

# FORSCHUNGS FORUM PADERBORN



UNIVERSITÄT PADERBORN  
*Die Universität der Informationsgesellschaft*

18-2015

Die digitale Gesellschaft



WISSENSCHAFTSMAGAZIN

Das Internet von morgen

Herausforderung Elektromobilität

Auf dem Weg zum optischen Transistor

Der zufriedene Patient 2.0

Sensorgestütztes E-Commerce

Noten jenseits des Papiers







Ramona Wiesner  
Leiterin des Referats  
Hochschulmarketing und Universitätszeitschrift

## EDITORIAL

Liebe Leserinnen und Leser,

mit Smartphone, Tablet oder Laptop sind wir heute ständig online. Da diese digitalen Technologien bedeutenden Einfluss darauf haben, wie wir leben und arbeiten, beschäftigte sich das Wissenschaftsjahr 2014 mit dem Thema digitale Gesellschaft. Einige Beiträge dieses ForschungsForums greifen ebenfalls die digitale Entwicklung in Deutschland auf und eröffnen großartige Zukunftsperspektiven.

Für mobile Endgeräte spielt der schnelle Zugriff auf das drahtlose Internet eine immer bedeutendere Rolle. So arbeiten die Forscher um Prof. Dr. J. Christoph Scheytt daran, neue Technologien für das drahtlose Hochgeschwindigkeits-Internet zu entwickeln, die gleichzeitig erheblich weniger Energie verbrauchen und längere Akkulaufzeiten garantieren (ab Seite 26).

Die eingebauten elektronischen Sensoren in Smartphones liefern auch aussagefähige Daten über unser Verhalten als Kunde des Online-Handels. Prof. Dr. Joachim Fischer vom Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik untersucht die Integration mobiler Endgeräte und deren Sensorik in betriebswirtschaftliche Informationssysteme wie SAP ERP. Wenn Sie wissen möchten, wie die dritte Generation des E-Commerce aussehen kann, blättern Sie auf Seite 32.

In Sachen Gesundheit recherchieren wir heute gerne im Internet, um uns z. B. auf den Portalen „jameda“ und „DocInsider“ über Ärzte und Patientenerfahrungen zu informieren. Juniorprofessorin Michaela Geierhos analysiert die anonymen Online-Arztbewertungen dieser Plattformen

und ermittelt die bedeutenden Einflussfaktoren für die Patientenzufriedenheit. Wie sie versucht ein Stimmungsbild über das Beschwerdeverhalten von Patienten zu generieren, lesen Sie ab Seite 14.

Auch die Musikedition ist im digitalen Zeitalter angekommen: Am Musikwissenschaftlichen Seminar Detmold/Paderborn wird daran gearbeitet, Noteneditionen Dank digitaler Werkzeuge völlig neu zu präsentieren. Waren Gesamtausgaben früher dicke Bände, lassen sich heute musikalische Quellen und Texte auf dem Bildschirm verknüpfen und verschiedene Musikhandschriften und -drucke leichter nutzen. Mehr ab Seite 40.

Mit optischen Mustern in Halbleiternanostrukturen beschäftigt sich Juniorprofessor Dr. Stefan Schumacher. Sein Team arbeitet daran, spontane räumliche Muster in nichtlinearen Medien für die Realisierung hocheffizienter optischer Schalter einzusetzen. Ab Seite 20 erfährt man im Detail, womit sich die Arbeitsgruppe Theoretische Optoelektronik und Photonik in diesem Projekt befasst.

Die Optimierung der Elektromobilität hat sich Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker auf die Fahnen geschrieben. Mit seinem Team forscht er an unterschiedlichen schaltungstechnischen Realisierungen von Ladegeräten für Elektrofahrzeuge. Ab Seite 6 geht es u. a. um den Paradigmenwechsel in der Antriebstechnologie des Automobils.

Eine interessante Lektüre wünscht

Ihre Ramona Wiesner

Seite 6

**Herausforderung Elektromobilität**

Erhöhung der Reichweite elektrisch angetriebener Fahrzeuge

**Von Joachim Böcker, Lukas Keuck, Wilhelm Peters und Oliver Wallscheid**



Seite 14

**Der zufriedene Patient 2.0**

Analyse anonymer Arztbewertungen zur Generierung eines Patientenstimmungsbildes

**Von Michaela Geierhos und Sabine Schulze**

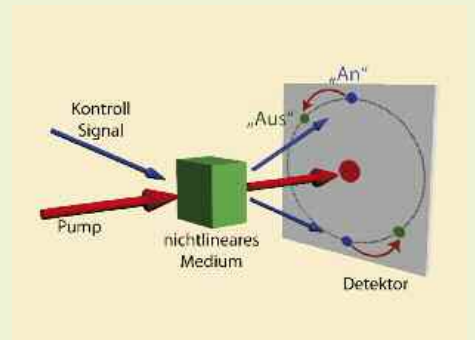


Seite 20

**Auf dem Weg zum optischen Transistor**

Optische Muster in Halbleiternanostrukturen: grundlegende Physik, numerische Simulationen und Experimente

**Von Stefan Schumacher**



Seite 26

**100 Gigabit pro Sekunde und mehr für das drahtlose Hochgeschwindigkeits-Internet**

Neue Verfahren zur ultra-schnellen Datenübertragung für das Internet von morgen

**Von J. Christoph Scheytt und Abdul Rehman Javed**





**Sensorgestütztes E-Commerce – die nächste Generation?**  
Auf welche Technik des Bürgers sollte sich der Handel  
einstellen?  
**Von Joachim Fischer und André Wickenhöfer**

Seite 32



**Noten jenseits des Papiers**  
Zur Entwicklung von Werkzeugen für die Digital Humanities  
im Bereich der Musikedition  
**Von Joachim Veit**

Seite 40

## IMPRESSUM

Herausgeber  
Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer  
Präsident der Universität Paderborn

Prof. Dr. rer. nat. Christine Silberhorn  
Vizepräsidentin für Forschung und  
wissenschaftlichen Nachwuchs

Konzeption und Redaktion  
Ramona Wiesner  
Leiterin des Referats Hochschulmarketing  
und Universitätszeitschrift

Warburger Str. 100, 33098 Paderborn  
05251 60-2553, -3880  
wiesner@zv.uni-paderborn.de  
www.uni-paderborn.de/hochschulmarketing

ForschungsForum Paderborn (ffp) im Internet  
www.uni-paderborn.de/ffp

Wissenschaftlicher Beirat  
Prof. Dr. rer. nat. Sybille Hellebrand  
Prof. Dr. Hermann Kamp  
Prof. Dr. rer. nat. Christine Silberhorn  
Prof. Dr. Nancy V. Wunderlich  
Prof. Dr. rer. nat. Artur Zrenner

Grafik-Design  
PADA-Werbeagentur  
05251 527577

Drucklegung  
März 2015

Auflage  
5 000

ISSN (Print) 1435-3709

## TITEL

*Wir leben im Zeitalter des Hochgeschwindigkeits-Internets. Insbesondere tragbare Computer wie Smartphones, Tablets und Notebooks benötigen im täglichen Gebrauch einen immer schnelleren Zugang zum drahtlosen Internet. So erfordert die erheblich steigende Anzahl von Nutzern und Anwendungen die Entwicklung von immer neueren mobilen Endgeräten und Technologien sowie immer höhere Übertragungsraten und Übertragungsgüten (Quality-of-Services). Ein zunehmend hoher Bedarf an drahtlosen Hochgeschwindigkeitsnetzwerken lässt sich z. B. in der Unterhaltungselektronik und im Heimbereich feststellen, wie bei drahtlosen Ultra-High-Definition- und 3D-Fernsehbildschirmen, drahtlosen Verbindungen zu Peripheriegeräten, wie Videogeräten oder Festplatten, in der Datensynchronisation und der allgemeinen drahtlosen Datenübertragung innerhalb von Computer-Netzwerken und -Verbänden (Seite 26).*



Quelle: Fotolia



Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer

## VORWORT

*Liebe Leserinnen und Leser,*

*das Thema der digitalen Gesellschaft ist heute so präsent und aktuell, wie nie zuvor. Fragen zur digitalen Durchdringung unserer Gesellschaft – positiv wie negativ – werden eine immer wichtigere Stellung einnehmen. Das digitale Zeitalter ist von schnellen Entwicklungen geprägt – im Internet, bei Smartphones, PCs oder intelligenten technischen Systemen, wie sie in modernen Autos eingesetzt werden. In fast allen gesellschaftlichen Bereichen, vom menschlichen Miteinander über die Wirtschaft bis hin zur Wissenschaft, haben digitale Technologien bedeutenden Einfluss darauf, wie wir leben und arbeiten. Die Frage ist: Wie verändern digitale Möglichkeiten eine Gesellschaft?*

*Die digitale Weiterentwicklung kann den Erfolg des Produktionsstandorts Deutschland stärken. Das Netz ermöglicht es, Maschinen miteinander kommunizieren zu lassen, indem sie automatisch hochkomplexe Informationen austauschen. Das steigert die Effizienz und verbessert Arbeitsabläufe. So erforscht die Wissenschaft zum Beispiel, wie Produktion und Arbeitsplätze von morgen in der Industrie 4.0 gestaltet werden können.*

*So eine technische Entwicklung ermöglicht zwar ein besseres Leben, ist aber nicht frei von Risiken. Die digitale Gesellschaft wird Grenzen erfahren, mit denen wir in Wirtschaft, Wissenschaft und unserem Leben verantwortungsvoll umgehen müssen. Mit dem Thema des Wissenschaftsjahres werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie Wissenschaft und Forschung diese Entwicklung mit neuen Lösungen vorantreiben.*

*Wie umfassend der digitale Fortschritt unsere Gesellschaft beeinflusst, zeigen auch die Themen der diesjährigen Ausgabe des ForschungsForums, wenn es zum Beispiel darum geht, durch eine umfangreiche Analyse von anonymen Arztbewertungen im Web 2.0 ein detailliertes Erfahrungs- und Beschwerdebild zu generieren. Die Weiterentwicklung bei Reichweitenentwicklungen von Elektro-Autos ist ein weiteres Thema – eine Forschung, die alle Lebensbereiche sowie die Umwelt einschließt. Im Bereich Musik ist es inzwischen sogar möglich, gedruckte Noten digital zu erfassen.*

*Die Themen des ForschungsForums haben mich während meiner Jahre als Vizepräsident für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchts der Universität Paderborn selbst immer wieder neugierig auf die Themen unserer Zeit gemacht. Da ich im März mein neues Amt als Präsident der Universität Paderborn angetreten habe, wird sich jetzt meine Amts-Nachfolgerin Christine Silberhorn mit Ihnen auf die spannende Reise durch die Forschung begeben. Dabei wünsche ich Ihnen und ihr viel Erfolg und weiterhin viele neue Erkenntnisse für die kommenden spannenden Themen des ForschungsForums.*

*Wilhelm Schäfer*

*Präsident der Universität Paderborn*



# Herausforderung Elektromobilität

## Erhöhung der Reichweite elektrisch angetriebener Fahrzeuge

Von Joachim Böcker,  
Lukas Keuck,  
Wilhelm Peters und  
Oliver Wallscheid



**Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker** leitet seit 2003 das Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik (LEA). Forschungsschwerpunkte liegen in der Modellierung und Regelung von elektrischen Antriebssystemen, effizienten leistungselektronischen Konvertern und dem Energiemanagement, insbesondere im Kontext der Elektromobilität und der Energiewende.

**Die Elektromobilität steht für einen Paradigmenwechsel in der Antriebstechnologie des Automobils. Der Einsatz elektrischer Antriebe soll die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen auf Kohlenwasserstoffbasis sowie die Emissionen von Schadstoffen und CO<sub>2</sub> verringern. Derzeit stellt die Speicherung elektrischer Energie eine zentrale Herausforderung der Elektromobilität dar. Die Reichweite elektrisch angetriebener Fahrzeuge ist durch die Energiedichte (Energie pro Gewicht und pro Volumen) aktueller Speichertechnologien limitiert. Eine Verbesserung der Energiedichte wirkt sich daher unmittelbar auf die Reichweite aus. Jedoch ist auch die Weiterentwicklung elektrischer Antriebssysteme und weiterer Nebenaggregate, die nicht direkt der Fortbewegung dienen, eine ebenso wichtige Aufgabe. Ausgehend von einem gegebenen Energiespeicher gilt es, die verfügbare Energie so effizient wie möglich zu nutzen und damit eine möglichst hohe Reichweite zu erzielen.**

Fossile Kraftstoffe sind exzellente Energiespeicher. Die volumetrische Energiedichte von Benzin beträgt 8,9 kWh/L, Diesel weist 9,8 kWh/L auf; die gravimetrische Energiedichte von Benzin und Diesel beträgt 11,8 kWh/kg. Beim Auftanken von konventionellen Fahrzeugen mit einem Tankvolumen von 60 L innerhalb einer Dauer von 60 s fließt durch den Tankschlauch ein chemischer Energiestrom mit einer Leistung von 32 MW bei Benzin und 35,5 MW bei Diesel. Das entspricht der Leistung von zehn Windkraftanlagen oder einer Photo-

voltaikanlage mit einer Fläche von 50 Fußballplätzen bei Volllast. Die Vorteile konventioneller Verbrennungsmotoren liegen, trotz ihrer erheblichen Verluste von etwa 60 Prozent und mehr aufgrund des thermodynamischen Kreisprozesses, in der hohen Energiedichte fossiler Kraftstoffe und der Möglichkeit einer schnellen Befüllung des Energiespeichers. Lithium-Ionen-Batterien weisen eine erheblich geringere Energiedichte von bis zu 0,15 kWh/kg sowie 0,35 kWh/L auf. Der Ladevorgang einer Batterie dauert zudem deutlich länger als die Betankung eines konventionellen Fahrzeugs, da hier lediglich Ladeleistungen im ein- bis zweistelligen kW-Bereich realisiert werden können. Wegen der geringen Energiedichte heutiger Batterien sind aktuelle elektrisch angetriebene Fahrzeuge wie z. B. BMW i3 oder VW e-up! für Reichweiten zwischen 100 bis 200 km ausgelegt. Eine Alternative zu Batterien stellen Brennstoffzellen mit Wasserstoffspeichern dar, welche ähnlich schnell wie ein konventioneller Tank befüllt werden können. Der im Wasserstofftank mitführbare Energievorrat ist zwar größer als bei Batterien, allerdings gibt es noch keine durchgängige Wasserstofftankstelleninfrastruktur, was der Verbreitung dieser Technologie im Fahrzeug entgegensteht. Diese Technologie soll daher im Folgenden nicht näher betrachtet werden. Neben der Realisierung eines elektrischen Energiespeichers als Batterie können zudem mehrere Speicherarten zu einem sogenannter hybriden Energiespeicher zusammengefasst werden. Die Untersuchung solcher Ansätze wurde u. a. in den





© Petair - Fotolia.com

letzten Jahren durch das Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik (LEA) vorangetrieben. Hierbei werden die Vorteile verschiedener Speichertechnologien, z. B. auf hohe Energiedichten optimierte Lithium-Ionen-Batterien (Reichweite) mit leistungsstarken Doppelschichtkondensatoren (Spitzenleistung für Beschleunigungsvorgänge) kombiniert. Hieraus resultieren gegenüber dem reinen Batteriespeicher Vorteile hinsichtlich Gewicht, Volumen und Effizienz des Gesamtspeichers, welche allerdings durch zusätzliche Systemkomplexität erkauft werden.

Reichweiten von vielen Hundert Kilometern, wie wir sie von verbrennungsmotorischen Fahrzeugen gewohnt sind, lassen sich sowohl mit Batterien als auch mit hybriden Speichern nur zu unverhältnismäßig hohen Kosten realisieren und würden zudem zu einem viel zu großen Fahrzeuggewicht führen. Statistiken zum Nutzungsverhalten privater Fahrzeughalter zeigen jedoch, dass fast 90 Prozent aller Fahrzeuge pro Tag weniger als 100 km zurücklegen, 50 Prozent sogar weniger als 50 km. Somit ist es möglich, einen Großteil der Fahrten mit einem Elektrofahrzeug zurückzulegen und bei Bedarf auf andere Mobilitätsträger zurückzugreifen. Insbesondere im Hinblick auf eine zunehmende Urbanisierung bieten Elektrofahrzeuge das Potenzial, die Schadstoffbelastung in Großstädten durch lokal emissionsfreies Fahren zu verringern. Durch die Elektrifizierung von Fahrzeugen können zudem unterschiedliche Energiequellen flexibel bei der Bereitstellung der elektrischen Energie

verwendet werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass ein flächendeckendes Energieverteilungsnetz bereits zur Verfügung steht und die Integration von rund 1 Millionen Elektrofahrzeugen ohne nennenswerten Netzausbau ermöglicht. Bei dem knappen Energieinhalt einer Batterie gilt es, die verfügbare Energie möglichst effizient zu nutzen, um eine große Reichweite zu erzielen. Dabei ist nicht nur die Effizienz des elektrischen Antriebs maßgebend. Auch Nebenaggregate, die nicht direkt der Fortbewegung dienen, können einen erheblichen Anteil des Energiebedarfs ausmachen. Neben dem direkten Energiebedarf wirken sich zudem sämtliche Komponenten auch indirekt über ihr Gewicht auf die Reichweite eines Fahrzeugs aus.

#### **Fahrzeugstrukturen und Bordnetze**

Für das Bordnetz konventioneller Kraftfahrzeuge hat sich eine Betriebsspannung von 12/14 V etabliert. Da die elektrischen Verbraucher keine allzu großen Leistungen erfordern, ergeben sich daraus akzeptable Stromstärken und Leitungsquerschnitte. Diese Spannung würde einem elektrischen Fahrentrieb mit einer Leistung im zweistelligen kW-Bereich jedoch zu Strömen von einigen 1 000 A führen, wofür nicht akzeptable Leitungsquerschnitte vorgesehen werden müssten. Daher werden für den elektrischen Antrieb Betriebsspannungen von 200 bis 450 V vorgesehen. Ein Standard hat sich allerdings noch nicht etabliert (Abbildung 1 und Abbildung 2).

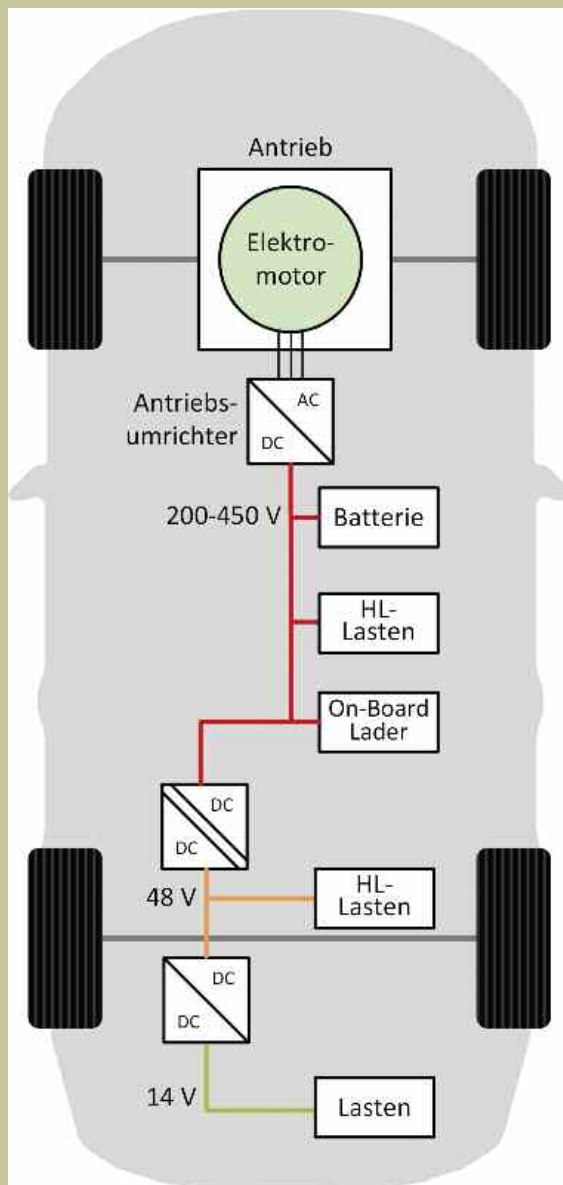


Abb. 1: Mehrspannungsbordnetz in einem E-Fahrzeug.

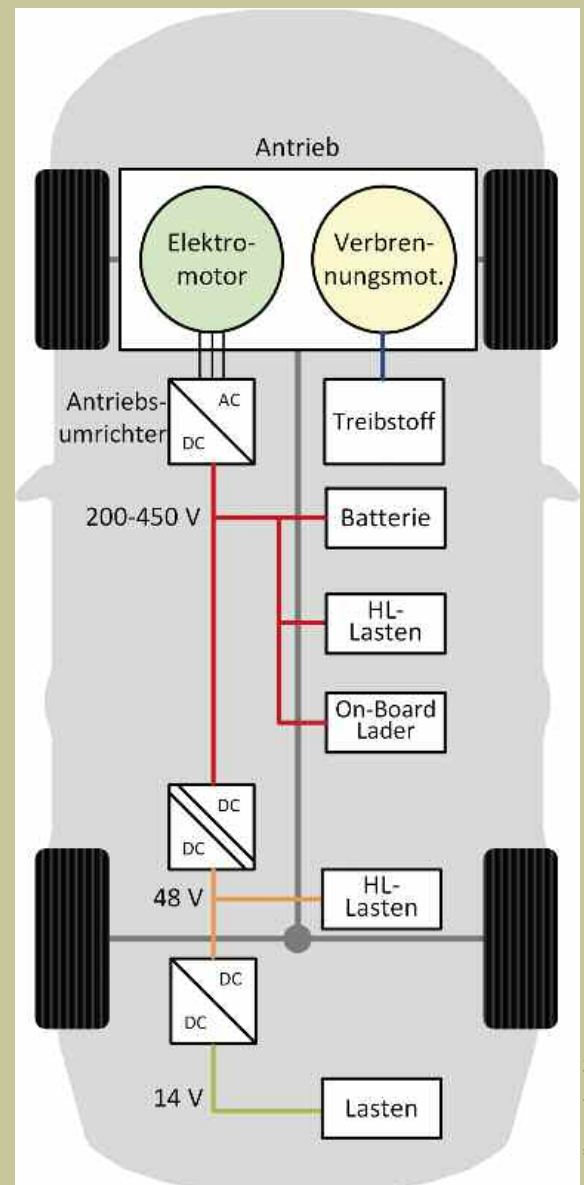


Abb. 2: Mehrspannungsbordnetz in einem Hybridfahrzeug.

Quelle: Fachgebiet LEA

Da jedoch eine solche Spannung größeren Aufwand für Isolation erfordert, wäre es ungeschickt, alle Verbraucher im Fahrzeug, von der Beleuchtung bis zur Servolenkung, auf diese höhere Spannung umzustellen. In der Diskussion steht daher, eine zusätzliche Zwischenspannungsebene von 48 V zu verwenden, da für Gleichspannungen unter 60 V im Allgemeinen auf einen verstärkten Berührungsschutz verzichtet werden kann. Für eine solche Struktur werden dann Gleichspannungswandler (DC-DC-Konverter) benötigt, die ebenfalls Gegenstand von Forschungsprojekten des Fachgebiets LEA sind.

### Energiebedarf für die Traktion

Der Energiebedarf von Fahrzeugen kann entweder auf die Betriebsdauer oder auf die zurückgelegte Wegstrecke bezogen werden. Da das Hauptanliegen meist darin besteht, eine bestimmte Strecke

zurückzulegen, wird typischerweise der strecken-spezifische Energiebedarf herangezogen. Dieser kann mit einer einfachen Modellierung der für die Bewegung des Fahrzeugs in Fahrtrichtung maßgebenden Kräfte abgeschätzt werden. Die wesentlichen Widerstandskräfte sind der Luftwiderstand, der Rollwiderstand und die Hangabtriebskraft. Bei Beschleunigungs- und Abbremsvorgängen ändert sich zudem die kinetische Energie des Fahrzeugs. Ausgehend von einem Fahrspiel kann mit einem Fahrzeugmodell die notwendige mechanische Leistung berechnet werden. Zusätzlich muss im Rahmen der Verbrauchsberechnung berücksichtigt werden, auf welche Weise eine negative (bremsende) Antriebskraft beim jeweiligen Fahrzeug bereitgestellt wird. Bei konventionellen Fahrzeugen wird dies über das Schleppmoment des Verbrennungsmotors sowie die mechanische Bremse bewirkt. Dabei geht die kinetische Ener-

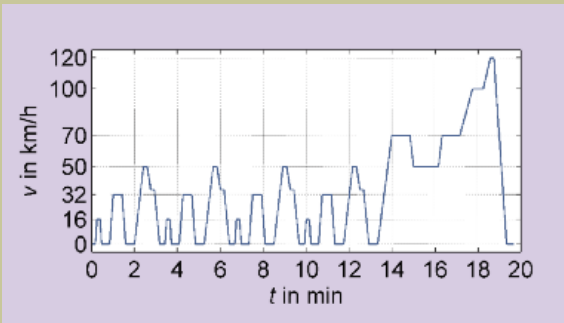


Abb. 3: Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ).

Quelle: Fachgebiet LEA

Masse (inkl. Fahrer)	1200 kg
Effektive Gesamtträgheit	1300 kg
Wirksame Querschnittsfläche	2,07 m <sup>2</sup>
Luftwiderstandsbeiwert	0,32
Rollwiderstandsbeiwert	0,009

Quelle: Fachgebiet LEA

Tab. 1: Fahrzeugparameter für Verbrauchsberechnung.

gie, beim Gefälle auch die potenzielle Energie, aus Antriebssicht vollständig verloren. Ein Vorteil elektrischer Antriebe besteht auch darin, dass diese als Bremsen wirken können und dabei die mechanische Energie zurück in elektrische Energie wandeln, die in die Batterie zurück gespeist werden kann. Zwar leistet diese Rekuperation einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Effizienz, doch darf nicht übersehen werden, dass aufgrund von Wandlungsverlusten die ursprüngliche Energie nicht mehr vollständig zurückgewonnen werden kann. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass je nach Fahrzeugstruktur eine gezielte Verteilung der über den elektrischen Antrieb gestellten Bremskraft auf die einzelnen Räder meist nicht möglich ist. Aus Gründen der Fahrzeugstabilität muss bei stärkeren Bremsvorgängen die Bremskraft jedoch gezielt auf die Räder verteilt werden, so dass auch die mechanische Bremse zum Einsatz kommt. In diesem Fall muss bei der Verbrauchsberechnung die Zusammensetzung der Bremskraft modelliert werden, um die rekuperierte Energie korrekt gegen die Treibarbeit zu bilanzieren (Abbildung 3).

Seit dem 1. Januar 1996 wird in der Europäischen Union der NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) verwendet, um den Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen unter standardisierten Bedingungen zu ermitteln. Das Geschwindigkeitsprofil des NEFZ ist in Abbildung 3 zu sehen. Dieser zeichnet sich durch verhältnismäßig sanfte Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge aus. Des Weiteren ist der NEFZ in zwei Subzyklen aufgeteilt: in einen ca. 13-minütigen Stadtzyklus (ECE15) und einen darauffolgenden Überlandzyklus (EUDC). Es wird im Folgenden angenommen, dass die benötigte Bremskraft vollständig über den elektrischen Traktionsantrieb gestellt werden kann. Dadurch wird die kinetische Energie des Fahrzeugs abzüglich der Verluste an den Widerstandskräften vollständig mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 60 Prozent rekuperiert (Tabelle 1).

Ausgehend von den Fahrzeugparametern in Tabel-

le 1 wurde der streckenspezifische Energiebedarf im NEFZ auf ebener Strecke berechnet. Die Fahrzeugparameter sind an den VW E-up! angelehnt. In Abbildung 4 ist die Zusammensetzung des streckenspezifischen Energiebedarfs ohne Berücksichtigung der Energierückgewinnung durch Rekuperation dargestellt. Die Arbeit am Luftwiderstand  $W_l$  macht bei den niedrigen Geschwindigkeiten im Stadtzyklus nur etwa 5 Prozent des Energiebedarfs aus, hat aber aufgrund der Abhängigkeit der Luftwiderstandskraft vom Quadrat der Geschwindigkeit einen deutlich höheren Einfluss im Überlandzyklus. Die Arbeit am Rollwiderstand  $W_r$  ist in erster Näherung unabhängig von der Geschwindigkeit und variiert nur geringfügig. Im Stadtzyklus ergeben sich aufgrund der geringen mittleren Geschwindigkeit viele Abbrems- und Beschleunigungsvorgänge pro zurückgelegter Strecke, was in einem hohen Energiebedarf für das Beschleunigen des Fahrzeugs  $W_b$  resultiert. Auch im Überlandzyklus erfordert die Beschleunigung den höchsten Energieanteil. Während der Luftwiderstand unabhängig von der Fahrzeugmasse ist, sind der Rollwiderstand sowie der Beschleunigungswiderstand direkt proportional zur Fahrzeugmasse, so dass eine Gewichtsreduzierung sich unmittelbar über diese beiden Anteile auswirkt (Abbildung 4 und Abbildung 5).

Berücksichtigt man nun auch die Rekuperation bei Abbremsvorgängen, so wird der Einfluss der Masse auf den Energiebedarf durch die Rekuperation verringert. Bei einer höheren Fahrzeugmasse ergibt sich beim Beschleunigen ein höherer Energiebedarf, beim rekuperativen Bremsen wird aber auch mehr Energie zurückgewonnen. Die Masse hat dennoch über den Rollwiderstand sowie auch über die unvermeidlichen Verluste bei der Rekuperation immer noch einen beträchtlichen Einfluss auf den Energiebedarf des Fahrzeugs. In Abbildung 5 ist die Änderung des Energiebedarfs bei einer Minderung (blau) bzw. Erhöhung (grün) der Fahrzeugmasse um 10 Prozent dargestellt. Die größte Einsparung aufgrund eines verringerten

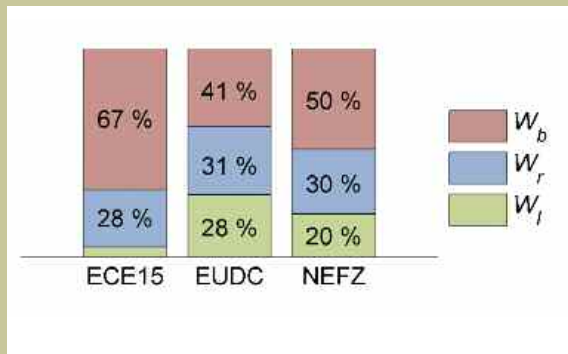


Abb. 4: Zusammensetzung des Energiebedarfs in treibenden Phasen.

Quelle: Fachgebiet LEA

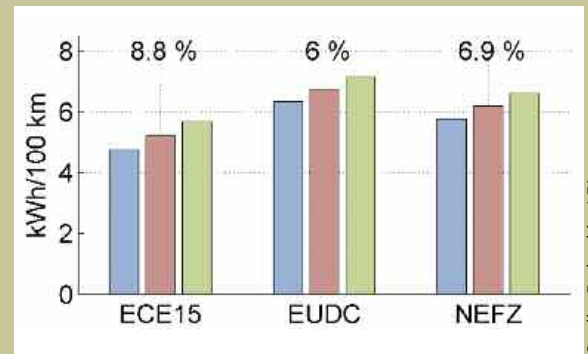


Abb. 5: Änderung des Energiebedarfs bei einer Änderung des Gewichts um 10 Prozent.

Quelle: Fachgebiet LEA

Fahrzeuggewichts resultiert im Stadtverkehr aus einer hohen Anzahl an Abbrems- und Anfahrvorgängen. Daraus resultiert unmittelbar ein Vorteil rein elektrisch angetriebener Fahrzeuge gegenüber einem Plug-In-Hybrid bei rein elektrischem Fahren: Ein Plug-in-Hybrid bietet zwar die Sicherheit, bei entladener Batterie nicht liegen zu bleiben, das Gewicht des Verbrennungsmotors erhöht jedoch den Energiebedarf erheblich.

Bei den obigen Berechnungen wird von der mechanischen Leistung bzw. Arbeit ausgegangen, die der Antrieb an seiner Welle bereitstellen muss. Natürlich ist hier wieder das Ziel, diese mechanische Arbeit mit einem möglichst geringen Einsatz an elektrischer Energie zu erbringen, also den Wirkungsgrad des Antriebs zu maximieren. Die Lösung dieser Aufgabe ist nicht so offensichtlich wie es zunächst erscheinen mag, denn die Effizienz des elektrischen Antriebs wird durch die gewählte magnetische Erregung des Motors, die Abweichungen der Ströme von der idealen Sinusform und die Verluste in dem den Motor speisenden Antriebsumrichter beeinflusst. Das Fachgebiet LEA forscht seit über zehn Jahren an Fragestellungen zur optimalen Betriebsführung durch eine geschickte Steuerung und Regelung des Antriebs. Hierbei spielt die Hochausnutzung der Motoren eine besondere Rolle. Wegen des erwähnten Gewichtsproblems ist man in der Automobiltechnik bestrebt, soweit wie irgend möglich die Masse zu reduzieren, was ein starkes nichtlineares Verhalten des Motors bedingt.

### Einfluss von Nebenaggregaten auf die Reichweite

Auch der Energiebedarf der Nebenaggregate rückt bei begrenzten Energiespeichern stärker als bisher in den Fokus. Aus der Übersicht in Tabelle 2 geht hervor, dass diese Verbraucher zusätzlich zum Antrieb rund 2 kW Leistung benötigen. Dieser Leistungsbedarf besteht unabhängig von den

eigentlichen Antriebsanforderungen und muss ebenfalls aus mitgeführten Energiespeichern gedeckt werden. Vergleicht man dies mit der mittleren Antriebsleistung im NEFZ von nur ca. 2,7 kW für ein Kleinfahrzeug wird schnell klar, dass Nebenaggregate einen wesentlichen Einfluss auf die erzielbare Reichweite bei gegebenem Energievorrat haben. Als Beispiel: Aus der vollgeladenen Batterie des Volkswagen e-up! können ca. 14 kWh elektrische Energie entnommen werden. Ohne Nebenaggregate kann damit rechnerisch eine Reichweite von ca. 170 km erzielt werden, unter Einberechnung dieser sind es weniger als 100 km (Tabelle 2).

Da die Klimaanlage mit Abstand den größten Verbraucher unter den Nebenaggregaten darstellt, laufen zurzeit eine Vielzahl von Untersuchungen zur Verbesserung ihrer Effizienz. Man verspricht sich durch optimierte Kältemittel und verbesserte Kompressoren Einsparungen bezüglich der elektrischen Leistung von bis zu 30 Prozent. Auch gilt es zu bedenken, dass beim hocheffizienten Antriebsstrang von Elektrofahrzeugen kaum Abwärme anfällt, welche im Winter zum Heizen des Fahrzeugs verwendet werden kann. Im Unterschied zu konventionellen Fahrzeugen, bei denen die Abwärme des Verbrennungsmotors ohnehin abgeführt werden muss, ist daher eine zusätzliche Heizmöglichkeit vorzusehen. Diese kann z. B. durch eine Wärmepumpe bereitgestellt werden, die platz- und gewichtsparend als kombiniertes Heiz- und Kühlaggregat einsetzbar ist.

Die aufgenommene elektrische Leistung von Servolenkung, Wankstabilisator, Pumpen und Gebläsen wird im Wesentlichen durch die Effizienz der eingesetzten elektrischen Kleinantriebe in diesen Komponenten bestimmt. Insbesondere durch den Einsatz eines Mehrspannungsbordnetzes können diese Kleinantriebe effizienter ausgelegt bzw. betrieben und Verbrauchersparungen in der Größenordnung von 10 Prozent erzielt



Komponenten	Leistung in W
Klimaanlage	1 000
Servolenkung	200
Front- und Heckscheibenheizung	200
Wankstabilisator	150
Beleuchtung	140
Wasserpumpe	100
Entertainment/Radio	75
Kühlergebläse	50
Elektromechanische Bremse	50
Sitzheizung	30
Sonstiges z.B. Scheibenwischer, Pumpen,...	30
Summe:	2 025

Quelle: Fachgebiet LEA

Tab. 2: Mittlere Leistungsaufnahme von Nebenaggregaten im E-Fahrzeug.

werden. Auch im Bereich der Fahrzeugbeleuchtung sind weitere Leistungseinsparungen durch moderne LED-Technik möglich, wobei im Bereich des leistungsintensiven Abblend- und Fernlichts in den nächsten Jahren Leistungseinsparungen von bis zu 40 Prozent zu erwarten sind. Bei den weiteren Komponenten ist eine Verringerung der durchschnittlichen Leistungsaufnahme nicht abzusehen bzw. sogar eine Erhöhung möglich, z. B. durch den stetig zunehmenden Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien im Fahrzeug. Dem Trade-Off zwischen Komfort (Klimaanlage, Heizung) und Reichweite (als auch streckenspezifischer Verbrauch), welchen jeder Fahrer individuell bewerten muss, kommt daher eine deutlich höhere Bedeutung zu, als dies bei konventionellen Fahrzeugen der Fall ist.

### Aufladen des Energiespeichers

Die Akzeptanz der Elektromobilität hängt neben der Reichweite nicht zuletzt davon ab, wie komfortabel dem Nutzer das Laden der Batterie ermöglicht wird. Erwartungsgemäß wird ein Großteil der elektrisch angetriebenen Fahrzeuge mit On-Board Ladegeräten ausgestattet sein, die das Laden am öffentlichen Versorgungsnetz erlauben. Die maximale Dauerleistung aus einer konventionellen Schutzkontaktsteckdose ist allerdings auf etwa 2,5 kW beschränkt. Für den Ladevorgang über

Nacht mag diese Ladeleistung akzeptabel sein, zeitkritische Ladevorgänge wird der Nutzer damit aber nicht realisieren können. Notwendig sind demnach höhere Ladeleistungen, die entweder über das öffentliche Drehstromnetz oder per direkter Gleichstromladung an das Elektrofahrzeug übertragen werden. Die Gleichstromladung ermöglicht die Einsparung eines zusätzlichen Hochleistungsladers an Bord des Fahrzeugs, da eine stationäre Ladesäule die Ladeleistung an die Batteriespannung anpasst. Um die Reichweite der Fahrzeuge zu steigern, sind für den On-Board-Lader primär zwei Ziele entscheidend: Die Reduktion der Masse und die Reduktion des Bauvolumens. Zwar hat die Effizienz des Laders keinen direkten Einfluss auf die Reichweite des Fahrzeugs, dennoch stellt diese eine weitere wichtige Komponente dar, um den Gesamtwirkungsgrad des Fahrzeugs zu erhöhen. In der Diskussion zur Energiewende werden auch häufig bidirektionale Topologien vorgeschlagen, welche eine Einspeisung von elektrischer Leistung aus den Energiespeichern der Fahrzeuge in das Stromnetz ermöglichen (vehicle-to-grid). Dem Vorteil einer erhöhten Netzstabilität durch die verfügbaren Leistungsreserven der Fahrzeugspeicher stehen Nachteile durch eine erhöhte Systemkomplexität und Kosten für die aufwändigeren Ladegeräte gegenüber.

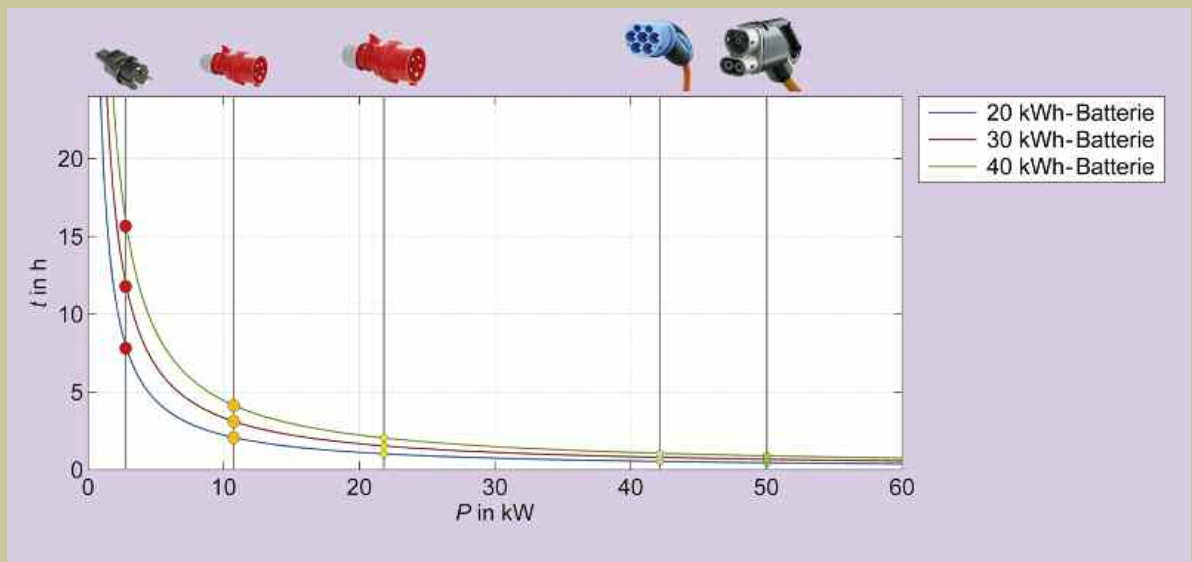


Abb. 6: Ladezeit für übliche Batterien bei unterschiedlichen Ladeleistungen.

Quelle: Fachgebiet LEA

Im Fachgebiet LEA wird an unterschiedlichen schaltungstechnischen Realisierungen von Ladege-  
räten, die zukünftig für das Laden von Elektro-  
fahrzeugen verwendet werden, geforscht. Zwei  
entscheidende Anforderungen, die an das Ladege-  
rät gestellt werden, sind zum einen eine galvani-  
sche Trennung zwischen Batterie und Versor-  
gungsnetz und zum anderen die netzfreundliche  
Stromaufnahme. Häufig werden für diese Aufga-  
ben zwei separate Wandlerstufen verwendet, die  
durch einen Spannungszwischenkreis entkoppelt  
sind und somit für die Aufgaben gezielt ausgelegt  
werden können. In der Diskussion steht, diese  
beiden Stufen zu einer Topologie zu vereinen. Ob  
diese einstufige Topologie zu der angestrebten  
Reduktion der Masse und des Bauraums führt,  
wird derzeit in einem Kooperationsprojekt im  
Rahmen des Spitzenclusters it's OWL untersucht.

### Fazit

Die Elektromobilität ist sowohl ein vielfältiger als  
auch herausfordernder Technologie- und  
Forschungskomplex, welcher sich durch ein hohes  
Maß an Interdisziplinarität auszeichnet. Insbeson-  
dere die verschiedenen Formen (elektrischer)  
Energiespeicher und die effiziente Nutzung der  
verfügbaren Energie im Fahrzeug bergen noch  
hohes Optimierungspotenzial. Im direkten  
Vergleich zu konventionell verbrennungsmoto-  
risch angetriebenen Fahrzeugen gilt es jedoch zu  
bedenken, dass diese ihren aktuell hohen  
Entwicklungsstand auch nicht über Nacht erreicht  
haben und sich die Forschungs- und Entwick-  
lungsarbeiten im Automobilsektor in den letzten  
100 Jahren fast ausschließlich auf diese Antriebs-  
art fokussiert haben.

### Quellen

J. BÖCKER: „ANTRIEBE FÜR UMWELTFREUNDLICHE  
FAHRZEUGE“, SKRIPTUM UNIVERSITÄT PADERBORN,  
2013.

J. BÖCKER, T. HUBER, C. ROMAUS, A. SPECHT: „ELEK-  
TROMOBILITÄT IN PADERBORN“ IN FORSCHUNGSFO-  
RUM PADERBORN, 2011.

J. BÖCKER ET AL.: „REGELUNG ELEKTRISCHER TRAKTI-  
ONSANTRIEBE IN ELEKTRO- UND HYBRIDFAHRZEU-  
GEN“, IN AT – AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, VOL. 58,  
No. 10, 2010.

H. BRAESS, U. SEIFFERT (HRSG.): „HANDBUCH  
KRAFTFAHRZEUGTECHNIK“, FRIEDR. VIEWEG & SOHN  
VERLAG, 2013.

W. PETERS: „WIRKUNGSGRADOPTIMALE REGELUNG  
VON PERMANENTERREGTEN SYNCHRONMOTOREN IN  
AUTOMOBILEN TRAKTIONSANWENDUNGEN UNTER  
BERÜCKSICHTIGUNG DER MAGNETISCHEN SÄTTI-  
GUNG“, DISSERTATION, UNIVERSITÄT PADERBORN,  
2015.

H. PROFF, J. SCHÖNHARTING, D. SCHRAMM, J. ZIEG-  
LER (HRSG.): „ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IN DER  
MOBILITÄT“, GABLER VERLAG, 2012.

VERBAND DER ELEKTROTECHNIK, ELEKTRONIK UND  
INFORMATIONSTECHNIK (HRSG.): „VDE-STUDIE: E-  
MOBILITY 2020“, VDE-VERLAG, 2010.

H. WALLENTOWITZ, K. REIF (HRSG.): „HANDBUCH  
KRAFTFAHRZEUGELEKTRONIK“, FRIEDR. VIEWEG &  
SOHN VERLAG, 2006.



**M.Sc. Lukas Keuck** ist seit Januar 2013 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet LEA tätig. Er studierte Elektrotechnik in Rahmen eines kooperativen Studiums mit der AEG Power Solutions an der FH-SWF Soest und der University of Bolton (UK). Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf dem Entwurf von Stromrichtern und deren Regelung für elektrisch angetriebene Fahrzeuge.



**Dipl.-Ing. Wilhelm Peters** ist seit Januar 2014 als Oberingenieur am Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik tätig. Er studierte Elektrotechnik und Informationstechnik an der Universität Paderborn. Seit November 2008 erforschte er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet LEA die Modellierung und Regelung von permanenterregten Synchronmotoren in automobilen Traktionsanwendungen.



**M.Sc. Oliver Wallscheid** ist seit November 2012 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet LEA tätig. Sein aktueller Forschungsschwerpunkt liegt auf der thermischen Modellierung von hochausgenutzten permanenterregten Synchronmotoren und der Berücksichtigung von Temperatureffekten aus regelungstechnischer Sicht.

#### Kontakt

**Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker**

**Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik**

**Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik, Institut Elektrotechnik**

05251 60-2209

[boecker@lea.uni-paderborn.de](mailto:boecker@lea.uni-paderborn.de)

# Der zufriedene Patient 2.0

*Analyse anonymer Arztbewertungen zur Generierung eines Patientenstimmungsbildes*

Von Michaela Geierhos  
und Sabine Schulze



**Jun.-Prof. Dr. Michaela Geierhos** ist seit Januar 2013 Juniorprofessorin für Wirtschaftsinformatik, insbesondere Semantische Informationsverarbeitung an der Universität Paderborn. Der Schwerpunkt ihrer Forschung liegt in der Entdeckung von Wissen aus Texten, wobei die semantische kontextbedingte Inhaltsinterpretation stets Vorrang vor der quantitativen Textanalyse hat. Vor diesem Hintergrund leitet sie das Projekt „Der zufriedene Patient 2.0“ an der Universität Paderborn.

Der Erfahrungsaustausch zwischen Patienten findet heutzutage zunehmend im Internet statt. Bewertungsportale wie jameda, DocInsider oder imedo.de bieten Patienten und deren Angehörigen die Möglichkeit, anonym Beschwerden zu äußern oder Weiterempfehlungen auszusprechen. Gleichzeitig ermöglichen diese hunderttausend Individualerfahrungen die Erhebung der Patientenzufriedenheit sowie die Überprüfung bestehender Gerüchte, wie z. B. dass Privatpatienten schneller einen Arzttermin bekommen und weniger Zeit im Wartezimmer verbringen. Die Analyse anonymer Online-Arztbewertungen kann nur dann erfolgreich sein, wenn bei der Interpretation der Patientenerfahrungsberichte berücksichtigt wird, dass behandlungsqualitätsunabhängige Faktoren Auswirkungen auf die subjektive Bewertung und das Beschwerdeverhalten haben. Ein neuer Ansatz ist daher, bedeutende Indikatoren für die Patientenzufriedenheit im Web 2.0 zur Generierung eines detaillierten Erfahrungs- und Patientenstimmungsbildes unter Berücksichtigung demographischer und regionaler Einflüsse zu ermitteln.



## Zufriedenheitsmessung in der digitalen Gesellschaft

Die Vorteile der automatisierten, computergestützten Patientenzufriedenheitserhebung über das Web 2.0 sind sowohl quantitativer als auch qualitativer Natur. So ermöglicht erst die maschinelle Textanalyse von Online-Erfahrungsberichten besonders große Datenmengen zu interpretieren, die den Datenbestand klassischer Befragungen (telefonisch oder postalisch) weit überschreitet. Zudem steigt in der Anonymität des Internets die Bereitschaft Beschwerden auszudrücken, da die Nutzer sich – im Vergleich zu Telefonumfragen – nicht mit einem Interviewer konfrontiert sehen (Ye et al., 2011). Gründe für die Zurückhaltung negativer Kritik, wie z. B. Höflichkeit (Uysal & Oner-Ozkan, 2007), die Angst vor negativen sozialen Konsequenzen (Verheyen et al., 2013) oder die Sorge davor, sein eigenes Bild in den Augen des Empfängers zu schädigen (Rosen & Tesser, 1972), spielen in der Anonymität des Netzes keine Rolle. Daher wird ein ehrlicherer Erfahrungsaustausch und folglich die Generierung eines unverzerrteren Meinungs- und Stimmungsbildes ermöglicht. Ferner lassen sich mit der automatisierten Analyse des Online-Mediums die Resultate bestehender Offline-Patientenbefragungen validieren.

## Bundesweit überwiegend zufriedene Patienten

Eine Auswertung von fast 154 000 Online-Bewertungen des Arztbewertungsportals jameda ergab in der ersten Jahreshälfte 2014, dass die Patienten





Quelle: COM SALUD Agencia de comunicación

Eine gute Behandlung durch den Arzt ist das wichtigste Bewertungskriterium für einen zufriedenen Patienten.

tenzufriedenheit in Deutschland im Allgemeinen sehr hoch ist. Die Durchschnittsnote, die für niedergelassene Ärzte auf diesem Bewertungsportal vergeben wurde, beträgt 1,93. Spitzenreiter ist dabei Bayern mit einer durchschnittlichen Patientenzufriedenheit von 1,74, gefolgt vom Saarland mit 1,83 und Hamburg mit 1,85. Schlusslichter sind Mecklenburg-Vorpommern mit einer durchschnittlichen Gesamtnote von 2,04 und Bremen mit 2,19 (Abbildung 1).

Die breit geäußerte Zufriedenheit ist nicht verwunderlich, da der Patient in persönlichem Kontakt zum Arzt steht. Obwohl die Arztbewertungen patientenseitig anonymisiert sind, verbirgt sich ein sensibles Vertrauensverhältnis hinter dieser Beziehung. Dagegen sinkt die Hemmschwelle, wenn Kunden sich über ein gekauftes Produkt beschweren, da der Anbieter bzw. Hersteller keine konkrete, vertraute Person ist und dem Kritikübenden nicht persönlich bekannt ist.

**Bestimmung individueller Qualitätsmerkmale für Arztpraxen**

Individuelle Bewertungen reflektieren subjektive Patientenerfahrungen. Um die personenbezogenen Relevanzurteile zu erkennen, wurden zunächst ungefähr 240 000 freizugängliche Bewertungstexte von Patienten auf den beiden Online-Plattformen jameda und DoctInSider automatisiert

analysiert und interpretiert. Die zurzeit nur quantitative Auswertung auf der Basis der von Patienten vergebenen Schulnoten soll zusätzlich durch eine semantische Textanalyse qualitativ ergänzt wer-



Quelle: Bing Maps

Abb. 1: Durchschnittsnoten für niedergelassene Ärzte pro Bundesland.

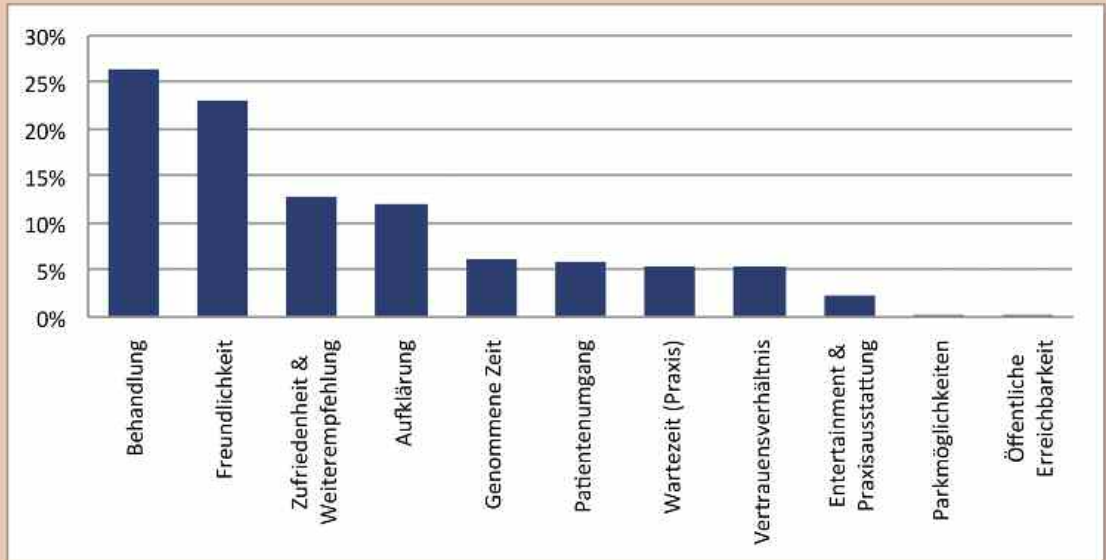


Abb. 2: Arztbewertungskriterien, die für Patienten wichtig sind.

Quelle: Geierthos

den. Hierfür kommen Methoden aus der Computerlinguistik zum Einsatz (Abbildung 2). In einem ersten Schritt wurde aus den Arztbewertungstexten automatisiert extrahiert, welche Qualitätskriterien bei der Benotung niedergelassener Ärzte seitens der Patienten herangezogen werden. Dabei zeigte sich, dass die Behandlungsqualität und Freundlichkeit bei der Beurteilung eines Arztes die am häufigsten genannten Bewertungsmerkmale sind. Weiterempfehlung und Aufklärung kommen mit 13 und 12 Prozent erst an dritter und vierter Stelle. Auffallend ist, dass Eigenschaften, die nichts mit der Behandlung selbst zu tun haben, sondern sich auf die örtlichen Begebenheiten beziehen, wie z. B. Praxisausstattung, Parkmöglichkeiten und öffentliche Erreichbarkeit der Praxis kaum in die Arztbewertung einfließen.

**Schlechte Bewertung gleich schlechte Qualität?**

Außer der von den Patienten kommunizierten (Un)Zufriedenheit wurde im Rahmen dieser Studie auch der mögliche Einfluss behandlungsqualitätsunabhängiger Faktoren auf die geäußerte Patientenzufriedenheit untersucht. Bisher ist bekannt, dass diese beispielsweise vom Alter (Hekkert et

al., 2009), vom Geschlecht (Hekkert et al., 2009), von der wahrgenommenen eigenen gesundheitlichen Verfassung bei Behandlungsbeginn (Nguyen Thi, 2002), von der Erwartungshaltung hinsichtlich der Behandlung (Hekkert et al., 2009) und vom Bildungsstand (Hekkert et al., 2009) beeinflusst werden kann.

Ein weiterer Aspekt – der bei der Analyse von Patientenerfahrungen berücksichtigt werden muss – ist, dass Meinungsunterschiede nicht nur von der tatsächlich wahrgenommenen Zufriedenheit abhängen, sondern auch von dem Beschwerdeverhalten. Die geäußerten, unterschiedlichen Meinungen sind nicht zwangsläufig Ausdruck ambivalenter Zufriedenheiten, geschweige denn erfahrener Behandlungsqualität, sondern lediglich Ausdruck unterschiedlichen Beschwerdeverhaltens. Diese Inkonsistenzen im Bewertungsverhalten lassen sich beispielsweise anhand der Zeit illustrieren, die ein Arzt für seinen Patienten aufbringt. Während zu erwarten wäre, dass dieselben Patientenäußerungen zu ähnlicher Notengebung führen müssten, ist dies nicht immer der Fall (Tabelle 1).

Bei 85 Prozent der jameda-Patientenerfahrungsberichte, die sich auf „Genommene Zeit“ als Bewertungsmerkmal beziehen, wird hierfür die

Tab. 1: Anzahl vergebener Arztnoten pro Patientenäußerung (aus „Genommene Zeit“).

Patientenäußerung	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6
nimmt sich Zeit	3.202	273	24	4	1	3
nimmt sich wenig Zeit	0	0	2	8	39	33
nimmt sich ausreichend Zeit	57	5	0	0	0	0

Quelle: Geierthos

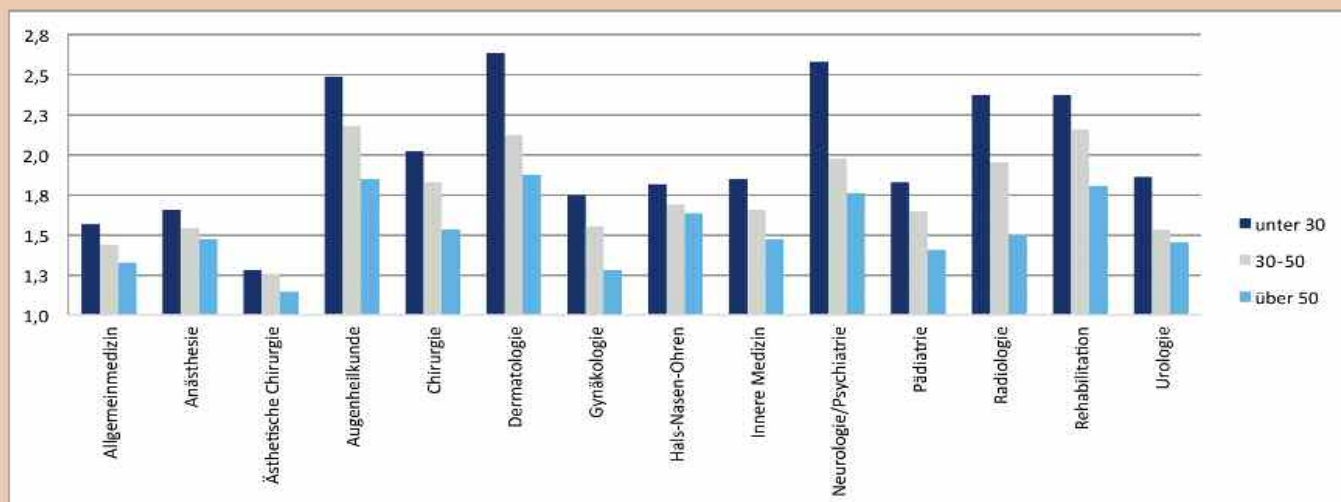


Abb. 3: Durchschnittliche Notenvergabe je Altersgruppe pro Fachgebiet.

Quelle: Geierhos

Note 1 vergeben, was erneut verdeutlicht, dass die Deutschen insgesamt sehr zufrieden mit ihren Ärzten sind. Dabei ist „nimmt sich Zeit“ der häufigste Ausdruck und wird mehrheitlich mit Note 1 assoziiert. Jedoch wird auch für „ausreichend Zeit“ und „viel Zeit“ meist die Bestnote vergeben, was eine differenzierte Abstufung unmöglich macht. Denn „ausreichend“ kann sowohl explizit als auch implizit in „nimmt sich Zeit“ geäußert werden.

Darüber hinaus wirken sich Faktoren wie das Alter (Heung & Lam, 2003), Bildung und Einkommen (Phau & Sari, 2004) ebenfalls auf das Beschwerdeverhalten aus. Bisherige Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf Konsumenten und können nicht ohne weiteres auf das Arzt-Patienten-Verhältnis übertragen werden, da dieses üblicherweise weniger anonym ist.

### Junge Patienten sind kritischer bei der Arztbewertung

Die altersabhängige Auswertung der Patientenmeinungen auf dem Online-Portal jameda ergab, dass jüngere Patienten deutschlandweit mit der Aufklärung durch ihre Ärzte, dem Vertrauensverhältnis zu ihnen und der Wartezeit unzufriedener als ältere Patienten sind und entsprechend schlechtere Gesamtnoten vergeben. Angesichts der Tatsache, dass die Häufigkeit der Arztbesuche mit dem Alter zunimmt, ist es nicht verwunderlich, dass Patienten über 50 wesentlich toleranter mit ihren Fachärzten sind, als es die Generation unter 30 ist, deren Erwartungshaltung mangels erlebter Erfahrungen noch sehr hoch ist (Abbildung 3).

### Privatpatienten warten kürzer und bewerten besser

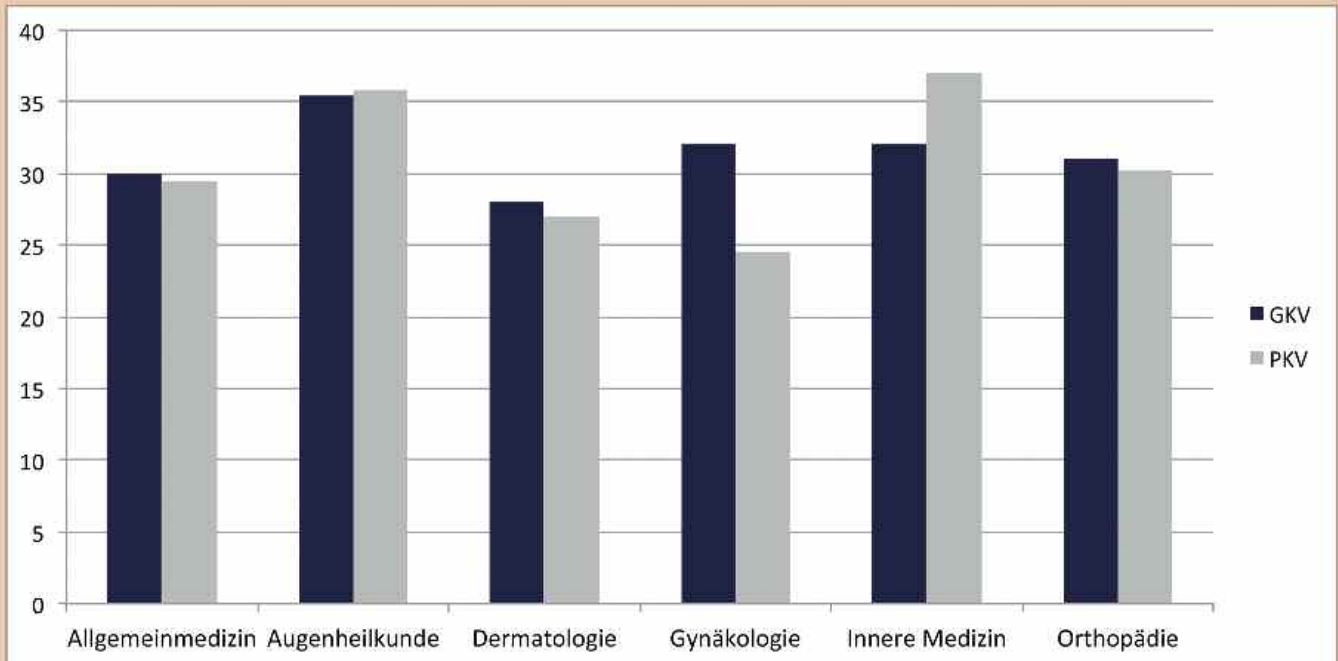
Ein weiterer Einflussfaktor, der einen hohen Einfluss auf das Beschwerdeverhalten und die Patientenzufriedenheit hat, ist die Kassenzugehörigkeit. Erwartungsgemäß müssen Privatpatienten nicht so lange wie gesetzlich Versicherte warten und geben somit auch bessere Noten. Die Ergebnisse der Auswertung von knapp 154 000 Arztbewertungen auf jameda bestätigen diesen „Mythos“.

### Patienten bewerten Wartezeit bei Ärzten im Halbstundentakt

Angesichts der Tatsache, dass sich die Kassenzugehörigkeit auf die Patientenzufriedenheit auswirkt, ist es umso erstaunlicher, dass das Zeitempfinden nahezu kassenunabhängig bei der Bewertung ist. Sowohl Privat- als auch Kassenpatienten vergeben im Durchschnitt je halbe Stunde Wartezeit eine Notenstufe schlechter (Abbildung 4). Während sich die Patienten von Augenärzten einig sind, diese nach 35 Minuten im Wartezimmer mit der nächst schlechteren Note abzustrafen, sind Privatpatienten mit Ihren Gynäkologen deutlicher strenger und warten ungern länger als 25 Minuten. Nur bei den Fachärzten für Innere Medizin scheinen die Privatpatienten auf jameda toleranter als die gesetzlich Versicherten zu sein (Abbildung 4).

### Kein Einfluss der Arbeitslosenquote auf das Bewertungsverhalten

Ein Zusammenhang zwischen der Arbeitslosenquote und der Notengebung der gesetzlich Versicherten



Quelle: Geierhos

Abb. 4: Wartezeitintervall in Minuten für einen Notenschritt bei der Arztbewertung.

cherten konnte nicht festgestellt werden. Die Analyse von insgesamt 4 268 Bewertungen von Allgemeinmedizinern ergab, dass sowohl in dem Bundesland mit der höchsten und der niedrigsten Arbeitslosenquote (Berlin und Bayern laut Statistik der Bundesagentur für Arbeit vom Juni 2014) durchschnittlich Noten von 1,4 vergeben werden. Da Arbeitslose dieselben Leistungen wie Arbeitnehmer in der gesetzlichen Krankenversicherung in Anspruch nehmen können, ist es nicht verwunderlich, dass sie ein analoges Bewertungsverhalten haben. Die Vermutung, dass die Lebenszufriedenheit der Menschen einen Einfluss auf die Benotung der niedergelassenen Ärzte hat, ließ sich ebenfalls nicht bestätigen.

#### Fazit & Ausblick

Die computergestützte Auswertung von Patientenmeinungen auf den beiden Arztbewertungsportalen jameda und DocInsider unter Berücksichtigung sowohl behandlungsqualitätsabhängiger als auch -unabhängiger Bewertungsfaktoren hat die Validierung bestehender „Patienten-Mythen“ und die Aufdeckung demographischer Patientenzufriedenheitsindikatoren ermöglicht. Es hat sich gezeigt, dass ältere Patienten und Privatpatienten besser bewerten, wobei unabhängig von den demographischen und regionalen Faktoren die Behandlungsqualität und die Freundlichkeit eines Arztes den stärksten Einfluss bei der Arztbewertung haben. Die Erkenntnis über die Einflussfakto-

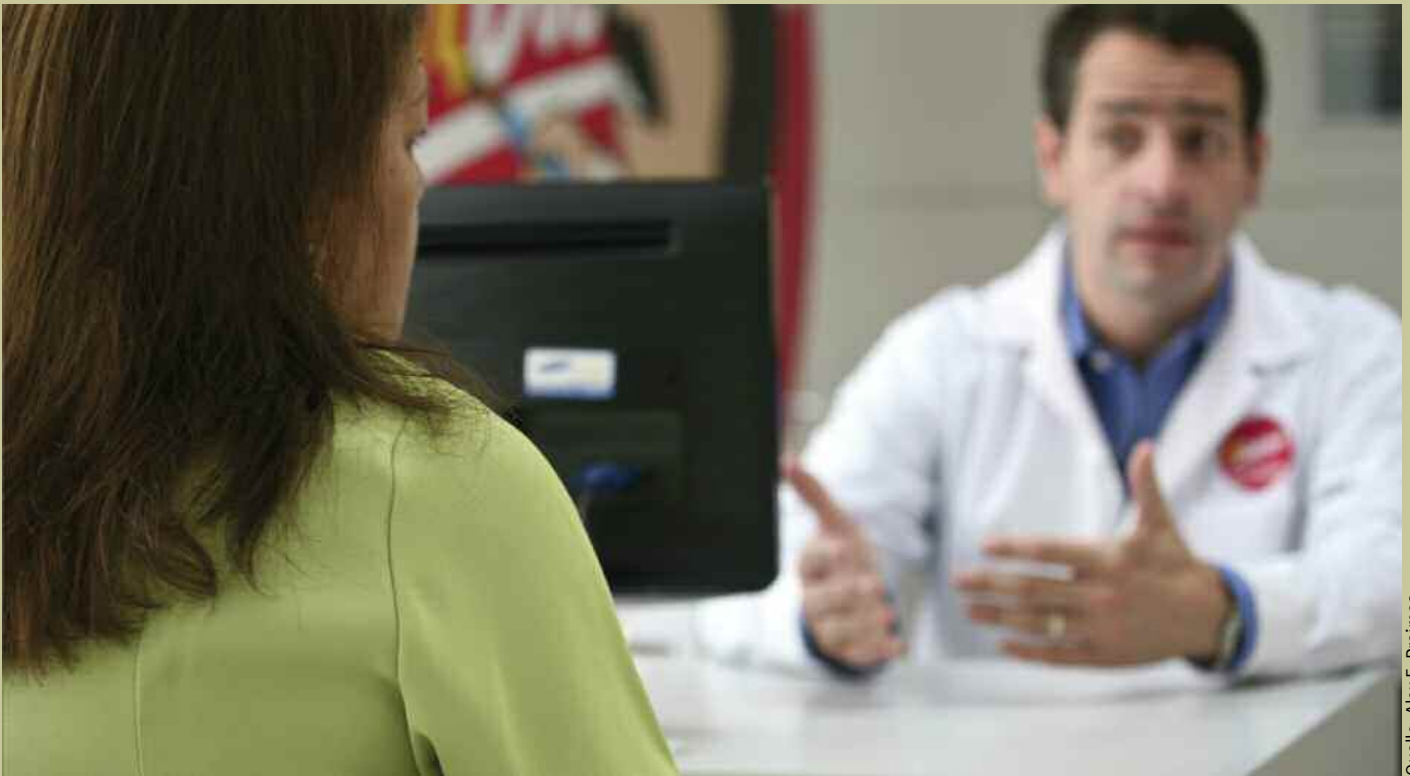
ren der Patientenzufriedenheit bietet eine nützliche Interpretationshilfe bei der Auswertung von Patientenerfahrungsberichten, die dazu beiträgt ein Stimmungsbild über das Beschwerdeverhalten von Patienten zu generieren.

So hat sich einerseits gezeigt, dass die Patienten überwiegend zufrieden mit den niedergelassenen Ärzten in Deutschland sind und andererseits, welche Faktoren diese Zufriedenheit bedingen. Darüber hinaus wäre es interessant zu wissen, welche anderen Ursachen Unzufriedenheit bei Patienten auslösen. Welche Faktoren tragen dazu bei, dass Patienten besonders verärgert sind und als Reaktion darauf den Arzt wechseln? Eine Untersuchung anonymer Arztbewertungen im Web 2.0 zur Identifikation von Gründen für den Arztwechsel wäre somit ein künftiger Ansatz, um ein tiefergehendes Verständnis der Patienten(un)zufriedenheit zu erlangen.

#### Literatur

BESTMANN, BEATE; VERHEYEN, FRANK. PATIENTENZUFRIEDENHEIT – ERGEBNISSE EINER REPRÄSENTATIVEN STUDIE IN DER AMBULANTEN ÄRZTLICHEN VERSORGUNG. [HTTP://WWW.TK.DE/CENTAURUS/SERVLET/CONTENTBLOB/224246/DATEI/2088/WING\\_WISSEN – PATIENTENZUFRIEDENHEIT.PDF](http://www.tk.de/centaurus/servlet/contentblob/224246/datei/2088/wing_wissen_-_patientenzufriedenheit.pdf). ZUGRIFFEN: 02. MAI 2014.





Quelle: Alex E. Proimos

Im Arzt-Patienten-Gespräch sind die Freundlichkeit des Arztes und die ausführliche Patientenaufklärung wichtige Kriterien für die Zufriedenheit.

HEKKERT, KARIN DORIEKE ET AL. PATIENT SATISFACTION REVISITED: A MULTILEVEL APPROACH. SOCIAL SCIENCE & MEDICINE, 2009, 69. Jg., Nr. 1, S. 68–75.  
 HEUNG, VINCENT CS; LAM, TERRY. CUSTOMER COMPLAINT BEHAVIOUR TOWARDS HOTEL RESTAURANT SERVICES. INTERNATIONAL JOURNAL OF CONTEMPORARY HOSPITALITY MANAGEMENT, 2003, 15. Jg., Nr. 5, S. 283–289.

NGUYEN THI, PHI LINH ET AL. FACTORS DETERMINING INPATIENT SATISFACTION WITH CARE. SOCIAL SCIENCE & MEDICINE, 2002, 54. Jg., Nr. 4, S. 493–504.

PHAU, IAN; SARI, RIANA PUSPITA. ENGAGING IN COMPLAINT BEHAVIOUR: AN INDONESIAN PERSPECTIVE. MARKETING INTELLIGENCE & PLANNING, 2004, 22. Jg., Nr. 4, S. 407–426.

TESSER, ABRAHAM; ROSEN, SIDNEY. SIMILARITY OF OBJECTIVE FATE AS A DETERMINANT OF THE RELUCTANCE TO TRANSMIT UNPLEASANT INFORMATION: THE MUM EFFECT. JOURNAL OF PERSONALITY AND SOCIAL PSYCHOLOGY, 1972, 23. Jg., Nr. 1, S. 46–53.

UYSAL, AHMET; ONER-OZKAN, BENGI. A SELF-PRESENTATIONAL APPROACH TO TRANSMISSION OF GOOD AND BAD NEWS. SOCIAL BEHAVIOR AND PERSONALITY: AN INTERNATIONAL JOURNAL, 2007, 35. Jg., Nr. 1, S. 63–78.

YE, CONG; FULTON, JENNA; TOURANGEAU, ROGER. MORE POSITIVE OR MORE EXTREME? A META-ANALYSIS OF MODE DIFFERENCES IN RESPONSE CHOICE. PUBLIC OPINION QUARTERLY, 2011, 75. Jg., Nr. 2, S. 349–365.



**Sabine Schulze** ist seit Juni 2014 Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Juniorprofessur für Wirtschaftsinformatik, insbesondere Semantische Informationsverarbeitung. Sie beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit den Problemen bei der Auswertung von impliziten als auch expliziten qualitativen Informationen aus Texten.

**Kontakt**

**Jun.-Prof. Dr. Michaela Geierhos**

**Fakultät für Wirtschaftswissenschaften**

**Department für Wirtschaftsinformatik**

**05251 60-6461**

**michaela.geierhos@upb.de**

# Auf dem Weg zum optischen Transistor

*Optische Muster in Halbleiternanostrukturen: grundlegende Physik, numerische Simulationen und Experimente*

Von Stefan Schumacher



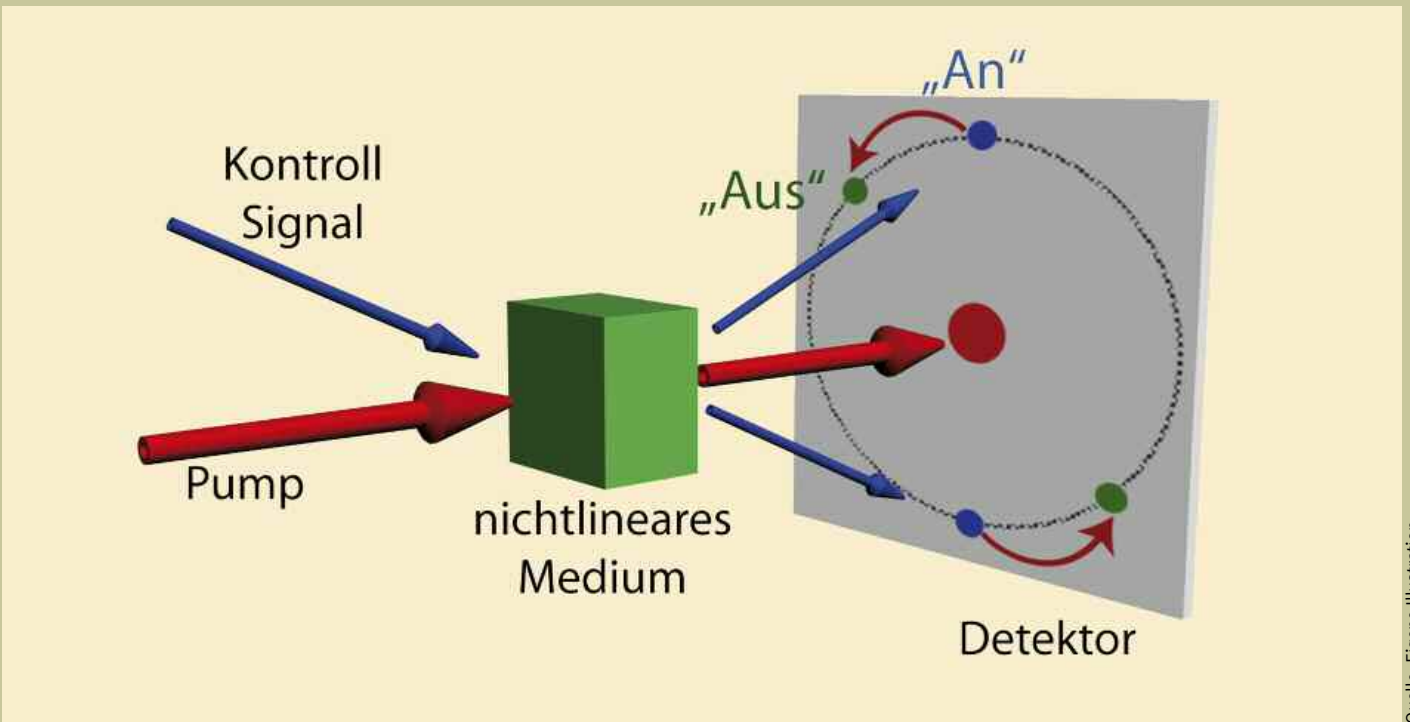
**Jun.-Prof. Dr. Stefan Schumacher** ist seit 2010 Juniorprofessor für Theoretische Physik an der Universität Paderborn und leitet dort die Arbeitsgruppe Theoretische Optoelektronik & Photonik. Forschungsschwerpunkt ist die grundlegende Physik optischer Phänomene in Halbleiter- und molekularen Nanostrukturen mit Potenzial für zukünftige Anwendungen.

**Selbstorganisation und spontane Ausbildung von regelmäßigen Strukturen sind allgegenwärtige Phänomene in der Natur. In nichtlinearen optischen Systemen lassen sich spontane räumliche Muster einsetzen, um hocheffiziente optische Schalter zu realisieren. In Halbleiternanostrukturen liegt diesem Effekt ein spannendes Wechselspiel von nichtlinearer Physik und Vielteilcheneffekten zu Grunde.**

Prominente Beispiele zur spontanen Ausbildung von regelmäßigen räumlichen Strukturen in der Natur reichen von Strukturen im wasserüberspülten Sand über Muster von Tierfellen bis hin zu geographischen Variationen in der Population von parasitären Insekten [1]. Diese vielfältigen Phänomene spiegeln eindrucksvoll wider, dass selbst in räumlich homogenen Systemen bestimmte Beobachtungsgrößen nicht die Homogenität des eigentlichen Systems widerspiegeln müssen. Dies ist Ausdruck von Selbstorganisation und spontaner Symmetriebrechung in nichtlinearen Systemen. In linearen Systemen verändern sich Beobachtungsgrößen proportional zu einer Anregung oder treibenden Kraft. Dies kann in nichtlinearen Systemen grundsätzlich anders sein. Das Verhalten des nichtlinearen Systems kann in bestimmten Parameterbereichen drastisch von der Stärke der Anregung abhängen, so dass sich das Systemverhalten bei einer kritischen Anregungsstärke nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft und gegebenenfalls auch qualitativ ändert. Die mikroskopischen Mechanismen, die zum nichtlinearen Verhalten und letztlich auch zur Musterbildung

führen, sind dabei so vielfältig wie die Phänomene selbst.

Licht eignet sich hervorragend zur Datenübermittlung über lange Distanzen. Die Verarbeitung an Knoten in Kommunikationsnetzwerken erfordert aber oftmals die Umwandlung der optischen in elektrische Signale und zur weiteren Übertragung dann zurück in optische Signale. Zur Verarbeitung gehören dabei z. B. das Auslesen oder die gezielte Weiter- oder Umleitung der Daten, welches leicht in elektronischen Schaltkreisen realisiert werden kann. In rein optischen Ansätzen entfällt die Umwandlung in elektrische Signale. Ein Schlüsselement in optischen Schaltkreisen ist ein rein optischer Schalter. Dieser zeichnet sich dadurch aus, dass ein Lichtsignal z. B. in seiner Amplitude, seiner Ausbreitungsrichtung oder seinem Polarisationszustand durch ein anderes Lichtsignal verändert oder umgeschaltet wird. Da sich elektromagnetische Wellen, wie also auch Lichtsignale, in linearen Medien ungestört überlagern und durchdringen können (Superpositionsprinzip), können solche Schaltvorgänge nur in sogenannten nichtlinearen optischen Medien realisiert werden. Im Zuge zunehmender Miniaturisierung sind ferner optische Komponenten wünschenswert, die mit nur einigen wenigen Lichtteilchen (Photonen), also bei sehr kleinen Schaltintensitäten, operieren können. Unglücklicherweise sind optische Nichtlinearitäten meist intrinsisch schwach, so dass keine relevanten Signalveränderungen oder Schaltvorgänge mit niedrigen Intensitäten bewirkt werden können.

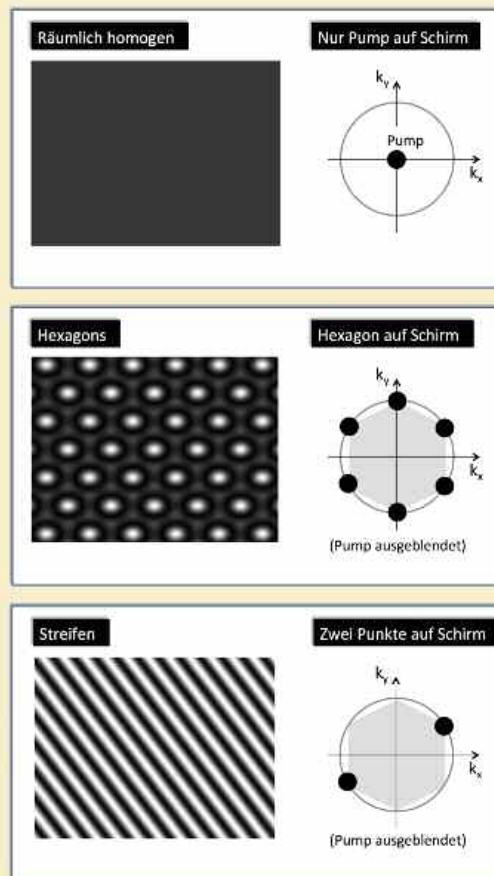


Quelle: Eigene Illustration

Abb. 1: Vereinfachte Darstellung eines Schaltvorgangs basierend auf optischen Mustern im nichtlinearen Medium. Die Abbildung zeigt den „An“-Zustand. Nach Abschalten des Kontrollsignals gehen das System und das detektierte Signal in den „Aus“-Zustand zurück.

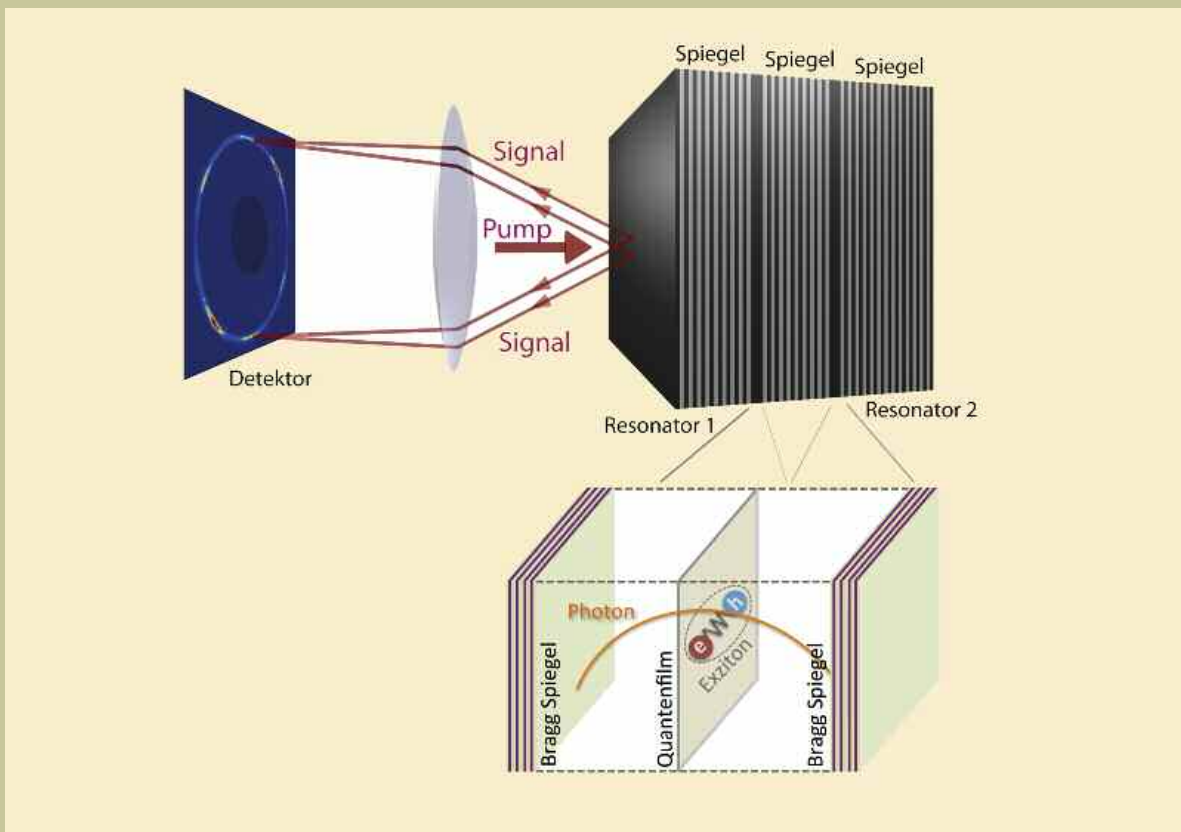
Ein Ansatz, der Schaltvorgänge bei sehr geringen Schaltintensitäten ermöglicht, basiert auf optischen Mustern [2]. Die Einstellungen des Schalters sind dabei in der räumlichen Orientierung der Muster kodiert (Abbildung 1). Zusätzlich kann gezeigt werden, dass dieses Prinzip des optischen Schaltens wesentliche Voraussetzung der Kaskadierbarkeit erfüllt. So konnte transistorartiges Verhalten nachgewiesen werden, bei dem also stärkere optische Signale mit schwachen optischen Kontrollsignalen geschaltet werden. Der zugrunde liegende Mechanismus sind Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen/Phasen des Systems. Dabei erfolgen abrupte Änderungen des makroskopischen Verhaltens durch kleine Störungen. Die Einstellung des Schalters kann also durch ein sehr kleines Kontrollsignal verändert werden. Die verschiedenen Muster oder Zustände, die hier von Bedeutung sind, sind in Abbildung 2 illustriert. Wenn keine Musterbildung stattfindet, spiegelt das räumlich homogene Verhalten die Systemsymmetrie wider. Im Parameterbereich, in dem es zur Musterbildung kommt, ist das hexagonale Muster eine der bevorzugten Strukturen. Streifenmuster, die wie in Abbildung 1 als zwei Punkte auf dem Schirm detektiert werden, können aus Hexagons z. B. durch leichtes Verkippen des anregenden Lichtstrahls (Pump) hervorgehen. Diese können dann als Ausgangspunkt zum Schalten genutzt werden, indem die zwei emittierten Lichtsignale durch Einschalten eines Kontrollpulses in eine andere Raumrichtung umgelenkt/geschaltet werden. Nach Abschalten des Kontroll-

pulses schalten diese wieder zurück in die Ursprungsrichtung.



Quelle: Eigene Illustration

Abb. 2: Links: Räumliche Intensitätsverteilung im nichtlinearen Medium. Rechts: Zugehörige Muster auf dem Detektionsschirm.



Quelle: Eigene Illustration

Abb. 3: Realisierung optischer Muster in einem doppelten Halbleiter-Mikroresonator wie in [4]. Schematische Darstellung eines Halbleiter-Mikroresonators mit exzitonischen Anregungen im Quantenfilm gekoppelt an zwischen den Spiegeln eingeschlossene Lichtfelder.

**Realisierung in kompakter Halbleiternanostruktur**

Das oben besprochene Prinzip wurde ursprünglich mit einem heißen atomaren Gas als nichtlinearem Medium demonstriert [2]. Eine Möglichkeit, die grundlegenden Prinzipien in einem kompakten Halbleiterelement umzusetzen, ist der Einsatz eines Quantenfilm-Mikroresonators, wie es in [4] realisiert wurde (Abbildung 3). Die im Folgenden hierzu dargestellten Ansätze und Ergebnisse wurden in der AG Schumacher in Zusammenarbeit mit Kollegen am École Normale Supérieure in Paris, an der University of Arizona, Tucson (USA) und an der Chinese University Hong Kong erarbeitet [3–5]. In seiner einfachsten Form verfügt ein Quantenfilm-Mikroresonator über zwei optische

Spiegel, die einen optischen Resonator bilden und das Lichtfeld zur besseren Ankopplung einschließen, und einen Halbleiter-Quantenfilm, mit seinen resonanten Elektron-Loch-Paar-Anregungen, den sogenannten Exzitonen. Die Anregungen in diesem System verhalten sich teils wie Licht, so dass sie durch die teildurchlässigen Spiegel ausgelesen und kontrolliert werden können, teils wie Teilchen, deren Wechselwirkungen zu optischen Nichtlinearitäten führen. Die grundlegende Physik hinter diesen Nichtlinearitäten ist ganz anders als im atomaren System und durch komplizierte Vielteilchenwechselwirkungen und Streuung zwischen quantenmechanischen Teilchen bedingt [3]. Das grundlegende Prinzip der Musterbildung und der kontrollierten Übergänge zwi-

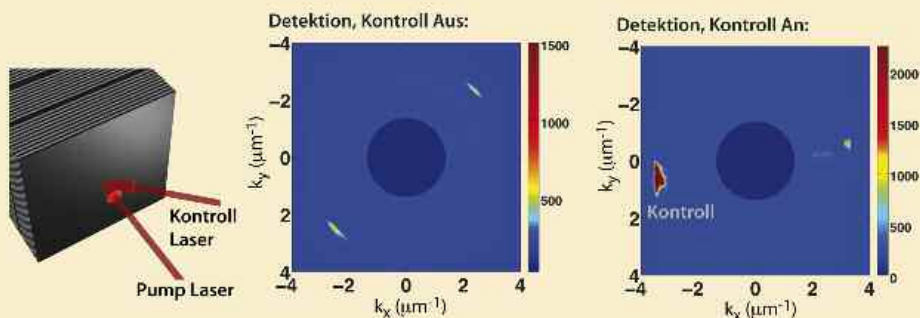


Abb. 4: Experiment zum Schalten mit Mustern. Daten aus [4].

Quelle: Eigene Illustration



Quelle: Eigene Illustration

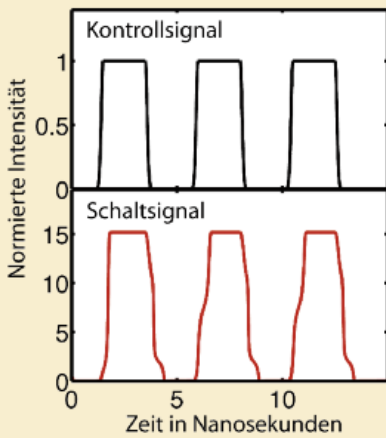
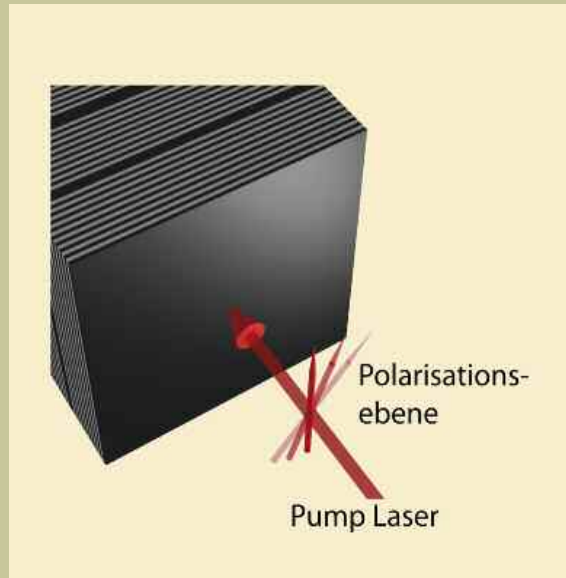


Abb. 5: Numerisch berechnete Schaltsequenz wie in [5].



Quelle: Eigene Illustration

Abb. 6: Kontrolle der räumlichen Ausrichtung von Mustern durch Drehung der Lichtpolarisation.

schen verschiedenen Zuständen kann aber übertragen werden [3]. Die konkrete experimentelle Umsetzung in [4] erforderte eine maßgeschneiderte Struktur mit zwei gekoppelten Resonatoren, wie sie mit modernen Epitaxie-Methoden zum Kristallwachstum hergestellt werden können. In diesem System kommt es zur „spontanen“ Emission kohärenter optischer Signale, die unter endlichem Winkel das System verlassen und auf einem Detektionsschirm beobachtet werden können (Abbildung 3).

### Optische Kontrolle von Mustern

Nachdem sich ein hexagonales Muster ausgebildet hat, kann dieses durch Modifikationen der optischen Anregung in andere Muster überführt werden. So z. B. führt eine leichte Verkipfung des Pump Lasers zur Instabilität des Hexagons, so dass nur noch zwei Punkte auf dem Schirm beobachtet werden (Abbildung 4). Wird zusätzlich ein weiterer Kontrollstrahl eingeschaltet, lässt sich das Signal umschalten. Die berechnete Dynamik dieses Vorganges in Abbildung 5 zeigt, dass der Schaltprozess etwa auf einer Zeitskala von 100 Pikosekunden, also in einem Zehntausendstel einer Millionstel Sekunde, abläuft. Des weiteren zeigt das berechnete Signal deutlich das transistorartige Verhalten des Systems: Das geschaltete Signal ist intensiver als das zum Schalten benötigte Kontrollsignal.

### Neue Möglichkeiten durch Quanteneigenschaften

Neue spannende Möglichkeiten eröffnen die Quanteneigenschaften der Anregungen im System. Hierzu zählt der intrinsische Drehimpuls

(Spin) der elektronischen Anregungen (Exzitonen) im Halbleitermaterial, der die Polarisationszustände der Anregungen bestimmt. Im Wechselspiel mit den nichtlinearen Vielteilchenwechselwirkungen ergibt sich daraus die Möglichkeit, die räumliche Ausrichtung der optischen Muster über die Polarisation des einfallenden Lichtes zu kontrollieren (Abbildung 6) sowie gerichtete Spin-Ströme in den Mustern zu induzieren.

### Ausblick

Musterbildung und deren optische Kontrolle in Halbleitermikroresonatoren vereinen eine Reihe verschiedener Gebiete der Physik wie die nichtlineare Optik, die nichtlineare Dynamik sowie die Halbleiter- und Vielteilchenphysik. Nicht zuletzt hierdurch verspricht dieses Gebiet auch für die Zukunft spannende neue Erkenntnisse in der Grundlagenforschung. Im Hinblick auf optische Technologien werden Halbleitermaterialien mit großer optischer Bandlücke, wie Galliumnitrid und Zinkoxid sowie organische molekulare Systeme [6] in der Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Auch elektrisch gepumpte Mikroresonatoren eröffnen hierfür gänzlich neue Möglichkeiten [7]. Auch Quantenkorrelationen und das quantenoptische Verständnis der Musterkontrolle mit nur einigen wenigen Lichtteilchen (Photonen) erscheinen besonders spannend und vielversprechend für zukünftige grundlegende Untersuchungen und mögliche Anwendungen.

## Referenzen

[1] CROSS, MC. & HOHENBERG, PC. PATTERN FORMATION OUTSIDE OF EQUILIBRIUM. REVIEWS OF MODERN PHYSICS 65, 851–1112 (1993).

[2] DAWES, AMC., ILLING, L., CLARK, SM. & GAUTHIER, DJ. ALL-OPTICAL SWITCHING IN RUBIDIUM VAPOR. SCIENCE 308, 672–674 (2005).

[3] DAWES, AMC., GAUTHIER, DJ., SCHUMACHER, S., KWONG, NH., BINDER, R., SMIRL, AL. TRANSVERSE OPTICAL PATTERNS FOR ULTRA-LOW-LIGHT-LEVEL ALL-OPTICAL SWITCHING. LASER & PHOTONICS REVIEWS 4, 221–243 (2010).

[4] ARDIZZONE, V., LEWANDOWSKI, P., LUK, MH., TSE, YC., KWONG, NH., LÜCKE, A., ABBARCHI, M., BAUDIN, E., GALOPIN, E., BLOCH, J., LEMAITRE, A., LEUNG, PT., ROUSSIGNOL, P., BINDER, R., TIGNON, J., SCHUMACHER, S. FORMATION AND CONTROL OF TURING PATTERNS IN A COHERENT QUANTUM FLUID. SCIENTIFIC REPORTS 3, 3016 (2013).

[5] LUK, MH., TSE, YC., KWONG, NH., LEUNG, PT., LEWANDOWSKI, P., BINDER, R., SCHUMACHER, S. TRANSVERSE OPTICAL INSTABILITY PATTERNS IN SEMICONDUCTOR MICROCAVITIES: POLARITON SCATTERING AND LOW-INTENSITY ALL-OPTICAL SWITCHING. PHYSICAL REVIEW B 87, 205307 (2013).

[6] PLUMHOF, JD., STÖFERLE, T., MAI, L., SCHERF, U., MAHRT, RF. ROOM-TEMPERATURE BOSE-EINSTEIN CONDENSATION OF CAVITY EXCITON-POLARITONS IN A POLYMER. NATURE MATERIALS 13, 247 (2014).

[7] SCHNEIDER, C., RAHIMI-IMAN, A., YOUNG KIM, N., FISCHER, J., SAVENKO, GI., AMTHOR, M., LERMER, M., WOLF, A., WORSCHACH, L., KULAKOVSKII, VD., SHELYKH, IA., KAMP, M., REITZENSTEIN, S., FORCHEL, A., YAMAMOTO, Y., HÖFLING, S. AN ELECTRICALLY PUMPED POLARITON LASER. NATURE 497, 348 (2013).

## Danksagungen

Dank für die finanzielle Unterstützung geht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft (SCHU 1980/5–1 und GRK 1464) sowie an das PC<sup>2</sup> Paderborn Center for Parallel Computing für die zur Verfügung gestellte Rechenzeit. Besonderer Dank gilt ferner Prof. Jerome Tignon am École Normale Supérieure in Paris und Prof. Rolf Binder an der University of Arizona und ihren Gruppen für die erfolgreiche und langjährige Zusammenarbeit, sowie Dipl.-Phys. Przemyslaw Lewandowski für seinen Einsatz als Doktorand in diesem Projekt in der AG Schumacher.

### Kontakt

Jun.-Prof. Dr. Stefan Schumacher

Fakultät für Naturwissenschaften

Department Physik  
und Center for Optoelectronics & Photonics Paderborn  
(CeOPP)

05251 60-2334

stefan.schumacher@upb.de



# 100 Gigabit pro Sekunde und mehr für das drahtlose Hochgeschwindigkeits-Internet

*Neue Verfahren zur ultra-schnellen Datenübertragung für das Internet von morgen*

Von J. Christoph Scheytt  
und Abdul Rehman Javed



**Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt** studierte und promovierte an der Ruhruniversität Bochum im Fach Elektrotechnik. Nach einer Industrietätigkeit im Bereich Chipentwicklung und einer Forschungstätigkeit als Abteilungsleiter „Circuit Design“ am IHP Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik, erhielt er im Jahr 2012 den Ruf an die Universität Paderborn. Dort ist er seitdem Professor für Schaltungstechnik am Heinz-Nixdorf-Institut. Seine Forschungsgebiete liegen im Bereich des Entwurfs von schnellen integrierten Schaltungen für Kommunikation und Sensorik, sowie der Siliziumphotonik.

**Wir leben im Zeitalter des Hochgeschwindigkeits-Internets. Insbesondere tragbare Computer wie Smartphones, Tablets und Notebooks benötigen im täglichen Gebrauch einen immer schnelleren Zugang zum drahtlosen Internet. So erfordert die erheblich steigende Anzahl von Nutzern und Anwendungen die Entwicklung von immer neueren mobilen Endgeräten und Technologien sowie immer höhere Übertragungsraten und Übertragungsgüten (Quality-of-Services). Ein zunehmend hoher Bedarf an drahtlosen Hochgeschwindigkeitsnetzwerken lässt sich z. B. in der Unterhaltungselektronik und im Heimbereich feststellen, wie bei drahtlosen Ultra-High-Definition- und 3D-Fernsehbildschirmen, drahtlosen Verbindungen zu Peripheriegeräten, wie Videogeräten oder Festplatten, in der Datensynchronisation und der allgemeinen drahtlosen Datenübertragung innerhalb von Computer-Netzwerken und -Verbänden [1].**

## **Hochgeschwindigkeitsdatennetze**

Hochgeschwindigkeitsdatennetze basieren heutzutage wegen der hohen Bandbreite und der niedrigen Dämpfungsverluste vorwiegend auf optischer Kommunikation über Glasfaser. Die hohen Kosten zum Verlegen der Glasfaserkabel verhindern jedoch häufig, dass in ländlichen Gebieten, aber auch in städtischen Bereichen jedem ein schneller Internetzugang zur Verfügung steht. Drahtlose Hochgeschwindigkeitsnetzwerke bilden hier eine attraktive Alternative. Leider stehen Technologien zur drahtlosen Datenübertragung

mit einer Geschwindigkeit von 100 Gigabit pro Sekunde und mehr, so wie sie heute bereits in der Glasfaserkommunikation Realität sind, nicht zur Verfügung.

Traditionell hinkt die Entwicklung in der drahtlosen Datenübertragung der kabelgebundenen schon immer hinterher. So bietet WiFi (Wireless Fidelity) mittlerweile eine theoretische Geschwindigkeit von 6,7 Gigabit pro Sekunde (IEEE 802.11ac). Die 2013 eingeführte LTE-Technologie und WiMax (IEEE 802.16m) bieten z. B. theoretische Datenraten von 1,2 Gigabit pro Sekunde und WiGig Tri-Band Geschwindigkeiten bis zu 7 Gigabit pro Sekunde [2]. Aus der Literatur sind Systeme mit Übertragungsraten von 10 und sogar 40 Gigabit pro Sekunde über kurze Strecken bekannt. Im Gegensatz hierzu wurde 2012 im Glasfaserbereich bereits das 100 GbE (100 Gigabit Ethernet) eingeführt.

## **Energieeffizienz**

Eine wesentliche Anforderung an mobile Endgeräte ist der geringe Stromverbrauch, welcher vor allem die Akkulaufzeit verlängert und die Kosten reduziert. Im Schnitt erhöht sich zwar alle fünf Jahre die Kapazität von Batterien um ca. 20 Prozent [1] und die gesteigerte Integrationsdichte bei Schaltkreisen trägt überdies zur Energieersparnis bei. Dennoch würde nach heutigem Stand der Technik der hohe Energieverbrauch eines Mobilgerätes mit einer Datenrate von 100 Gigabit pro Sekunde nur wenige Minuten Akkulaufzeit ermöglichen. Hier bedarf es wesentlicher Innova-





Quelle: Fotolia.com (Julien Eichinger)

Smartphones, Tablets und Laptops kommunizieren über schnelle Funkverbindungen.

tionen und Impulse aus der Forschung, um solche Technologien in den Einsatz zu bringen.

Unser Ziel ist die Entwicklung von neuen Technologien für das drahtlose Hochgeschwindigkeits-Internet mit gleichzeitig erheblich reduziertem Energieverbrauch für längere Akkulaufzeiten. Hierzu verwenden wir höhere Bandbreiten im Hochfrequenzbereich und kombinieren diese mit gemischt analog-digitalen Ansätzen aus der Signalverarbeitung als Ersatz für weniger energieeffiziente rein digitale Signalverarbeitungsverfahren. Zum näheren Verständnis unseres Verfahrens gehen wir kurz auf einige Grundlagen der drahtlosen Datenübertragung ein, bevor wir weitere Details erläutern.

**Drahtlose Datenübertragung**

Daten werden elektronisch üblicherweise als digitale Information in Form von Nullen und Einsen (Bits und Bytes) verarbeitet. Zur drahtlosen Übertragung müssen diese digitalen Daten zunächst durch einen sogenannten Digital-Analog-Wandler in analoge Signale umgewandelt werden. Die eigentliche Übertragung der Daten basiert dann auf der analogen Modulation (Veränderung) eines sogenannter Träger- oder Nutzsignals, um Informationen über weite Entfernungen per Funk zu übertragen. Hierzu werden typischerweise der Phase und der Amplitude eines Trägersignals Information aufgeprägt und dann mittels einer Sendeantenne übertragen. Das Trägersignal ist ein Hochfrequenzsignal mit einer Frequenz von mehreren Mega- oder Gigahertz. Eine Empfangs-

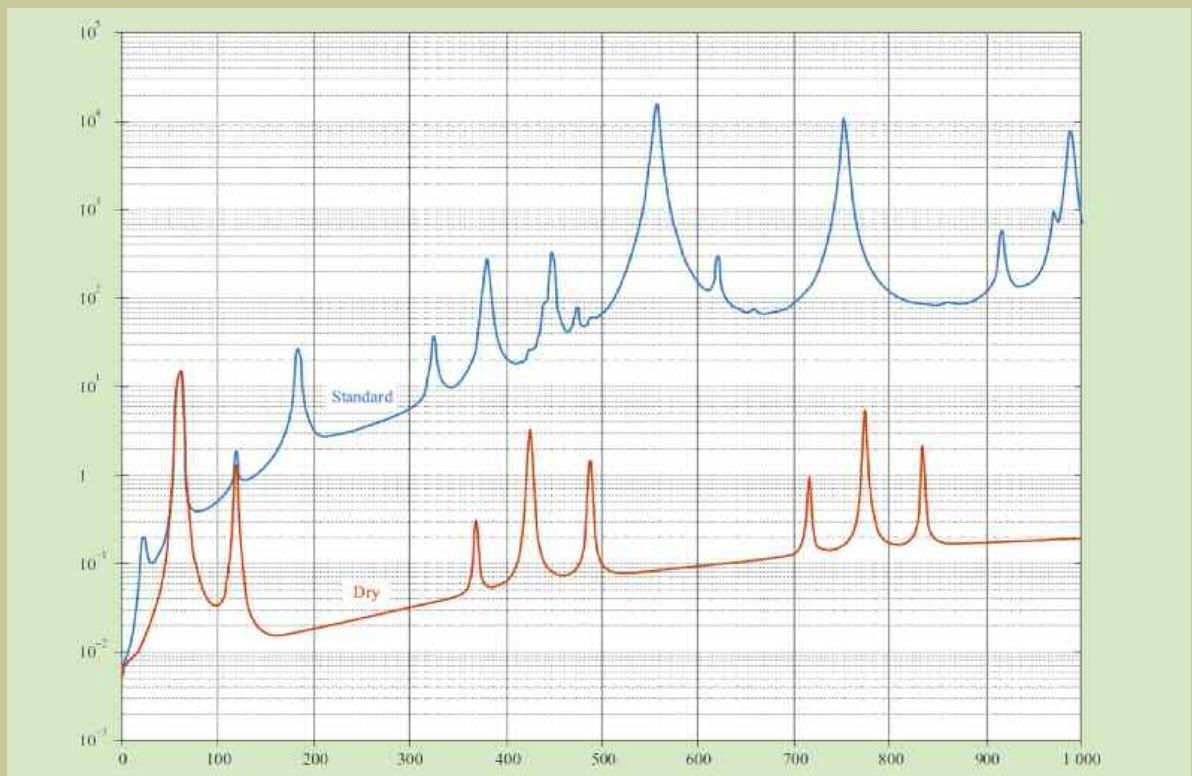
antenne empfängt dann dieses Signal inklusiver unerwünschter Störungen (Abbildung 2a). Beim Empfänger wird es zunächst durch eine Vorverarbeitung verstärkt, wobei auch die Störsignale durch Filterung reduziert werden.

Anschließend wird das verstärkte Signal durch einen Basisbandempfänger demoduliert, d. h. es werden die darin enthaltenen Informationen zurückgewonnen. Ein konventioneller Basisbandempfänger zur digitalen Kommunikation empfängt analoge Signale, wandelt sie in digitale Informationen mittels einem Analog-Digital-Wandler um und extrahiert hiernach die enthaltenen Informationen mittels Verfahren aus der digitalen Signalverarbeitung durch einen Digitalen-Signal-Prozessor (DSP). Betrachtet man die gesamte Verarbeitungskette für den Fall, dass 100 Gigabit pro Sekunde übertragen werden sollen, lässt sich feststellen, dass die beiden Wandler und der DSP die Bauteile mit dem weitaus höchsten Stromverbrauch im gesamten System sind.

**Frequenzbereiche**

Die Anzahl der Kommunikationskanäle ist limitiert. Sie sind damit kostbare Ressourcen, die effizient genutzt werden müssen. Momentan ist der niedrige Bereich des Hochfrequenzspektrums bis ca. 40 GHz durch sehr viele Anwendungen wie Fernsehfunk, Navigation, Bluetooth, Radar, WLAN usw. reserviert. Bei sehr hohen Frequenzen gibt es mehrere Frequenzbereiche bei 60 GHz, 120 GHz, 180 GHz und 325 GHz, bei der die Übertragung durch die Moleküle, die sich in der Atmosphäre

Abb. 1: Frequenzabhängige Dämpfung durch Moleküle in der Atmosphäre. [3]



Quelle: ITU-International Telecommunication Union

befinden, gedämpft wird, was eine deutliche Verringerung der Reichweite bewirkt [3] (Abbildung 1). In den Bereichen dazwischen stehen allerdings große zusammenhängende Frequenzspektren für weitere Verwendung zur Verfügung. Zwar werden die Frequenzbereiche bei 35 und 90 GHz bereits genutzt, es gibt aber eine große Bandbreite von 25–50 GHz in dem Bereich über 200 GHz zur freien Verwendung. Zur Hochgeschwindigkeitsübertragung muss diese effizient genutzt und aufgeteilt werden (Abbildung 1).

Wie bereits erwähnt besitzt der konventionelle Ansatz zur Basisbandsignalverarbeitung den Nachteil, dass komplexe Techniken zur Datenumwandlung und somit sehr schnelle DSPs mit einem sehr hohen Stromverbrauch benötigt werden, was das Verfahren ungeeignet für den Einsatz im Bereich energieeffizienter Chips macht. Hier bieten analog-basierte Basisband-Architekturen neue Ansätze für die energieeffiziente Signalverarbeitung. Unser Ansatz verwendet das PSSS-Verfahren, ein Verfahren, welches sich gleichermaßen für digitale, wie analoge Signalverarbeitung eignet (Abbildung 2b). Durch dieses Verfahren können DSPs und die üblichen hochauflösenden Analog-Digital-Wandler durch erheblich stromsparendere analoge Signalverarbeitungskomponenten ersetzt werden. Dies bedeutet zum einen den Wegfall von komplexen energieineffizienten DSP-Berechnungen und zum anderen die Durchführung der Analog-Digital-Wandlung in einem späteren Schritt mit wesentlich geringeren Anforderungen an Geschwindigkeit und Auflösung [4] (Abbildung 2a, Abbildung 2b).

## PSSS

### (Parallel Sequence Spread Spectrum)

Das PSSS-Verfahren ist ein sogenanntes Spreizband-Verfahren, welches sich speziell zur Umsetzung mit gemischt digital/analogen Schaltungen eignet. Es ist, entsprechend dem Namen, ein Verfahren, bei welchem ein Signal einer bestimmten Bandbreite im Frequenzbereich auf eine größere Bandbreite abgebildet (gespreizt) wird. Hierdurch wird das übertragene Signal ausfallsicherer gegen natürliche Interferenzen, frequenzspezifische Abschwächung und andere Störungen. Die Kernidee des Verfahrens ist, die einzelnen Bits vor der Übertragung mit eindeutigen, voneinander unabhängigen (orthogonalen) Schlüssel (Codes) zu kodieren (Abbildung 3). Hierbei werden die Schlüssel so gewählt, dass alle Bits als ein Datenpaket zur selben Zeit gesendet werden können und der Empfänger die Daten aus dem Paket mittels der dekodierenden Schlüssel auch parallel wiedergewinnen kann. Durch die zur Verfügung stehende hohe Bandbreite im Hochfrequenzbereich kann eine sehr hohe Parallelisierung mit gleichzeitig sehr hoher Übertragungsgeschwindigkeit erreicht werden, wodurch dann in der Summe sehr hohe Datenübertragungsraten ermöglicht werden [7]. Erste Forschungsergebnisse bestätigen, dass das Verfahren zu einem deutlich reduzierten Stromverbrauch auf Basis wesentlich geringerer Komplexität der Schaltungen führt, wenn man Kodierung und Dekodierung in analoger Schaltungstechnik durchführt [8]. Der Fokus der gegenwärtigen Arbeiten liegt auf der Realisierung eines gemischt analog/digitalen Basisbandpro-

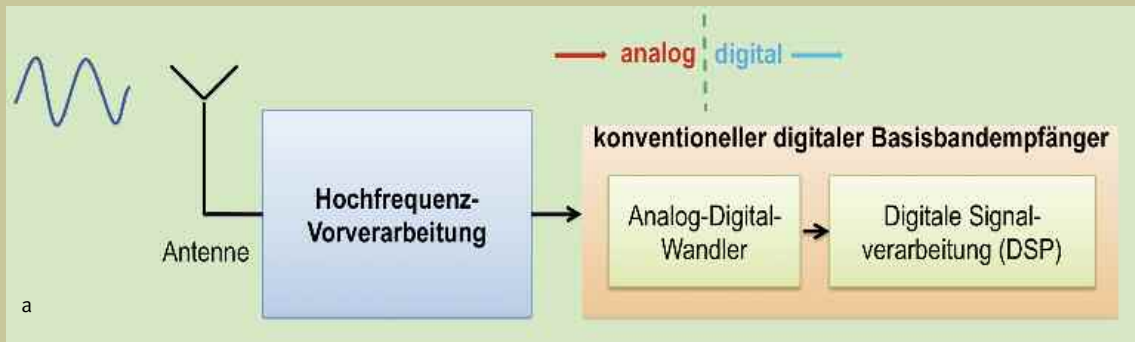


Abbildung 2a. Prinzip der drahtlosen Datenübertragung.

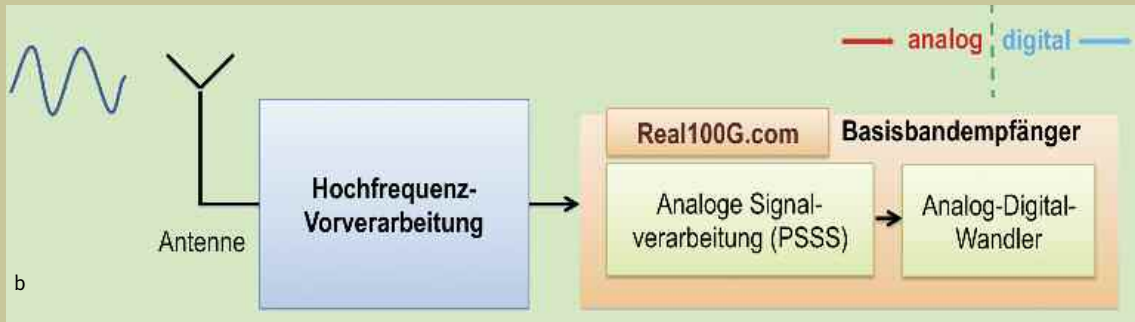


Abb. 2b: Real100G.com-Basisbandempfänger auf Basis des PSSS-Verfahrens.

Quelle: Eigene Bilder

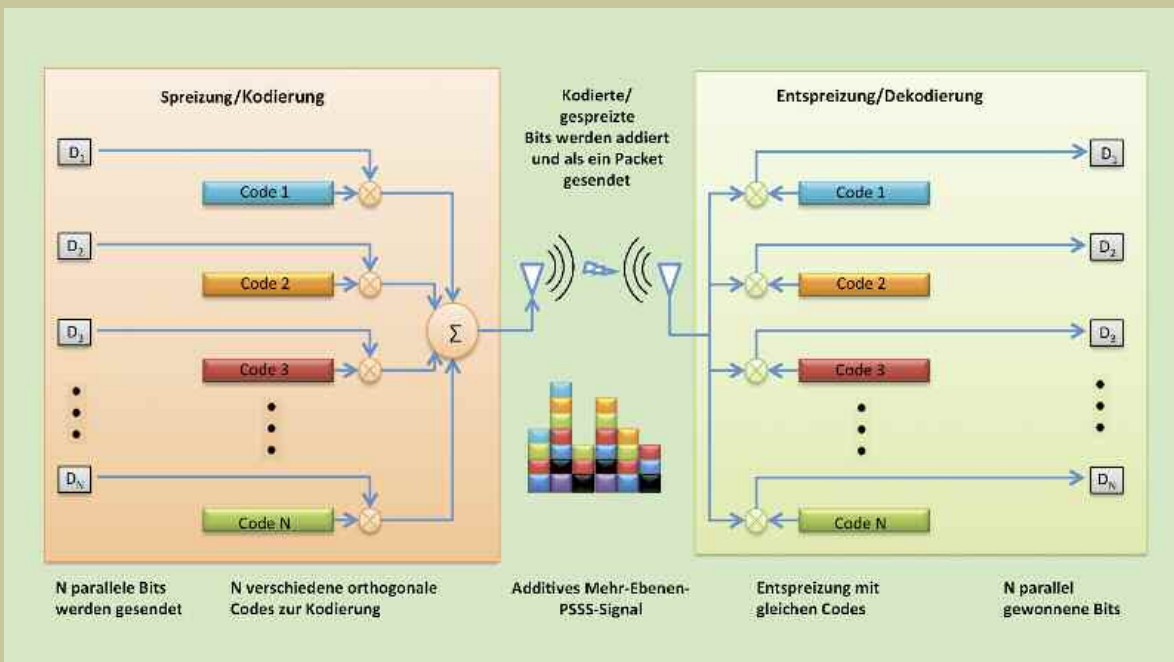


Abb. 3: Kodierung und Dekodierung paralleler Datenströme mit PSSS.

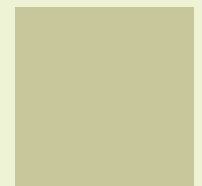
Quelle: Eigene Bilder

zessor-Chips mit einer Datenrate von 100 Gigabit pro Sekunde.

Das PSSS-Verfahren wird in der Arbeitsgruppe von Prof. Scheytt am Heinz-Nixdorf-Institut der Universität Paderborn im Rahmen von drahtlosen Hochgeschwindigkeitsnetzwerken weiterentwickelt und in die Anwendung gebracht. Die Schaltungen werden in Paderborn entworfen und am IHP-Institut in Frankfurt/Oder gefertigt. Zum Test der gefertigten integrierten Schaltkreise mit einer Größe von nur wenigen Millimetern wird der Chip ohne Gehäuse auf einer sogenannten Wafer-Teststation

befestigt, wobei der Kontakt vom Messgerät zum Chip hohe Anforderungen stellt, da er mittels extrem dünner Testspitzen und spezieller Hochfrequenz-Kabel hergestellt wird (Abbildung 4). So kann ein Test mit einer Betriebsfrequenz beim Sender und Empfänger von 250 GHz durchgeführt werden (Abbildung 4).

Die Kombination aus verschiedenen Technologien – wie Antennen, Verstärker und Filter – und diversen Verfahren – wie Fehlererkennung, -korrektur und Kompression – erfordert eine enge technische Kooperation mit anderen Forschungs- und





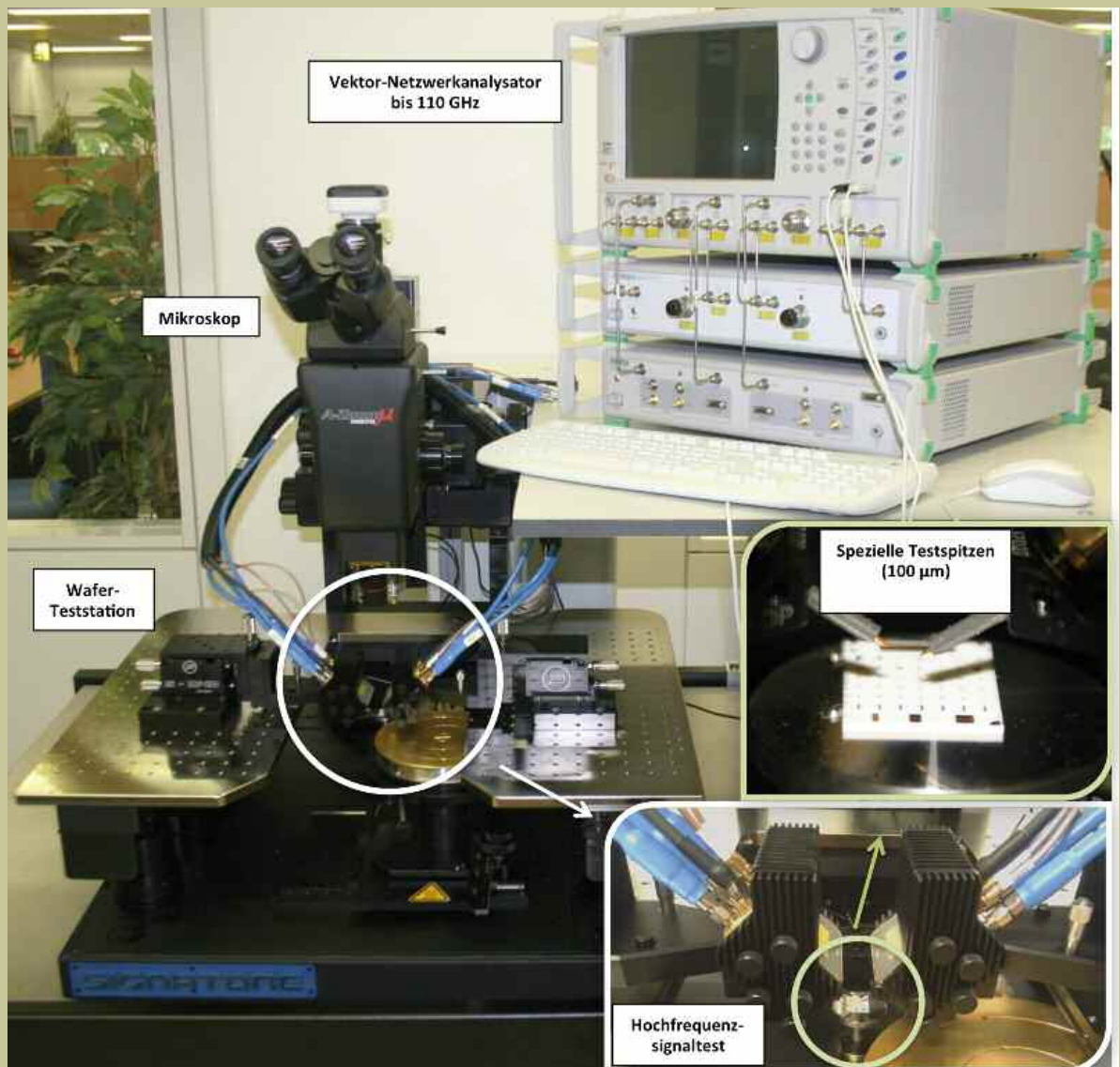


Abb. 4: Wafer-Teststation für Hochfrequenz-ICs mit Breitband Vektor-Netzanalysator am Heinz-Nixdorf-Institut.

Quelle: Eigene Bilder

Entwicklungspartnern [5][6].

Die Arbeiten werden unter dem Namen „Real100G.com“ durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft innerhalb des Schwerpunktprogramms „Drahtlose Ultrahochgeschwindigkeitskommunikation für den mobilen Internetzugriff“ (SPP 1655) gefördert. Das Projekt ist eine Kooperation des Heinz-Nixdorf-Instituts mit der Universität Stuttgart, der Technischen Universität Cottbus (BTU Cottbus) und der IHP GmbH (Innovations for High Performance Microelectronics/Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik).

#### Literatur

- [1] P. SMULDERS, „THE ROAD TO 100 GB/S WIRELESS AND BEYOND: BASIC ISSUES AND KEY DIRECTIONS“. IEEE COMMUNICATION MAGAZINE, PP. 86–91, DECEMBER 2013.
- [2] J. WELLS, „FASTER THAN FIBER: THE FUTURE OF MULTI-GB/S WIRELESS“. IEEE MICROWAVE MAGAZINE, PP. 104–112, MAY 2009.
- [3] ITU-R REC. P. 676-10, „ATTENUATION BY ATMOSPHERIC GASES“. SEPTEMBER 2013 [HTTPS://WWW.ITU.INT/DMS\\_PUBREC/ITU-R/REC/P/R-REC-P.676-10-201309-!!!PDF-E.PDF](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-10-201309-!!!PDF-E.PDF).
- [4] J.C. SCHEYTT, „WIRELESS 100GB/S USING A POWER AND HARDWARE-EFFICIENT APPROACH“. IN: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION (ICC 2013), BUDAPEST, JUNE 2013.



- [5] R. KRAEMER, „WIRELESS 100 GB/S AND BEYOND: A SPECIAL FOCUS PROGRAM OF THE GERMAN SCIENTIFIC FOUNDATION“. IN: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION (ICC 2013), BUDAPEST, HUNGARY, JUNE 2013.
- [6] J.C. SCHEYTT, R. KRAEMER, I. KALLFASS, „STRATEGIES FOR ENERGY EFFICIENT 100 GB/S BASEBAND PROCESSING USING MIXED ANALOG/DIGITAL SIGNAL PROCESSING“. IN: WORKSHOP W 19 (EuMC & EuMIC) EUROPEAN MICROWAVE WEEK, NUREMBERG, GERMANY, OCTOBER 2013.
- [7] H. SCHWETLICK, A. WOLF, „PSSS – PARALLEL SEQUENCE SPREAD SPECTRUM“. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONSUMER ELECTRONICS (IEEE 2004), READING, ENGLAND, SEPTEMBER 2014.
- [8] A. WOLF, R. KRAEMER, J.C. SCHEYTT, „ULTRA HIGH SPEED WIRELESS COMMUNICATION WITH LOW COMPLEXITY TRANSCEIVER“. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SIGNALS, SYSTEMS, AND ELECTRONICS (ISSSE 2012), POSTDAM, GERMANY, OCTOBER 2012.



**Abdul Rehman Javed** ist seit Dezember 2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Schaltungstechnik. Er beschäftigt sich mit dem Entwurf schneller integrierter Schaltungen für Hochgeschwindigkeitskommunikation. Diese Schaltungen werden in Zukunft extrem schnelle drahtlose Internet-Verbindungen für eine neue Generation von Geräten mit anspruchsvollen Anwendungen ermöglichen.

**Kontakt**

**Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt**

**Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik  
Heinz-Nixdorf-Institut, FG Schaltungstechnik**

**05251 60-6350**

**[cscheytt@hni.upb.de](mailto:cscheytt@hni.upb.de)**

**Kontakt**

**Abdul Rehman Javed**

**Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik  
Heinz-Nixdorf-Institut, FG Schaltungstechnik**

**05251 60-6353**

**[arjaved@hni.upb.de](mailto:arjaved@hni.upb.de)**

# Sensorgestütztes E-Commerce – die nächste Generation?

*Auf welche Technik des Bürgers sollte sich der Handel einstellen?*

Von Joachim Fischer und André Wickenhöfer



**Prof. Dr. rer. pol. Joachim Fischer** leitet den Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insbesondere betriebswirtschaftliche Informationssysteme an der Universität Paderborn und befasst sich in Lehre, Praxisprojekten und Forschung mit innerorganisatorischen (speziell SAP ERP) und intraorganisatorischen Informationssystemen (IOS). Neben der Nutzbarkeit von Verträgen und den dort enthaltenen Regeln und Daten wird verstärkt die Integration mobiler Endgeräte und deren Sensorik in IS untersucht.

**Smartphones werden zunehmend nicht nur von jungen Leuten verwendet. Nutzer können sich mit den darauf geladenen Apps komfortabel orientieren, kommunizieren und recherchieren. Die eingebauten Sensoren erfassen Daten, die auch von Dritten genutzt werden. Dies bietet auch dem stationären Händler die Möglichkeiten, die der Online-Handel heute schon hat: Analysieren der Kundendaten und Optimieren seiner Logistik-, Sortiments- und Preisdispositionen usw.**

„Handel heißt Wandel“ – dieses Sprichwort galt wohl niemals mehr als in den letzten Jahren. Ehemals große Handelsunternehmen haben die Entwicklung elektronischer Medien unterschätzt und werden durch wenige Online-Händler in ihrer Existenz bedroht. Bei diesen recherchiert der Konsument mit seinem Smartphone nach Produktbewertungen, Preisen sowie Alternativangeboten und verbessert unabhängig vom Kauf die Wettbe-

werbskraft von eBay, Amazon & Co, da diese die Recherchen auswerten (können).

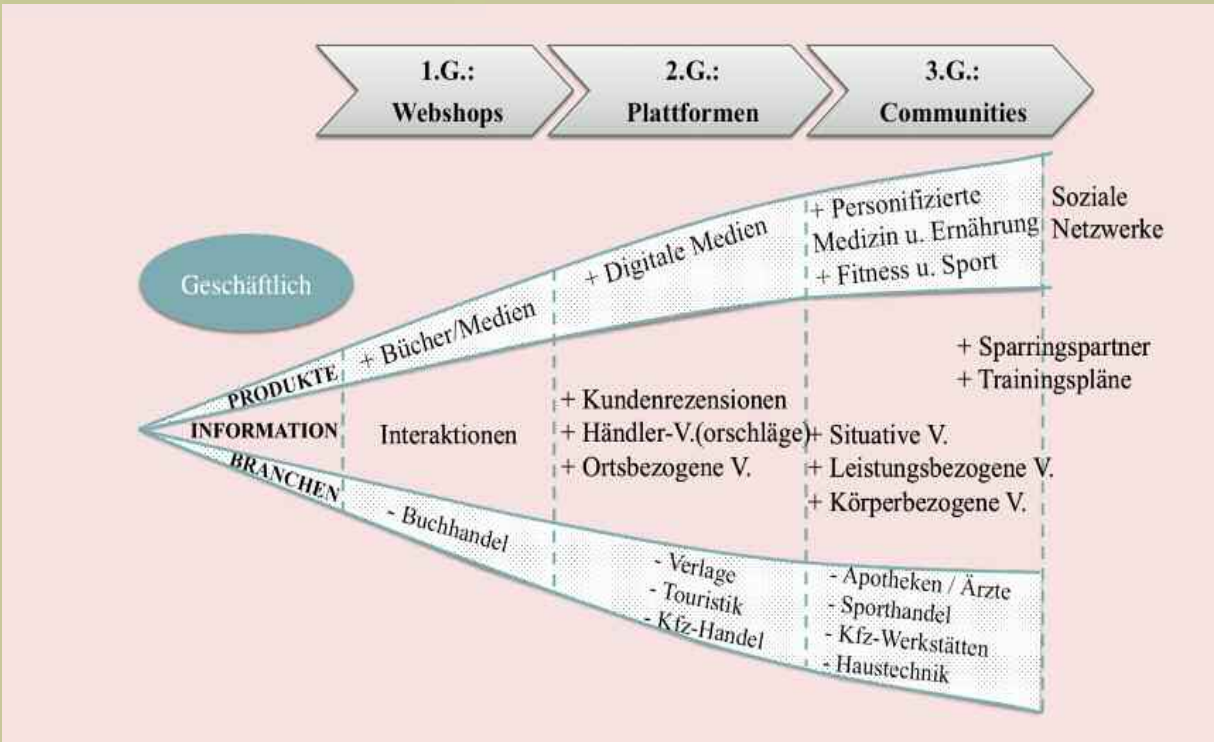
Die Entwicklung immer leistungsfähigerer, mobiler Endgeräte und deren rasche Verbreitung nicht nur bei jungen Leuten fördern den Online-Handel auch in Branchen wie Möbel oder Schuhe, die sich bisher aus Logistik-, Mode- oder Konfigurationsgründen gegen dessen Vordringen immun fühlten (vgl. Heinemann 2014, S. 3ff). Die Vorteile des Online-Handels resultieren nicht aus geringeren Personal- oder Raumkosten, sondern aus der Verfügbarkeit aussagefähiger Daten über das Kundenverhalten und den damit verbundenen Potenzialen besserer Logistik-, Sortiments- und Preisdispositionen. Diese Vorteile könnten sich mit weiteren elektronischen Sensoren in Endgeräten verstärken.

Unser Schwerpunkt begleitet seit Jahrzehnten in Forschungs- und in Lehrprojekten die Konsequenzen, die sich aus der Dynamik der Informations-

Technologien	Einsatzfelder	Kooperierende Branchen und Projekte
Electronic Data Interchange (EDI)	Geschäftsdatenübertragung zwischen Handwerker, Großhandel und Produzent (1989 bis 1999)	Sanitär & Haustechnik (gefördert u. a. MOVE), Schloss & Beschlag (gefördert)
Parallelrechner/Big Data	Abverkaufs- bzw. Bondatenanalyse (1996 bis 2006)	Lebensmitteleinzelhandel (Kooperation DIAMANT)
Smartphones und deren Sensorik	Kundenberatung (2008 bis heute)	Sporthandel Sanitär & Haustechnik (gefördert KnowHAU) Möbelindustrie

Quelle: Eigene Darstellung

Tab. 1: Forschungsfelder im Handel des Schwerpunktes Wirtschaftsinformatik 1 – Betriebswirtschaftliche Informationssysteme.



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 1: Geschäftliche Generationen des E-Commerce.

und Kommunikationstechnologien für den Handel ergeben (Tabelle 1), dabei werden seit Jahren die Einsatzpotenziale mobiler Endgeräte und von deren Sensoren studiert und wie diese mit betriebswirtschaftlichen Informationssystemen zu verbinden sind (Abbildung 6).

**Generationen des E-Commerce**

Die bisherige Entwicklung des E-Commerce soll in drei Generationen eingeteilt werden (Abbildung 1): In der ersten Generation bauten etablierte Händler neben ihren stationären Läden oder Hersteller im Streben nach Direktvertrieb Webshops auf und versuchten sich im Online-Handel. Nur wenige E-Commerce-Lösungen der 1. Generation waren geschäftlich erfolgreich, die restlichen werden als „me too“ weiter betrieben und sind davon abhängig, dass der Interessent sie per Suchmaschine (zurzeit vorwiegend über Google) findet (Abbildung 1).

Einige wenige Lösungen entwickelten sich mit erheblichen Investitionen und jahrelangen Anlaufverlusten in einer 2. Generation zu E-Commerce-Plattformen weiter, die wie eBay und Amazon ein eigenes Sortiment um Produkte weiterer Anbieter ergänzen, die dafür Provision etc. bezahlen (Abbildung 2).

Es wird von uns prognostiziert, dass sich in einer 3. Generation einige neue und alte Anbieter zu E-Commerce-Communities entwickeln werden, die nicht nur die Kaufprozesse begleiten (1. Generation) und systematisch Kundenrezensionen sammeln (2. Generation), sondern kontinuierlich die

Nutzung der Produkte ihrer Käufer verfolgen und dabei nicht spezifisch als Handelsunternehmen, sondern als „Begleiter im digital-realen Leben“ auftreten (vgl. Abbildung 2). Bisher haben speziell Verlage (u.a. Springer) sich für solche Communities engagiert, um ihre Fachzeitschriften in Nutzungsfeldern (z. B. Sportarten) zu ergänzen. Diese Generationen folgen dem rasanten technischen Fortschritt der Kommunikationsnetze, der Endgeräte und speziell der Sensorik (Abbildung 3).

**Relevanz elektronischer Sensoren für den Handel**

Elektronische Sensoren werden in großer Anzahl in moderne Mobiltelefone eingebaut und ergänzend in „Wearables“ wie Uhren (Apple Watch, Motorola Moto, Samsung Gear, LG G-Watch), Armbändern (Sony Smartband, Garmin Vivofit), Brillen (Google Glass, Recon Jet) oder Kopfhörer (LG Heart Rate Earphones) installiert.

Körpermerkmale erfassende Sensoren (z. B. Herzfrequenz/Pulsschlag, Temperatur, Atemfrequenz, Bewegungen, Sauerstoffgehalt des Blutes) sollen z. B. sportliche Leistungen der Träger exakt messen und lassen sich auch für medizinische Zwecke auswerten (Abbildung 4).

Bilderfassende Sensoren wie Foto- und Videokameras sind in mobilen Endgeräten mit wachsender Leistungsfähigkeit verfügbar und werden von innovativen Anbietern für die Stilberatung bei Brillen (Mister Spex), Bekleidung oder Make Up genutzt. Werden die Bildobjekte in ihrer Größe

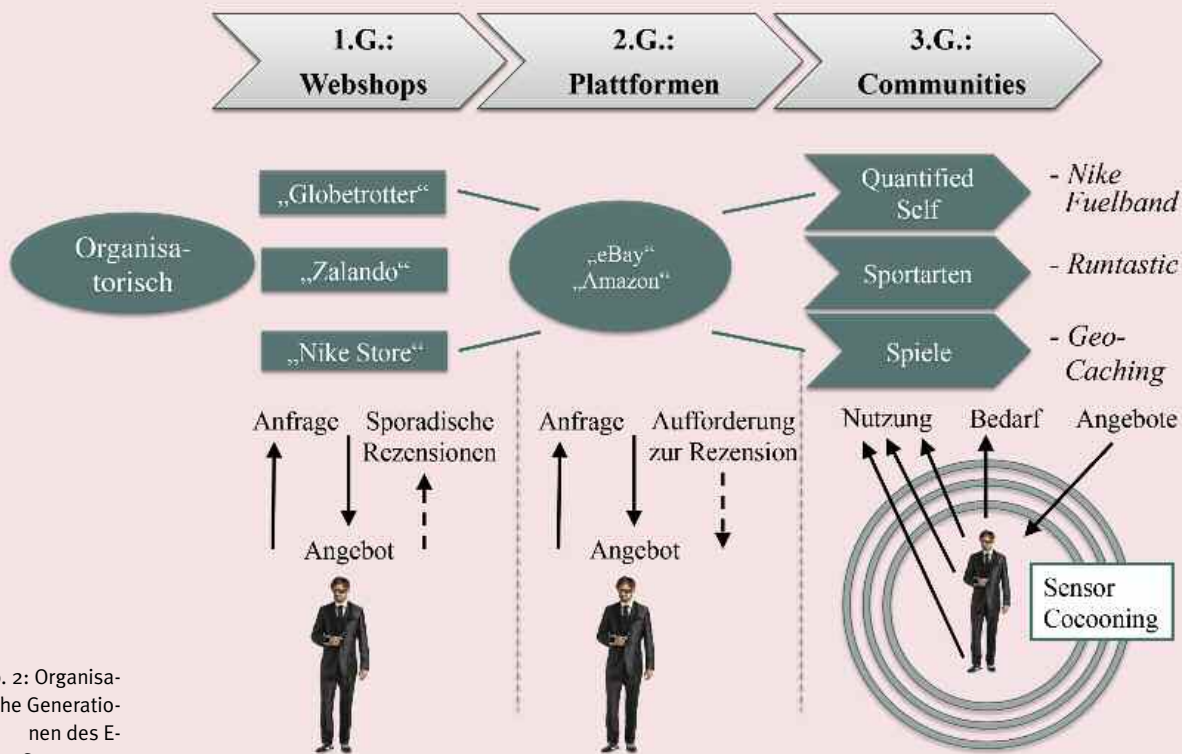


Abb. 2: Organisatorische Generationen des E-Commerce.

Quelle: Eigene Darstellung

normiert (indem Objekte bekannter Größe wie CD oder Kataloge mit fotografiert werden), lässt sich die Konfiguration (Pre-Sale, Abbildung 5) z. B. von Raumeinrichtungen (IKEA) oder Bekleidung (UP-load) wirkungsvoll unterstützen (Augmented Reality).

Personenidentifizierende Sensoren (z. B. über Fingerabdrücke) finden sich in neueren Smartphones, um den Bezahlprozess sicherer zu gestalten (Touch ID-Apple, FingerScanner-Samsung). Sie lassen sich im Verkaufsprozess (Sale, Abbildung 5) nutzen, um Präferenzen oder Verbrauchshisto-

rien Kunden zuzuordnen (z. B. bei Medikamenten).

Ortsbestimmende Sensoren auf der Basis der Satellitennavigation haben wesentlich zur Verbreitung von Smartphones beigetragen und lassen sich zur Ortsbestimmung und Navigation nutzen, z. B. um Nutzungsorte von Produkten festzustellen (Use, Abbildung 5). Allerdings versagen diese in Gebäuden. Neue Techniken (wie iBeacons von Apple) schaffen Abhilfe und können den Kunden zu ihn interessierenden Produkten in Einkaufszentren führen.

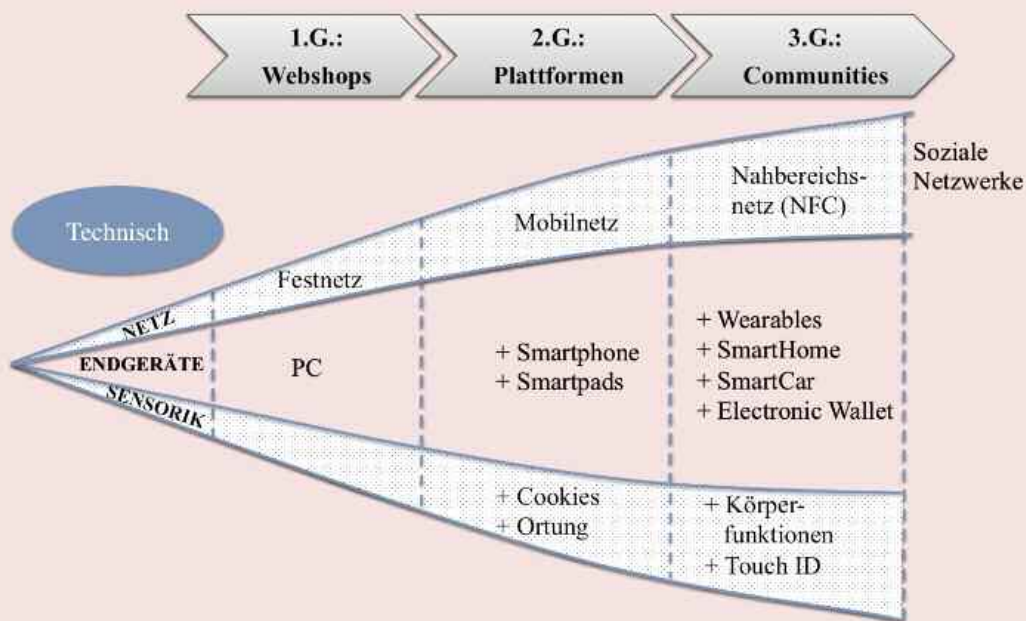


Abb. 3: Technische Generationen des E-Commerce.

Quelle: Eigene Darstellung





Quelle: Eigene Darstellung (mit Bildmaterial von Viessmann, SmartHome Paderborn e. V., Google, SAP, Telekom, Fitbit)

Abb. 4: Typen elektronischer Sensoren und digitale Lebenswelten.

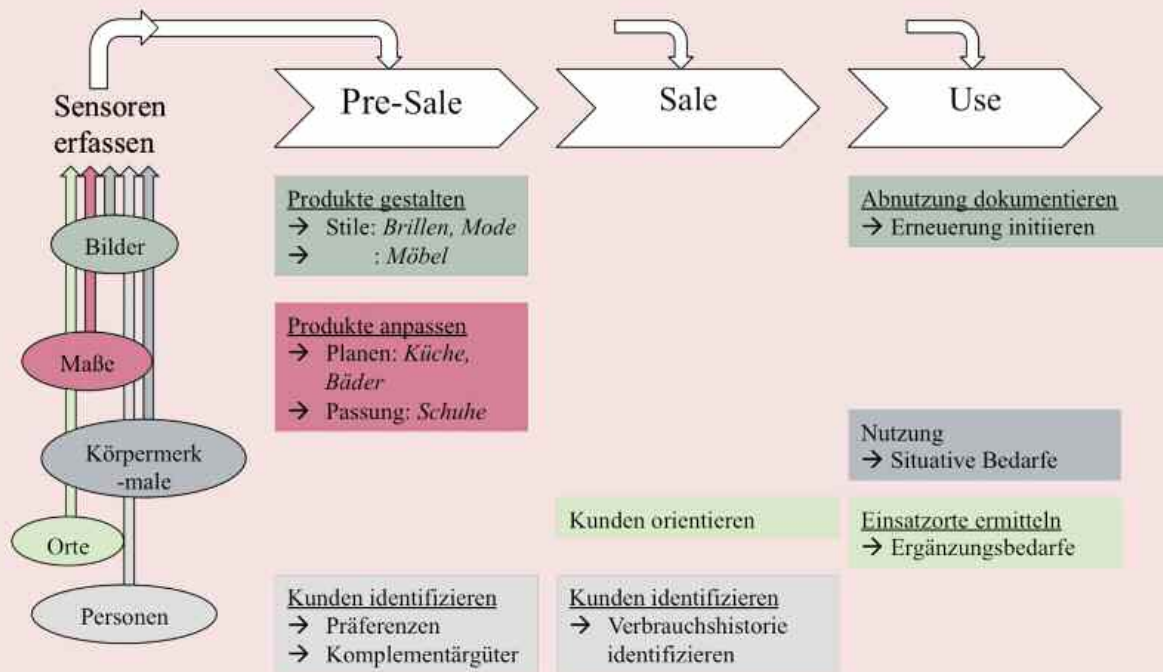
Auf der Basis der Sensordaten und der mobilen Kommunikation z. B. in sozialen Netzwerken (Facebook, WhatsApp, Twitter) gestalten nicht nur junge Leute ihren Alltag mit Smartphones. Verwendet werden Applikationen („Apps“), die Aktivitäten dokumentieren und ggf. auf weitere

Anwendungen, z. B. Kontaktdaten, zurückgreifen. Zum Beispiel werden Apps zur Dokumentation und Kommunikation sportlicher Leistungen wie Laufen, Radfahren, Paddeln (Runtastic, Runkeeper) angeboten. Diese erfassen zum Beispiel: Wann ist der Nutzer (Name, Bilder) wie lange wie

Techniken	Erläuterung	Nutzbarkeit im Handel
Augmented Reality (AR)	AR erlaubt dem Benutzer einen Blick auf die reale Umwelt, überlagert von bzw. verbunden mit virtuellen Objekten.	Ein virtueller Spiegel erlaubt es dem Kunden, Kleidungsstücke anzuprobieren, ohne dass er diese zur Hand haben muss.
Bluetooth	Funktechnik im Nahbereich.	Übertragung von Daten im Laden.
iBeacon	Bluetoothsender, der eine Kennung (Beacon = Leuchtfeuer) im Nahbereich (ca. 30 m) sendet und daher die Navigation per Smartphone im Gebäude unterstützen kann.	Ein mobiles Endgerät des Kunden kann an einem definierten Ort, z. B. an einem beworbenen Produkt, zusätzliche Informationen oder Angebote anzeigen.
Wearables	Am Körper tragbare Geräte (z. B. als Armband, Uhr, Brille), welche mit Sensoren Daten erfassen und diese an das Smartphone weiterleiten können.	Können Aktivitäten und Körperdaten der tragenden Person erfassen. Damit können individuelle Produktvorschläge erstellt werden.
E-Book-Reader	Geräteklasse, die das Kaufen, Übertragen, Speichern und Lesen digitaler Bücher o. ä. ermöglicht.	Können auch Daten über das Leseverhalten erfassen, übertragen und daher auch der Konsumentenberatung dienen.
Smartphone	Mobiltelefone mit Computerfunktionen.	Stellen Programme (Apps) für diverse Aufgaben, z. B. Einkaufszettel, die Navigation oder die Beratung bereit.
Enterprise-Resource-Planning (ERP)-Systeme	Informationssysteme zur Planung, Disposition und Abrechnung geschäftlicher Prozesse in Unternehmen.	Planen von Sortimenten, Disponieren von Warenbeständen, Abrechnen von Ein- und Verkäufen.

Tab. 2: Glossar erwähnter Techniken.

Quelle: Eigene Darstellung



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 5: Sensortypen und ihre Nutzbarkeit im Kundenkontakt.

weit gelaufen? Wie war sein Herz-/Pulsschlag, wie sein Gewicht und das seiner Mitläufer (Name, Bilder)? Wo ist er gelaufen (Längen-/Breiten-/Höhenkoordinaten in Intervallen)? Welche Ausrüstung hat er genutzt? Wem sollen diese Daten über Facebook, Twitter o. ä. mitgeteilt werden? Diese Daten sind auch für Dritte abonnierbar (developer.runkeeper.com).

Es entstehen Nutzercommunities, in denen die Mitglieder untereinander und mit dem App-Anbieter als Zentrum persönlich oder über ihre Sensordaten kommunizieren. Das Zentrum kann diese Daten als Marktforscher auswerten, an interessierte Produkthanbieter verkaufen oder in dem Nutzungsfeld selbst als solcher auftreten.

Es ist abzusehen, dass diese Communities auch Sensoren aus anderen Lebensbereichen, z. B. dem PKW („Smart Car“) oder der Haustechnik („Smart Home“) nutzen werden. IT-Anbieter wie Google (Nest) oder Apple (HomeKit) arbeiten mit Hochdruck daran.

**IS – Entwicklung für sensorgestütztes E-Commerce**

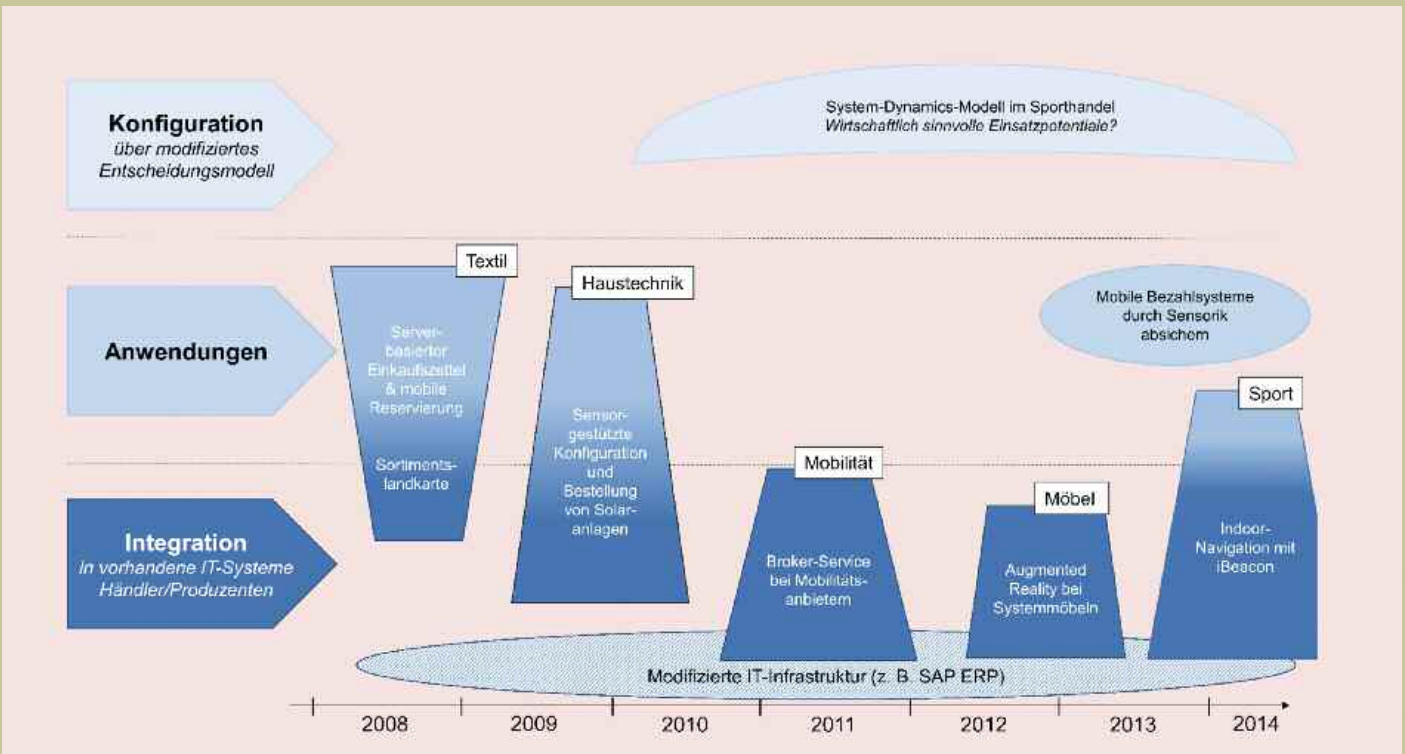
Die Nutzung der Sensordaten im E-Commerce erfordert nicht nur den technischen Zugriff auf die Apps auf den Smartphones der Nutzer, sondern Vorarbeiten in der Datenmodellierung. Dabei verbinden sich reale und digitale Welt zu einer „direalen Welt“, in der sich beide nicht mehr voneinander trennen lassen (Maaß 2014). Beispielhafte Fragen sind:

1. Wie sind die „direalen Lebenswelten“ der Nutzer zu beschreiben, in denen diese z. B. sportliche Leistungen erbringen? Wodurch werden diese beeinflusst? Welche Sensoren können Daten dazu liefern (z. B. Geografie-, Klima-, Körperdaten)? Welche Daten der Lebenswelten sind durch den Nutzer einzugeben (Ausrüstung, Lebensalter, Geschlecht)?

2. Wie sind die Daten zu messen und nutzerübergreifend zu kategorisieren („direale Leistungswelten“)? Ab welcher Steigung in welcher Höhe bei welcher Temperatur bei welchem Lebensalter handelt es sich um eine sportliche Höchstleistung? Ab wann ist der Nutzer aus gesundheitlichen Gründen zu warnen? Mit wem werden diese Daten wann kommuniziert?

Die Smartphone-Betriebssysteme (Apple iOS, Google Android) streben danach „direale Lebens- und Leistungswelten“ zu definieren und zu normieren (z. B. Apple Passbook, HealthKit, HomeKit). Dadurch wird zwar die Integration von Sensoren und Apps erleichtert, allerdings die Nutzung innovativer Sensorik und die Erschließung neuer Welten erschwert.

3. Welche Zusammenhänge bestehen zwischen „direalen Lebens- sowie Leistungswelten“ und den benötigten Produkten, u. a. Ausrüstung, Ernährung, Trainingshilfen („Produktwelten“)? Dazu können z. B. Nutzerforen oder soziale Netzwerke zu Sportarten sowie Fachzeitschriften ausgewertet werden. Da „Produktwelten“ oft durch „Moden“ und technischen Fortschritt



Quelle: Eigene Darstellung

Abb 6: Aktuelle Forschungsarbeiten des Schwerpunktes im Kontext dieses Beitrages.

geprägt sind, hilft der Zugriff auf historische Erfahrungsdaten nur bedingt. Die bisherigen „Stammdaten“ von ERP-Systemen sind so zu dynamisieren, dass ein E-Commerce System aus den organisatorischen (Forenbeiträge, Rezensionen) und geschäftlichen Reaktionen (Bestellungen, Retouren, Reklamationen) der Community rasch lernen und eine verlässliche, nach „Lebens- und Leistungswelten“ abgestufte „Produktwelt“ konfigurieren und aktualisieren kann.

E-Commerce-Systeme der 3. Generation sind somit charakterisiert

- technisch durch die Anbindung der sich kontinuierlich weiterentwickelnden Sensoren und Endgeräte der Interessenten,
- fachlich durch die Interpretation der übermittelten Informationen aus den „direalen Lebens- und Leistungswelten“ der Nutzer,
- organisatorisch durch deren Kommunikationsdomänen und dem dort verwendeten „Jargon“
- und geschäftlich durch möglichst nutzenstiftende Verknüpfungen „direaler Lebens- und Leistungswelten“ mit den „Produktwelten“ .

Da der „direale Welten-Dreiklang“ in spezifizierten Bereichen zurzeit semantisch besser durch Fachpersonal bewältigt werden kann, ist eine Renaissance des Fachhandels in der 3. Generation des E-Commerce nicht ausgeschlossen. Somit ergibt das Engagement von Fachzeitschriften und deren Verlagen Sinn.

Unser Schwerpunkt befasst sich seit der Markteinführung des iPhones (Apple) in 2007 verstärkt mit der Integration von mobilen Endgeräten und deren Sensorik in betriebliche Informationssysteme, hier speziell SAP ERP und BW. In einer Vielzahl studentischer Projekte wurden mobile Applikationen entwickelt und an SAP angebunden, in einem vom Land NRW und der EU geförderten Projekt KnowHAU Applikationen für Installateure und den Sanitär- und Haustechnikhandel entwickelt. Zur Zeit arbeiten wir daran, den stationären Handel und dessen Systeme für die Anbindung von Smartphones zu ertüchtigen. In Dissertationen wird die wirtschaftliche Evaluation der Nutzung der sich dynamisch weiter entwickelnden Technologien in Handelsunternehmen auf der Basis von Simulationsstudien studiert ( Abbildung 6).

**Denkbare Auswirkungen für den Handel**

Während die großen Online-Händler von Hause aus IT-Expertise und -Ressourcen aufweisen und diese (z. B. Amazon) auch extern vermarkten, ist IT-Know-how bei stationären Händlern meist eher spärlich und traditionell auf die Logistik und Warenwirtschaftsprozesse ausgerichtet.

Durch intelligente Nutzung von Sensorik könnte der Online-Handel weitere wirtschaftliche Vorteile erringen. Dies muss nicht mit der bisherigen Konzentration einhergehen („the winner takes it all“), sondern Communities können für unterschiedlichen Lebensbereiche und -stile z. B. entsprechend der „Fachzeitschriftenvielfalt in

Kiosken“ entstehen – einige Verlage sehen darin neue Geschäftsmodelle. Dabei bieten diese zum einen Marktforschungsdaten aus den Communities an, zum anderen Produkte für deren Klientel. Damit kann auch der stationäre Handel grundsätzlich Sensorikdaten aus den Communities nutzen, allerdings fehlt ihm der „direkte Draht“ zu deren Mitgliedern und dieser ist nur durch eigene „Apps“ herzustellen, wenn diese einen markanten Zusatznutzen bieten, z. B. die Navigation zu „Erlebniswelten“, in denen „Community-Mitglieder“ unmittelbar die für sie optimierte Ausstattung erproben können und fachkundige Tipps gegeben werden; z. B. arbeitet der Outdoor-ausrüster Globetrotter an solchen Konzepten.

### Zusammenfassung

Die Verbreitung elektronischer Sensoren in mobilen Endgeräten, im PKW und im Heim des Normalbürgers eröffnet diesem nützliche Anwendungsfelder u. a. in Sport, Medizin und auch im Handel. Mit diesen Anwendungen sind für den Bürger u. a. Chancen der verbesserten Beratung beim Kauf und bei der Nutzung von Produkten, aber selbstverständlich auch Risiken des Datenschutzes und der Selbstbestimmung verbunden. Sensordaten über das persönliche Leben und die individuelle Nutzung von Produkten unterliegen vollständig dem Recht auf informationelle Selbstbestimmung. Nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichtes ist dies ein Datenschutz-Grundrecht. Es ist dringend erforderlich zu drängen, dieses Grundrecht in unserer Verfassung zu verankern, um diese auf die Risiken und Potenziale der Informationsgesellschaft (die am Beispiel der Entwicklung des Handels verdeutlicht wurden) auszurichten! Während sich beispielsweise die Wirtschaftsinformatik umfassend mit den Chancen und Risiken von Informationssystemen in und für Unternehmen befasst, fehlt eine entsprechende Disziplin, die sich mit der Digitalisierung der Konsumentenwelt auseinandersetzt (Oesterle 2014). Die Diskussion der „direalen Welten“ des Bürgers in seinem „Digital Life“ als Konsument, Patient oder Chauffeur beginnt gerade erst (wohl auch in der Folge der NSA-Abhöraktivitäten).

### Literatur

FASSE S.; EDER S.W.: 2014 IST DAS JAHR DER WEARABLE TECHNOLOGIES. [HTTP://WWW.VDI-NACHRICHTEN.COM/TECHNIK-WIRTSCHAFT/2014-JAHR-WEARABLE-TECHNOLOGIES](http://www.vdi-nachrichten.com/TECHNIK-WIRTSCHAFT/2014-JAHR-WEARABLE-TECHNOLOGIES), ABRUF AM 03.09.2014.

HEINEMANN, G.: DER NEUE ONLINE-HANDEL – GESCHÄFTSMODELL UND KANALEXZELLELENZ IM E-COMMERCE. 5. AUFL., SPRINGER GABLER, WIESBADEN 2014.

HESS, TH.; LEGNER, CH.: DIGITAL LIFE ALS THEMA DER WIRTSCHAFTSINFORMATIK, IN: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 56 (2014) 4, S. 269–276.

MAASS, W.: DIREALE WELTEN – INTRINSISCHE EINBETTING DIGITALER DIENSTE IN REALWELTLICHE ALLTAGSUMGEBUNGEN, IN: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 56 (2014) 4, S. 272.

OESTERLE, H.: BUSINESS OR LIFE ENGINEERING, IN: HMD 51 (2014) 6, S. 744–761.



**Dipl.-Wirt.-Inf. André Wickenhöfer** ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insbesondere betriebswirtschaftliche Informationssysteme an der Universität Paderborn und arbeitet auf dem Gebiet der digitalen Verbraucherberatung (Digital Life Support), z. B. an der IT-gestützten Vertragsprogrammplanung in Bedarfsfeldern privater Haushalte.

### Kontakt

**Prof. Dr. Joachim Fischer**

**Fakultät für Wirtschaftswissenschaften**

**Wirtschaftsinformatik 1: Betriebswirtschaftliche Informationssysteme**

**05251 60-3257**

**[joachim.fischer@wiwi.upb.de](mailto:joachim.fischer@wiwi.upb.de)**





Scrolling



Compensated compass



Gaming



Wireless pedometer



Image stabilization



Frefall detection



Health monitoring



Context awareness



Alarms



Activity monitoring



Vibration monitoring



Temperature



Navigation



Weather forecast



Augmented Reality

# Noten jenseits des Papiers

*Zur Entwicklung von Werkzeugen für die Digital Humanities im Bereich der Musikedition*

Von Joachim Veit



**Prof. Dr. Joachim Veit** ist Editionsleiter der Carl-Maria-von-Weber-Gesamtausgabe am Musikwissenschaftlichen Seminar Detmold/Paderborn und betreut dort seit 2006 eine Reihe von digitalen Vorhaben, darunter das DFG-Projekt Edirom, das BMBF-Projekt „Freischütz Digital“ und seit Anfang 2014 gemeinsam mit Prof. Dr. Bernhard R. Appel vom Beethoven-Haus Bonn das Akademieprojekt „Beethovens Werkstatt“.

**Mit dickleibigen wissenschaftlich-kritischen Gesamtausgaben der Werke Bachs, Haydns, Mozarts, Beethovens und vieler anderer Komponisten hat sich die deutsche Musikwissenschaft weltweit ein hohes Renommee erarbeitet – und das kontinuierlich über einen langen Zeitraum hinweg, beginnend mit der Pioniertat der zwischen 1851 und 1899 in Leipzig erschienenen alten Bach-Gesamtausgabe. Seit der Jahrtausendwende holt nun die digitale Revolution auch diese, meist kostbar ausgestatteten papiernen „Denkmäler“ ein: Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Musikwissenschaftlichen Seminar Detmold/Paderborn haben in den vergangenen Jahren wesentlich dazu beigetragen, solche Noteneditionen auf völlig neue Füße zu stellen.**

Dabei begann die Entwicklung, die man als ein „sempre crescendo“ beschreiben könnte, eigentlich mit dem simplen, in einer Lehrveranstaltung zum Thema Musikedition geäußerten Wunsch eines Studenten, die neuen Medien heranzuziehen, um der wenig nutzerfreundlichen Vermittlung von Erkenntnissen in den herkömmlichen papiernen Editionen etwas Anschaulicheres entgegenzusetzen. Dort sind in der Regel Notentext und kritische Anmerkungen auf unterschiedliche Abschnitte eines Bandes verteilt und die Erläuterungen thematisieren oft musikalische Sachverhalte in schwer nachvollziehbaren verbalen Umschreibungen. In seiner Examensarbeit legte dieser Student namens Ralf Schnieders denn gleich auch den Beweis vor, dass eine didaktisch geschicktere und

zugleich für den Nutzer gewinnbringendere Präsentation durch ein unmittelbares Verknüpfen von musikalischen Quellen und Texten auf dem Bildschirm möglich wird und sich damit die bislang meist nur beschriebenen Varianten zwischen verschiedenen Musikhandschriften oder -drucken leichter (auch in der musikalischen Praxis) wieder nutzen lassen.

Was so im Jahr 2002 mit dem Wunsch nach größerer Bequemlichkeit für den Nutzer solcher Ausgaben begann, entwickelte bald eine Art Eigendynamik, die an die Grundsätze musikwissenschaftlichen Edierens rührte und die Notwendigkeit verdeutlichte, in mehreren Bereichen neuartige Lösungen zu finden. Dem Umstand, dass in den Folgejahren mehrere Forschungsprojekte bewilligt wurden, die sich puzzle-artig gegenseitig ergänzten bzw. die Bälle zuspielten, ist letztlich zu verdanken, dass sich Detmold/Paderborn in kurzer Zeit zu einer Art Mekka für die an digitaler Musikedition Interessierten entwickeln konnte.

## **Transparenz durch Faksimiles: Das Edirom-Projekt**

In einem kleinen, einjährigen DFG-Projekt konnte Schnieders in Kooperation mit dem Detmold/Paderborner Akademieprojekt der Carl-Maria-von-Weber-Gesamtausgabe eine erste digitale „Probe-Edition“ von Webers Klarinettenquintett vorlegen, die dem 2005 erschienenen Gesamtausgabenband beigelegt wurde. Sie erbrachte den sinnfälligen Beweis, dass das – damals technisch noch viel zu aufwändige – Verfahren, durch integrierte





Abb. 1: Collage zur Demonstration der berücksichtigten unterschiedlichen Aspekte des BMBF-Projekts Freischütz-Digital.

Quelle: B. Bohl, Projekt FreiDi

Faksimile-Ausschnitte aller diskutierten Stellen eine Transparenz editorischer Entscheidungen zu ermöglichen, einen qualitativen Sprung gegenüber herkömmlichen Editionen (in denen der Leser seinem Editor meist blind vertrauen muss) darstellt. 2006 startete dann ein umfassenderes DFG-Projekt zur „Entwicklung von Werkzeugen für digitale Formen wissenschaftlich-kritischer Musikeditionen“ mit Dr. Johannes Kepper, Dipl. Wirt-Inf. Daniel Röwenstrunk und Peter Stadler M.A. (später abgelöst durch Benjamin W. Bohl M.A.), mit dem ein umfassenderes Werkzeugset durch Beteiligung weiterer Editionsprojekte oder Einzelforscher erstellt werden sollte. Das Echo war erfreulich: So konnten nun über die Weber-Ausgabe hinausgehend auch Probleme der Schumann- und Haydn-Ausgabe berücksichtigt werden. Für die in Prag geplante neue Dvorak-Ausgabe wurde eine Probe-Edition erstellt, später kamen die Max-Reger-Werkausgabe (Karlsruhe) und das Projekt „OPERA – Stationen des Europäischen Musiktheaters in Einzelausgaben“ (früher Bayreuth, heute Frankfurt) hinzu, die beide als Hybridausgaben durchgängig die inzwischen unter dem Namen „Edirom“ bekanntgewordenen Software-Werkzeuge nutzen. In der Endphase des Projekts konnten nicht mehr alle Kooperationsanfragen berücksichtigt werden, lediglich eine Edition von Bachs h-Moll-Messe wurde nachträglich noch umgesetzt. Sehr rasch stellte sich bei allen Beteiligten die Erkenntnis ein, dass die neuen Techniken zu veränderten Fragestellungen beitragen: Die durchgängige Integration von Faksimiles der Auto-

graphen und Abschriften etwa führte dazu, dass sich das Interesse der Editoren weg von der Endgestalt ihres zu edierenden Textes hin zu einer Auseinandersetzung mit grundlegenden Phänomenen der Handschriften bzw. der Schriftlichkeit generell verlagerte. Damit erweckten viele, in traditionellen Editionen vernachlässigte Varianten



Abb. 2: Carl Maria von Weber, Klarinettenkonzert Nr. 1 f-Moll, erste Seite des Erstdrucks der Klarinettenstimme mit eingblendetem Layer zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen Druck und Autograph.

Quelle: Edirom

The screenshot shows the website for 'FREISCHÜTZ DIGITAL'. At the top, there is a navigation menu with 'Startseite', 'Arbeitskalender', 'Standorte', 'Mitarbeiter', 'Veranstaltungen', 'Publikationen & Vorträge', and 'Versionen der Edition'. Below the menu, the main heading reads 'Abschluss der Audio-Produktion am ETI der HfM Detmold' with a sub-heading 'Bericht: April 2014'. A small illustration of a man in historical costume is on the right. The main content area features three musical score examples, each with a German text box above it explaining a specific interpretive choice. The first example notes the use of a violinist's autograph. The second example discusses adopting the articulation of a singer. The third example mentions the use of half-note beams. Each score shows staves for 'Violine' and 'Arcochen' with German lyrics underneath.

Abb. 3: Ausschnitt aus der Website des Projekts Freischütz Digital mit der Möglichkeit, Unterschiede in der Interpretation der Quellen akustisch zu verdeutlichen.

Quelle: Projekt FreiDi

neues Interesse – allerdings konnte auf diese Varianten nur durch das Bild (d. h. das Faksimile bzw. ggf. eine zusätzliche Beschreibung) hingewiesen werden, ohne dass sie sich wirklich „nutzen“ (d. h. „verarbeiten“) ließen – denn hierzu hätte jede einzelne Variante z. B. in einen prozessierbaren „Notensatz“ überführt werden müssen. Hier wurden die Grenzen des faksimile-basierten Projekts deutlich, die Anlass zu neuen, weiter unten beschriebenen Initiativen gaben.

Die Edirom-Werkzeuge waren anfangs aus proprietärer Software gestrickt und speziell an die Bedürfnisse der ersten Demo-Version angepasst worden. Mit dem 2006 beginnenden neuen DFG-Projekt und der Einstellung eines eigenen Informatikers (D. Röwenstrunk) wurde sowohl die technologische Basis auf eine offene Java-Umgebung umgestellt als auch eine strukturelle und inhaltliche Öffnung für andere Projekte vorgenommen. Aufgrund der durch die zahllosen Abbildungen großen Datenmengen und bei Verlagen üblichen Distributionsformen lag zunächst die Verwendung fester Datenträger (CD, dann DVD)

nahe, erst in der Endphase des Projekts wurde auf eine webbasierte Anwendung („Edirom Online“) umgestellt, die eine Verwirklichung des Open-Access-Gedankens zulässt. Einer der großen Vorteile der Software – auch für die tägliche Vergleichsarbeit des Editors – ist die taktweise Synopse der einzelnen Quellen (wie in Abbildung 4 am Beispiel einer Arie des „Freischütz“ sichtbar). Sie erlaubt es auch, Einzelstimmen zu einer künstlichen Partitur zusammenzusetzen – eine Lesehilfe, die sich Editoren früher durch umständliches Zusammenschreiben der Stimmen erzeugen mussten. Zu allen Erläuterungen lassen sich jeweils gezielt die korrespondierenden Takte der Quellen aufrufen, weitere Hilfsmittel sind einblendbare Taktzahlen, zuschaltbare Layer, mit denen Nachträge oder Zusätze in den Manuskripten hervorgehoben werden (Abbildung 2), Sortier-, Such- und Auswahlfunktionen. Die (gelegentlich unfreiwillig „gemischten“) Papierstapel auf dem Schreibtisch des Editors gehören damit der Vergangenheit an.





Quelle: Projekt FreID

Abb. 4: Werkzeug zum Kollationieren der Quellen innerhalb des Projekts Freischütz-Digital mit der Abbildung eines Ausschnitts der Arie Nr. 8 im Autograph Webers (links) und in fünf autorisierten Abschriften.

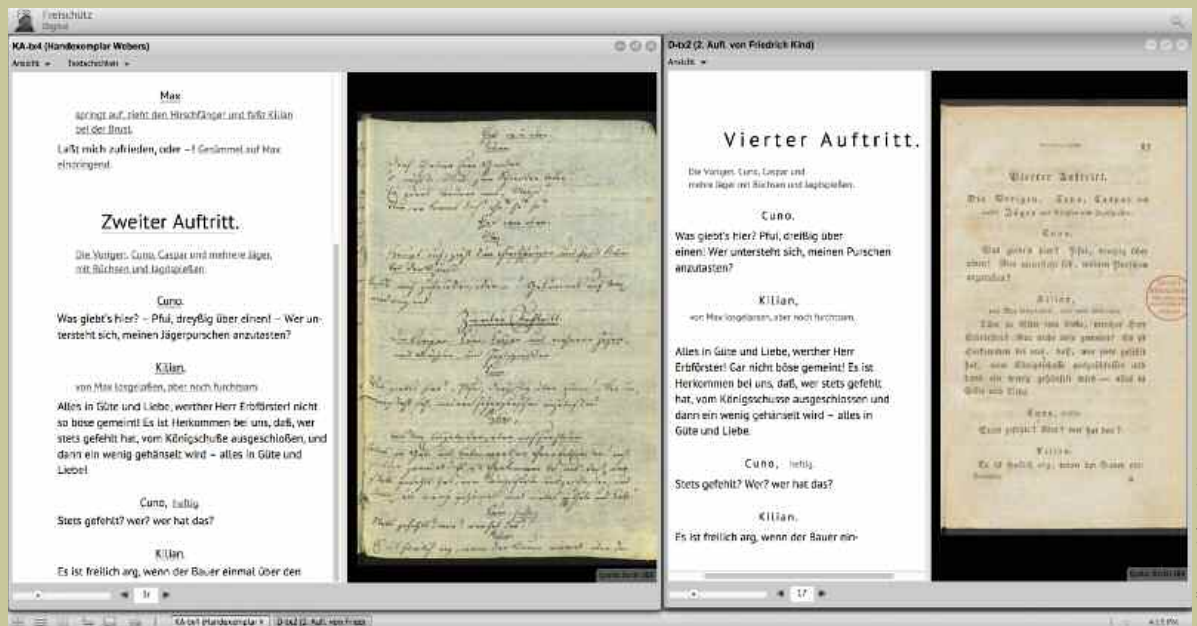
**Vom Bild zur Codierung:  
Daten-Standards als Basis**

Probleme mit der anfangs genutzten proprietären Software hatten dazu geführt, dass gleich zu Beginn des größeren DFG-Projekts nach der Umstellung auf eine plattformunabhängige Programmiersprache auch die verwendeten Datenformate überdacht wurden. Dabei stützte sich das Projekt auf die speziell für die Geisteswissenschaften konzipierte XML-Variante der internationalen Text Encoding Initiative (TEI) und sammelte erste Erfahrungen mit dieser menschen- und maschinenlesbaren Codierungsform. Gleichzeitig entstanden Kontakte zu einer vergleichbaren Initiative im Bereich der Musikcodierung, die Perry Roland an der University of Virginia unter dem Namen Music Encoding Initiative (MEI) gestartet hatte (Abbildung 7). Unklar blieb zunächst, ob das Format MEI oder das seit längerem von der Firma Recordare als Austauschformat zwischen Notationsprogrammen propagierte MusicXML für die Zwecke des Projekts geeigneter seien. Erst die Codierung der bisher nur als Bilder genutzten Vorlagen würde es erlauben, rechnergestützte Operationen mit den musikalischen Daten durchzuführen und damit ein neues Potenzial für Editionen zu erschließen. Während der Paderborner Tagung „Digitale Edition zwischen Experiment und Standardisierung“ im September 2007 konnten Perry Roland und Michael Good (der Entwickler von MusicXML) ihre Lösungsvorschläge für eine Reihe von musikeditorischen Problemen vorstellen – damit fiel eine Vorentscheidung zugunsten von MEI.

Die Mitgestaltung der Entwicklung beider Formate

(TEI und zu einem wesentlicheren Teil MEI) bestimmte in den kommenden Jahren die Arbeit in den digitalen Projekten des Musikwissenschaftlichen Seminars. Im Textbereich wurde eine „Special Interest Group Correspondence“ im Rahmen der TEI gegründet, die von Peter Stadler und Joachim Veit geleitet wird und sich vornehmlich der für Werkausgaben so wichtigen Gattung der Briefe widmete. Die Weber-Gesamtausgabe, die schon mit der ersten digitalen Musikedition hervorgetreten war, startete nun eine konsequent auf TEI-Codierungen beruhende Website ([www.weber-gesamtausgabe.de](http://www.weber-gesamtausgabe.de)), die Briefe, Schriften, Aufführungsbesprechungen, Werkrezensionen und Personeninformationen vereinte und inzwischen zu einem umfangreichen digitalen Korpus angewachsen ist (Abbildung 6). Durch die gleichzeitige erstmalige Publikation von Richtlinien für digitale Texteditionen und eine an die Struktur von sozialen Netzwerken angelehnte flexible Präsentationsform fand diese Website weite Beachtung und wurde mehrfach als Vorbild vergleichbarer Projekte benannt. Anfang 2014 ist Stadler zum Mitglied des TEI Technical Council gewählt worden und immer häufiger als Berater neuer Editionsprojekte unterwegs.

Für die Weiterentwicklung des MEI-Formats wurde die 2009 eingereichte Dissertation von Johannes Kepper wichtig, da sie eine ausführliche Analyse von Musikcodierungsformaten enthielt und die Vorteile von MEI für wissenschaftliche Zwecke bestätigte. Im gleichen Jahr wurde im Rahmen des DFG/NEH-Workshop-Programms die Durchführung je eines Arbeitstreffens an der University of Virginia in Charlottesville und am Musikwissen-



Quelle: Projekt FreID

Abb. 5: Gegenüberstellung des Beginns von Auftritt 2 des Freischütz-Librettos im Handexemplar Webers (links, mit Übertragung) und der 2. Auflage des Libretto-Drucks (dort Auftritt 4) in Edirom Online.

schaftlichen Seminar Detmold/Paderborn bewilligt. Damit öffnete sich für MEI der Weg zu einem internationalen Gemeinschaftsprojekt und bereits im Jahr darauf wurde im selben Programm eine dreijährige Zusammenarbeit zwischen Charlottesville und Detmold/Paderborn mit dem Ziel der Verwirklichung eines „Digital Music Notation Data Model und Prototype Delivery System“ aufgenommen. Maja Hartwig M. A. und Kristina Richts M. A. bewältigten in Detmold (unter Leitung von Roland und Kepper) ein umfangreiches Programm, zu dem neben der Dokumentation des je aktuellen Release und der Erstellung einer Beispielsammlung auch ein umfangreiches Schulungs- und Vortragsprogramm gehörte. Zum Abschluss dieser Phase fand 2013 an der Mainzer Akademie der Wissenschaften und der Literatur eine erste „Music Encoding Conference“ statt, 2014 eine weitere in Charlottesville. Die von einem internationalen Spezialistenteam geförderte Entwicklung des Formats machte so rasche Fortschritte, dass es jüngst von der Library of Congress auf die Liste der empfohlenen Formatspezifikationen aufgenommen wurde.

Auf das Format und die Detmold/Paderborner Aktivitäten war auch das deutschlandweite TextGrid-Konsortium aufmerksam geworden. Mitte 2009 begann daher eine Beteiligung an der zweiten Phase von TextGrid, bei der die Entwicklung eines „Score Editors“ für das MEI-Format im Mittelpunkt stand. Der Informatiker M.Sc. Julian Dabbert entwickelte dieses Hilfsinstrument für die übersichtlichere Erfassung und zugleich die rudimentäre Darstellung von Varianten als eines der Tools für das TextGrid-Laboratory – seit 2011 wird diese Entwicklung im BMBF-Projekt „Digital

Research Infrastructure for the Arts and Humanities“ (DARIAH) von Kristin Herold M.A. und Nikolaos Beer M.A. weitergeführt und gegenwärtig ein neues webbasiertes Werkzeug für den vereinfachten Umgang mit musikalischen Varianten erarbeitet. Zusammen mit TextGrid wurde auch ein studentisches Projekt durchgeführt, bei dem die Werkzeuge des TextGrid-Lab zur Erstellung einer dann mit Edirom Online veröffentlichten Edition von Liedern des mit Brahms befreundeten Detmolder Geigers Carl Louis Bargheer herangezogen wurden ([www.edirom.de/llb-bargheer](http://www.edirom.de/llb-bargheer)).

### Die komplexe Rekonstruktion von Texten und Klängen

Die Aufgaben, denen sich das stetig wachsende Team stellte, wurden zunehmend vielfältiger. Auf Initiative der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wurde 2010 erstmals eine „Edirom Summer-school“ durchgeführt, die sich mit einem umfangreichen Programm rund um die neuen Text- und Musikstandards inzwischen fest im Fortbildungsprogramm der Digital Humanities etabliert hat ([ess.uni-paderborn.de](http://ess.uni-paderborn.de)). Bohl, Kepper und Röwenstrunk entwickelten in der Endphase des Edirom-Projekts die Idee, einmal paradigmatisch an einer Komposition die gegenwärtigen Möglichkeiten digitaler Editionen aufzuzeigen – die Wahl fiel auf Webers „Freischütz“, da dieses zentrale Werk der europäischen Operngeschichte gleichzeitig in einer „traditionellen“ Edition im Rahmen der Weber-Gesamtausgabe vorgelegt werden soll und damit keine eigene Quellensuche notwendig war. Geplant war, erstmals ein derart umfangreiches Werk im Codierungsformat MEI vorzulegen, die einschlägigen Texte der Weber-Website anzubin-

The screenshot shows the website for the Carl-Maria-von-Weber-Gesamtausgabe. At the top, there is a navigation bar with the site's name and a logo, and links for 'Suche', 'Home', 'Impressum', and 'Hilfe'. The main content area is divided into several sections:

- Biography:** A portrait of Carl Maria von Weber is shown next to his name. Below it, his full name 'Weber, Carl Maria Friedrich Ernst von' is listed, along with pseudonyms (Melos, Knaster, Simon, Niemand), birth and death dates, and his professions (Komponist, Pianist, Kapellmeister, Musikschriftsteller). Locations of work (Breslau, Prag, Dresden) are also mentioned.
- Biographische Kurzübersicht:** A list of key events in his life, such as his education, travels, and various positions held.
- Kontakte:** A grid of small portraits of other figures associated with the project.
- Ikongraphie:** A grid of small images representing various aspects of Weber's life and work.
- Werke und Dokumente:** A list of available resources like correspondence, manuscripts, and works.

At the bottom right of the screenshot, the text 'Quelle: WeGA' is visible.

Abb. 6: Einstieg in die Angaben zur Person Webers auf der Website der Carl-Maria-von-Weber-Gesamtausgabe.

den, die komplizierte Textbuchgenese in einer TEI-Edition zu erfassen (Abbildung 5), und zusätzlich auch die akustische Seite mit einzubeziehen. Für die beiden letztgenannten Aspekte wurden mit Prof. Dr. Thomas Betzwieser (Frankfurt) und Prof. Dr. Meinard Müller (Audio-Labs Studios an der Universität Erlangen) kompetente Partner gefunden. Als externer Berater sollte Raffaele Vigiante (Maryland Institute for Technology in the Humanities) seine Erfahrungen mit der Verbindung von MEI und TEI einbringen.

Nach der Genehmigung einer dreijährigen Arbeitsphase durch das BMBF wurde die exemplarische Umsetzung dieses „multidimensionalen Editionsmodells“ im Sommer 2012 in Angriff genommen. Zu den ersten Aufgaben gehörte eine Neueinspielung von drei Nummern des Werkes in Kooperation mit der Detmolder Hochschule für Musik und deren Tonmeisterinstitut, um durch eine ausgefeilte Aufnahmetechnik anschließend die vom Erlanger Projektpartner geplanten Versuche zur Entwicklung von Algorithmen für automatisierbare horizontale und vertikale Klangtrennungsvorfahren durchführen zu können. Dies bedeutet ein Experimentieren mit (halb-)automatischen Seg-

mentierungen des zeitlichen Verlaufs von Musik, aber auch den Versuch, gleichzeitig Erklingendes soweit in Einzelstimmen aufzulösen, dass z. B. künftig das verdeutlichende Hervorheben einer Violine in einer historischen Aufnahme und damit ein einfacherer Interpretationsvergleich möglich wird (Abbildung 3). Hier handelt es sich um Grundlagenforschungen, deren Ergebnisse bislang nicht absehbar sind. Das Freischütz-Projekt, in dem in Detmold inzwischen auch Anna Komprecht M.A. arbeitet, soll bis Mitte 2015 abgeschlossen sein; ein erstes Release über die Website des Projekts ([www.freischuetz-digital.de](http://www.freischuetz-digital.de)) steht unmittelbar bevor.

Im Frühjahr 2014 startete außerdem ein seit mehreren Jahren geplantes, erneut von der Mainzer Akademie der Wissenschaften und der Literatur gefördertes Projekt mit dem Titel „Beethovens Werkstatt: Genetische Textkritik und Digitale Edition“ mit je zweieinhalb Wissenschaftlerstellen am Beethoven-Haus in Bonn und am Musikwissenschaftlichen Seminar Detmold/Paderborn. Das auf 16 Jahre veranschlagte Vorhaben wird sich in fünf Modulen mit dem Kompliziertesten beschäftigen, was die Musikgeschichte des 19. Jahrhunderts



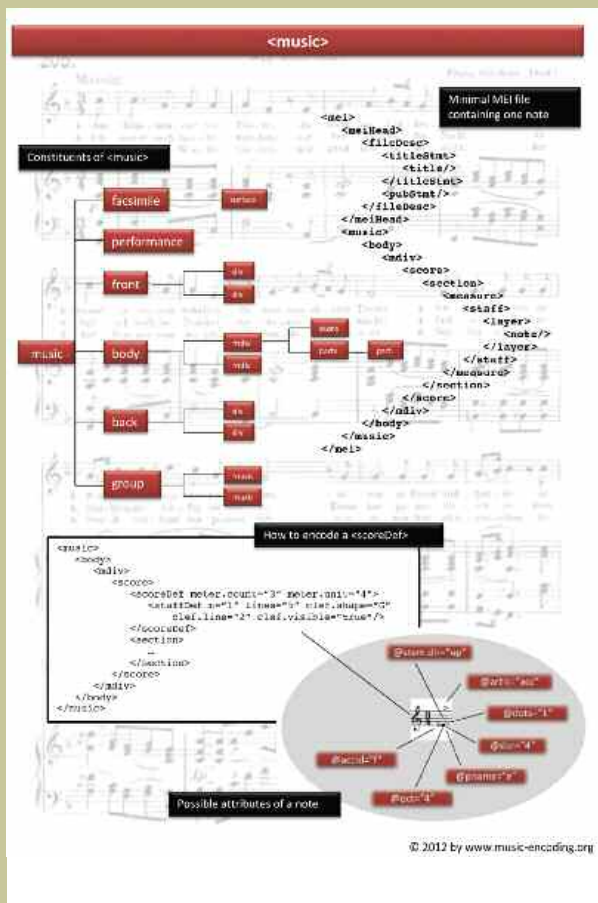
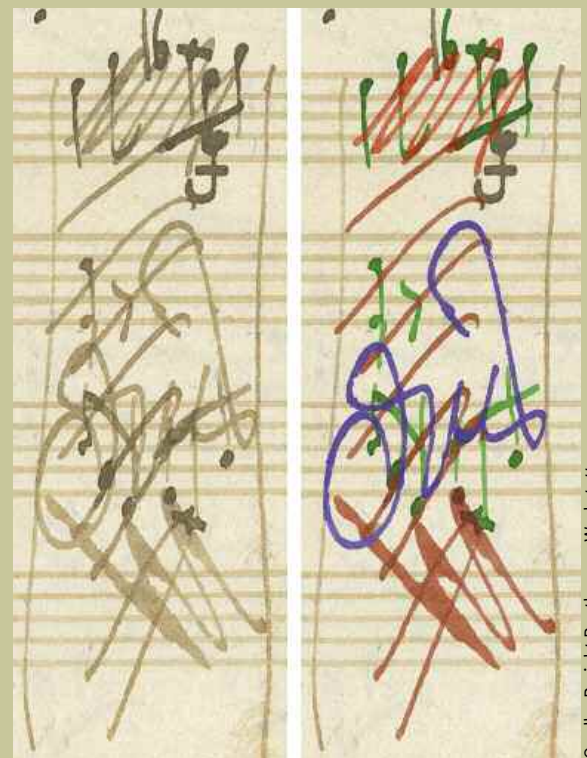


Abb. 7: Music Encoding Initiative (MEI), Schaubild zur Verdeutlichung der Grundstruktur des <music>-Elements einer MEI-Datei (oben) sowie der wichtigsten Attribute einer Note (unten).



Quelle: music-encoding.org

Quelle: Projekt Beethovens Werkstatt

Abb. 8: Ludwig van Beethoven, Ausschnitt aus dem Streichquartett op. 59, Nr. 3; links originaler Text, rechts zur Verdeutlichung der Schreibprozesse vorgenommene farbliche Hervorhebungen verschiedener Streichungen (rot), des eigentlichen Notentextes (grün) sowie der verbalen Anweisung „aus“ (blau).

wohl zu bieten hat: Dem Weg von den ersten, auf Papier festgehaltenen Einfällen Beethovens bis hin zur – bei ihm seltenen – „fertigen“ Werkgestalt. Dabei sollen die häufig nur sehr mühsam entzifferbaren Textbewegungen in den überlieferten Handschriften oder Skizzen mit Hilfe der digitalen Techniken und entsprechender Codierungen sichtbar gemacht werden – was letztlich nur mit im weitesten Sinne filmischen Mitteln gelingen dürfte (vgl. etwa die Gegenüberstellung des Faksimiles und einer verdeutlichenden farblichen Bearbeitung des Handschriftenbefunds in Abbildung 8). An das Codierungsformat MEI stellen diese Prozesse in den Handschriften Beethovens enorme Anforderungen, denn hier müssen in hohem Maße Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten formalisiert erfasst werden, da es darum geht, die Offenheit der Entwicklung einer Komposition in ihren unterschiedlichen Entstehungsstadien abzubilden und das Werk nicht von seiner Endgestalt (die nur noch eine der zwischenzeitlich vielfältigen Optionen repräsentiert) her zu beurteilen. So ist zu erwarten, dass das Projekt wichtige Beiträge sowohl zur Erweiterung des MEI-Formats als auch zur Methodik genetischer Musikedition leisten wird. (Weitere Informationen auf der Projekt-Website: [www.beethovens-werkstatt.de](http://www.beethovens-werkstatt.de)) Aber nicht nur für die wissenschaftliche Aufarbei-

tung des Notentextes selbst stellt MEI eine ideale Lösung dar, auch die Erfassung bibliothekarischer oder anderer „Metadaten“ ist mit diesem Format in einer bislang bei Musikalien kaum so systematisch strukturierbaren Weise möglich. Ein weiteres, im Herbst 2014 begonnenes DFG-Projekt soll am Beispiel der in der Lippischen Landesbibliothek Detmold überlieferten Hoftheater-Bestände aus der Zeit von 1825 bis 1875 sowie der dort und im Landesarchiv NRW, Abteilung Ostwestfalen-Lippe, erhaltenen umfangreichen Archivalien ein Modell kontextueller Tiefenerschließung von Musikalien auf der Basis von MEI und TEI entwickeln und damit einen weiteren wichtigen Aspekt der digitalen Arbeit an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Bibliothek und Archiv veranschaulichen. Dabei werden nicht nur Informationen etwa zu Streichungen oder Umarbeitungen der Musikalien mit erfasst, die in der gewöhnlichen Katalogisierung keine Rolle spielen, sondern die ungewöhnlich zahlreichen Kontextmaterialien (z. B. Archivalien zu Beschaffungen, Kopierturen, Aufführungen, Requisiten, bis hin zu Einnahme- und Ausgabejournalen oder Abonnentenlisten) mit ausgewertet, um ein umfassendes Bild dieser lippischen Kulturinstitution zu vermitteln und ein auf andere Bestände übertragbares Erschließungsmodell zu entwickeln.





Quelle: Muwi Detmold/Paderborn

Abb. 9: Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der digitalen Projekte des Musikwissenschaftlichen Seminars Detmold/Paderborn (v. l. : Kristina Richts, Maja Hartwig, Peter Stadler, Daniel Rösenstrunk, Kristin Herold, Joachim Veit, Anna Komprecht).

Gleichzeitig werden die bisherigen Detmolder Initiativen im Bereich der Digitalen Edition gebündelt durch den Aufbau eines seit September 2014 vom BMBF geförderten Zentrums „Musik – Edition – Medien. Musik und nicht-textuelle Objekte im Kontext digitaler Editionen“, das die Forschungsaktivitäten nun in einem interdisziplinären Digital-Humanities-Verbund von Musik- und Medienwissenschaftlern sowie Informatikern der Universität Paderborn, der Hochschule Ostwestfalen-Lippe und der Hochschule für Musik in Detmold zusammenführt. Doch damit ist ein neuer Abschnitt der Entwicklung an unserer Universität in diesem Bereich eingeleitet, durch den Forschung, Beratung, Dienstleistung und der Ausbau des Angebots in Lehre und Fortbildung in diesem Bereich intensiviert und – u. a. durch die Einrichtung einer Akademieprofessur – verstetigt werden sollen. Die Gegenstände digitaler Editionen werden sich damit über die Musik hinaus auf andere Bereiche „nicht-textueller Medien“, also z. B. auf Video, Film oder Objekte des materiellen Kulturerbes ausweiten, zugleich werden aber auch Grenzbereiche zwischen Wissenschaft und Praxis (etwa bei der digitalen Unterstützung der Arbeit von Tonmeistern) berührt. Es ist zu hoffen, dass nach der dreijährigen Anlaufphase des neuen Zentrums an dieser Stelle über ähnlich erfreuliche Ergebnisse berichtet werden kann.

### Literatur

JOACHIM VEIT: „DIGITALE EDITION UND NOTEN-TEXT: VERMITTLUNGS- ODER ERKENNTNISFORTSCHRITT?“. IN: IM DICKICHT DER TEXTE. EDITIONSWISSENSCHAFT ALS INTERDISZIPLINÄRE GRUNDLAGENFORSCHUNG, HG. VON GESA DANE, JÖRG JUNG MAYR U. MARCUS SCHOTTE (BERLINER BEITRÄGE ZUR EDITIONSWISSENSCHAFT 12), BERLIN, 2013, S. 233–266.

KRISTINA RICHTS: DIE FRBR CUSTOMIZATION IM DATENFORMAT DER MUSIC ENCODING INITIATIVE (MEI). MASTERARBEIT IM WEITERBILDUNGSSTUDIENGANG MASTER IN LIBRARY AND INFORMATION SCIENCE (MA LIS), FACHHOCHSCHULE KÖLN 2013; ONLINE UNTER: [HTTP://PUBLISCOLOGNE.FH-KOELN.DE/FRONTDOOR/INDEX/INDEX/DOCID/144](http://publiscologne.fh-koeln.de/frontdoor/index/index/docId/144).

JOHANNES KEPPEL: MUSIKEDITION IM ZEICHEN NEUER MEDIEN. HISTORISCHE ENTWICKLUNG UND GEGENWÄRTIGE PERSPEKTIVEN MUSIKALISCHER GESAMTAUSGABEN (SCHRIFTEN DES INSTITUTS FÜR DOKUMENTOLOGIE UND EDITORIK 5). NORDERSTEDT 2011.

DIE TONKUNST. MAGAZIN FÜR KLASSISCHE MUSIK UND MUSIKWISSENSCHAFT. THEMENHEFT: PERSPEKTIVEN DIGITALER MUSIKEDITION. JG. 5 (2011), HEFT NR. 3 (MIT BEITRÄGEN U.A. VON B. BOHL, J. KEPPEL, D. RÖWENSTRUNK, P. STADLER, J. VEIT).

DANIEL RÖWENSTRUNK: „DIGITAL MUSIC NOTATION DATA MODEL AND PROTOTYPE DELIVERY SYSTEM – EIN DEUTSCH-AMERIKANISCHES PROJEKT ZUR FÖRDERUNG EINES WISSENSCHAFTLICHEN CODIERUNGSFORMATS FÜR MUSIKNOTATION“. IN: FORUM MUSIKBIBLIOTHEK, JG. 31 (2010), HEFT 2, S. 46–50.

JOACHIM VEIT: „THE DIGITAL EDITION OF WEBER’S CLARINET WORKS: A NEW APPROACH TO COMPARATIVE TEXTUAL CRITICISM AND ANALYSIS“. IN: PHILOMUSICA-ON-LINE 9/2 – SEZIONE I, PAVIA 2010, P. 279–299.

PETER STADLER U. JOACHIM VEIT (HG.): DIGITALE EDITION ZWISCHEN EXPERIMENT UND STANDARDISIERUNG. MUSIK – TEXT – CODIERUNG (BEIHEFTE ZU EDITIO 31). TÜBINGEN 2009.

#### Kontakt

Prof. Dr. Joachim Veit

Fakultät für Kulturwissenschaften

Musikwissenschaftliches Seminar  
Detmold/Paderborn

05231 975-663

[jveit@mail.uni-paderborn.de](mailto:jveit@mail.uni-paderborn.de)

# CLARINETTO PRINCIPALE

solo  
36

con duolo

accelerando poco a poco

esce

brillant

tenuto

mfr

perdendosi

con anima

con forza staccato

dol:



# FORSCHUNGS FORUM PADERBORN



UNIVERSITÄT PADERBORN  
*Die Universität der Informationsgesellschaft*

18-2015

**The Digital Society**



SCIENCE JOURNAL

**The Internet of tomorrow**

**The challenge of electromobility**

**On the way to optical transistors**

**The Satisfied Patient 2.0**

**Sensor-based e-commerce**

**Music notation beyond paper**







Ramona Wiesner  
Head of the Department of University  
Marketing and University Publications

## EDITORIAL

Dear readers,

Thanks to our smartphones, tablets and laptops we are constantly online. Indeed, the theme of Science Year 2014 was “The Digital Society”, in recognition of the fact that digital technologies heavily shape the way we live and work. Some of the articles in this issue of ForschungsForum, too, are all about digital innovations in Germany and the tremendous potential they have for the future.

Rapid wireless access to the internet is becoming increasingly important for mobile devices. Prof. Dr. J. Christoph Scheytt and his research team are working on new technologies for high-speed wireless internet access that use considerably less energy and extend battery life (page 26).

Electronic sensors in smartphones deliver valuable information on our behaviour as online buyers. Prof. Dr. Joachim Fischer from the Chair of Business Information Systems examines how mobile devices and the sensors embedded in them can be integrated in business information systems such as SAP ERP. To find out more about what third-generation e-commerce could have in store, turn to page 32.

Some patients like to use online portals such as jameda and DocInsider to gather information on doctors and share their experiences with others. Junior Professor Michaela Geierhos is analysing the anonymous doctor reviews that patients leave on these platforms and examining the key factors that influence patient satisfaction. Read her arti-

cle on page 14 to find out about her insights into what makes patients (un-)happy.

Music editing, too, has arrived in the digital age. Researchers at the Musicology Seminar Detmold/Paderborn are working on a completely new way to present sheet music editions using digital tools. Gone are the voluminous complete works editions of old. Today, musical source material and texts can be displayed on screen, making it much easier to compare various musical manuscripts and editions. More on page 40.

Junior Professor Dr. Stefan Schumacher’s research subject is optical patterns in semiconductor nanostructures. His team is working on using spontaneous spatial patterns in non-linear optical systems to implement highly efficient optical switches. Go to page 20 to read all about the activities of the Theoretical Optoelectronics & Photonics Group.

Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker and his team are working to optimise electromobility by examining various electrical configurations for e-car chargers. In his article on page 6 Professor Böcker writes about the paradigm shifts taking place in the field of electrical drives, amongst other things.

We hope you enjoy reading this issue of ForschungsForum.

Ramona Wiesner

Page 6

**The challenge of electromobility**

Increasing the cruising range of electric vehicles

**By Joachim Böcker, Lukas Keuck, Wilhelm Peters and Oliver Wallscheid**



Page 14

**The Satisfied Patient 2.0**

Analysis of anonymous doctor ratings to gain insight into patient sentiment

**By Michaela Geierhos and Sabine Schulze**

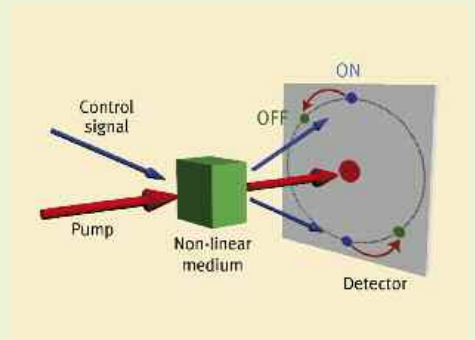


Page 20

**On the way to optical transistors**

Optical patterns in semiconductor nanostructures: fundamental physics, numerical simulations and experiments

**By Stefan Schumacher**



Page 26

**100 gigabits per second and more for high-speed wireless Internet service**

New ultra-fast data transmission techniques for tomorrow's Internet

**By J. Christoph Scheytt and Abdul Rehman Javed**





**Sensor-based e-commerce – the next generation?**

For what technologies should the retail sector  
prepare itself?

**By Joachim Fischer and André Wickenhöfer**

Page 32



**Music notation beyond paper**

On developing digital humanities tools for music editing

**By Joachim Veit**

Page 40



## EDITORIAL TEAM

Editor-in-Chief  
Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer  
President of the University of Paderborn

Prof. Dr. rer. nat. Christine Silberhorn  
Vice President for Research and Junior Academics

Design/Head of Editorial Team  
Ramona Wiesner  
Head of the Department of University Marketing  
and University Publications

Warburger Str. 100, 33098 Paderborn, Germany  
+49 (0)5251 60-2553, -3880  
wiesner@zv.uni-paderborn.de  
www.uni-paderborn.de/hochschulmarketing

ForschungsForum Paderborn (ffp) online:  
www.uni-paderborn.de/ffp

Scientific Advisory Council  
Prof. Dr. rer. nat. Sybille Hellebrand  
Prof. Dr. Hermann Kamp  
Prof. Dr. rer. nat. Christine Silberhorn  
Prof. Dr. Nancy V. Wunderlich  
Prof. Dr. rer. nat. Artur Zrenner

Graphic Design  
PADA-Werbeagentur  
+49 (0)5251 527577

Translation  
Karin Walker MA PgDip

Publication date  
March 2015

Circulation  
5,000

## TITLE STORY

*We live in the age of high-speed Internet. In particular, portable computers such as smartphones, tablets and notebooks need ever faster wireless internet access in daily use. The rapidly growing number of users and applications requires the development of ever more innovative mobile terminals and technologies as well as ever higher transmission rates and transmission qualities (or quality of services). An increasing need for high-speed wireless networks is apparent, e.g., in consumer and home electronics. Examples are wireless ultra-high definition and 3D TV screens, wireless connections to peripherals such as video players or hard disks, data synchronisation and general wireless data transmission within computer networks and clusters (Page 26).*



Source: Fotolia



Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer

## FOREWORD

Dear readers,

*The Digital Society is a subject that has never been as pervasive as it is today. Our environment is becoming increasingly digital, and the consequences of this – positive and negative – dominate the public debate. The digital age is characterised by ubiquitous rapid development – online, in smartphones, desktop computers and intelligent technical systems such as those currently being installed in modern motor vehicles. In almost all areas of society, in our personal lives, the business world and in science, digital technologies are shaping the way we live and work. The question is, how are these new opportunities changing the way we live together as social beings?*

*Digital progress is capable of strengthening Germany's reputation as a strong production location. The internet enables machines to communicate by exchanging highly complex information without any human input. This improves processes and makes them more efficient. For instance, researchers are currently examining what the production plants and jobs of tomorrow could look like in an Industry 4.0 environment.*

*Although these new technologies may improve our lives, there are also risks. The digital society will eventually encounter limits that businesses, researchers and society at large have to deal with responsibly. The theme of Science Year 2014, The Digital Society, has demonstrated how the science and research community is contributing new solutions to the process.*

*The extent to which digital progress influences society is also reflected in the articles in this year's issue of ForschungsForum. For instance, researchers have performed a large-scale analysis of anonymous online reviews of doctors to produce a detailed portrait of patient experiences and complaint behaviour. Another report illustrates the work being done to extend the reach of electrically powered vehicles – a subject that touches upon all areas of life, including the environment. And musicologists have found a way to create a digital representation of printed sheet music.*

*During my term of office as Vice President for Research and Junior Academics at the University of Paderborn, the subjects covered in ForschungsForum over the years have certainly piqued my curiosity about the issues of our age. Now I have taken office as President of the University, my successor as Vice President for Research and Junior Academics, Christine Silberhorn, will accompany you on this exciting journey through the world of science. I wish you, and her, the very best of luck and many new research insights that will be covered in future editions of Forschungs Forum.*

Wilhelm Schäfer  
President of the University of Paderborn

# The challenge of electromobility

## *Increasing the cruising range of electric vehicles*

By Joachim Böcker,  
Lukas Keuck,  
Wilhelm Peters and  
Oliver Wallscheid



**Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker** has been Head of the Department of Power Electronics and Electrical Drives since 2003. His research focuses on the modelling and control of electrical drive systems, efficient power electronic converters and power management, in particular in the context of electromobility and energy transition.

**Electromobility represents a paradigm shift in automotive propulsion technology. Electrical drives are supposed to reduce the dependence on fossil hydrocarbon fuels as well as emissions of pollutants and CO<sub>2</sub>. However, the storage of electrical energy is today's core challenge of electromobility. The range of electric vehicles is limited by the energy density (energy per weight and volume) of current energy storage technologies. Any energy density improvements thus have an immediate impact on range. However, an equally important task is to improve electrical drive systems and further non-propulsion ancillary units. Taking a given energy tank as a starting point, the available energy has to be used as efficiently as possible to achieve the greatest possible cruising range.**

Fossil fuels store energy extremely efficiently. The volumetric energy density of petrol is 8.9 kWh/L, that of diesel even 9.8 kWh/L, and the gravimetric energy density of petrol and diesel is 11.8 kWh/kg. When a conventional vehicle with a fuel tank volume of 60 L is refuelled within 60s, a chemical energy flow of a power of 32 MW for petrol and 35.5 MW for diesel passes through the fuel hose. This equates to the full-load power of 10 wind turbines or one photovoltaic system as large as 50 football pitches. Despite their considerable losses of approx. 60 per cent and more due to the thermodynamic cycle process, the advantages of conventional internal-combustion engines lie in the high energy density of fossil fuels and the fast

refilling of the energy tank. Lithium-ion batteries have a significantly lower energy density of up to 0.15 kWh/kg and 0.35 kWh/L. Recharging a battery also takes significantly longer than refuelling a conventional vehicle since the charging power reaches only one- to two-digit kW figures. Because the energy density of today's batteries is low, current electric vehicles such as the BMW i3 or the Volkswagen e-up! are designed for cruising ranges between 100 and 200 km. An alternative to batteries are fuel cells with hydrogen tanks which can be filled almost as fast as a conventional fuel tank. While the on-board energy stock in the hydrogen tank is greater than in batteries, the hydrogen filling station infrastructure is still patchy, which hampers the spread of this technology in vehicles. This technology shall therefore not be considered further in this contribution.

Besides the implementation of electrical energy storage systems as batteries, several storage types can be combined into hybrid energy storage systems. The Department of Power Electronics and Electrical Drives has made much progress with investigating such approaches in recent years. The benefits of different storage technologies, e.g., lithium-ion batteries optimised for high energy densities (cruising range) have been combined with powerful double-layer capacitors (power for acceleration and deceleration). Compared with a pure battery storage, this has advantages concerning weight, volume and efficiency of the entire storage, however the tradeoff is additional system complexity.



Ranges of many hundred kilometres as offered by internal-combustion engine vehicles can only be achieved at disproportionate costs and would further result in far too high a vehicle weight, whether with batteries or hybrid storages. However, statistics on the vehicle utilisation of private car owners show that almost 90 per cent of all vehicles run less than 100 km per day and 50 per cent even less than 50 km. It is thus possible to make most of the trips with an electric vehicle and to resort to other mobility types when the need arises. Notably with respect to increasing urbanisation, electric vehicles offer the potential for reducing air pollution levels in big cities by local emission-free driving. Electrifying vehicles also allows diverse energy sources to be used for the generation of electrical energy. Another advantage is that a comprehensive energy distribution grid is already available which allows the integration of about 1 million electric vehicles without any significant expansion of the grid.

As the energy content of a battery is low, it is important to use the available energy as efficiently as possible to achieve a large cruising range. The efficiency of the electrical drive is not the only crucial factor. Likewise, non-propulsion ancillary units may account for a considerable share of the energy demand. Besides their direct energy demand, all components have an indirect weight-related effect on the range of a vehicle.

### **Vehicle structures and on-board electrical systems**

In conventional vehicles, an operating voltage of 12 to 14 V is common for on-board electrical systems. Since the electrical loads have no large power requirements, this results in acceptable current densities and conductor cross sections. But for an electrical drive with double-digit kW power this would result in currents of several thousands of ampere, which would necessitate unacceptable conductor cross sections. That is why operating voltages of 200 to 450 V are typical for electrical drives. That said, a standard has not yet been established (Figures 1 and 2).

However, since such voltages require more insulation, it would not be smart to adapt all electric devices in the vehicle, from illumination to power-assisted steering, to such higher voltages. An intermediate voltage level of 48 V is under discussion because stronger electric shock protection is not needed for DC voltages below 60 V. Such a structure will then require DC-DC converters, which are also the subject of research projects at our department.

### **Energy demand for traction**

The energy demand of vehicles relates either to the operating hours or to the distance travelled. Since the main concern is usually to cover a specific distance, the default consideration is the distance-specific energy demand, which can be assessed by simply modelling the major forces for vehicle movement in the direction of travel. The



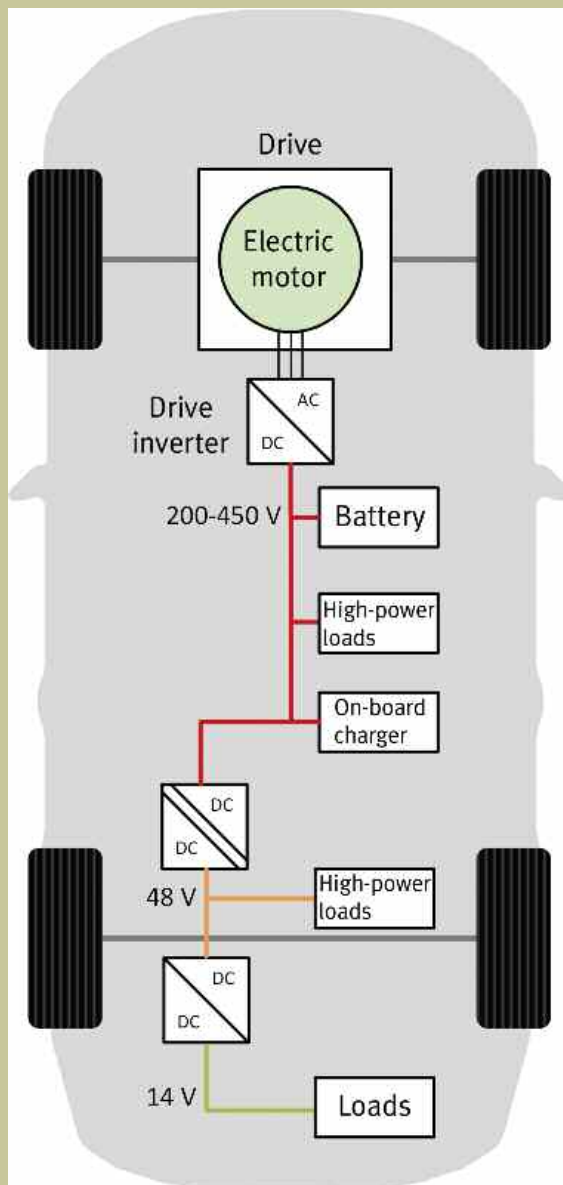


Fig. 1: Multi-voltage on-board electrical system in an electric vehicle.

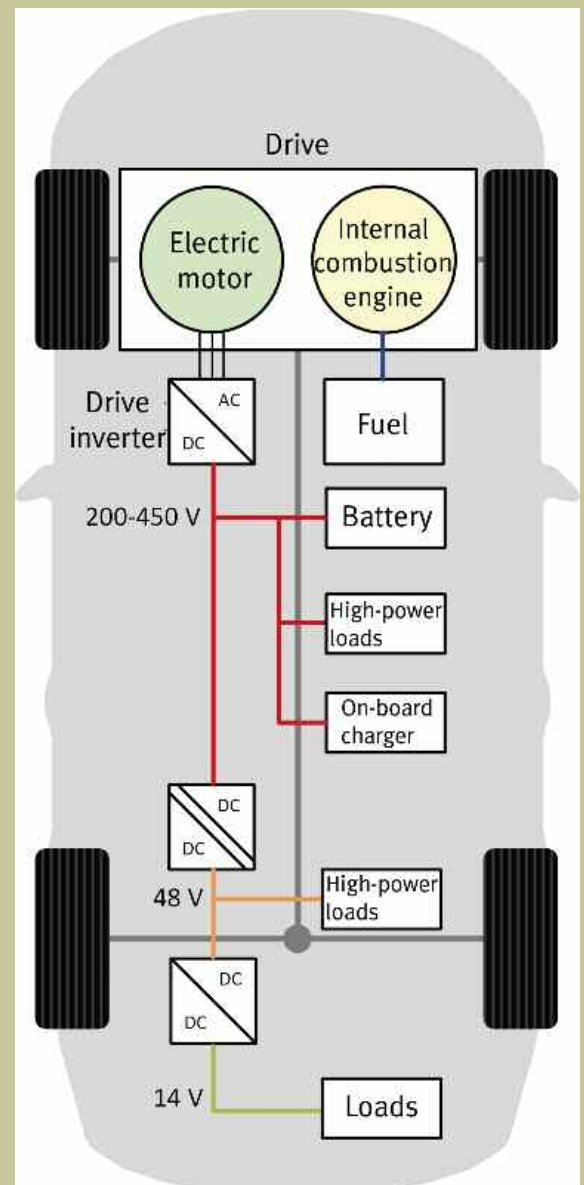


Fig. 2: Multi-voltage on-board electrical system in a hybrid vehicle.

Source: Department LEA

essential forces of resistance are aerodynamic drag, rolling friction and gradient resistance. Acceleration and braking also change the kinetic energy of the vehicle. Based on a driving cycle, a vehicle model can be used to compute the necessary mechanical power. In addition, when computing consumption, it has to be considered how a negative (braking) driving force is provided in the vehicle in question. In conventional vehicles, this is effected by the drag torque of the internal-combustion engine and the mechanical brake. From a drive viewpoint, this leads to a total loss of kinetic energy, and on a downhill slope, also of potential energy. Another advantage of electrical drives is the fact that they can act as brakes, converting the mechanical energy into electrical energy which can be fed back into the battery. While this regenerative braking largely contributes to an increase in efficiency, it should not be

neglected that the original energy cannot be entirely recuperated due to conversion losses. It should also be taken into account that, depending on the vehicle structure, the braking force provided by the electrical drive can usually not be distributed to the individual wheels in a targeted manner. In heavy braking, however, targeted distribution of the braking force to the wheels is required to keep the vehicle stable so that the mechanical brake is also used. In this case it is necessary to model the composition of the braking force when computing consumption to draw the balance of the recuperated energy against the propulsion work (Figure 3).

Since 1 January 1996, the New European Driving Cycle (NEDC) has been used in the European Union to determine the fuel consumption of automotive vehicles under standardised conditions. The NEDC speed profile is shown in Figure 3. This

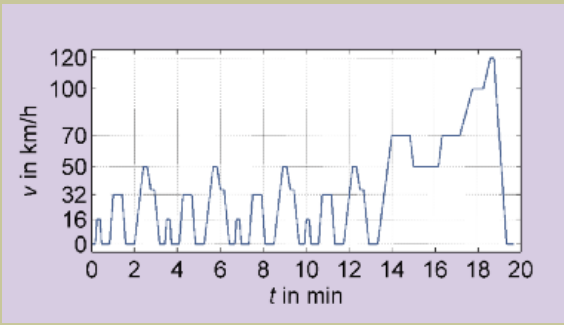


Fig. 3: New European Driving Cycle (NEDC).

Source: Department LEA

Mass (including driver)	1,200 kg
Effective total inertia	1,300 kg
Effective cross sectional area	2.07 m <sup>2</sup>
Drag coefficient	0.32
Rolling resistance coefficient	0.009

Source: Department LEA

Table 1: Vehicle parameters for consumption computing.

is characterised by relatively smooth acceleration and braking. Furthermore, the NEDC is divided into two sub-cycles: an approx. 13-minute urban cycle (EDE15) and a subsequent extra-urban driving cycle (EUDC). It is assumed in the following that the necessary braking force can be entirely provided by the electrical traction drive. In this configuration, the kinetic energy of the vehicle minus the energy consumed by the driving resistance components is fully recuperated at an efficiency of 60 per cent.

Based on the vehicle parameters of Table 1, the distance-specific energy demand has been computed for the NEDC on a level road. The vehicle parameters are based on the Volkswagen e-up!. Figure 4 shows the composition of the distance-specific energy demand, leaving energy recuperation unconsidered. The work to overcome the aerodynamic drag  $W_d$  only accounts for about 5 per cent of the energy demand at the low speeds in the urban cycle, but has a significantly greater effect in the extra-urban driving cycle since the drag force increases with the square of the speed. The work to overcome the rolling friction  $W_r$  is independent of the speed and varies only slightly. The urban cycle with its low mean speed is characterised by a large number of acceleration and braking processes per distance travelled, resulting in a high energy demand for vehicle acceleration  $W_b$ . Also in the extra-urban driving cycle, acceleration requires the greatest energy share. While drag is independent of the vehicle mass, the rolling and acceleration resistances are directly proportional to it so that weight reduction has a direct effect on these two constituents (Figures 4 and 5).

If brake energy recuperation is also taken into account, the effect of the mass on energy demand is reduced by recuperation. A higher vehicle mass results in a higher energy demand during acceleration, but more energy is also recuperated during regenerative braking. However, due to the rolling resistance and the unavoidable recuperation loss-

es, mass still has a considerable effect on the vehicle's energy demand. Figure 5 shows how energy demand changes if the vehicle mass is reduced (blue) or increased (green) by 10 per cent. The largest energy savings from a reduced vehicle weight can be achieved in urban driving with its frequent stops and goes. This results in a direct advantage of an electrical-drive vehicle over a plug-in hybrid vehicle in purely electrical driving: A plug-in hybrid vehicle offers the certainty not to get stuck with a discharged battery, but the weight of the internal-combustion engine greatly increases the energy demand.

The computations above are based on the mechanical power or work to be provided at the drive shaft. Of course, the objective again is to provide this mechanical work with the least possible electrical energy, i.e., to maximise the efficiency of the drive. The solution to this task is not as obvious as it may seem at a first glance because the efficiency of the electrical drive is influenced by the selected magnetic excitation of the motor, the deviations of the currents from the ideal sinus curve and the losses in the drive inverter that feeds the motor. For more than ten years, the Department of Power Electronics and Electrical Drives has been researching issues concerning optimal and efficient control of electrical drives. An important part of this is high motor utilisation. Due to the mentioned weight problem, automotive engineers aim at reducing vehicle mass as far as possible, which results in a strong non-linear behaviour of the motor.

**Effect of ancillary units on range**

As energy storage is limited, the energy demand of ancillary units is coming more into the focus than before. The overview in Table 2 indicates that these loads need approx. 2 kW of power in addition to the drive. This power demand exists independently of the actual drive requirements and must also be covered by the on-board energy storage system. Compared with the mean drive power

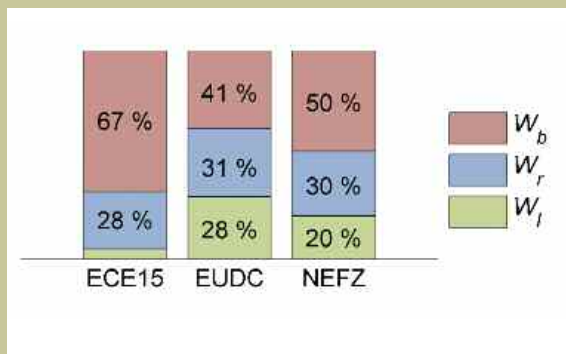


Fig. 4: Composition of energy demand in the propulsion phases.

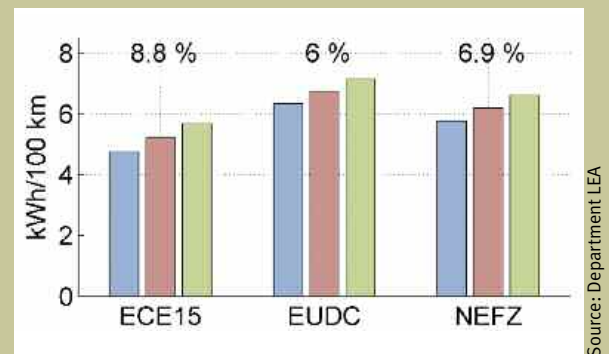


Fig. 5: Change of energy demand at a 10 per cent weight change.

of only 2.7 kW for a small vehicle in the NEDC, it becomes soon obvious that ancillary units have a considerable effect on the achievable range for a given energy reservoir. Example: Approx. 14 kWh of electrical energy can be drawn from the fully charged battery of the Volkswagen e-up!. Mathematically, a range of approx. 170 km can be achieved without ancillary units, dropping to less than 100 km if these are included (Table 2).

Since the air conditioning system is by far the greatest load among the ancillary units, much research is ongoing to improve its efficiency. Electrical power savings of up to 30 per cent are expected by using optimised refrigerants and improved compressors. It should also be considered that a highly efficient drivetrain of electrical vehicles generates almost no waste heat for heating the vehicle in winter. Unlike conventional vehicles where the waste heat from the internal-combustion engine must be dissipated, electric vehicles must therefore be equipped with additional heating. This can be provided, e.g., by a heat pump, which can be used as a space- and weight-saving combined heating and cooling unit. The electrical power consumed by power-assisted steering, roll stabiliser, pumps and fans is determined essentially by the efficiency of the small electrical drives used in these components. In particular, by using a multi-voltage on-board electrical system, these small drives can be designed and operated more efficiently to achieve consumption savings of around 10 per cent. Further power savings are also possible in the field of vehicle illumination by using advanced LED technology, with power savings up to 40 per cent expected in the next few years for the power-intensive dipped and main beams. As to the further components, no reduction in average power consumption can be forecast; in fact even an increase is possible, e.g., caused by the steadily increasing use of information and communica-

tion technologies in the vehicle. The trade-off between comfort (air conditioning, heating) and range (and distance-specific consumption), which needs to be evaluated individually by each driver, is thus of greater importance than in conventional vehicles.

#### Charging of the energy storage system

Acceptance of electromobility depends not least on how convenient it is for the user to recharge the battery. It is expected that a majority of electric vehicles will be equipped with on-board chargers to allow recharging on the electricity grid. However, the maximum output power from a conventional safety socket is limited to approx. 2.5 kW. This charging power may be acceptable for recharging overnight but not for time-critical recharging. Thus, greater charging power is necessary, either transmitted over the public three-phase electricity grid or by direct-current charging the electric vehicle. Direct-current charging makes it possible to eliminate an additional high-power charger on-board since a recharging station adapts the charging power to the battery voltage. To increase the cruising range, two objectives are crucial for an on-board charger: mass reduction and volume reduction. While charger efficiency has no direct effect on the vehicle range, it is a further important component for increasing overall vehicle efficiency. In the energy transition discussion bi-directional topologies are often proposed, which enable the feed-in of electrical power from the vehicle's energy storage systems into the power grid (vehicle to grid). The advantage of increased grid stability achieved by the available power reserves of the vehicle energy storage systems are balanced against higher system complexity and cost for the more complex chargers.

The Department of Power Electronics and Electrical Drives is investigating various circuit topolo-

Components	Power in W
Air conditioning system	1,000
Power-assisted steering	200
Front and rear window heater	200
Roll stabiliser	150
Illumination	140
Water pump	100
Entertainment/radio	75
Cooling fan	50
Electromechanical brake	50
Seat heater	30
Other, e. g. wipers, pumps ...	30
<b>Total:</b>	<b>2,025</b>

Source: Department LEA

Table 2: Mean power consumption of ancillary units in the electric vehicle.

gies of chargers for electric vehicles. Two essential requirements to be met by chargers are, on the one hand, the galvanic isolation between battery and power grid, and on the other hand, grid-friendly current consumption. Often these tasks are realised by two separate converter stages decoupled by a DC circuit, thus the converter stages can be specifically designed for their tasks. It is being discussed to combine this stages in a single-stage topology. The excellence cluster *it's OWL* is currently running a cooperation project to examine to what extent this is capable of reducing mass and volume.

**Conclusion**

Electromobility is a multi-faceted and challenging technology and research complex characterised by a high level of interdisciplinarity. In particular, the various forms of (electrical) energy storage systems and the efficient utilisation of available energy in the vehicle still hold a large optimisation potential. In a direct comparison with conventional internal-combustion engine vehicles, it should be borne in mind that their high level of development was also not reached overnight and that research and development in the automotive sector have almost exclusively focused on this propulsion system type in the last 100 years.

**References**

J. BÖCKER: ANTRIEBE FÜR UMWELTFREUNDLICHE FAHRZEUGE, SKRIPTUM UNIVERSITÄT PADERBORN, 2013.

J. BÖCKER, T. HUBER, C. ROMAUS, A. SPECHT: ELEKTROMOBILITÄT IN PADERBORN IN FORSCHUNGSFORUM PADERBORN, 2011.

J. BÖCKER ET AL.: REGELUNG ELEKTRISCHER TRAKTIONSANTRIEBE IN ELEKTRO- UND HYBRIDFAHRZEUGEN, IN AT – AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, VOL. 58, No. 10, 2010.

H. BRAESS, U. SEIFFERT (EDS.): HANDBUCH KRAFTFAHRZEUGTECHNIK, FRIEDR. VIEWEG & SOHN VERLAG, 2013.

W. PETERS: WIRKUNGSGRADOPTIMALE REGELUNG VON PERMANENTERREGTEN SYNCHRONMOTOREN IN AUTOMOBILEN TRAKTIONSANWENDUNGEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER MAGNETISCHEN SÄTTIGUNG, DISSERTATION, UNIVERSITÄT PADERBORN, 2015.

H. PROFF, J. SCHÖNHARTING, D. SCHRAMM, J. ZIEGLER (EDS.): ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IN DER MOBILITÄT, GABLER VERLAG, 2012.



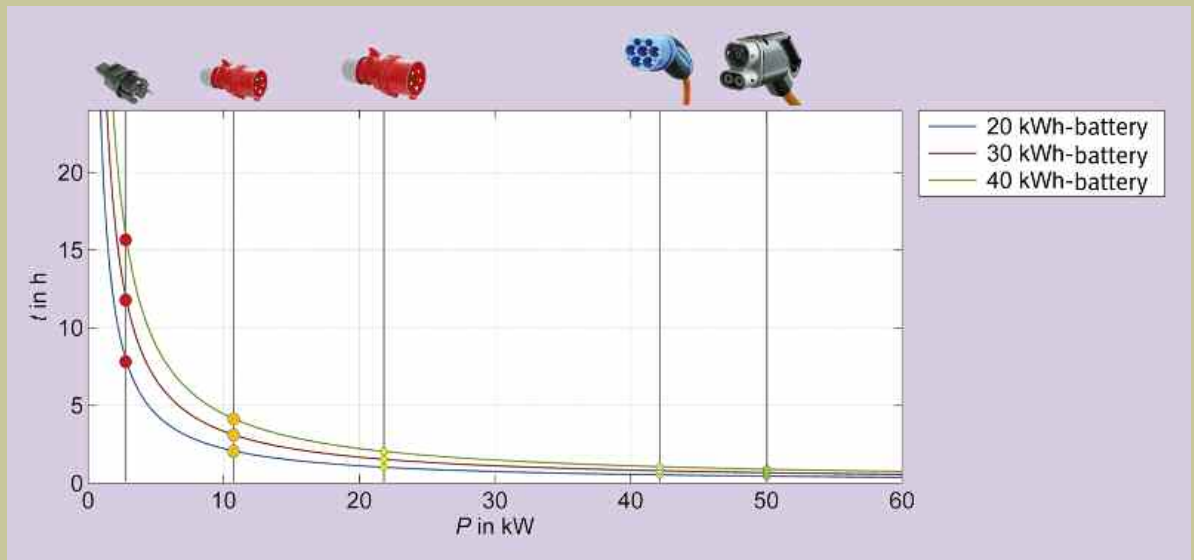


Fig. 6: Recharging time for common batteries at different charging power values.

Source: Department LEA

VERBAND DER ELEKTROTECHNIK, ELEKTRONIK UND INFORMATIONSTECHNIK (ED.): VDE-STUDIE: E-MOBILITY 2020, VDE-VERLAG, 2010.

H. WALLENTOWITZ, K. REIF (EDS.): HANDBUCH KRAFTFAHRZEUGELEKTRONIK, FRIEDR. VIEWEG & SOHN VERLAG, 2006.



**Lukas Keuck M.Sc.** has worked as research associate at the Department of Power Electronics and Electrical Drives since January 2013. He studied electrical engineering in a cooperative study course at South Westphalia University of Applied Sciences and the University of Bolton (UK). The cooperating company was AEG Power Solutions. His research focuses on the design of power converters and their control for electrical vehicles.



**Dipl.-Ing. Wilhelm Peters** has worked as senior engineer at the Department of Power Electronics and Electrical Drives since January 2014. He studied electrical engineering and information technology at the University of Paderborn. Research associate at the same department since November 2008, he has done research work on the modelling and control of permanent magnet synchronous motors in automotive traction applications.



**Oliver Wallscheid M.Sc.** has worked as research associate at the Department of Power Electronics and Electrical Drives since November 2012. His current research focus is on the thermal modelling of highly utilised permanent magnet synchronous motors and the consideration of temperature effects in terms of control design.

**Inquiries**

**Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker**

**Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik**

**Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik, Institut Elektrotechnik**

**+49(0)5251 60-2209**

**boecker@lea.uni-paderborn.de**

# The Satisfied Patient 2.0

*Analysis of anonymous doctor ratings to gain insight into patient sentiment*

By **Michaela Geierhos**  
and **Sabine Schulze**



**Jun.-Prof. Dr. Michaela Geierhos** has been Junior Professor of Business Computing, especially Semantic Information Processing, at the University of Paderborn since January 2013. Her research focus lies on mining texts for information, with semantic and contextual interpretation taking priority over quantitative text analysis. She manages the project *The Satisfied Patient 2.0* at the University of Paderborn.

Today, when patients share opinions on their doctors with each other they increasingly do so online. Patients and their families use review portals such as jameda, DocInsider or imedo.de to leave an anonymous complaint or a recommendation. These hundreds of thousands of individual opinions make it possible to gain insights into general patient satisfaction and verify whether certain “myths” are true, e.g., whether private patients are given appointments more promptly and spend less time in the waiting room. A successful analysis and interpretation of anonymous online doctor reviews is only possible if one bears in mind that certain factors that influence patients’ sentiments and reviewing behaviour are independent of the actual quality of care. This new approach seeks to identify major patient satisfaction indicators on the Web 2.0 to generate a detailed picture of patients’ experiences and attitudes, taking into account demographic and regional factors.



## Measuring satisfaction in the digital society

The automated, computer-assisted analysis of patient satisfaction on the Web 2.0 offers both quantitative and qualitative advantages. This type of analysis makes it possible to evaluate an enormous number of online reviews, the volume of which goes far beyond that of traditional surveys (by telephone or post). Also, the anonymity of the internet increases the likelihood of leaving a complaint since users, unlike with telephone interviews, are not directly confronted with an interviewer (Ye et al., 2011). In this anonymous online environment, there is no reason to refrain from voicing a negative opinion – politeness (Uysal & Oner-Ozkan, 2007), fear of negative social consequences (Verheyen et al., 2013) and concerns about damaging the recipient’s perception of oneself (Rosen & Tesser, 1972) become irrelevant. This allows for a more honest exchange of opinions and in turn, a less distorted interpretation of patient sentiment. Finally, the automated analysis of an online medium makes it possible to validate the insights gained in connection with offline patient surveys.

## Patients across Germany are generally satisfied

An analysis of almost 154,000 online ratings left on the review portal jameda in the first half of 2014 revealed that patient satisfaction across Germany is generally very high. The average rating



Source: COM SALUD Agencia de comunicación

Good patient care is the most important criterion for patient satisfaction.

assigned to doctors in private practice on this portal was 1.93. Doctors in Bavaria performed best, with an average patient satisfaction level of 1.74, followed by Saarland with 1.83 and Hamburg with 1.85. At the other end of the range were Mecklenburg-Western Pomerania with an average aggregate rating of 2.04 and Bremen with 2.19 (Figure 1). This generally broad satisfaction is unsurprising, since in a private practice setting patients have a personal relationship with their doctors. Although the authors of the reviews remain anonymous, this suggests a sense of trust between patient and doctor. By contrast, buyers of a given product are much more likely to leave a complaint since the manufacturer or retailer is an unknown entity and there is no personal relationship between them.

**Identifying individual quality features for doctors' surgeries**

Individual patients' reviews reflect subjective patient experiences. To recognise the personal factors that influence these ratings, around 240,000 openly available ratings left by patients on jameda and DocInsider were machine-analysed and interpreted. This resulted in a quantitative analysis based on the grades assigned by patients, which was then complemented by a semantic text analysis using computer linguistics

(Figure 2). First, an automatic extraction was performed of the quality criteria patients applied when reviewing doctors in private practice. The two criteria mentioned most frequently turned out



Source: Bing Maps

Fig. 1: Average grades assigned to doctors in private practice per federal state.



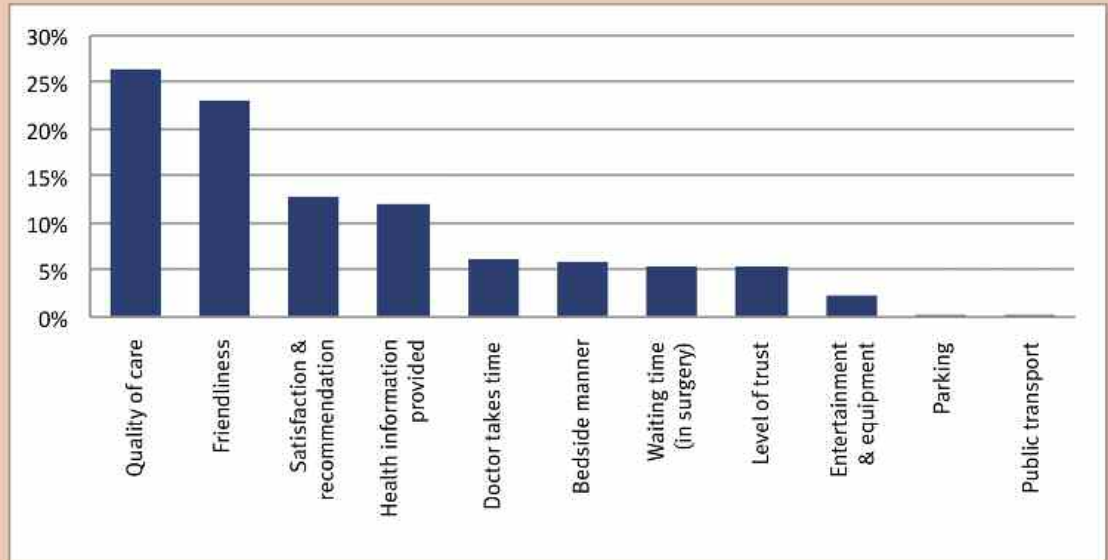


Fig. 2: Assessment criteria applied by patients.

Source: Geierhos

to be quality of care and friendliness. Recommendations and health information came in third and fourth with 13 and 12 per cent, respectively. Aspects that have nothing to do with the quality of treatment as such – e.g., equipment in the surgery, parking, and accessibility by public transport – were largely negligible.

**Does a bad review mean bad treatment?**

Besides patient (dis-)satisfaction, the study also looked at the possible influence of non-treatment-related factors on the reviews. Previous studies have found that patient opinions can be influenced by age (Hekkert et al., 2009), gender (Hekkert et al., 2009), perception of one’s own health prior to beginning treatment (Nguyen Thi, 2002), patients’ expectations concerning treatment (Hekkert et al., 2009) and level of education (Hekkert et al., 2009).

Yet another aspect to be considered when analysing patients’ opinions is that differences in opinion do not just depend on one’s actual satisfaction with the doctor, but also on patients’ attitude to complaining. The variation in opinions does not necessarily reflect an ambivalent level of satisfaction; it simply means that patients vary in their likelihood to voice a complaint. These incon-

sistencies in rating behaviour become apparent, for instance, when analysing the time a doctor spends with his or her patients. Normally one would expect patients with similar experiences to leave similar ratings; in fact, this is not always the case (Table 1).

85 per cent of jameda reviews that use “time taken” with the patient as a criterion assign a grade of 1, confirming yet again that most Germans are generally very satisfied with their doctors. The reviewers most frequently wrote “takes time”, with most assigning a grade of 1. However, most reviewers also assigned top grades for doctors who had taken “sufficient” or “a lot of” time, making it impossible to break down the assessments further, since “sufficient” is both explicitly or implicitly meant when stating that a doctor “takes time”.

Other factors influencing patients’ propensity to complain are age (Heung & Lam, 2003), education and income (Phau & Sari, 2004). Existing studies have focused exclusively on consumers and cannot simply be transferred directly to the patient-doctor relationship, which is normally less anonymous.

Table 1: Number of ratings assigned per review (selected from “... takes time”).

Patient statement	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	Grade 6
takes time	3,202	273	24	4	1	3
takes little time	0	0	2	8	39	33
takes sufficient time	57	5	0	0	0	0

Source: Geierhos

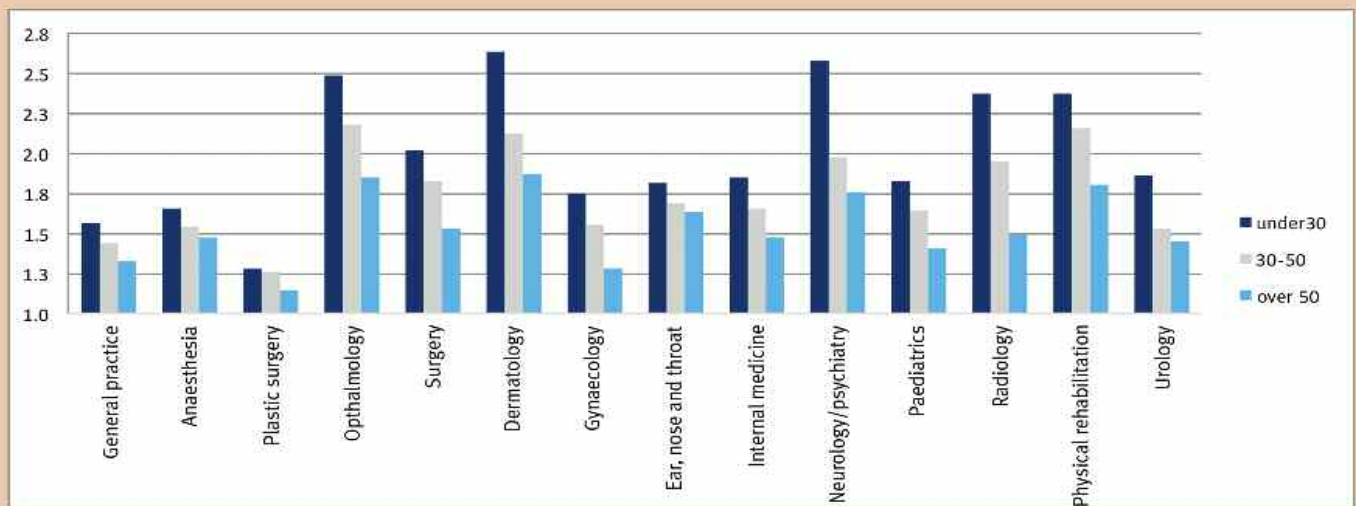


Fig. 3: Average grades assigned, shown by age group and specialism.

Source: Geierhos

### Young patients are more critical

Breaking down the jameda reviews by age, it was shown that younger patients across Germany are more dissatisfied than older patients with the information they are given by their doctor, their relationship with the doctor, and waiting times so they generally assign lower grades. Considering that the number of visits to the doctor increases with age, it is unsurprising that patients over 50 are much more tolerant of their doctors than the generation of the under-30s, whose expectations are exceedingly high due to their lack of experience (Figure 3).

### Private patients wait less and leave better reviews

Another factor that impacts heavily on patients' likelihood to complain and patient satisfaction is insurance status. Privately insured patients are not made to wait as long as patients with statutory insurance and hence are more likely to leave better reviews. The analysis of almost 154,000 reviews on jameda confirms this "myth".

### Patients measure waiting times in lots of 30 minutes

Considering the influence of insurance status on patient satisfaction, it is all the more remarkable that it is almost wholly irrelevant when it comes to patients' sensitivity to waiting time. All patients, whether privately insured or not, downgrade their rating by one level per half-hour waited (Figure 4). While ophthalmological patients downgraded only after 35 minutes, privately insured gynecological patients were far less tolerant and downgraded

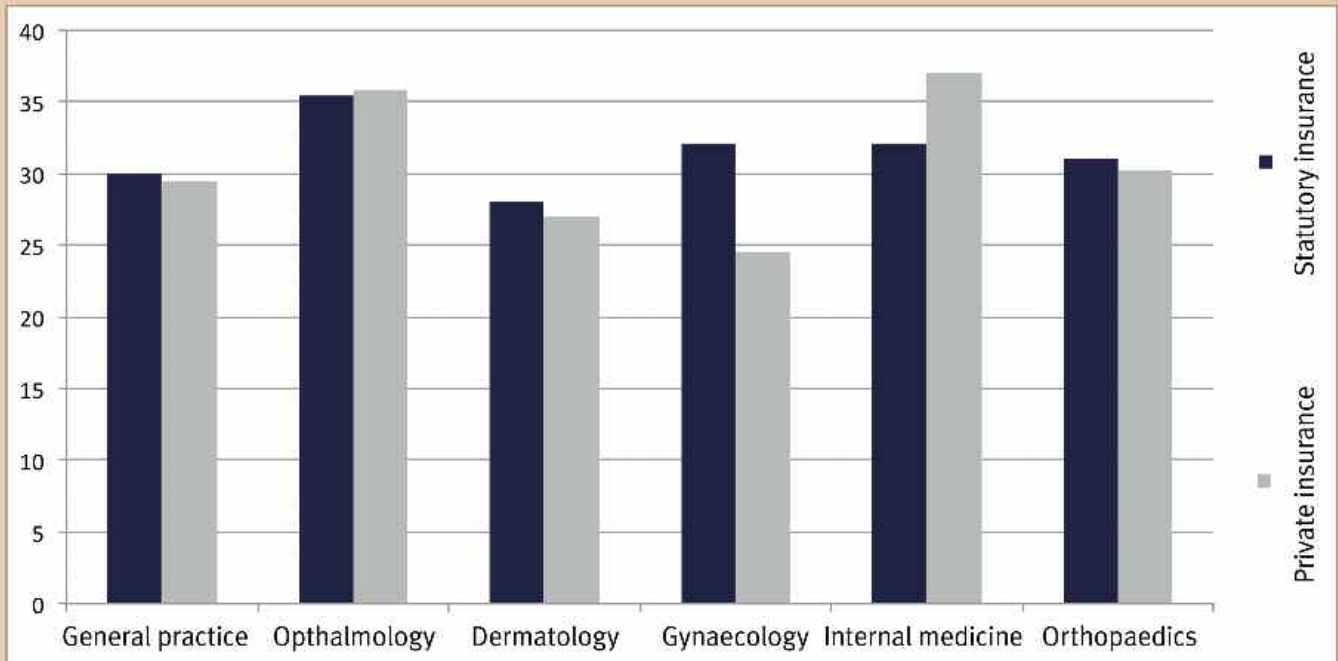
already after 25 minutes. Only the private patients awaiting treatment for internal medicine left a more tolerant jameda rating than their fellow patients with statutory insurance (Figure 4).

### Unemployment rates are irrelevant to ratings

The study found no connection between unemployment rates and the grades assigned by patients with statutory insurance. An analysis of 4,268 reviews of doctors in private practice revealed that in the two states with the highest and lowest unemployment rates, respectively (Berlin and Bavaria, according to June 2014 statistics of the Federal Employment Agency), patients assigned an average grade of 1.4. Since unemployed persons receive the same standard of treatment as employees on statutory insurance, it is unsurprising that both groups have similar review behaviour. Neither could the notion be confirmed that reviewers' personal satisfaction with life influences the way they rate doctors in private practice.

### Conclusion and outlook

The computer-assisted analysis of patients' reviews on the two portals jameda and DoctInsider, taking into account factors that are relevant and irrelevant to treatment quality, has validated existing myths and delivered a set of demographic patient satisfaction indicators. It emerged that older patients and private patients leave better reviews, although treatment quality and friendliness are the strongest criteria of all, regardless of demographic and regional variations. These



Source: Geierhos

Fig. 4: Waiting time interval (in mins) before review is downgraded by one level.

insights are helpful when interpreting patient reviews in order to gain a better impression of patient sentiment.

On the one hand, it was shown that patients are mostly satisfied with the level of care provided by doctors in private practice across Germany. In addition, the study revealed what factors influence this satisfaction. It would, however, also be interesting to examine the factors that lead to patient dissatisfaction. What makes patients unhappy and hence more likely to switch to another doctor? An analysis of anonymous online doctor reviews to identify the reasons for this would help to gain a more profound understanding of what makes patients (un-)happy.

### References

BESTMANN, BEATE; VERHEYEN, FRANK. PATIENTENZUFRIEDENHEIT – ERGEBNISSE EINER REPRÄSENTATIVEN STUDIE IN DER AMBULANTEN ÄRZTLICHEN VERSORGUNG. [HTTP://WWW.TK.DE/CENTAURUS/SERVLET/CONTENTBLOB/224246/DATEI/2088/WINGEG WISSEN – PATIENTENZUFRIEDENHEIT.PDF](http://www.tk.de/centaurus/servlet/contentblob/224246/datei/2088/wingeg-wissen-patientenzufriedenheit.pdf). ACCESSED ON 2 MAY 2014.

HEKKERT, KARIN DORIEKE ET AL. PATIENT SATISFACTION REVISITED: A MULTILEVEL APPROACH. *SOCIAL SCIENCE & MEDICINE*, 2009, VOL. 69, No. 1, 68–75.

HEUNG, VINCENT CS; LAM, TERRY. CUSTOMER COMPLAINT BEHAVIOUR TOWARDS HOTEL RESTAU-

RANT SERVICES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CONTEMPORARY HOSPITALITY MANAGEMENT*, 2003, VOL. 15, No. 5, 283–289.

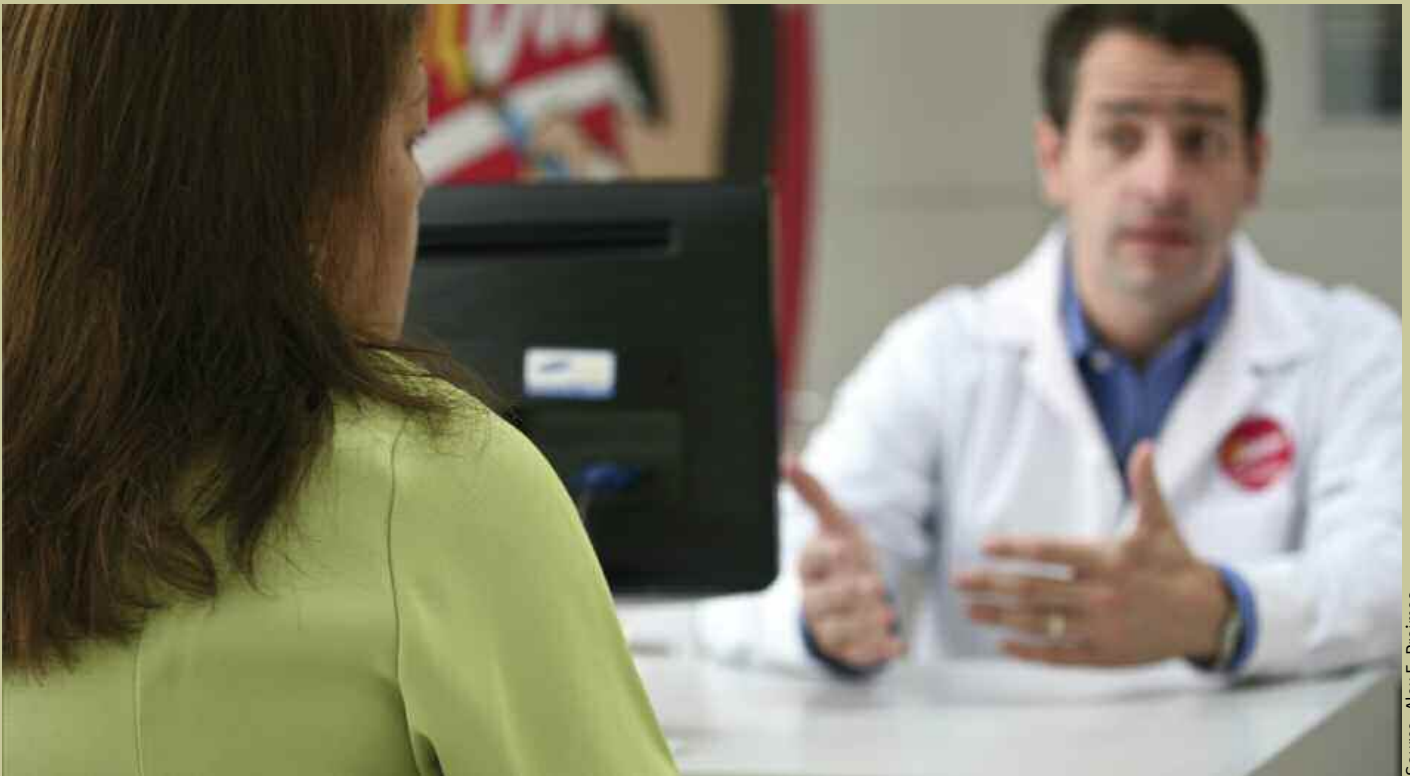
NGUYEN THI, PHI LINH ET AL. FACTORS DETERMINING INPATIENT SATISFACTION WITH CARE. *SOCIAL SCIENCE & MEDICINE*, 2002, VOL. 54, No. 4, 493–504.

PHAU, IAN; SARI, RIANA PUSPITA. ENGAGING IN COMPLAINT BEHAVIOUR: AN INDONESIAN PERSPECTIVE. *MARKETING INTELLIGENCE & PLANNING*, 2004, VOL. 22, No. 4, 407–426.

TESSER, ABRAHAM; ROSEN, SIDNEY. SIMILARITY OF OBJECTIVE FATE AS A DETERMINANT OF THE RELUCTANCE TO TRANSMIT UNPLEASANT INFORMATION: THE MUM EFFECT. *JOURNAL OF PERSONALITY AND SOCIAL PSYCHOLOGY*, 1972, VOL. 23, No. 1, 46–53.

UYVAL, AHMET; ONER-OZKAN, BENGI. A SELF-PRESENTATIONAL APPROACH TO TRANSMISSION OF GOOD AND BAD NEWS. *SOCIAL BEHAVIOR AND PERSONALITY: AN INTERNATIONAL JOURNAL*, 2007, VOL. 35, No. 1, 63–78.

YE, CONG; FULTON, JENNA; TOURANGEAU, ROGER. MORE POSITIVE OR MORE EXTREME? A META-ANALYSIS OF MODE DIFFERENCES IN RESPONSE CHOICE. *PUBLIC OPINION QUARTERLY*, 2011, VOL. 75, No. 2, 349–365.



Source: Alex E. Proimos

In the doctor-patient relationship, friendliness and the quality of information provided strongly influence patient satisfaction.



**Sabine Schulze** has worked as a research assistant affiliated with the Junior Professorship for Business Computing, especially Semantic Information Processing, since June 2014. Her research focuses on the problems associated with the extraction of implicit and explicit information from texts.

**Inquiries**

**Jun.-Prof. Dr. Michaela Geierhos**

**Fakultät für Wirtschaftswissenschaften**

**Department für Wirtschaftsinformatik**

**+49 (0)5251 60-6461**

**[michaela.geierhos@upb.de](mailto:michaela.geierhos@upb.de)**



# On the way to optical transistors

*Optical patterns in semiconductor nanostructures: fundamental physics, numerical simulations and experiments*

By Stefan Schumacher



**Dr. Stefan Schumacher**, Junior Professor of Theoretical Physics at the University of Paderborn since 2010, is head of the Theoretical Optoelectronics & Photonics Group. Their research focuses on the fundamental physics of optical phenomena in semiconductor and molecular nanostructures with future application potential.

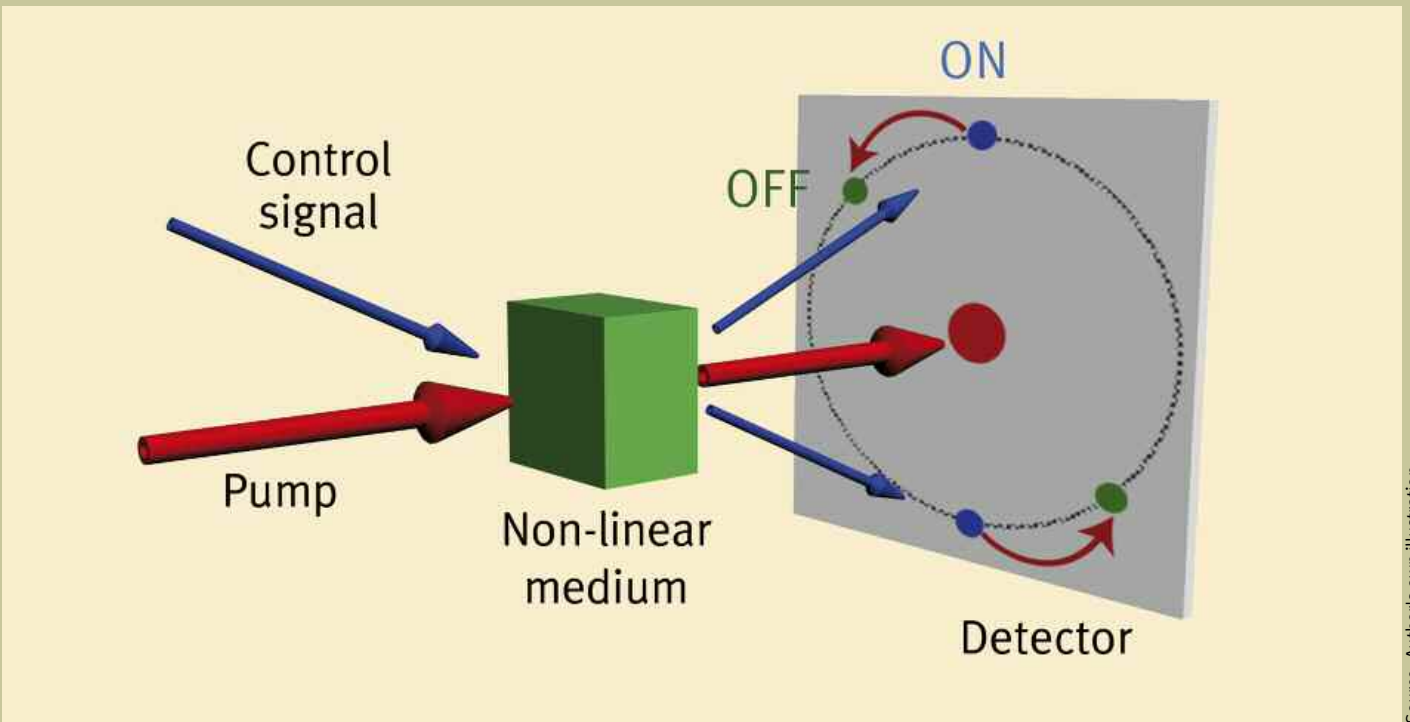
**Self-organisation and spontaneous formation of regular structures are ubiquitous phenomena in nature. Spontaneous spatial patterns can be used in non-linear optical systems to implement highly efficient optical switches. In semiconductor nanostructures, such a switch effect is based on a fascinating interplay between non-linear physics and many-body effects.**

Prominent examples of spontaneously formed regular spatial structures in nature range from structures in water-flooded sand to animal coat patterns and geographical variations in the population of parasitic insects [1]. These diverse phenomena are an impressive reminder that certain observables do not necessarily reflect the homogeneity of the actual system, not even in spatially homogeneous systems. This is an instance of self-organisation and spontaneous symmetry breaking in non-linear systems. Observables in linear systems change in proportion to an excitation or a driving force. This may be fundamentally different in non-linear systems. The behaviour of non-linear systems can depend drastically on excitation intensity so that the system behaviour does not change continuously but rather in leaps and bounds when a critical excitation intensity is reached. The microscopic mechanisms that lead to non-linear behaviour and finally to pattern formation are as diverse as the phenomena themselves.

Light is excellently suited for long-distance data transmission. However, processing in communication network nodes often requires optical signals

to be converted into electrical signals and re-converted into optical signals for further transmission. Processing includes the reading or targeted forwarding of data, which can be easily implemented in electronic circuits. Purely optical approaches eliminate the conversion into electrical signals. A key element in optical circuits is a purely optical switch. Its characteristic feature is that a light signal is changed or switched by another light signal, e.g., in its amplitude, its direction of propagation or its polarisation state. Since electromagnetic waves such as light signals can superimpose and penetrate each other (principle of superposition), such switching processes can only be achieved in non-linear optical media. Furthermore, increasing miniaturisation calls for optical components which can operate using a small number of light particles (photons), i.e., at very low switching intensities. Unfortunately, optical non-linearities are mostly intrinsically weak so that no relevant signal changes or switching processes can be effected at low intensities.

One approach to enable switching processes at very low switching intensities is based on optical patterns [2]. The switch settings are coded in the spatial orientation of such patterns (Figure 1). In addition, it can be shown that this optical switching principle meets the essential requirement of cascadeability. For instance, it has been possible to prove transistor-like behaviour where stronger optical signals are switched by weak optical control signals. The underlying mechanism relies on transitions between different system states or



Source: Author's own illustration

Fig. 1: Simplified illustration of a switching process based on optical patterns in a non-linear medium. The figure shows the ON state. When the control signal is switched off, the system and the detected signal revert to the OFF state.

phases. Minor perturbations result in abrupt changes of macroscopic behaviour. The switch setting can thus be changed by a very small control signal.

The various patterns or states which are of importance here are illustrated in Figure 2. If no patterns are formed, the spatially homogeneous behaviour reflects system symmetry. In the parameter range where pattern formation occurs, a hexagonal pattern is one of the preferred structures. Stripe patterns which are detected as two spots on the screen, as shown in Figure 1, can originate from hexagons and are formed, e.g., by slightly tilting the exciting light beam (pump). These can then be used as a starting point for switching by activating a control pulse to deflect the two emitted light signals in another spatial direction. These signals revert back to their initial direction when the control pulse is removed.

**Implementation in a compact semiconductor nanostructure**

The principle discussed above was first demonstrated using a hot atomic gas as a non-linear medium [2]. One way to implement the fundamental principles in a compact semiconductor element is to use a quantum well microresonator as implemented in [4] (Figure 3). The approaches and results presented below have been elaborated in Schumacher's working group in cooperation with colleagues at the École Normale Supérieure in Paris, at the University of Arizona, Tucson (USA), and at the Chinese University of Hong Kong [3–5].

In its simplest form, a quantum well microresonator has two optical mirrors and a semiconduc-

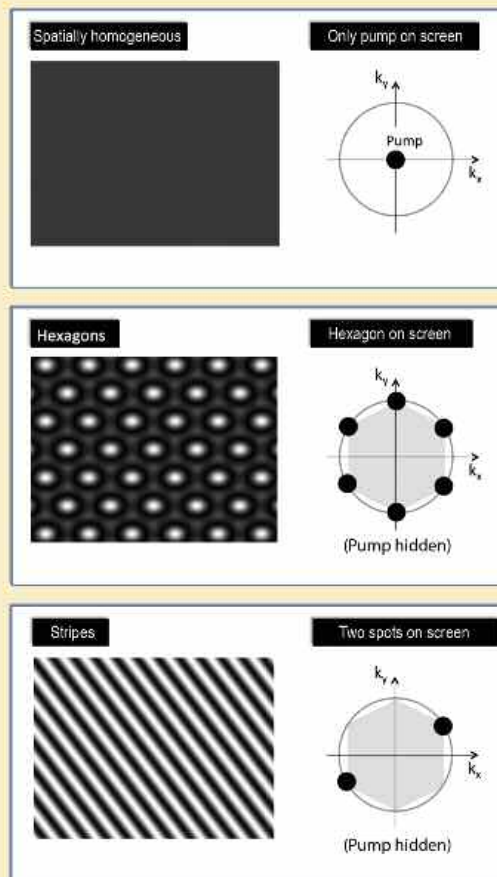


Fig. 2: Left: Spatial intensity distribution in a non-linear medium. Right: Associated patterns on the detection screen.

Source: Author's own illustration

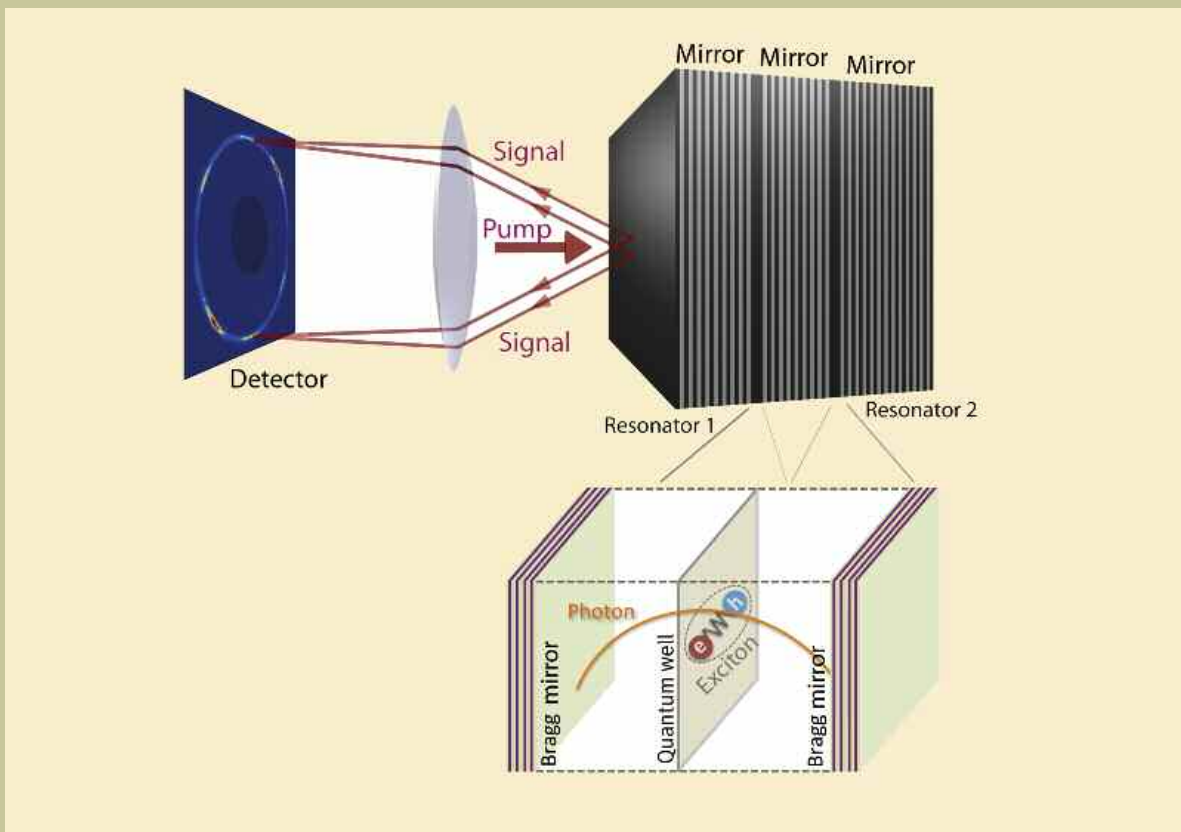


Fig. 3: Optical patterns implemented in a double semiconductor microresonator as in [4]. Schematic illustration of a semiconductor microresonator with excitonic excitations in the quantum well connected to light fields trapped between the mirrors.

Source: Author's own illustration

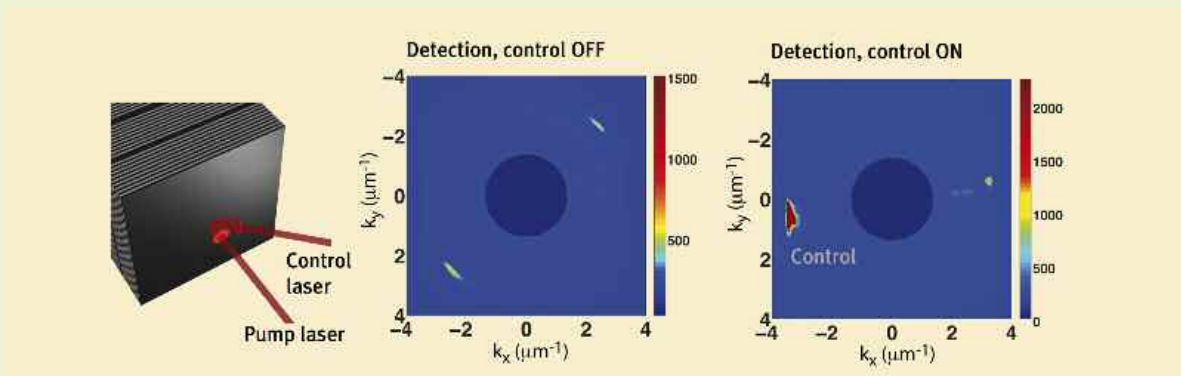
tor quantum well, the mirrors forming an optical resonator and trapping the light field for better connection, and the semiconductor quantum well having resonant excitations of electron-hole pairs, known as excitons. The excitations in this system behave partly like light so that they can be read and controlled through the one-way mirrors, and partly like particles whose interactions lead to optical non-linearities. The fundamental physics behind these non-linearities is totally different from the atomic system and is related to complicated many-body interactions and scattering among the quantum-mechanical particles [3]. However, the fundamental principle of pattern formation and of the controlled transitions between the different states is transferable [3].

The experimental implementation in [4] required a tailored structure with two coupled resonators which can be fabricated using modern epitaxial crystal growth methods. This system results in "spontaneous" emission of coherent optical signals which can leave the system under a finite angle and be observed on a detection screen (Figure 3).

**Optical pattern control**

When a hexagonal pattern has formed, it can be transformed into other patterns by modifying the optical excitation. For instance, slight tilting of the pump laser leads to instability of the hexagon so that only two spots are observed on the screen (Figure 4). If an additional control beam is

Fig. 4: Experiment on switching with patterns. Data from [4].



Source: Author's own illustration

Source: Author's own illustration

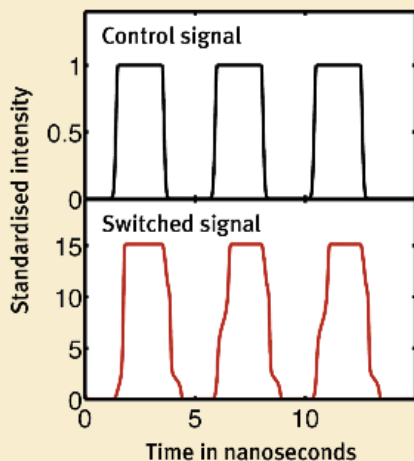
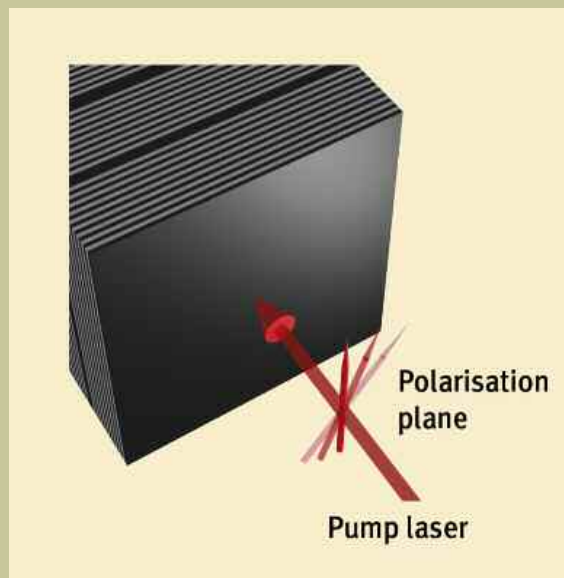


Fig. 5: Numerically computed switching sequence as in [5].



Source: Author's own illustration

Fig. 6: Control of spatial pattern orientation by rotating the light polarisation.

switched on, the signal can be switched. As illustrated in Figure 5, the computed dynamics of this process shows that the switching process runs in a timescale of 100 picoseconds, i.e., one ten thousandth of one millionth of a second. Furthermore, the computed signal clearly shows the transistor-like behaviour of the system: the switched signal is more intense than the control signal needed for switching.

### Quantum properties open up new possibilities

The quantum properties of excitations in the system open up new fascinating possibilities. These properties include the intrinsic spin of the electronic excitations (excitons) in the semiconductor material, which determines the polarisation states of the excitations. The interplay with the non-linear many-body interactions results in the possibility to control the spatial orientation of optical patterns by using the polarisation of the incident light (Figure 6) as well as to induce directed spin flows in the pattern.

### Outlook

Pattern formation and its optical control in semiconductor microresonators relate to various fields of physics such as non-linear optics, non-linear dynamics as well as semiconductor and many-body physics. Not least due to this fact, this field holds much exciting potential for fundamental research. With regard to optical technologies, semiconductor materials with a large band gap such as gallium nitride and zinc oxide as well as organic molecular systems [6] will play an important part in the future. Electrically pumped

microresonators also open up entirely new possibilities [7]. Equally, quantum correlations and the quantum-optical understanding of pattern control using only few light particles (photons) seem particularly fascinating and promising for future fundamental investigations and possible applications.

### References

- [1] CROSS, MC. & HOHENBERG, PC. PATTERN FORMATION OUTSIDE OF EQUILIBRIUM. REVIEWS OF MODERN PHYSICS 65, 851–1112 (1993).
- [2] DAWES, AMC., ILLING, L., CLARK, SM. & GAUTHIER, DJ. ALL-OPTICAL SWITCHING IN RUBIDIUM VAPOR. SCIENCE 308, 672–674 (2005).
- [3] DAWES, AMC., GAUTHIER, DJ., SCHUMACHER, S., KWONG, NH., BINDER, R., SMIRL, AL. TRANSVERSE OPTICAL PATTERNS FOR ULTRA-LOW-LIGHT-LEVEL ALL-OPTICAL SWITCHING. LASER & PHOTONICS REVIEWS 4, 221–243 (2010).
- [4] ARDIZZONE, V., LEWANDOWSKI, P., LUK, MH., TSE, YC., KWONG, NH., LÜCKE, A., ABBARCHI, M., BAUDIN, E., GALOPIN, E., BLOCH, J., LEMAITRE, A., LEUNG, PT., ROUSSIGNOL, P., BINDER, R., TIGNON, J., SCHUMACHER, S. FORMATION AND CONTROL OF TURING PATTERNS IN A COHERENT QUANTUM FLUID. SCIENTIFIC REPORTS 3, 3016 (2013).



[5] LUK, MH., TSE, YC., KWONG, NH., LEUNG, PT., LEWANDOWSKI, P., BINDER, R., SCHUMACHER, S. TRANSVERSE OPTICAL INSTABILITY PATTERNS IN SEMICONDUCTOR MICROCAVITIES: POLARITON SCATTERING AND LOW-INTENSITY ALL-OPTICAL SWITCHING. PHYSICAL REVIEW B 87, 205307 (2013).

[6] PLUMHOF, JD., STÖFERLE, T., MAI, L., SCHERF, U., MAHRT, RF. ROOM-TEMPERATURE BOSE-EINSTEIN CONDENSATION OF CAVITY EXCITON-POLARITONS IN A POLYMER. NATURE MATERIALS 13, 247 (2014).

[7] SCHNEIDER, C., RAHIMI-IMAN, A., YOUNG KIM, N., FISCHER, J., SAVENKO, GI., AMTHOR, M., LERMER, M., WOLF, A., WORSCHKECH, L., KULAKOVSKII, VD., SHELYKH, IA., KAMP, M., REITZENSTEIN, S., FORCHEL, A., YAMAMOTO, Y., HÖFLING, S. AN ELECTRICALLY PUMPED POLARITON LASER. NATURE 497, 348 (2013).

### **Acknowledgements**

The author gratefully acknowledges funding by the German Research Foundation DFG (SCHU 1980/ 5-1 and GRK 1464) as well as computing time granted by the PC<sup>2</sup> Paderborn Center for Parallel Computing. Particular thanks are due to Professor Jérôme Tignon at the École Normale Supérieure in Paris and Professor Rolf Binder at the University of Arizona and their groups for the successful long-term cooperation, and also to the physicist Przemyslaw Lewandowski for his efforts invested as doctoral candidate in this project by Schumacher's working group.

### **Inquiries**

**Jun.-Prof. Dr. Stefan Schumacher**

**Fakultät für Naturwissenschaften**

**Department Physik und Center for Optoelectronics & Photonics Paderborn (CeOPP)**

**+49(0)5251 60-2334**

**stefan.schumacher@upb.de**



# 100 gigabits per second and more for high-speed wireless Internet service

*New ultra-fast data transmission techniques for tomorrow's Internet*

By J. Christoph Scheytt  
and Abdul Rehman Javed



**Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt** studied and obtained his doctorate in electrical engineering at the Ruhr University of Bochum. After working in the industry in the field of microchip design and a research position as manager of the Circuit Design department at the IHP Leibniz Institute, he was offered a professorship at the University of Paderborn in 2012. Since then he has been Professor of System and Circuit Technology at the university's Heinz Nixdorf Institute. His fields of research are the design of fast integrated circuits for communication and sensor technology as well as silicon photonics.

**We live in the age of high-speed Internet. In particular, portable computers such as smartphones, tablets and notebooks need ever faster wireless Internet access in daily use. The rapidly growing number of users and applications requires the development of ever more innovative mobile terminals and technologies as well as ever higher transmission rates and transmission qualities (or quality of services). An increasing need for high-speed wireless networks is apparent, e.g., in consumer and home electronics. Examples are wireless ultra-high definition and 3D TV screens, wireless connections to peripherals such as video players or hard disks, data synchronisation and general wireless data transmission within computer networks and clusters [1].**

## High-speed data networks

Today, high-speed data networks are primarily based on fibre-optical communication. However, the high cost of installing fibre-optical cables is a frequent impediment to providing fast Internet access for users in rural and even urban areas. Wireless high-speed networks are an attractive alternative. Unfortunately, technologies for wireless data transmission at a rate of 100 gigabits per second and more are not available, unlike with fibre-optical communication.

Traditionally, wireless data transmission developments have always lagged behind wired technologies. Meanwhile, WiFi (wireless fidelity) offers a theoretical data rate of 6.7 gigabits per second

(IEEE 802.11ac). Introduced in 2013, LTE and WiMax (IEEE 802.16m) offer theoretical data rates of 1.2 gigabits per second, and WiGig tri-band offers rates up to 7 gigabits per second [2]. Systems with transmission rates of 10 and even 40 gigabits per second over short distances are described in the literature. By contrast, the 100-gigabit Ethernet (100 GbE), which runs on fibre optics, was already introduced in 2012.

## Energy efficiency

A key requirement for mobile terminals is low power consumption, which, in particular, extends battery hours and reduces costs. On average, battery capacity increases by approx. 20 percent every five years [1], while the increased integration density of circuits also contributes to energy savings. Nonetheless, the high power consumption of state-of-the-art mobile devices accommodating data rates of 100 gigabits per second would allow only a few minutes of battery operation. Essential innovations and research impulses are required in this field to implement such energy-efficient technologies.

Our objective is the development of new technologies for high-speed wireless Internet to considerably reduce power consumption for longer battery uptime. To achieve this, we are using higher bandwidths in the high-frequency range, combined with mixed analogue-digital approaches from signal processing to replace less energy-efficient digital signal processing techniques.

To help the reader understand our research, we



Smartphones, tablets and laptops communicate via fast radio links.

Source: fotolia.com (Julien Eichinger)

briefly discuss some of the fundamentals of wireless data transmission before going into further detail.

### Wireless data transmission

Data are usually processed electronically as digital information in the form of zeros and ones (bits and bytes). For wireless transmission, these digital data must first be converted into analogue signals by a digital-to-analogue converter. The actual data transmission is then based on the analogue modulation (modification) of a waveform, known as a carrier wave, by the wanted signal to radio-transmit information over long distances. Typically, information is superimposed on the phase and amplitude of a carrier wave and transmitted by means of a sending antenna. The carrier wave is a high-frequency signal of several mega- or gigahertz. A receiving antenna then receives this signal including unwanted interference (Figure 2a). In the receiver, the signal is first amplified in a pre-processing step during which interfering signals are reduced by filtering.

The amplified signal is then demodulated by a baseband receiver, i.e., the information contained in it is recovered. A conventional baseband receiver for digital communication receives analogue signals, converts them into digital information in an analogue-to-digital converter and then extracts the information in a digital signal processor (DSP) by using digital signal processing techniques. In settings with transmission speeds of 100 gigabits per second, it becomes apparent that the two

converters and the DSP have by far the highest power consumption in the entire processing chain.

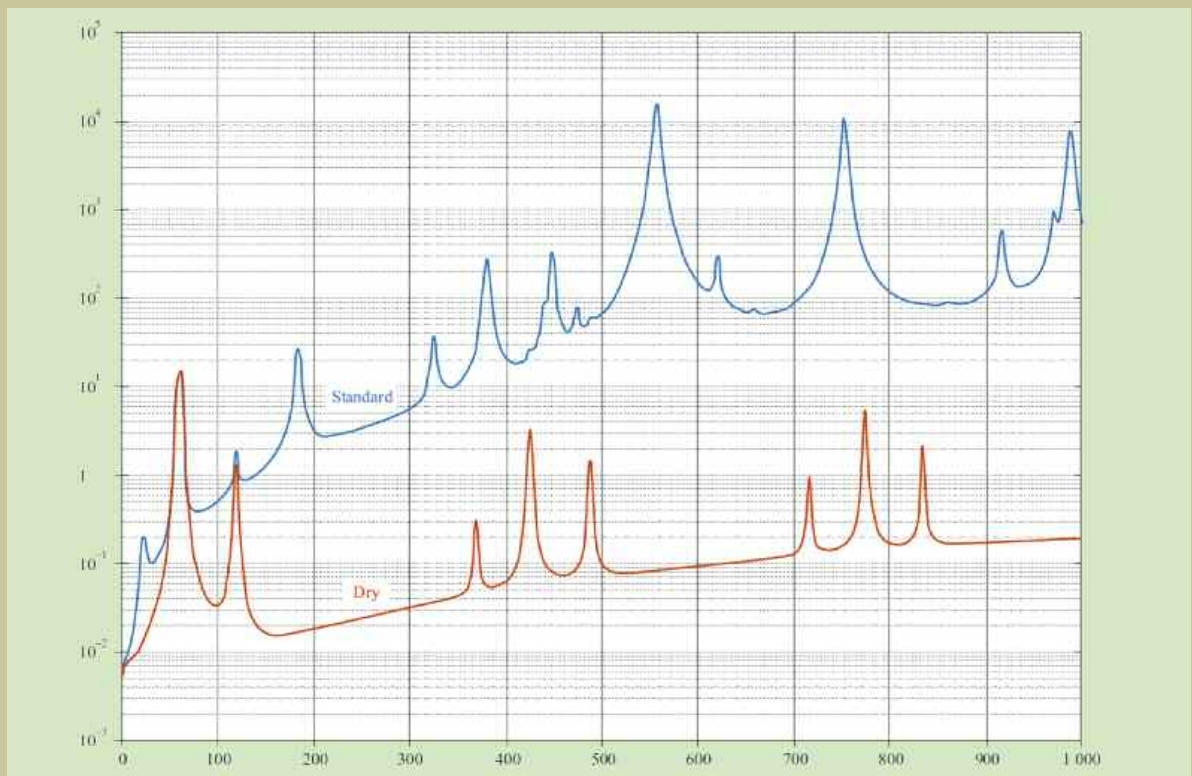
### Frequency ranges

The number of communication channels is limited, so they are valuable resources that need to be used efficiently. Currently, the low range of the high-frequency spectrum up to approx. 40 GHz is reserved for a large number of applications such as TV broadcasting, navigation, Bluetooth, radar, WiFi, etc. At the other end of the scale, there are several frequency ranges at 60 GHz, 120 GHz, 180 GHz and 325 GHz where transmission is attenuated by the molecules in the atmosphere, reducing the transmission range significantly [3] (Figure 1). However, the zones between these four ranges offer large contiguous frequency spectra for further use. While the frequency ranges at 35 and 90 GHz are already in use, a large bandwidth of 25–50 GHz in the over 200 GHz range is still freely available. To achieve high-speed transmission, this bandwidth must be used efficiently and divided into sub-bands (Figure 1).

As mentioned above, conventional baseband signal processing has the disadvantage that it requires complex data conversion techniques and thus very fast DSPs with very high power consumption, which makes the technology unsuitable for use with energy-efficient microchips. Analogue-based baseband architectures offer new approaches for energy-efficient signal processing. Our approach uses the parallel sequence spread



Fig. 1: Frequency-dependent attenuation by molecules in the atmosphere [3].



Source: International Telecommunication Union (ITU)

spectrum (PSSS) technology, which is equally suitable for both digital and analogue signal processing (Figure 2b). This technology allows DSPs and the common high-resolution analogue-to-digital converters to be replaced by considerably more energy-efficient analogue signal processing components. On the one hand, this means eliminating complex energy-inefficient DSP computing; on the other, analogue-to-digital conversion can be done in a later step with far lower requirements concerning speed and resolution [4] (Figures 2a and 2b).

### PSSS (Parallel Sequence Spread Spectrum)

PSSS is particularly suited for conversion in mixed digital-analogue circuits. As its name indicates, this is a technology where a signal of a given bandwidth in the frequency range is mapped (spread) to a larger bandwidth. The transmitted signal is thus more fail-safe against natural interference, frequency-specific attenuation and other disturbances. The core idea lies in coding the individual bits with unique independent (orthogonal) codes (Figure 3). The codes are selected such that all bits can be sent at the same time in one data package, and the receiver can recover the data in parallel from the package using the decoding codes. The available large bandwidth in the high-frequency range allows for a very high degree of parallelisation at a very high transmission speed, which in turn allows for very high data transmission rates [7]. First research results confirm that this technology leads to significantly reduced power consumption based on essentially less

circuit complexity provided coding and decoding are implemented as analogue circuitry [8]. Researchers are currently working on a mixed analogue-digital baseband processor chip with a data rate of 100 gigabits per second.

Professor Scheytt's group at the Heinz Nixdorf Institute of the University of Paderborn is developing PSSS for use in wireless high-speed networks. The circuits are designed in Paderborn and manufactured at the IHP Institute in Frankfurt/Oder. To test the manufactured integrated circuits, which are just a few millimetres in size, the unpackaged die is fastened to a wafer test station. The contact between the measuring device and the die is crucial since the two are connected by ultra-thin probes and special high-frequency cables (Figure 4). Thus, a test can be run at an operating frequency of 250 GHz at both the sender and the receiver (Figure 4).

The combination of different technologies – such as antennas, amplifiers and filters – and various techniques – such as error detection and correction as well as compression – requires close technical cooperation with other research and development partners [5][6].

This project, entitled Real100G.com, is funded by the German Research Foundation (DFG) under the priority programme SPP 1655 (Wireless Ultra High Data Rate Communication for Mobile Internet Access). Cooperation partners are the Heinz Nixdorf Institute and the University of Stuttgart, the Brandenburg University of Technology (BTU) in Cottbus and IHP GmbH (Leibniz Institute – Innovations for High Performance Microelectronics).

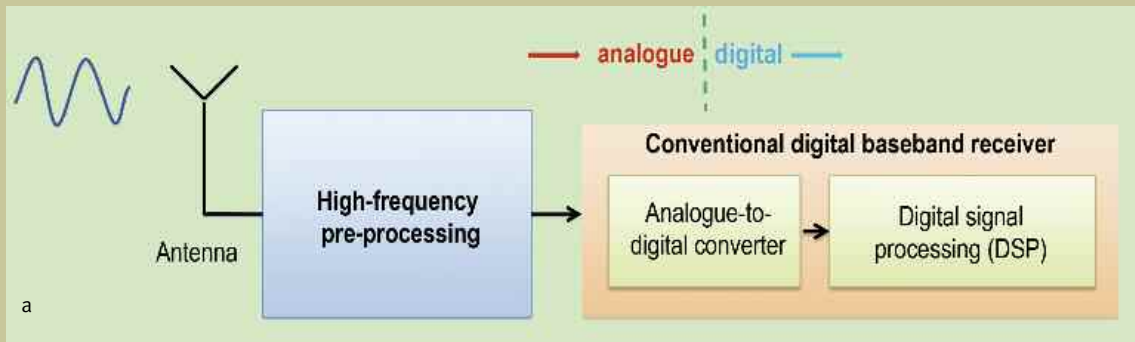


Fig. 2a: Principle of wireless transmission.

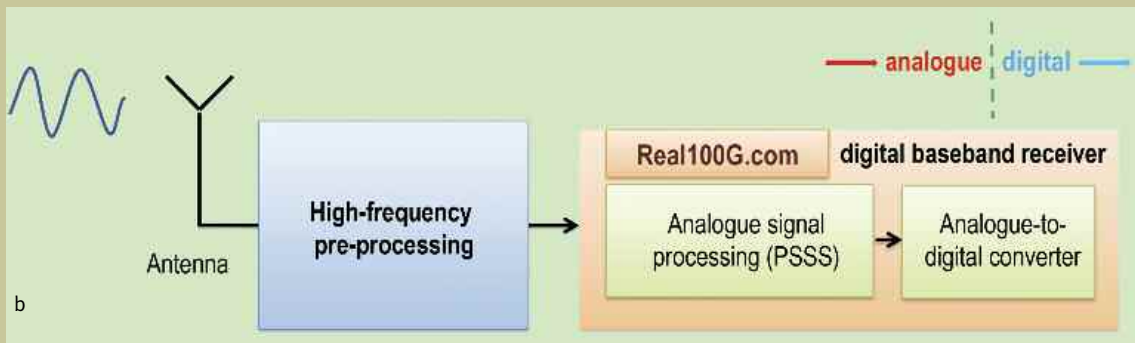


Fig. 2b: Real100G.com PSSS baseband receiver.

Source: Author's own illustrations

Source: Author's own illustrations

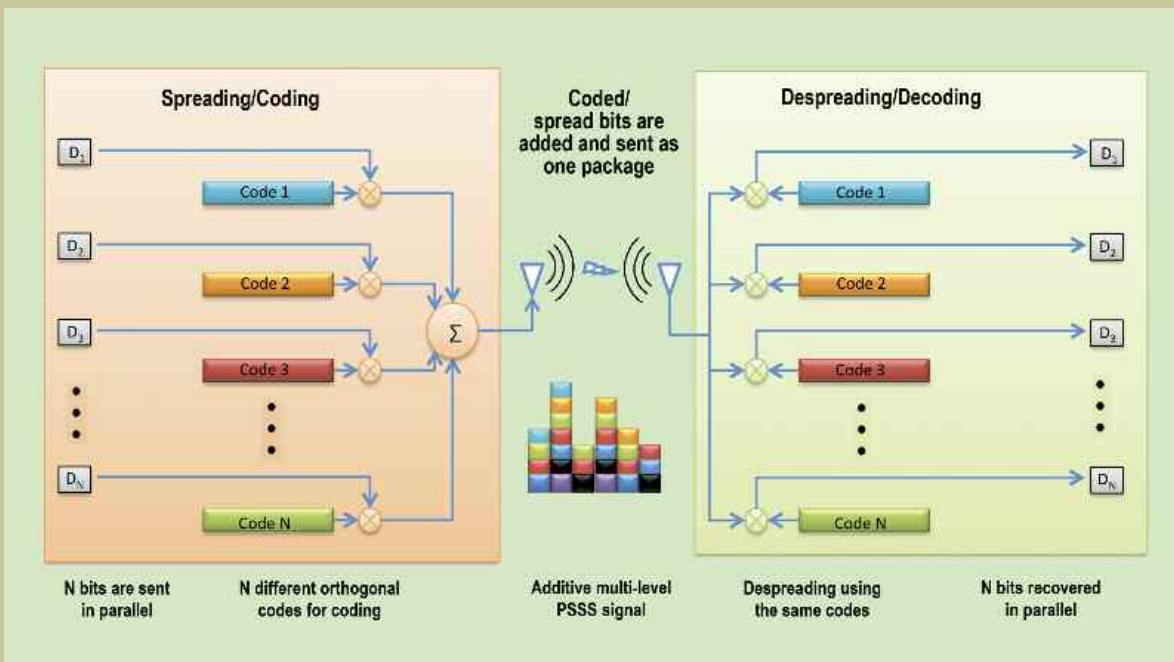


Fig. 3: PSSS coding and decoding of parallel data flows.

**References**

- [1] P. SMULDERS, THE ROAD TO 100 GB/S WIRELESS AND BEYOND: BASIC ISSUES AND KEY DIRECTIONS. IEEE COMMUNICATION MAGAZINE, PP. 86–91, DECEMBER 2013.
- [2] J. WELLS, FASTER THAN FIBER: THE FUTURE OF MULTI-GB/S WIRELESS. IEEE MICROWAVE MAGAZINE, PP. 104–112, MAY 2009.
- [3] ITU-R REC. P. 676-10, ATTENUATION BY ATMOSPHERIC GASES. SEPTEMBER 2013 [HTTPS://WWW.ITU.INT/DMS\\_PUBREC/ITU-R/REC/P/R-REC-P.676-10-201309-!#!PDF-E.PDF](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-10-201309-!#!PDF-E.PDF).
- [4] J.C. SCHEYTT, WIRELESS 100GB/S USING A POWER AND HARDWARE-EFFICIENT APPROACH. IN: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION (ICC 2013), BUDAPEST, JUNE 2013.

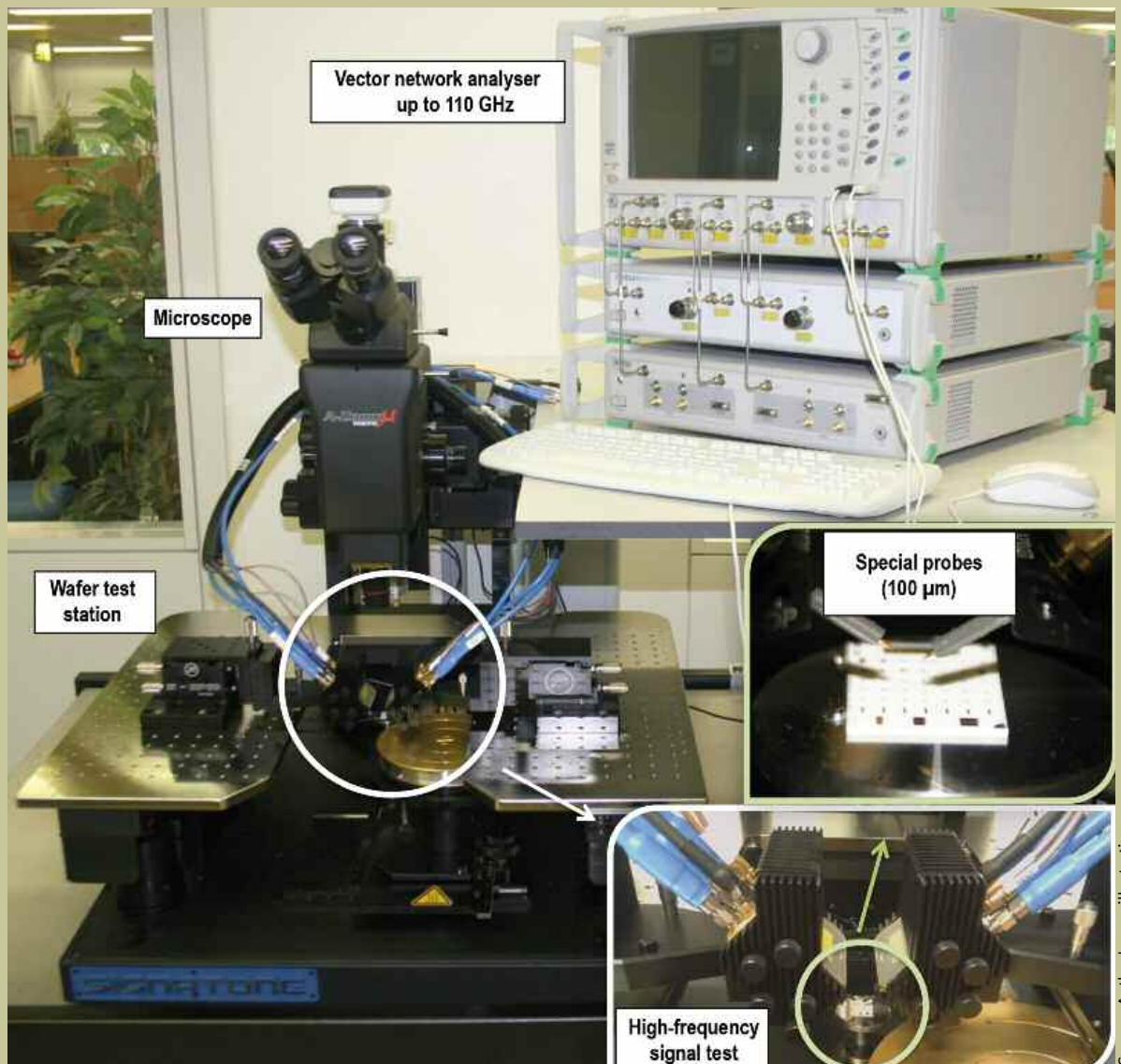


Fig. 4: Wafer test station for high-frequency ICs with broadband vector network analyser at the Heinz Nixdorf Institute.

Source: Author's own illustrations

- [5] R. KRAEMER, WIRELESS 100 GB/S AND BEYOND: A SPECIAL FOCUS PROGRAM OF THE GERMAN SCIENTIFIC FOUNDATION. IN: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION (ICC 2013), BUDAPEST, HUNGARY, JUNE 2013.
- [6] J.C. SCHEYTT, R. KRAEMER, I. KALLFASS, STRATEGIES FOR ENERGY EFFICIENT 100 GB/S BASEBAND PROCESSING USING MIXED ANALOG/DIGITAL SIGNAL PROCESSING. IN: WORKSHOP W 19 (EuMC & EuMIC) EUROPEAN MICROWAVE WEEK, NUREMBERG, GERMANY, OCTOBER 2013.
- [7] H. SCHWETLICK, A. WOLF, PSSS – PARALLEL SEQUENCE SPREAD SPECTRUM. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONSUMER ELECTRONICS (IEEE 2004), READING, ENGLAND, SEPTEMBER 2014.
- [8] A. WOLF, R. KRAEMER, J.C. SCHEYTT, ULTRA HIGH SPEED WIRELESS COMMUNICATION WITH LOW COMPLEXITY TRANSCIVER. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SIGNALS, SYSTEMS, AND ELECTRONICS (ISSSE 2012), POTSDAM, GERMANY, OCTOBER 2012.



**Abdul Rehman Javed** has been research associate in the System and Circuit Technology Research Group since December 2012. He designs fast integrated circuits for high data rate communication. These circuits will enable future ultra-fast wireless Internet connections for a new generation of devices with sophisticated applications.

**Inquiries**

**Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt**

**Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik**

**Heinz-Nixdorf-Institut, FG Schaltungstechnik**

**+49(0)5251 60-6350**

**cscheytt@hni.upb.de**

**Inquiries**

**Abdul Rehman Javed**

**Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik**

**Heinz-Nixdorf-Institut, FG Schaltungstechnik**

**+49(0)5251 60-6353**

**arjaved@hni.upb.de**



# Sensor-based e-commerce – the next generation?

*For what technologies should the retail sector prepare itself?*

By Joachim Fischer and André Wickenhöfer



**Prof. Dr. rer. pol. Joachim Fischer** is Professor of Business Information Systems at the University of Paderborn. His teaching, practical and research focus is on business-internal (specifically SAP ERP) and intraorganisational information systems (IOS). Aspects here include the usability of contracts and the rules and data they contain, as well as the integration of mobile terminal devices and embedded sensors in information systems.

**Smartphones are no longer the domain of the younger generation. Smartphone apps make it easier for users to find their way around, communicate and do web searches online. The sensors embedded in these devices gather data that is also useful for third parties. This can give brick-and-mortar retailers the same advantages as their online retail peers already have today: the possibility to analyse customer data and optimise their logistics, product ranges and pricing levels, amongst other benefits.**

Retail means change – never before has this truism been as valid as in recent years. The major retailers of old failed to spot the developments in electronic media and now their very existence is under threat from a small number of online competitors. Thanks to e-commerce, consumers can use their smartphones to browse product reviews, prices and competing offers – and inde-

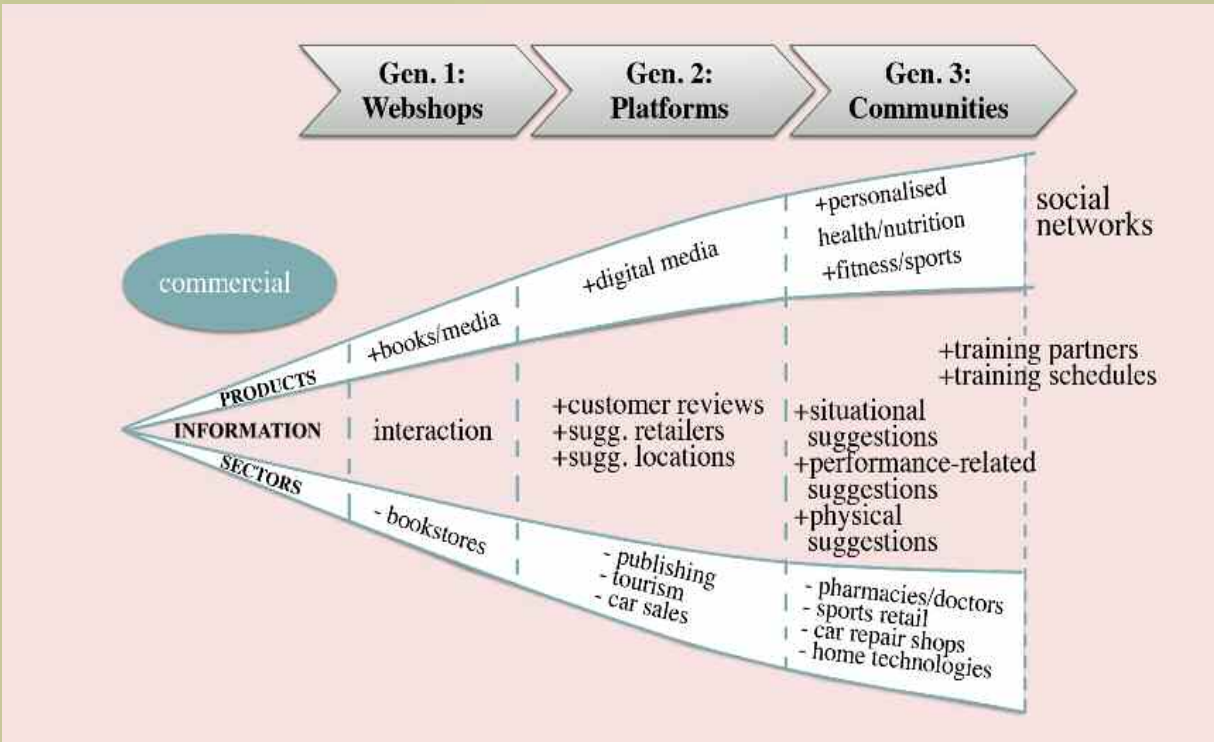
pendently of whether they actually buy or not, this sharpens the competitive edge of eBay, Amazon and others since it gives them valuable data that they (can) analyse.

As mobile devices become more powerful and are bought by a rising number of users both young and old, online retail is permeating sectors such as furniture or footwear that previously considered themselves immune to new developments for reasons relating to logistics, fashion or configuration (cf. Heinemann 2014, p. 3ff). The benefits of online retail do not consist of lower personnel or rental costs - rather, they consist of the availability of valuable data on customer behaviour, which helps retailers to improve their logistics, product ranges and pricing levels. These benefits can be further enhanced by the integration of additional electronic sensors in mobile devices. For decades our research team has been working to examine the consequences of this increased dynamism in

Technologies	Applications	Cooperating sectors and projects
Electronic Data Interchange (EDI)	Exchange of business data between tradespeople, wholesalers and manufacturers (1989 to 1999)	Plumbing and home technology sector (supported project: MOVE), Schloss & Beschlag (supported locksmiths' project)
Parallel computers/Big Data	Sales and billing data analysis (1996 to 2006)	Food retailing (cooperation DIAMANT)
Smartphones and embedded sensors	Customer advice (2008 to present)	Sports retail Plumbing and home technology sector (supported project: KnowHAU), furniture industry

Table 1: Retail-related research projects in the Department of Business Information Systems.

Source: Author's own illustration



Source: Author's own illustration

Fig. 1: Commercial aspects of e-commerce through the generations.

ICT for the retail sector (Table 1). Research and teaching projects are studying the potential uses of mobile devices and the sensors embedded in them, and how they can connect to business information systems (Figure 6).

**Three generations of e-commerce**

The development of e-commerce so far can be divided into three “generations” (Figure 1): in the first generation, established retailers and manufacturers aiming to sell directly to the public set up webshops and experimented with online selling in addition to running their brick-and-mortar stores. Only a small number of first-generation e-commerce solutions were commercially viable. Some operations still exist today as an over-the-top channel and depend on their being found by potential customers via an online search (currently mostly via Google) (Figure 1). In the second generation, some solutions – after much investment and years of start-up losses – developed into e-commerce platforms that function much like eBay or Amazon in that they offer their own products as well as those of other retailers, for which they charge them a commission fee (Figure 2). We anticipate that during the third generation, some new and some existing providers will form e-commerce communities that don't just sell products (first generation) and systematically harvest customer reviews (second generation), but also monitor how their customers use the products they have bought and function as a digital-cum-real-life “guide” for customers, rather than as a

mere retailer (cf. Figure 2). So far, this approach has been chosen by publishing houses above all (e.g., Springer), which have built online communities as a complement to their specialist publications (such as sports). These generations are developing in line with the rapid technological developments in communication networks, terminal devices and specifically sensors (Figure 3).

**Relevance of electronic sensors for the retail sector**

A large number of electronic sensors are integrated in modern mobile phones as well as in “wearables” such as watches (Apple Watch, Motorola Moto, Samsung Gear, LG G-Watch), bracelets (Sony Smartband, Garmin Vivofit), spectacles (Google Glass, Recon Jet) and headphones (LG Heart Rate Earphones).

Certain sensors are designed to monitor the wearer's vital signs (e.g., heart rate/pulse, body temperature, respiration frequency, blood oxygen) for medical purposes or to allow athletes to track their physical performance (Figure 4).

Image sensors such as photo and video cameras are becoming more and more powerful and are used by innovative providers to advise customers looking for a certain style of spectacles (Mister Spex), clothing or makeup. When images are standardised in terms of size (by including objects such as CDs or catalogues, whose size is known, in the photograph), it is possible to create a configuration (during the pre-sale phase, see Figure 5) of home interiors (IKEA) or clothing

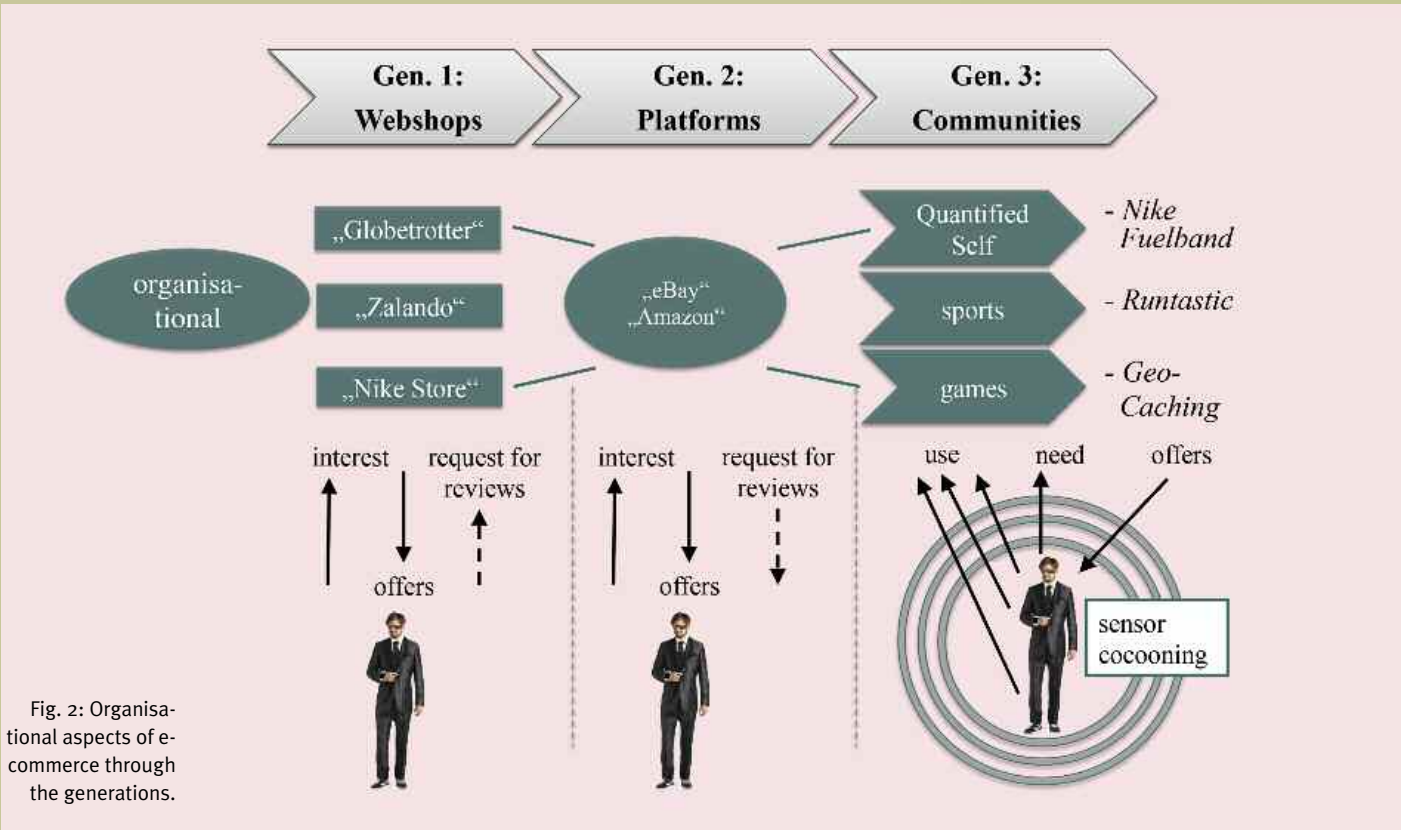


Fig. 2: Organisa-tional aspects of e-commerce through the generations.

(UP cloud), a scenario known as augmented reality. Personal identity sensors (e.g., for fingerprints) are now being integrated in newer smartphone models so users can identify themselves prior to paying for a purchase (Apple's TouchID or Samsung's Finger Scanner). During the sale phase (Figure 5) they can be used to explore customers' preferences and buying histories (e.g., with pharmaceuticals). Satellite navigation-based localisation sensors have been instrumental in popularising smartphones and are used for geographical

orientation and navigation, as well as to verify where products are being used (use phase, Figure 5) . However, they are disabled when the device is inside a building. New technologies (e.g., Apple's iBeacon) have circumvented this problem and can help guide customers in, e.g., shopping malls to products they may be interested in. The data generated by these sensors and by mobile communication in, e.g., social networks (Facebook, WhatsApp, Twitter) shape the way users, both young and old, live their daily lives using smartphones. Smartphones use applica-

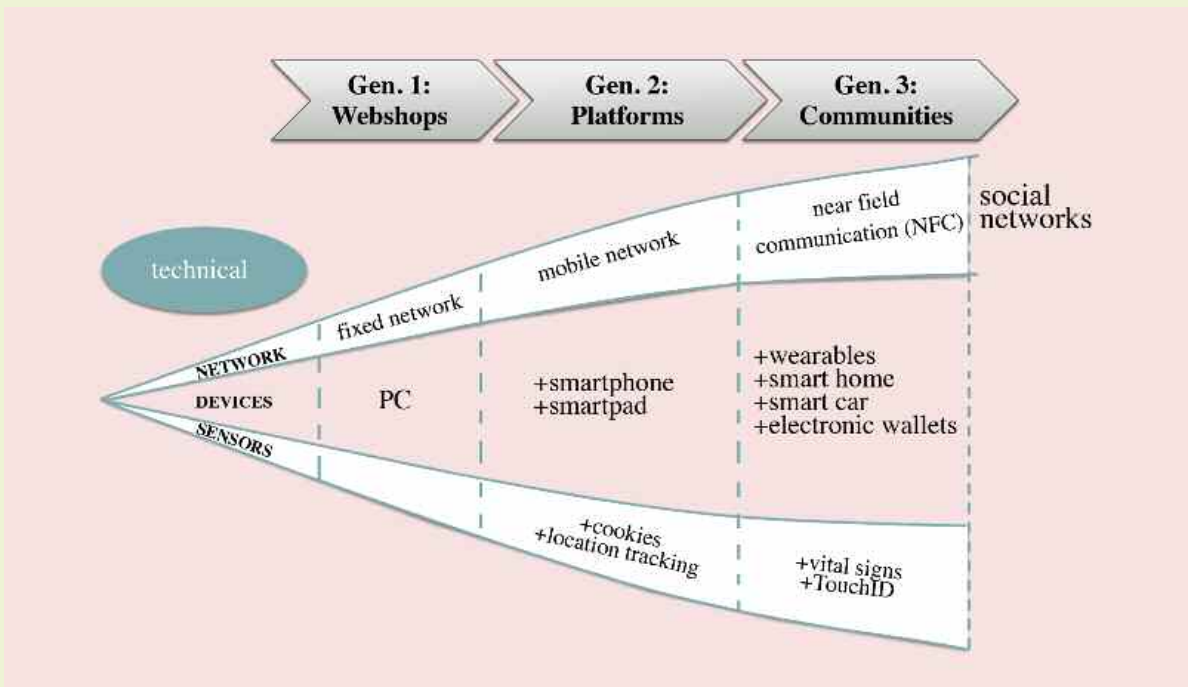
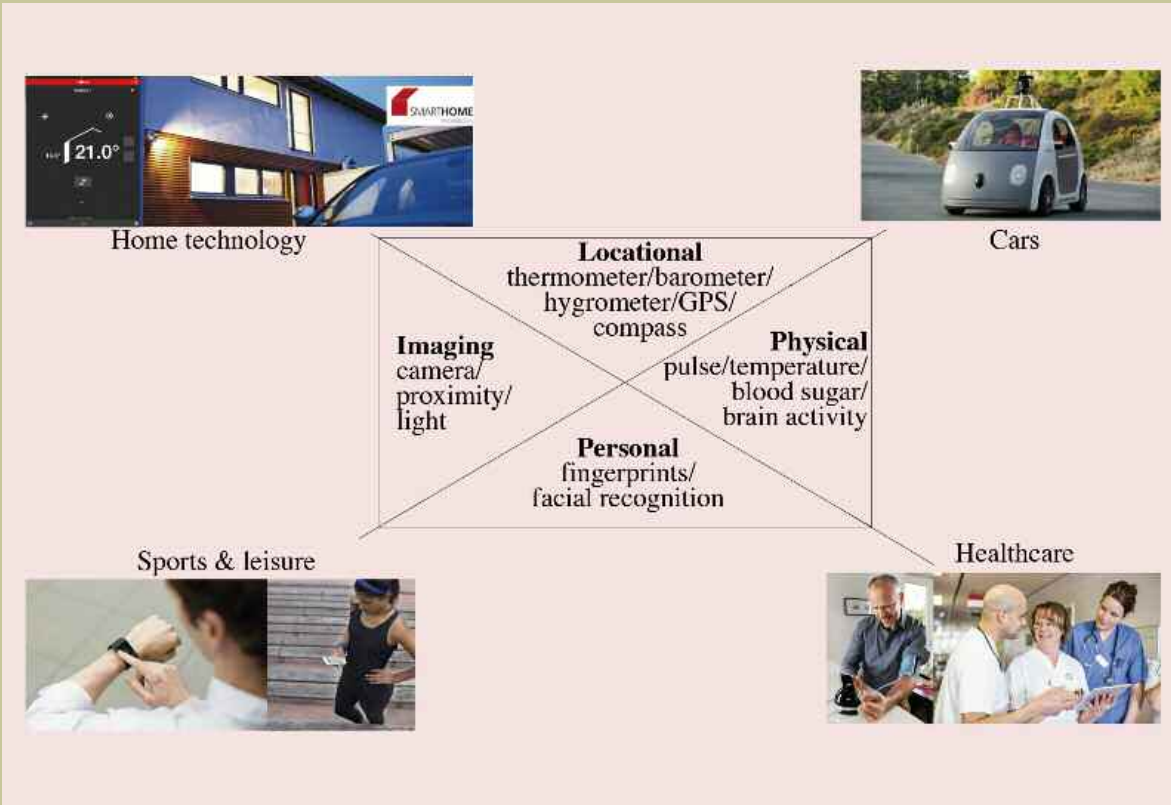


Fig. 3: Technical aspects of e-commerce through the generations.



Source: Author's own illustration (plus images by Viessmann, SmartHome Paderborn e.V., Google, SAP, Telekom, FitBit)

Fig. 4: Types of electronic sensors and digital life-worlds.

tions, or apps for short, that document their users' activities and in some cases also connect to other integrated apps, such as contact data. For instance, there are apps that track and communicate the users' sporting achievements such as running, cycling or rowing (Runtastic, Runkeeper).

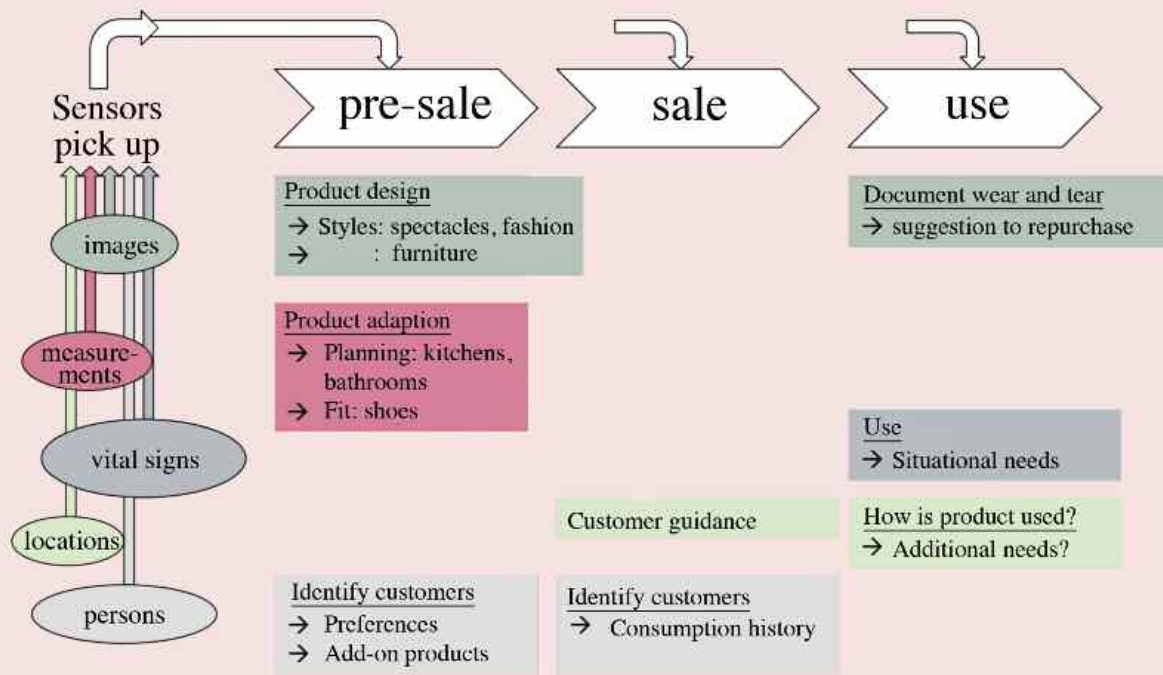
They monitor when the user (name, photograph) goes on a run and what distance they cover, their heartrate, pulse, weight and any fellow runners (again with names and photographs). They track where the run takes place (longitude, latitude, altitude in intervals) and what equipment is used.

Technologies	Explanation	Retail application
Augmented Reality (AR)	AR provides an image of the real world augmented by virtual objects.	Virtual mirrors allow customers to try on clothes without physically having to wear them.
Bluetooth	Near-field communication technology.	Data transmission in-store.
iBeacon	Bluetooth transmitter with a range of approx. ca. 30 m. Can support smartphone navigation inside buildings.	Customers' mobile devices can display additional information or special offers in a certain defined place, e.g., near a given product.
Wearables	Devices worn on the body (e.g., bracelets, spectacles, watches) with sensors that pick up data and transmit it to a smartphone.	Wearables track users' activities and/or vital signs, generating personalised product suggestions.
E-reader	Device enabling the purchase, transfer, storage and reading of digital books and other media.	Capable of tracking and transmitting data on reading behaviour, based on which consumer advice can be generated.
Smartphone	Mobile telephones that function as computers.	Carry apps for various purposes, e.g., shopping lists, navigation, product advice etc.
Enterprise Resource Planning (ERP) systems	Information systems for planning, managing and billing business processes inside a company.	Product range planning, inventory management, billing for products bought and sold.

Table 2: Glossary of technologies mentioned in the text.

Source: Author's own illustration





Source: Author's own illustration

Fig. 5: Types of sensors and their use when communicating with customers.

The apps may also share the data via Facebook, Twitter and other channels, since third parties can sign up to receive it (developer.runkeeper.com). User communities develop whose members communicate with their peers and with the developer of the app (the hub) either personally or via the data gathered by the sensor. The developer can analyse the data for market research purposes, sell it to interested product manufacturers or even act as a product developer itself. These user groups will also likely adopt sensors in other areas of life, such as cars (Smart Car) or home technologies (Smart Home). IT providers such as Google (Nest) and Apple (HomeKit) are making rapid progress with these solutions.

**Developing IS for sensor-based e-commerce**

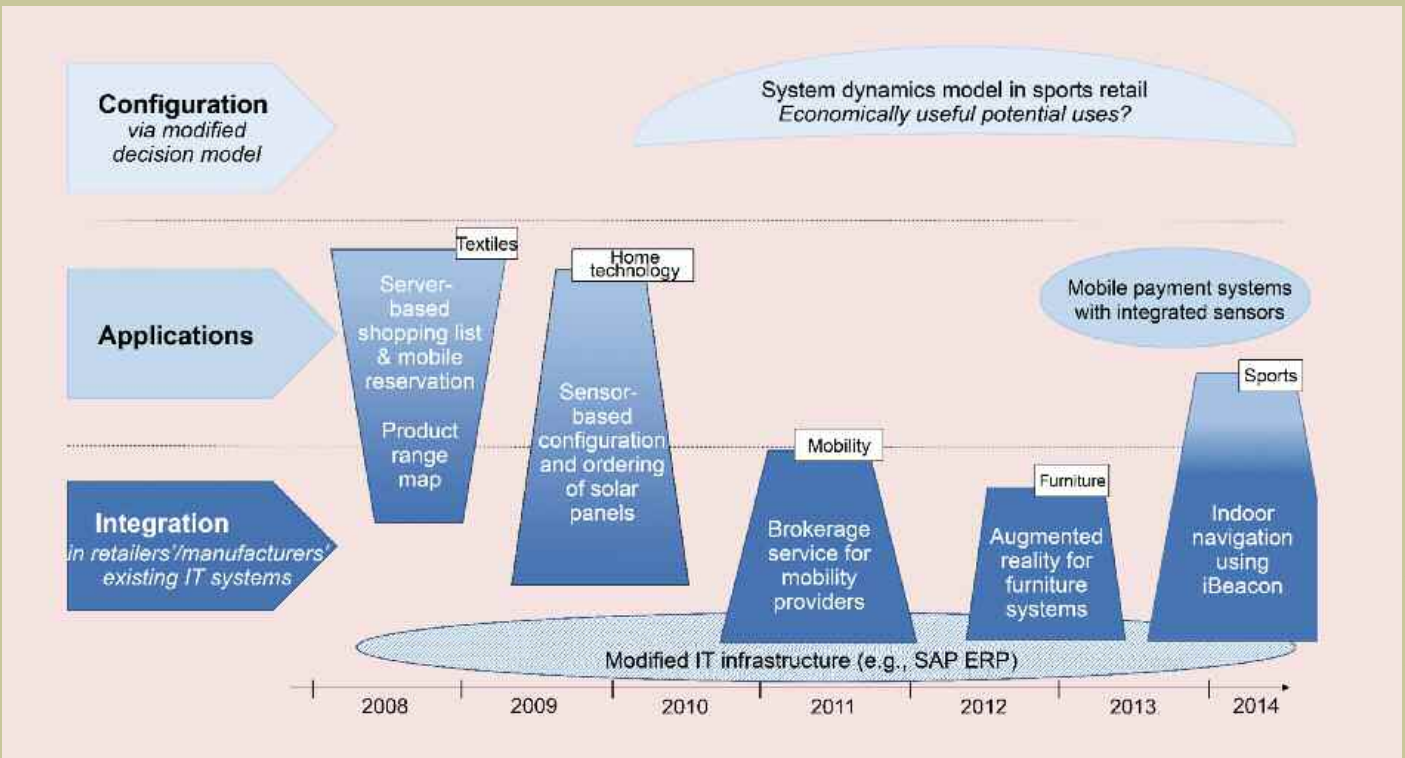
The use of sensor data in e-commerce doesn't just require apps to access users' smartphones - the data has to be modelled beforehand. This is where the real world is merged with the digital world to create a "direal world" where the two are no longer distinct (Maass 2014). These models seek to answer the following questions:

1. What are the "direal life worlds" in which users do sports, for instance? How are these worlds shaped? What sensors deliver what kind of data in these settings (location, climate, vital signs)? What data do users have to enter manually (equipment, age, gender)?
2. How can this data be measured and categorised

across users ("direal performance worlds")? Above what incline at what altitude at what temperature at what age is the user performing at his or her peak? When should the user be sent a health warning? When is this data communicated and to whom?

Smartphone operating systems (Apple iOS, Google Android) aim to define and standardise "direal life and performance worlds" (e.g., Apple Passbook, HealthKit, HomeKit). While these make it easier to integrate sensors and apps, they complicate the use of innovative sensing technologies and the creation of new worlds.

3. What is the connection between "direal life and performance worlds" and the products users require, e.g., equipment, nutrition and training aids ("product worlds")? Answers come from user communities and social networks for athletes or from specialist magazines. Since "product worlds" are heavily shaped by fashions and technical progress, historical data is not always useful in this regard. The existing master data held in ERP systems has to be reordered in such a way that an e-commerce system is capable of learning from the community's organisational responses (forum posts, product reviews) and commercial behaviours (orders, returns, customer complaints), using that information to configure a reliable "product world" that can be adapted and updated to fit various "life and performance worlds".



Source: Author's own illustration

Fig. 6: Relevant research being done in our research group.

In other words, third-generation e-commerce systems are characterised ...

- technically, by the connection to the sensors and user devices, which are constantly being evolved,
- conceptually, by the interpretation of the data gleaned from users' "doreal life and performance worlds",
- organisationally, by users' communication channels and the jargon they use there, and
- commercially, by links between "doreal life and performance worlds" and "product worlds" that are as informative as possible.

In certain areas, this tripartite "doreal world" is best handled by well-trained retail staff, meaning that a renaissance of brick-and-mortar specialist retailers is entirely conceivable even in the third generation of e-commerce. What specialist publications and publishers are doing at the moment hence makes absolute sense.

Since Apple launched the iPhone in 2007, our research group has been examining the integration of mobile devices and embedded sensors in business information systems, specifically SAP ERP and BW. A large number of student-led projects developed mobile apps and linked them up with SAP. One project received funding from the state of North Rhine-Westphalia and the EU to develop a set of applications for the plumbing and electrical trade under the name "knowHAU". At

the moment we are working on preparing brick-and-mortar retailers and their systems to connect with smartphones. A number of dissertations are using simulations to study the commercial benefit of dynamic new retail technologies (Figure 6).

**Potential implications for retail**

While the major online retailers have always had IT expertise and resources, some even selling that expertise to third parties (e.g., Amazon), what little IT know-how there is among brick-and-mortar retailers tends to be limited to logistics and merchandise management. The intelligent use of sensors could deliver valuable additional benefits for online retailers, not just for the biggest among them. Rather, we may see communities developing around certain lifestyle themes, much like the diverse range of specialist print magazines available from newsagents today - indeed, some publishing houses have recognised new business models in this area. Some offer market research data extracted from the communities, while others are selling products designed for community members.

On principle, brick-and-mortar retailers could also use sensor-based data from the communities, however they rarely communicate directly with the members. This direct communication can work via apps, but only if they offer a clear additional benefit, such as an aid to navigation through "worlds" where community members can try out the equipment that's suggested to them and receive useful

information – a concept that outdoor equipment retailer Globetrotter is currently working on.

### Summary

The increasing use of electronic sensors in mobile devices, cars and homes has benefits in the areas of sport, health and also retail. Consumers are given an opportunity to benefit from better advice as they buy and use products, but there are also risks in terms of data privacy and empowerment. Sensor-generated data on one's personal life and product use is fully subject to what in Germany is known as the "right to informational self-determination", which the Federal Constitutional Court has ruled is a fundamental right. It is crucial to urge for this fundamental right to be enshrined in the German constitution so as to raise awareness of the risks and opportunities of the information society (which developments in the retail sector have highlighted very clearly). Business information researchers have done much work on the risks and opportunities for companies, yet there is a conspicuous lack of insight into the risks and opportunities of digitisation for consumers (Oesterle 2014). The debate on the "dereal worlds" of citizens as consumers, patients or drivers in the digital world has only just begun (triggered most likely by the revelations surrounding the NSA's activities).

### References

FASSE S.; EDER S.W.: 2014 IST DAS JAHR DER WEARABLE TECHNOLOGIES. [HTTP://WWW.VDI-NACHRICHTEN.COM/TECHNIK-WIRTSCHAFT/2014-JAHR-WEARABLE-TECHNOLOGIES](http://www.vdi-nachrichten.com/TECHNIK-WIRTSCHAFT/2014-JAHR-WEARABLE-TECHNOLOGIES), ACCESSED ON 03.09.2014.

HEINEMANN, G.: DER NEUE ONLINE-HANDEL – GESCHÄFTSMODELL UND KANALEXZELLELENZ IM E-COMMERCE. 5TH ED., SPRINGER GABLER, WIESBADEN 2014.

HESS, TH.; LEGNER, CH.: DIGITAL LIFE ALS THEMA DER WIRTSCHAFTSINFORMATIK, IN: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 56 (2014) 4, 269–276.

MAASS, W.: DIREALE WELTEN – INTRINSISCHE EINBETTUNG DIGITALER DIENSTE IN REALWELTLICHE ALLTAGSUMGEBUNGEN, IN: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 56 (2014) 4, 272.

OESTERLE, H.: BUSINESS OR LIFE ENGINEERING, IN: HMD 51 (2014) 6, 744–761.



**Dipl.-Wirt.-Inf. André Wickenhöfer** is research assistant at the Chair of Business Information Systems at the University of Paderborn. His main research focus is Digital Life Support for consumers and IT-based contractual planning for private households.

### Inquiries

Prof. Dr. Joachim Fischer

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Wirtschaftsinformatik 1: Betriebswirtschaftliche Informationssysteme

+49 (0)5251 60-3257

[joachim.fischer@wiwi.upb.de](mailto:joachim.fischer@wiwi.upb.de)



Scrolling



Compensated compass



Gaming



Wireless pedometer



Image stabilization



Frefall detection



Health monitoring



Context awareness



Alarms



Activity monitoring



Vibration monitoring



Temperature



Navigation



Weather forecast



Augmented Reality



# Music notation beyond paper

*On developing digital humanities tools for music editing*

By Joachim Veit



**Prof. Dr. Joachim Veit** is editor-in-chief of the Carl Maria von Weber complete edition at the Musicology Seminar Detmold/Paderborn. Since 2006 he has managed a number of digital projects, including Edirom, a German Research Foundation (DFG)-funded project; Freischütz Digital, funded by the Federal Ministry of Education and Research; and, since 2014, the academy project *Beethovens Werkstatt* (“Beethoven’s workshop”) jointly with Prof. Dr. Bernhard R. Appel from Beethoven-Haus in Bonn.

**Early on, the German musicology scene began earning worldwide renown for its voluminous editions of historical and scholarly merit covering the complete works of Bach, Haydn, Mozart, Beethoven and many others – work that has been ongoing ever since the trailblazing issue of a complete edition of Bach’s works between 1851 and 1899 in Leipzig. Around the turn of the millennium, the digital revolution arrived in this world of precious paper monuments to music: over the last few years, staff at the Musicology Seminar Detmold/Paderborn have been working hard to place these sheet music editions on a completely new foundation.**

This development, which one could accurately describe as a *sempre crescendo*, in fact began in a lecture on music editing, when a student asked whether it would be possible to use new media to change what was until then a fairly user-unfriendly way of examining traditional paper-bound editions. In these editions, the actual music and the critical comments on that music are located in different parts of the volume, and the explanations of the musical phenomena are worded in a language that is more complicated than the subject merits. The curious student in question – Ralf Schnieders – subsequently submitted an exam paper in which he proved that it was indeed possible to combine a didactically more effective, visually more informative presentation of musical sources and texts simultaneously on one screen, making it easier for scholars and musicians alike

to make a direct comparison of the various manuscripts and prints.

What began in 2002 in response to a simple desire for more user convenience soon gained traction in the scholarly music editing field, and it became clear that innovative solutions would have to be found in several areas. Several research projects were granted in the years that followed, the outcomes of which came together to form a completely new approach. Thanks to these projects, Detmold/Paderborn rapidly became known as a mecca for digital music editing enthusiasts.

## **Transparency through facsimiles: the Edirom project**

A small-scale, one-year DFG-funded project enabled Schnieders to team up with Detmold/Paderborn’s team from the Carl Maria von Weber complete edition project. They produced the first digital “draft edition” of Weber’s Clarinet Quintet which was then added to the volume of the 2005 complete edition. Their work was impressive evidence that by integrating those sections of facsimiles that are subject to scholarly discussion – a technique that at the time was exceedingly technically complex – it is possible to gain full insight into editorial decisions. This represents an enormous quality gain compared to traditional editions, where the reader usually has no choice other than to blindly trust the editor. In 2006 followed a more extensive DFG-funded project to develop tools for digital scholarly and historical



Fig. 1: Collage demonstrating the various aspects of the Ministry-funded project Freischütz Digital.

Source: B. Bohl, FreiDi project

musical editions, managed by Dr. Johannes Kepper, Dipl. Wirt-Inf. Daniel Röwenstrunk and Peter Stadler M.A. (later succeeded by Benjamin W. Bohl M.A.). This project was to produce a comprehensive set of instruments by corresponding with other editing projects and individual researchers. The response was satisfying: their work eventually went beyond the Weber edition to include problematic issues in the Schumann and Haydn editions, too. For a new Dvořák edition that was to be published in Prague the team produced a draft edition. Later, they contributed to an edition of the works of Max Reger (Karlsruhe) and to the project *OPERA – Stationen des Europäischen Musiktheaters in Einzelausgaben* on European musical theatre (previously Bayreuth, now Frankfurt), both of which have since been issued as hybrid editions using a set of software tools today known as Edirom. Towards the end of the project term the team was no longer able to accommodate all incoming requests for cooperation, although they did later succeed in completing an edition of Bach’s Mass in B minor.

All involved researchers realised very rapidly that these new techniques were giving rise to a new set of research questions. For instance, the consistent inclusion of facsimiles of the autographs and transcripts led the researchers to shift their attention away from the finished state of the text they were working on towards the basic phenomena of manuscripts and indeed the written form in general. This reawakened scholars’ interest in the variants that traditional editions had neglected. That

being said, the only way to highlight these variants was by imagery (that is, with the facsimile or possibly an explanatory note) without actually rendering them usable or suitable for processing. To make that happen, every single variant would have had to be converted into, e.g., processable sections of notation. This is where the facsimile-



Fig. 2: Carl Maria von Weber, Clarinet Concerto No. 1 in F minor. First page of the first edition of the solo clarinet part, with a layer to illustrate the discrepancies between printed edition and autograph.

Source: Edirom

The screenshot shows the website interface for 'FREISCHÜTZ DIGITAL'. At the top, there is a navigation menu with links: 'Startseite', 'Arbeitspläne', 'Stände', 'Mitarbeiter', 'Veranstaltungen', 'Publikationen & Vorträge', and 'Versionen der Edition'. Below the menu, the title of the page is 'Abschluss der Audio-Produktion am ETI der HfM Detmold' with a sub-header 'Bericht: April 2014'. A small illustration of a man in historical costume is on the right. The main content area contains three sections, each with a text description and musical notation for 'Violini' and 'Ännchen'.  
 - The first section is titled 'In der ersten Fassung setzt die erste parte geführten Violinen die Bezeichnungswörter aus Webers Autograph in einer von späteren Fassungen um.' and shows musical notation with a red bar over a specific measure.  
 - The second section is titled 'Die zweite Fassung übernimmt die Artikulation der Singstimme, was durch die colloquiale Führung der Violinen durchaus naheliegen könnte.' and shows musical notation with a red bar over a different measure.  
 - The third section is titled 'Die dritte Fassung verwendet halbtaktige Brädelbögen, wie sie seit der Partiturkritik von Peters verbreitet übernommen wurde. Der Strich auf der jeweils letzten Note des Taktes wird dabei entweder als Zeichen des Absetzens oder gelegentlich des Akkordierens gedeutet.' and shows musical notation with a red bar over a measure containing a half-note.  
 The lyrics for the vocal parts are: 'Grü- ßen, sind wir bi- so Glü- cke im- mer mit hoch- von Sten, las- sen durchs Le- ben hin.'

Fig. 3: Screenshot of the Freischütz Digital website. The site contains audio representations of the differences in interpretation of the source material.

Source: FreIDl project

based project hit its limits, giving rise to further initiatives as detailed below.

The initial set of Edirom tools consisted of proprietary software that had been specially adapted to suit the requirements of the first demo version. For the new DFG project that began in 2006, an IT specialist was brought onto the team (D. Röwenstrunk), the technical platform migrated to an open Java environment and the project scope restructured such that it could accommodate other projects, too. Because of the amount of data produced by the enormous number of images and the distribution formats common in the publishing field, the team initially debated using CDs, later DVDs, as data carriers; however, towards the end of the project they switched to a web-based application (Edirom Online) based on the Open Access philosophy. One of the software's major advantages, which greatly facilitates the editor's comparative work, is that it allows for the synopsis of individual sources bar by bar (see the aria from *Der Freischütz* in Figure 4). It also enables the editor to merge individual parts into an artificial

score – a reading aid on which editors previously had to expend much manual effort. All notes are accompanied by a clickable link to the corresponding bars in the source material. Other features include activatable bar numbers, optional layers showing later comments and other additions to the manuscript (see Figure 2), as well as sorting, search and selection filters. In other words, the piles of (often involuntarily disordered) papers on the editor's desk are now a thing of the past.

**From images to code:  
Using data standards**

The problems encountered with the early proprietary software led the team to adopt new data formats once they'd migrated the major DFG project to an open programming language. They opted for the XML variant of the Text Encoding Initiative (TEI), developed especially for use in the humanities, and began to gather experience in using this machine- and human-readable code. The team also reached out to a similar initiative





Source: FreiDiJ project

Fig. 4: Tool for collating sources (Freischütz Digital project). Shown here is a section of Aria no. 8 with Weber’s autograph (left) contrasted with five authorised copies (right).

run by Perry Roland at the University of Virginia, the Music Encoding Initiative (MEI) (Figure 7). Initially it was unclear whether the MEI format or MusicXML, a language originally designed by the company Recordare as a way to exchange data between notation programs, would be more suitable for the project. Only if the musical templates, at the time only available as images, could be encoded would the team be able to compute the musical data and in turn make it usable for future editions. During a conference in Paderborn on experimenting with and standardising digital editions in September 2007, Perry Roland and Michael Good, the author of MusicXML, presented their respective solutions to a range of music editing problems. MEI was provisionally chosen as the preferable language.

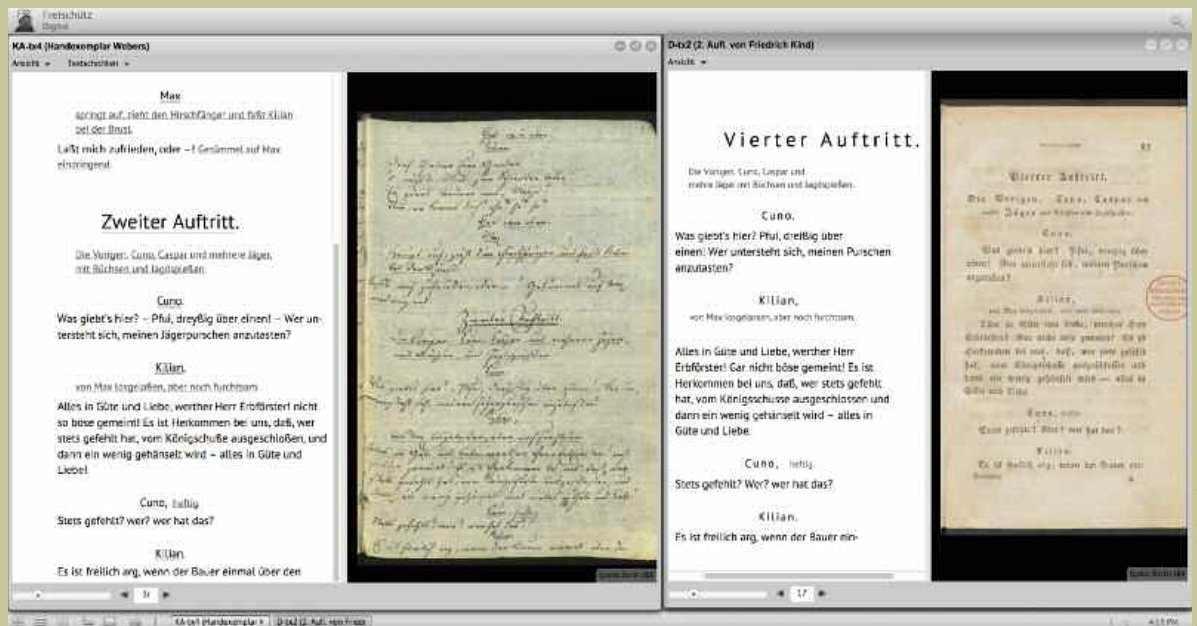
In the years that followed, the digital projects at the Musicology Seminar were dominated by efforts to develop the two formats TEI and, to a greater extent, MEI. To deal with text-related issues, a Special Interest Group Correspondence team was set up as part of TEI, led by Peter Stadler and Joachim Veit, and began to concentrate on correspondence, a very valuable source of input when it comes to complete-works editions. The Weber complete edition, which had already been the focus of attention when producing the first digital music edition, was given a website ([www.weber-gesamtausgabe.de](http://www.weber-gesamtausgabe.de)) that is encoded entirely in TEI and contains letters, documents, performance and work reviews and information on the protagonists and has since become a comprehensive digital database (Figure 6). Thanks to the simultaneous first-time publication of guidelines

for digital text editions and a flexible presentation structure that emulates that of social networks, the website became widely known and in fact was used as a template for a number of later comparable projects. In early 2014 Stadler was elected to the TEI Technical Council and has since become a sought-after consultant for new edition projects.

When continuing to develop the MEI format, Johannes Kepper’s 2009 dissertation came into play, which contained a comprehensive analysis of music markup languages and confirmed the advantages of MEI for scientific purposes. That same year, funding was granted for two workshops under the DFG/NEH workshop series, one at the University of Virginia in Charlottesville, the other at the Musicology Seminar Detmold/Paderborn. The aim of both was to design a “Digital Music Notation Data Model und Prototype Delivery System”. Directed by Roland and Kepper, Maja Hartwig M. A. and Kristina Richts M. A. in Detmold were assigned to a comprehensive work package which included a documentation of the various current releases, the compilation of a database of examples, and a comprehensive series of training sessions and lectures. Towards the end of this phase, two music encoding conferences were held: one in 2013 at the Academy of Sciences and Literature in Mainz, Germany, the other in 2014 in Charlottesville. With so much input from an international team of experts, the format developed so rapidly that it was soon included by the Library of Congress in its List of Recommended Formats for digital collections.

The work being done in Detmold/Paderborn, especially the format project, soon attracted the





Source: FreiDi project

Fig. 5: The beginning of scene 2 in the Freischütz libretto in Weber's manuscript (left, with transcript) opposite the 2nd edition of the printed libretto (shown here: entrance 4) in Edirom Online.

attention of the German TextGrid consortium. In mid 2009 the team joined TextGrid for the second phase, which focused on developing a “Score Editor” for the MEI format. Computer scientist Julian Dabbert M.Sc. developed this application for registering and displaying – albeit in a basic manner – variants as one of the tools for the TextGrid Laboratory. The project was taken over in 2011 by the Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities (DARIAH) project with funding from the Federal Ministry of Education and Research. Since then Kristin Herold M.A. and Nikolaos Beer M.A. have managed the project, which is currently developing a new web-based tool for managing musical variants. An additional student project was launched in cooperation with TextGrid to apply the TextGrid Lab tools to produce a volume of works by the Detmold violinist Carl Louis Bargheer, a friend of Johannes Brahms, and publish it using Edirom Online ([www.edirom.de/llb-bargheer](http://www.edirom.de/llb-bargheer)).

### Complex reconstruction of text and sound

The tasks the growing team had to manage grew more diverse over time. Inspired by the project staff, the first Edirom Summer School took place in 2010, an initiative which soon established in the DH community's training programs by its comprehensive agenda incorporating text and music standards ([ess.uni-paderborn.de](http://ess.uni-paderborn.de)). Towards the end of the Edirom project, researchers Bohl, Kepper and Röwenstrunk came up with the idea of showcasing what current digital editions were capable of. To do so they chose Weber's *Der Freischütz*, since this major European opera work at

the same time was to be included in a “traditional” edition as part of a complete edition of Weber's works so no specific work would be necessary. The plan was to present, for the very first time, a very comprehensive work using MEI, incorporate the relevant texts in the Weber website, include the complicated genesis of the original texts in a TEI edition (Figure 5), and integrate audio elements. Two competent partners were drafted in to work on the latter two aspects: Dr. Thomas Betzwieser (Frankfurt) and Prof. Dr. Meinard Müller (International Audio Laboratories at the University of Erlangen). An external expert, Raffaele Vigiante from the Maryland Institute for Technology in the Humanities, also joined the team since he had experience in linking up MEI and TEI.

After the Ministry greenlighted the three-year project, the team started drawing up this “multidimensional edition model” in summer 2012. They began by working on a new recording of three numbers from the opera in cooperation with Detmold Hochschule für Musik and its sound engineering department. Sophisticated recording technology was used so the team would be able to develop algorithms for automatable horizontal and vertical separation of sound, for which the Erlangen project partner had planned an experiment. This meant experimenting with the (semi-) automated segmentation of continuous musical sound as well as with breaking down simultaneous sound into individual parts to the extent that one would later be able to accentuate a violin part in a historical recording, for instance, making it easier to perform a comparative interpretation (Figure 3). These activities represent basic

The screenshot shows the website for the Carl Maria von Weber complete edition. At the top, there is a navigation bar with the site's name, a search bar, and links for Home, Impressum, and Hilfe. The main content area is divided into several sections:

- Header:** Features the name 'Carl Maria von Weber' in a large, stylized script font, with 'CARL-MARIA-VON-WEBER-GESAMTAUSGABE' underneath.
- Biography:** Includes a portrait of Weber, his name 'Weber, Carl Maria von', and details such as his birth (approx. 20. November 1786 in Eutin) and death (5. Juni 1826 in London). It also lists his professions (Komponist, Pianist, Kapellmeister, Musikschriftsteller) and places of work (Breslau, Prag, Dresden).
- Kontakte:** A grid of small portraits of various individuals associated with Weber.
- Ikongraphie:** A grid of small images representing different aspects of Weber's life and work.
- Werke und Dokumente:** A list of links to various works and documents, including 'Korrespondenz', 'Schriften', 'Tagebücher', and 'Werke'.
- Biographische Kurzübersicht:** A list of key biographical events, such as his education, travels, and professional appointments.

Fig. 6: Page showing bibliographical information on Weber from the website of the Carl Maria von Weber complete edition.

research, the outcome of which is currently uncertain. With Anna Komprecht M.A. in Detmold having joined the team in the meantime, the Freischütz project is scheduled for completion in mid 2015. The first release ([www.freischuetz-digital.de](http://www.freischuetz-digital.de)) is imminent.

Spring 2014 saw the launch of a project that was several years in the making, again funded by the Academy of Sciences and Literature in Mainz, entitled *Beethovens Werkstatt: Genetische Textkritik und Digitale Edition* and staffed with 5 researcher positions, 2.5 from Beethoven-Haus in Bonn, 2.5 from the Musicology Seminar Detmold/Paderborn. With a project term of 16 years, this five-module project focuses on what is probably the most complicated aspect of 19th century musical history: the evolution of Beethoven's early written ideas right up until their "final" form (which in fact very rarely was really a "final" one). This involves using digital technology and markup language to visualise the changes in manuscripts or sketches that still exist and are often very difficult to decipher – which will very probably require some sort of video techniques in the broadest sense (cf., e.g., the juxtaposition of the facsimile on one side

and the marked-up version of the manuscript on the other, see Figure 8). Visualising these processes in Beethoven's hand are a challenge when working with MEI, since it requires formalising the many uncertainties and ambiguities so as to clearly portray a composition in its many stages of evolution, rather than analysing the work in its final form (now just one of many options). The project is expected to make a significant contribution to the continued development of the MEI format as well as to the methodology employed in genetic music editions. (For more information, go to the project website at [www.beethovens-werkstatt.de](http://www.beethovens-werkstatt.de).)

However, MEI is not just an ideal solution for the scientific analysis of notation, it is also suitable for structuring bibliographical or other metadata systematically to an extent that is unprecedented when it comes to musical material. A DFG-funded project that began in the autumn of 2014 is working on old material from the Court Theatre from 1825 to 1875, currently held in the Lippe State Library in Detmold, as well as a considerable body of material in the Eastern Westphalia/Lippe section of the North Rhine-Westphalian State

Source: WeGA

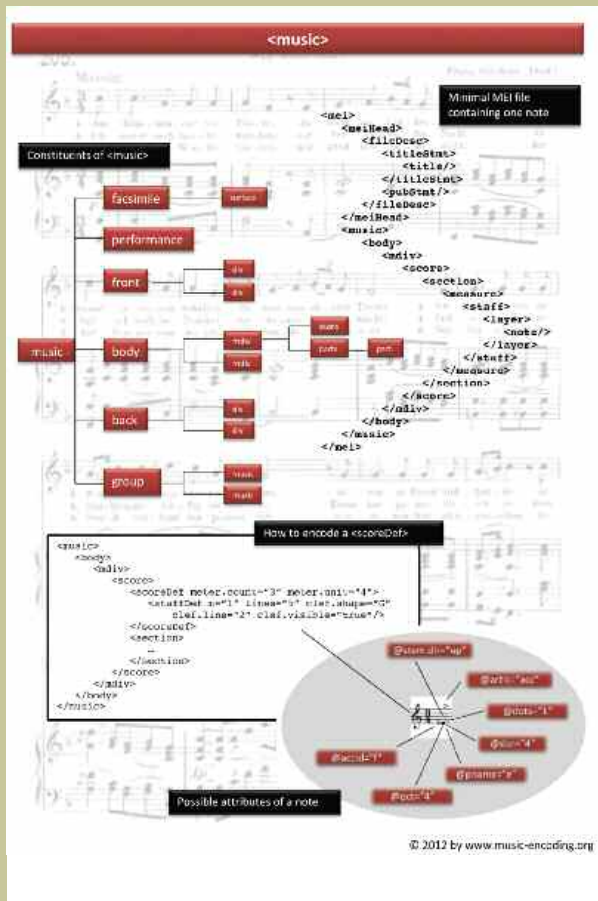
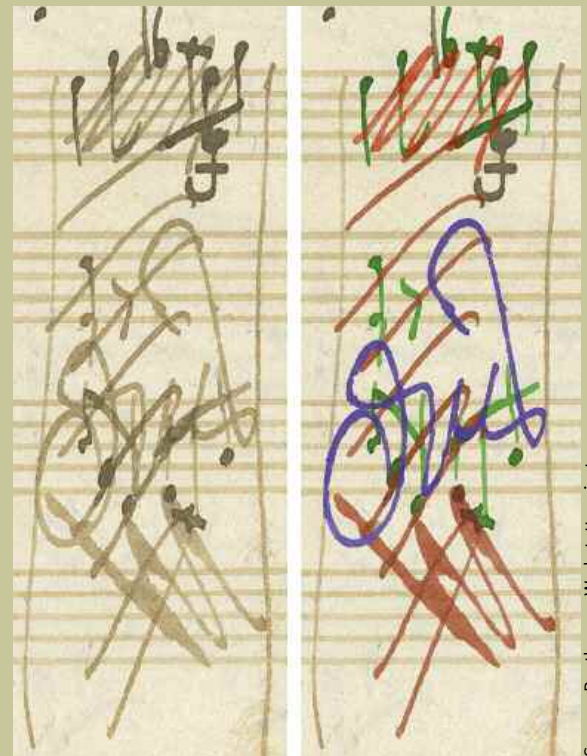


Fig. 7: Music Encoding Initiative (MEI). Image illustrating the basic structure of the <music> element in an MEI file (above) plus the most important attributes of a note (below).



Source: music-encoding.org

Fig. 8: Ludwig van Beethoven, excerpt from the String Quartet op. 59, no. 3; left: original text; right: marked-up version to demonstrate deletions (red), the actual score (green) and a verbal instruction ("aus" /out or delete) (blue).

Source: Beethovens Werkstatt project

Archive, with the aim of developing a model for the in-depth contextual analysis of musical material based on MEI and TEI. In other words, the project focuses on yet another aspect of the digital work being done at the interface between researchers, librarians and archivists. It will make it possible to spotlight information on deletions and re-writings in the musical material, which are irrelevant for catalogisation purposes, as well as to analyse the unusual volume of context material (e.g., archival material on procurement, copy production, performances, stage props, sales and purchase ledgers, subscriber lists), creating a comprehensive portrait of this renowned cultural institution in the Lippe region and developing an analytical tool that can later be applied to other material, too.

The existing Detmold-based digital edition activities have been brought together in a centre that was set up in September 2014 with funding from the Federal Ministry of Education and Research. Under the heading *Musik – Edition – Medien. Musik und nicht-textuelle Objekte im Kontext digitaler Editionen*, this institution is a digital humanities hub for all research being done by musicology and media scholars and IT experts at the University of Paderborn, Ostwestfalen-Lippe University of Applied Sciences and Hochschule für Musik in

Detmold. Its establishment marked the beginning of a new phase of development within the University, which will help to intensify research, consulting, service provision and teaching and professional development in this field and to give it a broader foundation by, e.g., setting up an academy professorship. In future, digital education research will extend beyond music to include other non-textual media, such as video and material cultural heritage objects. At the same time, a stronger link will be established between research and practice, with theory informing the work of sound engineers, for instance. The hope is that after the three-year warm-up phase, the new Centre will have just as much good news to report here in this publication.

**References**

JOACHIM VEIT: DIGITALE EDITION UND NOTEN-TEXT: VERMITTLUNGS- ODER ERKENNTNISFORTSCHRITT? IN: IM DICKICHT DER TEXTE. EDITIONSWISSENSCHAFT ALS INTERDISZIPLINÄRE GRUNDLAGENFORSCHUNG, EDITED BY GESA DANE, JÖRG JUNGMAYR AND MARCUS SCHOTTE (BERLINER BEITRÄGE ZUR EDITIONSWISSENSCHAFT 12), BERLIN, 2013, 233–266.





Fig. 9: Staff of the digital projects at the Musicology Seminar Detmold/Paderborn (from left: Kristina Richts, Maja Hartwig, Peter Stadler, Daniel Röwenstrunk, Kristin Herold, Joachim Veit, Anna Komprecht).

**KRISTINA RICHTS:** DIE FRBR CUSTOMIZATION IM DATENFORMAT DER MUSIC ENCODING INITIATIVE (MEI). MASTERARBEIT IM WEITERBILDUNGSSTUDIENGANG MASTER IN LIBRARY AND INFORMATION SCIENCE (MA LIS), FACHHOCHSCHULE KÖLN 2013; ONLINE AT [HTTP://PUBLISCOLOGNE.FH-KOELN.DE/FRONTDOOR/INDEX/INDEX/DOCID/144](http://publiscologne.fh-koeln.de/frontdoor/index/index/docId/144).

**JOHANNES KEPPER:** MUSIKEDITION IM ZEICHEN NEUER MEDIEN. HISTORISCHE ENTWICKLUNG UND GEGENWÄRTIGE PERSPEKTIVEN MUSIKALISCHER GESAMTAUSGABEN (SCHRIFTEN DES INSTITUTS FÜR DOKUMENTOLOGIE UND EDITORIK 5). NORDERSTEDT 2011.

**DIE TONKUNST.** MAGAZIN FÜR KLASSISCHE MUSIK UND MUSIKWISSENSCHAFT. THEMENHEFT: PERSPEKTIVEN DIGITALER MUSIKEDITION. VOL. 5 (2011), ISSUE NO. 3 (WITH CONTRIBUTIONS BY, INTER ALIA, B. BOHL, J. KEPPER, D. RÖWENSTRUNK, P. STADLER, J. VEIT).

**DANIEL RÖWENSTRUNK:** DIGITAL MUSIC NOTATION DATA MODEL AND PROTOTYPE DELIVERY SYSTEM – EIN DEUTSCH-AMERIKANISCHES PROJEKT ZUR FÖRDERUNG EINES WISSENSCHAFTLICHEN CODIERUNGSFORMATS FÜR MUSIKNOTATION. IN: FORUM MUSIKBIBLIOTHEK, VOL. 31 (2010), ISSUE NO. 2, 46–50.

**JOACHIM VEIT:** THE DIGITAL EDITION OF WEBER'S CLARINET WORKS: A NEW APPROACH TO COMPARATIVE TEXTUAL CRITICISM AND ANALYSIS. IN: PHILOMUSICA-ON-LINE 9/2 – SEZIONE I, PAVIA 2010, 279–299.

**PETER STADLER AND JOACHIM VEIT (EDS.):** DIGITALE EDITION ZWISCHEN EXPERIMENT UND STANDARDISIERUNG. MUSIK – TEXT – CODIERUNG (EDITIO 31 SUPPLEMENTS). TÜBINGEN 2009.

**Inquiries**

**Prof. Dr. Joachim Veit**

**Fakultät für Kulturwissenschaften**

**Musikwissenschaftliches Seminar**

**Detmold/Paderborn**

**+49 (0)5231 975-663**

**[jveit@mail.uni-paderborn.de](mailto:jveit@mail.uni-paderborn.de)**