

# Automatisiertes Ladungssicherungssystem für Kleintransporter

Automated load-securing system for cargo vans

*Dipl.-Ing. Andreas Fink  
Dr.-Ing. Jörg Hübler  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel  
Dipl.-Ing. (FH) Frank Weigand*

*Professur Fördertechnik  
Institut für Fördertechnik und Kunststoffe  
Technische Universität Chemnitz*

**B**esonders für Kurier-Express-Paket-Dienste (KEP) mit vielen Haltepunkten sind verfügbare Mittel zur Ladungssicherung, wie z.B. Sicherungsnetze oder Sicherheitsgurte viel zu zeitaufwendig in der Anwendung. Im vorliegenden Artikel wird die Entwicklung eines automatisierten Ladungssicherungssystems mit dreidimensionalem-vorgeformtem Sicherungsnetz vorgestellt. Für die Ladungssicherung wirken zwei Kernkomponenten zusammen. Zum einen ist ein Antirutschsystem integriert, welches die Vorteile einer reibarmen Oberfläche zum Beladen und die rutschhemmende Wirkung eines haftenden Belags beim Transport ausnutzt. Zum anderen werden unterschiedlich große Transporteinheiten durch ein sich flexibel anpassendes Netz überspannt, welches aus hochfestem Material, mit integrierten Netzverkürzern besteht. Die automatische Bedienbarkeit soll vor allem bei den Fahrern die Akzeptanz für das Ladungssicherungssystem erhöhen.

*[Schlüsselwörter: automatisiert, Ladungssicherung, Kleintransporter, Ladungssicherungsnetze, Spanngurte, Antirutschmatte]*

**T**he handling of load-securing equipment e.g. load-securing straps or nets are often time-consuming, especially for courier, express and parcel-services (CEP) with a lot of way-points. The following article describes the development of an automated load-securing system with a three-dimensional-preformed net. Mainly two components interact in this system. On the one hand an integrated anti-skid system used the advantages of a low-friction surface and otherwise the anti-slip properties of an adhesive coating for the transport. On the other hand, a flexibly adaptive net consisting of high-performance synthetic fibers lashed different sized transport units supported by net-reducer. In particular the automatic lash should increase the acceptance for the new load-securing system of the drivers.

*[Keywords: automated, load securing, cargo van, load-securing net, load-securing straps, anti-skid mat]*

## 1 EINLEITUNG

Die Ladungssicherung für Straßenfahrzeuge ist gesetzlich vorgeschrieben. Laut StVO sind dafür die Verloader und Fahrer verantwortlich [StV01, StV02]. Der Fahrzeughalter ist nach der StVZO verpflichtet die dafür benötigte Ausrüstung zur Verfügung zu stellen [StV03].

Mit welchen Mitteln die Ladung gesichert werden kann, wie groß die Spannkraft sein müssen und wie sie berechnet werden, sind in geltenden Normen festgehalten [VDI01, DIN01, DIN02]. Wohingegen bei Transporten mit dem LKW die Ladung über eine große Distanz transportiert wird und deren Größe konstant bleibt, müssen KEP-Dienstleister ständig ihre Ladungssicherung an eine sich ändernde Ladung anpassen. Dies bedeutet auch einen größeren Zeitanteil für die Sicherung der Ladung. In der VDI 2700 sind eine Vielzahl Anwendungsarten von Ladungssicherungsnetzen dargestellt [VDI02]. Allerdings ist die Anwendung, der in dieser Norm vorgestellten Lösungen, für KEP-Dienste zu umständlich.

Derzeit wird die Ladung oftmals formschlüssig zwischen den Seitenwänden, bis an die Trennwand eingeladen. Ist der Transporter bis unter das Dach und an die Hecktür geladen, so ist die Ladung formschlüssig gesichert. Es wird jedoch, bei stetiger Entnahme und sinkendem Ladebestand, eine Ladungssicherung notwendig. Eine vorgeschriebene Sicherung der Ladung nach hinten, wie vorgeschrieben, erfolgt nach der Entnahme der Pakete im Heckbereich dabei nicht. Vorwiegend bei geringem Ladebestand liegen Pakete vereinzelt im Laderaum und können im schlimmsten Fall zu gefährlichen Geschossen mutieren. Bereits Erschütterungen während der Fahrt, z.B. in Kurvenfahrten, können zu einer Veränderung der Ladungsposition führen. Unter Umständen könnte dies sowie umkippende Ladung das Fahrverhalten des Fahrzeugs negativ beeinflussen. Das birgt ein hohes Sicherheitsrisiko nicht nur für den Fahrer selbst, sondern auch für andere Verkehrsteilnehmer. Im Gegensatz zu Lastkraftwagen beträgt die Nutzlast von Kleintransportern ca. 1 t. Die gerin-

gere Nutzlast relativiert vermeintlich das Unfallrisiko im Bewusstsein der Fahrer. Obwohl der gesetzliche Rahmen gegeben ist, wird dennoch auf eine vollständige Ladungssicherung bei Kleintransportern verzichtet. Fehlende polizeiliche Kontrollen der Ladungssicherung von Kleintransportern tragen ebenfalls zu einer geringen Akzeptanz der Fahrer gegenüber der Einführung neuer Sicherungssysteme bei. Das Problem haben einige Hersteller bereits erkannt und Systeme aus Gurtbandnetzen und Spanngurten auf den Markt gebracht. Jedoch weisen diese in ihrer Handhabung Defizite auf. Da stets Haken in Ösen oder Sperrstangen vom Fahrer auf dem Laderaumboden oder in die Zurrutsche eingehängt werden müssen, wird als lästig empfunden.

Die Forderungen an das zu entwickelnde Ladungssicherungssystem für loses Stückgut lauten demnach: eine einfache, schnelle Handhabung, hohe Zuverlässigkeit und die Einhaltung von Sicherheitsnormen. Für dieses Projekt haben sich Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus den Bereichen Logistik, Fördertechnik und der Textilindustrie zusammengeschlossen.

## 2 ZIELE

Das Projekt verfolgte die Entwicklung eines automatisch zu betätigenden Ladungssicherungssystems für lose Stückgüter. Funktionssicherheit und Zeitersparnis sollten dabei eine hohe Zustimmung bei den Fahrern von KEP-Diensten erreichen.

Da in Zukunft ganze Transportflotten mit einem Ladungssicherungssystem ausgerüstet werden könnten, gilt bereits in der Entwicklungsphase eine hohe Zuverlässigkeit des Systems im Prototypenstatus zu erreichen. Darüber hinaus ist die vorhandene Ladekapazität des Transporters durch das Sicherungssystem nur minimal zu beeinträchtigen. Der Prototyp ist beispielhaft für einen Mercedes Sprinter mit langem Radstand anzufertigen. Eine hohe Einsatzrate des Systems, eine einfache Handhabung sowie eine schnelle Spannzeit sollen eine hohe Akzeptanz bei den Fahrern erreichen. Zusammenfassend lagen folgende Ziele der Entwicklung zu Grunde:

- beschädigungsfreie Sicherung von losem Stückgut aus Karton, Holz- und Kunststoffbehältern
- Ladeguthöhen zwischen 0,2 bis 1,6 m
- hohe Zuverlässigkeit
- minimale Beeinträchtigung der Ladekapazität
- automatisierte Bedienung
- Spanndauer < 30 Sekunden
- hohe Wirtschaftlichkeit
- hohe Anwenderakzeptanz

## 3 VORGEHENSWEISE

Eine Produkt- und Patentrecherche verschaffte zunächst einen Überblick über den derzeitigen Markt an Ladungssicherungsmöglichkeiten. Daraus konnten die Vor- und Nachteile aktueller Lösungen erörtert und entsprechende Einschränkungen festgehalten werden. Ebenso wichtig war die Erfassung geltender Normen, besonders die für Kleintransporter. Auf dieser Grundlage wurden sowohl die Ziele als auch die Aufgaben der Entwicklung eines automatisierten Ladungssicherungssystems mit entsprechenden Rahmenbedingungen festgehalten. Eine enge Zusammenarbeit der Kooperationspartner brachte erste 2D-Konzeptskizzen des Handlingsystems hervor. Es wurden u.a. verschiedene Antriebspositionen erörtert und anhand ausgewählter Kriterien bewertet. Bewertungskriterien waren beispielsweise der Platzbedarf, Montageaufwand und erreichbare Spannkraft. Aufbauend auf den bevorzugten Motorenpositionen wurden die Konzeptskizzen angepasst, deren Bewertung ebenfalls unter verschiedenen Aspekten erfolgte. Aus dieser Phase gingen zwei Konzepte hervor. 3D-CAD-Modelle dieser Konzepte halfen zur Visualisierung des Systems, aber auch zur Demonstration der Funktionen. Die Vorzugsvariante, eine Lösung in dem die Spannungspunkte ungeführt bleiben, wurde anschließend in einem maßstabsgetreuen Mercedes-Sprinter umgesetzt. Der angefertigte Versuchsstand, der den Laderaum abbildet, ist gefertigt aus einer Schweißkonstruktion mit Vierkant-Hohlprofilen. Er weist sämtliche Befestigungsösen des Originals auf. Zudem lässt er sich mit verschiedenen Messvorrichtungen erweitern.

Die für die Umsetzung des Vorzugskonzepts benötigten Teilfunktionen bzw. Funktionsprinzipien wurden zunächst in Laborversuchen getestet. Das Abstimmen der Funktionselemente erfolgte dann anschließend im angefertigten Versuchsstand. Erst nach der Sicherstellung einer hohen Zuverlässigkeit war das System reif unter realen Bedingungen getestet zu werden. Besonders mit Hilfe und dem Know-how des Projektpartners Car-management GmbH im Fahrzeuginnenausbau gelang die Umsetzung vom Versuchsstand in den Transporter.

## 4 AUFBAU

Das Ladungssicherungssystem hat die Aufgabe die Ladung in einem markierten Bereich am Verrutschen oder Abheben form- und kraftschlüssig mittels Ladungssicherungsnetz zu sichern. Es besteht aus zwei Zurrsystemen zum Aufwickeln zweier Spanngurte (Abbildung 1). Diese sind an den Längsseiten mit einem vorgeformten Ladungssicherungsnetz durch Spannungspunkte verbunden. Durch das automatische Aufwickeln der Spanngurte wird dieses von der Decke herab über das Ladegut gezogen und gespannt. Die Spanngurte sind in den bodennahen Zurrösen der Trennwand befestigt. 15 cm hinter der Trennwand beginnt der Beladebereich. Er ist 1,1 m breit und besitzt eine Länge von 3,45 m. Bis zu einer Höhe von

1,6 m können demnach bis zu 6 m<sup>3</sup> Ladung gesichert werden. Auf dem Laderaumboden befestigte Umlenkrollen (6) führen zu einer höheren Krafteinleitung der Spanngurte in das Ladungssicherungsnetz (1). Die Zurrsysteme (2) sind zwischen Hecktür und Radkasten auf dem Boden befestigt. Deren Antriebe bilden zwei 600 W 12 V/DC Getriebemotoren, die eine max. Spannkraft zwischen 700 bis 900 N erreichen können. Ist eine bestimmte Spannkraft erreicht, schalten die Motoren automatisch ab und die Spanngurte (5) werden in ihrer Position gehalten. Das Spannen des Netzes erfolgt in ca. 13 Sekunden.

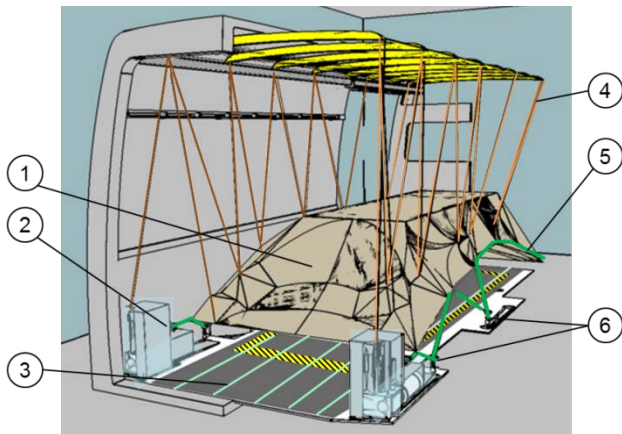


Abbildung 1: Automatisiertes Ladungssicherungsnetz im gespannten Zustand

Zum Entladen des Laderaumes wird das Ladungssicherungsnetz zurück unter die Laderaumdecke gehoben. Zwei Rückholseile (4), die durch Umlenkrollen im Netz sowie an den Dachspriegeln des Transporters geführt werden, erfüllen diese Funktion. Derzeit benötigen die Zurrsysteme max. 25 Sekunden dafür. Die Abschaltung der Aufwicklung erfolgt ebenfalls automatisch, wenn sich das Ladungssicherungsnetz in oberster Position befindet. Unterstützt wird die Ladungssicherung durch ein besonderes Antirutschsystem (3), das nahezu über dem gesamten Laderaumboden ausgelegt ist. Das Antirutschsystem besteht aus parallel angeordneten Gleitleisten, die auf elastischem Material wie z. B. Zellkautschuk (EPDM), aufgeklebt sind. Zwischen den Gleitleisten befinden sich Streifen einer rutschhemmenden Unterlage aus Gummigranulat. Die Gleitleisten senken sich unter der Last der Ladung ab, so dass diese nahezu vollständig für den Transport auf der rutschhemmenden Unterlage aufliegt. Auf Grund der temporären Abhängigkeit des Kraft-Verformungs-Weges ist es möglich, das Absinken so zeitlich zu verzögern, dass beim Beladen die besseren Gleiteigenschaften der Leisten vollständig genutzt werden können. Durch das Zusammenwirken der Verformungseigenschaften der Gleitleisten und dem elastischen Materials, kann somit dem System ein sehr charakteristisches Absenkverhalten verliehen werden.

## 5 KOMPONENTEN

### 5.1 STEUERUNG

Vorgesehen ist eine so einfach wie mögliche und intuitive Bedienbarkeit des Ladungssicherungsnetzes. Hierzu stehen dem Fahrer derzeit zwei Primärbedienfelder zur Verfügung, die im Seiten- und Hecktürbereich mittels Magneten befestigt sind. Das Primärfeld besitzt lediglich die drei Funktionen Auf, Halt und Zu mit dem das Netz gespannt oder unter die Laderaumdecke zurückgeholt wird.

Zur Erprobung der Antriebe und Schaltvorgänge ist diese eingeschränkte Steuerung nur schwer umsetzbar. Speziell für die Versuchsphase stellte sich eine flexible Steuerung als unentbehrlich heraus. Das angefertigte Masterbedienfeld verfügt über eine Vielzahl von Funktionen und ist mit Hilfe des SPS-Steuerungsmodul Siemens LOGO! 6ED1052 programmiert.

Gespeist werden die Antriebe von einer im Laderaum fest installierten Zweitbatterie. Aufgrund des starken Spannungsabfalls der Zweitbatterie beim Einschalten der Antriebe, wird die Steuerung von der Starterbatterie mit Strom versorgt. Beide Batterien werden über die Fahrzeuglichtmaschine geladen und sind über ein Relais voneinander getrennt. Damit kann gewährleistet werden, dass der Motorstart des Fahrzeuges zuverlässig gelingt.

### 5.2 LADUNGSSICHERUNGSNETZ

Das vorgeformte Ladungssicherungsnetz, welches eine der Kernkomponenten des Systems darstellt, wurde vom Sächsischen Textilforschungsinstitut e. V. (STFI e.V.) entsprechend der Belastungscharakteristik für unterschiedliche Anforderungsprofile entwickelt. Für die Netzkonstruktion, welches mittels der Wirktechnologie als knotenloses Netz ausgebildet ist, wurden hauptsächlich Hochleistungsfasern verwendet. Durch die Umrüstung einer RL-Kettenwirkmaschine des Typs RS8 EL6M von E18 auf E6 sowie der Modifikation auf 6 Maschen bildende Legeschienen für die Herstellung mit 3 Fadensystemen konnten die entwickelten Funktionsmuster auf einer Arbeitsbreite von 50 Zoll hergestellt werden. Für die Anwendung wurden verschiedene Netzkonstruktionen von quadratisch, rhombisch bis hexagonal untersucht und auf Grund der Ergebnisse ihrer physikalischen Eigenschaften geeignete ausgewählt.

Die Prüfungen erfolgten hierbei nicht nur anhand der Netzmaschenprüfung (nach ISO 1806 u. EN 1263-1) sondern auch großflächig am speziell entwickeltem Netzprüfstand des STFI e.V. nach eigenem Prüfverfahren [STF01]. In A. a. DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08 wird in diesem Verfahren die Belastung mittels geeigneten quaderförmiger Prüfkörper eingeleitet (Abbildung 2). Die individuellen Möglichkeiten zur Einspannung der Netzmaschen im Randbereich des Netztuches (max. 5 x 5 m) in die Schäkel

des Prüfstandes ermöglichten hierbei einen Vergleich zwischen idealisierter und anwendungsorientierter Prüfung. So wurde das Bruchverhalten des Netzes mittels rechteckigem Prüfkörper (50 x 50 cm) auf die geringe Anzahl der Einhängpunkte im Transporter abgestimmt.

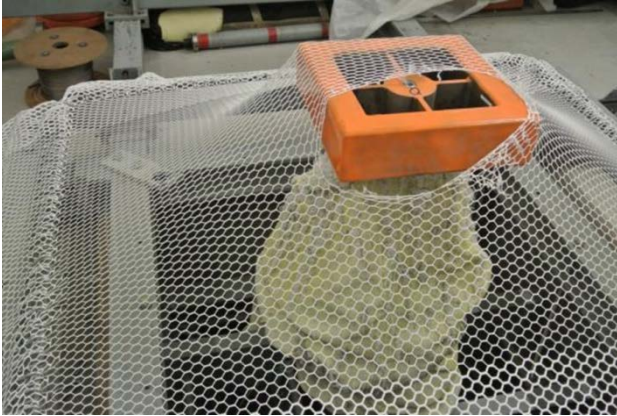


Abbildung 2: Ermittlung der Netzbruchkraft [STFI e.V.]

Das Ergebnis ist ein vorgeformtes Netz mit höchstmöglicher Substanzausnutzung, welches in den Randbereichen speziell verstärkte Netzmaschen für die Krafteinleitung aus den Einhängpunkten aufweist. Im mittleren Bereich, welcher die Pakete umschließen soll, sind die Netzmaschen mit einfachen Netzmaschenschenkeln ausgestattet, wohingegen diese im Rand doppelt ausgeführt sind (Abbildung 3).

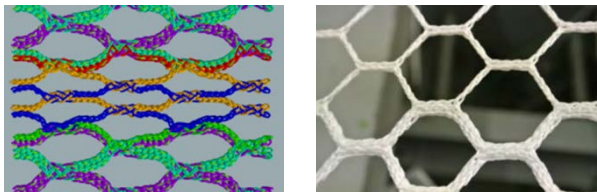


Abbildung 3: Rechnergestützte Maschenkonstruktion (l), Übergang einfache/zweifache Netzmaschenschenkeln [STFI e.V.]

Ein Rapport von durchschnittlich 50 mm hat sich bezüglich der Krafteinleitung und des Drapierverhaltens um die Ladung als vorteilhaft herausgestellt. Die Bruchkraft des Netzes ist abhängig von der Einspannung und liegt bei einem quaderförmigen Prüfkörper (50 x 50 cm) bei über 24 kN. Die Bruchkraft der einzelnen doppelten Netzmaschen im Randbereich liegt bei über 2,58 kN sowie für die einfachen Netzmaschen bei 1,47 kN.

### 5.3 SPANNGURT

Die von F.J.RAMMER GmbH speziell entwickelten Spanngurte bestehen aus einer unflexiblen biegeschlaffen Gewebekonstruktion. Dieses Gewebe besteht aus einem Verbund aus Polyester- und Hochleistungsfilamentgarn. Die Handhabung und Zuverlässigkeit der Auf- und Abwicklungsvorgänge sind direkt im Versuchsstand getestet

worden. In Anlehnung an die Norm zur Ermittlung von Zugeigenschaften konnte bei einem 32 mm breitem und 1,35 mm starkem Gurtmaterial eine minimale Bruchkraft von 22,6 kN bei 9% Bruchdehnung erreicht werden [DIN03]. Die durchschnittlich aufgenommen Kraft bei 7% Dehnung des Materials beträgt 12,4 kN.

### 5.4 RÜCKHOLSEIL

Für die Art des Rückholseils wurden verschiedene Geflechte getestet. Zur Anwendung kamen zum Teil beschichtete Hohlgeflechte, sowohl mit als auch ohne Mantel, und einem Durchmesser zwischen 3 bis 4 mm. Ebenso sind elastische Seilen zur Erprobung gekommen. Im Laufe des Projekts nahmen die Belastungen der Rückholseile zu. Die relativ hohe Anzahl von 13 Umlenkungen pro Seil, die Gewichtszunahme des Ladungssicherungsnetzes sowie seinen Verbindungselementen, verursachen Biege- wechselbelastungen. Zudem entsteht beim Aufwickeln starke Reibung zwischen den einzelnen Trommellagen, die zusätzlich zu starken Verschleiß führen. Die getesteten Mantelgeflechte versagten deutlich eher, als die Hohlgeflechte, was vor allem am reduzierten Kerndurchmesser und der Relativbewegung zwischen Kern und Mantel zurückzuführen ist. Besonders Spannkraften ab ca. 0,20 kN bewirken das Einziehen der letzten Umwicklung zwischen bereits bestehende Lagen. Dies führte beim Abwickeln zum Verkleben dieser Umwicklung und zur Schlaufenbildung. Geflechte mit elastischem Kern wurden dabei beispielsweise überbelastet und verloren schnell an Elastizität. Das in den Feldversuchen verwendete Rückholseil besteht aus einem Hohlgeflecht aus 12 Litzen und besitzt einen Durchmesser von 4 mm. Es erreichte in einer Prüfung für Faserseile eine minimale Bruchkraft von ca. 12,2 kN bei 5,59% Bruchdehnung [DIN04].

### 5.5 ANTIRUTSCHSYSTEM

Der konzeptionelle Aufbau des Antirutschsystems basiert auf einer gewichtsabhängigen Funktionsweise. Wie bekannt ist, gibt es eine Vielzahl an Verpackungsgrößen, daher basiert die Dimensionierung auf einer Auswahl unterschiedlicher Verpackungen. Diese Auswahl erstreckt sich von etwa Schuhkartongröße bis hin zu Abmessungen von Umzugskartons. Für die Auswahl geeigneter elastischer Materialien, die das Absinken der Gleitleiste ermöglichen, wurde sich an den maximalen Traglasten sowie am durchschnittlichen Gewicht der Kartons orientiert. Mit Hilfe derer die Flächenlasten und damit die Belastung des elastischen Materials umgerechnet werden konnte. In ersten Versuchen wurden synthetische Schaumstoffe wie auch Naturkautschuke untersucht. Das Druck-Verformungsverhalten dieser Materialien konnte i. A. an die Norm für die Verformung von Elastomeren aufgezeichnet werden [DIN05]. Die bei den Versuchen verwendeten Ronden haben einen Durchmesser von 29 mm und sind 8 bis 30 mm dick. Nach 3 Setzzyklen des Druckstempels, mit dem die Ronden um 35% gestaucht

werden, wurden die Druckmodule aus den Messwerten bei 10%, 20% und 30% Verformung bestimmt. Prüfungen nach diesen Normen lassen hingegen keinen Schluss auf das viskoelastische Verhalten der Materialien zu. Aber auch die Probengeometrie ist weit von der späteren Einsatzgeometrie entfernt. Aus diesen Gründen sind hier eigene Prüfabläufe zum Einsatz gekommen. Bei diesen wird die zeitliche Abhängigkeit der Verformung berücksichtigt und einer leistenförmigen Abmessung der Probe bedacht. Auch wird darin der Verbund mit Gleitleisten zwischen 3-5 mm Stärke betrachtet. Die Kraft-Weg Kennwerte werden in den eigenen Prüfabläufen erst nach einer Setzzeit von 30 Sekunden und bei Verformungen von 25%, 40% und 65% aufgenommen. Dies entspricht in etwa dem Zeitraum in dem ein Karton auf dem Laderaum abgestellt und an seine Endposition geschoben wird. Das gesuchte Material sollte bei einer Verformung von 25% bis max. 40% den gegebenen Belastungen standhalten und erst zwischen 40% bis 60% der Last nachgeben. Aus dem Vergleich der ermittelten Werte und den gegebenen Belastungen konnte nun eine engere Materialauswahl getroffen werden.

Im Hinblick auf den alltäglichen Gebrauch bei wechselnden Belastungen, muss eine sichere Stoffverbindung zwischen Gleitleiste und dem elastischen Material gewährleistet werden. Unter konstruktiven Aspekten, wie z.B. die Fügbarkeit, wurde ein Verbund aus PE Gleitleisten und synthetischer EPDM-Kautschuk für einen ersten Prototypen des Antirutschsystems ausgewählt. Der Aufbau ist in Abbildung 4 dargestellt.

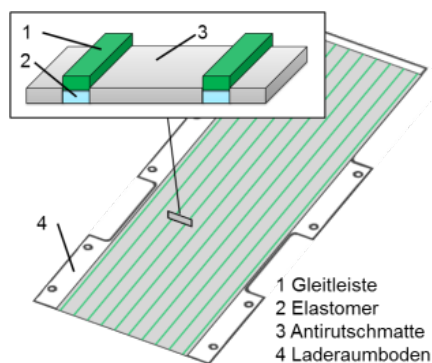


Abbildung 4: Aufbau Antirutschsystem

Komplettiert wird das Antirutschsystem durch Regupol® 7210 LS als rutschhemmende Unterlage. Dieses Material wies unter den getesteten Materialien den höchsten Haftreibungswert ( $\mu_{\text{Haft}} = 1,14$ ) sowie den höchsten Minimalgleitreibungswert ( $\mu_{\text{min.Gleit}} = 0,92$ ) gegen Karton auf. Das Gleitleisten Material aus dem Original Werkstoff "S" grün® von Murtfeldt weist nach eigenen Versuchen einen Haftreibungswert von 0,3 und einen Gleitreibungswert zwischen 0,17 bis 0,26 auf. Die Oberprobe, aus rutschhemmenden Materialien bzw. dem Gleitleistenkunststoffen mit einer Fläche von 40 x 40 mm, wurde dazu mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 15,2 mm/s über eine Messstrecke von ca. 40 cm gezogen. Die Unterprobe bestand

aus einem trockenem, staubfreiem handelsüblichen Umzugskarton. Die Oberproben waren in einem Zugschlitten eingefasst und mit einer Zusatzlast von 513 g beschwert. Die Reibkennwerte basieren auf den Daten aus 5 Messstrecken der jeweiligen Reibpaarungen.

Im Prototyp überragen die Gleitleisten die rutschhemmende Unterlage um 2 mm. Demnach müssten eher leichte Kartons auf den Gleitleisten nahezu ganzzeitig einfach über das System bewegbar sein. Hingegen sollten relativ schwere Kisten nur für den Zeitraum der Beladung die Gleitwirkung der Leisten nutzen können und anschließend für den Transport in die Reibpaarung mit der rutschhemmenden Unterlage übergehen. Reibversuche sollten Aufschluss geben, ob die getroffenen Annahmen, zur gewünschten Funktionalität führten. Die Abhängigkeit des Gleitreibungswertes vom Ladungsgewicht ist in Abbildung 5 dargestellt.

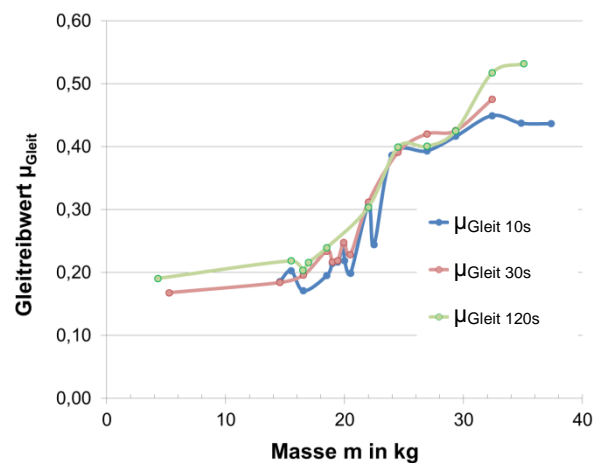


Abbildung 5: Gleitverhalten des Antirutschsystems in Abhängigkeit des Paketgewichts und der Setzzeit

Für diese Versuche wurde ein Karton mit einer Bodenfläche von 24 x 31 cm unter Verwendung von Zusatzgewichten zwischen 14...40 kg über das Antirutschsystem gezogen. Die gewählte Standfläche des Kartons ist recht klein und erreicht hohe Flächenpressungen in der Praxis. Auf einer Gesamtmessstrecke von 1,2 m wurden zwischen 3 und 5 Einzelmessstrecken festgelegt. Der Probekörper wird während der Einzelmessstrecke aus dem Ruhezustand auf eine gleichmäßige Geschwindigkeit von ca. 1,45 m/min, für 8-10 s, beschleunigt. Auch verschiedene Setzzeiten zwischen den Einzelmessstrecken fanden Berücksichtigung. Diese betragen 10, 30 und 120 Sekunden. Aus den aufgenommenen Daten konnten Haft- sowie Gleitreibungswerte ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass der sprunghafte Anstieg der Reibwerte etwa zwischen 18 und 24 kg liegt und dass eine Setzzeit von 120 s eine Erhöhung der Reibwerte um z.T. 20% gegenüber einer von 10 s bewirken kann.

## 5.6 NETZVERKÜRZER

Netzverkürzer dienen zur einfachen und schnelleren Reduzierung der Netzbreite, wodurch auf das Umhängen der Spannpunkte verzichtet werden kann. Hierbei wurde die Handhabung von verschiedenen Zugmitteln, zum Zusammenziehen zweier Netzpunkte und Schnürtechniken getestet.

Als Zugmittel kamen dabei zum einen ein in abgewandelter Form von der Firma Manfred Huck GmbH & Co. KG und dem STFI e.V. entwickelte Isilink® zum Einsatz und zum anderen Klemmschlossgurte (Abbildung 6).



Abbildung 6: Netzverkürzer – Weiterentwicklung des Isilink® aus hochfesten Filamentgarnen zur 3D – Krafteinleitung (li.), Klemmschlussgurte als Netzverkürzer (re.)

Durch beide Zugmittel lässt sich der Krafteinleitungspunkt des Spanngurtes in zwei Positionen durch Zusammenziehen oder Öffnen einstellen. Je nach Länge des Isilink® bzw. des Klemmschlossgurtes kann das Ladungssicherungsnetz an den Seiten verkürzt werden. Beim Verkürzen des Netzes mittels Isilink® bilden sich Schlaufen an den Netzrändern. Aufgrund von Sicherheitsaspekten wird daher die Netzverkürzung mittels Klemmschlösser vorgezogen. Diese Art der Netzverkürzung ist sehr einfach in der Anwendung. Die Netzreduzierungszeit mittels Klemmschlossgurte beträgt ca. 1,5 min für 14 Stück Netzverkürzer (Gurtlänge = 70 cm). Um diese Zeit zu verringern, wurden andere Möglichkeiten getestet.

Neben den üblichen Kreuz- und Parallelschnürung kamen auch modifizierte Schnürtechniken zur Anwendung, um über die gesamte Länge die Netzbreite zu verkleinern. Durch Mischtechniken konnte beim Schließen eine Netzverkürzung über die gesamte Länge erzielt werden. Die Ladung wurde förmlich eingeschnürt. Eine einfache Handhabung beim Zusammenziehen des Netzes konnte ebenfalls erreicht werden. Beim Spannen des verkürzten Netzes wirkte sich die stark ausgleichende Längenreduzierung negativ aus. Des Weiteren erwies sich das Öffnen der Schnürung, welches zum Be- und Entladen im Seitenbereich notwendig ist, als zu umständlich. Mit den angewendeten Schnürtechniken konnten keine kürzere Netzreduzierungszeit erreicht werden. Aus diesen Gründen sind in den Dauer- und Feldversuche Klemmschlossgurte zur Netzanpassung eingesetzt.

## 6 VERSUCHE

### 6.1 ZURNETZPRÜFUNG

Die VDI 2700 besagt, dass die Ladung mit mindestens 80% ihres Gewichts in Fahrtrichtung, zu den Seiten mit 60% und nach hin mit 50% zu sichern ist [VDI03]. Das gilt für Fahrzeuge zwischen 2,0 und 3,5 t. Die Berufsgenossenschaft für Verkehr beschreibt in einer ihrer Zertifizierungsgrundsätzen ein Verfahren zur Prüfung von Ladungssicherungsnetzen [GSV01]. Darin wird u.a. ein Prüfaufbau zur Erfassung der Verschiebung eines Prüfschlittens, unter Einwirkung einer Kraft, beschrieben. Diese Kraft zum Verschieben des Prüfschlittens erzeugt darin ein Zugzylinder. Die zulässige Verschiebung des Prüfschlittens beträgt 50 mm. Auf Grundlage dieser Belastungsprüfung konnte durch Modifikation des bestehenden Versuchstands zwei eigene Versuchsreihen durchgeführt werden.

In beiden Versuchsreihen wird ein auf Rollen gelagerter Prüfschlitten mit den Abmaßen 1,2 x 0,8 x 0,82 m mit steigender Kraft in Fahrtrichtung unter dem gespannten Ladungssicherungsnetz hindurch gedrückt. Der durch das Ladungssicherungsnetz entgegenwirkende Kraftanteil beträgt, aufgrund des geringen Widerstandes des Untergrunds (angenommene Rollreibung  $\mu_{\text{Roll}} = 0,05$ ), nahezu einhundert Prozent. Im Versuchsaufbau 1 wird die Kraft durch langsames Neigen des gesamten Versuchstands erzeugt. Durch Zusatzgewichte erreicht der Prüfschlitten eine Gesamtmasse von ca. 413 kg. Dadurch konnte beispielsweise eine Hangabtriebskraft von fast 1161 N bei einer Neigung von 16,7° erreicht werden. Im ersten Versuch lag die durchschnittliche Netzbreite im gespannten Zustand bei 2,6 m. Das Netz überspannte damit den kompletten Prüfschlitten. Die Spanngurte verliefen dabei nahezu parallel über dem Laderaumboden. Ein Umhängen der Spannpunkte bewirkte eine Reduktion der effektiven Netzbreite. Damit konnte die eingeleitete Kraft, bei einer zulässigen Verschiebung des Prüfschlittens, um 57% erhöht werden. Die Netzmaschenweite zählte 210 mm für die ersten beiden Versuche.

Bei Verschiebungen im Bereich der halben Maschenweite traten große Sprünge in der Verschiebfunktion, was zurückzuführen ist auf ein Verschieben der oberen Prüfschlittenecken in andere Netzmaschen. Mit letzterem Zurnetaufbau und der Verwendung einer rutschhemmenden Unterlage mit einem Reibkoeffizient  $\mu = 0,6$  könnten umgerechnet 326 kg in Fahrtrichtung gesichert werden (Versuch 2 VR1, Abbildung 7). Aufgrund der hohen Spannkraft des Netzes würden indessen Ladebehälter aus Karton erheblichen Schaden nehmen.

Die folgende Tabelle 1 enthält eine Übersicht über die Änderungen im Versuchsaufbau beider Versuchsreihen. Aus der nachfolgenden Abbildung 7 sind die Kräfte bei einer zulässigen Verschiebung für die Bestimmung

des sicherbaren Ladegewichts der einzelnen Versuche ablesbar.

Tabelle 1: Parametereinstellung Zurrnetzprüfung

Parameter	Versuchsreihe 1		Versuchsreihe 2				
	V1	V2	V1	V2	V3	V4	V5
Netzbreite [m]	2,6	1,8	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8
Anzahl Umlenkpunkte	2	3	2	3	3	3	2
Prüfslitten Position	längs	längs	längs	längs	quer	quer	quer

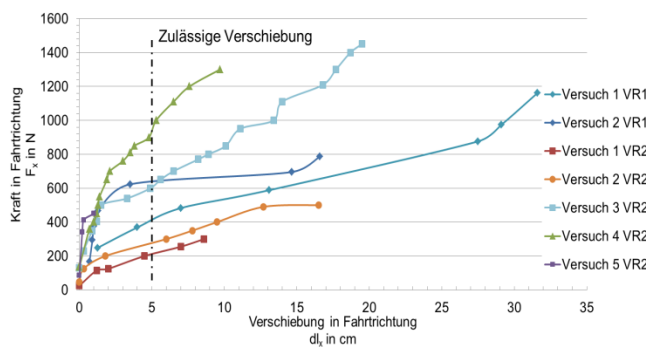


Abbildung 7: Kraft-Weg-Diagramm der Zurrnetzprüfung

Das sicherbare Ladegewicht  $m$  berechnet sich nach folgender Formel. Sie ist hier für die Berechnung in Fahrtrichtung angegeben.

$$m = \frac{F_x(dl_x = 50 \text{ mm})}{g \cdot (c_x - \mu)} \quad (1)$$

Demnach wird die Kraft  $F_x$  [N] bei einer Verschiebung des Probekörpers um 50 mm ermittelt (Abbildung 7). Vom Sicherheitsbeiwert  $c_x$ , welcher 80% in Fahrtrichtung beträgt, wird der Reibwert  $\mu$ , der Reibpaarung der Unterlage und dem gewünschten Ladegut, abgezogen. Durch die Division der Fallbeschleunigung  $g$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ] ergibt sich das sicherbare Ladegewicht  $m$  in der Einheit [kg]. Für eine genaue Aussage über das sicherbare Ladegewichts müssen auch die Verschiebung in seitlicher Richtung berücksichtigt werden.

In Versuchsreihe 2 erzeugt ein Pneumatikzylinder auf den Prüfslitten die Kraft in Fahrtrichtung. Wie bereits erwähnt und in Tabelle 1 festgehalten, erfolgten Änderungen im Aufbau: in der Anzahl der Umlenkpunkte am Laderaumboden, der Prüfslittenlage und in der Lage der Spannpunkte (Netzbreite im Ladungsbereich). Der Prüfslitten befand sich bei beiden Versuchsreihen in etwa der Mitte des Laderaums zwischen Trennwand und Zurr-

system. Das bei dieser Versuchsreihe verwendete Ladungssicherungsnetz besitzt eine reduzierte Maschenweite von 50 mm. Dadurch sollte eine kontinuierlichere Verschiebefunktion erzeugt werden. Auf Seiten der Antriebe des Zurrsystems wurden ebenfalls Änderungen vorgenommen. Zum einen war die Spannkraft zu hoch, so dass Kartons unter dem Sicherungsnetz zerstört würden und zum anderen sollte die Rückholzeit des Netzes reduziert werden. So konnte nach einer Änderung der Getriebeabstimmung die Leistung der Antriebe von 1,1 kW auf 600 W nahezu halbiert werden. Eine niedrigere Übersetzung erhöhte die Drehzahl, dies verringert wiederum die Spannzeiten der Spanngurte sowie die der Rückholseile. Die Spannkraft konnte auf eine für die Ladung noch vertretbare Kraft reduziert werden.

## 6.2 DAUERVERSUCH

Im Dauerversuch konnten erstmalig nach Integration sämtlicher Komponenten das Ladungssicherungsnetz auf seine Zuverlässigkeit, steuerungstechnische sowie mechanische Schwächen untersucht werden. Dafür wurden es, bei Einstellung vier unterschiedlicher Beladungszuständen, 500 Belastungszyklen unterzogen.

Die Zyklendauer beträgt 1,5 min. Zwischen dem automatischen Spannen des Ladeguts und dem zurückholen des Netzes unter Laderaumdecke, verweilte es für 30 s in seiner Position. Bereits während der Versuche wurden Systemveränderungen vorgenommen, um die Ausfallrate zu reduzieren. Jede unplanmäßige Unterbrechungen sowie deren Ursachen wurde protokolliert. Zahlreiche Änderungen während des Dauerversuches konnten die Anzahl unvollständiger Zyklen von zwischenzeitlichen 50% auf 11% reduzieren. Zu den unvollständigen Zyklen zählten u.a. ein vorzeitiges Abschalten der Antriebe bei der Netzurückholung, ein unsymmetrisches Spannen der Ladung und ein Verkleben des Spanngurtes in der Wickeltrommel. Es ist anzumerken, dass diese Fehler nicht direkt zur Unterbrechung der Versuche führten. Erst das vermehrte Auftreten, wie dem Verkleben des Spanngurtes, erforderten einen manuellen Eingriff des Versuchsdurchführenden. Diese Anzahl fehlerbedingter Unterbrechungen konnten von 26% auf 4% (bezogen auf 100 Zyklen) deutlich verringert werden. Des Weiteren wurde aufgrund unsymmetrischen Spannens des Ladeguts beobachtet, dass trotz Verwendung zweier baugleicher Antriebe, bei zunehmender gleicher Belastung, diese unterschiedlich viel Strom benötigen. Die daraus resultierende Geschwindigkeitsdifferenz konnte im zulässigen Maße durch eine steuerungsseitige Startzeitverzögerung ausgeglichen werden.

Verschleißerscheinungen traten vor allem an den Seilen für die Rückholung auf. Für die Feldversuche wurde daher Seile mit größerem Durchmesser gewählt. Des Öfteren waren im Vorfeld Überlastungen an deren Umlenkrollen zu verzeichnen. Dahingehende Beschädigungen

konnten durch entsprechende Kollisionsvorrichtungen unterbunden werden.

Zwei Beladezustände des Dauerversuchs sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt. Die lichte Höhe in Abbildung 9 beträgt im Beladebereich ca. 1,70 m.



Abbildung 8: Versuchszustand Fahrerseite, Netz oben (o.), Netz unten (u.), Ladehöhe: 1,0 m



Abbildung 9: Versuchszustand Rückseite, Netz oben, Ladehöhe: 0,8 m

### 6.3 FELDVERSUCH

Abschließend führte die Firma ECL euro.COURIER Logistics GmbH einen dreiwöchigen Feldversuch durch. Dabei wurden ca. 10 Fahrten pro Schicht im Umkreis von 50 km durchgeführt. Begleitende Kameraaufnahmen im Lade- und Fahrerraum dokumentieren das Ladungssicherungssystem während des Feldversuchs. Das Ladungssicherungssystem konnte in der Praxis ab einer Mindestla-

dehöhe von 0,6 m eingesetzt werden, was einem minimalen Ladevolumen von ca. 1,2 m<sup>3</sup> entspricht. Die Abbildung 10 zeigt die Sicherung eines 4 m<sup>3</sup> großen Ladevolumens (Beladehöhe: 1,2 m).



Abbildung 10: Mercedes-Sprinter Laderaum mit Ladesicherungssystem

Die Auswertung ergab, dass in 75% der Fahrten, in denen ein Mittel zur Ladungssicherung eingesetzt wurde, ausschließlich das entwickelte Ladungssicherungssystem zum Einsatz kam. Dagegen wurden Sicherungsgurte nur in 19% der Fälle verwendet. In 6% der Fälle kam in Kombination sowohl das Ladungssicherungssystem als auch herkömmliche Ladungssicherungsmittel, Spanngurte, zum Einsatz. Das durchschnittliche maximale Transportvolumen betrug 2,9 m<sup>3</sup>. Zudem konnte die Sicherung des maximalen Ladevolumens von 6,0 m<sup>3</sup> mittels Ladungssicherungsnetzes getestet werden, welches überwiegend aus 60 x 30 x 40 cm großen Transportbehältern bestand.

### 7 FAZIT

Die Feldversuche konnten zeigen, dass das Ladungssicherungssystem bei verschiedenen Ladegutabmessungen flexibel einsetzbar ist. Es wurde versucht einen sehr großen Ladevolumenbereich abzudecken. Das entwickelte System erfüllt diese Forderung nahezu vollständig. Es konnten Ladevolumen zwischen 1,2 bis 6 m<sup>3</sup> mit dem Ladungssicherungsnetz abgedeckt werden. Bedenken, dass der Laderaum durch das System zu eingeschränkt sei, konnten während der Feldversuche widerlegt werden. Gerade in 1% der Fälle hätte das maximale Ladevolumen überschritten werden müssen.

Bezüglich der Zeit, die das System für die Ladungssicherung benötigt, erfüllen eine Spannzeit von 13 s sowie eine Rückholzeit von 25 s die Erwartungen der Projektpartner. Auch eine Netzhöhe von 1,7 m zum Be- und Entladen ist durchaus vertretbar. Wie in Abbildung 8 angedeutet, sind die Seiteneingänge frei zugänglich. Es bestand zudem die Herausforderung in der Sicherung der Nutzlast von ca. 1 t und dabei sensible Verpackungsinhal-



te nicht zu beschädigen. Die Ergebnisse der Versuche zur Ladungsverschiebung zeigen, dass eine Sicherung von Ladegut in Höhe von knapp 500 kg möglich ist. Das System ist derzeit auf die zulässigen Spannkkräfte von Transportbehältern aus Karton abgestimmt.

Das Prüfverfahren der Berufsgenossenschaft für Verkehr [GSV01] betrachtet indes nur eine Ladung mit bestimmten Abmessungen und nicht die Vielfalt an Ladungszuständen, wie sie in der Praxis vorkommen. Außen vor bleibt unter dieser Betrachtungsweise, ob die Transportbehälter, wie Kartons, überhaupt den Belastungen benötigter Spannkkräfte standhalten.

## 8 AUSBLICK

Mit Bezug auf die durchgeführten Versuche und gesammelten Erfahrungen müssen weitere Entwicklungsschritte für eine Serienreife des Ladungssicherungssystems erfolgen. Demnach ist der Einsatzbereich in Richtung niedrigerer Ladevolumen von weniger als 1,2 m<sup>3</sup> zu erweitern. Hierbei kann eine Änderung der Spanngurtführung die Qualität der Krafteinleitung steigern, wie bereits Versuche zeigten. Ein neuartiges Getriebekonzept wurde für derart zukünftige konstruktive Änderungen bereits entwickelt.

In Anbetracht dessen, dass sich die Anzahl der KEP-Dienstleister erhöhen und dass es in Zukunft staatliche Kontrollen auch im Bereich der Lieferdienste geben wird, wird die Verwendung automatisierter Ladungssicherungssysteme kaum zu umgehen sein.

### LITERATUR

- [StV01] StVO §22: Ladung; 04/2013
- [StV02] StVO §23: Sonstige Pflichten von Fahrzeugführern; 04/2013
- [StV03] StVZO §31: Verantwortung für den Betrieb der Fahrzeuge; 05/2014
- [VDI01] VDI 2700: Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen; 11/2004
- [VDI02] VDI 2700 Blatt 3.3: Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen, Netze zur Ladungssicherung; 05/2013
- [VDI03] VDI 2700 Blatt 16: Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen, Ladungssicherung bei Transportern bis 7,5t zGM; 07/2009
- [DIN01] DIN EN 12195-1: Ladungssicherungseinrichtungen auf Straßenfahrzeugen, Sicherheit; 06/2011

- [DIN02] DIN ISO 27956: Ladungssicherung in Lieferwagen, Anforderungen und Prüfmethode; 11/2011
- [DIN03] DIN EN ISO 13934-1: Textilien, Zugigenschaften von textilen Flächengebilden; 08/2013
- [DIN04] DIN ISO 2301: Faserseile, Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften; 01/2011
- [DIN05] DIN ISO 7743: Elastomere oder thermoplastische Elastomere, Bestimmung des Druckverformungs-Verhaltens; 11/2006
- [STF01] STFI-PV PT 1-A: Netze, Bestimmung des Kraft-Dehnungsverhaltens von Netzen mittels „Full scale test“; 03/2012
- [GSV01] GS-V-31: Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von Zurrnetzen zur Ladungssicherung auf Fahrzeugen; 01/2011

---

**Dipl.-Ing. Andreas Fink**, Scientific Assistant, Professorship of Materials Handling and Conveying Engineering, Technische Universität Chemnitz. Andreas Fink was born 1985 in Wolfen, Germany. Between 2005 and 2012 he studied mechanical engineering with a major in machine tools and production processes at the Technische Universität Chemnitz.

Phone: +49 371 531 32438,  
E-Mail: andreas.fink@mb.tu-chemnitz.de

**Dr.-Ing. Jörg Hübler**, Team Leader of Conveying Systems and Logistics, Professorship of Materials Handling and Conveying Engineering, Technische Universität Chemnitz.

**Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel**, Director, Professorship of Materials Handling and Conveying Engineering, Technische Universität Chemnitz.

**Dipl.-Ing. (FH) Frank Weigand**, Scientific Assistant, Innovation Centre for Technical Textiles, Saxon Textile Research Institute, Aninstitute Technische Universität Chemnitz.

Address: Institute of Materials Handling,  
Reichenhainerstraße 70, D116,  
09126 Chemnitz, Germany  
Phone: +49 371 531 23110,  
Fax: +49 371 531 23119,  
E-Mail: klaus.nendel@mb.tu-chemnitz.de