet.



Die bisherige Klimakammer kann in der Zugprüfmaschine adaptiert werden, womit das Bruchkraft- und Verformungsverhalten unter statischer Belastung an Seilen bis 2500 kN untersucht werden konnte.

Die neu entwickelte Klimakammer kann nun auch auf die am Institut vorhandene Zugschwellprüfmaschine adaptiert werden. Somit kann das Ermüdungsverhalten von Seilen unter erhöhter Umgebungstemperatur und dynamischer Belastung bis 640 kN bestimmt werden. Die Kammer besteht aus einem beheizten Hauptmodul mit stufenloser Temperaturregelung. Dabei kann die Temperatur der Kammer in der momentanen Ausbaustufe im Bereich von Raumtemperatur auf bis zu 80 °C eingeregelt werden. Hierbei wird das komplette Seil inklusive der Endverbindungen klimatisiert. Sie soll in Zukunft für weitere Projekte aus der Industrie sowie insbesondere auch für die Forschung und studentische Lehre zur Verfügung stehen.

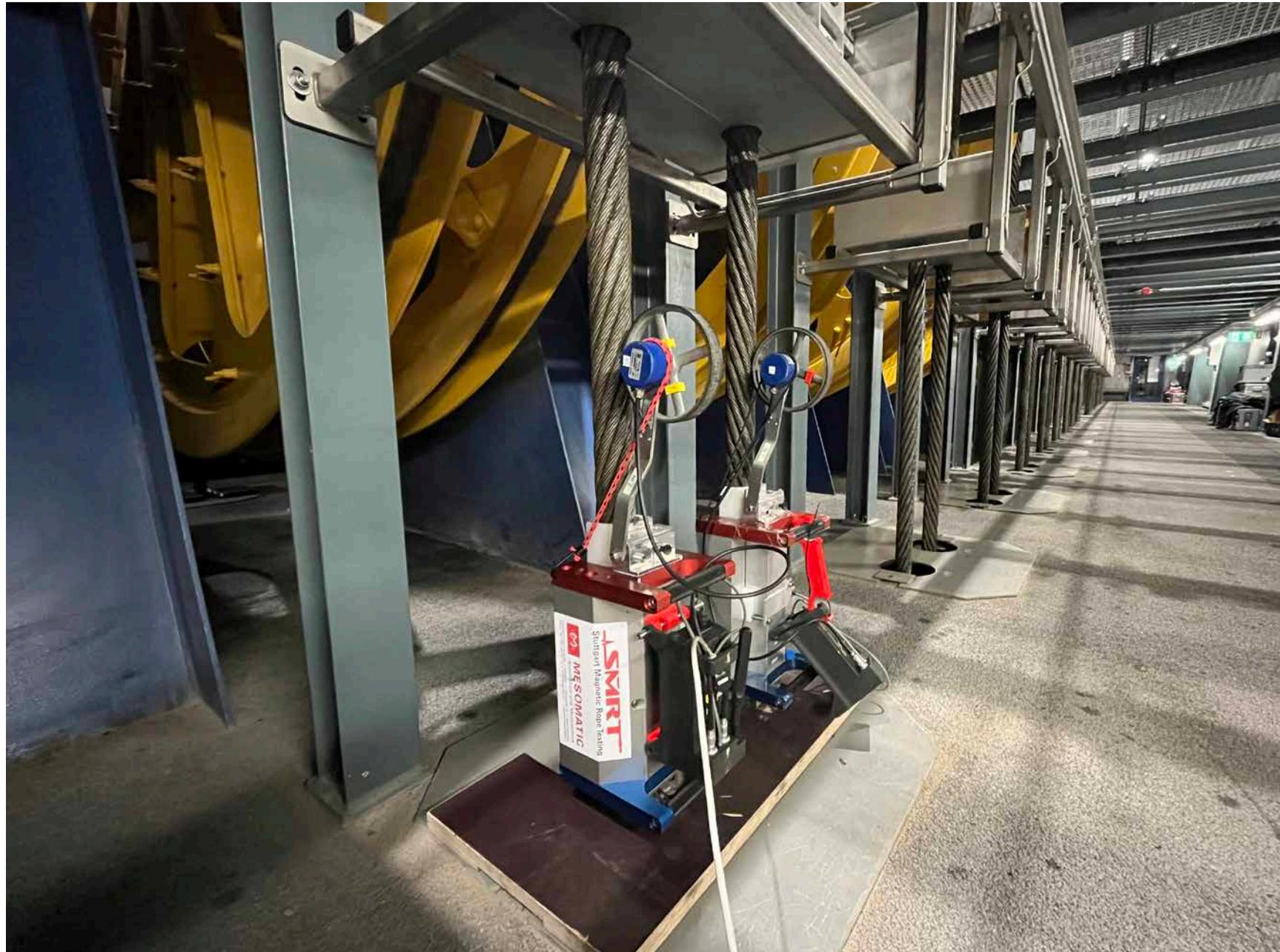
Wendel Frick

Abb. links: Klimakammer zur Erforschung des Bruch- und Ermüdungsverhalten von Seilen bei definierter Umgebungstemperatur

Abb. unten: Eingebaute Klimakammer für statische und dynamische Zugversuche unter erhöhter Umgebungstemperatur



# Zerstörungsfreie Seilprüfung



Seilprüfung der Trogseile des Schiffshebwerks Niederfinow

Im Bereich der zerstörungsfreien Seiltechnologie wurden im vergangenen Jahr verschiedenste Großprojekte bearbeitet. Die Prüfengeure waren national und international im Einsatz, um Seile und Anlagen zu überwachen. Besondere Highlights waren die Seilprüfungen der Talbrücke Obere Argen, des Schiffshebwerks in Niederfinow und der Moselringbrücke.

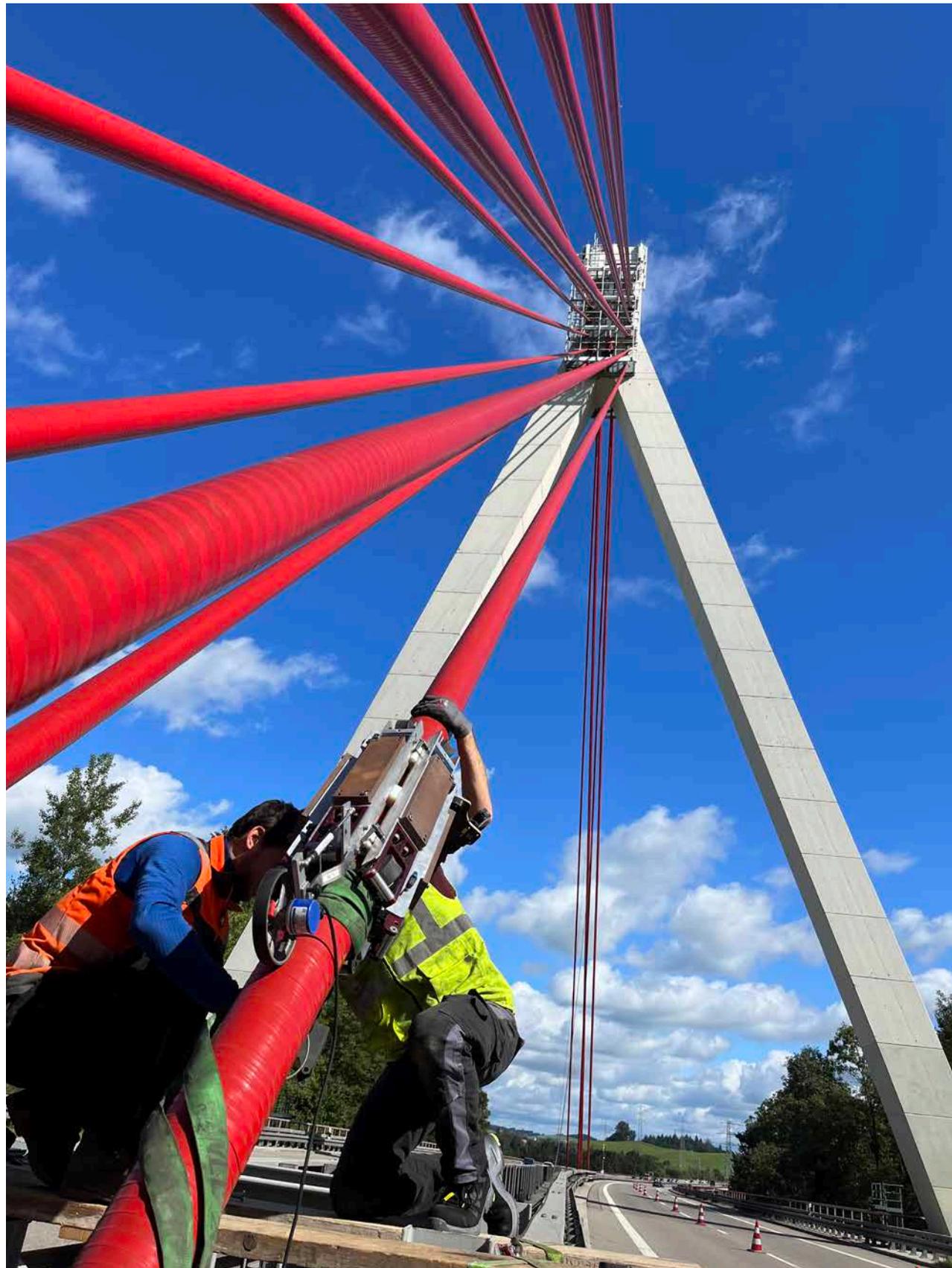
Neben den Prüfungen von Seilbahnseilen werden vermehrt auch Hubseile geprüft, die bspw. in Hochregallagern in der Intralogistik verwendet werden. Um einen Stillstand des Lagers durch einen Seilschaden oder -riss zu vermeiden, ist es wichtig, die Seile präventiv zu kontrollieren. So können die Betreiber bei Auffälligkeiten schnell und zielgerichtet Wartungsarbeiten planen und Ruhezeiten für einen Seilaustausch nutzen.

Die Prüfungen von Hubseilen unterscheiden sich von denen an Seilbahnseilen und stellen auch an die Prüfgeräte unterschiedliche Anforderungen. Für die speziellen Anwendungen im Heavy-Duty-Lift-Bereich wird daher eine eigene Prüfgeräte-Serie entwickelt. Die Ziele dieses Projektes sind eine fixe Installation des Prüfgerätes an der Anlage und eine permanente Messung sowie eine vollautomatische Auswertung und Kommunikation mit der Anlagensteuerung. Die neue Prüfgeräte-Serie eignet sich nicht nur für den Einsatz in der Intralogistik, sondern auch für weitere seilbetriebene Anlagen wie Prozesskräne, Großformat-Bearbeitungszentren, Seiltriebe in Windkraftanlagen oder Freizeitanlagen. Die Übertragung dieses Know-hows in andere Industriezweige zeigt auch das Entwicklungsprojekt „OnLine-SMRT“. Dabei erfolgt die lückenlose Qualitätsüberwachung sowohl während des Verseilprozesses als auch während der Nachbehandlung wie beispielsweise dem Kompaktieren oder Hämmern von Drahtseilen. Schäden am Seil, die herstellungs- oder prozessbedingt entstanden sind, können somit unverzüglich erkannt und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.

Das eigenentwickelte vollautomatische Durchmesserprüfgerät ermöglicht die Vermessung von Seilen, aber auch jeglichen anderen Konturen in einem Bereich von wenigen Millimetern bis über 100 Millimetern. Die Seildurchmesser können auf das Zehntel genau bestimmt werden. Dieses System kann sowohl Momentaufnahmen als auch kontinuierliche Messwerte erfassen und somit entlang des Seiles den Verlauf des Seildurchmessers bestimmen. Selbstverständlich ist das Durchmesserprüfgerät nahtlos in die aktuelle magnetinduktive Seilprüftechnik SMRT integrierbar und auch in der neuen Recorder-Software SMAQSrecorder eingebunden.

Die Entwicklungen der automatischen visuellen Seilkontrolle wurden ebenfalls weiter vorangetrieben. Das bestehende System wurde nochmals konstruktiv sowie messtechnisch optimiert.

*Marco Testa, Ralf Eisinger, Stefan Hecht*



Das Prüfteam koppelt das visuelle System direkt an das magnetinduktive Prüfgerät

# Sonderprüfung Schrägseilbrücke

Die Autobahn 96 führt bei Lindau über das Tal des kleinen Flusses Obere Argen. Als erste Brücke in Deutschland wurde die Schrägseilbrücke 1985 bis 1990 in Kombination mit einer Unterspannung ausgeführt. In kontinuierlichen Abständen werden die Seile des ca. 350 m langen Teilabschnitts der Stahlbrücke auf ihren Zustand überprüft. Das IFT ist seit Beginn mit den magnetinduktiven Seilprüfungen beauftragt. Bei der letzten Seilkontrolle wurde neben der magnetinduktiven auch eine visuelle Prüfung aller Seile verlangt.

Hierzu entwickelten die Mitarbeiter eine zusätzliche Vorrichtung, um die Prüfung möglichst effizient durchzuführen und hochauflösende visuelle Aufnahmen der Seile zu erzeugen. Dazu wurde das visuelle System direkt an das magnetinduktive Prüfgerät gekoppelt.

Bei der Überprüfung der Unterspannung musste das 85 kg schwere Prüfgerät in einer Höhe von bis zu 30 m auf den 6 Seilen montiert werden. Hierzu stand den Prüffingenieuren in dem schwer zugänglichen Bereich unter der Brücke ein geländegängiger Hubsteiger zu Verfügung. Für die Seilprüfung der 22 Seile der Oberspannung wurde jeweils im Bereich des 55 m hohen Pylons die innerste Fahrspur in jeder Fahrtrichtung der Autobahn gesperrt.

*Johannes Keller*



Kombinierte magnetinduktive und visuelle Seilprüfung der Schrägseilbrücke Obere Argen



# Neubauabnahme Schiffshebewerk Niederfinow

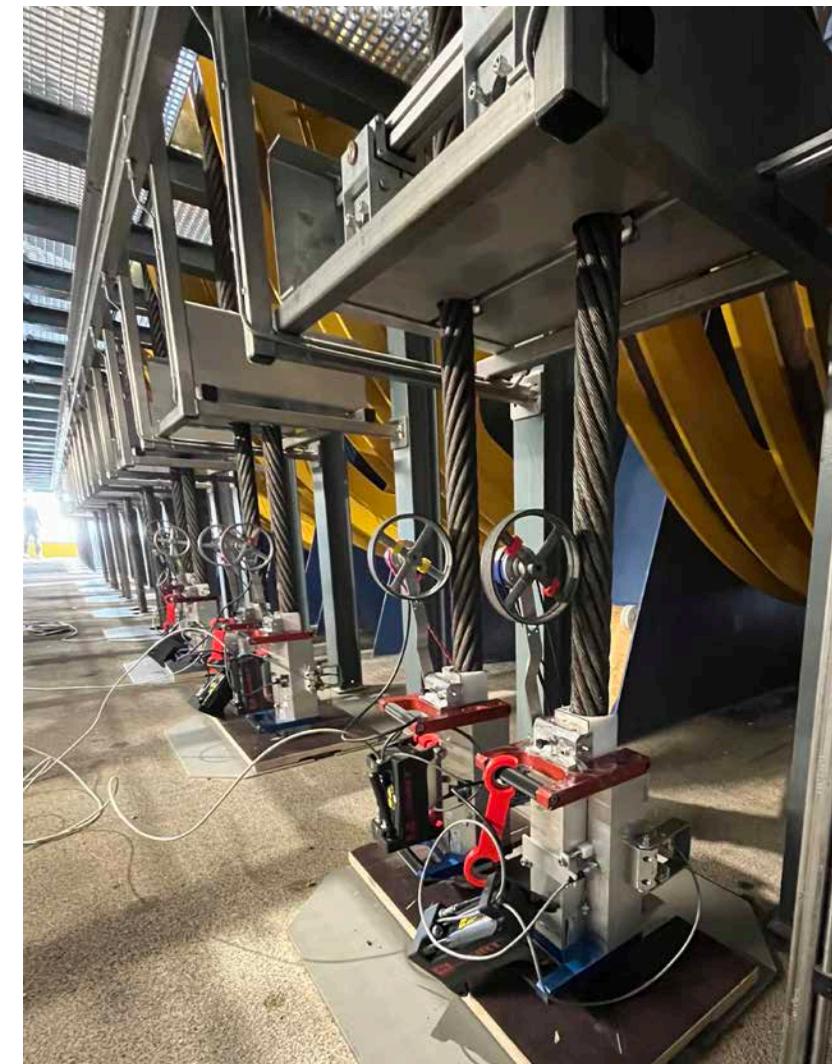
Der Neubau des Schiffshebewerks Niederfinow wurde 2022 nach 13-jähriger Bauzeit abgeschlossen. Damit ein schwer beladenes Schiff mit wenig Kraft bewegt werden kann, macht man sich das Prinzip der Gegengewichte zunutze. Insgesamt 224 Seile befördern den Trog, in dem Binnenschiffe mit einer Gesamtlänge von 110 Metern transportiert werden können, auf eine Höhe von 36 m. Pro Seite sind 112 Seile montiert, die den Trog und die Gegengewichte halten. Jedes Seil wird über eine eigene Umlenkscheibe geführt. Zum Troggewicht mit Wasserfüllung von 9800 Tonnen können Schiffe mit einem Gewicht von bis zu 2300 Tonnen bewegt werden.

Für die vollständige Neubauabnahme aller technischen und sicherheitsrelevanten Komponenten und Teilsysteme war das IFT für die Seilprüfung aller 224 Trogseile zuständig. Herausfordernd bei diesem Auftrag war, dass jedes der 224 Seile (bauartbedingt) an zwei Messpositionen geprüft werden musste, da nur so die gesamte Seillänge überprüft werden konnte.

Um diesen enormen Prüf- und auch Zeitaufwand so effizient wie möglich zu gestalten, wurden mit sechs Prüfsystemen zeitgleich sechs Seile parallel geprüft. Hierfür waren für fünf Tage drei Mitarbeiter des IFT und zwei weitere Mitarbeiter der Firma hcs holtschke crane systems GmbH beschäftigt.

*Marco Testa*

**224 Trogseile  
wurden geprüft**



Zur Prüfung der 224 Trogseile wurden sechs magnetinduktive Prüfsysteme eingesetzt

# Prüflabor für Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

Das IFT ist als Notifizierte Stelle (NB 1771) europaweit zur Durchführung von Konformitätsbewertungsverfahren an Persönlicher Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA) nach der PSA-Verordnung (EU)2016/425 zugelassen. Damit ist das IFT berechtigt, EU-Baumusterprüfungen an neuer PSA sowie die im Rahmen der Produktüberwachung (Modul C2) von PSA der Kategorie III erforderlichen wiederkehrenden Prüfungen durchzuführen. Das IFT ist weiterhin zugelassenes Prüflabor zur Prüfung nach den Prüfvorschriften der UIAA, dem Internationalen Bergsportverband.

Einbau des Bandfalldämpfers in den Fallprüfstand



Als unabhängige universitäre Einrichtung beteiligt sich das IFT auch in den Normungsgremien der CEN sowie der UIAA Safety Commission. In den regelmäßig stattfindenden Gremien- und Arbeitsgruppentreffen bringen wir unsere Expertise im Bereich der PSA ein.

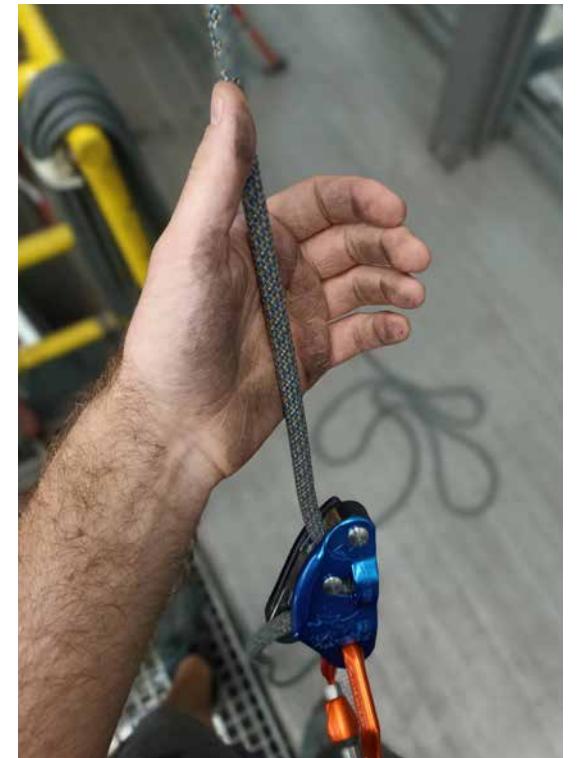
Zur Normprüfung von Bergseilen, Statikseilen und Klettersteigsets steht im Seillabor eine dynamische Sturzanlage mit ca. 8 m Fallhöhe zur Verfügung. Studierende des Hy-End Teams der Universität haben den Fallprüfstand des IFT genutzt, um Versuche für ein Dämpfungssystem des Fallschirms ihrer Hybridrakete durchzuführen. Wo sonst Bergseile, Statikseile und Klettersteigsets dynamisch geprüft werden, haben die Studierenden einen Teil ihrer Rakete installiert.

Aufgrund des Falls der Rakete aus dem Überschallbereich wirken beim Öffnen des Fallschirms hohe Kräfte auf die Verbindungselemente. Um diese hohen Kräfte zu reduzieren, wurden am Fallprüfstand Bandfalldämpfer erprobt, wie sie auch bei Klettersteigsets verwendet werden.

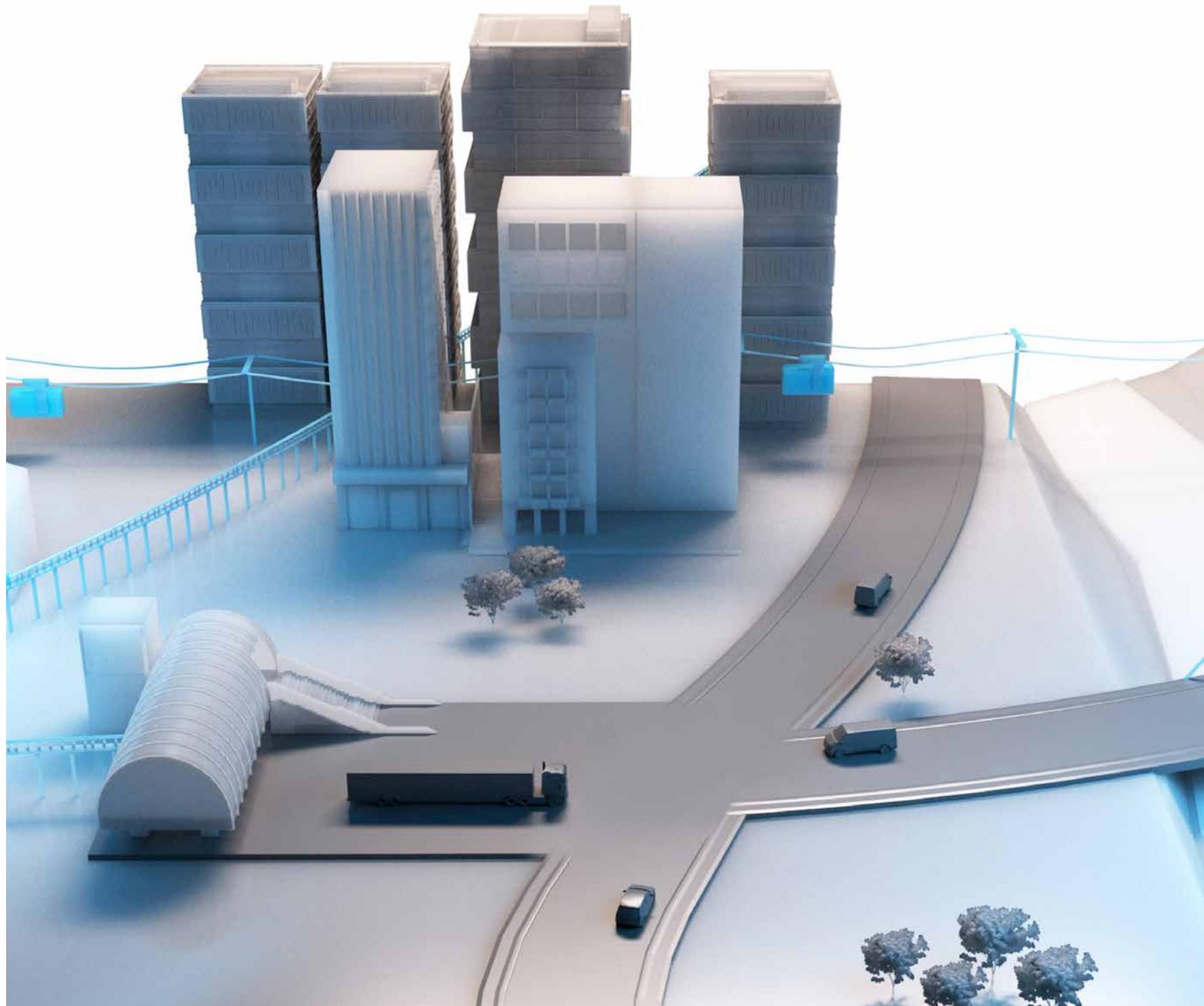
Durch die enge Zusammenarbeit mit Firmen im Bereich der PSA und die Mitarbeit in den Normungsgremien können auch regelmäßig sehr gefragte studentische Arbeiten angeboten werden, welche sich in der Regel mit sicherheitstechnischen Aspekten von Bergsportprodukten beschäftigen. So haben z.B. Studierende das Phänomen schwarzer Hände beim Sichern von Kletternden untersucht. Hierzu haben sie gebrauchte Kletterseile unter dem Mikroskop analysiert und ermittelt, dass die Verschmutzung der Seile unter anderem durch den Alu-Abrieb von Karabinern bzw. Sicherungsgeräten stammt. Unter dem Mikroskop konnten Metallpartikel identifiziert werden. Wie stark ein Seil verschmutzt, liegt vor allem am Finish und dem Grad der Abnutzung.

*Benedikt Franck*

Schwarze Hände beim Gebrauch von Kletterseilen: Unter dem Mikroskop sind bei Metallpartikel von Karabinern bzw. Sicherungsgeräten zu erkennen.



# Logistik



## SMART HUB

Die Rolle des Menschen  
 Prozesse Konsolidieren / Verteilen  
 Umschlag / Rampe 4.0

## SMART PLANNING

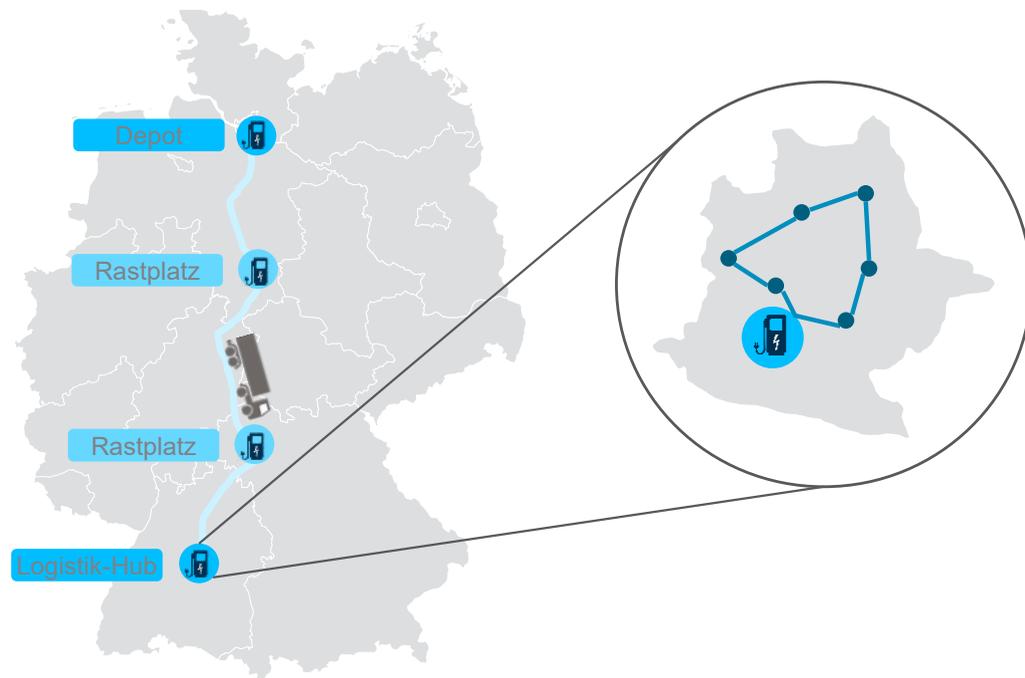
Materialfluss-Konzepte  
 Simulation und Optimierung  
 PLM in der Logistik

## SMART CITY

Städtische Logistik  
 (Vor-) Letzte Meile / Warenströme  
 Mobilitätskonzepte

# Elektro-Mobilitäts-konzepte für den Güterverkehr

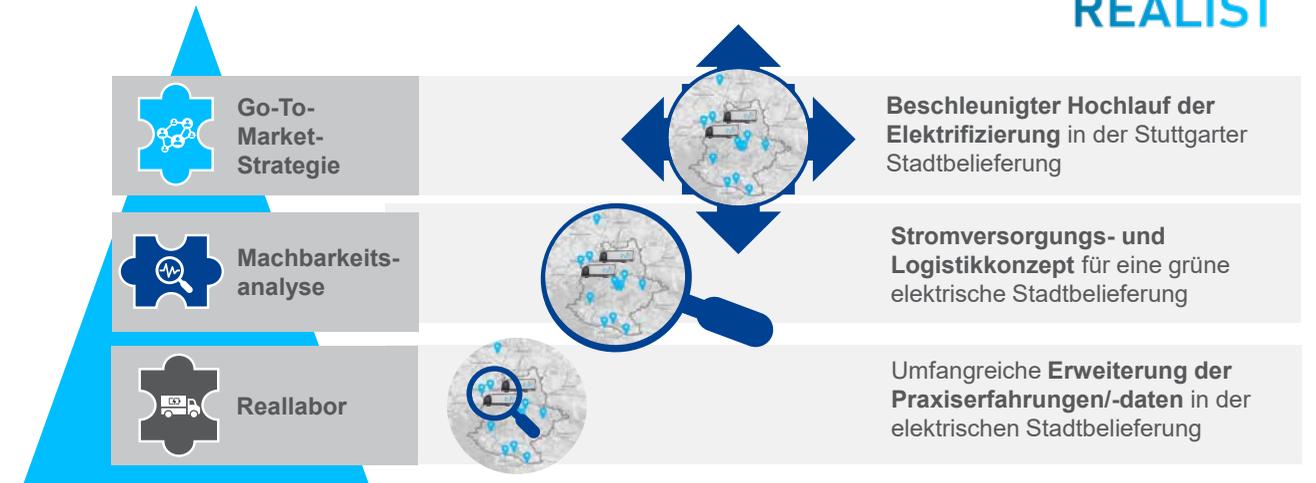
Fernverkehr: TruckConnect



Nah-/ Regionalverkehr: REALIST

Das IFT arbeitet gemeinsam mit Projektpartnern aus Forschung und Industrie an Lösungsansätzen für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs.

# REALIST



## Wie Forscher die Elektrifizierung des urbanen Logistikverkehrs in Stuttgart vorantreiben

Die Elektrifizierung des urbanen Lieferverkehrs ist, kombiniert mit der Nutzung erneuerbarer Energien, für die Senkung von CO2-Emissionen und das Erreichen der Klimaschutzziele unabdingbar. Darauf müssen Stromnetz, Stadtlogistik und Kommunen durch Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen frühzeitig vorbereitet werden. Dies fördert das interdisziplinäre Projekt REALIST (Reallabor zur beschleunigten Elektrifizierung des urbanen Logistikverkehrs in Stuttgart). Im Zentrum steht ein Reallabor, in dem der Praxiseinsatz von E-LKW erprobt wird. Eine Machbarkeitsanalyse begleitet den Praxiseinsatz mit dem Ziel, ein klima-innovatives Stromversorgungs- und Logistikkonzept für eine elektrische Stadtbeflieferung zu schaffen. Durch die Analyse und virtuelle Elektrifizierung bestehender Stückgutverkehrs-Touren in Stuttgart können Auswirkungen auf logistische Prozesse und das regionale Stromnetz abgeleitet werden. Dies kann als Entscheidungsgrundlage für diverse Akteure, wie

die LHS Stuttgart, dienen. Eine „Go-to-Market“-Strategie stellt sicher, dass die Ergebnisse nachhaltig zur Elektrifizierung des Lieferverkehrs beitragen. Das Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH) und das Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart kooperieren im Projekt mit Speditionen, Fahrzeugherstellern, Netzbetreibern, Verbänden und der LHS Stuttgart. REALIST zeichnet sich durch die einzigartige Kopplung von Logistik und Stromnetz aus, was zu wirtschaftlich und technisch realisierbaren Konzepten führt.

Das Projekt erfolgt von August 2022 bis zum Juli 2025 und wird im Rahmen des Klima-Innovationsfonds mit bis zu 750.000 € gefördert. Mit diesem fördert die Stadt innovative Ideen für Klimaschutz und Klimafolgenanpassung.

David Pflieger

# TruckConnect

## Wie schwere E-LKW sicher ins Rollen kommen

### Forschungsteam der Universität Stuttgart entwickelt Konzept für Logistik-Datenplattform

Die fortschreitende Elektrifizierung des LKW- Verkehrs stellt die beteiligten Akteure vor komplexe Herausforderungen. Damit Logistiker, Energieversorger, Ladesäulenbetreiber und weitere Beteiligte im Verkehrssystem den Wandel reibungslos bewerkstelligen können, ermittelt das IFT mit zwei weiteren Instituten der Universität Stuttgart im Projekt „TruckConnect“ die vielfältigen Anforderungen für eine zentrale Datenplattform.

### Europäische Datenplattform als Basis für den Wandel zum E-Schwerlastverkehr

Wie gelingt es, elektrifizierte Fahrzeuge möglichst reibungslos in die bereits bestehenden Logistiksysteme und -prozesse zu integrieren? Diese Frage steht im Mittelpunkt des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) geförderten Projekts „TruckConnect“, an dem das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), das Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH) sowie das Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart beteiligt sind.

Ziel des Projekts ist die Erstellung eines Anforderungskatalogs zur Implementierung einer Europäischen Datenplattform für den batterieelektrischen Schwerlastverkehr. Denn eines ist gewiss: Die erfolgreiche Transformation kann nur datenbasiert erfolgen. Die intelligente Plattform wird den Austausch von Daten zwischen Transport- und Energiesystemen ermöglichen und die Energie- und Transportbedarfe so synchronisieren, dass batterieelektrische LKW zukünftig genauso zuverlässig eingesetzt werden können wie Diesel-LKW – bei gleichbleibender Versorgungssicherheit.

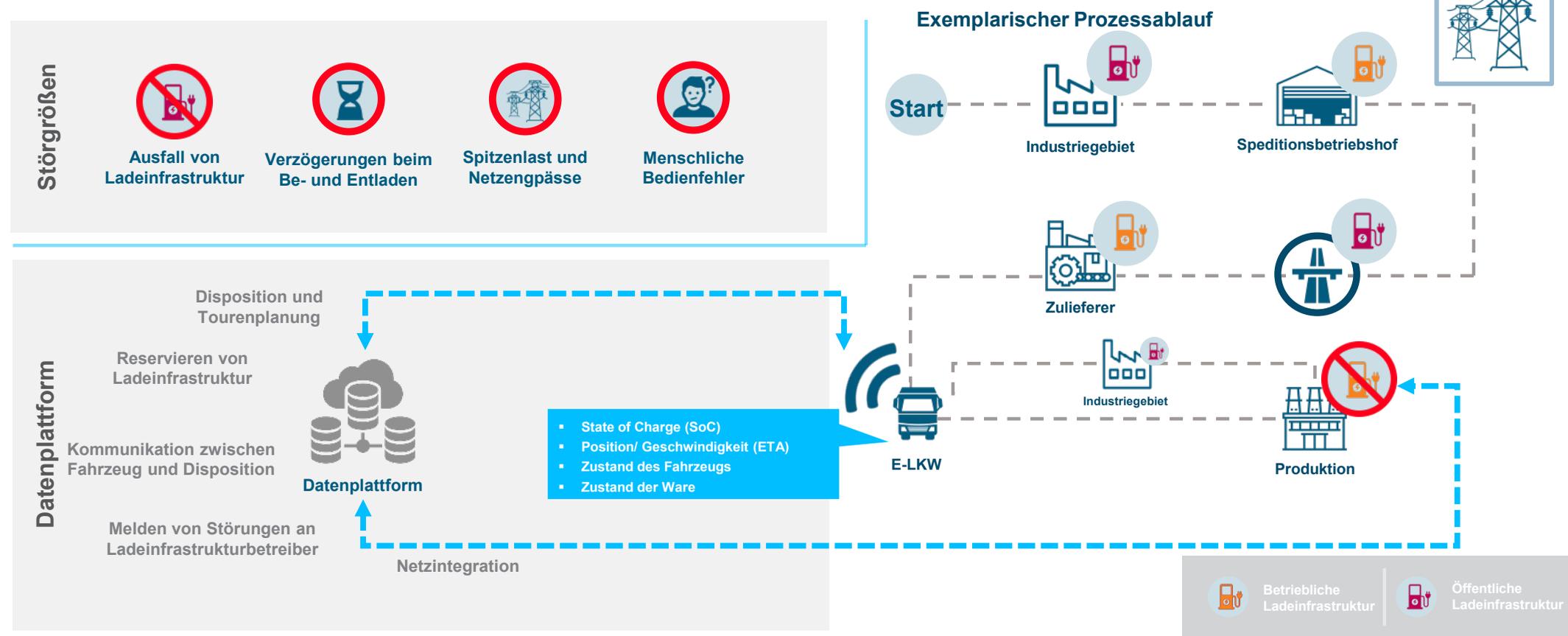
### Anforderungskatalog ermittelt vielfältige Fragestellungen im Logistiksystem

Der Wechsel von herkömmlichen zu elektrischen Fahrzeugen bringt vielfältige Veränderungen und Anforderungen im Logistikprozess mit sich, vom Lieferzeitfenster über Rampenprozesse bis hin zu Betreibermodellen für die Ladeinfrastruktur. Die Vielzahl an beteiligten Akteuren und den jeweils dahinterstehenden Prozessen ergibt sehr viele Abhängigkeiten und Wechselwirkungen, die vorausgedacht und gründlich geplant werden müssen. Daher wird nicht direkt mit einem Prototypen gestartet, sondern zunächst wird ein Anforderungskatalog erarbeitet. In diesem beantworten die Forschenden Fragen wie: Was verändert sich an welchen Stellen im Logistiksystem? Was sind kritische Punkte und wie kann man diesen vorbeugen? Wer baut und plant die Ladeinfrastruktur und welche Betreibermodelle stehen dahinter? Welche Rolle spielen beispielsweise Autobahnraststätten und wie gelingt die Sektorenkopplung?

Die Laufzeit des Projekts „TruckConnect“ erfolgt von September 2022 bis August 2023 und schafft eine wichtige Grundlage für den bevorstehenden Transformationsprozess hin zu einem klimafreundlichen Fernverkehr. Gefördert wird das Projekt im Rahmen der Innovationsinitiative mFUND (Förderung von datenbasierten Forschungs- und Entwicklungsprojekten für die digitale und vernetzte Mobilität der Zukunft.) durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr.

David Pflieger

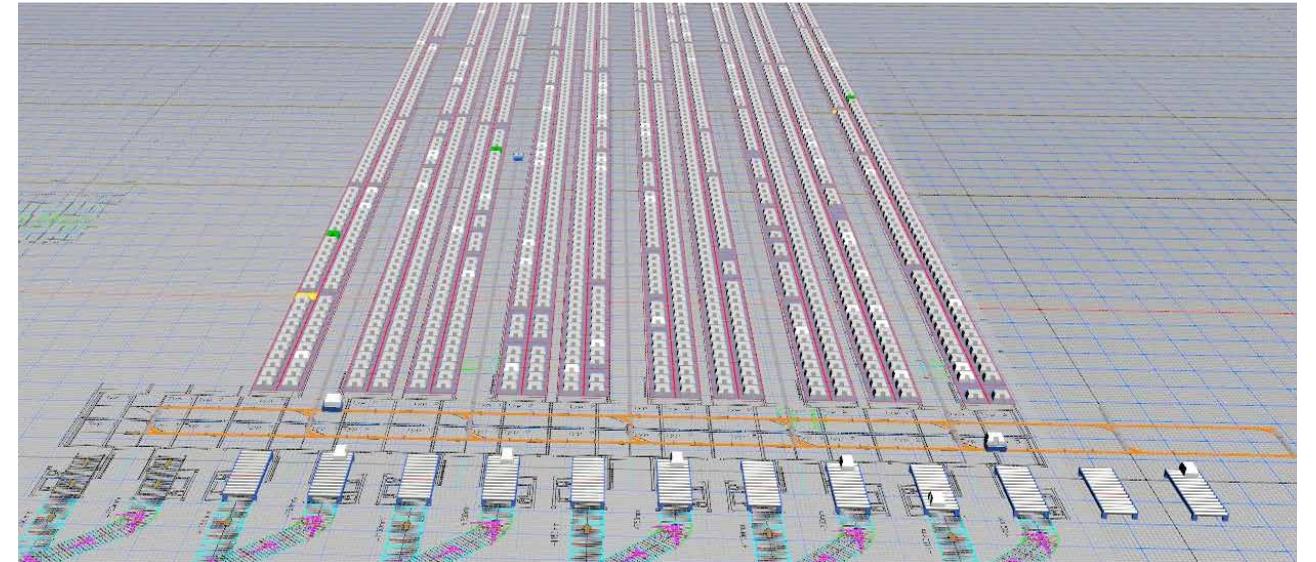
TruckConnect: Grafik in Anlehnung an Mauch, Lars; Otteny, Felix (2022): Resiliente Transportsysteme in der Automobilindustrie. Resiliente Arbeitswelten. 68, GfA-Frühjahrskongress 2022



# Durchsatzsteigerung in Lagersystemen durch Künstliche Intelligenz



Beispiel eines Shuttlelagers © GEBHARDT Fördertechnik GmbH



In der Simulationsumgebung werden die für ein Shuttlelager typischen Arbeitsabläufe durchgeführt

Staus in Lagersystemen können – unabhängig von den transportierten Gütern – Zeit und Geld kosten. Diese Staus entstehen insbesondere im Bereich von Kreuzungen, ähnlich wie im Straßenverkehr. Damit der Verkehr auf Kreuzungen geordnet abläuft, gibt es eindeutige Straßenverkehrsregeln: Vorrang haben die auf der Vorfahrtsstraße geradeaus fahrenden Fahrzeuge, als nächstes dürfen die Rechtsabbieger fahren und zuletzt die linksabbiegenden Fahrzeuge. Dies ist einfach anzuwenden, führt aber in der Praxis beim Linksabbiegen dennoch zu Wartezeiten. In Lagersystemen sind die Zusammenhänge jedoch viel komplexer als im Straßenverkehr und können bereits bei der Zuweisung des Lagerauftrags gesteuert werden.

Das Institut für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart untersucht im Projekt „Entwicklung eines bidirektionalen Robotersystems zur Erhöhung des Durchsatzes mittels KI gestützter Materialflusssteuerung“, wie Lagersysteme mittels Künstlicher Intelligenz optimiert werden können. Im Speziellen wird hier das Shuttlelager betrachtet. Shuttles sind kleine Transporteinheiten, die sich selbständig horizontal in den Regalgassen zu den Lagerplätzen bewegen, um benötigte Waren zu entnehmen und zu einem Behälterlift zu bringen. Dieser Lift bringt die Ware über die angeschlossene Fördertechnik zum Kommissionierer. An Aktionen wie dem „Black Friday“ oder zu Weihnachten sind die Gassenabschnitte zum Behälterlift besonders stark frequentiert und bilden den Bottleneck auf einer Ebene. Shuttles, welche die Regalgassen verlassen möchten, müssen warten und senken somit den Durchsatz des Lagers. Aufgrund dessen müssen auch die Mitarbeiter, welche die Waren einer Bestellung zusammenstellen, warten.

Mit Ansätzen des Deep Reinforcement Learning kann der Durchsatz von Shuttlelagern gesteigert werden. Die Künstliche Intelligenz lernt durch mehrere tausend Trainingsläufe, wie der Durchsatz erhöht werden kann. In der Simulationsumgebung werden die für ein Shuttlelager typischen Arbeitsabläufe, wie z. B. Ein- und Auslagerungen sowie Fahrten der Shuttles, durchgeführt. Der Softwareagent wählt über eine Matrix den nächsten Auftrag für ein Shuttle aus. Je effizienter der Softwareagent den Materialfluss steuert, desto höher fällt seine Belohnung aus. Wenn er dagegen eine langsame Variante wählt, werden ihm Punkte abgezogen. Durch das Ziel der Punktemaximierung versucht der Softwareagent, möglichst oft belohnt zu werden und nähert sich dadurch einem optimalen Ablauf an. Bis der Softwareagent das System vollständig versteht und den Materialfluss optimieren kann, ist eine Vielzahl an Trainingsläufen notwendig. Die Anzahl an Trainingsläufen bestimmt auch die Robustheit des entstehenden neuronalen Netzes. Das neuronale Netz wird nach Abschluss des Trainings in der virtuellen Welt in die Lagersteuerung eingesetzt und erhöht den Durchsatz. Die softwarebasierte Optimierung ist eine kostengünstige und ressourcenschonende Alternative im Vergleich zu Um- oder Erweiterungsbauten von Lagersystemen und wird daher oft bevorzugt.

Das beschriebene Projekt mit einer Laufzeit von 29 Monaten wurde zusammen mit der Firma GEBHARDT Fördertechnik GmbH im Zeitraum von August 2020 bis Dezember 2022 durchgeführt und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.

*Ruben Noortwyck*

# Maschineneentwicklung und Materialflussautomatisierung



## SMART TRANSPORT

Fahrerlose Transportfahrzeuge  
Hochgeschwindigkeitsfördersysteme  
Materialflusstechnik

## SMART CONTROL

Intelligente Logistikkonzepte  
Automatisierung  
Innovative Steuerung und Regelung

## SMART CARRIER

Alternative Verkehrsträger  
Alternative Antriebe

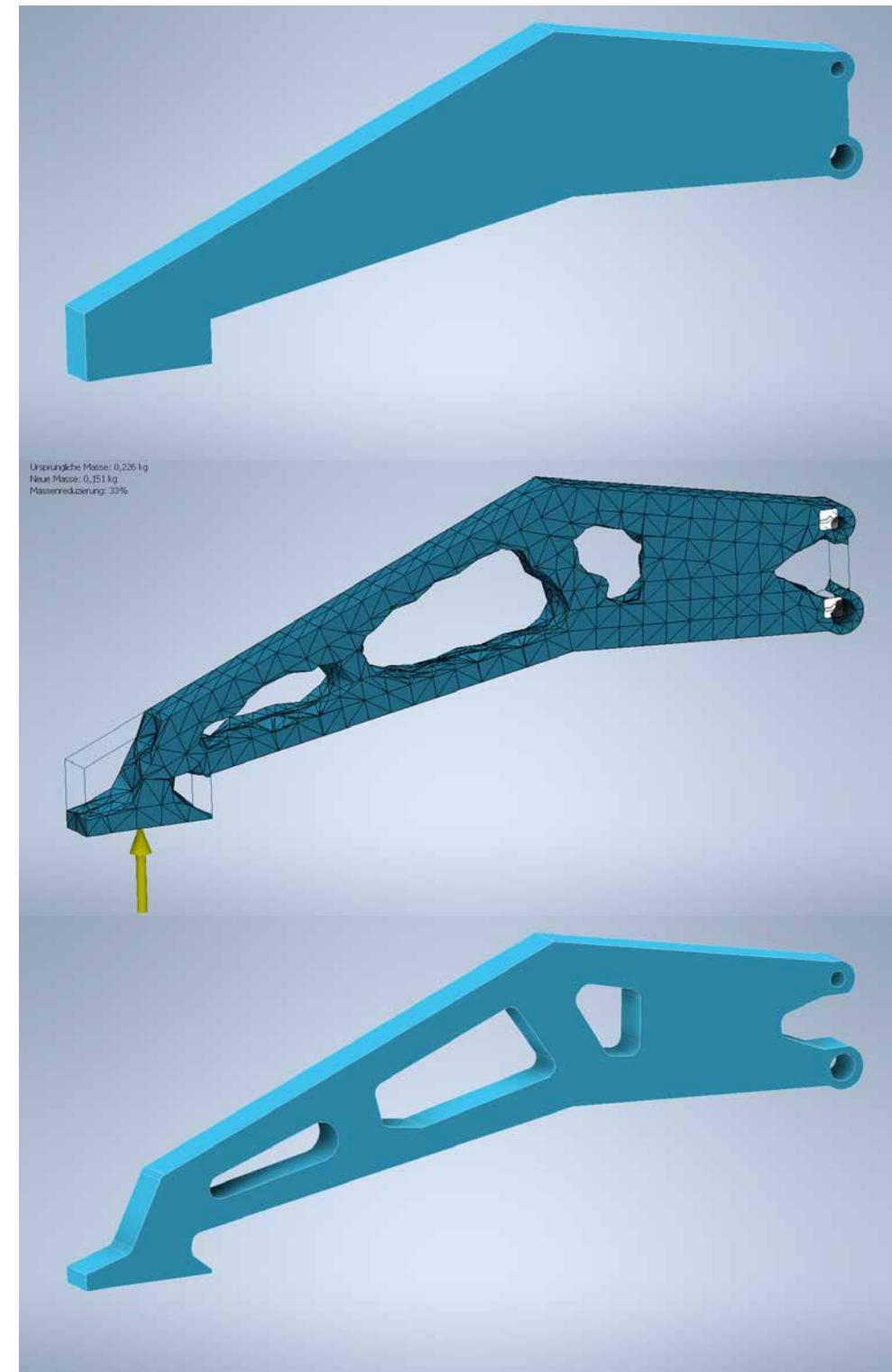
# Leichtbau von Intralogistik- systemen

Im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes werden Leichtbaukonzepte für Fahrzeuge in Intralogistiksystemen erforscht, wobei ein besonderes Augenmerk auf der simulationsgestützten Topologieoptimierung der Bauteile liegt. Die Anwendung von Leichtbauprinzipien an Intralogistiksystemen führt zu einem geringeren Material- und Energiebedarf während der Fertigung der Fahrzeuge, da Bauteile durch optimierten Materialeinsatz nicht unnötig überdimensioniert werden. Auch sinkt der Energiebedarf während des Betriebs, da geringere Massen beschleunigt und abgebremst werden müssen. Mit steigendem Anteil der Nutzlast an der Gesamtmasse des beladenen Fahrzeugs wird der Materialfluss insgesamt effizienter.

Ein zentraler Inhalt des Projektes ist die Erstellung umfassender kinematischer Modelle der untersuchten Fahrzeuge und darauf aufbauend eine Optimierung der tragenden Bauteile für die auftretenden Kräfte. Durch eine geeignete Formulierung aller Anforderungen und Randbedingungen lassen sich Optimierungsalgorithmen zur Ableitung von Bauteilen einsetzen.

Für einen ganzheitlichen Optimierungsansatz muss jedoch auch das Ende der Produktlebensdauer berücksichtigt werden. So kann ein Fahrzeugrahmen aus beispielsweise kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff zwar wesentlich leichter gebaut werden als aus verschweißten Stahlteilen, das Recycling dieser Werkstoffe ist aber mit deutlich höherem Aufwand verbunden.

*Jonas Nölcke*



MITTELS TOPOLOGIE-  
OPTIMIERUNG LASSEN SICH  
GERINGBELASTETE  
BEREICHE IM BAUTEIL  
IDENTIFIZIEREN.

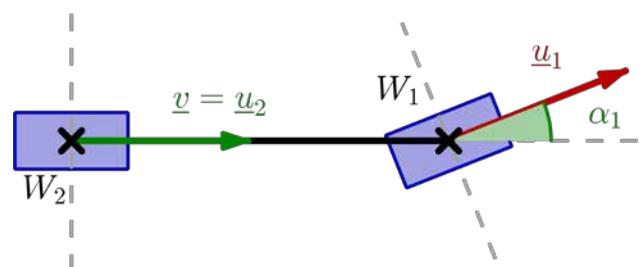
DURCH ENTSPRECHENDE  
MATERIALEINSPARUNGEN  
KANN DIE MASSE IM  
DARGESTELLTEN FALL UM  
33 % REDUZIERT WERDEN.

# Rekonom

## (Re)Konfiguration und dezentrale Koordination autonomer Fahrzeuge

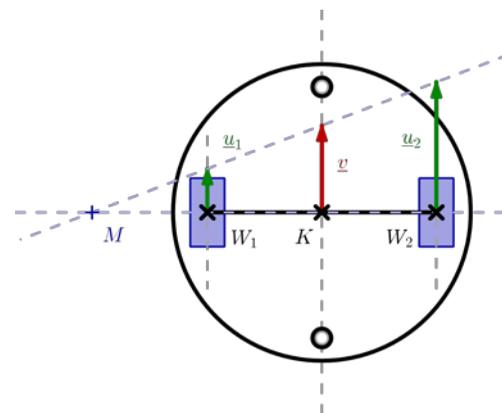
Das Tierreich macht es vor: Ameisen transportieren zielgerichtet, dezentral organisiert gemeinsam schwere und leichte Gegenstände. In diesem Vorhaben ist ein fahrzeugtechnischer Ansatz entstanden, mit welchem fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) nach dem Vorbild der Ameisen, angepasst an die Größe einer Last, welche transportiert werden soll, dezentral koordiniert als Verbund Lasten befördern. Dabei werden allerdings nicht nur gleiche Fahrzeugtypen verwendet: Fahrzeuge, die sich flächenbeweglich im Raum bewegen, werden als intelligenter Verbund mit linienbeweglichen Fahrzeugen gemeinsam Transportaufgaben übernehmen. Im Projekt Rekonom wurde ein fahrzeugtechnischer Ansatz als erster Baustein zur Umsetzung dieser Vision untersucht, erweitert und umgesetzt.

Zur erfolgreichen Ansteuerung dezentral koordinierter fahrerloser Transportfahrzeuge (FTF) wurde im Projekt Rekonom ein am IFT entwickeltes Konzept als mathematisches Modell auf verschiedene Fahrzeugtypen erweitert.



(1) Einspurmodell-Kinematik

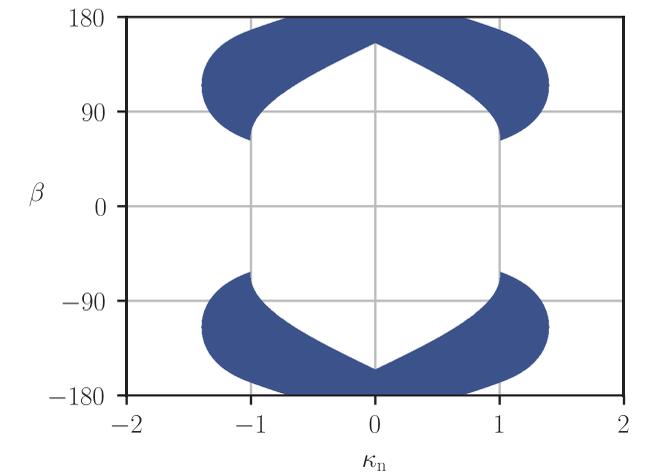
Das Modell, basierend auf sog. Omni-Kurven-Parametern (OKP), beschreibt die koordinierte Bewegung eines Fahrzeugs mit beliebig vielen Rädern. Die Bewegung wird dabei anhand der unabhängigen Parameter nominelle Geschwindigkeit ( $v_n$ ), Kurvenkrümmung ( $\kappa_n$ ) und Schwimmwinkel ( $\beta$ ) dargestellt. Im ersten Schritt sind dafür Anpassungen des mathematischen Modells für nicht gelenkte Räder, also linienbewegliche Fahrzeuge, erfolgt. Die genaue Anwendung der OKP auf verschiedenen Fahrzeugtypen ist in der Veröffentlichung [Brenner, C., Colomb A. (2022)]. Anwendung der Omni-Kurven-Parameter zur Bestimmung der Aktor-Stellgrößen und universellen Bewertung der Bewegungsmöglichkeiten unterschiedlicher Fahrwerke] beschrieben. Dort ist beispielsweise die Anwendung der OKP auf Fahrwerke mit nicht-gelenkten Rädern, wie bei einer Differenzialkinematik (2) oder dem Einspurmodell (1) beschrieben.



(2) Differenzialkinematik

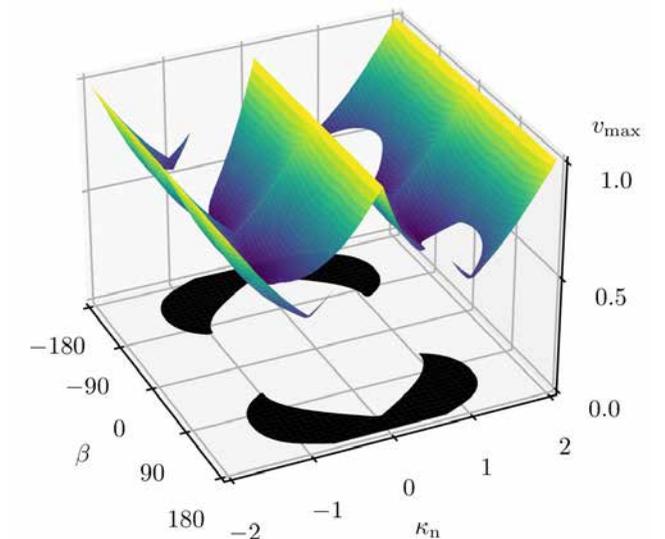
[Quelle (1) und (2): Colomb A., Brenner, C. (2020). Konzept zur intuitiven Steuerung omnidirektionaler Flurförderzeuge mit beliebiger Radkonfiguration]

Für die Pfadplanung wurden entsprechend die physischen Grenzen der verschiedenen Fahrwerke betrachtet und ausgearbeitet. Diese sind ebenfalls in [Brenner, C., Colomb A. (2022)]. Anwendung der Omni-Kurven-Parameter zur Bestimmung der Aktor-Stellgrößen und universellen Bewertung der Bewegungsmöglichkeiten unterschiedlicher Fahrwerke] beschrieben. Dabei wurde im ersten Schritt der zulässige Lenkwinkelbereich, welcher oftmals aufgrund von Kabeln etc. eingeschränkt ist, wie in der nachfolgenden Abbildung (3) anhand der theoretisch erarbeiteten Grundlagen betrachtet. Das erarbeitete Beispiel eines Fahrzeuges mit vier gelenkten Rädern, siehe Abbildungen (5) und (6), mit einem Grenzlenkwinkel von  $\alpha_g = 155^\circ$  ist in (3) gezeigt, dabei ist der für das Fahrwerk nicht anfahrbare Bereich in blau gekennzeichnet.



(3) Lenkwinkelbereich für ein Fahrzeug mit vier Fahr-Lenkantrieben. Die Räder können dabei um  $\alpha_g = 155^\circ$  maximal gelenkt werden.

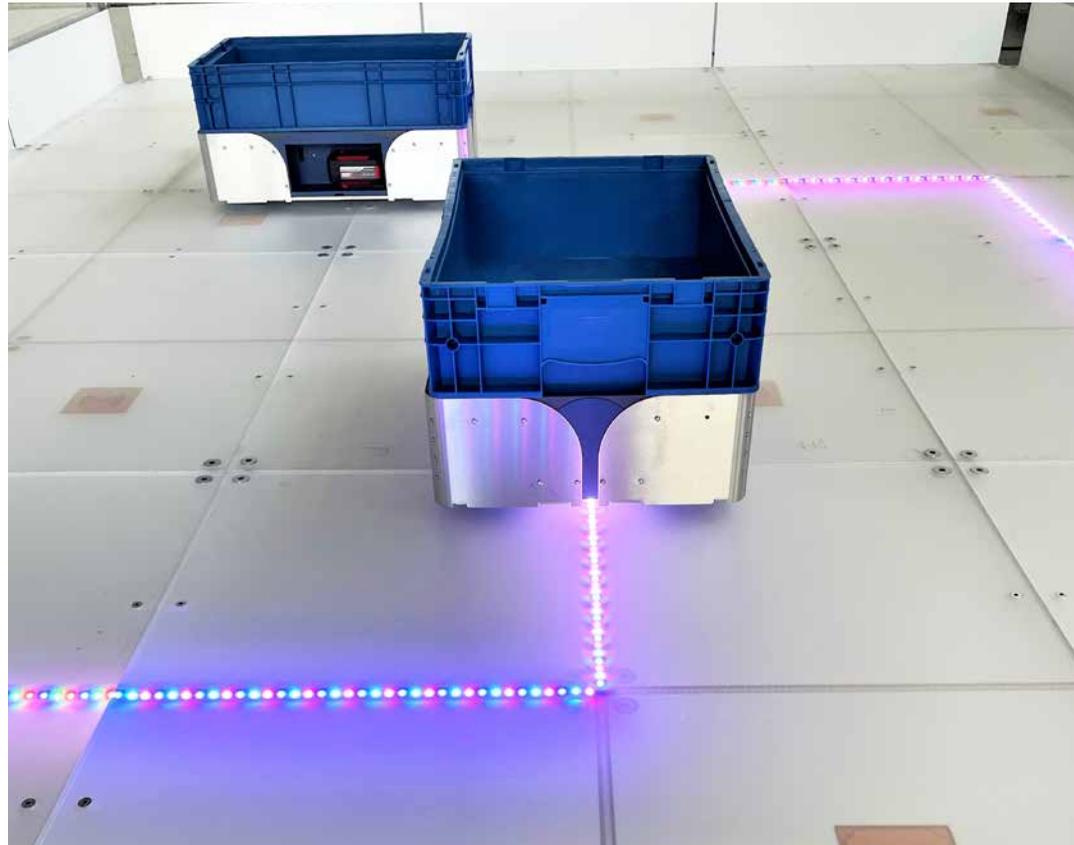
Aus diesen ersten Überlegungen wurden entsprechend die maximalen Geschwindigkeiten anhand der einzelnen Räder der Transportfahrzeuge für komplette beliebige Fahrwerke entwickelt. Für das Beispielfahrwerk mit vier gelenkten und angetriebenen Rädern ist dies in Abb. (4) gezeigt. Die Lenkwinkel-Sperrbereiche sind in dem Diagramm in schwarz zu erkennen. Außerdem ist die Vorgabe der maximalen Geschwindigkeit bei diesem Fahrwerk für eine translatorische Fahrt oder die Drehung um den Mittelpunkt möglich. Für die Grenzkrümmung an der Stelle  $\kappa_n = 1$  und  $-1$  kann die definierte minimale Geschwindigkeit erreicht werden.



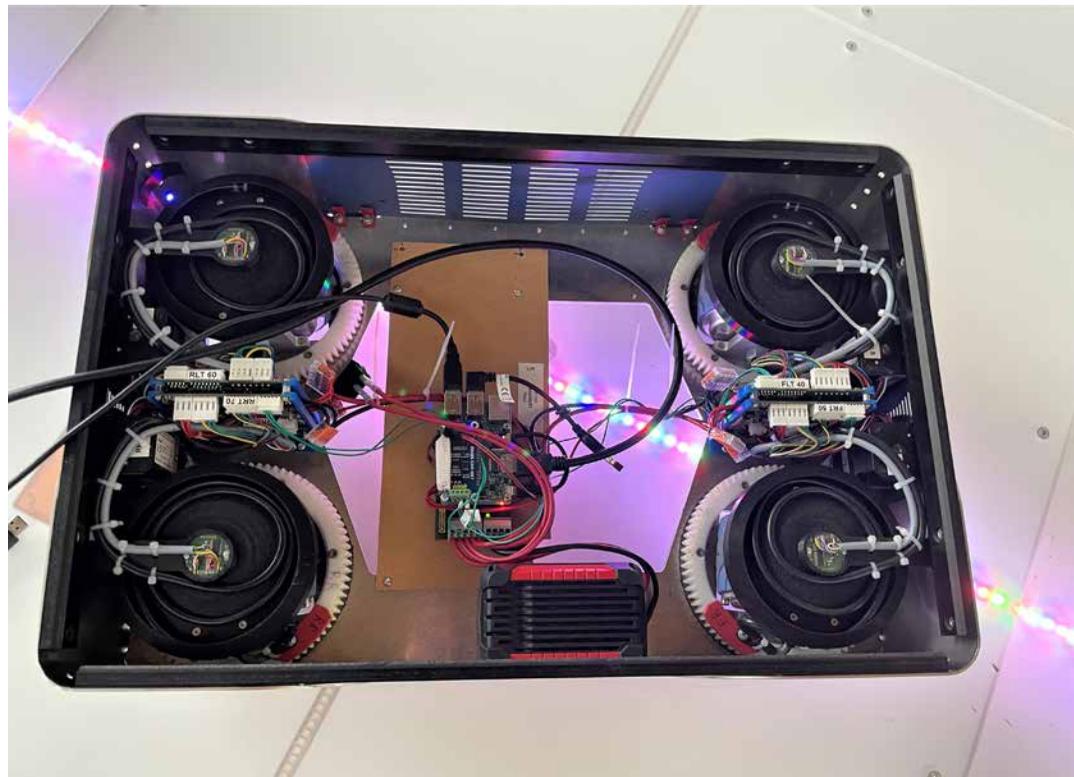
(4) Verlauf der Maximalgeschwindigkeit für das gewählte Beispiel eines Fahrzeuges mit vier Fahr-Lenk-Antrieben.

[Quelle (3) und (4): Brenner, C., Colomb A. (2022). Anwendung der Omni-Kurven-Parameter zur Bestimmung der Aktor-Stellgrößen und universellen Bewertung der Bewegungsmöglichkeiten unterschiedlicher Fahrwerke.]

Die gezeigten Diagramme können anhand der Basis der OKP für beliebige Fahrzeuge automatisch erstellt werden und entsprechend durch eine Schnittstelle wie die Verwaltungsschale an eine Leitsteuerung übermittelt werden. Diese kann dann entsprechend die Informationen für die Pfadvorgabe berücksichtigen. Der fahrzeugtechnische Ansatz wurde in Matlab Simulink simuliert und in zwei Fahrzeugen am IFT eingebaut.



(5) Fahrzeug Scooty auf dem intelligenten Boden



(6) Die vier Fahr-Lenk-Module können individuell angesteuert werden

Für die erste Umsetzung wurde der erforschte Ansatz in das Fahrzeug „Scooty“ integriert. Dieses kann anhand eines Joysticks manuell oder von einem Boden, welcher eine LED-Spur vorgibt, gesteuert werden. Dabei gibt der Boden den Weg vor und kann somit das Fahrzeug steuern. Ein Standard-Liniefolge Algorithmus wurde mit dem neu erarbeiteten Ansatz entsprechend ausgetauscht. Der Boden und das Fahrzeug sind in der Abb. (5) gezeigt.

Das Fahrzeug Scooty besteht aus vier Fahr-Lenk-Modulen, s. Abb. (6) und (7), welche individuell von dem neuen Ansatz angesteuert werden können, so dass das Fahrzeug der gewünschten Spur folgt. Die Kamera, welche die Spur als Signal auswertet, sitzt in der Mitte des Fahrzeugs. Mit dem neu erarbeiteten Ansatz kann das Fahrzeug Scooty der Spur ohne Regelabweichung folgen. Damit kann an diesem flächenbeweglichen Fahrzeug die Funktionsfähigkeit des Ansatzes gezeigt werden.

Da Scooty mehrere Fahr-Lenk-Module besitzt, konnte der Ansatz damit außerdem für einen Fahrzeugverbund, der gemeinsam eine Last transportiert, validiert werden.

Neben der Implementierung im Fahrzeug Scooty wurde der neue Ansatz auch in einem kleinen linienbeweglichen Roboter implementiert. Dieses ist in Abbildung (8) gezeigt. Da der Roboter andere fahrwerkstechnische Eigenschaften mit sich bringt als das Fahrzeug „Scooty“, konnte damit die Evaluierung des Ansatzes für linienbewegliche Fahrzeuge erfolgen. Anhand der getätigten Versuche konnte schließlich gezeigt werden, dass der erstellte Ansatz sowohl für linienbewegliche wie auch für flächenbewegliche Fahrzeuge auf beliebige Fahrwerke und Fahrzeugkonfigurationen umgesetzt werden kann.

In einem neuen Projekt, welches im Februar 2023 startet, soll der Ansatz nun für Transportfahrten mit vielen unterschiedlichen fahrerlosen Transportfahrzeugen erprobt werden.

*Carolin Brenner*



(7) Detail der Fahr-Lenk-Module



(8) Verwendeter linienbeweglicher Roboter

# BulkID

## Schüttgutlagerstätten kontinuierlich überwachen

Im Juli 2022 wurde das AiF-Projekt BulkID zur Entwicklung einer kontinuierlichen Überwachung von Schüttgutlagerstätten, insbesondere für Getreide und Saatgut, erfolgreich abgeschlossen. In der Schlussphase des Projekts wurden der finale Experimentalprototyp aufgebaut und im Feldversuch erfolgreich erprobt, sowie die Einbringung der Sensoreinheiten in das Getreide untersucht.

Der Stand der Technik besteht aus einer mehrere Meter langen Edelstahlsonde, an deren Spitze beispielsweise ein Temperatursensor sitzt. Durch manuelles Einbringen dieser Sonde in ein Getreideflachlager kann die Temperatur gemessen werden. Nachteile sind allerdings die aufwändige Handhabung der Sonde sowie die diskontinuierliche Messung. Das Projekt BulkID hatte das Ziel, diese Messung und Überwachung zu erleichtern, indem bereits während des Einstapelns des Getreides im Flachlager kostengünstige Sensoreinheiten in das Getreide eingebracht werden und über die Lagerungsdauer darin verbleiben

Eine Sensoreinheit besteht aus einem Mikrocontroller mit Funkmodul, der von einem Lithium-Polymer-Akku versorgt wird und regelmäßig Sensordaten drahtlos an einen Zentralrechner übermittelt. Die Experimentalprototypen der Sensoreinheiten sind mit Temperatur- und teilweise CO<sub>2</sub>-Sensoren ausgestattet, da diese beiden Parameter besonders aufschlussreich hinsichtlich der Bildung von mikrobiellem Verderb in Getreide sind. Alle Komponenten sind in einer robusten Kunststoffkugel untergebracht.

Zur Erprobung des Systems wurden sechs Sensoreinheiten in etwa 10 Tonnen Weizen eingebracht und über Nacht der Verlauf von Temperatur und CO<sub>2</sub>-Konzentration aufgezeichnet. Mit diesem Feldversuch konnten wertvolle Erkenntnisse über die Reichweite und Robustheit der Drahtloskommunikation gewonnen sowie die grundsätzliche Eignung des Systems zur Überwachung von Schüttgut nachgewiesen werden.



Komponenten des Experimentalprototypen

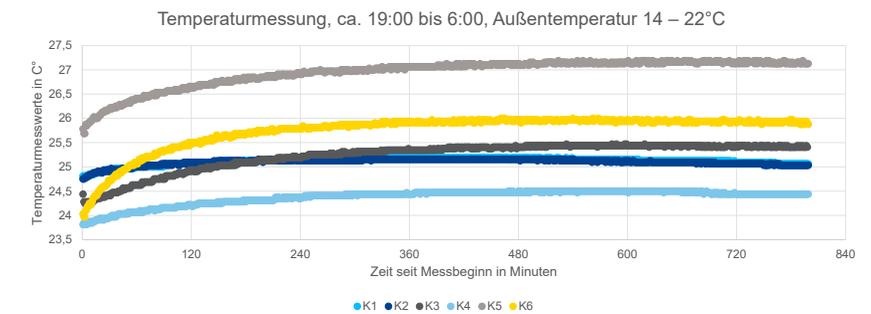


Anordnung zur Erprobung: Während des Versuchs waren die Sensoreinheiten im Getreide versenkt.

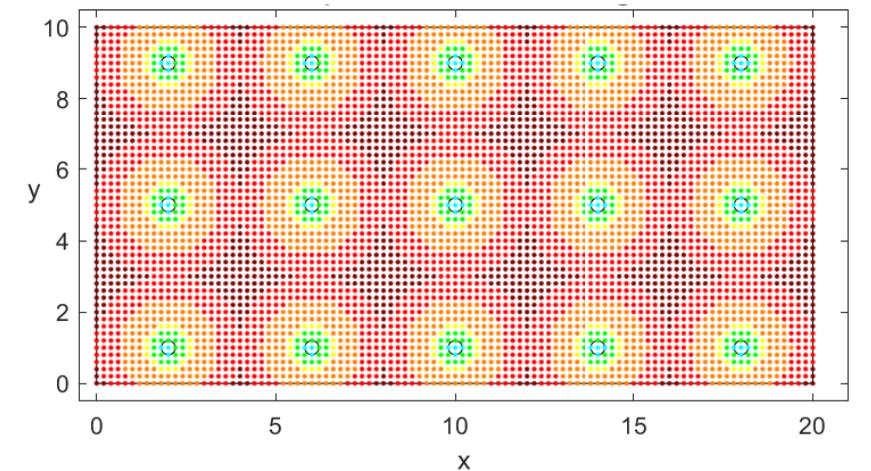
Um eine ausreichende Abdeckung der Getreidelagerstätte mit Sensoren zu gewährleisten, müssen die Zielpositionen der Sensoreinheiten vor der Einbringung bestimmt werden. Hierzu wurden im Rahmen des Projektes Simulationen durchgeführt, um auf Basis von Funkreichweite, Messreichweite sowie der gewünschten Messabdeckung die Anzahl und Zielpositionen der benötigten Sensoreinheiten zu berechnen. Betrachtet man beispielsweise eine Schicht in der Getreidelagerstätte und unterteilt diese näherungsweise in ein feinmaschiges Netz, lässt sich für eine gegebene Sensorverteilung für jeden Punkt im Netz die Entfernung zur nächstgelegenen Sensoreinheit berechnen.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich in der Folge Aussagen über die Robustheit der Schüttgutüberwachung ableiten, zum Beispiel die Menge an Getreide, die verdirbt, bis an einer Sensoreinheit entsprechende Parameter aufgezeichnet werden. Dies liefert nicht nur wichtige Erkenntnisse für die technische Umsetzung der Einbringung in das Schüttgut, sondern ermöglicht es auch, Empfehlungen beispielsweise für nicht zu überschreitende Abstände zwischen zwei Kugeln auszusprechen.

Jonas Nölcke



Temperaturmessung im Getreide über Nacht



Darstellung des Abstands zur nächstgelegenen Sensoreinheit. Je wärmer die Farbe, desto weiter entfernt ist ein Punkt im Schüttgut von einem Sensor

# Radprüfstand

Räder und Rollen stellen für sämtliche logistischen und fördertechnischen Prozesse des Materialflusses ein unverzichtbares Konstruktionselement dar.

Für den Betrieb von Flurförderzeugen sind sie nicht nur ein Verschleißelement, denn neben den Hauptanforderungen wie Antriebs- und Seitenführungskräfte bei hoher Traglastkapazität und Geschwindigkeit zu übertragen, kommen u.a. Forderungen nach langer Standzeit, Dämpfungsvermögen und Bodenschonung hinzu. Dementsprechend ergibt sich bereits aus technischer Sicht ein veritables Spannungsfeld der Anforderungen. Gleichzeitig stellen Räder und Rollen einen ökonomischen Faktor für den Betrieb einer Flurförderzeugflotte dar, indem sich für Ersatzbeschaffung und Ausfallzeiten die Kosten summieren. Eine möglichst lange Haltbarkeit ist jedoch nicht nur aus ökonomischen Gesichtspunkten erstrebenswert, vielmehr gewinnen Aspekte des Ressourcenverbrauchs zunehmend an Bedeutung. Dies betrifft sowohl den Betrieb, da ein geringer Rollwiderstand zu niedrigerem Energieverbrauch und längeren Ladezyklen führt, aber auch den Ressourcenbedarf für die Herstellung und das Recycling von Rädern und Rollen mit Polyurethanlaufbelag. Demzufolge ist die Haltbarkeit solcher Räder und Rollen aus heutiger Sicht in vielschichtiger Weise von Belang. Essenziell ist dementsprechend eine präzise Abstimmung der Räder und Rollen auf die im Einsatz vorherrschenden Anforderungen und Betriebsbedingungen.

Bislang führten im Wesentlichen steigende Belastungen hinsichtlich der Traglast und der Fahrgeschwindigkeit zu einem stetigen Rückgang der erzielbaren Lebensdauer und Laufleistung von Flurförderzeugrädern und -rollen. Diese Entwicklung ist vorrangig dem Wunsch nach hoher Umschlagleistung geschuldet, was durch entsprechend hohe Nutzlasten und Fahrgeschwindigkeiten bei Flurförderzeugen erreicht wird. Die tatsächlich in der Anwendungspraxis erzielten

Standzeiten sind letztlich aber von den individuell vorherrschenden Betriebsbedingungen und Einsatzcharakteristika, wie u.a. Gewichtsbelastung, Fahrzeitanteil bei Maximalgeschwindigkeit und den Beschleunigungswerten abhängig, die stark variieren können. Hinsichtlich des Verschleißes und der Erwärmung sind die Reibungsverhältnisse maßgebend. Hierzu zählen die Parameter des tribologischen Rad-Bodenkontakts, wozu Kraftschluss und Schlupf zählen, aber auch die innere Reibung des Laufbelagmaterials.

Die Reibung zwischen Laufbelag und Fahrbahnoberfläche resultiert aus einer adhäsiven Komponente und der Hysteresereibung. Adhäsive Reibung beruht auf der Bildung und dem Aufbrechen molekularer Bindungen zwischen den Reibpartnern, während Hysteresereibung auf Deformation der Radbandage beruht. Der Anteil der Komponenten an der resultierenden Reibungskraft, aber auch der Absolutwert der Reibungskraft, sind sowohl von der Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche als auch von den Kenngrößen der Radbandage abhängig, wobei die Reibungspartner nicht isoliert voneinander betrachtet werden dürfen, da letztlich der sich einstellende Reibungszustand ein Resultat des Zusammenwirkens aller Komponenten des tribologischen Systems ist. Insofern gilt es, eine detaillierte Auswahl, Auslegung und Anpassung der Materialität des Laufbelags der Räder und Rollen auf die vorherrschenden Bedingungen vorzunehmen, da die Bodenbeschaffenheit aufgrund neuerlicher Weiterentwicklungen im Bautenschutz zu einer zunehmend individuellen Einflussgröße werden. So kommen beispielsweise im Industriebau sowohl im Rahmen von Bestandsanierungen als auch bei Neubauten mittlerweile verstärkt Beschichtungen zur kostengünstigen Bodenanierung bzw. zum Schutz mechanisch- und chemisch beanspruchter Böden zum Einsatz. Dementsprechend finden derartige Bodenbeschichtungssysteme auch und vor allem auf Produktionsflächen sowie in Lager- und Logistikbereichen Anwendung.



Konzipiert für Radgrößen von 230 bis 400 mm, können durch Umbauten auch Räder mit Größen von 500 mm mit verschiedenen Parametern auf dem Prüfstand untersucht werden.

Die Beschichtungen sollen primär die darunterliegende Bausubstanz vor mechanischen und chemischen Beanspruchungen schützen, bergen aber gleichzeitig Vorteile hinsichtlich der Rutschhemmung und Reinigung. Im Vergleich zu gängigen Beton- bzw. Betonestrichböden verändern Polymerbeschichtungen die Kontaktmechanik zu Flurförderzeugrädern und -rollen jedoch fundamental, so dass im Vergleich zu Beton- und Betonestrichfahrbahnen stark abweichende Schadens- und Verschleißbilder auftreten können. In der Hinsicht bietet der Aufbau des Räder- und Rollenprüfstandes am IFT die Möglichkeit, durch ein Wechselbodensystem Fahrbahnplatten mit unterschiedlichsten Beschichtungen und Oberflächeneigenschaften aufzubringen, so dass ein breites Spektrum an Einsatzszenarien reproduzierbar im Laborversuch nachgestellt werden kann.

Werden Einsatzbedingungen, Fahrbahnbelageigenschaften und Radspezifikationen nur unzureichend aufeinander abgestimmt, respektive können diese

mangels gesicherter Erkenntnisse nicht besser aufeinander abgestimmt werden, wird das Gebrauchs- und Lebensdauerpotential von Flurförderzeugrädern und -rollen massiv eingeschränkt und damit Ressourcen nicht effizient und wirtschaftlich eingesetzt.

Der Großprüfstand am IFT bietet gleichermaßen für Grundlagenforschung und Entwicklung, aber auch unterschiedlichsten Anwendern die Möglichkeit, Radkonstruktionen und -werkstoffe unter Laborbedingungen im Rahmen von Belastungs- und Verschleißtests experimentellen Untersuchungen zu unterziehen. Aktuelle Projekte im Bereich der Räder und -rollen unterstreichen einen immensen Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um einen noch kosten- und ressourceneffizienteren Einsatz dieser konstruktiven Basiselemente von Flurförderzeugen zu realisieren.

*Matthias Hofmann*

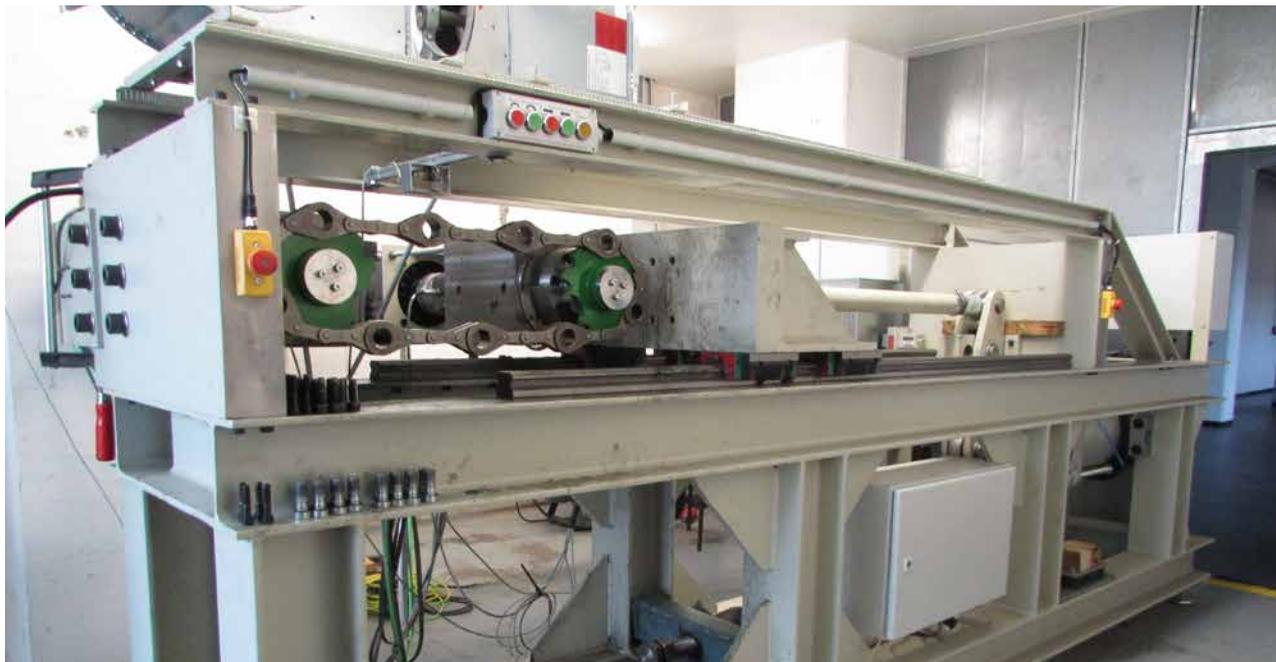
# Kettenverschleiß- prüfstand



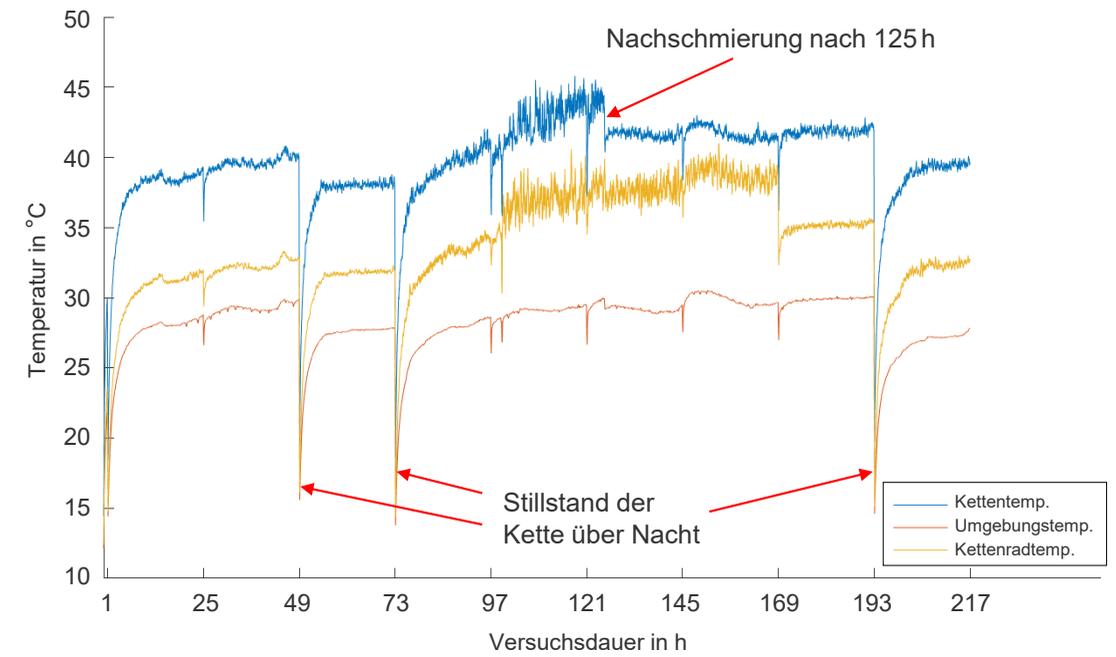
KETTENTRIEBE SIND DURCH IHREN EINSATZ ALS ANTRIEBS- UND FÖRDERELEMENTE BEISPIELSWEISE IN VERPACKUNGSMASCHINEN, ABFÜLLANLAGEN UND LOGISTIKZENTREN IN DER LOGISTIK UND FÖRDERTECHNIK VERBREITETE MASCHINENELEMENTE.

DAS IFT BETREIBT EINEN KETTENVERSCHLEISSPRÜFSTAND, AUF DEM VERSCHIEDENSTE KETTEN HINSICHTLICH IHRER LEBENSDAUER UND IHRES VERSCHLEISSVERHALTENS UNTERSUCHT WERDEN.

Im laufenden Versuch werden unterschiedliche Parameter erfasst



Verschiedenste Ketten können auf dem Prüfstand untersucht werden



Temperaturmessung einer Standardkette

Sowohl in der institutseigenen Forschung als auch für Kettenhersteller und -anwender aus der Industrie werden beispielsweise Antriebsketten, Stauförderketten oder Lastketten anwendungsnah erprobt. Zur Belastung der Ketten kann die Abtriebswelle mit einem Bremsmoment von bis zu 600 Nm beaufschlagt werden, während Lastketten mit bis zu 130 kN vorgespannt werden können. Drehmoment an An- und Abtriebswelle sowie die Kettentemperatur können permanent gemessen und aufgezeichnet werden. Einflussfaktoren auf Kettenverschleiß sind sehr vielseitig, eine umfassende Lebensdauergleichung für Ketten existiert entsprechend nicht.

Ein Forschungsschwerpunkt ist daher die Zustandsüberwachung von Kettentrieben als Grundlage für zustandsbasierte Instandhaltung und die Entwicklung von

Predictive Maintenance-Ansätzen. So werden im Versuch erfasste Parameter wie zum Beispiel Maschinenvibrationen, Kettentemperatur und Drehmoment an An- und Abtrieb hinsichtlich ihrer Aussage zum Zustand der Kette untersucht. Anzeichen von Verschleiß, aber auch der Schmierungsstatus können somit frühzeitig erkannt und behoben werden. Die Abbildung zeigt die Temperaturmessung einer Standardkette im Langzeitversuch.

Neben der Kettentemperatur wurden auch die Temperaturen des Kettenrades und der Umgebung erfasst. An den Messwerten lassen sich neben drei längeren Abkühlphasen über Nacht auch deutlich die erhöhte Reibung infolge Mangelschmierung sowie der Zeitpunkt der Nachschmierung erkennen.

*Jonas Nölcke*

# Studieren 2022

Praxisnahe Vorlesungen, Seminare und Exkursionen geben einen Einblick in unsere Forschungsfelder und bereiten die Studierenden optimal auf die Berufspraxis vor. Unser Lehrangebot für Bachelor- und Masterstudierende richtet sich vorwiegend an die Studiengänge Maschinenbau, Mechatronik, Technologiemanagement und technisch orientierte Betriebswirtschaftslehre und wird laufend aktualisiert. Aufbauend auf unseren Grundlagenvorlesungen für Bachelorstudiengänge haben die Studierenden die Möglichkeit, sich im Masterstudium durch ihre Modulauswahl inhaltlich auf einen Bereich (Seiltechnik, Förder-technik oder Logistik) zu fokussieren.

Seit Beginn des Sommersemesters 2022 findet die Lehre wieder in Präsenz statt. So konnten wir auch unsere Praktikumsversuche wieder in den Laborhallen des Instituts anbieten.

Unser Lehrangebot haben wir aktualisiert und neue Module aufgenommen. So bieten wir ab SoSe 2022 das Modul „Logistik im automobilen Produktentstehungsprozess“ an. Hier lernen die Studierenden die unterschiedlichen Herausforderungen, Abläufe und Prozesse in der Automobillogistik kennen. Das Modul vermittelt weiterhin Kenntnisse zu verschiedenen Product-Lifecycle-Management-Systemen und deren Anwendungen in unterschiedlichen Bereichen der Produktion und Logistik. Neu konzipiert und im WiSe 2022/23 integriert wurde das Modul „Digitalisierung logistischer Prozesse“. Hier erhalten die Studierenden Einblicke in die komplexen intralogistischen Prozesse und erlernen Lösungskonzepte zur Digitalisierung. So können sie bspw. mithilfe einer Software den IST-Zustand einer Fabrik als digitalen abbilden und Optimierungsvorschläge entwickeln.

Exkursionen sind ein wichtiger Bestandteil des Studiums und eine gute Gelegenheit für die Studierenden, Einblicke in die Praxis zu erhalten.

## Vorlesungen im Wintersemester

- Digitalisierung logistischer Prozesse
- Distributionszentrum
- Materialflusstechnik und Fahrerlose Transportsysteme
- Konstruktionselemente der Fördertechnik
- Materialflussautomatisierung
- Methoden und Strategien in der Logistik
- Moderne Sicherheitstechnik und Schadensanalyse

## Vorlesungen im Sommersemester

- Automobillogistik
- Baumaschinen I+II
- Grundlagen der Logistik
- Logistisches Planspiel
- Planung logistischer Systeme
- Product-Lifecycle-Management in der Logistik
- Seiltechnologie, Hochleistungsseilbahnen, Aufzüge und Großkrane
- Simulation und Visualisierung in der Intralogistik

## Seminare und Praktika (WiSe + SoSe)

- CAD-Seminar
- Praktikumsversuche
- Vortragsseminar

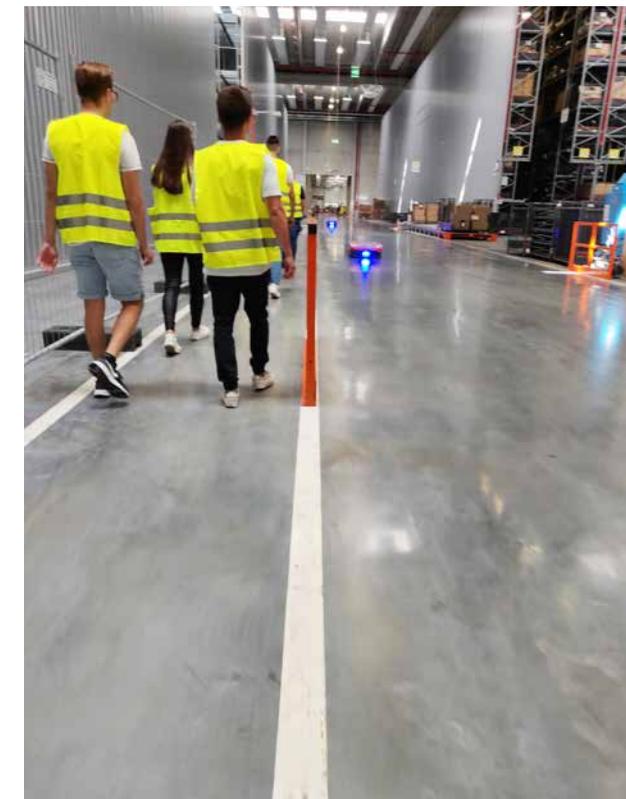
## Studentische Arbeiten (WiSe + SoSe)

- Studien-, Bachelor-, Masterarbeiten
- Projektarbeiten

Alle Informationen zu unserem Vorlesungs- und Seminarangebot sowie die Themen für studentische Arbeiten sind auf der IFT-Homepage unter folgendem Link veröffentlicht: <https://www.ift.uni-stuttgart.de/lehre/>

Wie innerbetriebliche Logistikprozesse ablaufen, erleben die Teilnehmer\*innen bei der Besichtigung des Logistikzentrums der Porsche Logistik GmbH in Sachsenheim. Interessante Einblicke in die Logistikprozesse der Fashion- und Lifestylebranche erhielten die Studierenden im Warendienstleistungszentrum des Unternehmens E. Breuninger GmbH & Co. und dem HUGO BOSS Logistikzentrum.

Die Themen der studentischen Arbeiten (Studien-, Bachelor- und Masterarbeiten) sind in aktuelle Forschungs- oder Industrieprojekte eingebunden. Je nach Interesse können theoretische, experimentelle oder konstruktive Themen gewählt werden. In konstruktiven Arbeiten werden bspw. neue Prüfstände oder -komponenten konzipiert und konstruiert.

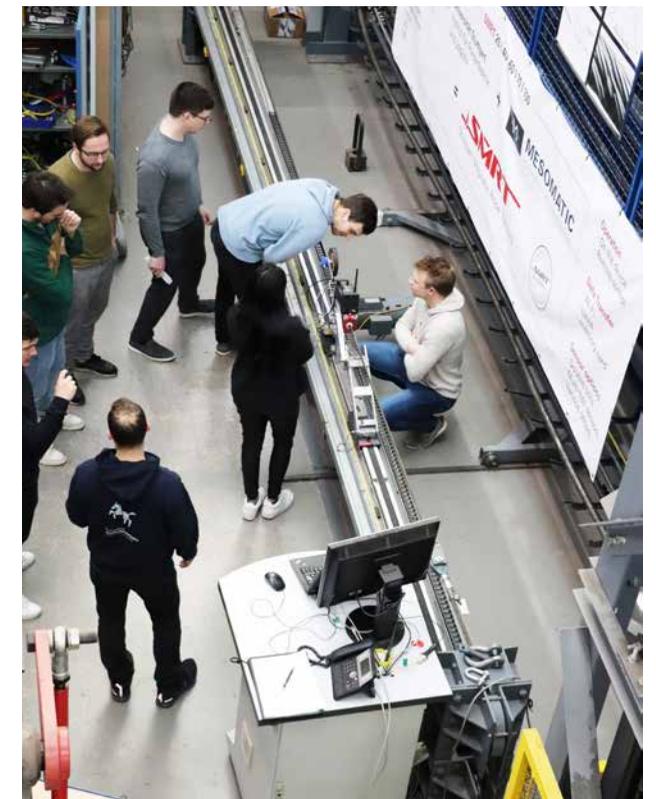


Exkursion zum Logistikzentrum der Porsche Logistik GmbH in Sachsenheim

Für theoretische oder experimentelle Aufgabenstellungen und Projekte werden Berechnungs- und Simulationsmodelle entwickelt. Am Institut stehen Arbeitsplätze für Studierende zur Verfügung und es besteht die Möglichkeit, insbesondere bei konstruktiven Arbeiten die Werkstatt- und Prüfeinrichtungen der Labore zu nutzen.

Am Infotag für Masterstudierende haben wir unsere Laborhallen geöffnet und unsere spannenden Forschungsthemen vorgestellt. Interessierte Studierende konnten sich über unser Lehrangebot, studentische Arbeiten und HiWi-Tätigkeiten informieren. Mitarbeitende und Studierende nutzten anschließend die Gelegenheit zum Kennenlernen und Austauschen.

Gudrun Willeke



Praktikumsversuche ergänzen die theoretischen Vorlesungsinhalte

# MASTER:ONLINE Logistikmanagement

## Weiter. Bilden. Online.

Auch 2022 entschieden sich wieder viele Fach- und Führungskräfte aus der Logistik für ein berufsbegleitendes Studium an der Universität Stuttgart. Seit mittlerweile 15 Jahren bietet das Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) das Weiterbildungsprogramm MASTER:ONLINE Logistikmanagement (MOL) an. Interne und externe Kooperationspartner wie das Fraunhofer IAO und das Fraunhofer IPA, das Betriebswirtschaftliche Institut der Universität Stuttgart und die Robert Bosch GmbH ergänzen die Lehrinhalte.

Das Masterstudium fokussiert sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Inhalte. Der akkreditierte Abschluss Master of Business Engineering (MBE) ist international anerkannt und berechtigt zur Promotion. Durch das Blended Learning-Konzept können die Lernphasen weitgehend individuell geplant werden, pro Semester fallen nur ca. 3-4 Präsenztage für Übungen an.



MOL-Studierende nahmen am Präsenztage teil

Studieninteressierte, die sich spezifisch und in einem kürzeren Zeitraum weiterbilden möchten, können im Zertifikatsstudium einzelne Module belegen. Besonders beliebt sind „Grundlagen und Planung in der Logistik“ sowie „Technologien in der Intralogistik“. Wer nach erfolgreichem Zertifikatsabschluss doch noch ein Masterstudium beginnen möchte, kann die erbrachte Leistung anerkennen lassen.

Unter dem Motto „Forschen & WeiterBilden“ konnten sich die Teilnehmenden am Tag der Logistik am 21. April 2022 darüber informieren, wie aktuelle Forschungsthemen in das Lehrkonzept von MOL einfließen. MOL-Dozenten erläuterten, wie innovative Kommissioniersysteme und flexible Materialflusskonzepte für die Produktions- und Intralogistik zur Effizienzsteigerung in KMU eingesetzt werden können.

Das MOL-Forum mit Urkundenübergabefeier fand am 14. Oktober 2022 in der illuminierten Logistikhalle statt. Neben informativen Vorträgen und der Urkundenverleihung an die Absolvent:innen des Jahrgangs 2021/22 konnten die Gäste die Versuchsstände des IFT besichtigen und spannende Einblicke in die Forschungsarbeit des IFT erhalten.

Das didaktische Konzept, die persönliche Betreuung und die Anerkennungsmöglichkeiten machen das Weiterbildungsangebot nicht nur für Studieninteressierte attraktiv. Auch immer mehr Arbeitgeber:innen wissen die Vorteile zu schätzen – und unterstützen das Studium ihrer Mitarbeiter:innen an der Universität Stuttgart häufig finanziell. Zudem besteht die Möglichkeit, Leistungen aus dem Erststudium anerkennen zu lassen; Studiendauer und -gebühren können sich so deutlich verringern.

Der Start ins Master- oder Zertifikatsstudium ist jeweils zum Sommersemester oder zum Wintersemester möglich (Bewerbungsschluss 15. März bzw. 15. September). Weitere Informationen finden Sie auf unserer Homepage: [www.mol.uni-stuttgart.de](http://www.mol.uni-stuttgart.de). Oder wenden Sie sich bei weiteren Fragen gerne an uns unter 0711 685-83798.

Folgen Sie uns auf LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/logistikmanagement/>.

Silke Hartmann



Das MOL-Forum fand in der Logistikhalle am IFT statt

# Bachelorarbeiten

Entwicklung einer Messvorrichtung für Kettenlängung  
Development of a measurement setup for chain elongation

*Studiengang: Maschinenbau B.Sc.*  
*Abteilung: Maschinenelemente (MaMa)*

Entwicklung einer Testvorrichtung zur Untersuchung von Flüssigkeitseinflüssen auf den Antriebskettenverschleiß

Development of a testing device for evaluation of the impact of fluids on drive chain wear  
*Studiengang: Maschinenbau B.Sc.*  
*Abteilung: Maschinenelemente (MaMa)*

Entwicklung einer Testvorrichtung zur Untersuchung von Staubeinflüssen auf Antriebskettenverschleiß  
Development of a test setup to investigate dust influence on drive chain wear

*Studiengang: Maschinenbau B.Sc.*  
*Abteilung: Maschinenelemente (MaMa)*

Entwicklung eines Aktuators mit filamentbasierten Muskeln für die Fördertechnik  
Development of an actuator with filament-based muscles for conveyor technology

*Studiengang: Maschinenbau B.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Entwicklung eines Konzepts für eine Urbane Logistikimmobilie in Stuttgart  
Concept Development of an Urban Logistics Facility in Stuttgart

*Studiengang: Maschinenbau B.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Konstruktion einer Schnittmaschine zur Bestimmung der Schnittfestigkeit von Faserseilen  
Construction of a rope cutting machine to determine the cutting strength of fibre ropes

*Studiengang: Maschinenbau B.Sc.*  
*Abteilung: Seiltechnologie*

Recherche über Seilanwendungen und dort eingesetzte Seiltypen

Research on rope application and rope types  
*Studiengang: Technologiemanagement B.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Recherche und Vergleich von Seilendverbindungen für Drahtseile

Research and Comparison of of End-Connections for Wire Ropes  
*Studiengang: Maschinenbau B.Sc.*  
*Abteilung: Seiltechnologie*

Spurführung eines omnidirektionalen Roboters  
Track guidance of an omnidirectional robot

*Studiengang: Maschinenbau B.Sc.*  
*Abteilung: Maschinenelemente (MaMa)*

Standardisierung eines Transportcontainers für die Zustellung von Waren in der urbanen Logistik  
Standardization of a transport container for the last mile delivery of goods

*Studiengang: Technologiemanagement B.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Studie zum Einsatz von Faserseilen als Tragmittel im Tagebau

Study on the use of Fibre ropes as suspension means in opencast-mining

*Studiengang: Technologiemanagement B.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Untersuchung zur Lebensdauer und den Schädigungsmechanismen laufender Seile in Seiltrieben bei mehrfacher gleichsinniger und gegensinniger Biegung  
Investigation of lifetime and damage mechanisms of running rope drives under multiple simple or reverse bending

*Studiengang: Technologiemanagement B.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

# Studienarbeiten

Analyse und Bewertung von IT-Lösungen in der Produktion und Logistik  
Analysis and evaluation of IT solutions in production and logistics

*Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Durchsatzermittlung von Hebern in einem Shuttlelager mit Hilfe von Simulation  
Throughput simulation of the elevator of a shuttle storage

*Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Entwicklung einer Abhebevorrichtung für ein visuelles Seilprüfgerät  
Development of a lifting device for a visual rope testing device

*Studiengang: Maschinenbau M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Entwicklung eines Simulationsbausteins zur Bewertung der logistischen Qualität der Materialbereitstellung innerhalb der Montage  
Development of a simulation module to evaluate the logistic quality of material staging in the assembly

*Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Konzeption und Entwicklung eines Softwaretools zur Modellbildung von Transportaufträgen des gesamten Stückgutverkehrs der Region Stuttgart  
Conception and development of a software tool for modelling of transport orders of the entire general cargo office of the Stuttgart region

*Studiengang: Maschinenbau M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Recherche und Analyse von Ansätzen zur Materialbereitstellung in veränderungsfähigen Montagesystemen

Research and analysis of material supply approaches in adaptable assembly systems  
*Studiengang: Maschinenbau M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Schadensanalyse und zerstörende Prüfung von abgelegten Tragseilen  
Damage analysis and destructive testing of discarded track ropes

*Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Seiltriebanalyse eines aufgeständerten Fördersystems im Tagebaueinsatz  
Rope drive analysis of an elevated conveyor system in use in open-cast mining

*Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Simulation des Behälterlifts eines Shuttle-Lagersystems zur Ermittlung von strategischen Optimierungspotentialen  
Simulation of the container lift of a shuttle storage system to determine strategic optimization potentials

*Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Simulation von Transportaufträgen zur Darstellung des Stückgutverkehrs in der Stadt Stuttgart  
Simulation of transport orders to represent the general cargo traffic of the city of Stuttgart

*Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

Untersuchung der Reibeigenschaften von Faserseilen  
Investigation of the frictional properties of fiber ropes

*Studiengang: Maschinenbau M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

UX-Design einer Prüfsoftware für einen Fallprüfstand zur Normprüfung von PSAgA  
UX design of a testing software for a drop test rig for standard testing of PPEaF

*Studiengang: Maschinenbau M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Vertical Farming und die logistischen Herausforderungen

Vertical Farming and the logistical challenge  
*Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.*  
*Betreuung: Abteilung Logistik*

# Masterarbeiten

Analyse und Auswahl der optimalen Fertigungsplanung und -steuerung im neuen Produktionslayout der Cooper Standard GmbH am Standort Schelklingen

*Studiengang: Master:Online Logistikmanagement  
Betreuung: Abteilung Logistik*

Analyse und Optimierung von Abfallströmen in ländlichen Gebieten unter genauer Betrachtung der Depotsammlung Papier/Pappe/Kartonagen am Beispiel der Stadt Kreuztal

*Studiengang: Master:Online Logistikmanagement  
Betreuung: Abteilung Logistik*

Concept and design of a positioning system for sensors in grain storages

*Studiengang: Maschinenbau M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Maschinenelemente (MaMa)*

Entwicklung eines Objekterkennungssystems für die Intralogistik

Development of an object detection system for intralogistics

*Studiengang: Techn. Kybernetik M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Logistik*

Entwicklung eines technischen Konzepts für ein vollautomatisches Fahrradparksystem

*Studiengang: Maschinenbau M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Maschinenelemente (MaMa)*

Entwicklung von Prüfverfahren für die Prüfung des Gegengewichtsausgleichs

Development of test procedures for counterbalance testing

*Studiengang: Mechatronik M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Identifikation und Bewertung von Ortungstechnologien in der Logistik

*Identification and evaluation of positioning technologies in logistics  
Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Logistik*

Intra-Logistik: Abwägung zwischen dem Einsatz stetiger und/oder unstetiger Förderer bzw. FTS in der Abbildung des Materialflusses in Kommissioniersystemen für Kleinladungsträger

*Studiengang: Master:Online Logistikmanagement  
Betreuung: Abteilung Logistik*

Konzept zur Optimierung des Lagerkommissionierungsprozesses am Beispiel von Oubo Enterprise

*Concept for optimizing the warehouse picking process using Oubo Enterprise as an example  
Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Logistik*

Konzeptionierung, Aufbau und Inbetriebnahme eines Fertigungsprüfstandes zur Geräteendprüfung von Fahrtrieben

*Conception, construction and commissioning of a product test bench for final device testing of travel drives*

*Studiengang: Maschinenbau M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Seiltechnologie*

Materialflussuntersuchung und Optimierungsplanung eines innerbetrieblichen Materialflusses mittels Wertstromanalyse am Beispiel der Hohlradfertigung der ZF Friedrichshafen AG, Werk Gray Court (South Carolina USA)

*Studiengang: Master:Online Logistikmanagement  
Betreuung: Abteilung Logistik*

# Masterarbeiten

Methodik zur Bestimmung des technischen Bereitstellungsaufwandes und des Bereitstellungspotentials von HV-Leitungssatzsteckern

*Methodology for determining the technical provisioning effort and the provisioning potential  
Studiengang: Fahrzeug- und Motorentechnik M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Maschinenelemente (MaMa)*

Planung, Einführung und Umsetzung der Virtuellen Inbetriebnahme am Beispiel einer Elektrobodenbahn

*Studiengang: Master:Online Logistikmanagement  
Betreuung: Abteilung Logistik*

Simulative Analyse neuartiger Materialflusskonzepte zur Vernetzung von autonomen Produktionszellen

*Simulative analysis of novel material flow concepts of autonomous production cells  
Studiengang: Mechatronik M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Logistik*

Steuerung eines mobilen Transportroboters mittels dynamisch angezeigter Leitlinien

*Controlling a Mobile Transport Robot Using Dynamically Displayed Guidelines  
Studiengang: Mechatronik M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Maschinenelemente (MaMa)*

Studie zur dynamischen Belastung eines Seilbahnsystems im Tagebaueinsatz

*Study on the dynamic loading of a cableway in opencast mining operations  
Studiengang: Technologiemanagement M.Sc.  
Betreuung: Abteilung Logistik*



**Tag der Wissenschaften der Universität Stuttgart,  
Campus Vaihingen, Stuttgart**

Am Tag der Wissenschaft 2022 hat die Universität Stuttgart ihre Labortüren geöffnet und Exponate, Vorlesungen und Experimente zum Anfassen geboten. Das IFT hat Forschung live und zum Mitmachen geboten.

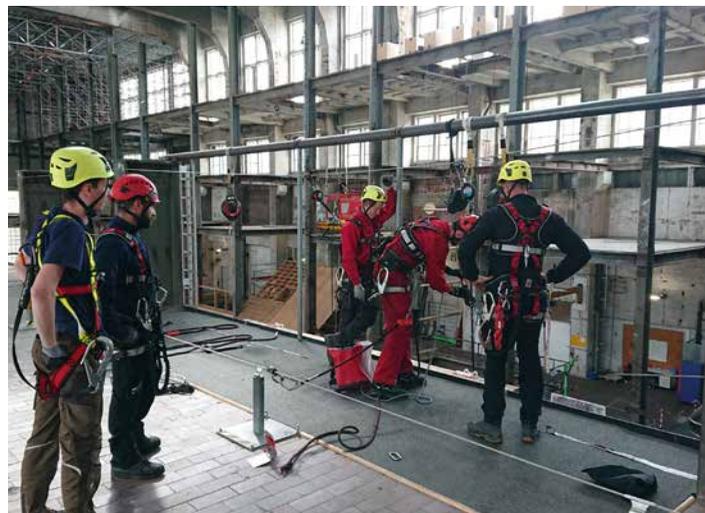
So konnten die Besucherinnen und Besucher an einer Mini-Seilbahn Seile prüfen und Drahtbrüche erkennen. Auf einem Parcours haben Interessierte das fahrerlose Transportfahrzeug „Scooty“ navigiert.



Seilprüfungen an der Mini-Seilbahn



**Sicherheitstraining für das  
sichere Arbeiten in Höhen, Marbach**



Absturzsicherung und Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA) waren Teil des Sicherheitstrainings

Das IFT-Team wird für Seilbahn- und Sicherheitsprüfungen an Bauwerken oder für Arbeiten an hohen Prüfständen in den Laborhallen regelmäßig für das sichere Arbeiten in Höhen qualifiziert. Das Training ‚Safety‘ des Anbieters BORNACK umfasst neben Theorie-Einheiten zu Vorschriften, Schutzausrüstung und Rettungskonzepten vor allem praktische Übungen. Im Trainingszentrum HOCHWERK in Marbach geht es für das Team auf bis zu 20 m hoch hinaus. Hier werden verschiedenste reale Szenarien praxisnah simuliert und geschult.



**Intralogistikmesse LogiMAT 2022,  
Messe Stuttgart**

Nach zweijähriger Pause fand die LogiMAT 2022 erstmals wieder in Präsenz statt. Auf dem neu gestalteten Messestand in Halle 5 präsentierte das IFT den Besucherinnen und Besuchern die aktuellen Entwicklungen und Systemlösungen für effiziente Intralogistik. Wie eine innovative Produktionslogistik aussehen kann, demonstrierte das fahrerlose flächenbewegliche Transportfahrzeug „Scooty“ in Kombination mit dem „intelligenten Boden“ von Bosch Rexroth. Gezeigt wurden auch Anwendungen der manuellen Kommissionierung, die von Interessierten live getestet werden konnten. Das Weiterbildungsangebot MASTER:ONLINE Logistikmanagement stellte das Zertifikats- und Masterstudium des Instituts vor.

Gut besucht waren die vom IFT gestalteten Fachforen. Zum Thema „Die Zukunft der manuellen Kommissionierung! Mit geringen Investitionen die Flexibilität steigern!“ stellten die Referenten konkrete Ansätze zur Planung und Optimierung manueller Kommissioniersysteme vor. Daniel Mezger präsentierte die Forschungen des IFT. Über neuartige Konzepte für den Warentransport und den konfliktfreien Materialfluss konnten sich die zahlreichen Besucher\*innen auf dem Fachforum „Materialtransport auf dem nächsten Level! Intelligenz im Boden bietet neue flexible Möglichkeiten“ informieren. Präsentiert wurde der Doppelboden mit seinen Navigations- und Ortungselementen im Zusammenspiel mit dem FTF Scooty. Markus Schröppel erläuterte die Forschungen des IFT für einen granularen Warentransport und den aktuellen Entwicklungsstand des Transportfahrzeugs Scooty.



Forschungen des IFT waren auf dem Messestand zu sehen



Vortragssession zur manuellen Kommissionierung



Die Fachforen des IFT waren gut besucht

**mai**  
17.-18.05.

**Seminar Seilendverbindungen,  
Seillabor IFT, Stuttgart**

Das Seminar Seilendverbindungen richtet sich an Unternehmen der Seilbranche und an Seilhersteller. Forschende der Abteilung Seiltechnologie vermitteln die theoretischen Grundlagen der Seiltechnik sowie der Herstellung und Verwendung verschiedenster Seilendverbindungen. Neben einer Sicherheitsunterweisung gibt es einen Praxisteil: jeder Teilnehmende bereitet ein Drahtseil vor, das unter fachlicher Anweisung des Prüfenieurs im Seillabor am IFT vergossen wird. Neben metallischen Vergüssen werden auch Kunstharzvergüsse hergestellt. Im Zugversuch werden die Vergüsse abschließend getestet.



Zum praktischen Teil des Seminars gehörte die Erstellung eines Seilbesens für den Verguss

**jul**  
06.07.

**Studierende besuchen Logistikzentren von Porsche  
und Breuninger, Sachsenheim**

Wie innerbetriebliche Logistikprozesse in der Praxis ablaufen, erlebten die Studierenden während der Führung durch die operativen Bereiche des Logistikzentrums der Porsche Logistik GmbH in Sachsenheim. Sie erfuhren, wie intralogistische Prozesse mit FTS, einem automatisierten Hochregallager und einem automatisiertem Kleinteilelager (AKL) in der Praxis gestaltet sind. Interessante Einblicke in die Logistikprozesse der Fashion- und Lifestylebranche gab es im Warendienstleistungszentrum des Unternehmens E. Breuninger GmbH & Co. Alle Artikel, die Breuninger verkauft, werden hier für die Versorgung des stationären Handels und den Onlineversand bearbeitet. Breuninger Mitarbeitende erläuterten alle Prozesse vom Wareneingang bis zum Warenausgang.



Studierende besichtigten die Logistikzentren der Porsche Logistik GmbH und der E. Breuninger GmbH & Co

**Aktionstag „Innovation Lastenrad“,  
Wissenschaftsfestival Stuttgart**

**jun**  
28.06.



Die Forschungs idee „Urban Box“ hat das IFT auf dem Aktionstag „Innovation Lastenrad“ präsentiert

Experten informierten auf dem Aktionstag über unterschiedliche Bauformen und Einsatzmöglichkeiten von E-Lastenrädern. Das IFT hat die Forschungs idee der „Urban Box“ vorgestellt, die als logistisches Element für die gesamte Transportkette bis zur letzten Meile eingesetzt werden kann. Vergleichbar mit einem Seecontainer kann die einmal gepackte Box ohne weitere Konfektionierung per LKW, Transporter oder Lastenrad befördert werden. Das Konzept ist in einer studentischen Abschlussarbeit erfolgreich entwickelt und umgesetzt worden. Unterschiedliche Modelle konnten auf dem Testparcours ausprobiert werden.

**TECH:FAST in ARENA2036,  
Stuttgart**

**jul**  
27.07.



André Colomb erläuterte den Teilnehmenden die technischen Features des FTF „Scooty“

In der Veranstaltungsreihe TECH:FAST auf dem Forschungscampus ARENA2036 informieren die Forschenden über den aktuellen Entwicklungsstand. Matthias Mögerle, ThingOS, stellte die Funktionen des intelligenten Bodens von Bosch Rexroth vor und André Colomb, IFT, berichtete über neueste Entwicklungen des fahrerlosen Transportfahrzeugs Scooty. Für die zahlreichen Interessierten gab es die Möglichkeit, Fragen zu stellen und sich beim gemeinsamen Frühstück nach der Keynote auszutauschen.

**sep**  
08.09.

**Fachforum von LOGISTIK HEUTE – Online –**

Das digitale Fachforum „Von Innovation bis Risikomanagement – neue Wege in die Produktionslogistik“ von LOGISTIK HEUTE zeigte Möglichkeiten auf, sich auf künftige Herausforderungen in der Logistik vorzubereiten. Für fundierte Einblicke und Best Practices sorgen auf dem virtuellen Podium Vertreter von Industrieunternehmen, Logistikexperten sowie Wissenschaftler. Robert Schulz zeigte in seinem digitalen Vortrag „Flexibilität vs. Wandlungsfähigkeit in der Produktionslogistik“ Denk- und Lösungsansätze für eine zukunftsfähige Logistik auf.

**3. Nationaler Radlogistik-Kongress, Hannover**

**sep**  
21.-21.09.



Veranstaltungsort war die Niedersachsenhalle in Hannover

Wie kommen 30 Prozent der Logistik auf emissionsfreie und stadtverträgliche Lastenräder? Dieser Frage stellten sich die rund 200 Fachbesucher:innen der 3. Nationalen Radlogistik-Konferenz in Hannover. Im Rahmen des Workshops „Standardisierung von Aufbauten und Wechselsystemen in der Radlogistik“ gestaltet von Sebastian Bächer (Fachvorstand Standardisierung & HIVEBOX) und David Pflieger (IFT) wurden Impulse und Empfehlungen des RLVD & BdKEP zu Lastenfahrradcontainern diskutiert. Organisiert wurde die Konferenz vom Radlogistikverband Deutschland.

**sep**  
21.-23.09.

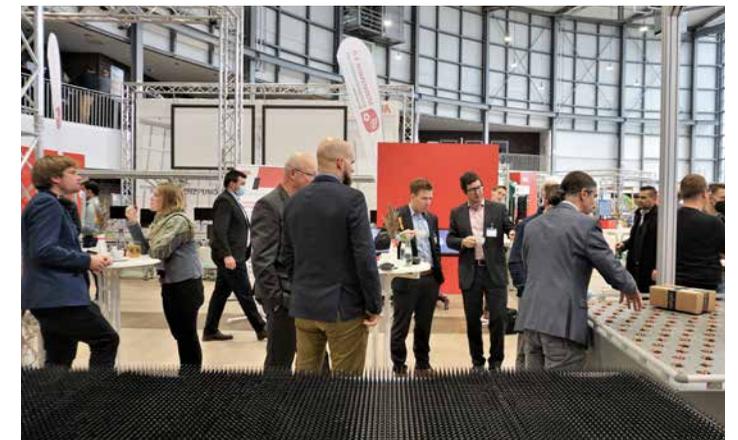
**Hamburg International Conference of Logistics – Online –**

Unter dem Motto „Changing Tides: The New Role of Resilience and Sustainability in Logistics and Supply Chain Management“ fand die 16. HICL statt. Internationale Forscher und Praktiker konnten sich zu aktuellen Logistik- und SCM-Themen austauschen. IFT-Forscher Manuel Hagg skizzierte in seinem Vortrag „Concept for material supply in fluid manufacturing systems“ ein Konzept, das eine kurzfristig orientierte Materialbereitstellung im FLMS unterstützt. Das Fluid Manufacturing System (FLMS), das im Rahmen des Forschungscampus „Active Research Environment for the Next generation of Automobiles“ (ARENA2036) entwickelt wurde, soll flexible und dynamische Materialflüsse ermöglichen.

**sep**  
26.-27.09.

**18. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL) in Bremen**

Erfolgreiche interdisziplinäre Forschung präsentierten Wissenschaftler\*innen und Praktiker\*innen auf dem jährlich stattfindenden Fachkolloquium der WGTL. Die Veranstaltung fand am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik an der Universität Bremen – statt und bot neben spannenden Vorträgen auch die Gelegenheit zum Informationsaustausch und Networking. Professor Robert Schulz moderierte die Session „Planung, Analyse und Simulation logistischer Systeme“. Innovative Forschungen des IFT präsentierte Carolin Brenner im Vortrag „Anwendung der Omni-Kurven-Parameter zur Bestimmung der Aktor-Stellgrößen und universellen Bewertung der Bewegungsmöglichkeiten unterschiedlicher Fahrwerke“ (C. Brenner / A. Colomb). Weitere Vorträge und Posterbeiträge behandelten die Themen „Konstruktion und maschinenbauliche Gestaltung“, „Management, Organisation und Betrieb“ sowie „Steuerungstechnik und IT-Systeme“. Nach den Vortragsessions besichtigten die Teilnehmenden die Laboranlagen am BIBA.



Fachvorträge, Besichtigungen und Abendveranstaltungen boten Gelegenheit zum informativen Austausch



**OIPEEC Conference 2022 together with  
7th International Stuttgart Ropedays, Stuttgart**

Die OIPEEC ist eine weltweite Vereinigung von Wissenschaftlern, Experten, Forschern, Herstellern und Anwendern, die sich mit der Untersuchung der Eigenschaften und des Verhaltens von Draht- und Faserseilen befassen. Als Organisation koordiniert sie die internationale Forschung durch aktive Arbeitskreise.

Alle zwei Jahre organisiert die OIPEEC Treffen, um seilrelevante Themen zu diskutieren. Die turnusmäßig im Jahr 2021 stattfindende OIPEEC Conference fand pandemiebedingt im September 2022 zusammen mit den 7th International Stuttgart Ropedays in Stuttgart statt.

Auf diesem internationalen Treffpunkt für Seilwissenschaftler, Ingenieure und Forschende informierten sich die 150 internationalen Teilnehmerinnen und Teilnehmer über neueste Forschungsergebnisse, Trends und Entwicklungen in der Faser- und Stahlseilindustrie. Professor Robert Schulz stellte die neuesten Entwicklungen des Instituts aus dem Bereich der Seiltechnologie vor. In den Vortragssessions präsentierten Forschende des IFT (Benedikt Franck, Wendel Frick, Stefan Hecht) ihre aktuellen Projekte. Alle Beiträge sind in den Proceedings of OIPEEC Conference 2022 and 7th International Stuttgart Ropedays veröffentlicht.

Großes Interesse bestand bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern an dem Besuch des Seillabors am IFT. Im direkten Gespräch mit den Mitarbeitenden wurde über die Prüftechnik, aber auch über aktuelle und zukünftige Fragestellungen diskutiert. Die Fachgespräche und Diskussionen wurden anschließend während des Galadiners im Maritim Hotel fortgeführt. Im Rahmen einer Exkursion hatten die internationalen Gäste die Gelegenheit, den Fernsehturm und die historische Standseilbahn zu besichtigen.



Professor Robert Schulz eröffnete die Konferenz



Vortragssessions in der Alten Reithalle des Maritim Hotels



Konferenzteilnehmende besuchten das Seillabor am IFT



**2. Fachkolloquium innoTRAC,  
TU Chemnitz**

Auf dem Fachkolloquium innoTRAC (Innovative Traction Mechanisms) berichteten Forscher, Entwickler und Anwender über neueste Technologien von Kettenförderern, Draht- und Faserseilen oder Zahnriemen. Berichtet wurde über neue Antriebskonzepte und Prüfmethode, aber auch Recycling oder Tribologie waren wichtige Aspekte. Das IFT beteiligte sich mit Themen aus der Seiltechnologie. So stellte Ralf Eisinger in seinem Fachvortrag „Permanently installed rope monitoring in conveyor systems“ Prüfmethode zur permanenten Seilüberwachung vor. In Tagungspausen sowie bei der Abendveranstaltung gab es Möglichkeiten zur Diskussion und zum Netzwerken.



Ralf Eisinger (IFT) berichtete über die permanente Seilüberwachung in förderer-technischen Anlagen

**Studierenden-Nachmittag  
der Institute IFT, IFU und IfW**



Studierende und Mitarbeiter\*innen der beteiligten Institute IFT, IFU und IfW im Gespräch

Die Laborhallen der Institute IFT, IFU und IfW waren für interessierte Masterstudierende geöffnet. Die Mitarbeiter\*innen zeigten die Prüfstände und stellten Forschungsprojekte und studentische Arbeiten vor. Einige Anwendungen konnten live getestet werden. Auch über die Lehrangebote der einzelnen Institute haben sich die Studierenden informiert. Studierende sowie die Professoren und Mitarbeiter\*innen der drei Institute trafen sich beim anschließenden Pizza-Essen in der Logistikhalle des IFT zum Kennenlernen und Austauschen.

**okt**  
14.10.

**Forum 2022 des Studiengangs  
MASTER:ONLINE Logistikmanagement**

In diesem Jahr konnte das Forum 2022 des Studiengangs MASTER:ONLINE Logistikmanagement wieder in Präsenz stattfinden und war eine gelungene Veranstaltung! Neben informativen Vorträgen und der Urkundenverleihung an die Absolvent:innen der Jahrgänge 2021/22 konnten die Teilnehmenden die Versuchshallen des IFT besichtigen und spannende Einblicke in die Forschungsarbeiten des Instituts erhalten. Viele interessante Gespräche und einen regen Austausch an der Cocktailbar gab es nicht nur zu logistischen Themen.



Einblicke in die Seilforschung erhielten die Teilnehmenden des MOL-Forums

**nov**  
09.11.

**Online-Auftaktveranstaltung des  
Forschungsprojekts „TruckConnect“**

Um eine erfolgreiche Elektrifizierung des Logistikverkehrs zu gewährleisten, ist zukünftig die resiliente Vernetzung zwischen allen relevanten Stakeholdern wie Logistikern, Ladestandort- und Netzbetreibern notwendig. Ziel des Forschungsprojekts „TruckConnect“ ist die konzeptionelle Entwicklung einer Datenplattform zum Austausch von Energie- und Verkehrsdaten. Experten aus der Transport- und Energiebranche waren zur online stattfindenden Auftaktveranstaltung eingeladen, um die Anforderungen an eine Datenplattform zu definieren. Das Projekt wird von der Innovationsinitiative mFUND des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr gefördert.



TruckConnect - Entwicklung einer Datenplattform als Grundlage einer Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs

**EWRIS – European Federation of Steel  
Wire Rope Industries, Düsseldorf**

**nov**  
07.-08.11.



Die Teilnehmenden der EWRIS Herbst-Tagung 2022

Die European Federation of Steel Wire Rope Industries e.V., kurz EWRIS, hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Drahtseilindustrie international zu vernetzen und ein Forum für den Erfahrungsaustausch und die Entwicklung gemeinsamer Projekte zu bieten. Stefan Hecht und Wendel Frick, Abteilung Seiltechnologie, waren auf der Herbst-Tagung vertreten, um sich über Neuerungen und Entwicklungen in der europäischen Drahtseilindustrie zu informieren und auszutauschen.

**Weihnachtsfeier,  
Logistikhalle IFT, Stuttgart**

**dez**  
13.12.



Weihnachtsfeier in der Logistikhalle

Zur IFT-Weihnachtsfeier waren alle Mitarbeitenden und Hiwis in der Logistikhalle eingeladen. Geboten waren selbstgemachter Flammkuchen, Glühwein, Punsch und kühle Getränke. Preise gab es beim Bingospiel zu gewinnen, die Fotobox sorgte für beste Unterhaltung. Die winterlichen Cocktails an der Bar waren sehr gefragt und sorgten für einen gelungener Ausklang zur Winterpause und zum Ende des Jahres.



David Korte erhielt seinen Doktorhut im Rahmen des IFT-Sommerfests



Gratulation an Matthias Hofmann nach bestandener mündlicher Prüfung



Franziska Schloz freute sich nach der bestandenen mündlichen Prüfung

## Dissertationen

### Konzept eines sicherheitsbezogenen Sensorsystems für die Erkennung von Personen im Umfeld fahrerloser Transportfahrzeuge

In der Dissertation wird ein Konzept eines sicherheitsbezogenen Sensorsystems entwickelt, das eine Erkennung von Personen im Umfeld fahrerloser Transportfahrzeuge ermöglicht und diese dadurch zu einem situativen Verhalten befähigt. Das Konzept basiert auf Anforderungen, die aus dem Betrieb fahrerloser Transportfahrzeuge im Kontext einer zukünftigen Automobilfertigung abgeleitet werden. Durch den Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz soll neben der Personen- auch eine Objekterkennung möglich sein. Für die Entwicklung des Konzeptes werden 16 Sensorkombinationen aus zwölf verschiedenen Sensorarten gebildet und bewertet. Die Kombination aus Time-of-Flight-Kamera, RGB-Monokamera und Laserscanner wird in Form eines Demonstrators für die anschließende Validierung aufgebaut und in einer dafür angelegten Versuchsumgebung eingesetzt. Durch die redundante Erkennung von Personen mittels zweier unterschiedlicher Methoden kann eine zuverlässige Personenerkennung, die den Erfassungsbereich heutiger Sensoren übersteigt, erreicht werden. Mit diesem Ansatz können fahrerlose Transportfahrzeuge ihr Verhalten frühzeitig an das Vorhandensein von Personen anpassen und so einen effizienteren Betrieb ermöglichen.

#### Korte, David

Universität Stuttgart, Dr.-Ing. Dissertation 2021

Hauptberichter: Univ.-Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Dr. h. c. Karl-Heinz Wehking

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer, Universität Hannover

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss

## Konzept, Konstruktion und prototypische Umsetzung neuartiger intralogistischer Komponenten für die zukünftige flexible und wandlungsfähige Automobilmontage der Stückzahl eins

Die Etablierung einer flexiblen und wandlungsfähigen Produktion für die effiziente Fertigung variantenreicher Automobile bis hin zu Losgrößen mit Stückzahl eins bedingt implizit die Abkehr von den bis dato bewährten Prinzipien der Fließbandmontage. Eine Produktion in einem flexiblen Layout ohne strikte Zeit- und Ortsbindung im Wersstückdurchlauf verlangt nach disruptiven förder-technischen Ansätzen. Insofern bedarf es zur Etablierung einer flexiblen Fertigung in einem frei rekonfigurierbaren Layout den Anforderungen an Layoutflexibilität genügender Förder-technik.

Die vorliegende Arbeit hat insofern die Konzeption und Konstruktion der zur Umsetzung eines neuartigen Produktionslogistikkonzeptes, das auf eine losgrößenunabhängige Fertigung von Automobilen in einer nicht-getakteten Endmontage abzielt, erforderlicher intralogistischer Komponenten unter Berücksichtigung der Maßgabe der technischen Realisierbarkeit von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zum Gegenstand. Den Schwerpunkt der Arbeit bildet dabei die Darlegung der Konzeption, Konstruktion und die prototypische Umsetzung einer mobilen Montageinsel auf Basis eines Fahrerlosen Transportfahrzeuges, sowie eines mobilen kleinskaligen Mini-Regalbediengerätes für die automatisierte Handhabung und Andienung von Kleinladungsträgern in der Teilezuführung direkt am Verbauort in einer manuellen Montage respektive in Kommissionierzonen. Maßstab und Leitlinie für die konstruktive Ausgestaltung bilden dabei die Leitbilder der Wandlungsfähigkeit und deren Befähigern in Gestalt von Skalierbarkeit, Mobilität, Modularität sowie Universalität.

### Hofmann, Matthias

Universität Stuttgart, Dr.-Ing. Dissertation 2022

Hauptberichter: Univ.-Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Dr. h. c. Karl-Heinz Wehking

Mitberichter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Georg Kartnig, TU Wien

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss

## Entwicklung und Bewertung einer Reihenfolgestrategie zur Leistungsverbesserung von Shuttle-Systemen mit Deep Reinforcement Learning

Um die Leistung von Shuttle-Systemen zu verbessern, existieren verschiedene Ansätze. In dieser Arbeit wird der Einsatz des Deep Reinforcement Learning (DRL) zur Bildung der Fahrauftragsreihenfolge untersucht. Die Zielsetzung ist der Erhalt des konzeptionellen Beweises, dass durch den Einsatz eines DRL-Agenten, der auf die Minimierung der Gesamtauftragsdurchlaufzeit trainiert wird, eine Leistungsverbesserung erreicht werden kann.

Hierfür wird zunächst anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse die Forschungslücke in diesem Bereich aufgezeigt sowie dargelegt, dass das DRL, basierend auf der unterliegenden Theorie, für den Anwendungsfall geeignet ist. Als Trainings- und Testumgebung wird ein Simulationsmodell einer Ebene eines ebenengebundenen Systems erstellt, das hinsichtlich der Anzahl an Gassen, der Gassenlänge und der Anzahl an Shuttles konfiguriert werden kann. Auf Seiten des DRL wird der Deep Q Learning Agent, basierend auf der Keras-RL Bibliothek, genutzt. Es erfolgen die Entwicklung des Zustands- und des Aktionsraumes sowie der Belohnungsfunktion.

Um den Agenten zu testen und die Durchführbarkeit aufzuzeigen, werden 20 Testszenarien basierend auf drei verschiedenen Lagerkonfigurationen mit zwei und drei Fahrzeugen definiert. Insgesamt wird in 17 der 20 Szenarien ein erfolgreiches Lernen des Agenten und damit eine Leistungssteigerung des Systems erzielt.

### Schloz, Franziska Hanna

Universität Stuttgart, Dr.-Ing. Dissertation 2022

Hauptberichter: Univ.-Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Dr. h. c. Karl-Heinz Wehking

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans, Karlsruher Institut für Technologie

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Mathias Liewald MBA

# Veröffentlichungen

L. Blumhardt-Ziegler, D. Korte, S. Blum, R. Kamath, V. Snagowski, und R. Schulz, „Environment perception for mobile robots – using artificial intelligence for irregularity detection“, Juni 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/455891013.html>

C. Brenner und A. Colomb, „Anwendung der Omni-Kurven-Parameter zur Bestimmung der Aktor-Stellgrößen und universellen Bewertung der Bewegungsmöglichkeiten unterschiedlicher Fahrwerke“, in 18. Tagungsband der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL), Sep. 2022, Bd. 18, Nr. 2022. doi: 10.2195/lj\_proc\_brenner\_de\_202211\_01

C. Brenner und A. Colomb, „Granularer Warentransport mit neuartigem Miniatur-Low-Cost-FTF „Scooty“ – Teil I“, In: f+h Fördern und Heben, Ausgabe 10/2022, S. 42-44. Verfügbar unter: <https://digital.foerdern-und-heben.de/f-h-fordern-und-heben-10-2022/67265014/42>

C. Brenner und A. Colomb, „Granularer Warentransport mit neuartigem Miniatur-Low-Cost-FTF „Scooty“ – Teil II“, In: f+h Fördern und Heben, Ausgabe 11/2022, S. 16-18. Verfügbar unter: <https://digital.foerdern-und-heben.de/f-h-fordern-und-heben-11-2022/67335550/42>

C. Brenner, A. Enssle, R. Schulz, und N. Parspour, „Navigation method utilizing floor-integrated inductive power supply modules for omnidirectional AGVs“, 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/s10010-022-00605-y>

A. Frick, W. Frick, und R. Schulz, „Rope deformation as the cause of fatigue in running ropes“, in: Proceedings of OIPEEC Conference 2022 and 7th International Stuttgart Ropedays, 2022, S. 55–73. [Online]. Verfügbar unter: <https://oipec.org/products/rope-deformation-as-the-cause-of-fatigue-in-running-ropes>

W. Frick, „A new method for evaluating the service life of steel wire ropes of different wire strength“, in Proceedings of OIPEEC Conference 2022 and 7th International Stuttgart Ropedays, Stuttgart, Sep. 2022, S. 1–21. [Online]. Verfügbar unter: <https://oipec.org/products/a-new-method-for-evaluating-the-service-life-of-steel-wire-ropes-of-different-wire-strength>

B. Franck, „Monolithic rope termination with integrated sensor system for high-modulus fiber ropes“, in: Proceedings of OIPEEC Conference 2022 and 7th International Stuttgart Ropedays, Sep. 2022, S. 55–73. [Online]. Verfügbar unter: [https://oipec.org/products/monolithic-rope-termination-with-integrated-sensor-system-for-high-modulus-fiber-ropes?\\_pos=1&\\_sid=ba3f615cb&\\_ss=r](https://oipec.org/products/monolithic-rope-termination-with-integrated-sensor-system-for-high-modulus-fiber-ropes?_pos=1&_sid=ba3f615cb&_ss=r)

B. Franck, „Monitoring hochmodularer Faserseile, Technische Logistik“, in Hebezeuge Fördermittel, Ausgabe 11-12/2021, S. 40-42 [Online]. Verfügbar unter: [https://www.technische-logistik.net/sites/default/files/public/data-fachartikel/HF\\_2021\\_11\\_Monitoring-hochmodularer-Faserseile\\_40-42\\_0.pdf](https://www.technische-logistik.net/sites/default/files/public/data-fachartikel/HF_2021_11_Monitoring-hochmodularer-Faserseile_40-42_0.pdf)

B. Franck, „Forschungstransfer einer monolithischen Seilendverbindung für hochmodulare Faserseile“, in Technische Textilien / Euroseil, 3. Band, Juni 2021, S. 55-58 [Online]. Verfügbar unter: [https://www.dfv-archiv.de/suche/?i\\_search-text=Forschungstransfer+einer+monolithischen+Seilendverbindung+f%C3%BCr+hochmodulare+Faserseile&i\\_dte=&i\\_dtb=&OK=Starten+Sie+Ihre+Suche](https://www.dfv-archiv.de/suche/?i_search-text=Forschungstransfer+einer+monolithischen+Seilendverbindung+f%C3%BCr+hochmodulare+Faserseile&i_dte=&i_dtb=&OK=Starten+Sie+Ihre+Suche)

M. Hagg und R. Schulz, „Concept for material supply in fluid manufacturing systems“, in Changing Tides: The New Role of Resilience and Sustainability in Logistics and Supply Chain Management (Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), 33), W. Kersten, C. Jahn, T. Blecker, und C. M. Ringle, Hrsg. 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.epubli.de/shop/buch/changing-tides-the-new-role-of-resilience-and-sustainability-in-logistics-and-supply-chain-management-wolfgang-kersten-9783756541959/130939>

D. Mezger und R. Schulz, „Eine Frage der Flexibilität“, f+h fördern und heben, Bd. 09/2022, S. 38–40, Sep. 2022, [Online]. Verfügbar unter: <https://digital.foerdern-und-heben.de/f-h-fordern-und-heben-9-2022/67193641>

D. Mezger und M. Mögerle, „Forschungsbericht: Entwicklung eines neuartigen, flexiblen, robusten und kostengünstigen Pick-by-Light-Systems für die manuelle Kommissionierung in kleinen und mittleren Unternehmen: FlexLight“, 2022.

J. Nölcke, „Neue Ansätze des Condition Monitoring von Kettentrieben“, in Tagungsband zum 18. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e. V. (WGTL), Bd. 2022, Nr. 18, 2022. doi: 10.2195/lj\_Proc\_noelcke\_de\_202211\_01.

R. Noortwyck und R. Schulz, „Entwicklung eines DRL-Agenten zur Reihenfolgeoptimierung für Hochregallager mit Shuttle-Fahrzeugen“, in: Tagungsband zum 18. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e. V. (WGTL), Bd. 18, 2022. doi: 10.2195/lj\_proc\_noortwyck\_de\_202211\_01

R. Schulz, S. Hecht, W. Frick: „Applications and use of ropes in the conveying technology“. In: Proceedings of the XXIV International Conference on „Material Handling, Constructions and Logistics“ MHCL 2022, ©FME Belgrade, September 21st - 23rd, 2022, S. 1-4. Verfügbar unter: <https://www.mhcl.info/download?task=download.send&id=232&catid=277&m=0>

## Vorträge

L. Blumhardt-Ziegler und D. Kuda: Forschungs-erkenntnisse: Umgebungswahrnehmung bei mobilen Robotern – Was ist heute schon möglich und was bringt die Zukunft? Vortrag bei Wiley Industry Days, 16.02.2022, online.

C. Brenner: Anwendung der Omni-Kurven-Parameter zur Bestimmung der Aktor-Stellgrößen und universellen Bewertung der Bewegungsmöglichkeiten unterschiedlicher Fahrwerke, 18. Fachkolloquium Logistik, 26.09.2022, Bremen.

C. Brenner: Universelle Bewertung der Bewegungsmöglichkeiten unterschiedlicher Fahrwerke. Forum MASTER:ONLINE Logistikmanagement, 14.10.2022, Stuttgart.

B. Franck: Monolithic rope termination with integrated sensor system for high-modulus fiber ropes. OIPEEC Conference 2022 and 7th International Stuttgart Ropedays, 28.09.2022, Stuttgart.

A. Frick, W. Frick und R. Schulz: Rope deformation as the cause of fatigue in running ropes. OIPEEC Conference and 7th International Stuttgart Ropedays, 28.09.2022, Stuttgart.

W. Frick: A new method for evaluating the service life of steel wire ropes of different wire strength. OIPEEC Conference and 7th International Stuttgart Ropedays, 28.09.2022, Stuttgart.

M. Hagg: Concept for material supply in fluid manufacturing systems. Hamburg International Conference of Logistics (HICL) 2022, 21.09.2022, online.

D. Herrmann: Verfahren und Methoden zur E-Modul-Messung an Draht- und Faserseilen. Schwelmer Symposium 2022, 13./14.06.2022, Sprockhövel.

D. Mezger: Kommissionierung: Eine Frage der Flexibilität. Fachforum Messe LogiMAT 2022: „Die Zukunft der manuellen Kommissionierung!“, 01.06.2022, Stuttgart.

D. Mezger: Datenbrillen. Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW), 14.09.2022, Bad Dürkheim.

D. Pflieger: Standardisierung von Aufbauten und Wechselsystemen für die Radlogistik. 3. Nationale Radlogistik-Konferenz. Workshop, 21.09.2022, Hannover.

M. Schröppel: Granularer Warentransport mit dem neuartigen Miniatur-Low-Cost-FTF „Scooty“. Fachforum Messe LogiMAT 2022, 02.06.2022, Stuttgart.

R. Schulz: Flexibilität vs. Wandlungsfähigkeit in der Produktionslogistik. Logistik Heute - Fachforum „Von Innovation bis Risikomanagement – neue Wege in der Produktionslogistik“, 08.09.2022, online.

R. Schulz: Applications and use of ropes in the conveying technology. XXIV International Conference on „Material Handling, Constructions and Logistics“ MHCL 2022, 21.09.2022, Belgrad.

R. Schulz: A short journey through a few current and future rope research questions and developments. Keynote. OIPEEC Conference and 7th International Stuttgart Ropedays, 28.09.2022, Stuttgart.

## Gremienarbeit

Eisinger, Ralf:

- CEN/TC242/WG3(EN 12927) Arbeitskreis Seile
- FSF-DIN Arbeitsausschuss Seilbahnen
- O.I.T.A.F. Studienausschuss Nr.II: Eigenschaften und Prüfung der Seile
- I.T.T.A.B. (Internationale Tagung der Technischen Aufsichtsbehörden)

Franck, Benedikt:

- CEN/TC136/WG5 Mountaineering and climbing equipment
- UIAA - International Climbing and Mountaineering Federation

Hagg, Manuel:

- VDMA Arbeitskreis „Simulation und Visualisierung im Produktlebenszyklus“

Hecht, Stefan:

- ISO TC 38 WG21 Faserseile
- EUROCORDTC2
- Technische Kommission der Drahtseilvereinigung
- Erfahrungsaustauschkreis PSA (EK8)
- Erfahrungsaustauschkreis PSAgA (EK8.4)
- VG11 – Notified Bodies PPE
- UIAA Safety Commission
- CEN/TC 136/WG5 Mountaineering and Climbing Equipment

Herrmann, Dominik:

- Seilbahnausschuss der Bundesländer

Korte, David:

- VDI FA309 Fahrerlose Transportsysteme

Novak, Gregor:

- Lenkungsausschuss Krane
- ISO TC 96/ SC 3/WG 3 + WG 4
- VDI Fachausschuss 304 „Krane“
- VDI Fachausschuss 629 „Seilschwingungen“
- Technische Kommission Drahtseilvereinigung
- OIPEEC Management Committee
- DIN NA 099-00-04 AA
- CEN/TC 147

Pflieger, David:

- Befestigungselemente für Wechselbehälter in der urbanen Logistik (RLDV & BdKEP)

Schröppel, Markus:

- INBW Fachausschuss Wissenschaft
- INBW-Fachgruppe: „Kommissionierung“
- Beirat „Hebezeuge Fördermittel“, Fachzeitschrift für Technische Logistik
- Vorstand des Intralogistik Netzwerkes Baden-Württemberg

Schulz, Robert:

- OIPEEC Management Committee
- Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL)
- Mitglied in der Fachjury LogiMAT „Bestes Produkt“

**Institutsleitung**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz

Dipl.-Ing. Markus Schröppel (Stellvertr. Institutsleiter)  
Dr.-Ing. David Korte (Oberingenieur)

**Kontakt Institut:**

Tel.: +49 711 685-83771

Mail: sekretariat@ift.uni-stuttgart.de

**Verwaltung**

Claudia Gömann-Preuß

Katrin Köstler

**Sekretariat**

Britta Berns (bis 30.09.2022)

Martina Fuchs

**Studienangelegenheiten**

Dipl.-Ing. (FH) Gudrun Willeke

**Seiltechnologie**

Dr.-Ing. Gregor Novak (bis 31.07.2022)

Dipl.-Ing. Stefan Hecht (ab 01.08.2022)

**Wiss. Mitarbeiter**

Dipl.-Ing. Ralf Eisinger

Benedikt Franck, M.Sc.

Wendel Frick, M.Sc., SFI

Dominik Herrmann, M.Sc.

Johannes Keller, M.Sc.

Peter Schmid, M.Sc. (bis 31.10.2022)

Marco Testa, M.Sc.

**Sekretariat**

Teresa Smolcic

**Anerkannte sachverständigen Stelle  
für Seilbahnen (nach BayESG)**

Dipl.-Ing. Ralf Eisinger

**Notifizierte Stelle PSA**

Dipl.-Ing. Stefan Hecht

**Notifizierte Stelle Seilbahnen**

Dr.-Ing. Gregor Novak (bis 31.07.2022)

Dipl.-Ing. Stefan Hecht (ab 01.08.2022)

**Forschungskoordination**

Dr.-Ing. David Korte

**Wandelbare Produktionslogistik**

Dr.-Ing. Matthias Hofmann

**Maschinenentwicklung und  
Materialflussautomatisierung**

Dipl.-Ing. Markus Schröppel

**Wiss. Mitarbeiter**

Carolin Brenner, M.Sc.

Dipl.-Ing. André Colomb

Dr.-Ing. Matthias Hofmann

Jonas Nölcke, M.Sc.

**Sekretariat**

Martina Fuchs

**Logistik**

David Pfleger, M.Sc.

**Wiss. Mitarbeiter**

Laura Blumhardt, M.Sc.

Ali Bozkurt, M.Sc.

Manuel Hagg, M.Sc.

Daniel Mezger, M.Sc.

Ruben Noortwyck, M.Sc.

**Master:Online Logistikmanagement  
Studiengangsmanagement**

Dipl.rer.com Silke Hartmann

Dipl.-Päd. Živile Menzel

Isabell Schmidt, B.A.

**Technische Dienste**

Friedrich Eitel (IT-Service) (bis 30.09.2022)

Joachim Hettich (IT-Service) (ab 01.10.2022)

Ralph Möhrke (Elektrotechnik)

Dipl.-Ing (FH) Samuil Bakschan (Prüf-Ing.)

Alexander Haase (Werkstatt) (bis 31.12.2021)

Rainer Eckert (Werkstatt)

Peter Scherer (Werkstatt)

**Herausgeber:**

Universität Stuttgart  
Institut für Fördertechnik und Logistik  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz

Holzgartenstraße 15 B  
70174 Stuttgart

**Kontakt:**

Telefon +49 711 685 83771  
sekretariat@ift.uni-stuttgart.de  
www.ift.uni-stuttgart.de

**Autoren:**

Die jeweiligen Autoren werden  
am Ende eines Beitrags genannt.

**Gestaltung und Umsetzung:**

Dipl.-Ing. (FH) Gudrun Willeke

**Bildquellen:**

Alle Bilder © IFT, falls nicht anders vermerkt

**Druck:**

Primus international printing GmbH  
www.primus-print.de

Februar 2023, Stuttgart

Universität Stuttgart  
Institut für Fördertechnik und Logistik  
Holzgartenstraße 15 B  
70174 Stuttgart

Telefon +49 711 685-83771  
[sekretariat@ift.uni-stuttgart.de](mailto:sekretariat@ift.uni-stuttgart.de)  
[www.ift.uni-stuttgart.de](http://www.ift.uni-stuttgart.de)