

# Eine wissenschaftlich-technische und didaktische Reise über vier Jahrzehnte: Von der manuellen Straßenkartennavigation über elektronische Navigationssysteme bis zum autonomen Fahren

*Oliver Michler*

## *Inhaltsübersicht*

1.	Einleitung	63
2.	Historische Einordnung und Klassifikation von Industrie und Automobilproduktion	64
	(a) Industrielle Revolutionen	64
	(b) Industrielle Revolutionsetappen im Automobilssektor	65
3.	Informationstechnische Revolutionsetappen bei Autonavigation	67
	(a) Navigatorische Erstschrirte mit Papierkarte	67
	(b) Navigation 1.0 mit ARI	67
	(c) Navigation 2.0 mit TMC	68
	(d) Navigation 3.0 mit TPEG	68
	(e) Navigation 4.0 mit Internet und V2X-Kommunikation	69
4.	Wandlung der ingenieurtechnischen Ausbildung innerhalb von Generationen	70
5.	Literaturverzeichnis	71

## *1. Einleitung*

In den letzten Jahrzehnten haben sich viele technische Systeme in revolutionärer Weise verändert, meist von der Einfachheit zur Komplexität. Ein typisches Beispiel dafür sind die Industrierevolutionen, welche mit der manuellen maschinellen Massenproduktion, genannt Industrie 1.0, begann. Über die Generationen Industrie 2.0 (Elektrifizierung) und Industrie 3.0 (Automatisierung) haben wir derzeit die intelligente datengetriebene Maschinenvernetzung, genannt Industrie 4.0, erreicht. Gleiche parallele revolutionäre Etappen lassen sich auch bei der Automobilproduktion als Automobil 1.0 bis 4.0 im Allgemeinen bis hin zur technischen Wandlung von Navigations- bzw. Verkehrsinformationssystemen im Sinne von Navi-

gation 1.0 bis 4.0 im Speziellen zuordnen. Dieser technische Wandel prägt auch die Ingenieurausbildung in Didaktik und Methodik, was abschließend mit Fokus auf die Nachrichtentechnikausbildung mit Schwerpunkt Telematik über vier Jahrzehnte diskutiert wird.

## 2. *Historische Einordnung und Klassifikation von Industrie und Automobilproduktion*

### (a) *Industrielle Revolutionen*

Die Zeit der Industrialisierung in Europa begann vor ungefähr 250 Jahren. Dabei hat sich einerseits geändert, wie Dinge hergestellt werden und andererseits auch, wo sich der Arbeitsort befindet. Es wurden viele Erfindungen gemacht und Fabriken gebaut, welche menschliche Handarbeit durch Maschinen ersetzen. Wegen der großen Veränderungen nennt man diese Etappen industrielle Revolutionen. Somit lässt sich der industrielle Wandel in vier grob zu unterteilende Phasen gliedern, nämlich von der Industrie 1.0 bis zur Industrie 4.0. Es stellt sich hiermit die Frage, welche Entwicklungsphase, welche Weiterentwicklung oder welcher Fortschritt sich der jeweiligen Version von der Vergangenheit bis zur Gegenwart (Industrie 1.0, 2.0, 3.0 und 4.0) zuordnen lässt? Die Industrie 1.0 gilt als erste mechanische Massenproduktion durch Maschinen, welche durch Wasser- und Dampfkraft angetrieben wurden. Mit der Einführung der Elektrizität als Antriebsmittel zum Ende des 19. Jahrhunderts wurde die zweite industrielle Revolution als Industrie 2.0 eingeleitet. Mit den ersten Motoren ab Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Arbeit in den Produktionshallen stetig weiter automatisiert und die Fließbandproduktion etabliert. Ab der Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgte mittels des von Konrad Zuse entwickelten ersten weltweit funktionsfähigen Computers der Beginn der nächsten Revolutionsetappe (Industrie 3.0). Programmierbare und vollautomatische große Rechenmaschinen in der Produktion aber auch Personal-Computer für das Büro kennzeichnen die Entwicklung. Industrie 4.0 umrahmt die gegenwärtige Produktion im Zeitalter der digitalen Revolution und vollumfänglichen Vernetzung. Neue digitale Fabriken kennzeichnen Begriffe wie Just-in-Time-Strategien oder 5G-basierte Kommunikationstechnologien sowie Big-Data-Verarbeitung für Datenaggregation sowie letztlich auch so genannte Predictive-Maintenance-Dienste.

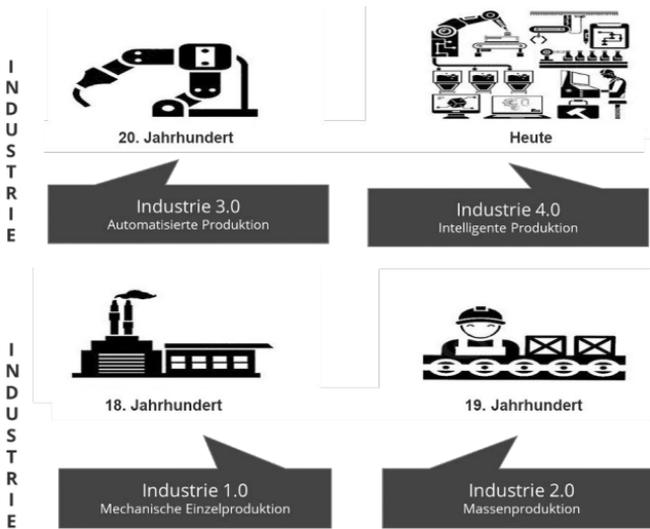


Abbildung 1: Zusammenfassende Übersicht zu industriellen Revolutionsetappen

(b) Industrielle Revolutionsetappen im Automobilsektor

Vom Allgemeinen zum Speziellen lassen sich ebenso spezifische industrielle Revolutionsetappen in der Automobilproduktion, hier genannt als Automobil 1.0 bis 4.0, wiederfinden. Automobil 1.0 kennzeichnet die individuelle Kleinproduktion bzw. Einzelfertigung von Automobilen, deren Start durch das Patent des deutschen Ingenieurs und Automobilpioniers Carl Friedrich Benz 1886 gelegt wurde. In den nächsten ca. 10 Jahren entwickelte sich das hierzu gegründete Unternehmen „Benz & Co. Rheinische Gasmotorenfabrik Mannheim“ zur weltweit größten Automobilfabrik. Ebenso wie beim Übergang von Industrie 1.0 zu Industrie 2.0 liegt die Ursache für den Übergang zur Revolutionsetappe Automobil 2.0 im produktiven Umdenken von der Handarbeit hin zur Massenfertigung. Denn die ersten Autos wurden, wie zuvor die Kutschen, händisch gefertigt, obwohl die Komplexität immer weiter zunahm. Inspiriert durch die Massenproduktion von Gewehren führte der Pionier Henry Ford 1908 das weltweit erste massenweise produzierte Automobil Ford T Modell ein, was als historisch als Beginn der Massenproduktion gilt. Den Arbeitern wurden sich wiederholende Teilaufgaben zugeordnet und die Produktion wurde getaktet, um damit Leerlaufzeiten zu unterdrücken. Infolgedessen

wurde der Produktionsfluss aus Material-, Zeit- und Kostensicht erheblich effizienter.

Mit dem ersten Einsatz eines Industrieroboters 1961 durch den amerikanischen Autohersteller General Motors wurde die nächste industrielle Epoche der Automobilproduktion (Automobil 3.0) eingeleitet. Dieser als UNICOM bezeichnete erste Industrieroboter wurde von den Robotikpionieren Joseph Engelberge und George Devol entwickelt und hatte zunächst die Aufgabe, Druckgussteile für Fahrzeugkarosserien automatisiert zu schweißen. Bei General Motors waren ca. 60 UNICOM-Roboter parallel im Einsatz, was Produktivität, Leistungsfähigkeit und Kosteneffizienz in der Automobilproduktion enorm beflügelte. Danach wuchs die Anwendungsvielfalt des Einsatzes von Fabrikrobotern über alle Branchen und deren Anzahl über alle Produktionsbereiche enorm.

Gleichlautend wie bei Industrie 4.0 kennzeichnet das gegenwärtige Zeitalter der Automobilproduktion (Automobil 4.0) die digitale Revolution bei vollumfänglicher Vernetzung. Kollaborative Fertigungsrobotik, Künstliche Intelligenz, Edge-Computer mit rasant steigender Rechenleistung sowie der Einsatz von Cloud-Systemen bilden die Grundlage für flexible kosten- und ressourcenoptimierte Produktionsabläufe.

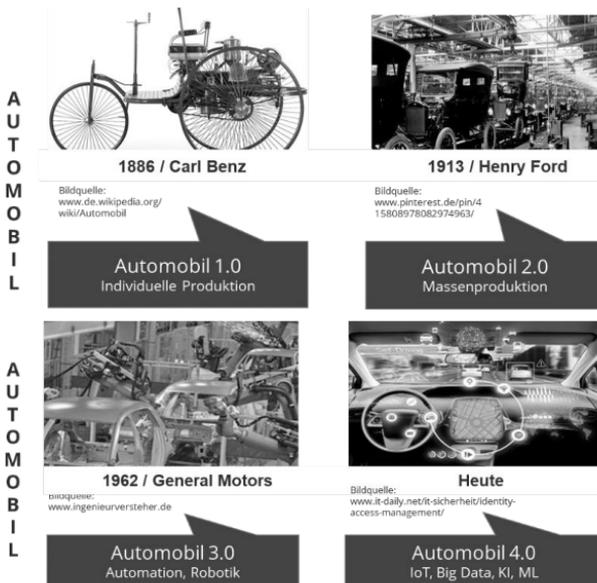


Abbildung 2: Zusammenfassende Übersicht zu automobilen produktiv Revolutionsetappen

### 3. Informationstechnische Revolutionsetappen bei Autonavigation

#### (a) Navigatorische Erstschritte mit Papierkarte

Der Beginn der Navigation geht auf chinesische Seefahrer im 10. Jahrhundert zurück. Hierbei wurde eine Magnethöhle in einer Wasserschale eingesetzt, welche sich im Erdmagnetfeld nach Norden ausrichten konnte. Damit konnte die Lage eines Schiffes prinzipiell bestimmt werden. Die Seefahrer stützten sich dabei auf Land- und Himmelskarten und zwar erst in einfacher und später in Kombination mit einem Koordinatennetz, um auch ihre Position zu bestimmen sowie navigieren zu können (Landmarkennavigation). Das gleiche Grundprinzip nutzt die manuelle Autonavigation basierend auf einer Straßenkarte. Diese wird üblicherweise als gefaltetes Kartenblatt, als Kartensatz über mehrere Blätter verteilt oder als Autoatlas herausgegeben. Eine Straßenkarte oder die Atlanten sind geographische Karten mit Schwerpunkt auf den Ortschaften und dem verbindenden Straßennetz mit allen wichtigen verkehrlich relevanten Informationen sowie Landmarken. Ein flächig durchsichtiger Kompass gibt die Ausrichtung wieder und mittels eines Distanzkartenmesserrades kann die Wegdistanz bestimmt werden (siehe Abbildung 3).

#### (b) Navigation 1.0 mit ARI

Eine Landmarkennavigation basierend auf Informationen aus Karte, Kompass und Wegmesser hat einen rein statischen Bezug. Änderungen von Verkehrszustand (z.B. Straßensperrungen) oder der Verkehrslage (z.B. Stau) können so nicht eingebunden werden. Hier setzt das Prinzip der Verkehrsinformation an, welche zunächst als gesprochene Information ohne automatische Kennung im Rundfunkprogramm mit automatischer Kennung in Autoradios umgesetzt wurde. Das Ganze startete 1963 mit dem UKW-Programm des Westdeutschen Rundfunks, wobei ein regelmäßiger regionaler Verkehrsfunk mit stündlichen Verkehrsinformationen in Deutschland ab den 1970er-Jahre etabliert wurde. Verkehrsfunk mit automatischer Kennung wurde ca. 1972 entwickelt, um Verkehrsdurchsagen über die akustische Kennzeichnung automatisch in den Autoradios erkennen und verarbeiten zu können. Als akustische Durchsagekennung wurde der so genannte Hinz-Triller, benannt nach seinem Erfinder Werner Hinz, verwendet. Das Gesamtsystem mit den akustisch modulierten Ein- und Ausschaltsequenzen wurde als Zusatzdienst ARI (Autofahrer-Rundfunk-In-

formation) bezeichnet und war fester Bestandteil des bundesdeutschen UKW-Hörfunks. Das System diente so der Kennzeichnung eines aktiven Verkehrsfunksenders über einen nicht hörbaren Grundton von 57 kHz, der als wesentlicher Parameter zum einen die Sendebereichskennung als geographische Zuordnung der Verkehrsnachrichten in möglichen 5 Gebietsklassen umsetzt sowie zum anderen die Durchsagekennung mit den Hinweisen auf wichtige verkehrsrelevante Durchsagen initiiert. Das Verkehrsfunksystem ARI war von 1974 bis 2008 in Betrieb.

*(c) Navigation 2.0 mit TMC*

Die Entwicklung des Nachfolgesystems von ARI begann Ende der 1970er-Jahre und wurde mit TMC (Traffic Message Channel) bezeichnet. Grundlage dafür ist das so genannte RDS (Radio Data System), welches ungenutzte Frequenzbereiche zur Datenübertragung wie Radiostationsnamen anstelle von Sendefrequenz im Display oder auch Musiktitel sowie Verkehrsmeldungen ermöglicht. Dabei handelt es sich bei TMC speziell wie auch bei RDS allgemein um sehr schmalbandige Datenkanäle, welche informationstechnisch effizient genutzt werden müssen. TMC-fähige Radios können somit nur listenförmige Dateninhalte in Form sogenannter Event Codes und Location Codes verarbeiten. Die Event Codes beinhalten das Verkehrsereignis (z.B. Stau) und Parameter zur Quantisierung (z.B. Staulänge). Die Location Code List ist eine Punktliste wie z.B. Anschlussstellen von Autobahnen aber teilweise auch Streckenabschnitte von wichtigen Bundesstraßen. Ebenso können auch Umleitungsoptionen angezeigt werden. In Verbindung mit satellitengestützter Ortung (GPS) existieren damit die technischen Grundlagen für ein hochdynamisches Navigationssystem für automobile Anwendungen.

*(d) Navigation 3.0 mit TPEG*

TPEG (Transport Protocol Experts Group) wurde 1997 als Expertengruppe gegründet, um gegenüber TMC bessere sowie detailliertere Verkehrs- und Reiseinformationen bereitzustellen. Das entwickelte Datenprotokoll wurde einfach mit dem Namen der Expertengruppe, also TPEG bezeichnet. Dabei kann TPEG im Gegensatz zu TMC über verschiedene digitale Trägermedien übertragen werden. Dazu gehören Digitalradio, Mobilfunk aber auch andere internetfähige Funkssysteme wie beispielsweise WLAN.

Die Dienstvielfalt bei TPEG ist als breitbandiger Datenkanal entsprechend groß und beinhaltet neben Verkehrsmeldungen (z.B. Unfälle) auch Verkehrsflussinformationen (z.B. Reisezeiten) sowie sonstige verkehrlich relevante Nebeninformationen wie beispielsweise Kraftstoffpreise oder Parkinformationen.

*(e) Navigation 4.0 mit Internet und V2X-Kommunikation*

Gleichlautend wie bei Industrie 4.0 und Automobil 4.0 kennzeichnet das gegenwärtige Zeitalter (Navigation 4.0) die digitale Revolution bei vollumfänglicher Vernetzung zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur. Kollaborative Informationsverarbeitung, Künstliche Intelligenz, Edge-Computer in der Verkehrsinfrastruktur (z.B. LSA-Steuerung) sowie der Einsatz von Cloud-Systemen in den Verkehrsleitzentralen bilden die Grundlage für das autonome Fahren im Schwarmverbund (z.B. Platooning) bis hin zum koordinierten Individualverkehr (z.B. automatisiertes Einparken). Die Ziele dabei liegen in der Erhöhung der Verkehrssicherheit, Einsparung von Energie und effizienterem Verkehrsfluss. Derzeit sind zwei Fahrzeugkommunikationsstandards in der Anwendung: Zum einen ITS-G5 als ein Standard, der auf dem WLAN-Standard IEEE 802.11p (WLANp) beruht. Er wurde 2010 spezifiziert. Der zu WLANp konkurrierende, aber jüngere Fahrzeugkommunikationsstandard nennt sich Cellular V2X (C-V2X) und verwendet 5G-basierte Mobilfunklösungen als Träger. Beide Lösungen beziehen sich dabei auf die unteren Ebenen der V2X-Protokolle innerhalb des OSI-Modells, sind jedoch in den oberen Diensteschichten dann redundant. Die Netzwerke der Fahrzeugkommunikation verfügen über zwei spezielle Nachrichtentypen, zum einen periodische Nachrichten, wie beispielsweise die CAM (Cooperative Awareness Message) – Nachricht, zum anderen gibt es nichtperiodische event-basierte Nachrichten, wozu beispielweise die DENM (Decentralized Environmental Notification Message) – Nachrichten gehören. Diese revolutionäre Art der Verbreitung von Verkehrsinformationen (Navigation 4.0) bietet in Bezug auf Aktualität, Granularität und Effektivität das größte Innovationspotential gegenüber den drei Vorgängersystemen (Navigation 1.0–3.0).



Abbildung 3: Zusammenfassende Übersicht zu den navigatorischen Revolutionsetappen

#### 4. Wandlung der ingenieurtechnischen Ausbildung innerhalb von Generationen

Die Ingenieurausbildung soll Fähigkeiten vermitteln, die Studenten für ihre spätere berufliche Tätigkeit als Produktions-, Entwicklungs- und Forschungsingenieure benötigen. In den letzten Jahrzehnten haben sich viele technische Systeme in revolutionärer Weise verändert, meist von der Einfachheit zur Komplexität.

Ein typisches Beispiel dafür sind die Industrie- und Systemrevolutionen gemäß Abschnitt 2 als Automotive 1–4.0 und gemäß Abschnitt 3 als Navigation 1–4.0. Dieser technische Wandel prägt auch die nachrichtentechnische Ausbildung in Didaktik und Methodik der Ingenieurausbildung mit Veränderungen der Lern- und Lehrprozesse. Das betrifft beispielweise den Studienrichtung Verkehrsingenieurwesen mit Studiengang Verkehrstelematik an der TU Dresden.

Die TU Dresden hat eine seit 1828 wirkende lange technische Tradition in der Lehre und Forschung. Während des Aufbaus elektrotechnischer

Studiengänge gab es noch keine Telematik-Spezialisierung, sondern nur erste grundlegende Studienfächer der Elektrotechnik. Typische Lehrmittel waren Vorlesungen, Seminare und elektrische Simulationen. In den nächsten Jahrzehnten bis Anfang dieses Jahrhunderts wurden Kurse in einfacher grundlegender Telematik entwickelt, welche hier zum Beispiel erstmals durch digitale Simulationen ergänzt wurden. Mit Bezug zum Betrachtungsraum ab Anfang des jetzigen Jahrhunderts bis jetzt haben sich viele streng telematikbezogene Kurse etabliert, insbesondere für das vernetzte Fahren und der Umgebungserfassung sowie Datenfusion. Die moderne automobilen Ingenieurausbildung richtet sich daher derzeit anhand der neuen Forschungs Herausforderungen beim autonomen Fahren aus. Das führt zu angepassten fachübergreifenden Wissensvermittlungsansätze wie Module aus der Mathematik (z.B. Data Mining), Informatik (z.B. Maschinelles Lernen) sowie aus der Fahrzeugtechnik (z.B. reale Feldtests mit Fahrzeugen). Dabei stellen die Praktika mit Livetests und eigener studentischer Datenbasis den substantiellen didaktischen Mehrwert dieser aktuellen Ausbildungsgeneration dar.



Abbildung 4: Veränderungen der Lern- und Lehrprozesse in der Telematik-ausbildung

## 5. Literaturverzeichnis

Breitkopf, Klaus: *Rundfunk. Faszination Hörfunk*, Heidelberg 2007.

Drury, Gordon / Markarian, Garik / Pickavance, Keith: *Coding and Modulation for Digital Television*. Kluwer Academics Publisher, London 2001.

Engelhardt, Hanna: *Analyse sicherheitsrelevanter Aspekte von Car2X Protokollen*. Bachelorarbeit, Hochschule Mittweida 2018.

Michler, Oliver / Schwarzbach, Paul / Richter, Robert: "Engineering Education over the Course of Time. A Technical and Didactic Journey over Four Decades. From Manual Road Map Navigation to Electronic Navigation Systems to Autonomous Cars", in: Auer, Michael / Hortsch, Hanno / Sethakul, Panarit: *The Impact of the 4<sup>th</sup> Industrial Revolution of Engineering Education*, Vol. 1, 2019, S. 719–730.

- Melezinek, Adolf: *Ingenieurpädagogik. Praxis der Vermittlung technischen Wissens*, Wien 1999.
- Schwarzbach, Paul / Reichelt, Benjamin / Michler, Oliver: “Cooperative Positioning for Urban Environments based on GNSS and IEEE 802.11p.” 15th Workshop on Positioning, Navigation and Communications (WPNC), Bremen 2018.
- Trompisch, Paul: „Industrie 4.0 und die Zukunft der Arbeit“, in: *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik* 7 (2017), S. 370–373.
- Vanaja, Malladi: *Information & Communication Technology (ICT) In Education*, Dehli 2016.