Elektronisch gekoppelte Lkw – ein Beitrag zur effizienteren Nutzung deutscher Autobahnen

Von der Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Ralph Kunze

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Henning
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. S. Jeschke

Tag der mündlichen Prüfung: 21.09.2011

ULB Darmstadt
17359045

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung **1**

1.1 Problemstellung und Ziel der Arbeit 1

1.2 Vorgehensweise 3

2. Einführung in die elektronische Koppelung von Lkw **5**

2.1 Überblick 5

2.2 Eingrenzung des Untersuchungsgegenstandes 5

2.3 Effizienz elektronisch gekoppelter Lkw 6

2.4 Stand der Wissenschaft 9

2.4.1 Überblick 9

2.4.2 Wissenschaftliche Vorarbeiten 10

2.4.3 Das Konvoisystem 11

2.4.4 Aufbau der Fahrzeuge 13

2.5 Stand der Technik 14

2.5.1 Überblick 14

2.5.2 Technologien zur elektronischen Koppelung von Lkw 16

2.5.3 Stand der Technik zur elektronischen Koppelung von Lkw 24

2.6 Zusammenfassung 25

3. Vorgehensmodell zur Entwicklung von Einsatzszenarien zur Nutzung der elektronischen Koppelung von Lkw **27**

3.1 Überblick 27

3.2 Erkenntnisobjekt und Forschungskonzeption 28

3.3 Szenarienentwicklung 30

3.3.1 Methodischer Ansatz für die Gestaltung von Szenarien 30

3.3.2 Bisherige Szenarienentwicklung innerhalb der Forschungslinie der RWTH Aachen 32

3.3.3 Einordnung der vorliegenden Arbeit und der Arbeit von Happe (2005) in die Forschungslinie der RWTH Aachen 34

3.3.4 Erweiterung des Vorgehens von Happe (2005) 35

3.4 Beschreibung des in dieser Arbeit verwendeten Vorgehensmodells 38

3.5 Zusammenfassung 41

4. Analyse der prototypischen Realisierung der elektronischen Koppelung von Lkw auf deutschen Autobahnen 42

4.1 Überblick . . . 42
4.2 Analyse der elektronischen Koppelung auf Prozessebene . . . 43
4.2.1 Überblick . . . 43
4.2.2 Durchführung von Lkw-Konvois . . . 43
4.2.3 Konvoiorganisation . . . 44
4.2.4 Konvoibetriebsführung . . . 45
4.2.5 Variablen der elektronischen Koppelung von Lkw auf Prozessebene . . . 46
4.3 Analyse der elektronischen Koppelung auf Inhaltsebene . . . 49
4.3.1 Überblick . . . 49
4.3.2 Variablen der elektronischen Koppelung von Lkw auf Inhaltsebene . . . 49
4.4 Zusammenfassung . . . 54

5. Bewertung der prototypischen Realisierung der elektronischen Koppelung von Lkw 55

5.1 Überblick . . . 55
5.2 Bewertung der elektronischen Koppelung auf Prozessebene . . . 56
5.2.1 Bewertung der Zuverlässigkeit, Effizienz und Flexibilität der Organisation auf Prozessebene ($V(P)_1$, $V(P)_2$ und $V(P)_3$) . . . 56
5.2.2 Bewertung der Abläufe zur Durchführung von Lkw-Konvois ($V(P)_4$) . . . 60
5.2.3 Bewertung der Effizienz von elektronisch gekoppelten Lkw auf deutschen Autobahnen ($V(P)_5$) . . . 63
5.2.4 Bewertung des betriebswirtschaftlichen Nutzens der elektronischen Koppelung von Lkw auf deutschen Autobahnen ($V(P)_6$) . . . 65
5.2.5 Bewertung des volkswirtschaftlichen Nutzens der elektronischen Koppelung von Lkw auf deutschen Autobahnen ($V(P)_7$) . . . 67
5.3 Bewertung der elektronischen Koppelung auf Inhaltsebene . . . 72
5.3.1 Akzeptanz der anderen Verkehrsteilnehmer ($V(I)_1$) . . . 72
5.3.2 Risiko für andere Verkehrsteilnehmer ($V(I)_2$) . . . 74
5.3.3 Umweltbelastung ($V(I)_3$) . . . 75
5.3.4 Fahrerbelastung Führungsfahrzeug ($V(I)_4$) und Fahrerbelastung Folgefahrzeug ($V(I)_5$) . . . 76
5.3.5 Lkw-Fahrerakzeptanz ($V(I)_6$) . . . 77
5.3.6 Risiko für Konvoi ($V(I)_7$) . . . 78
5.3.7 Kosten ($V(I)_8$) . . . 79

5.3.8 Abgaben und Dienstleistung ($V(I)_9$) 79
5.3.9 Einsparung ($V(I)_{10}$) 80
5.3.10 Akzeptanz von Speditionen ($V(I)_{11}$) 80
5.3.11 Quelle-Ziel-Beziehung ($V(I)_{12}$) und Fahrtstrecke ($V(I)_{13}$) 82
5.3.12 Organisationsstruktur ($V(I)_{14}$) 82
5.3.13 Anzahl der Fahrmanöver ($V(I)_{15}$) 82
5.3.14 Konvoilänge ($V(I)_{16}$) 83
5.3.15 Anteil der konvoifähigen Fahrzeuge am Straßengüterverkehr ($V(I)_{17}$) . . . 83
5.3.16 Art der Konvoibildung ($V(I)_{18}$) 83
5.3.17 Flexibilität bei der Zusammenstellung des Konvois ($V(I)_{19}$) 84
5.3.18 Leistungsgewicht ($V(I)_{20}$) 84
5.3.19 Bremsbeschleunigung ($V(I)_{21}$) 84
5.3.20 Gesamtgewicht ($V(I)_{22}$) 85
5.3.21 Reisegeschwindigkeit ($V(I)_{23}$) 85
5.3.22 Gefahrene Abstände ($V(I)_{24}$) 85
5.3.23 Konvoiautomatisierung ($V(I)_{25}$) 87
5.3.24 Straßeninfrastruktur ($V(I)_{26}$) 87
5.3.25 Kapazität ($V(I)_{27}$) 89
5.3.26 Erweiterung der Straßeninfrastruktur ($V(I)_{28}$) 92
5.4 Bewertung der Systemumwelt zur elektronischen Koppelung 92
5.4.1 Verkehrsrecht ($V(I)_{29}$) 92
5.4.2 Gefahrgutrecht ($V(I)_{30}$) 97
5.4.3 Abgabenrecht ($V(I)_{31}$) 97
5.4.4 Datenschutzrecht ($V(I)_{32}$) 98
5.4.5 Versicherungsrecht ($V(I)_{33}$) 98
5.4.6 Haftungsrecht ($V(I)_{34}$) 99
5.4.7 Zulassungsrecht ($V(I)_{35}$) 99
5.4.8 Planungs- und Straßenbaurecht ($V(I)_{36}$) 99
5.4.9 Fahrerlaubnisrecht ($V(I)_{37}$) 100
5.4.10 Internationales Recht ($V(I)_{38}$) 100
5.5 Zusammenfassung 101

6. Zukunftsprojektionen zur Realisierung der elektronischen Koppelung von Lkw auf deutschen Autobahnen 103

6.1 Überblick . . . 103

6.2 Zukunftsprojektionen für das Teilsystem Mensch . . . 103

6.3 Zukunftsprojektionen für das Teilsystem Organisation . . . 107

6.4 Zukunftsprojektionen für das Teilsystem Technik . . . 112

6.5 Zusammenfassung . . . 115

7. Einsatzszenarien der elektronischen Koppelung von Lkw auf deutschen Autobahnen 116

7.1 Überblick . . . 116

7.2 Grundsätzliches zu den Einsatzszenarien . . . 118

7.3 Einsatzszenario I: Elektronisch gekoppelte Lkw auf Autobahnen bei einem Abstand von 10 m . . . 119

7.3.1 Überblick . . . 119

7.3.2 Technik . . . 120

7.3.3 Organisation . . . 122

7.3.4 Mensch . . . 125

7.4 Einsatzszenario II: Elektronisch gekoppelte Lkw auf Autobahnen bei einem Abstand von 33 m . . . 125

7.4.1 Überblick . . . 125

7.4.2 Technik . . . 125

7.4.3 Organisation . . . 127

7.4.4 Mensch . . . 129

7.5 Einsatzszenario III: Elektronisch gekoppelte Lkw auf Autobahnen bei einem Abstand von 50 m . . . 129

7.5.1 Überblick . . . 129

7.5.2 Technik . . . 130

7.5.3 Organisation . . . 130

7.5.4 Mensch . . . 131

7.6 Zusammenfassung . . . 131

8. Roadmaps zur Umsetzung der Einsatzszenarien 133

8.1 Überblick 133

8.2 Roadmap Einsatzszenario I: Elektronisch gekoppelte Lkw auf Autobahnen bei einem Abstand von 10 m 134

8.3 Roadmap Einsatzszenario II: Elektronisch gekoppelte Lkw auf Autobahnen bei einem Abstand von 33 m 138

8.4 Roadmap Einsatzszenario III: Elektronisch gekoppelte Lkw auf Autobahnen bei einem Abstand von 50 m 142

8.5 Zusammenfassung 143

9. Bewertung und Übertragbarkeit der Ergebnisse 144

9.1 Überblick 144

9.2 Bewertung 144

9.3 Übertragbarkeit 147

10. Zusammenfassung 148

A. Anhang 149

A.1 KONVOI - Entwicklung und Untersuchung des Einsatzes von elektronisch gekoppelten Lkw-Konvois 149

A.2 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Bewertung der elektronischen Koppelung von Lkw auf Prozessebene 151

A.3 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Bewertung der elektronischen Koppelung von Lkw auf Inhaltsebene 153

A.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Bewertung der Systemumwelt der elektronischen Koppelung 161

A.5 Anwendung und Zielsetzung von Roadmaps 164

B. Abkürzungsverzeichnis 165

C. Bildverzeichnis 168

D. Tabellenverzeichnis 172

E. Literaturverzeichnis 175