

Universität Stuttgart

LEITFADEN

zur Gestaltung einer flexiblen Energieversorgung von Logistikzentren unter Berücksichtigung erneuerbarer Energien und Elektromobilität



Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik

IFT

Institut für Fördertechnik und Logistik

DANKSAGUNG

Das Projekt Flexible Energieversorgung in Logistikzentren zur Erbringung von Systemdienstleistungen in elektrischen Netzen (FELSeN) wurde vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg im Förderprogramm „Demonstrationsvorhaben Smart Grids und Speicher“ beim Projektträger Karlsruhe (Förderkennzeichen BWSGD 18003) gefördert.



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA
UND ENERGIEWIRTSCHAFT

IMPRESSUM

Titel: Leitfaden zur Gestaltung einer flexiblen Energieversorgung von Logistikzentren unter Berücksichtigung erneuerbarer Energien und Elektromobilität

Herausgeber:

Universität Stuttgart

Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH)

Pfaffenwaldring 47
70569 Stuttgart
Deutschland

Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)

Holzgartenstraße 15 B
70174 Stuttgart
Deutschland

Redaktion:

Kathrin Walz, M.Sc. (IEH)
David Pflieger, M.Sc. (IFT)
Prof. Dr.-Ing Krzysztof Rudion (IEH)
Prof. Dr.-Ing Robert Schulz (IFT)

Titelbild und Hintergrundbild: Bild von [Pixabay](#)

Publikationen als pdf: www.ieh.uni-stuttgart.de und www.ift.uni-stuttgart.de

Stand: März 2021 (Version 1.0)

Der Text dieser Broschüre wird freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 3.0 Deutschland (CC BY-SA 3.0 de)



MOTIVATION



Um die Klimaschutzziele der Bundesregierung und des Landes Baden-Württemberg zu erreichen, müssen im Verkehrssektor signifikante Emissionsreduktionen angestrebt werden. Einen Ansatz dazu bietet die Elektromobilität in Kombination mit der Nutzung von Lade-strom aus Erneuerbaren Energien. Um den Strombezug aus Erneuerbaren Quellen zu optimieren, ist jedoch zusätzlich eine Flexibilisierung der bestehenden und zukünftigen Verbraucher nötig.

Auch in der stetig wachsenden Logistikbranche kommt diese Thematik immer mehr auf. Es stellt sich die Frage, inwieweit die Prozesse in einem Logistikzentrum in Verbindung mit der Nutzung Erneuerbarer Energien flexibilisiert werden können und welche Auswirkungen eine mögliche Elektrifizierung von Mitarbeiter- und Lieferfahrzeugen auf Prozesse, Energieverbrauch und Netzanschluss der Zentren haben.

Mit diesen neuen Herausforderungen beschäftigten sich das Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH) und das Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) im durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg geförderten Forschungsprojekt FELSeN („Flexible Energieversorgung in Logistikzentren zur Erbringung von Systemdienstleistungen in elektrischen Netzen“). Die Studie untersuchte, inwiefern Logistikzentren dazu geeignet sind, durch eine situative Anpassung der logistischen Prozesse auf Schwankungen der Energieerzeugung (eigene PV-Anlage) oder zusätzliche Verbraucher (Elektromobilität) zu reagieren. Dabei wurden nicht nur Auswirkungen auf die logistischen Prozesse und auf das elektrische Energienetz betrachtet, sondern auch die Interaktion beider Seiten gestärkt. Die unumgängliche enge Kopplung von Elektrik und Logistik sowie die aktive Beteiligung der assoziierten Industriepartner aus Energienetz- und Logistikbranche ermöglichten dabei die Generation besonders realitätsnaher Ergebnisse.

PROJEKT-VORSTELLUNG



MEHRWERT



Wie können die verschiedenen Akteure rund um das Logistikzentrum eine flexible Energieversorgung unter Berücksichtigung Erneuerbarer Energien und Elektromobilität gestalten?

Die Antwort auf diese Frage finden Sie in diesem Leitfaden. Dazu werden nicht nur die in Zukunft zu erwartenden Herausforderungen an Logistikzentren thematisiert. Es wird auch ein praktisch umsetzbarer Weg skizziert, um die Logistikzentren fit für die Zukunft zu machen! Die zu diesem Zwecke eigens im Projekt entwickelte und praktisch getestete elektrisch-logistische Simulations- und Planungsumgebung, welche neuartig in ihrer Kopplung zwischen Logistik und Elektrik ist, wird dazu näher vorgestellt. Außerdem werden konkrete Handlungsempfehlungen für beteiligte Akteure von Logistikbetreibern über Speditionen, Netzbetreiber bis hin zu Kommunal- und Landespolitik gegeben. Einige Nachschlagewerke für tiefergehende Fragen liefert die Übersicht weiterführender Literatur am Ende.

INHALTE DES FORSCHUNGSPROJEKTS

Im Forschungsprojekt FELSeN wurde untersucht, inwieweit sich die Prozesse in einem Logistikzentrum an fluktuierende Erneuerbare Erzeugung anpassen können, welche neuen Herausforderungen die Elektromobilität in Zukunft bringt und welchen Einfluss dies auf das elektrische Stromnetz hat. Dazu wurde ein reales Logistikzentrum im Großraum Stuttgart und das industrielle Mittelspannungsnetz, in welchem das Logistikzentrum angeschlossen ist, untersucht.

Eine Übersicht der Projektinhalte zeigt Abbildung 1. Nach einer umfassenden Analyse und Verbrauchsmessung der logistischen Prozesse wurde das Logistikzentrum in einer neu entwickelten elektrisch-logistischen Simulations- und Planungsumgebung modelliert. Dies erlaubte die Untersuchung verschiedener Zukunftsszenarien und ihrer Auswirkungen auf Logistik und Stromnetz. Neben einer Verschiebung der Prozesse zur Senkung der Spitzenlast des Logistikzentrums wurde der Einsatz einer PV-Anlage, eines Speichers sowie eines Energiemanagementsystems und deren Mehrwerte für Logistik- und Netzbetreiber umfassend betrachtet. Auch der Hochlauf von Elektromobilität am Logistikzentrum, sowohl für Mitarbeiter-PKW als auch elektrische LKW, konnte realitätsnah simuliert werden. Dies erlaubte Erkenntnisse hinsichtlich zu erwartendem Elektrifizierungspotential, Netzausbau- sowie Ladeinfrastrukturbedarf und Auswirkungen auf logistische Abläufe.

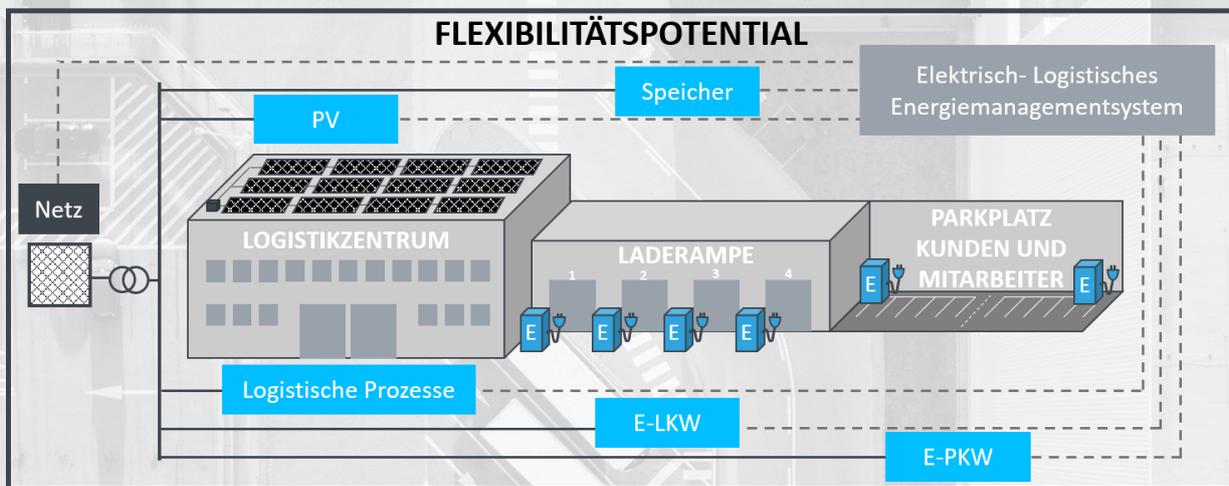


Abbildung 1: Übersicht der Projektinhalte aus FELSeN

KERNERGEBNISSE

Insgesamt hat sich gezeigt, dass in der im Projekt betrachteten Thematik der Energieversorgung und Elektromobilität im Logistik-Sektor eine Kopplung von Stromnetz und Logistik unumgänglich ist. Alternative Antriebe werden im Wirtschaftsverkehr besonders bei leichten und mittelschweren LKW an Bedeutung zunehmen. Die Versorgung von deren Ladeinfrastruktur durch Erneuerbare Energien sowie die Reduktion der Netzauswirkungen der Ladevorgänge ist ein relevantes Thema besonders in urbanen Räumen. Für die Akteure rund um das Logistikzentrum ergeben sich folgende zukünftige Herausforderungen:

- Eine **vorrauschauende Planung des Netzanschlusses** von Logistikzentren (Leistungs-/ Platzbedarf) ist nötig.
- **Elektromobilität im PKW- und LKW-Bereich** kann die logistische Auslastung sowie elektrische Last von Logistikzentren in Zukunft deutlich erhöhen.
- Das **Stromnetz** muss rechtzeitig auf den Hochlauf von **Elektromobilität in Industriegebieten** vorbereitet werden.
- Ein **Ausbau von PV-Anlagen** sollte angestrebt werden, um den zusätzlichen Energiebedarf von Elektromobilität zu decken.
- **PV-Anlagen, Speicher und Elektromobilität im Energiemanagement** können das Flexibilitätspotential von Logistikzentren steigern und **Vorteile** für Logistik- und Netzbetreiber bringen. Dazu sind wirtschaftliche Rahmenbedingungen sowie Geschäftsmodelle nötig.

WIR MACHEN IHR LOGISTIKZENTRUM FIT FÜR DIE ZUKUNFT!

Sie wissen nicht, wie Sie mit den oben genannten Herausforderungen umgehen sollen? Kein Problem, dafür haben wir im Projekt ein universelles Vorgehen und die notwendigen Tools entwickelt. Dies beinhaltet die folgenden Schritte.



Erfassung aller Verbraucher und Prozesse im Logistikzentrum

Mit unseren eigens entwickelten Messsystemen können wir Ihren Energieverbrauch optimal erfassen und so Einsparpotentiale ermitteln. Durch eine Ist-Analyse Ihrer internen Prozesse kann der aktuelle Zustand bewertet und eine Grundlage zu möglichen Optimierungen und Modernisierungen geschaffen werden.



Modellierung in der elektrisch-logistischen Simulationsumgebung

Im Projekt wurde eine neuartige Simulationsumgebung entwickelt, welche die Modellierung von Logistikzentren aus logistischer und elektrischer Perspektive gekoppelt ermöglicht. Nur so sind realistische Ergebnisse zu erreichen, welche die Integration zukünftiger Elemente ohne Nachteile auf bisherige Prozesse erlauben. In diesem zweiten Schritt wird auch Ihr Logistikzentrum in der gekoppelten elektrisch-logistischen Simulationsumgebung nachgebildet.



Elektromobilitätshochlauf prüfen

Mithilfe von Informationen zu regionalen Besonderheiten können wir den zukünftigen Ladebedarf an Ihrem Standort realitätsnah prognostizieren und den notwendigen Ladeinfrastrukturaufbau ableiten. Mit der neu entwickelten Modellierung elektrischer LKW können wir gemeinsam mit Ihnen mögliche Elektrifizierungspotentiale und deren Auswirkungen auf die Prozesse sowie Ihren Netzanschluss erarbeiten.



Flexibilitätspotentiale ermitteln

Mittels Simulationen in der elektrisch-logistischen Simulationsumgebung kann untersucht werden, welche wirtschaftlichen Potentiale das Verschieben von Prozessen an Ihrem Logistikzentrum hat. Auch ohne die Prozessverschiebung können wir den Einsatz eines Energiemanagementsystems, eines Batteriespeichers und/oder einer PV-Anlage an Ihrem Standort prüfen.



Strategie entwickeln

Gemeinsam mit Ihnen können wir anhand der Ergebnisse der vorherigen Schritte ein zukunftsfähiges Konzept für Ihr Logistikzentrum entwickeln. Sie werden erfahren, wie sich die Elektromobilität an Ihrem Standort entwickeln wird und ob Ihr Netzanschluss dazu ausgebaut werden sollte. Außerdem erkennen Sie, ob eine interne Optimierung von logistischen Prozessen sinnvoll wäre und ob sich eine PV-Anlage, ein Batteriespeicher oder ein Energiemanagementsystem für Sie lohnen könnte.

SO FUNKTIONIERT DIE ELEKTRISCH-LOGISTISCHE SIMULATIONS- UND PLANUNGSUMGEBUNG

Zur Gestaltung einer flexiblen Energieversorgung von Logistikzentren unter Berücksichtigung Erneuerbarer Energien und Elektromobilität ist eine gekoppelte Untersuchung von Elektrik und Logistik unumgänglich. Nur so kann garantiert werden, dass die Veränderung logistischer Prozesse nicht zu Grenzwertverletzungen am Netzanschlusspunkt führen, oder umgekehrt, eine elektrische Flexibilisierung zwar Vorteile für das Stromnetz bringt, die Prozesse im Logistikzentrum jedoch unwirtschaftlich verzögert. Aus diesem Grund wurde im Forschungsprojekt FELSeN eine neuartige elektrisch-logistische Simulationsumgebung entwickelt, die auf einer engen Kopplung von Elektrik und Logistik basiert. Eine Übersicht der Simulations- und Planungsumgebung zeigt die untenstehende Abbildung 2.

Der Modellierung liegen eine Identifikation, Analyse und Messung aller aktuellen und zukünftigen Prozesse im Logistikzentrum zugrunde. Diese Daten dienen als Input sowohl für den elektrischen als auch logistischen Part der Modellierung. Während die elektrische Modellierung im Rahmen einer Simulation der einzelnen Verbraucher und Erzeuger integriert in das Energieversorgungsnetz erfolgt, besteht die logistische Modellierung auf Materialflüssen. Zwischen den beiden Teilen findet ein stetiger Informations- und Datenaustausch über Schnittstellen statt. Dies erlaubt nicht nur die individuelle, sondern auch die realitätsnahe Modellierung eines Logistikzentrums. Mithilfe der elektrisch-logistischen Simulationsumgebung kann das Flexibilitätspotential des Logistikzentrums bei Verschiebung von Prozessen oder Integration neuer Komponenten wie Speichern oder Elektromobilität sowie deren Realisierbarkeit ermittelt werden. Dabei bildet die Validierung der Ergebnisse hinsichtlich elektrischer und logistischer Restriktionen einen wichtigen Teil des Modells.

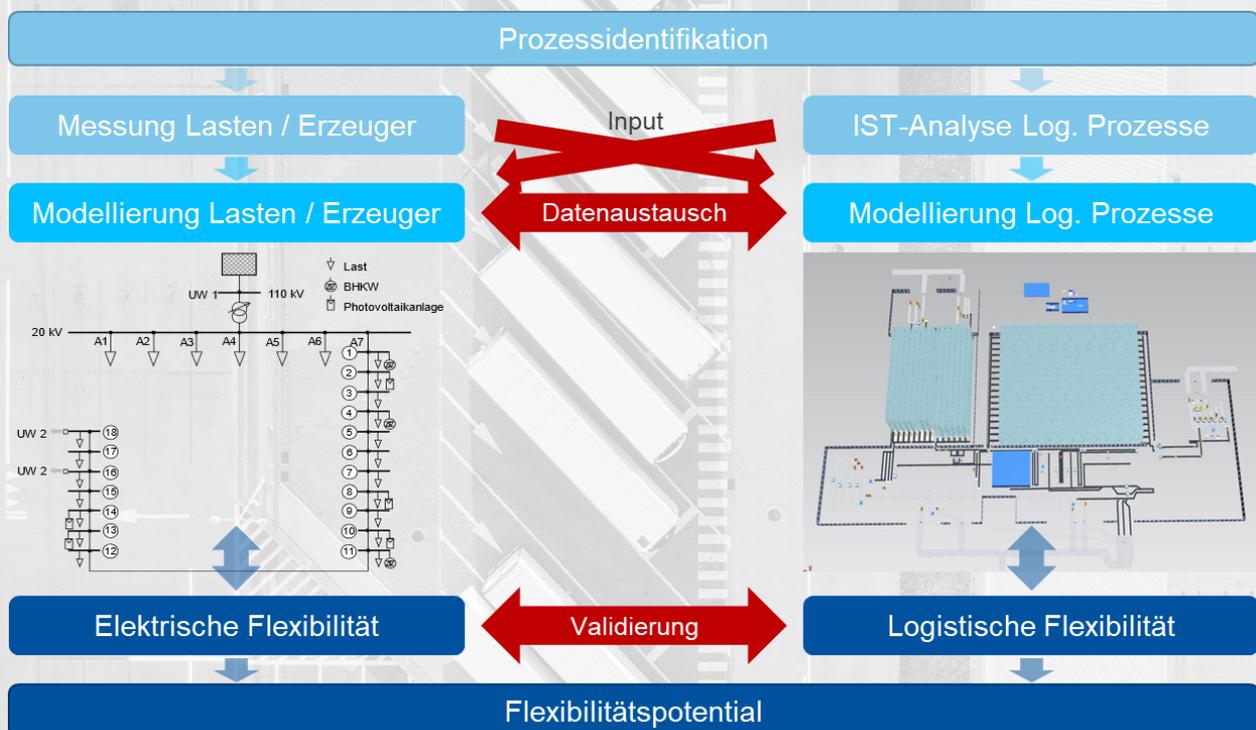


Abbildung 2: Kopplung und Schnittstellen zwischen elektrischem und logistischem Modell

UNSERE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR BETEILIGTE AKTEURE RUND UM DAS LOGISTIKZENTRUM

Betreiber Logistikzentrum / Gebäudeentwickler

- Vorausschauende Planung des Netzanschlusses von Logistikzentren (Leistungs-/ Platzbedarf) und Berücksichtigung von Elektromobilität als zukünftigen Verbraucher.
- Analyse des Verbrauchs automatisierter Anlagen, Flurförderfahrzeuge und Arbeitszeitmodelle zur Senkung von Lastspitzen und Ermittlung der Flexibilität → Glättung und Senkung der Spitzenlast führt zu Kosteneinsparungen.
- Analyse des individuellen Elektromobilitätsbedarfs der Mitarbeiter (Mindestladeinfrastruktur/ Lasterhöhung bis Verdopplung denkbar) und der Nutzfahrzeuge (Berücksichtigung der Kosten/ Platzverhältnisse der Ladeinfrastruktur).
- Prüfung der Wirtschaftlichkeit eines Einsatzes von Erneuerbaren Energien, eines Speichers und Energiemanagements zur Lastgangglättung.

Speditionen

- Einbindung von Elektromobilität als neuen Energieverbraucher an Spediteursstandorten in rechtzeitige Planung des Netzanschlusses.
- Berücksichtigung des Ladevorgangs/-orts in der Routenplanung. Strecken unter 200 km sind bei heutigen E-LKW-Reichweiten schon ohne Zwischenladung denkbar.
- Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse beim Aufbau eigener Ladeinfrastruktur.
- Ein Ladevorgang kann zu Prozessverzögerungen führen. Deren Reduktion durch höhere Ladeleistungen ist möglich. Beim Nachladen sind niedrigere Ladeleistungen realisierbar.
- Enge Platzverhältnisse an den Rampen erschweren die Installation von Ladeinfrastruktur. Diese müssen bei der Installation berücksichtigt werden.

Netzbetreiber

- Bei Netzanschlussbegehren von Industrieunternehmen sollten diese standardmäßig nach zukünftigen Planungen zur Elektromobilität befragt werden, um diese rechtzeitig einzuplanen.
- Elektromobilität kann die Last von Logistikzentren erhöhen. Dies variiert je nach Automationsquote, Mitarbeiterladeinfrastruktur und Elektromobilitätshochlauf im LKW-Bereich. Sowohl für E-PKW als auch E-LKW wird zumindest eine Notladeinfrastruktur empfohlen.
- Eine verstärkte Nutzung von PV-Anlagen in Industriegebieten kann die bestehende Maximallast und Last durch Elektromobilität sinnvoll verringern.
- Die Laststeuerung innerhalb des Logistikzentrums ist aufgrund von Produktivitätseinbußen nur begrenzt möglich. Die Kombination von PV-Anlagen, Speichern und Elektromobilität kann das Flexibilitätspotential deutlich steigern und auch netzdienlich eingesetzt werden.

Politik

- Erstellung eines Fahrplans für Elektromobilität von Nutzfahrzeugen für die Planungssicherheit aller Unternehmen (Öffentliche Ladeinfrastruktur in Industriegebieten, Einfahrverbote, E-Fahrzeugförderung)
- Analyse des Ausmaßes des Elektromobilitätshochlauf
- Förderung zur Vorbereitung des Stromnetzes auf den Hochlauf von Elektromobilität besonders in Industriegebieten in Kombination mit regenerativen Energieträgern (z. B. Photovoltaik)
- Vereinheitlichung von E-Fahrzeugparametern im Nutzfahrzeugbereich (z. B. Verbrauch/Belastung oft uneinheitlich)
- Schaffung bzw. Vereinfachung von rechtlichen Grundlagen für Anbieter von Ladedienstleistungen (Logistikzentrum als Anbieter)

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- Beitrag und Vortrag „Logistikwerkstatt“ in Graz; Projektvorstellung
D. Pflieger, “Auswirkungen der Elektromobilität auf den Betrieb von Logistikzentren,” in Energiebedarf und Effizienz in der Intralogistik, C. Landschützer and M. Schedler, Eds. 2018, pp. 1--16.
- Beitrag in Fachzeitschrift „Logistik Heute“; Thema: Umfrage zu Rampen
D. Pflieger and K. Walz, “E-Mobilität flexibel: Elektromobilität wird in der Logistik zunehmend wichtiger. Ein Forschungsprojekt untersucht, welche Rolle Logistikzentren für die Ladeinfrastruktur und die Netzstabilität spielen können.,” in LOGISTIK HEUTE Logistik-Immobilien und Standorte, vol. Sonderheft 2019, pp. 26–27, 2019.
- Beitrag bei CIRED Workshop; Vorstellung der neuen E-LKW-Modellierung
K. Walz, D. Contreras and K. Rudion, "Synthetic Charging Profiles Development of Battery-Electric Trucks for Probabilistic Grid Planning," in CIRED 2020 Berlin Workshop, Berlin, 2020.
- Beitrag bei der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik; Ergebnisvorstellung
D. Pflieger, K. Walz, R. Schulz, K. Rudion, J. Maurer und C.-M. Moraw, „Ermittlung des logistischen und energetischen Flexibilitätspotentials eines Logistikzentrums unter Berücksichtigung von Elektromobilität,“ in Tagungsband zum 16. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e. V., Hamburg, Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e. V., 2020, pp. 219-228.
- Abschlussbericht des Projekts FELSeN
K. Walz, D. Pflieger, K. Rudion, R. Schulz, „Forschungsbericht zum Projekt Flexible Energieversorgung in Logistikzentren zur Erbringung von Systemdienstleistungen in elektrischen Netzen (FELSEN)“, 2021.

SIE HABEN FRAGEN ODER BENÖTIGEN UNTERSTÜTZUNG?

Kontaktieren Sie uns gerne!

Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH)

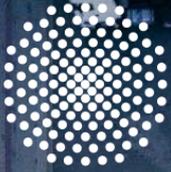
Prof. Dr.-Ing. Krzysztof Rudion
rudion@ieh.uni-stuttgart.de

Pfaffenwaldring 47
70569 Stuttgart
Deutschland

Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)

Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz
robert.schulz@ift.uni-stuttgart.de

Holzgartenstraße 15 B
70174 Stuttgart
Deutschland



Universität Stuttgart



Institut für Energieübertragung und
Hochspannungstechnik



Institut für Fördertechnik
und Logistik