

Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Hell-Dunkel-Grenze

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Ermittlung der Hell-Dunkel-Grenze (HDG). Zudem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur dynamischen Prüfung der Scheinwerfereinstellung, z. B. von Scheinwerfern eines Kraftfahrzeugs, beispielsweise eines Personen- oder Lastkraftwagens.

Für die Ermittlung der HDG existiert bereits eine Berechnungsformel, die am menschlichen Sehen orientiert ist und daher einen nichtlinearen Zusammenhang abbildet. Diese bekannte Berechnungsformel ist daher für eine kamerabasierte Ermittlung der HDG nicht oder nur mit sehr starken Einschränkungen verwendbar.

Des Weiteren stört bei der Ermittlung der HDG nach dem bekannten Verfahren jegliches Umgebungslicht, so dass entweder jegliches Umgebungslicht durch geeignete Maßnahmen ausgeschlossen werden muss oder zusätzliche Sensoren verwendet werden müssen, die das Umgebungslicht detektieren, so dass eine Umgebungslichtkompensation erforderlich ist. Außerdem kann mit dem bekannten Verfahren die HDG bei ineinander scheinenden Scheinwerfern, d. h. sich überlagernden Lichtkegeln der Scheinwerfer, nicht oder nur sehr ungenau ermittelt werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren anzugeben, mit dem die HDG auf einfache Art und Weise kamerabasiert ermittelt werden kann. Wünschenswert wäre zudem ein Verfahren, welches es erlaubt, die HDG auch bei Fremdlichteinfluss zu ermitteln, ohne dass hierfür zusätzliche Sensoren erforderlich sind. Weiterhin wäre es wünschenswert, ein Verfahren anzugeben, mit dem die HDG auch bei ineinander scheinenden Scheinwerfern ermittelt werden kann.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Hell-Dunkel-Grenze. Eine Grundidee des vorgeschlagenen Verfahrens ist es, den Helligkeitsverlauf von Bilddaten aus einer Kamera, welche das reflektierte Licht eines Projektionsschirms aufzeichnet, auszuwerten. Das vorgeschlagene Verfahren kann insbesondere computerimplementiert durchgeführt werden. Das Verfahren kann für ein oder mehrere Scheinwerfer zeitgleich oder zeitlich überlappend durchgeführt werden.

Optional kann hierbei eine Filterung der Bilddaten durchgeführt werden, z. B. falls die von

der Kamera aufgezeichneten Bilddaten zu stark verrauscht sind, d. h. beispielsweise unerwünschte Bildfehler aufweisen. Durch die Filterung kann die HDG genauer bestimmt werden.

Das vorgeschlagene Verfahren ermöglicht vorteilhaft die kamerabasierte Ermittlung der HDG, wobei auch bei Fremdlichteinfluss keine Kompensation durch Verwendung weiterer Sensoren erforderlich ist. Zudem kann die HDG auch bei ineinander scheinenden Scheinwerfern ermittelt werden.

Das vorgeschlagene Verfahren wird nachfolgend näher erläutert.

1 Definition und Bestimmung der Hell-Dunkel-Grenze (HDG)

1.1 Definition der Hell-Dunkel-Grenze

- Das vorgeschlagene Verfahren beschreibt ein zur ECE-R149 alternatives Berechnungsverfahren, welches auf das gleiche Ergebnis in der Hell-Dunkel-Grenzerkennung wie mit dem Logarithmusverfahren kommen soll.
- Der genutzte Ansatz belässt die Berechnung zur Lage der HDG im linearen Bereich. Die lineare Betrachtung der Helligkeit hat den Vorteil, dass sich der Helligkeitsanstieg parallel verschiebt. Damit verbleibt die Position der HDG bei Einwirkung von Umgebungslicht an der gleichen Stelle.
- Annahme: Die Definition der HDG in ECE-R149 im logarithmischen Helligkeitsraum zielt auf die untere Krümmung des Helligkeitsverlaufs ab
- Mathematisch ist die stärkste Krümmung in der zweiten Ableitung ein Extrempunkt (siehe Figur 1)
- Maximum der zweiten Ableitung stellt den Punkt der stärksten mathematisch positiven Krümmung dar
- Minimum (Notwendige Kriterium für den Wendepunkt) in der ersten Ableitung der logarithmischen Helligkeit und die stärkste Krümmung zeigen für dieses Beispiel identische Werte
- Bestimmung der HDG: Ermittlung des Extrempunktes der zweiten Ableitung des linearen Helligkeitsanstiegs bei einer vertikalen Abtastung des Projektionsschirms
- Je nach Betrachtungsrichtung im Bild (von oben nach unten oder von unten nach oben) wechselt die Art des zu bestimmenden Extrempunktes (Maximum oder Minimum)

1.2 Prozessschritte zur Bestimmung der Hell-Dunkel-Grenze

- Verwendung von Bilddaten aus einer Kamera, welche das reflektierte Licht eines Projektionsschirms aufnimmt. Diese Bilder enthalten bereits:
 - Entzerrung, 3D Drehung und Zuschneiden des Projektionsschirms auf die Projektionsfläche
 - Bei Entzerrung und 3D Drehung werden die Pixel auf die neue Matrix interpoliert (siehe Figur 2)
- Konvertierung des RGB-Bilds in den XYZ-Farbraum nach CIE 1931 (alternativ oder zusätzlich sind ein Graustufenbild, Bilder aus einer Leuchtdichtekamera, schrittweise abgetastete Luxmeter oder andere Bilder verwendbar)
 - Farbraum der Kamera ist linear RGB
 - Referenz Weißpunkt ist D65
 - Y Komponente des XYZ-Farbraums ist die Helligkeit des Bilds ohne Farbeindruck
 - Helligkeit ist zwischen 0 und 1 normiert und kann in Falschfarbendarstellung wiedergegeben werden: siehe Figur 3

Bestimmung der HDG bei klassischer Datenfilterung und Kurvendiskussion

- Filterung des Bildes
 - Zweimalige Ableitung der Helligkeitssignale (Spalten des Bilds) und zählen der Rauschpeaks
 - Berechnung der normierten Frequenz f_{norm} durch Verhältnissetzung der Anzahl der Rauschpeaks und Länge der Datenreihe
 - Für Gaußfilter: Berechnung der Filtergröße mit $\text{filterSize} = \frac{\sqrt{\frac{\log(2)}{2}}}{f_{\text{norm}}}$
 - Für andere Filter (z.B.: Butterworth, Chebychef, Bessel):
 - Berechnung der Nyquistfrequenz als pi-normalisierte als Übergangsbereich

$$w = \frac{f_{\text{norm}}}{2\pi}$$

- Ende des Übergangsbereichs ist die doppelte Nyquistfrequenz

- Dämpfungswerte sind 3dB bei Beginn und 60dB bei Ende des Übergangsbereichs

- Für alle Filter erfolgt eine bidirektionale Filterung in Spaltenrichtung des Bilds

5

- **Bestimmung der HDG**

- Berechnung der zweiten Ableitung des spaltenweise betrachteten gefilterten Helligkeitsverlaufs
- Eingrenzung des Bereichs durch das Maximum der ersten Ableitung im Helligkeitsanstieg und dem Minimum der ersten Ableitung ebenfalls im Helligkeitsanstieg
- Bestimmung der Extremstellen im gegebenen Bereich mit folgender Kategorisierung (siehe Figur 4):

10

- stärkste Signal ist die standardmäßig erkannte HDG
- alle anderen Extremstellen sind zusätzliche HDG-Kandidaten, insofern sie mindestens 30% der Höhe des stärksten Peaks besitzen

15

Bestimmung der HDG mittels Approximation eines Polynomfit n-ten Grades

20

Ziel: Bestimmung eines Polynoms eines n-ten Grades auf den Lichtanstieg, um eine analytische Ableitung durchführen zu können.

Vorteile:

- Ein Polynomfit mit einem ausreichend hohen Polynomgrad ist die beste bekannte Filterung auf das Signal
- Bei einem ausreichend hohen Polynomgrad kann die zweimalige Ableitung analytisch erfolgen. Somit stellt das Bildrauschen nur noch eine untergeordnete Herausforderung dar. Auf ein Filtern der Bilddaten kann daher verzichtet werden. Darüber hinaus besitzt die analytische Ableitung der Polynome einen Rechenzeitvorteil.

25

30

Umsetzung:

- Zeilenweise Betrachtung des Bildes
- Bereichseingrenzung unter Zuhilfenahme einer Hilfsgeraden. Diese wird wie folgt konstruiert (passend zur im Bild dargestellten richtungsabhängigen Betrachtung).

Bei einer anderen Betrachtungsrichtung sind die Ortsangaben und Vorzeichen entsprechend sinngemäß der Definition anzupassen):

- Bestimmung des Maximums des Lichtintensitätsverlaufs -> Stützpunkt
- Mittelung der Werte der Lichtintensität, z. B. der letzten zehn Werte der Lichtintensität -> Fußpunkt
- Berechnung einer Geraden zwischen Fuß- und Stützpunkt (siehe Figur 5a: gestrichelte Linie)
- Berechnung der Differenz der Hilfsgeraden und Helligkeitsverlauf, sog. Residuum --> Fußpunkt des Helligkeitsanstiegs (Maximum des Residuums) ist der größte Abstand zwischen Hilfsgeraden und Helligkeitsanstieg rechtsseitig der Maximalhelligkeit
- Der größte Abstand zum Fußpunkt ist in Figur 5a als Strich-Punktlinie dargestellt.
- In einem iterativen Prozess wird geprüft, ob rechtsseitig beim Nulldurchgang des Residuums ein lokales Minimum existiert. Wenn ja, wird dieser als neuen Stützpunkt (Figur 5b) für die Hilfsgerade gewählt. So wird schrittweise der vordere Scheitelpunkt des Helligkeitsanstiegs herausgearbeitet (Dadurch ist eine Prozessierung von Scheinwerfern oder Leuchten mit einem plateauförmigen Helligkeitsniveau möglich)
- Um das Einschwingen des Polynomfits zu ermöglichen, muss ein Backlash (definiertes Zurückgehen auf der Datenline) erfolgen. Möglichkeiten zur Berechnung:
 - Über den Abstand der Lichtquelle zum Projektionsschirm kann ein empirischer Wert definiert werden:

$$Backlash = \frac{\tan(1^\circ) * Abstand}{Auflösung \text{ der Kamera}}$$
 - Alternativ kann der Backlash aus der Datenreihe selbst bestimmt werden. Hierzu wird der Abstand zwischen Fuß- und Stützpunkt auf der x-Achse berechnet. Der Backlash entspricht dem 0,5fachen dieser Distanz.
- Anschließend wird in einem iterativen Verfahren ein Polynom mit ansteigendem Polynomgrad über den Bereich zwischen Stützstelle und Backlash approximiert. Wenn der RMSE (mittleres Abweichungsquadrat bzw. Root-mean-square error) zwischen der Datenlinie und dem Polynom unter einen definierten Grenzwert fällt,

ist der optimale Polynomgrad gefunden. Im Beispiel von Figur 6 ist der Polynomgrad $p=11$

- Es folgt eine dreimalige Ableitung der Polynome:
 - Die zweite Ableitung wird für die Berechnung des Kriteriums (lokales Maximum) benötigt. Figur 7a zeigt den Ausschnitt des Polynoms)
 - Die dritte Ableitung (Figur 7b) wird benötigt, um das notwendige Kriterium (Nulldurchgang) für einen Extrempunkt zu prüfen. Auf die vierte Ableitung kann verzichtet werden, da nur jene Nulldurchgänge berücksichtigt werden, die in der dritten Ableitung zwischen lokalem Maximum und lokalem Minimum liegen. Somit ist das hinreichende Kriterium (Krümmung der Datenlinie nach unten) für ein Maximum in der zweiten Ableitung gegeben.
 - Wenn die gefundenen lokalen Maxima einen vorgebbaren Prozentsatz der Höhe des stärksten Peaks, z. B. mindestens 30% der Höhe des stärksten Peaks, aufweisen, wird dieses lokale Maximum als Hell-Dunkel-Grenze identifiziert.
 - Das Ergebnis entspricht der Darstellung in Figur 4

20 1.3 Eigenschaften des Algorithmus und dessen Ergebnis

Durch die Betrachtung im linearen Raum wirkt zusätzliches Licht additiv im Bild. Das bedeutet, dass die Helligkeitsfunktion lediglich auf der y-Achse verschoben wird. Die Berechnung der Hell-Dunkel-Grenze über das o.g. Kriterium kann trotzdem korrekt erfolgen. Somit ist dieser Algorithmus unabhängig von zusätzlich eingebrachtem Licht.

25 Das heißt im technischen Kontext:

- Die Hell-Dunkel-Grenze kann mit zusätzlichem Umgebungslicht bestimmt werden. Auf Sensoren zur Kompensation des Umgebungslichtes kann verzichtet werden.
- Pro Spalte können mehrere Hell-Dunkel-Grenzen gleichzeitig erkannt werden. Dies hat den großen Vorteil, dass die Hell-Dunkel-Grenzen von ineinander scheinenden Scheinwerfern korrekt bestimmt werden

30 Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur dynamischen Prüfung einer Scheinwerfereinstellung. Bei diesem Verfahren wird die Hell-Dunkel-Grenze gemäß der

vorstehenden Beschreibung ermittelt. Das Verfahren kann computerimplementiert und/oder für ein oder mehrere Scheinwerfer zeitgleich oder zeitlich überlappend durchgeführt werden.

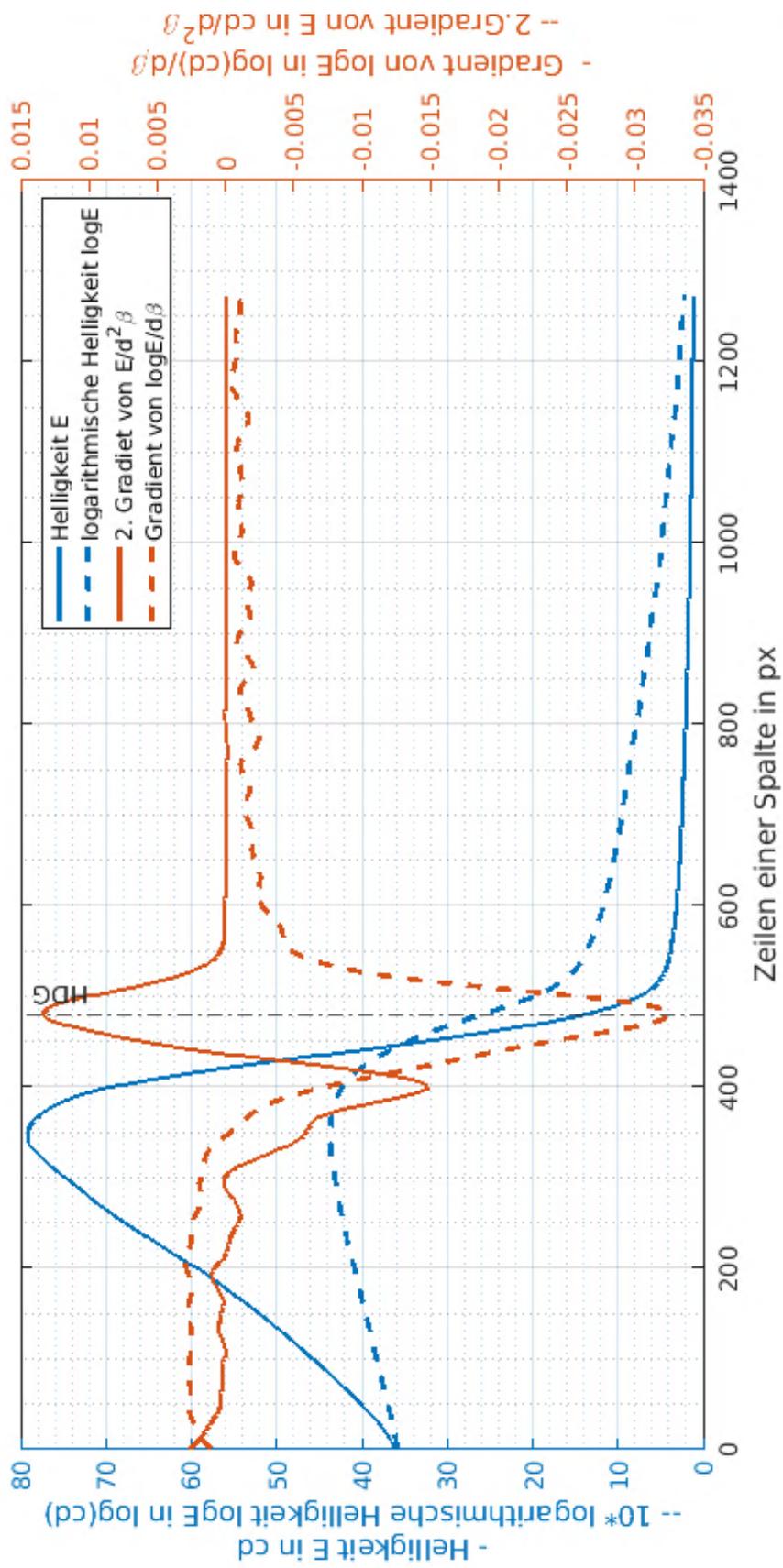
5 Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Ermittlung der Hell-Dunkel-
Grenze, die z. B. als Messwerkzeug, Prüfwerkzeug und/oder Einstellwerkzeug
ausgebildet sein kann, welches optional auch zur Datenerfassung und/oder
Datenverarbeitung genutzt werden kann. Diese Vorrichtung weist Mittel auf, mit denen
eines der vorstehend beschriebenen Verfahren ausgeführt werden kann. Optional kann
10 die Vorrichtung eine oder mehrere Kameras zur Aufzeichnung des von dem Scheinwerfer
erzeugten Bildes, Mittel zur Datenerfassung und/oder Mittel zur Erfassung der Position
des Fahrzeugs aufweisen. Weiter optional kann die Vorrichtung ein oder mehrere
Sensoren aufweisen, wobei in einer Ausführungsvariante keine Sensoren zur
Kompensation des Fremdlichteinflusses vorhanden sind.

15 Die beschriebenen Verfahren und Vorrichtungen können im Rahmen einer
Fahrzeugzustandsuntersuchung, wie z. B. einer vorgeschriebenen regelmäßigen
Hauptuntersuchung, eingesetzt werden. Sie ermöglichen die einfache, zuverlässige und
schnelle Prüfung der korrekten Funktionsfähigkeit der Scheinwerfer eines Fahrzeugs.

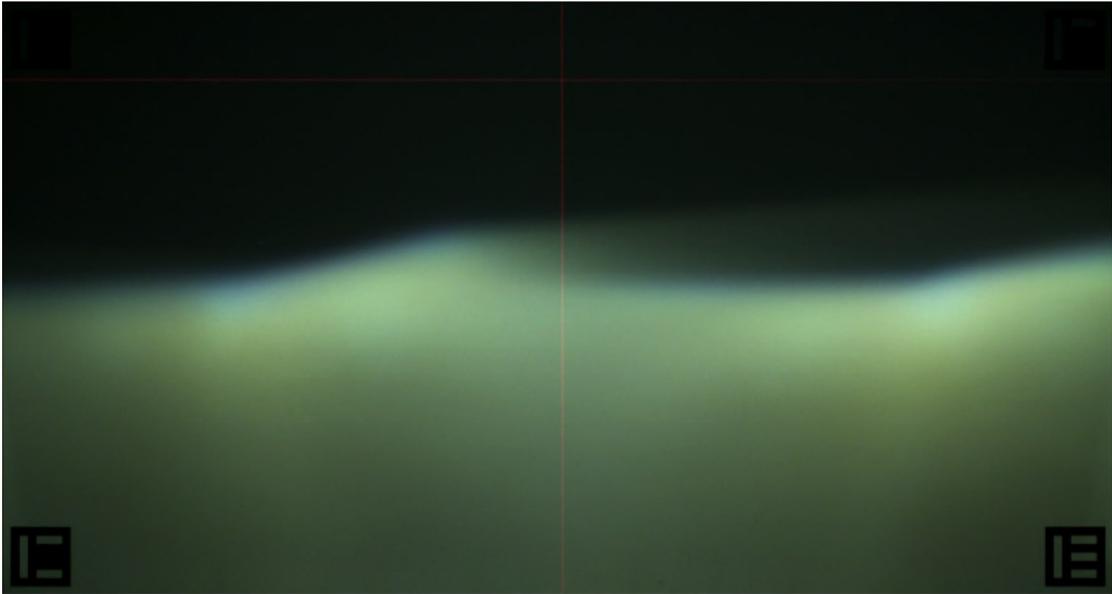
Ebenso können die beschriebenen Verfahren und Vorrichtungen zur
Scheinwerfereinstellung verwendet werden. Beispielsweise kann sich an eine
20 (Über)prüfung der Scheinwerfereinstellung eine Änderung der Scheinwerfereinstellung
und ggf. ein erneutes Prüfen anschließen, z. B. um eine nicht korrekte
Scheinwerfereinstellung zu korrigieren.

Verzeichnis der Abbildungen

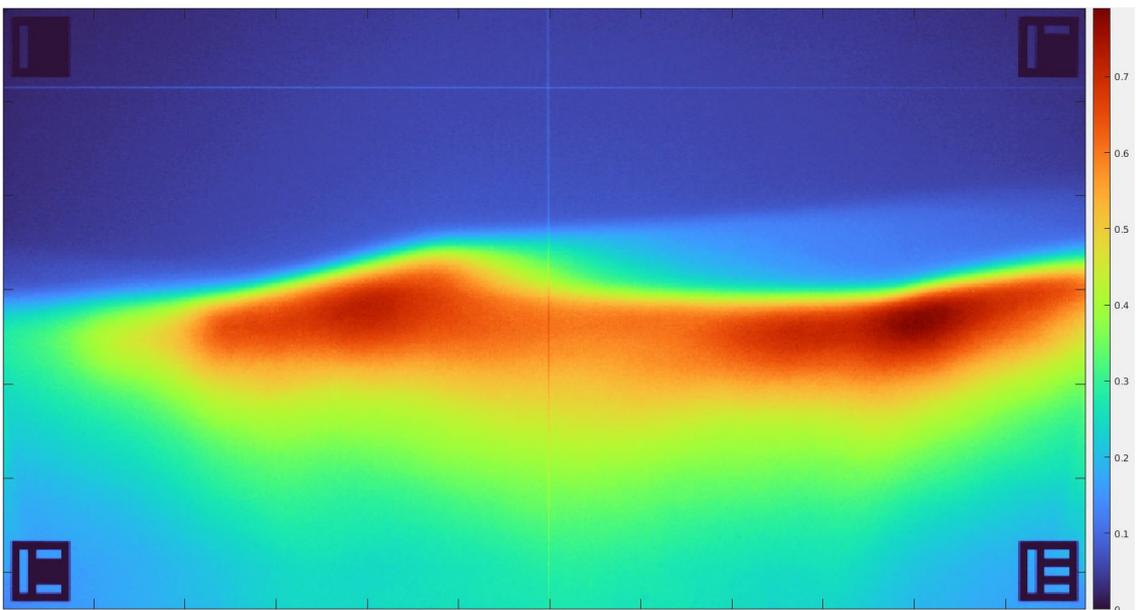
	Figur 1	Wirkungsprinzip der HDG-Erkennung nach der Methode der stärksten Krümmung
	Figur 2	Entzerrtes und gedrehtes Originalbild
5	Figur 3	Falschfarbendarstellung des Scheinwerferlichtbilds
	Figur 4	Falschfarbendarstellung des Scheinwerferlichtbilds mit Hell-Dunkel-Grenze; HDG-Kandidat (schwarz); Stärkstes Signal (rot)
	Figur 5a, b	Darstellungen zur Ermittlung einer Hilfsgerade zur Bestimmung des Fußpunktes
10	Figur 6	Auf den Datenbereich approximiertes Polynom (rot)
	Figur 7a	zweite des Polynoms
	Figur 7b	dritte Ableitung des Polynoms



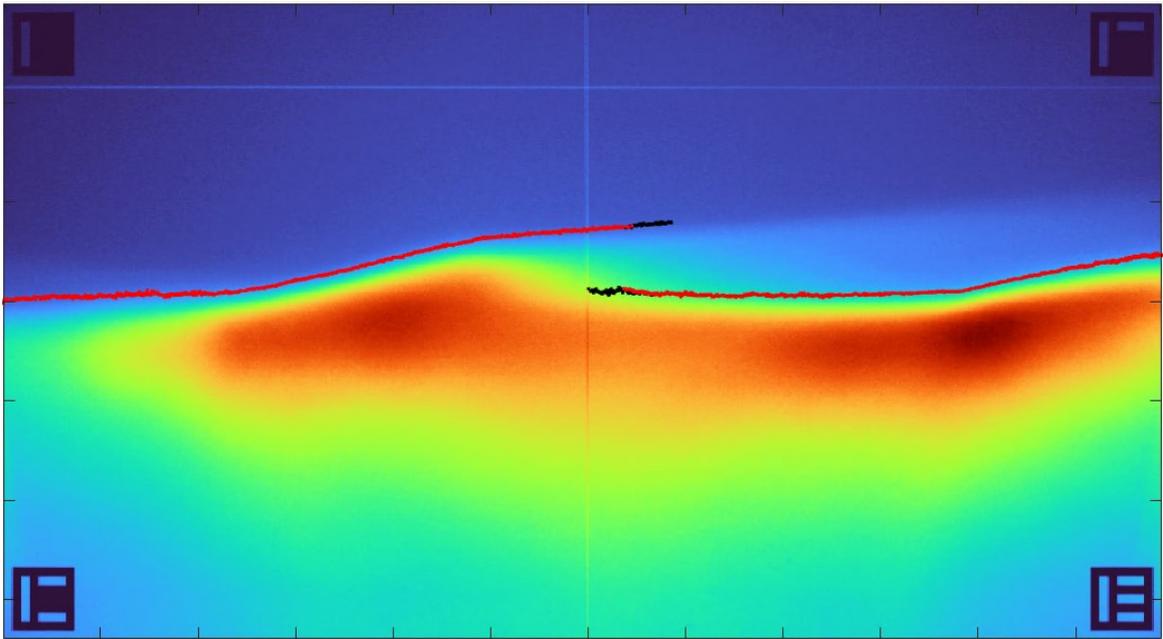
Figur 1



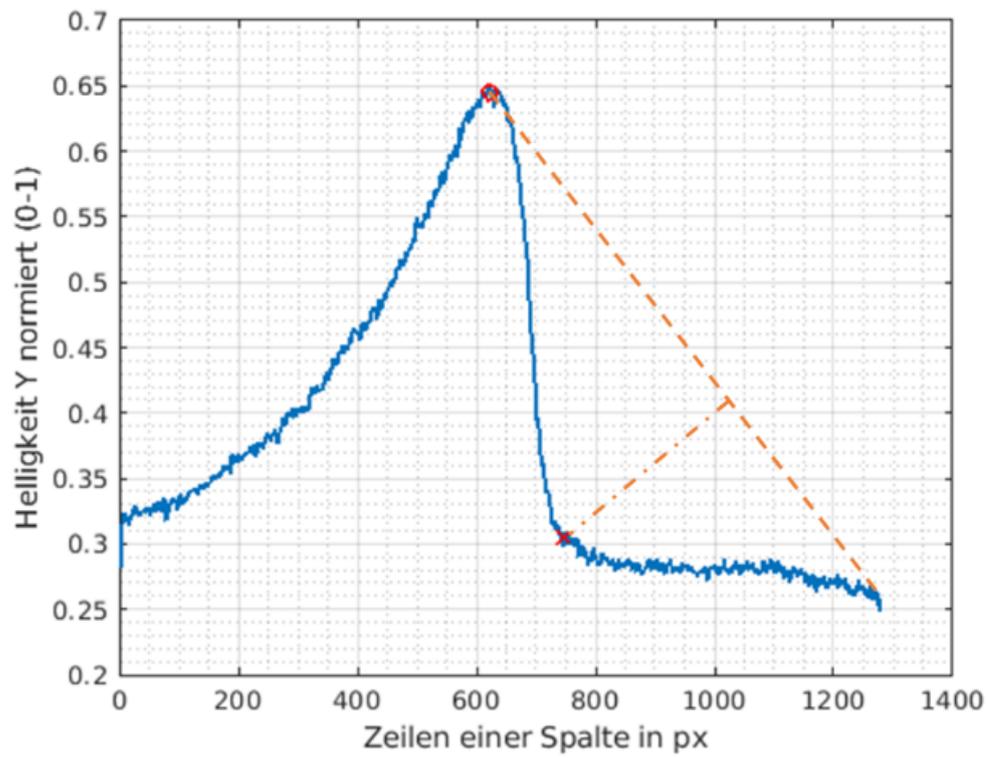
Figur 2



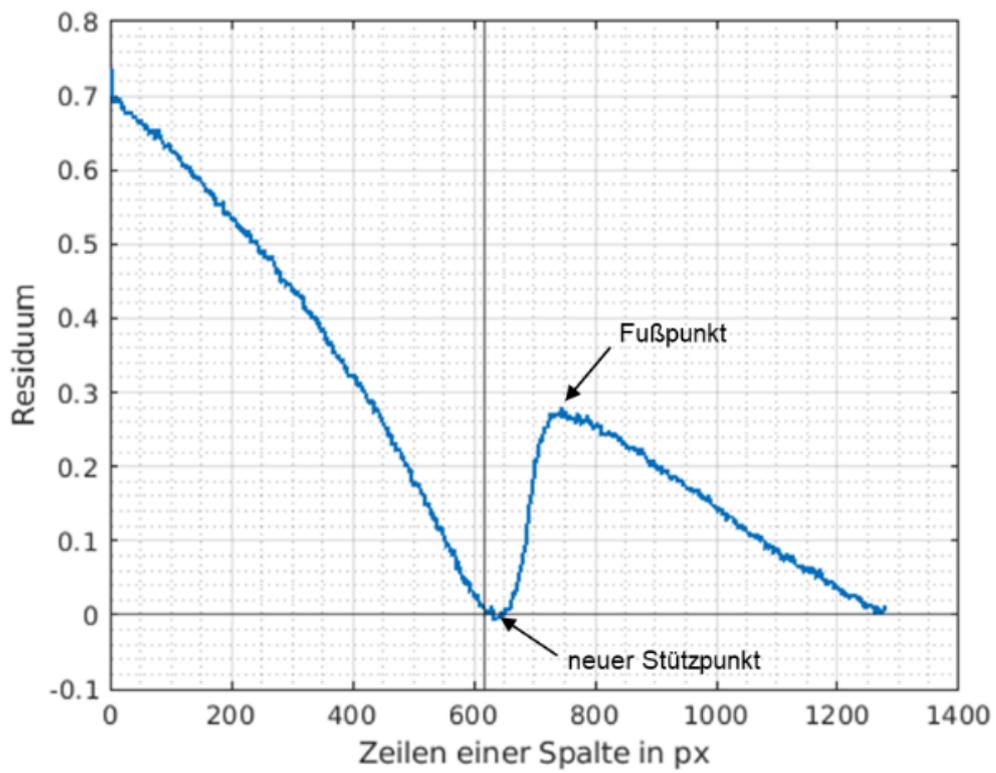
Figur 3



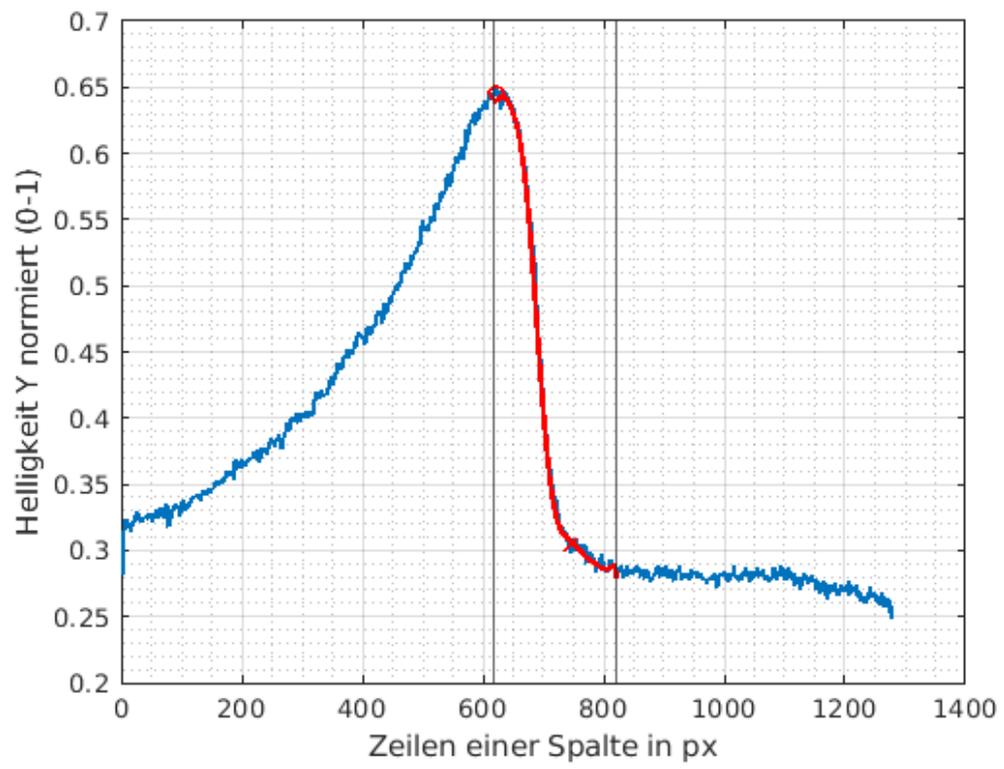
Figur 4



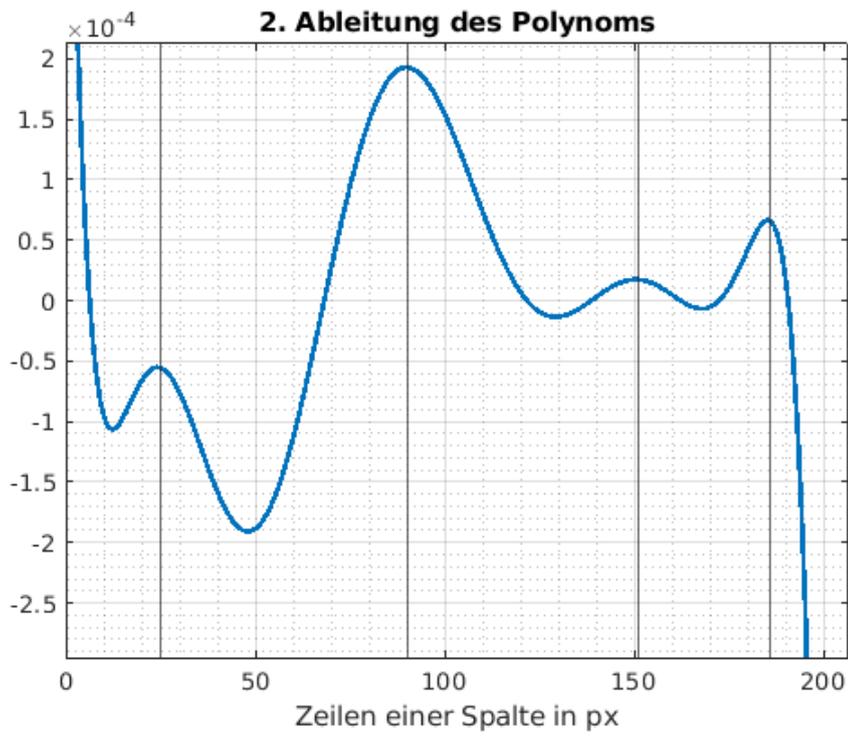
Figur 5a



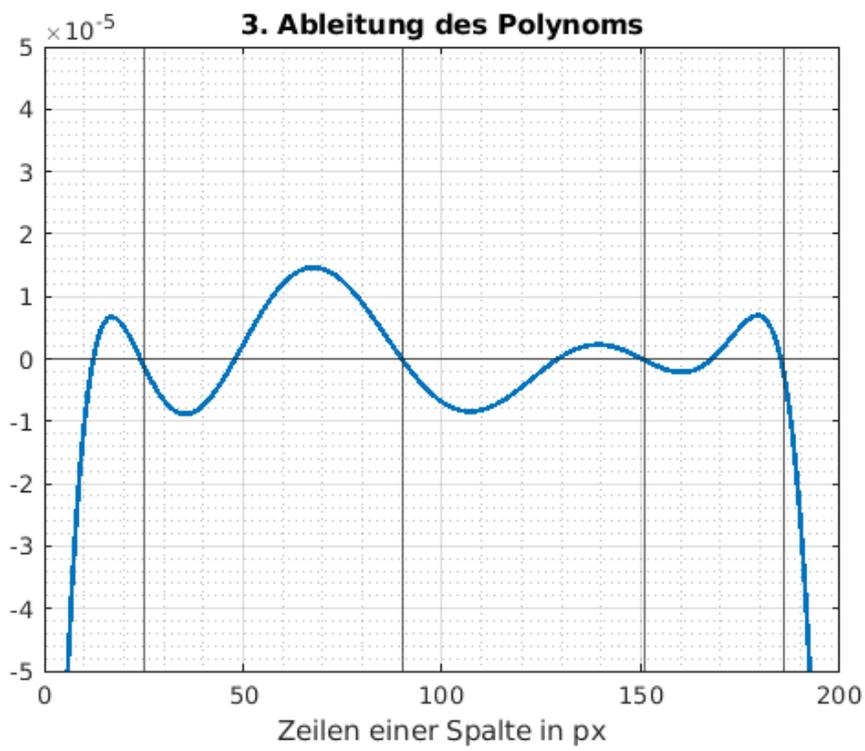
Figur 5b



Figur 6



Figur 7a



Figur 7b

Verfahren zur Ermittlung des Knickpunkts

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Knickpunkts (KP, engl. kink point), beispielsweise eines von einem Lichtkegel eines Scheinwerfer erzeugten Bildes auf einer Projektionsfläche. Zudem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur dynamischen Prüfung
5 der Scheinwerfereinstellung, z. B. von Scheinwerfern eines Kraftfahrzeugs, beispielsweise eines Personen- oder Lastkraftwagens, welches ein Ermitteln des Knickpunkts gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren umfasst.

Die vorgeschlagenen Verfahren können insbesondere computerimplementiert durchgeführt werden. Die Verfahren kann für ein oder mehrere Scheinwerfer zeitgleich
10 oder zeitlich überlappend durchgeführt werden.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Ermittlung des Knickpunkts. Die Vorrichtung kann z. B. als Messwerkzeug, Prüfwerkzeug und/oder Einstellwerkzeug ausgebildet sein, welches optional auch zur Datenerfassung und/oder Datenverarbeitung genutzt werden kann. Diese Vorrichtung weist Mittel auf, mit denen eines der vorstehend
15 beschriebenen Verfahren ausgeführt werden kann. Optional kann die Vorrichtung eine oder mehrere Kameras zur Aufzeichnung eines von einem Scheinwerfer erzeugten Bildes, Mittel zur Datenerfassung und/oder Mittel zur Erfassung der Position des Fahrzeugs aufweisen. Weiter optional kann die Vorrichtung ein oder mehrere Sensoren aufweisen, wobei in einer Ausführungsvariante keine Sensoren zur Kompensation des
20 Fremdlichteinflusses vorhanden sind.

Die beschriebenen Verfahren und Vorrichtungen können im Rahmen einer Fahrzeugzustandsuntersuchung, wie z. B. einer vorgeschriebenen regelmäßigen Hauptuntersuchung, eingesetzt werden. Sie ermöglichen die einfache, zuverlässige und schnelle Prüfung der korrekten Funktionsfähigkeit der Scheinwerfer eines Fahrzeugs.

25 Ebenso können die beschriebenen Verfahren und Vorrichtungen zur Scheinwerfereinstellung verwendet werden. Beispielsweise kann sich an eine (Über)prüfung der Scheinwerfereinstellung eine Änderung der Scheinwerfereinstellung und ggf. ein erneutes Prüfen anschließen, z. B. um eine nicht korrekte Scheinwerfereinstellung zu korrigieren.

30 Weiterhin betrifft die Erfindung ein Computerprogramm, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, eines dieser

Verfahren auszuführen, einen computerlesbarer Datenträger, auf dem dieses Computerprogramm gespeichert ist und ein Datenträgersignal, das dieses Computerprogramm überträgt.

5 Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Knickpunkts, welches nachfolgend näher erläutert wird.

Die zur Erläuterung des vorgeschlagenen Verfahrens dienende nachfolgend dargestellte Präsentation enthält im ersten Kapitel die Analyse der bisherigen Verfahren zur Scheinwerferausrichtung und einen bei der Typgenehmigung verwendeten Bezugspunkt. Es folgt eine Abstraktion der Methoden und eine darauf aufbauende Ableitung der neuen
10 Definition zur Bestimmung des Knickpunktes. Das zweite Kapitel thematisiert das Anfangsproblem bei einer computergestützten Bestimmung des Knickpunktes und erarbeitet eine Methode zur Vorhersage von relevanten Punkten. Im dritten Kapitel erfolgt eine Erweiterung der Knickpunktdefinition, wodurch die Adaptionfähigkeit des Verfahrens gesteigert wird.

15 1. Ableitung und Definition des Knickpunktes

Folie 2 zeigt eine Zusammenstellung der bekannten Methoden zur Knickpunktbestimmung, die Methode 0,2° D und die Methode mit den drei Linien, und den BR-Punkt.

20 Der BR-Punkt ist aus der Abbildung A4-V der ECE-R149 entnommen und stellt neben der gegebenen Form des ansteigenden Teils der Hell-Dunkel-Grenze (HDG, in den Folien dargestellt durch eine dick gezeichnete dunkelblaue Linie) den einzigen gegebenen Referenzpunkt zur Messung der Lichtstärke in diesem Bereich dar. Der BR-Punkt befindet sich 1° oberhalb der HH-Linie (1° U; U = up) und 2,5° rechts der VV-Linie (2,5° R; R = right).

25 Die Methode 0,2° D ist das Standardverfahren in der Homologation bei der photometrischen Vermessung von Scheinwerfern. Es dient dazu während der Homologation den Scheinwerfer für photometrische Messungen auf dem Photogoniometer auszurichten. Dazu ist 2,5° links neben der VV-Linie (2,5° L; L = left) eine Abtastlinie („Line for vertical aiming“) definiert. Die Position der HDG auf dieser Linie
30 entspricht der vertikalen (hoch-runter) Ausrichtung des Scheinwerfers. Die horizontale (links-rechts) Ausrichtung des Scheinwerfers ist bei waagerechter Bestimmung durch die

Lage der HDG auf der Linie $0,2^\circ$ unter der HH-Linie ($0,2^\circ$ D; D = down) definiert. Der Scheinwerfer, und damit die HDG, ist so auszurichten, dass der Schnittpunkt der HDG auf der Linie $0,2^\circ$ D ebenfalls einen Schnittpunkt mit der Linie $0,5^\circ$ rechts der VV-Linie ($0,5^\circ$ R; R = right) ergibt. Für den Knickpunkt selbst ist in der ECE-R149 lediglich ein Bereich von $\pm 0,5^\circ$ um die VV-Linie vorgesehen (ECE-R149, Anhang 5, 1.2.2.c). Demnach fehlt eine eindeutige Definition des Knickpunkts.

Die Methode mit den drei Linien bedient sich zur vertikalen Lagebestimmung der HDG des identischen Verfahrens wie die Methode $0,2^\circ$ D. Es wird eine einzelne Linie $2,5^\circ$ links der VV-Linie abgetastet und die HDG bestimmt. Die Lage der HDG entspricht der vertikalen Einstellung des Scheinwerfers. Zur horizontalen Lagebestimmung erfolgen auf den Linien 1° , 2° und 3° rechts der VV-Linie (1° R, 2° R, 3° R; R = right) drei vertikale Abtastungen. Die Lage der HDG auf diesen Linien dient als Ankerpunkt einer folgenden Geradenbestimmung. Die in der Abbildung rot-gestrichen dargestellte Linie ist eine auf diesen Ankerpunkten approximierende Gerade. Der Schnittpunkt zwischen der Approximierten und der gedachten horizontalen Lage der vertikalen Ausrichtung soll der Knickpunkt sein. Dieses aus der ECE-R149 übernommene Beispiel zeigt, dass diese Definitionen für eine Bestimmung der Knickpunktlage für einige Formen der HDG ungeeignet ist.

Folie 3 soll die eben vorgestellten Methoden und Punkte aus der Sichtweise der Anmelderin interpretieren und Schlussfolgerungen für einen möglichen Algorithmus erarbeiten.

Vertikale Ausrichtung: Aus methodischer Sicht ist eine Abtastung einer einzelnen Linie prozesstechnisch mit großen Unsicherheiten verbunden. Bereits geringe Unsicherheiten dieser einzelnen Messungen wirken direkt und unvermindert auf die Gesamtunsicherheit des Messergebnisses ein. Demnach ist es mit geringerer Unsicherheit verbunden, wenn mehrere Punkte oder ein größerer Bereich das Ergebnis bestimmen.

Methode $0,2^\circ$ D: Dieses Verfahren beinhaltet die bereits diskutierte Definitionslücke des Knickpunkts. Jedoch liefert diese Methode zwei wesentliche Punkte. Zum einen ist die Linie $0,2^\circ$ D definiert. Diese Linie fand demnach bei der Auslegung von bereits im Feld befindlichen Scheinwerfern Berücksichtigung. Daher kann eine Einbindung dieser Linie in die neue Definition von Vorteil sein. Zum anderen erfolgt in der Methode $0,2^\circ$ D eine horizontale Abtastung und Lagebestimmung der HDG. Beide Details, die Linie selbst und

die horizontale Lagebestimmung der HDG, können als Grundlage für ein neues Verfahren dienen.

5 Methode mit den drei Linien: Wie die vorherige Folie gezeigt hat, ist das Ergebnis der Knickpunktbestimmung inakzeptabel. Jedoch ist die Abtastung von mehreren Punkten und eine daraus folgende Approximation einer Geraden eine weitere Grundidee für eine neue Definition.

10 BR-Punkt: Der BR-Punkt selbst hat keinen Einfluss auf die Hell-Dunkel-Grenze. Es handelt sich jedoch um den höchsten definierten Punkt innerhalb des Abblendlichtbündels nach ECE-R149. Demnach fand auch dieser Punkt bei der Auslegung von bereits im Feld befindlichen Scheinwerfern Berücksichtigung.

15 Folie 4 beschreibt die Erweiterung der Definition für die vertikale Bestimmung der Scheinwerfereinstellung. Ausgangspunkt ist die Linie $2,5^\circ$ links der VV-Linie. Zur Steigerung der Robustheit der Lagebestimmung erfolgt eine Bereichsdefinition um die gegebene Linie $2,5^\circ$ L. Die ECE-R149 gibt an, dass die Scheinwerfer in einem Bereich von $\pm 5^\circ$ links und rechts der VV-Linie zu beurteilen sind. Diese Grenze dient als Ausgangspunkt, um die Ausdehnung des Betrachtungsbereichs zwischen 5° links der VV-Linie und der VV-Linie selbst festzulegen. Die Erfahrung bei der Auswertung von Scheinwerferlichtbildern hat gezeigt, dass eine Betrachtung bis zur Definitionsgrenze hin mit Unsicherheit in den Randbereichen verbunden ist. Dabei sind explizit der linke und rechte Randbereich genannt. Aus diesem Grund ist die Verkürzung des Bereichs durch eine Toleranzmarge sinnvoll. Die Erfahrung zeigt, dass eine Reduktion von $0,5^\circ$ an beiden Rändern sinnvoll ist. Demnach ist der Bereich, der für die Bestimmung der vertikalen Einstellung dienlich ist, auf $4,5^\circ$ bis $0,5^\circ$ links der VV-Linie definiert. Eine Anpassung der Toleranzmarge ist jederzeit möglich. Die Bestimmung des Einstellwerts erfolgt vorzugsweise durch eine Approximation einer Geraden an die Datenpunkte im Bestimmungsbereich. Diese empfindet den Verlauf der HDG am geeignetsten nach und ergibt später einen genaueren Knickpunkt. Ebenso ist eine Median- oder Mittelwertbildung im Bereich denkbar.

30 Folie 5 diskutiert die horizontale Einstellung des Scheinwerfers. Die Bestimmung der horizontalen Einstellung des Scheinwerfers ist bislang die größere Herausforderung bei der Auswertung des Lichtbilds und der HDG. Zur Erarbeitung einer geeigneten Definition zur horizontalen Lagebestimmung erfolgt eine Zusammenfassung der erarbeiteten Ideen.

Es existiert in der ECE-R149 der BR-Punkt als bekannte und etablierte Referenz. Es besteht die Möglichkeit durch horizontale Abtastung die Lage der HDG zu bestimmen. Darüber hinaus ist die Linie $0,2^\circ$ D unterhalb der HH-Linie als bekannte und etablierte Referenz verfügbar. Und abschließend ist es möglich, mehrere Linien abzutasten um aus
5 den HDG-Punkten eine Gerade zu approximieren und daraus den Knickpunkt zu bestimmen. Aus diesen Anhaltspunkten erfolgt die Ableitung einer neuen Knickpunktdefinition.

Die Bestimmung des ansteigenden Teils der HDG erfolgt durch die Abtastung von drei horizontalen Linien. Dabei entspricht die untere Linie der Linie $0,2^\circ$ D und die obere Linie
10 der vertikalen Lage des BR-Punktes $1,0^\circ$ U. Die dritte Linie befindet sich in der Mitte zwischen den beiden Äußeren bei der Position $0,4^\circ$ U ($0,4^\circ$ oberhalb der HH-Linie). Im nächsten Schritt erfolgt eine Approximation einer Geraden anhand der Schnittpunkte zwischen den drei horizontalen Linien und der HDG. Diese Gerade bildet den
15 ansteigenden Teil der HDG durch eine Annäherung ab. Mit den berechneten Geraden ist eine Konstruktion des Knickpunktes möglich. Der Knickpunkt ist definiert als Schnittpunkt zwischen der Geraden des horizontalen Teils (aus Folie 4) und der approximierten Geraden der drei horizontalen Linien. Dabei ist es nicht zwingend notwendig, dass der Knickpunkt einen Punkt auf der HDG einnimmt. Ziel bei der Einstellung der Scheinwerfer ist es, den Zielkonflikt zwischen ausreichender Ausleuchtung des Umfelds bei gleichzeitig
20 geringstmöglicher Blendung zu lösen. Die approximierten Geraden vom horizontalen und ansteigenden Teil der HDG idealisieren den Verlauf der HDG und bilden damit die für Blendung relevanten Charakteristika (Lage Horizontalteil und Lage ansteigender Teil) ab. Die Einstellung anhand des konstruierten Knickpunkts ermöglicht aus Sicht des Autors eine Auflösung des Zielkonflikts. Es erfolgt eine Einstellung auf für die Blendung relevante
25 Bestandteile der HDG, wobei etwaige Randeffekte, wie beispielsweise ein unscharfer Knickpunkt, weniger stark im Ergebnis gewichtet werden. Darüber hinaus weist diese Methode einen weiteren Vorteil auf: Die horizontale Abtastung der HDG ist gegenüber der vertikalen Abtastung unabhängig vom Anstiegswinkel zwischen horizontalem und ansteigendem Teil der HDG. Bei großen Anstiegswinkeln besteht nicht die Gefahr, dass
30 eine Abtastgerade nicht mehr im ansteigenden Teil liegt.

2. Vorhersage des Knickpunkts

Die vorhergehenden Folien zeigten die Lösung eines akademischen Problems bei gegebenen VV- und HH-Linien. Da eine Überführung des Algorithmus in ein

automatisches Computerprogramm angestrebt ist, muss das Anfangsproblem der VV-Lage gelöst werden. Folie 7 illustriert daher die Vorhersage des Knickpunkts mittels einer Hilfslinie.

5 Per Definition liegt der Knickpunkt bei korrekter Einstellung auf der VV-Linie. Somit ist zunächst eine Vorausbestimmung, eine Prädiktion, des Knickpunkts notwendig. Gegeben ist ausschließlich die definierte aber dennoch mannigfaltige Form der HDG. Sie besteht aus einem horizontalen Teil links und einem ansteigenden Teil rechts der VV-Linie. Dabei kann der ansteigende Teil einen gleichmäßigen geraden Verlauf annehmen oder wieder zu einer Horizontalen abknicken. Zur Bestimmung des prädiktierten Knicks erfolgt eine
10 Konstruktion einer Hilfsgeraden.

Die untere Stützstelle ist definiert durch den mittleren Minimumwert der verfügbaren HDG-Punkte und der Lage am linken Bildrand. Dafür erfolgt eine aufsteigende Sortierung der HDG-Punkt-Positionen und eine Mittelwertbildung der ersten n Werte. Die Anzahl n ist bestimmt durch die Auflösung des Messsystems und korrespondiert zu der Anzahl der
15 HDG-Punkte die der Länge von 1° entsprechen. Diese Methode liefert eine robustere vertikale Position der unteren Stützstelle. Die horizontale Position der unteren Stützstelle ist als linker Rand der Datenlinie definiert. Der Abzug einer Toleranz von $0,5^\circ$ vermeidet unscharfe Randeffekte der HDG.

Die obere Stützstelle ist definiert durch das globale Maximum der vertikalen HDG-Punkt-
20 Positionen und dem rechten Datenrand. Hier erfolgt ebenfalls ein horizontaler Toleranzabzug von $0,5^\circ$ zur Vermeidung von Randeffekten.

Beide Stützstellen sind konstruiert und müssen keine Lage auf der HDG-Grenze einnehmen.

Anhand der Stützstellen erfolgt die Konstruktion der Hilfsgeraden. Von dieser aus findet,
25 wie in Folie 8 gezeigt, eine Subtraktion der HDG von der Hilfsgeraden statt und ergibt das Residuum als Ergebnis. Bei der Auswertung der Residuen wird das Maximum gesucht, welches dem größten Abstand zwischen der HDG und der Hilfsgeraden entspricht. Der prädiktierte Knickpunkt ist der Schnittpunkt der Geraden, die senkrecht zur Hilfslinie verläuft, mit der HDG.

30 Folie 9 zeigt den Fall, dass die HDG nach dem ansteigenden Teil (Schulterteil nach ECE-R149) wieder in die Horizontale abknickt. In diesem Fall ist bei einer weiteren

Überprüfung eine verbesserte Vorhersage möglich. Das Minimum im Residuum stellt bei gleicher Auswertemethode wie beim Maximum den Schulterpunkt (top edge) der HDG dar. Der neue obere Stützpunkt der Hilfsgeraden ist der Schulterpunkt der HDG. Das führt zu einem steileren Anstieg der Hilfsgeraden und damit zur genaueren Prädiktion des Knicks. Ein iterativer Prozess (siehe Folie 10) führt zur Konvergenz des prädiktierten Knickpunkts. Ist diese erreicht, ist der optimale prädiktierte Knick und der mögliche Schulterpunkt der HDG des Scheinwerfers berechnet. Bei HDGs, die einen gleichmäßigen ansteigenden Teil, ohne Abknicken zur Horizontalen besitzen, entspricht der Schulterpunkt der ursprünglichen oberen Stützstelle.

10 3. Erweiterung der Definition

Bei einigen Scheinwerfern ist der Schulterteil der HDG nicht stark ausgeprägt. Das kann bei der in Folie 5 beschriebenen Methode zur Knickpunktbestimmung zu einer unplausiblen Bestimmung führen (siehe Folie 12). Dabei liegt die obere oder die zwei oberen Abtastlinien nicht mehr innerhalb des vom Lichtbild eingeschlossenen Bereichs. Zur Lösung des Problems ist die Verwendung des Schulterpunkts als Skalierungspunkt denkbar, wie in Folie 13 gezeigt. Die untere Abtastungslinie, die der Linie $0,2^\circ$ D entspricht, bleibt starr und dient ebenfalls als Skalierungspunkt. Die mittlere Linie liegt nach der Skalierung definitionsgemäß mittig zwischen oberer und unterer Abtastungslinie. Es folgt eine Skalierung der oberen beiden Abtastungslinien in dem Verhältnis, dass die obere Linie $0,1^\circ$ unterhalb des Schulterpunktes liegt. Die gewählte vertikale Toleranz von $0,1^\circ$ soll sicherstellen, dass die obere Abtastungslinie nicht im Krümmungsbereich der HDG liegt und somit zuverlässig zur Approximation des ansteigenden Teils beiträgt.

Bei besonders geringfügig ausgeprägten Schulterteilen der HDG kann zusätzlich eine Skalierung der bisher starren unteren Abtastlinie erforderlich werden. In diesem Fall dient die approximierete Gerade aus der Bestimmung der vertikalen Ausrichtung als ein Ausgangspunkt der Skalierung. Die Stauchung erfolgt so, dass alle drei Linien gleichmäßig skaliert werden. Außerdem ist es bei diesem Verfahren möglich, dass die approximierete des Horizontalteils nicht waagrecht ist und einen Winkel aufweist. In diesem Fall kann die Konstruktion der drei Abtastlinien für den Schulterteil parallel zur Geraden des Horizontalteils erfolgen.

Zusätzlich zur Skalierung ist es möglich, zur Verbesserung der Annäherung der Geraden den gesamten Bereich zwischen oberer und unterer Abtastlinie zur Approximation zu

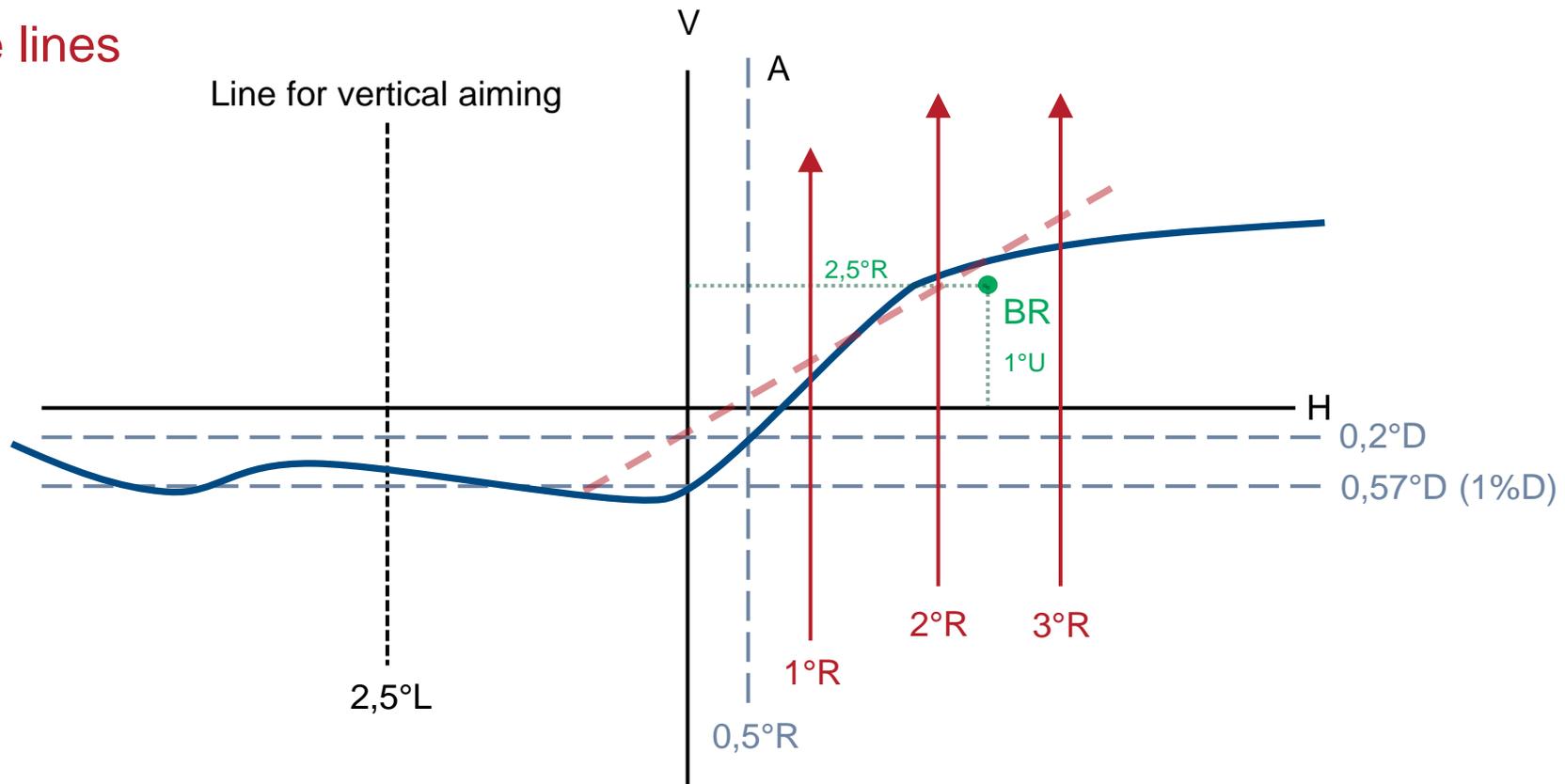
verwenden.

1 Derivation and definition of the kink point

Derivation and definition of the kink point

What is given in ECE-R 149, et al.?

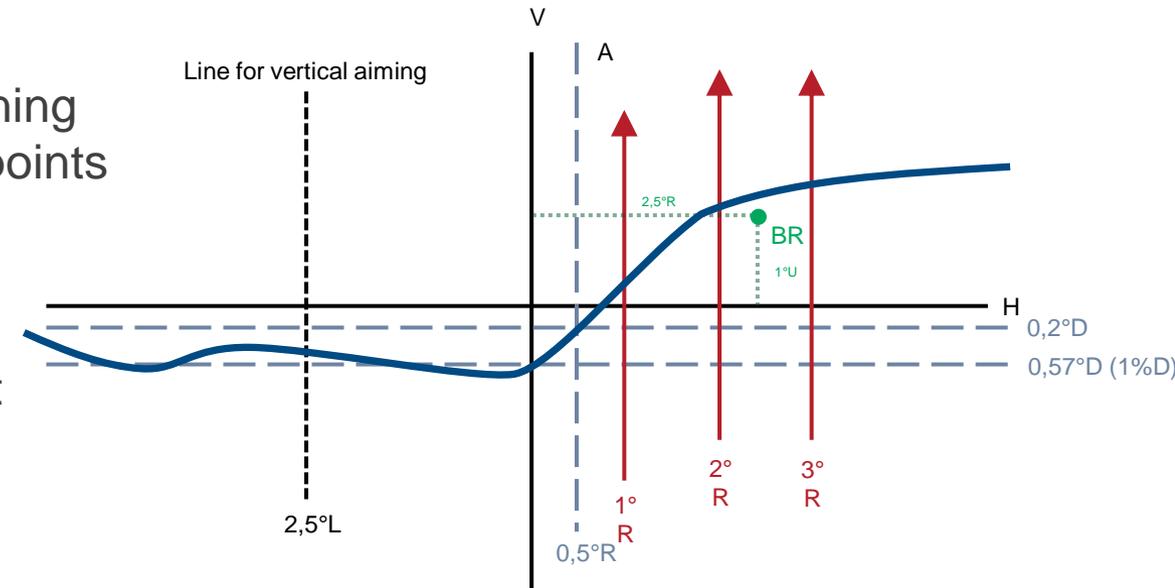
- Method 0.2°D
- Method three lines
- BR Point



Derivation and definition of the kink point

Evaluate the existing

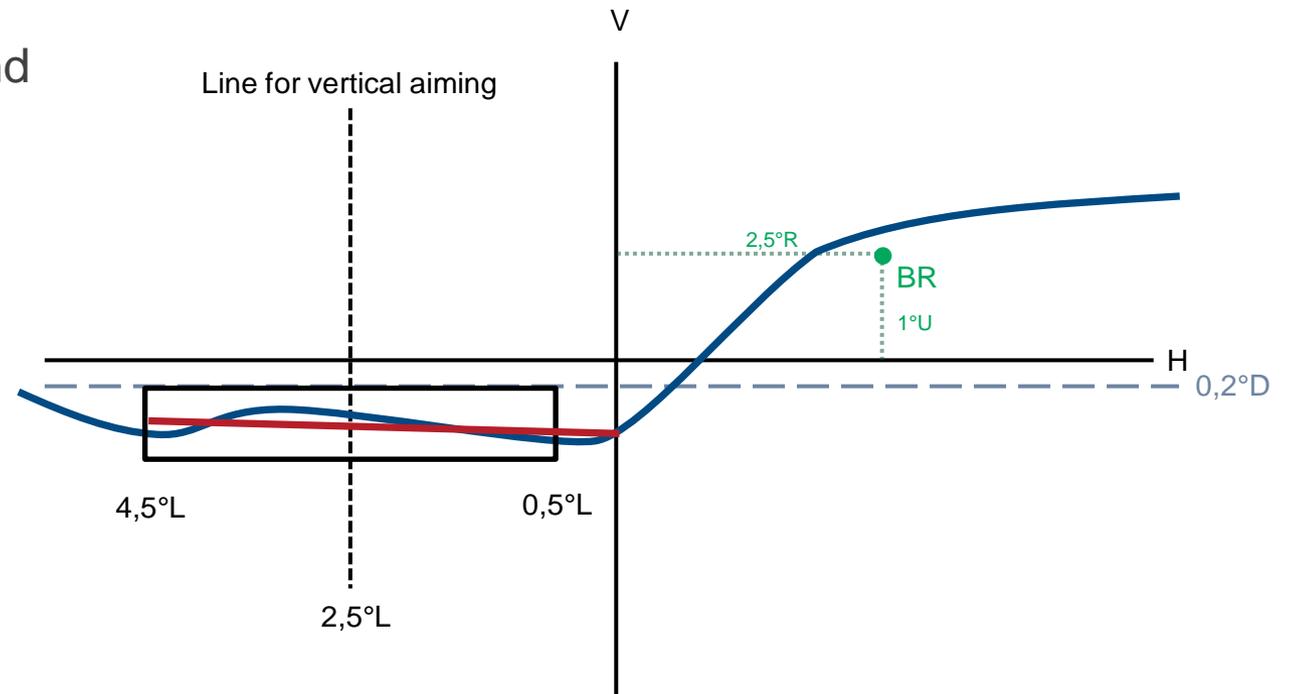
- Vertical aiming
 - A single measurement point is less robust for determining vertical aiming → use an area and regress the cutoff points within the area
- Method 0.2°D
 - Known gap in the definition, but horizontal scanning at 0.2°D could be a useful boundary and method
- Method three lines
 - Delivers an unacceptable result in this example, but it is a good idea to regress several points to get an approximation of an area
- BR Point
 - Has no effect on the cutoff, but it is the last known upper point inside the low beam pattern



Derivation and definition of the kink point

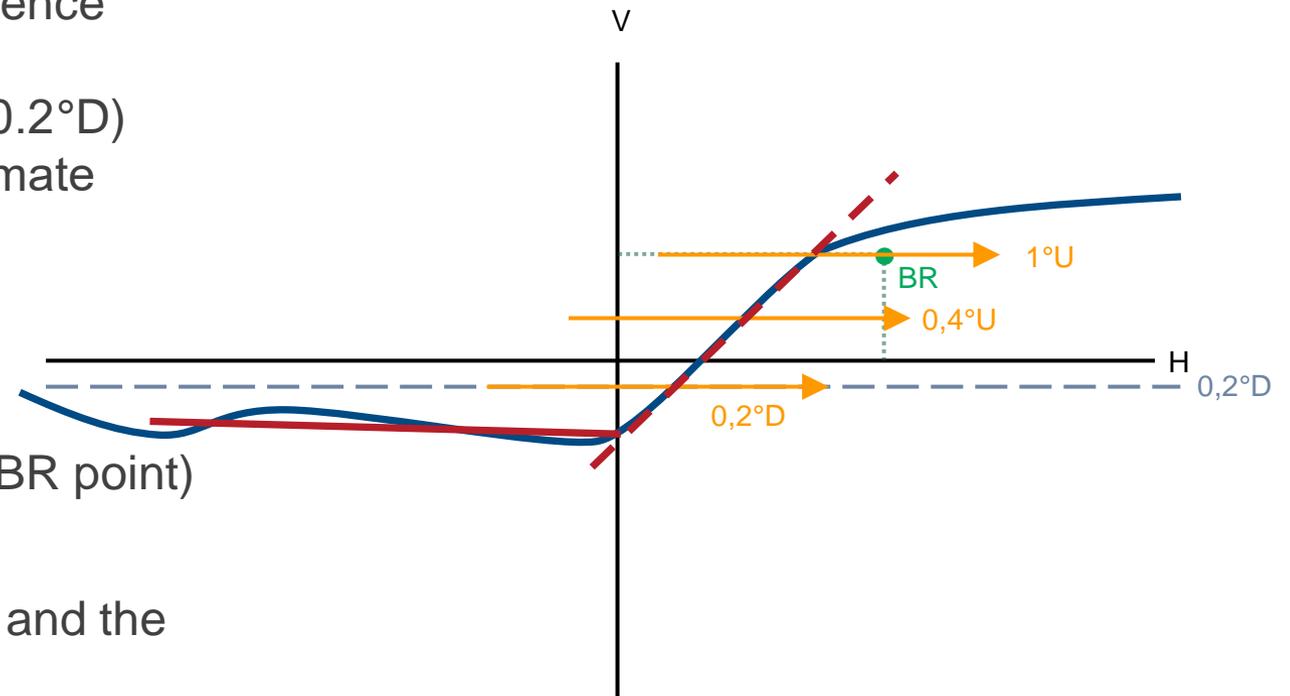
- Vertical aiming
 - A single measurement point is less robust for determining vertical aiming → use an area and regress the cutoff points within the area
- What is given?
 - We need to assess the 5° area around VV

→ We could define a area inside the 5° with a tolerance margin of e.g. 0.5° and make a robust regression to approximate the horizontal part



Derivation and definition of the kink point

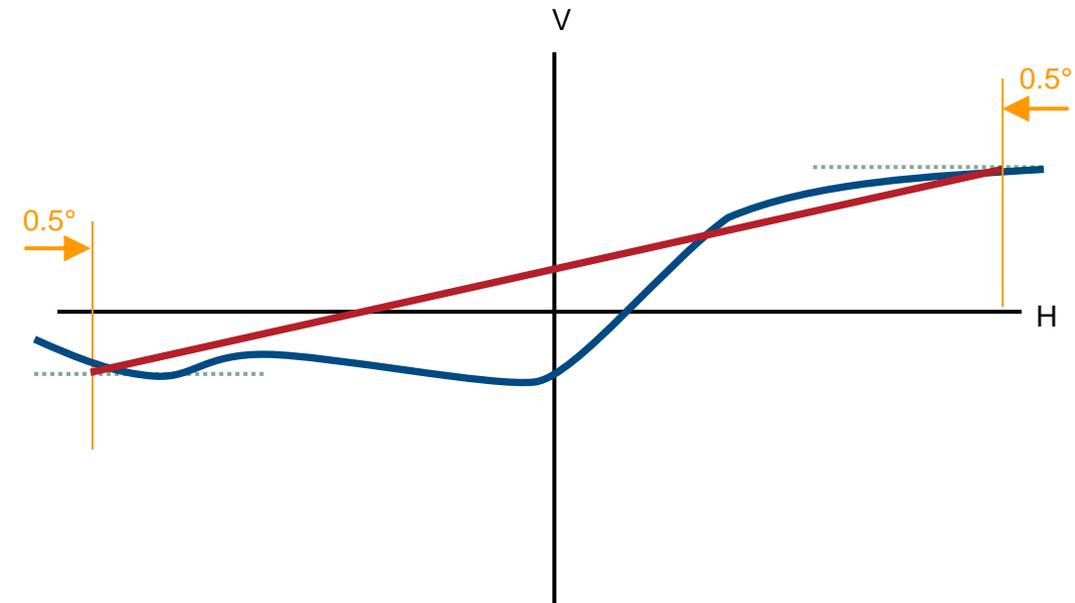
- Horizontal aiming
 - We have:
 - ... the $0,2^{\circ}\text{D}$ and the BR point as known reference points
 - ... the idea of scanning horizontally (method 0.2°D)
 - ... the idea to scanning three lines to approximate the elbow part of the cutoff
- What we can do?
 - We can scan lines horizontally
 - Two lines are actually given: 0.2°D and 1°U (BR point)
 - The third line could be the middle one
 - Use the intersection points between the scan and the cutoff to approximate the elbow part
 - Intersection between horizontal and vertical regression is the kink point



2 Prediction of the kink point

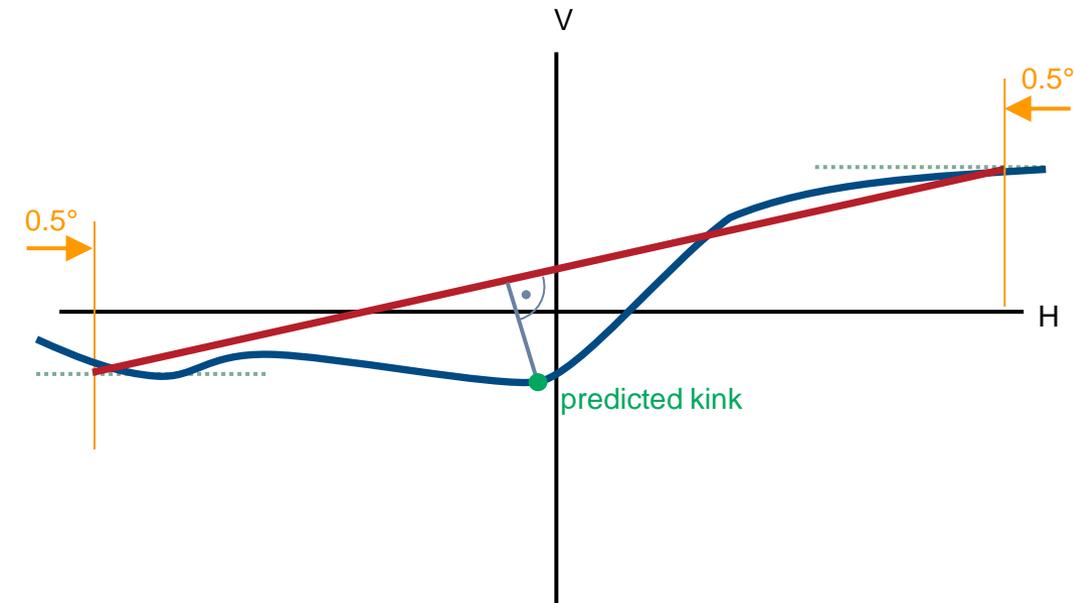
Prediction of the kink point

- Predict the kink point by a auxiliary line
 - Find the averaged minimum value (by sorting the coordinates ascending and means the amount of values, which correspond to one degree [median is also possible]) → provides a robust lower support point
 - Find the global maximum of the cut-off line as the upper support point
 - Projection of the support points to the edges of the cut-off includes a 0.5° tolerance on both sides to avoid blurring around the edges.
 - Calculation of a linear through the support points



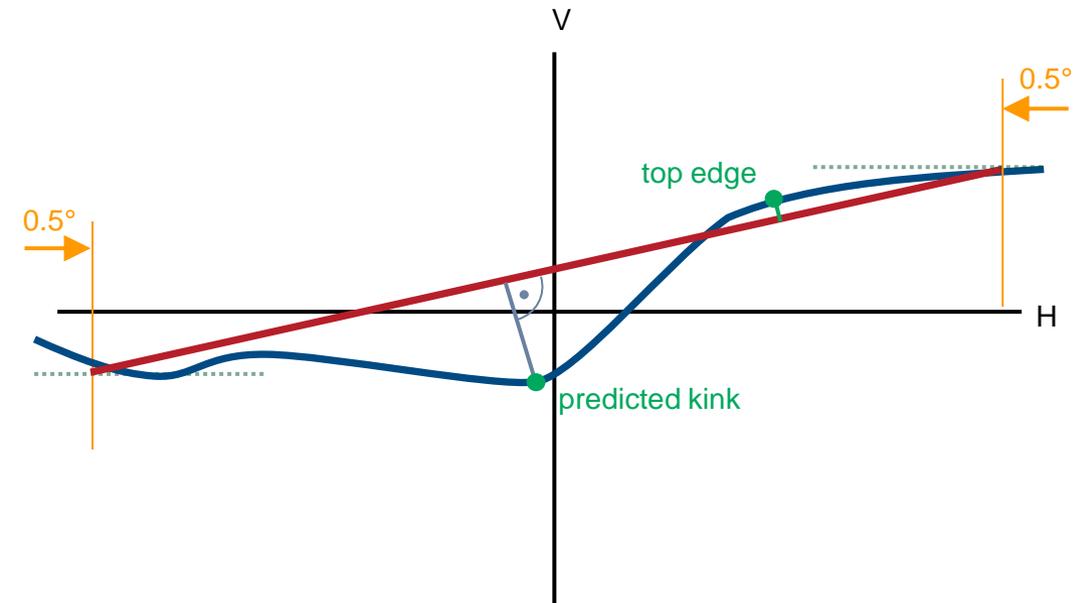
Prediction of the kink point

- Predict the kink point by a auxiliary line
 - Calculate the residual distance between the auxiliary line and the cut-off
 - By evaluating the residual, the maximum is sought at right angles, corresponding to the greatest distance between the cut-off and the auxiliary line.
 - The predicted kink point is the intersection of the straight line perpendicular to the auxiliary line and the cut-off.



Prediction of the kink point

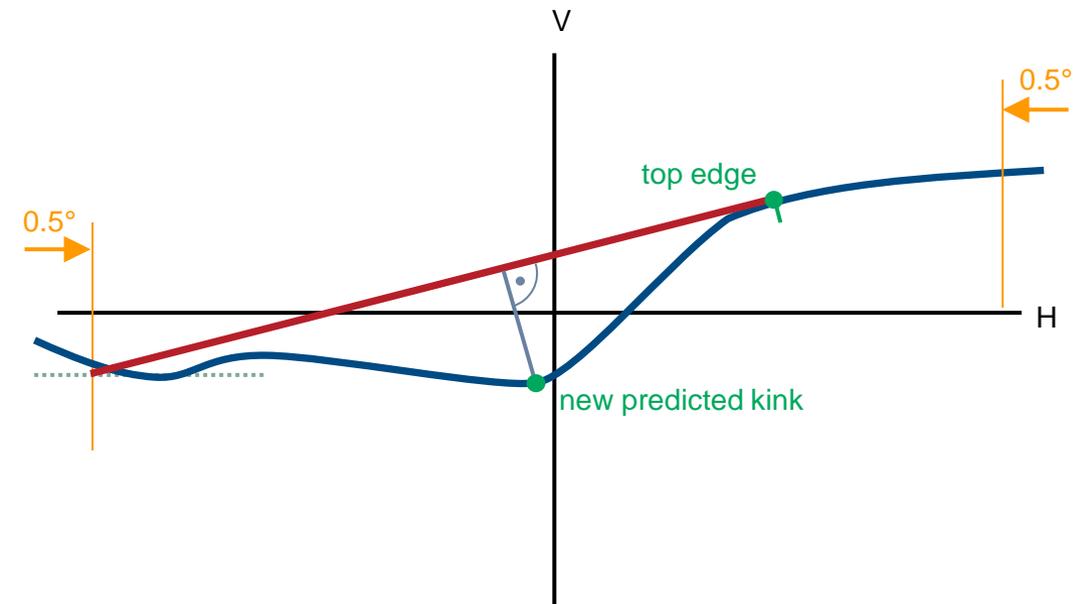
- Improved prediction in the event that the headlight has a re-flattening cut-off
 - Check iteratively whether the auxiliary line has a significant minimum below zero, if so, find the maximum perpendicular distance below zero in the residual: the top edge (shoulder part in ECE-R 149, et al.)



Prediction of the kink point

- Improved prediction in the event that the headlight has a re-flattening cut-off
 - Check iteratively whether the auxiliary line has a significant minimum below zero, if so, find the maximum perpendicular distance below zero in the residual: the top edge (shoulder part in ECE-R 149, et al.)
 - new calculation of the auxiliary line with the top edge as the new support point
 - Re-determination of the predict kink as already described

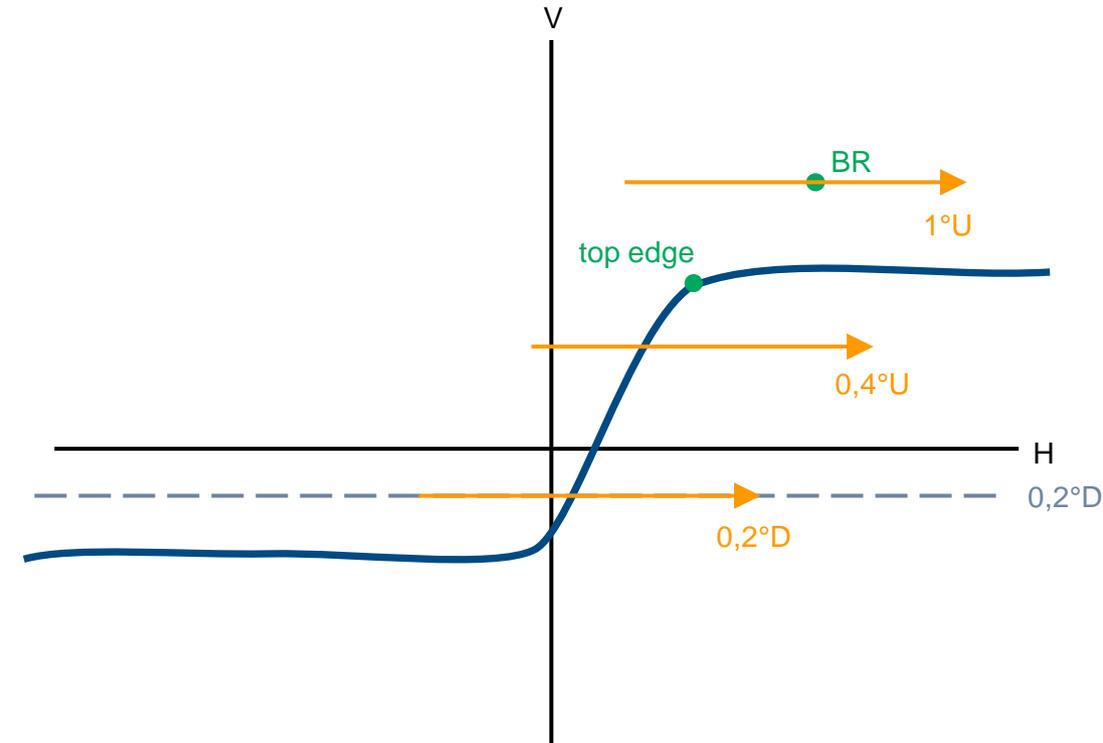
→ Predicted kink is the starting point for the calculation of the “real” kink



3 Extension of the definition

Extension of the definition

- Extension of the kink point method
 - In some cases the shoulder part of the cut-off line is not very pronounced. This is expressed by the cut-off line not reaching the BR point and being below it
 - In this case, the calculation rule used would produce implausible solutions and an incorrect kink point
- To solve the problem, the top edge is used as the scaling point



Extension of the definition

■ Extension of the kink point method

- In some cases the shoulder part of the cut-off line is not very pronounced. This is expressed by the cut-off line not reaching the BR point and being below it
- In this case, the calculation rule used would produce implausible solutions and an incorrect kink point

→ To solve the problem, the top edge is used as the scaling point

- A tolerance distance of e.g. 0.1° can be added to the height in order to exclude any inaccuracy in recognising the top edge
- The line $0.2^\circ D$ is static and is used as the lower scaling point
- For a better result, it could be possible to include all the cut-off points between the upper and lower horizontal scans to approximate the regression

