

# IM+io

BEST & NEXT PRACTICES AUS DIGITALISIERUNG | MANAGEMENT | WISSENSCHAFT

im-io.de  
IM+io  
März 2025  
Heft 01  
9,80 €  
ISSN 1616-1017  
G 9765F

## Digital. Grün. Mobil.



# 1

August-Wilhelm  
Scheer Institut  
Digital Research





**WIR BRINGEN FORSCHUNG  
AUF DIE STRASSE!**

**MEET US!**  
**AT THE  
HANNOVER MESSE 2025**

**HALLE 2  
STAND B10**

**HALLE 15  
STAND E13**



August-Wilhelm  
Scheer Institut   
Digital Research 



# Smart vernetzt, nachhaltig bewegt –



## Der Wandel ist in Fahrt!

Die Herausforderungen unserer Zeit verlangen nach neuen Lösungen. Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Mobilität sind nicht nur Schlagworte, sondern untrennbar miteinander verbunden. Während die digitale Transformation den Wandel beschleunigt, schafft sie gleichzeitig die Grundlage für ressourcenschonende Produktionsprozesse, intelligente Energieverteilung und nachhaltige Verkehrskonzepte.

In dieser Ausgabe der IM+io steht die Frage im Mittelpunkt, wie digitale Technologien dazu beitragen können, nachhaltige Mobilität voranzutreiben und bestehende Strukturen effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten.

Ein Beispiel ist der Digitale Zwilling, der nicht nur in der Industrie Effizienzgewinne ermöglicht, sondern auch zu einem präzisen CO<sub>2</sub>-Controlling beiträgt. Besonders in der Automobilbranche, die sich derzeit grundlegend wandelt, eröffnet diese Technologie neue Möglichkeiten, um Emissionen zu erfassen und gezielt zu reduzieren. So wird Nachhaltigkeit nicht mehr nur ein Ziel, sondern ein integraler Bestandteil von Produktionsprozessen. Gleichzeitig erfordert der Wandel der Mobilität neue Konzepte, die über den bloßen Austausch von Antriebsarten hinausgehen. Autonome Lastenräder etwa könnten in Städten die Logistik revolutionieren und dazu beitragen, Verkehrsaufkommen und Emissionen zu reduzieren. Währenddessen wird an automatisierten Fahrzeugsystemen gearbeitet, die nicht nur die Effizienz im Straßenverkehr steigern, sondern auch den Energieverbrauch optimieren sollen.

Auch jenseits der Mobilität zeigt sich, dass Daten eine entscheidende Rolle in der grünen

Transformation spielen. Die Vernetzung von Unternehmen durch sogenannte Data Spaces eröffnet neue Geschäftsmodelle und erhöht die Effizienz von Produktions- und Lieferketten. Vor allem für kleine und mittlere Unternehmen ergeben sich dadurch Chancen, die digitale Transformation aktiv mitzugestalten und nachhaltige Prozesse wirtschaftlich tragfähig umzusetzen. Die Fähigkeit, Daten sicher und sinnvoll zu nutzen, wird zum Schlüsselfaktor für zukunftsfähige Geschäftsmodelle und ressourcenschonende Innovationen.

Diese Ausgabe macht deutlich, dass nachhaltiger Fortschritt nicht durch einzelne Technologien entsteht, sondern durch das intelligente Zusammenspiel digitaler, grüner und mobiler Innovationen. Wer die Herausforderungen der Zukunft bewältigen will, muss neue Wege beschreiten, Branchen vernetzen und mutig in digitale Lösungen investieren. Lassen Sie sich von den Ideen und Impulsen dieser Ausgabe inspirieren. Die Zukunft ist digital, grün und mobil – und wir alle sind eingeladen, sie aktiv mitzugestalten.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre!

Ihre  
Sandra Ehlen



# Inhalt

## Scheer Innovation Review

- 6 **Daten statt Dämmerschlaf: Wie Data Spaces KMU aufwecken**  
Agnetha Flore, AWSi, Julia Köhlke, OFFIS, Johann Schütz, Carl von Ossietzky Universität
- 10 **„Ich bin überzeugt davon, dass ein erfolgreicher Turnaround möglich ist“**  
Im Gespräch mit August-Wilhelm Scheer, Herausgeber IM+io
- 14 **Strom statt Diesel: Intelligente Ladelösung als Schlüssel zur grünen Logistik**  
Im Gespräch Johann Olsen, IO-Dynamics
- 18 **Zur Innovation verdammt**  
Ein Kommentar von August-Wilhelm Scheer, Herausgeber IM+io

### KOLUMNE PERSPEKTIVWECHSEL

- 21 **Von Tankstellen zu Knotenpunkten – Kilowatt statt Kilometer**  
Sandra Ehlen, Chefredakteurin IM+io

### START-UP IM SPOTLIGHT

- 22 **Den Weg erkennen: Autonomes Fahren neu gedacht**  
Im Gespräch mit Alexander Wischnewski, driveblocks

## Schwerpunkte

- 26 **Langsamer, smarter, sparsamer? Warum Geschwindigkeit über Effizienz entscheidet**  
Thomas Grube, Edgar Jungblut, Forschungszentrum Jülich GmbH
- 30 **Grüne Wärme: Wie Energiespeicherung die Dekarbonisierung vorantreibt**  
Martin Schichtel, Kraftblock
- 34 **Grüner Wasserstoff: Zwischen Vision und Wirklichkeit**  
Im Gespräch mit Adrian Odenweller, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
- 38 **Leicht, langlebig, nachhaltig: Warum das richtige Material den Unterschied macht**  
Patrick Glöckner, Alejandro Benitez, Sandra Büchs, Evonik
- 42 **Der leise Wandel: Lastenräder, die mitdenken**  
Stephan Schmidt, Michael Schmidt, Hochschule Merseburg, Tom Assmann Universität Magdeburg



© AdobeStock | 1161158258 | Green Creator

# 14

**Strom statt Diesel:  
Intelligente Ladelösung  
als Schlüssel zur grünen  
Logistik**





## 68

**Digitale Archäologie:  
Wie alte Daten neue Produkte  
formen**

- 46 Mobilität im Baukastensystem:  
Mit modularen Fahrzeugkonzepten  
ans Ziel**  
Im Gespräch mit Marco Münster,  
DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte
- 50 Laden mit Weitblick:  
Pflicht oder Chance?**  
Stephan Engel, SMA
- 54 Zwischen Speedbooten und Tankern:  
Innovation trifft Industrie**  
Im Gespräch mit Srinath Rengarajan,  
Branchenexperte
- 58 Gigabit statt Geduldsprobe –  
Mehr Tempo fürs Bahnnetz**  
Andreas Schröder, Eike Gutt, aconium  
GmbH
- 62 Smarte Lösungen für eine vernetzte  
Zukunft**  
Jonathan Behm, Neue Mobilität Paderborn  
e.V.
- 68 Digitale Archäologie:  
Wie alte Daten neue Produkte formen**  
Thomas Schumacher, Roman Stephan, Da-  
vid Inkermann, Institut für Maschinenwe-  
sen, TU Clausthal
- 74 Lights Out, Daten an  
Wie der Digitale Zwilling die  
Automobilindustrie  
umkrempelt**  
Daniel Lang, thyssenkrupp, Thomas Blei-  
stein und Robert Becker, August-Wilhelm  
Scheer Institut

- 78 Mit KI gegen den Blackout:  
Wenn Algorithmen Strom lenken**  
Im Gespräch mit Frank Hellmann, Pots-  
dam-Institut für Klimafolgenforschung

- 82 Linien adé, Flexibilität olé?  
On-Demand-Mobilität auf dem  
Prüfstand**  
Markus Haubold, Fahrgastverband PRO  
BAHN

### IM+io INTERNATIONAL

- 86 Busse, Bits und Batterie:  
Mit smarten Tools durch die Rushhour**  
Im Gespräch mit Benedikt Lahme, Optibus

### Out of the Box

- 90 Goldgrube oder Datenschungel?  
Die Suche nach den richtigen  
Erkenntnissen**  
Im Gespräch mit Georg Wittenburg,  
Inspirient

### Impressum





# Daten statt Dämmerschlaf:

## Wie Data Spaces KMU aufwecken

Agnetha Flore, AWSi, Julia Köhlke, OFFIS, Johann Schütz, Carl von Ossietzky Universität

Ein Elektroauto speist überschüssigen Strom ins Netz, doch die Vernetzung zwischen Energie- und Mobilitätsbranche hinkt hinterher. Eine Batterie wird ausgeliefert, doch ihre Herkunft bleibt unklar. Daten könnten diese Herausforderungen lösen – wenn sie sicher und souverän geteilt würden. Data Spaces bieten genau das: eine vernetzte, interoperable Infrastruktur für Unternehmen. Aber wie bleibt Datensouveränität gewahrt? Welche Standards sind nötig? Und wie können besonders KMU von diesem Ansatz profitieren?





In einer zunehmend digital vernetzten Welt stehen kleine und mittlere Unternehmen (KMU) vor der Herausforderung, ihre Produkte und Dienstleistungen kontinuierlich an die steigenden Anforderungen ihrer Kunden anzupassen. Dabei stoßen viele KMU an Grenzen, wenn sie ausschließlich auf ihre eigenen Daten und Ressourcen zurückgreifen müssen. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, schließen sich immer häufiger Unternehmen, Hochschulen, Behörden und andere Mitwirkende in dynamischen Netzwerken zusammen, um ihre Daten sicher und effizient zu teilen. Solche Kooperationen fördern Innovationen und schaffen einen

klaren Mehrwert, indem sie die gesamte Wertschöpfungskette abdecken. In diesen datengetriebenen Ökosystemen wird Datenmanagement zur strategischen Ressource, um innovative Angebote zu schaffen [7]. Sogenannte Datenräume beziehungsweise Data Spaces gehen eben dieses Problem an, wobei sich die Notwendigkeit ergibt, von Datenräumen aus den steigenden Anforderungen an Unternehmen, datengetriebene Entscheidungen zu treffen und gleichzeitig flexibel und innovativ zu bleiben.

Jedoch ist der Zugang zu relevanten Daten insbesondere für KMU oft eingeschränkt, sei es durch technische Barrieren, hohe Integrationskosten oder mangelndes Vertrauen zwischen Kooperationspartnern. Data Spaces bieten hier eine Lösung, indem sie sowohl sichere und interoperable Strukturen für den Datenaustausch schaffen. Dennoch stehen Unternehmen vor Herausforderungen: Die Implementierung technischer Standards, die Sicherstellung von Datensouveränität und die Überwindung rechtlicher und organisatorischer Hürden erfordern Zeit, Ressourcen und ein Umdenken in etablierten Prozessen. Umso wichtiger ist es, dass KMU mit klaren Anwendungsfällen starten und auf bestehende Initiativen und bewährte Lösungen zurückgreifen können, um Risiken zu minimieren und den Mehrwert frühzeitig zu realisieren [3, 7].

### Herausforderungen und Lösungen unterschiedlicher Branchen

Branchenübergreifend wächst das Bewusstsein für den strategischen Wert von Daten. KMU öffnen zunehmend ihre bisher isolierten Datensilos, um von datengetriebenen Ökosystemen zu profitieren. Als Folge entstehen spezialisierte Data Spaces, die Innovationen und neue Geschäftsmodelle ermöglichen. Allerdings unterscheiden sich die Herausforderungen und Anforderungen je nach Branche erheblich.

#### Branchenspezifische Data Spaces

Je nach Branche bringen Data Spaces unterschiedliche Vorteile und Hürden mit sich. Während sich einige Sektoren auf den sicheren Austausch sensibler Daten konzentrieren müssen, stehen in anderen die regulatorischen Anforderungen oder die Integration heterogener Netzwerke im Vordergrund. Beispiele für etablierte Initiativen sind energy data-X für die Energiewirtschaft, Catena-X für die Automobilbranche und der Mobility Data Space für den Verkehrssektor.



**Dr.-Ing. Agnetha Flore**

Agnetha Flore ist Head of Scientific Collaborations & Innovation Partnerships am August-Wilhelm Scheer Institut. Zuvor war sie Geschäftsführerin im Zentrum für digitale Innovationen Niedersachsen. Die promovierte Wirtschaftsinformatikerin und Diplom-Kauffrau verfügt über 20 Jahre Erfahrung in der Finanzdienstleistungsbranche. Seit 2019 ist sie in der GPM Fachgruppe Agile Management aktiv und Teil der Fachgruppenleitung. Zudem ist sie Tutorin und Dozentin für Projektmanagement an der Wilhelm Büchner Hochschule in Darmstadt.

#### Kontakt

agnetha.flore@aws-institut.de  
aws-institut.de  
www.aws-institut.de



**Dr. Julia Köhlke**

Julia Köhlke ist Leiterin der Gruppe „Datenintegration und Verarbeitung“ am OFFIS Institut für Informatik in Oldenburg. Zuvor war sie Teil des Graduiertenkollegs „Social Embeddedness of Autonomous Cyber Physical Systems“ (SEAS) in der Abteilung Energieinformatik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Ihr Promotionsstudium hat sie in den Sozialwissenschaften in der Arbeitsgruppe „Innovation und Organisation“ im Jahr 2023 erfolgreich abgeschlossen.

**Kontakt**

julia.koehlke@offis.de  
www.offis.de

## Energiesektor

In der Energiewirtschaft ermöglichen Data Spaces den sicheren Austausch kritischer Daten zu Netzlasten oder Verbrauchsmuster, beziehungsweise Erzeugungsdaten aus erneuerbaren Energien. Hierbei spielen Standards wie das Common Information Model (CIM) eine zentrale Rolle, da sie eine interoperable Integration gewährleisten [1]. Initiativen wie GAIA-X und energy data-X arbeiten an einem einheitlichen Datenraum für Smart Grids, während OneNet bereits erste Lösungen zur effizienten Verknüpfung von Netzbetreibern, Verbrauchern und Produzenten entwickelt hat [4].

Besondere Herausforderungen in dieser Branche sind die dezentrale Struktur, die strikte Regulierung sowie die Notwendigkeit, Echtzeitdaten sicher zu teilen. Gerade im Energiesektor spielen Sicherheit und Datenschutz eine entscheidende Rolle, weshalb neue Lösungen höchsten Anforderungen an Datensouveränität und Vertrauensstrukturen gerecht werden müssen [9].

---

**Data Spaces ermöglichen KMU den sicheren Austausch von Daten und schaffen innovative Geschäftsmodelle durch die Vernetzung heterogener Mitwirkender.**

---

## Automotive und Mobilität

Die Automobilbranche ist durch komplexe mehrstufige Lieferketten geprägt, in denen zahlreiche unabhängige Unternehmen auf verschiedenen Ebenen zusammenarbeiten. Regulatorische Vorgaben wie das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz und die Batterieverordnung stellen neue Anforderungen: Unternehmen müssen

Menschenrechte und Umweltstandards entlang der gesamten Lieferkette dokumentieren und sicherstellen, etwa durch den Batteriepass, der den gesamten Lebenszyklus einer Batterie erfasst. Diese Regularien bringen Herausforderungen, eröffnen aber auch Innovationschancen, indem sie Nachhaltigkeitsstandards setzen. Ein wichtiger Schritt zur Umsetzung ist Catena-X, der erste operative Datenraum für die Automobilindustrie. Er ermöglicht Unternehmen, ihre Lieferketten transparenter und nachhaltiger zu gestalten und fördert gleichzeitig digitale Innovationen. Der Mobility Data Space schafft einen offenen Marktplatz für Mobilitätsdaten und vernetzt Akteure wie Verkehrsunternehmen, Automobilhersteller und Mobilitätsdienstleister. Durch die Integration unterschiedlicher Datenquellen entstehen neue Geschäftsmodelle, die nachhaltige Mobilität, intelligente Städte und effizientere Logistiklösungen ermöglichen [8].

---

**Regulatorische Vorgaben wie das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz sind nicht nur Herausforderungen, sondern auch Treiber für nachhaltige Innovationen in der Industrie.**

---

**Schlüsselprinzipien und Synergien:  
Data Spaces als Grundlage für  
branchenübergreifende Innovationen**

Data Spaces sind mehr als nur Plattformen für den Datenaustausch – sie schaffen eine sichere, standardisierte und interoperable Umgebung, in der Unternehmen Daten souverän teilen und verwalten können. Besonders für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bieten sie die Möglichkeit, effizienter zu agieren,



neue Geschäftsmodelle zu entwickeln und von gemeinsamen Datenpools zu profitieren, ohne ihre Unabhängigkeit aufzugeben. Damit dies gelingt, müssen zentrale Prinzipien eingehalten werden, die eine verlässliche und vertrauenswürdige Nutzung der Daten sicherstellen. Dazu gehören [2]:

- **Interoperabilität:** Data Spaces gewährleisten technische, semantische und organisatorische Interoperabilität. Die technische Datenübertragung erfolgt über Connectors wie IDS oder EDC, die das Data Space Protocol (DSP) für sicheren Austausch und das Decentralized Claims Protocol (DCP) für Identitäts- und Vertrauensverwaltung nutzen [5]. Semantische Interoperabilität wird durch gemeinsame Informationsmodelle wie das CIM der Energiebranche sichergestellt. Organisatorische Interoperabilität basiert auf etablierten Anwendungsfällen mit klar definierten Prozessen.
- **Dezentralität und (Daten)-Souveränität:** Datenanbieter behalten volle Kontrolle und setzen rechtlich bindende Nutzungsbedingungen fest [7]. Der föderale Architekturansatz speichert Daten dezentral, wodurch eine zentrale Instanz entfällt. Daten verbleiben in der Infrastruktur des jeweiligen KMU, und jeder Austausch erfolgt direkt zwischen den Parteien ohne zwischengeschaltete Instanzen [3].
- **Trust und Sicherheit:** Vertrauen wird durch „Trust-Anchors“ sichergestellt. Technisch übernehmen Connectors diese Rolle, während auf organisatorischer Ebene digitale Identitäten durch akkreditierte Clearing Houses geprüft werden. Zertifizierungen und Sicherheitsprotokolle garantieren Interoperabilität sowie den Schutz sensibler Daten [2].

Obwohl Vertrauensanker in Data Spaces variieren, beruhen sie auf gemeinsamen Prinzipien. DSP und DCP dienen als übergreifende Basis für Interoperabilität zwischen Data Spaces und erleichtern branchenübergreifende Anwendungen. Ein Beispiel ist Vehicle-to-Grid (V2G), das Energie- und Mobilitätssektor verbindet: Elektrofahrzeuge (EVs) können nicht nur Strom aus dem Netz beziehen, sondern auch Energie zurückspeisen, um Netzschwankungen auszugleichen und erneuerbare Energien besser zu integrieren. Für KMU bietet V2G Einsparpotenziale durch intelligente

Lade- und Entladestrategien sowie Vorteile für eine nachhaltige Energieversorgung [6]. Durch diese gemeinsamen Prinzipien entsteht eine robuste Grundlage für den sicheren und effizienten Austausch von Daten über verschiedene Domänen hinweg. Insbesondere die Kombination aus dezentraler Datenhaltung und interoperablen Schnittstellen ermöglicht es Unternehmen, flexibel auf neue regulatorische und wirtschaftliche Anforderungen zu reagieren.

## Fazit und Ausblick

Data Spaces bieten einen entscheidenden Mehrwert, wenn Unternehmen und Technologien vernetzt werden müssen, um innovative Dienste zu entwickeln. Besonders für KMU sind sie eine Chance, effizienter zu arbeiten, ohne die Kontrolle über ihre Daten zu verlieren. Damit Data Spaces ihr volles Potenzial entfalten, braucht es eine enge Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Offene Standards und klare Rahmenbedingungen sind essenziell, um sie als Motor für eine nachhaltige Wirtschaft zu etablieren.

Für KMU eröffnen Data Spaces enorme Möglichkeiten: Sie helfen nicht nur, regulatorische Vorgaben zu erfüllen, sondern schaffen auch Innovationsräume. ■



**Johann Schütz**

Johann Schütz ist Doktorand an der Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg, Deutschland. Sein mehrjähriger Forschungsschwerpunkt liegt auf der Entwicklung und Bewertung von Architekturen, der Standardisierung sowie der Interoperabilität für dezentrale Systeme, insbesondere für Datenräume. Parallel dazu ist er als Senior Experte für die Standardisierung im industriellen Kontext direkt für Catena-X sowie in verschiedenen Gremien tätig.

## Kontakt

johann.schuetz@uni-oldenburg.de  
www.uol.de

## Kurz und Bündig

Data Spaces ermöglichen Unternehmen, Daten sicher und souverän zu teilen, ohne die Kontrolle zu verlieren. Besonders für KMU bieten sie neue Geschäftsmodelle und effizientere Prozesse. In der Energiewirtschaft helfen sie, Netzstabilität zu sichern, während in der Automobilbranche mit Catena-X Resilienz und Nachhaltigkeit gefördert werden. Der Mobility Data Space verbessert den Austausch im Verkehrssektor, und Vehicle-to-Grid (V2G) nutzt Elektrofahrzeuge als dezentrale Energiespeicher. Standardisierte Protokolle wie DSP und DCP gewährleisten Interoperabilität, Sicherheit und Vertrauen.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/3Q4QnPT>



# „Ich bin überzeugt davon, dass ein erfolgreicher Turnaround möglich ist“

August-Wilhelm Scheer im Gespräch mit Irmhild Plaetrich, IM+io

Insgesamt sind derzeit über 2 Millionen Menschen in der Automobilwirtschaft in Deutschland beschäftigt, das sind etwa 7 Prozent der sozialversicherungspflichtigen Arbeitsplätze. Aktuell steht die Branche vor enormen Herausforderungen, um den Anschluss an die E-Mobilität nicht zu verlieren. Starke Konkurrenz kommt unter anderem aus China, das nicht nur seinen eigenen Markt erobert, sondern auch europäische Märkte erfolgreich bearbeitet. Über Gründe, Chancen und Risiken der Transformation der deutschen Automobilbranche haben wir mit Prof. Dr. August-Wilhelm Scheer gesprochen.





**Prof. Dr. Dr. h.c. mult.  
August-Wilhelm Scheer**

August-Wilhelm Scheer ist einer der prägendsten Wissenschaftler und Unternehmer der deutschen Wirtschaftsinformatik und Softwareindustrie. Als Unternehmer und Protagonist der Zukunftsprojekte „Industrie 4.0“ und „Smart Service World“ der Bundesregierung arbeitet er aktiv an der Ausgestaltung der Digital Economy. Prof. Scheer hat mehrere IT-Unternehmen mit den Schwerpunkten Software-Entwicklung und IT-Beratung gegründet. Zu dem Unternehmensnetzwerk mit über 1200 Mitarbeitenden gehört auch die Scheer GmbH, die mit rund 600 Mitarbeitenden IT-Beratungs- und Implementierungsprojekte durchführt.

#### **Kontakt**

scheer@scheer-holding.com  
www.scheer-blog.com

**IM+io** Die Wirtschaftsdaten aus der deutschen Automobilindustrie zeigen deutlich, dass die Transformation hin zur E-Mobilität zu spät und zu zögerlich in Angriff genommen wurde. Hat sich die Branche im Innovators Dilemma verfangen – ganz nach dem Prinzip „unsere Verbrenner sind Marktführer, warum sollten wir etwas verändern?“

**AWS:** In den Zehner-Jahren dieses Jahrhunderts war das durchaus der Fall. Teslas Versuche, den E-Auto Markt von den USA aus aufzurollen und auch die chinesischen Ansätze, auf E-Mobilität

zu setzen, wurden eher belächelt. Übersehen wurde dabei, dass sowohl Elon Musk als auch die chinesischen Produzenten nicht versuchen mussten, ein etabliertes Gefährt auf E-Mobilität umzustellen, sondern bei null angefangen haben. Man hat das Autoprojekt direkt als E-mobiles Gefährt aufgesetzt und durchdacht. Weder Tesla noch BYD mussten mehrgleisig denken – den Verbrenner optimieren, den Markenwert hochhalten und gleichzeitig E-Autos konzipieren. So war der Weg frei zu mutigen Innovationen, verbunden mit dem Mut, Fehler zu machen,

aus denen man dann wieder gelernt hat – das ist die klassische Start-up Mentalität, die Innovation erleichtert. Außerdem hat man sich bei den deutschen Premiummarken wohl darauf verlassen, dass edle Verbrenner auch künftig das obere Preissegment beherrschen werden.

**IM+io** Hat diese Einstellung auch dazu geführt, dass man es in Deutschland beim nun laufenden, schrittweisen Umbau auf E-Mobilität verpasst hat, preiswerte Autos für den Normalbürger anzubieten? In diese Lücke stoßen nun Unternehmen wie BYD aus China sehr erfolgreich.

**AWS:** Die Umstellung auf E-Mobilität ist mit sehr hohen Kosten verbunden. Rein betriebswirtschaftlich lag es also nahe, dort zu investieren, wo hohe Preise auch realisierbar sind, in der Luxusklasse. Unterdessen hat man aber durchaus erkannt, dass die Entwicklung in die Breite gehen muss. Das Premiumsegment wird eben nicht mehr nur von der deutschen Automobilindustrie beherrscht.

---

## Bei den deutschen Premiummarken hat man sich darauf verlassen, dass edle Verbrenner auch künftig das obere Preissegment beherrschen werden.

---

**IM+io** Die deutsche Automobilindustrie hat sich schon mehrfach erfolgreich durch Krisen gearbeitet, aber derzeit handelt es sich um einen so wesentlichen Strukturwandel, dass dieser große Ängste auslöst...

**AWS:** Wir erleben ganz sicher einen tiefgreifenden Strukturwandel, der durch die notwendige Transformation zur Elektromobilität, die Digitalisierung und die zunehmende Automatisierung geprägt ist. Verunsicherung entsteht insbesondere

dadurch, dass viele Geschäftsmodelle in der traditionellen Zulieferindustrie nicht mehr funktionieren und eine Vielzahl von Arbeitsplätzen bedroht ist. Die gesamte Beschäftigungslandschaft wandelt sich durch die Umstellung vom Verbrennungsmotor zum Elektroantrieb. Während Arbeitsplätze in Motorproduktion und Metallbearbeitung wegfallen, braucht man mehr Fachkräfte in Bereichen wie Softwareentwicklung, Batterietechnologie und Elektronik. Entscheidend wird sein, ob und wie man sich dieser radikalen Transformation stellt.

---

## Die Entwicklung zeigt, dass auch auf dem Markt der E-Mobilität nichts in Stein gemeißelt ist.

---

**IM+io** Wo sehen Sie die Chancen, die sich aus dem radikalen Umbruch ergeben können?

**AWS:** Gefragt ist die Innovationskraft von Automobilherstellern und Zulieferern. Die Entwicklung neuer Technologien und Geschäftsmodelle im Bereich der Elektromobilität und des autonomen Fahrens kann andere, neue Wachstumsimpulse generieren und auch die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands wieder zurückerobern. Die Digitalisierung spielt eine zentrale Rolle im Strukturwandel der Automobilindustrie. Neue digitale Technologien verändern nicht nur die Produktionsprozesse, sondern auch die Geschäftsmodelle. Die Entwicklung von Software und digitalen Dienstleistungen gewinnt an großer Bedeutung. Unternehmen müssen sich zu Softwareunternehmen entwickeln.

Wir brauchen massive Investitionen in Batterietechnologie, Software und auch in den Bereich autonomes Fahren. Die Integration von Zulieferern in den Innovationsprozess wird ebenfalls zum erfolgskritischen Faktor. Als wichtig und richtig hat sich auch der Abschluss strategischer Partnerschaften im Sinne von Kooperationen mit Technologiefirmen



und Tech Start-ups erwiesen. Spannend wird zum Beispiel sein, wie Volkswagen von der kürzlich eingegangenen Partnerschaft mit dem US-amerikanischen E-Autobauer Rivian profitieren wird. VW setzt da auf die technologische Expertise und Softwarekompetenz des amerikanischen Unternehmens.

Ich bin überzeugt davon, dass ein erfolgreicher Turnaround möglich ist. Er erfordert eine erhebliche Transformation und strategische Weichenstellungen in einer sich ständig verändernden globalen Automobilwelt.

**IM+io** Ist die sich rasant wandelnde Automobilwelt nicht eine weitere Bedrohung für Deutschlands Transformation? Rennen wir nicht ständig hinterher, während andere den nächsten Innovationssprung wagen?

**AWS:** Ich fahre seit rund 10 Jahren einen S-Tesla. Mich hat damals fasziniert, dass das Mobilitäts- und Kommunikationskonzept des Autos durchgehend von innovativer Software bestimmt war. Über die Jahre hat Tesla dann auch einen echten Boom erfahren, man hat sich über die Zeitachse zudem erfolgreich der Herausforderung der Massenproduktion gestellt. Und dennoch scheinen jetzt die Zeiten vorbei zu sein, in denen Tesla der unangefochtene Premiumstandard der E-Mobilität war. Die Verkaufszahlen gehen deutlich zurück, heute versucht Tesla mit hohen Rabatten den Abschwung zu verlangsamen. In China ging in nur zwei Jahren der Marktanteil im E-Auto-Segment um mehr als die Hälfte zurück. Tesla ist in diesem großen Markt auf Platz 5 nur noch ein Anbieter unter vielen - abgehängt von einheimischen Herstellern wie BYD, Geely, Chery oder Changan.

Insgesamt schien Tesla lange Zeit mit seiner Innovationskraft gerade für etablierte Autokonzerne uneinholbar zu sein. Doch eben diese Innovationskraft schwächelt, es fehlen neue überzeugende Modelle und Ideen. Auch werden zunehmend Klagen laut, was das Qualitätsmanagement des Herstellers betrifft. Diese Entwicklung zeigt, dass auch auf dem Markt der E-Mobilität nichts in Stein gemeißelt ist. Viele Player mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen ringen um Marktanteile, und noch ist hier nichts entschieden. Die deutsche Automobilindustrie hat, wie schon erwähnt, den Nachteil, nicht wie ein Start-up iterativ und mit Fehlertoleranz agieren zu können, man erwartet von Anfang an perfekte Autos. Auch bestehen viele veraltete Fabriken

mit entsprechend veralteten Technologien. Dies macht es umso notwendiger, sich von Doppelstrategien mit Verbrennern und E-Autos zu lösen, hin zum strategischen Fokus auf die E-Mobilität, die eindeutig softwaredominiert ist. Auch Vertriebsstrategien müssen hin zum Direktvertrieb modernisiert werden. Trotz der Festlegung auf die Elektrostrategie muss natürlich die Entwicklung anderer Technologien wie Wasserstoff mit E-Fuels verfolgt werden. Schließlich wurde am Anfang des vorigen Jahrhunderts schon einmal der Elektromotor bevorzugt und dann vom Verbrenner verdrängt. Da die Zukunft unsicher ist, hilft nur die Einstellung, für alle neue Entwicklungen offen zu sein, gleichzeitig aber einen klaren Kurs zu verfolgen. Dafür benötigt man die passenden Manager. An ihnen liegt es am Ende, ob die Transformation gelingt.

Wird man in Deutschland mit Umsicht dem Transformations- und Innovationsdruck gerecht, haben auch unsere Hersteller gute Chancen, im Automotive Markt wieder wettbewerbsfähig zu agieren. ■

## Kurz und Bündig

Prof. Dr. August-Wilhelm Scheer sieht durchaus Chancen für eine erfolgreiche Transformation der deutschen Automobilindustrie. Gefragt ist die Innovationskraft von Automobilherstellern und Zulieferern. Dabei spielt die Digitalisierung eine zentrale Rolle im Strukturwandel. Unternehmen müssen sich zu Softwareunternehmen mit klarem Fokus auf E-Mobilität entwickeln. Gleichzeitig muss die Entwicklung anderer Technologien wie Wasserstoff mit E-Fuels verfolgt werden, um mögliche Innovationssprünge nicht zu verpassen.



# Strom statt Diesel:

## Intelligente Ladelösung als Schlüssel zur grünen Logistik

Johann Olsen, IO-Dynamics im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Ein Logistikstandort, der so viel Strom verbraucht wie ein kleines Dorf: Die Elektrifizierung von Nutzfahrzeugen stellt die Logistikbranche vor Herausforderungen. Ineffiziente Ladevorgänge, hohe Infrastrukturkosten und ungenutzte Potenziale erfordern smarte Lösungen. Wie intelligente Systeme Energieflüsse optimieren und die E-Mobilität wirtschaftlich machen, zeigt ein Blick hinter die Kulissen smarterer Ladeinfrastruktur.



**IM+io Was genau macht IO-Dynamics, und welche Lösungen bieten Sie an?**

**JO:** IO-Dynamics entwickelt und vertreibt eine Software-as-a-Service-Lösung, die das Energiemanagement für Elektrofahrzeuge mit dem Flottenmanagement kombiniert. Unser Ziel ist es, Unternehmen dabei zu unterstützen, ihre Fahrzeugflotten erfolgreich auf Elektromobilität umzustellen und gleichzeitig die Effizienz ihrer Energieverbrauchsstrategien zu verbessern.

Konkret bieten wir eine umfassende Betriebssoftware, die nicht nur die Ladeinfrastruktur verwaltet, sondern auch hilft, den gesamten Ablauf der Ladeprozesse zu optimieren. Unsere Lösung optimiert die Ladezeiten zum Beispiel so, dass die Fahrzeuge genau dann aufgeladen werden, wenn genügend erneuerbare Energie zur Verfügung steht, sei es durch Wind oder Photovoltaik. Dies reduziert die Kosten und stärkt die Nachhaltigkeit von Betriebsabläufen.

**IM+io Sie haben bereits einige Vorteile Ihrer Plattform angesprochen. Was sind die wichtigsten zusammengefasst?**

**JO:** Mit unserer Plattform machen wir es Unternehmen leicht, ihre eigene Ladeinfrastruktur effizient zu betreiben. Zum Beispiel berücksichtigen wir dynamische Strompreise und binden PV-Strom intelligent in die Ladeplanung ein. So lassen sich Energiekosten spürbar senken. Gleichzeitig sorgt unsere Software für eine smarte Steuerung der Ladepunkte und liefert detaillierte Energieanalysen. Das bedeutet: Die Flotte bleibt jederzeit einsatzbereit, und dank vorausschauender Wartung lassen sich Ausfälle vermeiden.

**IM+io Wie genau schaffen Sie die notwendige Infrastruktur für die Elektromobilität?**

**JO:** Unsere Rolle als Softwareanbieter bedeutet, dass wir nicht direkt die physische Infrastruktur aufbauen, sondern eng mit Partnerunternehmen zusammenarbeiten, die diese Aufgaben übernehmen. Wir erstellen gemeinsam ein umfassendes Konzept, das die Planung und Installation von Ladeinfrastruktur umfasst. Bei einem typischen Projekt analysieren wir zunächst die spezifischen Anforderungen des Unternehmens, wozu die Kapazität des vorhandenen Stromanschlusses gehört. Daraufhin entwickelt ein Partnerunternehmen ein detailliertes Konzept, das festlegt, wo und wie viele Ladepunkte errichtet werden müssen.

Die Installationsphase beginnt, und sobald die Infrastruktur bereit ist, integrieren wir unsere Software, die es ermöglicht, die Ladepunkte

intelligent zu steuern. Diese Software verknüpft sich nicht nur mit den Ladepunkten, sondern auch mit den Telematik-Systemen der Fahrzeuge. Dies bedeutet, dass wir Daten aus verschiedenen Quellen in Echtzeit analysieren können, um die Effizienz weiter zu steigern.

**IM+io Können Sie ein Beispiel aus der Praxis geben, wie ein mittelständisches Unternehmen mit Ihnen zusammenarbeitet?**

**JO:** Nehmen wir an, ein mittelständisches Logistikunternehmen tritt an uns heran und möchte die Umstellung von konventionellen Diesel-Lkw auf Elektrofahrzeuge für seinen Fuhrpark einleiten. Zunächst würden wir in einem Beratungsgespräch gemeinsam den aktuellen Energiebedarf und -verbrauch des Unternehmens analysieren. Dabei klären wir auch die Fragen, wie viele Fahrzeuge es elektrifizieren möchte und wie viel Stromanschlusskapazität bereits besteht. Anschließend arbeiten wir zusammen mit einem Partner an einem Konzept: Wo sollen die Ladepunkte platziert werden? Braucht das Unternehmen Schnelllader, oder sind langsamere Ladepunkte ausreichend? Während dieser Phase sind wir bereits aktiv beteiligt, um sicherzustellen, dass unsere Softwarelösung nahtlos integriert wird. Nach der Installation der Ladeinfrastruktur, die oft nur wenige Wochen in Anspruch nimmt, erfolgt die Implementierung unserer Software, die dann sofort in den täglichen Betrieb einfließen kann.

**IM+io Ist es möglich, private von gewerblichen Fahrten zu trennen?**

**JO:** Absolut, das ist ein sehr wichtiger Aspekt. Die Ladevorgänge werden umfassend dokumentiert und gespeichert. Im Kontext des betrieblichen Einsatzes können wir den Unternehmen dabei helfen, eine präzise Abrechnung zu implementieren. Kunden können zum Beispiel spezielle Ladekarten verwenden, die den Ladevorgang eindeutig identifizieren. Diese Informationen lassen sich zur Erstellung transparenter Abrechnungen nutzen, sodass genau nachvollzogen werden kann, wie viel Strom für betriebliche und wie viel für private Fahrten verwendet wurde. Dies ist besonders interessant für Unternehmen, die einen gemischten Fuhrpark betreiben und möchten, dass die verschiedenen Nutzungskosten gut getrennt und nachvollziehbar sind.

**IM+io Was sind die kurzfristigen und langfristigen Kosten, die Unternehmen bei der Um-**



**Johann Olsen**

Johann Olsen, CEO und Co-Founder von IO-Dynamics, ist Experte für digitale Lösungen für Ladeinfrastruktur und Elektromobilität. Der studierte Elektroingenieur und E-Enthusiast beschäftigt sich seit 10 Jahren mit digitalem Energiemanagement und betrieblicher Mobilität.

**Kontakt**

johann.olsen@  
iodynamics.de  
www.iodynamics.de



**stellung auf Ihre Systeme erwarten können?**

**JO:** Im Transport- und Logistikbereich sind die operativen Kosten in der Regel der größte Kostenfaktor. Wenn Unternehmen auf Elektromobilität umsteigen, können sie mit unserer Lösung Energiekosten von 20 bis 50 Prozent einsparen, was sich erheblich auf die Gesamtbilanz auswirkt. Darüber hinaus gibt es durch unsere Software auch Vorteile in der Transparenz und Prozessoptimierung. Wir ermöglichen den Flottenbetreibern, jederzeit den Ladestand der Fahrzeuge zu überwachen, sowie mögliche Fehler an den Ladestationen frühzeitig zu identifizieren und schnelle Problemlösungen durchzuführen. Langfristig gesehen, wenn die Infrastruktur gut genutzt wird und die Fahrzeuge effizient eingesetzt werden, können Unternehmen nicht nur ihre operativen Kosten senken, sondern auch für zukünftige Investitionen in eine nachhaltige Energieversorgung, etwa durch eigene Photovoltaikanlagen oder Batteriespeicher, besser planen.

---

**Ein elektrischer Lkw kann ähnlich viel Strom verbrauchen wie mehrere Einfamilienhäuser – doch durch intelligentes Lademanagement können wir diese Belastung gezielt steuern und optimieren.**

---

**IM+io** Welche Herausforderungen sehen Sie bei der Integration Ihrer Software in bestehende Logistik- und Transportsysteme?

**JO:** Die größte Herausforderung liegt oft darin, dass Unternehmen ihre bisherigen Abläufe komplett überdenken müssen. Der Wechsel zu Elektromobilität erfordert eine strategische

Neuausrichtung – von der Planung der Ladeinfrastruktur bis zur Einbindung in den täglichen Betrieb. Unsere Software vereinfacht diesen Übergang, indem sie bestehende Systeme wie Telematik und Transportmanagement nahtlos integriert. Aber es geht nicht nur um die Technik: Häufig müssen auch unterschiedliche Abteilungen wie Logistik und Gebäudemanagement enger zusammenarbeiten, was intern Koordination erfordert. Unser Ziel ist es, diese Prozesse so einfach wie möglich zu gestalten und Unternehmen dabei zu helfen, schnellstmöglich von den Vorteilen der Elektromobilität zu profitieren.

---

**Mit unserer Software senken Unternehmen ihre Energiekosten um 20 bis 50 Prozent und maximieren gleichzeitig die Verfügbarkeit und Effizienz ihrer E-Flotte.**

---

**IM+io** Kritiker befürchten, dass der Strombedarf durch Elektromobilität erhöht wird. Wie gehen Sie damit um?

**JO:** Dieser Punkt ist durchaus berechtigt. Elektromobilität erfordert eine signifikante Menge an Strom. Ein elektrischer Lkw kann ähnlich viel Strom verbrauchen wie mehrere Einfamilienhäuser. Wir dürfen jedoch nicht vergessen, dass Ladeprozesse flexibel gestaltet werden können. Die Fahrzeuge stehen meistens 10 bis 16 Stunden am Tag unbewegt, darauf basierend können Ladevorgänge strategisch eingeplant werden – beispielsweise in Zeiten niedrigerer Gesamtstromnachfrage. Zudem haben wir die Möglichkeit, den Ladevorgang so zu steuern, dass er vermehrt in Zeiten erfolgt, in denen überschüssiger

erneuerbarer Strom in dem Netz ist – beispielsweise wenn viel Wind- oder PV-Strom erzeugt wird. Damit können wir verhindern, dass die Netzbelastung zu einem kritischen Punkt führt, und entscheidend dazu beitragen, die Netzkosten über die verbesserte Gesamtauslastung unserer Systemanpassungen zu senken.

---

## **Die größte Herausforderung für die Elektromobilität ist nicht die Technologie, sondern die Infrastruktur – hier brauchen wir politische Unterstützung, um Genehmigungsverfahren und Regularien zu vereinfachen.**

---

**IM+io** Gibt es Pläne, über das Flottenmanagement hinauszugehen, beispielsweise in der Batteriespeicherentwicklung?

**JO:** Ja, wir sehen großes Potenzial in der Kombination von Photovoltaik- und Batteriespeicherlösungen mit unserem Flottenmanagement. Im Depot können Unternehmen mit PV-Anlagen und Batteriespeichern eigenen Strom erzeugen und speichern. Unsere Software sorgt dann dafür, dass die Energie optimal genutzt wird. Das macht den Betrieb nicht nur nachhaltiger, sondern auch wirtschaftlicher und erhöht die Unabhängigkeit.

**IM+io** Was ist Ihre Vision für die Zukunft und welche Herausforderungen sehen Sie?

**JO:** Klar ist: Wir wollen die Elektromobilität im Transportbereich mit voller Kraft vorantreiben. Es geht nicht nur darum, die Kosten mit konventionellen Antrieben gleichzustellen,

sondern Unternehmen eine wirklich nachhaltige, zukunftssichere und wirtschaftlich sinnvolle E-Mobilität zu ermöglichen. Natürlich gibt es Herausforderungen – die Ladeinfrastruktur ist eine davon. Aber anstatt nur auf den externen Ausbau zu warten, liegt der Schlüssel in der eigenen Infrastruktur. Wer in smarte Ladelösungen, Photovoltaik oder intelligentes Lastmanagement investiert, macht sich unabhängiger, senkt die Betriebskosten und schafft langfristige Planungssicherheit.

Klar, Investitionen sind eine Hürde, aber genau da können politische Anreize und einfachere Genehmigungsverfahren richtig viel bewegen. Wer heute handelt, profitiert morgen von einer stabilen, kosteneffizienten und nachhaltigen Mobilitätsstrategie. Es lohnt sich also, jetzt die richtigen Weichen zu stellen! ■

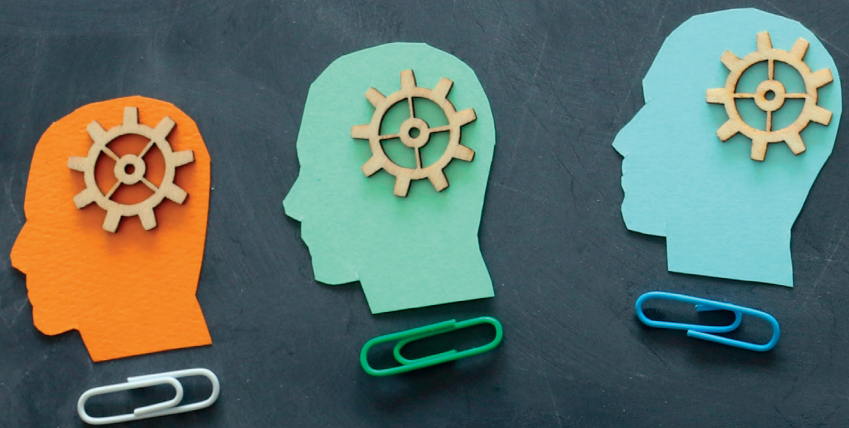
### **Kurz und Bündig**

Die Elektrifizierung des Logistiksektors bietet erhebliche Kostenvorteile, stößt jedoch auf infrastrukturelle Hürden. Intelligente Software für Energie- und Flottenmanagement optimiert den Betrieb der Ladeinfrastruktur und maximiert die Fahrzeugverfügbarkeit. Während die Technologie bereit ist, bleibt der Aufbau von flächendeckender Ladeinfrastruktur durch bürokratische Hürden und hohe Investitionen eine Herausforderung. Vereinfachte Genehmigungsverfahren könnten den Prozess beschleunigen.



# Zur Innovation verdammt

Ein Kommentar von August-Wilhelm Scheer, Herausgeber IM+io



Energieversorger, die sich für die Zukunft aufstellen wollen, müssen ihre Projekte als Teil ihrer Digitalisierungsstrategie definieren. Zum zentralen Punkt bei der Gestaltung der Energiewende wird der Umgang mit Daten. Blockchain, virtuelle Kraftwerke und Smart Home sind zentrale Themen. Erfolg und Misserfolg entscheiden sich dort, wo es darum geht, große Datenströme aus Einspeisung, Smart Metering oder auch den Netzbetrieb zu managen, und daraus sinnvolle Geschäftsmodelle zu entwickeln – Geschäftsmodelle, die es ermöglichen, sich am Energiemarkt der Zukunft zu behaupten. Die Technologien dafür stehen zur Verfügung. Mit Internetanwendungen wie Big Data Analytics oder Cloud und Mobile Computing können Energieversorgungsunternehmen den spezifischen Anforderungen der Digitalisierung

in der Energiewirtschaft begegnen. So lassen sich die immer häufiger dezentral angelegten Erzeugungsanlagen besser steuern und koordinieren. Überzeugende Geschäftsmodelle werden auch deshalb immer wichtiger, weil zunehmend neue und zum Teil branchenfremde Unternehmen zu relevanten Playern auf dem deutschen Strom-, Gas- und Wärmemarkt werden. Viele von ihnen sind plattformbasiert und etablieren sich zwischen dem Endkunden und dem Energieversorger.

Für das ursprüngliche Geschäftsmodell von Energieversorgern bedeutet das einen signifikanten Wandel, auf den sie mit neuen Produkten und Angeboten reagieren müssen. Ein klassisches Beispiel für sich verschiebende Branchengrenzen stellt der Gesamtkomplex der Elektromobilität mit ihren vielfältigen Playern dar.





**Prof. Dr. Dr. h.c. mult.  
August-Wilhelm Scheer**

August-Wilhelm Scheer ist einer der prägendsten Wissenschaftler und Unternehmer der deutschen Wirtschaftsinformatik und Softwareindustrie. Als Unternehmer und Protagonist der Zukunftsprojekte „Industrie 4.0“ und „Smart Service World“ der Bundesregierung arbeitet er aktiv an der Ausgestaltung der Digital Economy. Prof. Scheer hat mehrere IT-Unternehmen mit den Schwerpunkten Software-Entwicklung und IT-Beratung gegründet. Zu dem Unternehmensnetzwerk mit über 1200 Mitarbeitenden gehört auch die Scheer GmbH, die mit rund 600 Mitarbeitenden IT-Beratungs- und Implementierungsprojekte durchführt.

**Kontakt**

scheer@scheer-holding.com  
www.scheer-blog.com

Adobe Stock | 290718329 | tomeru

Gehören hier doch mehrere Wertschöpfungsstufen in den Bereich der Energiewirtschaft.

Ich bin überzeugt davon, dass die Herausforderungen der Energiebranche eine echte Chance für positive Veränderungen darstellen. Sowohl die notwendige digitale Transformation als auch das Engagement neuer Player in dem Markt erhöhen den Innovationsdruck.

Start-up Unternehmen können mit ihren frischen Ideen zum wichtigen Erfolgsfaktor für das Gelingen der Energiewende werden. So erwartet der digitale Energiekunde eine neue Ansprache und hat andere Anforderungen an die Unternehmen, als es in der Vergangenheit der Fall war. Darauf müssen Anbieter reagieren und Produkte und Angebote überzeugend auf den digitalen Kunden ausrichten. Neue Ideen und Markterfahrung müssen Hand in Hand

gehen. Wenn etwa Start-ups in diesem komplexen Marktsegment ihre Geschäftsideen umsetzen wollen, kann das nur funktionieren, wenn technologisches Know-how mit tiefer Kenntnis des Energiemarktes und Wissen über die Kundenbedürfnisse verknüpft wird. Alle Player in diesem disruptiven Sektor tun nach meiner Meinung gut daran, Kooperation als Wettbewerbsvorteil zu wahrnehmen. ■

---

**Zum zentralen Punkt bei der Gestaltung der Energiewende wird der Umgang mit Daten.**



# INNOVATION GOES GREEN. GEH MIT!



**Bewirb dich jetzt im Center for Digital GreenTech in  
Niedersachsen und gestalte eine nachhaltige  
Digitalisierung mit.**

**TRANSFORM DIGITAL. PERFORM SUSTAINABLE.**



Infos unter  
[www.aws-institut.de/jobs](http://www.aws-institut.de/jobs)

August-Wilhelm  
Scheer Institut  
Digital Research



Center for  
Digital GreenTech

# Von Tankstellen zu Knotenpunkten – Kilowatt statt Kilometer

Sandra Ehlen, Chefredakteurin IM+io



## Sandra Ehlen

Mit über fünfzehn Jahren Erfahrung als Führungskraft in verschiedenen fachlichen Bereichen ist Sandra Ehlen aktuell Geschäftsführerin am August-Wilhelm Scheer Institut für digitale Produkte und Prozesse. Zuvor war sie bei Villeroy & Boch tätig, wo ihr Schwerpunkt auf Innovationsmanagement und der Entwicklung neuer Produkte lag. Ihr Fokus liegt auf einer offenen Kommunikationskultur sowie dem Aufbau leistungsstarker Teams, die ziel- und ergebnisorientiert arbeiten. Mit einer vielseitigen Perspektive, Engagement und einem praxisnahen Ansatz verbindet sie kurzfristige Wirkung mit langfristiger Strategie.

## Kontakt

sandra.ehlen@aws-institut.de  
www.aws-institut.de

Stellen wir uns eine Welt vor, in der Tankstellen überflüssig sind. Wunschdenken? Drohszenario? Nein! Konsequente nachhaltige Digitalisierung unserer Mobilität. Wir werden weiterhin Autos fahren, das steht außer Frage, aber Autos werden Teil unseres Energiesystems. Nicht heute, jedoch mit Sicherheit. Klingt utopisch? Wir werden sehen!

Die Automobilbranche steckt mitten im größten Umbruch ihrer Geschichte: Digitalisierung, Klimaziele und alternative Mobilitätskonzepte, kombiniert mit immer kürzeren Entwicklungszyklen, zwingen Unternehmen, sich neu zu erfinden und von alten Geschäftsmodellen zu lösen. Die Zuliefernden stehen teilweise vor der Insolvenz und Energieunternehmen vor der Herausforderung, Infrastruktur neu zu definieren. Fahrzeugherstellende werden zu Softwareunternehmen, Stromanbietende zu Mobilitätsdienstleistenden, und was früher nur ein Fortbewegungsmittel war, wird jetzt ein rollendes Datenzentrum mit eigener Energieversorgung und gleichzeitig Energiespeicher und Versorgungseinheit für unsere Haushalte.

Die Energiewende, angetrieben durch den Ausbau erneuerbarer Energien, erfordert Offenheit und verändert die Art und Weise, wie wir Energie erzeugen, speichern, verteilen und vielleicht auch denken. Doch mit dieser Veränderung wachsen auch die Herausforderungen. Erneuerbare Energiequellen sind grün und nachhaltig, jedoch volatil. Im Dezember 2024 haben wir erlebt, dass Dunkelflauten zu Herausforderungen im Stromnetz führen. Es braucht somit flexible, intelligente Netze, die den steigenden Bedarf mit schwankendem Angebot in Einklang bringen. Die Mobilitäts- und Energiewende sind daher zwei untrennbare Entwicklungen, die gemeinsam gedacht werden müssen. Es reicht nicht, nur Fahrzeuge zu elektrifizieren – die gesamte Infrastruktur muss sich anpassen, um Mobilität und Energieversorgung zukunftsfähig zu machen.

Doch der Wandel ist nicht trivial. Früher baute man Autos, und die entscheidende Frage lautete „Benzin oder Diesel?“. In der Zukunft ist

die Antriebsform allerdings nicht mehr das zentrale Thema. Die wahre Revolution passiert unter der Oberfläche – in Software-, Daten- und Energiearchitekturen. Dabei handelt es sich nicht um Science Fiction, sondern um reale technologische Entwicklungen.

Vehicle-to-Grid (V2G) ist das perfekte Beispiel: Autos, die nicht nur Strom verbrauchen, sondern ihn auch ins Netz einspeisen. Klingt smart? Ist es auch. Doch dafür müssen Automobilkonzerne, Energieversorger und digitale Plattformen zusammenarbeiten – ein ungewohntes Spielfeld für Branchen, die bisher kaum Berührungspunkte hatten.

Die große Herausforderung besteht aus meiner Sicht darin, dass Unternehmen nicht nur neue Technologien entwickeln, sondern sich und ganze Wertschöpfungsketten transformieren müssen. Denn während viele noch an Reichweitenangst und Ladesäulenförderung festhalten, sind die eigentlichen Innovationen längst da. Beispielsweise hat Großbritannien der ersten Automobilmarke eine Netz-Zertifizierung zugesprochen, um bidirektionales Laden zu ermöglichen. Einen Schritt weiter geht das Gemeinschaftsunternehmen ChargeScape, das eine Softwareplattform entwickelt hat, die eine drahtlose Kommunikation zwischen Elektrofahrzeugen und Versorgungsunternehmen ermöglicht. Diese Plattform verwaltet das Laden zu Hause und ermöglicht die Rückspeisung von Energie in das Netz während Zeiten hoher Nachfrage.

Die Vision einer digitalen, grünen und mobilen Zukunft ist greifbar – sie erfordert jedoch einen radikalen Perspektivwechsel. Der Erfolg wird darin bestehen, Mobilität und Energie gemeinsam zu betrachten. Das bedeutet Schluss mit Insellösungen, und her mit echten Ökosystemen. Warum nicht Autos als rollende Datenzentren betrachten und mit passender Plattformstrategie denken? Wer erfolgreich sein will, muss den Mut haben, alte Strukturen infrage zu stellen und neue Wege zu gehen. Auf diese Weise kann man gestärkt aus der Energiewende hervorgehen. Mut zum Perspektivwechsel. ■





Adobe Stock | 956974364 | Andrii

# Den Weg erkennen:

## Autonomes Fahren neu gedacht

Alexander Wischnewski, driveblocks im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

In einer Welt, in der autonome Systeme zunehmend Realität werden, revolutionieren innovative Technologien die Art und Weise, wie wir Mobilität und Logistik verstehen. Autonomes Fahren ist mehr als nur eine Zukunftsvision: Technologien, die Fahrer:innen entlasten und Fahrzeuge auf privaten sowie industriellen Flächen autonom navigieren lassen, sind längst Realität. Wie beeinflussen diese Technologien die Effizienz, Sicherheit und Nachhaltigkeit im Transportwesen – und wo sind die größten Herausforderungen?

**IM+io Können Sie kurz vorstellen und erklären, was driveblocks genau macht?**

**AW:** Unser Unternehmen wurde 2021 gegründet, nach meiner Promotion an der TUM im Bereich autonomes Fahren. Wir haben uns auf hochautomatisiertes Fahren spezialisiert, insbesondere auf Anwendungen in der Logistikbranche und in industriellen Szenarien. Driveblocks entwickelt Softwarelösungen und KI-Modelle, die es ermöglichen, Fahrzeuge fahrerlos zu betreiben.

Unser Schwerpunkt liegt auf der Umfelderkennung, der Objekterkennung und der Sensorfusion. Das bedeutet, wir kombinieren die Daten verschiedener Sensoren wie Kameras und Laserscanner, um ein präzises Bild der Umgebung zu erstellen. Unser Ziel ist es, komplexe Aufgaben wie das Navigieren durch dynamische Umgebungen zu lösen – und das zuverlässig und sicher. Dabei arbeiten wir eng mit Hersteller:innen von Nutzfahrzeugen, mobilen Arbeitsmaschinen und Baumaschinen zusammen, um unsere Technologie in die Praxis zu bringen.

**IM+io Was unterscheidet Ihre „Mapless Autonomy“-Plattform von anderen Lösungen?**

**AW:** Traditionelle Systeme für autonomes Fahren setzen oft auf hochauflösende Karten, die vorab erstellt werden müssen. Das bedeutet, das Fahrzeug benötigt ein detailliertes, dreidimensionales Abbild des Betriebs- oder Einsatzgeländes. Dieses Verfahren hat jedoch klare Nachteile: Es ist teuer, zeitaufwendig und unflexibel, besonders in dynamischen Umgebungen wie Logistikzentren, wo sich Container, Paletten oder Fahrzeuge häufig bewegen. Unsere „Mapless Autonomy“-Plattform verfolgt einen anderen Ansatz. Wir erstellen die Karte nicht vorab, sondern in Echtzeit. Das Fahrzeug scannt und analysiert seine Umgebung kontinuierlich mithilfe von Kameras und Laserscannern. Dadurch entfällt der Bedarf, das Gelände vorher manuell zu kartieren, was enorme Kosten und Zeit spart. Ein weiterer Vorteil ist die Flexibilität: Wenn sich die Umgebung verändert – etwa durch Baustellen, neue Containerstellungen oder andere Hindernisse – reagiert unser System sofort. Es ist nicht an veraltete Karten gebunden. Dies ist besonders in industriellen Anwendungen von großer Bedeutung, wo die Bedingungen oft unvorhersehbar sind.

**IM+io Können Sie genauer auf die technische Funktionsweise der Mapless Autonomy-Plattform eingehen?**

**AW:** Technisch gesehen kombinieren wir verschiedene Sensoren wie Kameras, Laserscanner (LiDAR)

und Radar in einem Sensorfusionssystem, das die Umgebung in Echtzeit analysiert. Jeder dieser Sensoren liefert spezifische Informationen. Diese Sensordaten werden in unserem KI-gestützten System zusammengeführt und verarbeitet, um ein detailliertes und dynamisches Modell der Umgebung zu erstellen. Ein zentraler technischer Aspekt ist das Decision Making. Dieser Layer analysiert kontinuierlich die Daten aus der Sensorfusion und trifft auf dieser Basis präzise Entscheidungen zur Fahrzeugsteuerung, beispielsweise bei Spurwechseln oder Hindernisvermeidung. Zusätzlich wurde die Plattform als Sicherheitslayer konzipiert, der bestehende autonome Systeme ergänzt. Das bedeutet, sie kann in Situationen einspringen, in denen HD-Kartenbasierte Systeme unzuverlässig oder unbrauchbar sind.

## Unsere „Mapless Autonomy“-Plattform erstellt Karten in Echtzeit, wodurch hohe Kosten und zeitaufwendige Kartierungen entfallen.

**IM+io Ihr Projekt mit „TIER IV“ testet seit 2024 autonome Lkw auf Japans Autobahnen, um den Fahrer:innenmangel in der Frachtindustrie zu lösen. Welche Erfahrungen haben Sie dort gemacht, und wie unterscheidet sich der Ansatz in Japan im Vergleich zu Deutschland, insbesondere in Bezug auf die Förderung und Umsetzung autonomer Technologien?**

**AW:** Wir arbeiten in diesem Rahmen mit unserem Projektpartner TIER IV zusammen und unterstützen ihn bei der Integration unserer Plattform. Konkrete Ergebnisse des Projekts können wir derzeit nicht öffentlich teilen, doch es zeigt, wie wichtig Japan als Markt für solche Technologien ist. Japan zeichnet sich durch eine starke Innovationskraft und einen hohen Grad an Automatisierung aus. Ein treibender Faktor ist der



**Dr. Alexander Wischnewski**

Wischnewski ist verantwortlich für die Produktstrategie der autonomen Plattform von driveblocks und deren Gesamtdesign und Architektur. Bevor er zu driveblocks kam, war er Teamleiter und Systemarchitekt des siegreichen Indy Autonomous Challenge Teams der Technischen Universität München. Darüber hinaus hat er während seiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Regelungstechnik Systeme zur Bewegungssteuerung von Fahrzeugen entwickelt und verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der Softwareentwicklung und der Implementierung von Robotersystemen.

**Kontakt**

alexander.wischnewski@  
driveblocks.ai  
www.driveblocks.ai



demografische Wandel: Ähnlich wie in Deutschland wird die Bevölkerung älter, und die Verfügbarkeit von Arbeitskräften sinkt. Die japanische Regierung und die Industrie reagieren darauf proaktiv mit gezielten Investitionen in Automatisierung und Robotik. Im Gegensatz zu Deutschland sind in Japan die Umsetzung von Pilotprojekten und der Übergang in die Praxis oft schneller und strukturierter.

In Deutschland gibt es viele vielversprechende Förderprojekte, jedoch sind diese oft klein und fragmentiert. Es gibt zahlreiche Universitäts- oder Demonstrationsprojekte mit ein oder zwei Fahrzeugen, aber selten groß angelegte Initiativen. Japan hingegen setzt auf langfristige Strategien und eine klar strukturierte öffentliche Beschaffung, was Unternehmen mehr Planungssicherheit gibt. In Deutschland könnten wir von dieser Konsequenz lernen, um unsere eigenen Innovationsprozesse zu beschleunigen und autonomes Fahren schneller in die Breite zu bringen.

**IM+io** Sicherheit ist auch ein zentrales Thema. Wie gewährleisten Sie, dass Ihre Systeme zuverlässig und sicher sind?

**AW:** Wir setzen auf mehrere Sicherheitsmechanismen, die ineinandergreifen. Erstens verwenden wir eine Kombination aus Kameras und Laserscannern, um Redundanz zu schaffen. Jede dieser Technologien hat ihre eigenen Stärken und Schwächen – durch die Kombination gleichen wir das aus und stellen sicher, dass das Fahrzeug selbst bei einem Ausfall eines Sensors weiterhin sicher operieren kann.

Zweitens haben wir unser KI-System in mehrere Teilsysteme zerlegt. Jedes dieser Teilsysteme arbeitet unabhängig und analysiert einen bestimmten Aspekt der Umgebung. Die Ergebnisse dieser Systeme werden anschließend in einem Fusionsansatz zusammengeführt. Das sorgt für zusätzliche Zuverlässigkeit, da die Entscheidungen nicht auf einem einzigen System basieren.

Darüber hinaus orientieren wir uns eng an geltenden Normen und Standards, um sicherzustellen, dass unsere Technologie den höchsten Sicherheitsanforderungen entspricht. Wir führen regelmäßige Tests und Simulationen durch, um die Zuverlässigkeit unserer Systeme zu gewährleisten. Wir analysieren zudem Daten aus realen Fahrsituationen und simulierten Extremszenarien, um mögliche Schwachstellen frühzeitig zu erkennen

und zu beheben. Zusätzlich arbeiten wir mit externen Prüfinstituten zusammen. So stellen wir sicher, dass unsere Technologien nicht nur den aktuellen, sondern auch zukünftigen Sicherheitsstandards entsprechen.

---

## **Autonome Systeme transformieren Arbeitsplätze, indem sie Mitarbeiter:innen von reinen Bedienern zu Koordinator:innen machen.**

---

**IM+io** Arbeiten Sie mit Lkw-Herstellenden zusammen, um den Einbau zu optimieren?

**AW:** Wir liefern die Software und die KI-Modelle, die dann in die Fahrzeuge integriert werden. Die Hersteller:innen haben dabei die Flexibilität, zu entscheiden, welche Sensoren sie verwenden, wo diese angebracht werden und welche Computer eingesetzt werden. Es handelt sich also um eine Partnerschaft, bei der wir die Technologie bereitstellen und die Hersteller:innen sie an ihre spezifischen Anforderungen anpassen. Gleichzeitig unterstützen wir sie dabei, die Sicherheitsanforderungen zu erfüllen und die Systeme effizient in ihre Produktions- und Entwicklungsprozesse zu integrieren.

**IM+io** Manche sagen, autonome Fahrzeuge könnten Arbeitsplätze im Transportbereich gefährden. Was sagen Sie dazu, und welche Rolle nimmt driveblocks dabei ein?

**AW:** Diese Sorge ist verständlich, aber wir sehen Automatisierung nicht als Ersatz für Arbeitsplätze, sondern als Chance zur Transformation. Statt selbst auf einer Maschine zu sitzen, können Mitarbeiter:innen künftig mehrere Fahrzeuge überwachen und koordinieren. Das verändert die Rolle hin zu einer koordinierenden Tätigkeit und

macht die Arbeit produktiver. In Branchen wie Logistik oder Landwirtschaft, wo Fachkräftemangel ein großes Problem ist, entlastet Automatisierung die Belegschaft und steigert die Effizienz. Dabei ist uns wichtig, das Fachwissen der Mitarbeiter:innen einzubinden.

---

## **Automatisierte Fahrzeuge können durch gleichmäßigeres und defensiveres Fahren substantiell weniger Energie verbrauchen.**

---

**IM+io** Welche Rolle spielen Kosten bei der Entwicklung und Implementierung autonomer Technologien, und wie wirkt sich das auf Unternehmen und Endverbraucher aus?

**AW:** Kosten spielen eine zentrale Rolle bei der Entwicklung autonomer Technologien, da hohe Investitionen nötig sind, oft im Millionenbereich. Unternehmen profitieren von Einsparungen von bis zu 50 Prozent durch geringere Personalkosten und effizienteren Maschineneinsatz, besonders in Branchen wie Logistik und Landwirtschaft. Für Endverbraucher ist die Einführung ein langsamer Prozess, da hohe Implementierungskosten bestehen. Skalierung, Wartung und regelmäßige Updates sind entscheidend, wobei zukünftig Abonnement- oder Pay-per-Use-Modelle möglich sind. Letztendlich betrachten wir Automatisierung nicht nur als Möglichkeit, Kosten zu senken, sondern auch als Hebel, um die Produktivität zu steigern und steigende Betriebskosten langfristig zu bewältigen.

**IM+io** Welche Rolle spielt Nachhaltigkeit bei driveblocks, und wie wird daran gearbeitet?

**AW:** Nachhaltigkeit ist ein zentraler Bestandteil unserer Arbeit. Automatisierte Fahrzeuge können

durch gleichmäßigeres und defensiveres Fahren substantiell weniger Energie verbrauchen. Das ist ein erheblicher Vorteil, insbesondere bei Flotten mit vielen Fahrzeugen.

Zusätzlich arbeiten wir intensiv daran, unsere KI-Modelle energieeffizient zu gestalten. Das betrifft sowohl die Hardware in den Fahrzeugen als auch das Training der Modelle in Rechenzentren. Gerade in einer Zeit, in der der Energiebedarf durch Elektrofahrzeuge, KI und andere Technologien stetig steigt, ist es entscheidend, Ressourcen effizient zu nutzen.

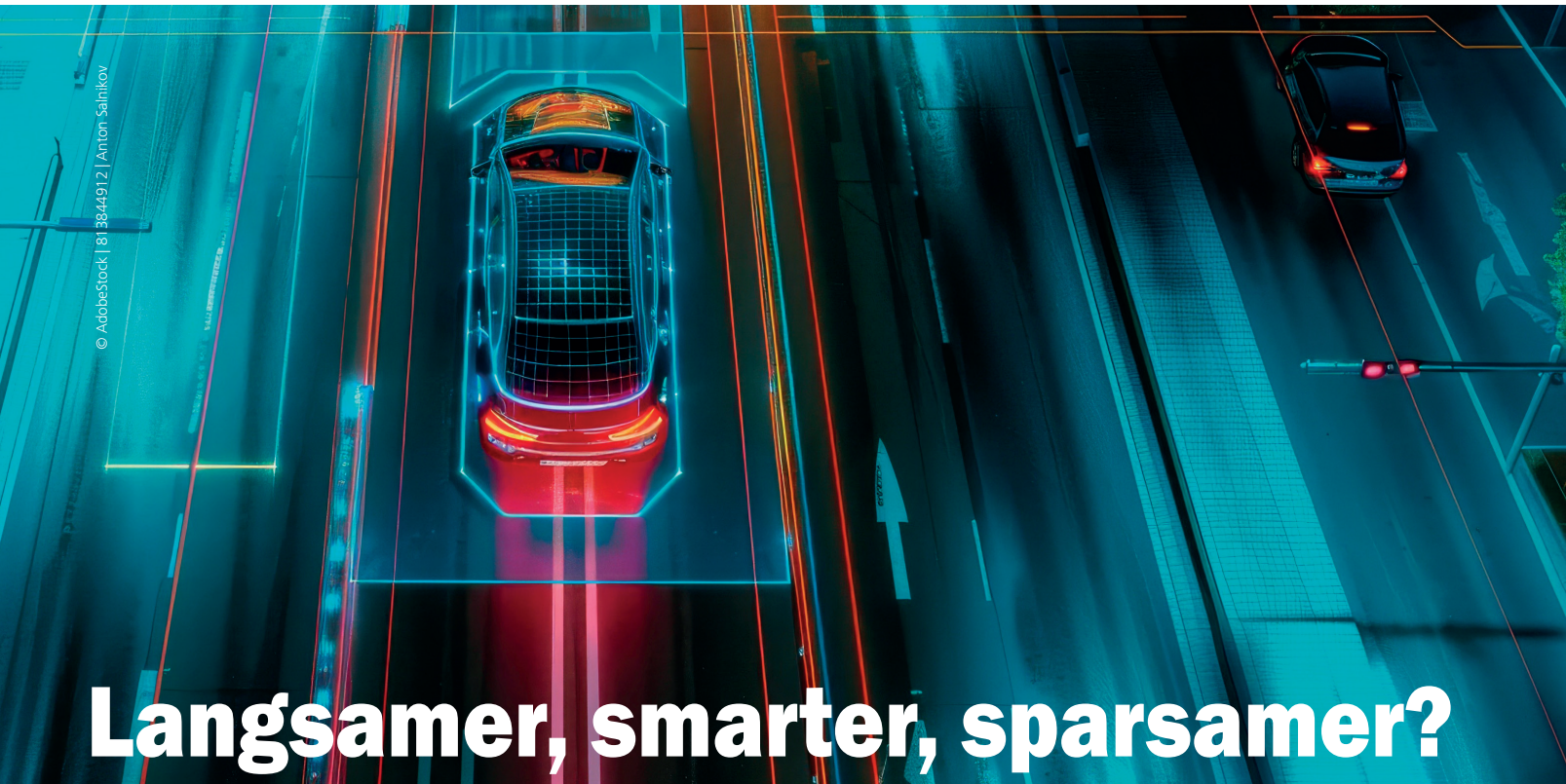
**IM+io** Wie sehen Sie die Zukunft des autonomen Fahrens mittel- und langfristig?

**AW:** Autonomes Fahren wird schrittweise eingeführt, zunächst in kontrollierten Umgebungen wie Logistikzentren, Baustellen und landwirtschaftlichen Betrieben. Langfristig könnten autonome Fahrzeuge auch den öffentlichen Nahverkehr oder ländliche Regionen besser erschließen. Für private Nutzer:innen bleibt die Technologie jedoch vorerst ein Nischenthema, während die Industrie und der öffentliche Verkehr in den nächsten Jahrzehnten die größten Fortschritte machen werden. ■

### **Kurz und Bündig**

Autonomes Fahren entwickelt sich rasant weiter – mit Technologien, die auf Echtzeit-Sensordaten statt vorab erstellte Karten setzen. Diese Ansätze reduzieren nicht nur Kosten, sondern schaffen Flexibilität in dynamischen Umgebungen wie Logistikzentren. Automatisierung adressiert zudem drängende Herausforderungen wie Fachkräftemangel und steigende Betriebskosten. Im Fokus stehen auch Nachhaltigkeit und neue Geschäftsmodelle, die langfristige Effizienz und Klimaschutz vereinen.





# Langsamer, smarter, sparsamer?

## Warum Geschwindigkeit über Effizienz entscheidet

Thomas Grube, Edgar Jungblut, Forschungszentrum Jülich GmbH

Die nächtliche Autobahn zieht sich endlos dahin, und mit jedem Kilometer schwindet die Aufmerksamkeit. Doch solche monotonen Aufgabe könnten bald autonome Steuerungssysteme im Fahrzeug übernehmen. Die Fahrenden werden entlastet und die Fahrweise wird gleichmäßiger. Solche Technologien sollen den Energiebedarf senken, aber welche Faktoren bestimmen eigentlich den Energiebedarf automatisierter Fahrzeuge, und wo liegen die größten Herausforderungen?

Die Einführung von Technologien für automatisiertes Fahren wirft die Frage auf, wie sich diese Entwicklungen auf den Energiebedarf von Fahrzeugen auswirken. Dieser ist ein entscheidender Faktor sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Sicht. Veränderungen ergeben sich in diesem Zusammenhang aufgrund angepasster Fahrprofile, etwa durch optimierte Geschwindigkeiten oder effizientere Fahrweisen.

Ein oft übersehener Faktor sind sogenannte Nebenverbraucher – elektrische oder mechanische

Systeme, die nicht direkt zur Fortbewegung beitragen, aber dennoch Energie benötigen. Dazu zählen beispielsweise Klimaanlage, Beleuchtungssysteme, elektrische Servolenkung oder Infotainment-Systeme. Besonders in automatisierten Fahrzeugen kommen leistungsstarke Sensoren und Recheneinheiten hinzu, die kontinuierlich Daten generieren und verarbeiten und somit zusätzlichen Stromverbrauch verursachen.

Bei Elektrofahrzeugen wird dieser Mehrbedarf aus der Batterie oder Brennstoffzelle gedeckt, während Verbrenner ihn durch eine

höhere Motorleistung kompensieren müssen. Frühere Studien zeigen, dass der Energiebedarf dieser Nebenverbraucher insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten einen erheblichen Einfluss auf den Gesamtverbrauch haben kann [1]. Dennoch wurde dieser Aspekt bei automatisierten Fahrzeugen bislang oft vernachlässigt. In diesem Beitrag werden daher Simulationsergebnisse vorgestellt, die den Einfluss der Automatisierung auf den Energiebedarf von Pkw und Lkw deutlich machen.

### Einfluss des Fahrverhaltens auf den Energiebedarf

Um den Einfluss der Fahrzeugautomation auf den Energiebedarf von Pkw und Lkw zu untersuchen, wurden verschiedene Fahrscenarien simuliert. Dabei wurden Standardfahrzyklen angepasst, um realistische Effekte des automatisierten Fahrens nachzubilden. Berücksichtigt wurden unter anderem eine vorausschauendere und gleichmäßigere Fahrweise sowie reduzierte Geschwindigkeiten – etwa für Lkw auf Autobahnen und Pkw im Stadtverkehr.

Die untersuchten Szenarien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Nicht-automatisiertes Fahren (Referenzszenario):** Standardfahrzyklen ohne zusätzliche Energiebedarfe.
- **Automatisiertes Fahren ohne Einfluss auf den Fahrzyklus:** Energiebedarf durch Sensoren und Computer, aber unveränderte Fahrprofile.
- **Automatisiertes Fahren mit optimierter Fahrweise:** Gleichmäßigere Geschwindigkeit und präzisere Vorhersagen dank einer vollständig vernetzten Fahrzeugflotte.
- **Automatisiertes Fahren mit reduzierten Geschwindigkeiten:** Pkw mit 30 km/h und ohne Ampelstopps innerorts, Lkw mit 70 km/h auf Autobahnen.

In der Literatur werden für Lkw bei einer reduzierten Höchstgeschwindigkeit von 70km/h anstelle von 90km/h potenzielle Vorteile diskutiert, falls automatisierte Fahrzeuge ohne reguläre Lenkpausen und Ruhezeiten betrieben werden. Dazu zählen insbesondere die Möglichkeiten, Lärmemissionen und Infrastrukturbelastung zu verringern [15].

Für Pkw werden allgemein reduzierte Lärmemissionen und Unfallrisiken sowie eine

geringere Unfallschwere als mögliche Vorteile einer reduzierten Höchstgeschwindigkeit in Städten angeführt. Eine direkte Untersuchung dieser Effekte erfolgte in dieser Arbeit jedoch nicht.

### Leistungsbedarf von Sensoren und Rechensystemen

Ein wesentlicher Aspekt bei automatisierten Fahrzeugen ist der zusätzliche Energiebedarf für die benötigten Sensoren und Rechenleistungen. Dieser wird in der Literatur sehr unterschiedlich bewertet, da sich die Technologie rasant weiterentwickelt. Während der Energiebedarf der Sensoren – insbesondere Radarsysteme, Kameras und Lidar – meist moderat ausfällt, ist der Verbrauch der Computer-Hardware deutlich höher.

Untersuchungen zeigen einen Gesamtleistungsbedarf zwischen **192 W und 3000 W**, abhängig von der verwendeten Technologie und dem Redundanzgrad der Systeme [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Für diese Analyse wurde ein **Referenzwert von 1000 W** angesetzt. Aufgrund der großen Schwankungen wurde zusätzlich für Pkw im Stadtverkehr eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Auswirkungen eines reduzierten oder erhöhten Energiebedarfs besser einschätzen zu können.

### Berechnung des Fahrwiderstands und Energiebedarfs

Für die Verbrauchsanalyse wird ein längsdynamisches Fahrzeugmodell genutzt, das auf standardisierten Fahrzyklen basiert. Für jede Fahrsituation wird der mechanische Energiebedarf berechnet, indem verschiedene Widerstands-



**Dr.-Ing. Thomas Grube**

Thomas Grube leitet am Forschungszentrum Jülich in der Jülicher Systemanalyse (ICE-2) das Forschungsteam Verkehrsszenarien. Zentrale Themen seiner Arbeit sind Mobilitätsverhalten sowie techno-ökonomische Analysen und Bewertungen von Verkehrssystemen. Thomas Grube studierte Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen und wurde an der TU Berlin zum Dr.-Ing. promoviert. Er ist Vorsitzender des VDI-Fachausschusses Wasserstoff und Brennstoffzelle.

#### Kontakt

th.grube@fz-juelich.de  
www.fz-juelich.de

---

## Automatisierte Fahrzeuge benötigen zusätzliche Energie für Sensoren und Recheneinheiten – ein oft übersehener Faktor, der insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten den Gesamtverbrauch erheblich beeinflussen kann.





#### Edgar Jungblut

Edgar Jungblut ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Jülicher Systemanalyse am Forschungszentrum Jülich. Zentrale Themen seiner Arbeit im Forschungsteam Verkehrsszenarien sind die Modellierung von Verkehrsaufkommen im Personen- und Güterverkehr sowie die Bewertung von zukünftigen Technologien wie dem automatisierten Fahren. Edgar Jungblut studierte Physik an der Universität Duisburg-Essen und befindet sich in einem Promotionsverfahren zum Dr. rer. nat. an der RWTH Aachen.

#### Kontakt

e.jungblut@fz-juelich.de  
www.fz-juelich.de

kräfte berücksichtigt werden:

- **Rollwiderstand:** Der Widerstand, der durch die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn entsteht.
- **Luftwiderstand:** Der Widerstand, der durch den Luftstrom während der Fahrt verursacht wird.
- **Beschleunigungswiderstand:** Die Energie, die benötigt wird, um das Fahrzeug zu beschleunigen oder abzubremesen.

Steigungen der Fahrbahn bleiben in dieser Berechnung unberücksichtigt. Weitere technische Details dazu sind in der Studie von Jungblut et al. (2023) [2] beschrieben.

Neben dem Energiebedarf für den Antrieb werden auch antriebsunabhängige Verbraucher berücksichtigt – also Systeme, die nicht direkt für die Bewegung des Fahrzeugs erforderlich sind, aber dennoch Energie verbrauchen. Dazu gehören beispielsweise Klimaanlagen, Beleuchtung und die Steuerungselektronik. Zusätzlich wird der Energiebedarf des Automatisierungssystems, bestehend aus Sensoren und Recheneinheiten, einbezogen.

Da der Verbrauch von Pkw aufgrund der geringeren Antriebsleistung deutlich stärker auf Nebenverbraucher reagiert, wird der Energiebedarf des Automatisierungssystems für Pkw im Stadtverkehr variiert. Bei Lkw bleibt er hingegen konstant, da der zusätzliche Energiebedarf im Verhältnis zum Gesamtverbrauch weniger ins Gewicht fällt.

#### Parameter und Effizienz der Fahrzeuge

Die Analyse berücksichtigt spezifische Fahrzeugparameter für einen Mittelklasse-Pkw und einen Lkw der Nutzfahrzeugklasse N3 – das

sind schwere Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 12 Tonnen.

Dabei spielen Fahrzeugmasse, Luft- und Rollwiderstand sowie die Querschnittsfläche eine wichtige Rolle, da sie den Energiebedarf maßgeblich beeinflussen. Der Pkw wiegt inklusive Passagiere **1624 kg**, während der Lkw mit voller Nutzlast auf **24.734 kg** kommt. Aufgrund seiner größeren Fläche und des höheren Luftwiderstandsbedarfs benötigt der Lkw mehr Energie.

Für einen Lkw der Nutzfahrzeugklasse N3 wurde ein Energiebedarf für Nebenverbraucher von **8660 W** angenommen [9]. Bei einem Mittelklasse-Pkw liegt dieser Wert deutlich niedriger, bei **600 W** [12][13]. Der Zusatzenergiebedarf des Automatisierungssystems wird mit **1000 W** angenommen.

Während der Einfluss dieser zusätzlichen Energieaufnahme beim Lkw aufgrund der hohen Grundlast gering ist, spielt sie beim Pkw eine bedeutendere Rolle und kann den Gesamtverbrauch spürbar erhöhen.

Der Gesamtenergiebedarf wird unter Berücksichtigung der **Wirkungsgrade einzelner Komponenten** berechnet. In dieser Studie werden zur Vereinfachung ausschließlich batterieelektrische Fahrzeuge betrachtet, die Ergebnisse sind prinzipiell jedoch auf Fahrzeuge mit anderen Antriebsarten übertragbar. Es sind daher folgende Wirkungsgrade relevant:

- **Elektromaschine:** 88,5 Prozent
- **Antriebswirkungsgrad:** 95,1 Prozent
- **Batteriewirkungsgrad:** 93,1 Prozent

Beim Bremsen wird, soweit möglich, Energie zurückgewonnen (**Rekuperation**). 80 Prozent der überschüssigen Bremsenergie werden rekuperiert. Wenn die zurückgewonnene Energie den Hilfsenergiebedarf übersteigt, wird sie in die Batterie zurückgespeist.

#### Ergebnisse der Verbrauchssimulationen: Automatisierte vs. nicht-automatisierte Fahrzeuge

Die Ergebnisse der obigen Szenariodefinitionen für Pkw und Lkw vergleichen automatisiertes und nicht-automatisiertes Fahren sowie unterschiedliche Fahrzyklen und Zusatzleistungen einschließlich der Sensitivitätsanalysen. Welche Effekte hat die zusätzliche Rechenleistung der Automatisierung auf den Gesamtverbrauch? In welchen Szenarien überwiegt der Vorteil einer

**Während automatisierte Lkw durch eine gleichmäßigere Fahrweise Energie einsparen können, übersteigt der Zusatzverbrauch der Automatisierungstechnik bei Pkw im Stadtverkehr oft die Effizienzgewinne.**

optimierten Fahrweise, und wo wird der Mehrverbrauch zum entscheidenden Faktor?

### Pkw – Energiebedarf und Automatisierung

Ein nicht-automatisierter Pkw verbraucht laut den Berechnungen auf der Autobahn **20,4 kWh<sub>el</sub>/100km**. Durch den Zusatzbedarf von **1000 W** steigt dieser Wert bei einem automatisierten Fahrzeug um **4,7 Prozent**. Wenn eine gleichmäßigere Fahrweise berücksichtigt wird, kann dieser Mehrverbrauch jedoch ausgeglichen werden, wodurch der Gesamtverbrauch um **1,0 Prozent** sinkt.

Im Stadtverkehr liegt der Verbrauch eines nicht-automatisierten Pkw bei **14,5 kWh<sub>el</sub>/100km**. Da die Fahrgeschwindigkeit niedriger ist, fällt der Energiebedarf für Nebenverbraucher bei einem konstanten Leistungsbedarf stärker ins Gewicht. Der automatisierte Pkw benötigt bei einem angenommenen Leistungsbedarf von **1000 W** **32,4 Prozent** mehr Energie als sein nicht-automatisiertes Pendant. Selbst wenn Fahrgeschwindigkeit und Stopps optimiert werden, bleibt der Verbrauch immer noch **17,2 Prozent** höher. Wird in der Sensitivitätsanalyse die obere Grenze von **3000 W** für den Leistungsbedarf des Automatisierungssystems angenommen, steigt der Gesamtverbrauch im Stadtverkehr um **69,2 Prozent** im Vergleich zu einem nicht-automatisierten Pkw. Der Nebenenergiebedarf übertrifft hier sogar den eigentlichen mechanischen Energiebedarf um **80 Prozent**. Umgekehrt führt ein Zusatzbedarf von **200 W** dazu, dass der Gesamtverbrauch um **21,2 Prozent** unter dem Wert eines nicht-automatisierten Pkw liegt – die positiven Effekte des optimierten Fahrverhaltens überwiegen in diesem Fall den Mehrverbrauch durch das Automatisierungssystem.

### Lkw – Potenzial zur Verbrauchsreduktion

Ein nicht-automatisierter Lkw hat im Autobahnverkehr einen Energiebedarf von **122,6 kWh<sub>el</sub>/100km**, der hauptsächlich durch den mechanischen Energiebedarf bestimmt wird. Für den automatisierten Lkw steigt der Gesamtverbrauch durch den zusätzlichen Leistungsbedarf von **1000 W** zunächst um **1,0 Prozent**. Dieser Mehrbedarf kann jedoch durch eine gleichmäßigere Fahrweise ausgeglichen werden, sodass insgesamt eine Einsparung von **4,1 Prozent** erreicht wird. Eine Reduzierung der Geschwindigkeit von **90 km/h auf 70 km/h** senkt den Verbrauch um **15 Prozent**.

### Kraftstoffverbrauch und Automatisierung: Was bleibt, was kommt?

Automatisierte Lkw profitieren von angepassten Fahrstrategien, insbesondere durch eine Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit von 90 auf 70 km/h, was den Energiebedarf auf Autobahnen deutlich senkt. Zu bedenken ist, dass eine verringerte Geschwindigkeit für nicht-automatisierte Lkw nicht in Frage kommt, da die Betriebskosten und der Fahrerbedarf dadurch steigen würden. Da der Zusatzverbrauch durch Sensoren und Rechenleistung im Verhältnis zum Gesamtverbrauch gering ist, bleibt der Effizienzvorteil erhalten. Bei Pkw ist die Situation anders: Eine Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit im Stadtverkehr senkt zwar den Antriebsenergiebedarf, doch der hohe Zusatzverbrauch der Automatisierungstechnik übersteigt diesen Vorteil oft. Selbst optimierte Fahrprofile und weniger Stopps reichen nicht aus, um den Mehrverbrauch auszugleichen. Eine deutliche Verringerung des Strombedarfs für Rechenleistung und Sensorik ist damit essentiell, um bei automatisierten Pkw die Verbrauchsvorteile des automatisierten Fahrens umzusetzen.

Automatisierte Lkw profitieren von gleichmäßigerer Fahrweise, während der hohe Energiebedarf für Sensoren und Computersysteme Pkw vor Herausforderungen stellt – besonders im Stadtverkehr. Die Effizienz dieser Systeme bestimmt damit deren Zukunftsfähigkeit. ■

### Kurz und Bündig

Automatisierte Fahrzeuge beeinflussen den Energiebedarf auf unterschiedliche Weise. Lkw profitieren von einer gleichmäßigeren Fahrweise und reduzierter Geschwindigkeit: Eine durch den Wegfall der Lenkpausen und Ruhezeiten prinzipiell mögliche Senkung von 90 auf 70 km/h führt zu einem um rund 15 Prozent geringeren Energiebedarf. Bei Pkw hingegen steigt der Verbrauch durch die Zusatzleistung der Automatisierungssysteme. Im Stadtverkehr erhöht sich der Energiebedarf um bis zu 32 Prozent. Selbst eine reduzierte Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h und optimierte Stopps können den Mehrverbrauch nicht ausgleichen. Dies könnte den Nutzen des automatisierten Fahrens stark einschränken.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/3X0kDzA>





## Martin Schichtel, Kraftblock

Die deutsche Industrie macht sich auf den Weg, klimaneutral zu produzieren. Dabei stolpert sie über ihr größtes Problem: Wärmeerzeugung grün zu gestalten. Da Wasserstoff zu teuer oder nicht vorhanden ist und Bioenergie sich nur schwer skalieren lässt, rückt die Elektrifizierung in den Fokus der Bemühungen. Weil mit dem günstigen Strom aus Sonne und Wind auch volatile Erzeugung einhergeht, wird Elektrifizierung nur noch mit Speicher gedacht. Für die Wärmeprozesse sind die benötigten Kapazitäten und Effizienz allerdings nicht bei Batterien zu finden. Hier kommen thermische Speicher für die Industrie auf den Plan.



Wie der Name Wärmespeicher schon sagt, wird nicht in Form von chemischer oder mechanischer Energie, sondern als Wärme gespeichert. Das ist kein neues Konzept, sondern bekannt in den Warmwasserspeichern und Nachtspeichern für zuhause. Auch die Stahlindustrie nutzt es seit mehr als 150 Jahren mit den Winderhitzern. Diese erhitzen mit den Abgasen des Hochofens Steine und heizen zeitversetzt frische Luft vor, die in den Hochofen geblasen wird.

Genau dieses Konzept hat Kraftblock übernommen. Heiße Abgase oder heiße Luft bis zu 1.300°C durchströmt den Speicher, und das Material darin erhitzt sich. Die Isolierung des Containers wird so ausgelegt, dass fast keine Wärme verloren geht. Somit kann man die Wärme zwischen Stunden und sogar bis zu zwei Wochen ökonomisch vorhalten.

Wenn man die Wärme braucht – im industriellen Kontext nutzt man sie üblicherweise am selben Tag oder am Tag darauf – bläst das System Umgebungsluft in den Speicher. Diese Luft erhitzt sich am Material und nimmt die Energie mit zum Prozess. Auf dem Weg kann mittels Wärmetauscher oder Dampferzeuger das Wärmedium geändert werden. Dampf, Warmwasser, Thermoöl, sterile Luft oder andere Gase decken fast alle industriellen Prozesse ab.

### Abwärme und Strom nutzen

Der Speicher im System bleibt immer gleich. Die Peripherie ist allerdings flexibel, was eine Vielzahl an Anwendungen ergibt. Während Sonnenkollektoren auf Hochtemperatur in Deutschland kaum sinnvoll anwendbar sind, gibt es eine große Menge erneuerbaren Stroms. Der kann entweder aus dem Netz oder von eigenen Anlagen genutzt und mittels Widerstandsheizern in Wärme bis zu 1.200°C umgewandelt werden. Eine weitere Energiequelle für die Industrie ist die Abwärme aus Abgasströmen. Kraftblock greift diese Abwärme üblicherweise vor der Reinigung ab, bei 350°C oder höher. (Abb.1)

Bei diesen Zahlen kommt die Frage auf, wer außer der Metallindustrie das braucht. Allerdings reguliert das Kraftblocksystem die Temperatur für die Nutzenden. Ob Niederdruckdampf für die Industrie oder Heißluft zum Ersatz von Brennern, ob 50°C oder 1.300°C im Prozess, die Anlagen bleiben im Kern gleich. Der Hochtemperatur-Ansatz dient nicht nur extremen Anwendungen. Er ermöglicht auch eine hohe Energiedichte. Das führt dazu, dass der

Speicher kleiner und insbesondere die mögliche Versorgungszeit von Prozessen auf Nieder- oder Mitteltemperatur länger wird. Die Speichergröße wiederum bestimmt die Kosten: Kleinere Speicher brauchen weniger Stahl und weniger Isolierungsmaterial.

### Wirtschaftsmodelle eines thermischen Speichers

Das Geschäftsmodell der Innovation besteht zum größten Teil darin, Betriebskosten zu senken sowie Kosten für den Ausstoß von Treibhausgasen zu vermeiden. Im Falle der Abwärmennutzung ist das simpel: Bereits genutzte Energie wird noch einmal benutzt, was den Energiebedarf insgesamt verringert. Das Potenzial in Deutschland hierzu ist riesig und bewegt sich zwischen 125 TWh und 225 TWh pro Jahr.

Bei der Elektrifizierung wird der Speicher aufgeladen, wenn der Strom günstig ist, und teure Stromzeiten können damit überbrückt werden. Nun beklagen Industrieunternehmen mit Recht die hohen Preise für Strom in Deutschland. Dabei ist nicht die Erzeugung von Strom teurer als die Nutzung von Erdgas, im Gegenteil: Strom aus Sonne und Wind sind günstiger als Erdgas.

Allerdings sind die Netzentgelte und Steuern, die auf den Erzeugungspreis kommen, zu teuer, um günstiger als das klimaschädliche Erdgas zu sein. Momentan schlägt die Elektrifizierung mit thermischen Speichern Erdgas in 200 Vollaststunden. Ohne Netzgebühren wären es um die 5.500 Vollaststunden laut Bundesverband Energiespeichersystem (BVES).

Das Stromsystem wird sich bald ändern und sich der volatilen Erzeugung anpassen müssen. Flexible, nicht konstante Abnahme von Strom wird dann belohnt. Thermische Speicher laden flexibel, geben der Industrie aber weiterhin rund um die Uhr Versorgungssicherheit.



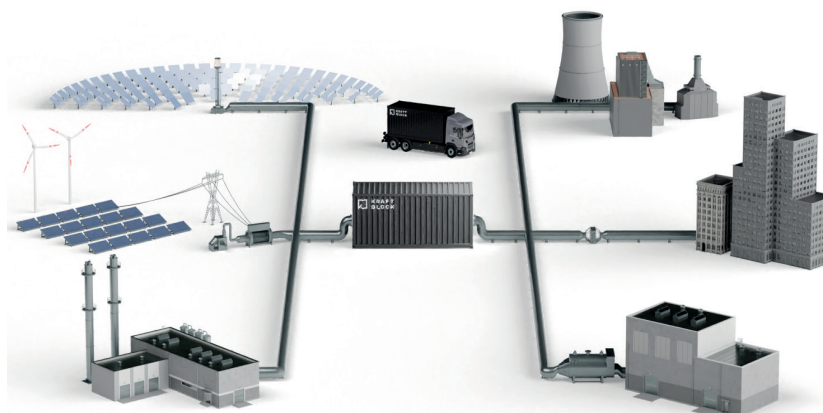
**Martin Schichtel**

Martin Schichtel (CEO) promovierte in Chemie an der Universität des Saarlandes. In seiner Forschung fokussierte er sich auf Nanopartikel-Verbundwerkstoffe und Smart Coatings. Er arbeitete 20 Jahre in der Materialentwicklung und in verschiedenen Industrien. 2014 gründete er Kraftblock zusammen mit Susanne König, um mit einem nachhaltigen und kostengünstigen Hochtemperatur-Speicher die Industrie zu dekarbonisieren und die Energiewende zu ermöglichen.

### Kontakt

welcome@kraftblock.com  
www.kraftblock.com

Abbildung 1: Schematische Darstellung der möglichen Energiequellen und Anwendungen des Kraftblockspeichers. (Kraftblock)





Damit muss die Produktion nicht eingeschränkt oder umgestellt werden. Bis die Netzentgelte geändert werden, ist die beste Möglichkeit in Deutschland, mit eigenen PV- oder Windanlagen oder PPAs über private Kabel zu elektrifizieren.

---

## **Thermische Speicher laden flexibel, geben der Industrie aber weiterhin rund um die Uhr Versorgungssicherheit. Damit muss die Produktion nicht eingeschränkt werden.**

---

### **Das Herz des Speichers: Ein nachhaltiges Material**

Die Anlagen von Kraftblock bestehen aus vielen schlau kombinierten Standardteilen wie Gebläse, Widerstandserhitzer, Rohren, Containern und Wärmetauscher. Das Material ist eine eigene Erfindung und bestimmt über die Energiekapazität, Effizienz, Haltbarkeit, Preis und die Nachhaltigkeit. Während die Preise für Lithium-Batterien bereits stark gefallen sind, sind sie mindestens fünfmal, eher zehnmal teurer als das Kraftblock-Material.

Dafür wird nach jahrelanger Forschung ein Hauptbestandteil genutzt: Stahlschlacke. Das Nebenprodukt des Hochofens ist in großen Massen verfügbar und kennt fast keine Anwendungen. Es hält hohe Temperaturen aus, verändert sich nicht mehr und ist harmlos für die Umwelt. Vor allem kostet es fast nichts.

Bis zu 85 Prozent stellt es den Inhalt des Kraftblock-Materials. Die Schlacke wird, fein zermahlen, mit besonderen Additiven gemischt, die die Wärmeleitfähigkeit verbessern. Dann wird diese Pulvermischung wie bei einem Teig

mit einem flüssigen Binder gemischt, um die Körner auf Nano-Ebene zusammenzukleben. So verteilt sich die Wärme im gesamten Material.

Das Ergebnis ist üblicherweise ein rundes, stabiles Pellet. Es wurde auf 15.000 Zyklen getestet. Ein Zyklus ist dabei das Laden, Speichern und Entladen, und bei einem Einsatz pro Tag hätte es über 40 Jahre Lebensdauer. Dabei wurde keine Degradation festgestellt. Somit hatte das Material nach Abschluss dieselben Speichereigenschaften wie zu Beginn. Batterien verlieren mit der Zeit diese Eigenschaften und müssen nach maximal 10.000 Zyklen erneuert werden.

### **Einsatz in der Automobilindustrie**

Sieht man sich die thermischen Prozesse in der gesamten Wertschöpfungskette der Automobilindustrie an, ist zu erkennen, dass der Gesamtwärmebedarf einen sehr hohen Anteil hat. Beim Automobilhersteller selbst gibt es etwa folgende Prozesse:

- **Lackierung:** 160-180°C
- **Karosseriebau/ Schweißen:** 1500-2000°C
- **Wärmebehandlung von Motorenteilen:** 800-1000°C.
- **Härtung von Zahnrädern für E-Getriebe:** Über 900°C

Ungleich mehr Wärmeverbrauch gibt es in der Lieferkette:

- **Stahlherstellung:** Über 1000°C
- **Aluminiumverarbeitung und -Schmelzen:** 660-750°C
- **Glasherstellung:** 1500-1600°C
- **Kunststoffverarbeitung:** 150-350°C
- **Textilherstellung für Innenausstattung:** 100-200°C
- **Gummiherstellung und Reifenherstellung:** 140-180°C

Insgesamt macht die Prozesswärme etwa 66 Prozent des gesamten industriellen Energieverbrauchs in der Automobilindustrie aus. Die energieintensivsten Prozesse sind typischerweise die Stahlherstellung, die Lackierung und die Wärmebehandlung von Metallen. Diese Bereiche bieten auch das größte Potenzial für Energieeinsparungen und den Einsatz erneuerbarer Energien zur Prozesswärmeerzeugung.

Ein gezielter Wandel hin zu effizienteren Technologien und alternativen Energiequellen

könnte nicht nur den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck erheblich reduzieren, sondern auch langfristig Kosten senken und die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie stärken.

### Grüne Lackierung

Am Band der Automobilherstellung selbst, ist die Lackierung wärmeintensiv. Lack an Fahrzeugen, ob Auto oder Zug, wird zwischen 160°C und 180°C in großen Öfen getrocknet. Die Wärme dazu wird heutzutage in der Regel aus Erdgas erzeugt. Mit Kraftblocks Net-Zero-Heat-System, also der Nutzung erneuerbaren Stroms, kann das Erdgas ersetzt werden. Ein Umrüsten der konventionellen Öfen ist möglich und ein guter Weg für die Industrie, Emissionen zu reduzieren und überschüssigen Strom zu nutzen. Vergleichbar mit dieser Anwendung ist das Volt-Projekt. Hier baut Kraftblock sein System in der Lebensmittelindustrie. Bei PepsiCo in den Niederlanden wird ein 25 MW-Gaskessel ersetzt, und das Frittieren von Kartoffelchips bei etwa 300°C wird aus dem Kraftblock-Speicher versorgt.

### Anwendungen in Guss und Metall

Mit höheren Temperaturen arbeitet man in den Gießereien. Durch den Hochtemperaturansatz kann das Kraftblock-System mit der Umwandlung von Strom zu Wärme auch Gussprozesse von Aluminiumlegierungen abdecken und bei Eisenguss unterstützen. Auch die Abwärme von Schmelzöfen kann wieder genutzt werden. Zeitlich versetzt kann sie entweder zur Vorwärmung desselben Prozesses oder etwa Schrott genutzt werden. In der Metallverarbeitung gibt es dafür dutzende Anwendungen. Ein Abwärmesystem von Kraftblock steht beispielsweise bei einem Mittelständler für technische Keramik, Comet. Hier wird Abwärme aus Brennöfen wieder zur Vorwärmung des Ofens eingesetzt, was den Erdgasverbrauch reduziert.

### Anwendungen in der Elektromobilität

Auch in klimaneutraler Mobilität spielt Wärme vor allem in der Lieferkette eine Rolle. Der Lithiumbergbau ist sehr energieintensiv und beim Hartgesteinsbergbau, der 40 Prozent der globalen Lithiumgewinnung ausmacht, gibt es Kalzinierungsprozesse auf Hochtemperatur. Diese sowie das Acid-Roast-Verfahren können dekarbonisiert werden. Näher an der fertigen

Batterie kann die Trocknung von Elektrodenpaste mit Öfen von fossilen auf erneuerbare Energie umgestellt werden. Sie liegt im Bereich zwischen 100°C und 200°C. Dazu gibt es hohe Temperaturen, bis zu 500°C, bei der thermischen Behandlung von Batterien, wenn sie recycelt werden.

### Anwendungen im Recycling

Recycling ist für alle Fahrzeuge ein energieintensiver Prozess. Hier sind hochtemperierte Verfahren entscheidend für die effektive Rückgewinnung und Aufbereitung von Materialien aus Altfahrzeugen. Sie ermöglichen die Trennung und Reinigung von Metallen, die Umwandlung von Kunststoffen in verwertbare Rohstoffe und die Behandlung komplexer Komponenten wie Batterien. Beim Recycling von Metallen aus Fahrzeugkomponenten werden häufig pyrometallurgische Verfahren angewandt, die Temperaturen bis 2000°C erreichen können. Die Vorwärmung des Schrotts durch erneuerbaren Strom und auch durch Abwärme des Verfahrens reduziert den Brennstoffbedarf.

Pyrolyse für Kunststoffe und Reifen erzeugt Abwärme zwischen 400°C und 800°C und kann elektrifiziert werden. Weitere Anwendungen sind Vergasung und Sintern. Die Automobilindustrie muss auf saubere Hochtemperatur-Wärme umsteigen, wobei erneuerbarer Strom aus günstigen Zeiten die wirtschaftlichste Lösung ist. Effiziente Speichertechnologien werden dabei eine zentrale Rolle spielen. ■

### Kurz und Bündig

Klimaneutral produzieren heißt für die Industrie Elektrifizierung. Der günstige Preis von Sonne und Wind unterstützt diese Richtung, mit ihm kommt jedoch der Bedarf für Energiespeicher. In der Industrie ist Energie vor allem Wärme, und die wird am besten auch als Wärme gespeichert. Strom oder industrielle Abwärme kann sinnvoll auf Hochtemperatur gespeichert werden, um fossile Brennstoffe zu ersetzen und die Energieeffizienz zu erhöhen. Das kann in der Automobilindustrie in der kompletten Lieferkette helfen: von der Stahlerzeugung über Aluminiumguss bis zur Trocknung der Lackierung.





© AdobeStock | 1123415442 | M Jesus

# Grüner Wasserstoff:

## Zwischen Vision und Wirklichkeit

Adrian Odenweller, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Wasserstoff wird oft als Hoffnungsträger der Energiewende gehandelt. Er soll fossile Energieträger ersetzen, die Industrie nachhaltiger machen und schwer elektrifizierbare Bereiche wie den Flug- und Schiffsverkehr revolutionieren. Doch die Realität ist komplizierter: Hohe Produktionskosten, unklare Regularien und eine begrenzte Nachfrage stellen die Wasserstoffwirtschaft vor enorme Herausforderungen. Gleichzeitig zeigt sich, dass Wasserstoff in vielen Sektoren mit anderen Technologien konkurriert. Wie realistisch sind die Hoffnungen, die in Wasserstoff gesetzt werden? Welche politischen Weichenstellungen sind nötig, um den Energieträger sinnvoll in das Energiesystem zu integrieren?

**IM+io** Ihr Team erforscht die Rolle von Wasserstoff für die Klimaneutralität. Woran genau arbeiten Sie, und was ist Ihr Schwerpunkt?

**AO:** Wir gehören zum Energy Transition Lab am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Unsere Arbeit konzentriert sich auf Szenarien, die zeigen, wie Deutschland, die EU und auch die Welt bis 2050 klimaneutral werden können. Innerhalb des Labs leitet Falko Ueckerdt das Team, das sich mit Elektrifizierung, Wasserstoff und industriellen Anwendungen befasst. Mein Schwerpunkt liegt dabei auf Wasserstoff. Ich untersuche, wie sich globale Wasserstoffprojekte entwickeln, welche regulatorischen und ökonomischen Hürden bestehen und wie man die Produktion effizienter gestalten kann. Wasserstoff wird vor allem in der Industrie, etwa bei der Stahl- und Ammoniakproduktion, sowie in schwer elektrifizierbaren Bereichen wie dem Schiffs- und Flugverkehr, eine wichtige Rolle spielen.

**IM+io** Warum ist Wasserstoff für die Energiewende wichtig, und welche Branchen profitieren am meisten davon?

**AO:** Wasserstoff wird dort gebraucht, wo andere Technologien an ihre Grenzen stoßen. In der chemischen Industrie, der Stahlproduktion oder im Langstreckenverkehr wie Flugzeugen oder Schiffen sind hohe Energiedichten nötig, die Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe liefern können. Besonders interessant ist die Stahlindustrie: Wasserstoff kann hier Koks Kohle ersetzen, um Eisenerz in Roheisen umzuwandeln und Emissionen zu senken. Dies ist ein zentraler Schritt auf dem Weg zu grünem Stahl, der für Länder wie Deutschland von enormer Bedeutung ist.

Im Straßenverkehr hingegen sehen wir Wasserstoff zunehmend in einer Nischenrolle. Elektrische Antriebe haben sich durchgesetzt, da sie effizienter und kostengünstiger sind. Auch Biokraftstoffe konkurrieren mit Wasserstoff, haben jedoch oft Nachhaltigkeitsprobleme, etwa durch hohe Flächennutzung oder den Konflikt zwischen Nahrungs- und Energiepflanzenanbau.

**IM+io** Was sind die größten Herausforderungen, die eine breitere Nutzung von Wasserstoff derzeit verhindern?

**AO:** Die Hindernisse sind vielfältig. Ein zentraler Punkt sind die hohen Produktionskosten, die Wasserstoff derzeit in vielen Anwendungen unwirtschaftlich machen. Insbesondere die Kosten für Elektrolyseure und erneuerbaren

Strom sind trotz Fortschritten immer noch hoch. Zweitens fehlt es an einer gesicherten Nachfrage. Viele Projekte scheitern daran, dass es keine Abnehmer gibt, die bereit sind, Wasserstoff zu den aktuellen Preisen zu kaufen.

Drittens herrscht Unsicherheit über regulatorische Rahmenbedingungen. Zum Beispiel gibt es strenge Vorgaben, dass grüner Wasserstoff aus zusätzlichem erneuerbarem Strom erzeugt werden muss, um sicherzustellen, dass bestehende Netze nicht belastet werden. Solche Anforderungen bremsen möglicherweise den Markthochlauf, obwohl sie aus Nachhaltigkeitssicht sinnvoll sind.

---

## **Wasserstoff wird dort gebraucht, wo andere Technologien an ihre Grenzen stoßen – etwa in der Stahlproduktion, der chemischen Industrie oder im Flugverkehr. Im Straßenverkehr hingegen sehen wir Wasserstoff zunehmend in einer Nischenrolle.**

---

**IM+io** Was halten Sie von Brennstoffzellenautos im Vergleich zu batteriebetriebenen Elektroautos?

**AO:** Im Straßenverkehr, insbesondere bei Pkws, ist das Rennen zugunsten der batteriebetriebenen Elektroautos praktisch entschieden. Wasserstoffautos sind technologisch komplizierter und teurer, da der Wasserstoff zunächst aus Strom hergestellt, transportiert und im Auto wieder in Strom umgewandelt werden muss. Dabei geht in jedem Schritt Energie verloren.



**Adrian Odenweller**

Adrian Odenweller ist Doktorand im Energy Transition Lab am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Er forscht zur Rolle von Wasserstoff und E-Fuels für die Energiewende, insbesondere mit Blick auf den Markthochlauf und die Wettbewerbsfähigkeit.

### **Kontakt**

adrian.odenweller@  
pik-potsdam.de  
www.pik-potsdam.de



Batterieelektrische Fahrzeuge sind effizienter, da sie den Strom ohne diese Verluste direkt nutzen können. Auch die bestehende Infrastruktur, mit Stromleitungen und Ladeparks ist einfacher zu betreiben als die doppelte Infrastruktur, die Wasserstoff benötigen würde.

Wasserstoffautos haben in einigen Ländern wie Deutschland zunehmend Schwierigkeiten, weil es nur wenige Wasserstofftankstellen gibt und die Nachfrage gering bleibt. Selbst im Schwerlastverkehr, wo Wasserstoff als Alternative diskutiert wird, könnten leistungsfähigere Batterien und schnelle Ladeinfrastrukturen langfristig konkurrenzfähig sein. Im Straßenverkehr ist Wasserstoff daher eher ein Nischenprodukt und für Pkws kaum mehr relevant.

**IM+io** Gibt es Regionen oder Länder, die beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft besonders gut aufgestellt sind?

AO: Die USA und die EU sind die Vorreiter. Die USA fördern die Produktion massiv durch den Inflation Reduction Act, der enorme Steuervergünstigungen für Wasserstoff bietet. Die EU verfolgt einen etwas anderen Ansatz: Neben der Förderung der Produktion setzt sie auf verbindliche Quoten für die Nachfrage, etwa im Flugverkehr.

Ein Beispiel ist die Einführung von Beimischungsquoten für synthetisches Kerosin. Bis 2030 müssen 1,2 Prozent des Flugbenzins aus synthetischen Kraftstoffen bestehen, bis 2050 soll dieser Anteil auf 35 Prozent steigen. Das erhöht die Zahlungsbereitschaft der Fluggesellschaften und schafft Anreize für Investitionen.

**IM+io** Welche Anwendungen sehen Sie als wichtigste Einsatzbereiche für Wasserstoff?

AO: In Deutschland ist die Industrie der wichtigste Bereich. Die Stahlproduktion könnte mit

Wasserstoff auf klimaneutrale Verfahren umgestellt werden, etwa durch die direkte Reduktion von Eisenerz. Auch die chemische Industrie, insbesondere die Ammoniakproduktion, wird Wasserstoff als Grundstoff brauchen. Langfristig könnte Wasserstoff auch in der Energiespeicherung eine wichtige Rolle spielen. Überschüssiger Solarstrom im Sommer könnte in Wasserstoff umgewandelt und in geologischen Formationen gespeichert werden. Im Winter, während sogenannter Dunkelflauten, könnte dieser Wasserstoff rückverstromt werden, etwa in Wasserstoffturbinen. Das wäre ein wichtiger Beitrag zur Stabilisierung eines erneuerbaren Energiesystems.

**IM+io** Medial wird oft von einer ‚globalen Wasserstoffwirtschaft‘ gesprochen. Was denken Sie darüber?

AO: Ich bin skeptisch, ob der Begriff „globale Wasserstoffwirtschaft“ zutrifft. Wasserstoff wird eine Nischentechnologie bleiben, die in spezifischen Anwendungen unverzichtbar ist, aber keinen Großteil der globalen Energieversorgung übernehmen wird. Szenarien wie die der Internationalen Energieagentur (IEA) schätzen, dass Wasserstoff und seine Derivate etwa 5 bis 15 Prozent der Endenergieversorgung ausmachen könnten. Das ist bedeutend, aber weit entfernt von einem dominierenden Energieträger wie Öl oder Gas. Hauptprobleme sind die hohen Kosten und die Transportproblematik. Wasserstoff ist schwer zu speichern und zu transportieren, was ihn für den globalen Handel unattraktiv macht. Stattdessen wird Wasserstoff wohl vor allem regional genutzt werden, etwa in Pipelines oder in Form von Ammoniak, das sich leichter transportieren lässt. Langfristig wird die Nutzung von Wasserstoff daher stark von

---

**Ich bin skeptisch, ob der Begriff ‚globale Wasserstoffwirtschaft‘ zutrifft. Wasserstoff wird eine Nischentechnologie bleiben, die in spezifischen Anwendungen unverzichtbar ist, aber keinen Großteil der globalen Energieversorgung übernehmen wird.**

lokalen Produktionskapazitäten und der Nähe zu Verbrauchszentren abhängen.

**IM+io** In Ihrem Paper „The green hydrogen ambition and implementation gap“ schreiben Sie, dass die Umsetzung vieler Projekte für grünen Wasserstoff den ursprünglichen Ankündigungen hinterherhinkt. Warum ist das so?

**AO:** Im Jahr 2023 konnten lediglich 7 Prozent der geplanten Projekte tatsächlich umgesetzt werden. Diese erhebliche Diskrepanz zwischen Ankündigungen und realisierten Projekten bezeichnen wir als Umsetzungslücke, die ein großes Problem für die Zukunft der Wasserstoffwirtschaft darstellt.

Die Umsetzung scheitert oft an steigenden Kosten, regulatorischen Unsicherheiten und einer begrenzten Zahlungsbereitschaft. Diese Faktoren machen es schwer, Investitionen in grünen Wasserstoff wirtschaftlich attraktiv zu gestalten. Es braucht realistischere Ansätze und klare politische Rahmenbedingungen, um solche Verzögerungen in Zukunft zu vermeiden.

---

**Um alle derzeit angekündigten Projekte bis 2030 umzusetzen, wären Subventionen in Höhe von 1,3 Billionen US-Dollar erforderlich – weit mehr als bisher politisch zugesagt.**

---

**IM+io** Wie groß ist die Finanzierungslücke für die geplanten Wasserstoffprojekte bis 2030?

**AO:** Um alle derzeit angekündigten Projekte bis 2030 umzusetzen, wären Subventionen in Höhe von 1,3 Billionen US-Dollar erforderlich. Diese Summe übersteigt bei Weitem die bisher zugesagte politische Unterstützung, was die Notwendigkeit einer strategischen Priorisierung und

gezielten Förderung verdeutlicht. Ohne eine klare Fokussierung auf zentrale Einsatzbereiche und effiziente Fördermechanismen besteht das Risiko, dass viele Projekte scheitern oder ineffizient umgesetzt werden.

**IM+io** Warum ist es riskant, sich bei Klimazielen zu stark auf grünen Wasserstoff zu verlassen?

**AO:** Der Fokus auf grünen Wasserstoff birgt das Risiko, dass billigere und schneller umsetzbare Lösungen wie die Elektrifizierung vernachlässigt werden. Sollte der Wasserstoff hinter den Erwartungen zurückbleiben, könnten Klimaziele gefährdet werden, da die notwendige Transformation der Endverbrauchenden dann nicht mehr rechtzeitig bewerkstelligt werden kann.

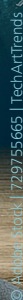
**IM+io** Was wünschen Sie sich von der Politik, um Wasserstoff sinnvoll zu fördern?

**AO:** Wir brauchen eine realistische Strategie mit zwei Säulen: Erstens müssen wir kurzfristig mit Subventionen und Quoten den Markthochlauf unterstützen. Zweitens sollten wir allerdings langfristig nicht auf dauerhafte Subventionen, sondern auf einen hohen CO<sub>2</sub>-Preis setzen, um gleiche Wettbewerbsvoraussetzungen für alle Technologien zu schaffen. Ein weiteres wichtiges Instrument sind Carbon Contracts for Difference (CCfDs). Diese Klimaschutzverträge gleichen die Mehrkosten von Wasserstoff gegenüber fossilen Energieträgern aus und ermöglichen Unternehmen wie Stahlproduzenten, trotz Preisunsicherheiten frühzeitig zu investieren. ■

### Kurz und Bündig

Wasserstoff wird in der Industrie und im Langstreckenverkehr als Schlüsseltechnologie der Energiewende gehandelt. Er kann fossile Energieträger ersetzen, steht aber in Konkurrenz zu Alternativen wie Elektrifizierung und Biokraftstoffen. Hohe Kosten, geringe Nachfrage und regulatorische Unsicherheiten bremsen derzeit seinen Markthochlauf. Experten fordern gezielte Förderung und einen hohen CO<sub>2</sub>-Preis, um Wasserstoff in spezifischen Nischen effizient und nachhaltig nutzbar zu machen.





**Patrick Glöckner, Alejandro Benitez, Sandra Büchs, Evonik**

Ein Auto ist mehr als sein Antrieb. Ob elektrisch oder mit Verbrennungsmotor – das Gewicht, die Materialien und die Fertigungsweise entscheiden über Effizienz und Umweltbilanz. Während der Fokus meist auf Batterietechnologien liegt, passiert die eigentliche Veränderung in der Materialwissenschaft. Neue Leichtbau-Werkstoffe und clevere Fertigungsprozesse machen Fahrzeuge effizienter und ressourcenschonender. Welche Innovationen setzen sich durch, und wie beeinflussen sie die Mobilität der Zukunft?



Die Transformation der Automobilindustrie ist in vollem Gange. Dabei ist die E-Mobilität ein zentraler Baustein, um die Klimaziele im Verkehr zu erreichen. Sie ermöglicht, die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Straßenverkehr verursacht werden, drastisch zu reduzieren. Das ist dringend notwendig: Im Jahr 2022 stießen Autos rund 16 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus, hat die Internationale Energieagentur (IEA) berechnet. Wäre der Straßenverkehr ein Land, läge er noch vor den USA auf Platz 2 der weltweit größten CO<sub>2</sub>-Emittenten.

Doch der Schwenk zum E-Auto bedeutet mehr als nur ein geändertes Antriebskonzept. Nötig ist ein grundsätzlicher Wandel im Hinblick darauf wie und woraus Auto gebaut werden. Der automobiler Leichtbau und die Kreislaufwirtschaft werden zu wichtigen Leitprinzipien: Immer häufiger ersetzen leichte Kunststoffkomponenten schwerere Materialien. Nachhaltigere Werkstoffe gewinnen an Bedeutung.

### Verbundwerkstoffe für den automobilen Leichtbau

Konsequenter Leichtbau hilft, die Gewichtszunahme durch die mehrere hundert Kilogramm schweren Traktionsbatterien in Elektrofahrzeugen zumindest teilweise auszugleichen. Das erhöht die Reichweite. Mehr noch: Werden E-Autos von vornherein leichter gebaut, können zum Beispiel Motoren schwächer und Batterien kleiner ausgelegt werden, was wiederum die Ressourcen schont.

Einen besonders großen Beitrag zu künftigen Gewichtseinsparungen könnten sogenannte Sandwichkonstruktionen liefern. Das sind moderne Kohlefaserverbundwerkstoffe mit einem Kern aus besonders leichten Hartschaumstoffen.

Das Chemieunternehmen Evonik stellt zum Beispiel ROHACELL® auf der Basis von Polymethacrylimid und ROHACRYL™ auf der Basis von Acryl her. Bisher wurde ROHACELL® im Automobilbereich in Rennfahrzeugen oder Supersportwagen eingesetzt.

Ein aktuelles Beispiel aus dem Bootsbau verdeutlicht, welch großen Nutzen die Hochleistungsschäume für zukunftsorientierte Mobilitätskonzepte entfalten können: Erst kürzlich hat das britische Unternehmen Falcon Tenders eine Barkasse vorgestellt, deren Dach mit dem nachhaltigen ROHACRYL™ konstruiert und gefertigt wurde. Durch die Verwendung dieses Hochleistungsverbundschaums wurde das Bauteil sogar

75 Prozent leichter als in der Zielvorgabe gefordert – war aber zugleich stabil genug, um den sicheren Einbau von 120 kg Panoramaglas zu gewährleisten. Eine besondere Stärke des Verbundschaums ROHACRYL™ liegt in seiner Recyclingfähigkeit. Das Polymerdesign ermöglicht perspektivisch, die Bestandteile zurückzugewinnen und somit den Stoffkreislauf zu schließen – eine saubere Lösung am Ende der Lebensdauer.

Dieses Beispiel zeigt, welches Potential Sandwichkonstruktionen bieten, gerade auch wenn es um große Fahrzeuge wie etwa E-Busse geht. Die schiere Größe des Marktes sorgt indes dafür, dass auch die Optimierung vermeintlich kleiner Bauteile unter dem Strich zu signifikanten Verbesserungen führt.

Ein Beispiel dafür sind Gummischläuche für Kühlmittelleitungen. Sie werden zunehmend durch thermoplastische Lösungen mit Hochleistungskunststoffen wie VESTAMID® Polyamid 12 ersetzt. Entsprechende Rohre sind leichter und kostengünstiger und lassen sich nach der Extrusion einfach in Form bringen. Das ermöglicht besonders effiziente platzsparende Lösungen beispielsweise unter der Motorhaube oder im Batteriepack von Elektrofahrzeugen. Thermoplastische Steckverbinder vereinfachen zudem die Montage und beschleunigen so nicht nur den Produktionsprozess der Automobilhersteller, sondern auch Arbeiten in den Werkstätten.

Weitere Einsatzmöglichkeiten für Polyamid 12 ergeben sich aus der Kombination mit anderen Werkstoffen wie Polypropylen. Dünnwandige, dreischichtige Kühlleitungen aus der Materialkombination ermöglichen ein angemessenes Wärmemanagement von Hochspannungsbatterien, Elektromotoren und Systemen. Der Schutz der Bauteile vor Überhitzung und zu großer Kälte ist eine Voraussetzung für den langfristigen und sicheren Betrieb von E-Autos.

Ziel ist, die Temperatur im gesamten Kühlkreislauf nicht über 80 °C steigen zu lassen. Die Batterie-Temperatur sollte für eine optimale Leistung zwischen 20 °C und 40 °C gehalten werden. Die Materialanforderungen, etwa im Bereich Schlagzähigkeit oder Bruchdehnung, sind hoch: Die Kühlleitungen müssen über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs – mindestens 20 Jahre – funktionsfähig sein, selbst wenn es an heißen Sommern im Freien geparkt wird oder wenn im kalten Winter Rollsplitt von der Straße aufgewirbelt wird und das Material trifft.

Zusätzlich müssen die Kühlleitungen korrosionsbeständig und chemisch stabil sein,



**Patrick Glöckner**

Patrick Glöckner leitet das Global Circular Economy Program von Evonik. Der promovierte Polymerchemiker legt einen starken Fokus auf Zusammenarbeit und Partnerschaften, die Kreislaufwirtschaft ermöglichen.

### Kontakt

patrick.gloeckner@  
evonik.com  
www.evonik.com





#### Alejandro Benitez

Alejandro Benitez ist OEM-Manager bei Evonik. Er unterstützt Kunden aus der Automobilindustrie dabei, das volle Potenzial von VEST-AMID® Polyamid 12 in Fluidsystemen zu nutzen.

#### Kontakt

alejandro.benitez@  
evonik.com  
www.evonik.com

um den langfristigen Kontakt mit Kühlmitteln und möglichen Verunreinigungen im System ohne Materialermüdung oder Funktionsverlust zu überstehen.

#### Klebstoffe ermöglichen Leichtbau

Die konsequente Anwendung von Leichtbauprinzipien erfordert jedoch mehr als nur die Optimierung von Werkstoffen. Auch Konstruktionsprozesse müssen angepasst werden. Zum Beispiel in der Fügetechnik. Gerade wo Leichtbau und Ästhetik gefragt sind, bieten moderne Klebelösungen entscheidende Vorteile. Wie sehr sich die Klebetechnik bereits durchgesetzt hat, belegen zwei Zahlen, die der Industrieverband Klebstoffe ermittelt hat: Demnach werden rund 15 bis 18 Kilogramm Klebstoff pro Auto verarbeitet. Insgesamt nutzt die Automobilindustrie etwa 9 Prozent der gesamten jährlichen Klebstoffproduktion.

Kleben trägt dazu bei, das Gewicht der mehrere hundert Kilogramm schweren Lithium-Ionen-Batterien in Elektroautos zu kompensieren und so die Fahrzeugleistung beziehungsweise die Reichweite zu erhöhen. Werden beispielsweise Bodenplatten aus Faserverbundwerkstoff durch Zwei-Komponenten-Klebstoffe direkt mit der Aluminiumkarosserie verbunden, spart das im Vergleich zu klassischen Fügeverfahren bis zu 10 Prozent Gewicht.

Klebeverbindungen führen zu mehr Designfreiheit. Ein Beispiel: Direkt eingeklebte Front- und Heckscheiben erhöhen die Steifigkeit von Karosserien. Hersteller können ihre Fahrzeuge daher windschnittiger konstruieren. Der geringere Luftwiderstand hilft, den Energieverbrauch während der Fahrt zu senken.

Da keine Befestigungslöcher nötig sind, minimiert sich das Korrosionsrisiko. Ein weiterer Vorteil ist, wenn unterschiedliche Werkstoffe zusammengefügt werden, ist die dauerhafte Flexibilität der Verbindung. Die Spannung wird über die gesamte Klebefläche gleichmäßig verteilt, Spannungsspitzen werden vermieden.

Dabei ändern sich die Anforderungen an einen Klebstoff je nach konkretem Anwendungsfall: Mal ist hohe Festigkeit gefordert, mal hohe Widerstandskraft gegen aggressive Flüssigkeiten oder permanente UV-Bestrahlung durch Sonnenlicht. Immer mehr rückt auch die Wiederverwertbarkeit von geklebten Materialien in den Fokus (Rezyklierbarkeit), etwa indem die Klebung reversibel gestaltet wird. Chemieunternehmen

wie Evonik bieten ein breites Portfolio an speziell abgestimmten Additiven, Bindemitteln und weiteren Komponenten. Nur deshalb können Klebstoffe gezielt für den späteren Anwendungsfall optimiert werden.

## Wo Leichtbau und Ästhetik gefragt sind, bieten moderne Klebelösungen und Hochleistungsschäume entscheidende Vorteile.

#### Kreislaufwirtschaft: Am Anfang an das Ende denken

Innovative Leichtbauverfahren können den Klimafußabdruck eines Fahrzeuges in der Nutzungsphase maßgeblich verbessern. Der Anspruch, den viele Fahrzeughersteller an sich selbst stellen, ist jedoch längst höher: So hat sich die deutsche Automobilindustrie zum Ziel gesetzt, eine vollständig klimaneutrale Mobilität bis spätestens 2050 zu ermöglichen - im Einklang mit dem Pariser Klimaschutzabkommen.

Ohne Kreislaufwirtschaft dürfte diese Vision kaum Realität werden. Zwar fallen dank alternativer Antriebe CO<sub>2</sub>-Emissionen während des Betriebes kaum noch an. Dafür fallen künftig jene Emissionen stärker ins Gewicht, die bei der Rohstoffgewinnung, ihrer Verarbeitung, während der Fahrzeugproduktion und am Ende des Nutzungszyklus entstehen.

Daher ist es unumgänglich, dass Strategien zur CO<sub>2</sub>-Reduktion über die Nutzungsphase der Fahrzeuge hinausgehen und alle Wertschöpfungsstufen in den Blick nehmen. Genau das spiegelt sich im Konzept einer Kreislaufwirtschaft wider.

Um Materialkreisläufe zu schließen, gilt es, das Nutzungsende eines Produktes von Anfang an in den Blick zu nehmen. Das gelingt mit

Ansätzen wie dem „Design for Circularity“: Ziel ist, Produkte so zu gestalten, dass sie möglichst einfach und vollständig recycelt werden, damit sie als Ausgangsmaterial für ein neues Produkt dienen können. Evonik hat in einer Studie zu einem Monomaterial-Autositz vorgemacht, wie dieser Ansatz exemplarisch im Automotive-Bereich umgesetzt werden könnte.

Autositze müssen komplexe Anforderungen erfüllen. Stabil und robust soll das Gerüst sein, gleichzeitig braucht man eine Lehne, die Halt gibt und vieles mehr. Normalerweise werden daher zahlreiche unterschiedliche Kunststoffe mit weiteren Materialien wie Stahl kombiniert. Diesen Mix für das Recycling wieder aufzutrennen, ist aufwendig. Gemeinsam mit Ingenieuren von VESTARO haben die Kunststoffexperten von Evonik daher einen Demonstrator entwickelt, bei dem alle Komponenten eines Autositzes wie harte Schalen, Schaumstoffe, Vliese oder Fasern aus Polyamid 12 gefertigt waren.

## Strategien zur CO<sub>2</sub>-Reduktion müssen über die Nutzungsphase der Fahrzeuge hinausgehen und alle Wertschöpfungsstufen in den Blick nehmen.

### Massenbilanzierung ebnet nachhaltigen Rohstoffen den Weg

Spezialchemiekonzerne wie Evonik können den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft auf verschiedenen Ebenen vorantreiben. Zum Beispiel, indem sie die eigene Rohstoffbasis ändern: Längst hat das Essener Unternehmen etwa zirkuläre Polyamide im Angebot. Hier werden in einem Massenbilanzansatz alternative Rohstoffe wie Pyrolyse-Öl aus Altreifen oder gebrauchtes Fritenfett verwendet. Im Vergleich zur regulären

Produktion eines Standardmaterials verbessert sich der ökologische Fußabdruck hier zum Beispiel um 70 Prozent. Aufgrund der komplexen Wertschöpfungsketten ist es gerade in der Chemieindustrie in der Regel ökonomisch wie ökologisch nicht möglich, eine eigene Infrastruktur nur für nachhaltige Rohstoffe zu schaffen. Hier setzt das Bilanzierungsprinzip der Massenbilanz an, dass die Einsatzstoffe mit den Ausgangsprodukten von Produktionsprozessen vergleicht. Dies gewährleistet, dass nachhaltige Endprodukte mit der eingekauften Menge an nachhaltigen, also zum Beispiel recyklierten oder biobasierten Ausgangsstoffen übereinstimmen. Der gesamte Prozess wird von einer unabhängigen Stelle nach den international anerkannten Standards wie etwa ISCC oder RED-Cert überprüft und zertifiziert. Durch strenge Buchführung und externe Audits ermöglicht der Massenbilanzansatz somit nachhaltige Produkte in großem Maßstab. Es entstehen kosteneffiziente Lösungen, wobei jedes eingesetzte erneuerbare Molekül rückverfolgt werden kann.

Isophoron-basierte Materialien aus erneuerbarem Aceton ermöglichen im Automobilbau hochwertige Verkleidungen und Instrumententafeln. Sie sind chemisch identisch mit fossilen Varianten, ebenso leistungsfähig und senken den fossilen Kohlenstoffanteil um bis zu 100 Prozent. Angesichts steigender Anforderungen an nachhaltige Mobilität bleiben Leichtbau und Kreislaufwirtschaft zentrale Faktoren für effizientere und umweltfreundlichere Fahrzeuge. ■



**Sandra Büchs**

Sandra Büchs betreut bei Evonik als Produktmanagerin von ROHACRYL™ den Produktlaunch und damit die Etablierung des neuen nachhaltigen Hochleistungsschaums in zukunftsorientierten Industrien.

### Kontakt

sandra.buechs@  
evonik.com  
www.evonik.com

### Kurz und Bündig

Leichtbau und Kreislaufwirtschaft sind zentrale Bausteine für nachhaltige Mobilität. Der Straßenverkehr verursacht weltweit 16 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen – neue Werkstoffe und Konstruktionsprinzipien können den Energieverbrauch senken. Leichte Verbundwerkstoffe ersetzen schwere Materialien, während Klebstoffe helfen, das Gewicht von Batterien auszugleichen und die Aerodynamik zu verbessern. Kreislaufwirtschaftskonzepte setzen auf recycelbare Materialien und massenbilanzierte Rohstoffe, um Ressourcen effizienter zu nutzen.





© Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg | Aura-Hirn Lastenrad

# Der leise Wandel:

## Lastenräder, die mitdenken

Stephan Schmidt, Michael Schmidt, Hochschule Merseburg, Tom Assmann Universität Magdeburg

Dicht gefüllte Straßen, steigende Emissionen und ineffiziente Lieferprozesse – Städte stoßen zunehmend an ihre Grenzen. Während selbstfahrende Autos noch mit vielen Herausforderungen kämpfen, bahnt sich eine andere Lösung ihren Weg: automatisierte Lastenräder. Sie benötigen kaum Platz, verbrauchen weniger Energie und könnten den urbanen Transport grundlegend verändern. Erste Feldversuche zeigen bereits, wie Pakete und Stadtreinigung effizienter gestaltet werden können. Aber wie weit ist die Technologie wirklich, und welche Anwendungen sind noch denkbar?

Die Gestaltung eines zukunftsfähigen Stadtverkehrs stellt die heutige Gesellschaft vor immense Herausforderungen. In Deutschland standen im Jahr 2024 Autofahrende im Schnitt 43h im Stau [1]. Während der motorisierte Individualverkehr in Städten an seine Grenzen stößt, suchen Kommunen und Verkehrsplanende nach innovativen Lösungen, die Nachhaltigkeit, Individualität und Transportleistung so miteinander verbinden, dass Sicherheit und Aufenthaltsqualität in Städten deutlich gesteigert werden können.

Die Entwicklung autonomer Fahrzeuge steht im Zentrum der Debatte – doch während sich die öffentliche Aufmerksamkeit hauptsächlich auf selbstfahrende Autos und Busse richtet, könnte die eigentliche Revolution auf zwei Rädern stattfinden. Autonome Pkws kämpfen weiterhin mit den grundlegenden Herausforderungen des motorisierten Individualverkehrs: Platzmangel, Staus und hoher Energieverbrauch. Studien (wie [2] und [3]) zeigen, dass die Versprechen von flüssigem Verkehr und weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht realistisch erscheinen. Automatisierte und autonome Fahrräder bieten hier eine vielversprechende Alternative für den Stadtverkehr von morgen. Sie benötigen deutlich weniger Verkehrsfläche, basieren auf einem günstigeren Basisfahrzeug, verbrauchen nur etwa 10 Prozent der Energie und können sich dank ihrer kompakten Größe wesentlich flexibler durch den urbanen Raum bewegen.

#### **Automatisierte Lastenräder für urbane Logistik**

An der Hochschule Merseburg und der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg wird seit über fünf Jahren in diesem Themenfeld geforscht. In mehreren Projekten wurden über sechs Generationen Prototypen von automatisierten und autonomen Lastenrädern für verschiedene Einsatzszenarien entwickelt und erprobt.

Im Projekt „Eaasy System“ (gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) wurde das erste automatisierte Lastenrad für die nachhaltige Zustellung von Post und Paketen in Städten entwickelt. Die Innovation ist die Ausstattung eines ONO-Lastenrads mit einer kontaktlosen Schiebehilfe. Mit dieser Assistenzfunktion kann das ONO selbstständig in Schrittgeschwindigkeit neben Zustellenden fahren. Das Lastenrad folgt dabei präzise dem Weg der Person, erkennt die

Fahrspur, bremst vor Hindernissen und fährt gesichert nie schneller als 5,9 km/h.

Zustellende erlangen damit mehr Flexibilität und Effizienz. Auf längeren Strecken können sie das ONO wie ein konventionelles Lasten-E-Bike manuell fahren. In den Zustellstraßen begleitet sie das Lastenrad selbstfahrend von Eingang zu Eingang. Erste Modellrechnungen zeigen ein Potential von bis zu 20 Prozent Zeiteinsparung, wodurch Lastenräder weitere Wettbewerbsvorteile gegenüber konventionellen Diesel-Vans erreichen können. (Abbildung 1)

---

## **Die entwickelten Technologien bilden die Grundlage für eine nachhaltigere und effizientere Gestaltung von Stadtlogistik und kommunalen Diensten.**

---

#### **Innovative Lösungen für Stadtreinigung und Grünflächenpflege**

Die kommunalen Bauhöfe in Deutschland beschäftigen 52 Prozent ihres Personals in der Straßenreinigung als Handreinigende und Kehrarbeitende [4]. Diese Arbeit erfolgt hauptsächlich zu Fuß und beinhaltet körperlich belastende Tätigkeiten wie das Sammeln von Kleinabfall, Reinigen von Wegen und Leeren von Abfalleimern. Die manuelle Arbeit ist nicht nur anstrengend, sondern auch zeitaufwendig und ineffizient. Derzeit werden meist Handkarren mit geringer Kapazität verwendet, die nur Fußgeschwindigkeit erreichen und zusätzliche Transporte erforderlich machen. In den Projekten AuRa-Hirn und AuRa-Hirn 2 (gefördert durch das Land Sachsen-Anhalt und die Europäische Union) wurde eine modulare Softwarearchitektur



**Prof. Dr.-Ing. Stephan Schmidt**

Stephan Schmidt ist Inhaber der Professur „Mechatronische Systeme“ an der Hochschule Merseburg. Sein Forschungsschwerpunkt sind Steuerungs- und Regelungsstrategien für automatisierte Fahrzeuge.

#### **Kontakt**

stephan.schmidt@  
hs-merseburg.de  
www.hs-merseburg.de





#### Michael Schmidt

Michael Schmidt ist aktuell wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl „Mechatronische Systeme“ an der Hochschule Merseburg. Er forscht seit 2015 zu Fahrer:innen-Assistenzsystemen und automatisiertem Fahren, zuletzt im Anwendungsbereich Lastenräder und Mikromobilität.

#### Kontakt

michael.schmidt@hs-merseburg.de  
www.hs-merseburg.de

entwickelt, die es ermöglicht, verschiedene Lastenräder mit unterschiedlichen Sensoren und Fahrfunktionen auszustatten. Diese automatisierten Lastenräder sollen die körperliche Belastung reduzieren und die Effizienz der Reinigungsteams erheblich steigern. Dies schließt auch die Option ein, das Rad in Sichtweite heranzurufen. (Titelbild)

### Technische Implementierung und Herausforderungen

Die grundsätzliche Fahraufgabe eines automatisierten Lastenrades unterscheidet sich zunächst nicht von der eines automatisierten Pkw: Das Fahrzeug muss ein definiertes Ziel erreichen, ohne dabei Verkehrsregeln zu missachten oder andere Verkehrsteilnehmende zu gefährden. Dennoch lassen sich Methoden und Lösungen aus dem Automobilsektor nicht direkt übertragen, da sich die Einsatzdomänen fundamental unterscheiden. Während sich automatisierte Pkw primär in gut strukturierten Verkehrsdomänen wie Fahrbahnen und Parkplätzen bewegen, müssen automatisierte Fahrräder in deutlich vielfältigeren und oft unstrukturierten Bereichen wie Fuß- und Radwegen oder Parkanlagen agieren.

Die Systemarchitektur folgt dabei dem etablierten Ansatz der Automobiltechnik, wird jedoch den spezifischen Anforderungen der Fahrraddomäne angepasst: Umfelderkennende Sensorik liefert Messdaten, die zu einem konsistenten

Umgebungsabbild fusioniert werden. In Kombination mit fahrzeuginterner Sensorik wie Odometrie und GPS entsteht eine präzise Zustandschätzung des Fahrzeugs. Ein übergeordnetes Steuerungsmodul kommuniziert mit dem Backend-System zur Auftragsverwaltung und definiert konkrete Zwischenziele. Basierend auf Umfeldmodell und Verhaltensvorhersage anderer Verkehrsteilnehmender generiert eine lokale Bewegungsplanung sichere Manöver, die durch die Fahrzeugregelung umgesetzt werden. Für die praktische Umsetzung der Assistenzfunktionen wurde in AuRa Hirn ein modulares Konzept entwickelt, das verschiedene Funktionsausprägungen ermöglicht. Die grundlegenden Fahrfunktionen Folgen (FM - Follow Me), Begleiten (CWM - Come With Me (Eaasy System) und (CTM - Come To Me, Rufen) können dabei in unterschiedlichen Ausbaustufen realisiert werden.

Die Anforderungen an die Sensorausstattung ergeben sich aus einer detaillierten Analyse der jeweiligen Fahrfunktion. Besonders die Begleitfunktion (CWM) sowie die aktive Hindernisvermeidung erfordern zusätzlich zur LiDAR-basierten Hinderniserkennung eine zuverlässige Erkennung der Fahrbereichsgrenzen. Bei der Begleitfunktion bewegt sich das Fahrzeug neben der Bedienperson, wodurch diese die Fahrbereichsgrenzen auf der gegenüberliegenden Seite nicht mehr überblicken und somit nicht absichern kann. Ähnliches gilt für die aktive Hindernisvermeidung: Während bei der reinen Folgefunktion die Bedienperson durch ihre eigene Bewegung einen sicheren Fahrbereich vorgibt, erfordert jede eigenständige Ausweichbewegung des Fahrzeugs die zuverlässige Erkennung der zulässigen Fahrbereiche.

Diese Fahrbereichserkennung lässt sich in der Praxis nur durch kamerabasierte Systeme robust realisieren. Rein LiDAR-basierte Lösungen stoßen hier an ihre Grenzen, beispielsweise wenn in Parkanlagen der Übergang zwischen Schotterweg und Rasenfläche nicht eindeutig erkennbar ist. Die Herausforderung liegt dabei in der Entwicklung eines Systems, das auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen wie Dämmerung oder leichtem Niederschlag zuverlässig funktioniert. Bestehende serientaugliche Lösungen aus dem Automobilbereich sind typischerweise explizit für den Einsatz auf der Fahrbahn konzipiert und zum Beispiel auf mindestens einseitige Fahrstreifenmarkierungen oder klare Straßenbegrenzungen angewiesen.

Abbildung 1: Ein Eaasy Fahrzeug folgt dem Zusteller. (OVGU)



## Herausforderungen der Navigation: Autonome Lastenräder im urbanen Raum

Die Anforderungen steigen erheblich, wenn das Fahrzeug über größere Distanzen ohne direkte Aufsicht der bedienenden Person fährt. Dies entspricht praktisch autonomem Fahren (AD – Autonomous Driving) und bringt entsprechende regulatorische Vorgaben mit sich, insbesondere im Rahmen der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebs-Verordnung (AFGBV). Unabhängig von rechtlichen Aspekten ist für eine präzise Navigation über längere Strecken eine digitale Karte des Einsatzbereichs sowie eine zuverlässige Lokalisierungstechnologie erforderlich.

Dies erhöht nicht nur die Systemkomplexität, sondern auch den Applikationsaufwand pro Nutzende und Einsatzort erheblich: Jedes Operationsareal muss vorab mittels LiDAR-Inertial Odometry (LIO) oder klassischem SLAM-Verfahren kartiert werden. Die fortlaufende Lokalisierung des Fahrzeugs in dieser Karte benötigt dabei zumindest initial einen Referenzpunkt. Während hierfür prinzipiell GPS-basierte Lösungen in Frage kommen, stellt deren begrenzte Genauigkeit, insbesondere in innerstädtischen Bereichen mit starker Signalabschattung, eine technische Herausforderung dar.

## Sichere und flexible Steuerung durch modulare Softwarearchitektur

Die Hochschule Merseburg und die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg haben im Rahmen der AuRa-Hirn 1&2 Projekte eine modulare Softwarearchitektur für automatisierte Lastenräder entwickelt. Ein zentraler Fokus lag auf Sicherheit: Das System greift niemals in die Steuerung ein, wenn ein Mensch das Rad regulär nutzt. Im Notfall wird das Fahrzeug automatisch in einen sicheren Zustand versetzt und kann zudem per Not-Aus-Schalter deaktiviert werden.

Die Architektur ermöglicht den flexiblen Einsatz verschiedener Sensoren. Laserscanner wie der HAP oder Mid360 von Livox erkennen Hindernisse zuverlässig, auch bei schwierigen Bedingungen. Ultra-Wideband (UWB)-Systeme erfassen die Position der Bedienperson, während ein patentiertes Interaktionssystem eine freihändige Steuerung erlaubt – Nutzende können allein durch ihre Position zwischen Betriebsmodi wechseln. Für die präzise Bewegungssteuerung sorgt eine Positionsregelung, die Antrieb, Bremse und Lenkung koordiniert.

Ein Kollisionsvermeidungssystem erkennt Hindernisse und passt die Geschwindigkeit an. Falls nötig, wird das Fahrzeug automatisch gestoppt. Diese technischen Innovationen machen automatisierte Lastenräder nicht nur effizient, sondern auch besonders sicher.

## Ausblick und Vision

Die langfristige Vision der Forschung zielt auf autonome Lastenräder im Bikesharing-Kontext. Während bisherige Systeme stationsgebunden oder auf fixe Abstellpositionen beschränkt sind, könnten autonome Räder innerhalb von 10 Minuten zu Nutzenden navigieren. Nach der manuell gefahrenen Hauptstrecke würde das Rad selbstständig nächste Kund:innen ansteuern – ein Konzept, dessen grundsätzliche Machbarkeit bereits auf dem Universitätscampus demonstriert wurde. Die entwickelten Technologien bilden dabei die Grundlage für eine nachhaltigere und effizientere Gestaltung von Stadtlogistik und kommunalen Diensten. Der Verzicht auf kamerabasierte Systeme ermöglicht einen robusteren Betrieb auch bei ungünstigen Lichtverhältnissen und reduziert die Anforderungen an die Rechentechnik erheblich. Dies senkt die Systemkosten und beschleunigt die Markteinführung. ■



**Dr. Tom Assmann**

Tom Assmann ist Forschungsgruppenleiter an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Er und sein Team forschen zur nachhaltigen Logistik und Radlogistik, autonomen Fahrzeugen und der logistikintegrierten Stadtplanung. Er ist ehrenamtlicher Vorsitzender des Radlogistik Verbands Deutschland e.V.

## Kontakt

tom.assmann@ovgu.de  
www.ovgu.de

## Kurz und Bündig

Automatisierte Lastenräder bieten eine umweltfreundliche Alternative für den Stadtverkehr. Forschende haben Prototypen entwickelt, die Personen folgen, Hindernissen ausweichen und per Smartphone gerufen werden können. Erste Tests im Paketversand und der Stadtreinigung zeigen bis zu 20 Prozent Effizienzsteigerung. Im Vergleich zu autonomen Autos benötigen die Räder weniger Platz, verbrauchen nur 10 Prozent der Energie und sind kostengünstiger. Die Technologie könnte langfristig auch für Bikesharing oder flexible Transportdienste eingesetzt werden.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/40Vbv1v>





© DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte | U-Shift

# Mobilität im Baukastensystem:

## Mit modularen Fahrzeugkonzepten ans Ziel

Marco Münster, DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Ein Fahrzeug, das tagsüber Pakete liefert und abends Menschen nach Hause bringt – kann das funktionieren? Mit modularen Systemen könnte genau das Realität werden. Driveboards und wechselbare Kapseln schaffen neue Möglichkeiten für urbane Mobilität mit Fokus auf Effizienz und Nachhaltigkeit. Was steckt hinter den Transportkonzepten von „U-Shift“, und wie können sie unsere Städte neu gestalten?

### IM+io Woran arbeiten Sie und Ihr Forschungsteam aktuell?

**MM:** Ganz grob gesagt: Wir denken darüber nach, wie wir uns in Zukunft bewegen – sei es, um Menschen von A nach B zu bringen oder Waren zu transportieren. Unser Schwerpunkt liegt auf innovativen Fahrzeugkonzepten, insbesondere modularen Systemen. Die Idee dahinter ist, dass ein Fahrzeug nicht mehr nur eine Funktion hat. Stattdessen entwickelt meine Gruppe Fahrzeuge, die sich flexibel anpassen können – mal für den Personentransport, mal für Logistik, mal für beides. Es geht darum, wie wir unsere Städte entlasten können, Ressourcen sparen und trotzdem Mobilität gewährleisten.

### IM+io Ihr Projekt „U-Shift“ beschäftigt sich mit modularen Systemen. Wie kann man sich diese vorstellen und was sind die wichtigsten Vorteile?

**MM:** Modular bedeutet, dass Sie ein Basiselement – bei uns das sogenannte Driveboard – haben, auf das verschiedene Aufbauten, also Kapseln, gesetzt werden können. Stellen Sie sich vor, morgens bringt das System Pakete in ein Quartier, und später am Tag transportiert es Personen. Der Vorteil? Die Fahrzeuge werden viel effizienter genutzt, und wir können Verkehr besser bündeln. Gerade in dicht besiedelten Städten haben wir oft das Problem, dass jedes Handelsunternehmen seine eigenen Lieferfahrzeuge losschickt, die dann im Stau stehen oder in zweiter Reihe parken. Mit modularen Systemen könnten wir solche Prozesse zentralisieren. Ein Micro-Hub würde die Waren an einem Ort sammeln, und kleinere Fahrzeuge übernehmen die Verteilung auf der letzten Meile. So reduzieren wir Verkehr und Emissionen. Und das Konzept ist nicht nur für Logistik interessant. Im öffentlichen Verkehr könnten wir zum Beispiel kleinere Fahrzeuge einsetzen, die flexibel auf Spitzenzeiten reagieren. Morgens könnten zusätzliche Einheiten als Shuttle-Busse fahren, und mittags, wenn weniger los ist, könnten sie für andere Aufgaben genutzt werden. Es geht darum, vorhandene Ressourcen smarter einzusetzen.

### IM+io Wie funktioniert das technisch?

**MM:** Der Clou liegt in der Verbindung von Driveboard und Kapsel. Das Driveboard ist eine autonome Fahreinheit, die an die Kapsel andockt und sie mitnimmt. Bei uns funktioniert das ähnlich wie bei einem Gabelstapler: Das Driveboard fährt seitlich unter die Kapsel, hebt sie an und verriegelt sie sicher. Die Datenübertragung zwischen den beiden Einheiten erfolgt über einen

automatischen Kabelverbinder oder drahtlos – das hängt vom Anwendungsfall ab. Zusätzlich haben viele Kapseln eigene Batterien, die während des Stehens geladen werden können. Das ist besonders praktisch, weil man so Energiepuffer schaffen kann, ohne die Fahreinheit ständig an die Ladestation schicken zu müssen. Ein Beispiel: Wenn die Kapsel eine Weile an einem Micro-Hub steht, lädt sie sich auf. Das Driveboard, das sie abholt, könnte während der Fahrt direkt aus der Kapsel Energie ziehen. Das macht das System nicht nur flexibel, sondern auch sehr effizient, was die Nutzung von Batteriekapazitäten angeht.



**Dr.-Ing. Marco Münster**

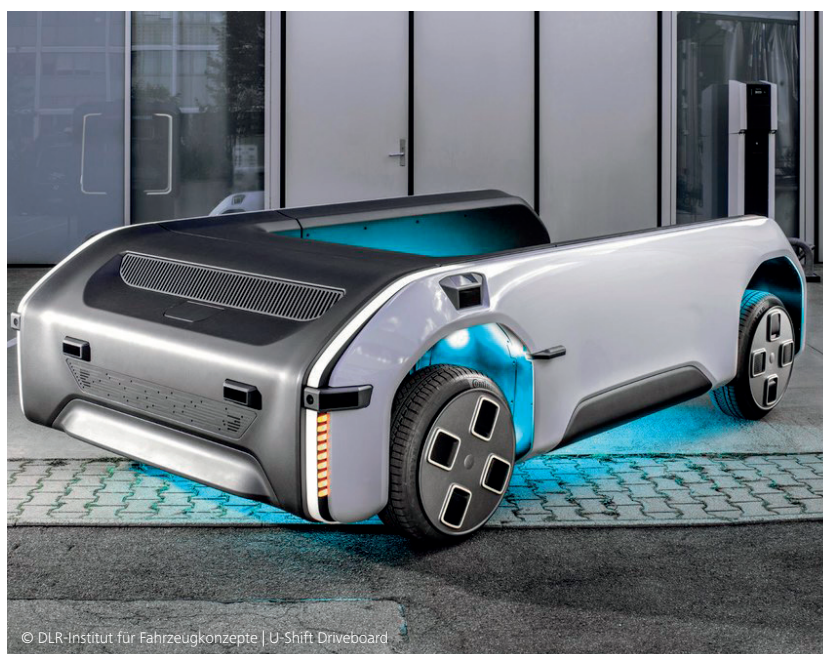
Marco Münster ist Gruppen- und Projektleiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte. Nach seinem Maschinenbaustudium und der Promotion in Fahrzeugtechnik forscht er an Fahrzeugkonzepten, Software-Defined Vehicles und Automatisierung.

#### Kontakt

marco.muenster@dlr.de  
www.dlr.de

## Die Zukunft der Mobilität liegt in der Vernetzung – verschiedene Transportoptionen müssen ineinandergreifen, damit Mobilität effizienter und sozial gerechter wird.

Abbildung 1: Prototyp eines U-Shift Driveboards. (DLR)



© DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte | U-Shift Driveboard





Abbildung 2: Demonstration eines U-Shift Prototypen. (DLR)

**IM+io** Wie setzen Sie das in der Praxis um? Haben Sie konkrete Tests durchgeführt?

**MM:** Ja, wir hatten zum Beispiel einen großen Praxistest auf der Bundesgartenschau 2023 in Mannheim. Über 180 Tage haben wir unser System dort eingesetzt. Das war eine echte Herausforderung, weil wir nicht nur in einem abgesperrten Bereich getestet haben, sondern quasi im Livebetrieb. Passant:innen, Publikumsströme, verschiedene Einsatzszenarien – das war alles dabei. Am Anfang lief natürlich nicht alles glatt. Die Software hatte Kinderkrankheiten, die Energiespeicher mussten optimiert werden, und die Mechanik hatte ihre Tücken. Aber genau dafür sind solche Tests da. Mit jeder Woche haben wir dazugelernt, und am Ende lief das System stabil. Solche Praxistests sind Gold wert, weil sie zeigen, wie die Technik unter echten Bedingungen funktioniert.

**IM+io** U-Shift ist Teil einer Projektfamilie, die sich mit verschiedenen Transportkonzepten beschäftigt. Wie arbeiten die einzelnen Projekte zusammen?

**MM:** Einige dieser Projekte bauen direkt aufeinander auf, zum Beispiel wenn wir technische Lösungen oder Erkenntnisse aus einem Projekt mitnehmen und in einem anderen weiterentwickeln. Ein gutes Beispiel ist unsere Arbeit an den Wechselmechanismen zwischen den sogenannten Driveboards und Kapseln.

Da haben wir in einem Projekt die Grundlagen gelegt und in einem anderen die technische Umsetzung verfeinert. Manchmal laufen Projekte aber auch parallel. Dann forschen wir

**Mit modularen Fahrzeugkonzepten wie U-Shift können wir Verkehr bündeln, Emissionen reduzieren und Fahrzeuge effizienter nutzen – ob für Logistik oder Personentransport.**

an verschiedenen Aspekten, die vielleicht erst später zusammengeführt werden. Ein Projekt könnte sich stärker auf automatisiertes Fahren konzentrieren, während ein anderes die Energieversorgung oder Klimatisierung der Fahrzeuge untersucht. Wir haben dabei auch immer die Industrie im Blick: Viele unserer Projekte werden durch Beteiligte aus der Wirtschaft unterstützt, sei es durch technisches Know-how oder durch den Aufbau realer Testumgebungen. Und natürlich geht es auch um Technologietransfer. Ein wichtiger Aspekt unserer Arbeit ist es, Unternehmen – vor allem kleine und mittlere – für

die Technologien der Zukunft fit zu machen. Wir veranstalten Workshops, in denen wir unsere Forschungsergebnisse teilen und diskutieren, wie sie in der Praxis genutzt werden können. Beispielsweise arbeiten wir mit Firmen daran, wie man energieeffiziente Klimatisierungssysteme für Fahrzeuge entwickelt oder welche Anforderungen ein autonom fahrendes Fahrzeug an die Infrastruktur stellt.

Am Ende ist diese „Projektfamilie“ ein Netzwerk, in dem viele Zahnräder ineinandergreifen. Die Projekte sind so konzipiert, dass sie sich ergänzen und gemeinsam dazu beitragen, eine nachhaltige und flexible Mobilität der Zukunft zu schaffen.

---

## **Zukünftige Mobilität heißt: weniger Fahrzeuge, mehr Effizienz – durch clevere Konzepte wie Micro-Hubs und modulare Systeme können wir Städte entlasten und smarter gestalten.**

---

**IM+io** Was ist Ihre Vision für die Zukunft der Mobilität?

**MM:** Ich denke, die Zukunft liegt in der Vernetzung unterschiedlicher Transportoptionen und Dienstleistungen. Die Zeiten, in denen jeder Mensch ein eigenes Auto hat, sind vorbei – zumindest in Städten. Stattdessen sollten verschiedene Transportoptionen nahtlos ineinandergreifen. Meine persönliche Vision ist, dass Mobilität für alle zugänglich bleibt, aber gleichzeitig effizienter wird. Es geht nicht darum, Menschen Mobilität zu nehmen, sondern sie besser zu gestalten – für die Umwelt und für

die Gesellschaft. Stellen Sie sich vor, Sie nehmen ein Shuttle, das Sie von Ihrer Haustür zum Bahnhof bringt. Von dort geht es mit einem pünktlichen Zug weiter, und am Zielort wartet ein autonomes Fahrzeug, das Sie zu Ihrer Enddestination bringt. Alles läuft reibungslos, ohne lange Wartezeiten oder unnötigen Stress.

Ein gutes Beispiel ist Stuttgart, wo Anreize für neue Mobilitätsformen etabliert und gefördert werden. Hier hat die Stadt beispielsweise eine Lastenradprämie eingeführt, denn viele Menschen haben erkannt, dass sie für kurze Strecken in der Stadt gar kein Auto brauchen. Stattdessen nehmen sie das Fahrrad, erledigen ihre Besorgungen und tun gleichzeitig etwas für die Umwelt. Langfristig sollten wir solche Ansätze ausbauen. Ob Lastenräder, autonome Shuttles oder smarte Verkehrskonzepte – die Möglichkeiten sind riesig. Wichtig ist, dass wir den Menschen attraktive Alternativen bieten, die einfach zu nutzen sind.

Ich wünsche mir, dass Mobilität nicht nur effizienter, sondern auch sozial gerechter wird. Jemand, der mobilitätseingeschränkt ist, sollte genauso einfach von A nach B kommen wie jemand, der ein eigenes Auto nutzt. Das ist keine Utopie, sondern ein Ziel, das wir mit klugen Konzepten und der richtigen Technologie erreichen können. ■

### **Kurz und Bündig**

Modulare Fahrzeugkonzepte könnten die Mobilität der Zukunft revolutionieren. Mit einer autonomen Fahreinheit und austauschbaren Kapseln lassen sich Personen oder Güter flexibel transportieren, wodurch Fahrzeuge effizienter genutzt und Emissionen reduziert werden. Ein Praxistest auf der Bundesgartenschau 2023 zeigte, wie solche Systeme in realen Szenarien bestehen können. Ziel ist es, Verkehr smarter zu organisieren und unterschiedliche Technologien sowie Transportoptionen nahtlos zu vernetzen.



# Laden mit Weitblick:

## Pflicht oder Chance?

Stephan Engel, SMA

Die Parkplätze bleiben nicht mehr nur Stellflächen, sondern werden Teil der Energiewende. Immer mehr Unternehmen erkennen das Potenzial von Ladelösungen für Elektrofahrzeuge – nicht nur als Service für Mitarbeitende und Kund:innen, sondern auch als wirtschaftlich sinnvolle Investition. Besonders in Kombination mit Photovoltaik ergeben sich neue Einnahmequellen und nachhaltige Vorteile. Doch wie lässt sich die Ladeinfrastruktur optimal in bestehende Unternehmensstandorte integrieren?



Die Elektrifizierung des Verkehrs ist ein wichtiger Schritt, um die Klimaschutzziele im Rahmen der Energiewende zu erreichen. Der große Vorteil von Elektroautos für dieses Vorhaben ist, dass sie lokal keine Emissionen verursachen und effizienter sind als Verbrenner. Allerdings verursachen Elektroautos aktuell im direkten Vergleich bei der Produktion noch zwei- bis dreimal mehr CO<sub>2</sub>, insbesondere durch die energie- und ressourcenintensive Produktion der Batteriezellen. Dies gilt es über die Lebensdauer des Fahrzeugs und hier insbesondere durch die Nutzung erneuerbarer Energien beim Laden zu kompensieren [1].

### Gewerbliche Ladeinfrastruktur: So profitieren Unternehmen

In diesem Kontext wird das Ladeverhalten immer wichtiger. Elektroautos müssen jederzeit auch unterwegs – etwa auf dem Supermarktparkplatz oder am Arbeitsplatz auf dem Firmengelände – geladen werden können. Mitarbeitende, die ihr E-Auto beispielsweise nicht an der eigenen Wallbox zu Hause laden können, profitieren von diesen Lademöglichkeiten (siehe Abbildung 1). Darüber hinaus kann das Unternehmen über den Verkauf von Ladestrom zusätzliche Einnahmen erzielen. Dies wird besonders attraktiv, wenn der Ladestrom aus erneuerbaren Energien wie etwa der firmeneigenen PV-Anlage kommt. Denn dann wird der Solarstrom vom Dach in Reichweite auf der Straße umgewandelt. Hinsichtlich des angesprochenen Ladeverhaltens kann schlussendlich so sogar noch ein Wettbewerbsvorteil gewonnen werden: Denn Unternehmen mit Verkaufsflächen und Kund:innenverkehr können mit Ladestationen auf dem Betriebsgelände punkten, wenn sie Kund:innen und Besuchende kostengünstige und klimaschonende Lademöglichkeiten vor Ort bieten.

### Gesetzlicher Rahmen: Vorgaben als Chance nutzen

Mit den CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerten stellt die EU die Weichen in Richtung Klimaneutralität. Ab 2035 sollen in der EU ausschließlich emissionsfreie Kraftfahrzeuge verkauft werden dürfen [2]. Den dafür nötigen Ausbau der Infrastruktur für Elektroautos regelt unter anderem das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG). Das GEIG gilt in Deutschland

seit dem 1. Januar 2025 und setzt Teile der EU-Richtlinien zur Energieeffizienz von Gebäuden aus dem Jahr 2018 um [3].

Bei Neubauten und umfassenden Renovierungen müssen nun Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge eingeplant werden. Auf Parkplätzen von Wohn- und Nichtwohngebäuden soll alles für die Installation einer Wallbox vorbereitet sein:

- **Neubauten und größere Renovierungen:** Unternehmen müssen sicherstellen, dass genug Ladeinfrastruktur vorhanden ist. Bei Neubauten von Nichtwohngebäuden mit mehr als sechs Stellplätzen muss jeder dritte Stellplatz mit Schutzrohren für Elektrokabel ausgestattet werden. Zusätzlich muss mindestens ein Ladepunkt errichtet werden.
- **Bestandsgebäude:** Eigentümer:innen bestehender Nichtwohngebäude mit mehr als zwanzig Stellplätzen sind verpflichtet, mindestens einen Ladepunkt zu installieren. Dies bietet Unternehmen die Möglichkeit, ihre Gebäude schrittweise an die neuen Anforderungen anzupassen und gleichzeitig die Attraktivität für Mitarbeiter:innen und Kund:innen zu erhöhen.
- **Quartierslösungen:** Das GEIG ermöglicht es Unternehmen, Ladepunkt-Verpflichtungen an einem oder mehreren Standorten zu bündeln. Dies ist besonders vorteilhaft für Unternehmen mit mehreren Standorten, da sie so eine zentrale Ladeinfrastruktur aufbauen können.

Für Unternehmen wird die Elektromobilität so zum zentralen Bestandteil des nachhaltigen Wirtschaftens – und Gewerbeflächen werden



**Dr. Stephan Engel**

Der diplomierte und promovierte Elektrotechniker arbeitet seit 6 Jahren bei der SMA Solar Technology AG. Als Experte für E-Mobilität und Energiemanagement verantwortet er die gewerblichen Ladelösungen.

### Kontakt

stephan.engel@sma.de  
www.sma.de

Abbildung 1: Beispiel für den Aufbau einer effizienten Ladeinfrastruktur (SMA)





mit moderner und leistungsfähiger Ladeinfrastruktur zukunftsicher aufgewertet.

---

## Die Nutzung überschüssiger PV-Energie für die eigene Ladeinfrastruktur erhöht die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage.

---

### Ökonomische und ökologische Vorteile: PV und Elektromobilität kombinieren

Wird diese Ladeinfrastruktur mit Einbindung von selbst erzeugtem Solarstrom betrieben, ergeben sich für Unternehmen noch weitere Vorteile:

- Umweltfreundliche Lademöglichkeiten schaffen
- CO2 Emissionen reduzieren
- Energiekosten senken
- Einnahmen durch den Verkauf von Ladestrom generieren
- Energiekosten der eigenen Fahrzeugflotte senken
- Attraktivität des Standorts erhöhen und Wettbewerbsvorteile schaffen
- Attraktivität des Unternehmens als Arbeitgeber erhöhen
- Positive Abstrahleffekte auf das Unternehmensimage generell

Rein rechnerisch ergibt sich bereits eine Profitabilität für Unternehmen dadurch, dass sie den Ladestrom über öffentliche Ladestationen auf ihren Parkplätzen anbieten und zu höheren Preisen verkaufen können, als sie ihn selbst beziehen. Mit einer eigenen PV-Anlage etwa auf dem Firmendach ist das aufgrund der niedrigen Gesteungskosten für PV-Strom allerdings besonders rentabel. Denn die Nutzung überschüssiger

PV-Energie für die eigene Ladeinfrastruktur erhöht die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage.

Weitere finanzielle Anreize bietet der Handel mit Treibhausgas-Quoten (THG-Quoten). Unternehmen, die ihre Fahrzeugflotte auf Elektroautos umstellen, können nicht nur ihre Mobilitätskosten senken. Betreibende der Ladestationen können darüber hinaus für die eingesparten Emissionen Geld erhalten. Bei gleichzeitiger Nutzung von lokal erzeugter erneuerbarer Energie kann sogar der doppelte Betrag beansprucht werden. Dies gilt derzeit nur für öffentlich zugängliche Ladepunkte im Sinne der Ladesäulenverordnung (LSV).

---

## Beim Auf- oder Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität ist der ganzheitliche Blick entscheidend. Oft sind eine PV-Anlage und ein Batteriespeicher eine sinnvolle Ergänzung.

---

### Ladeinfrastruktur-Projekte planen: Das ist wichtig

Die Planung der Ladeinfrastruktur sollte immer optimal auf den Bedarf des Unternehmens und die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt sein. Für die Wirtschaftlichkeit der Anlage sind folgende Punkte relevant:

- Art der Ladepunkte, Wechselstrom- (AC) oder Gleichstromladen (DC)
- Anzahl der Ladepunkte
- Nutzungsmöglichkeit von selbst erzeugtem Strom aus der eigenen PV-Anlage

- Leistungsfähigkeit des Netzanschlusses
- Nutzungsprofile für unterschiedliche Ladezeitpunkte und -ziele (Mitarbeitende, Besucher:innen, Firmenfahrzeuge etc.)
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Beim Auf- oder Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität ist der ganzheitliche Blick entscheidend. Oft sind eine PV-Anlage und ein Batteriespeicher eine sinnvolle Ergänzung. Neben den Ladepunkten als Hardware sind zum wirtschaftlichen Betrieb einer gewerblichen Ladelösung und beim Laden von Fahrzeugen zwei Komponenten besonders wichtig:

1. **Lastmanagement:** Mit dem Aufbau einer Ladeinfrastruktur steigt der Energiebedarf. Ziel des Lastmanagements ist es daher, teure Lastspitzen zu vermeiden und den Ausbau des Netzanschlusses zu verhindern. Es sorgt dafür, dass eine bestimmte Last nicht überschritten wird. Ein dynamisches Lastmanagement kann darüber hinaus sogar flexibel den Leistungsbedarf der Ladeinfrastruktur, der weiteren Verbraucher sowie die PV-Erzeugung in Kombination berücksichtigen. Elektrofahrzeuge können dann mit der maximal verfügbaren Ladeleistung geladen werden, ohne dass teure Lastspitzen entstehen oder der Netzanschluss überlastet wird. Je nach Ladezeit kann der anfallende Strombedarf kostengünstig durch Strom aus der eigenen PV-Anlage gedeckt werden. Ein Batteriespeicher kann als Puffer dienen, um auch dann günstigen Strom bereitzustellen, wenn die PV-Anlage keinen Sonnenstrom produziert. Intelligente Ladesysteme, die neben der Ladelaast auch den Solarstromertrag berücksichtigen, können dabei nicht nur Lastspitzen vermeiden, sondern auch die Netzbelastung reduzieren. Das ist dann nicht nur für die Unternehmen als Betreibende der Ladeinfrastrukturen von Vorteil, sondern auch für die Netzbetreibenden, die so eine stabilere und effizientere Energieversorgung insgesamt gewährleisten können.
2. **Backend zum Abrechnen der Ladevorgänge:** Ein weiteres wichtiges Element ist das sogenannte Backend, oft als CPO-Backend bezeichnet. CPO steht für Charge Point Operator, gemeint sind die Betreibenden der Ladepunkte. Über das Backend lässt sich die Ladeinfrastruktur einfach und aus

der Ferne konfigurieren und überwachen. Hier erfolgt auch die Verwaltung der Nutzer:innen und die kilowattstunden-genaue Abrechnung der Ladevorgänge. Bei der Auswahl des passenden Backends ist wichtig, dass nicht nur das Laden und Abrechnen interner Nutzer:innen unterstützt wird, sondern auch Ladevorgänge gegenüber Dritten ermöglicht und abgerechnet werden können. So kann die Ladeinfrastruktur auch von Kund:innen, Besuchenden, Lieferant:innen etc. genutzt werden. Die zusätzlichen Einnahmen sorgen dafür, dass sich die Investition schneller bezahlt macht.

### Ausblick: Wie Elektroautos zur Netzentlastung beitragen können

Durch einen koordinierten Energiebezug und die Abgabe vor und hinter Engstellen im Stromnetz könnten in Zukunft gemeinsam gesteuerte Fahrzeugspeicher das Netz entlasten. Mit bi-direktionalem Laden würden vorhandene Flexibilität effizient genutzt werden. Energiemengen, die derzeit teuer durch Gaskraftwerke erzeugt werden, stünden dann dank einer Elektroflotte bereit. Elektrofahrzeuge könnten so zur Stabilisierung des Stromnetzes und zur besseren Nutzung erneuerbarer Energien beitragen. Da die Energiekosten nach dem Merit-Order Prinzip von den teuersten Erzeugungsarten bestimmt werden, würden die Kosten dadurch für alle Beteiligten sinken [4]. ■

### Kurz und Bündig

Die Kombination aus Ladeinfrastruktur und erneuerbaren Energien bietet Unternehmen wirtschaftliche Vorteile. Neben CO<sub>2</sub>-Einsparungen ermöglicht die Einbindung von Photovoltaik-Anlagen günstiges Laden und neue Erlösquellen durch den Verkauf von Ladestrom. Das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) treibt den Ausbau der Ladepunkte voran. Zukunftstechnologien wie bidirektionales Laden könnten Elektroautos künftig sogar zur Netzstabilisierung einsetzen.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/4aQi6gR>



# Zwischen Speedbooten und Tankern:

## Innovation trifft Industrie

Srinath Rengarajan, Branchenexperte im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io



Die Automobilindustrie steht am Wendepunkt: Während sich Elektroautos zunehmend auf den Straßen etablieren, steht die Branche vor weit größeren Herausforderungen als nur dem Wechsel des Antriebs. Die gesamte Wertschöpfungskette muss neu gedacht werden – von der Rohstoffbeschaffung über die Batterieproduktion bis hin zur Ladeinfrastruktur und digitalen Plattformen. Wie können Start-ups, Großunternehmen und Wissenschaft gemeinsam die Herausforderungen meistern? Und welche Rolle spielen Politik und Infrastruktur bei dieser Transformation?





© Adobe Stock | 1039477510 | inthasone

**IM+io** Was ist Ihr beruflicher Hintergrund, und worauf liegt Ihr aktueller Fokus?

**SR:** Ich habe vor 14 Jahren in der Automobilbranche in Deutschland angefangen und meine berufliche Reise mit einer Doktorandentätigkeit bei einem Herstellenden begonnen. Damals habe ich an strategischen Projekten gearbeitet, insbesondere in China, wo ich gemeinsam mit meinem Team die Entwicklung eines Joint Ventures unterstützte. Diese Phase hat mir wertvolle Einblicke in internationale Märkte und die Bedeutung strategischer Partnerschaften gegeben.

Später wechselte ich in die Strategieberatung und war bei Oliver Wyman tätig, wo ich die globale Automobilforschung leitete. Dort arbeitete ich mit führenden Herstellenden, Lieferunternehmen und Investor:innen zusammen. Vor rund drei Jahren habe ich mich bewusst für den Wechsel in die Welt der Start-ups entschieden, da ich dort ein enormes Potenzial sehe, schnell und effektiv innovative Lösungen zu entwickeln. Aktuell liegt mein Fokus auf erneuerbaren Energien und emissionsfreier Mobilität. Ich arbeite an Plattformlösungen und an der



Optimierung der Wertschöpfungskette, um die Transformation hin zu einer sauberen Mobilität zu beschleunigen.

**IM+io** Wie sehen Sie die technologische Entwicklung emissionsfreier Fahrzeuge? Was erwarten Sie für die nächsten Jahre?

**SR:** Die Entwicklung emissionsfreier Fahrzeuge wird maßgeblich von der Art des Antriebs geprägt. Während sich bei Pkw der batterieelektrische Antrieb als Standard etabliert hat, sieht die Situation bei Nutzfahrzeugen differenzierter aus. Hier bestimmen Nutzungsprofile und Anforderungen wie Reichweite oder Ladezeiten, welche Technologie sinnvoll ist.

Für schwere Lkw und Langstreckenfahrten spielen Brennstoffzellen und Wasserstoffantriebe eine zentrale Rolle. Das liegt daran, dass Batterietechnologien hier aufgrund von Gewicht und Ladezeit an ihre Grenzen stoßen. Wir sollten auch erkennen, dass Wasserstoff dazu beitragen kann, Herausforderungen bei der Auslastung des Stromnetzes zu umgehen. Dies ist nur möglich, wenn wir den richtigen Mix aller verfügbaren Technologien und Energiearten aus einer Systemperspektive nutzen. Auch Technologien wie Wasserstoff-Verbrennungsmotoren könnten in speziellen Anwendungen relevant werden.

Ein weiterer Aspekt ist die kontinuierliche Weiterentwicklung der Batterieproduktion. Nachhaltigkeit in der Rohstoffgewinnung und Recyclingfähigkeit sind hier entscheidende Faktoren. Es bleibt spannend, wie Innovationen wie Festkörperbatterien oder die Optimierung der Zellchemie die Reichweite und Lebensdauer von Batterien weiter verbessern können.

**IM+io** Was sind die größten Herausforderungen bei der Gestaltung von Wertschöpfungsketten in der Automobilindustrie?

**SR:** Die Wertschöpfungsketten in der Automobilbranche befinden sich in einem tiefgreifenden Wandel. Start-ups kämpfen oft mit dem Zugang zu Kapital, was die Entwicklung und Marktreife innovativer Technologien verzögern kann. Viele gute Ideen scheitern nicht an der Technik, sondern an der Finanzierung.

Großkonzerne hingegen stehen vor der Herausforderung, neue Partnerschaften mit Lieferanten einzugehen, da sie nicht mehr alle Technologien selbst entwickeln können. Insbesondere in der Softwareentwicklung und bei Batteriesystemen müssen sie auf externe Beteiligte

setzen, oft aus anderen Industrien oder Regionen wie Asien. Hier entsteht eine neue Dynamik, die die bisherigen Machtverhältnisse innerhalb der Branche verändert. Darüber hinaus erschwert die steigende Komplexität globaler Lieferketten die Kostenkontrolle.

Nachhaltigkeitsanforderungen, geopolitische Spannungen und die Abhängigkeit von wenigen Rohstoffquellen sind zusätzliche Herausforderungen. Unternehmen müssen ihre Strategien überdenken, um flexibler und resilienter zu werden.

---

## **Start-ups sind die Speedboote der Industrie, während Großkonzerne wie Tanker agieren – die Zusammenarbeit beider ist der Schlüssel zur Innovation.**

---

**IM+io** Welche Unterschiede sehen Sie zwischen Start-ups und Großkonzernen bei der Umsetzung von Innovationen?

**SR:** Start-ups sind schnell, agil und innovativ – sie agieren wie Speedboote, während Großkonzerne wie Tanker sind. Start-ups können Technologien in kleineren Teams entwickeln und haben den Vorteil, flexibel auf Marktbedürfnisse zu reagieren. Großkonzerne bringen hingegen die finanziellen Ressourcen und die Skalierungsfähigkeit mit, um Innovationen global umzusetzen.

Die ideale Lösung liegt in der Zusammenarbeit: Start-ups profitieren von der Infrastruktur und Erfahrung großer Unternehmen, während diese von der Innovationskraft und Agilität der Start-ups lernen können. Venture-Fonds und Innovationsplattformen sind hier

zentrale Brücken, um die Synergien zwischen beiden Welten zu nutzen.

**IM+io Wie wichtig ist die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft?**

**SR:** Die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft ist essenziell, um Innovationen voranzutreiben. Universitäten verfügen über interdisziplinäre Kompetenzen, die Unternehmen oft fehlen. Diese Expertise kann in gemeinsamen Forschungsprojekten genutzt werden, um neue Technologien schneller und praxisnah zu entwickeln. Gleichzeitig profitieren Studierende von diesen Kooperationen, da sie früh Einblicke in reale Anwendungen erhalten und besser auf ihre zukünftigen Aufgaben vorbereitet werden.

Ein Beispiel ist die Entwicklung neuer Batterietechnologien. Hier arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an innovativen Materialien, während Unternehmen diese Erkenntnisse in die Produktion überführen. Solche Partnerschaften schaffen systemische Innovationen, die weit über Einzelprojekte hinausgehen.

**IM+io Welche Maßnahmen sollte die Politik ergreifen, um emissionsfreie Mobilität und Nachhaltigkeit voranzubringen?**

**SR:** Die Politik spielt eine entscheidende Rolle, indem sie klare Rahmenbedingungen schafft. Subventionen, Investitionen in Ladeinfrastrukturen und Forschungsprogramme sind zentrale Hebel, um die Transformation zu beschleunigen. Gleichzeitig sollte die Politik internationale Kooperationen fördern, um Wissen und Ressourcen effizienter zu nutzen.

Ein besonders wichtiger Punkt ist die Planungs- und Investitionssicherheit. Unternehmen brauchen langfristige Stabilität, um große Projekte umzusetzen. Kurzfristige Änderungen bei Förderprogrammen oder Standards können die Entwicklung ausbremsen. Nur durch eine enge Zusammenarbeit von Politik, Industrie und Wissenschaft können wir die gesteckten Klimaziele erreichen.

**IM+io Welche Rolle spielt die Lieferkette bei der Transformation zur emissionsfreien Mobilität?**

**SR:** Die Transformation zur emissionsfreien Mobilität verändert die Anforderungen an die Lieferkette grundlegend. Automobilherstellende müssen neue Partner gewinnen, insbesondere in den Bereichen Batterietechnologie und Software. Viele Schlüsselkomponenten stammen aus Asien, was die Abhängigkeit von einzelnen

Märkten verstärkt. Europäische Herstellende müssen Strategien entwickeln, um diese Abhängigkeiten zu reduzieren – etwa durch eigene Produktionsstätten oder strategische Partnerschaften. Zudem gewinnen Nachhaltigkeitsaspekte an Bedeutung: Die Herkunft von Rohstoffen, Recyclingprozesse und CO<sub>2</sub>-neutrale Lieferketten beeinflussen zunehmend die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie.

**IM+io Welche Herausforderungen sehen Sie bei der Lade- und Wasserstoffinfrastruktur?**

**SR:** Die größte Herausforderung liegt im sogenannten „Henne-Ei-Problem“: Ohne ausreichende Lade- und Wasserstoffinfrastruktur zögern Unternehmen und Verbrauchende den Umstieg, doch ohne ausreichende Nachfrage fehlen Investitionen in den Ausbau. Besonders Wasserstoffprojekte scheitern oft an fehlenden Abnehmenden. Politik und Industrie müssen daher gemeinsam Standards setzen, Investitionen fördern und langfristige Planungssicherheit schaffen, um den Hochlauf dieser Infrastruktur zu ermöglichen.

**IM+io Was ist Ihre persönliche Vision für die Zukunft emissionsfreier Fahrzeuge?**

**SR:** Meine Vision ist eine vollständig integrierte Mobilitätslandschaft, in der erneuerbare Energien, emissionsfreie Fahrzeuge und intelligente Plattformen nahtlos miteinander verbunden sind. Die Transformation ist eine enorme Herausforderung, die von allen Beteiligten – Unternehmen, Politik, Wissenschaft und Gesellschaft – gemeinsames Handeln erfordert. Ich glaube, dass wir bis 2040 entscheidende Fortschritte sehen werden, wenn wir jetzt die richtigen Weichen stellen. ■



**Dr. Srinath Rengarajan**

Srinath Rengarajan ist Direktor für Downstream und Business Development bei der Hemtron GmbH, einer Tochtergesellschaft von Oilinvest B.V., die sich auf die Förderung und den Aufbau einer Wertschöpfungskette für sauberen Wasserstoff in Europa konzentriert. Er ist Dozent an Hochschulen, u.a. an der TH Ingolstadt, zu Themen wie Automobilstrategie, internationales Management und Decision Intelligence. Er verfügt über mehr als ein Jahrzehnt Erfahrung in der globalen Automobilindustrie, einschließlich früherer Positionen bei Daimler Truck, Oliver Wyman und QUANTRON. Rengarajan hat einen Masterabschluss in Automobiltechnik von der RWTH Aachen und promovierte in Management an der FAU Erlangen-Nürnberg.

**Kontakt**

srinath.rengarajan@outlook.com  
www.linkedin.com/in/srinathrengarajan

## Kurz und Bündig

Die Automobilbranche setzt verstärkt auf Elektromobilität, wobei Pkw zunehmend batterieelektrisch werden und Brennstoffzellen bei Nutzfahrzeugen eine Rolle spielen. Startups treiben Innovationen voran, kämpfen jedoch mit Finanzierung und Lieferketten. Große Herstellende setzen auf Partnerschaften mit Batterieproduzierenden und Softwareunternehmen. Herausforderungen bleiben die Ladeinfrastruktur und die Abhängigkeit von asiatischen Märkten.



# Gigabit statt Geduldsprobe –

## Mehr Tempo fürs Bahnnetz

Andreas Schröder, Eike Gutt, aconium GmbH

Stockende Videocalls, Ladebalken beim Streamen und Verbindungsabbrüche mitten im Gespräch – wer mit der Bahn reist, kennt die Tücken schwacher Mobilfunknetze. Die steigenden Ansprüche an digitale Konnektivität machen schnelle und stabile Verbindungen unverzichtbar. Aber was braucht es, um die Lücken entlang der Schienen endlich zu schließen? Und welche technischen Herausforderungen müssen für leistungsfähigen Mobilfunk auf der Schiene überwunden werden?



Aus Perspektive der Nutzenden zeigt sich, dass eine flächendeckende Versorgung mit Mobilfunk allein nicht mehr genügt. Besonders für Pendler:innen und Fahrgäste auf Bahnreisen sind stabile, leistungsfähige Netze entscheidend. Der Bedarf an Bandbreite und die Erwartungen an eine leistungsstarke Mobilfunkverbindung wachsen schnell. Geschäftsreisende möchten die Reisezeit produktiv nutzen, etwa für Videokonferenzen, während Privatreisende Musik, Filme und Serien streamen oder sich mit Online-Games die Zeit vertreiben. All dies scheitert jedoch oft an lückenhaften Verbindungen.

Zugfahrten gelten als nachhaltig und klimafreundlich – ein guter Grund, die Anzahl der Bahnreisenden weiter zu erhöhen. Voraussetzung dafür ist jedoch eine leistungsstarke Internetverbindung, die den Anforderungen der Reisenden gerecht wird. Perspektivisch werden Datenübertragungsraten im Gigabitbereich unverzichtbar, die sich insbesondere durch den Einsatz von 5G-Technologie in höheren Frequenzbereichen (zum Beispiel um 3,6 GHz) erzielen lassen. In Deutschland wurde bereits im Rahmen des durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) geförderten Gigabit Innovation Track (GINT)-Projektes die theoretische Machbarkeit nachgewiesen. Im Oktober 2024 haben die Deutsche Bahn und Mobilfunknetzbetreiber in einer Absichtserklärung weiter vereinbart, unter anderem gemeinsam Synergien beim Aufbau und Einsatz einer leistungsfähigen Mobilfunkinfrastruktur zu identifizieren und diese bei der anstehenden Generalsanierung auf der Innovationsstrecke Hamburg – Berlin anzuwenden. Anfang 2025 wurde bereits damit begonnen, passive Infrastruktur entlang der Strecke zu errichten.

### **Zu oft fahren wir noch durch digitale Wüsten**

Die Mobilfunkversorgung entlang der Schienenwege erfolgt aktuell über die Flächenversorgung der Mobilfunknetzbetreiber (MNB). Dabei kommen vor allem Frequenzen im Bereich von 700 MHz, 800 MHz und 900 MHz zum Einsatz, teils auch 1800 und 2100 MHz. Die Mobilfunkstandorte sind so gewählt, dass sie möglichst große Flächen und bewohnte Gebiete abdecken. Allerdings liegen weite Teile der Bahnstrecken oft mehrere Kilometer vom nächsten Mobilfunkstandort entfernt, was sich deutlich auf die Mobilfunkqualität an Bord des

Zuges auswirkt. Die unzureichende Mobilfunkversorgung hat dazu geführt, dass den Netzbetreibern im Rahmen der Frequenzversteigerung 2019 Versorgungsaufgaben für Bahnstrecken auferlegt wurden. Fahrgaststarke Strecken müssen seitdem mit 100 Mbit/s pro Antennensektor versorgt werden, Nebenstrecken mit 50 Mbit/s. Um die Versorgung entlang der Bahntrassen weiter zu verbessern, unternehmen die Mobilfunknetzbetreiber zusätzliche Anstrengungen über die Erfüllung dieser Versorgungsaufgaben hinaus. Dabei kooperieren sie eng mit der Deutschen Bahn.

Trotz dieser Ausbaubemühungen konnte bislang jedoch keine durchgehend leistungsstarke und stabile Versorgung entlang der Bahnstrecken erreicht werden. Die Gründe dafür sind vielfältig; sie liegen nicht ausschließlich im Einflussbereich der Mobilfunknetzbetreiber.

### **Digitalisierung als Schlüssel für nachhaltige Mobilität**

Eine klimafreundliche Verkehrswende erfordert mehr als nur emissionsfreie Antriebe – sie braucht eine intelligente Infrastruktur, die nachhaltige Mobilität attraktiv und zuverlässig macht. Bahnreisen gelten als eine der umweltfreundlichsten Fortbewegungsarten, doch um sie als echte Alternative zum Auto oder Flugzeug zu etablieren, müssen Komfort und Konnektivität stimmen. Eine lückenlose, leistungsfähige Mobilfunkversorgung entlang der Schienenwege ermöglicht es Fahrgästen, produktiv zu arbeiten oder ihre Freizeit digital zu gestalten – ein entscheidender Faktor für die Attraktivität des Schienenverkehrs.

Besonders im Kontext der Mobilitätswende spielt die digitale Anbindung eine Schlüsselrolle: Wer langfristig den Umstieg vom Auto auf die Bahn fördern will, muss die Infrastruktur so gestalten, dass sie den Ansprüchen einer digital vernetzten Gesellschaft gerecht wird. Intelligente Verkehrssysteme, Echtzeitinformationen und verlässliche Kommunikationsnetze sind essenziell für ein modernes, nachhaltiges Mobilitätskonzept.

Dabei geht es nicht nur um schnelles Internet für Reisende, sondern auch um optimierte Betriebsabläufe im Schienenverkehr selbst. Echtzeitüberwachung von Zugbewegungen, KI-gestützte Wartungsprognosen und automatisierte Steuerungssysteme könnten Verspätungen reduzieren und die Kapazitäten effizienter



**Andreas Schröder**

Andreas Schröder ist Leiter Mobilfunk bei der aconium GmbH. Mit seinem Team unterstützt er Kommunen, Landkreise und Ministerien beim Ausbau von Mobilfunknetzen und in allen Fragen rund um den Mobilfunk. Schröder ist seit 25 Jahren in der Telekommunikationsbranche tätig. Nach seinem Studium der Volkswirtschaft und einer Station als Regulierungsökonom bei Arcor war er in der Hauptstadtpresidentschaft von Vodafone und ab 2015 von United Internet/1&1 tätig, wo er die politische Interessenvertretung für digitale Infrastrukturen übernahm.

### **Kontakt**

a.schroeder@aconium.eu  
www.aconium.eu





#### Eike Gutt

Eike Gutt ist stellvertretender Leiter Mobilfunk bei der aconium GmbH. Nach seinem Studium der Chemie und Soziologie war er zunächst mehrere Jahre freiberuflich als technischer Berater im Telekommunikationssektor tätig. Seit acht Jahren leitet er bei aconium Fachprojekte und verantwortet Studien im Bereich Mobilfunk.

#### Kontakt

e.gutt@aconium.eu  
www.aconium.eu

nutzen. Zudem sind stabile digitale Verbindungen essenziell für autonomes Fahren im Bahnsektor, das bereits in verschiedenen Pilotprojekten erprobt wird. Ein flächendeckendes Gigabit-Netz entlang der Bahntrassen ist daher nicht nur eine technische, sondern eine ökologische und betriebliche Notwendigkeit.

#### Signal auf Abwegen – Warum Highspeed-Internet im Zug so schwierig ist

Die Bauweise der ICEs mit metallbeschichteten Scheiben stellt eine erhebliche Herausforderung für die Mobilfunkversorgung dar, da diese das Signal stark dämpfen und so die Verbindung innerhalb des Zuges schwächen. Ein weiteres Hindernis war die eingeschränkte Nutzung des 900 MHz-Frequenzbandes: Dieses wird auch für den Bahnfunk GSM-R genutzt, was wegen der Frequenznähe Störungen im Bahnfunk verursachen konnte. Inzwischen wurde dieses Problem dank des Austauschs ungehärteter GSM-R-Endgeräte gegen gehärtete Modelle behoben.

Zudem wird Mobilfunk als Shared Medium benutzt, was bedeutet, dass sich alle Reisenden eine bereitgestellte Bandbreite teilen. Bei 500 Nutzenden und 100 Mbit/s stünden rechnerisch jedem Nutzenden nur noch 0,2 Mbit/s zur Verfügung – vorausgesetzt, die vollen 100 Mbit/s kommen im Zugabteil an.

Obwohl mehr Standorte, bauliche Anpassungen an den Zügen und der Austausch der ungehärteten Endgeräte die Versorgung bereits verbessern konnten, reicht dies für Gigabitgeschwindigkeiten noch nicht aus.

#### Anforderungen für die Versorgung von Bahntrassen mit Gigabit-Datenraten

ICEs fahren in Deutschland aktuell auf den Hochgeschwindigkeitstrassen mit maximal 300km/h. Insbesondere die Kombination

hoher Geschwindigkeiten und sehr hoher Datenraten ist technisch äußerst herausfordernd. Datenraten im Gigabit-Bereich machen den Einsatz von Frequenzen notwendig, die über ausreichend hohe Kanalbandbreite verfügen. Diese liegen typischerweise höher als das bisher gängige Spektrum.

In Deutschland haben die Netzbetreiber momentan im Band n78 (rund 3,6 GHz) genug Kanalbandbreite, um Gigabit-Datenraten ohne Carrier Aggregation (CA) zu ermöglichen. Hohe Frequenzbereiche haben jedoch Nachteile, vor allem bei der Versorgung von Nutzenden in schnell fahrenden Zügen. Der Dopplereffekt verursacht eine Frequenzverschiebung, die stärker ausfällt, je höher der Frequenzbereich ist – das gilt es bei der Netzkonfiguration zu berücksichtigen. Hohe Frequenzen haben zudem eine begrenzte Sendereichweite, sodass die Standorte sehr dicht beieinander stehen müssen, um eine kontinuierliche Versorgung sicherzustellen.

#### Versorgung von außen oder innen? Zwei Wege zum besseren Netz

Für die Übertragung von Mobilfunksignalen in Zügen gibt es verschiedene Ansätze. Eine Möglichkeit besteht darin, dass Mobilfunkstandorte eine externe Zugantenne anpeilen und die Daten über Antennen im Inneren des Zuges zu den Endgeräten (UE) gesendet werden. Das hat besonders bei höheren Frequenzen den Vorteil, dass der Pfadverlust deutlich geringer wird. So lässt sich die dämpfende Eigenschaft des Zuges umgehen, der elektromagnetische Wellen wie ein Faradayscher Käfig abschirmt. Für die Signalverteilung im Zug können WLAN und/oder Mobilfunkfrequenzen genutzt werden. Die Umsetzung dieser Lösung erfordert jedoch erhebliche Umbauten, darunter die Installation von Dachantennen, entsprechende Verkabelung sowie aktive Technik im Zuginneren.

Dieser bauliche Aufwand entfällt, sofern die Versorgung der Reisenden direkt von außen in den Zug erfolgt. Die Herausforderung besteht jedoch in den metallbeschichteten Scheiben: Diese dämpfen das Mobilfunksignal stark. Abhilfe schafft hier das „Lasern“ der Scheiben. Dabei wird die flächige Metallbeschichtung so segmentiert, dass die Wärmeschutzfunktion weitgehend erhalten bleibt, während aber die Signalstärke im Zuginneren erheblich steigt. Der Vorteil dieser Lösung liegt in ihrer Wartungsfreiheit, was sie im Vergleich

---

**Die Digitalisierung der Bahn ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern eine ökologische Notwendigkeit für eine nachhaltige Mobilitätswende.**

zur Antennenlösung im Zuginneren besonders attraktiv macht. Eine weitere Herausforderung für die Versorgung von Hochgeschwindigkeitsstrecken ist die hohe Geschwindigkeit der Züge. Dadurch „durchfährt“ der Zug Mobilfunkstandorte in kurzen Intervallen. Um permanente, schnelle „Handover“ zwischen den Mobilfunkstandorten zu verhindern, kann ein Verfahren eingesetzt werden, das als „Single Frequency Network“ (SFN) bezeichnet wird. Hierbei ordnet man mehrere „Remote Radio Heads“ (RRH) einer Basisstation zu. Dadurch kann über einen langen Streckenabschnitt die gleiche Cell-ID genutzt werden. Im Gebiet der gleichen Cell-ID ist damit kein Handover mehr notwendig. Die geringen Distanzen zwischen den Standorten sind auch notwendig, um auf jedem Streckenabschnitt eine „Line of Sight“ (LoS, Sichtverbindung) von den Endgeräten zur Antenne herzustellen. Insbesondere Barrieren wie Bewuchs oder Gebäude wirken sich bei hohen Frequenzen stärker aus und erfordern eine nahezu freie Sichtverbindung.

Im Ergebnis ist daher zur Erreichung des Zieles von Gigabit-Geschwindigkeiten in Zügen eine linienförmige Infrastruktur entlang der Gleise notwendig. Nur durch engmaschige Standortabstände lässt sich eine durchgängige Versorgung erreichen.

### **Mehr Netz für weniger Geld – Wie smarter Ausbau Mobilfunk auf die Schiene bringt**

Der Bau der erforderlichen Infrastruktur für ein Gigabitnetz ist kostenintensiv. Um den Ausbau dennoch effizient zu gestalten, sind wirtschaftlich und technisch geeignete Konzepte unverzichtbar. Ein zentraler Ansatzpunkt ist eine verstärkte Kooperation zwischen den Stakeholdern beim Bau und Betrieb dieser Infrastruktur.

Ein Schlüssel zur Kostenreduktion liegt in der gemeinsamen Nutzung von Mobilfunkmasten. Angesichts begrenzter Kapazitäten entlang der Bahntrassen ist es unwahrscheinlich, dass alle vier MNO jeweils eine eigene 5G-Infrastruktur entlang der Gleise aufbauen. Schon bei einer gemeinsamen Standortnutzung mit jeweils separater Technik müssten die Masten sehr hoch und besonders stabil ausgelegt werden.

Eine deutlich effizientere Lösung ist das aktive Sharing, bei dem alle Netzkomponenten nur einmal installiert und gemeinsam genutzt werden. Ein weiterer Schritt ist das sogenannte Frequenzpooling, wodurch das

gesamte Frequenzspektrum (zum Beispiel 300 MHz im n78-Band) allen Teilnehmern gemeinsam bereitsteht. Dies ermöglicht eine maximale Auslastung des Frequenzspektrums und steigert die erzielbare Datenübertragungsrate auf etwa zwei bis drei Gbit/s.

Zusätzlich sollte die vorhandene Bahninfrastruktur stärker für den Mobilfunkausbau genutzt werden, um weitere Kosten zu reduzieren. Neben ökonomischen Vorteilen spielen dabei auch Nachhaltigkeitsaspekte eine wichtige Rolle: So ist der Energieverbrauch bei gemeinsam genutzter aktiver Technik deutlich niedriger als bei mehreren parallelen Systemen. Die Stromkosten können dadurch erheblich sinken.

### **Ausblick**

Die Versorgung entlang der Bahntrassen mit leistungsfähigem Mobilfunk ist ambitioniert, aber eine leistbare Aufgabe. International gibt es Beispiele für eine lineare Infrastruktur entlang von Bahnstrecken. Mit der anstehenden umfangreichen Sanierung von Hochgeschwindigkeitstrassen in Deutschland und der Modernisierung des Bahnfunks besteht eine einmalige Chance, im Zuge dieser Arbeiten den öffentlichen Mobilfunk zu verbessern. So kann sichergestellt werden, dass nachhaltige, leistungsstarke und zukunftsfähige Mobilität nicht nur ökologisch, sondern auch digital überzeugend ist. ■

### **Kurz und Bündig**

5G-Mobilfunk entlang der Bahntrassen soll Gigabit-Datenraten ermöglichen. Ab 2025 beginnt der Ausbau passiver Infrastruktur auf der Strecke Hamburg–Berlin. Aktuell versorgen Mobilfunknetzbetreibende Bahnkorridore mit 700–2100 MHz, doch hohe Geschwindigkeiten und metallbeschichtete Zugfenster erschweren stabile Verbindungen. Frequenzen um 3,6 GHz bieten Gigabit-Potenzial, erfordern aber engmaschigere Funkstandorte. „Single Frequency Network“-Technologie kann Handover-Probleme reduzieren. Ein gemeinsamer Ausbau durch Netzbetreibende und Bahn könnte Kosten senken und Nachhaltigkeit verbessern.





# Smarte Lösungen für eine vernetzte Zukunft

Jonathan Behm, Neue Mobilität Paderborn e.V.









#### Jonathan Behm

Jonathan Behm ist Geschäftsführer des Neue Mobilität Paderborn e.V. und leitet die NeMo-Initiative, die sich auf innovative Mobilitätslösungen für städtische und ländliche Regionen fokussiert. In dieser Rolle koordiniert er die Zusammenarbeit zahlreicher Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlichen Institutionen in verschiedenen Vorhaben und Projekten. Zuvor absolvierte Jonathan Behm ein duales Maschinenbaustudium bei einem international tätigen Automobilzulieferer und arbeitete als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Paderborn.

#### Kontakt

Jonathan.behm@  
nemo-paderborn.de  
www.nemo-bil.de  
www.nemo-paderborn.de

Stellen Sie sich eine Zukunft vor, in der der Verkehr nicht nur effizienter, sondern auch smarter, nachhaltiger und noch komfortabler wird als der eigene Pkw. Doch der Weg dahin ist gespickt mit Herausforderungen, die den klassischen öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) auch in Zeiten modernster Technologien an seine Grenzen bringen. Insbesondere in ländlichen Regionen fehlen oft flexible und bedarfsorientierte Lösungen, die die Bedürfnisse der Menschen vor Ort wirklich bedienen. Trotz zahlreicher Modellprojekte und Innovationen bleibt der Durchbruch bislang aus. Die Frage, die sich stellt: Wie lässt sich diese Lücke zwischen ambitionierten Visionen und der Realität überbrücken? Und welche Rolle spielen dabei intelligente Plattformen, die verschiedene Verkehrsträger und Technologien miteinander verbinden?

Trotz der zahlreichen technologischen Fortschritte bleibt der Verkehrssektor einer der größten Verursacher von Treibhausgasemissionen. Zur Erreichung der im Pariser Klimaabkommen beschriebenen Ziele ist eine nachhaltige Mobilitätswende notwendig, die ökonomische, ökologische und soziale Aspekte ganzheitlich betrachtet. Im Rahmen dieser Mobilitätswende lassen sich drei wesentliche Transformationspfade beschreiben, die eng verzahnt werden müssen: die Antriebswende von fossilen Brennstoffen zur Elektromobilität, die Verlagerung von einer Hardware zu einer Software-defined-Mobility und übergeordnet die Veränderung des allgemeinen Mobilitätsverhaltens sowie dem vorgelagert auch der zur Verfügung stehenden Mobilitätslösungen.

Das Rückgrat dieses letzten Pfades soll der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) sein. Während dieser in großen Städten bereits vielerorts gut funktioniert, mangelt es in deren Randgebieten und besonders in ländlichen Regionen häufig an funktionierenden Lösungen. In Folge geringer Flexibilitäten, langer Taktzeiten und unzureichender Abdeckungen fallen die Akzeptanz und somit auch die Nutzung durch die Bevölkerung gering aus. Kommunen und Betreibende sehen sich mit der Pflicht zur Daseinsvorsorge und hohen Defiziten konfrontiert – hinzu kommt die sich zunehmend verschärfende Knappheit von Fahrpersonal für den Busverkehr. Es bedarf neuer Lösungen und besonders deren Umsetzung – doch vielerorts führt diese schwierige Ausgangslage zu einer geringen Innovationskraft.

Hier setzten in der Vergangenheit zahlreiche Förderinstrumente an, die darauf abzielten, diesen Herausforderungen auf Basis von Modellprojekten – von On-Demand-Services über Carsharing bis hin zu automatisierten Shuttles – zu begegnen. Doch viele dieser Projekte wurden nach wenigen Jahren beendet, ohne dass ihre Ergebnisse zu einer nachhaltigen Verbesserung oder Anschlussfähigkeit führten. Die Gründe dafür sind ebenso vielfältig wie die adressierten Herausforderungen: hohe Anschaffungs- und

---

**Für die Erreichung der Klimaziele ist eine nachhaltige Mobilitätswende notwendig, die ökonomische, ökologische und soziale Aspekte vereint.**



Betriebskosten neuartiger Technologien, deren technologische Reife gleichzeitig noch nicht für den anspruchsvollen Dauerbetrieb bereit ist, mangelnde Serienverfügbarkeit automatisierter Fahrzeuge sowie fehlende tragfähige Geschäftsmodelle, die das ganze Potenzial dieser neuen Mobilität ausschöpfen.

Das Ergebnis dieser Projektlandschaft sind viele isolierte proprietäre Einzellösungen, die durch die damit verbundenen Medienbrüche Komforteinbußen verzeichnen und durch ihr Kommen und Gehen keine Chance haben, entsprechende Akzeptanz bei den Nutzenden aufzubauen. Zu erwähnen ist jedoch, dass der Fokus bei diesen Projekten häufig eher auf der Weiterentwicklung einzelner Systemkomponenten als auf der Standardisierung oder Übertragbarkeit ganzer Lösungen lag. Anbietende müssen deshalb, statt Synergien nutzen zu können, häufig von vorn anfangen, was wiederum zu hohen individuellen Entwicklungskosten führt. Es fehlt die langfristige Perspektive – sowohl für die Nutzenden und Anbietenden solcher Lösungen als auch für

die Entwickelnden der zugrunde liegenden Technologien. Es kann sich kein Markt aufbauen, in dem Skaleneffekte genutzt und Kosten langfristig gesenkt werden könnten. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, braucht es nicht nur innovative Technologien und ganzheitliche Konzepte, die nachhaltige Geschäftsmodelle ermöglichen, sondern auch etablierte Standards und Schnittstellen, die eine smarte Vernetzung verschiedener Mobilitätsangebote ermöglichen.

### **Zielbild: Smarte, nachhaltige und vernetzte Mobilität**

Aber wie kann es aussehen, das Zielbild einer smarten, nachhaltigen und vernetzten Mobilität, das bisher nicht erreicht werden konnte? Intelligente Plattformen verknüpfen nahtlos verschiedene Verkehrsträger miteinander und ermöglichen so eine intermodale Mobilität. Die zunehmende Digitalisierung öffnet den Weg für gänzlich neue Geschäftsmodelle. Nachhaltige und bedarfsorientierte Transportsysteme

Abbildung 1: Rendering eines Cabs. (Neue Mobilität Paderborn e.V.)



werden mit regenerativ gewonnenen Energien betrieben, sorgen für eine ressourceneffiziente Fortbewegung und tragen so zur Senkung der verkehrsbedingten Emissionen bei. Die Akzeptanz des öffentlichen Personennahverkehrs in der Bevölkerung steigt aufgrund der höheren Individualität und des damit verbundenen Komforts. Auch die wirtschaftliche Situation der Betreibenden entspannt sich. Städte profitieren durch zusammenwirkende und auch neue Lösungen von weniger Stau, besserer Luft- und höherer Lebensqualität – ländliche Regionen hingegen von einer besseren Anbindung und Attraktivitätssteigerung.

Dieser Vision hat sich eine bedeutende Initiative im Bereich der neuen Mobilität verschrieben, die in einem gemeinnützigen Verein organisiert ist. Sie vereint Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Gebietskörperschaften aus Deutschland und dem internationalen Raum. Mit einem gemeinsamen Verständnis von Mobilitätswende, Energiewende und Digitalisierung werden Beteiligte und Lösungen vernetzt, um ein nachhaltiges Mobilitäts-Ökosystem zu entwickeln. Identifiziert das Netzwerk Lücken, werden Projekte zur Entwicklung der notwendigen Bausteine initiiert. Ein besonderer Fokus liegt auf den Schnittstellen zwischen den Lösungen, um deren Interoperabilität und die Weiterentwicklung des gesamten Ökosystems zu fördern. Ein Beispiel hierfür ist das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Projekt „NeMo.bil“.

#### **NeMo.bil – Komfortabler als der eigene Pkw**

Im Rahmen des Projekts entwickeln 20 Partner ein neuartiges Mobilitätssystem, das bestehende Strukturen im Sinne eines multi- und intermodalen Zusammenspiels ergänzen und weniger bedarfsorientierte Lösungen ersetzen soll.

Ein besonderer Fokus liegt auf den Bedürfnissen ländlicher und weniger dicht besiedelter Regionen. Das System soll allen Menschen möglichst barrierefreien Zugang zu Mobilität ermöglichen und alle anfallenden Mobilitätsanfragen bedienen können. Die Transporte erfolgen mit leichten elektrisch-autonomen und digital vernetzten Fahrzeugen, sogenannten Cabs. Anders als in vielen bisherigen Konzepten wird jedoch nicht jedes einzelne Fahrzeug auf „Mobilität überall für alle“ ausgerichtet, was häufig zu überdimensionierten Lösungen führen würde. Vielmehr agieren die Cabs im Schwarm und bieten bedarfsorientierte Ausstattungen, wie Fahrzeuge für zwei bis vier Personen, besonders barrierefreie Modelle oder auch Gütertransport-Fahrzeuge. Dadurch wiegen die Cabs nur etwa eine halbe Tonne und benötigen deutlich weniger Ressourcen als herkömmliche Pkws oder Busse.

---

## **Isolierte, proprietäre Lösungen führen zu Komforteinbußen und verhindern eine breite Akzeptanz bei den Nutzenden.**

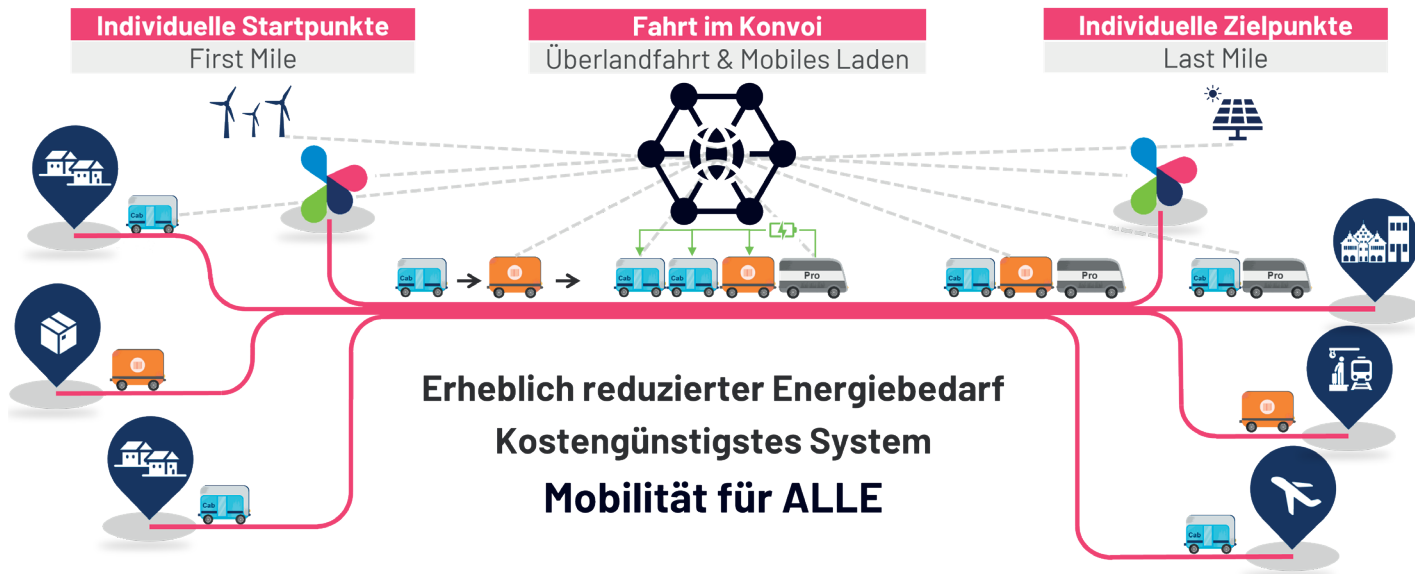
---

Für längere Strecken können sich die Cabs mit einem Zugfahrzeug, dem „Pro“, zusammenschließen und bilden einen besonders energieeffizienten Konvoi. In dieser Formation erreichen sie höhere Geschwindigkeiten und werden während der Fahrt aufgeladen, wodurch Stillstandszeiten minimiert werden. In der Zielregion trennen sich die Cabs wieder, um individuelle Ziele anzusteuern. Dieser disruptive Ansatz mit sehr leichten bedarfsorientierten Fahrzeugen und Zugfahrzeugen für die Konvoibildung ermöglicht eine extrem energie- und ressourceneffiziente öffentliche Mobilität, die ähnliche Komfortattribute wie der private Pkw aufweist.

Eine digitale Plattform wird entwickelt,

---

## **Die Mobilitätswende erfordert Lösungen, die durch digitale Schnittstellen vernetzt sind und reibungslose Zusammenarbeit ermöglichen.**



um die Cabs und Zugfahrzeuge, die individuellen Fahrten sowie die Infrastruktur zu koordinieren. Dabei liegt ein wichtiger Fokus auf der Integration von offenen Schnittstellen, um das System interoperabel mit bestehenden öffentlichen Verkehrslösungen und Dateninfrastrukturen wie Gaia-X und dem European Mobility Data Space zu verbinden. Dies erleichtert die Übertragbarkeit des Systems und ermöglicht die Einbindung neuer Geschäftsmodelle. Ebenso wichtig für die Skalierbarkeit solcher Innovationen ist, dass auch andere öffentliche Verkehrslösungen, insbesondere im Bereich automatisierter On-Demand-Transporte, ähnliche digitale Schnittstellen bieten.

### Skalierfähigkeit als Gemeinschaftsaufgabe – Ökosystem Mobilität 4.0

Die Initiative „Ökosystem Mobilität 4.0“ hat sich dieser übergeordneten Aufgabe angenommen. Renommierete Beteiligte aus Industrie, Wissenschaft und öffentlicher Hand arbeiten daran, Grundlagen wie digitale Referenzsysteme, einheitliche Standards und Regeln für den autonomen individualisierten öffentlichen Verkehr zu entwickeln. Die Kombination bewährter Ansätze aus bereits getesteten Projekten sowie die Entwicklung standardisierter modularer Komponenten zielt darauf ab, ein offenes und transparentes System zu schaffen. Das Ziel ist es, grundlegende Komponenten nicht in proprietären Lösungen zu isolieren, sondern ein interoperables und konzeptionell offenes System zu entwickeln, das autonome Shuttles in jeder Gemeinde und Stadt Realität werden lässt.

### Zukünftige Entwicklung und Vision

Langfristig soll das „Ökosystem Mobilität 4.0“ Teil einer umfassenden Initiative werden, die nicht nur die digitalen Grundlagen stärkt, sondern auch die Skalierung autonomer On-Demand-Shuttles im öffentlichen Nahverkehr vorantreibt. Ebenso wird die Erweiterung und Anwendung der entwickelten Lösungen auf neue Anwendungsfälle und innovative Mobilitätskonzepte in Zukunft angestrebt. Die Initiative wird kontinuierlich wachsen und dabei wichtige Beteiligte, Entwickelnde und Visionär:innen einbeziehen, um gemeinsam die digitale Infrastruktur für autonome Shuttles zu schaffen. ■

Abbildung 2: Darstellung des NeMo.bil Konzepts. (Neue Mobilität Paderborn e.V.)

### Kurz und Bündig

Die Mobilität der Zukunft soll smart, vernetzt und individuell werden. Eine Schlüsseltechnologie hierfür ist das automatisierte Fahren, welches bereits Bestandteil zahlreicher überwiegend isolierter Modellprojekte war. Bislang ist es jedoch noch nicht gelungen, marktfähige und skalierbare Mobilitätslösungen abzuleiten. Dies soll sich nun durch einen konzentrierten Fokus auf Schnittstellen und die Interoperabilität der verschiedenen Lösungen ändern.





# Digitale Archäologie:

## Wie alte Daten neue Produkte formen

Thomas Schumacher, Roman Stephan, David Inkermann, Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal

Jede neue Produktgeneration baut auf dem Wissen der vorherigen auf. In der Entwicklung gehen jedoch oft wertvolle Erkenntnisse verloren – versteckt in isolierten Modellen, verstreuten Datenbanken oder veralteten Dokumentationen. Dabei könnte dieses Wissen der Schlüssel zu effizienteren und nachhaltigeren Prozessen sein. Wie lässt sich gesammelte Erfahrung intelligent nutzen, um komplexe Systeme schneller, konsistenter und ressourcenschonender zu entwickeln?





#### Thomas Schumacher

Nach erfolgreichen Abschluss des Masterstudiums Wirtschaftsingenieurwesen an der TU Clausthal begann im Jahr 2013 der berufliche Werdegang von Thomas Schumacher als Trainee bei der Schaeffler Technologies AG & Co. KG. Nach verschiedenen verantwortlichen Positionen, u.a. Leiter Qualitätsmanagement Geschäftsbereich E-Achssysteme, wechselte Thomas Schumacher im Jahr 2020 an das Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal und promovierte seitdem im Themenfeld Model-based Systems Engineering.

#### Kontakt

schumacher@  
imw.tu-clausthal.de  
www.imw.tu-clausthal.de

**T**echnologische Fortschritte, globale Megatrends und neue wissenschaftliche Erkenntnisse treiben den stetigen Wandel unserer vernetzten Welt voran. Diese Veränderungen wirken sich direkt auf die Produktentwicklung aus und beeinflussen die Anforderungen an künftige Systeme maßgeblich.

Moderne technische Systeme enthalten zunehmend größere Softwareanteile, um neue Funktionen bereitzustellen und immer größere Datenmengen zu verarbeiten. Zudem verändert sich der Produktlebenszyklus durch Updates aus der Ferne, sogenannte Over-the-Air-Updates, die wiederum Auswirkungen auf die Architektur dieser Systeme haben. Solche hochvernetzten Systeme werden als cyber-physische Systeme (CPS) bezeichnet. Sie kombinieren

Sensoren, Informationsverarbeitung und Aktoren, um mit ihrer Umgebung zu kommunizieren und interagieren zu können [1].

Obwohl CPS komplex sind, basiert die Produktentwicklung meist auf bestehenden Referenzprodukten oder vorherigen Generationen, die durch neue Funktionen erweitert werden [2]. Das bedeutet, dass bereits wertvolles Wissen über das zu entwickelnde System vorhanden ist. Dieses Wissen liegt in digitalen Modellen vor, die das System in unterschiedlichen Entwicklungsstufen beschreiben [3].

Um CPS nachhaltig und effizient zu entwickeln, ist die gezielte Wiederverwendung digitaler Produktmodelle essenziell [4]. Die International Council on Systems Engineering (INCOSE) hebt in ihrer Vision 2035 hervor, dass





**Prof. Dr.-Ing. David Inkmann**

David Inkmann studierte Maschinenbau an der TU Braunschweig und promovierte 2016 über adaptive Systeme. Er leitete die Arbeitsgruppe Integrierte Produktentwicklung und verwaltete später den Lehrstuhl für Rechnerintegrierte Produktentwicklung am IMW. Seit September 2021 ist er Professor für Integrierte Produktentwicklung.

#### Kontakt

inkmann@

imw.tu-clausthal.de

www.imw.tu-clausthal.de

modellbasierte Wiederverwendung die Entwicklungseffizienz erheblich steigern kann [5].

Systems Engineering (SE) stellt einen interdisziplinären Ansatz zur Entwicklung technischer Systeme dar. Es berücksichtigt sowohl technische als auch projektbezogene Perspektiven und setzt eine konsequente systemische Denkweise voraus [1], [6]. Zentraler Bestandteil des SE sind die strukturierte Problemlösung sowie die Einhaltung definierter Prozesse.

Beim Model-based Systems Engineering (MBSE) steht die Nutzung digitaler Modelle im Fokus, um SE-Aktivitäten effizienter durchzuführen. Diese Modelle ersetzen traditionelle dokumentenbasierte Methoden [7]. Die formalisierte Modellierung erfolgt meist mit der Systems Modeling Language (SysML) und unterstützt die Entwicklung von Systemanforderungen, Architekturen sowie Verifikations- und Validierungsprozessen [1]. Ziel ist es, eine durchgängige Informationsverarbeitung und konsistente Modellierung innerhalb interdisziplinärer Entwicklungsprozesse sicherzustellen. Das zentrale Element ist ein kohärentes Systemmodell, das alle relevanten Informationen über das zu entwickelnde System enthält und als digitaler Wissensspeicher dient.

Damit ein konsistentes Systemmodell entsteht, müssen einheitliche Modellierungsmethoden, Werkzeuge und Sprachen definiert werden. Weiterführende Informationen dazu finden sich in [8], [6]. Eine zentrale Herausforderung im Digital Engineering besteht in der effizienten Wiederverwendung von Wissen, da die verwendeten

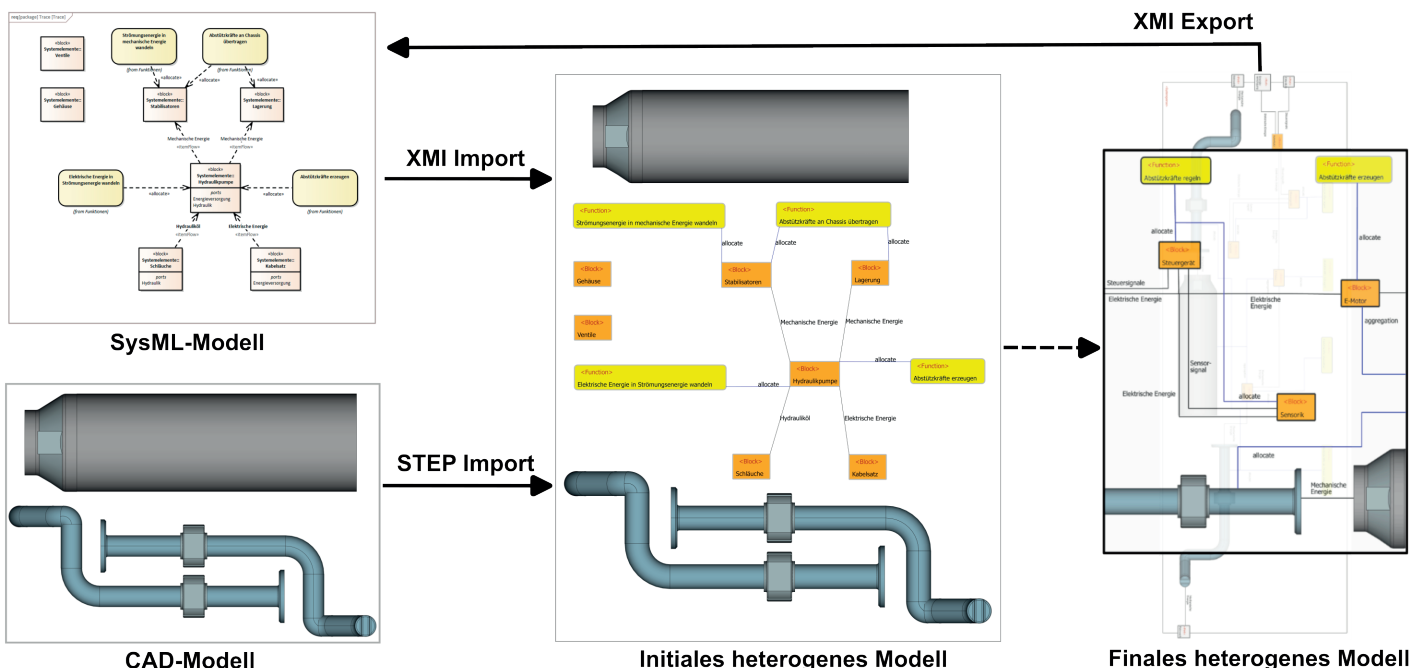
Modelle oft stark heterogen sind. Unterschiedliche Modelltypen, Datenstrukturen und Formate erschweren eine nahtlose Integration. Zudem fehlt es häufig an standardisierten Schnittstellen, die einen reibungslosen Austausch zwischen verschiedenen Modellierungswerkzeugen ermöglichen. Dies kann zu Inkonsistenzen und redundanten Arbeitsprozessen führen, die die Entwicklungszeit und -kosten erhöhen.

Digitale Technologien aus dem Bereich des Model-based Systems Engineering bieten jedoch vielversprechende Ansätze, um diese Problematik zu bewältigen. Durch den Einsatz formalisierter Modellierungssprachen und die gezielte Verknüpfung verschiedener Modelle lassen sich Wissensinseln auflösen und eine konsistente Datenbasis schaffen.

Dieser Beitrag stellt Methoden zur Modellintegration und -transformation vor, die eine effizientere Nutzung bestehender digitaler Modelle ermöglichen. Im Fokus stehen heterogene Modelle, die verschiedene Teilmodelle miteinander verknüpfen, sowie Graphenmodelle, die als strukturierte Wissensspeicher dienen. Durch die Kombination dieser Ansätze können Unternehmen ihre Entwicklungsprozesse optimieren, Synergien zwischen Disziplinen nutzen und langfristig die Nachhaltigkeit im Digital Engineering steigern.

Zusätzlich ermöglichen diese Methoden eine bessere Rückverfolgbarkeit von Entwicklungsentscheidungen und fördern eine durchgängige Dokumentation über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Insbesondere in

Abbildung 1: Workflow zur Erzeugung heterogener Modelle. (TUC)



hochkomplexen, interdisziplinären Entwicklungsumgebungen können Unternehmen so Transparenz schaffen und Fehlerquellen frühzeitig erkennen.

### Einführung in heterogene Modelle

Heterogene Modelle ermöglichen die Zusammenführung verschiedener Teilmodelle oder Modellelemente in einer einheitlichen Darstellung [9]. Dazu gehören unter anderem Anforderungen, Funktionen, logische und physische Systemelemente sowie räumliche und kontextbezogene Einschränkungen. Durch die Integration dieser verschiedenen Aspekte entsteht ein umfassendes Modell, das eine konsistente Datenstruktur nutzt, um die Modellkonsistenz zu erhöhen. Heterogene Modelle verbessern nicht nur die Konsistenz innerhalb des Model-based Systems Engineering, sondern erhöhen auch die Aussagekraft der Modelle für spezifische Entwicklungsaufgaben. Insbesondere bei der Architekturentwicklung cyber-physischer Systeme (CPS) kann diese Verknüpfung von funktionalen und physischen Systemelementen sowie definierten Schnittstellen eine wertvolle Unterstützung bieten.

## Heterogene Modelle und Wissensgraphen sichern Konsistenz und erleichtern den Wissenstransfer über Produktgenerationen.

### Entwicklung einer API zur Modellintegration

Zur Erzeugung heterogener Modelle, welche sowohl unterschiedliche Modellelemente in eine gemeinsame Visualisierung integrieren als auch deren Datenstruktur verknüpfen, wurde eine Umsetzungskonzept entwickelt. Ein zentraler

Bestandteil des Konzepts ist die Entwicklung einer Programmierschnittstelle (Application Programming Interface, API), die verschiedene Modellierungswerkzeuge miteinander verbindet. In diesem Prototyp werden SysML- und CAD-Modelle verknüpft, um die Entwicklung von Systemarchitekturen zu unterstützen. Ziel ist es, das CAD-Tool um neue Funktionen zu erweitern, die die Erstellung heterogener Modelle ermöglichen. Die API umfasst vier Hauptfunktionen:

1. **Heterogene Visualisierung:** Die API ermöglicht eine kombinierte Darstellung von CAD- und SysML-Modellelementen. Dazu werden bestehende CAD-Funktionen erweitert, um SysML-Elemente direkt in das Modell zu integrieren.
2. **Systemanalyse:** Das CAD-Tool wurde um Funktionen ergänzt, die eine visuelle Hervorhebung relevanter Objekte ermöglichen. Zudem lassen sich textuelle Informationen direkt im heterogenen Modell einbinden, um eine umfassende Analyse bestehender Systemarchitekturen zu unterstützen.
3. **XMI-Import:** Um Modellkonsistenz sicherzustellen, basiert das Konzept auf einer verknüpften Datenstruktur. Über den Import von XML-Dateien im XMI-Format (Version 1.1) können SysML-Elemente in das CAD-Modell übernommen werden. Dafür wurde ein spezieller Python-Algorithmus zur Dateneinlesung entwickelt.
4. **XMI-Export:** Damit die Architekturentwicklung konsistent bleibt, müssen Änderungen aus dem CAD-Modell auch zurück in das SysML-Werkzeug übertragen werden. Dies erfolgt über den Export von CAD-Objekten als SysML-Blockelemente in eine XMI-Datei.

Durch diese Funktionen wird Wissen aus vorherigen Produktgenerationen effizient wiederverwendet, indem bestehende SysML- und CAD-Modelle nahtlos in neue Entwicklungsprozesse integriert werden.

Gleichzeitig erleichtert die API die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen, da Ingenieur:innen und Designer:innen innerhalb einer gemeinsamen digitalen Umgebung arbeiten können. Dies reduziert Fehlerquellen, da Änderungen synchronisiert und



**Roman Stephan**

Roman Stephan studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der TU Clausthal und kam bereits im Zuge der Masterarbeit mit Problemstellungen in der Produktentwicklung in Berührung. Nach erfolgreichem Abschluss des Masterstudiums begann er im Juli 2024 als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal. Seitdem forscht er am Model-based Systems Engineering und arbeitet an Ansätzen zur Verwendung von Wissensgraphen.

### Kontakt

stephan@

imw.tu-clausthal.de

www.imw.tu-clausthal.de



konsistent über alle Modellierungsebenen hinweg nachvollzogen werden.

### Anwendungsbeispiel: Elektromechanische Wankstabilisierung

Zur Demonstration der entwickelten API wurde ein mechatronisches System aus dem Fahrwerk eines Fahrzeugs gewählt – die elektromechanische Wankstabilisierung. Ziel war die Entwicklung einer neuen Systemarchitektur unter Berücksichtigung neuer oder veränderter Anforderungen. Ein zentraler Aspekt nachhaltiger Produktentwicklung ist die gezielte Wiederverwendung von Wissen aus vorherigen Produktgenerationen. Durch den Import bestehender SysML- und CAD-Modelle konnte eine initiale Systemarchitektur automatisch generiert werden, die auf früheren Architekturentscheidungen basiert.

Anschließend wurde diese Architektur schrittweise erweitert, indem zusätzliche Modellelemente integriert und miteinander verknüpft wurden, um spezifische Anforderungen zu erfüllen. Die API ermöglicht dabei eine

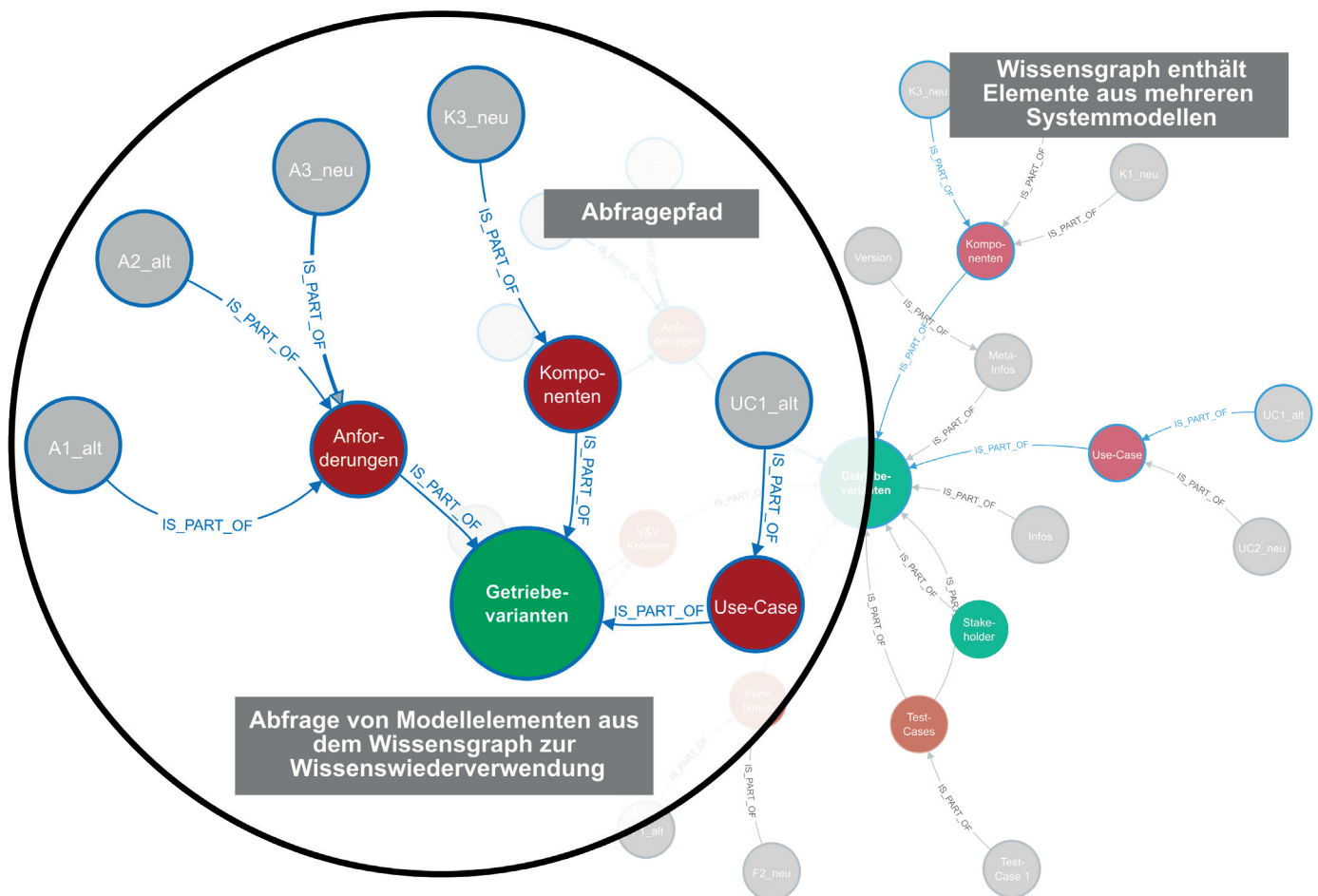
nahtlose Integration verschiedener Modelltypen in eine einheitliche Visualisierung. Dies trägt zur Konsistenz der Modellierung bei und unterstützt Ingenieur:innen dabei, effizient auf bestehende Wissensressourcen zurückzugreifen und so Entwicklungszeiten zu verkürzen.

### Erste Evaluationsergebnisse

Die Integration und Wiederverwendung digitaler Modelle in heterogenen Modellstrukturen soll sowohl den Informationsgehalt der Modelle erhöhen als auch die Modellierung effizienter gestalten. Um dies zu bewerten, wurden Modellierungsexperimente mit Studierenden und Fachleuten durchgeführt. Dabei wurden die erstellten Modelle anhand definierter Kriterien wie Architekturmuster, Korrektheit, Informationsdichte, Vereinfachung und Rückverfolgbarkeit analysiert [12].

Die Ergebnisse zeigen, dass heterogene Modelle die Modellierung unterstützen, insbesondere bei interdisziplinären Entwicklungsaufgaben und der Definition des Modellierungszwecks. Sie fördern zudem die Kreativität im

Abbildung 2: Die Darstellung zeigt das Konzept eines Wissensgraphen zur Wiederverwendung von SysML-Modellen. (TUC)



Modellierungsprozess und erleichtern die Zusammenarbeit in Entwicklungsteams. Die Befragten gaben an, dass diese Methode insbesondere die Wiederverwendung bestehender Modelle und Systemelemente verbessert und somit einen effizienteren Wissenstransfer ermöglicht.

---

## **Je besser vorhandenes Wissen integriert wird, desto schneller, konsistenter und ressourcenschonender lassen sich neue Produkte entwickeln.**

---

### **Wissensgraphen als zentrale Wissensspeicher**

Ein weiterer Ansatz zur Wiederverwendung von Wissen in der Produktentwicklung ist die Nutzung von Wissensgraphen. Diese ermöglichen die strukturierte Speicherung, Erweiterung und Analyse von Produktdaten und helfen, vorhandenes Wissen aus früheren Produktgenerationen gezielt in neue Entwicklungen zu integrieren. Dadurch können Nachhaltigkeit und Effizienz im Entwicklungsprozess gesteigert werden. Ein Wissensgraph ist ein multirelationales Netzwerk aus Entitäten (Knoten) und deren Beziehungen (Kanten) [13]. Seine Ontologie legt die Struktur und Regeln des Datensatzes fest, ähnlich zur semiformalen Struktur von SysML-Modellen [14]. Gespeicherte Daten lassen sich mit Abfragesprachen wie Cypher analysieren [15].

Bestehende Modelle werden in einer zentralen Datenbank zusammengeführt, dabei gleiche oder ähnliche Elemente identifiziert und vereinheitlicht. Durch die systematische Kategorisierung von systemübergreifenden Komponenten, Funktionen und Anforderungen entsteht

eine konsistente Wissensbasis. Die Abfrage aus dem Graphen kann je nach Bedarf einzelne Artefakte oder ganze Modellketten umfassen – von Anforderungen über Testszenarien bis hin zu realisierten Funktionen. Der letzte Schritt ist der Export der Daten und die Integration in neue SysML-Modelle, wobei die Ontologie des Graphen sicherstellt, dass die Struktur erhalten bleibt. Durch die kontinuierliche Erweiterung des Wissensspeichers können Analysen und Wiederverwendungsprozesse projektübergreifend optimiert werden. (Abbildung 2)

### **Ausblick**

Um die Nachhaltigkeit im Digital Engineering zu steigern, rücken Modellbibliotheken, selbstlernende Algorithmen und KI-Methoden stärker in den Fokus. Diese Technologien haben das Potenzial, Entwicklungsprozesse effizienter und ressourcenschonender zu gestalten. Ein Beispiel ist DeepCAD, ein KI-gestütztes Modell, das 3D-Objekte anhand bestehender Daten generiert [16], [17]. Solche Ansätze können auch auf cyber-physische Systeme übertragen werden, um automatisiert Lösungsalternativen für Anforderungen oder Systemfunktionen zu entwickeln. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten, Digital Engineering zukunfts-fähiger und nachhaltiger zu gestalten. ■

### **Kurz und Bündig**

Die Entwicklung cyber-physischer Systeme (CPS) erfordert eine effiziente Nutzung bestehender digitaler Modelle. Model-based Systems Engineering (MBSE) nutzt formalisierte Modellierungssprachen, um interdisziplinäre Entwicklungsprozesse zu optimieren. Heterogene Modelle ermöglichen die Integration verschiedener Modelltypen, wodurch Konsistenz und Aussagekraft gesteigert werden. Wissensgraphen dienen als strukturierte Datenbanken zur gezielten Wiederverwendung von Systeminformationen. Die Kombination dieser Ansätze verbessert nicht nur die Effizienz, sondern auch die Nachhaltigkeit im Digital Engineering.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/4hmOuuc>





© thyssenkrupp

# Lights Out, Daten an

## Wie der Digitale Zwilling die Automobilindustrie umkrempelt

Daniel Lang, thyssenkrupp, Thomas Bleistein und Robert Becker, August-Wilhelm Scheer Institut

Die Automobilindustrie durchläuft einen tiefgreifenden Wandel. Was einst nach Science-Fiction klang, ist heute Realität: Produktionslinien, gesteuert von Robotern und digitalen Systemen, arbeiten effizienter und präziser als je zuvor. Doch trotz modernster Technik bleibt ein entscheidender Faktor oft unbeachtet – die Kommunikation und Zusammenarbeit der Menschen. In einer Welt, in der Geschwindigkeit und Flexibilität über den Erfolg entscheiden, stoßen herkömmliche Arbeitsweisen an ihre Grenzen. Der Schlüssel zur Zukunft der Automobilproduktion könnte in einem unsichtbaren, aber mächtigen Werkzeug liegen: dem Digitalen Zwilling.



Moderne Produktionslinien in der Automobilindustrie sind Hightech-Betriebsstätten und wirken heute wie Science-Fiction-Fantasien aus längst vergangenen Tagen. Hunderte von Robotern mit Vorrichtungen und Prozessgeräten führen gemeinsam ein eingespieltes Ballett auf und fügen schließlich aus Tausenden von Blechen ein formschönes Fahrzeug zusammen. Die Kleinteiligkeit des über Fußballfelder verteilten Produktionsequipments gleicht stellenweise der Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Fahrerlose Transportfahrzeuge liefern wie von Geisterhand die Einzelteile „just-in-time“ an oder transportieren die Zusammenbauten zur Weiterverarbeitung an eine andere Station. Menschen in der Produktion sucht man teilweise vergeblich. Der hohe Automatisierungsgrad der modernsten Produktionslinien führt schon heute zur „Lights-Out“-Produktion, bei der Fabriken rund um die Uhr ohne menschliche Arbeitskraft betrieben werden – oft im wahrsten Sinne des Wortes mit ausgeschaltetem Licht.

### Anlagenbau neu gedacht: Vernetzung als Schlüssel

Damit diese Anlagen Realität werden, müssen bei der Planungs- und Realisierungsphase viele Gewerke Hand in Hand arbeiten. Vom Anlagenbau über die Automatisierungs- und Elektrotechnik bis hin zur Gebäudetechnik sind viele Disziplinen beteiligt. Der heutige Planungsprozess zum Beispiel von Karosseriebauanlagen folgt einem übergeordneten, aber durch die Vielzahl der Komponenten und Planungsbeteiligten sehr komplexen Fabrikplanungsprozess. Die stetige Verkürzung und Parallelisierung der Planungsprozesse bei gleichzeitiger Ausweitung der Variantenplanung mit immer mehr Fahrzeugvarianten auf einer Linie sowie die Verzahnung von Produktentwicklung (Fahrzeugentwicklung) und Prozessplanung (Anlagenentwicklung), das so genannte Simultaneous Engineering, verkomplizieren den Fabrikplanungsprozess erheblich.

Geplant werden solche Produktionslinien daher mit aufwändiger Software wie Computer-Aided Design-Software (CAD-Software) und speziellen Fabrikplanungstools. Um sicherzustellen, dass die Anlagen alle Anforderungen an Taktzeit, Ausbringung, Qualität et cetera erfüllen, werden sie simulativ erprobt, die Pfade der Roboter geplant und die Betriebssoftware

„offline“ geschrieben. Mit der virtuellen Inbetriebnahme wird die Planungsphase bereits wenige Wochen nach Planungsbeginn abgeschlossen und mit dem Aufbau auf der Baustelle kann die Realisierungsphase starten.

Moderne Anlagen erfordern eine hochentwickelte Infrastruktur und Technik, doch die Kommunikation und Zusammenarbeit während der Anlagenentstehung bleiben häufig auf einem bescheidenen Niveau. Entsprechend dem Motto „Management mit Tabellenkalkulationen und E-Mails“ ist der Status Quo in vielen Projekten geprägt von der einfachen Übermittlung von Konstruktionsdaten über Datentransfersysteme oder per Excel und E-Mail. Änderungen in der Planung sowie Anpassungen, die von der Baustelle gemeldet werden, werden oftmals in Papierform oder als PowerPoint-Präsentationen verteilt. Diese Form der Dokumentation ist jedoch nicht in der Lage, die notwendige Flexibilität und Aktualität zu gewährleisten, die erforderlich sind, um den dynamischen Anforderungen moderner Produktionslinien gerecht zu werden. Besonders angesichts der fortschreitenden Digitalisierung und der zunehmenden Komplexität der Projekte ist eine Weiterentwicklung der Kommunikationsprozesse dringend notwendig.

Die eingesetzte Software stellt sowohl einen Segen als auch einen Fluch dar. Einerseits erleichtert sie den Experten und Expertinnen die anspruchsvolle Planungs- und Konstruktionsarbeit erheblich, andererseits schränkt sie den Kreis der Nutzenden durch hohe Lizenzkosten ein.

### Mit dem Digitalen Zwilling zum Echtzeit CO<sub>2</sub> - Controlling

Das zunehmende Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewusstsein der Endverbraucher:innen spielt bei der Kaufentscheidung für ein Fahrzeug eine immer größer werdende Rolle. Diese



**Daniel Lang**

Daniel Lang ist Innovation Manager Digitalization bei der thyssenkrupp Automotive Body Solutions GmbH und verantwortet die digitale Transformation der Produkte und Prozesse des Unternehmens. Mit seiner langjährigen Erfahrung in der Automatisierungstechnik und seinen umfangreichen Kenntnissen im Projektmanagement gestaltet er die Digitalisierung des Unternehmens maßgeblich mit. Seit drei Jahren arbeitet er mit interdisziplinären Teams daran, Prozesse und Produkte zu optimieren und die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens nachhaltig zu sichern.

### Kontakt

daniel.lang2@

thyssenkrupp-automotive.com

www.thyssenkrupp-automotive-technology.com

---

**Die Kleinteiligkeit des über Fußballfelder verteilten Produktionsequipments gleicht stellenweise der Suche nach der Nadel im Heuhaufen.**





#### Dr.-Ing. Thomas Bleistein

Dr.-Ing. Thomas Bleistein ist Lab Lead des Smart Energy Labs am August-Wilhelm Scheer Institut und Projektleiter im Projekt CoLab4DigiTwin. Mit seiner Promotion im Bereich Modellierung und Optimierung sowie drei Jahren Berufserfahrung in der Virtuellen Inbetriebnahme gilt er als Experte für Prozessoptimierung und Digitale Zwillinge. In den letzten zwei Jahren am Institut liegt sein Schwerpunkt auf der praktischen Anwendung innovativer Technologien im Bereich Digitalisierung, insbesondere zur Optimierung von Prozessen und der Entwicklung digitaler Lösungen.

#### Kontakt

thomas.bleistein@aws-institut.de  
www.aws-institut.de

Abbildung 1: Automatisiertes Reporting neuer Anforderungen am Beispiel des Carbon Footprint Submodels der Industrial Digital Twin Association (IDTA).

gesellschaftlichen Anforderungen sowie die regulatorischen Vorgaben der Europäischen Union führen zu einem weiteren Komplexitätszuwachs in der Fahrzeugentwicklung und in weiterer Folge auch in der Anlagenentwicklung. Solche Anforderungen an den Anlagenbau, zum Beispiel hinsichtlich Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft des Produktionsequipments, müssen frühzeitig erkannt werden, um im internationalen Wettbewerb nicht den Anschluss zu verlieren und den Anlagenbau am Standort Deutschland wettbewerbsfähig und wirtschaftlich zu halten. Dazu bedarf es jedoch einer umfassenden Unterstützung. Der kollaborative Digitale Zwilling ist hier der Schlüssel. Gepaart mit Künstlicher Intelligenz und einer damit einhergehenden vereinfachten Automatisierung, werden neue Anforderungen zur Nachhaltigkeit kein Mehraufwand, sondern ein Mehrwert.

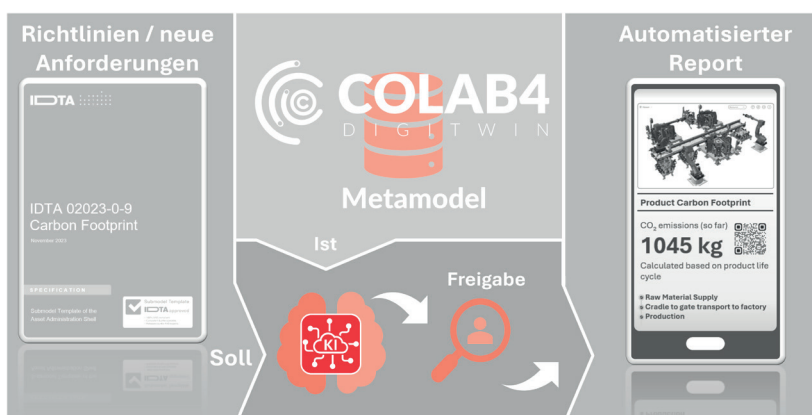
In Abbildung 1 wird dargestellt, wie neue oder sich geänderte Anforderungen über die Integration von Künstlicher Intelligenz in den kollaborativen Digitalen Zwilling effizient bearbeitet werden und letztlich zu einem stetigen Controlling von Nachhaltigkeitskennzahlen wie beispielsweise dem Product Carbon Footprint beitragen. Ein neuer Soll-Wert durch eine geänderte Anforderung oder Richtlinie wird mit dem Ist-Zustand des Metamodells verglichen und nach einer abschließenden Prüfung freigegeben, und die geforderte Anforderung kann so erfüllt werden, ohne große personelle Kapazitäten zu binden. Status Quo bis dato ist ein händischer Ist-Soll-Abgleich und ein manuelles Anpassen der Prozesse und Software, bis die Anforderung erfüllt werden kann.

Der Digitale Zwilling, hier einer Produktionslinie, führt alle notwendigen Datenströme

in einem virtuellen Abbild zusammen und kann so die mühsame Zusammenarbeit erheblich erleichtern. Jeder Projektbeteiligte verfügt sofort über aktuelle und verlässliche Daten zum Entwicklungsstand. Aufwändige Statusbeschreibungen und das Versenden umfangreicher Konstruktionsdaten entfallen. Auch wesentliche Informationen zur Nachhaltigkeit, wie der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Einzelteilen oder Zusammenbauten, die Recyclingfähigkeit oder Entsorgungshinweise der verwendeten Materialien, sind im Digitalen Zwilling des Produktionsequipments hinterlegt. Um die Effizienzpotenziale voll auszuschöpfen, einen echten kollaborativen Digitalen Zwilling zu schaffen und damit die Transparenz und Effizienz in der Entwicklung zu steigern, sind vor allem standardisierte Datenstrukturen und ein standardisierter Datenaustausch über Unternehmensgrenzen hinweg entscheidend.

Die von der IDTA entwickelte Verwaltungsschale und die zum Beispiel von Catena-X entwickelte Datenraum-Technologie können dabei Schlüsseltechnologien sein, decken sie sich zudem mit der Digitalstrategie der Europäischen Union. Die durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Initiative „Collaboration for Digital Twin - CoLab4DigiTwin“ setzt daher auch bei diesen Technologien an und nutzt den Digitalen Zwilling als Herzstück für die virtuelle Zusammenarbeit aller Gewerke im Anlagenbau. Durch standardisierte Datenstrukturen, das im Projekt CoLab4DigiTwin entwickelte Metamodell sowie eine plattformunabhängige 3D-Darstellung der Konstruktionsdaten wird eine effiziente Zusammenarbeit zwischen den Experten im Büro und den Spezialisten auf der Baustelle erreicht. Der standardisierte Datenaustausch über die Datenraum-Technologie, hier Catena-X, bindet die Zuliefernden standardisiert und global ein. Dies schafft die Basis für gemeinsame gewerkeübergreifende Prozesse sowie KI-basierte Smart Services. Standardisierte Teilmodelle der IDTA sollen die notwendige Interoperabilität sicherstellen.

Durch die schnelle Verfügbarkeit und hohe Datenkonsistenz im kollaborativen Digitalen Zwilling werden Nachhaltigkeitsaspekte bereits während der Anlagenentwicklung deutlich sichtbar. Dies ermöglicht ein aktives CO<sub>2</sub>-Controlling, das in dieser Form zuvor nicht umsetzbar war. Fragen wie „Wie viel Druckluft benötigt dieses Equipment?“ oder „Wie hoch ist



die elektrische Leistung einer Schweißzange?“ werden heute oft nur grob und häufig überdimensioniert beantwortet, um auf der sicheren Seite zu sein. Mit den präzisen Daten im Digitalen Zwilling kann der Konstrukteur jedoch in Echtzeit den aktuellen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der jeweiligen geplanten Zelle einsehen und sich an einem konkreten CO<sub>2</sub>-Budget orientieren. Auf diese Weise können Anlagen bereits im Entstehungsprozess sowohl energetisch als auch hinsichtlich Kreislaufwirtschaft und Wiederverwendung optimiert werden.

Durch die Standardisierung der Daten und des Datenaustausches werden vorhandene Informationen effizient zusammengeführt. Dadurch können die Planenden ihre Aufgaben nicht nur präziser, sondern auch mit deutlich geringerem Zeitaufwand erledigen. Der Fokus verlagert sich weg von zeitaufwändigen manuellen Abstimmungen hin zu einer effizienteren datenbasierten Arbeitsweise, die durch neue digitale Werkzeuge zusätzlich unterstützt werden kann.

### Alle müssen ihren Beitrag liefern

Durch den hohen Standardisierungsgrad im Automotive-Anlagenbau ist der Anteil an Standardkomponenten und Zukaufteilen besonders hoch. Bei der Planung wird stets versucht, die konstruktiven Bauteile auf die fahrzeugberührenden Komponenten zu reduzieren. Kund:innenspezifische Normen und Freigabelisten legen dabei gezielt fest, welche Zukaufteile verwendet werden sollen. Für den Betrieb erleichtert dies beispielsweise die Ersatzteilhaltung, die Wartung und stellt letztlich auch einen wirtschaftlichen Vorteil dar, da jede Konstruktionsstunde kostspielig ist.

Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit sind gesamtgesellschaftliche Aufgaben. Alle an der Anlagenentstehung Beteiligten müssen eng zusammenarbeiten und die neugewonnen Möglichkeiten und Standards nutzen, um eine nahtlose Integration der Daten und ihre spätere Nutzung zu gewährleisten. Dies erfordert nicht nur technische Standards, sondern mehr noch eine Kultur der Zusammenarbeit und des Vertrauens. Eine effiziente und eben nachhaltige Anlagenplanung ist daher nur dann möglich, wenn alle Beteiligten über den Anlagenentstehungsprozess ihren Beitrag leisten und die Komponentendaten entsprechend vollständig und aktuell halten und vertrauensvoll über die Datenräume austauschen. Die

föderale Datenhaltung der Verwaltungsschale sowie der unternehmensübergreifende Datenaustausch unterstützen diesen Prozess.

### Mit Innovationen zum Green Engineering

Die Transformation der Automobilindustrie erfordert innovative Ansätze und Technologien, um den komplexen Herausforderungen von Effizienz und Nachhaltigkeit gerecht zu werden. Der kollaborative Digitale Zwilling stellt dabei eine Schlüsseltechnologie dar, die es ermöglicht, Produktionslinien bereits in der Planungsphase zu optimieren, ein effizientes CO<sub>2</sub>-Controlling durchzuführen und die Zusammenarbeit aller Beteiligten zu stärken. Angesichts der zunehmenden Bedeutung von Transparenz- und Nachhaltigkeitsberichten wird der Carbon Footprint neben anderen Nachhaltigkeitskennzahlen auch für den Anlagenbau unverzichtbar. In Zukunft wird der Digitale Zwilling eine zentrale Rolle spielen. Er wird den automobilen Großanlagenbau so voranbringen, dass er den kommenden Anforderungen gewachsen ist. ■



#### Dr. Robert Becker

Dr. Robert Becker ist Data Scientist und Digitalization Professional im Smart Energy Lab am August-Wilhelm Scheer Institut. Während seiner Promotion in Physik befasste er sich mit der Simulation biologischer Systeme und verschiedenen Optimierungsverfahren. Nach einer zusätzlichen Weiterbildung in Data Science konzentriert er sich heute auf Datenanalyse und KI-Entwicklung mit einem Schwerpunkt auf Sprachmodellen. Dank seiner interdisziplinären Erfahrung gestaltet er innovative digitale Lösungen und optimiert datengestützte Prozesse.

#### Kontakt

robert.becker@aws-institut.de  
aws-institut.de  
www.aws-institut.de

### Kurz und Bündig

Die Automobilindustrie muss steigende Anforderungen an Effizienz, Nachhaltigkeit und komplexe Produktionsprozesse bewältigen. Der Digitale Zwilling revolutioniert den Anlagenbau, indem er eine präzise Planung ermöglicht, Nachhaltigkeitskennzahlen wie CO<sub>2</sub>-Emissionen integriert und die Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren optimiert. Dank standardisierter Datenstrukturen und Plattformen wie Catena-X werden Datenaustausch und Prozessoptimierung deutlich effizienter. So lassen sich bereits in der Planungsphase nachhaltige Entscheidungen treffen und der Carbon-Footprint reduzieren. Der Digitale Zwilling vereint Nachhaltigkeit, Effizienz und Innovation – ein entscheidender Vorteil für die Zukunft der Automobilproduktion.





© Adobe Stock | 1163049451 | Chebix

# Mit KI gegen den Blackout:

## Wenn Algorithmen Strom lenken

Frank Hellmann, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io





Strom fließt scheinbar mühelos, doch die Mechanismen dahinter sind alles andere als simpel. Was passiert, wenn Millionen von Energieerzeugenden und Energieverbrauchenden in einem hochdynamischen Netz zusammenspielen müssen? Wie meistern wir die Herausforderungen von Stabilität, Effizienz und Erneuerbarkeit in einem sich wandelnden Energiesystem?

**IM+io** Ihre Forschungsgruppe arbeitet am Projekt KI-FounDyn. Worum geht es da?

**FH:** Ich leite eine Forschungsgruppe, die sich mit der Dynamik komplexer Infrastruktursysteme beschäftigt. Unser Fokus liegt auf erneuerbaren Energiesystemen und der Frage, wie diese künftig stabil betrieben werden können, wenn konventionelle Kraftwerke zunehmend aus dem

Netz verschwinden. Wir untersuchen, wie Millionen kleinerer Akteure – etwa Windparks, Solaranlagen und Batteriespeicher – zusammenarbeiten können, um die Stabilität des Stromnetzes zu gewährleisten. Besonders spannend ist für uns die Dynamik im Bereich von Sekunden: Hier passieren Synchronisationsprozesse, die es ermöglichen, Energie zu transportieren. Mit



dem Umstieg auf erneuerbare ändert sich diese Dynamik fundamental – und wir entwickeln Methoden, um diese Prozesse besser zu verstehen und zu steuern.

**IM+io Was macht die Synchronisation im Stromnetz so besonders, und was ist dabei wichtig?**

**FH:** Synchronisation ist das Herzstück des Stromtransports. In einem Stromnetz fließt Energie nur dann effizient, wenn alle Komponenten – Generatoren, Verbrauchende und Speicher – in einem synchronisierten Zustand arbeiten. Das heutige europäische Stromnetz erstreckt sich über Kontinente, von der Ukraine bis Nordafrika und ist eines der größten gekoppelten Systeme der Welt. Früher wurde die Synchronisation hauptsächlich durch konventionelle Kraftwerke gewährleistet. Diese arbeiten wie riesige Schwungräder, die das Netz stabil halten. Mit dem Übergang zu erneuerbaren entfällt diese Funktion, weil viele kleinere Anlagen wie Solarpanels oder Windkraftwerke elektronisch gekoppelt sind und weniger Trägheit ins Netz einbringen. Dadurch entsteht eine ganz neue Herausforderung: Statt tausender Kraftwerke haben wir es mit Millionen kleiner Einheiten zu tun, die gemeinsam stabil arbeiten müssen. Das ist ein unglaublich spannendes Forschungsfeld, das uns täglich vor neue Fragen stellt.

**IM+io Wo stoßen die traditionellen Simulationsmethoden an ihre Grenzen?**

**FH:** Traditionelle Methoden basieren auf detaillierten Modellen der Übertragungsnetze, die für den Betrieb von Netzbetreibern genutzt werden. Diese Modelle funktionieren gut, solange es nur um große Netze mit wenigen Akteuren geht. Allerdings kommen sie an ihre Grenzen, wenn wir über Millionen von dezentralen Akteuren sprechen, die in Echtzeit zusammenarbeiten. Hinzu kommt, dass Simulationen oft sehr zeitaufwändig sind. Bei der Planung von Netzen müssen Tausende Szenarien – etwa Wetterbedingungen oder potenzielle Ausfälle – berücksichtigt werden. Die Anzahl der nötigen Berechnungen steigt dabei exponentiell. Im Betrieb haben wir dagegen nur wenige Minuten Zeit, um auf Probleme zu reagieren. Solche zeitkritischen Herausforderungen können mit den heutigen Simulationsmethoden nicht immer bewältigt werden. Wir brauchen also neue Ansätze, um die Komplexität der Dynamik zu erfassen und rechtzeitig eingreifen zu können.

**IM+io Wie kann Künstliche Intelligenz helfen, diese Herausforderungen zu bewältigen?**

**FH:** KI bietet hier enorme Potenziale. Wir nutzen beispielsweise graphbasierte neuronale Netze, um komplexe Stromnetze zu analysieren. Diese Methoden erlauben es uns, Ausfallwahrscheinlichkeiten an jedem Knotenpunkt vorherzusagen. Anders als traditionelle Simulationsmethoden kann KI aus großen Datenmengen lernen und in Echtzeit arbeiten. Stellen Sie sich vor, dass eine KI basierend auf den aktuellen Zuständen des Netzes vorhersagt, welche Bereiche kritisch werden könnten, und gleichzeitig mögliche Gegenmaßnahmen vorschlägt – etwa das Umschalten eines Transformators oder das Erhöhen der Blindleistung. Aktuell sind wir dabei, diese Ansätze mit Beteiligten wie Fraunhofer und mehreren Universitäten zu testen. Unser Ziel ist es, nicht nur Vorhersagen zu liefern, sondern auch erklärbare Entscheidungen zu ermöglichen. Die Netzbetreiber sollen genau verstehen können, warum die KI eine bestimmte Maßnahme vorschlägt.

---

## **Mit dem Übergang zu erneuerbaren Energien entfällt die stabilisierende Funktion der konventionellen Kraftwerke – Millionen kleinerer Einheiten müssen nun gemeinsam stabil arbeiten.**

---

**IM+io Wie sieht die Zusammenarbeit mit Netzbetreibern und anderen Beteiligten aus?**

**FH:** Netzbetreiber spielen eine zentrale Rolle. Sie liefern uns Daten und definieren die Anforderungen, die unsere Modelle erfüllen müssen.

Gemeinsam arbeiten wir daran, die Forschung in die Praxis zu bringen. Ein Beispiel ist die Testleitwarte des Fraunhofer-Instituts, wo wir unsere Modelle in einer realistischen Umgebung validieren können. Darüber hinaus gibt es einen regen internationalen Austausch, etwa mit Kollegen in Spanien, Großbritannien oder Ungarn. Besonders interessant ist der Blick auf Länder wie Großbritannien, die durch ihre Insellage bereits jetzt mehr Erfahrungen mit dynamischen Problemen im Netz gesammelt haben. Dieser Austausch hilft uns, neue Erkenntnisse zu gewinnen und unsere Methoden zu verbessern.

#### **IM+io Welche politischen Rahmenbedingungen fördern oder behindern Ihre Arbeit?**

**FH:** Die Politik hat in den letzten Jahren erkannt, wie wichtig das Thema Systemstabilität ist. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz hat eine sogenannte Roadmap zur Systemstabilität erstellt, die genau aufzeigt, welche Schritte nötig sind, um ein 100 Prozent erneuerbares Energiesystem zu stabilisieren. Trotzdem gibt es noch viel Nachholbedarf, etwa beim Ausbau der Netze oder der Einführung von regional differenzierten Strompreisen, die die Realität besser abbilden. Es ist klar, dass die Energiewende kein Selbstläufer ist. Sie erfordert koordinierte Anstrengungen von Forschung, Industrie und Politik.

#### **IM+io Haben Sie ein Beispiel für regional differenzierte Strompreise?**

**FH:** Regionale Strompreise sind schon lange Realität. In den USA, aber auch in Teilen von Europa. Die vier skandinavischen Länder (mit 25 Millionen Einwohner:innen) haben zusammen 12 Preiszonen. Deutschland hat hingegen einen einzigen einheitlich Strompreis, egal, wo man den Strom nutzen möchte.

Das führt in typischen Situationen, wie beispielsweise dass in Norddeutschland billiger Windstrom im Überfluss vorhanden ist, während in Süddeutschland der Strom teurer produziert wird, zu Problemen. Sind die Leitungen zwischen Nord- und Süddeutschland nicht hinreichend ausgebaut, um den billigen Windstrom zu transportieren, müssen Windkraftwerke abgeschaltet und statt dessen teurere Anlagen in Süddeutschland betrieben werden. Die Strombeziehenden sehen allerdings nur einen Strompreis, egal wo sie sind. Es gibt daher keinen Anreiz für energieintensive Industrie sich dort anzusiedeln, wo günstiger Strom verfügbar ist. Und für

Stromkund:innen in Süddeutschland gibt es auch keinen Anreiz, auf einen schnellen Leitungsausbau zu dringen, um den günstigen Windstrom nutzen zu können. Der Strommarkt bildet also die Realität des Netzes nicht ab, den Preis dafür zahlen wir alle.

#### **IM+io In welchem Stadium befindet sich Ihre Forschung aktuell, und wie sehen Sie ihre weitere Entwicklung?**

**FH:** Unsere Forschung befindet sich noch in der Grundlagenphase, wir untersuchen hauptsächlich theoretische Modelle und Methoden. Ein wichtiger nächster Schritt besteht darin, unsere Ansätze in enger Zusammenarbeit mit Unternehmen weiterzuentwickeln. Besonders spannend wäre es, unsere KI-Methoden in echte Netzbetriebsumgebungen zu integrieren. Die Vision ist, dass unsere Technologien in Leitwarten von Netzbetreibern eingesetzt werden können. Hier könnten unsere Systeme beispielsweise vorhersagen, welche Fehlerfälle in den nächsten Minuten kritisch werden könnten.

Basierend darauf könnten Netzbetreiber gezielte Gegenmaßnahmen planen – etwa die Erhöhung der Blindleistung oder Änderungen an Schaltzuständen. Wichtig ist dabei, dass die KI nicht nur Ergebnisse liefert, sondern diese auch erklärbar macht. Langfristig wäre es ideal, wenn unsere Forschung so weit fortgeschritten ist, dass sie von Unternehmen aufgegriffen und in die Software von Netzleitwarten integriert werden kann. ■



**Dr. Frank Hellmann**

Bevor Hellmann zum PIK kam, um an erneuerbaren Energien zu forschen, arbeitete er im Bereich der Schleifenquantengravitation. Er hat an der Universität von Nottingham promoviert und war Postdoc am Albert-Einstein-Institut (MPI für Gravitationsphysik) in Göltingen. Hellmann leitet seit 2019 die Forschungsgruppe „Infrastruktur und komplexe Netze“. Der Fokus seiner Forschung liegt auf netzwerkbasierenden, analytischen und datengetriebenen Methoden der Modellierung und Stabilitätsbestimmung von Stromnetzen.

#### **Kontakt**

hellmann@pik-potsdam.de  
www.pik-potsdam.de

## **Kurz und Bündig**

Europas Stromnetz erstreckt sich von der Ukraine bis Nordafrika – ein gigantisches dynamisches System. Aktuelle Simulationen reichen oft nicht aus, um all die möglichen Fehlerfälle zeitnah zu analysieren. Künstliche Intelligenz kann hier helfen: Erste Modelle sagen bereits Ausfallwahrscheinlichkeiten in Echtzeit voraus. Ziel ist, erneuerbare Energien sicher und effizient in die Infrastruktur zu integrieren – eine Herausforderung, die Forschung und Praxis gleichermaßen fordert.



# Linien adé, Flexibilität olé?

## On-Demand-Mobilität auf dem Prüfstand

Markus Haubold, Fahrgastverband PRO BAHN



Die letzte Busverbindung ist längst abgefahren, der nächste Supermarkt mehrere Kilometer entfernt – für viele Menschen im ländlichen Raum ist Mobilität keine Selbstverständlichkeit. Digitale Lösungen wie On-Demand-Mobilität, auch On-Demand-Verkehre genannt, könnten hier Abhilfe schaffen, indem sie Fahrgäste flexibel und bedarfsgerecht befördern. Wie lassen sich diese Angebote nachhaltig etablieren? Welche Herausforderungen bestehen bei der Integration in bestehende Verkehrssysteme? Und wie können sie für alle zugänglich gemacht werden?

Die Digitalisierung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) bietet die Chance, gesellschaftliche Teilhabe zu ermöglichen und das Mobilitätsbedürfnis auch im ländlichen Raum für alle Bürger:innen sicherzustellen, die kein eigenes Auto nutzen können. Ein Mobilitätsangebot ist aus verschiedenen Gründen erforderlich: Sei es der Einkauf im Supermarkt im Nachbarort, ein Arztbesuch in der nächsten Kreisstadt oder die Fahrt zum Ausbildungsbetrieb. Gesellschaftliche Teilhabe umfasst aber auch den

Zugang zu Kulturangeboten wie Theater oder Kino. Dazu gehört, dass man diese nicht nur zu Beginn der Veranstaltungen erreicht, sondern es auch ein Angebot für die Rückfahrt – zum Beispiel am späten Abend – gibt.

Neben der zeitlichen Erreichbarkeit umfasst die Mobilitätsabsicherung in ländlichen Gebieten auch die räumliche Erschließung. Leider ist es oftmals im ländlichen Raum so, dass allenfalls ein Bus auf einer Hauptachse verkehrt, Verbindungen in kleinere Orte aber fehlen. On-Demand-Verkehre können hier

wichtige Zubringerverkehrsdienste für diese Hauptachsen erbringen, welche zum Beispiel in ein Taktsystem eingebunden sind.

### **Flexibel unterwegs: Wie On-Demand-Verkehre den ÖPNV ergänzen**

On-Demand-Verkehre sind flexible Bedarfsangebote, die oft in den ÖPNV integriert sind und auf Bestellung der Fahrgäste eingesetzt werden. Zu dem bereits seit Jahrzehnten etablierten und in den ÖPNV integrierten flexiblen Bedarfsverkehr gehören insbesondere Anruflinien- und Anrufsammeltaxis sowie Rufbus- und Bürgerbusangebote. Für deren Nutzung müssen die Fahrgäste diese Angebote vorher online oder telefonisch buchen. Die Dienste verkehren aber meist auf einer festen Route.

Zu den On-Demand-Verkehren zählen insbesondere Angebotsformen wie On-Demand-Shuttles. Meist haben diese keine festen Linienwege und Fahrpläne mehr und werden über spezifische Apps gebucht. Das Haltestellennetz wird zudem oft um virtuelle Haltestellen ergänzt. Das Ziel ist es, im Rahmen des Ridepooling-Verkehrs verschiedene Fahrtwünsche zu bündeln [1]. Bundesweit gibt es derzeit etwa 80 Projekte, die sich mit solchen On-Demand-Verkehren beschäftigen und flexible sowie bedarfsgerechte Mobilitätslösungen entwickeln.

### **Was Fahrgäste brauchen: Schlüssel zum Erfolg flexibler Angebote**

Diese grundsätzlich vielversprechenden und einfach klingenden Ansätze stellen die Beteiligten aber vor zahlreiche Herausforderungen: Je nach Ansatz des entsprechenden Angebotes werden hierfür entweder kooperierende (Taxi-) Unternehmen oder ein ausreichend großer Fahrzeugpool der Anbietenden vor Ort benötigt. Gerade im ländlichen Raum stehen Dienstleistende aber vor dem Problem, hierfür ausreichend Personal oder Kooperierende zu finden. Die derzeit größte Herausforderung liegt aber in der fehlenden nachhaltigen Finanzierung der Projekte:

Gerade die Zukunft der zahlreichen innovativen und neu entstandenen Angebote der On-Demand-Verkehre ist ungewiss, da es bisher oft keine klaren Strategien für die langfristige Umsetzung und Finanzierung gibt. Diese tragen sich als Angebot der gesellschaftlichen Teilhabe nicht von selbst und benötigen daher eine öffentliche Kofinanzierung. Diese wird derzeit

durch befristete Bundes- und Landesförderungen erbracht. Jedoch benötigt die Etablierung und Akzeptanz solcher neuer Mobilitätsangebote einige Zeit, und sie werden auf Dauer von den Fahrgästen auch nur angenommen, wenn es eine längerfristige Planungssicherheit gibt.

### **Digitale Plattformen müssen für alle nutzbar sein**

Ein zentraler Aspekt dieser Angebote ist die Entwicklung verständlicher Plattformen, die eine einfache und intuitive Nutzung ermöglichen und meist auch automatisiert und im Hintergrund das Pooling sowie die Ermittlung der Fahrtverläufe übernehmen. Hier stellt sich aus Fahrgastsicht die Anforderung, dass diese Plattformen nicht nur für junge, technikaffine Nutzende, sondern auch für ältere Menschen und Personen ohne Smartphone zugänglich sein müssen. Nur dann ist auch für diese eine Teilhabe an den Angeboten möglich. Das bedeutet auch, dass weiterhin eine Entgegennahme telefonischer Bestellungen möglich sein sollte, um eine breite Akzeptanz zu gewährleisten. Auch kann dies bedeuten, dass die Fahrten nicht nur über eine App, sondern auch über den Browser am Computer gebucht werden können. Denn zu oft wird Digitalisierung im öffentlichen Verkehr mit einem „Smartphonezwang“ gleichgesetzt, welchen der Fahrgastverband PRO BAHN in zahlreichen Zusammenhängen kritisiert, schließt er doch einen Teil der Bürger:innen von diesen Mobilitätsangeboten aus. Die Herausforderung hierbei für Dienstleistende der On-Demand-Verkehre ist, dies wirtschaftlich umzusetzen. Schließlich wird derzeit für den Betrieb einer Telefonhotline in der Regel zusätzliches Personal benötigt.

### **Nahtlose Integration in bestehende Systeme**

Eine erfolgreiche Digitalisierung erfordert zudem die nahtlose Integration von On-Demand-Verkehren in bestehende Auskunft- und Buchungssysteme. Fahrgäste sollten in der Lage sein, Fahrten nicht nur über ganz spezielle mobile Apps, sondern auch über die bekannten Buchungs- und Auskunftssysteme, wie zum Beispiel den DB-Navigator, zu buchen. Dies erhöht die Zugänglichkeit und Anwendungsfreundlichkeit der Angebote insbesondere für Fahrgäste, die als Gäste in eine Region kommen



**Markus Haubold**

Markus Haubold studierte an der Westsächsischen Hochschule Zwickau Wirtschaftswissenschaften mit dem Schwerpunkt Verkehrswirtschaft und an der Universität Kassel Public Management. Seit 2017 engagiert er sich ehrenamtlich im Landesvorstand des Fahrgastverbands PRO BAHN Mitteldeutschland, dessen Vorsitzender er seit 2024 ist. Als Sprecher für Südwestsachsen setzt er sich unter anderem für eine bessere Erschließung des ländlichen Raums durch den öffentlichen Personennahverkehr ein.

#### **Kontakt**

markus.haubold@mitteldeutschland.pro-bahn.de  
www.pro-bahn.de



oder viel überregional unterwegs sind. Leider existieren derzeit noch zahlreiche Insellösungen, wo eine spezifische App erforderlich ist. Oft werden die Angebote auch nicht in den großen und bekannten Auskunfts- und Buchungssystemen angezeigt. Hier wird es weiterhin eine drängende Aufgabe der Branche sein, entsprechende Schnittstellen zu definieren, umzusetzen und die Angebote flächendeckend miteinander zu vernetzen.

### **Voranmeldezeiten und Flexibilität der Buchung**

Eine weitere Herausforderung stellt die Voranmeldezeit dar, um die Mitfahrt zu buchen. Je weiter diese in der Zukunft liegt, desto schwieriger ist das Angebot für die Fahrgäste nutzbar, da mehr Planungsaufwand erforderlich ist. Auch wird den Fahrgästen bei On-Demand-Verkehren erst noch eine Abfahrtszeit mitgeteilt. Der Fahrgastverband PRO BAHN plädiert für eine Voranmeldezeit von maximal 30 Minuten, um den Anforderungen der Fahrgäste nach Flexibilität zu entsprechen. Die Herausforderung für die Anbietenden ist dann, mit relativ kurzen Vorlaufzeiten Fahrzeuge und Personal abrufen und ein Pooling der Anfragen vornehmen zu können.

### **Zuverlässige Fahrplandaten als Grundlage**

Die Qualität der Fahrplandaten ist ein weiterer kritischer Punkt. Momentan ist die Datenqualität oft unzureichend, was die Zuverlässigkeit der Auskunftssysteme beeinträchtigt. Eine verlässliche Fahrplanauskunft ist nur möglich, wenn die zugrunde liegenden Daten aktuell, korrekt und über alle Medien konsistent sind. Dies gilt insbesondere für Echtzeitinformationen, die den Fahrgästen helfen, ihre Reisen besser zu planen und auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren.

### **Tarifstrukturen müssen vereinfacht werden**

Eine weitere Herausforderung stellt die tarifliche Einbindung der Angebote in den öffentlichen Personennahverkehr dar. Hier existieren sehr unterschiedliche Lösungen. Häufig fallen zum regulären Nahverkehrsticket eine zusätzliche Pauschale und/oder entfernungsabhängige Zuschläge an. Da bundesweit bisher keine einheitlichen Festlegungen existieren, bleibt es für die Fahrgäste meist ein zusätzlicher Rechercheaufwand: Einerseits zur Höhe und andererseits zur Möglichkeit der Buchung und Bezahlung. Diese Heterogenität und Komplexität der unterschiedlichen Tarife erschweren die Integration der Angebote in überregionale digitale Plattformen zusätzlich. Wichtig für die Akzeptanz der On-Demand-Angebote ist, dass durch diese ein größeres Angebot entsteht und nicht ein etabliertes liniengebundenes Angebot ersetzt wird. [2]

### **Von Pilotprojekten zur Zukunftslösung: Was bereits funktioniert**

Es gibt aber schon einige Beispiele, wo On-Demand-Verkehre eine Wirkung entfalten konnten. So wird in Mecklenburg-Vorpommern, das eine geringe Bevölkerungsdichte aufweist, der Ausbau von On-Demand-Verkehren stark vorangetrieben, was als Modell für andere Regionen dienen kann. Ein weiteres positives Beispiel ist der „hvv hop“, ein Angebot im Großraum Hamburg, das bis in die Nacht genutzt werden kann und den regulären ÖPNV ergänzt und zum Beispiel als Zubringerverkehr zur S-Bahn dient. [3]

Langfristig ist es wichtig, funktionierende On-Demand-Modelle zu identifizieren und weiterzuentwickeln. Derzeit gibt es viele unterschiedliche Ansätze, die harmonisiert werden müssen. Sinnvoll wäre die Identifikation von gut funktionierenden Modellen für unterschiedliche Anwendungsfälle, welche dann flächendeckend ausgerollt werden können.

### **Digitale Mobilität: Chancen für eine effizientere Verkehrswende**

Neben den beschriebenen Herausforderungen bietet die Digitalisierung aber unbestritten zahlreiche Vorteile für den ÖPNV – nicht nur im Rahmen der On-Demand-Verkehre. Sie umfasst die gesamte Infrastruktur, von der Echtzeitüberwachung der Fahrzeuge bis hin zur intelligenten Verkehrssteuerung. Moderne Technologien wie

---

**On-Demand-Verkehre können den ÖPNV in ländlichen Regionen sinnvoll ergänzen – doch ohne langfristige Finanzierung bleibt ihr Erfolg ungewiss.**

Künstliche Intelligenz und Big Data spielen eine entscheidende Rolle bei der Optimierung der Verkehrsflüsse und der Verbesserung der Fahrgastinformationen. Zu den sich daraus ergebenden Vorteilen gehören zum Beispiel die Verbesserung der Anschlusssicherheit durch die Nutzung des Intermodal Transport Control System (ITCS), die Optimierung der Umläufe oder der einfache und unabhängig von Öffnungszeiten mögliche Ticketkauf für die Fahrgäste. Echtzeitdaten ermöglichen es, die Planung und Steuerung des Verkehrs flexibel anzupassen, was bei den On-Demand-Verkehren entsprechend genutzt wird und die Bündelung von Fahrtwünschen und Berechnung der optimalen Route erlaubt.

---

## **Ein leistungsfähiger ÖPNV endet nicht an der Haltestelle: Intermodale Konzepte, die Sharing-Angebote integrieren, können Lücken schließen und den öffentlichen Verkehr attraktiver machen.**

---

### **Intermodale Verknüpfung: Vom ersten bis zum letzten Kilometer**

Ein leistungsfähiger ÖPNV muss den gesamten Reiseweg einbeziehen. Intermodale Konzepte, die On-Demand-Verkehre mit Sharing-Angeboten wie Leihfahrrädern oder E-Scootern verknüpfen, schließen Lücken und steigern die Attraktivität. Im ländlichen Raum sind solche Systeme oft unwirtschaftlich, da Entfernungen groß und Nutzerzahlen gering sind. Zudem zeigen Studien, dass E-Scooter eher den Fußverkehr ersetzen als den ÖPNV sinnvoll ergänzen.

Ein entscheidender Hebel für eine funktionierende intermodale Mobilität ist die Nutzung von Daten zur Optimierung der Verkehrsflüsse. Durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz lassen sich Nachfragemuster analysieren und Angebote flexibel anpassen. Verkehrsprognosen, die Wetter- und Eventdaten einbeziehen, könnten dazu beitragen, dass an entscheidenden Knotenpunkten bedarfsgerechte Fahrzeuge bereitstehen – und so den ÖPNV zuverlässiger und planbarer machen.

### **Wie der ÖPNV für alle zugänglich bleibt**

Nicht nur die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln, sondern auch die Infrastruktur entscheidet über die Qualität des ÖPNV. Barrierefreie Haltestellen als Mobilitätsstationen mit zum Beispiel Fahrradabstellmöglichkeiten, gut getaktete Umsteigemöglichkeiten und sichere Fuß- und Radwege zu den Haltepunkten sind essenzielle Voraussetzungen, um On-Demand-Verkehre und den klassischen Linienverkehr sinnvoll zu verknüpfen. Investitionen in ein gutes Angebot und eine gut ausgebaute Infrastruktur sind somit ein entscheidender Faktor für eine nachhaltige und zukunftssichere Mobilität.

Die Digitalisierung des ÖPNV bietet zahlreiche Chancen, insbesondere für die Erschließung des ländlichen Raumes. On-Demand-Verkehre können die Mobilität verbessern und tragen zur gesellschaftlichen Teilhabe aller Bürger:innen bei. Die Systeme müssen aber eine niedrighschwellige Nutzung für Bürger:innen gewährleisten. Einheitliche Tarifstrukturen, leichte Zugänglichkeit, eine hohe Datenqualität und die Integration in landesweite Auskunftssysteme sind entscheidende Faktoren für den Erfolg. ■

### **Kurz und Bündig**

Rund 80 On-Demand-Projekte in Deutschland erproben derzeit flexible Mobilitätslösungen im ÖPNV. Eine Voranmeldezeit von maximal 30 Minuten gilt als ideal für eine nutzendenfreundliche Umsetzung. Die fehlende langfristige Finanzierung stellt die größte Herausforderung dar, da viele Projekte auf unbefristete Fördermittel angewiesen sind. Einheitliche Tarifstrukturen und die Integration in überregionale Buchungssysteme sind entscheidend für eine flächendeckende Akzeptanz.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/43jUaRB>



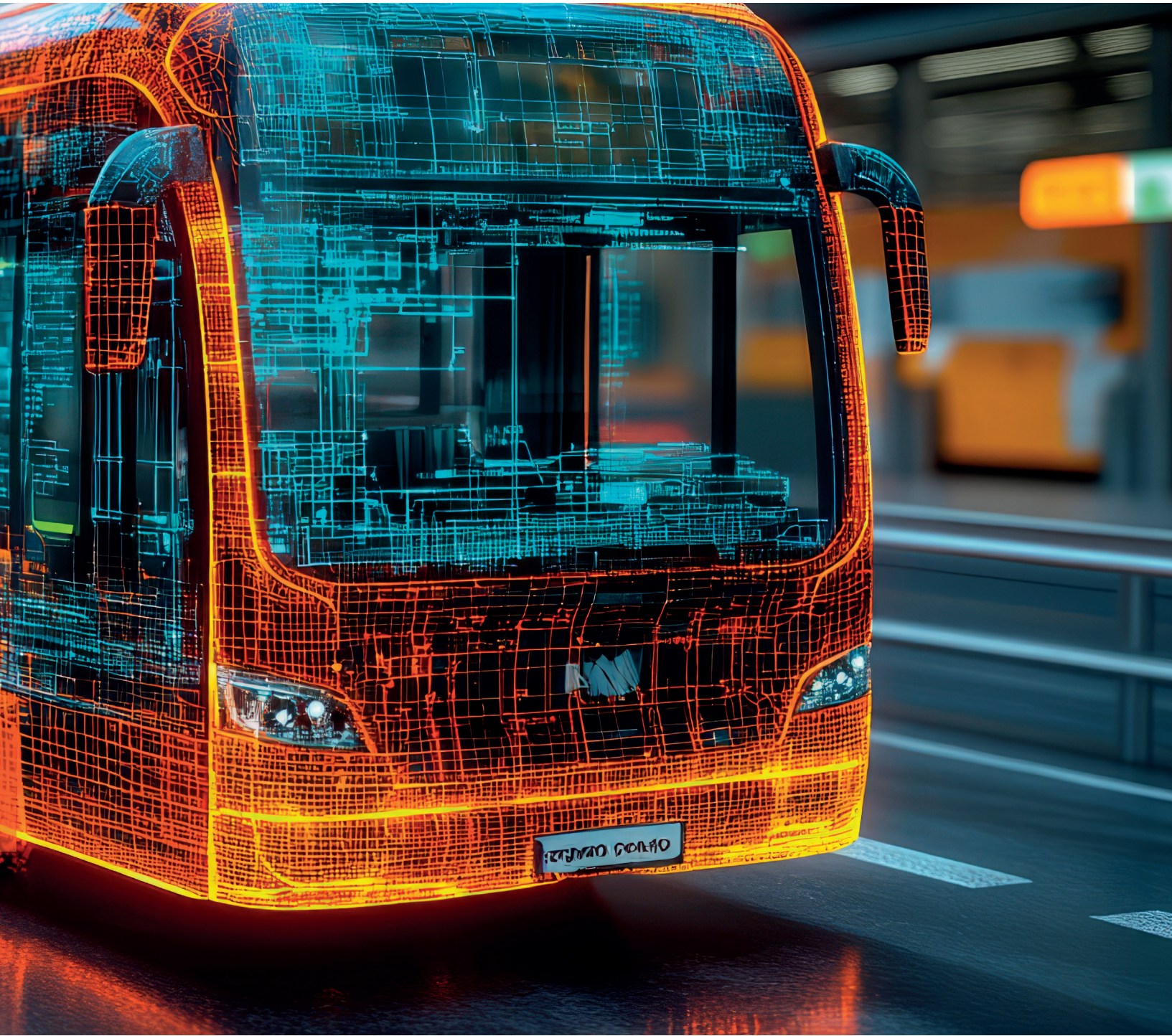
# Busse, Bits und Batterie:

## Mit smarten Tools durch die Rushhour

Benedikt Lahme, Optibus im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Rushhour, ein überfüllter Bus, Fahrgäste drängen sich aneinander, und die Fahrerin kämpft mit einem Verspätungsplan, der längst aus dem Ruder gelaufen ist. Szenen wie diese sind Alltag im öffentlichen Nahverkehr, besonders in städtischen Ballungsräumen. Gleichzeitig stehen Verkehrsunternehmen unter Druck, emissionsfreie Fahrzeuge einzuführen, Kosten zu senken und den Ansprüchen der Fahrgäste gerecht zu werden. Wie kann all das gelingen, und was braucht es wirklich, um den Nahverkehr von Grund auf zu transformieren?





**IM+io** Wie würden Sie Optibus beschreiben?

**BL:** Optibus ist ein Technologie- und Softwareunternehmen, gegründet von zwei Mathematikern. Die Idee war, ein mathematisches Problem im öffentlichen Nahverkehr zu lösen: Wie können begrenzte Ressourcen wie Busse, Fahrpersonal und Infrastruktur so effizient wie möglich genutzt werden? Daraus entstand eine Plattform, die Verkehrsunternehmen bei der Planung und Organisation unterstützt. Die Software wird in Berlin und Tel Aviv entwickelt. Heute bieten wir ein umfassendes Betriebssystem für den öffentlichen

Verkehr an. Unsere Software deckt alle Planungsstufen ab, von der strategischen Angebotsplanung über Umlauf- und Dienstplanung bis hin zur Echtzeit-Disposition. Dabei setzen wir auf modernste Technologien und Nutzungsfreundlichkeit, um Verkehrsunternehmen eine effiziente und nachhaltige Planung zu ermöglichen.

**IM+io** Wie unterscheidet sich Ihre Plattform von herkömmlichen Planungsmethoden im Nahverkehr und welchen Vorteil bietet sie?

**BL:** Traditionelle Planungsmethoden basieren oft



auf Excel-Tabellen oder sogar rein händischen Prozessen. Solche Ansätze sind zwar möglich, aber spätestens bei komplexeren Netzen und größeren Verkehrsunternehmen stoßen sie schnell an ihre Grenzen. Hinzu kommen gesetzliche Vorgaben, betriebliche Regeln und neue Herausforderungen wie die Integration von Elektrofahrzeugen. Natürlich gibt es auch andere Softwarelösungen. Hier unterscheidet sich Optibus nicht nur durch eine leistungsfähige Infrastruktur, sondern auch durch einen ganzheitlichen Ansatz. Wir setzen nicht nur auf Planung, sondern auf einen Dreiklang aus Analyse, Planung und Optimierung. Wir starten mit einer detaillierten Analyse bestehender Daten, etwa Fahrgastzahlen oder Pünktlichkeitsstatistiken. Diese Daten fließen direkt in die Konzeption ein, sodass bereits erste Szenarien erstellt werden können. Anschließend optimieren wir diese Pläne mithilfe leistungsstarker Algorithmen, um den bestmöglichen Einsatz von Ressourcen zu gewährleisten. Dank des leistungsstarken Cloud-Systems können mit der Software verschiedene Szenarien durchgespielt und verglichen werden. Durch die Nutzung im Browser ermöglicht die Software auch neue Formen der Zusammenarbeit, die es so bei anderen Planungssystemen nicht gibt. Dadurch können verschiedene Interessensgruppen eingebunden werden.

**IM+io** Wie unterstützt Ihre Software die Umstellung auf emissionsfreie Fahrzeuge?

**BL:** Die Umstellung von Diesel- auf Elektrobusse ist eine der größten Herausforderungen für Verkehrsunternehmen. Es geht nicht nur um den Austausch von Fahrzeugen, sondern um eine umfassende Neugestaltung der Planung. Faktoren wie Ladezeiten, Batteriegrößen und Ladeinfrastruktur müssen in den Fahrplan integriert werden. Unsere Plattform ermöglicht es, solche Szenarien detailliert durchzuspielen. Verkehrsunternehmen können analysieren, welche Linien sich für eine Elektrifizierung eignen, welche Batteriekapazitäten benötigt werden und ob Ladezeiten den Betrieb beeinträchtigen könnten. Dabei gehen wir ganzheitlich vor: Statt einfach Dieselbusse eins zu eins durch Elektrobusse zu ersetzen, betrachten wir das gesamte Netz und prüfen, ob durch Anpassungen im Fahrplan die gleichen Ressourcen ausreichen.

Besonders im ländlichen Raum, wo größere Distanzen und weniger dichte Taktungen vorkommen, spielen diese Faktoren eine zentrale Rolle. Unsere Software hilft, die Reichweitenproblematik und Ladebedarfe effizient zu lösen.

**IM+io** Wie unterstützen Sie Verkehrsunternehmen bei der Integration von Daten?

**BL:** Unsere Plattform kann man sich als einen großen Werkzeugkasten vorstellen, der Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammenführt und sie für die Planung nutzbar macht. Verkehrsunternehmen können etwa Fahrgastzählungen, Pünktlichkeitsdaten oder GIS-Layer direkt ins System einbinden. Wir bieten visuelle Werkzeuge, die es Planern erleichtern, diese Informationen zu analysieren und in Szenarien umzusetzen.

Ein Beispiel: Wenn Daten zeigen, dass eine Linie chronisch verspätet ist, können wir daraus realistische Fahrpläne ableiten und den Betrieb optimieren. Dabei behalten wir stets die Interessen aller Beteiligten im Blick – von Fahrgästen bis zur Stadtverwaltung.

---

## Die größte Herausforderung bei der Umstellung auf emissionsfreie Fahrzeuge ist nicht der Austausch der Busse, sondern die Integration von Ladezeiten und Reichweiten in den Fahrplan.

---

**IM+io** Wie läuft der Wechsel zu Ihrer Software in der Praxis ab?

**BL:** Die Einführung einer neuen Planungssoftware ist immer mit Herausforderungen verbunden. Oft müssen Verkehrsunternehmen parallel mit dem alten und dem neuen System arbeiten, was zunächst für Mehraufwand sorgt. Unser Ziel ist es, diesen Prozess so reibungslos wie möglich zu gestalten. Wir arbeiten eng mit den

Unternehmen zusammen, um die spezifischen Anforderungen in der Software abzubilden – um quasi einen Digitalen Zwilling des Verkehrsunternehmens zu schaffen. Unsere Plattform basiert auf einem Software-as-a-Service-Modell, sodass wir kontinuierlich Updates bereitstellen und die Unternehmen langfristig betreuen können. Die Einführung dauert je nach Größe und Komplexität des Unternehmens in der Regel zwischen drei und sechs Monaten.

#### **IM+io Welche Rolle spielt die Zusammenarbeit mit Verkehrsunternehmen bei der Einführung Ihrer Software?**

**BL:** Die Einführung unserer Software ist ein partnerschaftlicher Prozess. Verkehrsunternehmen stehen oft vor der Herausforderung, bestehende Systeme abzulösen oder erstmals eine digitale Planung einzuführen. Dabei geben die Unternehmen das Tempo vor, und wir passen unsere Unterstützung individuell an. Auch nach der Einführung stehen wir mit regelmäßigen Updates und Beratungen zur Seite. Unser Ziel ist, die Umstellung so einfach wie möglich zu gestalten und gleichzeitig langfristige Mehrwerte zu schaffen.

#### **IM+io Wie unterscheiden sich die Herausforderungen zwischen Stadt- und Landverkehr?**

**BL:** Der öffentliche Nahverkehr in Städten unterscheidet sich deutlich von dem auf dem Land. In Städten liegt der Fokus oft auf Taktverdichtungen, der Integration verschiedener Verkehrsmittel und einer hohen Auslastung. Auf dem Land dominiert dagegen der Schüler:innenverkehr, der oft die Hauptnutzung des Nahverkehrs ausmacht. Hinzu kommt die wirtschaftliche Herausforderung: Im städtischen Raum sind die Netze aufgrund der höheren Nachfrage meist wirtschaftlicher. Unsere Software hilft dabei, diese Unterschiede zu berücksichtigen und dennoch einen effizienten Betrieb sicherzustellen. Beispielsweise achten wir darauf, dass Busse im ländlichen Raum optimal eingesetzt werden, auch wenn sie außerhalb der Stoßzeiten weniger genutzt werden.

#### **IM+io Welche Rolle spielen Nachhaltigkeit und CO<sub>2</sub>-Reduktion in Ihrem Ansatz?**

**BL:** Nachhaltigkeit ist ein zentraler Aspekt unseres Ansatzes. Unsere Software ermöglicht es, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu analysieren und Maßnahmen zur Reduktion zu planen. Beispielsweise können Verkehrsunternehmen berechnen, wie viel Emissionen sie durch die Elektrifizierung einer Linie einsparen würden. Darüber hinaus sorgt eine

effiziente Planung für eine bessere Auslastung der Fahrzeuge und reduziert unnötige Kilometer. Ein zuverlässiger und gut geplanter Nahverkehr motiviert mehr Menschen, vom Auto auf den ÖPNV umzusteigen, was ebenfalls einen positiven Effekt auf die Umwelt hat.

#### **IM+io Wie sehen Sie die Zukunft der Plattform mittel- und langfristig?**

**BL:** Unsere Vision ist es, den öffentlichen Nahverkehr durch digitale Planung zu transformieren. Wir entwickeln eine Software, die alle Beteiligten berücksichtigt, also Organisierende, Fahrpersonal, politisch Entscheidende und auch die Fahrgäste. Perspektivisch setzen wir auf KI-gestützte Funktionen, die Koordinierende bei Entscheidungen unterstützen und optimierte Vorschläge machen. Wir sind überzeugt, dass ein digitalisierter, nachhaltiger und kollaborativ gestalteter Nahverkehr ein entscheidender Faktor für die Mobilität der Zukunft ist.



**Benedikt Lahme**

Benedikt Lahme hat Betriebswirtschaft in Münster und Montpellier studiert. Er ist Mobilitätsenthusiast und begeisterter Radfahrer. Über 15 Jahre arbeitet er im Bereich Software und Verkehr. Seit 2022 ist er als Regionaldirektor DACH für Optibus im deutschsprachigen Raum verantwortlich.

#### **Kontakt**

benedikt.lahme@  
optibus.com  
www.optibus.com

## **Kurz und Bündig**

Optibus bietet ein ganzheitliches modulares Betriebssystem für Verkehrsunternehmen, das strategische Angebotsplanung, Umlauf- und Dienstplanung mit dem Betrieb und der Leitstelle vereint. Mit Funktionen wie Echtzeitanalysen, emissionsfreien Szenarien und datenbasierter Entscheidungsfindung wird der ÖPNV effizienter und nachhaltiger. Ein einzigartiger Ansatz: die Einbindung von Interessengruppen wie Fahrgästen und Städten für eine kollaborative Planung. Das Ganze basiert auf einer Cloud-Architektur und ist daher besonders leistungsstark und schnell. Ziel ist ein transparenter, ressourcenschonender und zukunftssicherer Nahverkehr.





# Goldgrube oder Datendschungel?

## Die Suche nach den richtigen Erkenntnissen

Georg Wittenburg, Inspiriert im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io





© Adobe Stock | 1264641625 | CHA

Daten sind das neue Gold – ihr Wert liegt jedoch in der richtigen Nutzung. In Unternehmen sammeln sich unzählige Informationen, die tiefere Einblicke ermöglichen können. Allerdings fehlt es oft an Zeit und Ressourcen, um sie effizient auszuwerten. Automatisierte Analysen sollen Abhilfe schaffen, aber wie lassen sich daraus wirklich verlässliche Entscheidungen ableiten? Und welche Verantwortung bleibt dabei beim Menschen?

**IM+io** Wie würden Sie Inspirient beschreiben?

**GW:** Inspirient wurde 2016 von meinem Mitgründer Guillaume Aimetti und mir ins Leben gerufen. Unser Ziel war es, die Analyse betrieblicher Datensätze zu automatisieren. Das haben wir uns damals überlegt, weil wir beide vorher mehrere Jahre in der Beratung tätig waren – unter anderem bei BCG und Deloitte – und gesehen

haben, dass ein enormes Automatisierungspotenzial in der Datenanalyse steckt. Wir haben damals oft mit großen Datenmengen gearbeitet und festgestellt, dass ein erheblicher Teil der Analyseprozesse immer wieder auf denselben Routinen basiert. Die Idee war also, eine Lösung zu entwickeln, die diese Auswertungen automatisiert, ohne dass Analyst:innen alles manuell



durchgehen müssen. Mittlerweile sind wir mit Inspirient seit neun Jahren am Markt und haben uns in Deutschland, aber auch international, insbesondere in Europa und Nordamerika, etabliert. Unser Fokus liegt unter anderem auf Markt- und Meinungsforschung, aber wir sind auch in klassischen Unternehmensbereichen wie Finanzen, Operations oder Logistik tätig.

**IM+io** Wie unterscheidet sich Ihr Ansatz von anderen KI-basierten Analysewerkzeugen?

**GW:** Der Markt für KI-gestützte Datenanalyse hat sich rasant entwickelt, besonders durch Fortschritte bei generativen Modellen wie ChatGPT. Was uns unterscheidet, ist die Vertrauenswürdigkeit unserer Analysen. Unsere KI generiert nicht nur Texte, sondern führt mathematisch und statistisch fundierte Auswertungen durch – ohne „halluzinierte“ Antworten. Kund:innen aus der Finanz- und Marktforschung schätzen die Nachvollziehbarkeit unserer Berechnungen. Während andere KI-Lösungen oft als „Black Box“ agieren, behalten unsere Nutzer:innen stets die Kontrolle.

**IM+io** In einem früheren Interview haben Sie Ihre KI mit einem selbstfahrenden Auto verglichen. Wie sehen Sie das heute?

**GW:** Der Vergleich mit einem selbstfahrenden Auto passt weiterhin gut. Unser System kann autonom Daten analysieren, doch der Mensch bleibt involviert. Was wir gelernt haben: Nutzende wollen Eingriffsmöglichkeiten – eine KI ohne Steuerungsmöglichkeit wäre kaum akzeptabel. Deshalb haben wir eine Schnittstelle geschaffen, mit der Parameter flexibel angepasst werden können. So kann der Fokus in jeder Analyse individuell gesetzt werden.

**IM+io** Können Sie ein konkretes Beispiel für diese Flexibilität geben?

**GW:** Ein gutes Beispiel ist die Analyse von Marktdaten. Angenommen, ein Unternehmen möchte herausfinden, welche Faktoren den Umsatz eines neuen Produkts beeinflussen. Unsere KI identifiziert automatisch die wichtigsten Variablen, aber manchmal sind es genau die „unerwarteten“ Korrelationen, die den größten Mehrwert bieten. Wenn sich beispielsweise zeigt, dass saisonale Faktoren eine stärkere Rolle spielen als ursprünglich gedacht, kann der Analyst oder die Analystin das System gezielt darauf hinweisen, diese Faktoren stärker zu gewichten. So entsteht eine Kombination aus Automatisierung und menschlicher Intuition.

**IM+io** Sie sind seit 2023 in Nordamerika aktiv. Was waren Ihre bisherigen Highlights dort?

**GW:** Ein großes Highlight war sicherlich unser Einsatz in der politischen Meinungsforschung. Während der letzten US-Wahlen wurden auf unserer Plattform große Datenmengen analysiert, um Wählerstimmungen und Kampagneneffekte unter einer Zeitersparnis von über 80 Prozent zu bewerten. Ein weiterer Erfolg war unsere Auszeichnung als „Beste Datenplattform“ durch die Market Research Society in London. Es ist natürlich ein starkes Signal, wenn man sich im internationalen Vergleich behaupten kann – insbesondere als europäisches Unternehmen. Zudem haben wir in Nordamerika wertvolle Partnerschaften aufgebaut, die uns neue Einblicke in die dortigen Marktanforderungen geben. Die Offenheit für datengetriebene Entscheidungsprozesse und Automatisierung ist dort enorm, was spannende Perspektiven für unsere weitere Entwicklung bietet.

---

## Automatisierung heißt nicht, Kontrolle abzugeben – sondern sie intelligenter zu nutzen.

---

**IM+io** Sie sind Teil des Scheer Netzwerks. Welche Rolle spielt diese Partnerschaft für Ihr Unternehmen und wie wirkt sich die Zusammenarbeit auf Ihre Arbeit aus?

**GW:** Es ist für uns ein wichtiger Bestandteil unseres Ökosystems. Wir profitieren von der langjährigen Erfahrung und den etablierten Strukturen im Netzwerk, insbesondere wenn es um die Skalierung und Integration unserer Lösungen geht. Ein konkretes Beispiel ist unsere Zusammenarbeit im Bereich der standardisierten Datenverarbeitung, beispielsweise die gemeinsam erarbeitete DIN SPEC 32792.

Gemeinsam mit Partnern aus dem Netzwerk konnten wir neue Methoden entwickeln, um Daten effizienter zu strukturieren und

auszuwerten. Das erleichtert es unseren Kunden, KI-gestützte Analysen in bestehende Prozesse zu integrieren.

**IM+io Wie verändert sich die Rolle von Data Scientists mit zunehmender Automatisierung?**

**GW:** Data Science wird zunehmend automatisiert, aber das bedeutet nicht, dass die Rolle von Data Scientists obsolet wird – aber sie verändert sich weiter! Statt Daten manuell zu bereinigen oder einfache Berechnungen durchzuführen, können sie sich stärker auf inhaltliche und betriebliche Fragen konzentrieren. Ein gutes Beispiel: Früher mussten Data Scientists oft viel Zeit damit verbringen, Datenmodelle aufzusetzen und Berechnungen manuell auszuführen. Heute kann unsere KI diese Vorarbeit übernehmen. Das ermöglicht es den Analyst:innen, sich darauf zu konzentrieren, welche Schlussfolgerungen aus den Daten gezogen werden sollten und welche Maßnahmen sich daraus ableiten.

**IM+io Datensicherheit ist ein großes Thema. Wie stellen Sie sicher, dass Kund:innendaten geschützt bleiben?**

**GW:** Unsere Kund:innen arbeiten oft mit hochsensiblen Daten – sei es in der Finanzbranche oder der Marktforschung. Deshalb bieten wir verschiedene Optionen an, um Datenschutzerfordernisse gerecht zu werden. In vielen Fällen installieren wir unsere KI direkt bei Kund:innen – entweder in deren Rechenzentrum oder in einer privaten Cloud. Dadurch bleiben die Daten jederzeit unter Kontrolle des Unternehmens. Für Kund:innen, die eine SaaS-Lösung bevorzugen, achten wir darauf, dass Serverstandorte den jeweiligen Datenschutzrichtlinien entsprechen.

**IM+io Wie wird sich die KI-gestützte Datenanalyse in den kommenden Jahren entwickeln?**

**GW:** Wir sehen aktuell eine spannende Entwicklung: Datenanalysen werden interaktiver. Während man früher statische Berichte oder Dashboards hatte, wird es in Zukunft möglich sein, mit seinen Daten direkt zu kommunizieren – etwa durch Sprach- oder Texteingaben. Das bedeutet, dass eine Führungskraft in einem Meeting einfach fragen kann: „Welche Stärken unserer Markenstrategie sollten wir im Vergleich zu Wettbewerbsteilnehmenden X nutzen?“ – und die KI liefert sofort eine präzise Antwort, basierend auf den eigenen Daten.

Unsere Vision ist es, diese Möglichkeiten weiter auszubauen und sicherzustellen, dass

Nutzer:innen ihre Daten so einfach wie möglich nutzen können – ohne komplizierte technische Kenntnisse.

**IM+io Wenn Sie auf die letzten Jahre zurückblicken – was hat Sie am meisten überrascht?**

**GW:** Am meisten überrascht hat mich, wie stark sich die Erwartungen unserer Kund:innen verändert haben. Vor ein paar Jahren hätten viele Unternehmen noch gezögert, eine KI mit der Analyse sensibler Daten zu betrauen. Heute ist das Vertrauen in diese Technologien deutlich gestiegen. Gleichzeitig haben wir gelernt, dass Kund:innen immer die Möglichkeit haben wollen, ihre KI-gesteuerten Analysen zu beeinflussen. Unsere größte Erkenntnis war daher: Automatisierung ist gut – aber sie funktioniert am besten, wenn sie den Menschen nicht ersetzt, sondern unterstützt.

**IM+io Was sind Ihre nächsten Ziele?**

**GW:** Unser Hauptziel ist es, die neuesten KI-Entwicklungen für unsere Kund:innen nutzbar zu machen. Das bedeutet unter anderem, dass wir die Nutzungsfreundlichkeit weiter optimieren, die Automatisierung intelligenter machen und unsere Lösungen noch stärker in bestehende Unternehmensprozesse integrieren. Außerdem wollen wir unsere internationale Präsenz weiter ausbauen – insbesondere in Nordamerika, wo wir bereits sehr erfolgreich gestartet sind. ■



**Dr. Georg Wittenburg**

Georg Wittenburg ist Gründer und Geschäftsführer der Inspirient GmbH, einem Berliner Technologieunternehmen mit Fokus auf vollautomatischer Datenauswertung. Inspirient entwickelt seit 2016 eine international mehrfach ausgezeichnete KI-Plattform, die insbesondere auch Analysen von Markt- und Meinungsforschungsdaten stark beschleunigt und dadurch neue Erkenntnisse aufzeigt. Wittenburg ist Autor zahlreicher Publikationen zum effizienten und sicheren Einsatz von Künstlicher Intelligenz in Unternehmen und engagiert sich in Fachkonferenzen und in der Standardisierung.

**Kontakt**

georg.wittenburg@  
inspirient.com  
www.inspirient.com

## Kurz und Bündig

Über 80 Prozent der Unternehmensdaten bleiben ungenutzt – ein enormes Potenzial für datenbasierte Entscheidungen. Automatisierte Analysen ermöglichen es, komplexe Datensätze schnell und präzise auszuwerten, wodurch Unternehmen Zeit und Ressourcen sparen. Besonders in der Markt- und Meinungsforschung sowie im Finanzsektor kommt KI bereits zum Einsatz. Entscheidend bleibt, dass die Technologie zuverlässig arbeitet, während Nutzende weiterhin Steuerungsmöglichkeiten behalten.



# KONTAKTIEREN SIE UNS UND PLATZIEREN SIE IHRE ANZEIGE IN DER IM+IO!

Mehr Infos unter: <https://www.im-io.de/mediadaten/>



# IM+io

## Impressum

**IM+io – Best & Next Practices aus Digitalisierung, Management und Wissenschaft**  
40. Jahrgang, Heft 1 2025  
ISSN: 1616-1017

## Herausgeber

**Prof. Dr. Dr. h.c. mult. August-Wilhelm Scheer**  
Universität des Saarlandes,  
August-Wilhelm Scheer Holding  
GmbH, Saarbrücken  
Prof. Dr. Paul Schönsleben,  
ETH Zürich (Stellvertreter)

## Verlag

**August-Wilhelm Scheer Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH**  
Uni-Campus Nord  
66123 Saarbrücken/Germany  
Tel.: +49 681 96777-0  
[info@aws-institut.de](mailto:info@aws-institut.de)  
[www.aws-institut.de](http://www.aws-institut.de)

## Geschäftsführung

**Prof. Dr. Dr. h.c. mult. August-Wilhelm Scheer, Sandra Ehlen**

## Herausgeberbeirat der IM+io

### Vertreter Wissenschaft

Prof. Dr. Michael Backes, Backes SRT/Universität des Saarlandes, Saarbrücken | Prof. Dr. Christoph Igel, DFKI, Berlin | Prof. Dr. Helmut Krcmar, TU München | Prof. Dr. Georg von Krogh, ETH Zürich | Prof. Dr. Peter Loos, Universität des Saarlandes/DFKI, Saarbrücken |

Prof. Dr. Dr. h.c. Dieter Rombach, Fraunhofer-Institut IESE, Kaiserslautern | Prof. Dr. Günther Schuh, RWTH Aachen | Prof. Dr. Hans-Gerd Servatius, Universität Stuttgart | Univ.-Prof. Prof. Eh. Dr. h.c. dipl. Wirtsch.-Ing Wilfried Sihl, Fraunhofer Austria Research GmbH, Wien | Prof. Dr. Oliver Thomas, Universität Osnabrück | Prof. Dr. Florian von Wangenheim, ETH Zürich | Prof. Dr. Dr. h.c. Walther Ch. Zimmerli, BTU Cottbus

### Vertreter Wirtschaft

Meike Scheer, August-Wilhelm Scheer Holding GmbH, Saarbrücken | Dr. Fabian Dömer, ArthurD. Little Int. Inc., Wiesbaden | Dr. Thomas M. Fischer, avantum consult AG, Düsseldorf | Dr. Gerd Große, GFFT e.V., Bad Vilbel | Britta Hilt, IS Predict GmbH, Saarbrücken | Dr. Rainer Minz, The Boston Consulting Group GmbH, Köln | Rolf Scheuch, OPITZ CONSULTING GmbH, Gummersbach

### Chefredaktion (verantwortlich)

**Sandra Ehlen**  
[sandra.ehlen@aws-institut.de](mailto:sandra.ehlen@aws-institut.de)

### Redaktion

**Sandra Ehlen**  
(Stv. Chefin vom Dienst)  
[sandra.ehlen@aws-institut.de](mailto:sandra.ehlen@aws-institut.de)  
**Milena Milivojevic**  
(Redaktionsvolontärin)  
[milena.milivojevic@aws-institut.de](mailto:milena.milivojevic@aws-institut.de)  
**Irmhild Plaetrich**  
(Redaktion - Innovation Review)

[irmhild.plaetrich@im-io.de](mailto:irmhild.plaetrich@im-io.de)  
**Norbert Eder**  
(Redaktion Schwerpunkt)  
[norbert.eder@im-io.de](mailto:norbert.eder@im-io.de)  
**Katherina Plakias** (Redaktion Schwerpunkt)  
[katherina.plakias@aws-institut.de](mailto:katherina.plakias@aws-institut.de)  
**Johanna Krämer** (Digitalausgabe)  
[johanna.kraemer@aws-institut.de](mailto:johanna.kraemer@aws-institut.de)  
**Lukas Ruth** (Cover)  
[lukas.ruth@aws-institut.de](mailto:lukas.ruth@aws-institut.de)  
**Taisiia Tsykolanova** (Grafik)  
[taisiiia.tsykolanova@aws-institut.de](mailto:taisiiia.tsykolanova@aws-institut.de)

**Erscheinungsweise**  
vierteljährlich, plus ggf. eine kostenpflichtige Sonderausgabe

**Abonnement**  
Jahresabonnement Deutschland und Österreich € 39,- | für Studierende gegen Vorlage einer Bescheinigung € 29,- (D) jeweils inkl. MwSt. und Versandkosten. Einzelheft € 9,80 zzgl. Versandkosten und Nachnahmegebühr. Eine kostenpflichtige Sonderausgabe wird Abonnenten gegen gesonderte Rechnung automatisch geliefert. Eine Abnahmeverpflichtung besteht nicht. Eine Rücksendung der Sonderausgaben an den Verlag ist erforderlich. Das Abonnement kann innerhalb von 14 Tagen nach Erhalt des ersten Heftes schriftlich widerrufen werden. Die Vertragslaufzeit beträgt 12 Monate. Das Abonnement verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, wenn 4 Wochen vor Ende der

12-Monats-Laufzeit keine schriftliche Kündigung seitens des Abonnenten erfolgt. Im Falle höherer Gewalt besteht kein Anspruch auf Lieferung oder auf Rückerstattung der Abonnementgebühr. Abo-Bestellungen nimmt das AWS-Institut schriftlich oder via Website [www.im-io.de](http://www.im-io.de) oder über den Buchhandel entgegen.

## Anzeigen

Es gilt die Anzeigenpreisliste von 2025.  
**Sandra Ehlen** (Stv. Chefin vom Dienst) [sandra.ehlen@aws-institut.de](mailto:sandra.ehlen@aws-institut.de)  
Tel.: +49 162 4790 116

## Layout/Satz

August-Wilhelm Scheer Institut  
**Milena Milivojevic**  
**Taisiia Tsykolanova**  
**Katherina Plakias**

## Druck

reha GmbH  
Dudweilerstraße 72  
66111 Saarbrücken

## Lektorat

**Sonja Colling-Bost**  
**Jürgen Bost**

## Rechte

Namentlich gekennzeichnete Beiträge stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar. Für unverlangt eingesendete Manuskripte wird keine Gewähr übernommen. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge

und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Kein Teil dieser Publikationen darf ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Der Autor ist damit einverstanden, dass sein Beitrag in der Printversion der Zeitschrift IM+io erscheinen darf. Der Verlag ist darüber hinaus berechtigt, den Beitrag komplett oder in Teilen im Original oder in Übersetzung, insbesondere auch zu Werbezwecken, online (z.B. im Internet) oder offline (z.B. in Jahresbänden) zu verbreiten bzw. durch Lizenznehmer verbreiten zu lassen.



[www.rehagmbh.de](http://www.rehagmbh.de)

# OEM & LIEFERANT

Netzwerk Automotive - Innovationen. Konzepte. Lösungen.

Besuchen Sie unser Presseforum  
für die Automobil- und Zulieferindustrie  
[www.oemundlieferant.de](http://www.oemundlieferant.de)

Zum Presseforum:  
[oemundlieferant.de](http://oemundlieferant.de)



## Digitales Fachmagazin für die Automobil- und Zulieferindustrie

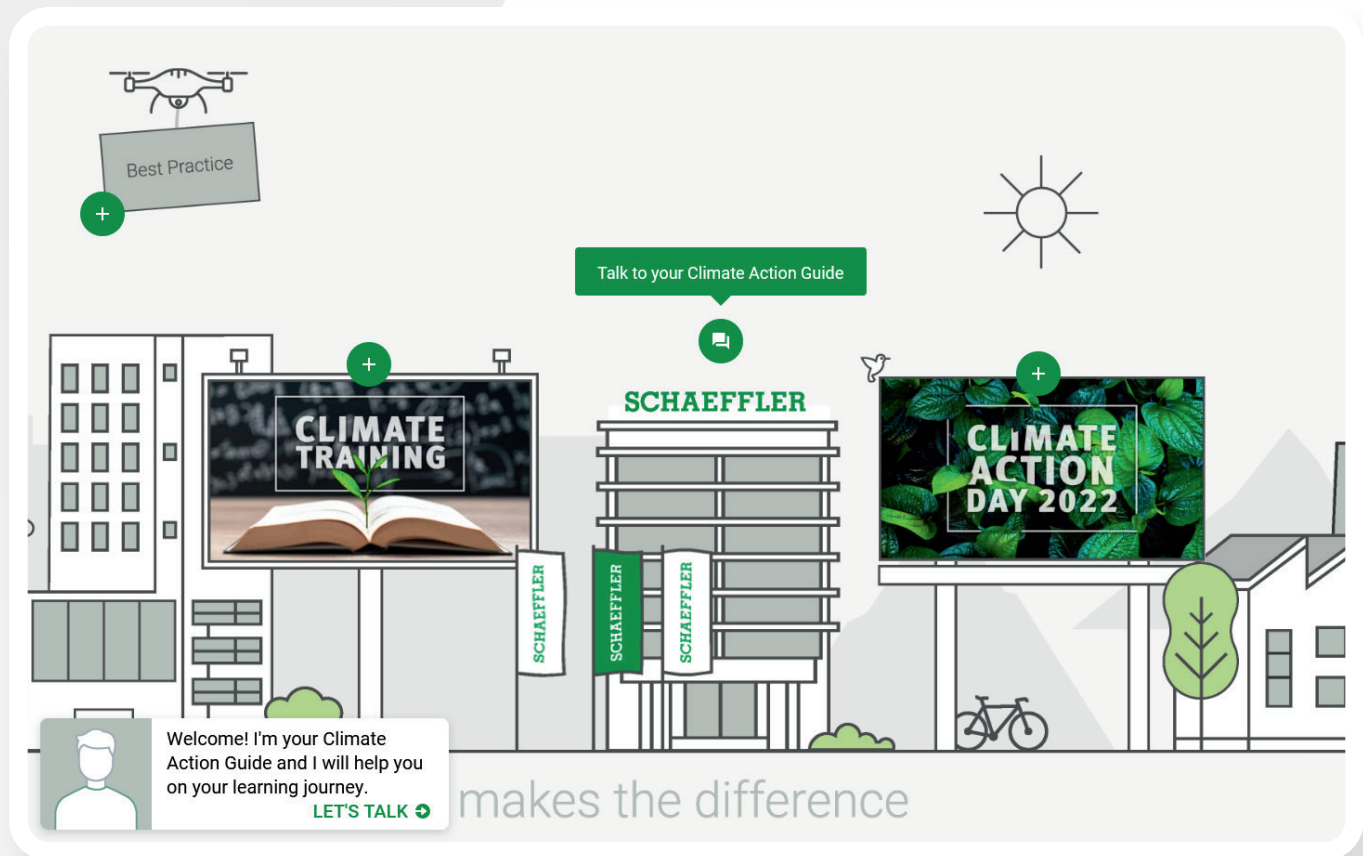
**VEK** | Verlag Elisabeth Klock

Wilhelm-Schrohe-Straße 2 · 55128 Mainz · Telefon +49 157 50153533 · [info@klock-medienpartner.de](mailto:info@klock-medienpartner.de)



More than technology

**Y Scheer IMC**



# Scheer IMC unterstützt Schaeffler **auf dem Weg zur Klimaneutralität**

Mitarbeitende befähigen, eine nachhaltige Zukunft  
zu gestalten – durch innovative Lernlösungen.

QR-Code scannen und in der Success  
Story erfahren, wie wir einen echten  
Unterschied für unsere Kunden machen!

