



WHZ Westsächsische
Hochschule Zwickau
Hochschule für Mobilität

M a s t e r a r b e i t

**Untersuchungen von Scheinwerfern im Rahmen der Hauptuntersuchung ge-
mäß § 29 StVZO**

**eingereicht an der
Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau
zur Erlangung des akademischen Grades eines**

Master of Science

vorgelegt von: cand. ing.

Alshabeb, Ali

geb. am: 01.01.1995

**Studiengang: Fahrzeugtechnik (M.Sc.)
Studienschwerpunkt: Lichttechnik und Prüfsysteme**

Ausgegeben von:

Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf

Erstbetreuer:

Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf

Zweitbetreuer:

Prof. Dr.-Ing. Christian Erbsmehl

Widmung

Diese Masterarbeit widme ich meiner Familie und meinen Freunden, deren kontinuierliche Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Ermutigung entscheidend zum erfolgreichen Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ihr Vertrauen, ihre Geduld und ihr beständiger Beistand haben mich besonders in anspruchsvollen Phasen des Studiums gestärkt und motiviert. Ihnen gelten mein aufrichtiger Dank und meine besondere Wertschätzung.

Ali Alshabeb

Im Februar 2026

Autorenreferat

Diese Masterarbeit untersucht die Prüfpraxis von Fahrzeuglichtsystemen im Rahmen der periodischen Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO in Deutschland und vergleicht diese mit den entsprechenden Verfahren in der Türkei. Die Arbeit analysiert moderne Lichttechnologien wie LED- und Xenon-Scheinwerfer sowie deren rechtliche Grundlagen und Prüfverfahren. Durch systematische Untersuchungen der verwendeten Messgeräte und Prüfmethoden werden Unterschiede in der Prüfpraxis beider Länder identifiziert. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede in den Prüfstandards und -verfahren, woraus Verbesserungspotentiale für beide Länder abgeleitet werden. Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Harmonisierung internationaler Fahrzeugprüfstandards im Bereich der Lichttechnik.

Inhaltsverzeichnis

I.	Verzeichnis der Bilder	IV
II.	Verzeichnis der Tabellen	VII
III.	Verzeichnis der Abkürzungen	VIII
IV.	Verzeichnis der Kurzzeichen.....	IX
V.	Verzeichnis der Formeln	X
VI.	Verzeichnis der Anlagen.....	XI
1	Einleitung und Motivation	1
1.1	Hintergrund und Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung der Studie.....	3
1.3	Methodisches Vorgehen	3
1.3.1	Literatur- und Dokumentenanalyse.....	3
1.3.3	Vergleichende Bewertung	4
1.3.4	Ableitung von Optimierungspotenzialen	5
1.4	Aufbau der Untersuchung.....	5
2	Moderne Fahrzeuglichtsysteme	7
2.1	Entwicklung der Fahrzeugbeleuchtung	7
2.2.1	Optische Systeme.....	9
2.2.2	Elektronische Steuerung und Sensorintegration	11
2.3	LED-, Laser- und Adaptive-Lighting-Technologien	12
2.3.1	LED-Systeme	12
2.3.2	Laser-Lichtsysteme	13
2.3.3	Adaptive-Lighting-Technologien.....	15
2.4	Bedeutung für Sicht und Verkehrssicherheit.....	17
2.5	Ausblick auf zukünftige Entwicklungen	19
3	Internationale rechtliche Grundlagen zur Zulassung von Fahrzeuglichtsystemen.....	20
3.1	Überblick über internationale Vorschriften und Harmonisierung	20
3.2	UNECE-Regelungen (z. B. R48, R112, R123)	22
3.2.1	UNECE R48 – Installation von Beleuchtungseinrichtungen.....	22

3.2.2 UNECE R112 – Abblendscheinwerfer mit Halogen oder LED	22
3.2.3 UNECE R123 – Adaptive Frontbeleuchtungssystem (AFS).....	24
3.3 EU-Richtlinien und -Verordnungen (z. B. EU 2018/858, RL 76/756/EWG)	26
3.4 Verfahren der Typgenehmigung und gegenseitigen Anerkennung	27
4 Rechtliche Grundlagen zur periodischen Prüfung von Fahrzeuglichtsystemen und verwendete Prüfgeräte.....	28
4.1 Deutschland – Rechtlicher Rahmen.....	28
4.1.1 Rechtlicher nach Rahmen (§ 29 StVZO).....	28
4.1.2 HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie 2018 und Änderung 2025.....	30
4.1.3 Technische Anforderungen an Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräte (SEP)	32
4.1.4 Prüfablauf und Bewertungskriterien	35
4.1.5 Vergleich zur TÜV-Praxis.....	36
4.1.6 Bedeutung der Regelwerke	37
4.2 Türkei – Rechtlicher Rahmen	38
4.2.1 Gesetzlicher Rahmen	38
4.2.2 Regelungen und Durchführungsverordnungen.....	39
4.2.3 Technische Durchführung der Lichtprüfung	39
4.2.4 Toleranzen und Bewertungskriterien.....	40
4.2.6 Bedeutung der Harmonisierung.....	41
4.3 Verwendete Prüfgeräte zur Scheinwerferüberprüfung:.....	41
4.3.1 Überblick und Zweck	41
4.3.2 Funktionsprinzip der Messung.....	47
4.3.3 Wartung, Kalibrierung und Sicherheit	49
4.3.4 Zusammenfassung	50
5 Untersuchungen zur Prüfpraxis in Deutschland	51
5.1 Ablauf der Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO	51
5.2 Prüfgeräte und Messtechnik (z. B. MAHA, HELLA).....	52
5.2.1 Analoges Prüfgerät.....	52
5.2.2 Digitales Prüfgerät.....	53
5.3 Bewertungskriterien und Grenzwerte	55
5.4 Ergebnisse und Beobachtungen aus der Praxis	57
5.4.1 Analoges Prüfgerät.....	57

5.4.2	Digitales Prüfgerät	60
6	Untersuchungen zur Prüfpraxis in der Türkei	66
6.1	Ablauf der periodischen Fahrzeuguntersuchung (TÜVTÜRK).....	66
6.2	Bewertungskriterien und Grenzwerte	68
6.3	Besonderheiten und Abweichungen vom deutschen System	71
7	Vergleichende Analyse der Prüfpraxis.....	72
7.1	Vergleich der Prüfpraxis in Deutschland und der Türkei	72
7.2	Rechtliche Unterschiede	73
7.3	Technische und organisatorische Abweichungen	74
7.3.1	Prüfgeräte und Messprinzipien	74
7.3.2	Prüfablauf und Organisation	75
7.3.3	Toleranzen und Bewertung	75
7.4	Zusammenfassung der Vergleichsergebnisse.....	75
8	Ableitung von Verbesserungspotenzialen	77
8.1	Identifizierte Schwachstellen beider Systeme	77
8.2	Harmonisierung der Prüfverfahren	78
8.3	Optimierung von Prüfgeräten und -methoden	79
8.3.1	Erweiterte Messparameter.....	79
8.3.2	Automatische Kalibrierung und Selbstdiagnose	79
8.3.3	Prüfzeit und Effizienzsteigerung	80
8.4	Rechtliche Integration	80
8.5	Gemeinsames Prüfregister und Datenaustausch	80
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	82
10	Literaturverzeichnis	84

I. Verzeichnis der Bilder

Bild 1: Klassischer Rundscheinwerfer mit Glühlampentechnologie (1960) – frühe Entwicklungsphase der Fahrzeugbeleuchtung [1]	2
Bild 2: Moderner LED-Matrixscheinwerfer (2000er-Jahre) – aktuelle Entwicklungsphase der Fahrzeugbeleuchtung [1].....	2
Bild 3: Schematische Darstellung des methodischen Vorgehens der Arbeit	4
Bild 4:Entwicklung der Fahrzeugbeleuchtung von der Glühlampe bis zu Xenon-Scheinwerfern [14].	8
Bild 5: Prinzip eines Matrix-LED-Scheinwerfers (segmentierte Lichtsteuerung, schematisch).[20]	9
Bild 6: Active-Matrix Pixel-LED. [21]	10
Bild 7: Matrix-LED-Scheinwerfer mit Audi-Laserlicht [22]	10
Bild 8: Funktionsprinzip des Adaptiven Fernlichts (ADB) mit Kameraerkennung [25]....	11
Bild 9: Automatisches Fernlicht (ADB) mit Kameradetektion [26]	12
Bild 10: LED- Scheinwerfer eines Audi. [29]	13
Bild 11: Laserlichtprinzip: Phosphorkonversion zu Weißlicht (schematisch). [31].....	14
Bildfolge 12: Laser-Lichtsysteme [32].....	15
Bild 13: Audi Matrix-LED-Scheinwerfer [22]	16
Bild 14: Intelligenter Matrix-LED-Scheinwerfer [35]	17
Bild 15: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit, Reaktions- und Bremsweg [39] ..	18
Bild 16: Prüfaufbau nach UNECE R112 [51]	23
Bild 17: Funktionsprinzip eines adaptiven Frontbeleuchtungssystems [54].....	24
Bild 18: Funktionsprinzip eines adaptiven Frontbeleuchtungssystems [54].....	25
Bild 19: Adaptive Frontbeleuchtungssystem [55]	25
Bild 20: Ablaufdiagramm des Typgenehmigungsverfahrens (UNECE/EU) [62]	27
Bild 21: Geometrische Anforderungen an die Prüfaufstellfläche (nach Vkl 2025 Nr. 48). [67]	31

Bild 22: Darstellung der Hell-Dunkel-Grenze auf dem SEP-Geräteschirm (Abblend- und Fernlicht). [77]	37
Bild 23: Analoge Prüfgeräte (Beispiel: HELLA Gutmann SE 3000). [79]	42
Bild 24: Manueller Einstellring zur Vorgabe des Soll-Neigungswertes am Prüfsystem. [79]	42
Bild 25: Digitale Prüfgeräte (Beispiel: MAHA MLT 3000). [84]	43
Bild 26: Schematischer Aufbau des MAHA MLT 3000 mit Hauptkomponenten [84].	45
Bild 27: Digitalanzeige des MLT 3000 mit Anzeige von Nickwinkel, Wendepunkt und Intensität [77].	46
Bild 28: Darstellung des Pitch-Winkels und Messgeometrie nach Vkl 2020 Nr. 136 [68]	49
Bild 29: Prüfraum für die Scheinwerferüberprüfung (DEKRA-Werkstatt, Deutschland). 51	
Bild 30: Herstellerkennzeichnung und Neigungsangabe am Scheinwerfergehäuse.....	52
Bild 31: Analoges Scheinwerfer-Prüfgerät HELLA (Typ 8PA 007 732-01) zur manuellen Lichtneigungseinstellung in der Werkstatt	53
Bild 32: Digitales Scheinwerfer-Prüfgerät MAHA MLT 3000	54
Bild 33: Digitaler Scheinwerferprüfer mit integrierter Wasserwaage zur präzisen Ausrichtung.	55
Bild 34: Einstellung des analogen Scheinwerfer-Prüfgeräts auf 1,0 % Neigung	56
Bild 35: Einstellung des digitalen Scheinwerfer-Prüfgeräts MAHA MLT 3000 auf den Sollwert von 1,0 %.....	57
Bild 36: Positionierung eines analogen Scheinwerfer-Einstellgeräts vor dem Fahrzeug zur Vorbereitung der Scheinwerferprüfung	58
Bild 37: Messergebnis der Scheinwerferprüfung mit dem analogen HELLA-Prüfgerät – innerhalb der zulässigen Toleranz (in Ordnung)	59
Bild 38: Prüfung der Nebelscheinwerfer mit dem analogen HELLA-Prüfgerät bei einer Sollneigung von -2,0 %.....	60
Figure 39: Falsche Einstellung des Abblendlichts – Lichtkegel oberhalb der Soll-Linie beim analogen HELLA-Prüfgerät.....	60

Bild 40: Durchführung der Scheinwerferprüfung am Fahrzeug mit dem digitalen Prüfgerät MAHA MLT 3000.....	61
Bild 41: Messergebnis der Scheinwerferprüfung mit dem digitalen Prüfgerät MAHA MLT 3000 – innerhalb der zulässigen Toleranz	62
Bild 42: Falsches Messergebnis der Scheinwerferprüfung – Lichtkegel oberhalb der Soll-Linie (nicht in Ordnung)	63
Bild 43: TÜVTÜRK-Fahrzeugprüfstation in der Türkei – Hauptuntersuchung nach Artikel 34 der Straßenverkehrsordnung.....	66
Bild 44: Digitales Scheinwerfer-Prüfgerät auf fester Führungsschiene in der TÜVTÜRK-Werkstatt (Türkei).....	67
Bild 45: Durchführung der digitalen Scheinwerferprüfung in der TÜVTÜRK-Fahrzeugprüfstelle (Türkei)	68
Bild 46: Eingabe der Sollwerte am digitalen Scheinwerfer-Prüfgerät in der TÜVTÜRK-Fahrzeugprüfstelle.....	69
Bild 47: Positives Messergebnis der digitalen Scheinwerferprüfung in der TÜVTÜRK-Fahrzeugprüfstelle (Türkei)	70
Bild 48: Positives Messergebnis der digitalen Scheinwerferprüfung in der TÜVTÜRK-Fahrzeugprüfstelle (Türkei)	70

II. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle	Titel	Seite
1	Vergleich der relevanten Normen und Gesetze (DE/TR)	6
2	Länderkennzeichen der UNECE-Typgenehmigungen (WP.29 Datenbank, 2024)	20
3	Vergleich zentraler Prüfaspekte zwischen UNECE-Regelungen und EU-Typgenehmigung	26
4	Einstellmaße und zulässige Toleranzen für verschiedene Fahrzeugarten gemäß VkB1 2020 Nr. 136	32
5	Einstellmaße und zulässige Toleranzen für verschiedene Fahrzeugarten gemäß VkB1 2020 Nr. 136	33
6	Regulatorischer Rahmen der HU gemäß § 29 StVZO in Deutschland	36
7	Vergleich der Prüfpraxis zur Scheinwerferprüfung in Deutschland und der Türkei	40
8	Vergleichstabelle (HELLA analog vs. MAHA digital)	47
9	Vergleich der Prüfgeräte und Prozessabläufe in Deutschland und der Türkei	74
10	Vergleich der rechtlichen und technischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Deutschland und der Türkei	76

III. Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung/Quelle
AFS	Adaptive Frontlighting System – UNECE-Regelung Nr. 123
CoP	Conformity of Production – Produktionsüberwachung im Rahmen der EU-Typgenehmigung
ECE/UNECE	Economic Commission for Europe – Herausgeber der ECE-Regelungen (z. B. R48, R112)
E1	Länderkennzahl für Deutschland in der ECE-Typgenehmigung
EU 2018/858	Verordnung über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen
GTR	Global Technical Regulation – weltweite UNECE-Regelungen
R48	Installation der Beleuchtungseinrichtungen
R112	Anforderungen an asymmetrische Abblendscheinwerfer
R123	Adaptive Frontbeleuchtung (AFS)
RL 76/756/EWG	EU-Richtlinie zur Installation von Lichtsystemen
StVZO § 29	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung, Hauptuntersuchung
VkBl	Verkehrsblatt – amtliches Veröffentlichungsblatt des BMVI
WP.29	World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations
TÜVTÜRK	Türkischer Betreiber der periodischen Fahrzeugprüfung (Artikel 34 des Gesetzes Nr. 2918)
ADB	Adaptive Driving Beam – blendfreies Fernlicht
CAN/LIN /FlexRay	Fahrzeug-Kommunikationsschnittstellen
DEKRA/GTÜ/KÜS /TÜV	Prüforganisationen in Deutschland
ECU/LCU	Electronic/Lightning Control Unit
HID	High Intensity Discharge – Xenonlampe
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt – Zulassungs- und Aufsichtsbehörde (E1)
LED	Light Emitting Diode
MAHA/HELLA/ AC- TIA	Hersteller von Scheinwerferprüfgeräten
SEP	Scheinwerfer-Einstell-Prüfgerät
TSE	Türk Standardları Enstitüsü – nationale Normungsstelle
Yaw/Roll	seitliche bzw. axiale Abweichungswinkel im digitalen Prüfgerät

IV. Verzeichnis der Kurzzeichen

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
cd	Candela (cd)	Einheit der Lichtstärke
E	m	Prüfabstand zwischen Fahrzeug und Prüfgerät
η	–	Wirkungsgrad (z. B. $\eta = \Phi/P$)
h/h_{max}/h_{min}	m	Projektionshöhen auf der Prüffläche
H	m	Höhe der Scheinwerfermitte über der Fahrbahn
I	–	Intensität – gemessene Lichtstärke
IP	–	Wendepunkt – Knickpunkt der Hell-Dunkel-Grenze
lm	Lm	Lumen – Lichtstrom
P	W	Elektrische Leistung
PA	°	Nickwinkel – vertikaler Neigungswinkel der Hell-Dunkel-Grenze
Φ	lm	Lichtstrom, Basisgröße der Lichtausbeute
kLED	–	Verhältnis der spektralen LED-Emission zur Halogenreferenz ($k = 1,04 \pm 0,02$)

V. Verzeichnis der Formeln

Nr.	Beschreibung	Seite
1	Kinetische Energie eines Fahrzeugs in Abhängigkeit von Masse und Geschwindigkeit	18
2	Bestimmung der Scheinwerferneigung (e) in Prozent aus dem Höhenunterschied zwischen der Scheinwerfermitte (h_H) und dem Lichtschnittpunkt (h_L), bezogen auf den Prüfabstand (L).	48

VI. Verzeichnis der Anlagen

Anlage/Begriff	Inhalt/Beschreibung
Anlage 1 – E-Nummern (UN- ECE-Typgeneh- migungen)	Offizielle E-Nummern nach UNECE für Fahrzeugtypgenehmigungen und zugehörige Staaten (Anhang 3, 2024)
Anlage 2 – Einstellmaße und Toleranzen	Tabelle mit Einstellmaßen und Toleranzen für unterschiedliche Fahrzeugarten. Enthält Scheinwerfer-Einstellmaße, getrennt für Abblend-/Fernlicht- und Nebelscheinwerfer, sowie Toleranzen nach oben, unten, links, rechts. Quelle: VkB 2020 Nr. 136 (Richtlinie für die Prüfung von Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräten).
Anlage 3 – Einstellmaße bei Höhe der Ab- blend- und Fern- licht-Scheinwer- fer über 1,4 m	Tabelle mit Sollhöhen h , $h_{\max}$, $h_{\min}$ in Abhängigkeit von der Scheinwerferhöhe H und dem Prüfabstand E (10 m, 5 m, 2,5 m). Dient zur präzisen Korrelation zwischen Scheinwerferhöhe und Projektionshöhe auf dem Prüfschirm.

1 Einleitung und Motivation

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Effektive Fahrzeug-Scheinwerfer und Beleuchtungssysteme tragen wesentlich zur Verkehrssicherheit bei, indem sie dem Fahrer eine notwendige Ausleuchtung der Fahrbahn bieten und die Sichtbarkeit des Fahrzeugs für andere Verkehrsteilnehmer, insbesondere bei schlechten Sichtverhältnissen oder nachts, verbessern [1]. Gut gestaltete Beleuchtungssysteme reduzieren das Unfallrisiko und stellen sicher, dass Fahrer schnell auf Gefahren reagieren können, wodurch ein sichereres Fahrerlebnis unterstützt wird. Mit dem technischen Fortschritt der letzten Jahrzehnte – von Halogenscheinwerfern über Xenon- bis hin zu LED- und Laserlichtsystemen – haben sich sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Komplexität dieser Systeme erheblich erhöht [2]. Moderne Lichtsysteme übernehmen heute adaptive Funktionen wie die automatische Leuchtweitenregelung, Kurvenlicht sowie blendfreie Fernlichttechnologien, wodurch die Anforderungen an Wartung, Prüfung und Zulassung deutlich gestiegen sind [3].

Parallel zu dieser technologischen Entwicklung haben sich auch die gesetzlichen Anforderungen an Beleuchtungssysteme verändert. Die Regulierung erfolgt in Europa vor allem durch die United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), deren Regelwerke – insbesondere die Regel Nr. 48 (Installation der Leuchten) – weltweit als Referenz gelten [4]. In Deutschland sind darüber hinaus die Bestimmungen der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) maßgeblich, insbesondere § 29, der die periodische Hauptuntersuchung regelt [5].

In der Türkei wiederum unterliegt die technische Fahrzeugprüfung der staatlich konzes- sionierten Organisation TÜVTÜRK, die auf Grundlage des türkischen Straßenverkehrs- gesetzes Nr. 2918 und der entsprechenden Durchführungsverordnungen arbeitet [6]. Trotz des gemeinsamen Ziels – Sicherheit im Straßenverkehr – unterscheiden sich die Prüfsysteme in Struktur, Ablauf und technischen Vorgaben erheblich.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich die wissenschaftliche Problemstellung dieser Arbeit: Wie unterscheiden sich die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen der Licht- prüfung in Deutschland und der Türkei, und welche Optimierungspotenziale lassen sich für eine zukünftige Harmonisierung ableiten? Diese Fragestellung ist von hoher Rele- vanz, da eine fehlerhafte oder unzureichende Scheinwerfereinstellung eine der häufigs- ten Beanstandungen bei Hauptuntersuchungen darstellt [7]. Zudem gewinnen Aspekte

der europäischen Harmonisierung und der Digitalisierung der Prüftechnik zunehmend an Bedeutung. Bilder 1 und 2 veranschaulichen die Entwicklung der Fahrzeugbeleuchtung von einem klassischen Rundscheinwerfer mit Glühlampentechnologie der 1960er-Jahre hin zu einem modernen LED-Matrixscheinwerfer der 2000er-Jahre mit effizienter und adaptiver Lichtverteilung.



Bild 1: Klassischer Rundscheinwerfer mit Glühlampentechnologie (1960) – frühe Entwicklungsphase der Fahrzeugbeleuchtung [1]



Bild 2: Moderner LED-Matrixscheinwerfer (2000er-Jahre) – aktuelle Entwicklungsphase der Fahrzeugbeleuchtung [1]

1.2 Zielsetzung der Studie

Ziel dieser Studie ist es, die technischen und rechtlichen Grundlagen sowie die praktische Prüfpraxis der Fahrzeuglichtsysteme in Deutschland und der Türkei systematisch zu analysieren, miteinander zu vergleichen und daraus Verbesserungspotenziale abzuleiten.

Die spezifischen Teilziele lassen sich wie folgt formulieren:

- Darstellung der technologischen Entwicklung moderner Fahrzeuglichtsysteme – von konventionellen bis zu adaptiven Systemen.
- Analyse der rechtlichen Grundlagen auf internationaler (UNECE), europäischer (EU-Richtlinien) und nationaler Ebene (Deutschland, Türkei).
- Untersuchung der Prüfpraxis im Rahmen der Hauptuntersuchung (§ 29 StVZO) und der periodischen Prüfung (TÜVTÜRK).
- Vergleichende Bewertung der Messmethoden, Grenzwerte und Prüfgeräte (analog/digital).
- Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur Optimierung und möglichen Harmonisierung der Prüfverfahren.

Darüber hinaus verfolgt die Arbeit einen praktischen Ansatz: Durch die Analyse realer Prüfdaten, Gerätehandbücher (z. B. MAHA MLT 3000 und ACTIA HBA 21) und aktueller Normen sollen konkrete Vorschläge zur Verbesserung der Prüfprozesse erarbeitet werden [8].

1.3 Methodisches Vorgehen

Die Methodik dieser Arbeit stützt sich auf einen vergleichenden, analytischen Ansatz. Dabei werden sowohl technische Aspekte als auch rechtliche Rahmenbedingungen einbezogen.

1.3.1 Literatur- und Dokumentenanalyse

Im ersten Schritt erfolgt eine umfassende Analyse einschlägiger Fachliteratur, Normen und gesetzlicher Regelwerke. Zu den wichtigsten Quellen zählen:

UNECE-Regel Nr. 48 und Nr. 112 (zur Scheinwerferinstallation und -leistung) [4],

EU-Rahmenrichtlinie 2018/858 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen [9],

Deutsche StVZO § 29 (Hauptuntersuchung) [5],

Türkisches Straßenverkehrsgesetz Nr. 2918 und die TÜVTÜRK-Prüfrichtlinien [6].

Diese Analyse bildet die Grundlage zur Identifizierung der regulatorischen Unterschiede beider Länder.

1.3.2 Empirische Analyse der Prüfpraxis

Im zweiten Schritt werden beobachtende Untersuchungen und technische Messdaten aus realen Prüfsituationen herangezogen. Der Fokus liegt dabei auf:

Messmethoden und Prüfgeräten (analog/digital),

Toleranzwerten und Grenzbereichen,

Ablauf der Prüfprozesse (Reihenfolge, Dokumentation).

Bild 3 zeigt methodisches Vorgehen der Studie:

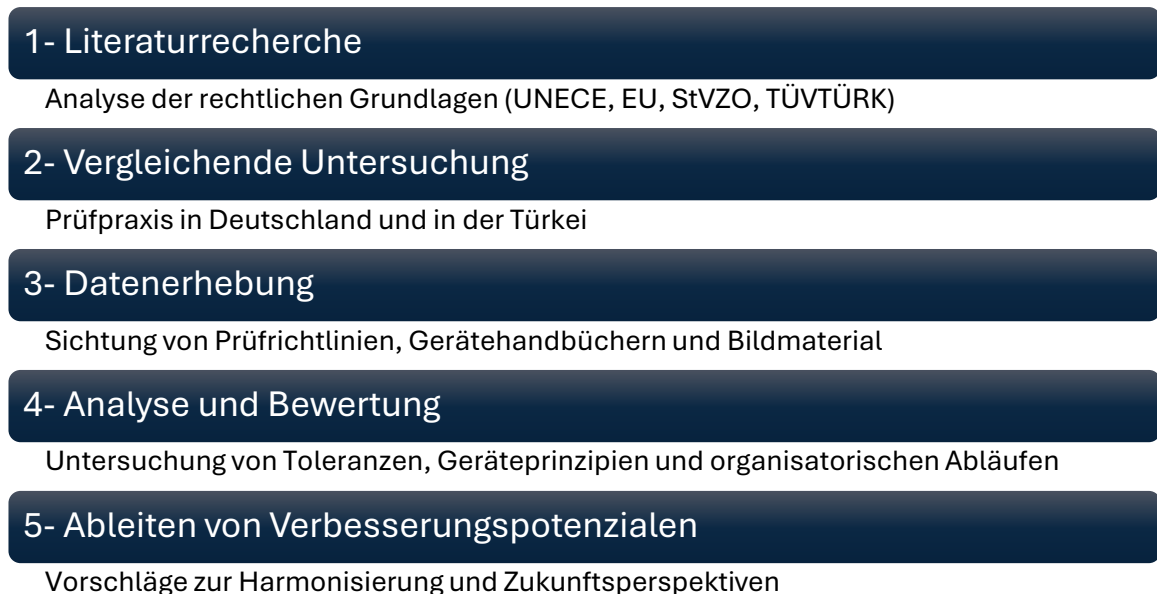


Bild 3: Schematische Darstellung des methodischen Vorgehens der Arbeit [eigene Darstellung]

1.3.3 Vergleichende Bewertung

Im dritten Schritt erfolgt der direkte Vergleich zwischen beiden Systemen (Deutschland ↔ Türkei). Dabei werden die Ergebnisse der Dokumenten- und Praxisanalyse gegenübergestellt und auf technische, organisatorische und rechtliche Unterschiede geprüft.

1.3.4 Ableitung von Optimierungspotenzialen

Auf Grundlage der Analyse werden Maßnahmenvorschläge entwickelt, die sowohl technische Innovationen (z. B. Digitalisierung der Messgeräte) als auch regulatorische Anpassungen (z. B. erweiterte Toleranzgrenzen) berücksichtigen [10].

1.4 Aufbau der Untersuchung

Die Untersuchung gliedert sich in zehn Kapitel, die inhaltlich aufeinander aufbauen:

Kapitel 1 vermittelt die Einleitung, Motivation und methodische Grundlage.

Kapitel 2 beschreibt die Entwicklung und technischen Grundlagen moderner Fahrzeuglichtsysteme.

Kapitel 3 behandelt die internationalen und europäischen rechtlichen Vorschriften für die Zulassung von Lichtsystemen.

Kapitel 4 erläutert die rechtlichen Rahmenbedingungen der periodischen Prüfung in Deutschland und der Türkei.

Kapitel 5 und 6 analysieren die tatsächliche Prüfpraxis beider Länder auf Basis praktischer Beobachtungen und Gerätebeschreibungen.

Kapitel 7 vergleicht die Ergebnisse und fasst die rechtlichen sowie technischen Unterschiede zusammen.

Kapitel 8 leitet konkrete Verbesserungspotenziale und Harmonisierungsvorschläge ab.

Kapitel 9 enthält die abschließende Zusammenfassung und den Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

Kapitel 10 umfasst das Quellenverzeichnis gemäß IEEE-Standard.

Damit ergibt sich ein strukturierter Aufbau, der eine schrittweise Herleitung von der technischen und rechtlichen Ausgangslage bis hin zu praxisorientierten Lösungsansätzen ermöglicht. Tabelle 1 stellt die für Deutschland und die Türkei relevanten Normen und Gesetze übersichtlich gegenüber.

Tabelle 1: Vergleich der relevanten Normen und Gesetze (DE/TR)

Aspekt/Bereich	Deutschland (DE)	Türkei (TR)
Gesetzliche Grundlage	§ 29 StVZO, HU-Richtlinie, VkbI 2025 Nr. 48	Gesetz Nr. 2918, Artikel 34
Prüforganisationen	TÜV, DEKRA, GTÜ (u. a.)	TÜVTÜRK (staatlich beauftragt, Monopol)
Prüfgeräte	SEP-Geräte mit KBA-Baumusterfreigabe	Digitale Geräte gemäß Verkehrsministerium (UAB)
Toleranzbereich	-0,5 % bis -1,5 % ($\pm 0,5$ %)	bis -3,5 % (softwareabhängig)
Kalibrierung	Jährlich durch KBA-zertifizierte Stellen (TÜV NORD)	Zentrale Wartung durch TÜVTÜRK-Teams
Rechtsaufsicht	KBA, BMDV	Verkehrsministerium (UAB)

2 Moderne Fahrzeuglichtsysteme

2.1 Entwicklung der Fahrzeugbeleuchtung

Die Fahrzeugbeleuchtung hat sich seit Beginn des Automobilzeitalters in mehreren technologischen Stufen entwickelt.

Während die ersten Fahrzeuge zu Beginn des 20. Jahrhunderts mit Karbid- und Acetylenlampen ausgestattet waren, begann die Ära der elektrischen Fahrzeugbeleuchtung mit der Einführung der Glühlampe im Jahr 1913 durch die Firma Bosch [11].

Seit den 1960er-Jahren wurden Halogenscheinwerfer in Automobilen eingeführt, da sie gegenüber herkömmlichen Glühlampen eine deutlich höhere Lichtausbeute und Lebensdauer bieten, was zu ihrer Verbreitung als Standardlichtquelle in Fahrzeugkopfleuchten führte. [12]. In den 1990er-Jahren folgten Xenon-Gasentladungslampen, die mit bis zu 3.200 Lumen eine etwa doppelt so hohe Lichtstärke erzeugten [13].

Mit der Jahrtausendwende begann die Leuchtdioden (LED) bieten mehrere Vorteile gegenüber konventionellen Lichtquellen: LED-Technologie (Licht emittierende Diode), die seither einen grundlegenden Paradigmenwechsel in der Lichttechnik bewirkt hat. LEDs sind kompakt, vibrationsfest, energieeffizient und ermöglichen eine freie Gestaltung der Lichtsignatur. Sie sind zudem die Voraussetzung für adaptive und digitale Beleuchtungssysteme [14]. Wie im Bild 4 dargestellt, wird die Entwicklung der Fahrzeugbeleuchtung von Glühlampen über Halogen bis hin zu Xenon-Scheinwerfern veranschaulicht



Bild 4:Entwicklung der Fahrzeugbeleuchtung von der Glühlampe bis zu Xenon-Scheinwerfern [14].

Parallel zur technologischen Evolution wandelten sich auch die gesetzlichen Anforderungen. Mit jeder Generation stieg die Komplexität der Prüfvorschriften, insbesondere in Bezug auf Blendfreiheit, Lichtverteilung und Energieeffizienz [16].

2.2 Technische Grundlagen moderner Lichtsysteme

Ein modernes Fahrzeugscheinwerfersystem besteht typischerweise aus folgenden Baugruppen [17]:

- Lichtquelle (Halogen, Xenon, LED oder Laser),
- Optisches System (Reflektor, Linse, Projektor),
- Elektronische Steuerungseinheit (ECU),
- Sensoren und Aktuatoren (für Höhenregelung und adaptives Licht),
- Kommunikationsschnittstellen (CAN, LIN, FlexRay).

Die grundlegende Funktion besteht darin, einen definierten Lichtkegel mit vorgegebener Intensität, Ausrichtung und Verteilung zu erzeugen.

2.2.1 Optische Systeme

Bei Reflektorscheinwerfern wird das Licht durch einen paraboloiden Reflektor gebündelt. Diese Bauform ist einfach und kostengünstig, aber weniger flexible hinsichtlich Lichtverteilung. Projektionsscheinwerfer (Ellipsoid-System) nutzen eine Linse, die das Licht präzise auf die Fahrbahn fokussiert [18].

Die Entwicklung moderner Matrix-LED-Systeme ermöglicht eine segmentierte Ansteuerung einzelner Lichtquellen. Dadurch kann der Lichtkegel in Echtzeit angepasst werden – z. B. zur Vermeidung von Blendung des Gegenverkehrs bei gleichzeitig maximaler Ausleuchtung [19]. Das schematische Prinzip eines Matrix-LED-Scheinwerfers mit segmentierter Lichtsteuerung ist im Bild 20 dargestellt.

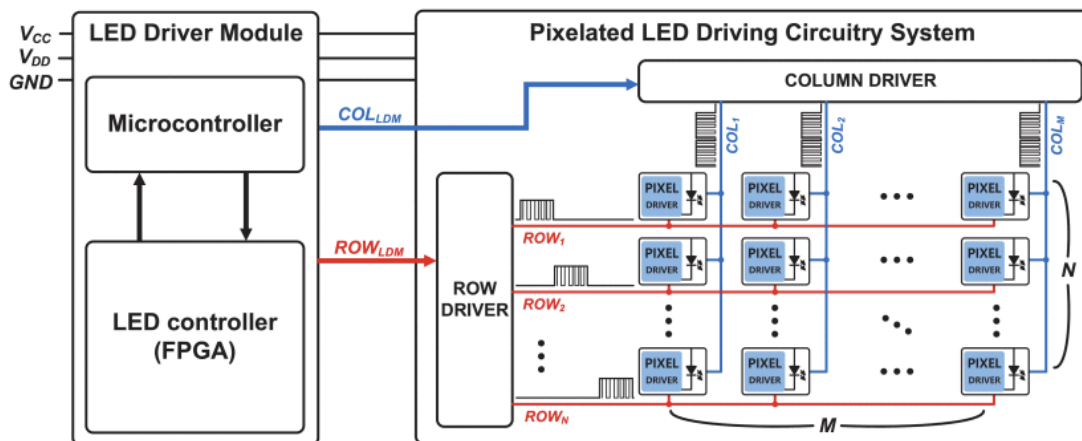


Bild 5: Prinzip eines Matrix-LED-Scheinwerfers (segmentierte Lichtsteuerung, schematisch).[20]

Wie in den Bildern 6 und 7 dargestellt, kommen bei Herstellern wie Audi und Škoda moderne Matrix-LED-Lichtsysteme zum Einsatz, die auf einer Vielzahl einzeln ansteuerbarer LED-Segmente bzw. Pixel basieren. Diese Active-Matrix-Pixel-LED-Technologie ermöglicht eine hochauflösende, adaptive Lichtverteilung, bei der einzelne Bereiche des Lichtkegels gezielt ein- oder ausgeblendet werden können, um die Fahrbahn optimal auszu-leuchten und gleichzeitig eine Blendung des Gegenverkehrs zu vermeiden.



Bild 6: Active-Matrix Pixel-LED. [21]

Audi e-tron GT quattro

Matrix LED-Scheinwerfer mit Audi Laserlicht

Matrix LED headlight with Audi laser light
02/21

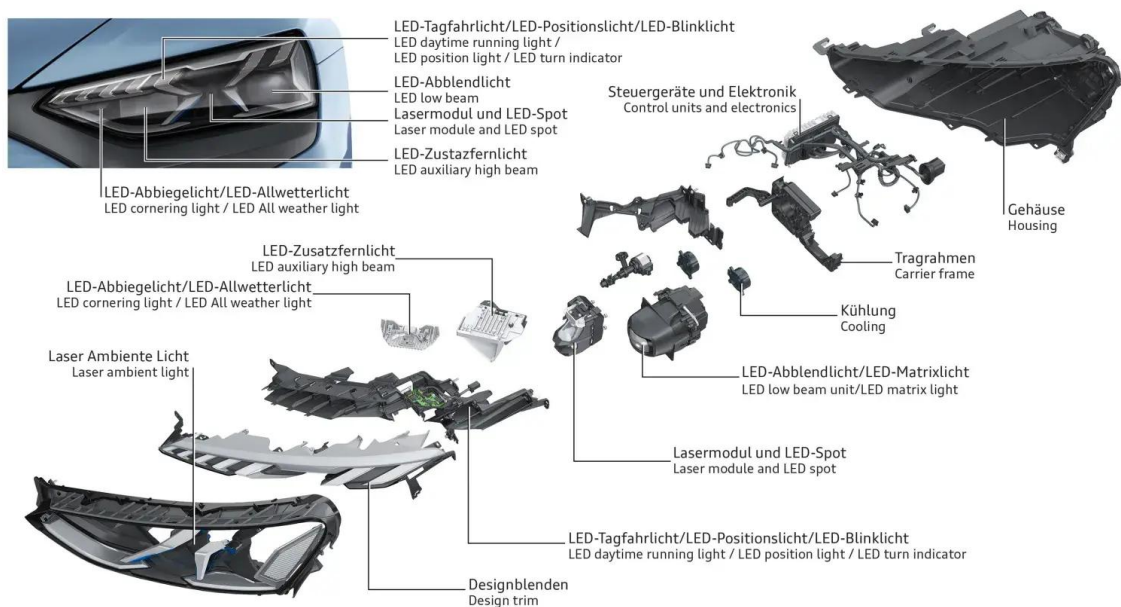


Bild 7: Matrix-LED-Scheinwerfer mit Audi-Laserlicht [22]

2.2.2 Elektronische Steuerung und Sensorintegration

Die Steuerung moderner Lichtsysteme erfolgt über Lichtsteuergeräte (Lighting Control Units, LCU), die in das Bordnetz integriert sind.

Diese Systeme kommunizieren mit Fahrzeugsensoren (Kameras, Radar, Gierraten-sensoren) und passen die Lichtverteilung dynamisch an [23].

Wichtige Sensorsignale sind:

- Fahrzeuggeschwindigkeit (Autobahnmodus),
- Lenkwinkel (Kurvenlicht),
- Umgebungshelligkeit (automatisches Tag-/Nachtlicht),
- Gegenverkehrserkennung (blendfreies Fernlicht).

Diese Integration wird auch als Adaptive Lighting Control (ALC) bezeichnet und ist ein zentrales Merkmal moderner Fahrerassistenzsysteme.

Ein Beispiel ist das Adaptive Driving Beam (ADB)-System: Es erkennt über eine Kamera den Gegenverkehr und blendet gezielt nur die betroffenen Segmente aus, ohne die Fahrbahn insgesamt abzdunkeln [24]. Das Funktionsprinzip dieses Systems ist in Bild 8 und 9 dargestellt.

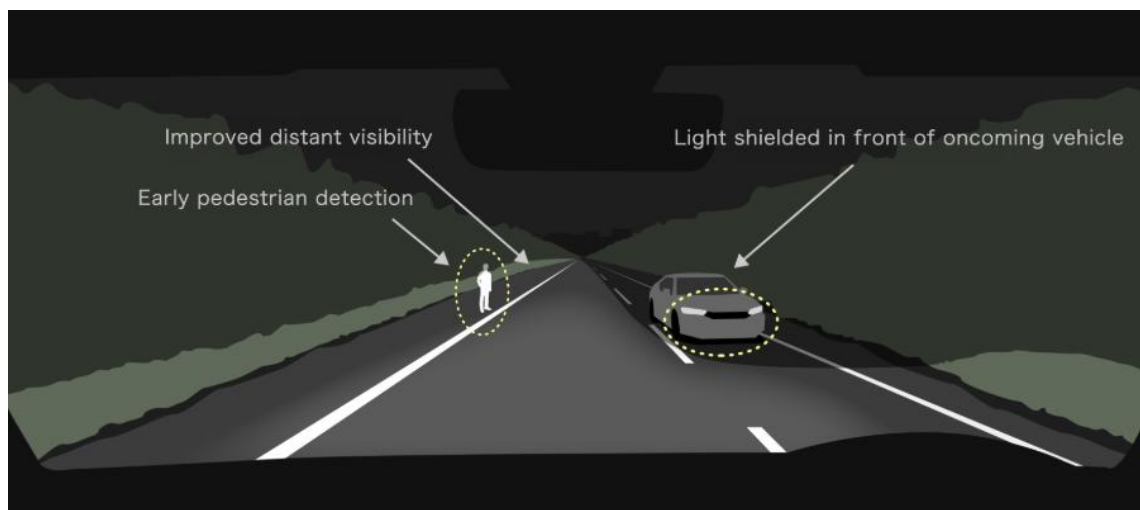


Bild 8: Funktionsprinzip des Adaptiven Fernlichts (ADB) mit Kameraerkennung [25]

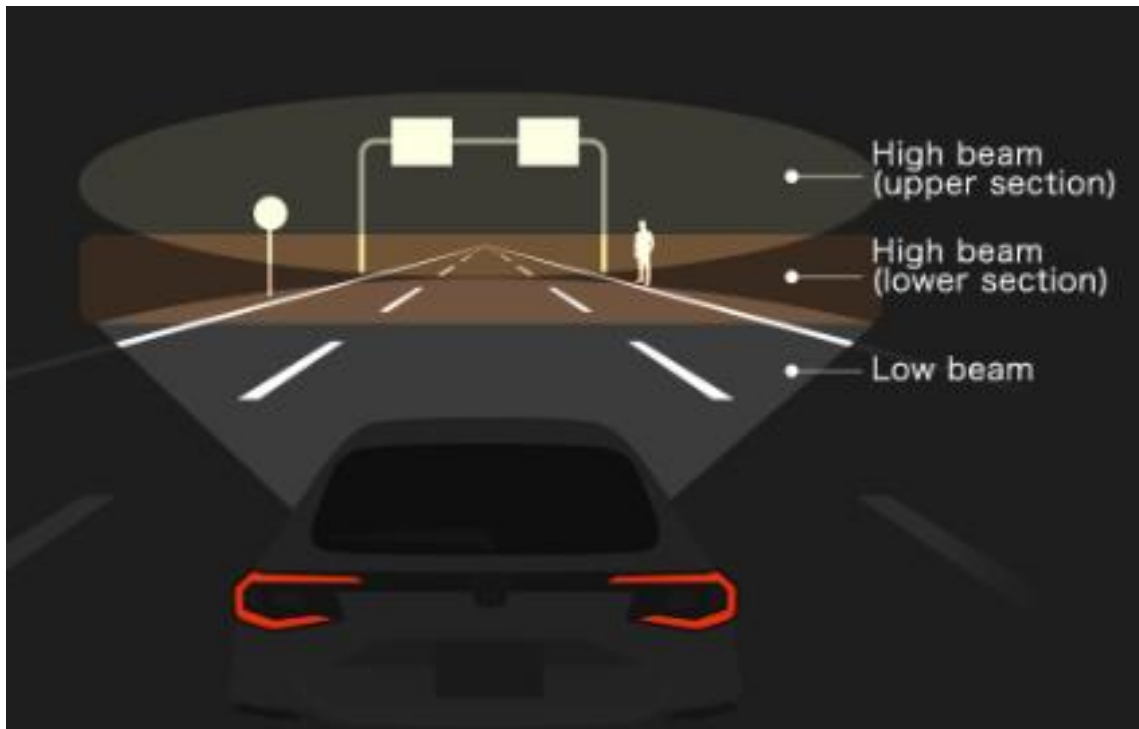


Bild 9: Automatisches Fernlicht (ADB) mit Kameradetektion [26]

2.3 LED-, Laser- und Adaptive-Lighting-Technologien

2.3.1 LED-Systeme

Leuchtdioden (LED) bieten mehrere Vorteile gegenüber konventionellen Lichtquellen:

- Hohe Energieeffizienz (bis 130 lm/W),
- Geringe Baugröße,
- Sofortige Helligkeit ohne Aufwärmphase,
- Langlebigkeit (über 10.000 h).

Eine Herausforderung besteht jedoch in der thermischen Stabilisierung, da die Lichtleistung stark temperaturabhängig ist. Hier kommen aktive Kühlungssysteme (Lüfter, Wärmeleitrohre) zum Einsatz [27].

In Deutschland werden LED-Systeme seit 2012 serienmäßig in Oberklassefahrzeugen verbaut, inzwischen auch in Mittelklassemodellen [28]. Das Prinzip und die Bauform eines LED-Scheinwerfers sind in Bild 10 am Beispiel eines Audi dargestellt.



Bild 10: LED- Scheinwerfer eines Audi. [29]

2.3.2 Laser-Lichtsysteme

Laserlicht arbeitet nach dem Prinzip der Lichtkonversion: Ein energiereicher blauer Laserstrahl trifft auf einen gelben Phosphor-Konverter, der das gebündelte Licht in weißes Licht umwandelt. Auf diese Weise kann ein sehr intensives und gleichmäßiges Licht erzeugt werden, das für Fahrzeugbeleuchtung besonders geeignet ist.

Zu den wesentlichen Vorteilen von Laserlichtsystemen zählen eine hohe Leuchtdichte, die eine präzise Ausleuchtung der Fahrbahn ermöglicht, sowie große Reichweiten von bis zu 600 m bei gleichzeitig niedriger Leistungsaufnahme [30]. Dadurch können sowohl die Sicht des Fahrers verbessert als auch der Energieverbrauch reduziert werden, was insbesondere für Elektro- und Hybridfahrzeuge von Bedeutung ist.

Da Laserstrahlung potenziell gefährlich für Augen und Haut sein kann, unterliegt der Einsatz von Laserlicht in Fahrzeugen strengen Sicherheitsanforderungen gemäß IEC 60825-1. Diese Norm regelt unter anderem die maximale Strahlintensität und Schutzmaßnahmen, um eine sichere Nutzung im Straßenverkehr zu gewährleisten. Das Funktionsprinzip der Phosphorkonversion zu Weißlicht ist in Bild 11 schematisch dargestellt.

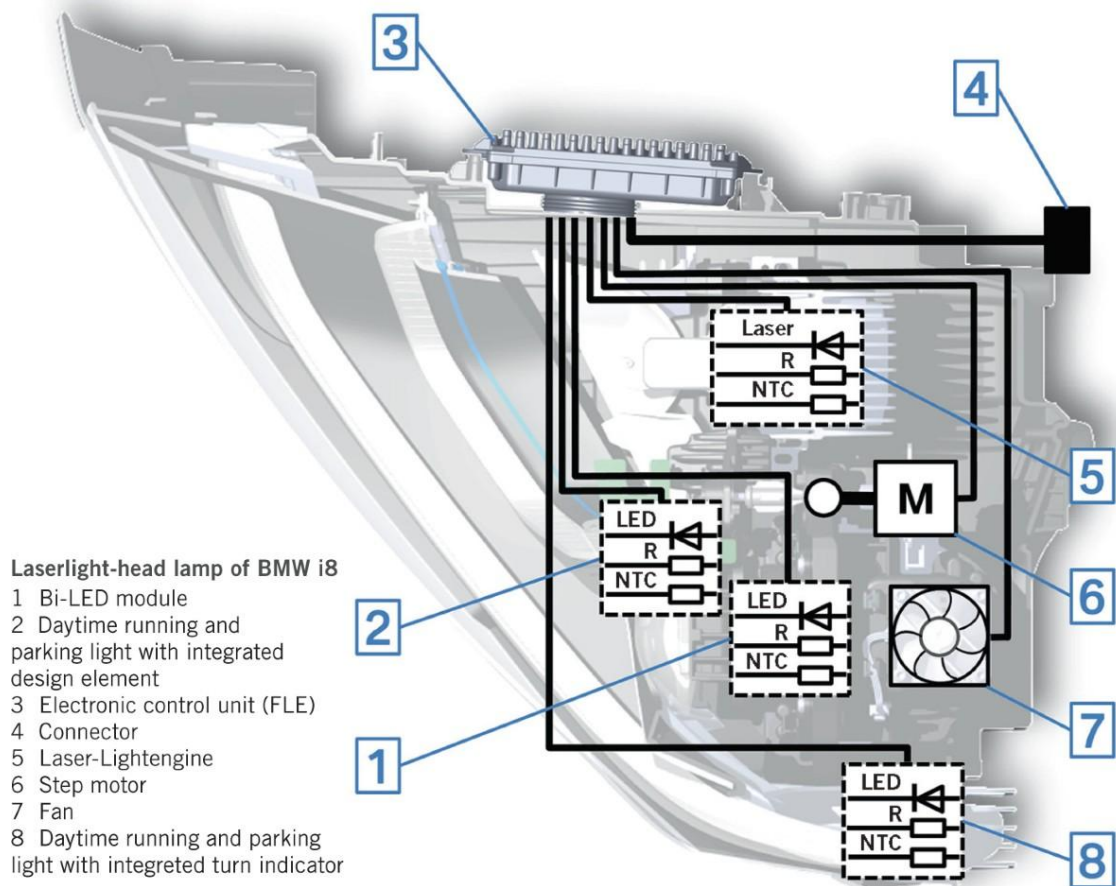
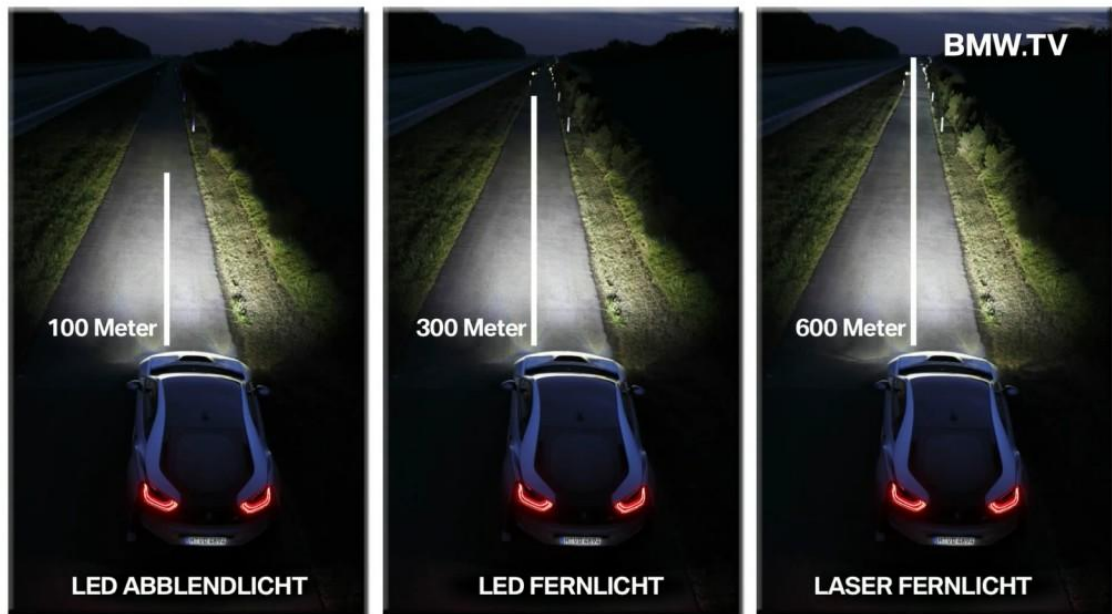


Bild 11: Laserlichtprinzip: Phosphorkonversion zu Weißlicht (schematisch). [31]

Im Herbst 2014 wurde der BMW i8 als erstes Serienfahrzeug mit den innovativen Laserscheinwerfern ausgestattet, die einen neuen Standard in der Fahrzeugbeleuchtung setzten. Seitdem hat sich diese Technologie in zahlreichen Modellen der BMW-Palette etabliert, einschließlich des BMW X7. Die Laserscheinwerfer zeichnen sich durch ihre kompakte Bauweise und hohe Effizienz aus, wodurch sie nicht nur die Sichtverhältnisse bei Nachtfahrten erheblich verbessern, sondern auch gestalterische und technische Anforderungen erfüllen. Im Vergleich zu Xenon- oder Halogenscheinwerfern benötigen Laserscheinwerfer deutlich weniger Bauraum, da diese herkömmlichen Systeme oft sperrig und weniger flexibel in der Integration sind. Darüber hinaus ermöglichen sie eine präzisere Lichtsteuerung und tragen somit zu erhöhter Sicherheit und verbessertem Fahrkomfort bei.

Bild 12 zeigt ein Laser-Lichtsystem, das durch seine hohe Leuchtdichte und gebündelte Strahlung eine Reichweite von bis zu 600 m erreicht. Im Vergleich zu LED- und Halogen-Systemen bietet es eine deutlich intensivere und präzisere Ausleuchtung der Fahrbahn.



Bildfolge 12: Laser-Lichtsysteme [32]

2.3.3 Adaptive-Lighting-Technologien

Adaptive Lichtsysteme passen Lichtintensität und Verteilung an die Fahrsituation an.

Wichtige Varianten:

- Dynamic Light Spot (Personenerkennung): beleuchtet erkannte Fußgänger gezielt.
- Kurvenlicht: aktiviert bei Lenkwinkeln $> 10^\circ$.
- Autobahnlicht: fokussiert Licht in Fahrtrichtung oberhalb 110 km/h.
- Wetterlicht: reduziert Blendung bei Nebel oder Regen.

Diese Systeme werden durch Kombination von Sensorik (Kamera, Radar) und digitaler Steuerung realisiert [33]. Das Prinzip wird in Bilder 13, 14 und 15 am Beispiel eines Audi Matrix-LED-Scheinwerfers dargestellt.

Audi Matrix LED-Scheinwerfer

Audi Matrix LED headlight
10/13

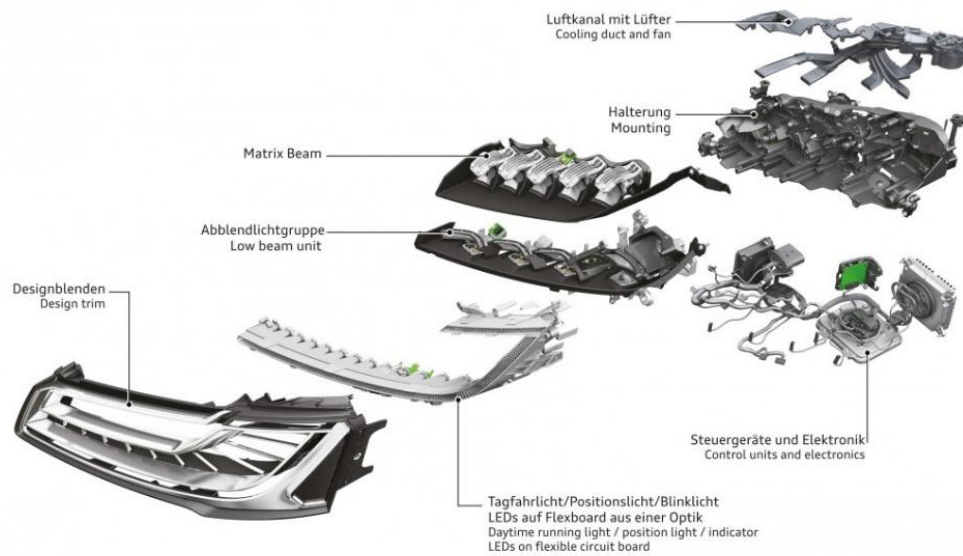


Bild 13: Audi Matrix-LED-Scheinwerfer [22]

Audi A8

Orientierungslicht auf Landstraßen
Digitaler Matrix LED-Scheinwerfer mit Digital Micromirror Device
Orientation light on country roads
Digital Matrix LED headlights with digital micromirror device
05/22

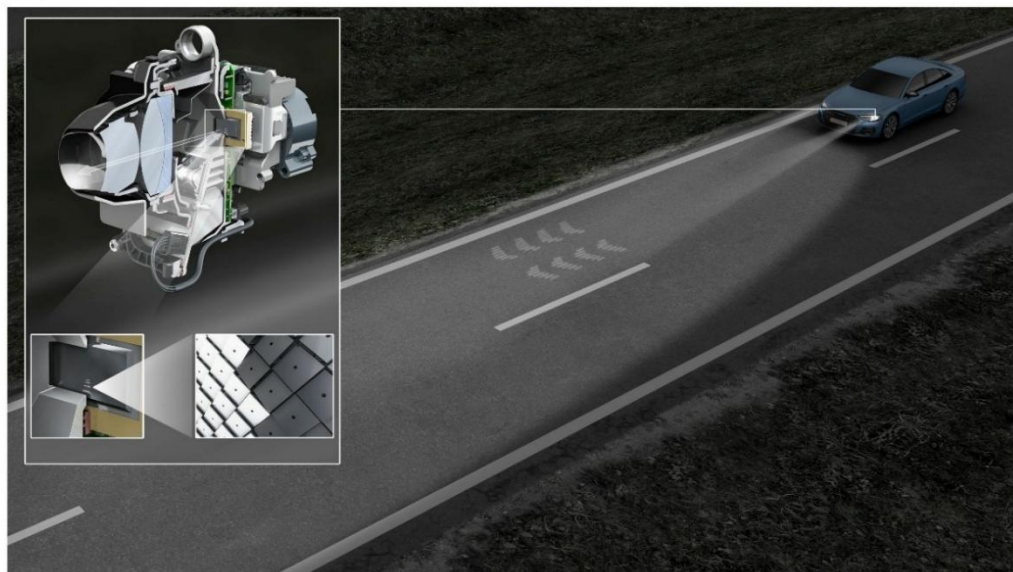


Bild 14: Digitaler Matrix-LED-Scheinwerfer [34]

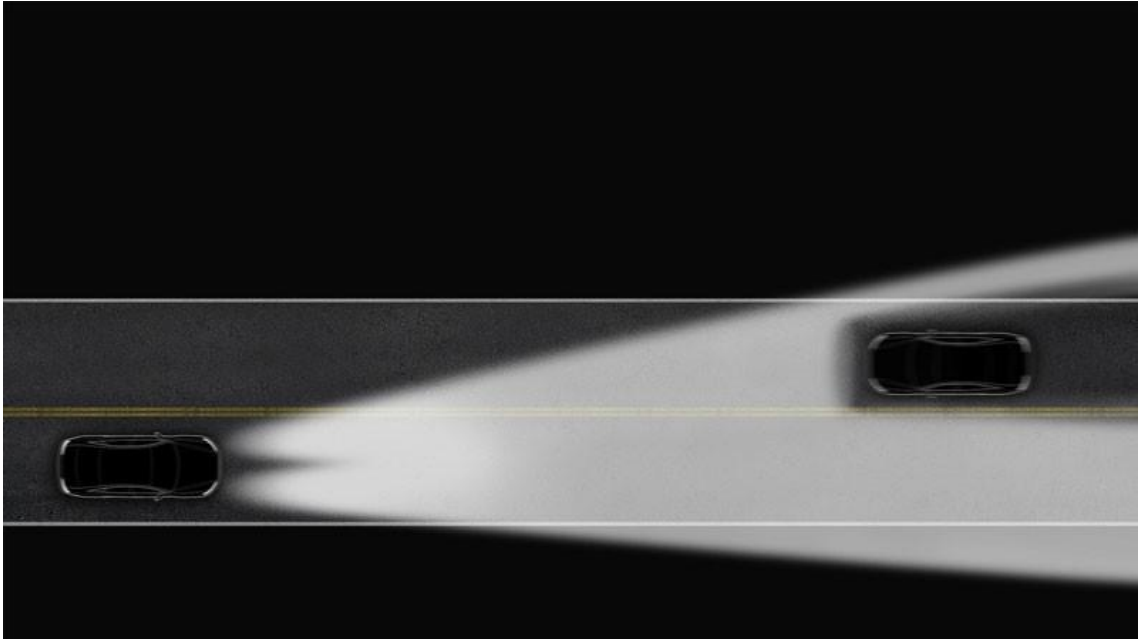


Bild 14: Intelligenter Matrix-LED-Scheinwerfer [35]

2.4 Bedeutung für Sicht und Verkehrssicherheit

Eine korrekte Beleuchtung ist ein entscheidender Faktor für die Verkehrssicherheit. Laut Angaben des Kraftfahrt-Bundesamts werden mangelhafte Scheinwerfereinstellungen bei über 20 % aller Hauptuntersuchungen als festgestellter Mangel bewertet [36].

Fehlerhafte oder asymmetrische Lichtverteilungen führen zu:

- unzureichender Fahrbahnausleuchtung,
- erhöhter Blendgefahr,
- erhöhter Unfallwahrscheinlichkeit bei Nachtfahrten.

Studien der BASt (Bundesanstalt für Straßenwesen) zeigen, dass korrekt eingestellte LED-Scheinwerfer die Reaktionszeit des Fahrers bei Nacht um bis zu 0,5 s verkürzen können [37].

Gleichzeitig trägt die Integration adaptiver Systeme zur Reduzierung von Unfällen bei Nachtfahrten um ca. 15 % bei [38].

Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit, Reaktions- und Bremsweg wird in Bild 15 schematisch dargestellt

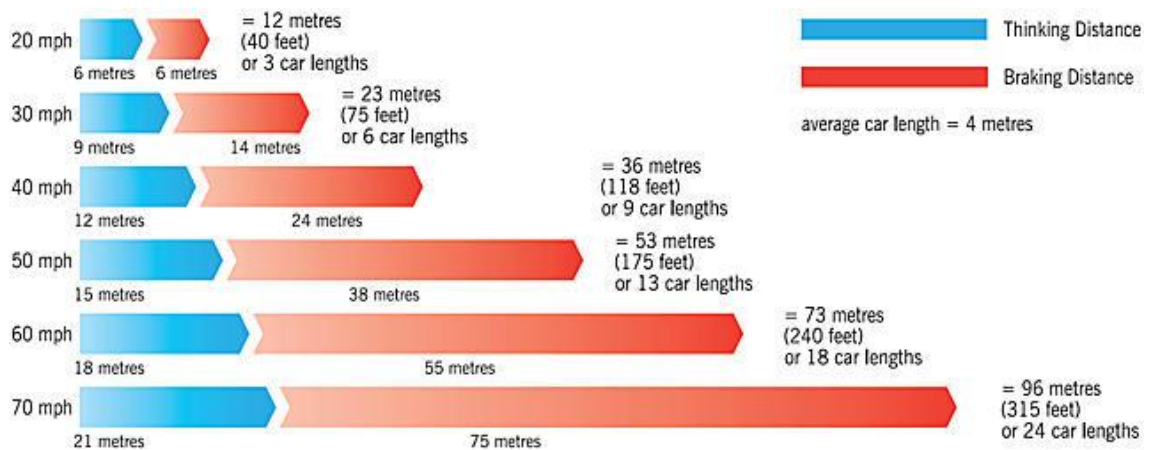


Bild 15: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit, Reaktions- und Bremsweg [39]

Die Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen der Fahrgeschwindigkeit und dem gesamten Anhalteweg eines Fahrzeugs, der sich aus zwei Hauptkomponenten zusammensetzt: der Reaktionsstrecke (Thinking Distance) und der Bremsstrecke (Braking Distance).

Die Reaktionsstrecke beschreibt die Distanz, die ein Fahrzeug in der Zeitspanne zwischen der Wahrnehmung einer Gefahr und der tatsächlichen Reaktion des Fahrers zurücklegt, beispielsweise beim Betätigen der Bremse. Diese Strecke ist direkt proportional zur Geschwindigkeit: Je schneller das Fahrzeug fährt, desto länger ist die Strecke, die während der Reaktionszeit zurückgelegt wird.

Die Bremsstrecke umfasst den Weg, den das Fahrzeug vom Beginn des Bremsvorgangs bis zum vollständigen Stillstand zurücklegt. Im Gegensatz zur Reaktionsstrecke steigt die Bremsstrecke quadratisch mit der Geschwindigkeit an, da sie direkt von der kinetischen Energie des Fahrzeugs abhängt:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots (1)$$

Das bedeutet: Eine Verdopplung der Geschwindigkeit führt nahezu zu einer Vervierfachung der Bremsstrecke.

Beispiel:

- Bei einer Geschwindigkeit von 50 mph (≈ 80 km/h) beträgt der gesamte Anhalteweg etwa 53 m.
- Bei 70 mph (≈ 113 km/h) steigt der Anhalteweg bereits auf rund 96 m.

Diese Analyse verdeutlicht die kritische sicherheitsrelevante Bedeutung:

1. Angemessene Fahrgeschwindigkeit: Hohe Geschwindigkeit verlängert sowohl Reaktions- als auch Bremsweg erheblich.
2. Korrekt eingestellte Fahrzeugbeleuchtung: Unzureichende Ausleuchtung der Fahrbahn, insbesondere bei Nachtfahrten, verzögert die Wahrnehmung von Gefahren und erhöht die Reaktionszeit, wodurch der Anhalteweg deutlich verlängert wird.

Zusammenfassend:

Die Kombination aus richtiger Beleuchtung und angepasster Geschwindigkeit ist entscheidend, um das Unfallrisiko zu minimieren. Bereits kleine Verzögerungen in der Reaktionszeit oder unzureichende Sichtverhältnisse können bei hohen Geschwindigkeiten zu erheblich längeren Anhaltewegen führen und die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls stark erhöhen.

2.5 Ausblick auf zukünftige Entwicklungen

Zukünftige Trends in der Fahrzeugbeleuchtung konzentrieren sich auf Digitalisierung und Vernetzung:

- 1- Digitale Lichtsysteme (DLP/ μ -LED):

Diese Systeme bestehen aus tausenden Mikrospiegeln, die gezielt einzelne Lichtpunkte ansteuern. Dadurch können Verkehrsinformationen oder Warnsymbole direkt auf die Fahrbahn projiziert werden [40].

- 2- Kommunikatives Licht (V2X-Lichtsignale):

Licht wird zunehmend als Kommunikationsmittel zwischen Fahrzeug und Umwelt genutzt – z. B., um Fußgänger über LED-Animationen zu warnen [41].

- 3- Autonomes Fahren und KI-basierte Lichtsteuerung:

Mit der Weiterentwicklung autonomer Fahrzeuge wird das Lichtsystem Teil des Human-Machine-Interface (HMI).

Die Beleuchtung dient künftig nicht nur der Sicht, sondern auch der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern [42].

Diese Entwicklungen zeigen, dass Fahrzeuglichtsysteme ein zunehmend integraler Bestandteil des digitalen Ökosystems moderner Mobilität werden.

3 Internationale rechtliche Grundlagen zur Zulassung von Fahrzeuglichtsystemen

3.1 Überblick über internationale Vorschriften und Harmonisierung

Die internationale Harmonisierung der Vorschriften für Fahrzeuglichtsysteme ist eine Grundvoraussetzung für die Verkehrssicherheit und den globalen Handel. Federführend ist hierbei die United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) mit dem World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) [43].

Hauptaufgabe dieser Normungsorganisationen ist die Vereinheitlichung technischer Anforderungen, damit Bauteile, die in einem Land genehmigt wurden, in anderen Staaten ohne erneute Prüfung zugelassen werden. Die rechtliche Basis bildet das Übereinkommen von 1958 über die gegenseitige Anerkennung von Typgenehmigungen für Fahrzeugteile [44]. Sowohl Deutschland als auch die Türkei sind Vertragsparteien dieses Abkommens, wodurch sich eine gemeinsame regulatorische Basis für Beleuchtungssysteme ergibt [45]. Wesentliche Grundprinzipien dieser Harmonisierung:

- 1- Sicherheitsorientierung: Gewährleistung ausreichender Ausleuchtung bei gleichzeitiger Blendbegrenzung.
- 2- Technologische Neutralität: Integration neuer Lichttechnologien (LED, Laser, AFS).
- 3- Gegenseitige Anerkennung: Einheitliche Gültigkeit der E-Typgenehmigungen über Ländergrenzen hinweg [46].

Das E-Kennzeichen (z. B. E1 = Deutschland, E37 = Türkei) dokumentiert die Erteilung der Genehmigung, wie in der Anlage 1 dargestellt. Es bestätigt, dass das Bauteil sämtliche technischen Anforderungen nach den einschlägigen UNECE-Regelungen erfüllt.

Tabelle 2: Länderkennzeichen der UNECE-Typgenehmigungen (WP.29 Datenbank, 2024) [45]

E-Nummer	Land/Staat	Bemerkung/Zuständige Behörde
E1	Deutschland	Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Flensburg
E2	Frankreich	Ministère de la Transition Écologique
E3	Italien	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
E4	Niederlande	RDW – Netherlands Vehicle Authority

E-Nummer	Land/Staat	Bemerkung/Zuständige Behörde
E5	Schweden	Transportstyrelsen
E6	Belgien	SPF Mobilité et Transports
E7	Ungarn	Ministry for Innovation and Technology
E8	Tschechische Republik	Ministerstvo Dopravy (CZ)
E9	Spanien	Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
E11	Vereinigtes Königreich (UK)	Vehicle Certification Agency (VCA)
E13	Luxemburg	Ministère du Développement durable et des Infrastructures
E17	Finnland	Traficom – Finnish Transport and Communications Agency
E24	Irland	Road Safety Authority (RSA)
E26	Slowenien	Ministerium für Infrastruktur
E27	Slowakei	Ministry of Transport and Construction
E34	Bulgarien	Exekutivagentur „Automobile Administration“
E36	Litauen	Ministry of Transport and Communications
E37	Türkei	TÜVTÜRK /Ministerium für Verkehr und Infrastruktur
E43	Japan	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
E45	Australien	Department of Infrastructure and Transport
E48	Neuseeland	New Zealand Transport Agency
E49	Zypern	Department of Road Transport
E50	Malta	Transport Malta
E52	Ukraine	Ministry of Infrastructure

E-Nummer	Land/Staat	Bemerkung/Zuständige Behörde
E57	Südafrika	National Regulator for Compulsory Specifications

3.2 UNECE-Regelungen (z. B. R48, R112, R123)

3.2.1 UNECE R48 – Installation von Beleuchtungseinrichtungen

Die Regel Nr. 48 definiert die Anbringung, Positionierung und Funktionsweise sämtlicher Licht- und Signaleinrichtungen an Fahrzeugen [47]. Sie legt u. a. fest:

- Anzahl und Position der Leuchten,
- geometrische Anordnung und Höhenbegrenzung,
- zulässige Neigung der Hell-Dunkel-Grenze (typisch $-1,0 \% \pm 0,5 \%$),
- Anforderungen an Leuchtweitenregelung und Schaltlogik.

Diese Vorgaben sind die technische Grundlage für nationale Prüfverfahren (z. B. StVZO § 29) [48].

3.2.2 UNECE R112 – Abblendscheinwerfer mit Halogen oder LED

Die Regelung R112 beschreibt detailliert die Leistungs- und Funktionsanforderungen an asymmetrische Abblendscheinwerfer für Kraftfahrzeuge [49]. Sie legt verbindlich fest, welche lichttechnischen Eigenschaften diese Scheinwerfer erfüllen müssen, um eine ausreichende Fahrbahnausleuchtung bei gleichzeitiger Minimierung der Blendung des Gegenverkehrs zu gewährleisten.

Im Rahmen der Regelung werden spezifische Messpunkte im Lichtverteilungsschema definiert, an denen die Lichtstärke zu prüfen ist. Für diese Punkte sind sowohl Mindest- als auch Höchstwerte der Lichtintensität in Candela (cd) festgelegt. Die Mindestintensitäten stellen sicher, dass relevante Bereiche der Fahrbahn und des Fahrbahnrandes ausreichend ausgeleuchtet werden, während die maximal zulässigen Intensitäten insbesondere im Bereich der Hell-Dunkel-Grenze der Begrenzung der Blendwirkung dienen.

Wie Bild 16 zeigt, Die Anordnung dieser Messpunkte sowie die charakteristische Lichtverteilung eines asymmetrischen Abblendscheinwerfers sind im Bild 16 dargestellt.

Darüber hinaus beschreibt R112 die zulässige Lage und Form der Hell-Dunkel-Grenze sowie die Anforderungen an deren Schärfe und Stabilität. Ergänzend werden

standardisierte photometrische Prüfverfahren festgelegt, einschließlich der Prüfbedingungen, Messabstände, Ausrichtungsanforderungen und Umgebungsbedingungen, unter denen die Messungen durchzuführen sind [50]. Diese Verfahren gewährleisten eine reproduzierbare und vergleichbare Bewertung der lichttechnischen Leistung.

Die im Rahmen dieser Prüfungen ermittelten Messergebnisse bilden die wesentliche Grundlage für die lichttechnische Bewertung des Scheinwerfers und dienen als Basis für die Typgenehmigung.

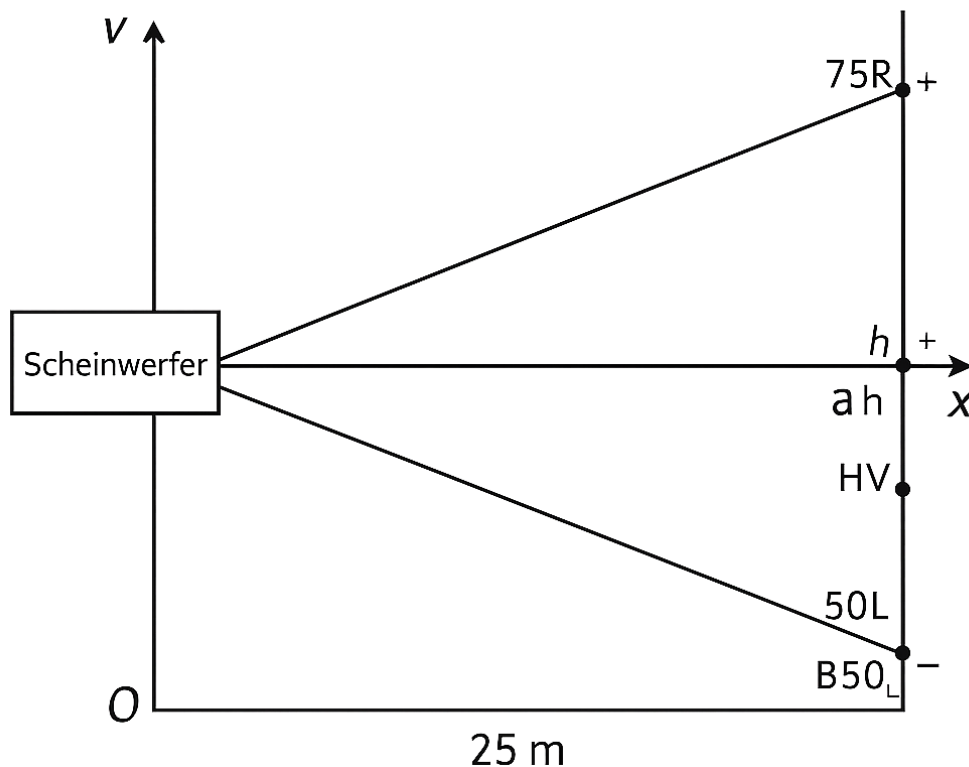


Bild 16: Prüfaufbau nach UNECE R112 [51]

Prüfaufbau für die Bestimmung der Lichtverteilung eines asymmetrischen Abblend- und Fernlichtscheinwerfers gemäß UNECE R112.

Die Messung erfolgt auf einer vertikalen Prüfschirmfläche in 25 m Abstand vor dem Scheinwerfer.

Der Scheinwerfer wird auf einem Goniometer so ausgerichtet, dass die Achse des Lichtbündels senkrecht auf die Messwand trifft.

Gemessen werden definierte Punkte (HV, 50R, 75R, B50L usw.) zur Beurteilung der Lichtstärkeverteilung und zur Überprüfung der Blendgrenze (Cut-Off-Line).

Die Versuchsbedingungen beinhalten eine Umgebungstemperatur von $23 \pm 5 \text{ °C}$ sowie eine Betriebsspannung, die 90 % der maximalen Nennleistung der verwendeten Glühlampe entspricht.

Zusätzlich werden Stabilitätstests der photometrischen Leistung bei erhitztem und verschmutztem Scheinwerfer durchgeführt, um die Dauerhaltbarkeit sicherzustellen [49].

3.2.3 UNECE R123 – Adaptive Frontbeleuchtungssystem (AFS)

Diese Regel aus 2005 regelt adaptive Scheinwerfersysteme, die Lichtverteilung und Intensität an Fahrgeschwindigkeit, Lenkwinkel und Wetterbedingungen anpassen [52]. Sie legt Funktionsmodi (Stadt-, Landstraßen-, Autobahn-, Schlechtwetter-Modus) und Blendgrenzwerte fest. Damit wird erstmals die sensorbasierte Lichtsteuerung rechtlich erfasst [53]. Wie Bild 17 zeigt, veranschaulicht das Funktionsprinzip eines adaptiven Frontbeleuchtungssystems die dynamische Anpassung der Lichtverteilung an unterschiedliche Fahrsituationen.

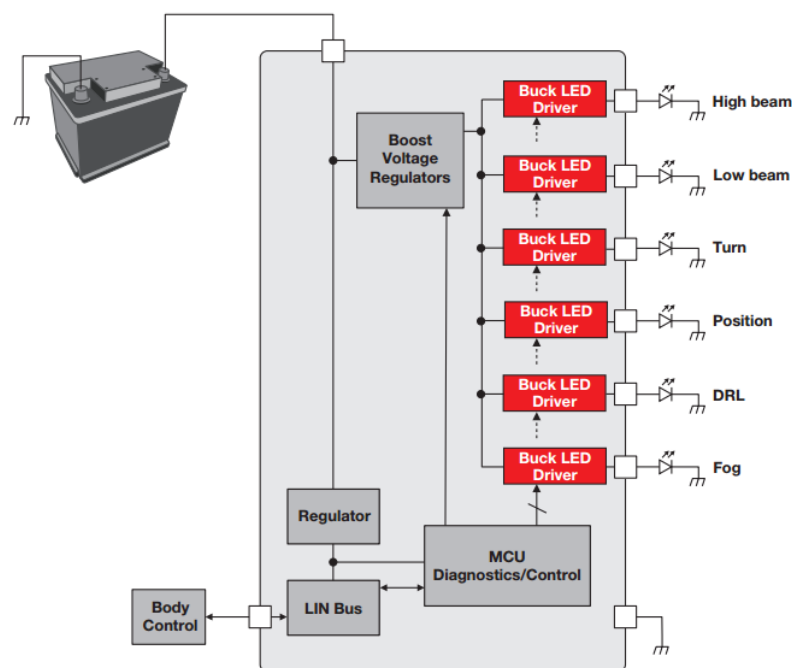


Bild 17: Funktionsprinzip eines adaptiven Frontbeleuchtungssystems [54]

Bild 18 zeigt ergänzend die detaillierte Wirkungsweise der Lichtsegmentierung und Blendbegrenzung innerhalb des Systems.

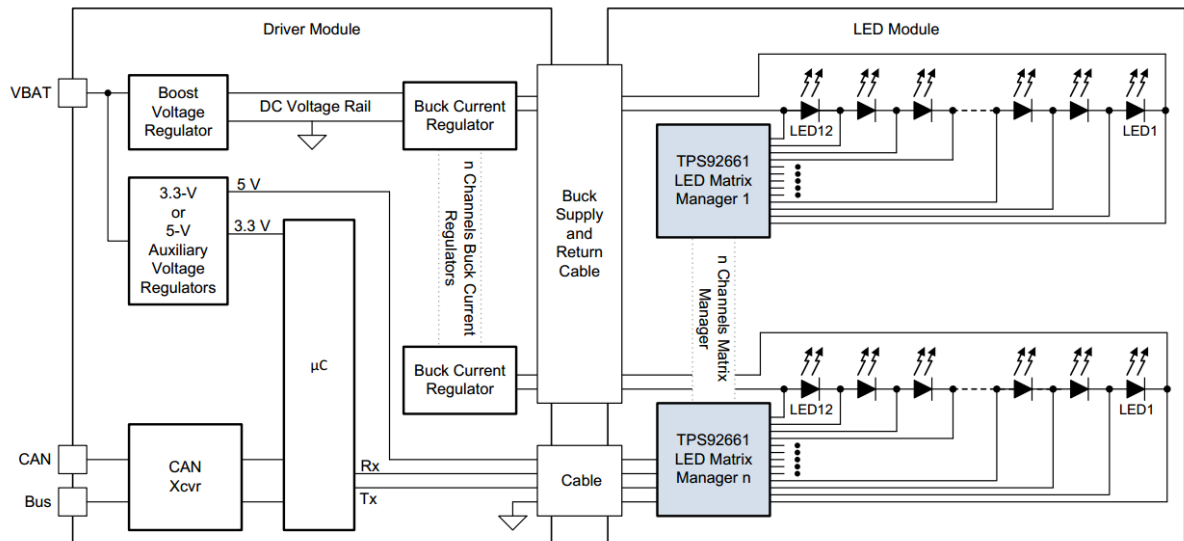


Bild 18: Funktionsprinzip eines adaptiven Frontbeleuchtungssystems [54]

Bild 19 zeigt ein adaptives Frontbeleuchtungssystem. Dieses System passt das Licht automatisch an die Fahrsituation an. In Kurven drehen sich die Scheinwerfer mit und leuchten die Straße besser aus. Außerdem sorgt das System dafür, dass andere Fahrer nicht geblendet werden, indem das Licht angepasst oder abgeblendet wird. Dadurch erhöht sich die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer.



Bild 19: Adaptive Frontbeleuchtungssystem [55]

3.3 EU-Richtlinien und -Verordnungen (z. B. EU 2018/858, RL 76/756/EWG)

Die Europäische Union übernahm die UNECE-Regelungen weitgehend in das eigene Typgenehmigungssystem, um die Harmonisierung innerhalb des Binnenmarktes zu gewährleisten.

Zentrale Rechtsgrundlage ist die Verordnung (EU) 2018/858, die die frühere 2007/46/EG ersetzt [56].

Sie schreibt vor, dass Fahrzeuge den in Anhang IV aufgeführten UNECE-Regelungen entsprechen müssen. Somit sind UNECE-Vorschriften faktisch Teil des EU-Rechts [57].

Parallel dazu gilt die Richtlinie 76/756/EWG, welche die Installation der Beleuchtungseinrichtungen regelt. Sie wurde mehrfach an neue Technologien (LED, AFS, Laserlicht) angepasst [58]. Die zentralen Prüfaspekte der UNECE-Regelungen und der EU-Typgenehmigung werden in Tabelle 3 übersichtlich gegenübergestellt, um die Übereinstimmungen und Unterschiede zu verdeutlichen.

Tabelle 3: Vergleich zentraler Prüfaspekte zwischen UNECE-Regelungen und EU-Typgenehmigung

Prüfaspekt	UNECE	EU 2018/858 /76/756/EWG
Geltung	international	EU-Binnenmarkt
Prüfzeichen	E-Marke (z. B. E1)	EU-Typgenehmigungsnummer
Genehmigung	Technischer Dienst (WP.29)	Benannter Technischer Dienst
Revision	Laufende WP.29-Updates	Übernahme per Delegierter Rechtsakte
Anerkennung	Multilateral (1958-Abkommen)	Gegenseitig innerhalb der EU

Die EU-Verordnung enthält zudem Vorgaben zur Marktüberwachung und Konformität der Produktion (CoP), um sicherzustellen, dass Serienprodukte weiterhin dem genehmigten Typ entsprechen [59].

3.4 Verfahren der Typgenehmigung und gegenseitigen Anerkennung

Das Typgenehmigungsverfahren prüft, ob ein Bauteil alle technischen und sicherheitsrelevanten Vorgaben erfüllt.

Der Prozess ist international abgestimmt und läuft in mehreren Schritten [60]:

- 1- Antragstellung durch den Hersteller bei der national zuständigen Behörde (z. B. KBA in Deutschland, TSE in Türkei).
- 2- Prüfung durch einen akkreditierten technischen Dienst (z. B. DEKRA, TÜV, MAHA).
- 3- Auswertung und Bericht nach UNECE-Vorgaben.
- 4- Erteilung der Genehmigung und Vergabe der E-Markierung (z. B. E1 112R00 1234).
- 5- Überwachung der Serienproduktion (Conformity of Production – CoP).

Die gegenseitige Anerkennung bewirkt, dass ein in Deutschland genehmigtes Lichtsystem (E1) in allen Vertragsstaaten einschließlich der Türkei verwendet werden darf [61].

Wie Bild 20 zeigt, veranschaulicht das Ablaufdiagramm die einzelnen Schritte des Typgenehmigungsverfahrens UNECE/EU.

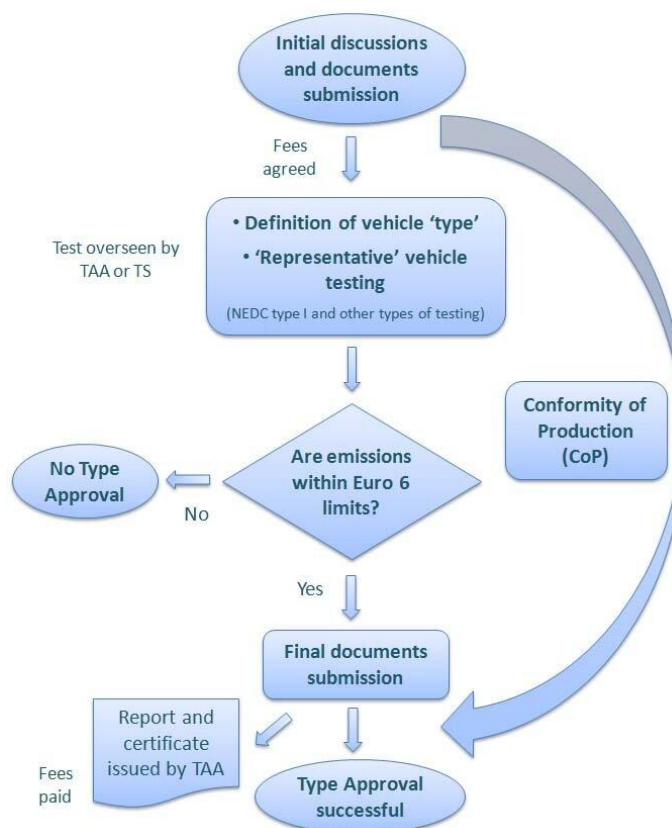


Bild 20: Ablaufdiagramm des Typgenehmigungsverfahrens (UNECE/EU) [62]

4 Rechtliche Grundlagen zur periodischen Prüfung von Fahrzeuglichtsystemen und verwendete Prüfgeräte

4.1 Deutschland – Rechtlicher Rahmen

4.1.1 Rechtlicher nach Rahmen (§ 29 StVZO)

Die periodische technische Überwachung Kraftfahrzeugen stellt einen zentralen Bestandteil der Verkehrssicherheitsstrategie in Deutschland dar. Die rechtliche Grundlage hierfür bildet § 29 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), der die Pflicht zur Durchführung der Hauptuntersuchung (HU) in festgelegten Intervallen vorschreibt. Diese Regelung verfolgt das übergeordnete Ziel, die sichere Teilnahme von Fahrzeugen am Straßenverkehr dauerhaft zu gewährleisten und technische Mängel frühzeitig zu identifizieren.

Die HU dient der systematischen Überprüfung, ob Fahrzeuge den gesetzlichen Anforderungen in Bezug auf Verkehrssicherheit, Betriebssicherheit und Umweltverträglichkeit entsprechen. Dabei wird nicht nur der aktuelle technische Zustand des Fahrzeugs bewertet, sondern auch geprüft, ob Veränderungen, Verschleiß oder unsachgemäße Reparaturen die Sicherheit oder Umweltverträglichkeit beeinträchtigen. Durch diesen präventiven Ansatz soll das Risiko von verkehrsbedingten Unfällen, die auf technische Defekte zurückzuführen sind, nachhaltig reduziert werden [63].

§ 29 StVZO bildet die zentrale normativ-rechtliche Grundlage der technischen Fahrzeugprüfung in Deutschland. Die konkrete Umsetzung der dort formulierten Anforderungen wird durch die Anlagen VIII und VIII d zur StVZO detailliert geregelt. Diese Anlagen legen unter anderem fest, welche Organisationen zur Durchführung der HU berechtigt sind, welche personellen Qualifikationen das Prüfpersonal aufweisen muss und welche technischen Prüfmittel einzusetzen sind [64]. Auf diese Weise wird ein hohes Maß an Einheitlichkeit, Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Prüfpraxis sichergestellt.

Die HU umfasst eine Vielzahl von sicherheits- und umweltrelevanten Fahrzeugkomponenten. Dazu zählen insbesondere die Bremsanlage, die Lenkung, das Fahrwerk, die Räder und Reifen, die Karosseriestruktur, die Abgasanlage sowie die lichttechnischen Einrichtungen. Die Prüfung erfolgt dabei sowohl visuell als auch messtechnisch und orientiert sich an festgelegten Prüfkriterien und Mängelkatalogen. Festgestellte

Abweichungen werden nach ihrer sicherheitsrelevanten Bedeutung klassifiziert und können – abhängig vom Schweregrad – zur Einstufung als geringer, erheblicher oder gefährlicher Mangel führen.

Innerhalb dieses umfassenden Prüfkonzpts kommt den lichttechnischen Einrichtungen eine besondere Bedeutung zu. Fahrzeugbeleuchtungssysteme erfüllen eine doppelte sicherheitsrelevante Funktion: Einerseits dienen sie der ausreichenden Ausleuchtung der Fahrbahn und ermöglichen dem Fahrzeugführer eine sichere Wahrnehmung der Verkehrssituation bei Dunkelheit oder schlechten Sichtverhältnissen. Andererseits tragen sie zur Sichtbarkeit des Fahrzeugs für andere Verkehrsteilnehmer bei und sind somit ein wesentlicher Faktor der passiven Verkehrssicherheit.

Ein zentraler Bestandteil der lichttechnischen Prüfung im Rahmen der HU ist die Überprüfung der Scheinwerfer, insbesondere der Abblendscheinwerfer. Ziel dieser Prüfung ist es, sicherzustellen, dass die Hell-Dunkel-Grenze korrekt eingestellt ist und den gesetzlichen Vorgaben entspricht. Eine fehlerhafte Einstellung kann zu einer unzureichenden Fahrbahnausleuchtung führen oder andere Verkehrsteilnehmer durch Blendung gefährden. Beide Szenarien stellen ein erhebliches sicherheitsrelevantes Risiko dar und können die Unfallwahrscheinlichkeit deutlich erhöhen [65].

Die Scheinwerferprüfung erfolgt mithilfe genormter Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräte (SEP), deren technische Anforderungen ebenfalls in den Anlagen zur StVZO festgelegt sind. Diese Prüfgeräte ermöglichen eine objektive und reproduzierbare Beurteilung der Scheinwerfereinstellung und stellen sicher, dass die Prüfung unabhängig von subjektiven Einschätzungen des Prüfpersonals erfolgt. Die Verwendung standardisierter Prüfmittel trägt somit wesentlich zur Vergleichbarkeit und Qualitätssicherung der Hauptuntersuchung bei.

Durch die verbindliche Einbindung der Scheinwerferprüfung in die gesetzlich vorgeschriebene Hauptuntersuchung gemäß § 29 StVZO wird gewährleistet, dass lichttechnische Mängel regelmäßig erkannt und behoben werden. Dies leistet einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und unterstreicht die zentrale Rolle der Fahrzeugbeleuchtung im Gesamtkonzept der technischen Fahrzeugüberwachung in Deutschland.

4.1.2 HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie 2018 und Änderung 2025

Die technische Durchführung der Scheinwerferprüfung wird in der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie geregelt, die im Verkehrsblatt 2018, Heft 23 Nr. 174 veröffentlicht wurde [66].

Diese Richtlinie definiert die Prüfmethoden, Grenzwerte, Gerätevoraussetzungen sowie die Anforderungen an die Prüfaufstellflächen und bildet somit die Grundlage für eine einheitliche Beurteilung der lichttechnischen Einrichtungen im Rahmen der Hauptuntersuchung (HU). Kernpunkte der ursprünglichen Fassung:

- **Hell-Dunkel-Grenze:** obere Begrenzung des Abblendlichts, die auf dem Bildschirm des Prüfgeräts sichtbar wird.
- **Einstellmaß e:** Verhältnis zwischen der Veränderung der Hell-Dunkel-Grenze und der Prüfdistanz (1 % = 10 cm pro 10 m).
- Toleranzbereich: Standardmäßig $-1,0 \% \pm 0,5 \%$ Absenkung der Hell-Dunkel-Grenze.
- **Blendgrenzwert:** maximal 625 cd in 25 m Entfernung oberhalb der Hell-Dunkel-Grenze.

Die Richtlinie schreibt vor, dass die **Prüfaufstellfläche** eben sein muss und eine **Längsneigung von höchstens 1,5 %** aufweisen darf, um reproduzierbare Messergebnisse zu gewährleisten. Diese Vorgabe wurde in der **Änderungsfassung 2025 (VkB I Heft 9 Nr. 48)** weiter präzisiert, um **Messabweichungen infolge ungleicher Fahrspuren** zu minimieren [67].

Wesentliche Neuerungen der Fassung 2025:

Mit der Überarbeitung wurde die **Anlage 4** grundlegend neu strukturiert und an die in der **Anlage XXIX StVZO** definierten nationalen Fahrzeugklassen angepasst.

Dadurch gelten nun fahrzeugklassenspezifische Anforderungen an Breite, Länge und Neigung der Prüfspuren.

- **Mindestspurbreite:** 2,0 m für M1/N1 (Pkw), 2,3 m für N2/N3/M2/M3 (Lkw, Busse).
- **Mindestlänge der Fahrspur:** 4,0 m (Pkw) bzw. 8,5 m (Lkw).
- **Maximaler Spurabstand:** 1,4 m.
- **Neigungsdifferenz zwischen Spuren:** $\leq 1,5 \%$.

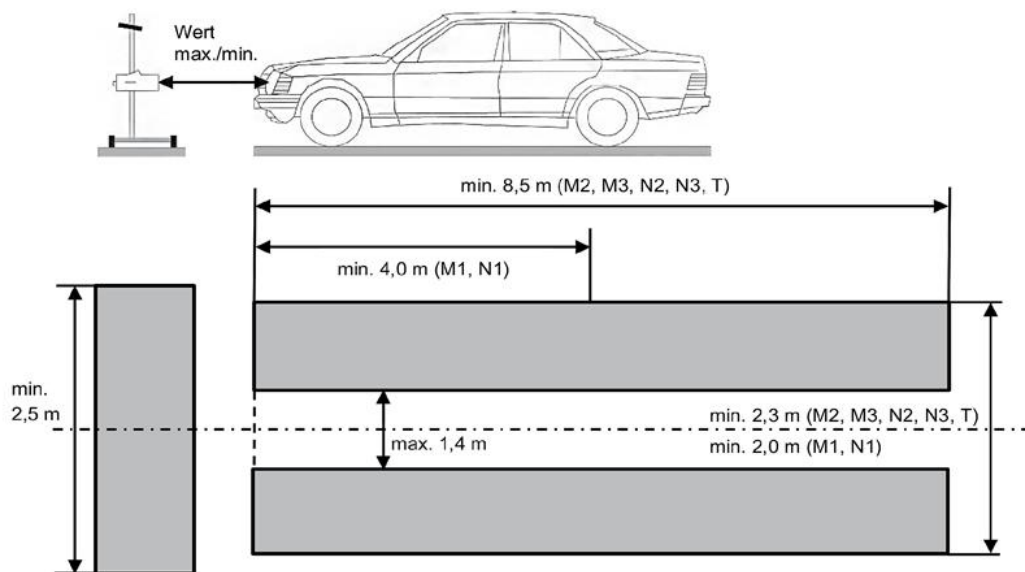
Die Neigung der Prüfaufstellfläche darf maximal 1,5 % betragen und muss in beiden Fahrtrichtungen gleichgerichtet sein.

Der ermittelte Neigungswert wird bei der **Kalibrierung des Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräts (SEP)** als **Bezugspunkt (Nullwert)** verwendet, was die Präzision der Messung weiter verbessert.

Die frühere Fußnote 7 wurde ersetzt durch einen klaren Verweis auf die **Anlage XXIX StVZO**, in der die einzelnen Fahrzeugklassen (M-, N-, T-Klassen) offiziell definiert sind.

Damit ist die Richtlinie nun **rechtlich harmonisiert und technisch präziser**, wodurch sich die **Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse** bundesweit deutlich erhöht [67]. (Anlage 4 und Anlage XXIX StVZO)

Wie Bild 21 zeigt, werden die geometrischen Anforderungen an die Prüfaufstellfläche, einschließlich Breite, Länge und Neigung, schematisch dargestellt.



Anmerkung 1: Zum besseren Verständnis sind das SEP bzw. das Kraftfahrzeug nicht in der Draufsicht, sondern in der Seitenansicht neben ihrer jeweiligen Aufstellfläche dargestellt.

Anmerkung 2: Der zulässige minimale bzw. maximale Wert für den Abstand zwischen der Vorderkante des SEP und dem Scheinwerfer ist den Unterlagen der Baumusterfreigabe bzw. der Bedienungsanleitung für das jeweilige SEP zu entnehmen. Zur Einhaltung der Vorgaben ist das Kraftfahrzeug dazu entsprechend entlang der Fahrspuren zu verschieben."

Bild 21: Geometrische Anforderungen an die Prüfaufstellfläche (nach VkbI 2025 Nr. 48). [67]

4.1.3 Technische Anforderungen an Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräte (SEP)

Die Eigenschaften und Prüfverfahren der Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräte werden in der Richtlinie für die Prüfung von Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräten (VkBI 2020 Nr. 136) festgelegt [68].

Sie definiert, welche technischen Spezifikationen und Kalibrieranforderungen ein SEP erfüllen muss, um im Rahmen der HU verwendet werden zu dürfen.

Die zulässigen Einstellmaße und Toleranzen für die Prüfung von Abblend-, Fern- und Nebelscheinwerfern sind in der Richtlinie gemäß VkBI 2020 Nr. 136 detailliert festgelegt.

Die Werte richten sich nach der Fahrzeugart, der Scheinwerferhöhe über der Aufstellfläche sowie nach der Art der Lichtquelle, wie in der Anlage 2 dargestellt. Wie Tabelle 4 zeigt

Tabelle 4: Einstellmaße und zulässige Toleranzen für verschiedene Fahrzeugarten gemäß VkBI 2020 Nr. 136 [68]

Einstellmaße und Toleranzen				Anlage 2			
Fahrzeugart	Scheinwerfer-Einstellmaß "e"		Toleranzen				
	Kraftfahrzeuge nach Nr. 1 und 2 - [%] Nr. 3 und 4 - [cm]		Kraftfahrzeuge nach Nr. 1 und 2 - [%] Nr. 3 und 4 - [cm]				
			zul. Abweichungen vom Scheinwerfer-Einstellmaß				
	Abblend- und Fernlicht- Scheinwerfer	Nebel- Scheinwerfer	nach oben	nach unten	nach links	nach rechts	
1 Kraftfahrzeuge, deren Scheinwerfer nach EG/ECE genehmigt sind	am Fahrzeug angegebenes Einstellmaß	am Fahrzeug angegebenes Einstellmaß	Toleranzen wie unter Nr. 2				
2 Andere Kraftfahrzeuge - Höhe der Mitte des Scheinwerfers über der Aufstellfläche (H) ≤ 140 cm über der Aufstellfläche							
a) PKW - Klein- und Kleinwagen Radstand ≤ 2,5 m	1,2	2,0	0,2	0,8	0,5 ³		
b) PKW, PKW-Kombi	1,2	2,0	0,5	0,5			
c) Kraftfahrzeuge mit niveaugeregelter Federung oder automatischem Neigungsausgleich des Lichtbündels	1,0	2,0					
d) mehrachsige Zug- und Arbeitsmaschinen							
e) einspurige Kraftfahrzeuge und mehrspurige Kraftfahrzeuge mit einem Scheinwerfer							
f) LKW mit vorn liegender Ladefläche							
g) LKW mit hinten liegender Ladefläche	ausgenommen Kfz nach Nr. 2c	3,0	4,0	1,0	0,5		
h) Sattelzugmaschinen							
i) Kraftomnibusse							
3 Andere Kraftfahrzeuge - Höhe der Mitte des Scheinwerfers über der Aufstellfläche (H) > 140 cm über der Aufstellfläche (unter Berücksichtigung der Tabelle in Anlage 3). Gilt auch für Kraftfahrzeuge ≤ 40 km/h	H/3 ⁴	(H/3) + 7 ⁴	10	5	5 ³		
4 Einachsige Zug- oder Arbeitsmaschinen	2 N ⁵	20					

Für Fahrzeuge mit höher montierten Scheinwerfern (über 1,4 m über der Aufstellfläche) gelten gemäß Vkl 2020 Nr. 136 angepasste Einstellwerte.

Diese berücksichtigen den größeren vertikalen Abstand der Lichtaustrittsfläche und gewährleisten eine präzise Neigung des Lichtbündels auch bei Fahrzeugen mit erhöhter Frontpartie, wie z. B. SUV, LKW oder Arbeitsmaschinen, wie in der Anlage 3 dargestellt. Wie Tabelle 5 zeigt, sind die Einstellmaße für Abblend- und Fernlicht-Scheinwerfer bei Höhen über 1,4 m für unterschiedliche Prüfentfernungen (E = 10 m, 5 m und 2,5 m) übersichtlich zusammengefasst.

Tabelle 5: Einstellmaße bei einer Höhe der Abblend- und Fernlicht-Scheinwerfer über 1,4 m (E = 10 m, 5 m und 2,5 m) [68].

(Geländewagen, Lkw sowie land- und baumaschinelle Fahrzeuge, bei denen die Lichtaustrittspunkte deutlich über dem Niveau herkömmlicher Pkw liegen).

Einstellmaße bei Höhe der Abblend- und Fernlicht-Scheinwerfer über 1,4 m								Anlage 3	
H [m]	E = 10 m				E = 5 m			E = 2,5 m	
	h [m]	mit Toleranz		h [m]	mit Toleranz		h [m]	mit Toleranz	
		$h_{\max}$	$h_{\min}$		$h_{\max}$	$h_{\min}$		$h_{\max}$	$h_{\min}$
1,5	1,00	1,10	0,95	1,25	1,30	1,22	1,37	1,40	1,36
1,6	1,07	1,17	1,02	1,33	1,38	1,30	1,47	1,50	1,46
1,7	1,13	1,23	1,08	1,42	1,47	1,39	1,56	1,59	1,55
1,8	1,20	1,30	1,15	1,50	1,55	1,47	1,65	1,68	1,64
1,9	1,27	1,37	1,22	1,58	1,63	1,55	1,74	1,77	1,73
2,0	1,33	1,43	1,28	1,67	1,72	1,64	1,83	1,86	1,82
2,1	1,40	1,50	1,35	1,75	1,80	1,72	1,92	1,95	1,91
2,2	1,47	1,57	1,42	1,83	1,88	1,80	2,02	2,05	2,01
2,3	1,53	1,63	1,48	1,92	1,97	1,89	2,11	2,14	2,10
2,4	1,60	1,70	1,55	2,00	2,05	1,97	2,20	2,23	2,19
2,5	1,67	1,77	1,62	2,08	2,13	2,05	2,29	2,32	2,28
2,6	1,73	1,83	1,68	2,17	2,22	2,14	2,38	2,41	2,37
2,7	1,80	1,90	1,75	2,25	2,30	2,22	2,47	2,50	2,46
2,8	1,87	1,97	1,82	2,33	2,38	2,30	2,57	2,60	2,56
2,9	1,93	2,03	1,88	2,42	2,47	2,39	2,66	2,69	2,65
3,0	2,00	2,10	1,95	2,50	2,55	2,47	2,75	2,78	2,74
3,1	2,07	2,17	2,02	2,58	2,63	2,55	2,84	2,87	2,83
3,2	2,13	2,23	2,08	2,67	2,72	2,64	2,93	2,96	2,92
3,3	2,20	2,30	2,15	2,75	2,80	2,72	3,02	3,05	3,01
3,4	2,27	2,37	2,22	2,83	2,88	2,80	3,12	3,15	3,11

Neben der sachgerechten Nutzung der Systeme, bestehend aus der Aufstellfläche für das Kraftfahrzeug, dem SEP sowie dessen Aufstellfläche im Rahmen der Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer von Kraftfahrzeugen bei HU nach § 29 StVZO kommt

insbesondere den Aufstellflächen für die Kraftfahrzeuge und der SEP eine besondere Bedeutung zu. Die Einhaltung der in der Richtlinie enthaltenen Bestimmungen und Vorliegen der entsprechenden Nachweise sind Vorbedingung für eine qualitätsgerechte und reproduzierbare Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer [67].

♦ H [m]

Die Spalte H gibt die Höhe der Scheinwerfermitte über der Fahrbahn an. Die Werte reichen von 1,5 m bis 2,1 m und decken damit typische Fahrzeughöhen von großen Geländewagen bis zu Nutzfahrzeugen ab.

♦ E [m]

Die Spalte E bezeichnet den Prüfabstand zwischen Fahrzeug und Scheinwerfer-Einstell-Prüfgerät (SEP).

In der Praxis werden drei Standardprüfabstände verwendet:

10 m – bei stationären Prüfplätzen mit größerem Messraum,

5 m – bei begrenztem Platzangebot,

2,5 m – bei modernen digitalen SEP-Geräten (z. B. MAHA MLT 3000 Digital oder HELLA SEG IV).

♦ h [m]

Die Spalte h gibt die Sollhöhe der Hell-Dunkel-Grenze auf dem Projektionsschirm des SEP an.

Sie beschreibt, wie stark der Lichtkegel nach unten geneigt sein muss, um die Blendung des Gegenverkehrs zu vermeiden.

Das zugrunde liegende Prinzip lautet: 1% Neigung = 10 cm Absenkung auf 10 m Entfernung.

♦ $h_{\max}/h_{\min}$

Diese Spalten geben die zulässigen Toleranzgrenzen der Einstellung an:

- Liegt die Hell-Dunkel-Grenze unter $h_{\min}$, ist der Scheinwerfer zu tief eingestellt → unzureichende Fahrbahnausleuchtung.
- Liegt sie über $h_{\max}$, ist der Scheinwerfer zu hoch eingestellt → Gefahr der Blendung anderer Verkehrsteilnehmer. Die Werte in Tabelle 4.2 dienen der genauen

Korrelation zwischen der tatsächlichen Scheinwerferhöhe (H) und der gemessenen Projektionshöhe (h) bei verschiedenen Prüferentfernungen (E).

Dies gewährleistet eine korrekte Einstellung des Neigungswinkels (Einstellmaß e) und somit:

- eine optimale Fahrbahnausleuchtung,
- bei gleichzeitig minimierter Blendwirkung.

Beispiel

Bei einer Scheinwerferhöhe $H = 1,8 \text{ m}$ und einem Prüfabstand $E = 10 \text{ m}$ ergibt sich:

- Sollwert $h = 1,20 \text{ m}$,
- zulässiger Bereich: $1,15 \text{ m} \leq h \leq 1,30 \text{ m}$.

Damit liegt der Lichtkegel nur dann im Toleranzbereich, wenn sich die Hell-Dunkel-Grenze innerhalb dieser Grenzen befindet.

Wesentliche Merkmale eines SEP-Geräts:

- Optikkasten: enthält Linse und Projektionsfläche (Geräteschirm) zur Darstellung der Lichtverteilung;
- Messkreuz: dient zur Erkennung der Hell-Dunkel-Grenze;
- Einstellmaß e: Neigungsfaktor des Lichtbündels (z. B. $1 \% = 10 \text{ cm}/10 \text{ m}$);
- Justiereinrichtung: für Höhen-, Seiten- und Neigungskorrektur;
- Typschild: mit Hersteller, Seriennummer, Baumusterfreigabe-Nummer (z. B. KBA 12-2020-001).

Zur Qualitätssicherung führt das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) eine Baumusterfreigabe-Datenbank, in der alle zugelassenen SEP-Geräte gelistet sind [69].

Jedes Gerät muss in festgelegten Intervallen überprüft und kalibriert werden, um die Messgenauigkeit zu gewährleisten.

4.1.4 Prüfablauf und Bewertungskriterien

Der Ablauf der Scheinwerferprüfung im Rahmen der HU gliedert sich in folgende Schritte [66], [68]:

- 1- Fahrzeugvorbereitung: Kontrolle des Reifendrucks, Fahrzeugbeladung und Leuchtwertenregulierung.

2- Ausrichtung: Das SEP-Gerät wird mittig vor dem Fahrzeug positioniert und auf die Höhe der Scheinwerfermitte eingestellt.

Messung: Projektion des Lichtkegels auf die Prüffläche und Abgleich der Hell-Dunkel-Grenze mit dem Sollwert.

3- Bewertung: Abweichungen von mehr als $\pm 1,0 \%$ gelten als mangelhaft.

Die Messergebnisse werden dokumentiert und, bei digitalen Geräten, automatisch in das elektronische HU-Prüfprotokoll übertragen.

Bei Abweichungen wird ein Hinweis auf Nachjustierung oder Mangel im Prüfbericht vermerkt.

4.1.5 Vergleich zur TÜV-Praxis

In **Deutschland** führen verschiedene Prüforganisationen – insbesondere **TÜV**, **DEKRA**, **GTÜ** und **KÜS** – die HU im Auftrag des Kraftfahrt-Bundesamts durch.

Trotz unterschiedlicher Organisationsstrukturen gilt bundesweit ein einheitlicher technischer und rechtlicher Standard gemäß StVZO, Vkl- Richtlinien und KBA-Freigaben [69].

Wie Tabelle 6 zeigt, werden die relevanten rechtlichen Grundlagen und Prüfvorgaben der HU gemäß § 29 StVZO übersichtlich dargestellt.

Tabelle 6: Regulatorischer Rahmen der HU gemäß § 29 StVZO in Deutschland [67] [69]

Merkmal	Regelung/Quelle
Gesetzliche Grundlage	§ 29 StVZO [63]
Prüfrichtlinie	HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie (Vkl 2018 Nr. 174) [66]
Technische Geräte	SEP gemäß Vkl 2020 Nr. 136 [68]
Aufstellbedingungen	Vkl 2025 Nr. 48 [67]
Prüfstellenzulassung	Anlage VII d StVZO [64]
Aufsicht	KBA – Flensburg [69]

4.1.6 Bedeutung der Regelwerke

Die Kombination aus StVZO § 29, den HU-Prüfrichtlinien und der SEP-Richtlinie 2020 schafft ein einheitliches, transparentes System zur Qualitätssicherung der Lichtprüfung.

Durch regelmäßige Anpassungen – wie zuletzt 2025 – reagiert der Gesetzgeber auf technische Fortschritte (z. B. digitale Prüfanlagen, LED-Scheinwerfer) und erhöht so die Präzision und Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse [70]. Prüfphasenanzeige über die Lichttasten:

- Grüner Punkt = Scheinwerfer geprüft, Messung in Ordnung
- Roter Punkt = Scheinwerfer geprüft, nicht in Ordnung
- Grauer Punkt = Scheinwerfer ohne Bewertung

Einstellrichtung:

- Gelber Pfeil = Geringe Abweichung innerhalb des Toleranzbereichs
- Roter Pfeil = Außerhalb der Toleranz

Bild 22 zeigt schematisch, wie die Hell-Dunkel-Grenze auf dem SEP-Geräteschirm für Abblend- und Fernlicht dargestellt wird.

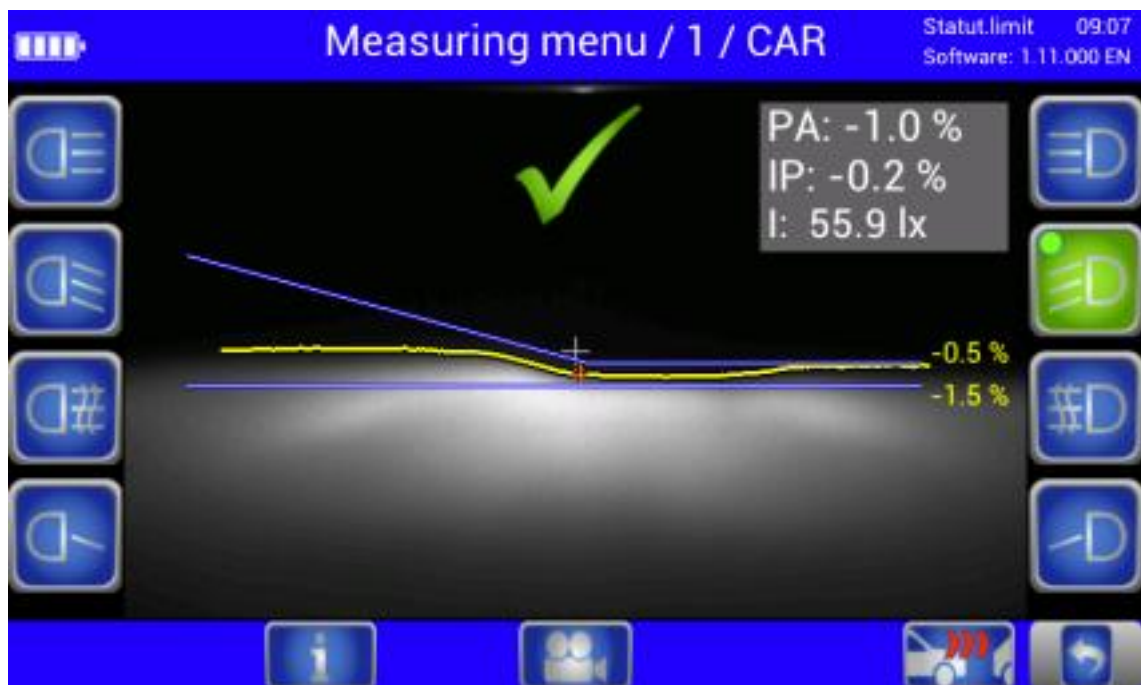


Bild 22: Darstellung der Hell-Dunkel-Grenze auf dem SEP-Geräteschirm (Abblend- und Fernlicht) [77]

4.2 Türkei – Rechtlicher Rahmen

4.2.1 Gesetzlicher Rahmen

Die gesetzliche Grundlage der periodischen technischen Fahrzeugprüfung in der Türkei bildet das „Karayolları Trafik Kanunu“ Nr. 2918 (Gesetz über den Straßenverkehr), das im Resmî Gazete am 18. Oktober 1983 veröffentlicht und zuletzt 2024 geändert wurde [71].

Der Artikel 34 (Madde 34 – Araçların muayenesi) schreibt die Pflicht zur regelmäßigen technischen Prüfung von Fahrzeugen und Anhängern vor:

Motorlu araçlar ile bunlara ait römorklar, teknik muayenelerinin yapılması için belirlenen sürelerde, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı veya yetkilendirdiği gerçek ya da tüzel kişiler tarafından muayeneye tabi tutulur.

Bu muayenelerde aracın trafik güvenliği, çevreye olan etkileri, teknik yeterliliği ve yönetmeliklerde belirlenen diğer hususlar incelenir. [71]

Übersetzung:

Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger müssen in den vom Ministerium für Verkehr und Infrastruktur oder den von ihm autorisierten natürlichen oder juristischen Personen festgelegten Zeiträumen einer technischen Prüfung unterzogen werden.

Bei diesen Prüfungen werden die Verkehrssicherheit, die Umweltauswirkungen, die technische Leistungsfähigkeit sowie weitere in den Verordnungen festgelegte Punkte überprüft.

Technische Konformität der Fahrzeuge (Teknik Şartlara Uygunluğu):

Das Gesetz schreibt vor, dass Fahrzeuge technisch den Sicherheitsanforderungen entsprechen müssen, einschließlich der Systeme für Beleuchtung, Bremsen, Abgasanlage und Spiegel. Es verpflichtet zur Durchführung der periodischen technischen Fahrzeugprüfung (araç muayenesi), um die Übereinstimmung dieser Systeme mit den festgelegten technischen Bedingungen sicherzustellen [69].

Damit entspricht Artikel 34 funktional dem deutschen § 29 StVZO, der die HU und die Prüfung der lichttechnischen Einrichtungen regelt [72].

Die Durchführung dieser Prüfungen erfolgt ausschließlich durch die TÜVTÜRK Taşıt Muayene İstasyonları A.Ş., ein staatlich konzessioniertes Unternehmen, das seit 2007 für sämtliche technischen Fahrzeugprüfungen in der Türkei zuständig ist [73].

TÜVTÜRK arbeitet im Auftrag des Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur) auf Basis eines langfristigen öffentlichen Konzessionsvertrags.

4.2.2 Regelungen und Durchführungsverordnungen

Die praktische Umsetzung erfolgt auf Grundlage der Verordnung „Araç Muayene İstasyonları Yönetmeliği“ (No. 2017/12) sowie des offiziellen TÜVTÜRK Araç Muayene Kılavuzu 2024 [74].

Diese Dokumente präzisieren die Anforderungen aus Artikel 34 und definieren die technischen Prüfverfahren, Geräteanforderungen und Toleranzgrenzen.

Wesentliche Eckpunkte:

- Prüfintervalle: **Privat-Pkw (M1)** nach 3 Jahren, anschließend alle 2 Jahre; Nutzfahrzeuge, Busse und Taxis jährlich [74].
- Zuständigkeit: Exklusiv TÜVTÜRK – keine alternativen Prüforganisationen wie in Deutschland.
- Rechtsaufsicht: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur (UAB), Abt. Araç Muayene Dairesi Başkanlığı.

4.2.3 Technische Durchführung der Lichtprüfung

Die Lichtprüfung ist in der Türkei ein fester Bestandteil der HU und findet stets in der Endphase des Prüfprozesses statt [75].

Hierbei werden ausschließlich digitale, automatisierte Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräte (SEP) eingesetzt, die nach den internationalen Normen UNECE R48, R112 und R123 typgenehmigt sind [76]. Ablauf:

- Positionierung: Fahrzeug auf die markierte Prüfspur fahren.
- Ausrichtung: Automatische Zentrierung des Geräts auf die Fahrzeugachse.
- Messung: Erfassung der Hell-Dunkel-Grenze und der Lichtstärke.
- Bewertung: Vergleich mit den Sollwerten gemäß UNECE R48.
- Ergebnisübermittlung: Digitale Übertragung an das zentrale TÜVTÜRK-Datensystem.

4.2.4 Toleranzen und Bewertungskriterien

Die zulässige Neigung der Hell-Dunkel-Grenze beim Abblendlicht beträgt in der Türkei $-2,5\%$ bis $-3,5\%$, während in Deutschland ein Toleranzbereich von $-1,0\% \pm 0,5\%$ gilt [76].

Der strengere türkische Grenzwert berücksichtigt insbesondere ältere Fahrzeuge, deren Scheinwerfer durch Vibration oder thermische Alterung Abweichungen zeigen [77].

Die Bewertung erfolgt nachfolgenden Kriterien [75]:

- Übereinstimmung der Hell-Dunkel-Grenze mit der Sollachse,
- Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung,
- Blendfreiheit oberhalb der Referenzlinie,
- Lichtstärke innerhalb der UNECE-Grenzwerte.

Fahrzeuge mit Abweichungen erhalten das Prüfergebnis Ağır Kusur (schwerer Mangel), das eine sofortige Nachprüfung erfordert.

4.2.5 Vergleich mit Deutschland (§ 29 StVZO)

Tabelle 7: Vergleich der Prüfpraxis zur Scheinwerferprüfung in Deutschland und der Türkei

Merkmal	Deutschland	Türkei
Gesetzliche Grundlage	§ 29 StVZO	Artikel 34, Karayolları Trafik Kanunu No. 2918
Prüforganisationen	TÜV, DEKRA, GTÜ u. a.	Nur TÜVTÜRK
Gerätetypen	Analog + Digital (VkBl 2020 Nr. 136)	Nur digital
Toleranzbereich	$-1,0\% \pm 0,5\%$	$-2,5\% \dots -3,5\%$
Ausrichtung	Frei aufgestellt/optional Schienensystem	Festes Schienensystem
Datenübermittlung	Lokal/Papierprotokoll	Zentral digital

Internationale Grundlage	UNECE R48, R112, R123 (EU 2018/858)	UNECE R48, R112 (über 2918 Kanunu & 2017/12 Yönetmelik)
-------------------------------------	--	--

4.2.6 Bedeutung der Harmonisierung

Die Einbindung der UNECE-Regelungen in das türkische Rechtssystem bewirkt eine hohe technische Übereinstimmung mit der deutschen Prüfpraxis [78].

Unterschiede ergeben sich primär aus der institutionellen Struktur (staatliches Monopol vs. Prüforganisationswettbewerb) und den abweichenden Toleranzwerten.

Eine zukünftige Harmonisierung, etwa durch einheitliche digitale Protokolle, würde die Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse weiter verbessern [78].

4.3 Verwendete Prüfgeräte zur Scheinwerferüberprüfung:

4.3.1 Überblick und Zweck

Für die präzise Beurteilung der lichttechnischen Eigenschaften eines Fahrzeugscheinwerfers werden in Deutschland sowohl analoge als auch digitale Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräte (SEP) eingesetzt.

Die wesentlichen Gerätehersteller sind HELLA GmbH & Co. KGaA (analoge Systeme) und MAHA-Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG (digitale Systeme) [79].

Beide Systeme dienen dem gleichen Zweck: Sie erfassen die Lage der Hell-Dunkel-Grenze sowie die Lichtstärke des Abblend- und Fernlichts, um sicherzustellen, dass die Fahrbahn ausreichend, aber ohne Blendung anderer Verkehrsteilnehmer ausgeleuchtet wird [80].

Die Bilder 23 und 24 zeigen exemplarisch ein analoges Prüfgerät und veranschaulichen dessen Aufbau sowie die grundlegende Funktionsweise



Bild 23: Analoge Prüfgeräte (Beispiel: HELLA Gutmann SE 3000). [79]



Bild 24: Manueller Einstellring zur Vorgabe des Soll-Neigungswertes am Prüfsystem. [79]

Das analoge Prüfgerät in Bild 25 arbeitet nach dem optisch-mechanischen Prinzip.

Das vom Scheinwerfer ausgestrahlte Licht trifft auf eine Projektionsscheibe mit Fresnel-Linse, welche das Lichtbündel auf einen Schirm mit Skalenraster abbildet [81].

Die Prüferin oder der Prüfer beurteilt anschließend visuell:

- die Lage der Hell-Dunkel-Grenze,

- den Schnittpunkt mit der Bezugslinie (Horizontale 0, Vertikale V),
- den Knickpunkt (50R) bei asymmetrischem Abblendlicht.

Ein korrekt eingestellter Scheinwerfer besitzt eine Absenkung der Hell-Dunkel-Grenze um $1,0 \% \pm 0,5 \%$, entsprechend 10 mm pro 1 m Entfernung zwischen Scheinwerfer und Prüffläche [82].

Einfallendes Licht → Fresnel-Linse → Projektionsschirm → Hell-Dunkel-Grenze → Visuelle Bewertung.

Die Justage erfolgt mechanisch über drei Schrauben: **Höhe, Seite, und Neigung**.

Eine eingebaute Wasserwaage dient der Grobausrichtung, während ein optischer Fadenkreuz-Marker die horizontale Position sicherstellt [83].

Zur Überprüfung der Genauigkeit wird ein **Referenzscheinwerfer** verwendet, dessen Lichtbild bekannt ist.

Analoge Geräte besitzen keine interne Kompensation von Bodenunebenheiten; daher ist eine **maximale Neigung der Prüfaufstellfläche von $\pm 1,5 \%$** zulässig [67].

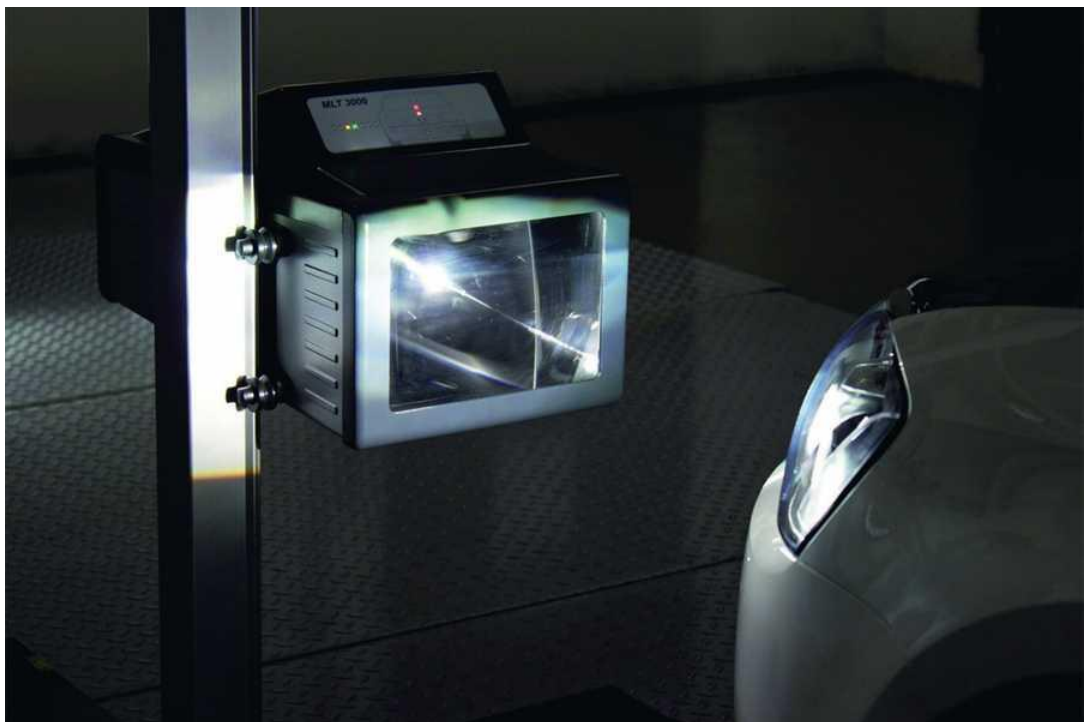


Bild 25: Digitale Prüfgeräte (Beispiel: MAHA MLT 3000) [84]

Das MAHA MLT 3000 arbeitet mit einer digitalen CMOS-Kamera und integrierter Softwareauswertung.

Die Kamera erfasst das projizierte Lichtbild, und die interne Elektronik berechnet automatisch:

- Nickwinkel (PA) – Vertikaler Neigungswinkel der Hell-Dunkel-Grenze,
- Wendepunkt (IP) – Position des Knickpunkts bei asymmetrischem Abblendlicht,
- Intensität (I) – Lichtstärke in Candela (cd),
- Yaw/Roll-Winkel – Seitliche und axiale Abweichungen.

Das Gerät erlaubt einen Messbereich bis 125 000 cd bei einem Abstand von 100 bis 500 mm und gleicht Bodenunebenheiten bis ± 3 % automatisch aus.

Dadurch ist die Aufstellung auf leicht geneigten Flächen zulässig, ohne dass die Messergebnisse verfälscht werden. Das Gerät besteht aus:

- Optikkasten (A) mit Spiegel und optionalem Laser-Ausrichtungssystem,
- Kameraeinheit (C) mit Fresnel-Linse,
- Anzeigeeinheit (D) zur Darstellung von Messwerten und Toleranzpfeilen,
- Fahrwagen (G) mit integrierter Libelle zur Feinausrichtung,
- Batterie-/Netzversorgung (12/24 V DC) [84]

Bild 26 zeigt den schematischen Aufbau des MAHA MLT 3000 mit Darstellung der Hauptkomponenten.

2.3 Design

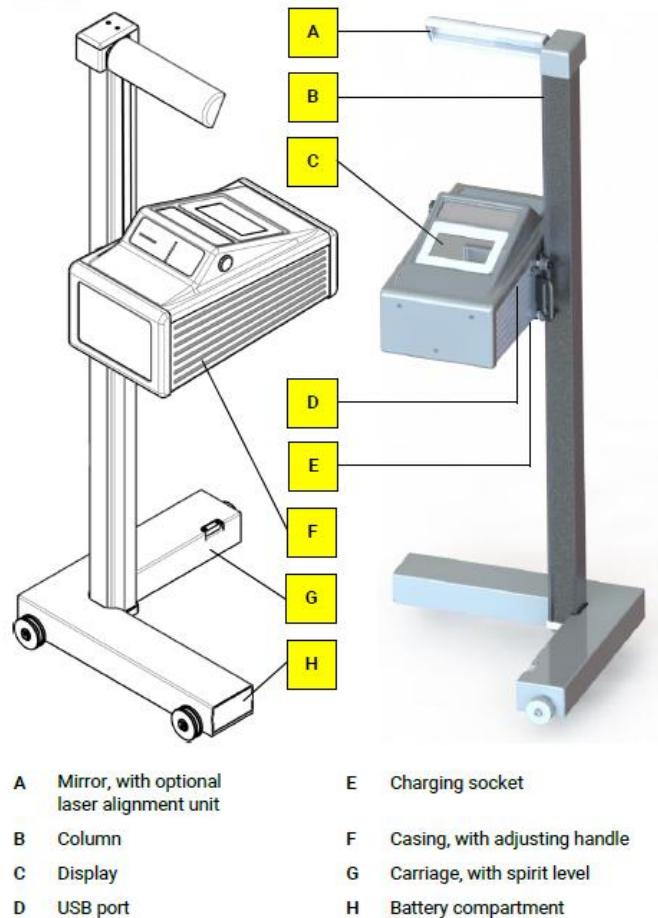


Bild 26: Schematischer Aufbau des MAHA MLT 3000 mit Hauptkomponenten [84].

Die Prüfung erfolgt in fünf Schritten:

- 1- Positionierung: Das Gerät wird mittig vor dem Fahrzeug platziert.
- 2- Elektronische Nivellierung: Ein integrierter Lagesensor kompensiert Neigungen der X- und Z-Achse bis $\pm 3\%$.
- 3- Laser-Ausrichtung: (Optional) Ein Klasse-2M-Laser richtet das Gerät auf die Scheinwerfermitte aus.
- 4- Messung: Die Kamera erfasst das Lichtbild und berechnet die Parameter PA, IP und I in Echtzeit.
- 5- Bewertung: Das Display zeigt grüne/gelbe/rote LEDs je nach Abweichung vom Sollwert.

Wie Bild 27 zeigt, stellt die Digitalanzeige des MLT 3000 die Messwerte für Nickwinkel, Wendepunkt und Lichtintensität übersichtlich dar.

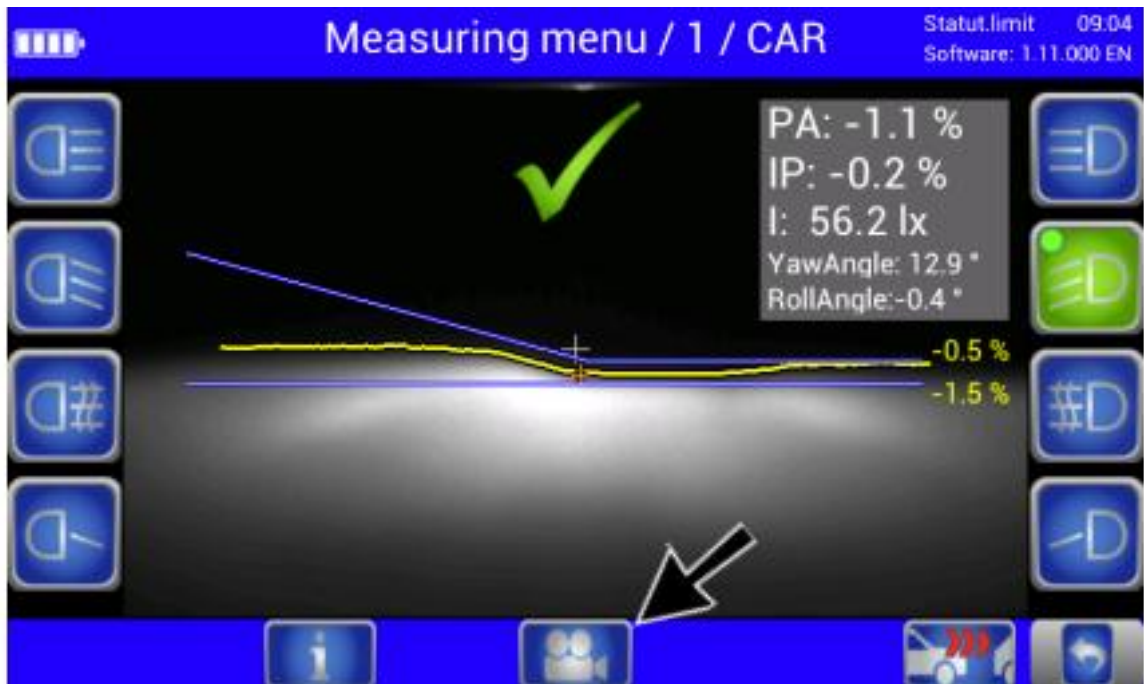


Bild 27: Digitalanzeige des MLT 3000 mit Anzeige von Nickwinkel, Wendepunkt und Intensität [77]

Software-Integration (EUROSYSTEM)

Das MLT 3000 kann über Bluetooth oder RS-232 an die MAHA EUROSYSTEM-Software angebunden werden.

Die Messdaten (PA, IP, I) werden automatisch in das HU-Protokoll übernommen und können als PDF gespeichert werden.

Dadurch ist eine direkte Anbindung an digitale Prüfstraßen möglich, wie sie bei TÜV und DEKRA Standard sind [85].

Wie Tabelle 8 zeigt, werden die Unterschiede zwischen analogen HELLA-Geräten und dem digitalen MAHA-System übersichtlich gegenübergestellt.

Tabelle 8: Vergleichstabelle (HELLA analog vs. MAHA digital)

Merkmal	HELLA 8PA 007 732-01 (analog)	MAHA MLT 3000 (digital)
Anzeigetechnologie	Mechanische Skala (% Neigung)	Digitales Kamerasystem mit Touchscreen
Ausrichtung	Manuell, Libelle am Gerät	Integrierte elektronische Nivellierung + Libelle
Messgenauigkeit	ca. $\pm 0,2$ – $0,3$ %	ca. $\pm 0,1$ %
Datenspeicherung	Keine	Digitale Protokolle und Vernetzung über EuroSystem möglich
Unterstützte Lichtsysteme	Halogen, Xenon (eingeschränkt)	Halogen, Xenon, LED, Laser-ready
Bedienkomfort	Erfahrung erforderlich, rein visuell	Benutzerfreundlich, Software unterstützt den Abgleich
Kalibrierung/Wartung	Einfach, weniger Elektronik	Regelmäßige Software-/Kamera-Kalibrierung nötig
Preis/Investition	Günstiger	Höherer Anschaffungspreis
Normenkonformität (HU)	Basisnormen, manuelle Protokollierung	Voll normenkonform, digitale HU-Schnittstellen

4.3.2 Funktionsprinzip der Messung

Die Messung basiert auf der Erfassung des Lichtbilds auf einer definierten Projektionsfläche (Prüfschirm).

Das Lichtbündel trifft in einem Winkel α (Pitch) auf die Prüffläche; die Software bestimmt die Abweichung Δh in mm bezogen auf 10 m Entfernung.

Die Formel lautet:

$$e = \frac{h_H - h_L}{L} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

wobei h_H die Höhe der Scheinwerfermitte und h_L die Höhe des Lichtschnittpunkts auf der Prüffläche ist.

Ein Beispiel:

Bei einer Sollabsenkung von 1,0 % und einer Prüferntfernung von 10 m beträgt der Höhenunterschied 10 cm.

Abweichungen $> \pm 0,5$ % werden als Mangel bewertet [82].

Beispiel:

Bei einer Prüfdistanz von $L = 10$ m und einer Höhe der Scheinwerfermitte von $h_H = 1,00$ m,

wenn der Schnittpunkt des Lichtkegels auf der Prüffläche $h_L = 0,90$ m beträgt:

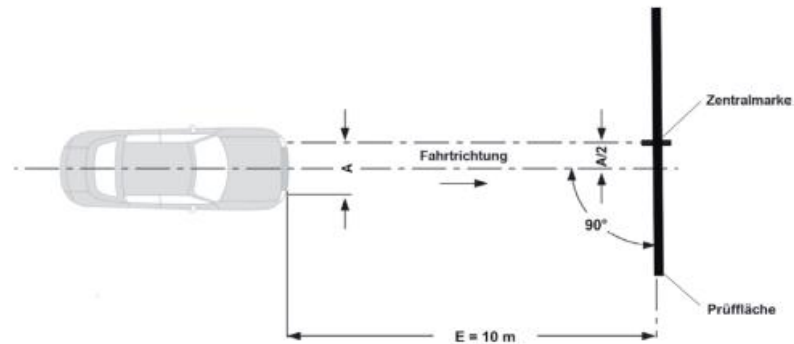
$$e = \frac{1,00 - 0,90}{10} \times 100 = 1,0$$

Das bedeutet, dass der Lichtkegel bei einer Neigung von 1,0 % auf eine Entfernung

Abweichungen von mehr als $\pm 0,5$ % gelten gemäß [82] als Mangel.

Wie Bild 28 zeigt, wird der Pitch-Winkel und die Messgeometrie schematisch nach VkBl 2020 Nr. 136 dargestellt.

Ansicht von oben



Ansicht von vorne

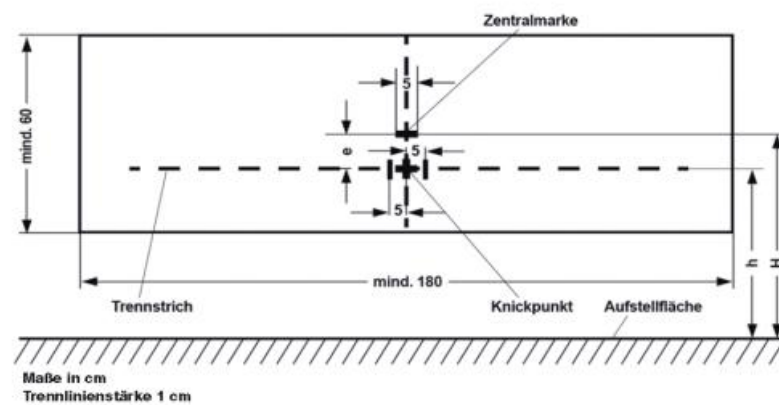


Bild 28: Darstellung des Pitch-Winkels und Messgeometrie nach VkB 2020 Nr. 136 [68]

Die Prüffläche soll hellfarbig, in Höhen- und Seitenrichtung verstellbar und mit den Markierungen nach obiger Abbildung versehen sein. Zusätzliche Hilfsmarkierungen (z. B. zum Verlauf der Hell-Dunkel-Grenze von Scheinwerfern für asymmetrisches Abblendlicht) sind zulässig, wenn eine angemessene Prüfanweisung auf der Prüffläche in einem Bereich angebracht ist, in dem die Beurteilungssicherheit der Einstellung der Scheinwerfer nicht beeinträchtigt wird, oder der sich unübersehbar in der unmittelbaren Nähe der Prüffläche befindet [66].

4.3.3 Wartung, Kalibrierung und Sicherheit

Gemäß VkB 2020 Nr. 136 und Anlage VIId StVZO müssen alle SEP-Geräte jährlich durch einen zugelassenen Kalibrierdienst überprüft werden [68].

Kalibriergeräte vom Typ VP 990471 (Laser LK2) werden für die Justage verwendet

Optische Bauteile (Linse, Spiegel) sind regelmäßig zu reinigen und vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen.

Bei Verwendung der Laser-Einheit (2M-Klasse) muss die BGR 500 Kap. 2.3 Laserstrahlung beachtet werden [86].

4.3.4 Zusammenfassung

Die Verwendung digitaler Prüfgeräte wie des MAHA MLT 3000 ermöglicht eine höhere Reproduzierbarkeit und automatische Datendokumentation im Vergleich zu analogen Systemen [84].

Trotzdem bieten analoge Geräte von HELLA den Vorteil einer schnellen visuellen Kontrolle, was sie für Werkstätten mit geringem Digitalisierungsgrad attraktiv macht [81].

Für die HU nach § 29 StVZO sind jedoch nur Geräte zugelassen, die den technischen Anforderungen des VkbI 2020 Nr. 136 und der HU-Richtlinie 2018 entsprechen [68], [66].

5 Untersuchungen zur Prüfpraxis in Deutschland

5.1 Ablauf der Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO

Bild 29 zeigt die Prüfplatz, an dem die Fahrzeug-Scheinwerferuntersuchung durchgeführt wird. Das Fahrzeug wird in einem exakt nivellierten Bereich positioniert, wobei der Abstand zwischen Fahrzeug und Prüfgerät laut DEKRA (Deutscher Kraftfahrzeug-Überwachungs-Verein) etwa **(50 bis 70) cm** betragen soll.



Bild 29: Prüfraum für die Scheinwerferüberprüfung (DEKRA-Werkstatt, Deutschland) [eigene Darstellung]

Bild 30 veranschaulicht das Aufstellen des Fahrzeugs vor dem Prüfgerät. Bevor die Messung beginnt, müssen bestimmte Randbedingungen erfüllt sein: **Reifen-
druck** ist zu kontrollieren, und der **Kofferraum** sollte leer sein, um die Fahrzeugneigung nicht zu beeinflussen.

Die Neigung des Abblendlichts (1,0 %) wird vom Hersteller bestimmt und gilt als Referenzwert für die Kalibrierung.



Bild 30: Herstellerkennzeichnung und Neigungsangabe am Scheinwerfergehäuse [eigene Darstellung]

5.2 Prüfgeräte und Messtechnik (z. B. MAHA, HELLA)

In Deutschland werden zwei Gerätetypen eingesetzt – ein analoges und ein digitales – um verschiedene Scheinwerfersysteme prüfen zu können.

5.2.1 Analoges Prüfgerät

Das analoge Gerät im Bild31 verwendet eine **optische Linse** und eine **manuelle Skala**, um den Lichtkegel visuell zu beurteilen.

Die Genauigkeit hängt stark von der Erfahrung des Prüfers ab, da die Einstellung manuell anhand der Hell-Dunkel-Grenze erfolgt.

Diese Methode ist zwar robust und unabhängig von elektronischen Systemen, bietet aber nur begrenzte Präzision bei modernen Lichttechnologien (LED, Xenon).

In der Praxis bleibt sie jedoch ein bewährtes Standardverfahren für einfache Sichtprüfungen und Schulungszwecke.



Bild 31: Analoges Scheinwerfer-Prüfgerät HELLA (Typ 8PA 007 732-01) zur manuellen Lichtneigungseinstellung in der Werkstatt [eigene Darstellung]

5.2.2 Digitales Prüfgerät

Das analoge Gerät im Bild 32 arbeitet mit einer **optischen Linse** und einer **mechanischen Skala**. Die Neigung des Lichtkegels wird manuell eingestellt und visuell geprüft.

Typischer Neigungswert: **1 %** beim Abblendlicht.

Vorteil: robust, genauer und präziser als analog

Nachteil: Höherer Anschaffungspreis.

Das digitale Prüfgerät arbeitet mit **Kamera** und **Sensor** zur automatischen Erfassung der Hell-Dunkel-Grenze.

Es misst präzise die **Neigung**, speichert Ergebnisse digital und ermöglicht sofortige Auswertung.



Bild 32: Digitales Scheinwerfer-Prüfgerät MAHA MLT 3000 [eigene Darstellung]

Das digitale Scheinwerfer-Einstellgerät ist zusätzlich mit einer integrierten Wasserwaage ausgestattet. Diese Funktion ermöglicht eine exakte Horizontalausrichtung des Geräts vor der Messung und stellt sicher, dass alle gemessenen Werte für Nickwinkel, Wendepunkt und Lichtintensität unabhängig von kleinen Bodenunebenheiten präzise erfasst werden.

Im Vergleich zu herkömmlichen analogen Prüfgeräten, bei denen die horizontale Ausrichtung manuell und über mechanische Markierungen überprüft werden muss, reduziert die integrierte Wasserwaage mögliche Fehlerquellen erheblich und erhöht die Reproduzierbarkeit der Messungen. Damit trägt sie entscheidend zur Genauigkeit der HU-Messungen bei und unterstützt eine standardisierte, vergleichbare Bewertung von Scheinwerfern in unterschiedlichen Prüfumgebungen.

Wie Bild 33 zeigt, ist die Wasserwaage direkt am Gehäuse des digitalen Scheinwerferprüfers angebracht und erlaubt eine sofortige Kontrolle der horizontalen Ausrichtung vor jeder Messung.



Bild 33: Digitaler Scheinwerferprüfer mit integrierter Wasserwaage zur präzisen Ausrichtung
[eigene Darstellung]

5.3 Bewertungskriterien und Grenzwerte

Bei der Lichtprüfung mit einem analogen Gerät gilt folgende Grundregel:

Wenn das Gerät auf **1 %** eingestellt ist,

muss man keine zusätzliche Korrektur von **$\pm 0,5$ %** vornehmen.

Das Gerät ist so konstruiert, dass es den tatsächlichen Neigungswinkel automatisch mit einer Toleranz von **$\pm 0,5$ %** berücksichtigt.

Daher genügt es, den Zeiger genau auf 1 % zu stellen.

Das Gerät misst den Lichtkegel und berücksichtigt dabei automatisch eine kleine Abweichung (Toleranz von $\pm 0,5$ %) während der Messung.

Wie Bild 34 zeigt, ist die Einstellung eines analogen Scheinwerfer-Prüfgeräts auf die Sollneigung von 1,0 % schematisch dargestellt.



Bild 34: Einstellung des analogen Scheinwerfer-Prüfgeräts auf 1,0 % Neigung [eigene Darstellung]

Bei der Einstellung des digitalen Scheinwerfer-Prüfgeräts MAHA MLT 3000 auf den Sollwert von 1,0 % erfolgt die Neigung des Lichtkegels präzise über die integrierte Softwaresteuerung. Anders als bei analogen Geräten, bei denen der Zeiger manuell auf 1 % gesetzt wird, berechnet das digitale System automatisch den Nickwinkel (PA).

Die Prüferin oder der Prüfer kann den Sollwert direkt am Display eingeben. Das Gerät nivelliert sich automatisch, gleicht geringfügige Unebenheiten der Prüfaufstellfläche aus und zeigt in Echtzeit den gemessenen Neigungswinkel zusammen mit Toleranzpfeilen an. Dadurch wird sichergestellt, dass die Hell-Dunkel-Grenze exakt den vorgeschriebenen Wert von 1,0 % erreicht, ohne dass zusätzliche manuelle Korrekturen notwendig sind.

Wie Bild 35 zeigt, ist die digitale Einstellung des MAHA MLT 3000 auf den Sollwert von 1,0 % schematisch dargestellt.



Bild 35: Einstellung des digitalen Scheinwerfer-Prüfgeräts MAHA MLT 3000 auf den Sollwert von 1,0 % [eigene Darstellung]

Der Abstand zwischen Fahrzeug und Prüfgerät beträgt 30 bis 70 cm [79].

Dies stellt sicher, dass der Lichtkegel korrekt auf die optische Achse des Geräts trifft.

DEKRA (Deutscher Kraftfahrzeug-Überwachungs-Verein) und MAHA geben diesen Bereich als Standard für Werkstattprüfplätze an.

5.4 Ergebnisse und Beobachtungen aus der Praxis

5.4.1 Analoges Prüfgerät

Die Hersteller geben eine zulässige **Messabweichung von $\pm 0,5$ %** an, die den natürlichen Fehlerbereich bei der Lichtneigung berücksichtigt.

Diese Toleranz wird in Prüfberichten gelb markiert und als innerhalb der Spezifikation gewertet.

Werte außerhalb dieser Spanne gelten als fehlerhaft oder erfordern Nachjustierung. Dieser Toleranzrahmen entspricht den Empfehlungen aus technischen Richtlinien wie **DIN ISO 10604** und wird von Prüforganisationen wie DEKRA und TÜV übernommen.

Bild 36 veranschaulicht das Aufstellen des Fahrzeugs vor dem Prüfgerät.

Bevor die Messung beginnt, müssen bestimmte Randbedingungen erfüllt sein:

Reifendruck ist zu kontrollieren, und der **Kofferraum sollte leer** sein, um die Fahrzeugneigung nicht zu beeinflussen.



Bild 36: Positionierung eines analogen Scheinwerfer-Einstellgeräts vor dem Fahrzeug zur Vorbereitung der Scheinwerferprüfung [eigene Darstellung]

Wie Bild 37 zeigt, wird das Messergebnis der Scheinwerferprüfung mit dem analogen HELLA-Prüfgerät dargestellt. Die Messwerte liegen innerhalb der zulässigen Toleranz von $\pm 0,5\%$ und werden daher als „in Ordnung“ bewertet. Werte innerhalb dieses Rahmens werden in Prüfberichten üblicherweise gelb markiert und gelten als konform mit den technischen Vorgaben, während Abweichungen außerhalb der Toleranz eine Nachjustierung erfordern.



Bild 37: Messergebnis der Scheinwerferprüfung mit dem analogen HELLA-Prüfgerät – innerhalb der zulässigen Toleranz (in Ordnung) [eigene Darstellung]

Wie Bild 38 zeigt, wird die Prüfung der Nebelscheinwerfer mit dem analogen HELLA-Prüfgerät durchgeführt. Dabei ist der Sollwert auf $-2,0\%$ eingestellt, um die Absenkung des Lichtkegels entsprechend den Vorgaben für Nebelscheinwerfer zu gewährleisten.



Bild 38: Prüfung der Nebelscheinwerfer mit dem analogen HELLA-Prüfgerät bei einer Sollneigung von $-2,0\%$ [eigene Darstellung]

Bild 39 zeigt eine fehlerhafte Einstellung des Abblendlichts am analogen HELLA-Scheinwerfer-Prüfgerät dargestellt. Der projizierte Lichtkegel liegt deutlich oberhalb der Soll-Linie, sodass die Hell-Dunkel-Grenze zu hoch eingestellt ist. Eine solche Überhöhung führt zu erhöhter Blendgefahr für den Gegenverkehr und wird im Rahmen der HU als Mangel bewertet.



Figure 39: Falsche Einstellung des Abblendlichts – Lichtkegel oberhalb der Soll-Linie beim analogem HELLA-Prüfgerät [eigene Darstellung]

5.4.2 Digitales Prüfgerät

Bild 40 wird die Durchführung der Scheinwerferprüfung mit dem digitalen Prüfgerät MAHA MLT 3000 gezeigt.

Der Prüfer positioniert das Gerät präzise vor dem Abblendlicht und kontrolliert die Ausrichtung des Lichtbündels im Spiegel.

Über die integrierte Optik und Sensorik wird das projizierte Lichtbild erfasst und die Neigung automatisch berechnet.

Die Messung dient der Überprüfung, ob die Scheinwerfer-einstellung den gesetzlichen Toleranzen im Rahmen der Hauptuntersuchung entspricht.



Bild 40: Durchführung der Scheinwerferprüfung am Fahrzeug mit dem digitalen Prüfgerät MAHA MLT 3000 [eigene Darstellung]

Bild 41 zeigt ein reales Prüfergebnis am digitalen Gerät.

Die Toleranz liegt zwischen $-0,5\%$ und $+1,5\%$, um leichte Schwankungen des Lichtwinkels auszugleichen.

Dieser Bereich gilt als innerhalb der Norm nach DIN ISO 10604 und DEKRA-Richtlinie.

Liegt der Wert außerhalb, muss der Scheinwerfer nachjustiert (neu eingestellt werden) werden.

Man erkennt eindeutig die Lichtverteilung und die Blausaum-Linie, die automatisch ausgewertet wird

.



Bild 41: Messergebnis der Scheinwerferprüfung mit dem digitalen Prüfgerät MAHA MLT 3000
– innerhalb der zulässigen Toleranz [eigene Darstellung]



Bild 42: Falsches Messergebnis der Scheinwerferprüfung – Lichtkegel oberhalb der Soll-Linie
(nicht in Ordnung) [eigene Darstellung]

Bild 42 zeigt die Prüfung eines Nebelscheinwerfers der Klasse B mit einem digitalen Scheinwerfer-Einstell-Prüfgerät (MAHA MLT 3000).

Gemäß den in Deutschland geltenden Prüfvorgaben (z. B. DEKRA-Richtlinien) beträgt die Grundeinstellung des Nebelscheinwerfers $-2,0\%$, wobei eine Toleranz von $+0,5\%$ zulässig ist. Nach unten ist der Einstellbereich grundsätzlich unbegrenzt.

Im vorliegenden Untersuchungsfall wurde ein Messwert von $+0,7\%$ ermittelt. Dieser Wert liegt deutlich außerhalb des zulässigen Toleranzbereichs und weist darauf hin, dass der Lichtkegel des Nebelscheinwerfers zu hoch eingestellt ist. Eine derartige Einstellung kann zu einer erhöhten Blendwirkung für andere Verkehrsteilnehmer führen und wird daher im Rahmen der Hauptuntersuchung als fehlerhafte Einstellung bewertet.

Gerätespezifische Einflussfaktoren:

Das eingesetzte digitale Prüfgerät erfasst die Lage der Hell-Dunkel-Grenze automatisch mithilfe integrierter Optik und Sensorik. Trotz der hohen Messgenauigkeit digitaler Systeme können Messabweichungen durch folgende Faktoren entstehen:

- geringfügige Fehlpositionierung des Prüfgeräts relativ zur Fahrzeuglängsachse,
- unzureichende horizontale Ausrichtung des Geräts auf der Prüfaufstellfläche,
- Abweichungen der Kalibrierung innerhalb des zulässigen Intervalls.

Diese Einflüsse bewegen sich jedoch typischerweise im Bereich weniger Zehntelprozentpunkte und können den gemessenen Wert von $+0,7\%$ nicht vollständig erklären.

Fahrzeug- und Umgebungsbedingungen

Zusätzlich können fahrzeugseitige Randbedingungen die Messergebnisse beeinflussen. Dazu zählen insbesondere:

- nicht korrekt eingestellter Reifendruck,
- Fahrzeugbeladung oder Restlasten im Fahrzeug,
- leichte Neigungen der Prüfaufstellfläche.

Auch diese Faktoren wirken sich primär marginal auf das Messergebnis aus und rechtfertigen keine Überschreitung des zulässigen Toleranzbereichs.

Bewertung:

Unter Berücksichtigung der genannten Einflussgrößen ist davon auszugehen, dass die festgestellte Abweichung nicht auf eine Messunsicherheit, sondern auf eine tatsächlich fehlerhafte Einstellung des Nebelscheinwerfers zurückzuführen ist.

Der Messwert von $+0,7\%$ überschreitet den normativ zulässigen Bereich eindeutig, so dass eine Nachjustierung des Nebelscheinwerfers erforderlich ist, um die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen.

Fazit:

Digital ist genauer und präziser.

Der Blausaum wird bei digitalem Prüfgerät interne automatisch ausgewertet.

Das beschreibt den wesentlichen Unterschied zwischen analogen und digitalen Prüfgeräten zur Untersuchung von Fahrzeuglichtsystemen.

Analoge Prüfgeräte liefern in der Regel Messergebnisse, die stark von der subjektiven Interpretation des Bedieners abhängen. So müssen beispielsweise bestimmte Merkmale wie der Blausaum—eine charakteristische Lichtverfärbung an der Abgrenzung von Licht- und Schattenbereichen—manuell beurteilt und interpretiert werden, was zu Messungenauigkeiten oder Variabilität zwischen verschiedenen Prüfern führen kann.

Digitale Prüfgeräte hingegen erfassen die Lichtparameter mithilfe sensorischer und rechnergestützter Systeme. Die Auswertung erfolgt automatisch und algorithmisch innerhalb des Geräts, wodurch die Erkennung von Blausaum und anderen optischen Effekten objektiv, konsistent und reproduzierbar erfolgt. Dies erhöht sowohl die Genauigkeit (Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Messwert) als auch die Präzision (geringe Streuung bei wiederholten Messungen) der Lichtprüfung.

Somit ermöglicht der Einsatz digitaler Prüfgeräte eine standardisierte, nachvollziehbare und qualitativ hochwertige Bewertung von Fahrzeugbeleuchtung, die insbesondere im Rahmen der Fahrzeugzulassung und der periodischen Sicherheitsprüfung von zentraler Bedeutung ist.

6 Untersuchungen zur Prüfpraxis in der Türkei

Bild 43 zeigt die offizielle TÜVTÜRK- Fahrzeugprüfstelle in der Türkei, die als einziges Unternehmen für die regelmäßige Fahrzeugprüfung zugelassen ist. Jede Prüfstelle steht unter direkter Aufsicht des türkischen Verkehrsministeriums im Rahmen einer nationalen Konzession. Alle Standards und Verfahren sind landesweit vereinheitlicht, um eine sichere und vollständige Prüfung zu gewährleisten



Bild 43: TÜVTÜRK-Fahrzeugprüfstation in der Türkei – Hauptuntersuchung nach Artikel 34 der Straßenverkehrsordnung [eigene Darstellung]

6.1 Ablauf der periodischen Fahrzeuguntersuchung (TÜVTÜRK)

Das Scheinwerferprüfgerät wie Bild 44 zeigt ist auf einer festen Bodenschiene montiert, um eine präzise Ausrichtung zur Fahrzeugachse zu gewährleisten.

Diese Installation ermöglicht wiederholbare Messungen ohne Abweichungen.

Im Bild 44 ist die Scheinwerferprüfung eines Fahrzeugs in einer türkischen TÜVTÜRK-Prüfstation zu sehen.

hier wird ausschließlich eines digitalen Prüfgeräts eingesetzt, das automatisch die Neigung und Lichtverteilung misst.

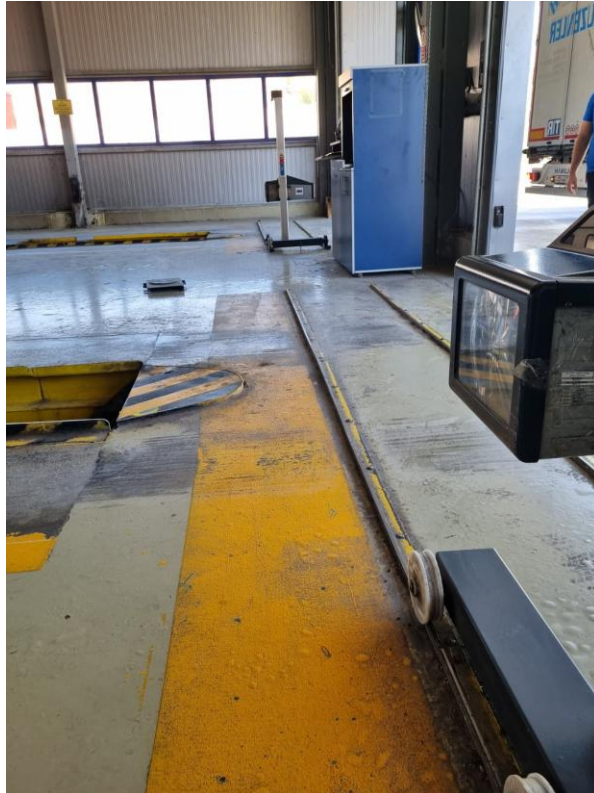


Bild 44: Digitales Scheinwerfer-Prüfgerät auf fester Führungsschiene in der TÜVTÜRK-Werkstatt (Türkei) [eigene Darstellung]

Im Gegensatz dazu kommen in **Deutschland** sowohl **analoge** als auch **digitale Systeme** zum Einsatz, je nach Prüfstelle.

Die Digitalisierung in der Türkei ermöglicht eine schnellere und standardisierte Bewertung der Lichtstärke und Ausrichtung.

Die Scheinwerferprüfung eines Fahrzeugs in einer TÜVTÜRK-Fahrzeugprüfstelle zu sehen.

In der Türkei erfolgt diese Prüfung am Ende des technischen Kontrollablaufs

Bild 45 zeigt die Ausrichtung des Scheinwerferprüfgeräts vor dem Fahrzeug zur Einstellung der richtigen Höhe.

Die farbigen Markierungen an der Säule dienen zur Positionierung des Geräts je nach Fahrzeugtyp (leicht oder mittel).

Diese Justierung ermöglicht eine präzise Ausrichtung des Geräts auf die Mitte der Frontscheinwerfer vor der Messung.



Bild 45: Durchführung der digitalen Scheinwerferprüfung in der TÜVTÜRK- Fahrzeugprüfstelle (Türkei) [eigene Darstellung]

6.2 Bewertungskriterien und Grenzwerte

Wie Bild 46 zeigt, werden in dieser Phase die vom Fahrzeughersteller vorgegebenen Beleuchtungseinstellungen über den digitalen Bildschirm des Geräts eingegeben. Dabei handelt es sich um Parameter wie die **Neigung des Abblendlichts (z. B. $-1,0\%$)**, die **Höhe des Lichtkegels** oder die Art der **Lichtquelle (LED, Halogen, Xenon)**. Das Gerät vergleicht diese Sollwerte automatisch mit den gemessenen Istwerten, um Abweichungen präzise zu erkennen.

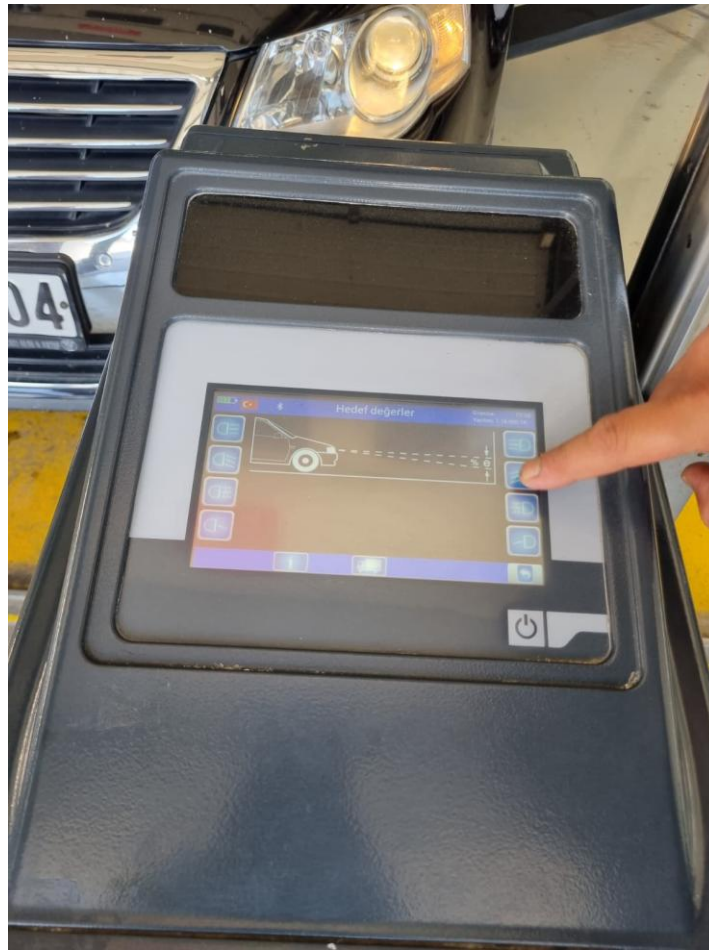


Bild 46: Eingabe der Sollwerte am digitalen Scheinwerfer-Prüfgerät in der TÜVTÜRK- Fahrzeugprüfstelle [eigene Darstellung]

Bilder 47 und 48 zeigen die ermittelten Werte: **KA = -1,3 %**, **EN = 1,8 %** und **IS = 0,8 lx**. Der Wert **KA (Knickachse)** beschreibt die Neigung der Hell-Dunkel-Grenze und liegt mit **-1,3 % innerhalb des zulässigen Bereichs** (meist zwischen -0,5 % und -2,0 %). Der Wert EN steht für den horizontalen Versatz der Lichtlinie, während IS die Lichtstärke in **Lux (lx)** angibt.

Da das Gerät ein **grünes Häkchen** anzeigt, wurde die Messung erfolgreich abgeschlossen; die Scheinwerfer sind **korrekt eingestellt**.



Bild 47: Positives Messergebnis der digitalen Scheinwerferprüfung in der TÜVTÜRK- Fahrzeugprüfstelle (Türkei) [eigene Darstellung]



Bild 48: Positives Messergebnis der digitalen Scheinwerferprüfung in der TÜVTÜRK- Fahrzeugprüfstelle (Türkei) [eigene Darstellung]

6.3 Besonderheiten und Abweichungen vom deutschen System

1- Im türkischen Prüfsystem (TÜVTÜRK) wird die Scheinwerferprüfung ausschließlich mit **digitalen Messgeräten** durchgeführt, die automatisch Neigung, Lichtverteilung und Intensität auswerten.

Eine weitere Besonderheit ist, dass die **Lichtprüfung am Ende des gesamten Fahrzeugprüfablaufs** erfolgt, während in Deutschland die Reihenfolge **nicht fest vorge-schrieben ist**.

In Deutschland kommen sowohl **analoge** als auch **digitale Prüfgeräte** zum Einsatz, was den Werkstätten mehr Flexibilität bietet.

Das türkische System zeichnet sich hingegen durch eine **stärkere Standardisierung und Automatisierung** aus, wodurch menschliche Einflussfaktoren weitgehend reduziert werden.

2- In Deutschland liegt der zulässige Neigungsbereich der Abblendlichtlinie meist zwischen $-0,5\%$ und $-1,5\%$.

In der Türkei zeigt das MAHA-Gerät hingegen einen erweiterten Toleranzbereich bis $-3,5\%$.

Dies ist keine gesetzlich festgelegte Zahl, sondern eine TÜVTÜRK-Softwareeinstellung, die auf der UNECE-Regel R48 basiert.

Da diese Norm die **Vermeidung von Blendung** betont, wird der obere Grenzwert ($-0,5\%$) streng kontrolliert, während nach unten ein größerer Toleranzbereich erlaubt ist, da dies keine Blendung (für andere Verkehrsteilnehmer) verursacht.

Die erweiterte Toleranz berücksichtigt den **technischen Zustand älterer Fahrzeuge** und ermöglicht dem Prüfer,

geringfügige Abweichungen (ausschließlich nach unten) zu akzeptieren, damit auch **ältere Fahrzeuge** den Test trotz minimaler Fehler bestehen können.

7 Vergleichende Analyse der Prüfpraxis

7.1 Vergleich der Prüfpraxis in Deutschland und der Türkei

Die Prüfpraxis der Fahrzeugbeleuchtungssysteme in **Deutschland** und der **Türkei** unterscheidet sich in erster Linie hinsichtlich der **rechtlichen und institutionellen Grundlagen**, während die **technische und organisatorische Umsetzung** weitgehend identisch ist.

In **Deutschland** ist die HU in **§ 29 StVZO** gesetzlich verankert. Die Anforderungen an die Lichtprüfung sind in der **HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie** (VkBI 2018 Nr. 174) und der **Richtlinie für die Prüfung von Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräten** (VkBI 2020 Nr. 136) präzise festgelegt [87], [88].

Damit existiert in Deutschland ein eigener, expliziter Rechtsrahmen für die Beleuchtungsprüfung.

In der Türkei hingegen existiert keine spezifische gesetzliche Vorschrift, die sich ausschließlich auf Fahrzeugbeleuchtungssysteme bezieht.

Die Lichtprüfung ist vielmehr Teil des allgemeinen technischen Prüfverfahrens gemäß **Artikel 34 des Karayolları Trafik Kanunu Nr. 2918**, das die periodische Überprüfung sicherheitsrelevanter Systeme wie Beleuchtung, Bremsen, Abgasanlage und Spiegel vorschreibt [89].

Somit wird die Beleuchtung implizit als Teil der Gesamtprüfung behandelt, nicht als eigenständiger Prüfpunkt.

Trotz dieser **unterschiedlichen juristischen Struktur** sind die **technischen Prüfmethoden und Geräte** nahezu identisch.

In beiden Ländern werden die **gleichen Prüfanlagen** eingesetzt, vor allem das digitale MAHA MLT 3000 sowie die analogen oder halbautomatischen Systeme von **HELLA Gutmann** [90], [91].

Die Messprinzipien (Kamera-Erfassung der Hell-Dunkel-Grenze, Berechnung des Pitch-Winkels) folgen einheitlich den Vorgaben der UNECE-Regel Nr. 48 [92].

Die markantesten Unterschiede manifestieren sich insbesondere in den zulässigen Toleranzwerten sowie in den angewandten Kalibrierungsverfahren:

In Deutschland beträgt der zulässige Neigungsbereich der Hell-Dunkel-Grenze **–0,5 %** bis **–1,5 %**, mit einer Toleranz von $\pm 0,5 \%$ [87],

in der Türkei erlaubt das TÜVTÜRK-System **Abweichungen** bis **–3,5 % (nur nach unten)**, um älteren Fahrzeugen größere Spielräume zu gewähren [93].

Zudem wird in Deutschland eine **jährliche physische Kalibrierung** vorgeschrieben [87], während in der Türkei die Prüfgeräte durch **automatische Selbstkalibrierung** über interne Sensorik überprüft werden [78].

7.2 Rechtliche Unterschiede

Das deutsche System basiert auf einem **präzise normierten Rechtsrahmen**, der sowohl das Verfahren als auch die Prüftechnik detailliert vorgibt.

Neben § 29 StVZO [71] ist insbesondere die **HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie** (VkB 2018 Nr. 174) maßgeblich, die die Anforderungen an Prüfumgebung, Beleuchtungsgeometrie und Toleranzfelder regelt.

Die **Richtlinie 2020 Nr. 136** ergänzt diese Vorgaben um technische Spezifikationen der Prüfgeräte und deren Kalibrierung [72].

Die Aufsicht obliegt dem **Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)**, das für die Zulassung und Überwachung der Prüfstellen zuständig ist [94].

In der Türkei dagegen legt Artikel 34 des Gesetzes Nr. 2918 den allgemeinen Rahmen der periodischen technischen Prüfung fest [89].

Die praktische Umsetzung erfolgt durch TÜVTÜRK, das über eine nationale Konzession verfügt und direkt dem **Verkehrs- und Infrastrukturministerium (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı)** untersteht [95].

Die türkische Gesetzgebung enthält keine separaten technischen Unterverordnungen für Beleuchtung, sondern verweist implizit auf internationale Standards (UNECE-R48 und R112) [92].

Damit steht einem spezifischen deutschen Beleuchtungs-Regelwerk ein generisches türkisches Prüfgesetz gegenüber, das Beleuchtung als einen von mehreren Funktionsblöcken behandelt.

In der Praxis wird dieser Unterschied jedoch durch die einheitliche Anwendung derselben Prüftechnologien überbrückt.

7.3 Technische und organisatorische Abweichungen

7.3.1 Prüfgeräte und Messprinzipien

In Deutschland werden **analoge** und **digitale Systeme parallel** verwendet.

Analoge Geräte, z. B. das HELLA-System, projizieren das Lichtbild auf eine optische Scheibe, wo der Prüfer die Hell-Dunkel-Grenze visuell beurteilt [90].

Digitale Geräte wie das MAHA MLT 3000 erfassen das Lichtbild über eine Kamera, analysieren es softwarebasiert und liefern automatisch Messergebnisse zu Neigung, Intensität und Blendung [91].

In der Türkei hingegen kommen **ausschließlich digitale** Geräte zum Einsatz – meist MAHA oder ACTIA –, was zu einer weitgehend automatisierten Prüfkette führt [93]. Wie Tabelle 9 zeigt, werden die Prüfgeräte sowie die jeweiligen Prozessabläufe in Deutschland und der Türkei übersichtlich gegenübergestellt.

Tabelle 9: Vergleich der Prüfgeräte und Prozessabläufe in Deutschland und der Türkei

Merkmal	Deutschland	Türkei
Gerätehersteller	HELLA, MAHA, Saxon	MAHA, ACTIA
Gerätetyp	analog + digital	ausschließlich digital
Prozess	manuell/halbautomatisch	vollautomatisch
Datenspeicherung	lokal oder Netzwerk	zentral (TÜVTÜRK-Server)
Kalibrierung	jährlich physisch (VkBl 2020) [88]	softwarebasiert automatisch [93]

7.3.2 Prüfablauf und Organisation

In Deutschland kann die Scheinwerferprüfung an jeder Stelle der HU durchgeführt werden, da die Prüfreihenfolge nicht festgelegt ist [96].

In der Türkei dagegen wird sie **immer am Ende der Fahrzeugprüfung** vorgenommen [95].

Diese feste Reihenfolge soll sicherstellen, dass vorangegangene Tests – etwa Brems- oder Fahrwerksprüfungen – keine Höhenänderung am Fahrzeug verursachen, welche das Lichtverteilung verfälschen könnte.

Die Prüfzeit unterscheidet sich ebenfalls leicht:

In Deutschland dauert der Prüfvorgang durchschnittlich 5–8 Minuten [96], [87] [88], in der Türkei 3–5 Minuten, da hier der digitale Prozessablauf standardisiert und zentral gesteuert ist [93], [95].

7.3.3 Toleranzen und Bewertung

In Deutschland liegt der zulässige Neigungsbereich für das Abblendlicht zwischen $-0,5\%$ und $-1,5\%$, mit einer Toleranz von $\pm 0,5\%$ [87].

Für Nebelscheinwerfer gilt ein Sollwert von $-2,0\%$ mit einer Toleranz von $\pm 0,5\%$ [87].

In der Türkei erlaubt das digitale TÜVTÜRK-System gemäß **UNECE R48** eine Absenkung bis $-3,5\%$ (nur nach unten), da ein zu tief eingestelltes Licht keine Blendung verursacht. Dadurch erhalten älteren Fahrzeugen etwas mehr Spielraum, um (HU) zu bestanden [92], [93].

7.4 Zusammenfassung der Vergleichsergebnisse

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Deutschland und die Türkei **rechtlich unterschiedlich, technisch jedoch weitgehend identisch** prüfen.

Deutschland verfügt über spezifische Beleuchtungsrichtlinien mit klaren Toleranzgrenzen und jährlicher Kalibrierpflicht.

Die Türkei dagegen integriert die Lichtprüfung in ein **zentralisiertes System** mit digitaler Datenerfassung, automatischer Kalibrierung und größeren Toleranzspielräumen.

Beide Systeme erfüllen die Anforderungen der **UNECE-Regel (Nr. 48)** und gewährleisten ein hohes Maß an Verkehrssicherheit.

Langfristig bietet die Digitalisierung der Prüfverfahren, wie sie in der Türkei bereits vollständig umgesetzt ist, auch für das deutsche System Potenzial zur Effizienzsteigerung und Vereinheitlichung der Messdatenauswertung. Wie Tabelle 10 zeigt, werden die rechtlichen und technischen Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen Deutschland und der Türkei übersichtlich dargestellt.

Tabelle 10: Vergleich der rechtlichen und technischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Deutschland und der Türkei (nach [87] – [93]).

Aspekt	Deutschland	Türkei
Gesetzliche Grundlage	§ 29 StVZO + VkBI Richtlinien	Karayolları Trafik Kanunu Nr. 2918 (Madde 34)
Struktur	Mehrere Organisationen (DEKRA, TÜV u. a.)	Monopol (TÜVTÜRK)
Geräte	analog und digital	nur digital
Kalibrierung	jährlich physisch (VkBI 2020) [79]	automatisch [84]
Toleranzbereich	$\pm 0,5 \%$ ($-0,5 \%$ bis $-1,5 \%$)	bis $-3,5 \%$ (nur nach unten)
Aufsicht	KBA (Deutschland)	Verkehrsministerium (TR)
Automatisierung	mittel	hoch

8 Ableitung von Verbesserungspotenzialen

8.1 Identifizierte Schwachstellen beider Systeme

Die vergleichende Analyse der Prüfpraxis in Deutschland und der Türkei (Kapitel 7) hat gezeigt, dass beide Systeme zwar grundsätzlich funktionsfähig und präzise arbeiten, jedoch spezifische **Schwachstellen** in rechtlicher, technischer und organisatorischer Hinsicht aufweisen.

In **Deutschland** liegt die größte Schwäche in der **Heterogenität der Prüfmethoden**.

Da sowohl analoge als auch digitale Prüfgeräte verwendet werden, variieren Messergebnisse, Auswertungsqualität und Dokumentation je nach Prüfstelle.

Hinzu kommt, dass die **manuelle Bewertung** der Hell-Dunkel-Grenze bei analogen Geräten subjektiv beeinflusst werden kann.

Zudem werden Prüfdaten bislang nicht zentral gespeichert, sondern in den Systemen der einzelnen Organisationen (TÜV, DEKRA, GTÜ, KÜS) getrennt verwaltet.

Dies erschwert eine übergeordnete Qualitätsanalyse und führt zu **Intransparenzen im Datenvergleich** [87], [88].

In der **Türkei** hingegen ist das Prüfverfahren vollständig digitalisiert, jedoch wenig flexibel.

Da **TÜVTÜRK** als alleiniger Betreiber agiert, existiert ein Monopol mit starrer Prozessstruktur.

Dies führt zu hoher Effizienz, aber begrenzter Innovationsdynamik.

Zudem fehlt im türkischen Recht ein **eigenständiger Paragraph** für Beleuchtungssysteme – die Prüfung der Lichttechnik erfolgt lediglich als Teil von Artikel 34 des Karayolları Trafik Kanunu Nr. 2918 [89].

Dies kann langfristig zu **Unklarheiten bei der Rechtsauslegung** führen, etwa bei der Anerkennung internationaler Prüfzeugnisse.

Ein weiterer Schwachpunkt beider Systeme betrifft die Kalibrierung und Selbstdiagnose der Geräte.

In Deutschland wird nach der Richtlinie VkbI 2020 Nr. 136 eine jährliche physische Kalibrierung verlangt [88];

in der Türkei erfolgt diese intern über Softwaremodule.

Beide Ansätze bieten keine kontinuierliche Überwachung während des Betriebs, wodurch Abweichungen zwischen Kalibrierzyklen unentdeckt bleiben können.

8.2 Harmonisierung der Prüfverfahren

Eine zentrale Herausforderung besteht in der **vereinheitlichten Struktur der Prüfabläufe**.

Trotz ähnlicher Messgeräte und internationaler Bezugsvorschriften (UNECE R48) unterscheiden sich Durchführung und Bewertung erheblich.

Zur Schaffung einer konsistenten Prüfpraxis wird **eine Harmonisierung auf drei Ebenen** vorgeschlagen:

1- Ablaufharmonisierung:

Der Prüfablauf sollte europaweit und in assoziierten Staaten (z. B. Türkei) nach einem einheitlichen Schema erfolgen – also **Positionierung, Kameraausrichtung, digitale Messung, automatische Auswertung und elektronische Protokollierung**.

In der Türkei ist diese Reihenfolge bereits standardisiert, in Deutschland dagegen flexibel; eine Vereinheitlichung würde Vergleichbarkeit fördern.

2- Toleranzangleichung:

Die derzeitigen Grenzwerte – **$\pm 0,5$ % in Deutschland und bis $-3,5$ % in der Türkei** – sollten auf Basis der **UNECE R48** zu einem europäischen Standard konsolidiert werden.

Empfohlen wird ein harmonisierter Bereich von **$-2,0$ % $\pm 0,5$ %**, der sowohl technische Präzision als auch praxisgerechte Spielräume bietet.

3- Datentechnische Vernetzung:

Die Einführung eines **europaweit einheitlichen digitalen Prüfformats** (z. B. XML-basiert) würde die automatische Übermittlung und Archivierung der Messergebnisse ermöglichen.

Dadurch könnten nationale Systeme (z. B. KBA, TÜVTÜRK, Herstellerdatenbanken) interoperabel arbeiten, ohne Doppelprüfungen bei grenzüberschreitendem Fahrzeugverkehr. Diese Maßnahmen würden die Grundlage für ein **gemeinsames europäisch-türkisches Prüfprotokoll** schaffen und langfristig zu einer höheren Qualitätssicherung führen [83], [84].

8.3 Optimierung von Prüfgeräten und -methoden

8.3.1 Erweiterte Messparameter

Die derzeitige Prüfung konzentriert sich primär auf die **Neigung der Hell-Dunkel-Grenze** (Pitch Angle).

Für moderne Lichttechnologien – insbesondere LED-, Matrix- und Laser-Scheinwerfer – reichen diese Parameter nicht mehr aus.

Empfohlen wird daher eine Erweiterung des Prüfumfangs um:

- Leuchtstärkeverteilung (Candela-Matrix): Bewertung der Homogenität und Blendfreiheit,
- Farbtemperatur und Spektralanalyse: Überprüfung auf normgerechtes Weißlicht (4000–6000 K),
- Adaptives Kurvenlicht und Fernlicht-Automatik: Prüfung der Regelgenauigkeit unter simulierten Fahrbedingungen.

Die Integration dieser Parameter erfordert softwarebasierte Bildauswertungssysteme, wie sie das **MAHA MLT 3000** bereits unterstützt [85].

Langfristig könnte die Messung durch KI-basierte Algorithmen ergänzt werden, die automatisch zwischen Leuchtentypen unterscheiden.

8.3.2 Automatische Kalibrierung und Selbstdiagnose

Ein modernes Prüfgerät sollte in der Lage sein, **Selbstprüfungen in Echtzeit** durchzuführen:

z. B. Abweichungen der Laserachse, Verschmutzungen der Linse oder Sensorfehler automatisch zu erkennen.

Diese Technologie ist im industriellen Messwesen etabliert, jedoch in der Lichtprüfung noch nicht flächendeckend umgesetzt.

Durch ein solches System könnten **Kalibrierintervalle verlängert**, **Ausfallzeiten reduziert** und **Prüfgenauigkeit verbessert** werden.

Darüber hinaus wäre eine **Cloud-basierte Geräteverwaltung** sinnvoll, über die Prüfororganisationen Kalibrierdaten, Wartungstermine und Fehlerprotokolle austauschen können.

Dies würde die Transparenz erhöhen und den Verwaltungsaufwand des **Kraftfahrt-Bundesamts (KBA)** oder des türkischen Ministeriums deutlich reduzieren.

8.3.3 Prüfzeit und Effizienzsteigerung

Die Analyse zeigte, dass die Prüfdauer in Deutschland 5–8 Minuten und in der Türkei 3–5 Minuten beträgt [93], [95], [96].

Eine Effizienzsteigerung kann erreicht werden durch:

- vollautomatische Zentrierung des Prüfsystems über Kameras,
- digitale Übergabe der Fahrzeugdaten (VIN, Lampentyp) aus der Herstellerdatenbank,
- automatisierte Fehlerklassifizierung mit Ampel- oder Textcode-System.

Dadurch ließe sich die Prüfzeit um bis zu **30 % reduzieren**, ohne Genauigkeitseinbußen. 8.4 Perspektiven für eine europäische Vereinheitlichung

8.4 Rechtliche Integration

Die Harmonisierung der Lichtprüfung sollte als Teil einer künftigen EU-Richtlinie zur periodischen Fahrzeugprüfung erfolgen.

Die EU-Verordnung 2018/858 bildet hierfür die juristische Grundlage, da sie die gegenseitige Anerkennung technischer Prüfungen bereits vorsieht.

Eine Erweiterung um detaillierte Beleuchtungsvorschriften – unter Einbindung der Türkei als assoziierten Partner – wäre ein logischer nächster Schritt.

8.5 Gemeinsames Prüfregister und Datenaustausch

Ein **europäisch-türkisches Prüfdatenregister** könnte folgende Aufgaben erfüllen:

- Speicherung aller Lichtmessdaten und Kalibrierprotokolle,
- Vergleich nationaler Prüfergebnisse,
- Identifikation von Trends (z. B. häufige Blendungsfehler),
- Bereitstellung von Prüfstatistiken für Gesetzgeber und Hersteller.

Dieses Register könnte beim **European Vehicle Testing Council (EVTC)** angesiedelt werden und mit dem **(KBA)** sowie **TÜVTÜRK** verbunden sein.

Ein einheitliches Prüfformular würde die grenzüberschreitende Datenübertragung erleichtern.

Langfristig könnte die Lichtprüfung nach dem Modell des „**Common European Lighting Inspection Standard (CELIS 2030)**“ – dem **gemeinsamen Europäischen Standard für Lichtprüfungen** – erfolgen.

Dieser Standard würde:

- einheitliche Prüfkriterien,
- automatisierte Gerätediagnostik,
- elektronische Zertifikate,
- und gemeinsame Schulungsprogramme für Prüfer umfassen.

Die Türkei könnte dabei als **technologischer Partner** fungieren, da ihr System bereits vollständig digitalisiert ist, während Deutschland die **normative und rechtliche Präzision** einbringt.

Die Kombination beider Ansätze würde einen europaweit einheitlichen Qualitätsrahmen schaffen.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit untersuchte die Prüfung von Fahrzeuglichtsystemen im Rahmen der periodischen Fahrzeuguntersuchung in Deutschland und der Türkei mit dem Ziel, rechtliche, technische und organisatorische Unterschiede systematisch zu analysieren sowie daraus belastbare Verbesserungspotenziale für eine zukünftige Harmonisierung abzuleiten. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass beide Länder die Fahrzeugbeleuchtung auf einem technisch vergleichbaren Niveau prüfen und die internationalen Anforderungen der UNECE-Regelung Nr. 48 grundsätzlich erfüllen. Dennoch bestehen signifikante Unterschiede in der rechtlichen Ausgestaltung, der organisatorischen Umsetzung sowie in der praktischen Durchführung der Prüfverfahren.

In **Deutschland** ist die Lichtprüfung detailliert in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (§ 29 StVZO) sowie in ergänzenden Richtlinien des Verkehrsblatts verankert. Dieses mehrstufige und präzise Regelwerk definiert verbindlich die Anforderungen an Prüfgeräte, zulässige Toleranzgrenzen, Prüfumgebungen sowie Kalibrier- und Überwachungsverfahren. Dadurch wird ein hohes Maß an Messgenauigkeit und Qualitätssicherung gewährleistet. Gleichzeitig ist das deutsche System durch eine dezentrale Organisationsstruktur gekennzeichnet, in der mehrere Prüforganisationen tätig sind. Die parallele Nutzung analoger und digitaler Prüfgeräte sowie unterschiedliche interne Abläufe können hierbei zu methodischen Abweichungen und einer eingeschränkten Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse führen.

In der Türkei hingegen wird die periodische Fahrzeugprüfung zentralisiert durch TÜVTÜRK im Auftrag des Verkehrs- und Infrastrukturministeriums durchgeführt. Das Prüfsystem ist vollständig digitalisiert und zeichnet sich durch standardisierte Abläufe sowie eine einheitliche Geräteausstattung aus. Obwohl technisch identische Prüfgeräte wie in Deutschland eingesetzt werden, ist die rechtliche Ausgestaltung weniger differenziert. Die Beleuchtungsprüfung ist nicht in einer eigenständigen Vorschrift geregelt, sondern als Bestandteil der allgemeinen technischen Fahrzeugprüfung im Karayolları Trafik Kanunu verankert. Diese Struktur ermöglicht effiziente und reproduzierbare Prüfprozesse, geht jedoch mit einer geringeren normativen Detailtiefe einher.

Der Vergleich beider Systeme verdeutlicht, dass Deutschland insbesondere durch seine Normgenauigkeit, die enge Definition von Toleranzgrenzen und die umfassende Qualitätssicherung überzeugt, während die Türkei klare Effizienzvorteile durch Zentralisierung, Standardisierung und Digitalisierung bietet. Ein wesentliches Verbesserungspotenzial

liegt in der gezielten Kombination beider Ansätze. Dazu zählen insbesondere europaweit einheitliche Datenschnittstellen zur Ergebnisdokumentation, standardisierte und verbindliche Prüfabläufe, automatisierte Selbstdiagnosefunktionen der Prüfgeräte sowie harmonisierte Schulungs- und Qualifikationskonzepte für Prüfpersonal.

Vor dem Hintergrund zukünftiger Entwicklungen im Bereich der Fahrzeugbeleuchtung, insbesondere durch adaptive LED-, Matrix- und Laserscheinwerfersysteme, wird deutlich, dass die bisherigen Prüfmethoden langfristig erweitert werden müssen. Zukünftige Prüfverfahren werden verstärkt auf kamerabasierte Messsysteme, digitale Lichtverteilungsanalysen und automatisierte Bewertungsalgorithmen angewiesen sein. Insgesamt zeigt diese Arbeit, dass die Verbindung deutscher Regelungspräzision mit der türkischen digitalen Prozessintegration eine tragfähige Grundlage für eine europaweite Harmonisierung der Fahrzeuglichtprüfung darstellt und einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung eines modernen, effizienten und vergleichbaren Prüfwesens leisten kann.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Automotive Lighting Systems, DiscoverEngineering.org, 2025. [Online]. Available: <https://www.discoverengineering.org/automotive-lighting-systems/>. [Accessed: Jan. 17, 2026].
- [2] HELLA GmbH & Co. KGaA, “LED Lighting Technologies in Automotive Applications,” Technische Information, Lippstadt, 2023.
- [3] Robert Bosch GmbH, Bosch Automotive Handbook, 11th ed., Wiley-Blackwell, Stuttgart, Germany, 2022. ISBN 978-1-119-91190-6. Available: <https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/engineering/automotive-handbook-978-1-119-91190-6>
- [4] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Regulation No. 48: Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with regard to the Installation of Lighting and Light-Signalling Devices, Geneva, Switzerland, ECE/TRANS/WP.29/505 Rev.1 Add.47 Rev.2, 2022. Available: https://unece.org/sites/default/files/2025%E2%80%9104/R048r13e_0.pdf
- [5] Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), § 29 „Hauptuntersuchung und Abgasuntersuchung,“ BAnz. AT 06.12.2022.
- [6] türkisches Straßenverkehrsgesetz Nr. 2918 und TÜVTÜRK Verfahrensrichtlinie, Ankara, akt. Fassung 2023.
- [7] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Mängelstatistik der Hauptuntersuchungen 2024, Flensburg, Germany, 2024. Available: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Fahrzeuguntersuchungen/_fahrzeuguntersuchungen_node.html
- [8] MAHA-Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, MLT 3000 Bedienungsanleitung, Haldenwang, 2021.
- [9] Europäische Union, Verordnung (EU) 2018/858: Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Brüssel, 2018.
- [10] DEKRA e. V., Kalibrierverfahren Scheinwerfereinstellplatz – Daten und Fakten (PDF), Stuttgart, August 2022.
- [11] R. Bosch GmbH, Historie der Fahrzeugbeleuchtung, Stuttgart, Germany, 2023 (based on Bosch corporate history of automotive lighting systems, available at Bosch Global). Available: <https://www.bosch.com/stories/bosch-history-automotive-lighting-systems/>
- [12] Rahman, Al Mahmudur, M. S. A. Chowdhury und N. H. Samrat. „Electric efficiency of the lighting technology of auto industry: Recent development and future prospect. ResearchGate, 2023. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/296484497_Electric_efficiency_of_the_lighting_technology_of_auto_industry_Recent_development_and_future_prospect
- [13] Osram Opto Semiconductors, Xenon Technology Overview, München, 2022.

-
- [14] HELLA GmbH, LED Lighting Evolution Report, Lippstadt, 2024. Verfügbar unter: <https://www.shine.lighting/hella/updates?page=2#resource-update-3300>
- [15] BMW Group, Laserlight Technical Manual, München, 2022.
- [16] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Regulation No. 48: Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with regard to the Installation of Lighting and Light-Signalling Devices, Geneva, Switzerland, ECE/TRANS/WP.29/505 Rev.1 Add.47 Rev.2, 2022. Available: https://unece.org/sites/default/files/2025%E2%80%9104/R048r13e_0.pdf
- [17] Robert Bosch GmbH, Bosch Automotive Handbook, 11th ed., Wiley-Blackwell, Stuttgart, Germany, 2022. ISBN 978-1-119-91190-6. Available: <https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/engineering/automotive-handbook-978-1-119-91190-6>
- [18] Valeo SA, Optical Systems for Automotive Lighting, Paris, 2022.
- [19] Audi AG, Matrix Beam Technology White Paper, Ingolstadt, 2023.
- [20] W. Jeon, S. Hwang, J. J. Kim, and M. Lee, Active-Matrix Pixelated-LED Control System for Automotive Headlamps, IEEE Access, vol. 10, pp. 1-13, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3170113. Available: https://www.researchgate.net/publication/360201169_Active-Matrix_Pixelated-LED_Control_System_for_Automotive_Headlamps
- [21] Škoda Auto a.s., LED Matrix beam headlights – Infographic Škoda Superb Combi, PDF (Februar 2024).
- [22] Audi AG, Matrix LED headlights (Information and Download PDF), Audi-Technology-Portal, 2021.
- [23] Continental AG, Lighting Control Units (LCU) Overview, Hannover, 2023.
- [24] Valeo SA, Adaptive Driving Beam Technical Paper, Paris, 2023.
- [25] Honda Motor Co., Ltd., Adaptive Driving Beam (ADB) Technology, Honda Global Technology Website, Tokyo, Japan, 2023.
- [26] Honda Motor Co., Ltd., Adaptive Driving Beam (ADB) Technology Overview, Honda Global Technology Report, Tokyo, 2021.
- [27] Osram Opto Semiconductors, Thermal Management in Automotive LEDs, München, 2023.
- [28] HELLA GmbH, LED Application Statistics, Lippstadt, 2023.
- [29] R. Ammel, Das steckt im LED-Scheinwerfer eines Audi A6, ADAC e.V. (Dec. 2020).
- [30] BMW Group, Laser Technology in Automotive Applications, München, 2022.
- [31] BMW Group, BMW laser light: innovation from the light lab, BMW Tech/Press, 29 April 2020.

-
- [32] BMW Group, BMW laser light: innovation from the light lab, BMW Tech/Press, 29 April 2020.
- [33] Bosch GmbH, Adaptive Lighting Systems Overview, Stuttgart, 2021.
- [34] Audi AG, Matrix LED headlights – Orientation light on country roads (Digital Micro-mirror Device) – Audi A8, Audi Technology Portal, Ingolstadt, 05/22.
- [35] HELLA GmbH & Co. KGaA, LED headlamps – Audi A6 Matrix LED technology, HELLA Tech World, 2024.
- [36] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Mängelstatistik der Hauptuntersuchungen 2024, Flensburg, Germany, 2024. Available: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Fahrzeuguntersuchungen/_fahrzeuguntersuchungen_node.html
- [37] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Fahrbahnausleuchtung und Sichtweitenanalyse bei LED-Scheinwerfern, Bergisch Gladbach, 2023.
- [38] European Transport Safety Council (ETSC), Road Safety Report: Nighttime Accidents, Brüssel, 2023.
- [39] Department for Transport (DfT) – The Highway Code, Abschnitt 126: Anhaltewege (Stopping Distances), Britische Regierung – Driver and Vehicle Standards Agency (DVSA), London, 2022.
- [40] Mercedes-Benz AG, Digital Light DLP System Description, Stuttgart, 2023.
- [41] Technische Universität Darmstadt, Vehicle-to-X Communication via Light Signals, Darmstadt, 2024.
- [42] Fraunhofer IAO, Licht und Interaktion im autonomen Fahrzeug, Stuttgart, 2023.
- [43] UNECE WP.29, World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, Geneva, 2024.
- [44] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions (1958 Agreement), Revision 3, Geneva, Switzerland. Available: <https://unece.org/trans/main/wp29/wp29regs>
- [45] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Contracting Parties to the 1958 Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Geneva, Switzerland, 2024. Available: <https://unece.org/transport/road-transport/status-1958-agreement-and-annexed-regulations>
- [46] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Merkblatt zur E-Kennzeichnung von Fahrzeugteilen, Flensburg, Deutschland, 2023. Available: https://www.kba.de/EN/Home/home_node.html

-
- [47] UNECE, Regulation No. 48: Installation of Lighting and Light-Signalling Devices, Geneva, 2022.
- [48] DEKRA e. V., Richtlinie zur Scheinwerfereinstellung 2023, Stuttgart, 2023.
- [49] UNECE, Regulation No. 112: Headlamps Emitting an Asymmetrical Passing Beam, Geneva, 2021.
- [50] HELLA GmbH & Co. KGaA, Technical Lighting Manual, Lippstadt, 2022.
- [51] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Regulation No. 112 – Uniform Provisions Concerning the Approval of Motor Vehicle Headlamps Emitting an Asymmetrical Passing Beam or a Driving Beam or Both and Equipped with Filament Lamps, Rev. 1, Annexes 3 and 4, Geneva, 2006.
- [52] UNECE, Regulation No. 123: Adaptive Front Lighting Systems, Geneva, 2021.
- [53] Robert Bosch GmbH, Bosch Automotive Handbook, 11th ed., Wiley-Blackwell, Stuttgart, Germany, 2022. ISBN 978-1-119-91190-6. Available: <https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/engineering/automotive-handbook-978-1-119-91190-6>
- [54] Renton Ma, Automotive Adaptive Front-lighting System Reference Design, Texas Instruments Inc., Application Note SPRUHP3, Juli 2013.
- [55] HELLA GmbH & Co. KGaA, *Lighting Evolution Report*, Lippstadt, 2024.
- [56] Europäische Union, Verordnung (EU) 2018/858, Brüssel, 2018.
- [57] Official Journal of the European Union, L 151/1, 23.05.2018.
- [58] Council Directive 76/756/EEC, Installation of Lighting on Motor Vehicles, Brüssel, rev. 2020.
- [59] European Commission, Market Surveillance and Conformity Assessment Procedures, Brussels, 2023.
- [60] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Typgenehmigungsverfahren in Deutschland, Flensburg, 2023.
- [61] DEKRA Automotive GmbH, Prüfverfahren für LED-Systeme, Stuttgart, 2023.
- [62] E. M. Marek-Andrzejewska, L. Ntziachristos, G. A. Veltri et al., Simplified flowchart of current EU vehicle type approval process, in *Preparation of the Legal and Technical Background for a Voluntary EU Scheme*, European Commission Report, 2016.
- [63] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), § 29 Untersuchung der Kraftfahrzeuge und Anhänger (Hauptuntersuchung und Abgas-Untersuchung), published in Bundesanzeiger (BANz. AT), 06 Dec. 2022. Available: https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__29.html

-
- [64] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Anlage VIII d zur StVZO – Ausrüstung von Untersuchungsstellen, Flensburg, 2024.
- [65] BMVI, Technische Anforderungen an Prüfplätze für Scheinwerferprüfungen, Berlin, 2023.
- [66] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie für die Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer von Kraftfahrzeugen bei der Hauptuntersuchung nach § 29 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) (HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie), Verkehrsblatt (VkBl.), Heft 23, Nr. 174, Bonn, Germany, 12 Nov. 2018. Available: https://www.amz.de/sites/default/files/2019-09/amz_Verkehrsblatt_2018_174-web.pdf
- [67] Verkehrsblatt (VkBl.), 2025, H. 9 Nr. 48, Änderung der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie.
- [68] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie für die Prüfung von Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräten, Verkehrsblatt (VkBl.), Heft 17, Nr. 136, Bonn, Germany, 11 Aug. 2020. Available: <https://www.freiewerkstatt.de/wp-content/uploads/2020/09/2020-136.pdf>
- [69] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Baumusterfreigabe-Verzeichnis für Prüfgeräte, Flensburg, 2024.
- [70] DEKRA e.V., Technische Richtlinie zur Scheinwerferprüfung, Stuttgart, 2023.
- [71] Türkiye Cumhuriyeti Resmî Gazete, Karayolları Trafik Kanunu No. 2918, Madde 34, 1983 (akt. Fassung 2024).
- [72] Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), § 29 Hauptuntersuchung und Abgasuntersuchung, BAnz. AT 06.12.2022.
- [73] TÜVTÜRK, Kurumsal Tanıtım Dosyası 2024 – Araç Muayene Hizmetleri, İstanbul, 2024.
- [74] Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Araç Muayene İstasyonları Yönetmeliği (No. 2017/12), Ankara, 2017.
- [75] TÜVTÜRK, Araç Muayene Kılavuzu – Far Ayarı Prosedürü, İstanbul, 2024.
- [76] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie für die Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer von Kraftfahrzeugen bei der Hauptuntersuchung nach § 29 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) (HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie), Verkehrsblatt (VkBl.), Heft 23, Nr. 174, Bonn, Germany, 12 Nov. 2018. Available: https://www.amz.de/sites/default/files/2019-09/amz_Verkehrsblatt_2018_174-web.pdf
- [77] MAHA-Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, MLT 3000 Bedienungsanleitung, Haldenwang, 2021.
- [78] UNECE WP.29, Status of Contracting Parties and Mutual Recognition Procedures, Genf, 2024.

-
- [79] HELLA GmbH & Co. KGaA, Broschüre Scheinwerfereinstellung in der Praxis, Lippstadt, 2023.
- [80] BMVI, Technische Anforderungen an Prüfplätze für Lichtsysteme, Berlin, 2023.
- [81] HELLA GmbH & Co. KGaA, Funktionsprinzip der Scheinwerfereinstellgeräte, Lippstadt, 2023.
- [82] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie für die Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer von Kraftfahrzeugen bei der Hauptuntersuchung nach § 29 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) (HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie), Verkehrsblatt (VkBl.), Heft 23, Nr. 174, Bonn, Germany, 12 Nov. 2018. Available: https://www.amz.de/sites/default/files/2019-09/amz_Verkehrsblatt_2018_174-web.pdf
- [83] DEKRA e.V., Werkstattleitfaden Lichtprüfung 2024, Stuttgart, 2024.
- [84] MAHA-Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, MLT 3000 – Original Operating Instructions (BA380701-en), Haldenwang, 2025
- [85] MAHA-Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, EUROSISTEM Integration Manual, Haldenwang, 2025. [Online]. Verfügbar: https://www.maha.de/fileadmin/user_upload/MLT3000_manual.pdf
- [86] BGIA, BGR 500 – Betrieb von Laserstrahlung (Abschnitt 2.3), Berlin, 2022.
- [87] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie für die Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer von Kraftfahrzeugen bei der Hauptuntersuchung nach § 29 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) (HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie), Verkehrsblatt, Heft 23, Nr. 174, Bonn, Germany, 12 Nov. 2018. Available: https://www.amz.de/sites/default/files/2019-09/amz_Verkehrsblatt_2018_174-web.pdf
- [88] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie für die Prüfung von Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräten, Verkehrsblatt, Heft 17, Nr. 136, Bonn, Germany, 11 Aug. 2020, pp. 551–556. Available: <https://www.freiewerkstatt.de/wp-content/uploads/2020/09/2020-136.pdf>
- [89] Türkiye Cumhuriyeti Resmî Gazete, Karayolları Trafik Kanunu Nr. 2918, Madde 34, Ankara, 1983 (akt. 2024).
- [90] HELLA GmbH & Co. KGaA, Scheinwerfereinstellung in der Praxis, Lippstadt, 2023.
- [91] MAHA-Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, MLT 3000 Manual, Haldenwang, 2025. [Online]. Verfügbar: https://www.maha.de/fileadmin/user_upload/MLT3000_manual.pdf
- [92] UNECE Regulation No. 48, Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the installation of lighting and light-signalling devices, Genf, 2023.
- [93] TÜVTÜRK A. Ş., „Periyodik Araç Muayenesi – İş Akışı, İstanbul, 2024.

- [94] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), „Aufsicht über Prüforganisationen und Gerätezulassung, Flensburg, 2024.
- [95] Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Kurumsal Yapı ve Denetim Sistemi für TÜVTÜRK, Ankara, 2024.
- [96] DEKRA e. V., Prüfablauf der Hauptuntersuchung 2024, Stuttgart, 2024.la

Anlagen:

- [97] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Regulation No. 20: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer mit Halogenglühlampen für asymmetrisches Abblendlicht und/oder Fernlicht und verwandte Lichtsignaleinrichtungen, Publications Office of the EU.
- [98] BERLIN/Bonn, Verkehrsblatt 2020, Nr. 136: Richtlinie für die Prüfung von Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräten (SEP-Richtlinie), BMVI/StV, 2020. (online abrufbar über Umwelt-Online.de)
- [99] BERLIN/Bonn, Verkehrsblatt 2020, Nr. 136: Richtlinie für die Prüfung von Scheinwerfer-Einstell-Prüfgeräten (SEP-Richtlinie), BMVI/StV, 2020. (online abrufbar über Umwelt-Online.de)