

II Inhaltsverzeichnis

I	DANKSAGUNG	I
II	INHALTSVERZEICHNIS	III
1	EINLEITUNG	1
1.1	DIE ROLLE VON ABBLENDLICHT UND FERNLICHT	1
1.2	DAS BLENDFREIE FERNLICHT	2
2	AUFGABENSTELLUNG	4
2.1	HINTERGRUND	4
2.2	ZIEL DIESER ARBEIT	4
2.3	ÜBERBLICK ÜBER DIE ARBEIT	5
3	UNFALLANALYSE: POTENZIAL UNTER IDEALEN LICHTBEDINGUNGEN	6
3.1	DATENGRUNDLAGE	6
3.2	ABSCHÄTZUNGSVERFAHREN	8
3.3	ERGEBNISSE	11
4	STAND DER TECHNIK	14
4.1	SCHEINWERFER	14
4.1.1	<i>Die LED im Scheinwerfer</i>	14
4.1.2	<i>Der LED-Scheinwerfer</i>	18
4.2	BLENDFREIE FERNLICHTSYSTEME	19
4.2.1	<i>Ältere Ansätze</i>	19
4.2.2	<i>Aktuelle Konzepte</i>	20
4.2.3	<i>Bewertung von blendfreien Fernlichtsystemen</i>	24
4.3	STAND DER WISSENSCHAFT	24
4.3.1	<i>Erkennbarkeitsentfernung</i>	24
4.3.2	<i>Lichtverteilung von Abblendlicht und Fernlicht</i>	28
4.3.3	<i>Blendung</i>	29
4.3.4	<i>Nachtsichtsysteme</i>	31
5	TECHNISCHE BESCHREIBUNG DES BLENDFREIEN LED-FERNLICHTES	32
5.1	DER NANOLUX-SCHEINWERFER	32
5.1.1	<i>Aufbau des Nanolux-Scheinwerfers</i>	32
5.1.2	<i>Lichtverteilung des Nanolux-Scheinwerfers</i>	34
5.1.3	<i>Ansteuerung des LED-Arrays</i>	36
5.2	KAMERA UND BILDVERARBEITUNG	37
5.2.1	<i>Aufbau und Funktionsweise des Kamerasystems</i>	38
5.2.2	<i>Bildverarbeitung</i>	39
5.2.3	<i>Untersuchung des Kamerasystems</i>	41

5.3	THEORETISCHE SYSTEMAUSLEGUNG	44
5.3.1	<i>Objektgleich</i>	44
5.3.2	<i>Parallaxenfehler</i>	45
5.3.3	<i>Objektgleich unter Berücksichtigung des Parallaxenfehlers</i>	45
5.3.4	<i>Neue Möglichkeiten aufgrund der optischen Kopplung</i>	47
5.4	TOPOLOGIE DES GESAMTSYSTEMS	49
5.4.1	<i>Integration und Funktionsweise</i>	49
5.4.2	<i>Infrastruktur</i>	51
5.4.3	<i>Latenzzeitmessung Gesamtsystem</i>	51
5.4.4	<i>Bedienkonzept</i>	53
6	VERKEHRSRAUMANALYSE	56
6.1	THEORETISCHE VERKEHRSRAUMANALYSE	56
6.1.1	<i>Verfügbare Daten</i>	56
6.1.2	<i>Zusammenführung der Daten</i>	57
6.1.3	<i>Analyse des Verkehrsgeschehens</i>	59
6.2	VERKEHRSRAUMMODELLIERUNG	60
6.2.1	<i>Simulationsmodell</i>	61
6.2.2	<i>Einbindung der Streckengeometrie</i>	62
6.2.3	<i>Einbindung des Verkehrsgeschehens</i>	63
6.2.4	<i>Objektlistensammlung durch die virtuelle Kamera</i>	63
6.2.5	<i>Ergebnis der Verkehrsraummodellierung</i>	64
6.3	REALE VERKEHRSRAUMANALYSE	66
6.3.1	<i>Bisherige Untersuchungen</i>	66
6.3.2	<i>Messaufbau und Auswertung</i>	67
6.3.3	<i>Wahl des Streckenprofils und Durchführung</i>	69
6.3.4	<i>Ergebnisse der realen Verkehrsraumanalyse</i>	70
6.4	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	73
6.4.1	<i>Vergleich der Verkehrsraummodellierung mit der Praxis</i>	74
6.4.2	<i>Bedeutung der Ergebnisse für die weitere Arbeit</i>	78
7	BERECHNUNG DES NUTZUNGSGRADES VON FERNLICHTSYSTEMEN	79
7.1	BEWERTUNGSVERFAHREN	79
7.1.1	<i>Gewichtung durch Lichtstrom</i>	79
7.1.2	<i>Simulation</i>	81
7.2	METHODEN ZUR SEGMENTIERUNG EINER FERNLICHTVERTEILUNG	83
7.2.1	<i>Objekthäufigkeitsbasierte Segmentierung</i>	83
7.2.2	<i>Methode baugleicher Optikmodule</i>	87
7.2.3	<i>Methode zum gleichmäßigen Schalten von Lichtsegmenten</i>	89
7.2.4	<i>Bewertung des gesamten Matrix-Beam-Scheinwerfers</i>	89
7.2.5	<i>Diskussion der Methoden zur Segmentierung</i>	90
7.2.6	<i>Vorschlag einer Segmentierung</i>	91
7.3	SICHERHEITSBEREICHE	94
7.3.1	<i>Statische Sicherheitsbereiche</i>	95

7.3.2	<i>Parallaxenfehler</i>	96
7.3.3	<i>Größe dynamischer Sicherheitsbereiche</i>	98
7.3.4	<i>Zusammenfassung der Sicherheitsbereiche</i>	106
7.4	BLENDFREIE FERNLICHTSYSTEME IM VERGLEICH	107
7.4.1	<i>Vergleich auf Basis der Referenzstrecke</i>	107
7.4.2	<i>Vergleich auf Basis unterschiedlicher Verkehrsdichten</i>	108
7.4.3	<i>Vergleich auf Basis unterschiedlicher Streckenprofile</i>	108
7.4.4	<i>Kritische Betrachtung des Bewertungsverfahrens</i>	109
7.4.5	<i>Abschließende Bewertung blendfreier Fernlichtsysteme</i>	111
8	PSYCHOPHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	112
8.1	ABBLENDENTFERNUNGEN MIT LED UND XENON	112
8.1.1	<i>Versuchsbeschreibung</i>	113
8.1.2	<i>Versuchsaufbau</i>	113
8.1.3	<i>Durchführung</i>	114
8.1.4	<i>Analyse der Messergebnisse</i>	115
8.1.5	<i>Diskussion</i>	123
8.2	ERKENNBARKEITSENTFERNUNGEN MIT ADAPTIVEN FERNLICHTSYSTEMEN	126
8.2.1	<i>Versuchsbeschreibung</i>	126
8.2.2	<i>Versuchsaufbau</i>	126
8.2.3	<i>Durchführung</i>	130
8.2.4	<i>Analyse der Messergebnisse</i>	131
8.2.5	<i>Diskussion</i>	138
9	SICHERHEITSGEWINN MIT BLENDFREIEM FERNLICHT	142
9.1.1	<i>Risikokompensation</i>	142
9.1.2	<i>Quantifizierung des Sicherheitsgewinns und der Risikokompensation</i>	142
9.1.3	<i>Abschließende Betrachtung des erwarteten Netto-Sicherheitsgewinnes</i>	143
10	ZUSAMMENFASSUNG	144
10.1	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	144
10.2	AUSBLICK	148
11	ANHANG	149
11.1	TABELLEN UND ABBILDUNGEN	149
11.1.1	<i>Unfallanalyse</i>	149
11.1.2	<i>Kamerasystem</i>	149
11.1.3	<i>Daten zur Modellierung des Verkehrsraumes</i>	150
11.1.4	<i>Dauerzählstellen in Bayern</i>	152
11.2	VERZEICHNISSE	155
11.2.1	<i>Abbildungsverzeichnis</i>	155
11.2.2	<i>Tabellenverzeichnis</i>	157
11.2.3	<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	158
11.3	LITERATUR	160
11.4	BETREUTE ARBEITEN	168

11.5	IM RAHMEN DER ARBEIT ENTSTANDENE VERÖFFENTLICHUNGEN	169
11.5.1	<i>Konferenzbeiträge mit Vortrag</i>	169
11.5.2	<i>Konferenzbeiträge mit Poster</i>	169
11.5.3	<i>Weitere Veröffentlichungen</i>	169
11.5.4	<i>Patentanmeldungen</i>	170
11.6	LEBENS LAUF	171