

Kurzfassung der Bachelor-Thesis: Entwicklung eines deflektometrischen Prüfaufbaus für spiegelnde Prüfobjekte

Vipin Singh

9. Juli 2022

Abstract

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Verfahren zur Sichtprüfung von spiegelnden und transparenten Prüfoberflächen einzuführen und mathematisch zu erklären. Dabei wird erklärt, welche Methoden im wissenschaftlichen Gebiet der Deflektometrie eingesetzt werden, um Oberflächen vollständig zu erfassen. Zur Bearbeitung des Themas werden transparente Brillengläser und spiegelnde Keramikobjekte analysiert und mit den eingeführten Verfahren automatisiert ausgewertet. Die Ergebnisse der Auswertung durch die eingeführten Verfahren zeigten, dass es möglich ist, Anomalien der Oberflächenkrümmung spiegelnder und transparenter Prüfobjekte, wie z. B. Pickel, Dellen, Kratzer oder Gravuren, zu erfassen. Dadurch wird es ermöglicht, Oberflächendefekte spiegelnder und transparenter Prüfobjekte zu lokalisieren und qualitative Aussagen der Oberflächenbeschaffenheit zu formulieren.

1 Einführung

Glänzende Oberflächen faszinieren schon seit langer Zeit zahlreiche Menschen. Es gibt Studien, die besagen, dass Menschen die optischen Besonderheiten von glänzenden bzw. spiegelnden Oberflächen instinktiv mit Wasser assoziieren [1]. Diese Faszination möchte auch die Industrie anregen. So werden täglich große Mengen an Karosserieoberflächen glänzend lackiert. Zur Qualitätssicherung ist es unumgänglich, die Prüfung der Oberflächen durch automatisierte Prozesse umzusetzen.

Die Schwierigkeiten der Verfahren sind dabei die störenden Spiegelungen in der Oberfläche, die dafür sorgen, dass man anstelle der Oberfläche ein verzerrtes Bild der Umgebung aufnimmt (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Spiegelnde Karosserieoberfläche [2]

In dieser Ausarbeitung werden zwei Verfahren vorgeschlagen, um Oberflächendefekte von spiegelnden Prüfobjekten zu erfassen. Insbesondere soll dabei auch der Sonderfall für transparente Prüfobjekte behandelt werden.

2 Grundlagen der Deflektometrie

Die Deflektometrie bezeichnet allgemein alle Methoden zur berührungslosen optischen Erfassung von Gestaltinformationen spiegelnder Oberflächen durch automatische Auswertung von Spiegelbildern bekannter Szenen [3]. Die Szene wird dabei über eine gekrümmte Oberfläche abgelenkt und wird verzerrt im Kamerabild aufgenommen. Aus dem Zusammenhang zwischen der Szene und der Spiegelung der Szene auf der spiegelnden Oberfläche können dann Rückschlüsse auf die Oberflächengestalt gezogen werden.

Eine spiegelnde Oberfläche hat dabei eine lokal glatte Oberflächenbeschaffenheit und reflektiert das auftreffende Licht in eine Richtung. Der Sonderfall sind hierbei klare transparente Oberflächen, die zu den spiegelnden Oberflächen gehören. Dabei wird das auftreffende Licht nicht nur spekular reflektiert, sondern auch durchgelassen. Es können daher

Effekte, wie z. B. der Rückseitenreflex auftreten (siehe Abb. 2). Diese führen zu einer Überlagerung der Spiegelbilder und stören die deflektometrischen Verfahren.

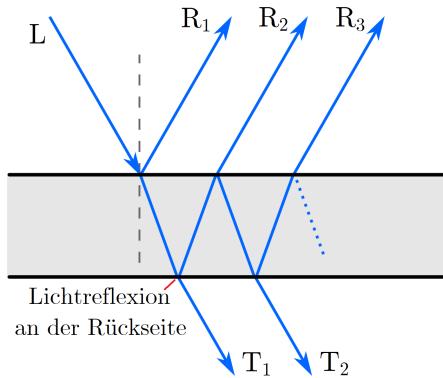


Abb. 2: Rückseitenreflex [4]

Die Szenen sind entscheidend zur Auswertung, da diese über die Aufnahme in den Bildkanal übertragen werden. Über die Szene lassen sich Punkte aus dem Kamerabild und der Szene zuordnen. Man erhält durch geeignete Auswertungen eine Zuordnungsfunktion, die beschreibt welcher Kamerapunkt welchen Punkt aus der Szene aufnimmt. Die Szene besteht dabei in der Regel aus einem oder mehreren Mustern, die auf einem Bildschirm angezeigt werden (siehe Abb. 3).

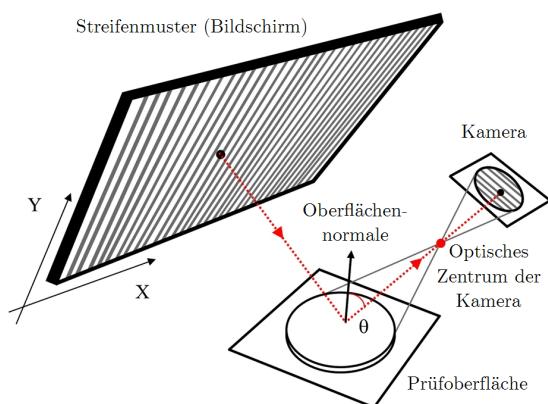


Abb. 3: Deflektometrische Prüfstation [5]

Durch spezielle Lösungen wird es durch die Zuordnungsfunktion ermöglicht, die spiegelnde Oberfläche vollständig zu rekonstruieren. Allerdings ist dies eine schwierige mathematische Aufgabe, die viele Parameter und Lösungen von Differentialgleichungen erfordert.

3 Sichtprüfung durch Lichtstreuung

Das erste Verfahren soll es insbesondere für transparente Prüfobjekte ermöglichen, Kratzer und ähnlich Defekte hervorzuheben. Dabei wird folgender Aufbau verwendet, um den Rückseitenreflex zu vermeiden:

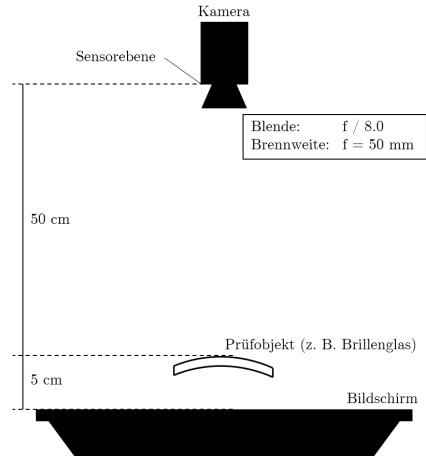


Abb. 4: Prüfaufbau für transparente Objekte.

Die Idee des Verfahrens ist es, die abweichende Lichtstreuung an Kratzern und ähnlichen Defekten der Oberflächen zu nutzen und durch geeignete Bildverknüpfungen ein Gesamtbild zu erzeugen, dass zur Detektion dieser Defekte dienen kann.

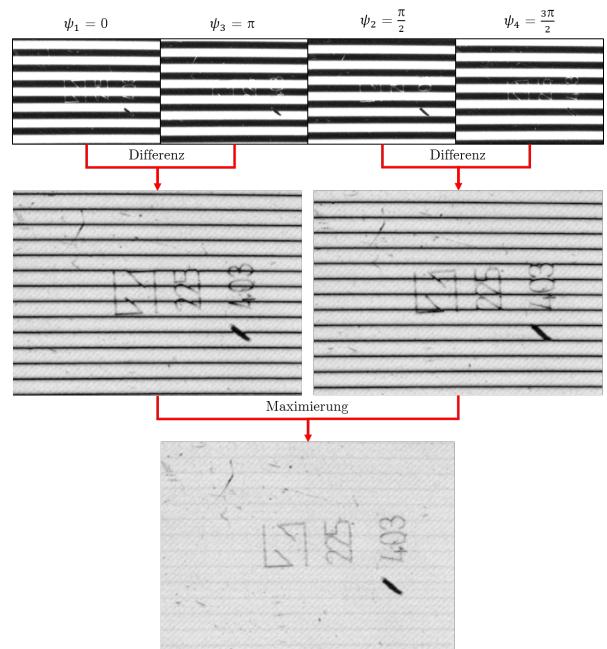


Abb. 5: Vorgehensweise des Verfahrens

In Abb. 5 wird die Vorgehensweise des Ver-

fahrens dargestellt. Man nimmt Streifenmuster bei der Durchlichtprojektion auf und verknüpft die jeweils um eine Streifenbreite versetzten Muster über die betragsmäßige Differenz. Schlussendlich bildet man das Maximumsbild aus allen Bildern.

Dabei werden Kratzer und stärkere Krümmungen sichtbar. Durch geeignete Anpassung des Aufbaus ist dieses Verfahren auch anwendbar für spiegelnde Prüfobjekte.

4 Deflektometrische Registrierung

Die deflektometrische Registrierung l_r bezeichnet die in Abschnitt 2 erwähnte Zuordnungsfunktion von Punkten der Szene und Punkten des Kamerabilds (siehe Abb. 6). Anhand der deflektometrischen Registrierung soll ein zweites Verfahren zur Auswertung von spiegelnden Oberflächen vorgestellt werden.

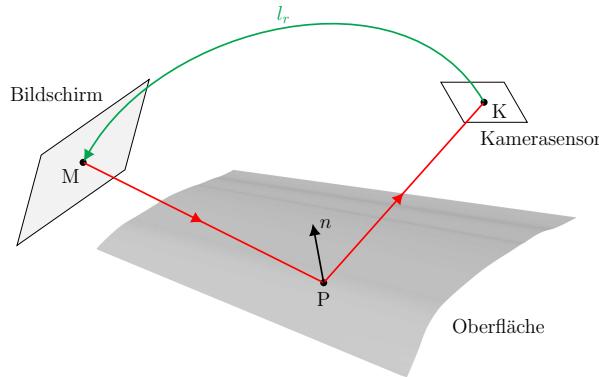


Abb. 6: Abbildungssystem einer spiegelnden Oberfläche

In dieser Arbeit wird die Bestimmung der deflektometrischen Registrierung über die Phasenkodierung durchgeführt. Dabei werden die Punkte des Monitors über die Phase von Sinus-Funktionen kodiert und in den Bildkanal der Kamera übertragen. Die verwendeten Muster werden als sinusoidale Streifenmuster bezeichnet (siehe Abb. 7).

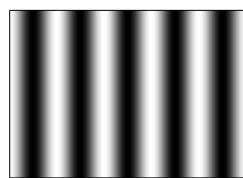


Abb. 7: Sinusoidales Streifenmuster

Durch bestimmte Methoden lassen sich die

Phasen des gespiegelten Streifenmusters bestimmen, wodurch man die Zuordnung erhält [6].

Es ist möglich die Zuordnung durch Bilder darzustellen, indem man Grauwerte für die einzelnen Monitorzeilen und -spalten vergibt. Dadurch kann man herkömmliche Bildverarbeitungsalgorithmen anwenden, um Fehlstellen zu detektieren (siehe Abb. 8).

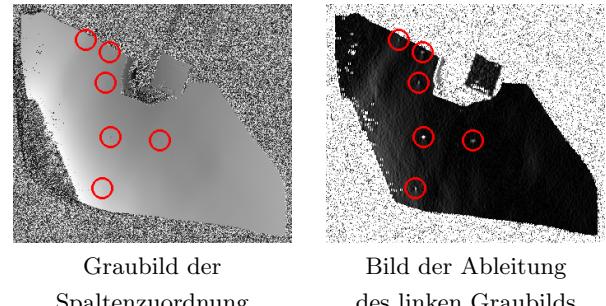
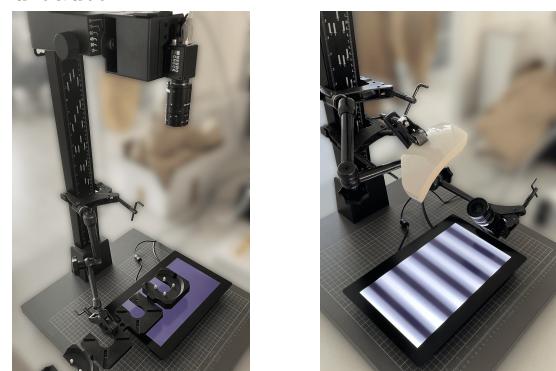


Abb. 8: Spaltenzuordnung eines spiegelnden Objekts als Bild und dessen Ableitung in x -Richtung. In Rot: Pickel als Fehlstellen auf der Oberfläche

Im Vergleich zur vollständigen Rekonstruktion der Oberfläche, ist es durch die deflektometrische Registrierung möglich, die Krümmung der Oberfläche ohne eine Systemkalibrierung auszuwerten.

5 Ergebnisse

Es ließ sich feststellen, dass die beiden Verfahren zuverlässig Fehlstellen sichtbar machen können. Der Unterschied der beiden Verfahren ist die Eignung für bestimmte Objekte und Aufbauten.



Durchlichtauswertung Spiegelbildauswertung

Abb. 9: Verwendete Aufbauten für die Verfahren

Die verwendeten Aufbauten sind in Abbil-

dung 9 einzusehen. Für die transparenten Objekte hat sich die Durchlichtauswertung mit dem Verfahren „Sichtprüfung durch Lichtstreuung“ besonders gut geeignet, um Anomalien zu detektieren (siehe Abbildung 10). Bei Anwendung des Verfahrens auf nicht-transparente spiegelnde Objekte, konnte man feststellen, dass sich das Verfahren nicht für Objekte mit größeren Krümmungen eignet. Außerdem ist das Verfahren abhängig von Oberflächenbeschriftungen oder unterschiedlichen Farben, die das Ergebnis verfälschen können.

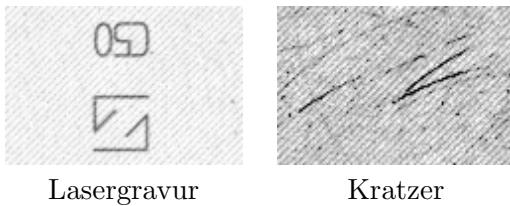


Abb. 10: Anomalien in Brillengläsern bei Durchlichtauswertung mit Verfahren „Sichtprüfung durch Lichtstreuung“

Das Verfahren „Auswertung der deflektometrischen Registrierung“ eignet sich besonders gut zur Erkennung von Defekten auf nicht-transparenten spiegelnden Oberflächen mit der Spiegelbildauswertung (siehe Abbildung 11). Zur Erkennung von Lasergravuren oder leichten Kratzern in transparenten Objekten hat die Empfindlichkeit des Verfahrens nicht ausgereicht.

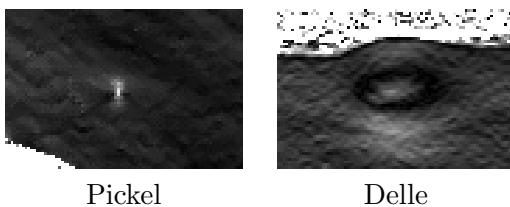


Abb. 11: Anomalien auf spiegelnden Keramikobjekten bei Spiegelbildauswertung mit Verfahren „Auswertung der deflektometrischen Registrierung“

6 Abschlussbemerkungen

Im Rahmen der Bachelor-Thesis konnten zwei Verfahren und Aufbauten im Detail entwickelt und beschrieben werden, um Defekte oder Anomalien der Oberflächenkrümmung von spiegelnden und transparenten Objekten zu erkennen. Dies konnte auch durch die Ergebnisse untermauert werden. Im Ausblick stehen noch

Verbesserungen an den Verfahren in den Punkten der Laufzeit und der Präzision der Defekterkennung.

Abschließend lässt sich sagen, dass die deflektometrischen Verfahren vielversprechende Perspektiven bereitstellen, um automatisiert spiegelnde oder transparente Oberflächen vollständig zu erfassen und zu prüfen.

Quellenverzeichnis

- [1] Richard G. Coss. „All that Glistens: Water Connotations in Surface Finishes“. In: *Ecological Psychology* (2010). URL: https://doi.org/10.1207/s15326969eco020_4_3 (Letzter Zugriff: 22.06.2022).
- [2] Kurt Häusler. „Automatisierte Inspektion spiegelnder Oberflächen“. In: *JOT Journal für Oberflächentechnik* (2018). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s35144-018-0319-z> (Letzter Zugriff: 20.06.2022).
- [3] Michael Heizmann. *Deflektometrie zur Inspektion spiegelnder Oberflächen*. Fraunhofer-Institut für Optronik. URL: <https://www.vision.fraunhofer.de/de/technologien-anwendungen/technologien/oberflaecheninspektion/deflektometrie-spiegelnder-oberflaechen.html> (Letzter Zugriff: 01.03.2022).
- [4] Stephanie Aprojanz. *Untersuchung zur Objektivierung der visuellen Beurteilung von Frontscheiben durch deflektometrische Messtechnik*. Springer Wiesbaden, 2018. ISBN: 978-3-658-24369-2. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-24370-8> (Letzter Zugriff: 12.06.2022).
- [5] Hyug-Gyo Rhee Manh The Nguyen Young-Sik Ghim. *Aufbau einer Deflektometrie-Prüfstation*. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-39514-6/figures/1> (Letzter Zugriff: 25.02.2022).
- [6] Stefan Bruno Werling. *Deflektometrie zur automatischen Sichtprüfung und Rekonstruktion spiegelnder Oberflächen*. 2011. ISBN: 9783866446878. URL: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000023290> (Letzter Zugriff: 02.03.2022).