

Anwendbarkeit von Kontrast-basierten Erkennbarkeitskriterien auf die Methode der geometrischen Verkürzung

M. Marutzky, B. Kleinert, M. Seer, S. Bogdanow; IAV GmbH, Rockwellstr. 3, 38518

Gifhorn

Kurzfassung

Nachfolgend werden kontrastbasierte Kriterien für die Erkennbarkeitsentfernung auf die Methode der geometrischen Verkürzung angewandt. Letzteres ist ein Verfahren zur schnellen Erfassung von Scheinwerferlichtverteilungen. Es wird die Leuchtdichte aus Sicht des Fahrers auf verschiedenen trockenen und nassen Straßenbelägen betrachtet. Der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Leuchtdichten und den Erkennbarkeitsentfernungen zeigt ein interessantes Verhalten.

Einleitung

In der Kfz-Außen- und Innenbeleuchtung gab es in den letzten Jahren viele bedeutende Entwicklungen, was auch Herausforderungen an die messtechnische Bewertung stellt. Um die Fahrzeugbeleuchtung am Fahrzeug mit ihren neuen Möglichkeiten photometrisch zu prüfen und bewerten, wurden in der Licht- und Fahrerassistenzhalle von IAV Bewertungsmethoden für Displays, Signalleuchten, ambiente Beleuchtung, aber auch Scheinwerfer umgesetzt [1]. Aufgrund der hohen Messgeschwindigkeit und der Möglichkeit, die Messung direkt am Fahrzeug durchführen zu können, wird dort die Bewertung dynamischer Scheinwerfer in hoher Genauigkeit Leuchtdichte-kamerabasiert an Messschirmen nach [2] durchgeführt. Wenn jedoch tatsächlich das Fahrzeug zur Hand ist, um an ihm die Lichtbewertung direkt durchzuführen, liegt der Wunsch nahe, sich auch sofort einen Eindruck von der Lichtverteilung der Scheinwerfer „auf der Straße“ zu verschaffen. Nun sind Fern- und Abblendlicht in Breite und Länge räumlich sehr ausgedehnt. Um unter wiederholbaren Bedingungen messen zu können, ist ein geschlossener Raum notwendig. Manz [3] schätzt die notwendige Größe dieses Raumes auf etwa 50m x 150m, womit eine Halle dieses Ausmaßes wirtschaftlich schwierig darstellbar ist. Hier kann die Methode der geometrischen Verkürzung helfen. Mit ihr erhält man direkt am Fahrzeug gemessen die Beleuchtungsstärkeverteilung auf dem Untergrund. Viele Bewertungsverfahren, auch das generalisierte von der TC4-45 vorgeschlagene [4], nehmen die Beleuchtungsstärkeverteilung als Gegenstand.

Der Prüfer sieht und misst die Lichtverteilung in einem wiederholbaren, aber abstraktem Umfeld. Im nächsten Schritt kann man sich also fragen, welche Leuchtdichtenverteilungen der Fahrer in realen Umgebungen wahrnimmt und wie sich die Erkennbarkeit von Objekten in verschiedenen realen Umgebungen verhält. Hier liefert dieser Beitrag einen Lösungsansatz.

Die Methode der geometrischen Verkürzung

Die Methode der geometrischen Verkürzung wurde in [5, 6] ausführlich vorgestellt und bezüglich ihrer Genauigkeit, Grenzen und Potentiale diskutiert. In [7] findet sich außerdem eine Betrachtung im Vergleich zu Messungen am Fernfeld-Goniophotometer im Hinblick auf die Anwendung des photometrischen Entfernungsgesetzes. Daher wird hier die Methode nur sehr kurz dargestellt.

Die Strahlen im Bereich der Hell-Dunkel-Grenze des Abblendlichts treffen bei Vorliegen einer typischen Anbauhöhe von 0,65m und der vorgeschriebenen Neigung der Hell-Dunkel-Grenze von 1% bei etwa 65m auf die Straße. Wenn nun der Scheinwerfer genau definiert um 1° nach unten verkippt wird, treffen diese Strahlen bereits in 24 m auf den Untergrund. Diese verkürzte Leuchtdichteverteilung wird kamerabasiert auf dem wohldefinierten Messuntergrund erfasst und anschließend in die Beleuchtungsstärkeverteilung in Einbauposition umgerechnet, Abb. 1.

Schwellkontrast und Erkennbarkeitsentfernung

Damit ein Objekt vom menschlichen Gehirn erkannt wird, muss es einen bestimmten Mindestkontrast zum Umfeld haben, den sogenannten Schwellkontrast c_{Schwell} . Dieser ist von zahlreichen Parametern abhängig. Neben vom Individuum abhängigen Parametern sind sie zum Beispiel die Größe des Objekts bzw. der Winkelbereich unter dem es erscheint, die Umfeldhelligkeit und der Adaptationszustand des Auges oder die Darbietungsdauer [8].

Im Prinzip gibt es die Möglichkeit, eine von der Lichtverteilung des Scheinwerfers abhängige Erkennbarkeitsentfernung über den Schwellkontrast zu definieren. Es ergeben sich jedoch unterschiedliche Resultate für die Erkennbarkeitsentfernung, abhängig davon, wie der Versuch durchgeführt wird und welches Modell für den Schwellkontrast zugrunde gelegt wird [8].

Eine eigene Arbeit nach [8] mit grauen Targets auf der Fahrbahn, deren Kontrast c_{Target} zum Umfeld gemessen wird (vgl. Abb. 2), stellt [9] dar.

Übertragung auf die Methode der geometrischen Verkürzung

Im ersten Schritt werden die Ergebnisse aus dem definierten Umfeld mit seinen wiederholbaren Bedingungen in ein realitätsnahes Umfeld transformiert. Konkret heißt dieses, dass die sich mit der Methode der geometrischen Verkürzung ergebende Beleuchtungsstärkeverteilung in eine Leuchtdichteverteilung aus Fahrerperspektive umgewandelt wird. Die Leuchtdichteverteilung ist jedoch abhängig vom Straßenbelag und seinem Zustand, d.h. ob er etwa nass oder trocken ist.

Daher bestimmten wir die Leuchtdichtekoeffizienten aus Fahrerperspektive von verschiedenen Straßenbelägen im nassen und im trockenen Zustand [10]. In dieser Geometrie treten sehr flache Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel auf, z.B. 0,6° in 65m Entfernung zum Scheinwerfer, wo bei einer Einbauhöhe von 0,65m und einer vorgeschriebenen Neigung von 1% die Hell-Dunkel-Grenze auf den Untergrund trifft. Wie allgemein bekannt ist, lassen sich Leuchtdichtekoeffizienten unter diesen streifenden Winkeln nicht exakt messen. Daher haben wir unsere Messungen bei Winkeln unterhalb 1° als konstant extrapoliert. Hintergrund ist eine Plausibilitätsbetrachtung, dass der immer kleiner werdende Einfallswinkel und Ausfallswinkel zunehmend undefiniert wird, der Belag zunehmend nicht mehr als Fläche aufgefasst werden kann, sondern als statistisch verteilte Körner, an denen das Licht rückgestreut wird.

In Abb. 3 sind die Resultate für die Leuchtdichtevertelung aus Fahrerperspektive für einen trockenen Asphalt und einen trockenen und einen nassen Beton dargestellt. Die Diskussion der Leuchtdichtevertelung wird im Folgenden ad hoc anhand der $0,35 \text{ cd/m}^2$ -Isolinie geführt. Bei dem trockenen Asphalt reicht sie bis ca. 33m, während sie beim trockenen Beton bis etwa 62m reicht. Die Betonfahrbahn erscheint aus Fahrerperspektive also „heller“ als die Asphaltdecke. Auf nassen Beton reicht $0,35 \text{ cd/m}^2$ - Isolinie nur noch bis ca. 45m. Offenbar verfüllt das Wasser die raue Oberfläche, womit die Rückstreuung abnimmt und die Vorwärtsreflexion zunimmt. Eine Aussage über die Leuchtdichtevertelung auf die Erkennbarkeitsentfernung lässt sich soweit noch nicht geben, da sich das Fahrerauge auf die jeweiligen Leuchtdichteverhältnisse adaptieren wird.

Wie oben erwähnt, ist der Kontrast eines Objekts zum Umfeld maßgeblich, ob es vom Fahrer erkannt werden kann. Wir betrachten ein quadratisches graues Target der Kantenlänge $0,25 \text{ m}$ mit einem Reflexionsgrad von 4% und Lambert-artigem Verhalten. Es werden die Kontraste der oberen Kante zum Umfeld aus Sicht des Fahrers bestimmt. In der Realität ist meist der größte Kontrast an der Seite des Targets zu finden, an der es seinen Schatten wirft. Dieser Kontrast wird oft die Erkennbarkeit bestimmen. Trotzdem nehmen wir in der Berechnung an, dass es keinen Schatten gibt. Grund dafür ist, dass wir nicht die Kontraste des Targets zu seinem Schatten suchen, sondern die zur Straße, um von Art und Zustand der Straße abhängige Aussagen treffen zu können. Somit erhalten wir die Kontraste des Targets in der beschriebenen Konfiguration zu den unterschiedlichen Untergründen. Nun benötigen wir eine einfach zu handhabende Funktion des Schwellkontrasts c_{Schwell} in Abhängigkeit zur Entfernung des Targets zu den Scheinwerfern. Da diese Abhängigkeit in der Theorie nicht geklärt ist, leiten wir von Messdaten aus [8], wo eine ähnliche Geometrie betrachtet wird, folgende lineare Funktion ab: $c_{\text{Schwell}} = 0,2/m * d - 9$ für $d > 46m$, sonst $c_{\text{Schwell}} = 0,1$. In Abb. 4 sind damit die „Erkennbarkeitslinien“ dargestellt, wo $c_{\text{Schwell}} = c_{\text{Target}}$ ist.

Diskussion

Die angenommene Funktion für den Schwellkontrast c_{Schwell} stellt eine Arbeitshypothese dar. Allerdings bleibt folgende Argumentation bestehen, wenn sie durch eine eventuell geeignetere Hypothese ersetzt wird. Es fällt auf, dass die jeweiligen „Erkennbarkeitslinien“ auf den für den Fahrer „dunklen“ Fahrbahnen weiter vom Fahrzeug entfernt liegen als bei der „hellen“ Fahrbahn. Das ist plausibel, denn es steht ein „helles“ Target vor einem „dunklen“ Hintergrund. Der Schluss wäre dann, dass das Target auf den dunklen Fahrbahnen leichter erkannt wird. Allerdings muss der Adaptationszustand des Auges berücksichtigt werden. Da auf der „dunklen“ Fahrbahn das Fahrerauge auf ein niedrigeres Leuchtdichteniveau adaptiert ist, wird auch dieses zur leichteren Erkennbarkeit des Targets beitragen. In der Berechnung noch nicht berücksichtigt ist das von der Straße vorwärtsreflektierte Licht, welches das Target mitbeleuchtet. Da auf der nass werdenden Fahrbahn die Rückstreuung abnimmt und die Vorwärtsreflexion zunimmt, sollte die Beleuchtung des Targets zunehmen und somit sein Kontrast zur Straße und seine Erkennbarkeit zunehmen.

Die Beobachtungen sind soweit plausibel und erste Ergebnisse aus einer systematischen Freifelduntersuchungen (siehe Abschnitt Fazit und Ausblick) bestätigen sie. Sie widersprechen allerdings der Erfahrung, dass sich das Fahrer auf einer „dunklen“ Fahrbahn unbequemer gestaltet als auf einer „hellen“. Eine Erklärung liefert Diem [11], der u.a. das Blickverhalten auf „dunklen“ und „hellen“ Straßenoberflächen untersuchte. Während der Blick auf der „hellen“ Fahrbahn ruhig vorwärts in die Ferne gerichtet ist, schweift der Blick auf der „dunklen Fahrbahn“ in Bereichen näher zum Fahrzeug. Vermutlich sucht das Auge im dunklen nach Orientierungspunkten, was das Gehirn beansprucht und mehr Konzentration erfordert.

Fazit und Ausblick

Zwar ist es nicht möglich, aus der Bestimmung der Leuchtdichte- und der Kontrastverteilung eine definitive Erkennbarkeitsentfernung zu nennen. Jedoch können einfache Kriterien definiert werden um unterschiedliche Scheinwerfersysteme oder Lichtverteilungen eines dynamischen Scheinwerfersystems zu vergleichen. Dieses ist eine nützliche Ergänzung für Benchmarks, denn neben der gängigen Bewertung anhand der Beleuchtungsstärkeverteilung erhält man Informationen über die Performance des Scheinwerfers auf verschiedenen Belägen in unterschiedlichen Zuständen. Gegenüber Nachtfahrten hat man hier den Vorteil, dass die Umfeldbedingungen genau bekannt und wiederholbar sind. Gegebenenfalls können so die Lichtverteilungen auf die Umgebung optimiert werden. Verknüpft mit der Methode der geometrischen Verkürzung erhält man so ein umfassendes, schnelles und damit kostenoptimiertes Benchmarkverfahren.

Um die Eignung der hier ad hoc aufgestellten Kriterien zu überprüfen und um sie gegebenenfalls durch geeignetere zu ersetzen, unternehmen wir derzeit eine systematische Untersuchung an verschiedenen Scheinwerfersystemen mit dem geschilderten Verfahren in der Licht- und Fahrerassistenzhalle, auf der Applikationsstrecke von IAV und mit Hilfe von Lichtsimulationen. Ebenfalls wird dabei der Zusammenhang von Erkennbarkeit und Blendung untersucht.

- [1] M. Marutzky, B. Kleinert, S. Bogdanow, Proceedings 10th ISAL (2011)
- [2] C. Schwanengel, U. Krüger, F. Schmidt, J. Rodenkirchen, Proceedings 6th ISAL (2005)
- [3] K. Manz, D. Kooß, K. Klinger, S. Schellinger, BASt, Heft F65 (2007)
- [4] TC4-45, CIE (2009)
- [5] M. Marutzky, B. Kleinert, S. Bogdanow, ATZ (2012)
- [6] M. Marutzky, B. Kleinert, S. Bogdanow, Proceedings LICHT (2012)
- [7] M. Marutzky, B. Kleinert, R. Danov, Advanced Optical Technologies, submitted
- [8] S. Voelker, Habilitationsschrift, Universität Paderborn (2006)
- [9] M. Marutzky, S. Lansmann, T. Rehberg, P. Schintag, Proceedings 9th ISAL (2009)
- [10] M. Seer, Bachelor thesis, FH Jena (2013)
- [11] C. Diem, Dissertation, TU Darmstadt (2004)

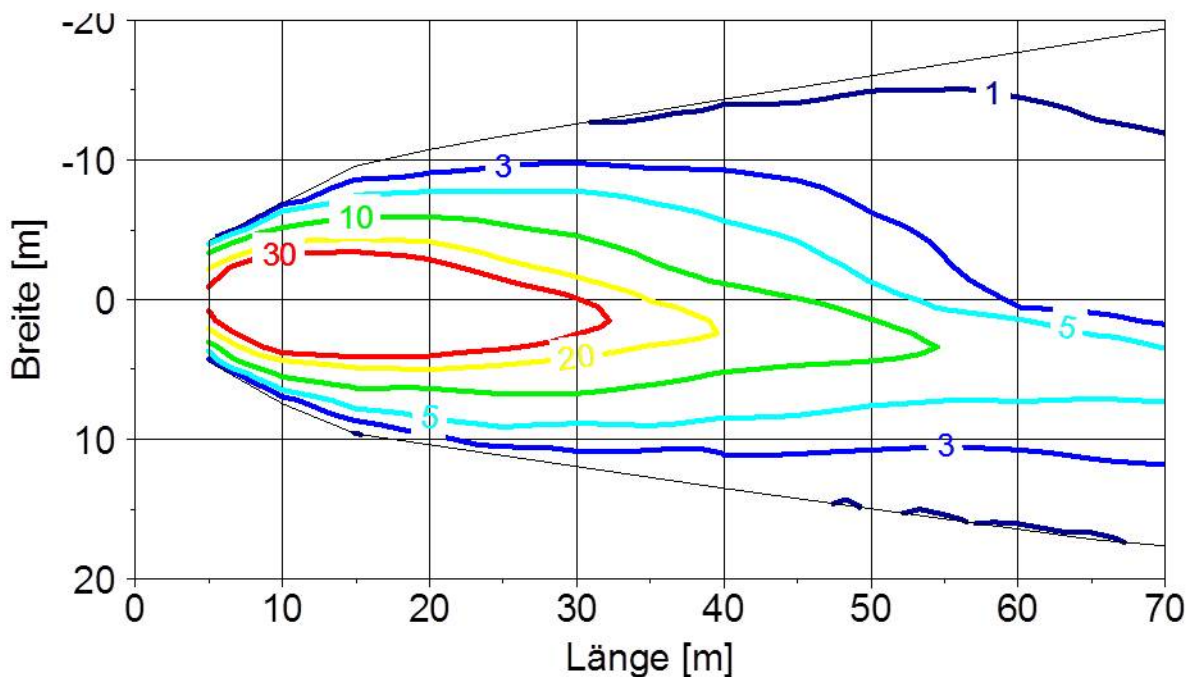
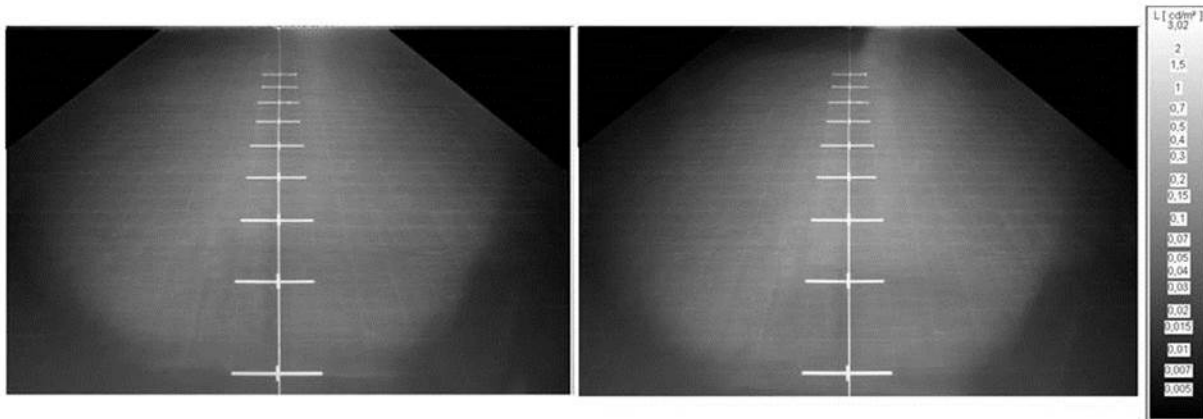
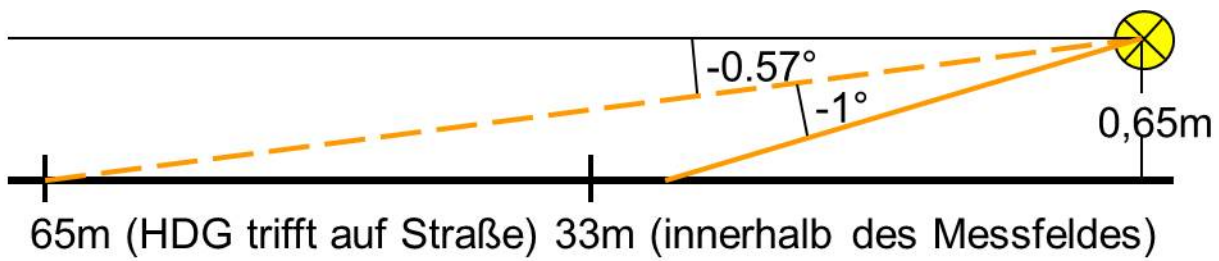


Abbildung 1: Oben ist eine Skizze zur Veranschaulichung der Methode der geometrischen Verkürzung dargestellt. Die Strahlen werden aus dem Fernfeld in den Bereich des Messfeldes geholt. In der Mitte sind Messungen der Leuchtdichteverteilung eines Abblendlichts auf dem Messfeld der Licht- und Fahrerassistenzhalle von IAV gezeigt, links in Einbaulage, rechts „verkürzt“, d.h. um 1° verkippt. Aus der Leuchtdichtemessung in „verkürzter“ Geometrie wurde die Beleuchtungsstärkeverteilung in Einbaulage berechnet, unterstes Bild (Einheit der beschrifteten Isolinien ist lux).

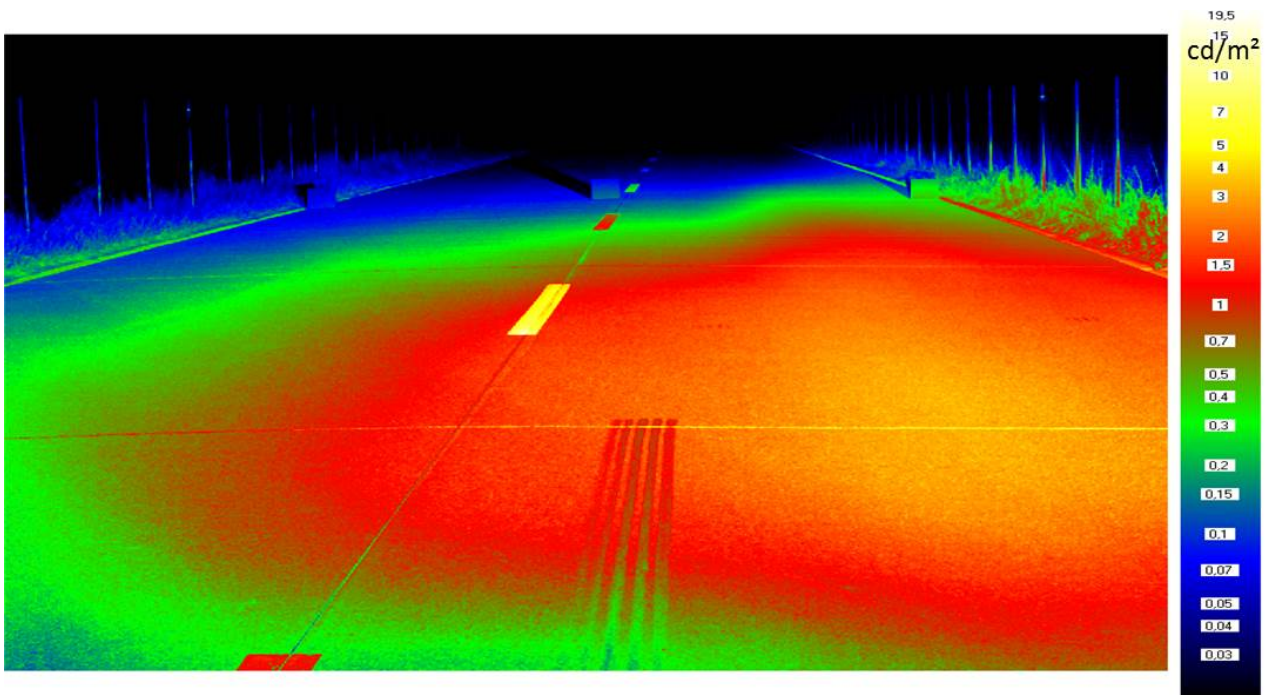


Abbildung 2: Zur Veranschaulichung eine Leuchtdichtemessung eines Abblendlichts auf der IAV Applikationsstrecke mit Sichttargets aus Fahrerperspektive. Der Kontrast dieser Sichttargets zum Umfeld wird in dieser Arbeit betrachtet.

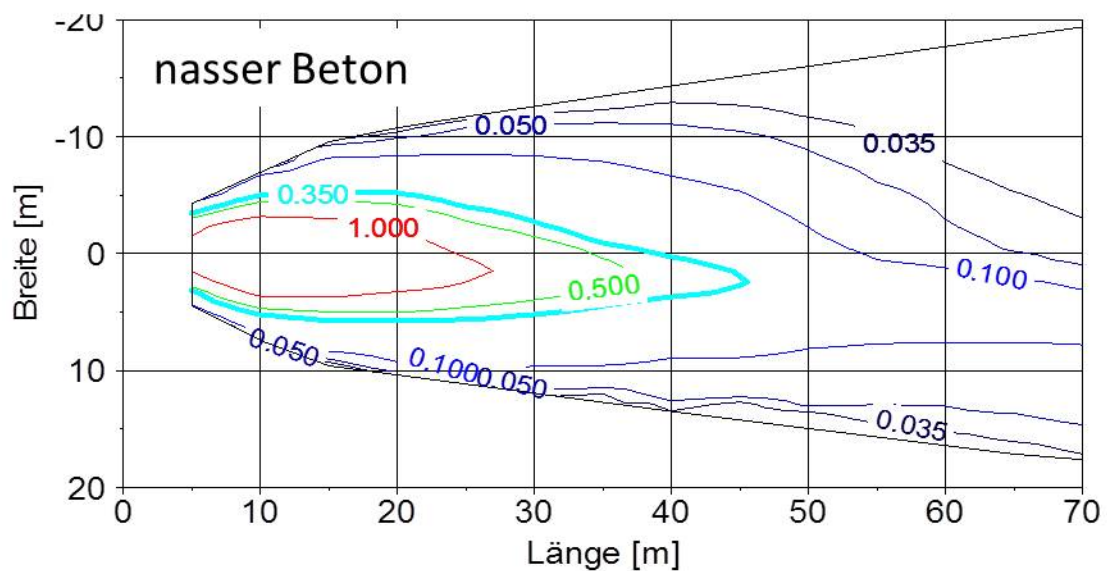
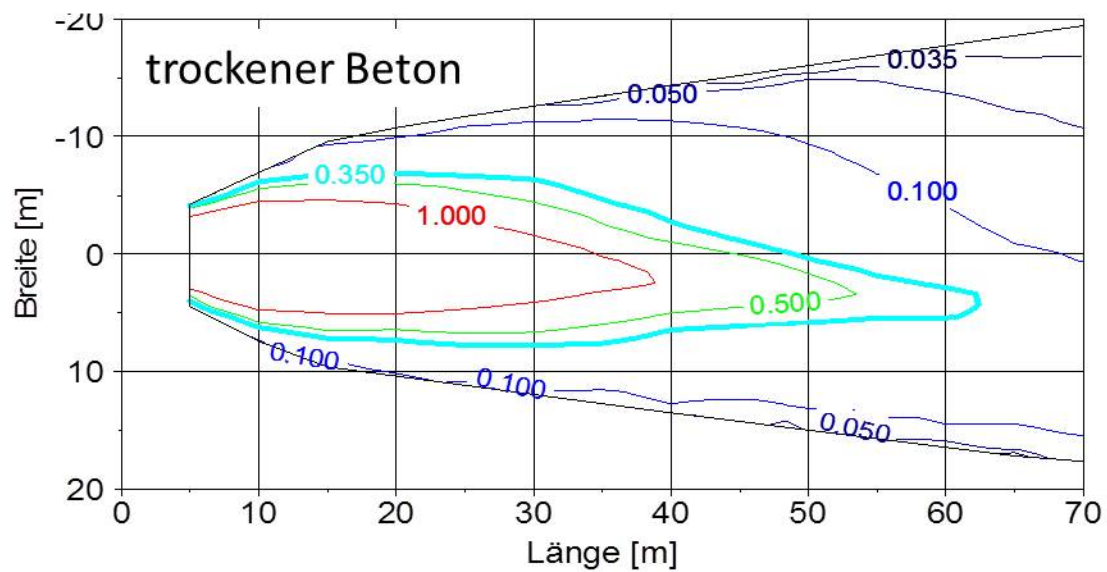
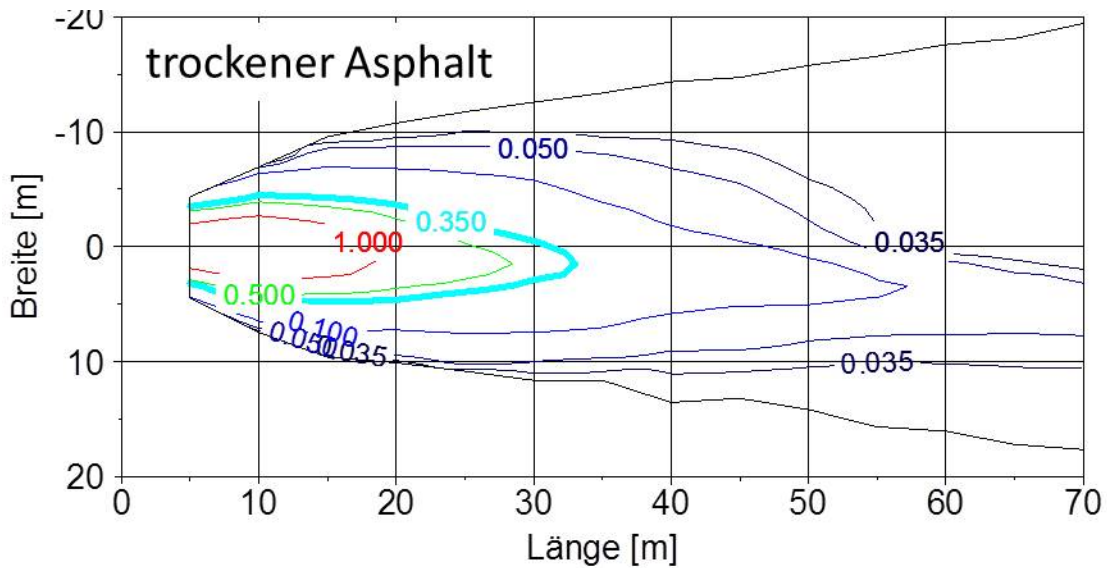


Abbildung 3: Aus der Beleuchtungsstärkeverteilung in Abb. 1 Leuchtdichteverteilung aus Fahrerperspektive (vgl. Abb. 2), dargestellt allerdings im „Bird-eye-view“, auf verschiedenen Untergründen. Die Einheit der Beschriftungen an den Isolinien ist cd/m^2 .

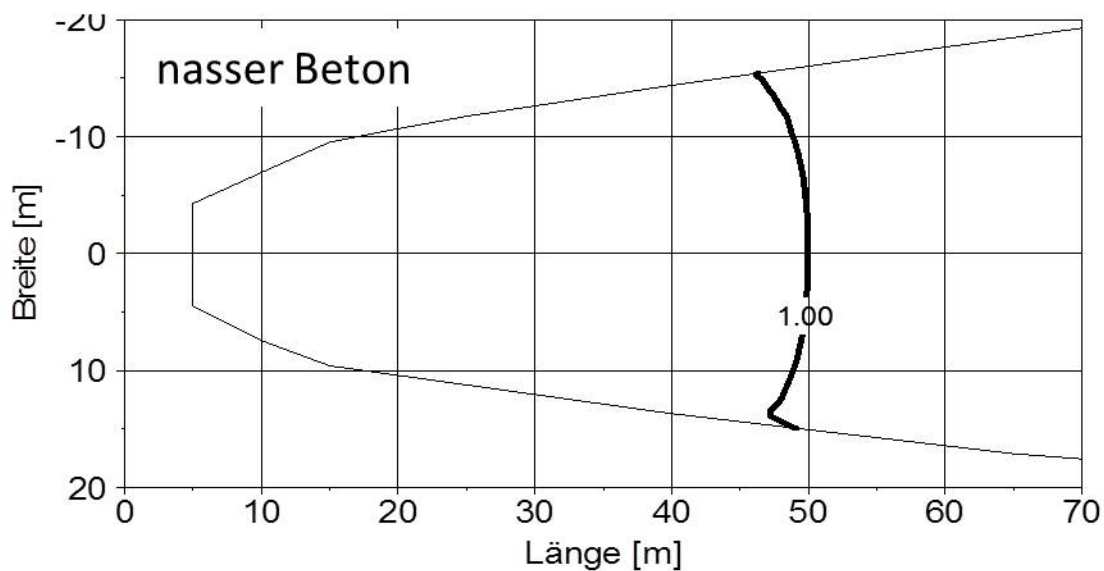
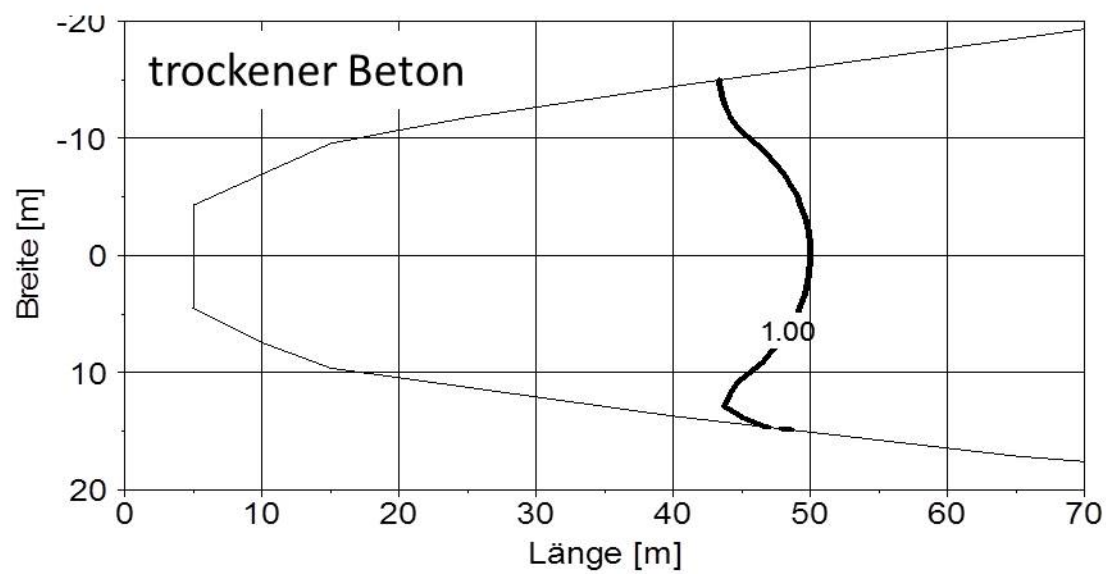
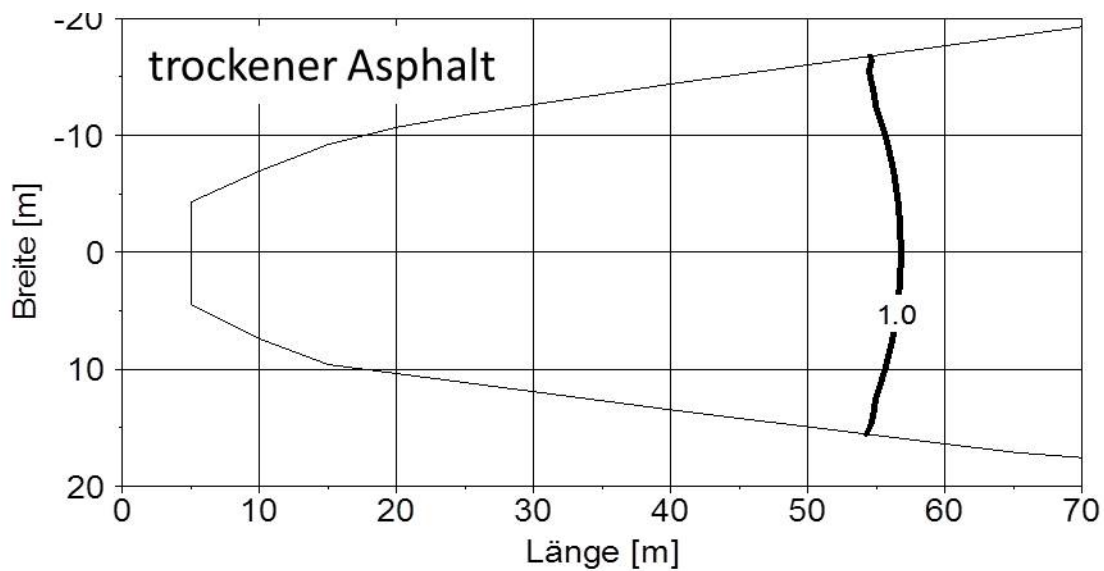


Abbildung 4: „Erkennbarkeitslinien“ auf den verschiedenen Untergründen. Bei den eingezeichneten Linien ist $c_{\text{Schwell}}/c_{\text{Target}} = 1$ bzw. $c_{\text{Schwell}} = c_{\text{Target}}$.