



Andreas Landau (Autor)  
**Modellierung navigatorischer Fahrerpräferenzen für die personalisierte Routenberechnung**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7272>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# 1 Einleitung

Navigationssysteme unterstützen den Menschen in seiner Mobilität, die als einer der Megatrends der Gegenwart und Zukunft gilt [57]. Für die individuelle Mobilität eines Fahrers bietet ein Navigationssystem eine umfassende *Navigationslösung zur Routenberechnung* an, die verschiedene Komponenten umfasst [67]. Somit ist es für den Fahrer möglich, jede Zielposition, auch in einem für ihn unbekanntem Gebiet, zu erreichen.

Die Bewertung der berechneten Route durch den Fahrer als Nutzer des Navigationssystems basiert daher nicht darauf, ob die Zielposition erreicht wird, sondern welche *Güte* die Route besitzt. Die Güte kann z.B. durch die *Routendauer* oder die *Routenlänge* bestimmt werden [80]. Standardmäßig erfolgt die Routenberechnung statisch und ohne Einbeziehung des Fahrers und seiner *navigatorischen Präferenzen* [74]. Allerdings unterscheiden sich die Fahrer voneinander und haben mit ihrem Verhalten einen bedeutenden Einfluss auf die Güte der Route.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine *Personalisierung* des Navigationssystems durchzuführen und somit den Fahrer und seine navigatorischen Präferenzen in die Routenberechnung einzubeziehen. Bisherige Ansätze hierzu werden in dieser Arbeit durch eine *Modellierung* des Fahrers erweitert, die verschiedene Aspekte seines *Routenauswahlverhaltens* umfasst.

Für die Modellierung ist es notwendig, Daten über den Fahrer und sein Routenauswahlverhalten zu erheben, diese zu analysieren und Wissen über den Fahrer zu generieren. Zusätzlich zu Methoden der *Wirtschaftsinformatik* werden Werkzeuge und Verfahren der *Statistik* und der *Graphentheorie* zur Wissensgenerierung genutzt. Ebenfalls bauen die Analysen auf den Erkenntnissen der *Verkehrspsychologie* auf. Hierfür wurden in zahlreichen Studien Unterschiede zwischen den Fahrern und ihrem Verhalten untersucht [16, 26].

Somit ist das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren interdisziplinär angelegt. Es leistet damit einen Beitrag für eine umfassende Modellierung des Fahrers und wird in dieser Arbeit für die Personalisierung genutzt. Auf diese Weise wird der individuellen Mobilität des Fahrers durch eine individuelle Navigationslösung entsprochen



mit dem Ziel, die Güte aber auch die Akzeptanz heutzutage verfügbarer Navigationssysteme zu erhöhen.

Dafür ist es notwendig, dass die Personalisierung für das in heutzutage verfügbaren Navigationssystemen genutzte Verfahren anwendbar ist. Das Verfahren besteht seit der Entwicklung von Navigationssystemen aus den gleichen Komponenten und ist wie folgt aufgebaut: Grundlage ist die Positionierung des Fahrzeugs auf dem in einer *digitalen Karte* gespeicherten Straßennetz (*Ortung*) [92]. Das gespeicherte Straßennetz wird durch einen *Graphen* [90] bestehend aus *Knoten* und *Kanten* repräsentiert. Den Kanten sind Attribute wie Länge oder angenommene Geschwindigkeit zugeordnet [86].

Die Routenberechnung bzw. das *Routing* ist der Kern eines jeden Navigationssystems und bestimmt eine Route zu einer vom Fahrer angegebenen Zielposition in Abhängigkeit von einem *Zielkriterium*. Anschließend wird der Fahrer entlang der Route zur Zielposition geführt (*Routenführung*).

Für die Berechnung der Route wird ein *Kürzeste-Wege-Verfahren (KW-Verfahren)* [22, 55, 84] genutzt, das die Attribute der Kanten als Gewichte verwendet und eine minimale Route für eine *Zielfunktion* berechnet. Die Minimierung der Routendauer oder der Routenlänge sind die am Häufigsten für die Zielfunktion genutzten Zielkriterien [80]. Dabei ist die Routendauer der *Dimension der Zeit* und die Routenlänge der *Dimension des Raumes* zugeordnet. Jede Route kann bezüglich dieser beiden Dimensionen charakterisiert werden.

Die Kantengewichte ergeben sich aus den entsprechenden Attributen. Standardmäßig haben die Kanten für alle Fahrer einheitliche Gewichte [86]. Allerdings bevorzugen Fahrer unterschiedliche Geschwindigkeiten, so dass sich diese zum Teil stark von denen in der digitalen Karte gespeicherten Kantengewichten der Geschwindigkeit unterscheiden.

In heutzutage verfügbaren Navigationssystemen ist es daher möglich, dass die Routenberechnung automatisch oder manuell angepasste Geschwindigkeiten nutzt. Allerdings differenzieren diese Ansätze nur wenige Klassen und beziehen die Dimension des Raumes nicht mit ein. So könnten zwei Kanten auf die gleiche Weise angepasst werden, sich die eine allerdings im städtischen und die andere im ländlichen Gebiet befinden.

Zudem hat die Wahl der Geschwindigkeit auch Einfluss auf die vom Fahrer gewählten Zielkriterien. Einige Fahrer bevorzugen schnellere, andere Fahrer kürzere Routen, wobei Fahrer keine reinen Zielkriterien nutzen. Veranschaulichen lässt sich dies am Beispiel einer Route, die wenige Sekunden schneller, dafür aber mehrere Kilo-



meter länger als eine Alternativroute ist. Eine Routenberechnung mit dem alleinigen Zielkriterium Routendauer würde die erste, ein menschlicher Fahrer allerdings die Alternativroute auswählen. Bei anderen, sich nicht so eindeutig unterscheidbaren Routen, kann es dabei zu Unterschieden zwischen den Fahrern kommen.

Für die Routenberechnung können Unterschiede zwischen den Fahrern durch eine personalisierte Gewichtung der beiden Kriterien abgebildet werden. Dies ist bisher nur auf manuelle Weise für die Zielfunktion möglich. Hierfür wird ein Verhältnis von Routendauer und Routenlänge und damit der Dimensionen der Zeit und des Raumes durch den Fahrer angegeben. Als Folge werden kombinierte Kantengewichte für die Berechnung genutzt. Allerdings ist dieser mit Aufwand verbundene manuelle Ansatz fehleranfällig und steht in keinem direkten Zusammenhang zu den Kantengewichten der Geschwindigkeit.

Somit fehlt in den bisherigen Ansätzen eine Modellierung des Zusammenhangs zwischen den Dimensionen der Zeit und des Raumes und wie die Dimension der Zeit vom Fahrer durch seine gewählten Geschwindigkeiten gewichtet wird. Dieses bildet allerdings die Grundlage bei der Auswahl einer Route durch den Fahrer. Seine navigatorischen Präferenzen werden nur bedingt und nicht gesichert in die Routenberechnung einbezogen, was zu einer vom Fahrer unerwünschten Route führen bzw. die Zielkriterien des Fahrers in geringerem Maße erfüllen kann.

Daher wird in dieser Arbeit eine automatisierte und umfassende Einbeziehung des Fahrers für eine Personalisierung der Routingkomponente von Navigationssystemen durchgeführt. Das Ziel ist die Berechnung von Routen, die in größerem Maße den navigatorischen Präferenzen des Fahrers entsprechen und eine bessere Zielerreichung wie auch eine höhere Akzeptanz zur Folge haben.

Das Vorgehen ist an einen *Knowledge Discovery Process (KDP)* [27] angelehnt und wurde auf Basis eines umfangreichen Realfahrdatensatzes entwickelt. Dieser Datensatz, erhoben im Projekt *euroFOT* [47], umfasst ca. 100 Fahrer, denen für drei Monate ein Fahrzeug zur Verfügung gestellt wurde. Bei der Nutzung des Fahrzeugs war ihnen die Wahl der Zielposition sowie der Route vollkommen freigestellt, so dass ihr Routenauswahlverhalten nicht beeinflusst wurde und für die Analyse genutzt werden kann. Für die Daten werden zunächst mehrere Aufbereitungsschritte durchgeführt. Nach der Datenauswahl werden die Daten bereinigt. Der Schwerpunkt bei der Datenbereinigung liegt auf den Positionen und ihrer Zuordnung zu einer Kante des Straßennetzes. Abschließend werden die Daten für die Analyse drei verschiedener Perspektiven (*Kanten-, Routen- und Netzwerkperspektive*) reduziert.



Für die Kantenperspektive werden die gemessenen Geschwindigkeiten der Fahrer auf den verschiedenen Geschwindigkeitsklassen untersucht. Damit ist diese Perspektive der Dimension der Zeit zugeordnet. Die Ergebnisse der Analysen werden sowohl für die Modellierung wie auch für die Anpassung der Kantengewichte der Geschwindigkeit bei der Personalisierung genutzt.

Die vom Fahrer selbstständig ausgewählten Routen (*Fahrerrealrouten*) werden für die Routenperspektive analysiert. Dafür werden mit Hilfe einer neutralen *externen Routingreferenz* für die gemessenen Start-Zielkombinationen *Referenzrouten* berechnet. Die für diese Routen ermittelten Routendauern und -längen werden mit den gemessenen verglichen. Die berechneten Routen werden somit als Benchmark genutzt und ermöglichen eine Einordnung der Fahrer bezüglich der Dimension der Zeit (Routendauer) wie auch der Dimension des Raumes (Routenlänge). Beide Einordnungen gehen in das Modell ein.

Die Netzwerkperspektive betrifft das vom Fahrer in den drei Monaten gezeigte Mobilitätsverhalten. Das auf diese Weise aufgespannte Netz wird durch einen Graphen repräsentiert und mit graphentheoretischen Analysewerkzeugen untersucht. Das Ergebnis ist eine Einordnung des Fahrers, die der Dimension des Raumes zugeordnet werden kann. Insbesondere diese Einordnung ist wichtig für die Erweiterung der Modellierung gegenüber bisherigen Ansätzen.

Das Ergebnis der Analysen der drei Perspektiven sind jeweils zwei Modelle für beide Dimensionen. Deren Zusammenhang wird zunächst statistisch untersucht. Anschließend werden die Modelle aggregiert, um so ein fundiertes, zweidimensionales Modell, das sowohl die Dimension der Zeit als auch die Dimension des Raumes umfasst, zu erhalten. Es bildet die Grundlage für die Personalisierung der Routenberechnung.

Für die Berechnung der personalisierten Routen wird eine *interne Routingreferenz* genutzt. Die dazugehörige digitale Karte basiert auf den erhobenen Kanten des Realfahrdatensatzes. Damit ist die Datengrundlage leichter veränderbar, vor allem aber auch vergleichbar zu den gemessenen Routen der Fahrer. Es werden drei verschiedene Ansätze der Personalisierung durchgeführt: *Personalisierung der Kantengewichte*, *Personalisierung der Zielfunktion* sowie eine *kombinierte Personalisierung*.

Für die Personalisierung der Gewichte werden ausschließlich die Kantengewichte der Geschwindigkeit angepasst und auf dieser Basis eine schnellste Route berechnet. Es wird bei diesem Ansatz nur die Dimension der Zeit berücksichtigt. Bei der Personalisierung der Zielfunktion werden für jeden Fahrer Anteile für die Dimensi-



on der Zeit und der Dimension des Raumes für eine zweidimensionale Zielfunktion ermittelt. Die Routenberechnung wird allerdings auf Basis der Standardkantengewichte durchgeführt. Somit werden zwar beide Dimensionen mit einbezogen, doch werden die Geschwindigkeiten und damit die Gewichtung der Dimension der Zeit für jeden Fahrer nicht berücksichtigt. Für die kombinierte Personalisierung werden beide vorherigen Ansätze kombiniert: Für eine personalisierte zweidimensionale Zielfunktion wird eine Route auf Basis der angepassten Kantengewichte berechnet. Somit werden beide Dimensionen differenziert mit einbezogen.

Die verschiedenen Ansätze werden untereinander sowie mit einer *Standardroute* verglichen. Dies ist eine schnellste Route, die auf Basis standardisierter Kantengewichte der erstellten digitalen Karte mit Hilfe der internen Routingreferenz berechnet wird. Da es Ziel der Personalisierung ist, Routen zu berechnen, die eine höhere Güte aufweisen als die Standardroute, ist es notwendig diese zu messen. Dafür werden drei verschiedene *Gütemaße* genutzt: *Zielkriterien*, *Streckencharakteristika* und *Übereinstimmung*.

Das erste Maß der Zielkriterien analysiert und vergleicht die Routendauer und die Routenlänge der berechneten Routen. Dazu wird eine Detailanalyse für die Einflüsse der verschiedenen Perspektiven durchgeführt. Für das Maß der Streckencharakteristika werden die Straßenklassenanteile der berechneten Routen mit denen der Fahrerrealrouten verglichen und die Veränderung analysiert. Das dritte Maß der Übereinstimmung untersucht, inwieweit die berechneten Routen mit der gemessenen Route übereinstimmen.

Mit Hilfe der Gütemaße lässt sich der Nutzen der modellgestützten Personalisierung quantifizieren. Insbesondere werden der Einfluss der Dimension des Raumes und die Rolle der Maße der verschiedenen Perspektiven untersucht mit dem Ziel, die Routenberechnung von heutzutage verfügbaren Navigationssystemen zu verbessern.

Die Arbeit ist folgendermaßen aufgebaut. In Kapitel 2 werden die Grundlagen der Navigation dargestellt. Diese beinhalten die historische und technische Entwicklung von Navigationssystemen, ihre Funktionsweise und Komponenten sowie eine Analyse des Marktes für Navigationslösungen. Dazu werden sowohl umgesetzte Verfahren zur Personalisierung als auch der Stand der Forschung dargestellt. So werden das Potenzial aber auch bestehende Restriktionen für Ansätze zur Verbesserung der Routingkomponente von Navigationssystemen aufgezeigt.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden in Kapitel 3 das Konzept und der Ansatz des in dieser Arbeit entwickelten Verfahrens für die Modellierung und die



Personalisierung erläutert. Der Aufbau und die Schritte eines KDP als Grundlage des Verfahrens werden ebenfalls beschrieben. Sowohl das Konzept wie auch das Verfahren werden empirisch mit Hilfe des Realfahrdatensatzes belegt. Der für das Verfahren genutzte Datensatz aus dem Projekt euroFOT wird in Kapitel 4 dargestellt.

Das entwickelte Verfahren für die Modellierung und die Personalisierung ist Thema von Kapitel 5. Die Modellierung umfasst das Vorgehen bei den einzelnen Perspektiven sowie die Aggregation. Die verschiedenen Personalisierungsansätze werden ebenfalls explizit vorgestellt sowie das Verfahren zur Bewertung erläutert. Die Datenaufbereitung des Realfahrdatensatzes wird in Kapitel 6 beschrieben.

Nach der Aufbereitung werden die empirischen Ergebnisse der Modellierung und der Personalisierung in Kapitel 7 dargestellt. Es umfasst die Ergebnisse der Perspektivenanalysen, die zweidimensionale Modellierung sowie die Personalisierung. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Bewertung der Personalisierung. In Kapitel 8 wird ein Fazit der Arbeit gezogen und ein Ausblick gegeben.





## 2 Grundlagen der Navigation

### 2.1 Navigationssysteme

#### 2.1.1 Entwicklung der Navigation

Die Entwicklung des Automobils stellte für die individuelle Mobilität des Menschen einen enormen Fortschritt dar und ermöglichte einer zunehmenden Anzahl an Menschen ein umfangreiches Mobilitätsverhalten [57]. Dabei war und ist es notwendig, den Fahrer bei der dazugehörigen Navigationsaufgabe zu unterstützen, wenn er sich in einem ihm unbekanntem Gebiet bewegt.

Für diese Aufgabe bildeten entsprechend detaillierte Straßenkarten die Grundlage. Die Bestimmung der eigenen Position (Ortung), die Auswahl einer geeigneten Route vom Start- zu einer Zielposition (Routenberechnung) sowie das Folgen der ausgewählten Route (Routenführung) waren allerdings auch weiterhin Aufgabe des Fahrers. Durch die Entwicklung von Navigationssystemen zu Beginn der 1980er Jahre wurden dem Fahrer auch diese Aufgaben abgenommen und stellten eine durchgehende Navigationslösung zur Unterstützung der Mobilität zur Verfügung [67].

Für eine der größten technischen Herausforderungen, der korrekten Positionierung des Fahrzeugs, waren verschiedene Sensoren notwendig, um die Position des sich bewegenden Fahrzeugs, ausgehend von einer bekannten Position, fortzuschreiben. Sensoren, wie Gyrometer für die Drehbewegung, messen die Beschleunigungen und Verlagerungen des Fahrzeugs und bestimmen auf einer gespeicherten digitalen Karte die Position [67]. Die Karte besaß keinen hohen Detailgrad, da Anwendungen im zivilen Bereich aufgrund der Komplexität und der damit verbundenen Kosten nicht weit verbreitet waren. Ein Navigationssystem musste immer im Fahrzeug integriert (*fest eingebautes Navigationssystem*) sein, um Zugriff auf die Daten der benötigten Sensoren zu haben.[67]

Eine weitreichende Änderung erfuhr die Navigation durch die Freigabe des amerikanischen *Global Positioning Systems* (GPS) für private Nutzung in den neun-





ziger Jahren [66]. Somit war es möglich, aufgrund von Satellitensignalen und darauf aufbauender Berechnungen die Position metergenau zu bestimmen. Da sich Fahrzeuge im Allgemeinen auf dem Straßennetz befinden und sich darauf bewegen, war es somit möglich, eine sehr genaue Ortung durchzuführen ohne aufwendige Sensorik zu benötigen. Durch die Einsparpotenziale kosteten Navigationssysteme nur noch wenige Tausend D-Mark und wurden für den privaten Nutzer erschwinglich. Karten wurden verbessert und benutzerfreundliche Bedienungs- und Routenführungskonzepte entwickelt [67]. Durch höhere Stückzahlen konnte günstiger produziert werden und weitere Nutzer gewonnen werden, was das Wachstum verstärkte [70]. Die Absatzzahlen der Navigationssysteme in Europa stiegen von 1997 bis 2002 von unter 100 000 auf über 1.2 Millionen Stück stark an, siehe Abbildung 2.1.

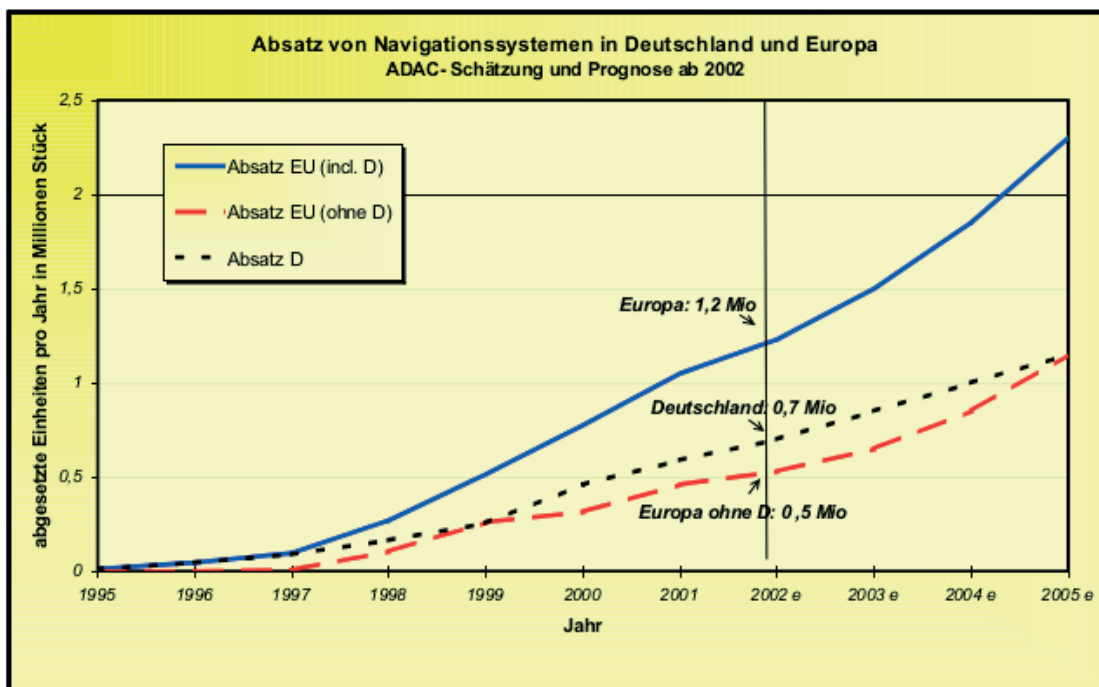


Abbildung 2.1: Absatzzahlen von festeingebauten Navigationssystemen in Deutschland und Europa, Abbildung aus [70]

Anfangs wurden viele Fahrzeuge nachgerüstet, so dass es im Jahre 1998 etwa gleich viele Erstausrüstungen der *Original Equipment Manufacturers* (OEM) mit Navigationssystemen ab Werk und Nachrüstungen im sogenannten *Aftermarket* (AM) gab. Dieses Verhältnis änderte sich auf 70% zu 30% zugunsten der Erstausrüstungen. In der Abbildung 2.1 aus dem Jahre 2002 wurde davon ausgegangen, dass der Markt insgesamt weiter stark ansteigt und sich das Verhältnis weiter zugunsten der Erstausrüstung verschiebt [70].



Durch den technischen Fortschritt im Bereich der Speicher- und Prozessortechnik war es auch möglich, vom Fahrzeug unabhängige Navigationssysteme ausschließlich auf GPS basierend zu entwickeln. Diese mobilen Navigationssysteme bzw. *Portable Navigation Devices* (PND) stellten eine große Neuerung im Bereich der Navigation dar [67]. Sie werden vornehmlich an der Frontscheibe befestigt, um einen guten GPS-Empfang sowie dem Fahrer eine gute Sicht auf das Display für die Routenführung zu ermöglichen. Durch die deutliche Verringerung der benötigten Sensoren und Komponenten waren diese Systeme deutlich günstiger als festeingebaute Systeme für wenige Hundert Euro zu erwerben und vergrößerten den potentiellen Markt für Navigationssysteme enorm [100].

PNDs verbreiteten sich ab dem Jahr 2005 stark (siehe Abbildung 2.2) und ermöglichten so vielen Fahrern das Navigieren auf unbekanntem Strecken ohne manuelles Auswählen einer Route. Als Folge der Verbreitung wurden auch die digitalen Karten verbessert und standardisiert. Dabei setzten die zwei Kartenhersteller *TeleAtlas* und *Navtech* den Standard und bilden, trotz Übernahme durch andere Firmen, bis heute mit ihren Karten die Grundlage für die meisten Navigationssysteme [20].

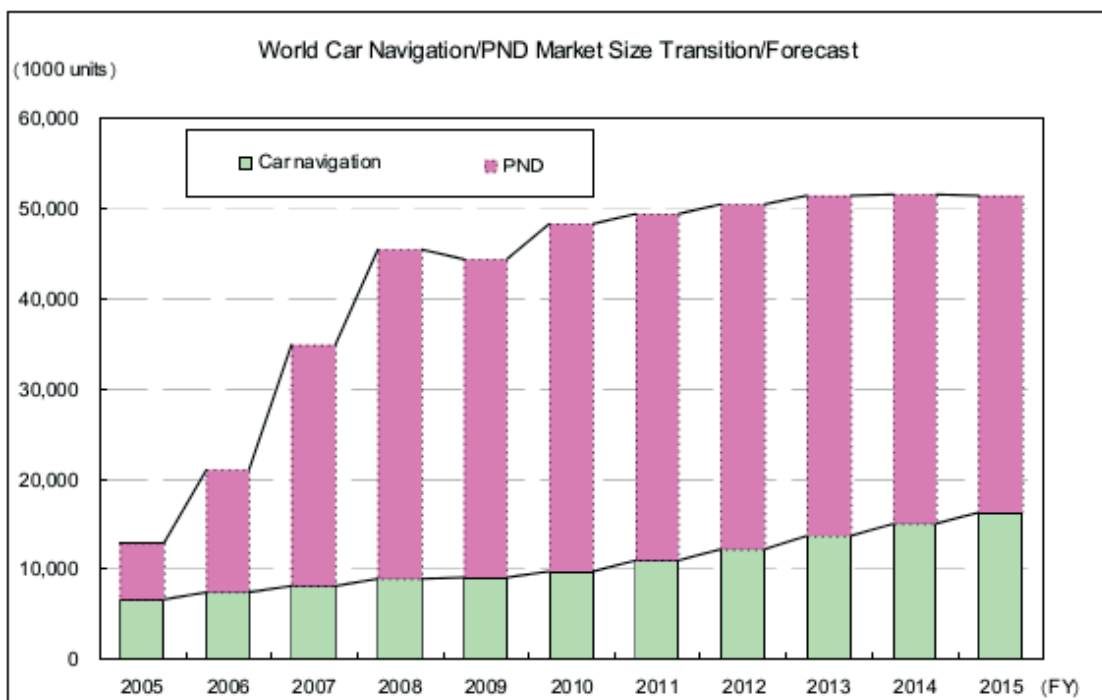


Abbildung 2.2: Absatzzahlen von Navigationssystemen weltweit bis 2008, Prognose der Absatzzahlen bis 2015, Abbildung aus [100]

Durch die deutlich geringeren Entwicklungszeiten profitierten auch hier mobile Navigationssysteme von Verbesserungen der digitalen Karte. Dementsprechend war



2008 der Marktanteil von verkauften mobilen Navigationssystemen auf gut 80% gestiegen [100].

Es wurden weitere Funktionen für die Navigation entwickelt sowie unterschiedliche Designs erstellt. Eine wichtige Komponente stellt das *Human-Machine-Interface* (HMI) dar, das die berechnete Route möglichst detailliert und anschaulich darstellt. Auch hier hatten PNDs Vorteile durch kürzere Entwicklungszeiten. Allerdings wurden durch den Druck der PNDs auch bei den festeingebauten Navigationssystemen weitere Entwicklungen getätigt, um einen Mehrwert zu generieren und den weiterhin höheren Preis zu begründen [67]. Eine zusammenfassende Darstellung der wichtigsten technischen Entwicklungen von 1980 bis 2010 ist in Abbildung 2.3 zu finden. Daher wurde im Jahr 2009 davon ausgegangen, dass PNDs weiter deutlich vorherrschend sind, der Absatz von festeingebauten Systemen sich aber steigert und allmählich Marktanteile zurückgewinnt, siehe Abbildung 2.2 [100].

1981	• Internal navigation system with gas-rate sensor
1985	• Commercial-type navigation system that used in digital electric map
1987	• DR type car navigation system with geomagnetic sensor and CD-ROM
1988	• Developed map-matching technology
1990	• GPS type car navigation system with CD-ROM
1991	• Route planning that is showed the way to destination
1992	• Route guidance with sound and voice at turn by turn
	• VICS system development began
1996	• VICS system service started
1997	• DVD-type in-car navigation system
	• All in-one audio & video in-car navigation
1999	• Hands free telephony and data communication using cellar phone system
2000	• GPS selective availability turned off
2001	• HDD type in-car navigation system
2002	• Communication module built-in type In-car navigation system
2003	• To support car probe system using cellular phone
2004	• Portable navigation device with flash memory
2005	• Linking portable music player type in-car navigation system
2006	• To support digital TV
2009	• To link Blu-Ray for automotive grade

Abbildung 2.3: *Entwicklungen im Bereich der Navigation, Abbildung nach [67]*

Weitere Entwicklungen, wie z.B. die Einbeziehung des aktuellen *Verkehrs* (siehe Abschnitt 2.3.2), erhöhten den Nutzen von Navigationssystemen [24, 60]. Dazu wurden Möglichkeiten evaluiert, wie Daten von Sensoren im Fahrzeug dem Navigationssystem zur Verfügung gestellt werden können, um diese durch zusätzliche Informationen weiter zu verbessern [67]. Trotz der Weiterentwicklungen und Zusatzkomponenten hat sich das Vorgehen beim Kern der Navigation, der Routenberechnung



nung nicht geändert. Auf Basis einer gespeicherten digitalen Karte, die durch einen Graphen repräsentiert wird, wird ein kürzester Weg berechnet, unabhängig davon, ob es sich um mobile oder festeingebaute Navigationssysteme handelt.

### 2.1.2 Markt für Navigationslösungen

Der Markt für PNDs wird von zwei Herstellern beherrscht. Dies sind der niederländische Hersteller *TomTom* und der amerikanische Hersteller *Garmin* [44]. War TomTom längere Zeit führend so ist seit 2007 Garmin Marktführer [4]. 2007 verkaufte Garmin 1.85 Millionen mobile Navigationssysteme und TomTom 1.81 Millionen [44]. 2008 war der Marktanteil von Garmin nochmals gestiegen und betrug 33.7 %, dicht gefolgt von TomTom mit 30% [76]. Daneben gibt es noch weitere Marktteilnehmer, wie z.B. *Navman* oder *Magellan*, die sich das restliche Drittel teilen.

Seitdem behauptet Garmin diese Position und konnte seinen Vorsprung systematisch ausbauen. So betrug der Jahresumsatz von Garmin im Jahre 2013 2.6 Milliarden Dollar (2 Milliarden Euro) [29], während TomTom 960 Millionen Euro umsetzte [30]. Der Umsatz wird mit Navigationssystemen für Fahrzeuge, aber auch neuen Produkten für andere Bereiche, wie Navigationssysteme für Freizeitaktivitäten (Laufen, Fahrradfahren, Wandern), generiert. Diese Systeme beinhalten weitere Funktionen, wie z.B. Pulsmessung oder Videoaufnahmefunktion, um dem Nutzer Daten und Bewertungen über die Strecke wie auch über sich selbst anzubieten [9].

Dazu ist der Markt für Navigationssysteme im Automobilbereich erneut im Umbruch, dem sich sowohl die großen wie auch die kleinen Anbieter stellen müssen [44, 77]. Im Bereich des Mobilfunks werden zunehmend *Smartphones* verkauft, siehe Abbildung 2.4. Von 2008 bis 2010 hatte sich der Umsatzanteil der Smartphones im Telekommunikationsbereich von 13% auf 58% mehr als vervierfacht [36].

Diese Entwicklung hat sich in den letzten Jahren fortgesetzt [39]. Smartphones sind nicht nur internetfähig sondern haben in der Regel auch einen GPS-Empfänger. Mit der mittlerweile erreichten Displaygröße, einer Halterung im Fahrzeug und einer entsprechenden (meist kostenlosen) App, z.B. *navfree*, gibt es nur noch wenig Unterschiede zu einem PND. Dazu hat der Mensch bzw. Fahrer sein Smartphone nahezu immer dabei, während das mobile Navigationssystem extra mitgeführt werden muss. Damit stellen die Smartphones eine große Bedrohung für den Markt der PNDs dar.



## Umsatz Telekommunikation (Privatkäufe)

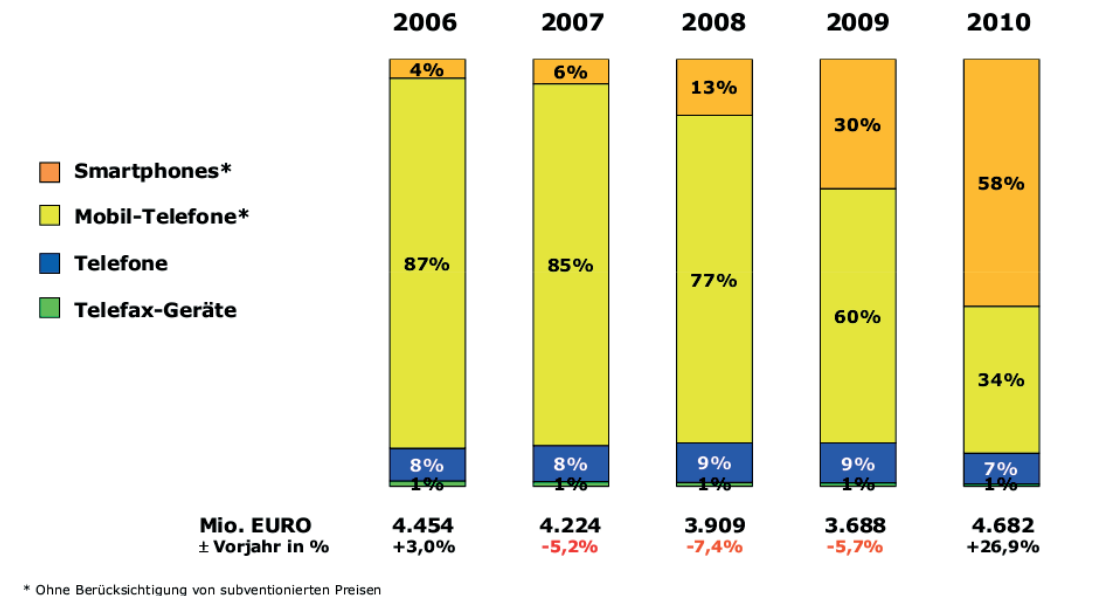


Abbildung 2.4: Absatzzahlen im Mobilfunkbereich, Abbildung aus [36]

Dies zeigt sich auch an den erreichten Umsätzen im Navigationsmarkt, siehe Abbildung 2.5. Die Hersteller von PNDs machten sich lange gegenseitig durch günstige Angebote Konkurrenz, die aber durch ein großes Marktwachstum ausgeglichen wurde.

Da der Markt nach den Jahren mit großem Wachstum gesättigt ist bzw. durch Smartphones bedroht wird, geht der Umsatz mit PNDs zurück. Betrag der Umsatz 2006 noch über 1.2 Milliarden Euro, so ist er bis 2010 auf unter 800 Millionen Euro gesunken. Daher geht die Entwicklung im mobilen Bereich zunehmend in die Richtung, dass das Gerät zur Navigation selber keinen Wert darstellt, sondern die damit verbundenen Dienste, wie Aktualität der digitalen Karte oder Erhebung des aktuellen Verkehrs, den Mehrwert darstellen.

Die Hersteller im AM stehen dabei vor den gleichen Problemen, zumal der Preis für solche Systeme mit über Tausend Euro deutlich höher ist. Der Bereich der OEMs kann sich dagegen besser von der Konkurrenz durch Smartphones absetzen und so seine Stellung halten. Diese Systeme sind ab Werk mit dem Fahrzeug integriert und können auf Daten der Fahrzeugsysteme zugreifen. Dazu kann der Preis durch Rabatte und Aktionen gesenkt werden.



### Umsatz Car Audio/Navigation\*

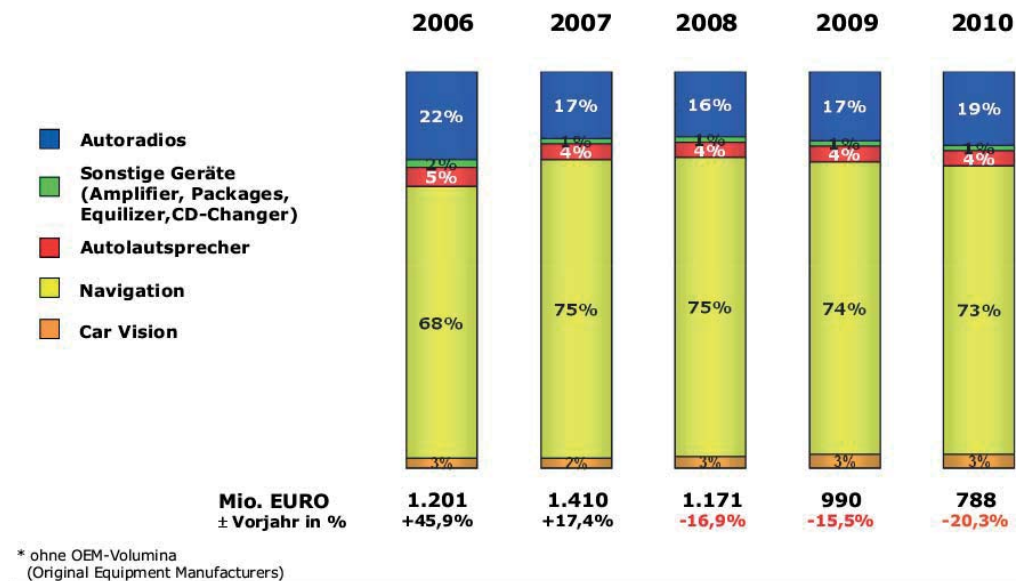


Abbildung 2.5: Umsatz im AM-Bereich, Abbildung aus [36]

Die Entwicklungen der Absatzzahlen sowie des Umsatzes für verschiedene Navigationssysteme sind in den Abbildungen 2.6 und 2.7 dargestellt. Der globale Navigationsmarkt ist von 2007 bis 2014 kontinuierlich von 50 Millionen auf 180 Millionen Stück gewachsen. Auch wenn PNDs weiterhin die knapp die Hälfte der abgesetzten Systeme ausmachen, so steigt der Anteil an Smartphones stetig an. Der Absatz festeingebauter Systeme ist ebenfalls gewachsen, allerdings nicht so stark wie der Absatz des Gesamtmarktes. Als Folge liegt der Marktanteil bei 10 bis 20%.



Abbildung 2.6: Absatzzahlen im globalen Markt für Navigation, Abbildung aus [94]



Der Absatz von mobilen tragbaren Computern (*Personal Digital Assistance (PDA)*) ist zwar ebenfalls aufgeführt, ihr Anteil am Navigationsmarkt ist allerdings verschwindend gering. Daher werden diese Geräte in der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt.

Bei der Umsatzentwicklung des Marktes ist eine zunehmende Sättigung bei 33 Milliarden US-Dollar sichtbar. Die steigenden Absatzzahlen sind nicht mit steigenden Umsätzen verbunden. Während der Umsatz der festeingebauten Systeme leicht wächst und der Anteil am Umsatz in etwa gleich bleibt, ging der Anteil der PNDs seit 2009 zunehmend zurück [94]. Dies ist durch den zunehmenden Preisverfall bei PNDs zu erklären. Zeitgleich stiegen der Umsatz für Smartphones sowie der Anteil am Umsatz des globalen Navigationsmarktes an. Es ist anzunehmen, dass diese Entwicklung sich fortsetzen und der Umsatz der PNDs weiter zurückgehen wird. Dazu zeigen die unterschiedlichen Anteile von festeingebauten Systemen an Absatz und Umsatz auch den deutlichen preislichen Unterschied zwischen diesen Systemen und PNDs bzw. Smartphones auf.



Abbildung 2.7: Umsatzzahlen im globalen Markt für Navigation, Abbildung aus [94]

Aufgrund der verringerten Umsätze bei PNDs versuchen die Hersteller ihre Produkte in Smartphones anzubieten bzw. zusätzliche Dienste zu integrieren, um damit einen Mehrwert zu generieren [9]. Damit werden alle Marktteilnehmer Anbieter von Navigationslösungen unterschiedlichster Art und Zusammensetzung. Gleichzeitig ist der generelle Bedarf an Navigationslösungen für den Menschen auch heutzutage hoch und bietet auch zukünftig ein sehr großes Potenzial.





## 2.2 Komponenten von Navigationssystemen

Aufgabe eines Navigationssystems ist es, eine Route von einem Start- zu einem Zielpunkt zu bestimmen und den Fahrer entlang dieser Route zum Zielpunkt zu führen. In Abbildung 2.8 ist der vereinfachte Aufbau eines Navigationssystems dargestellt. Anhand eines Satellitensignals wird die aktuelle Position bestimmt (Ortung). Diese geortete Position wird einer Position auf dem in der digitalen Karte gespeicherten Straßennetz zugeordnet (*Map Matching*) und der Routenberechnung bzw. dem Routing zur Verfügung gestellt. Die Routenberechnung bestimmt eine Route zu einem, vom Fahrer über die Bedienung eingegebenen, Zielpunkt. Der Startpunkt ist in der Regel die aktuelle Position. Mit Hilfe der Routenführung erreicht der Fahrer den Zielpunkt. Während sich das Fahrzeug bewegt, wird die jeweils aktuelle Position der Routenführung zur Verfügung gestellt. Die Routenführung sowie die Bedienung gehören zum HMI, das die Interaktion des Fahrers mit dem Navigationssystem ermöglicht.

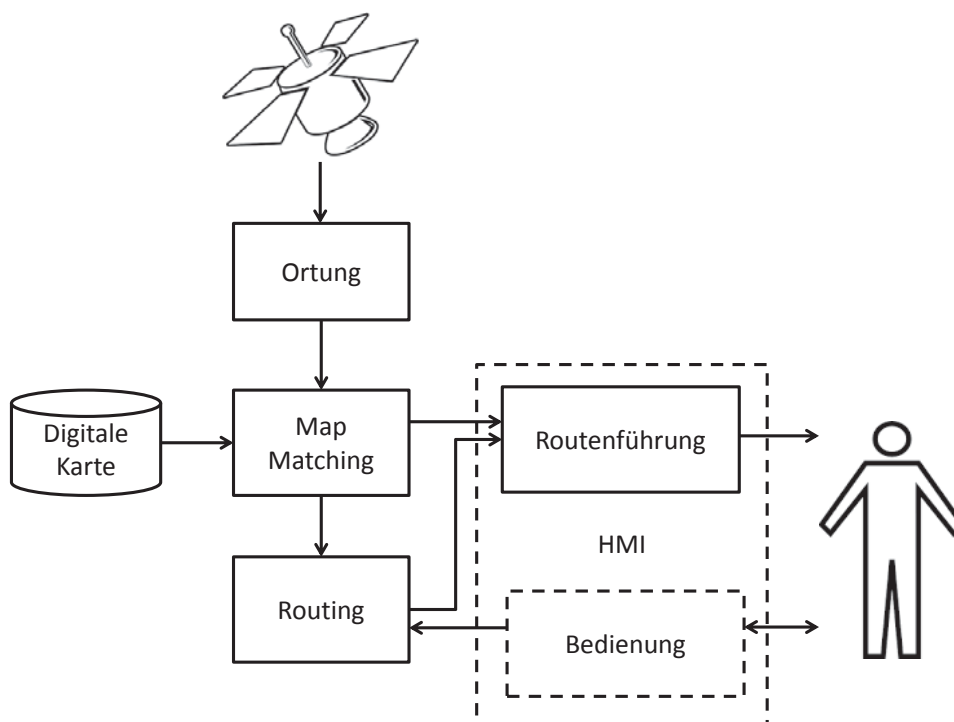


Abbildung 2.8: Vereinfachter Aufbau von Navigationssystemen