

2 Literaturüberblick: Neuere Ansätze der Transportplanung

Trotz der im vorherigen Kapitel dargelegten, teilweise existentiellen Bedeutung der Thematik des Fahrermangels für (LKW-) Transportunternehmen existiert bisher nur eine sehr überschaubare Anzahl an Fachpublikationen, die sich mit dem Problem aus einer operativen Sicht auseinandersetzen und versuchen, neuere Ansätze der Transportplanung zu entwickeln, um den Beruf sowohl für aktuelle Fahrer als auch für potentielle Einsteiger attraktiver zu gestalten. So bemängelt Campbell (2005) in einem Überblick zum Netzwerk-Design im Straßengütertransport ein geringes Interesse der Wissenschaft, insbesondere im FTL-Bereich.⁵⁶ Erste Forschungsanstrengungen zu der Thematik beruhen dabei auf den Arbeiten von Taylor zum Design von Netzwerken mit Relay-Stationen aus dem Jahr 1994. In einem auf längere Zeit angelegten Forschungsprojekt wird von ihm in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Autoren versucht, Komplettladungsverkehre regelmäßiger zu gestalten, um die Arbeitsbedingungen im Fernverkehr dadurch zu verbessern. Die Motivation hierzu ist weniger ethisch oder sozial begründet als dadurch, dass das regelmäßige Ausscheiden von Fahrern mit hohen Kosten verbunden ist, denn neue Fahrer müssen aufwendig von Unternehmen rekrutiert und eingearbeitet werden. Das von Taylor angegangene Problem beruht daher weniger auf der eigentlichen (und auch in den Vereinigten Staaten zu erlebenden) Knappheit als vielmehr darauf, dass insbesondere im Fernverkehr viele Fahrer aufgrund der harten Arbeitsbedingungen den Beruf nur kurze Zeit ausüben und schon bald wieder aus den Unternehmen ausscheiden. Die Kosten für die Einstellung eines neuen Fahrers werden im Jahr 1998 auf durchschnittlich \$ 8.234 beziffert, allerdings wird auch von Spitzenwerten bis zu \$ 20.729 berichtet.⁵⁷ Wegen der hohen Aussteigerraten, die laut der American Trucking Association nicht selten einem kompletten Umschlag der Belegschaft innerhalb eines Jahres

⁵⁶ Vgl. Campbell (2005), S. 262 und 274.

⁵⁷ Vgl. Rodriguez et al. (2000), S. 8.

gleichkommen, handelt es sich damit um ein ernst zu nehmendes ökonomisches Problem.⁵⁸ Diese Raten sind auch heute immer noch ähnlich hoch.⁵⁹

In Taylors Arbeiten, die im folgenden Abschnitt kurz erörtert werden sollen, werden verschiedene Ansätze für neuartige Transportnetzwerke diskutiert, bei denen zum Teil auch Relay-Stationen zum Einsatz kommen. Während die Arbeiten hauptsächlich auf simulationsbasierten Experimenten beruhen, sind im Laufe der Jahre weitere Modelle auf Grundlage von mathematischen Optimierungsmodellen und -verfahren entwickelt worden. Letztere Arbeiten werden im Abschnitt 2.2 diskutiert.

2.1 Simulationsbasierte Forschungsarbeiten

Die grundlegenden Ideen für die folgenden Arbeiten beruhen auf der Publikation von Taha/Taylor (1994). Dort wird erstmals der Gedanke vorgestellt, Hub-and-Spoke-Netzwerke, ähnlich wie im Luftverkehr, auch im Straßengüterverkehr für Komplettladungen in hinreichend großen Speditionen einzusetzen, um Fahrern die Möglichkeit zu bieten, regelmäßig kürzere Routen zu fahren und damit öfter heimzukehren. Entscheidend für einen Erfolg ist laut den Autoren ein entsprechend hohes Frachtaufkommen, welches jedoch aufgrund zunehmender Konzentration auf den Transportmärkten immer häufiger erreicht wird. Nach ihren Angaben sind bis dato (also 1994) keine Relay-Netzwerke im FTL-Bereich untersucht worden. Für zukünftige Studien stellen sie die Entwicklung eines ‚Hub-and-Spoke-Simulators‘ vor, in dem Baseline-Szenarien mit Hub-and-Spoke-Szenarien verglichen werden sollen. Erste Tests mit dem Programm zeigen, dass Tourlängen der Fahrer auf Kosten anderer Kriterien wie leer gefahrener Strecken reduziert werden können.

⁵⁸ Vgl. die Angaben der American Trucking Association in Stephenson/Fox (1996), S. 12.

⁵⁹ Vgl. die Angaben der American Trucking Association in Vergara/Root (2013), S. 32.

In den nachfolgend erläuterten Publikationen von Taylor werden verschiedene Konstellationen von (Routing-) Regeln wie beispielsweise eine maximal erlaubte Länge eines Umwegs für Sendungsübergaben an Relays für die Abwicklung von Transporten – sowohl mit als auch ohne Relay-Nutzung – auf der Grundlage von Aufträgen eines amerikanischen Transportunternehmens untersucht. Nachfolgend werden zunächst die von Taylor genutzten verschiedenen Netzwerktypen vorgestellt, bevor anschließend ein detaillierter Überblick über die Arbeiten gegeben wird.

2.1.1 Netzwerktypen mit Nutzung von Relay-Stationen

An den von Taylor genutzten Relay-Stationen kann eine Entladung und kurzzeitige Zwischenlagerung der Güter stattfinden, um damit später ein anderes Fahrzeug wieder zu beladen. Es wäre jedoch auch denkbar, dass statt des Umladens ein Fahrerwechsel bzw. ein Anhängerwechsel stattfinden könnte. Während der letztere Fall unter der Annahme, dass an jedem Relay hinreichend viele leere Anhänger vorgehalten werden, die dann ersatzweise wieder an das anliefernde Fahrzeug gekoppelt werden, vom Prinzip her identisch mit einer Be- und Entladung am Relay ist, da faktisch stets voll beladene oder leere Fahrzeuge *mit* Anhänger unterwegs sind, steigt die Komplexität der Steuerung, wenn ein Fahrzeug auch ohne einen Anhänger weiterfahren könnte.⁶⁰ Auch eine Organisation von Fahrerwechseln an Relays erschwert die Planung, da zum einen aufgrund der generellen Fahrerknappheit, im Gegensatz zur Annahme beim Anhängerwechsel, in der Regel nicht davon ausgegangen werden kann, dass stets hinreichend viele Fahrer an einem Relay verfügbar sind und zum anderen die individuellen Lenkzeiten der Fahrer berücksichtigt werden müssen. Ein Ansatz mit Fahrerwechseln beschreibt eine bisher kaum in der Literatur bearbeitete Entkopplung von Fahrern und Fahrzeugen, die sich jedoch aus Kostensicht vermutlich nicht als vorteilhaft für den europäischen, nicht nach Fahrplan

⁶⁰ Vgl. beispielsweise Drexl (2013) für einen Ansatz, bei dem Anhänger an so genannten ‚transshipment locations‘ abgekoppelt werden, da einige Kunden nur ohne diese angesteuert werden dürfen. Die Fahrzeuge verfügen dabei jedoch auch ohne Anhänger über eine Ladefläche.

verkehrenden Transportmarkt erweisen würde, da nur selten direkte Anschlussfahrten für die Fahrer an einer Relay-Station verfügbar sind.⁶¹

Für die weiteren Ausführungen soll – soweit nicht explizit anders geschil-
dert – davon ausgegangen werden, dass an Relays ausschließlich be- und
entladen wird oder eben unter Annahme hinreichend vieler vorgehaltener
Anhänger ein einfacher Ladungswechsel stattfindet.

2.1.1.1 Hub-and-Spoke-Netzwerke

Ein Ferntransport wird in einen Vorlauf, einen Nachlauf und mindestens
einen Hauptlauf aufgeteilt. An Relay-Stationen (bzw. hier als Hub bezeich-
net) findet eine Übergabe der Güter statt. Die Vor- und Nachläufe bewegen
sich nur innerhalb einer kleinen Region, so dass die Fahrer, die diese Teil-
aufträge übernehmen, in der Regel zum Ende der Schicht zu ihren Heimat-
orten fahren können. Auch die Hauptläufe sind idealerweise so aufgeteilt,
dass Fahrer die Distanz zwischen zwei Hubs innerhalb eines halben bzw.
eines ganzen Tages zurücklegen können und somit regelmäßig heimkeh-
ren.⁶²

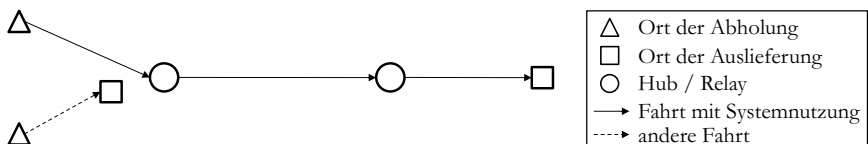


Abbildung 2: Hub-and-Spoke-Netzwerk.

⁶¹ Vgl. Drexel et al. (2011), S. 17–18.

⁶² Vgl. Taha/Taylor (1994), S. 141–142 und 146–147; Braklow et al. (1992), S. 151–152; Aberle (2009), S. 535–537.

2.1.1.2 Zone Dispatching

Beim Zone Dispatching werden abgehende überregionale Sendungen aus einer definierten Region (Zone) an entsprechenden Stationen an den Grenzen abgestellt, um dann von Fahrern aus benachbarten Zonen oder ggf. einer Fernfahrerflotte weiter transportiert zu werden. Dasselbe gilt für ankommende Sendungen, die ab den Grenzstationen von den regionalen Fahrern ausgeliefert werden. Durch das System bleibt zumindest der Aktionsradius der regionalen Fahrer auf die jeweilige Zone beschränkt, womit sie aufgrund der geringeren zurückgelegten Entfernungen die Möglichkeit haben, häufiger heimzukehren.⁶³

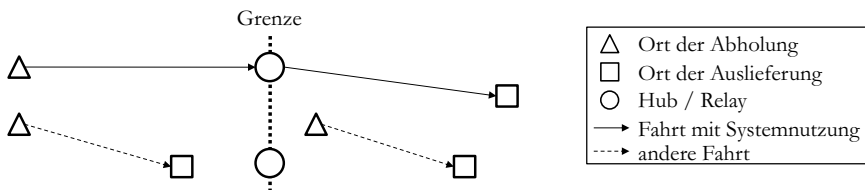


Abbildung 3: Zone Dispatching.

2.1.1.3 Delivery Pipelines

Delivery Pipelines ähneln sowohl Key Lanes (s. Abschnitt 2.1.2.1) als auch Hub-and-Spoke-Netzwerken. Während bei Nutzung von Key Lanes Fahrer jeweils Direkttransporte im Fernverkehr zwischen zwei Regionen mit hohem Frachtaufkommen in beide Richtungen übernehmen und deshalb in der Zielregion stets geeignete Transportaufträge für eine Rückfahrt in die Heimatregion aufnehmen können, findet hier wie im Hub-and-Spoke-Netzwerk zusätzlich eine Aufteilung in Vorlauf, Nachlauf und Hauptlauf statt. Es handelt sich somit um ein Hub-and-Spoke-Netzwerk mit hohem gegenseitigem Frachtvolumen zwischen den Regionen, für die es implementiert ist. Die Regionen sind aufgrund der Aufteilung der Transporte mit

⁶³ Vgl. Taylor et al. (1997), S. 7; Taylor/Meinert (2000), S. 552.

⁶⁴ Vgl. Taylor/Whicker/DuCote (2009), S. 255–257.



2.1.2 Netzwerktypen ohne Nutzung von Relay-Stationen

Neben den Netzwerktypen mit Relay-Nutzung hat Taylor weitere Systeme vorgestellt, mit denen auch ohne Austausch von Ladung eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen für zumindest einen Teil der Belegschaft erreicht werden soll.

Bei Key Lanes handelt es sich um eine gezielte Separierung von einigen Transportaufträgen aus der Summe aller Aufträge. Key Lanes bezeichnen dabei Transporte aus einer kleineren Region bzw. einem Ballungsraum in eine/n andere/n. Sie können bei gleichmäßig hohem Frachtaufkommen in beide Richtungen sinnvoll eingesetzt werden. Die Fahrer übernehmen so nach Auslieferung einer Ladung direkt wieder einen gegenläufigen Transport, um in ihre Heimatregion zurückzukehren. Da die durchschnittlichen Entfernungen der Key Lanes nicht mehr als einen Tag betragen sollen, kehren die Fahrer mindestens jeden zweiten Tag heim. Andere Transport-

⁶⁴ Vgl. Taylor/Whicker/DuCote (2009), S. 255–257.

aufträge, die nicht über Key Lanes transportiert werden, lassen sich zum Beispiel weiterhin herkömmlich abwickeln.⁶⁵

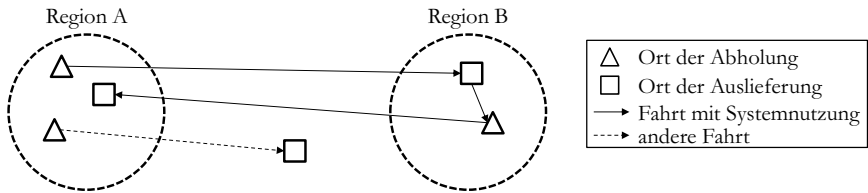


Abbildung 5: Key Lanes.

2.1.2.2 Regional Fleets

Bei der Nutzung ‚regionaler Flotten‘ findet eine strikte Trennung zwischen überregionalen Transporten und Verkehren, die innerhalb ihrer Region verbleiben, statt. Zumindest Fahrern, die auf den regionalen Flotten eingesetzt werden, kann so ein regelmäßiger Arbeitstag in Heimatnähe angeboten werden. Überregionale Transporte werden jedoch weiterhin im Sinne konventioneller Fernfahrten durchgeführt.⁶⁶

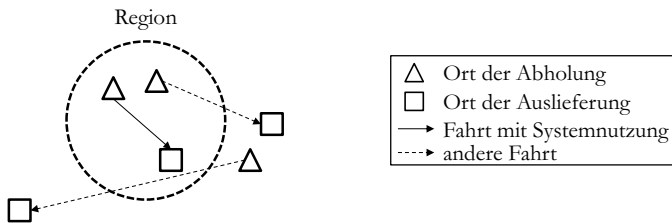


Abbildung 6: Regional Fleets.

⁶⁵ Vgl. Taylor et al. (1997), S. 7; Taylor et al. (1999), S. 193–194; Taylor/Whicker/Du-Cote (2009), S. 257.

⁶⁶ Vgl. Taylor/DuCote/Whicker (2006), S. 169.

2.1.3 Literaturüberblick

Im Folgenden sind die simulationsbasierten Publikationen von Taylor, die im Anschluss auch detailliert diskutiert werden, in Tabelle 1 aufgeführt und mithilfe verschiedener Merkmale kategorisiert. Dazu werden zum einen die jeweils genutzten und zuvor diskutierten Netzwerktypen vermerkt und zum anderen verschiedene Untersuchungskriterien aufgeführt, anhand derer die Ergebnisse der Simulationen analysiert werden. Die Kriterien lauten:

- Durchlaufzeit bzw. Termineinhaltung. Entspricht der Zeitspanne von der Abholung bis zur Auslieferung einer Sendung und ist ein wichtiges Kriterium aus Kundensicht. Zur Bewertung werden vor allem die bei Direktfahrten erzielten Ankunftszeiten am Zielort als fiktive Terminreferenzwerte herangezogen und mit Ankunftszeiten anderer Belieferungsformen verglichen.
- Abwesenheitszeit. Beschreibt die Dauer der Abwesenheiten bzw. Tourlängen der Fahrer bis zur Rückkehr zu deren Heimatorten und ist damit ein entscheidendes Merkmal für die Arbeitsbedingungen. Allerdings werden die Abwesenheiten nur in vier von zehn Publikationen erfasst, oftmals wird eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen allein anhand der betrachteten Netzwerktypen angenommen, womit sich die vorliegende Arbeit deutlich von den hier diskutierten Publikationen absetzt.
- Meilen pro Fahrer. Gibt die gefahrenen Meilen je Fahrer an. Die Kennziffer ist besonders im amerikanischen Kontext wichtig, da dort oftmals eine Vergütung gemäß zurückgelegter Entfernungen stattfindet, was neben den Abwesenheitszeiten entscheidend zur Zufriedenheit der Fahrer beiträgt.⁶⁷
- Gesamtkosten. Beschreibt die den Transportunternehmen entstehenden Kosten bei der Abwicklung der Transporte über die betrachteten Netzwerktypen. Dieser, als wichtig für die Güte der Er-

⁶⁷ Vgl. z. B. Taylor et al. (1999), S. 196.

gebnisse erachtete Aspekt, ist jedoch in keiner der hier dargestellten simulationsbasierten Publikationen berücksichtigt worden.

- Leerfahrten. Wird als Proxy für die nicht ermittelten Gesamtkosten verwendet, indem die (von den Kunden nicht vergüteten) zurückgelegten Entfernungen ohne Ladung erfasst werden.
- Umwege. Wird ebenfalls als Proxy für die nicht ermittelten Gesamtkosten verwendet, indem die zusätzlich (auch mit Ladung) gefahrenen Entfernungen, um zum Beispiel Relay-Stationen zu erreichen, erfasst werden.
- Benötigte Anzahl Fahrer. Beschreibt die Anzahl eingesetzter Fahrer, um die Transportleistung zu erbringen.
- Anzahl erledigter/abgelehnter Jobs. Entspricht der Anzahl ausgeführter bzw. abgelehnter Aufträge und dient damit als Proxy für den erzielten Umsatz. Aufträge werden abgelehnt, weil z. B. keine einsatzbereiten Fahrer für Aufträge in der Nähe verfügbar sind bzw. weil sie nicht hinreichend schnell vor Ort sein können.⁶⁸

In einigen Arbeiten kommen darüber hinaus Abwicklungsregeln zum Einsatz, die zum Beispiel den maximal erlaubten Umweg einer Sendung einschränken oder die die maximalen Frachtungleichgewichte, also das Missverhältnis zwischen eingehenden und ausgehenden Transporten einer definierten Region, zwischen verschiedenen Regionen berücksichtigen und ggf. beschränken. Kann eine Sendung aufgrund eines zu großen Umwegs beispielsweise nicht über einen betrachteten Netzwerktyp abgewickelt werden, findet dafür ein herkömmlicher Direkttransport statt. Das Merkmal ‚explizite Betrachtung PtP-Abwicklung‘ beschreibt dabei, ob ein solcher Transport im Rahmen der Simulation ebenfalls dargestellt oder von einer weiteren Berücksichtigung, unter Vermerk der Anzahl aller anders abgewickelten Aufträge, ausgeschlossen wird.

⁶⁸ Vgl. z. B. Taylor/DuCote/Whicker (2006), S. 171–173.

Tabelle 1: Übersicht über bisherige simulationsbasierte Publikationen zu Relay-Netzwerken.

	Taha/Taylor (1994)	Taylor et al. (1995)	Taylor et al. (1997)	Taylor et al. (1999)	Taylor/Meinert (2000)	Taylor/Whicker/Usher (2001)	Taylor/DuCore/Whicker (2006)	Taylor/Whicker (2008)	Taylor/Whicker/DuCore (2009)	Taylor/Whicker (2010)
Simulation / Experimentelles Design	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
- Untersuchungskriterium Durchlaufzeit bzw. Termineinhaltung			X	X	X	X	X	X	X	X
- Untersuchungskriterium Abwesenheitszeit	X	X			X	X				
- Untersuchungskriterium Meilen pro Fahrer		X	X	X			X	X	X	X
- Untersuchungskriterium Gesamtkosten										
- Untersuchungskriterium Leerfahrten	X	X	X	X			X	X	X	X
- Untersuchungskriterium Umwege	X	X	X	X						
- Untersuchungskriterium benötigte Anzahl Fahrer		X	X	X	X	X	X	X	X	X
- Untersuchungskriterium Anzahl erledigter / abgelehnter Jobs							X	X	X	X
- Abwicklungsregeln hinsichtlich max. erlaubter Umwege	X	X	X	X	X	X			X	
- Besondere Berücksichtigung von Frachtungleichgewichten		X				X	X		X	
Netzwerktyp mit/ohne Relay-Nutzung	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
- Hub-and-Spoke	X	X								
- Zone Dispatching			X	X	X	X				
- Key Lanes			X	X						X
- Delivery Pipelines								X	X	
- Regional Fleets							X	X		X
- Sonstige										
Explizite Betrachtung PtP-Abwicklung							X	X	X	X

Taylor et al. (1995) nutzen den zuvor entwickelten Hub-and-Spoke-Simulator erstmalig für Untersuchungen zum Einsatz von Hubs im Komplettladungsverkehr, ein nach Aussagen der Autoren in der Literatur bisher unberücksichtigtes Forschungsfeld. In auf echten Transportaufträgen basierenden Experimenten werden die Einflüsse verschiedener Gestaltungsmöglichkeiten für die Netzwerke auf ihre Leistungsfähigkeit untersucht. Berücksichtigt werden die Faktoren ‚Platzierung der Hubs‘ (Platzierung in Tages-

entfernung zueinander, Platzierung in Regionen mit geringen Ungleichgewichten, Nutzung realer Hubs), ‚Anzahl der Hubs‘ (24 oder 32) und ‚Einsatz der Fahrer‘ (Heimfahrt nach Erreichen des 1. Hubs oder des 2. Hubs). Dafür sind jeweils die geeignetsten 75 % aller Aufträge hinsichtlich der über das neue Netzwerk zu fahrenden Umwege ausgewählt worden (entspricht hier einem Umweg von bis zu 60 % der Direktentfernung). Sie werden im Rahmen der Simulation von einer fixen Anzahl an Fahrern abgewickelt. Für die restlichen Aufträge wird nach wie vor eine Beförderung im Direktverkehr angenommen. Es gibt somit lokale Fahrer für Vor- und Nachläufe, Hauptlauffahrer und die gewohnten Fernfahrer, die sich nicht am Netzwerk beteiligen. Durch ein experimentelles Design wird im Hinblick auf das Ziel ‚Abwesenheitszeiten der Hauptlauffahrer‘ das beste Szenario (Nutzung realer Hubs/32 Hubs/Heimfahrt nach erstem Hub), das aber auch hinsichtlich gefahrener Umwege und Leerfahrten sehr gut abschneidet, ausgewählt und in einem zweiten Experiment auf Sensitivität hinsichtlich zuvor fixer Parameter wie erlaubter Umwege (30 %, 50 %, 60 %, 70 %) und der Verfügbarkeit von mehr oder weniger Fahrern (Faktor 0,9; 1; 1,1) getestet. Weitere betrachtete Kennzahlen zur Leistungsmessung sind die durchschnittlichen Abwesenheitszeiten lokaler Fahrer und die durchschnittlich zurückgelegten Entfernungen je Fahrer und Tag. Es stellt sich heraus, dass bei den gegebenen Daten im besten Szenario hinsichtlich leer zurückgelegter Entfernungen, Umwegen und Meilen je Fahrer, bei gleichzeitig noch akzeptablen Abwesenheitszeiten, lediglich 53 % der Ladungen über das Hub-System laufen. Die Autoren empfehlen daher zunächst keine vollständige Implementierung im FTL-Bereich.

Taylor et al. (1997) berichten über das abgeschlossene Forschungsprojekt, das sowohl von der amerikanischen Regierung als auch vom größten FTL-Spediteur des Landes finanziert worden ist und aus welchem auch die vorherigen Publikationen hervorgegangen sind. Oberstes Ziel des Projekts sollte die Verbesserung von Arbeitsbedingungen im Fernverkehr sein, da hier im Vergleich zum Nah- und Stückgutverkehr viele Fahrer nur für kurze Zeit bereit sind, den Beruf auszuüben und damit durch den permanenten Umschlag der Belegschaft ein großer wirtschaftlicher Schaden entsteht. Es

wurden dazu alternative Formen der Anlieferung simuliert. Dabei wurde insbesondere Wert auf die Entwicklung zeitlich gleichmäßiger Transportkapazitäten nach Fahrplänen gelegt.⁶⁹ Letztlich brachte fast jede Methode mit regelmäßigeren und kürzeren (Teil-) Fahrten auch immer zusätzliche Umwege mit sich. Mit einer gemischten Lösung lässt sich der Fernverkehr zwar nicht komplett vermeiden, aber trotzdem deutlich reduzieren, ohne dabei größere Nachteile für Fahrer, Kunden oder Speditionen zu erzeugen. Teile der Ergebnisse wurden durch die beteiligte Spedition bereits in die Tat umgesetzt. Zwar zielt diese Spedition insbesondere darauf ab, in Zukunft hohe und regelmäßige Volumen von großen Kunden zu akquirieren, um regelmäßige Kapazitäten vorhalten zu können, jedoch sind die Forschungsergebnisse nach Aussage der Autoren auch auf herkömmliche Speditionen im FTL-Bereich übertragbar.

Die Publikation von Taylor et al. (1999) ähnelt dem zuvor erwähnten abschließenden Projektbericht von Taylor et al. (1997) sehr. Folgende Ansätze werden hier wie dort basierend auf Daten einer amerikanischen Spedition simuliert und vor allem anhand der gefahrenen Umwege, Leerfahrten, zurückgelegten Meilen/Fahrer und der Durchlaufzeit verglichen:

- Ein Zonen-Modell, bei dem eine definierte Region an ihren Grenzen jeweils mehrere (hier sechs) Hubs für den Austausch von Fracht aufweist. Ladungen aus anderen Zonen fahren maximal bis zu einem dieser Punkte und werden dann von regionalen Fahrern innerhalb der Zone zum Ziel transportiert.
- Key Lanes, die zwischen zwei Städten in verschiedenen Regionen ein stabiles und in beide Richtungen etwa gleich hohes Frachtaufkommen aufweisen und dabei innerhalb eines Tages erreichbar sind.
- Ein zentraler Hub für die gesamte Region ohne Nutzung von Hubs an den Grenzen der Region.

⁶⁹ Vgl. auch nachfolgend Taylor et al. (1999).

- Eine Kombination aus zentralem Hub und Hubs entlang der Grenzen der Region.

Auch wenn die Abwesenheitszeiten nicht explizit gemessen werden, tragen die betrachteten Ansätze laut den Autoren per se zu einer Reduzierung der Tourlängen für die Fahrer bei, wenn auch auf Kosten anderer Zielsetzungen.⁷⁰ Für die betrachtete Region favorisieren sie das Zonen-Modell, das den besten Kompromiss zwischen den angestrebten Zielen erreicht.

Taylor/Meinert (2000) untersuchen das Verfahren des ‚Zone Dispatching‘ detaillierter, nachdem es zuvor gute Ergebnisse erzielen konnte. Dabei sind regionale Fahrer nur in ihrer jeweiligen Zone tätig. Bei Fernfahrten wird die Ladung an dem nächstgelegenen Hub entlang der Grenze ausgetauscht. Mit einem experimentellen Design werden unterschiedliche Gestaltungsparameter der Regionen analysiert. Zunächst wird dafür von einem Fall mit zwei benachbarten Zonen ausgegangen, die sich eine 500 Meilen lange Grenze teilen. Es werden die Anzahl äquidistanter Grenz-Relays (1, 2, 3, 4), die durchschnittliche Entfernung von der Grenze zum Zentrum (400, 600, 800 Meilen) sowie die Verteilung des Frachtaufkommens innerhalb der Zone (konzentriert im Zentrum oder gleichverteilt) untersucht. Das geeignetste Szenario aus dem ersten Experiment wird dann in einem zweiten hinsichtlich der Sensitivität einiger Abwicklungsregeln untersucht: Damit eine Ladung über das Relay-System (und nicht als ‚herkömmlicher‘ Direktverkehr) abgewickelt wird, muss die Gesamtentfernung zwischen Ort der Abholung und Anlieferung mindestens 400 Meilen (bzw. 300, 500) betragen, darf der maximal entstehende Umweg nicht mehr als 15 % (bzw. 5 %, 10 %, 20 %) der Direktentfernung überschreiten und der Ort der Abholung oder Anlieferung nicht näher als 75 Meilen (bzw. 50, 100) zu einem Relay liegen. Anhand zufällig generierter Frachtdaten werden die Szenarien hinsichtlich Durchlaufzeit, Anzahl benötigter Fahrer und durchschnittlicher Abwesenheitszeit evaluiert. Das Szenario mit gleichverteilten Aufträgen, drei Relays und 800 Meilen zum Zentrum wird für weitere Untersuchungen ausgewählt, weil es (bei Gleichverteilung) mit relativ guten Ergebnissen bei den

⁷⁰ Vgl. Taylor et al. (1999), S. 197.

Abwesenheitszeiten (die jedoch nicht mit alternativ entstehenden Zeiten bei Direktabwicklung der betrachteten Aufträge verglichen werden, sondern mit gängigen Abwesenheitszeiten aus der Praxis) die meisten Aufträge über Relays abwickelt. Die sich anschließende Sensitivitätsanalyse zeigt keine statistisch signifikanten Ergebnisse hinsichtlich der betrachteten Abwicklungsregeln. Die Autoren legen jedoch nahe, dass Fahrten unter 400 Meilen Gesamtentfernung mit Start/Ziel im Umkreis von weniger als 75 Meilen eines Hubs oder mit mehr als 5 % Umweg direkt abgewickelt werden. Das Modell ist außerdem in einem Fall mit echten Daten einer Spedition weiter erfolgreich getestet worden. Dort konnten angeblich ohne Einbußen beim Nutzungsgrad der Transporter starke Verbesserungen bei den Abwesenheitszeiten bei gleichzeitig erhöhter Pünktlichkeit erzielt werden.

Taylor/Whicker/Usher (2001) verfassen die erste Publikation, in der das ‚Multi-Zone-Dispatching‘ mit realen Transportaufträgen für die Vereinigten Staaten untersucht wird. Neben einem Baseline-Szenario für Direktverkehre wird ein weiteres Szenario für die Erprobung der Zonen definiert, hauptsächlich inspiriert durch bereits existierende Vertriebsregionen eines am Forschungsvorhaben beteiligten großen amerikanischen Transportunternehmens. Dabei sind die USA in fünf Regionen mit 23 Hubs unterteilt, davon 21 entlang deren Grenzen, die zwei anderen sind innerhalb einer Zone platziert, um auch einen geeigneten Ladungswechsel bei Transporten, die zwischen zwei nicht benachbarten Zonen verkehren, zu ermöglichen, da prinzipiell maximal ein Wechsel je Transportauftrag stattfinden soll. Nicht alle Ladungen werden jedoch über die Relays abgewickelt, sondern nach verschiedenen Regeln teilweise auch ‚herkömmlich‘ im Direktverkehr transportiert, beispielsweise bei sehr kurzen Fahrten, einem Start/Ziel in unmittelbarer Nähe zu einem Hub oder bei zu großen Umwegen, die mehr als 15 % der Direktfahrt betragen. Das Baseline-Szenario für Zonen wird für folgende Veränderungen untersucht: sechs Hubs weniger (um die Hub-Auslastung zu erhöhen), nur vier statt fünf Zonen, vier Zonen mit Verzicht auf die zwei besonderen Hubs im Inneren einer Zone, neue Zonengrenzen mit geringeren Frachtungleichgewichten, 5 % erlaubter Umwege statt 15 %. Anhand konkreter Transportaufträge werden folgende Kriterien unter-

sucht: Abwesenheitszeiten (die jedoch nicht mit alternativ entstehenden Zeiten bei Direktabwicklung der betrachteten Aufträge verglichen werden, sondern mit gängigen Abwesenheitszeiten aus der Praxis), benötigte Fahrer, Durchlaufzeit, Frachtungleichgewichte (Eingangs-/Ausgangsvolumen je Zone) und dem Anteil der abgewickelten Ladungen über das System im Verhältnis zu allen Ladungen. Es stellt sich heraus, dass hinsichtlich Tourlängen der Fahrer das Szenario mit geringeren Frachtungleichgewichten am besten geeignet ist. Die Hälfte aller Ladungen wird dort über Zonen abgewickelt.

Taylor/DuCote/Whicker (2006) schlagen als Alternative zur Nutzung von Relay-Netzwerken die verstärkte Nutzung von ‚regionalen Flotten‘ vor, die ausschließlich innerhalb ihrer Region Transporte übernehmen. Solche Transporte, die durch mehrere Regionen verlaufen, werden von einer Fernfahrerflotte in herkömmlicher Weise bedient. Damit könnten die Arbeitsbedingungen von Fahrern, die nur innerhalb ihrer Region verkehren, deutlich verbessert werden. Die Autoren untersuchen unter anderem, welchen Effekt die Einführung ‚regionaler Flotten‘ auf die Fernfahrten hätte, da sich die Menge möglicher Anschlussfahrten reduziert. Durch Simulationen werden mehrere Szenarien hinsichtlich der Größe der Regionen, ihrer Platzierung und ihrem (Un-) Gleichgewicht von Frachtein- und -ausgängen verglichen. Untersuchungskriterien sind dabei neben der Durchlaufzeit auch zurückgelegte Entfernungen je Fahrer, leer zurückgelegte Entfernungen, Anzahl benötigter Fahrer sowie die Menge ausgeführter bzw. abgelehnter Aufträge. Die besten Szenarien in Hinblick auf die unterschiedlichen Zielsetzungen beschreiben Regionen mit einem Durchmesser von 600 Meilen und funktionieren unabhängig von Frachtungleichgewichten gleich gut.

Die Autoren Taylor/Whicker/DuCote (2009) unternehmen den Versuch, ähnlich wie im intermodalen Verkehr, Ladungen regional zu konsolidieren und über sogenannte ‚Pipelines‘ über längere Distanzen zu transportieren. Die Pipelines sind idealerweise innerhalb eines halben Tages (200 bis 250 Meilen) oder eines ganzen Tages (450 bis 500 Meilen) zu bewältigen, so dass die entsprechenden Fahrer mindestens jeden zweiten Tag heimkehren

können. Im Unterschied zu Key Lanes finden bei Pipelines ein Hauptlauf, ein Vorlauf und ein Nachlauf mit unterschiedlichen Fahrern statt. Dadurch ergibt sich in den entsprechenden Regionen ein größerer Aktionsradius. Es wird dabei zwischen Pipeline-Fahrern und typischen Fernfahrern unterschieden. Letztere übernehmen auch die Vor- und Nachläufe zu den Endpunkten der Pipelines. Wichtig für deren Funktionieren ist ein relativ hohes und konstantes sowie in beide Richtungen ausgeglichenes Frachtaufkommen. Es werden daher zunächst Kandidaten für potentielle Start- bzw. Endpunkte von Pipelines identifiziert. Sie sind entweder an bedeutsamen Schnellstraßen platziert oder fungieren bereits als Standort des am Forschungsvorhaben beteiligten Transportunternehmens. Für Vorläufe bzw. Nachläufe wird eine maximale Distanz von 250 Meilen (bzw. unendlich) zur nächsten Relay-Station untersucht. Ladungen, die bei Verzicht auf Direktfahrten einen Umweg von mehr als 50 Meilen machen müssten, werden vom Transport auf der Pipeline ausgeschlossen. Im konkreten Fall des Transportunternehmens eignet sich ca. ein Viertel der Ladungen (inklusive Intermodalverkehre) für ein System mit zehn Pipelines, tatsächlich darüber abgewickelt werden jedoch nur 7 %, unter anderem weil Intermodalverkehre von der Umsetzung ausgenommen wurden. Die ausgewählten Pipelines unterliegen nur einer geringen Saisonalität und sind während des ganzen Jahres nutzbar. Durch das Vermeiden von Fahrpausen auf der Straße kann ein Zeitverlust durch Umladungsvorgänge nahezu ausgeglichen werden. Die direkten Fernfahrten sind im System kaum negativ betroffen, was nach Aussage der Autoren durch die hinreichend große Anzahl an verbleibenden Direktaufträgen gewährleistet ist. Deshalb eigne sich der präsentierte Ansatz auch in erster Linie für große Speditionen mit hohem Frachtaufkommen.

Taylor/Whicker (2008) unternehmen den Versuch, die Ansätze mit Pipelines und regionalen Flotten gemeinsam anzuwenden, ohne dabei jedoch komplett auf Fernfahrten zu verzichten.⁷¹ Es wird ein Baseline-Szenario

⁷¹ Vgl. Taylor/Whicker/DuCote (2009) für Pipelines (Publikation war zur Veröffentlichung in 2008 eingereicht, ist aber tatsächlich erst Anfang 2009 erschienen) und Taylor/DuCote/Whicker (2006) für regionale Flotten.

ausschließlich mit Fernfahrten erzeugt, das mit dem kombinierten System verglichen wird. Dabei wird bei der Zuteilung der Aufträge zunächst das regionale, später das Pipeline-System bevorzugt. Anschließend soll ein Ansatz geprüft werden, bei dem die Vor- und Nachläufe für Pipelines vorzugsweise von regionalen Fahrern durchgeführt werden, aber auch von Fernfahrern übernommen werden können. In den Szenarien zuvor (aber auch in Taylor/Whicker/DuCote (2009)) waren dazu ausschließlich Fernfahrer eingesetzt. Für die Simulation werden dieselben Datensätze mit Transportaufträgen wie in den anderen beiden Publikationen genutzt. Zunächst wird durch das Simulationsprogramm entschieden, mit welchem System eine Ladung abgewickelt werden soll. Dann wird die Ladung einem Fahrer anhand von Prioritätsregeln, die auch Lenkzeiten berücksichtigen, zugewiesen. Anhand verschiedener Kennzahlen wie der Anzahl benötigter Fahrer, zurückgelegter Meilen je Fahrer, Durchlaufzeit, Leerfahrten sowie abgelehnter Aufträge werden die Systeme verglichen. Nach Aussage der Autoren hat sich das isolierte System mit regionalen Flotten bisher als vorteilhaft im Vergleich zum isolierten Pipeline-System erwiesen, das kombinierte System mit bevorzugten regionalen Vor- und Nachläufen kann jedoch weitere Verbesserungen erzielen. Im besten Fall kann fast jedem zweiten Fahrer ein regelmäßiger Job (im Sinne regionaler oder Pipeline-Fahrer) angeboten werden, eine explizite Erfassung der Abwesenheitszeiten findet jedoch nicht statt.

Taylor/Whicker (2010) untersuchen eine Kombination aus regionalen Flotten und Key Lanes und unterscheiden sich damit von Taylor/Whicker (2008), die eine Kombination aus regionalen Flotten und Pipelines behandeln. Mit dem neueren Ansatz soll der Fahrer entweder innerhalb der Region oder auf einer Lane zu einem Ziel in einer anderen Region fahren, um mit der nächsten Fahrt jedoch wieder zurückzukehren. Im Vergleich zum früheren Beitrag soll so eine höhere Akzeptanz bei möglichen Anwendern gefunden werden, da die gemischte Nutzung mit Pipelines und Vor- und Nachläufen einen höheren Koordinationsaufwand verursacht. Zunächst wird ein System mit bevorzugtem regionalen, anschließend eines mit bevorzugtem Lane Dispatching simuliert. Schließlich finden zwei erweiterte

Experimente statt, bei denen Fahrer flexibler sowohl regional als auch auf Lanes eingesetzt werden können oder bei denen Fahrer sowohl Fernfahrten, regionale Transporte, Lanes als auch Pipelines fahren können. Ergebnisse der Simulation werden mit früheren Ergebnissen verwandter Publikationen verglichen.⁷² Mithilfe der Kombination aus regionalen Flotten und Lanes konnte anhand konkreter Daten eine starke Reduzierung von Fernfahrten erreicht werden – sie machen letztlich nur noch 16 % aller Transporte aus, bleiben jedoch weiter praktikabel und leiden nicht unter dem neuen System. Allerdings sind die betrachteten Regionen mit einem Durchmesser von 600 Meilen nicht unbedingt als Nahverkehr zu bezeichnen. Die genaue Tourlänge, bis ein Fahrer wieder nach Hause zurückkehrt, wird aus Gründen der Simulationszeit nicht aufgezeichnet – vielmehr wird davon ausgegangen, dass ein solches System den Fahrern genug Möglichkeiten bietet, regelmäßig heimzukehren.

2.2 Quantitativ-methodische Forschungsarbeiten

Nachfolgend werden einige Publikationen vorgestellt, die sich an den Ideen von Taylor orientieren, jedoch eigene Schwerpunkte legen und darüber hinaus, anstatt auf Simulation zurückzugreifen, eher mathematische bzw. heuristische Modellansätze und Lösungsverfahren verwenden. Die jeweiligen Arbeiten sind in der folgenden Tabelle 2 kategorisiert. Dabei wird erneut auf die in Abschnitt 2.1.1 und Abschnitt 2.1.2 erläuterten Netzwerktypen zurückgegriffen. Allerdings hat die Literaturanalyse gezeigt, dass hier ausschließlich Hub-and-Spoke-Netzwerke oder aber eigene, bisher nicht definierte Netzwerktypen genutzt werden. Letztere werden anstatt einer separaten Aufführung aufgrund ihrer Individualität unter ‚Sonstige‘ zusammengefasst. Folgende weitere Kriterien kommen bei der Kategorisierung zum Einsatz:

⁷² Vgl. Taylor et al. (1999) zu Key Lanes, Taylor/DuCote/Whicker (2006) zu regionalen Flotten und Taylor/Whicker/DuCote (2009) zu Delivery Pipelines.

- Zielfunktion. Gibt die im Rahmen der ‚Optimierung‘ zu minimierenden bzw. maximierenden Ziele an. Ein typisches Ziel in der Literatur ist die Minimierung der Kosten, die zum Beispiel durch das Betreiben von Relays, gefahrene Distanzen oder ausgeschiedene Fahrer anfallen. Gleichzeitig ist auch eine Maximierung des Gewinns denkbar, bei der beispielsweise nicht zwingend alle Transportaufträge erledigt werden müssen, sondern vor allem diejenigen übernommen werden, die am attraktivsten auch im Hinblick auf die dabei entstehenden Leerfahrten sind. Eine alternative Zielfunktion wie beispielsweise die Maximierung des Fahrerwohls (z. B. durch Minimierung auswärtiger Übernachtungen) wäre denkbar und wird aus diesem Grund in der Tabelle mit aufgeführt. Allerdings hat die Literaturrecherche ergeben, dass sich hier ein bisher unbearbeitetes Forschungsfeld auftut, das im Rahmen des in Kapitel 4 entwickelten Modells aufgegriffen wird.
- Restriktionen. Sie beschränken die Optimierung der Zielfunktion, zum Beispiel indem Zeitfenster (Pünktlichkeit/Durchlaufzeit) als kundenorientiertes Kriterium bei der Anlieferung eingehalten werden müssen, oder indem feste Vorgaben für maximale Abwesenheitszeiten oder maximal erlaubte Distanzen zwischen zwei Punkten, die nicht ohne einen Ladungswechsel überschritten werden dürfen, als fahrerorientierte Kriterien existieren. Darüber hinaus besteht eine Vielzahl an Restriktionen zur Gewährleistung einer, aus Sicht der Transportunternehmen, ökonomisch oder operativ sinnvollen Lösung. So sind meist die zulässigen Umwege für Fahrten zu Relays eingeschränkt, und auch die Anzahl der Ladungswechsel je Sendung kann beschränkt sein, um den Handlings- und Koordinierungsaufwand nicht zu groß werden zu lassen. Gleichzeitig ist es im Sinne von Fixkostenüberlegungen denkbar, dass die Anzahl möglicher Relays beschränkt ist, dass eine Mindestanzahl an Aufträgen über ein Relay abgewickelt werden muss, damit es überhaupt eröffnet werden kann, oder aber dass durch eine Beschränkung des Anteils erlaubter Direktfahrten eine entsprechend hohe Nutzung des Netzwerks gesichert wird. Schließlich existieren

auch Restriktionen, die ein zu großes Frachtungleichgewicht verhindern sollen oder die ein Ausscheiden der Fahrer aus dem Unternehmen in Abhängigkeit von den Tourlängen definieren.

- Betrachtungsweise der Aufträge. Beschreibt, ob im Rahmen der Optimierung von einer Menge einzelner Aufträge ausgegangen wird, die jeweils individuell auf nachvollziehbaren Touren abgewickelt werden, oder ob vielmehr eine durchschnittliche Betrachtungsweise (z. B. in Form einer Summe an Aufträgen zwischen zwei Regionen) stattfindet. Bei letzterem Ansatz lassen sich die Transportaufwände zwar (näherungsweise) berechnen, es kommt aber zu keiner expliziten Darstellung der echten Transporte (inkl. der Leerfahrten für die Aufnahme weiterer Aufträge). Als dritte Variante sind hier auch Formulierungen ohne Berücksichtigung von Aufträgen denkbar, zum Beispiel wenn es allein das Ziel ist, Relays in einem regelmäßigen Abstand zu platzieren.
- Heuristische Verfahren. Diese Angabe dient als Information, ob zu den mathematischen Modellen auch heuristische Lösungsverfahren entwickelt wurden, um mit ggf. großen Datenmengen umgehen zu können.

Tabelle 2: Übersicht über bisherige quantitativ-methodische Publikationen zu Relay-Netzwerken.

	Ali et al. (2002)	Taylor/Whicker (2002)	Üster/Maheshwari (2007)	Üster/Kewcharoenwong (2011)	Melton (2012)	Melton/Ingalls (2012)	Vergara/Root (2013)
Quantitativ-methodisch	X	X	X	X	X	X	X
- Zielfunktion Kosten minimieren			X	X	X	X	X
- Fixkosten für Relays			X	X	X	X	X
- Distanzabhängige Kosten			X	X	X	X	X
- Kosten für Leerfahrten [ggf. approximiert]				[X]			[X]
- Kosten für das Ausscheiden der Fahrer					X	X	
- Zielfunktion Gewinn maximieren (durch km-beladen)		X					
- Zielfunktion Anzahl Relays minimieren	X						
- Zielfunktion Fahrerwohl maximieren							
- Restriktion Pünktlichkeit/Durchlaufzeit							
- Restriktion Abwesenheitszeiten	X	X					
- Restriktion max. Entfernung ohne Ladungswechsel			X	X	X	X	X
- Restriktion max. Umwege zu Relays	X		X	X			X
- Restriktion Frachtungleichgewichte		X	X	X			X
- Restriktion max. Anzahl Ladungswechsel je Sendung							X
- Restriktion max. Anzahl Relays im Netzwerk							
- Restriktion max. Anteil Direktfahrten							X
- Restriktion min. Anzahl Ladungen je Relay							X
- Restriktion für Ausscheiden der Fahrer in Abh. der Tourlänge					X	X	
- Durchschnittliche Betrachtungsweise von Aufträgen			X	X	X	X	X
- Betrachtung einzelner Aufträge		X					
- Ohne Betrachtung von Aufträgen	X						
- mit heuristischem Lösungsverfahren	X	X	X	X			X
Netzwerktyp mit/ohne Relay-Nutzung	X	X	X	X	X	X	X
- Hub-and-Spoke			X	X			X
- Zone Dispatching							
- Key Lanes							
- Delivery Pipelines							
- Regional Fleets							
- Sonstige	X	X			X	X	
Explizite Betrachtung PtP-Abwicklung							X

Ali et al. (2002) befassen sich mit Heuristiken, um entlang von Highways Relay-Stationen zu platzieren, damit Fahrer nicht mehr als eine bestimmte

Anzahl an Meilen fahren müssen, bevor sie wieder umkehren können. Es findet keine Betrachtung von Aufträgen, Kosten, Durchlaufzeiten oder Arbeitsbedingungen statt. Die Autoren verwenden ein konkretes Netzwerk aus Städten, die durch Highways verbunden sind, über die jegliche Güterverkehre verlaufen. Bereits existierende Distributionszentren entlang der Strecken sind als Relay nutzbar. Da jede Station mit Kosten verbunden ist, soll ihre Anzahl minimiert werden. Dazu stellen die Autoren drei Möglichkeiten vor: In der Ausgangslösung werden alle denkbaren Transportkombinationen zwischen Städten jeweils über den kürzesten Weg durch das Netzwerk geroutet. Dabei werden für jeden Transport Relay-Stationen wie benötigt gesetzt, wann immer die maximal zulässige Entfernung (vergleichbar mit Abwesenheitszeit) zurückgelegt wurde. Trifft ein Transport auf eine Relay-Station, die schon durch einen anderen gesetzt wurde, kann diese mitbenutzt werden. Beim alternativen Semi-Detour-Modell können die Transporte an Autobahnkreuzen auch Wege abseits der kürzesten Route nutzen, um dort ein evtl. bereits bestehendes Relay in unmittelbarer Nähe anzufahren. Anschließend kehrt der Transport wieder zurück auf die optimale Route. Schließlich dürfen bei der Detour-Heuristik Umwege bis zu einem festgelegten Entfernungswert gefahren werden, um andere bestehende Relays zu nutzen.

Taylor/Whicker (2002) untersuchen anhand einer Heuristik und einer ganzzahligen Programmierung ein konkretes Netzwerk, bestehend aus einer Anzahl an Städten und entsprechenden Verbindungen zwischen ihnen. Nicht jede Stadt ist direkt mit allen anderen verbunden. Das entsprechende Netzwerk ist auf Basis von historischen Transportdaten einer Spedition definiert worden, die Städte sind dabei Punkte mit relativ hohem Frachtaufkommen. Es wird zwischen zwei Arten von Fahrern unterschieden, Netzwerkfahrern und Fernfahrern. Netzwerkfahrer sind in jeweils verschiedenen betrachteten Städten beheimatet und übernehmen Transportaufgaben ausschließlich innerhalb des dortigen Netzwerks. Aufträge, die Start und/oder Ziel außerhalb des Netzwerks haben, werden von Fernfahrern übernommen und nicht weiter betrachtet. Es werden zufällig Transportaufträge generiert, die aber in der Gesamtheit den Volumen der histori-

schen Auftragsdaten entsprechen. Je nach Art der Disposition des Fahrers werden mehr oder weniger Touren benötigt, um die Aufträge zu erfüllen. Dabei werden unterschiedliche Methoden erprobt, darunter neben einer zufälligen Disposition auch eine, bei der der Fahrer nach einer bestimmten Anzahl an ausgeführten Aufträgen wieder heimkehren muss, oder eine Variante, bei der der Fahrer nur von seinem Heimatort in die nächste Stadt fahren darf und dann heimkehren muss. Die Abwesenheitszeit wird dabei als das Maß der Fahrerfreundlichkeit des Systems gewertet. Die im Rahmen der Optimierung entstehenden Abwesenheiten ergeben sich aus den jeweiligen Tourlängen bis zur Heimkehr und der Annahme einer gewissen Fahrleistung pro Tag. Nach Aussagen der Autoren ist diese Arbeit die erste in der Literatur, die sich mit mehreren Fahrern auseinandersetzt, die an unterschiedlichen Standorten beheimatet sind und die die zufällig generierten Aufträge im Rahmen mehrerer Dispositionen erledigen.

Üster/Maheshwari (2007) entwickeln ein Relay-Netzwerk mit unterschiedlichen Regionen und jeweils einer zentralen Relay-Station. Für alle überregionalen Transporte wird die Ladung zum nächsten Relay befördert und dann über eine Vielzahl an Verbindungen von Hauptauffahrern zum Ziel-Relay transportiert. Die Auslieferungsfahrt zum Zielort übernimmt wieder ein regionaler Fahrer. Auch wenn die Autoren ihren Ansatz als ‚Multi-Zone-Dispatching‘ beschreiben, entspricht das System mit zentralen Hubs in Regionen, Vor- und Nachläufen sowie Hauptläufen zwischen Hubs eher einem Hub-and-Spoke-Netzwerk nach Taylor et al. (1995). Aufgrund der räumlich regelmäßig platzierten Standorte haben die Fahrer einen relativ begrenzten Aktionsradius und können häufiger zu ihrem Heimatort zurückkehren. Die Gesamtkosten sollen dabei minimiert werden, sie setzen sich aus kilometerabhängigen Kosten und Fixkosten für die Stationen zusammen. Mit einer gemischt-ganzzahligen Programmierung sollen sowohl die Standorte der Relay-Stationen als auch die Zuordnungen von Abholungs- bzw. Auslieferungsstandorten zu den Relays kostenoptimal bestimmt werden. Konkrete Touren (inkl. Leerfahrten) werden dabei aber nicht betrachtet, vielmehr fließen lediglich die direkten einfachen Distanzen zwischen verschiedenen Standorten, beispielsweise zwischen Abholung und

nächstem Hub oder zwischen zwei benachbarten Hubs, in die Berechnung ein. Anhand von maximal zulässigen Entfernungen zwischen solchen Knoten soll somit die Fahrerfreundlichkeit des Systems gewährleistet werden. Darüber hinaus werden die prozentuale Veränderung der zu fahrenden Kilometer (Umwege) im Vergleich zur Luftlinie zwischen Abholung und Auslieferung sowie Frachtungleichgewichte über Nebenbedingungen berücksichtigt. Konkrete kundenorientierte Zielsetzungen bleiben jedoch außer acht – Lieferzuverlässigkeit ist laut den Autoren schwer quantifizierbar und wird deshalb nicht betrachtet, Durchlaufzeiten würden aber schon durch die Art des genutzten Netzwerks verbessert, wie beispielsweise in Taylor/Meinert (2000) gezeigt wurde. Die Laufzeit der Optimierung steigt bei größeren Problemen rapide an, so dass zusätzlich eine Konstruktionsheuristik entwickelt wird, die im Vergleich zur Optimallösung (bei noch lösbaren Probleminstanzen) bereits gute Ergebnisse erzielen kann. Eine anschließende Tabu-Suche reduziert den Unterschied zum Optimum auf 1 %.

Üster/Kewcharoenwong (2011) entwickeln basierend auf der Formulierung von Üster/Maheshwari (2007) ein Relay-Netzwerk. Erneut wird ein mathematischer Ansatz gewählt, der hier mithilfe einer Benders-Dekomposition gelöst wird. Dabei wird das Modell in ein Masterproblem und ein Subproblem zerlegt, um anschließend durch iteratives Einsetzen eine Lösung auch für größere Datensätze zu finden, die sowohl die Standorte der Relays als auch die Zuordnung von Auftragsstandorten zu Relay-Stationen enthalten. Die zu minimierenden Gesamtkosten setzen sich zusammen aus Fixkosten für Relays und kilometerabhängigen Transportkosten. Geeignete Kandidaten für Direktverkehre werden entweder vorab oder nach Aufbau des Netzwerks durch definierte Regeln von der Betrachtung ausgeschlossen, zum Beispiel bei nur geringen Transportdistanzen oder großen Umwegen. Weitere Nebenbedingungen verhindern erneut das Design einer Region, bei der übermäßig hohe Frachtungleichgewichte existieren. Außerdem lassen sich maximal erlaubte Umwege und Entfernungen der Hauptläufe und Vor- bzw. Nachläufe definieren. Die Tourlänge der Fahrer kann bei den verwendeten Daten laut den Autoren um mindestens 50 % im Vergleich

zum Direktverkehr gesenkt werden, gleichzeitig entsteht dabei ein Umweg von 19 % bis 37 %. Darüber hinaus werden in der Arbeit auch entstehende Leerfahrten geschätzt, die aufgrund der durchschnittlichen Betrachtungsweise der Aufträge (ohne eine detaillierte Abbildung aller Touren) nicht exakt ermittelt werden können.

Eine neuere amerikanische Dissertation von Melton (2012) untersucht ebenfalls Möglichkeiten zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen des Fahrers durch Nutzung von Relay-Netzwerken. Mit einer gemischt-ganzzahligen quadratischen Programmierung wird anhand von konkreten Direktverbindungen im Fernverkehr analysiert, wo optimale Standorte für solche Relays entlang der betrachteten Routen zu finden sind. Dabei werden neben den Transportkosten, die sich hier explizit aus mehreren Bestandteilen wie Abschreibungen, Wartung, Treibstoff und Fahrerlohn zusammensetzen, und Fixkosten für Relays auch die erwarteten Kosten für den Verlust von Fahrern aufgrund schlechter Arbeitsbedingungen berücksichtigt. Dazu wird auf eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Ausscheiden eines Fahrers in Abhängigkeit von den regelmäßigen Abwesenheiten bzw. den Streckenlängen zurückgegriffen, die weder zu kurz noch zu lang sein sollten, um sowohl eine adäquate Bezahlung als auch ein regelmäßiges Heimkehren zu ermöglichen.

Die Publikation von Melton/Ingalls (2012) weist eine enge Verwandtschaft zur Dissertation von Melton (2012) auf. Erneut ist das Ziel die Platzierung von Relay-Stationen entlang von Transportrouten im Fernverkehr mit hohem Verkehrsaufkommen mithilfe der zuvor erwähnten gemischt-ganzzahligen quadratischen Programmierung. Die Autoren bemängeln die bisher zu geringe Anzahl von praxisnahen Forschungsarbeiten zur Steigerung der Attraktivität des Fernfahrerberufs und kritisieren darüber hinaus, dass die existierenden Arbeiten bisher nur selten eine Anwendung durch Dienstleister erfahren haben. Aus ihrer Sicht ist vor allem eine mangelnde Berücksichtigung der für den Aufbau und den Unterhalt der Relay-Netzwerke entstehenden Kosten für eine fehlende Bereitschaft zur Umsetzung verantwortlich. Darüber hinaus würden die neben den Anpassungen

im Netzwerk benötigten Änderungen im Betriebsablauf bei Kunden und Transportunternehmen kaum diskutiert:⁷³

Der vermutlich aktuellste Artikel stammt von Vergara/Root (2013) und behandelt den Aufbau eines Netzwerks mit Relay-Stationen im Rahmen eines mathematischen Modells. Dabei wird die Minimierung der Transport- und Installationskosten für Relays bei einer gemischten Abwicklung mit direkten und Relay-Verkehren angestrebt. Es besteht Verwandtschaft zu der Arbeit von Üster/Kewcharoenwong (2011), bei der allerdings geeignete Direktfahrten von einer Beteiligung am Relay-Netzwerk vor bzw. nach dessen Definition über Regeln (minimale Entfernung, maximaler Umweg) ausgeschlossen werden. Im Beitrag von Vergara/Root (2013) hingegen soll die optimale Art der Abwicklung der Aufträge in das Modell integriert werden, nach Aussagen der Autoren einem Alleinstellungsmerkmal in der Literatur. Ergebnis der Untersuchung ist, dass relativ kurze Transporte und Fahrten in abgelegene Regionen am besten direkt abgewickelt werden. Erwartungsgemäß ist der Vorteil eines gemischten Systems im Vergleich zu einem reinen Relay-Netzwerk umso größer, je höher die angenommenen Fixkosten für die Errichtung der Relays sind.

2.3 Fazit

Nach Untersuchung der Literatur zur Problematik der mangelnden Attraktivität des Berufsbilds des Kraftfahrers und den damit verbundenen Engpässen auf den Personal-„Beschaffungsmärkten“ lässt sich bei den vorhandenen Lösungsansätzen sowohl eine Forschungslücke hinsichtlich der verwendeten Methodik als auch hinsichtlich der konkreten Berücksichtigung der hiesigen Gegebenheiten des Transportmarktes ausmachen. So ist es insbesondere bei den quantitativ-methodischen Forschungsarbeiten zur Gestaltung von Relay-Netzwerken bisher nicht zur Anwendung von Verfahren für das sogenannte Location Routing Problem (LRP) gekommen. Bei solch einem Ansatz werden Standortentscheidungen anhand von vor-

⁷³ Vgl. Melton/Ingalls (2012), S. 4.

liegenden Transportaufträgen und den dadurch implizierten Touren getroffen.⁷⁴ Darüber hinaus stehen insbesondere viele deutsche Transportunternehmen (vor dem Hintergrund der meist kleinbetrieblichen Strukturen) vor der Herausforderung, mit nur geringem Kapitalaufwand für den Aufbau eines (Teil-) Netzwerks die größtmögliche Verbesserung für ihre Fahrer zu erzielen. Hierfür soll im weiteren Verlauf der Arbeit ein Modell für das LRP entwickelt werden, bei dem anhand einer neuen multikriteriellen Zielfunktion die Minimierung auswärtiger Übernachtungen bei gleichzeitiger Berücksichtigung anderer relevanter ökonomischer Ziele angestrebt wird. Das folgende Kapitel 3 diskutiert die hierfür notwendigen Grundlagen.

⁷⁴ Vgl. Abschnitt 3.2.1.

Netzwerk-Design für LKW-Komplettladungsverkehre
unter Berücksichtigung ökonomischer und sozialer
Aspekte

Jäger, S.

2017, XXVII, 274 S. 66 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-16585-7