



Per Lewerenz (Autor)

# **Untersuchungen zu Fahrzeug-Ampel-Assistenzfunktionen basierend auf historienbasierten Prognosedaten im Realverkehr**

Schriftenreihe des Lehrstuhls Kraftfahrzeugtechnik

Herausgeber Prof. Dr.-Ing. Günther Prokop

Band 22

Per Lewerenz

Untersuchungen zu Fahrzeug-Ampel-Assistenzfunktionen basierend auf historienbasierten Prognosedaten im Realverkehr



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8653>

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

Die Minimierung des Energiebedarfs bei der Bewegung motorisierter Fahrzeuge stellt seit jeher eine große Herausforderung dar [1]. Um dieser Herausforderung zu begegnen, sind die Fahrzeughersteller und Zulieferer stets darum bemüht, den Wirkungsgrad der Antriebsstrangkomponenten zu verbessern, ohne dabei die Fahrdynamik zu vernachlässigen [2]. Neben dem Energiebedarf spielen auch weitere Faktoren wie die Reduzierung der Schadstoffemissionen, die Steigerung der Verkehrssicherheit und die Erhöhung des Komforts eine wesentliche Rolle [3]. Zudem ist der individuelle Reisezeitbedarf eine Größe, an dem die Effizienz des Verkehrsgeschehens gemessen werden kann [4].

Neben der technischen Optimierung des Antriebsstrangs haben bei makroskopischer Betrachtung des Verkehrsgeschehens weitere Faktoren ein großes Potential, das durch die Erhöhung des Wirkungsgrades der einzelnen Fahrzeuge allein nicht zu erschließen ist. Dazu zählt die Digitalisierung der Verkehrssysteme [5], eine nutzungsgerechte Auswahl unterschiedlicher Antriebskonzepte [6] bis hin zur Kombination verschiedener Fortbewegungsmittel zu effizienten Mobilitätskonzepten [7]. Im Zuge dieser Betrachtung kommt die Flexibilität eines Verkehrssystems auf sich verändernde Anforderungen als weiterer Aspekt hinzu [8].

Die einzelnen Anforderungen stehen teilweise im Widerspruch und stellen damit einen Zielkonflikt dar. Um diesen Zielkonflikt möglichst aufzulösen, muss der Bedarf an sicheren Informationen über die Wirkzusammenhänge des Verkehrsgeschehens gedeckt werden. Beim motorisierten Individualverkehr kommt dabei eine wichtige Quelle für Unsicherheiten hinzu: der Fahrer [9].

Dies betrifft nicht nur die Häufigkeit oder den Umfang der Nutzung, sondern auch die Art der Nutzung. Gründe für die unterschiedliche Art der Nutzung eines Fahrzeugs sind zum einen von der Vielfältigkeit der Anforderungen abhängig, zum anderen aber auch von den persönlichen Eigenschaften des Nutzers. So reagiert nicht nur jeder Fahrer individuell auf unterschiedliche Verkehrssituationen, sondern ist in seinen Fähigkeiten zur Situationserfassung und -bewertung wie auch in der Handlungsableitung und Handlungsausführung unterschiedlich leistungsfähig [10]. Hinzu kommt, dass der Grad der psychologischen und physiologischen Leistungsfähigkeit abhängig von vielen Einflüssen auch bei ein und derselben Person schwanken kann [11].

Aktuelle Bemühungen, den Fahrer stufenweise von der Fahraufgabe zu entledigen und diese an automatisierte Fahrfunktionen zu übergeben [12], kann die menschlichen Fehler eliminieren und das gesamte Verkehrssystem deterministisch machen. Während in einer Aus-

nahmesituation der menschliche Fahrer instinktiv reagiert, entscheidet das autonome Fahrzeug anhand festgelegter Algorithmen [13]. Dadurch verliert die Optimierung des Verkehrssystems als Ganzes zwar an Komplexität, dies setzt jedoch eine vollständige Durchdringung der Automation aller Verkehrsteilnehmer des Verkehrssystems voraus. Die Ersetzung der Fahrer durch autonome Systeme stellt aber nur dann eine sinnvolle Alternative dar, wenn die Systeme mindestens die gleiche Leistungsfähigkeit und Flexibilität haben wie ein menschlicher Fahrer [14]. Dies ist aktuell nicht durchgängig gegeben. Bis diese Systeme auf den Markt kommen, sollte der Fahrer in manuell gesteuerten Fahrzeugen durch immer besser werdende Assistenzsysteme bei der Fahraufgabe unterstützt werden [15].

Es stellt sich die Frage, in welcher Art Fahrzeugsysteme den Fahrer bei der Kompensation begrenzter Leistungsfähigkeit unterstützen können, indem sie ihm beim Erfüllen der Fahraufgabe assistieren, ihn aber nicht vollständig ersetzen [16].

Zur Erfassung der Verkehrssituation nimmt der Mensch sein direktes Umfeld mit den ihm zur Verfügung stehenden Sinnesorganen wahr. Durch die physiologisch begrenzten sensorischen Fähigkeiten des Menschen können Assistenzsysteme ihn hierbei unterstützen. Nach Maurer werden solche Systeme als „Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung“ bezeichnet [17].

Was die Situationsbewertung angeht, besitzt der Fahrer jedoch gerade in unklaren Situationen vorteilhafte Fähigkeiten gegenüber aktuellen Systemen. So verlangen unklare und unsichere Abläufe geradezu heuristisch flexible Entscheidungen und Aktionen, um kritische Entwicklungen rechtzeitig zu entschärfen. In solchen Kompensationsleistungen scheint der Mensch der Technik nach wie vor überlegen [18].

Die Handlungsausführung ist in weiten Teilen von den motorischen Fertigkeiten des Menschen abhängig, sodass Assistenzsysteme hier einen wertvollen Beitrag leisten können [19]. Als Beispiel hierfür sei das elektronische Stabilitätsprogramm ESP genannt [20]. Sobald dieses System einen kritischen fahrdynamischen Zustand erkennt, wird jedes Rad individuell und unterschiedlich stark abgebremst, um den gewünschten Fahrzustand zu sichern. Hierzu wäre der Fahrer rein physiologisch nicht in der Lage.

In bestimmten Verkehrssituationen, können redundante Assistenzsysteme den Fahrer bei der Fahraufgabe auch entlasten. So überwacht ein Abstandsregeltempomat kontinuierlich den Frontraum des Fahrzeugs und passt die Geschwindigkeit entsprechend selbstständig an [21]. Ähnliches gilt in kritischen Situationen, in denen der Fahrer seine Aufmerksamkeit nicht ausreichend auf den Verkehr konzentriert. Ein Notbremsassistent kann das Fahrzeug selbstständig verzögern, sobald es eine sicherheitskritische Situation erkennt [22]. Die Bewertung komplexerer Situationen und vor allem die Diversität der im Verkehr vorkommenden Situationen

werden auf absehbare Zeit jedoch die diesbezüglich guten Fähigkeiten des menschlichen Fahrers gegenüber automatisierten Fahrfunktionen erfordern.

Auch in Bezug auf den effizienten Betrieb eines Fahrzeugs kann der Fahrer als ein wesentliches Element identifiziert werden [23]. Unabhängig vom Antriebsstrangkonzzept müssen während einer Fahrt immer günstige und weniger günstige Betriebspunkte kombiniert werden, um das Ziel in einer bestimmten Zeit sicher, energiesparend und umweltschonend zu erreichen. Die Wahl des jeweiligen Betriebspunktes obliegt jedoch in weiten Grenzen dem Fahrer [24]. Um die Betriebspunkte effizient zu kombinieren und daraus den aktuell günstigsten Betriebspunkt zu bestimmen, sind unter Umständen zu jedem Zeitpunkt Informationen über den restlichen Verlauf der Fahrt erforderlich. Ist der Fahrer bestrebt, die Fahrt maximal effizient zu gestalten, müssten ihm entweder bereits vor Fahrtbeginn alle notwendigen Informationen detailliert vorliegen und / oder seine Sinnesorgane die vollständige Erfassung aller Merkmale während der Fahrt ermöglichen.

Theoretisch wäre selbst bei komplexen Antriebsstrangkonzfigurationen wie bei Hybridfahrzeugen die Aufgabe mit entsprechendem Wissen durch den Fahrer optimal lösbar. Da der optimale Betriebspunkt beider Antriebsmaschinen aber unter anderem auch von der Betriebstemperatur, dem Ladezustand und der Lebensdauer der Batterie abhängig ist, übersteigt die Anzahl an Einflussparametern schnell den Bereich dessen, was durch den Fahrer effizient abgedeckt werden kann [25]. Der Fahrer kann hier parallel zur Fahraufgabe durch Betriebsstrategien unterstützt werden, indem ein System anhand von umfangreichen Informationen über das Fahrzeug und die Umwelt zwischen den beiden Antriebsmaschinen entscheidet [26] [27].

Um den jeweils aktuellen Betriebspunkt, egal ob durch den Menschen oder das System, optimal zu wählen, müssen Informationen, welche sowohl räumlich als auch zeitlich vor der aktuellen Situation liegen, mit in Betracht gezogen werden [28].

Unmöglich wird es für den Fahrer spätestens dann, wenn sich die Randbedingungen während der Fahrzeit dynamisch und unvorhersehbar ändern. Dem Fahrer fehlen dann Informationen, um die Situation entsprechend zu bewerten, denn die Bewertung kann nur im Rahmen der Reichweite seiner sensorischen Fähigkeiten erfolgen.

Auch das zu erlangende Potential durch das Assistenzsystem ist von der Reichweite der Sensorik abhängig, wobei fahrzeuffeste Sensorik immer auch in der Reichweite begrenzt ist.

Anders verhält es sich, wenn Fahrzeuge untereinander und mit der Infrastruktur vernetzt werden und so Informationen auch über Distanzen übertragen werden können, welche deutlich über die Reichweite der Sensoren hinausgehen.

Bei Verwendung von Netzwerken über mehrere Knoten, wie dem Internet, ist die Reichweite unbegrenzt. Gleichzeitig kann auf eine Vielzahl von Informationen zugegriffen werden,

welche dem Fahrer zur Verfügung gestellt werden können. Basierend auf diesen Informationen kann er seine Stärken der Situationsbewertung nutzen und eine entsprechende Handlung ableiten. Das vernetzte Assistenzsystem hilft dem Fahrer, die richtigen Entscheidungen zu treffen [29].

Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der Fahrer die ihm von dem Assistenzsystem zu Verfügung stehenden Informationen versteht, akzeptiert und umsetzt. Gründe dafür, dies nicht zu tun, können verschiedene Ursachen haben. Der Fahrer kann sich beispielsweise durch das Assistenzsystem überfordert, bevormundet oder in seiner Entscheidungsfreiheit eingeschränkt fühlen [30]. Um dem entgegenzuwirken, muss dem Fahrer der Vorteil des Assistenzsystems klar ersichtlich sein und die Informationen verständlich kommuniziert werden. Das Systemvertrauen kann dabei verbessert werden, wenn dem Nutzer auch die vorliegenden Unsicherheiten der Information kommuniziert werden [31].

Neben der Übertragung von Informationen in das Fahrzeug stellt die Kommunikation des Assistenzsystems mit dem Fahrer demnach ein zentrales Element dar.

Die Kombination des Assistenzsystems als „Informationsbereitsteller“ und des Fahrers als „Situationsbewerter“ können bei dem Ansatz der Fahrzeug-Ampel-Assistenz gut nachvollzogen werden. Dieses ist eine Situation, in der dem Fahrer häufig ein Informationsdefizit vorliegt [32]. Ein vernetztes Assistenzsystem kann die Umschaltzeitpunkte, frühzeitig und schon deutlich vor dem Erreichen der Lichtsignalanlage (LSA) im Fahrzeug bereitstellen. Werden Informationen aus der Infrastruktur, entsprechend aufbereitet, an den Fahrer kommuniziert, kann dieser wiederum sein Potential in der Situationsbewertung besser ausschöpfen, da ihm mehr Informationen über die jeweilige Situation zur Verfügung stehen [33]. Der Fahrer kann sein Annäherungsverhalten darauf einstellen, indem er seine Fahrweise entsprechend der Situation anpasst.

## **1.1 Abgrenzung, Motivation und Zielstellung der Arbeit**

Unter realen Bedingungen ist es nur mit erheblichem Aufwand und hoher Verfügbarkeit umfangreicher Informationen aus der Infrastruktur möglich, den exakten Umschaltzeitpunkt an Lichtsignalanlagen vorherzusagen. Dies motiviert die Frage, ob eine Prognose der kommenden Umschaltzeitpunkte, auch bei verkehrabhängiger Lichtsignalsteuerung, allein anhand der vorhergehenden Umschaltzeitpunkte als Schätzung der kommenden Signalzustände herangezogen werden kann. Dabei wird in Kauf genommen, dass diese Schätzung die kommenden Umschaltzeitpunkte unter Umständen nicht exakt, sondern nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit bestimmen kann [34].

Dieser Umstand soll in der vorliegenden Arbeit mit dem Begriff *Unschärfe* beschrieben und in der Art der Informationsvermittlung an den Fahrer berücksichtigt werden.

Zu anderen Arbeiten, die die zukünftigen Umschaltzeitpunkte, ohne die Einbeziehung umfangreicher knotenpunktspezifischer Informationen, historienbasiert prognostizieren und den Einfluss auf den Energiebedarf im Realverkehr untersuchen, kann die vorliegende Arbeit wie folgt abgegrenzt werden: Je nach Fragestellung wurden projektspezifische Testfelder verwendet, indem ausgewählte Verkehrsknotenpunkte mit Kommunikationsmodulen ausgestattet wurden, um eine dezentrale Kommunikation zu ermöglichen. Dieser Ansatz ist nur mit erheblichem Aufwand auf größere Verkehrsräume skalierbar. Um die Anzahl der Einflussgrößen zu verringern, wurden entweder nur festzeitgesteuerte Lichtsignalanlagen ausgewählt oder an verkehrsabhängigen Lichtsignalanlagen für die Zeit der Versuchsdurchführung verkehrsadaptiv veränderbare Elemente der Signalprogramme fixiert. Die Veränderung der menschlichen Fahrweise an verkehrsabhängigen Lichtsignalanlagen, basierend auf unscharf prognostizierten Umschaltzeitpunkten in Realverkehr, kann damit nicht quantifiziert werden.

Zur Motivation der Arbeit sollen daher folgende Fragen vorangestellt werden:

- Können vernetzte Assistenzfunktionen durch die unbegrenzte Reichweite einen Zugewinn darstellen, indem Informationsdefizite des Fahrers kompensiert werden, selbst wenn die verfügbaren Informationen nur unscharf vorliegen?
- Kann dabei die Interpretation der Unschärfe und damit die Situationsbewertung und die Handlungsableitung in der Hand des Fahrers verbleiben, wenn die Unschärfe transparent an den Fahrer kommuniziert wird?

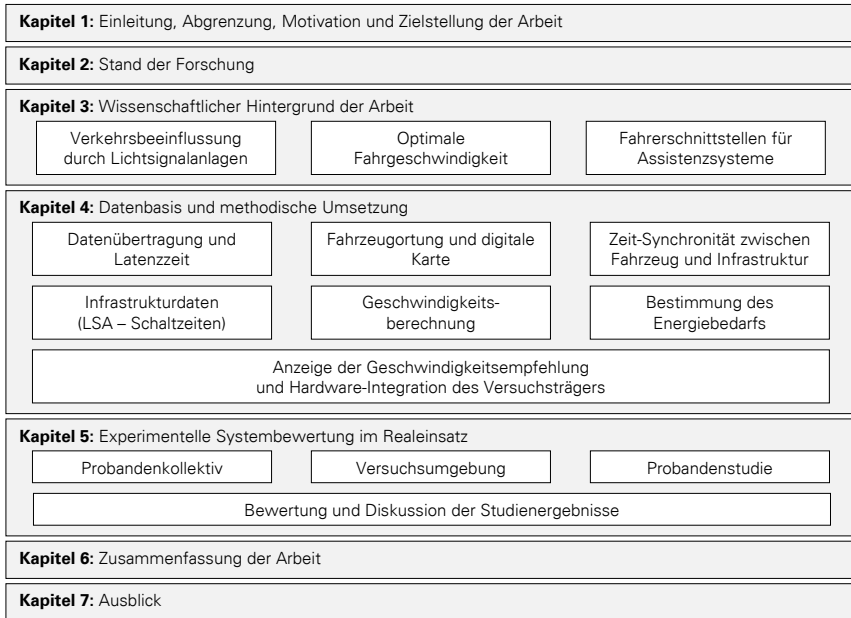
Um diese Fragen zu beantworten, ist es das Ziel der Arbeit, eine Versuchsumgebung aufzubauen, anhand derer diese Aussagen untersucht werden können. Als Szenario wird die Assistenz bei Annäherung von Fahrzeugen an durch Lichtsignalanlagen beeinflusste Verkehrsknotenpunkte herangezogen. Es wird dazu ein zentralseitiger Ansatz verfolgt, bei dem die Informationen über zukünftige Umschaltzeitpunkte von einem zentralen Verkehrsmanagementsystem prognostiziert und räumlich unbegrenzt zur Verfügung gestellt werden. Diese Informationen werden in das vernetzte Fahrzeug übertragen, aufbereitet und dem Fahrer so zur Verfügung gestellt, dass er seine Fahrgeschwindigkeit auf den Zustand der Lichtsignalanlagen einstellen kann.

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt daher auf folgenden Punkten:

- Aufbau einer Umgebung im realen Verkehrsumfeld zur Bereitstellung und zum Austausch dynamischer Infrastrukturinformationen (LSA-Daten) mit einem vernetzten Fahrzeug
- Anreicherung und Kombination der dynamischen Infrastrukturdaten mit fahrzeuginternen Daten (Fahrzustand des Fahrzeugs)
- Umsetzung einer Möglichkeit zur transparenten Kommunikation der daraus berechneten Fahrempfehlungen an den Fahrer über ein geeignetes Human-Machine-Interface (HMI)
- Nachweis und Bewertung der Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems im Straßenverkehr unter realen Bedingungen (Probandenstudie)

Dies impliziert den Anspruch, dass alle Teilfragestellungen so gelöst werden, dass die Funktionsweise des Systems auch im Realverkehr nachgewiesen werden kann. Bestehende Ansätze aus der Literatur werden dazu ggf. aufgegriffen und an die Realbedingungen angepasst. Durch den Einsatz unter realen Verkehrsbedingungen ergeben sich zudem Fragestellungen (Zeit-Synchronität, Ortung), welche in einer simulierten Umgebung trivial sind. In der Umsetzung im Realverkehr erfordern diese einen erheblichen Aufwand und werden in der vorliegenden Arbeit daher besonders beachtet.

## 1.2 Gliederung der Arbeit



**Abbildung 1-1: Gliederung der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in die in Abbildung 1-1 dargestellten Kapitel.

Im Kapitel 1 wird nach der Einleitung und der Abgrenzung zu anderen Arbeiten, die Zielstellung der Arbeit motiviert. Im Kapitel 2 wird der Stand der Forschung anhand der Literaturrecherche themenverwandter Arbeiten vorgestellt und zusammengefasst. Im Kapitel 3 wird der wissenschaftliche Hintergrund bereitgestellt. Dazu gehören die Funktionsweise von Lichtsignalanlagen und die sich daraus ergebenden Ansätze zur Empfehlung einer optimalen Annäherungsgeschwindigkeit.

Im Kapitel 4 werden die vorliegenden Randbedingungen erläutert. Dabei wird an entsprechender Stelle auf den Stand der Technik verwiesen, um auf bereits vorliegenden Erkenntnissen aufzubauen und diese zielführend in die Arbeit mit einfließen zu lassen. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden die Umsetzungen aller Teilfragestellungen dargestellt.

Die experimentellen Studien im Kapitel 5 zeigen die entwickelte Umgebung im Einsatz, um deren Funktion nachzuweisen.

Abgeschlossen wird die Arbeit im Kapitel 6 mit der Zusammenfassung, Kapitel 7 gibt einen Ausblick in Form offener Fragestellungen, als Motivation zur weiteren wissenschaftlichen Bearbeitung des Themas.



## 2 Stand der Forschung

Audi bietet als erster Automobilhersteller seit 2019 in einigen Städten in Nordamerika den Vehicle-to-Infrastructure-Service "Ampelinformation" an, der auch das effiziente Fahren bei der Annäherung an Lichtsignalanlagen begünstigen soll. Audi kooperiert in diesem Zusammenhang mit den betreffenden Metropolen in Nordamerika, welche die Daten bereitstellen. Begünstigt wird dies, da urbane Ampelsysteme in den USA großflächig und einheitlich geplant werden [35].

Audi und der Projektpartner Traffic Technology Services (TTS) [35] haben einen komplexen Analyse-Algorithmus entwickelt, der die kommenden Umschaltzeitpunkte unter Zuhilfenahme vieler Informationen bereitstellt und bietet den Dienst seit 2020 auch an ausgewählten Lichtsignalanlagen in zwei deutschen Städten (Ingolstadt und Düsseldorf) an.

Der Algorithmus erfordert neben Historiendaten das jeweilige Steuerprogramm der Signalanlage, die Echtzeitdaten vom Verkehrsrechner und eine Kombination aus Belegungskameras, Detektorschleifen in der Straße, Bus- oder Tram-Anmeldungen und Fußgängerdrückern [36]. Es handelt sich hierbei also um einen Ansatz, der umfangreiche Infrastrukturinformationen voraussetzt. Audi gibt an, mit dem System 15 % Kraftstoff sparen zu können [37]. Wie schnell weitere Städte an die Technologie angebunden werden, hängt vor allem davon ab, ob sich Datenstandards sowie Schnittstellen etablieren und Städte ihre Ampelanlagen digitalisieren [35].

Zur Bestimmung der Potentiale von Fahrzeug-Ampel Kommunikation mit dem Schwerpunkt auf Annäherungsstrategien wurden in verschiedenen Arbeiten, die im Anhang A zusammengefasst und in Abbildung 2-1 gegenübergestellt sind, Untersuchungen sowohl in der Simulation als auch in der testweisen experimentellen Umsetzung durchgeführt. Dabei variierte sowohl der Systemansatz als auch der methodische Ansatz und der Umfang der Untersuchungen.

Forschungsprojekte und veröffentlichte Arbeiten	Stand der Forschung											
	vorliegende Arbeit	Projekt KOLIBRI	Dissertation P. Schuricht	Projekt KOLINE	Projekt Travolution	Dissertation C. Dorrer	Dissertation A. Richter	Dissertation J. Lufmann	Projekt AKTIV-VM	Projekt Wolfsburger Welle	Projekt UR:BAN	Dissertation S. Thoma
<b>Datenübertragung zwischen LSA und Fahrzeug</b>												
dezentrale / direkte Kommunikation	○	—	●	●	●	●	●	●	●	●	n/a	n/a
zentrale Kommunikation	●	●	○	○	○	—	—	—	—	—	n/a	n/a
<b>Betrachtete LSA-Steuerungsverfahren</b>												
Festzeitsteuerung	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	n/a	n/a
adaptive Verfahren	●	—	●	○	○	—	—	—	—	—	n/a	n/a
<b>Datenerfassung / Verarbeitung von Infrastrukturmaßnahmen zur Verkehrslageprognose</b>												
Freigabe- und Sperrzeitinformation	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	n/a	n/a
Schleifendetektordaten	n/a	○	●	●	●	—	○	—	—	—	n/a	n/a
Floating Car Data	n/a	●	—	●	●	—	—	—	—	—	n/a	n/a
Berücksichtigung Rückstaulängen	○	○	●	●	●	○	○	●	●	○	—	n/a
<b>Methodik der Systemevaluierung</b>												
Simulation Einzelfahrzeug	n/a	?	●	●	●	●	●	?	●	●	●	n/a
Simulation im Gesamtverkehr	n/a	●	●	?	—	—	●	●	—	●	●	●
Demonstrator / Testfeld / Einzel-LSA	●	?	●	●	●	●	—	—	●	●	—	●
Feldversuch im Realverkehr	●	●	—	?	●	●	—	—	●	●	—	—
<b>Intention des Projekts</b>												
Kraftstoff- / Emissionsreduktion	●	○	●	●	●	●	●	●	—	○	●	n/a
Optimierung Verkehrsfluss	○	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	n/a
<b>Zusammenfassung der Systemvalidierung</b>												
Energetisches Einsparpotential in %	11	20	10	5	15	40	15	?	?	10	?	?
Probanden Anzahl	36	22	?	○	?	16	—	30	?	?	64	27
Anzahl Lichtsignalanlagen	18	7 - 8	1	3	3	3	8	4	5	11	12	6
Länge der Versuchsstrecke in km	6	5 - 7	0,5	10	?	?	?	—	?	3,6	—	?
<p>● - Kernuntersuchungsziel berücksichtigt; ○ - Untersuchungsbedarf erwähnt;  — - Untersuchungsziel nicht betrachtet; n/a - im Kontext nicht relevant; ? - keine Informationen verfügbar</p>												

Abbildung 2-1: Gegenüberstellung von Forschungsprojekten<sup>1</sup><sup>1</sup> Quellen:

KOLIBRI [106] [107], KOLINE [58] [100], Travolution [61], AKTIV-VM [97],  
Wolfsburger Welle [97], UR:BAN [102] [103] [104] [105],  
P. Schuricht [86], C. Dorrer [98], A. Richter [99], J. Lufmann [108], S. Thoma [67]

In der Literatur werden auch über die Situation der Knotenpunktannäherung hinaus Methoden zur prädiktiven Planung energie- und / oder zeitoptimaler Fahrtrajektorien theoretisch anhand von Simulationen behandelt [38] [39] [40] [41]. Die Bewertung und vor allem die Umsetzung durch den Menschen können anhand von Berechnungen nicht oder durch die Verwendung von Ersatzmodellen nur näherungsweise berücksichtigt werden, da entsprechend detaillierte Verhaltensmodelle nicht vorliegen [42].

Um den Einfluss des Menschen zu berücksichtigen, werden daher andere Untersuchungsmethoden gewählt. Dazu bieten sich die Untersuchungen synthetischer Situationen im Fahr-Simulator [43] [44] oder unter definierten Bedingungen auf Testfeldern [45] an. Die Bewertung von Kreuzungsassistenzsystemen auf abgeschlossenen Testfeldern geschieht unter fest vorgegebenen Randbedingungen, was bei der Übertragbarkeit auf das reale Verkehrsgeschehen zu beachten ist.

Bei Untersuchungen im realen Verkehrsgeschehen muss sowohl nach der Art des Kommunikationspfades zwischen Fahrzeug und LSA (dezentral oder zentral) als auch nach der Art des Signalsteuerungsverfahrens (Festzeitsteuerung oder verkehrsadaptiv) unterschieden werden.

Die direkte oder dezentrale Kommunikation zwischen Lichtsignalanlage und Fahrzeug ist in der Strecke des Übertragungsweges begrenzt. Dies wirkt sich negativ auf das zur Verfügung stehende Potential zur Anpassung der Geschwindigkeit aus. Der Bereich kann trotz direkter Kommunikation erweitert werden, indem die Informationen wie im Projekt KOLINE über separate Einrichtungen auf der Strecke vor Lichtsignalanlagen weitergegeben werden. Dies setzt jedoch infrastrukturseitige Veränderungen (Installation dezentraler Kommunikationseinheiten) voraus. Um das Potential in vollem Umfang deutlich über die Reichweite der menschlichen Sinnesorgane nutzen zu können, ohne Eingriffe in die Infrastruktur umsetzen zu müssen, kann der zentralseitige Ansatz über das Mobilfunknetz, wie beispielsweise im Projekt KOLIBRI geschehen, verwendet werden.

Werden, wie in den Projekten KOLINE und KOLIBRI geschehen, während der experimentellen Untersuchung die Signalprogramme auf Festzeitsteuerung umgestellt, kann eine exakte Vorhersage der nächsten Umschaltzeitpunkte erfolgen, eine Prognose ist dann trivial. Dies ist jedoch nicht immer auf das reale Verkehrsgeschehen übertragbar, da sich beispielsweise in Dresden über 90 % der Lichtsignalanlagen verkehrabhängig verhalten [46].