

» Forschung in Wildau – innovativ und praxisnah «

# Optical Through-Silicon Waveguides for Chip-to-Chip Interconnections

## Abstract

Optical interconnections are a promising step forward to overcome the intrinsic limitations of electrical interconnections between integrated circuits. A dielectric waveguide etched through the full thickness of a silicon substrate and mechanically stabilized by a bridging structure can pave the way for 2.5D and 3D photonic architectures. This research deals with the design, modelling and realization of the **optical through-silicon waveguide (OTSW)**. The influence of the waveguide **sidewalls tapering angle and roughness** on the beam propagation is part of the study. Such bridged optical through-silicon waveguides are **monolithically integrated** and can provide effective **mode size conversion** and favour the **coupling** of external light sources to photonic integrated circuits.

## Concept and Motivation

Data centers and high-performance computers need to process a **constantly increasing amount of information**.

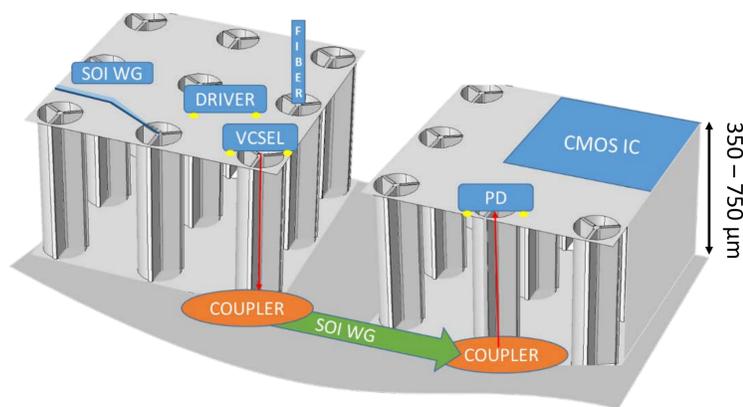
The current chip generation is interconnected by **metal channels**.

~20% of the power is **lost** in long interconnections (>1 mm).

**Transistors scale, interconnects DON'T!**

These electrical connections are intrinsically limited in their performance by **dissipative wave propagation and line charging, crosstalk, and a relatively high latency**.

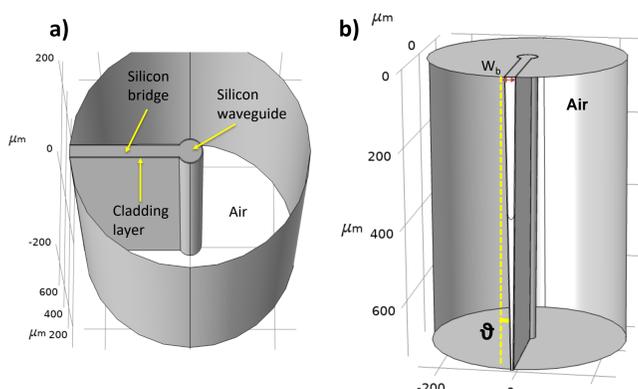
**Light** as information carrier strongly **reduces power dissipation** in long interconnections and provides **ultra-high bandwidth**.



Scheme of the Optical through-Silicon Waveguide interposer and its foreseen integration in a 2.5D architecture. Long chip-to-chip optical interconnections are made possible.

## Model and Design

- The waveguide is composed of a **silicon core** and a **cladding** (of lower refractive index) that can be made of **air, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, polymers** or other suitable materials.
- The operational wavelength region spans ranges **from 1260 nm to 1625 nm**. Most of the photonic integrated circuits and optical fibers operate at **1550 nm**.
- The core is supported by a one or more silicon slabs, defined as "**bridges**", which provide mechanical stability.
- Sidewalls tapering angle  $\vartheta$**  and **bridge-to-core size ratio** play a fundamental role for mode-size conversion, integration and coupling.



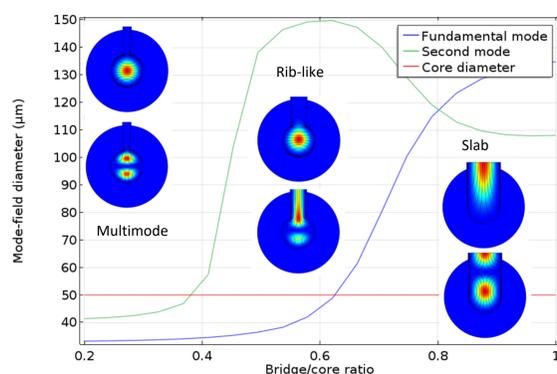
(a) Top and (b) side view of the Optical Through-Silicon Waveguide

## Simulation

Finite element method (FEM) simulations using COMSOL Multiphysics:

### 2D Finite Difference Frequency Domain

- To evaluate an acceptable **bridge-to-core size ratio**



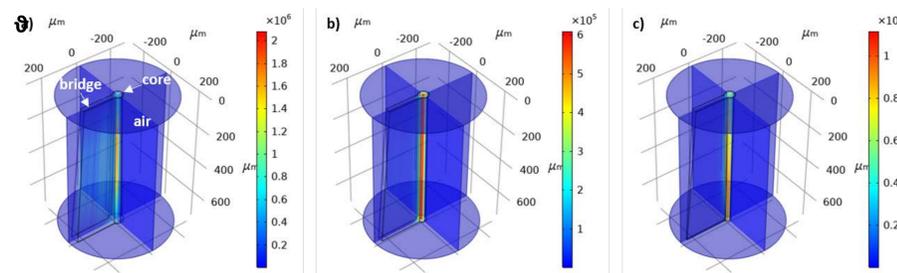
### STUDY PARAMETERS:

- $\lambda = 1550 \text{ nm}$
- Core radius  $R_c = 50 \text{ μm}$  ( $n_{Si} = 3.48$ )
- Cladding thickness  $t_c = 2 \text{ μm}$  SiO<sub>2</sub> ( $n_{SiO_2} = 1.53$ )
- Surrounding: Air ( $n_{air} = 1$ )
- Bridge width: **parametric sweep** 10 to 50  $\mu\text{m}$   $\leftrightarrow$  bridge-to-core size ratio 0.2 to 1

2D cross-section simulation of the first two supported modes of a bridged optical through-silicon waveguide. The mode-field diameter of the fundamental and the second supported modes are plotted versus the bridge-to-core size ratio. In addition, the normalized electrical field for the first two modes in the three different regions is shown.

### 3D Beam Envelope Method

- To investigate the **beam propagation** characteristics depending on the **tapering angle**



3D beam propagation simulation of a bridged optical through-silicon waveguide with a tapering angle of a) 0.9°, b) 0° and c) 0.9°. The surrounding substrate is hidden, and the electric field values are represented on the x, y and z planes.

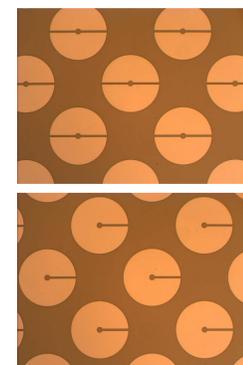
## Materials and Methods

The waveguides can be fabricated using **deep reactive ion etching (DRIE)** processes:

- Cryoetching**  $\rightarrow$  experimental, smooth sidewalls, tunable taper, slow etch rate
- Bosch etching**  $\rightarrow$  established, high roughness, steep sidewalls, high etch rate

The **cladding** and an **anti-reflection layer** can be deposited by **plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD)** or thermal oxidation.

The optical characterization exploits a **1550 nm laser**.



OTSW patterns on (100)-Si

## Key-points

- Monolithically integrated
- Small footprint
- Through-Silicon tapering
- CMOS compatible
- Mechanically stable
- Very high bandwidth (>1 Tb/s)
- Integration with Photonic Integrated Circuits
- No crosstalk, no latency
- Small power budget needed
- Mode-size conversion
- Passive waveguiding or sensing applications
- Fabrication is under development

## Literature

- Pending EP: <https://www.inventionstore.de/angebot/6059/>
- F. Villasmunta, P. Steglich, S. Schrader, H. Schenk and A. Mai, "Numerical Simulation of Optical Through-Silicon Waveguide for 3D Photonic Interconnections," 2021 International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD), 2021, pp. 115-116, doi: 10.1109/NUSOD52207.2021.9541464.

# Machbarkeitsstudie für eine innovative Hautsensormatrix

Jessica Strauch<sup>a</sup>, Felix Welzel<sup>b</sup>, Andreas H. Foitzik<sup>c</sup>

Technische Hochschule Wildau – Hochschulring 1, 15745 Wildau

<sup>a</sup>jessica\_nadine.strauch@th-wildau.de, <sup>b</sup>felix.welzel@th-wildau.de, <sup>c</sup>afoitzik@th-wildau.de

Mittlerweile trägt ein großer Teil der Bevölkerung eine SmartWatch oder sogenannte FitnessTracker, womit diverse Körperparameter wie Puls, Blutdruck und Sauerstoffgehalt im Blut gemessen werden können. Die dazugehörigen Apps sind im Stande mit Hilfe dieser Parameter z.B. die Atemfrequenz zu ermitteln oder ein EKG zu schreiben. All diese Funktionen sind auf das Herz-Kreislauf-System ausgelegt. Die Haut als größtes menschliches Organ wird jedoch bei der Betrachtung außen vor gelassen. Um nur ein Beispiel zu nennen, leiden mittlerweile etwa 14% der Menschen weltweit an Neurodermitis. Damit ist Neurodermitis die häufigste chronische Hauterkrankung. Hierbei erkranken vorzugsweise die Bewohner in hochentwickelten Industriestaaten der nördlichen Regionen daran. So kommt eine skandinavische Studie zu einem Ergebnis von 41% Betroffenen. Etwa 10 bis 15 % der Kinder und 2,5 bis 3,5 % der Erwachsenen weltweit sind davon betroffen. Nahrungsmittel können das Entstehen und den Verlauf einer Neurodermitis beeinflussen. Erfahrungsberichte zeigen, dass ein Drittel der Kinder mit Neurodermitis auf manche Nahrungsmittel allergisch reagieren, wodurch sich die Neurodermitis deutlich verschlechtern kann. So kann das Symptom der trockenen Haut Aufschluss über einen möglichen nächsten Schub der Neurodermitis oder mit der Führung eines zeitlichen Ernährungsprotokolls auf eventuelle Unverträglichkeiten geben.

## Aktueller Stand der Technik:

Das klassische Messgerät für die Hautfeuchte, ist das „Corneometer“ der Firma Courage + Khazaka Electronic in Köln, dies gilt vor allem in Dermatologischen- als auch Kosmetischen – Analyseverfahren als Goldstandard. Der Aufsetzwinkel des Sensors sowie der Anpressdruck an die Haut haben jedoch einen unmittelbaren Einfluss auf das Messergebnis und es handelt sich hierbei um ein ortgebundenes Messsystem.

## Aktueller Stand der Forschung:

- Die „Transient Plane Source“ basierte Technologie misst die Hautfeuchte indirekt über die Temperatur, wodurch kein Zugang zu den Feuchteparametern besteht.
- Wenn noch feiner gemessen werden soll, kann von der reinen Temperaturmessung in den Bereich der differentiellen Rasterkalorimetrie gegangen werden, die eine Zuordnung von entsprechenden thermischen Größen auf die Hautfeuchte erlaubt. Ein dazu entwickeltes Computermodell ist allerdings eher im Bereich der Grundlagen anzusiedeln
- Einen Ansatz über eine Bildauswertung mittels eines bildgebenden Chips, kann die Haut sehr stark vergrößert darstellen. Die gezeigten Messungen heben allerdings nur auf deutlich sichtbare Irritationen ab und sind als rein qualitative Messungen zu bewerten.
- Dem Phänomen „austretender Schweiß“ widmet sich ein völlig neuer Ansatz. Hier wird der Schweiß mittels eines mikrofluidischen Systems aufgenommen und über einen im Sensor integrierten Biomarker bestimmt, ob entzündliche Prozesse vorliegen. Die Messung erfolgt kolorimetrisch.

**In Summe zeigt sich, dass das Problem der Feuchtemessung im Zusammenhang mit der Haut bis heute zwar einige technische Lösungen hervorgebracht hat, aber noch nicht voll verstanden ist und noch nicht quantitativ eindeutig erfasst werden kann.**

Ziel dieser Arbeit ist es, die Techniken zur Hautanalyse im Rahmen der Digitalisierung und Industrie 4.0 individualisiert, automatisiert und vernetzt als „Wearable“ zusammenzuführen. Ein Schwerpunkt der angestrebten Arbeit wird hierbei die Erfassung von individualisierten physiologischen Parametern der Haut beinhalten. Durch das Multisensornetzwerk soll weiter ermöglicht werden, die erfassten Parameter z.B. einem spezifischen Krankheitsbild zuzuordnen.

Auf diesen Grundlagen könnte weiterführend für den individuellen Probanden ein Profil angelegt werden, welches zeitabhängig aufzeigen kann, wie die Hautparameter sich in Bezug auf eine Krankheit und durch Außeneinflüsse und Medikation verändern. Betrachtet werden sollen hierbei vor allem die Feuchtigkeits- und Temperaturparameter der Haut, sowie weiterführend die Hautfarbe in Referenz zum Puls und Sauerstoffgehalt im Blut.

Ein erster Ansatz einer möglichen Lösung könnte wie die in Abbildung 1 dargestellte erste Entwicklung eines Sensorsystems sein. Verwendet wurden hier sechs Luftfeuchtigkeitssensoren, die in Polydimethylsiloxan (PDMS) eingegossen sind. Die Auslesung findet über einen Arduino Uno statt, welcher über eine Displayanzeige und eine Speicherfunktion auf einer MikroSD verfügt.

In ersten Versuchsreihen, wird das System auf einem dafür entwickelten Hautmodell validiert. Das Hautmodell ist aktuell eine einfache Schicht, die ebenfalls aus PDMS besteht. Diese wurde in den ersten Versuchen in verschiedenen Schichtdicken zwischen 0,9 mm und 0,25 mm hergestellt.

Der verwendete Messaufbau besteht aus einem Luftbefeuchter (blau), welcher Wasser als Dampf in einen Behälter leitet (grau). Der Behälter verfügt oben über eine Aussparung, die durch die Schichten aus PDMS (orange) verschlossen wird.

Hier wird nun das Messsystem (grün) aufgelegt und ermittelt, wie viel der Feuchtigkeit durch die unterschiedlichen Schichtstärken des PDMS diffundiert.

## Quellen:

[1] Verbreitung - Allergieinformationsdienst (2022). Online verfügbar unter <https://www.allergieinformationsdienst.de/krankheitsbilder/neurodermitis/verbreitung.html>, zuletzt aktualisiert am 30.01.2022, zuletzt geprüft am 04.02.2022.

[2] Bauer, Klara (2022): Courage + Khazaka Electronic, Köln - Alle Wissenschaftliche Produkte. Online verfügbar unter <https://www.courage-khazaka.de/de/wissenschaftliche-produkte/alle>, zuletzt aktualisiert am 04.02.2022, zuletzt geprüft am 04.02.2022.

[3] Krishnan et al., Multimodal epidermal devices for hydration monitoring *Microsystems & Nanoengineering* (2017)3, 17014; doi:10.1038/micronano.2017.14

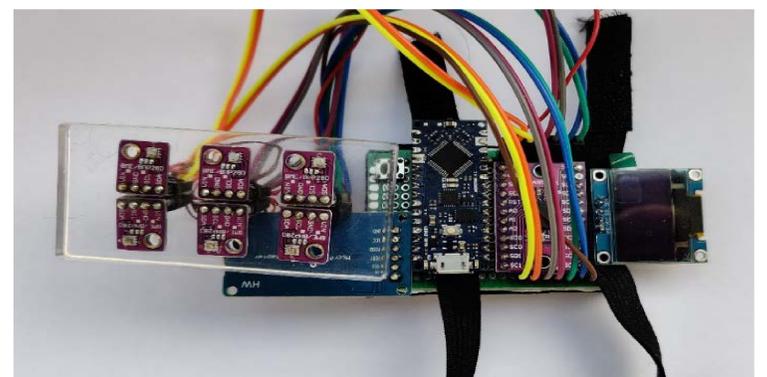


Abbildung 1: Tragbare Sensormatrix

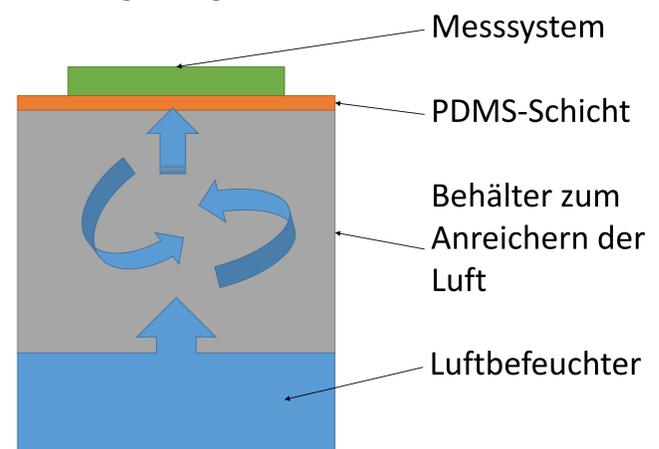


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Messaufbaus

# » Forschung in Wildau – innovativ und praxisnah «

## Innovation im Handwerk

### Einleitung

#### Was ist Innovation?

Nach Schumpeter ist Innovation das Durchsetzen neuer Kombinationen von Produktionsfaktoren. Ausgangspunkt bildet die betriebswirtschaftliche Produktionsfunktion die Input und Output eines Produktionsvorgangs ins Verhältnis setzt, sozusagen den Output als abhängige Funktion des Inputs ausdrückt. Gelingt es nun, diese vorteilhaft neuartig zu kombinieren, so kann mit weniger Input der gleiche Output bzw. mit dem gleichen Input mehr Output produziert werden. Input und Output sind hierbei abstrakt zu betrachten und Kombinationsneuerungen können folgende Ausprägungen haben:

Kombination	Beispiel
Neues Produkt oder neue Qualität	Einführung des iPhones Einführung des FairPhones
Prozessinnovation durch neue Produktionsmethoden	Additives Fertigen seltener kritischer Komponenten (3D-Druck in der Luftfahrt)
neue Absatzmärkte	wachsende Mittelschicht in China für deutsche Premiumfahrzeuge
Erschließung neuer Quellen von Eingangsfaktoren	Synthetische Kraftstoffe

#### Warum ist Innovation wichtig?

Aus **betrieblicher Sicht** ist es notwendiges Kriterium die eigenen Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten oder gar auszubauen. Somit ist es unternehmerische Motivation zu innovieren: Ist die Produktionsfunktion der der Mitbewerber überlegen kann zum gleichen Verkaufspreis ein größerer Gewinn erzielt werden oder mit dem gleichen Gewinn wesentlich günstiger verkauft werden. Zwischenschritte mit mehr Gewinn bei günstigerem Verkaufspreis und somit steigendem Marktanteil sind hierbei üblich. Mitbewerber sind daher motiviert Brancheninnovationen zu übernehmen.

**Gesellschaftlich** kann der Zusammenhang linearer Prozess vereinfacht werden:

- Grundlagenforschung: höhere Mathematik
- Angewandte Forschung: Spanbildungsmodelle
- Technologieentwicklung: neuartiges Fräserdesign
- Technologiediffusion: neuartiges Fräserdesign wird zum Standard

Somit diffundieren Innovationen des individuellen Vorteils in die Gesellschaft und ändern die Produktionsfunktionen vieler Unternehmen. Im Ergebnis steigt der Wohlstand der Gesellschaft, da der gleiche (aggregierte) Nutzen mit weniger (aggregierten) Aufwand erreicht wird.

#### Nur ein technisches Thema?

Fun Fact: Nicht immer resultieren Effizienzinnovationen in einer Situation, in der der gleiche Nutzen mit weniger Aufwand erreicht wird. Unter dem Begriff **Rebound-Effekt** wird die Situation bezeichnet, in der Innovationen, die zur Effizienzsteigerung führen, bewirken, dass letztendlich mehr Input genutzt wird. So kann beispielsweise Gebäudedämmung und der Brennwertkessel genannt werden, welche unter gleicher Voraussetzungen zu weniger Energiebedarf zur Wohnraumheizung führen würden. Vielmehr hat aber parallel zur Diffusion auch der ggf. kausal dadurch ermöglichte Trend eingesetzt, dass immer mehr Wohnraum pro Person genutzt wird und die durchschnittliche Zimmertemperatur stieg.

Die Frage, wann Innovationen gelingen, Technologien angenommen und genutzt werden und schließlich diffundieren hängt nicht allein vom technologischen Reifegrad ab: Das Gesellschaftliche Umfeld, persönliche Vorlieben und viele weitere Aspekte spielen hierbei eine große Rolle. Während wohl fast jeder der Generation Y oder jünger seit einer Dekade mit WhatsApp kommuniziert, ist die App erst seit rund 5 Jahren besondere Popularität bei der Nachkriegsgeneration, ohne dass sich technisch etwas groß geändert hätte. Die Innovationsforschung beschäftigt sich genau mit solchen Phänomenen.

### Stand der Technik

Innovationen können sich gegenseitig beeinflussen. Besonders solche die in viele Bereiche ausstrahlen können große gesellschaftliche Veränderungen bewirken. Ein Blick in die industrielle Geschichte zeigt, wie stark gesellschaftliche Veränderungen mit Innovationen aus dem produzierendem Sektor verbunden sind: Die Begriffe der industriellen Revolutionen ist weitgehend bekannt. Exemplarisch sei erwähnt, wie die Verfügbarkeit von Dampfkraft zur initialen Mechanisierung weiter Teile der industriellen Produktion führte, und wie diese schließlich durch elektrische Antriebe größtenteils verdrängt wurde. Automatisierung hat es ermöglicht auch komplexere Arbeitsabläufe von Maschinen ausführen zu lassen. Seit ca. 10 Jahren wird die Digitalisierung als Auslöser einer vierten industriellen Revolution gehandelt, und unter dem Begriff „Industrie 4.0“ untersucht.



Die industrielle Produktion stellt jedoch nur einen Teil der gesellschaftlichen Produktion dar und unterschlägt den Teil der handwerklichen Fertigung. Das Handwerk hat sich historisch durch Zunftgesetze vor industriellen Tendenzen abgeschottet und dennoch in Teilen wesentliche Entwicklungsstufen zu arbeitsteiligen Manufakturen durchlaufen. Nichtsdestotrotz kann eine geringere Arbeitsteilung und ein starker Bezug zur Tradition in solchen Bereichen festgestellt werden. Mit Einführung von elektrischen Werkzeugen wie dem Akkuschauber, der Handbohrmaschine oder ähnlichem haben aber auch hier Maschinen Einzug gehalten. Während die Zusammenhänge zwischen Innovation, also technischer Entwicklung und Diffusion für die industrielle Anwendung gut erforscht sind, ist dies beim Handwerk ein blinder Fleck. Hinzu kommt der Aspekt, dass bisherige Revolutionsstufen abhängig von der vorhergehenden waren, während das für die Digitalisierung keine notwendige Bedingung ist und somit zukünftig viele digitale Lösungen auch im Handwerk zur Anwendung reifen können. Ist die Industrie 4.0 die Generation Y, der WhatsApp-Nutzung, während das Handwerk zunächst zögerlich ist - schließlich aber doch noch auf den Geschmack kommt?

Es drängen sich die Fragen auf:

Welche Unterschiede gibt es bei der Innovationsbereitschaft zwischen Industrie und Handwerk?

Unter welchen Umständen werden Technologien im Handwerk adaptiert?

Welche Spezifischen Anforderungen lassen sich daraus für das Handwerk formulieren?

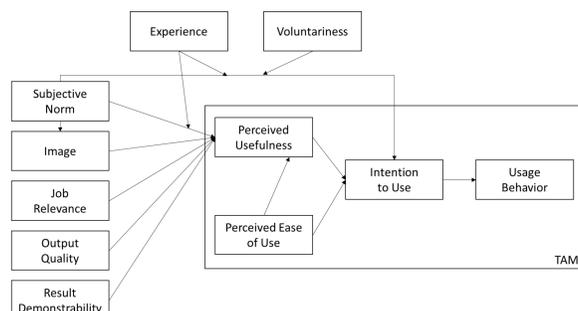
Welche Erkenntnisse lassen sich aus der Industrie übertragen?



### Forschungsansatz

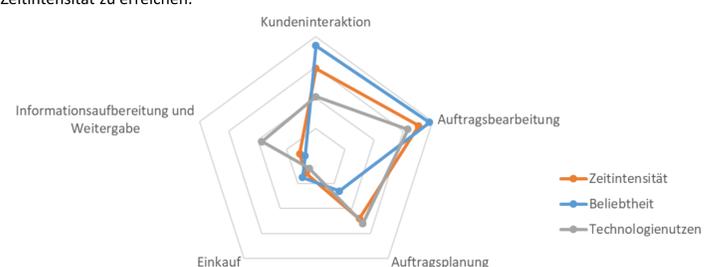
Das Technologieakzeptanzmodell (TAM) hat sich an der Schnittstelle zwischen Technologien und Menschen die diese nutzen sollen etabliert, um Aspekte die die tatsächliche Nutzung beeinflussen zu identifizieren. Ursprünglich wurde das TAM für die Akzeptanzbeurteilung von informationstechnischen Systemen erdacht. Es konnte sich aber für viele weitere Anwendungen als ein robustes Modell erwiesen. Ziel ist es, die tatsächliche Nutzung zu beurteilen. Hierfür wurden interne Beziehungen zur Nutzungsabsicht gebildet, die wiederum hauptsächlich auf die wahrgenommene Nützlichkeit als auch die empfundene Einfachheit der Nutzung zurückgeht. Mittels statistischer Faktoranalyse lässt sich aus Umfragen mit gezielten Fragen diese individuellen Beziehungen und Gewichtungen ermitteln, die schließlich die Nutzung aus messbaren Indikatoren modelliert.

Die Unterschiede zwischen Technologieakzeptanz von Probanden mit industriellem und handwerklichen Hintergrund, kann die Gründe für unterschiedlich intensive Technologienutzen in Handwerk und Industrie aufzeigen und gleichzeitig untersuchen, welche spezifischen Anforderungen das Handwerk an Technologie stellt.



Eine weitere Frage ist, wie sich Innovationprozesse im Handwerk aktuell gestalten. Experteninterviews sind hierfür ein geeignetes Mittel bspw. um Elemente zu identifizieren, wo der Bedarf an Lösungen Innovationen zieht (pull) und solchen, wo technischer Fortschritt Innovationen den Nutzern neue Lösungen vorgibt (push).

Die Selbstwahrnehmung ist ebenfalls eine wichtige Größe. Umfragen sind hier das Mittel der Wahl. Unten ist das Ergebnis einer solchen Umfrage aufgezeigt, was die Zeitintensität, die Beliebtheit und der aktuelle Unterstützungsgrad mit Technologie für verschiedene Aufgabendimensionen, wie sie typischerweise im Handwerk auftreten, darstellt. Ein idealer Ansatzpunkt wäre eine unbeliebte Aufgabe, die sehr zeitintensiv ist und bisher kaum technologisch unterstützt ist. In den Daten konnte ein solcher idealer Ansatzpunkt nicht identifiziert werden, dennoch scheint bspw. die technische Unterstützung für die Auftragsplanung bisher noch keine zufriedenstellende Reduktion der Zeitintensität zu erreichen.



## In Situ Rissidentifikation unter Last

Robin Pianowski, Prof. Dr. Holger Seidlitz, Prof. Dr. Peter Blaschke

### Problemstellung

Radreifen von Schienenfahrzeugen unterliegen aufgrund der hohen Beanspruchungen einem erheblichen Verschleiß. Die Kenntnis über den Verschleißzustand von Radreifen ist sowohl für einen sicheren Bahnbetrieb als auch zur Vermeidung von Unfällen mit extremen Sach- und Personenschäden unerlässlich. Die Bahnbetreiber sind bestrebt, Unfälle und kapazitätsverbrauchende Ausfälle, wie bspw. Radreifenbrüche, zu minimieren.

Hierzu erfolgt eine prädiktive und stationäre Zustandsüberwachung der Räder, um Beschädigungen frühzeitig zu erkennen. Diese bedingt eine zyklische Außerbetriebnahme von Zügen, die die Kapazität der Verkehrsmittel negativ beeinflusst.

Aufgrund dessen kommt einer proaktiven Schadensdetektion an Radreifen immer mehr Bedeutung zu. Die Promotion zielt auf eine streckenbasierte Schadenserkenkung, die Beschädigungen während der regulären Überfahrt eines Zuges identifizieren kann.

Mit einer im laufenden Betrieb vorgenommenen Detektion von Radreifenschäden können Defekte schneller behoben, die Wartungsintervalle der Radreifen bedarfsabhängig gestaltet und die Auswirkungen der Schäden an Gleisinfrastruktur und rollendem Material insgesamt minimiert werden.

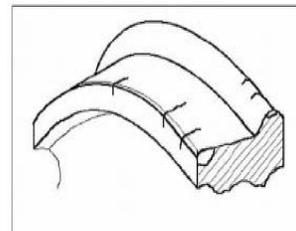


Abbildung 1 Warmrisse an Radreifen im Kontaktbereich der Bremssohle (Quelle: MBQ).

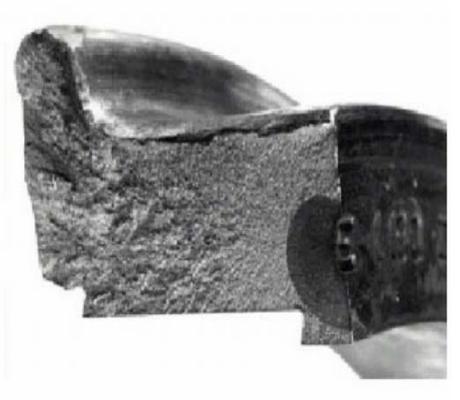


Abbildung 2 Bruch und Risswachstum Warmstempelung (Quelle: MBQ).

### Lösungsweg

Der Lösungsansatz basiert auf der akustischen Erkennung von Schäden innerhalb der Radreifen. Weist ein Radreifen einen Schaden auf, so weichen seine modalen Eigenschaften von denen eines intakten Radreifens ab. Dieser Ansatz liefert Erkenntnisse über den Zustand eines Radreifens und lässt einen Defekt erkennen. Um die Erkennung während der Überfahrt eines Zuges zu realisieren, muss die Schwingungscharakteristik des Radreifens aus dem Schwingungssignal des Rad-Schiene-Kontakts extrahiert werden.

Hierfür wird eine Transferpfadanalyse und -synthese (TPA/TPS) der akustischen Übertragungswege (Kraftanregung und Körperschall bzw. Strukturschall und Luftschall) durchgeführt.



Abbildung 3 Transferpfadmessungen an einem Radreifen der Straßenbahn



Abbildung 4 Betriebsschwingungsmessung an einem Radreifen der Straßenbahn mit einem 3D Laservibrometer und automatischem Modalhammer

Aus einem validen TPA-Modell lässt sich mittels Rückrechnung der Körperschall der Überfahrt jedes Radreifens ermitteln, wobei die einzige Eingangsgröße das Schwingungssignal eines Sensors auf der Schiene ist.

Das extrahierte Spektrum des Rades/Radreifens wird anschließend in einem akustischen Resonanztest (ART) auf Merkmale untersucht, die auf einen Defekt oder die Lockerung des Radreifens hindeuten. Die modalen Unterscheidungsmerkmale für die Schadenserkenkung werden anhand von Trainingsdaten definiert, die aus definierten Messungen mit schadhafte Radreifen spezifiziert werden.

Für die Identifizierung der modalen Schadparameter werden an den Radreifen Betriebsschwingungsanalysen mit einem 3D-Laservibrometer durchgeführt. Zusätzlich werden numerische Modalanalysen vollzogen und mit Daten der Betriebschwingungsanalysen korreliert.

» Forschung in Wildau – innovativ und praxisnah «

# Modulare Prüfvorrichtung zur strukturdynamischen Messung von Radreifen und Radsätzen

Robin Pianowski, Robert Kamenzky, Prof. Dr. Peter Blaschke

Im Labor für Maschinendynamik werden im Verlauf von mehreren Projekten Untersuchungen an Radreifen und Radsätzen durchgeführt. Ziel dieser Messungen ist unter anderem die Bildung von Transferpfadmodellen, mit denen die Schallabstrahlung synthetisiert und eine Fehlstellenerkennung ermöglicht werden soll.

Im Rahmen eines Semesterprojekts wurde eine Prüfvorrichtung für Radreifen und Radsätze entwickelt. Diese Vorrichtung ermöglicht statische Messungen, Modalanalysen sowie dynamische Überrollversuche mit rollendem Material. Die Objekte können mit Hilfe dieser Vorrichtung händisch über ein Gleis bewegt werden.

Die modulare Prüfvorrichtung ermöglicht die Einspannung von Radreifen und Radsätzen und deren Bewegung auf einer Schiene. In dem Aufbau sind Elemente zur Entkopplung zwischen untersuchtem Objekt und Vorrichtung sowie zwischen Vorrichtung und Schiene vorgesehen. Dies reduziert die Beeinflussung der Messergebnisse durch die Vorrichtung.

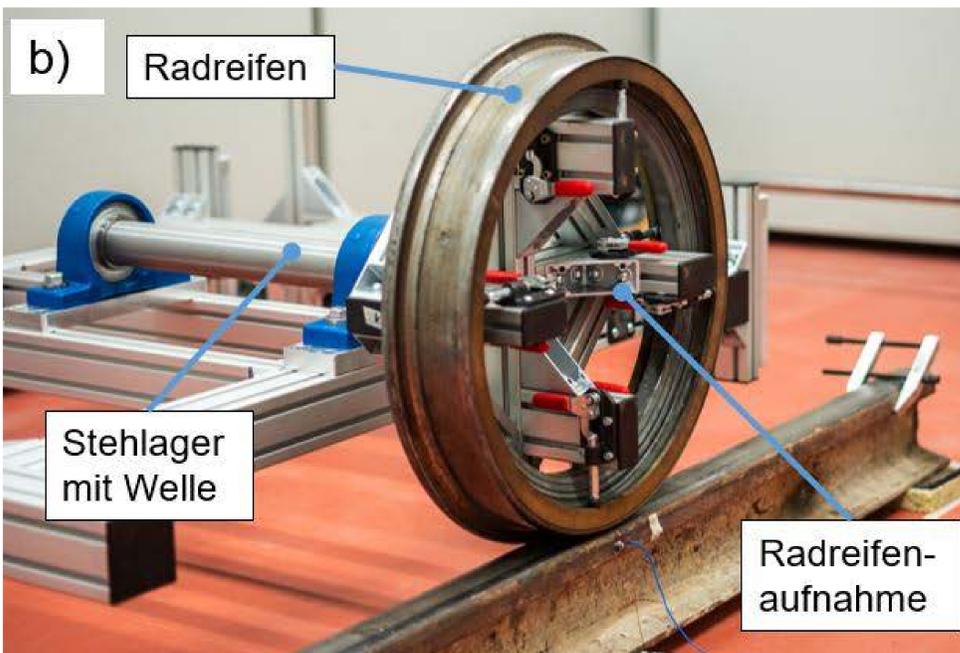


Abbildung 2 Radreifenaufnahme mit Achslagerung am Grundgestell (Konfiguration b)

In Abbildung 2 ist die Aufnahme eines Radreifens abgebildet. Der Radreifen wird von Innen mit vier Armen eingespannt. Die Arme verfügen über eine Linearführung, mit der sie an den Durchmesser der Radreifen angepasst werden können. Die eigentliche Einspannung erfolgt über Kniehebelspanner. Für eine Entkopplung zwischen Vorrichtung und Radreifen sorgen Gummipuffer an den Hebelspannern. Die Aufnahme wird mittels Welle und Stehlager drehbar mit dem Grundgestell der Vorrichtung gekoppelt.

Mit Hilfe der Vorrichtung können im eingespannten Zustand Modalanalysen zur Lokalisierung von Eigenfrequenzen und Schwingungsmoden durchgeführt werden. Ebenfalls können Messungen bezüglich der Transferpfadanalyse und -synthese vollzogen werden.

Die Prüfvorrichtung wird zukünftig auf dem vier Meter Gleisaufbau (Abbildung 3) im Halbfreifeldraum der TH Wildau eingesetzt. Der Gleisaufbau ermöglicht eine realitätsnahe Versuchsdurchführung in kontrollierter Umgebung ohne äußere Störeinflüsse.

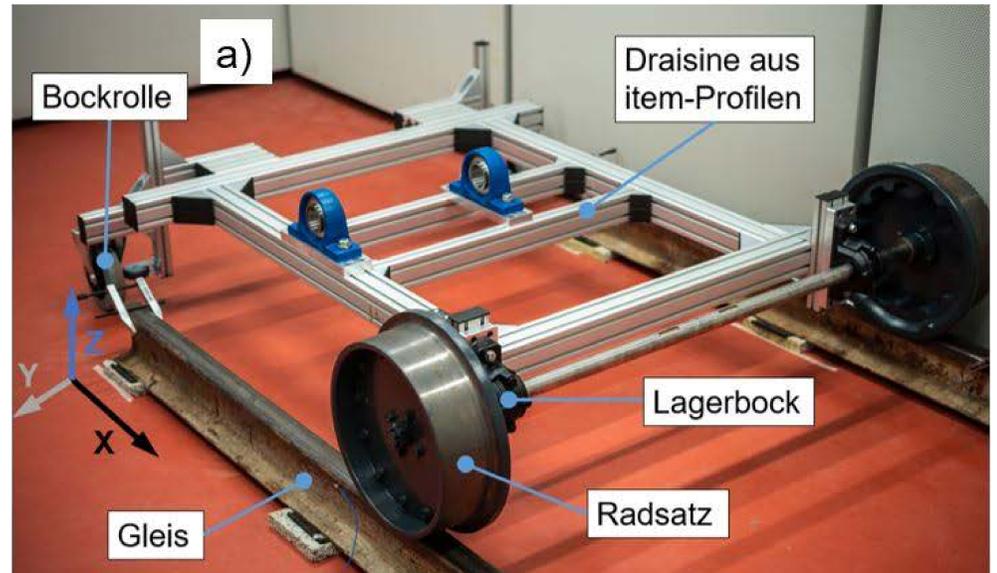


Abbildung 1 Grundgestell der Vorrichtung in Konfiguration a) für einen Radsatz

Der Aufbau der Vorrichtung ist funktional in die zwei Anwendungen zur Aufnahme von Radreifen oder Radsätzen unterteilt.

Das Grundgestell der Vorrichtung wird aus Profilen und Verbindern aus einem Baukastensystem gefertigt. Der Kontakt zur Schiene ist über gelagerte Reifen mit dämpfenden Gummiprofil realisiert. Die Reifen können je nach Raddurchmesser in der Höhe verstellt werden. Zusätzlich wird die Vorrichtung durch zwei kleine Rollen, die einen Spurkranz nachbilden, in der Spur gesichert.

In der ersten Konfiguration (Abbildung 1) kann ein Radsatz mitsamt den Lagerböcken an der Vorrichtung montiert werden. Aufgrund des Baukasten-Grundgestells können Radsätze mit Meterspur oder Normalspur montiert werden. Die Gummiräder der Vorrichtung lassen sich ebenfalls auf die Spurweite anpassen.

In diesem Aufbau lassen sich Messungen im statischen Aufbau oder in einem Überrollversuch durchführen. Diese Messungen bilden eine essentielle Grundlage für die Bildung von Übertragungsfunktionen in der Transferpfadanalyse und -synthese.

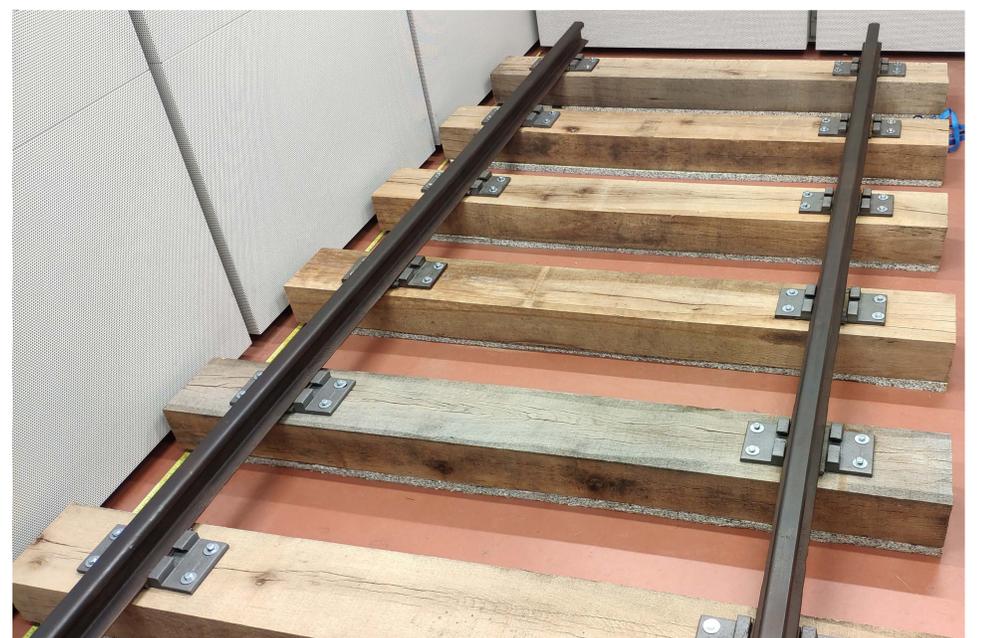


Abbildung 3 Vier Meter Gleisaufbau im Halbfreifeldraum mit Holzschwellen und Rippenplatten