
BACHELORARBEIT

Frau
Celina Schmidt

**Farbraumanalyse alternder
Blutflecke auf forensisch
relevanten Oberflächen zur
Optimierung einer Methode
zur Blutaltersschätzung
per Handykamera**

Mittweida, 02.12.2024

Fakultät Angewandte Computer- und
Biowissenschaften

BACHELORARBEIT

Farbraumanalyse alternder Blutflecke auf forensisch relevanten Oberflächen zur Optimierung einer Methode zur Blutaltersschätzung per Handykamera

Autor:
Frau

Celina Schmidt

Studiengang:
Allgemeine und Digitale Forensik

Seminargruppe:
FO21w6-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

Zweitprüfer:
Tommy Bergmann, M. Sc.

Einreichung:
Mittweida, 02.12.2024

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 17.12.2024

Faculty Applied Biology- and Computer Sciences

BACHELOR THESIS

Color space analysis of aging bloodstains on forensically relevant surfaces for the optimization of a method for blood age estimation by cell phone camera

Author:

MS.

Celina Schmidt

Course of studies:

General and Digital Forensics

Seminar group:

FO21w6-B

First examiner:

Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

Second examiner:

Tommy Bergmann, M. Sc.

Submission:

Mittweida, 02.12.2024

Defence/ Evaluation:

Mittweida, 17.12.2024

Bibliografische Beschreibung:

Schmidt, Celina:

Farbraumanalyse alternder Blutflecke auf forensisch relevanten Oberflächen zur Optimierung einer Methode zur Blutaltersschätzung per Handykamera. 2024. , Seitenzahl der Verzeichnisse: 9, Seitenzahl des Inhalts: 68, Seitenzahl der Anhänge: 1, Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Bachelorarbeit, 2024

Referat:

Blut stellt bei der Aufklärung von Verbrechen eine der aufschlussreichsten Spuren dar. Anhand von Blutspuren können sowohl der Tathergang rekonstruiert werden als auch beteiligte Personen identifiziert werden. Zudem lässt sich auch das Alter der Blutspur schätzen, welches Ermittlern hilft, zeitliche und kausale Zusammenhänge eines Verbrechens zu erkennen. Das Alter kann durch verschiedene forensische Methoden ermittelt werden. Eine davon ist die farbmétrische Analyse, die die farblichen Veränderungen der Blutspuren untersucht, die mit dem Alterungsprozess der Blutflecke einhergehen. Für diese Arbeit wurden Blutproben auf unterschiedlichen Untergründen erstellt, mit einer Handykamera mit und ohne Blitz fotografiert und in einer Software analysiert. Bei Polyester traten einige Schwierigkeiten auf, weshalb dieser in einem zweiten Versuch genauer untersucht wurde. Für die Analyse dienten verschiedene Farbmodelle (CMYK, HSL, RGB), um zu überprüfen, welches Farbmodell am ehesten mit den Veränderungen korreliert. Der Magentawert des CMYK-Farbmodells stellte sich als aussagekräftigster Parameter raus.

Abstract:

Blood is one of the most revealing traces when it comes to solving crimes. Bloodstains can be used to reconstruct the course of events and identify the people involved. In addition, the age of the bloodstain can be estimated, which helps investigators to recognize temporal and causal connections of a crime. Age can be determined using various forensic methods. One of these is colorimetric analysis, which examines the color changes in bloodstains that are associated with the aging process of bloodstains. For this work, blood samples were prepared on different surfaces, photographed with a cell phone camera with and without flash and analyzed in software. Some difficulties were encountered with polyester, which is why it was examined more closely in a second test. Various color models (CMYK, HSL, RGB) were used for the analysis in order to check which color model correlates best with the changes. The measurement value of the CMYK color model turned out to be the most meaningful parameter.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 <i>Zielstellung</i>	2
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 <i>Bestandteile und Aufgaben des Blutes</i>	3
2.1.1 Erythrozyten	3
2.1.1.1 Hämoglobin	4
2.1.2 Leukozyten	4
2.1.3 Thrombozyten.....	5
2.1.4 Blutplasma.....	5
2.2 <i>Hämostase</i>	6
2.2.1 Primäre Hämostase	7
2.2.1.1 Vasokonstriktion	7
2.2.1.2 Thrombozytenadhäsion.....	7
2.2.1.3 Thrombozytenaggregation	7
2.2.2 Sekundäre Hämostase	8
2.2.2.1 Aktivierungsphase.....	8
2.2.2.2 Koagulationsphase	8
2.2.2.3 Retraktionsphase	8
2.3 <i>Blutalterung (ex vivo)</i>	9
2.4 <i>Physikalische Eigenschaften von Blut</i>	10
2.4.1 <i>Eigenschaften</i>	10
2.4.2 <i>Ballistik</i>	11

2.4.3	Auftreffphasen	12
2.4.4	Einfluss des Untergrundes.....	12
2.5	<i>Blut als forensische Spur</i>	13
2.5.1	<i>Blutspurenmusteranalyse</i>	13
2.5.1.1	<i>Kategorisierung von Blutspuren</i>	13
2.5.2.2	<i>Verteilungsanalyse</i>	14
2.5.3	<i>Blutaltersbestimmung</i>	15
2.6	<i>Entstehung von Farben</i>	16
2.6.1	<i>Funktionsweise einer Handykamera</i>	17
2.6.2	<i>Farbmodelle</i>	17
2.6.2.1	<i>RGB-Farbmodell</i>	17
2.6.2.2	<i>CMYK-Farbmodell</i>	18
2.6.2.3	<i>HSL-Farbmodell</i>	19
3	Material und Methoden der Versuche	20
3.1	<i>Untergründe und Vorbereitung des ersten Versuchs</i>	20
3.2	<i>Blutentnahme und Vorgehen des ersten Versuchs</i>	22
3.3	<i>Fotografisches System</i>	23
3.4	<i>Digitale Auswertung der Bilder</i>	24
3.5	<i>Motivation des zweiten Versuchs</i>	25
3.6	<i>Untergründe/ Vorgehen des zweiten Versuchs</i>	26
4	Ergebnisse des ersten Versuchs	27
4.1	<i>Ergebnisse der Fotografie</i>	27
4.2	<i>Ergebnisse der digitalen Auswertung</i>	29
4.2.1	<i>Magentawert-Verläufe (CMYK)</i>	29
2.4.2	<i>Helligkeitswert-Verlauf (HSL)</i>	35
2.4.3	<i>Rotwert-Verlauf (RGB)</i>	40
5	Ergebnisse des zweiten Versuchs	45
5.1	<i>Ergebnisse der Fotografie</i>	45
5.2	<i>Ergebnisse der digitalen Auswertung</i>	47
5.2.1	<i>Polyester</i>	47
5.2.1.1	<i>Magentawert-Verlauf (CMYK)</i>	47
5.2.1.2	<i>Helligkeitswert-Verlauf (HSL)</i>	49
5.2.1.3	<i>Rotwert-Verlauf (RGB)</i>	50
5.2.2	<i>Andere Untergründe</i>	52
5.2.2.1	<i>Magentawert-Verlauf (CMYK)</i>	52

5.2.2.2	Helligkeitswert-Verlauf (HSL)	55
5.2.2.3	Rotwert-Verlauf (RGB).....	58
6	Diskussion	61
6.1	<i>Fotografische Auswertung</i>	<i>61</i>
6.2	<i>Polyester-Versuche.....</i>	<i>62</i>
6.3	<i>Herausforderungen bei der Vorbereitung/ Durchführung.....</i>	<i>64</i>
6.4	<i>Digitale Auswertung.....</i>	<i>64</i>
6.5	<i>Fotografie-Techniken</i>	<i>65</i>
6.6	<i>Auswertung der Farbmodelle.....</i>	<i>65</i>
7	Fazit und Ausblick.....	68
	Literaturverzeichnis.....	71
	Anlagen.....	A-I
	Anlagen, Teil 1	A
	Selbstständigkeitserklärung	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Blutbestandteile [8]	6
Abbildung 2: Ablauf der sekundären Hämostase von der Aktivierung der Gerinnungskaskade bis zur Thrombusbildung [12]	9
Abbildung 3: Kategorisierung von Blutspurenmustern nach Peschel <i>et al.</i> [18]	14
Abbildung 4: Berechnung des Auftreffwinkels eines Blutstropfen [19]	15
Abbildung 5: Primärfarben des RGB-Farbmodells (links) und CMYK-Farbmodells (rechts) sowie die daraus resultierenden Mischfarben [24]	18
Abbildung 6: HSV- und HSL-Farbmodell in 3D-Darstellung eines Zylinders [26]	19
Abbildung 7: Frischer Blutstropfen (nach 0h) mit allen Blutbestandteilen (links) und Blutstropfen lediglich bestehend aus Serum (rechts) [eigene Darstellung]	22
Abbildung 8: Lagerung der Blutproben in einem DNA/RNA UV-Cleaner mit halb geöffneter Frontscheibe [eigene Darstellung]	23
Abbildung 9: Fotografie (mit Blitz) der Blutspuren auf acht Untergründen nach 1h, 2h, 9h, 24h und 504h nach Erstellung [eigene Darstellung].....	27
Abbildung 10: Tropfen auf Polyester mit unterschiedlichen Erscheinungsformen [eigene Darstellung]	28
Abbildung 11: Farberkennung in Inkscape durch Pipetteneinstich im Radius von 30 Pixeln (entspricht nicht genau dem grünen Kreis). Links mit Blitz, rechts ohne Blitz. Darstellung der Farben im Hex-Code. [eigene Darstellung]	29
Abbildung 13: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	31
Abbildung 12: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	31

Abbildung 15: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung].....	32
Abbildung 14: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Glas im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung].....	32
Abbildung 17: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Polyester im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	33
Abbildung 16: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	33
Abbildung 18: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung].....	34
Abbildung 19: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Keramik im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	34
Abbildung 21: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung].....	36
Abbildung 20: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	36
Abbildung 23: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	37
Abbildung 22: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Glas im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung].....	37
Abbildung 24: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	38
Abbildung 25: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Polyester im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	38
Abbildung 26: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung].....	39

Abbildung 27: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Keramik im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	39
Abbildung 28: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	41
Abbildung 29: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	41
Abbildung 31: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	42
Abbildung 30: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Glas im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	42
Abbildung 33: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Polyester im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	43
Abbildung 32: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	43
Abbildung 35: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	44
Abbildung 34: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]	44
Abbildung 36: Fotografie (mit Blitz) der Blutstropfen auf Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken nach 0h, 1h, 2h und 24h nach Erstellung [eigene Darstellung]	45
Abbildung 37: Fotografie (mit Blitz) der Blutstropfen auf Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken nach 0h, 1h, 2h und 24h nach Erstellung [eigene Darstellung]	46
Abbildung 39: Magentawert-Verläufe von Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung, fotografiert ohne Blitz [eigene Darstellung].....	48

Abbildung 38: Fotografie (mit Blitz) der Blutstropfen auf Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken nach 0h, 1h, 2h und 24h nach Erstellung [eigene Darstellung]	48
Abbildung 40: Helligkeitswert-Verläufe von Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung, mit Blitz fotografiert [eigene Darstellung]	49
Abbildung 41: Helligkeitswert-Verläufe von Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung, ohne Blitz fotografiert [eigene Darstellung]	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Untergründe mit entsprechenden Produktdetails und Hersteller [eigene Darstellung]	21
Tabelle 2: Magenta-Ausgangs- und Endwerte der Tropfen jeweils mit Blitz und ohne Blitz fotografiert (CMYK) [eigene Darstellung]	30
Tabelle 3: Helligkeits-Ausgangs- und Endwerte der Tropfen jeweils mit Blitz und ohne Blitz fotografiert (HSL) [eigene Darstellung]	35
Tabelle 4: Rotwert-Ausgangs- und Endwerte der Tropfen jeweils mit Blitz und ohne Blitz fotografiert (RGB) [eigene Darstellung]	40

Abkürzungsverzeichnis

CMYK	engl.: „Cyan, Magenta, Yellow, Key“ (Farbanteile)
DNA	engl.: „deoxyribonucleic acid“ (Desoxyribonukleinsäure)
HSL	engl.: „Hue, Saturation, Lightness“ (Farbmodell)
HSV	engl.: „Hue, Saturation, Value“ (Farbmodell)
nm	Nanometer
RGB	Rot, Grün, Blau (Farbanteile)
vWF	Von-Willebrand-Faktor

1 Einleitung

„Es gibt keinen Kontakt zwischen zwei Objekten, ohne dass diese auch wechselseitige Spuren hinterlassen.“ [Locard, 1]

Diese Beobachtung wurde von dem Wissenschaftler Edmond Locard bereits 1934 festgestellt und gilt bis heute als unerlässliche Grundlage für die forensische Fallarbeit. Demnach werden an einem Tatort unzählige Spuren hinterlassen, die wichtige Hinweise bieten, um einen Tathergang rekonstruieren zu können.

Blutspuren zählen zu den bedeutendsten und aufschlussreichsten Spuren, da sie bei vielen Verbrechen, insbesondere bei Gewalttaten, hinterlassen werden und sie durch ihre chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften gleich auf mehrere Arten zur Aufklärung von Straftaten beitragen können. So kann Blut als Träger von DNA an einem Tatgeschehen beteiligte Personen identifizieren und zur Be- bzw. Entlastung von Beschuldigten verhelfen. Zudem können Verteilung, Form und Menge der Blutspuren Hinweise auf Bewegungsabläufe, verwendete Tatwerkzeuge oder zeitliche Abläufe liefern.

Die Altersschätzung von Blutspuren ist eine leistungsstarke Methode, die Ermittlern hilft, sowohl zeitliche als auch kausale Zusammenhänge bei der Aufklärung eines Verbrechens zu erkennen. In den ersten Stunden laufen die meisten chemischen Prozesse ab, die zugleich mit Farb- bzw. Strukturänderungen der Blutspuren einhergehen. Darüber hinaus können die Spuren mit der Zeit leicht durch Personen, Tiere oder Witterungseinflüsse verändert werden. Daher sind die ersten Stunden nach einem Tatgeschehen von essenzieller Bedeutung. [2, S. 37-38]

Viele existierende Methoden zur Altersschätzung sind sehr zeitintensiv und erfordern spezielle Geräte, die nur in Laborumgebungen verfügbar sind. Daher wird sich seit einigen Jahren mit der Entwicklung von Apps bzw. ganzen Smartphones beschäftigt, die anhand von farbmtrischen Analysen eine schnelle, leicht zu handhabende Methode zur Altersschätzung für den Einsatz am Tatort ermöglichen [3].

1.1 Zielstellung

In der Bachelorarbeit von Stark [4] wurde eine Smartphone-App entwickelt, die anhand von fotografierten Blutspuren durch farbmétrische Analysen eine ungefähre Altersschätzung der Blutspuren vornehmen soll. Hierfür wurden vier verschiedene Untergründe von Blutspuren untersucht und ein geeignetes Farbmodell ermittelt. Analysiert wurden die Sättigung und die Helligkeit des HSV-Modells (engl.: Hue, Saturation, Value) sowie der Magentawert des CMYK-Modells (engl.: „Cyan, Magenta, Yellow, Key“). Letzterer erzielte die aussagekräftigsten Ergebnisse, weshalb dieses Modell als Basis für die App diente. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die unterschiedlichen Untergründe den Alterungsprozess der Blutspuren beeinflussen. Entsprechend wurde dies in die App-Implementierung mit einbezogen. Die App konnte bis zu einer Dauer von 48h nach Entstehung das ungefähre Alter der Blutspuren schätzen.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, die bestehende Studie mit Schwerpunkt auf das Experiment der Blutproben zu erweitern. Die gewonnenen Ergebnisse sollten als Grundlage für die Weiterentwicklung und Optimierung der App dienen. Zu diesem Zweck wurden weitere Untergründe in die Versuchsreihe aufgenommen, um die Vielseitigkeit der Anwendung zu erhöhen. Die Anzahl der Ablichtungen in einem Zeitraum von drei Wochen wurden erweitert, um detailliertere Farbwertverläufe zu erhalten.

Auch kamen zwei verschiedene Kameraeinstellungen - mit Blitz und ohne Blitz – zum Einsatz, um etwaige Unterschiede in der Farbwahrnehmung des Blutes und deren Auswirkung auf die Analyse zu erforschen.

Darüber hinaus wurden weitere Farbmodelle hinzugezogen, damit geeignete Parameter hinzugefügt bzw. ungeeignete ausgeschlossen werden können. Als Grundlage diente erneut der Magentawert des CMYK-Farbmodells. Zusätzlich wurde der Helligkeitswert des HSL-Modells (engl.: Hue, Saturation, Lightness) sowie der Rotwert des RGB-Modells untersucht.

2 Theoretische Grundlagen

Im Kapitel der Grundlagen werden zunächst alle relevanten Informationen über die Bestandteile und Funktionen des Blutes aufgezeigt. Es folgen die Prozesse der Hämostase in vivo und der Blutalterung ex vivo. Mit dem Wissen über die physikalischen Eigenschaften soll anschließend der Rolle von Blut im forensischen Kontext nachgegangen werden.

2.1 Bestandteile und Aufgaben des Blutes

Blut ist ein flüssiges Gewebe, das durch nahezu alle Teile des Körpers fließt und lebensnotwendige Aufgaben erfüllt. Dazu zählen primär der Transport von Sauerstoff und Nährstoffen zu den Zellen, die Entsorgung von Abfallprodukten sowie die Immunabwehr von Krankheitserregern. Durch das Gefäßsystem aus Arterien, Venen und Kapillaren gelangt das Blut an jede erforderliche Stelle im Körper. Arterien transportieren sauerstoffreiches Blut, was zu einer hellroten Färbung des Blutes führt. Venen führen hingegen sauerstoffarmes Blut, was sie bläulich erscheinen lässt. [5, S. 56]

Das Blutvolumen eines erwachsenen Menschen beträgt im Durchschnitt 5-6 Liter, wobei die Menge bei Frauen etwas geringer ist als bei Männern. Blut setzt sich aus dem flüssigen Bestandteil, dem Blutplasma, sowie den festen Bestandteilen, den Blutzellen, zusammen (siehe Abb. 1). Der Anteil der Blutzellen am Gesamtblutvolumen wird als Hämatokrit bezeichnet. Der Hämatokritwert liegt bei Frauen bei ca. 41% und bei Männern bei ca. 46%. [5, S. 56]

Blut besteht aus zahlreichen Komponenten, von denen die wichtigsten im Folgenden näher betrachtet werden sollen.

2.1.1 Erythrozyten

In einem Mikroliter Blut sind ca. 4,6 bis 5,2 Millionen Erythrozyten enthalten. Dies entspricht einem Anteil von 99%, was sie mit Abstand zur größten Gruppe der Blutzellen macht. Demnach wird der Hämatokritwert vorwiegend durch die roten Blutkörperchen definiert. Neben verschiedenen Enzymen bestehen Erythrozyten hauptsächlich aus dem eisenhaltigen Hämoglobin, welches den Zellen ihre rötliche Farbe verleiht und essenziell für den Gasaustausch ist. Dadurch kann die wichtigste Aufgabe, die Sauerstoffversorgung zu den Gefäßen bzw. der Abtransport von Kohlenstoffdioxid über die Lunge, gewährleistet werden.

Erythrozyten sind kernlos und haben üblicherweise einen Durchmesser von 7,5 µm. Sind sie kleiner als der Durchschnitt, werden sie als Mikrozyten bezeichnet. Wenn Erythrozyten vergrößert sind, spricht man von Makrozyten. Die Form einer bikonkaven Scheibe vergrößert die Oberfläche, was die Gasaufnahme und -abgabe begünstigt. Zudem sind sie sehr elastisch und können so durch Verformungen in kleinste Blutgefäße eindringen. Die Lebensdauer eines Erythrozyten beläuft sich auf ca. 120 Tage. Täglich wird ca. 1% der roten Blutkörperchen erneuert. [6]

2.1.1.1 Hämoglobin

Hämoglobin ist eine Eiweißverbindung, die mit einem Anteil von ca. 90% den Hauptbestandteil von Erythrozyten darstellt. Es besteht aus vier Globinketten (zwei Alpha- und zwei Beta-Ketten), die jeweils eine nicht-proteinogene Komponente, die Häm-Gruppe, gebunden haben. Die Häm-Gruppe besteht aus einem Porphyrinring mit einem zentralen Eisenion, welches die Bindung eines Sauerstoffmoleküls ermöglicht. Somit kann ein Hämoglobinmolekül vier Sauerstoffmoleküle gleichzeitig binden und an die Gewebe abgeben. Auf dieselbe Weise wird auch Kohlenstoffdioxid zur Lunge transportiert, welches dort als Abfallprodukt ausgeschieden wird. [7]

Darüber hinaus trägt Hämoglobin zur Stabilisierung des Blut-pH-Wertes bei, indem es im Falle einer Übersäuerung Wasserstoff binden kann. Ist der pH-Wert hingegen zu hoch, werden Wasserstoffmoleküle freigesetzt. [7]

Nicht zuletzt ist Hämoglobin auch in der Lage Stickstoffmonoxid zu binden, was bei der Regulation des Blutdrucks und der Durchblutung hilft. [7]

2.1.2 Leukozyten

Die weißen Blutkörperchen bilden mit einer Menge von 6000 – 8000 pro Mikroliter die kleinste Gruppe der Blutzellen. Ihre Aufgabe besteht in der Aufrechterhaltung des Immunsystems, indem Krankheitserreger oder andere Gefahren erkannt und entsprechend abgewehrt werden. Hierfür kann die Zahl der Leukozyten innerhalb kurzer Zeit enorm gesteigert werden, um eine schnelle Bekämpfung zu gewährleisten. Sie verweilen im Gegensatz zu den roten Blutkörperchen nur kurz im Blut und benutzen dieses als Transportmittel zu den entsprechenden Blutgefäßen [5, S. 58 - 60].

Aufgrund der Vielfalt an Abwehrmaßnahmen gibt es verschiedene Arten von Leukozyten: Monozyten, Granulozyten und Lymphozyten, wobei diese wiederum in weitere Untergruppen unterteilt werden können. Alle Leukozyten besitzen einen Zellkern, der für die Reaktion und Koordination der Immunabwehr eine wichtige Rolle spielt.

Monozyten haben als Fresszellen die Aufgabe, Fremdkörper aufzunehmen und zu zersetzen. Dieser Vorgang wird auch als Phagozytose bezeichnet. Granulozyten verfahren ähnlich und sind auf die Bekämpfung bakterieller, fungaler oder parasitärer Infektionen spezialisiert. Auch spielen sie bei allergischen Reaktionen eine wichtige Rolle. Sie sind unter den Leukozyten am häufigsten vertreten.

Die Lymphozyten lassen sich in die T-Zellen und B-Zellen unterteilen. B-Zellen produzieren Antikörper, die sich an die Antigene der Erreger heften. Dies hilft Fresszellen bei der Identifizierung der „Feinde“ und erleichtert die Phagozytose.

T-Zellen sind vor allem für die Beseitigung körpereigener geschädigter Zellen, wie z.B. Tumorzellen, von Bedeutung.

Zudem fungieren sie als Aktivator für andere Immunzellen und sind in der Lage, eine Art „immunologisches Gedächtnis“ zu entwickeln. [5, S. 58 - 60]

Leukozyten gehen zwar ebenfalls aus Stammzellen im Knochenmark hervor, reifen allerdings je nach Art in unterschiedlichen Bereichen des Körpers heran. Die Lebensdauer von Leukozyten hängt ebenfalls stark von der Art ab und kann einige Stunden bis einige Jahre (Lymphozyten) betragen. Auch die Größe und die Erneuerungsraten variieren. [5, S. 59]

2.1.3 Thrombozyten

Die Blutplättchen machen zusammen mit den Leukozyten ca. 1% der Blutzellen aus. Auf einen Mikroliter Blut kommen durchschnittlich 150.000 bis 350.000 Thrombozyten. Sie sind kernlos und haben eine flache, unregelmäßige Form. Mit einer Größe von 2-4 μm sind sie deutlich kleiner als die anderen Blutzellen. Thrombozyten nehmen eine zentrale Rolle bei der Blutgerinnung und der Wundheilung ein (siehe Abschnitt 2.2). Die Lebensdauer beträgt 7-10 Tage. [5, S. 60].

2.1.4 Blutplasma

Als Blutplasma wird der flüssige Anteil des Blutes bezeichnet, in dem die Blutzellen schwimmen. Es ist eine klare, gelbliche Flüssigkeit, die zu 90% aus Wasser besteht. Der Rest umfasst eine Vielzahl an gelösten Stoffen, u.a. Nährstoffe, Hormone, Mineralien und Proteine, für die das Plasma als Transportmittel dient. Letztere sind vor allem für die Aufrechterhaltung des kolloidosmotischen Drucks und für die Blutgerinnung von Bedeutung. Darüber hinaus regulieren die Proteine den Säure-Basen-Haushalt und den Elektrolythaushalt des Blutes. Blutplasma kann mittels Zugabe eines Gerinnungshemmers und anschließender Zentrifugation extrahiert werden. [5, S. 60].

Von dem Plasma abzugrenzen ist das Blutserum, welches keine Gerinnungsfaktoren enthält [5, S. 60].

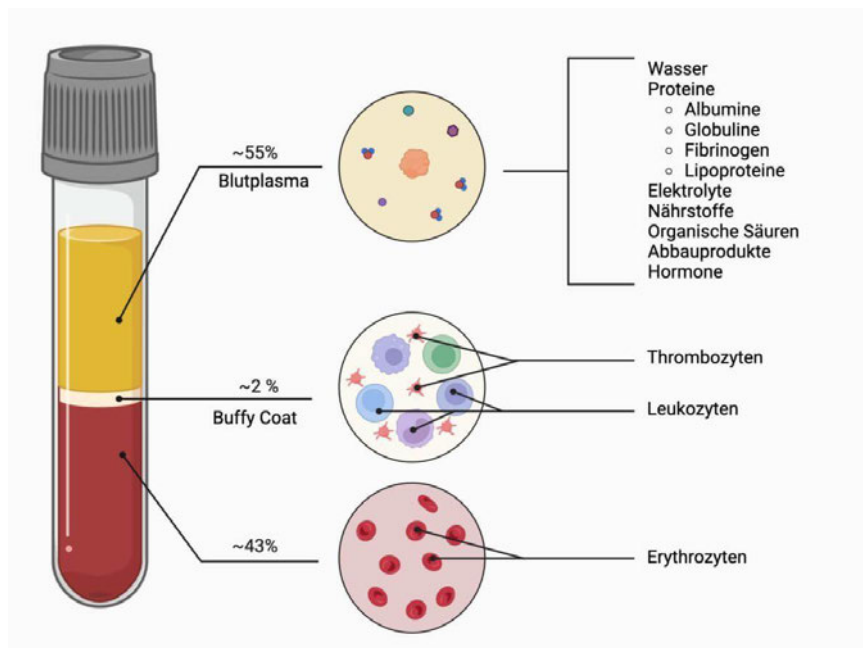


Abbildung 1: Blutbestandteile [8]

2.2 Hämostase

Die Hämostase ist ein biologischer Prozess des Körpers, der bei kleinen bis mittelschweren Verletzungen vor übermäßigem Blutverlust schützt und den Heilungsprozess der Wunde fördert. Um dies zu realisieren, bedarf es einem schnellen Eingreifen der Thrombozyten sowie einer Reaktionskette verschiedener Proteine, den sogenannten Gerinnungsfaktoren. Letztere werden i.d.R. mit römischen Ziffern (I-XIII) bezeichnet und befinden sich überwiegend im Blutplasma in inaktiver Form. Bei Aktivierung fügt man der Bezeichnung ein „a“ an. [9]

Die Hämostase setzt sich aus der Blutstillung und der Blutgerinnung zusammen, die auch unter primärer und sekundärer Hämostase bekannt sind. Beide Prozesse laufen im Körper (in vivo) fließend ineinander über und ergänzen sich wechselseitig. [9]

2.2.1 Primäre Hämostase

In der ersten Phase wird die Wunde über einen instabilen Thrombus vorläufig verschlossen. Da die Primäre Hämostase von der Arbeit der Thrombozyten dominiert wird, wird diese auch als zelluläre Hämostase bezeichnet. Bis zum Eintritt der Blutstillung, dessen Ablauf in drei Phasen unterteilt werden kann, dauert es etwa 1-3 Minuten. [10, 124 - 126]

2.2.1.1 Vasokonstriktion

Sobald eine Verletzung auftritt, kommt es zur sofortigen Kontraktion des betroffenen Blutgefäßes. Ausgelöst wird der Vorgang durch bestimmte Botenstoffe wie z.B. Endothelin. Die Gefäßverengung hat einen verlangsamten Blutstrom zur Folge, was den Blutverlust an der Wunde minimiert und dem Körper Zeit für die Einleitung weiterer Schritte verschafft. [10, S. 124 - 126]

2.2.1.2 Thrombozytenadhäsion

Unter physiologischen Umständen besteht keine Interaktion zwischen einer intakten Gefäßwand (Endothel) und dem Blut. Wird jedoch Endothel beschädigt, führt dies zur Freilegung subendothelialer Strukturen wie z.B. Kollagen, welches die Thrombozyten aktiviert: Hierbei spielt (ein spezielles Protein), der Von-Willebrand-Faktor (vWF), eine wichtige Rolle, der als Bindeglied zwischen dem Kollagen und den Blutplättchen dient. Durch die Bindung des vWF an Kollagen verändert es seine molekulare Struktur. Über den Glykoprotein-Ib-IX-Komplex, ein Rezeptor auf der Oberfläche der Thrombozyten, können diese nun an den vWF binden. Die Adhäsion bildet damit eine erste Abdeckungsschicht der Wunde. [10, S. 124 - 126]

2.2.1.3 Thrombozytenaggregation

Die Aktivierung der Thrombozyten setzt verschiedene Reaktionen in Gang. Zum einen verformen sich die Blutplättchen zu Kugeln mit stachelförmigen Ausläufern, um die Oberfläche zu vergrößern und besser aneinander haften zu können. Die Vernetzung wird dabei durch das Glykoprotein Fibrinogen unterstützt.

Zum anderen setzen sie Botenstoffe frei, darunter Thromboxan, wodurch weitere Thrombozyten angezogen werden. Diese lagern sich ebenfalls an und es kommt zu einem Thrombozytenpfropf, dem weißen Thrombus, der das Gefäß zunächst abdichtet.

[10, S. 124 - 126]

2.2.2 Sekundäre Hämostase

Im Laufe der sekundären Hämostase wird der Thrombus durch ein Netzwerk aus Fibrin und Erythrozyten verdichtet. Es entsteht ein stabiles Gerinnsel, das die Wunde fest verschließt. Aufgrund der vielen enthaltenen Erythrozyten wird dieses auch als roter Thrombus bezeichnet. Der Vorgang nimmt etwa 6-10 Minuten in Anspruch und umfasst ebenfalls drei Schritte. [11, S. 32 - 39]

2.2.2.1 Aktivierungsphase

Die Blutgerinnung kann auf zwei verschiedenen Reaktionswegen initiiert werden, dem extrinsischen und dem intrinsischen Weg. Beide laufen nahezu parallel ab und münden in einer gemeinsamen Endstrecke (siehe Abb. 2). [11, S. 32 - 39]

Die Auslösung des **Extrinsischen Weges** erfolgt über den Tissue Faktor (TF), ein Glykoprotein, das hauptsächlich in den Endothelzellen des Bindegewebes vorkommt. Im Falle einer Verletzung gelangt es in die Blutbahn und bindet an den Gerinnungsfaktor VII, der dadurch in seine aktive Form VIIa umgewandelt wird. Anschließend aktiviert der TF-VIIa-Komplex den Faktor X. [12]

Die Kaskade des **intrinsischen Weges** beginnt mit dem Hageman-Faktor (Faktor XII), dessen Aktivierung durch Kontakt mit negativ geladenen Oberflächen (wie Kollagen) verursacht wird. Dieser veranlasst die Reaktion von Faktor XI zu XIa, der wiederum Faktor IX aktiviert. Zusammen mit dem Faktor VIIIa und Calcium bildet letzterer einen Enzymkomplex, den Tenasekomplex, der schließlich die Aktivierung des Faktor X bewirkt. [12]

2.2.2.2 Koagulationsphase

In der Koagulationsphase laufen die Wege ineinander, nachdem beide zur Aktivierung des Faktors X geführt haben. Dieser aktiviert Faktor V und formt mit ihm den Prothrombinase-Komplex, der unter Mitwirkung von Calcium Prothrombin in Thrombin (Faktor IIa) umwandelt. Anschließend spaltet Thrombin aus Fibrinogen Fibrinmonomere ab, die sich über Wasserstoffbrücken zu Polymeren verbinden und sich an die Thrombozyten anheften. Zugleich aktiviert Thrombin den Faktor XIII, um die Bindung über Quervernetzungen zu stabilisieren. [12]

2.2.2.3 Retraktionsphase

Mit der Retraktionsphase wird der letzte Schritt zur Bildung des roten Thrombus realisiert. Durch eine Kontraktion der Thrombozyten wird das Fibrinnetz komprimiert, was die Wundränder näher zusammenführt. Währenddessen lagern sich viele Erythrozyten im Fibrinnetz ein, wodurch das Gerinnsel noch stabiler und kompakter wird. Damit ist der Prozess der

Blutgerinnung abgeschlossen. Nach erfolgreicher Wundheilung (i.d.R. nach einigen Tagen bis Wochen) wird das Gerinnsel mittels Fibrinolyse abgebaut. [12]

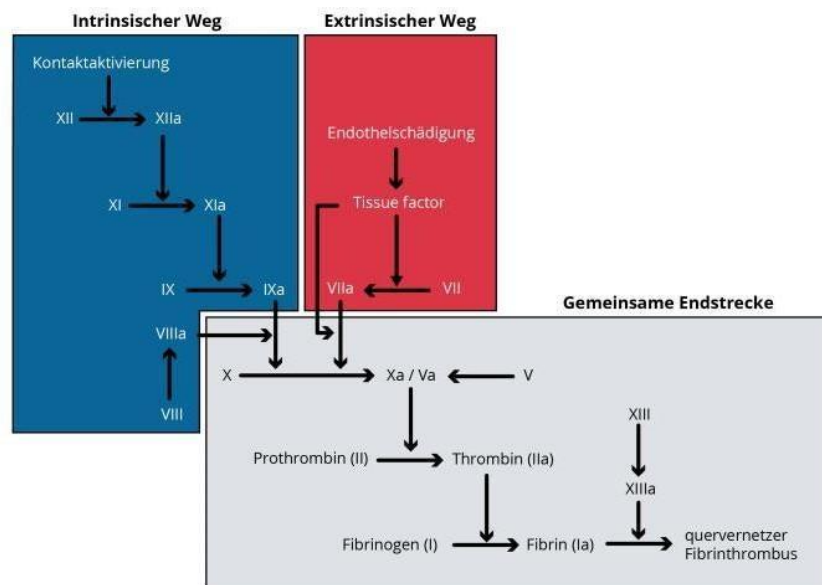


Abbildung 2: Ablauf der sekundären Hämostase von der Aktivierung der Gerinnungskaskade bis zur Thrombusbildung [12]

2.3 Blutalterung (ex vivo)

Blut unterliegt beim Verlassen des Körpers (ex vivo) einer Reihe von biochemischen und physikalischen Reaktionen. Dabei wird es zahlreichen Umweltbedingungen ausgesetzt, die die Alterung beeinflussen. Etwaige Einflüsse sind die Umgebungstemperatur, die Luftfeuchtigkeit oder die Beschaffenheit des Untergrundes. [2, S. 47 - 50]

Die Blutzellen sinken aufgrund ihrer höheren Dichte nach einiger Zeit nach unten, wodurch der feste Bestandteil vom Plasma getrennt wird. Das Wasser beginnt zu verdunsten und es vollzieht sich ein Trocknungsprozess der Blutspur von außen nach innen. Folglich kann es zu Rissen oder Spalten in dem Fleck kommen, die auch unter dem Begriff Trocknungsartefakte zusammengefasst werden. [2, S. 47 – 50]

Während des Alterungsprozesses sind charakteristische Farb- und Strukturänderung zu beobachten, die sich durch oxidative Veränderungen des Hämoglobins erklären lassen. [2, S. 47 – 50]

Sobald Blut mit der Luft in Kontakt kommt, wird es vollständig mit Sauerstoff angereichert und das Hämoglobin in die oxygenierte Form (Oxyhämoglobin) überführt. Nach und nach wird das gesamte Oxyhämoglobin in Methämoglobin umgewandelt. Bei Methämoglobin oxidiert das zweiwertige Eisen zu dreiwertigem Eisen, wodurch keine Sauerstoffbindung mehr möglich ist. In vivo wird der Prozess durch die Methämoglobin-Reduktase verhindert. Die Entstehung von Methämoglobin geht mit einer Farbänderung des Blutes von leuchtend rot zu dunkelbraun einher.

Durch die andauernde oxidative Belastung destabilisiert sich mit der Zeit die Struktur der Hämoglobinderivate, wodurch die Bindung zwischen dem Häm und dem Globin geschwächt wird. Infolgedessen kann sich eine Aminosäure (meist Histidin) an das Eisenatom anlagern, was das Häm in eine denaturierte Form, das Hämichrom, bringt. Dieser Prozess läuft nach 2-3 Wochen ab und führt zu einer nahezu schwarzen Färbung des Blutes. [2, S. 47 – 50]

Es wird vermutet, dass der Kontakt des Blutes mit einer Fremdoberfläche eine Gerinnungskaskade verursacht, die der sekundären Hämostase in vivo ähnelt. Hierbei greift wahrscheinlich lediglich der intrinsische Weg, da dieser durch Plasmaproteine aktiviert wird und nicht wie der extrinsische Weg durch Gewebefaktoren. [2, S. 47 – 50]

2.4 Physikalische Eigenschaften von Blut

Blut liegt sowohl in vivo als auch ex vivo verschiedenen physikalischen Eigenschaften zugrunde. Dazu zählen die Dichte, die Viskosität und die Oberflächenspannung. Sie stehen in enger Wechselwirkung zueinander und beeinflussen, wie sich Blut durch den Körper bzw. durch den Raum bewegt. Zusammen mit den ballistischen Eigenschaften sind sie ausschlaggebend dafür, wie Blut auf Oberflächen auftritt und sich auf ihnen verhält, wobei zugleich auch die Beschaffenheit der Oberfläche eine Rolle spielt.

Alle drei Eigenschaften sind temperaturabhängig, weshalb die folgenden Werte von Blut für die Körpertemperatur (ca. 37°C), die Werte von Wasser für die Raumtemperatur (ca. 20°C) gelten. [13, S. 164 – 166]

2.4.1 Eigenschaften

Dichte

Die Dichte eines Stoffes gibt Aufschluss über das Verhältnis der Masse zu seinem Volumen. Aufgrund der zellulären Bestandteile sowie der gelösten Stoffe im Plasma ist Blut mit einem Wert von 1,057-1,060 g/cm³ etwas dichter als Wasser (1,0 g/cm³). Je nach Hämatokritwert kann die Blutdichte leicht schwanken. [13, S. 164 – 166]

Viskosität:

Die Viskosität ist eine Maßeinheit für die Zähflüssigkeit eines Fluids. Umso höher die Viskosität, desto zähflüssiger bzw. weniger fließfähig ist ein Fluid.

Verantwortlich sind hauptsächlich die Anziehungskräfte zwischen gleichartigen Molekülen in einer Flüssigkeit, die auch als Adhäsionskräfte bezeichnet werden. Mit zunehmender Stärke der Adhäsionskräfte steigt auch die Viskosität. [13, S. 164 – 166]

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist das Fließverhalten von Flüssigkeiten, bei welchem in newtonsche und nicht-newtonsche Flüssigkeiten unterschieden wird. Newtonsche Fluide weisen ein linear viskoses Fließverhalten auf, unabhängig davon, ob äußere Kräfte auf sie einwirken. Wasser hat z.B. eine konstante Viskosität von 1,0 mPa·s. Bei nicht-newtonischen Fluiden hingegen kann sich die Viskosität ändern, sobald eine Kraft auf das Fluid ausgeübt wird: Wird Blut z.B. durch einen Schuss mit hoher Geschwindigkeit aus dem Körper geschleudert, sinkt seine Viskosität währenddessen kurzfristig ab. Ohne äußere Krafteinwirkung hat Blut eine Viskosität von ca. 3-4 mPa·s.

Zudem hat auch der Hämatokritwert Einfluss auf den Wert. [13, S. 164 – 166]

Oberflächenspannung

Bei der Oberflächenspannung handelt es sich um eine physikalische Kraft, die an der Oberfläche von Flüssigkeiten auftritt. Im Inneren eines Fluids sind die Kohäsionskräfte zwischen Molekülen überall gleich stark und gleichen sich aus. An der Grenzfläche zu einem Gas (wie z.B. Luft) können die Moleküle nur in eine Richtung binden, es entsteht somit eine Kraft nach innen. Um diesem Ungleichgewicht entgegenzuwirken, versuchen Flüssigkeiten daher, ihre Oberfläche möglichst klein zu halten. Aus diesem Grund nehmen Blutstropfen in der Luft die Form einer Kugel an. Die Oberflächenspannung von Blut liegt bei ca. 52-58 mN/m und ist aufgrund der Zellbestandteile etwas geringer als die von Wasser (72,75 mN/m). [13, S. 164 – 166]

2.4.2 Ballistik

Durch die Luft fliegende Blutstropfen unterliegen im Wesentlichen zwei Kräften: Der Schwerkraft und dem Luftwiderstand. Betrachtet man das Flugverhalten auf horizontaler Bewegungsebene, würde die Flugbahn in einem Vakuum einer Wurfparabel gleichen. Durch den Einfluss des Luftwiderstands werden die Tropfen in der Luft gebremst und folgen stattdessen einer ballistischen Kurve. Wie weit Tropfen fliegen, hängt von deren Masse ab. Eine größere Masse wird weniger stark vom Luftwiderstand gebremst und kann die Geschwindigkeit länger aufrechterhalten. Aus diesem Grund fliegen größere Tropfen bei gleicher Geschwindigkeit weiter als kleinere Tropfen. Der Effekt zeigt sich besonders bei Schuss Spuren, da die dadurch entstehenden kleinen Blutspritzer trotz der hohen Geschwindigkeit nur in einem beschränkten Umfeld des Ursprungs zu finden sind. [14, S. 24 – 27]

2.4.3 Auftreffphasen

Das Aufkommen eines Blutstropfen auf einem Untergrund kann in vier Phasen unterteilt werden: Kontakt, Verlagerung, Dispersion und Retraktion.

1. Phase: Mit dem **Kontakt** bzw. Aufprall auf der Oberfläche wird die sphärische Form des Tropfens zerstört. [14, S. 24 – 27]

2. Phase: In der zweiten Phase findet eine radiale **Verlagerung** des Blutes in den äußeren Grenzbereich der Spur statt. Im bzw. um den Grenzbereich kann es je nach Oberfläche zu Ausläufern kommen. Auch Satellitenspritzer, kleine Tropfen, die sich vom Haupttropfen ablösen, können auftreten. Besonders häufig entstehen diese infolge hoher Energieeinwirkungen auf die Blutspur. [14, S. 24 – 27]

3. Phase: Bei der **Dispersion** erfolgt eine Bewegung des Spurenrandes entgegen der eigentlichen Bewegungsrichtung. Im Zuge dessen kann es ebenfalls zu Ausläufern oder Satellitenspritzern kommen. [14, S. 24 – 27]

4. Phase: In der letzten Phase, der **Retraktion**, zieht sich der Tropfen aufgrund der Oberflächenspannung wieder zusammen. [14, S. 24 – 27]

2.4.4 Einfluss des Untergrundes

Auf glatten Materialien wie z.B. Glas behalten Blutspuren ihre Form bei und breiten sich gleichmäßig aus. Das Blut hat keine Möglichkeit einzudringen, daher bleibt es auf der Oberfläche. Durch hohe Energieeinwirkung können Satellitenspritzer und Ausläufer entstehen.

Auf hellen Untergründen erscheint das Blut zunächst leuchtend rot. Die Flecke trocknen im Vergleich zu anderen Oberflächen schneller, das Wasser verdunstet und die festen Bestandteile bleiben auf der Oberfläche zurück. Dadurch und durch die chemischen Prozesse erscheinen die Flecke mit der Zeit bräunlich. Zudem können Risse auftreten, die mit der Volumenverringerng der Flecke durch die Verdunstung einhergehen. [15, S. 159 – 160]

Bei rauen Oberflächen (z.B. Holz) kann das Blut in die Oberfläche eindringen und resultiert meistens in unregelmäßigen, verlaufenen Rändern. Der Wasseranteil wird absorbiert, während die Zellbestandteile an den Poren größtenteils auf der Oberfläche haften bleiben. Dadurch oxidiert das Blut langsamer. Zu Anfang ist das Blut tiefrot und wandelt sich innerhalb kurzer Zeit in einen dunkelbraunen bzw. nahezu schwarzen Ton um. [15, S. 159 – 160]

Von saugfähigen Oberflächen wie Baumwolle kann das Blut schnell aufgenommen werden und verteilt sich entlang der Kapillaren bis ins Innere des Materials. Die Trocknung erfolgt dadurch schnell und hinterlässt diffuse Ränder. Auf der Oberfläche kann der zentrale Bereich dadurch schnell blasser wirken, da die Konzentration der Erythrozyten pro Fläche durch die Verteilung abnimmt. Zudem wird das einfallende Licht von der unregelmäßigen

Struktur gestreut, wodurch weniger Licht reflektiert wird und die Farbintensität des Bluts abgeschwächt erscheint. [16]

Hydrophobe Oberflächen, z.B. Polyester, stoßen Flüssigkeiten ab. Beim Aufkommen des Tropfens kann der Tropfen abprallen und zu Sekundärspritzern führen. Die Adhäsionskräfte zwischen der Oberfläche und Blut sind geringer als innerhalb der Flüssigkeit, weshalb sich der Tropfen zusammenzieht. Dadurch sowie durch die langsamere Verdunstung von Wasser trocknet der Fleck langsamer aus. Die Farbe geht von einem intensiven Rot in einen dunkelbraun bzw. schwarzen Ton über. [15, S. 159 - 160]

Die Farbe des Untergrundes kann zudem die Wahrnehmung der Blutfarbe beeinflussen [15, S. 159 - 160].

2.5 Blut als forensische Spur

Blutspuren werden an einem Tatort üblicherweise mit einem Tupfer gesichert und sorgfältig verpackt. Doch nicht immer sind Blutspuren mit dem bloßen Auge erkennbar; Sie können auch in latenter Form vorliegen. Selbst nach einer vermeintlichen Beseitigung der Spuren können Rückstände von Blutbestandteilen, wie z.B. Hämoglobin, zurückbleiben. Für die Sichtbarmachung latenter Blutspuren gibt es verschiedene forensische Methoden. Eine Möglichkeit ist die Chemikalie Luminol, die mit dem Eisen im Hämoglobin reagiert und eine chemische Lumineszenz erzeugt, die im Dunkeln blau leuchtet. Es muss sich allerdings nicht zwingend um Blut handeln, da auch andere Substanzen mit Luminol ähnlich reagieren. Daher werden sogenannte Nachweistests (z.B. Castle-Meyer-Test) durchgeführt, um das Vorliegen von Blut zu bestätigen.

Es gibt zudem auch Tests, die Humanblut von Tierblut differenzieren können. [17]

2.5.1 Blutspurenmusteranalyse

Als bewährte Praktik in der Forensik gilt die Blutspurenmusteranalyse, die sich mit den physikalischen Prinzipien von Blut auseinandersetzt. Anhand von Größe, Form, Verteilung und Lage der Spuren können u.a. Rückschlüsse auf die Position von Opfer und Täter, die Art und Richtung der Gewaltanwendung oder zeitliche Abfolgen gezogen werden.

[13, S. 166 – 172]

2.5.1.1 Kategorisierung von Blutspuren

Bedingt durch unterschiedliche Entstehungsursachen lassen sich verschiedene Blutspurenbilder differenzieren. Eine weltweit einheitliche Klassifizierung existiert bisher jedoch noch nicht. Eine gebräuchliche Einteilung durch Peschel *et al.* ist Folgende (Abb. 3).

Passivspuren	Kontaktspuren	Projektionsspuren	Varia
Geronnenes Blut 	Abdruckspur 	Arteriell Spritzmuster 	Adhäsions-/Kohäsionseffekte 
Serumseparation 	Wischspur 	Schleuderspur 	Insektenspur 
Abtropfspur 	Durchwischspur 	Spritzspur 	Spritschatten 
Ablaufspur 		Expirationsspur 	Skelletierter Tropfen 
Blutlache 		Rückwärts-spritzer 	
Bluttränlung 		fadenförmige Auszieher 	

Abbildung 3: Kategorisierung von Blutspurenmustern nach Peschel *et al.* [18]

Passive Spuren entstehen durch die alleinige Wirkung der Schwerkraft.

Transferspuren entstehen, wenn eine blutige Oberfläche mit einer anderen in Kontakt kommt.

Projizierte Spuren entstehen durch die Einwirkung einer größeren Kraft als der Schwerkraft. Varia umfassen Blutspuren, die keiner Kategorie eindeutig zugewiesen werden können. [13, S. 166 – 172]

2.5.1.2 Verteilungsanalyse

Die endgültige Form eines Blutstropfens wird auch von dem Auftreffwinkel geprägt. Während ein Tropfen bei einem Auftreffwinkel von 90° kreisförmig ist, nimmt er mit flacher werdendem Winkel eine elliptische Gestalt an.

Der Auftreffwinkel kann über folgende Formel berechnet werden: $\alpha = \arcsin \frac{\text{Breite}}{\text{Länge}}$ (siehe Abb. 4).

Für die Berechnung wird nur die Hauptfläche des Tropfens verwendet, eventuelle Ausläufer o.ä. werden außer Acht gelassen.

Verlängert man die Längsachsen der Blutspuren, erhält man einen Konvergenzpunkt, an dem sich die Linien schneiden. Mit der Kenntnis des Auftreffwinkels kann die *Area of Origin* bestimmt werden, das den Ursprungsbereich des Blutes im 3D-Raum darstellt. Das Konvergenzareal kann auf Position, Bewegungsablauf und räumliche Beziehung von Täter und Opfer hinweisen.

Die Verteilungsanalyse wurde ursprünglich mit der Fadenprojektion durchgeführt, mittlerweile existieren auch verschiedene digitale Methoden. [13, S. 172 – 173]

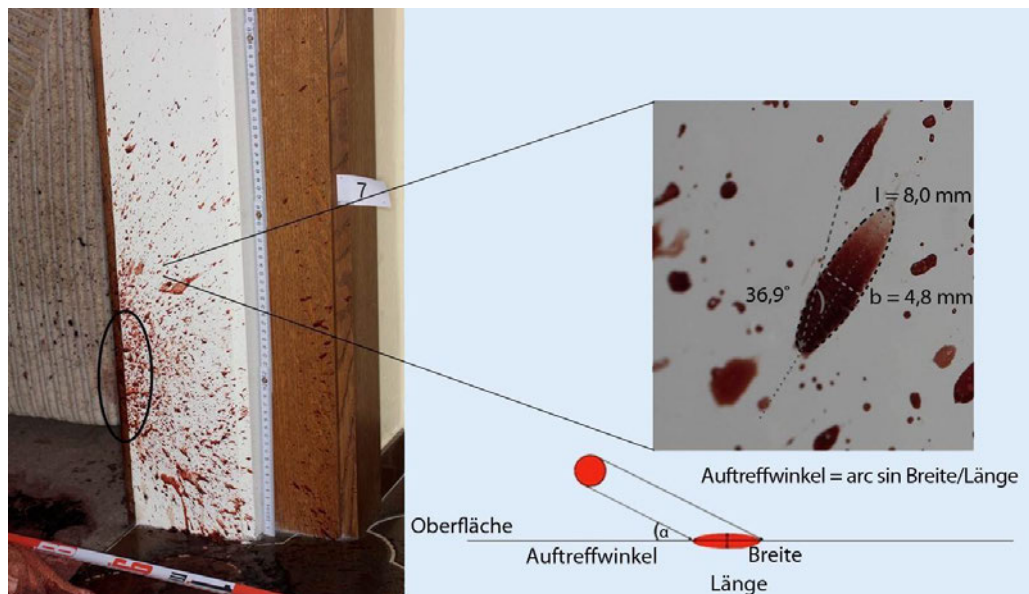


Abbildung 4: Berechnung des Auftreffwinkels eines Blutstropfen [19]

2.5.2 Blutaltersbestimmung

Bei der Blutaltersbestimmung wird versucht, den Zeitraum der Entstehung der Blutspur zu ermitteln. Dafür gibt es eine Vielzahl an Methoden, die sich mit unterschiedlichen Features des Blutes beschäftigen. [2, S. 50 – 53].

Spektroskopische Methoden analysieren die Wechselwirkungen zwischen der elektromagnetischen Strahlung und einer Materie.

Die UV-Vis-Spektroskopie als ein Beispiel misst die Absorption von Strahlung im ultravioletten (UV) und sichtbaren Bereich des Spektrums.

Wenn Licht durch den Blutfleck geleitet wird, absorbieren die Moleküle bestimmte Wellenlängen des Lichts. Diese sind je nach chemischem Zustand von Hämoglobin unterschiedlich und können daher zur Identifikation des Blutalters beitragen. [20]

Chromatographische Ansätze, wie die Flüssigkeitschromatographie (HPLC), erfassen die chemischen Veränderungen im Blut. Der Abbau von Hämoglobin und die Entstehung von Methämoglobin bzw. Hämichrom kann über die Zeit hinweg verfolgt werden und mit dem Alter des Blutes korreliert werden. [2, S. 50 – 53]

Farbmetrische Methoden nutzen digitale Bildverarbeitung oder standardisierte Farbmodelle, die die farblichen Veränderungen von Blutflecken messen. Diese Art der Altersbestimmung ist für die Arbeit von Stark sowie für die hier vorliegende Arbeit zentral. Farbmetrische Methoden bringen einige Vorteile mit sich. Sie setzen weder platzintensive Geräte noch lange Laboranalysen voraus. Daher kann die Analyse bereits direkt am Tatort

erfolgen. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Methoden nichtinvasiv sind, da keine Probenentnahme nötig ist, sondern lediglich ein digitales Abbild der Spuren angefertigt wird. [3]

In der Studie von SHIN *et al.* wurde ein „Smart Forensic Phone“ entwickelt, das zur farbmimetrischen Analyse von Blutflecken am Tatort genutzt werden soll, um innerhalb kurzer Zeit das Alter des Blutes schätzen zu können. Die Methode ermöglichte eine genaue Schätzung bis 42h nach der Entstehung. [3]

2.6 Entstehung von Farben

Die Wahrnehmung von Farben beruht auf einem komplexen Zusammenspiel von Licht, dem Gehirn und den Sinneszellen der Augen.

Licht ist eine Form von elektromagnetischer Strahlung. Es kann vom menschlichen Auge nur innerhalb eines bestimmten Spektrums wahrgenommen werden. Dieser sogenannte „sichtbare Bereich“ liegt zwischen 380 nm und 780 nm. Dass Gegenstände farbig erscheinen, liegt daran, dass sie bestimmte Wellenlängen absorbieren und andere Wellenlängen wiederum reflektieren. Dabei gelangen nur die reflektierten Lichtwellen in das Auge, weshalb sich die wahrgenommene Farbe als Mischfarbe aus jeder reflektierten Wellenlänge ergibt. [21, S. 2]

Das einfallende Licht passiert im Auge zunächst die Hornhaut, die Pupille, die Linse und schließlich die Netzhaut. Dort trifft das Licht auf die Sinneszellen, von denen der Mensch zwei Arten besitzt: Stäbchen und Zapfen.

In der Fovea, der Bereich auf der Netzhaut für das Scharfsehen, sind ca. 5-7 Millionen Zapfen für das Tagsehen verantwortlich und ermöglichen es uns, Farben zu sehen.

Man kann drei Zapfentypen unterscheiden, die aufgrund verschiedener Proteine auf spezifische Wellenlängen reagieren und eine unterschiedliche Spektralempfindlichkeit aufzeigen. L-Zapfen reagieren auf lange Wellen, die im Farbspektrum der Farbe Rot entsprechen. M-Zapfen absorbieren mittlere Wellenlängen (Grün) und S-Zapfen kurze Längen (Blau). Die Zapfen senden elektrische Impulse an das Gehirn, welches diese kombiniert und als Farbe interpretiert.

Wenn alle Wellenlängen zu gleichen Teilen reflektiert werden, nimmt man einen Gegenstand als weiß wahr. Wird das Licht hingegen vollständig absorbiert, erscheint der Gegenstand schwarz.

Aufgabe der Stäbchen, die in deutlicher Überzahl vorzufinden sind, ist das Hell- und Dunkelsehen. Dies spielt insbesondere bei schlechten Lichtverhältnissen, z.B. in der Dämmerung bzw. der Nacht eine Rolle. [21, S. 2]

2.6.1 Funktionsweise einer Handykamera

Eine Handykamera besteht aus vielen Komponenten, die ähnliche Funktionen wie das Auge aufweisen. Ein Objektiv fängt das Licht ein und lenkt es auf einen Bildsensor, meist ein CMOS- oder CCD-Sensor. Mit einer Blende wird die Menge an Licht kontrolliert, die auf den Bildsensor treffen soll. Die Blendenzahl wird z.B. als $f/20$ angegeben.

Dieser Sensor setzt sich aus Millionen winziger Pixel zusammen, die jeweils auf das einfallende Licht reagieren. Jeder Pixel erfasst dabei eine bestimmte Lichtmenge, die in elektrische Signale umgewandelt wird. Ein Pixel beschreibt das kleinste Element zur Darstellung eines Bildes. Es wird mit Millionen weiterer Pixel in einem Raster angeordnet. Diese sind in so hoher Dichte vorhanden, dass das Gehirn diese als zusammenhängendes Bild zusammenfügen kann. Die maximale Anzahl an Pixel, die eine Kamera in einem Bild aufnehmen kann, wird als Auflösung bezeichnet und in Megapixeln (MP) angegeben. [22]

Vor der Erfassung durch die Pixel wird das Licht oft durch einen Farbfilter geleitet, der Rot, Grün und Blau voneinander separiert, um die Farben realistisch wiederzugeben. Die Bildverarbeitungssoftware des Smartphones verarbeitet diese Rohdaten innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde, verbessert die Schärfe, passt den Kontrast an und reduziert Rauschen, um ein möglichst detailreiches und realistisches finales Abbild zu erstellen. [22]

2.6.2 Farbmodelle

Farbmodelle sind mathematische Systeme, die zur Visualisierung aller in einem spezifischen Raum definierten Farben dienen. Sie legen fest, wie Farben durch Kombination von Grundfarben dargestellt werden und erlauben es, Farben auf strukturierte Weise zu definieren, zu messen und zu repräsentieren. [21, S. 29 – 30]

2.6.2.1 RGB-Farbmodell

Bei dem RGB-Farbmodell handelt es sich um ein additives Farbmodell, bei dem die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau in unterschiedlichen Intensitäten gemischt werden, um eine Vielzahl von Farben zu generieren (siehe Abb. 5). Jeder Farbwert hat einen Wertebereich von 0 bis 255, wobei 0 keine Intensität und 255 die maximale Intensität bedeutet. Durch Überlagerung aller Grundfarben in der höchsten Intensität entsteht Weiß (255,255,255). [21, S. 29 – 33]

Das RGB-Modell findet häufig bei digitalen Geräten wie Monitoren oder Digitalkameras Anwendung. [21, S. 29 – 33]

HEX-Farbcode

Eine alternative Darstellung der RGB-Farbwerte ist der sechsstellige HEX-Code. Dahinter verbirgt sich das Hexadezimalsystem, welches aus den Ziffern 0-9 und den Buchstaben A-F als weiterführende Zahlzeichen besteht. Jede Stelle kann daher 16 verschiedene Werte annehmen. „FF“ steht dabei für die höchste Intensität, „00“ für die geringste. Die ersten beiden Stellen repräsentieren Rot, die mittleren zwei Grün und die letzten beiden Blau.

Am Anfang des Codes ist häufig ein Rautensymbol zu finden, weshalb die Darstellung wie folgt aussehen kann: #FF0000 (entspricht reinem Rot). [23]

Der Hex-Code wird häufig in der Webentwicklung oder dem Graphikdesign verwendet [23].

2.6.2.2 CMYK-Farbmodell

Bei dem CMYK-Modell entstehen die Farben durch das Mischen von Cyan, Magenta und Gelb (siehe Abb. 5). Es bedient sich der subtraktiven Farbmischung, also der Absorption von Licht. Je mehr Farbpigmente auf einem Material vorhanden sind, desto weniger Licht wird reflektiert, was in einer dunkleren Farbe resultiert.

Das Modell wird vor allem im Druck verwendet, weshalb der Ausgangspunkt ein weißer Hintergrund ist.

Werden alle Farben in voller Intensität zu gleichen Anteilen auf dem weißen Hintergrund vermischt, entsteht ein dunkles Braungrau. Daher wird zusätzlich Schwarz als vierte Komponente hinzugefügt, um Tiefen und Kontraste zu erhöhen. Der Wertebereich liegt zwischen 0% und 100%. Ein leuchtendes Rot wird beispielsweise durch die Werte (100, 100, 0, 0) dargestellt. [21, S. 35 – 37]

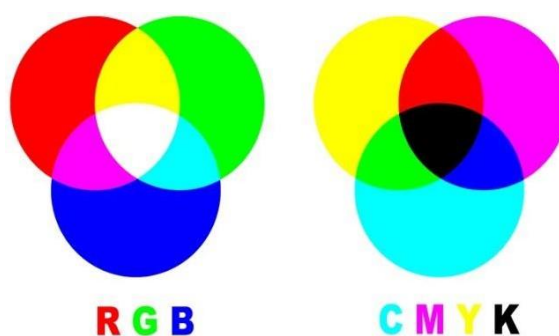


Abbildung 5: Primärfarben des RGB-Farbmodells (links) und CMYK-Farbmodells (rechts) sowie die daraus resultierenden Mischfarben [24]

2.6.2.3 HSL-/HSV-Farbmodell

Das HSL-Modell hat den Vorteil, Farben intuitiver für den Menschen zu organisieren, da sie dem visuellen Verständnis von Farben am ehesten entsprechen.

Die Darstellung erfolgt im dreidimensionalen Raum, häufig in der Form eines Zylinders (siehe Abb. 6).

Jede Farbe kann durch den Farbton (Hue), die Sättigung (Saturation) und die Helligkeit (Lightness) definiert werden. Dabei geben die Farbtöne den Grundton an und sind auf einem Farbkreis angeordnet. Sie werden als Position auf dem Kreis mit Gradangaben zwischen 0° und 360° dargestellt. 0° entspricht Rot, 120° Grün und 240° Blau. Die Sättigung steht für die Reinheit der Farbe (bzw. den Grauanteil), wird in Prozent angegeben und beschreibt die Entfernung vom Zentrum des Zylinders. Mit der Helligkeit wird der prozentuale Schwarz- bzw. Weißanteil (100%) des Farbtons beschrieben. 50% entspricht einem weder aufgehellten noch abgedunkelten Farbton und daher der maximalen Farbintensität. Die Helligkeit ist beim Zylinder durch die vertikale Achse repräsentiert und ist von den anderen Komponenten abhängig. Beispielsweise wirken gesättigte Farben bei gleicher Helligkeit heller als entsättigte Farben.

Das HSL-Modell eignet sich besonders im Bereich des Graphikdesigns und der Bildbearbeitung. [25, S. 59 - 62]

Der Unterschied zum HSV-Modell liegt lediglich in der Definition der letzten Komponente. Hier stellt die Helligkeit die Intensität der Farbe von Schwarz bis zur maximalen Helligkeit dar. [25, S. 55 - 59]

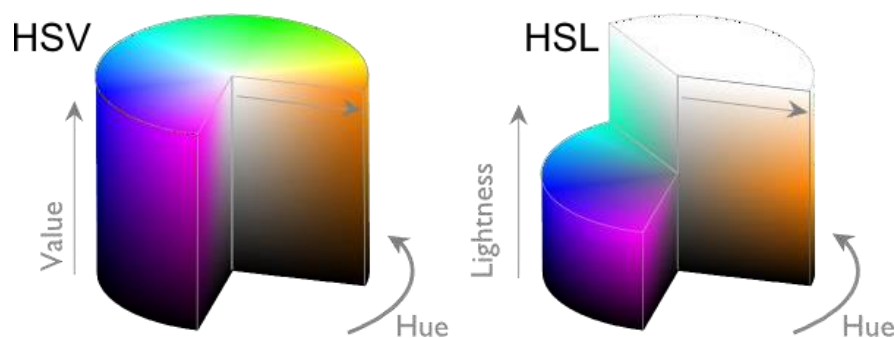


Abbildung 6: HSV- und HSL-Farbmodell in 3D-Darstellung eines Zylinders [26]

3 Material und Methoden der Versuche

In den folgenden Abschnitten werden alle verwendeten Materialien sowie die Vorbereitung und der Ablauf des ersten Versuchs beschrieben.

3.1 Untergründe und Vorbereitung des ersten Versuchs

Um für möglichst konstante Bedingungen zu sorgen, fanden die gesamten experimentellen Schritte einschließlich der Blutentnahme im selben Raum statt. Hierfür fiel die Wahl auf ein Labor der Hochschule Mittweida. Über den gesamten Zeitraum herrschte dort eine relativ konstante Temperatur von 22-24°C.

Es wurde sich für Eigenblut entschieden, damit Integrität und Authentizität der Blutprobe gewährleistet sind. Der Proband wies folgende Eigenschaften auf: weiblich, 21 Jahre, europäisch, gesund, Nichtraucher, normale Ernährung.

Für das Experiment wurden insgesamt acht verschiedene Untergründe verwendet (siehe Tab. 1). Da diese Arbeit die Testreihe der Studie von Stark fortführen soll, wurden sowohl die vier dort verwendeten Materialien - Holz, Glas, Papier und Stoff – als auch vier weitere ausgesucht.

Die Übereinstimmung der Materialien bezieht sich nur allgemein auf die Art des Untergrundes, nicht auf die spezifische Sorte. Bei den neu hinzugefügten Untergründen handelt es sich um Kunststoff, Stahl, Polyester und Keramik.

Die Untergründe wurden von der Hochschule zur Verfügung gestellt. Bei einigen Materialien handelt es sich um Reste, weshalb genaue Produktinformationen nicht mehr rückverfolgt werden konnten.

Die verwendeten Untergründe sind mit entsprechenden Produktangaben, sofern diese ausfindig gemacht werden konnten, in nachfolgender Tabelle (Tab. 1) aufgelistet:

Tabelle 1: Verwendete Untergründe mit entsprechenden Produktdetails und Hersteller [eigene Darstellung]

Material	Produktdetails	Hersteller
Kunststoff	Einmal Petrischale Artikelnr.: 13985-01	Servopax
Holz	Kiefer Rechteckleiste 05x30x1000 mm Artikelnr.: 77734	Kosche Holzwerkstoffe GmbH
Glas	Objektträger 1x76x26 mm ohne Mattrand Katalognr.: 631-0701	Menzel-Gläser Thermo
Stahl		
Papier	Druckerpapier 80 g/m ²	
Polyester	Dunkelblau, vermutlich Schutzhülle von Regenschirm	
Stoff	Vermutlich Baumwolle	

Im Vorwege erfolgte bei Kunststoff, Glas, Stahl und Keramik eine Reinigung mit Wasser, um eventuelle Rückstände oder Staub zu entfernen.

Zudem wurden Stoff und Polyester für den Erhalt einer glatten Oberfläche vorher gebügelt. Letztere sowie Papier wurden auf eine ungefähre Größe von 50x40 mm zugeschnitten und mit Klebeband auf einem weißen Blanko-DIN-A3-Papier fixiert, um ein Verrutschen zu vermeiden. Da das Papier bei der Fotografie auch als Kontrast für die durchsichtigen Untergründe diente, lag es zwecks Einheitlichkeit unter allen Materialien.

3.2 Blutentnahme und Vorgehen des ersten Versuchs

Für den ersten Versuch wurden 10 ml venöses Blut aus der Ellenbeuge mit einer gelben 20G Einwegkanüle und einer Spritze abgenommen. Die Spritze enthielt im Gegensatz zu den meisten Röhrchen keine additiven Substanzen, die den natürlichen Alterungsprozess hätte beeinflussen könnten. Der Zeitpunkt der Abnahme betrug 13:07 Uhr.

Das Blut wurde direkt nach der Abnahme für eine leichtere Handhabung in ein Becherglas umgefüllt.

Mit einer Pipette wurde jeder Tropfen in einem Winkel von 90° aus 8 cm Höhe auf die Untergründe gegeben. Dabei ist das Blut ohne Druck aus der Pipette abgetropft, um eine gleichmäßige Menge zu erzeugen und die natürliche Form zu bewahren.

Von jedem Untergrund wurden 4 Proben angefertigt und mit einer Beschriftung von 1 - 4 für die entsprechende Reihe versehen. Es wurde zuerst ein Exemplar jedes Untergrundes erstellt und nach und nach die Reihen angefertigt.

Bei der letzten Reihe stellte sich jedoch schnell heraus, dass die Gerinnung, wie auf Abb. 7 rechts zu sehen, bereits eingetroffen war.

Seit der Entnahme sind bei der Aufnahme des rechten Tropfens ca. 25 Minuten vergangen.

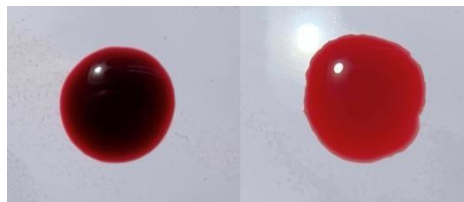


Abbildung 7: Frischer Blutropfen (nach 0h) mit allen Blutbestandteilen (links) und Blutropfen lediglich bestehend aus Serum (rechts)
[eigene Darstellung]

Die letzte Reihe wurde der Vollständigkeit halber fotografiert, aber aus der Auswertung ausgeschlossen, da diese zu Verfälschungen führen würden, weshalb für die Auswertung insgesamt 24 Tropfen zur Verfügung standen.

Aufbewahrt wurden die Proben in einem DNA/RNA UV-Cleaner (siehe Abb. 8), um sie vor möglichen Schäden zu schützen. Das Gerät diente lediglich der Lagerung und wurde zu keinem Zeitpunkt für den ursprünglichen Zweck verwendet. Die Frontscheibe war durchgehend halb geöffnet, um ausreichend Luftzufuhr zu gewährleisten. Aufgrund von eingeschränkten Platzverhältnissen wurde die Holzleiste nebenan deponiert.



Abbildung 8: Lagerung der Blutproben in einem DNA/RNA UV-Cleaner mit halb geöffneten Frontscheibe [eigene Darstellung]

3.3 Fotografisches System

Vor der Durchführung des Versuchs wurde die Suche nach einer geeigneten Kameraeinstellung vorgenommen. In der Studie von S. Stark, bei der die Fotografie mit einem Sony Xperia Z1 compact erfolgte, stellte sich eine Bildaufnahme mit gleichzeitiger Verwendung der integrierten Taschenlampe als optimale Option heraus (in einem abgedunkelten Raum).

In dieser Arbeit stand die Hauptkamera des iPhone 12 als fotografisches System zur Verfügung, die eine Auflösung von 12 Megapixeln bietet. Sie verfügt über eine Blende von $f/1.6$ und optischer Bildstabilisierung. Der ISO-Wert lag bei Verwendung des Blitzes konstant bei 32, ohne Blitz variierte dieser.

Das iPhone 12 besitzt die Option der parallelen Nutzung der Taschenlampe nicht, weshalb vorab einige Testversuche mit synthetischem Blut durchgeführt wurden. Die Wahl fiel auf Bilder mit Blitz und ohne Blitz, um die Belichtungsoptionen im Hinblick auf die Farbauswertung der Tropfen im Nachhinein vergleichen zu können.

Der Abstand zwischen Kamera und Blutfleck beträgt gemäß der Studie von SHIN *et al.* [3] 8 cm, da sie unterhalb undeutlich werden. Um diesen Abstand konstant einzuhalten, wurde ein Lineal zur Hilfe genommen.

Die Fotos wurden auf einer gefliesten Arbeitsfläche des Labors getätigt. Alle Deckenlichter wurden angeschaltet, darunter auch eines, das direkt auf die Arbeitsfläche strahlte. Es wurde darauf geachtet, die Untergründe bei jeder Fotografie an dieselbe Stelle zu positionieren.

Abgelichtet wurden alle Blutstropfen nach 1h, 2h, 3h, 9h, 12h, 24h, 48h, 72h, 120h, 144h, 168h, 192h, 216h, 240h, 288h, 312h, 336h, 408h und 504h (drei Wochen).

In den ersten Stunden laufen die meisten Prozesse der Blutalterung ab, weshalb möglichst viel Bildmaterial vorhanden sein sollte.

Die Spanne von 3 Wochen gilt als forensisch relevanter Zeitraum. Ab Tag 2 bis Ende der zweiten Woche wurde täglich zur selben Uhrzeit (13:00 Uhr) fotografiert. Sonntage wurden aufgrund der Unzugänglichkeit der Hochschulgebäude ausgelassen.

Mit der Zeit treten nur noch wenige bis keine Veränderungen auf, weshalb der Abstand der Ablichtung in der dritten Woche reduziert wurde.

3.4 Digitale Auswertung der Bilder

Zur Untersuchung der farblichen Änderungen der Blutstropfen wurden die Bilder in das Programm „Inkscape“ importiert. Die Software ist primär auf die Arbeit mit Vektorgraphiken spezialisiert, stellt aber auch verschiedene Farbmodelle bereit, die zur Bestimmung und Analyse von Farbwerten verwendet werden können. Dazu kann mit einer Pipette entweder ein einzelner Pixel oder ein Radius (max. 400 Pixel) gewählt werden.

Blutflecken weisen eine unterschiedliche Verdunstungsgeschwindigkeit auf. An den Rändern verdunstet das Wasser schneller als in der Mitte, da die Flüssigkeit dort weniger stark konzentriert ist. Daher wurde zur Messung ein Radius von 30 Pixeln ausgehend vom Tropfenmittelpunkt verwendet. Bei starker Reflexion oder großen Rissen wurde die Pipette etwas versetzt vom Mittelpunkt angesetzt. Die Werte des ausgewählten Farbmodells erscheinen auf der rechten Seite. Über ein Dialogfenster kann man zwischen den Farbmodellen RGB, HSL, HSV, CMYK, HSLuv und CMS wählen.

Da das CMYK-Modell, besonders der Magentawert, mehreren Studien nach erfolgreich zur Blutaltersschätzung verwendet wurde (Quelle), wurde zunächst mit diesem Modell ausgewertet.

Zu einem späteren Zeitpunkt wurde beschlossen, zwei weitere Modelle, RGB und HSL, hinzuzunehmen und den Rotwert (RGB) und den Helligkeitswert (HSL) zu untersuchen.

Die Umrechnung der CMYK-Werte in RGB- und HSL-Werte erfolgte mit dem Online-Converter „ConvertAColor“, der die Werte aller drei Farbmodelle plus Hex-Code gleichzeitig anzeigt. Aus Effizienzgründen wurden nur Ganzzahlen verwendet (ab 0,5 aufgerundet bzw. unter 0,5 abgerundet). Dies hat die Farbe optisch nicht beeinflusst.

Um eine Übersicht über die Daten zu behalten sowie eine strukturierte Grundlage für die Weiterverarbeitung zu schaffen, erfolgte die Speicherung der Werte in Excel-Tabellen. Die graphische Visualisierung der Daten wurde mit RStudio realisiert.

3.5 Motivation des zweiten Versuchs

Auf Polyester traten unmittelbar nach dem Auftragen unerwartete Unregelmäßigkeiten hinsichtlich der Tropfenstruktur auf. Auch die Besonderheit der dunklen Farbe hob Polyester von allen anderen Untergründen in Bezug auf den Einfluss der Oberfläche ab.

Entsprechende Auffälligkeiten ließen sich auch in den Farbverläufen des Magenta- und Rotwertes finden.

Während die Magentawerte ab 24h stark anstiegen, war der Verlauf des Rotwertes weitestgehend gradlinig.

Es wurde sich daher entschieden, den Versuch für Polyester zu wiederholen. Dafür wurden sich verschiedene Verschmierungstechniken überlegt, die für eine gleichmäßige, flache Oberfläche der Tropfen sorgen sollten.

Ausgehend von der erhofften Gleichmäßigkeit der Exemplare war das Ziel des zweiten Versuchs, Farbverläufe zu generieren, die näher an den anderen Untergründen dran sind und dementsprechend beim Magentawert weniger Schwankungen und beim Rotwert klarere Ab- bzw. Anstiege aufzeigen.

3.6 Untergründe/ Vorgehen des zweiten Versuchs

Für den zweiten Versuch wurden 4 ml Blut nach derselben in Absatz 3.2 beschriebenen Art und Weise abgenommen. Der Zeitpunkt der Abnahme betrug 13:03 Uhr. Alle Schritte des zweiten Versuchs fanden erneut im Labor der Hochschule statt. Der Ort der Lagerung und der Fotografie wurden ebenfalls nicht verändert.

Bei dem zweiten Versuch musste anderer Polyester verwendet werden, da es sich beim ersten aufgebrauchte Reste handelte. Der hier verwendete Polyester ist ein Teil der Schutzhülle des Teleskop Regenschirms in dunkelblau der Marke *Macma* (Produktnr.: 4518844). Dieser Polyester war allerdings etwas dunkler und wies eine leicht andere Struktur auf als der, der beim ersten Versuch verwendet wurde.

Zur Erstellung der Proben wurde die Schutzhülle auf 50x30 mm zugeschnitten, gebügelt und erneut auf einem weißen Blanko-DIN-A3 Blatt mit Klebeband befestigt. Es wurde sich für drei verschiedene Verschmierungstechniken entschieden: Mit einem Zahnstocher, mit einem Löffelende (Edelstahl) und mit dem Finger unter Verwendung von Einmalhandschuhen (Nitril). Die Tropfen wurden unmittelbar nach dem Auftropfen auf der Oberfläche durch kreisende Bewegungen mit den entsprechenden Mitteln verschmiert. Als Referenz wurde noch eine Reihe ohne Verschmierung, sprich dem bloßen Abtropfen aus der Pipette, erstellt.

Da noch genug Blut übrig war, wurde der Versuch auch für Keramik, Holz, Papier und Stahl mit einer kleinen Ausnahme nach demselben Prinzip wie in 3.1 beschrieben wiederholt. Um sicherzustellen, dass von einem Untergrund wieder drei Exemplare vorhanden sind, wurde sich von Untergrund zu Untergrund gearbeitet. Stoff und Glas fehlten im zweiten Versuch, da die Blutgerinnung zuvorgekommen war.

Die Ablichtung erfolgte bei diesem Versuch bereits ab Stunde 0, um die Veränderungen bereits unmittelbar nach dem Aufkommen festzuhalten. Bei der ersten Erstellung der Proben fiel auf, dass die frischen Tropfen anfangs relativ dunkel sind und erst innerhalb der ersten Stunde aufhellen.

Die anderen Zeitpunkte für die Fotografie wurden bis zur dritten Woche so übernommen. Nach 336h und 408h wurden keine Messungen getätigt, stattdessen erfolgte nach 456h eine Aufnahme, was auf unvermeidbare Abwesenheit zurückzuführen ist.

4 Ergebnisse des ersten Versuchs

Nach Beschreibung der Methodiken sollen nun die Resultate des ersten Versuchs präsentiert werden. Zur besseren Übersicht sind die Ergebnisse in den Teil der Fotografie und der digitalen Auswertung eingeteilt.

4.1 Ergebnisse der Fotografie

Die unterschiedlichen Beschaffenheiten und Farben der Untergründe haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Tropfenform und deren Farbwahrnehmung.

Die Oberfläche von Keramik, Stahl, Glas und Kunststoff ist glatt und undurchlässig, weshalb der Tropfen beim Aufprall nicht verlief und die runde Form beibehielt.

In die porösen Untergründe Holz und Stoff drang das Blut sofort ein und führte entlang der Fasern zu Ausläufern. Die Tropfen waren zudem kleiner als die anderen. Auch Papier nahm das Blut schnell auf, die Form blieb dennoch rund erhalten.

In den ersten Stunden nach der Auftragung war ein Trocknungsprozess zu beobachten, der sowohl mit Struktur- als auch Farbveränderung einherging (siehe Abb. 9).

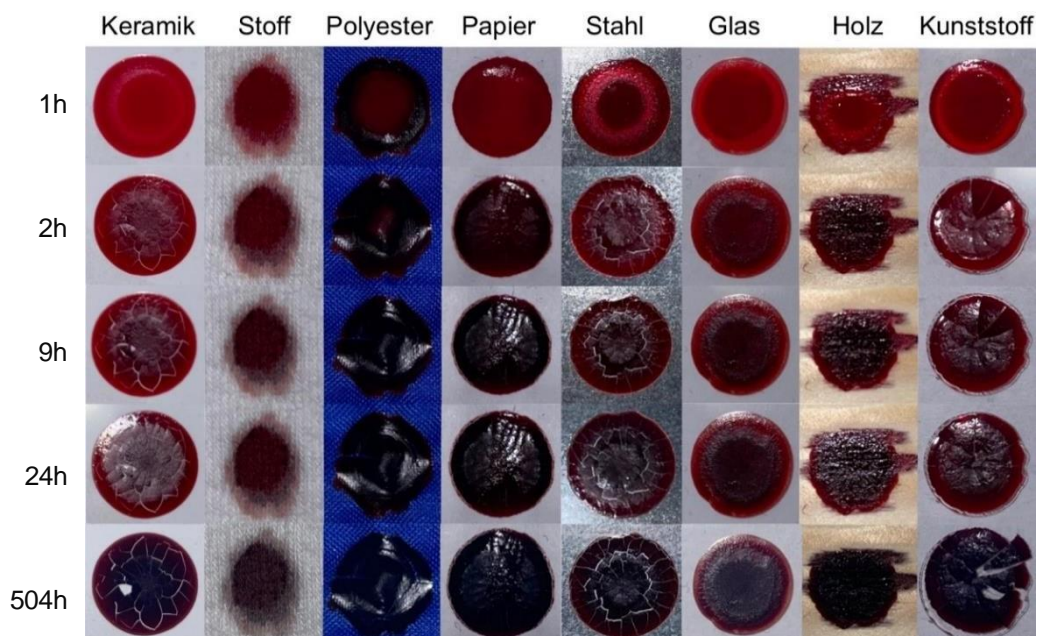


Abbildung 9: Fotografie (mit Blitz) der Blutspuren auf acht Untergründen nach 1h, 2h, 9h, 24h und 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

Die Tropfen auf Polyester erschienen flüssig dunkelrot bzw. nach einer Stunde bereits zum Teil schwarz. Sie wiesen zudem im Vergleich zu allen anderen Oberflächen einen langsameren Trocknungsprozess auf. Auf Papier und Holz war die Farbe der Tropfen ab der zweiten Stunde bereits merkbar dunkler.

Bei den anderen Oberflächen ging die Farbe von einem hellen Rot ins Bräunliche über, während die Ränder weiterhin rötlich verblieben.

Die Tropfen auf Stoff waren in der ersten Stunde zwar ebenfalls rot, erschienen allerdings matter und minimal dunkler.

In der zweiten und dritten Woche wurden die Flecke zunehmend dunkler und resultierten schließlich in einer dunkelbraunen bis schwarzen Gestalt.

Nach zwei Stunden war bei Keramik, Stahl und Kunststoff eine Rissbildung zu verzeichnen, die sich zunehmend weiter ausprägte.

Ab der zweiten Woche kam es an den Bruchstellen der Tropfen auf Kunststoff zu einer Abtrennung bzw. Verschiebung kleiner Teile (siehe Abbildung x, 504h). Bei den Tropfen auf Keramik splitterten am letzten Tag der Messungen einzelne Teile ab, wie in Abbildung x (504h) zu erkennen ist. Der übrige Tropfen blieb allerdings weiterhin haften und verrutschte nicht. Bei Stahl ließ sich die Absplitterung vereinzelt ebenfalls beobachten. Verursacht wurde das Verrutschen bzw. Absplittern vermutlich durch den Transport der Proben vom Lagerungsort zur Arbeitsfläche.

Auf Glas waren die meisten Risse im Zentrum vorzufinden, die periphere Form blieb erhalten.

Während die Replikationen der meisten Untergründe nahezu identische Tropfenformen ergaben, kam es bei Polyester zu unregelmäßigen Erscheinungsbildern: Zwei der vier Tropfen zogen sich unmittelbar nach dem Aufkommen zusammen und waren relativ kompakt. Die anderen beiden waren flacher, verformten sich während der Trocknung und rissen leicht auf. Jeweils ein Exemplar ist in Abb. 10 dargestellt.



Abbildung 10: Tropfen auf Polyester mit unterschiedlichen Erscheinungsformen [eigene Darstellung]

Aus der Fotografie mit Blitz ergaben sich folgende Beobachtungen:

Auf Keramik, Stahl und Kunststoff kam es ab der zweiten Stunde zu relativ gleichmäßigen Reflexionen der Tropfen, wodurch diese heller erschienen.

Auch auf Polyester, Papier und Holz wurde das Blut an einigen Stellen stark reflektiert.

Bei Glas traten kaum Reflexionen auf, die Flecke wirkten durch den Blitz gegen Ende der Messungen in der Gesamtheit etwas heller.

Von den Flecken auf Stoff gingen keine Reflexionen aus, weshalb sich die Farbwahrnehmung mit Blitz und ohne Blitz kaum unterschied.

Bei der Ablichtung ohne Blitz blieben Reflexionen größtenteils aus. Durch die Deckenstrahler, die senkrecht auf die Proben fielen, konnten diese jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Trotzdem sahen die Tropfen auf den Bildern ohne Blitz deutlich dunkler aus. Dies kann anhand Abb. 11 nachvollzogen werden, welche das Resultat der Farberkennung mit Blitz und ohne Blitz am Beispiel von Keramik (nach 24h) zeigt.

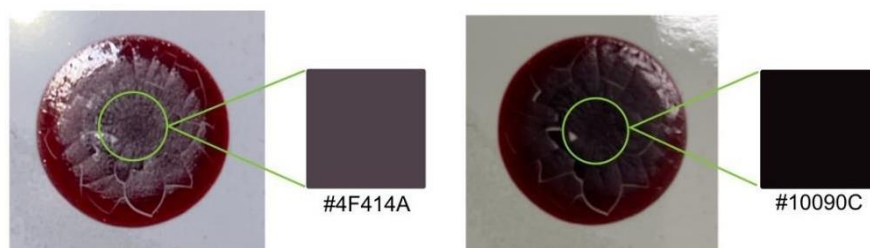


Abbildung 11: Farberkennung in Inkscape durch Pipetteneinstich im Radius von 30 Pixeln (entspricht nicht genau dem grünen Kreis). Links mit Blitz, rechts ohne Blitz. Darstellung der Farben im Hex-Code. [eigene Darstellung]

4.2 Ergebnisse der digitalen Auswertung

Es folgen die Resultate der Auswertung, unterteilt nach den verschiedenen Farbmodellen.

Es handelt sich bei allen Werten um den Durchschnitt der drei Probenreihen. Alle gemessenen Werte ab 1h bis 504h sind durch Punkte repräsentiert. Die Linien zwischen den Punkten dienen ausschließlich einer besseren visuellen Darstellung und sollen nicht als exakter Verlauf der Messwerte interpretiert werden.

4.2.1 Magentawert-Verlauf (CMYK)

Bei allen Tropfen ist in den ersten drei Stunden nach dem Auftragen der stärkste Abfall des Magentawertes zu beobachten (siehe Abb. 12-19). Eine Ausnahme bildet Glas, bei dem die stärkste Absenkung erst zwischen 48h und 72h eintritt (siehe Abb. 14). Zu Beginn der Messung (1h) sind die mit Blitz entstandenen Werte alle sehr hoch und recht ähnlich, wie Tabelle 2 zu entnehmen ist. Kunststoff weist den höchsten Wert auf, Stoff den niedrigsten.

Die ohne Blitz entstandenen Ausgangswerte liegen tiefer und variieren stärker von Untergrund zu Untergrund. Unter diesen Werten haben Polyester und Stoff den höchsten Wert und Keramik den geringsten.

Tabelle 2: Magenta-Ausgangs- und Endwerte der Tropfen jeweils mit Blitz und ohne Blitz fotografiert (CMYK) [eigene Darstellung]

Untergrund	Ausgangswert mit Blitz	Ausgangswert ohne Blitz	Endwert mit Blitz	Endwert ohne Blitz
Kunststoff	96	73,7	35,7	18,3
Holz	94	82,3	28,7	8
Glas	95	82,7	38,7	32
Stahl	94,3	74,7	38	21,3
Papier	82,6	80,3	58,7	34,7
Polyester	94,3	85,3	66	32,3
Stoff	88	85,3	36	16,3
Keramik	88,3	65,6	55	24,7

Nach 24h nehmen die Magentawerte zunächst leicht zu, bevor sie erneut abfallen und nach 120h ihr Minimum erreichen. Bei 336h ist ein weiterer Einschnitt sichtbar. Auf Holz hält sich der Verlauf nach dem Abfall relativ konstant und zeigt nur minimale Änderungen auf (siehe Abb. 13). Bei Polyester ist der Magentawert nach 24h am geringsten und steigt anschließend stark (siehe Abb. 16).

Des Weiteren kann festgestellt werden, dass sich die kompletten Kurvenverläufe der Werte mit Blitz und ohne Blitz zwar ähneln, jedoch in der vertikalen Ebene versetzt sind. Das bedeutet, dass bei den Tropfen, die mit Blitz fotografiert wurden, durchgehend höhere Werte vorzufinden sind. Bei Papier und Polyester ist diese Differenz am größten.

Lediglich bei Holz und Stoff unterscheiden sich die Werte mit Blitz und ohne Blitz nur geringfügig voneinander.

Tabelle 2 ist zu entnehmen, dass die Magentawerte zum letzten Zeitpunkt der Messungen im Vergleich zum Ausgangswert deutlich gesunken sind. Allerdings sind sie sowohl mit Blitz als auch ohne Blitz sehr unterschiedlich. Polyester, mit Blitz fotografiert, liegt mit 66% teilweise deutlich über den anderen Untergründen. Bei Keramik und Papier ist der Wert ebenfalls relativ hoch. Den Tropfen auf Holz ist mit 28,7% der niedrigste Wert zuzuschreiben.

Auch bei den Endwerten sind die Werte der Fotografie ohne Blitz merkbar niedriger. Bei Glas, Papier und Polyester liegt der Wert um die 30%, während Holz mit 8% erneut den geringsten Wert innehat.

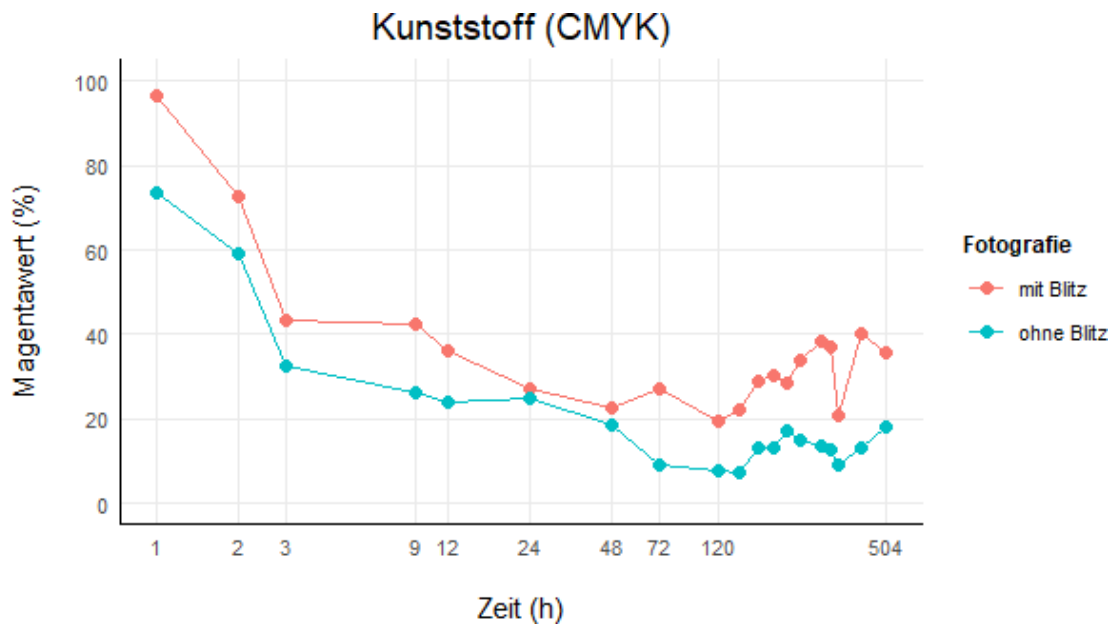


Abbildung 13: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

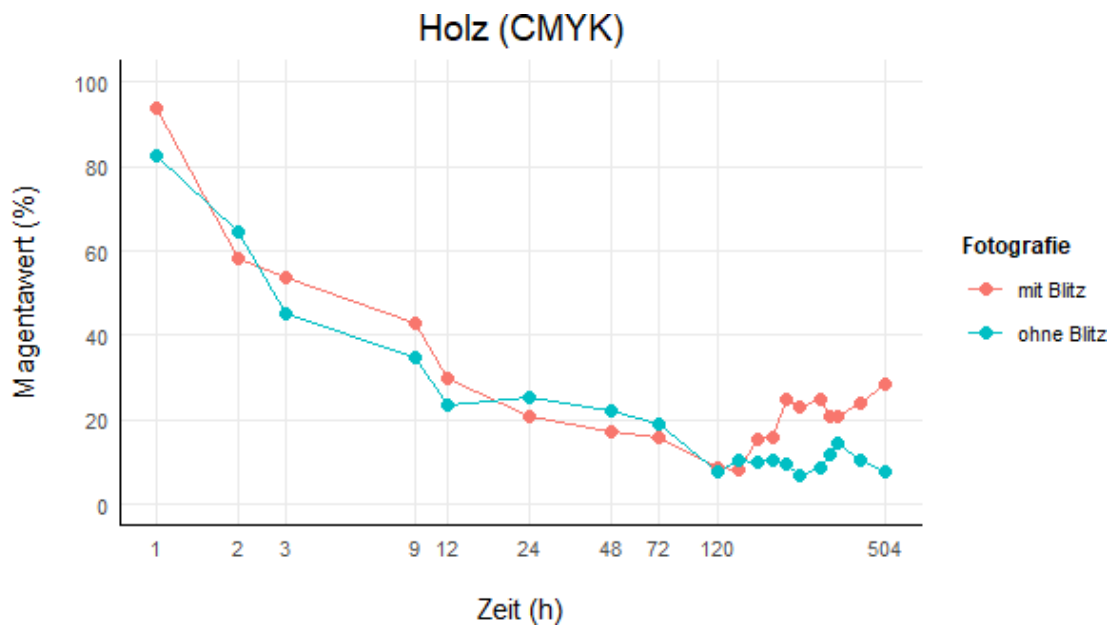


Abbildung 12: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

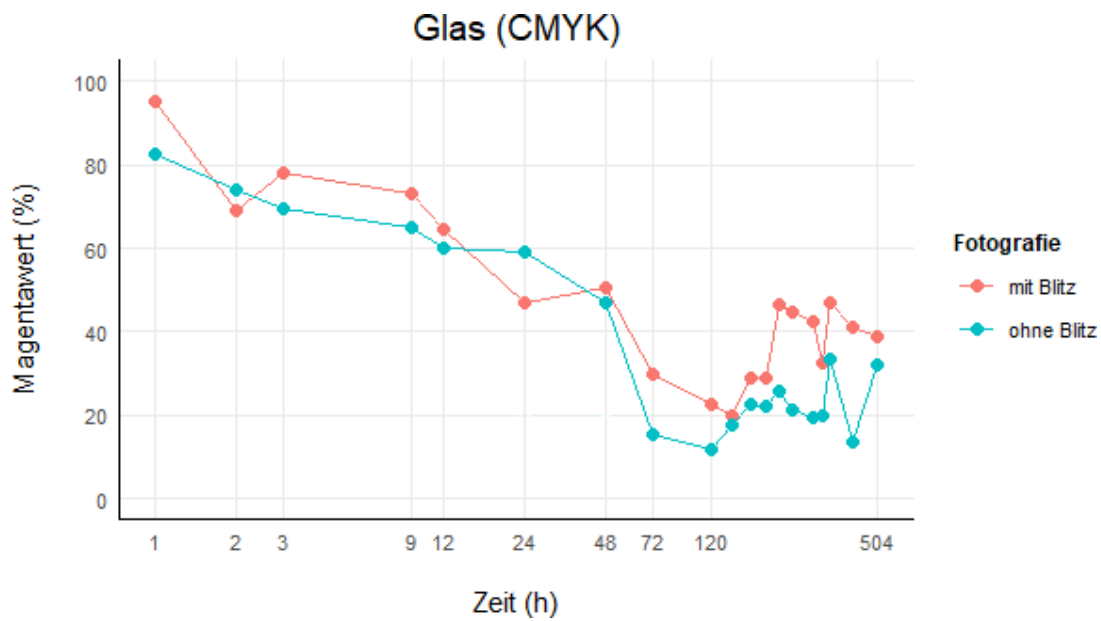


Abbildung 15: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Glas im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

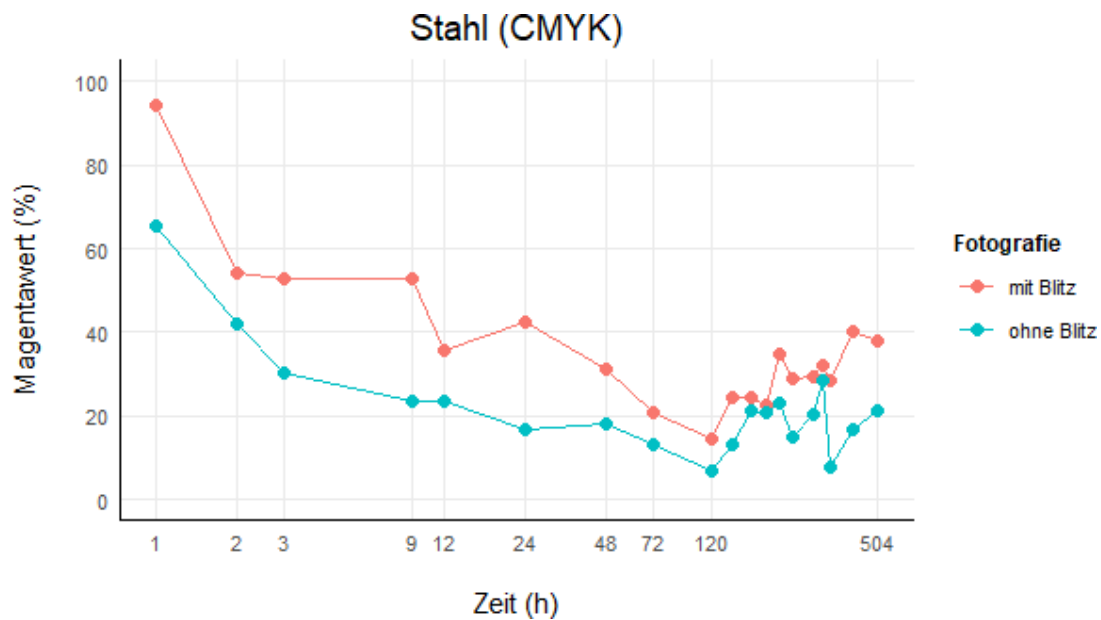


Abbildung 14: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

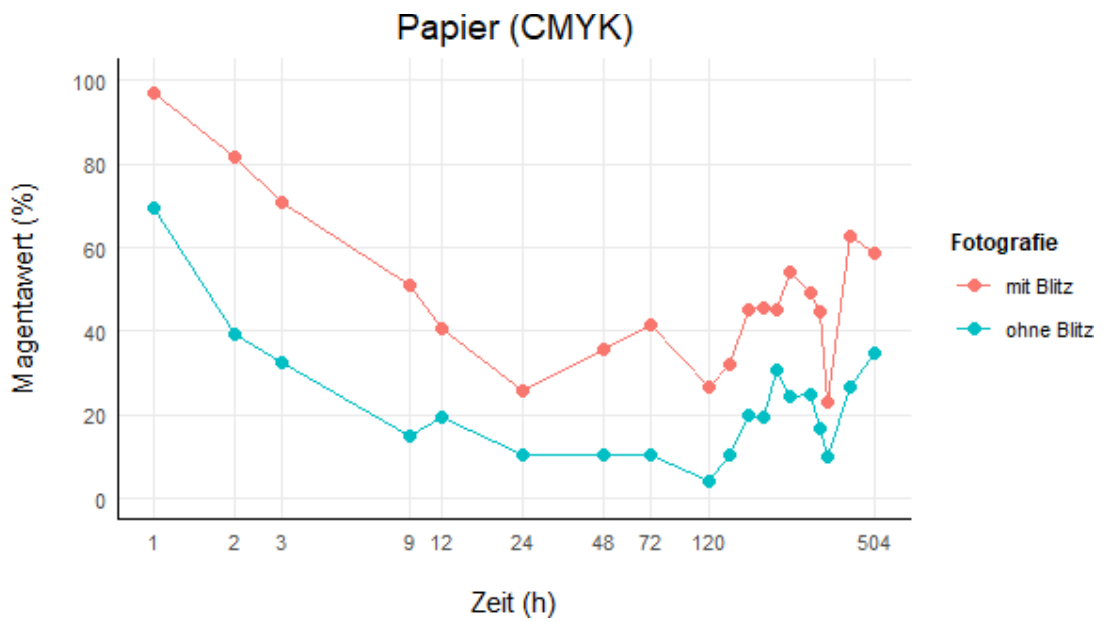


Abbildung 17: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

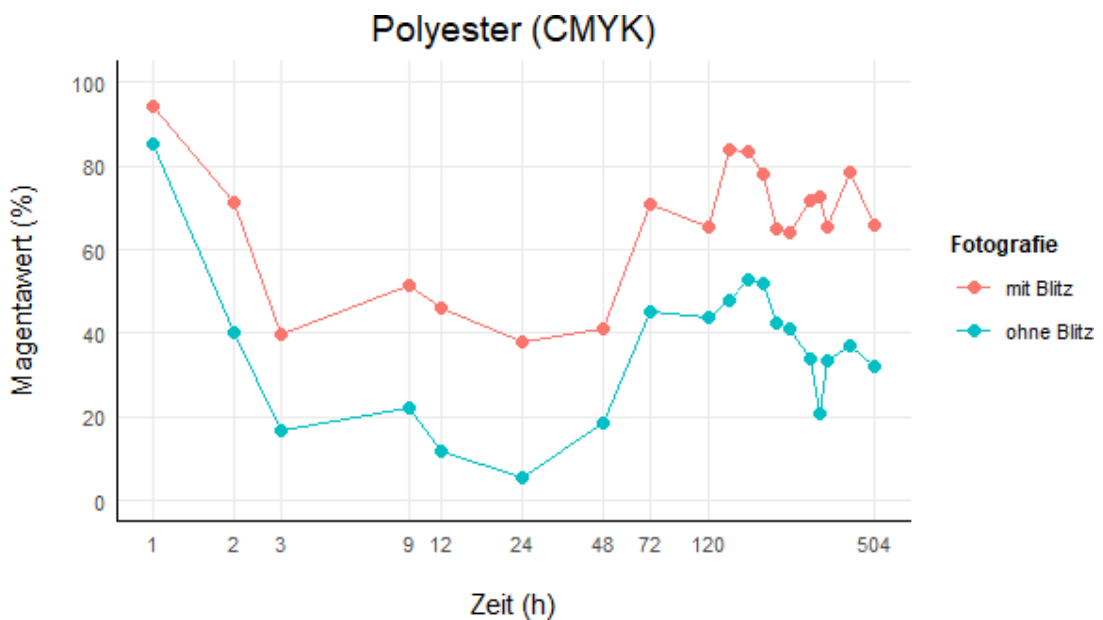


Abbildung 16: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Polyester im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

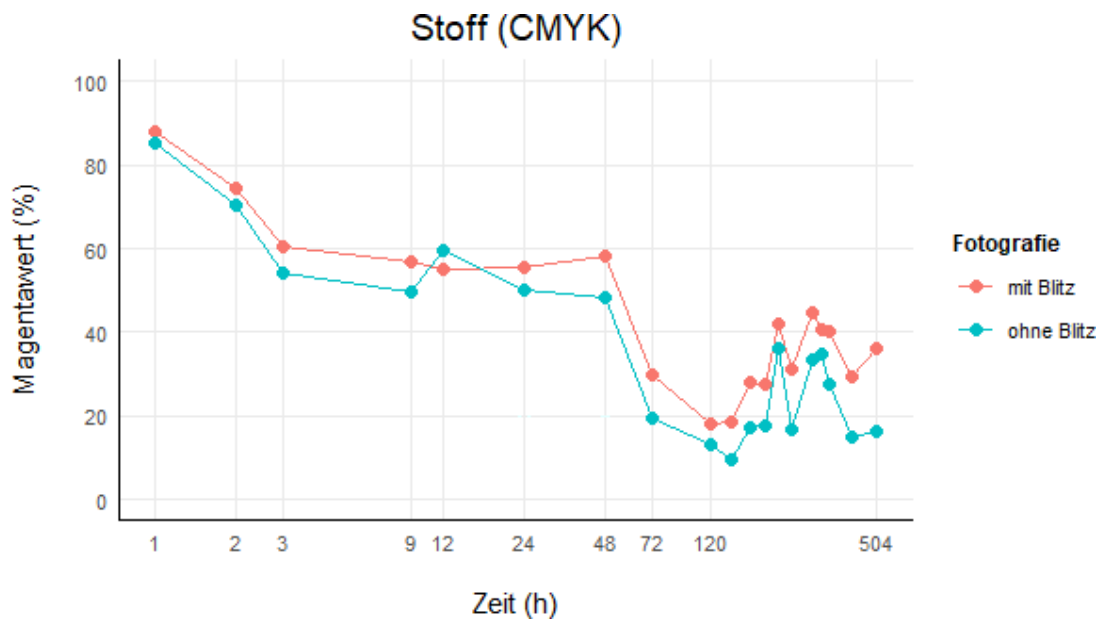


Abbildung 18: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

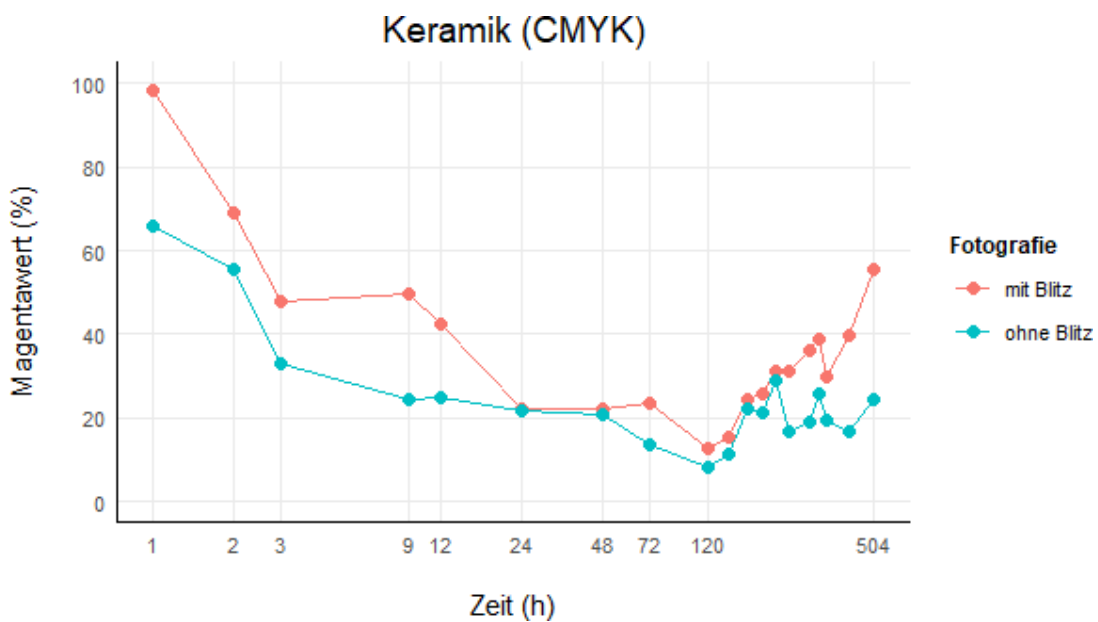


Abbildung 19: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Keramik im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

4.2.2 Helligkeitswert-Verlauf (HSL)

Die Helligkeitswerte der Blutflecke befinden sich über den gesamten Zeitraum weitgehend konstant im unteren Drittel der Skala (siehe Abb. 20 - 27).

Die Werte der ersten Messung sind sowohl mit Blitz als auch ohne Blitz alle sehr niedrig. Keramik hat unter den Daten mit Blitz mit 21% den höchsten Ausgangswert (siehe Tab. 3). 7,3% stellt den niedrigsten Wert dar und ist Polyester zuzuweisen.

Die Ausgangswerte der Fotografie mit Blitz sind nur bei Holz und Glas höher, bei den anderen Untergründen ist der Wert ohne Blitz überlegen.

Tabelle 3: Helligkeits-Ausgangs- und Endwerte der Tropfen jeweils mit Blitz und ohne Blitz fotografiert (HSL) [eigene Darstellung]

Untergrund	Ausgangswert mit Blitz	Ausgangswert ohne Blitz	Endwert mit Blitz	Endwert ohne Blitz
Kunststoff	14	23	13,7	16,7
Holz	15,7	14	6	5,3
Glas	18,3	15	14,3	11,3
Stahl	13,7	16,7	12,3	14,3
Papier	16,3	19,3	6	6,7
Polyester	7,3	9	9,7	8,7
Stoff	12,3	14,3	13,3	20,3
Keramik	21	21,7	11,7	13,3

Anhand der Abbildungen 20 - 26 kann abgeleitet werden, dass die meisten Tropfen den höchsten Helligkeitswert nach 120h aufweisen. Bei den Tropfen auf Stahl sind die höchsten Werte mit Blitz nach 72h und 144h zu vermerken. Bei Keramik (Abb. 27) sind Schwankungen zu beobachten und der Spitzenwert ist dort bereits nach 24h erreicht. In Bezug auf die Fotografie mit und ohne Blitz ist der Großteil der Verläufe nahezu identisch. Bei den Tropfen auf Holz und Keramik sind die Verläufe mit und ohne Blitz weiter voneinander entfernt. Auch bei Papier sind im Zeitraum 3h bis 9h und 48h bis 120h Differenzen sichtbar.

Die Endwerte heben sich kaum von den anfänglichen Messungen ab. Es sind nur minimale Abnahmen zu beobachten. Teilweise liegen die Endwerte sogar höher als die Ausgangswerte, wie bei Stoff ins Tabelle 3 zu sehen ist.

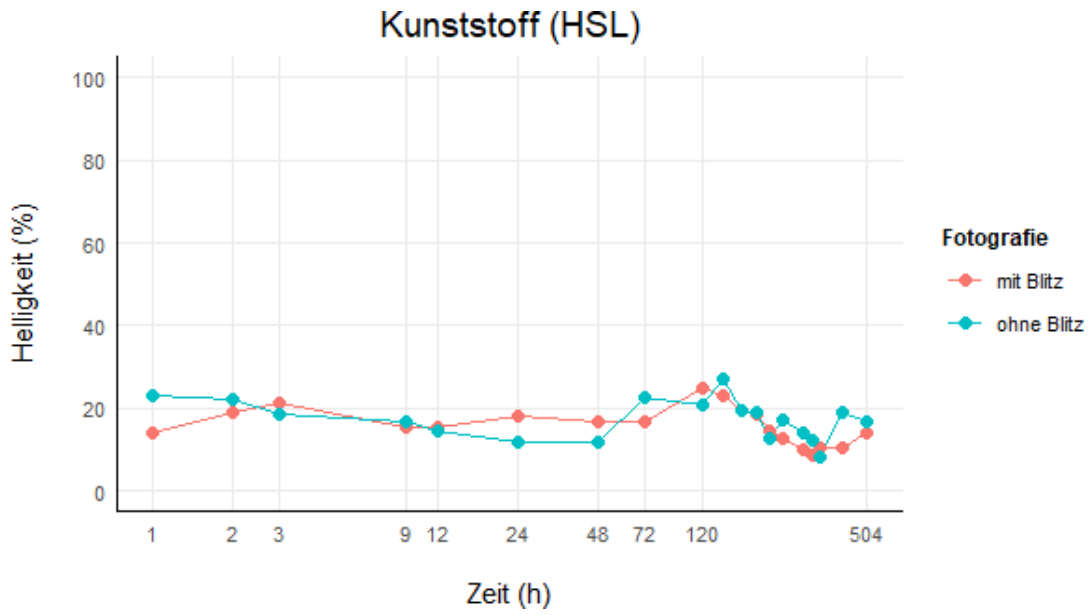


Abbildung 21: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

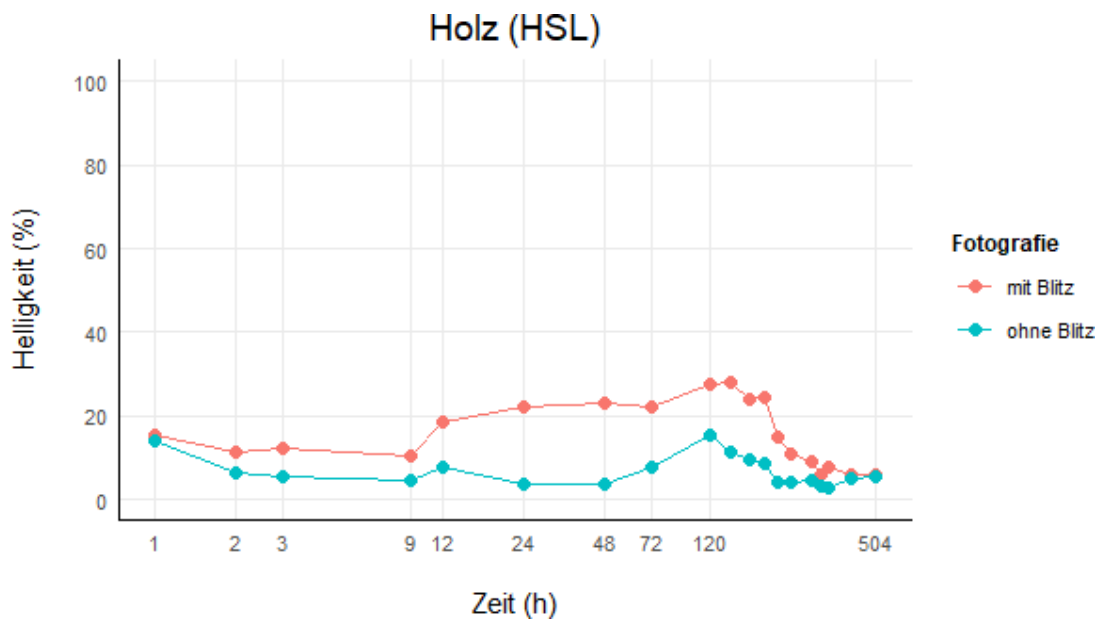


Abbildung 20: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

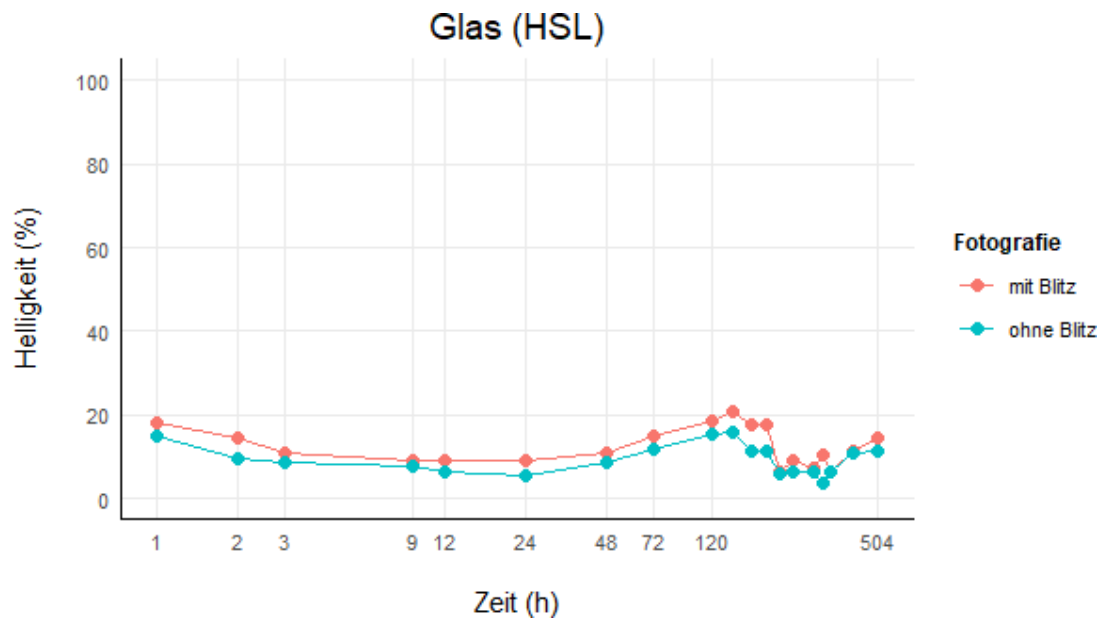


Abbildung 23: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Glas im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

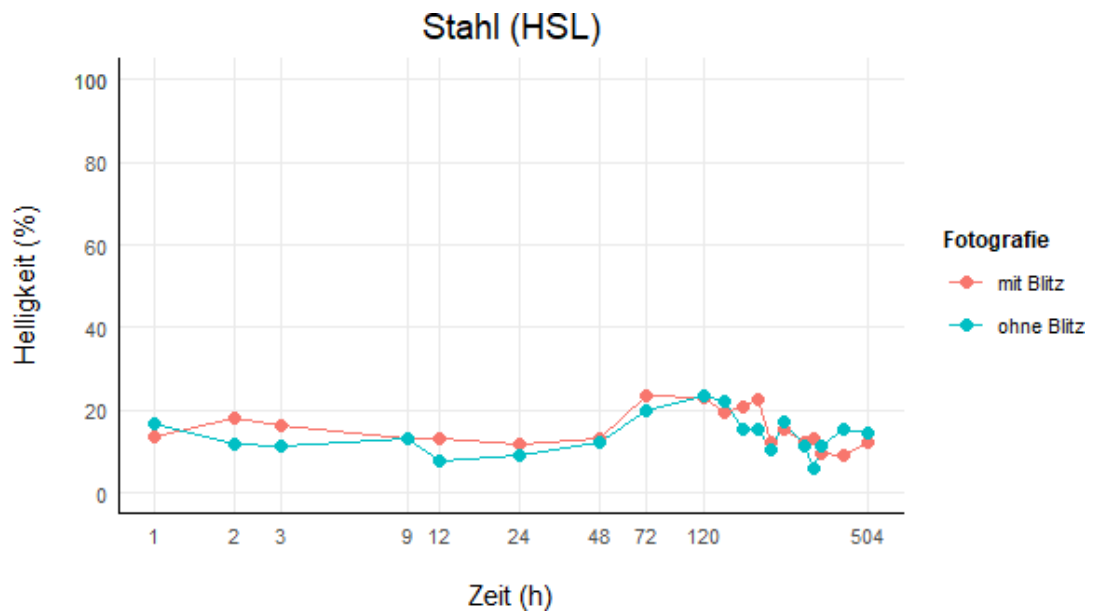


Abbildung 22: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

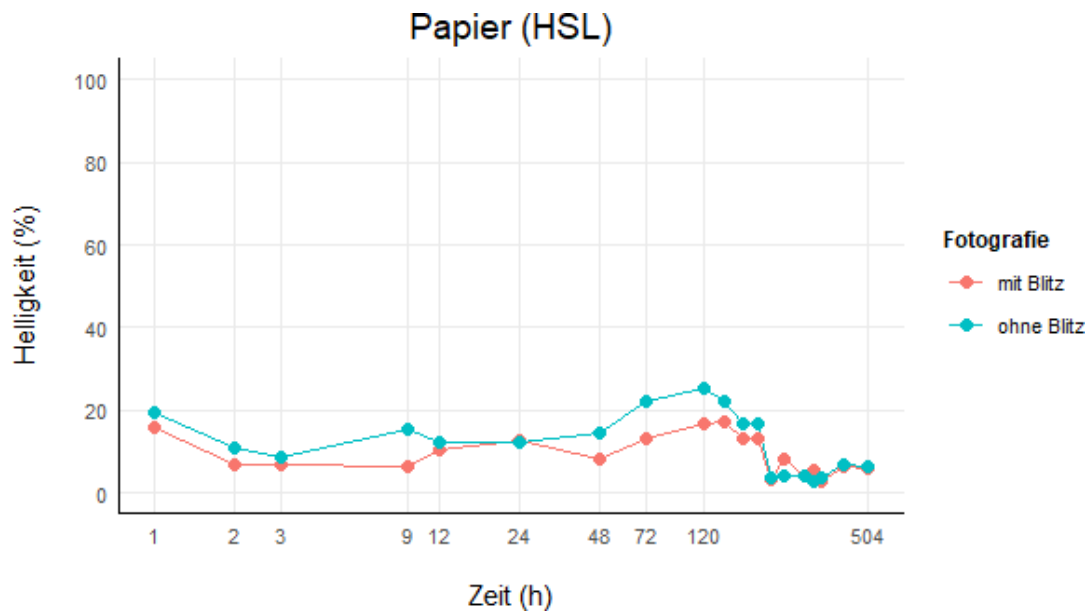


Abbildung 24: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

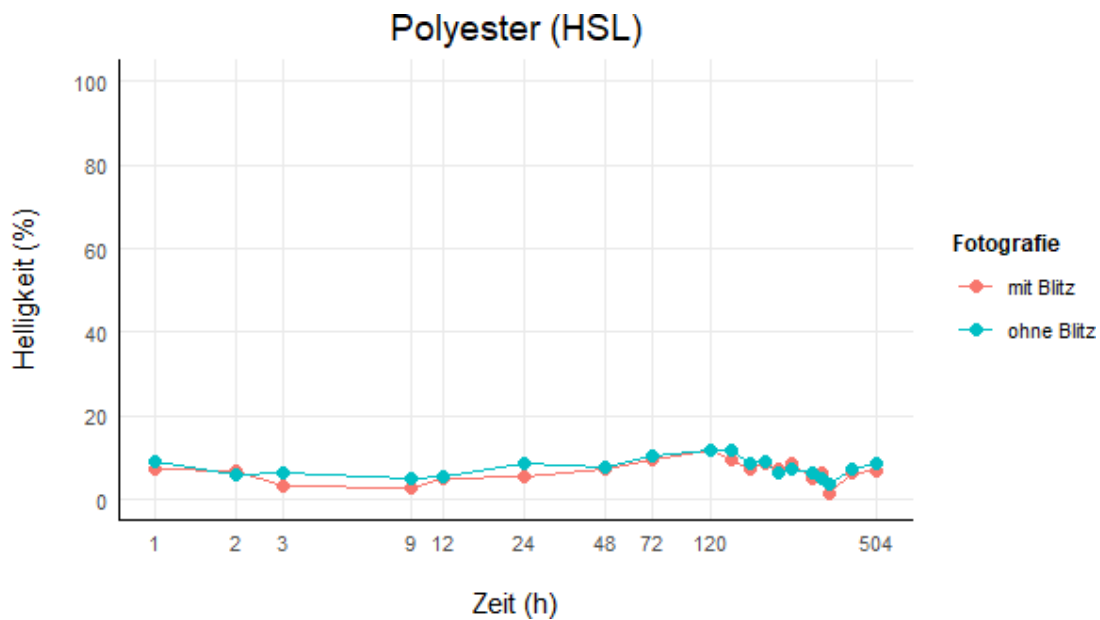


Abbildung 25: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Polyester im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

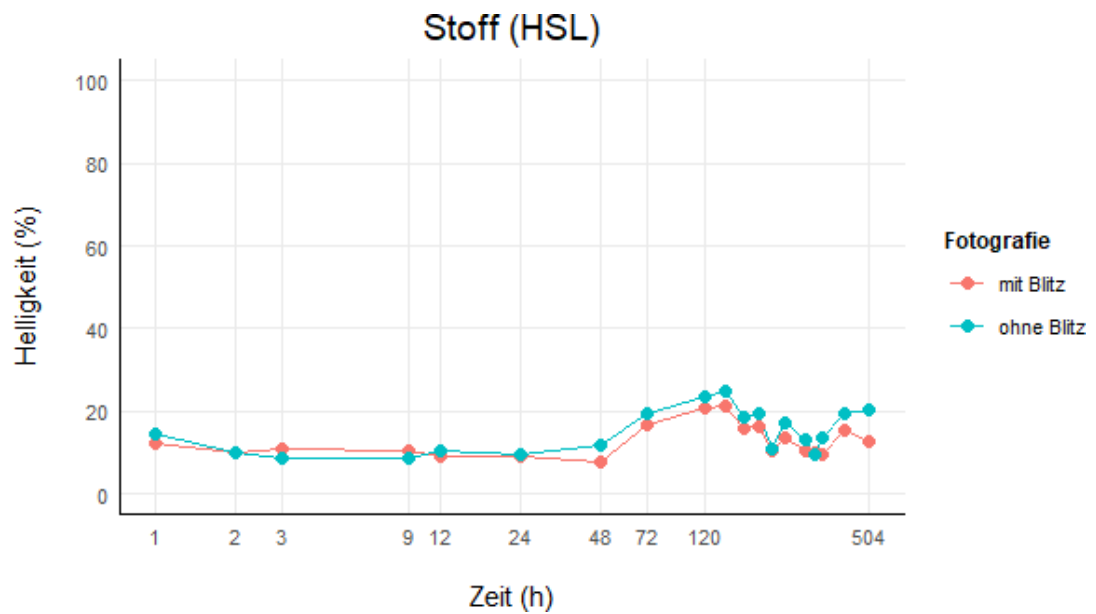


Abbildung 26: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

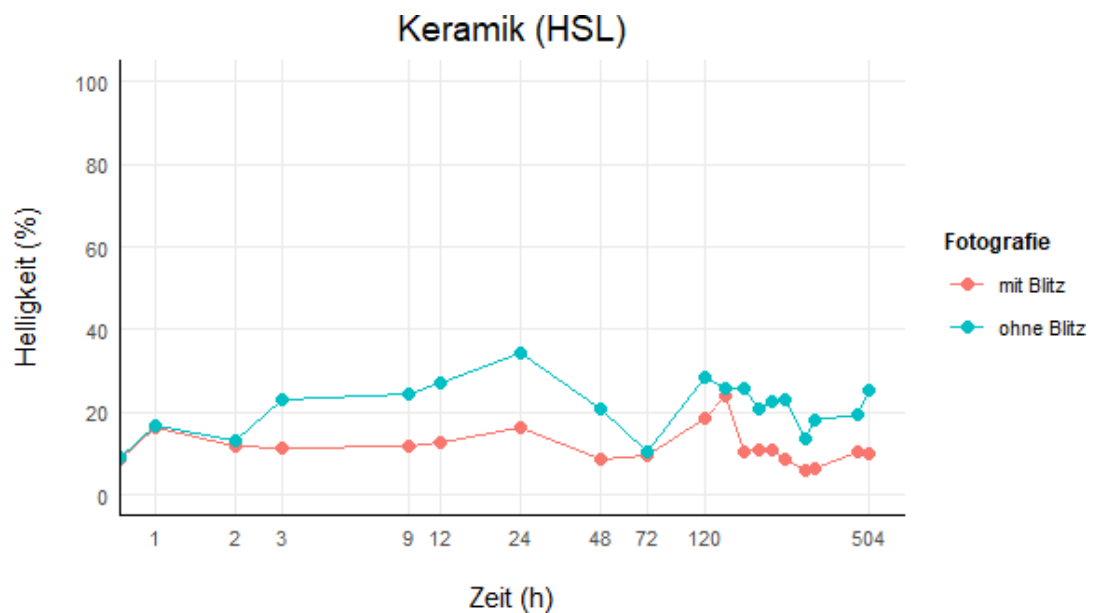


Abbildung 27: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Keramik im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

4.2.3 Rotwert-Verlauf (RGB)

Bei den Rotwerten ist der stärkste Abfall in den ersten zwei Stunden nach dem Auftragen zu beobachten (siehe Abb. 28 - 35).

Die Spanne der Rotwerte des ersten Messpunktes (nach 1h) ist ziemlich groß und reicht von Polyester mit einer Intensität von 34,7 (von 255) bis Keramik mit einer Intensität von 107 (siehe Tab. 4). Bei den Tropfen auf Kunststoff und Polyester ist der Anfangswert ohne Blitz höher.

Tabelle 4: Rotwert-Ausgangs- und Endwerte der Tropfen jeweils mit Blitz und ohne Blitz fotografiert (RGB) [eigene Darstellung]

Untergrund	Ausgangswert mit Blitz	Ausgangswert ohne Blitz	Endwert mit Blitz	Endwert ohne Blitz
Kunststoff	69,7	92,7	28,7	38
Holz	74	59,3	18,7	13
Glas	88,3	67	31,7	23,3
Stahl	66,3	62	26,7	31
Papier	80	74	9	13,7
Polyester	34,7	40	9,7	16,7
Stoff	57,3	64,7	28	52,7
Keramik	107	83	18,3	28,7

Im Gegensatz zu den Magentawerten haben die Rotwerte bei 120h einen Höhepunkt (abgesehen vom Ausgangswert), anstatt eines Tiefpunktes.

Bei Polyester ist dieser Höhepunkt in kleinerem Umfang in Abb. 33 ebenfalls zu sehen, der gesamte Verlauf findet allerdings auf tieferer Ebene statt und ist ab der zweiten Stunde relativ konstant.

Bei 336h ist auf allen Untergründen ein geringer Abfall der Rotwerte, gefolgt von einem leichten Anstieg wahrnehmbar.

Des Weiteren ist den Werten zu entnehmen, dass nur bei einigen Untergründen, bei Glas, Polyester, Holz und Keramik, die Werte mit Blitz zum Großteil höher sind. Bei den anderen Untergründen kommt es zu vielen Überschneidungen.

Auffällig ist, dass im Bereich von 12h bis 72h die Differenz der beiden Fotografie-Techniken bei Polyester, Holz, Kunststoff, Keramik und Papier bedeutend größer ist als bei deren restlichen Verlauf. Anders als bei den ersten vier Oberflächen sind die Werte ohne Blitz von Papier in diesem Bereich höher (siehe Abb. 32).

Auch bei diesem Modell ist bei allen Untergründen ein deutlicher Abfall des Rotwertes bzgl. des Ausgangs- und Endwertes wahrzunehmen. Bei den meisten Untergründen sind

Endwerte ohne Blitz höher als die mit Blitz. Nur bei den Flecken auf Holz und Glas ist es umgekehrt (siehe Tab. 4).

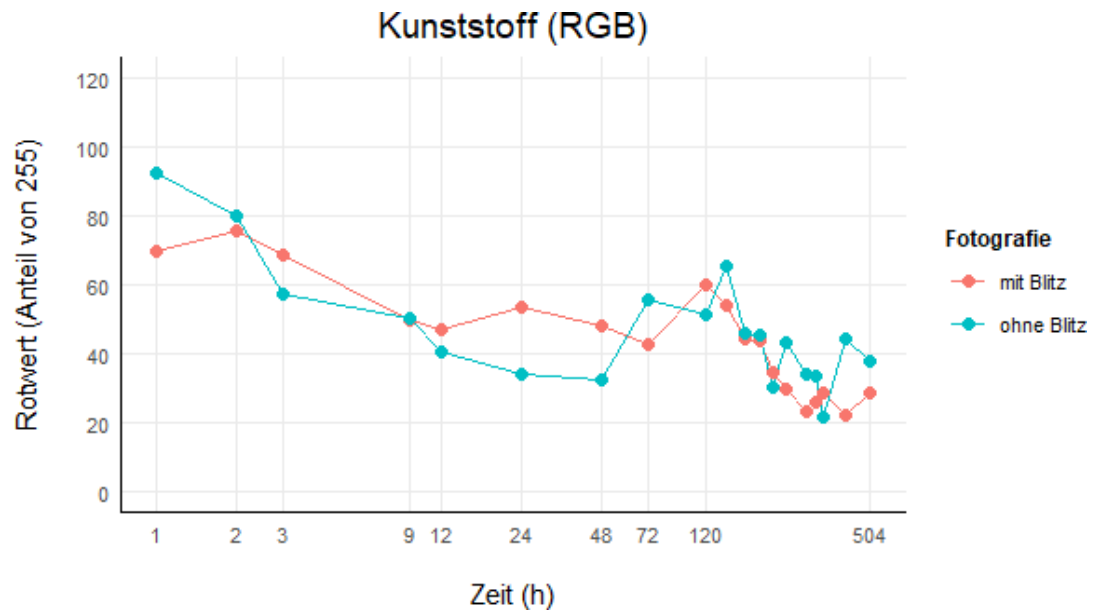


Abbildung 28: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

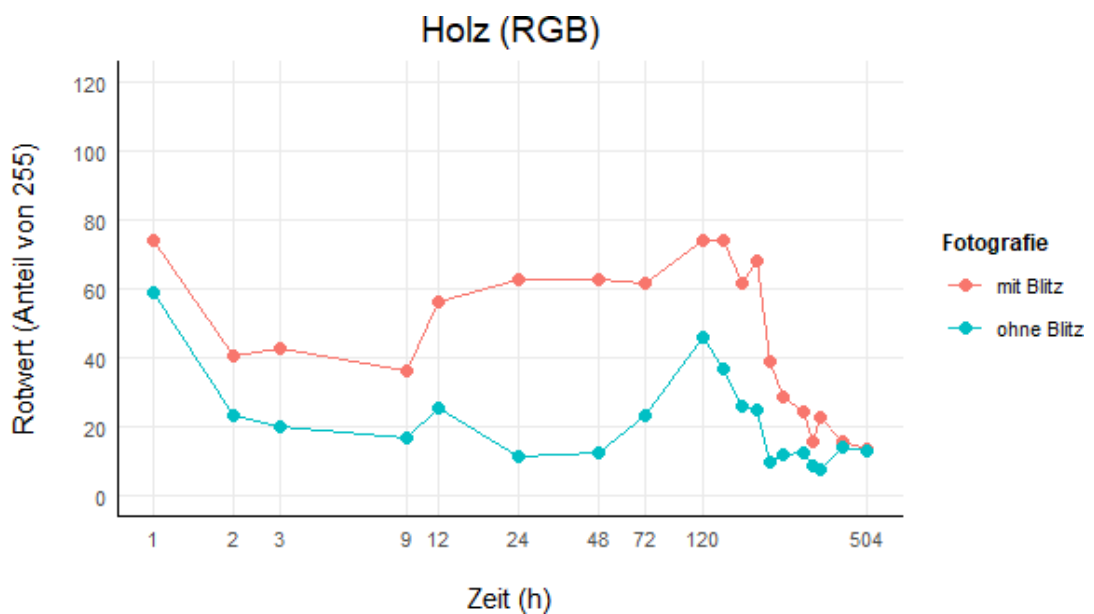


Abbildung 29: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

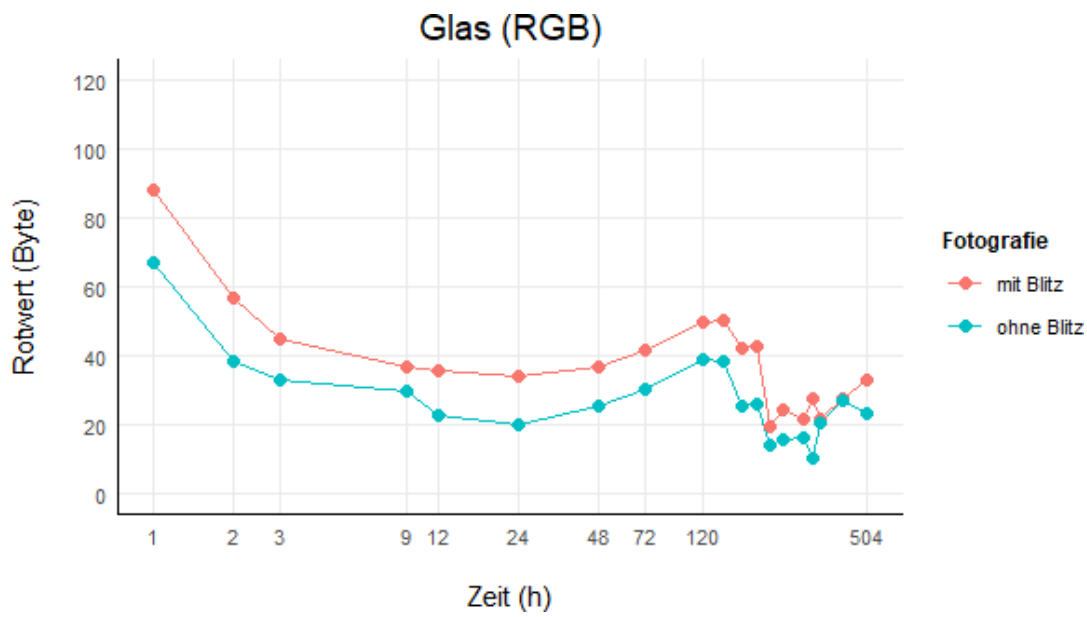


Abbildung 31: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Glas im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

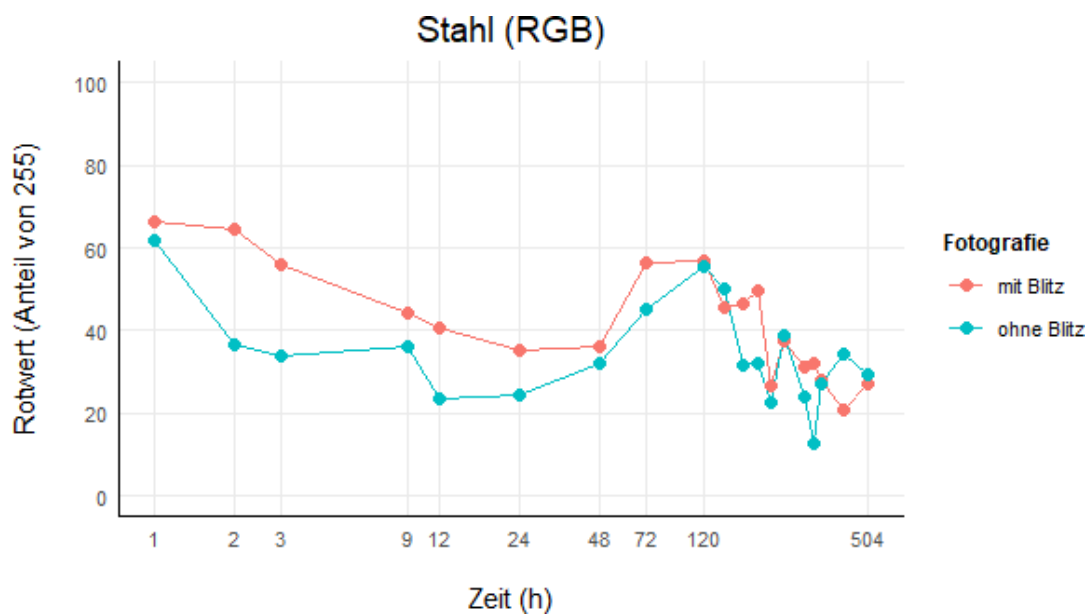


Abbildung 30: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

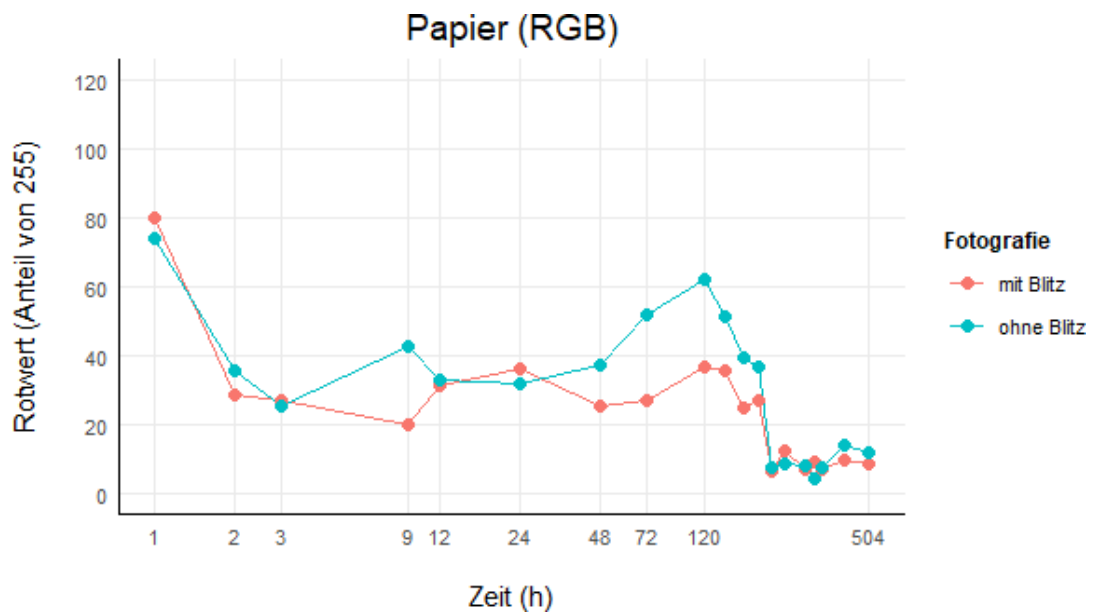


Abbildung 33: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

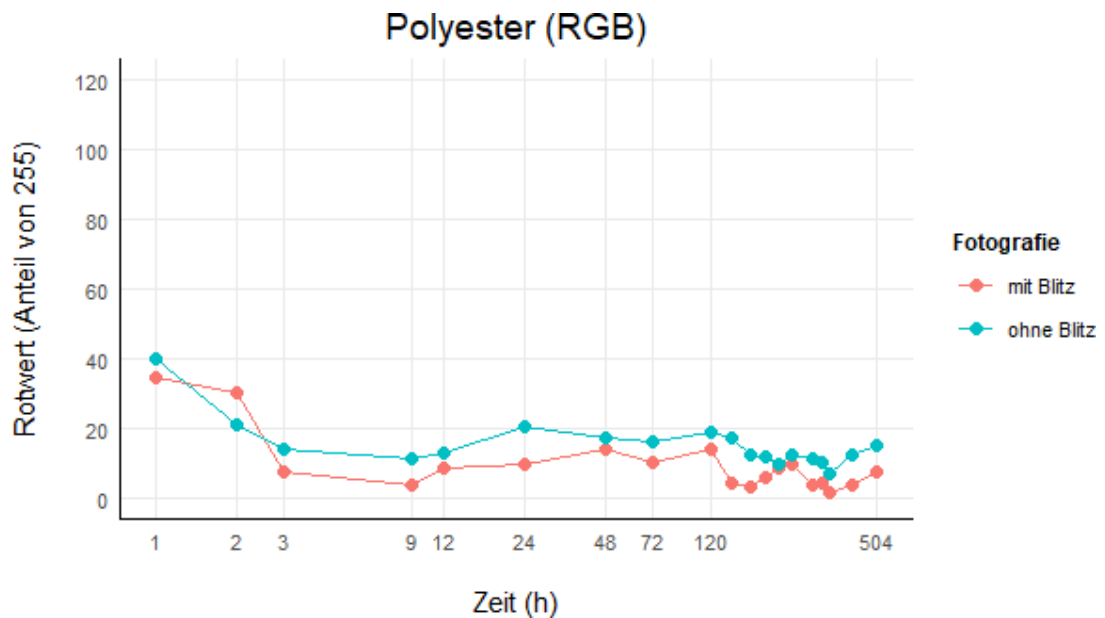


Abbildung 32: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Polyester im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

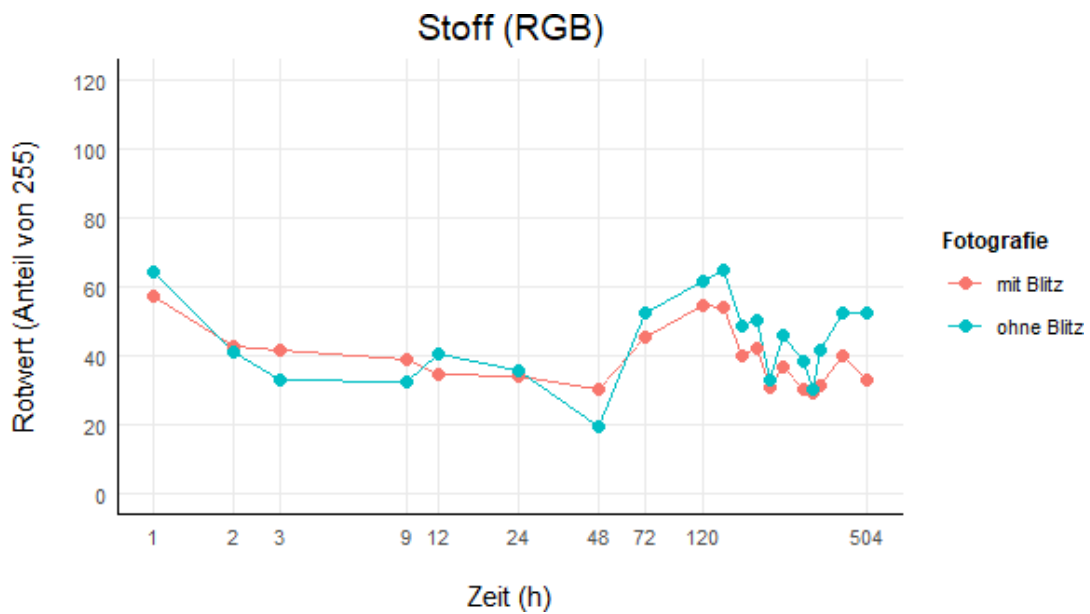


Abbildung 35: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

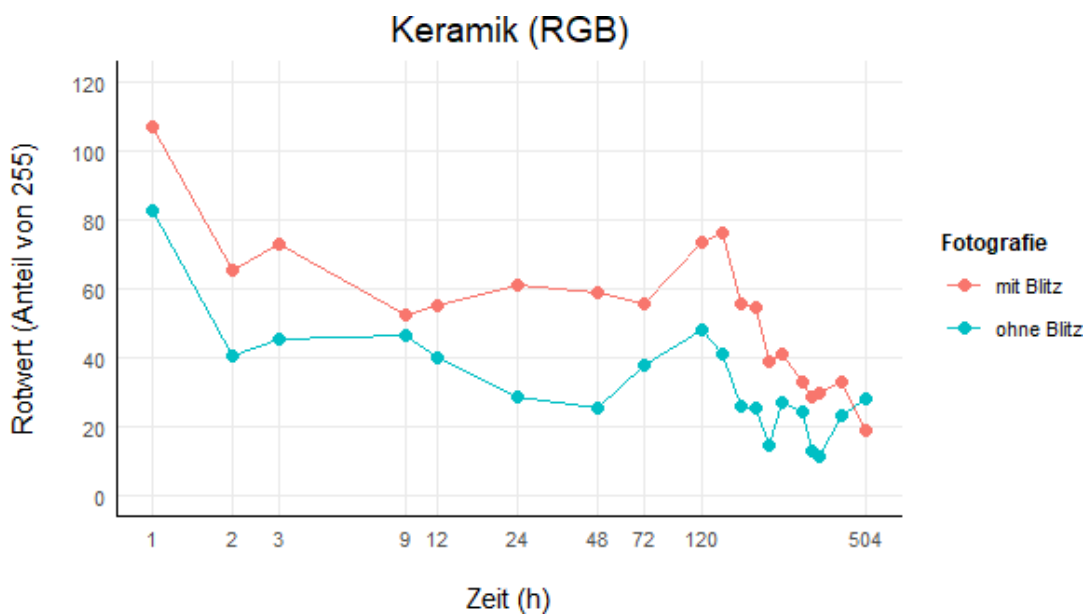


Abbildung 34: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stoff im Zeitraum 1h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

5 Ergebnisse des zweiten Versuchs

Die Präsentation der Resultate folgt der Aufteilung des ersten Versuchs und ist in Ergebnisse der Fotografie und Ergebnisse der digitalen Auswertung gegliedert. Da die Farb- und Strukturänderungen nahezu identisch waren, wird sich im ersten Abschnitt nur auf Polyester bezogen.

5.1 Ergebnisse der Fotografie

Wie bereits im ersten Versuch beobachtet, waren die Flecke unmittelbar nach dem Auftragen dunkel und hellten innerhalb einer Stunde auf. Auf Polyester erschienen sie am Anfang (0h) schwarz, und veränderten ihre Farbe innerhalb einer Stunde zu dunkelrot, wie in Abbildung 36 deutlich wird.

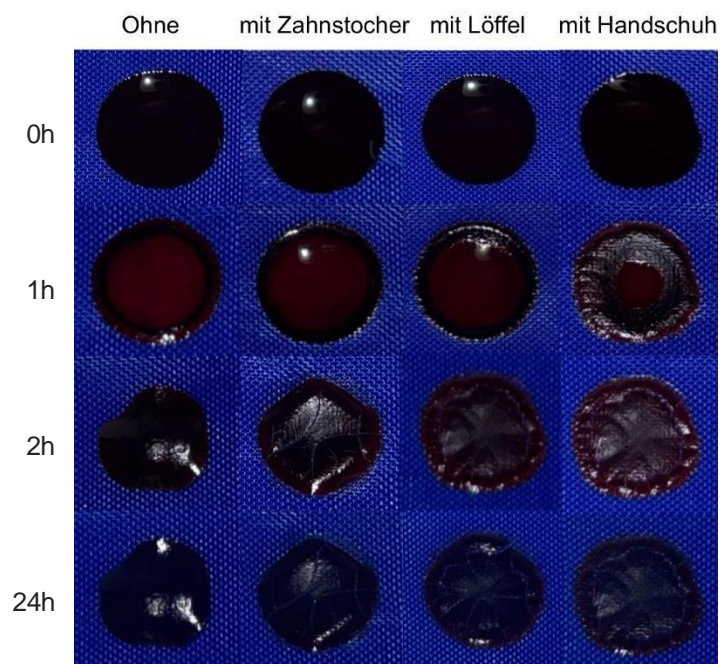


Abbildung 36: Fotografie (mit Blitz) der Blutstropfen auf Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken nach 0h, 1h, 2h und 24h nach Erstellung [eigene Darstellung]

Die Tropfen ohne Verschmierungstechnik hatten dieses Mal alle eine ähnliche Ausgangsform. Im Zuge der Austrocknung haben sich die Tropfen allerdings unterschiedlich zusammengezogen, gekrümmt und teilweise vom Polyester abgehoben. Bei zwei von drei Exemplaren waren Risse zu verzeichnen.

Durch die gekrümmte Struktur kam es an den angeleuchteten Stellen zu starken Reflexionen. Die Flecke erschienen ab der dritten Stunde wieder nahezu schwarz.

Die Flecke mit Verschmierung mittels Zahnstocher zogen sich weniger zusammen, was in einer größeren Form resultierte. Ab der zweiten Stunde entstanden Risse und die Reflexionen nahmen zu. Die Ränder der Flecke haben sich leicht gekrümmt und vom Polyester abgehoben.

Bei der Verschmierung mit dem Löffel und dem Handschuh verblieben die Tropfen in ihrer ausgebreiteten Form. Sie waren flach und schienen auf der Oberfläche zu haften. Die Tropfen wurden ab der zweiten Stunde relativ gleichmäßig reflektiert und wirkten heller, besonders die Tropfen mit Handschuh-Verschmierung. Bei Letzteren konnte außerdem die Beobachtung gemacht werden, dass nach 1h weniger flüssiger Anteil auf der Oberfläche vorzufinden ist als bei den anderen Flecken.

Die folgende Abbildung (Abb. 37) verdeutlicht die unterschiedlichen Formungen der Flecke.

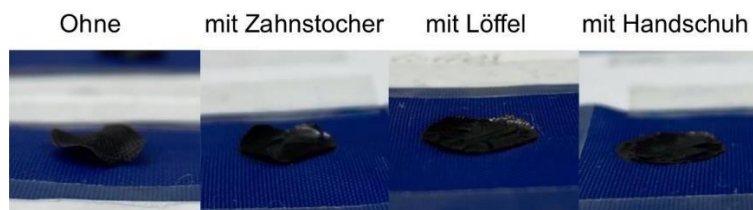


Abbildung 37: Fotografie (mit Blitz) der Blutstropfen auf Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken nach 0h, 1h, 2h und 24h nach Erstellung [eigene Darstellung]

5.2 Ergebnisse der digitalen Auswertung

Da die digitale Auswertung der anderen Untergründe einige Unterschiede zum ersten Versuch aufweist, werden die Ergebnisse in diesen Teil mit aufgenommen und zur besseren Übersicht von den Polyester-Ergebnissen getrennt.

Zudem werden die Polyesterwerte aller Techniken mit Blitz für einen besseren Vergleich in einer gemeinsamen Graphik dargestellt. In einer weiteren die Ergebnisse ohne Blitz.

5.2.1 Polyester

Es folgen die Ergebnisse der digitalen Auswertung des Polyester-Versuches. Die Aufteilung nach den verschiedenen Farbmodellen bleibt bestehen.

5.2.1.1 Magentawert-Verlauf (CMYK)

Die Ausgangswerte der Tropfen liegen bei der Fotografie mit Blitz zwischen 60% und 80% (0h). Nach einer Stunde liegt der Magentawert bei allen Techniken bei ca. 95%. Bei der Verschmierung mit Löffel und Zahnstocher ist innerhalb der ersten 2-3 Stunden ein deutlicher Abfall des Magentawertes zu identifizieren, gefolgt von der Verschmierung mit dem Handschuh. Ohne Verschmierung fällt der Abfall am geringsten aus (siehe Abb. 38). Nach 24h zeichnet sich bei allen ein Hoch ab, gefolgt von einem erneuten Abfall, der bei der Verschmierung mit Löffel am stärksten ist.

Generell kann festgestellt werden, dass die Werte über den gesamten Zeitraum sehr schwanken und nicht unter einen Wert von 30% fallen. Ohne Verschmierung liegen die Werte ab einer Stunde jedoch konstant höher als bei den Verschmierungstechniken.

Bei der Fotografie ohne Blitz zeigt sich ein stärkerer Rückgang aller Magentawerte, die auf etwa 20 % sinken (siehe Abb. 39). Der Wert ohne Verschmierung sinkt lediglich auf 40% ab. Auch im weiteren Verlauf sind die Werte konstant höher als bei den angewandten Techniken. Dennoch lässt sich feststellen, dass es bei der Fotografie ohne Blitz zu weniger Schwankungen kommt und die Verläufe auf einem niedrigeren Niveau stattfinden.

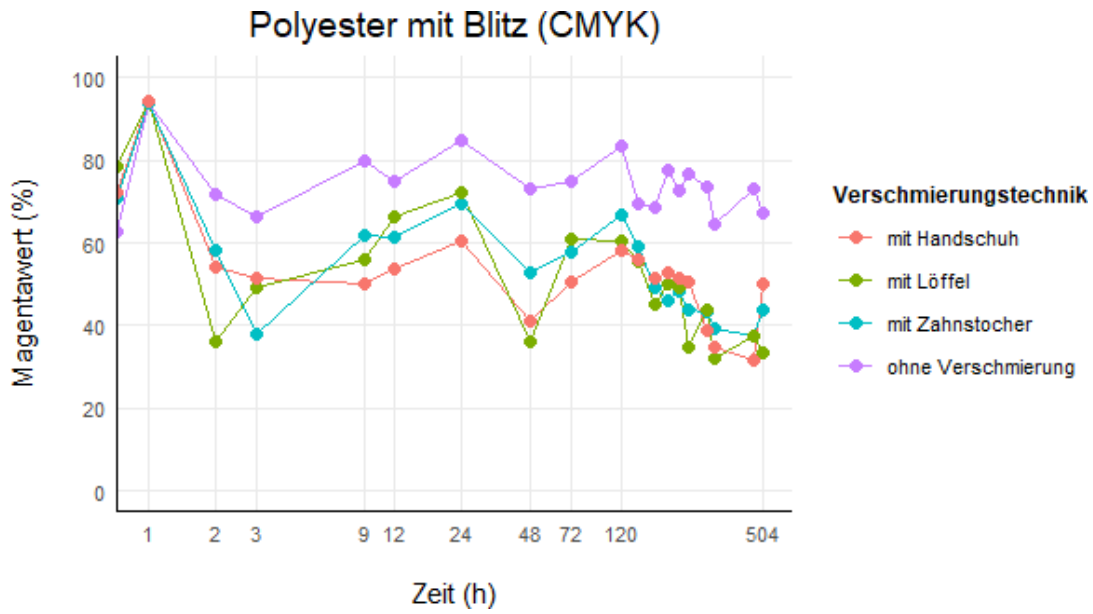


Abbildung 39: Fotografie (mit Blitz) der Blutstropfen auf Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken nach 0h, 1h, 2h und 24h nach Erstellung [eigene Darstellung]

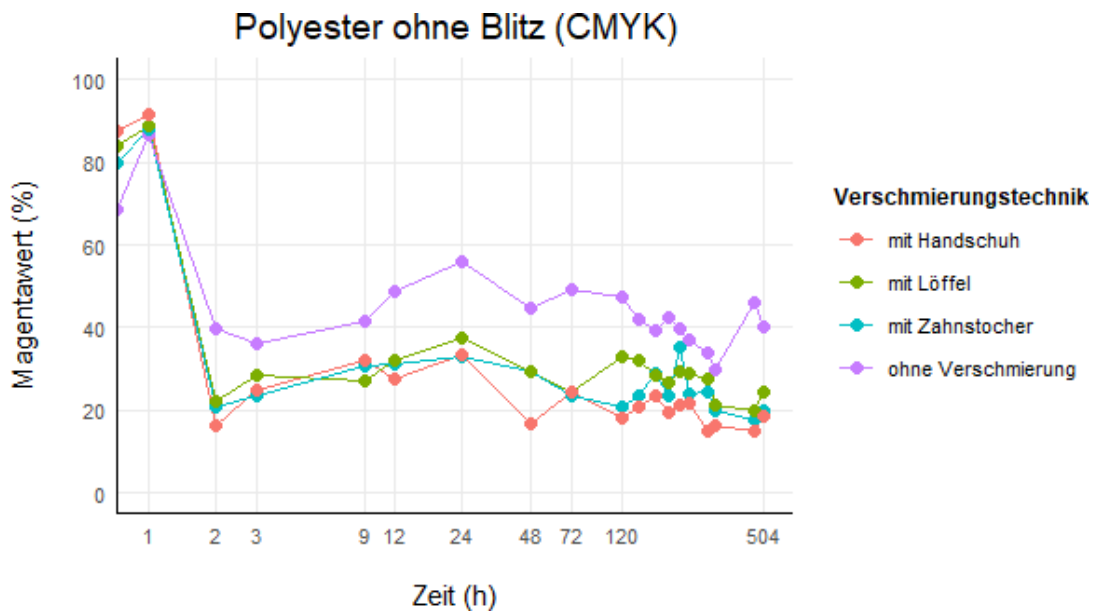


Abbildung 38: Magentawert-Verläufe von Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung, fotografiert ohne Blitz [eigene Darstellung]

5.2.1.2 Helligkeitswert-Verlauf (HSL)

Die Verläufe der Helligkeitswerte sind über den gesamten Zeitraum sehr gradlinig und liegen bei allen Techniken bei ungefähr 10% eng beieinander (siehe Abb. 40). Bei der Verschmierung mit Handschuh ist beim letzten Messungswert ein Anstieg zu beobachten. Die Verläufe der Helligkeitswerte der Fotografie mit Blitz sind fast identisch zu denen ohne Blitz (siehe Abb. 41).

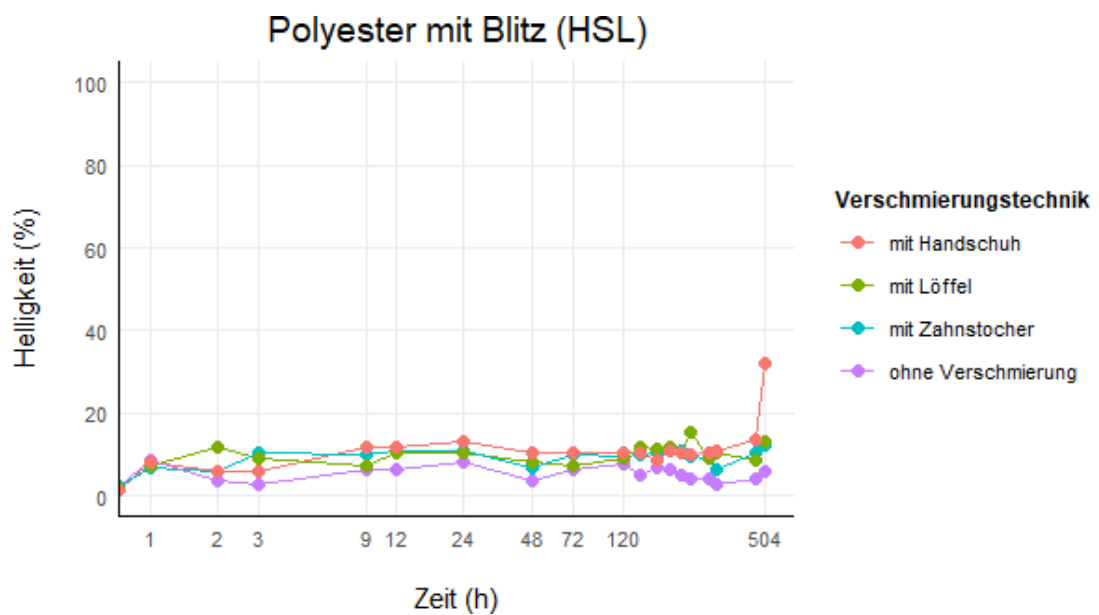


Abbildung 40: Helligkeitswert-Verläufe von Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung, mit Blitz fotografiert [eigene Darstellung]

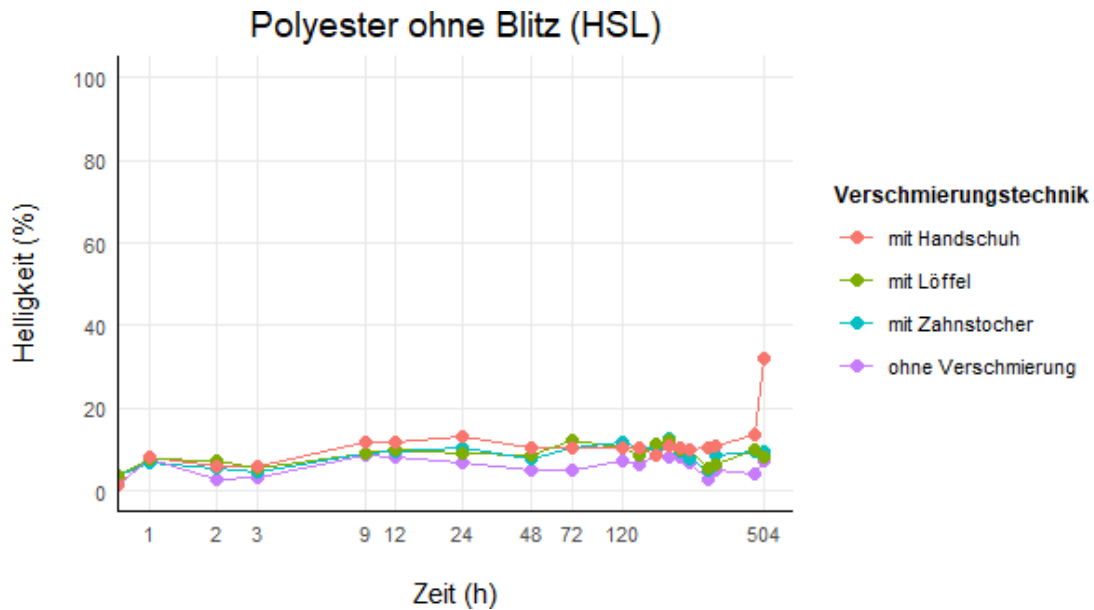


Abbildung 41: Helligkeitswert-Verläufe von Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung, ohne Blitz fotografiert [eigene Darstellung]

5.2.1.3 Rotwert-Verlauf (RGB)

Die Ausgangswerte belaufen sich auf eine Intensität von ca. 10. Innerhalb einer Stunde kommt es bei allen Flecken zu einem Anstieg auf 35-40. Ansonsten sind die Verläufe auf einem konstanten Niveau, nur bei der Verschmierung mit Löffel ist nach 192h ein Anstieg zu erkennen. Der Verlauf der Werte ohne Verschmierung liegt ab der zweiten Stunde unterhalb der anderen Verläufe (siehe Abb. 42). Die Werte ohne Blitz weisen einen ähnlichen Verlauf auf, mit dem Unterschied, dass die Werte ohne Verschmierung nach der zweiten Stunde nicht mehr konstant unter den anderen verlaufen (siehe Abb. 43).

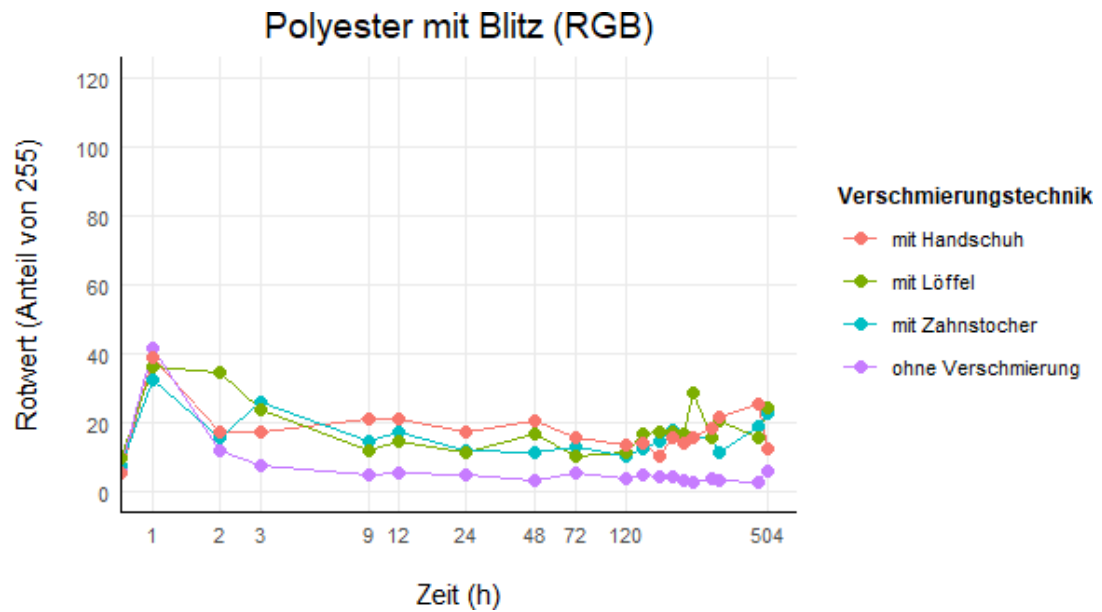


Abbildung 42: Rotwert-Verläufe von Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung, mit Blitz fotografiert [eigene Darstellung]

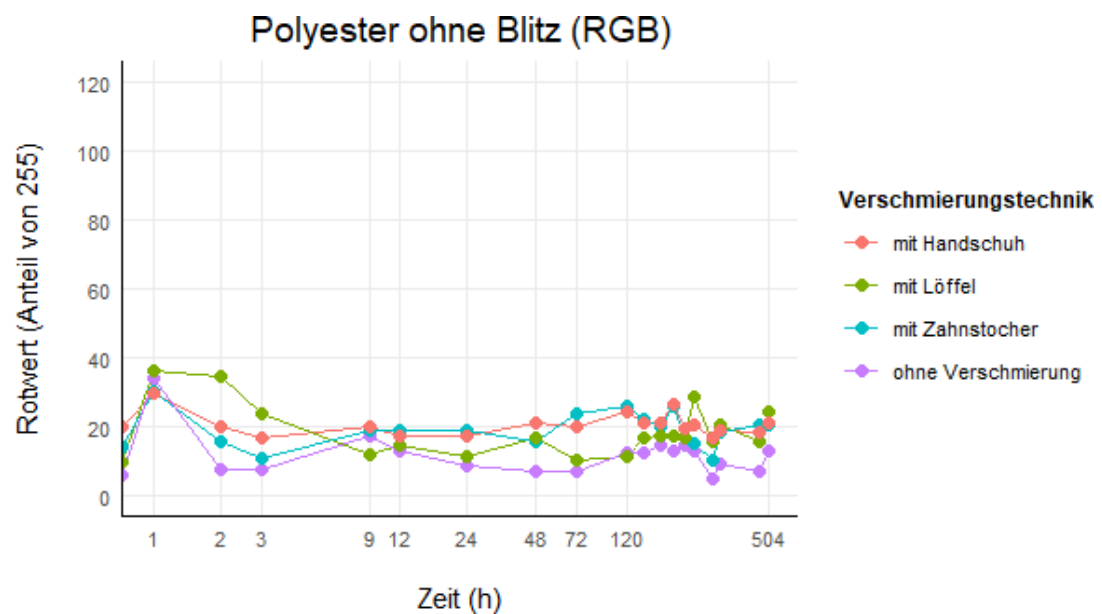


Abbildung 43: Rotwert-Verläufe von Polyester mit und ohne Verschmierungstechniken im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung, ohne Blitz fotografiert [eigene Darstellung]

5.2.2 Andere Untergründe

In den folgenden Abschnitten sollen die Ergebnisse des zweiten Versuchs von Kunststoff, Holz, Keramik, Papier und Stahl den verschiedenen Farbmodellen nach präsentiert werden.

5.2.2.1 Magentawert-Verlauf (CMYK)

Bei den Tropfen auf Kunststoff, Holz und Keramik ist der Unterschied zwischen der Fotografie mit Blitz und ohne Blitz im zweiten Versuch größer (siehe Abb. 44 - 46). Die Magentawerte der Flecke auf Papier und Stahl sind relativ ähnlich (siehe Abb. 47,48).

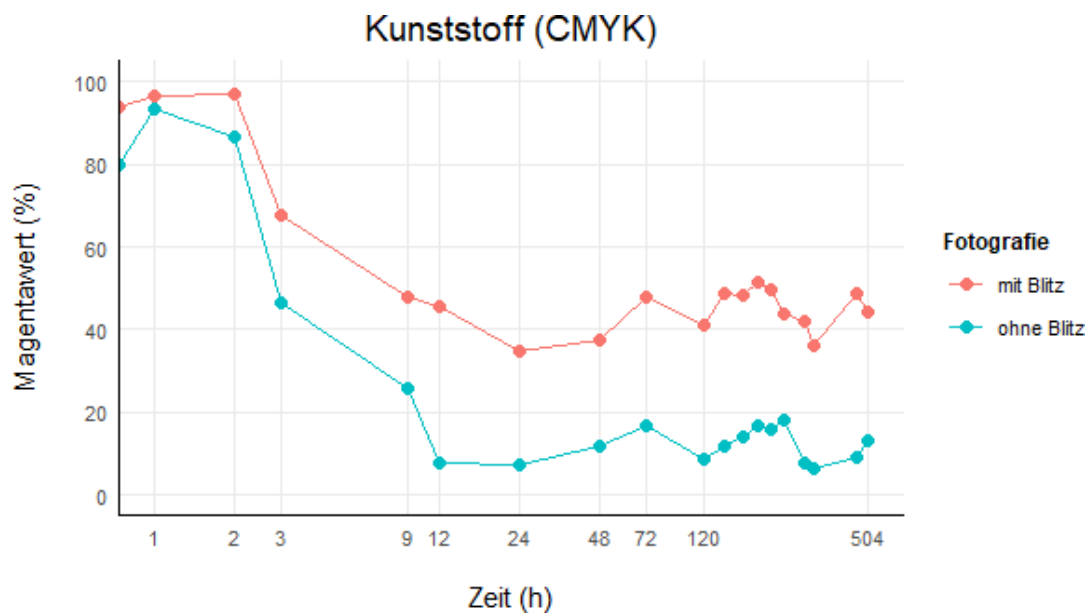


Abbildung 44: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

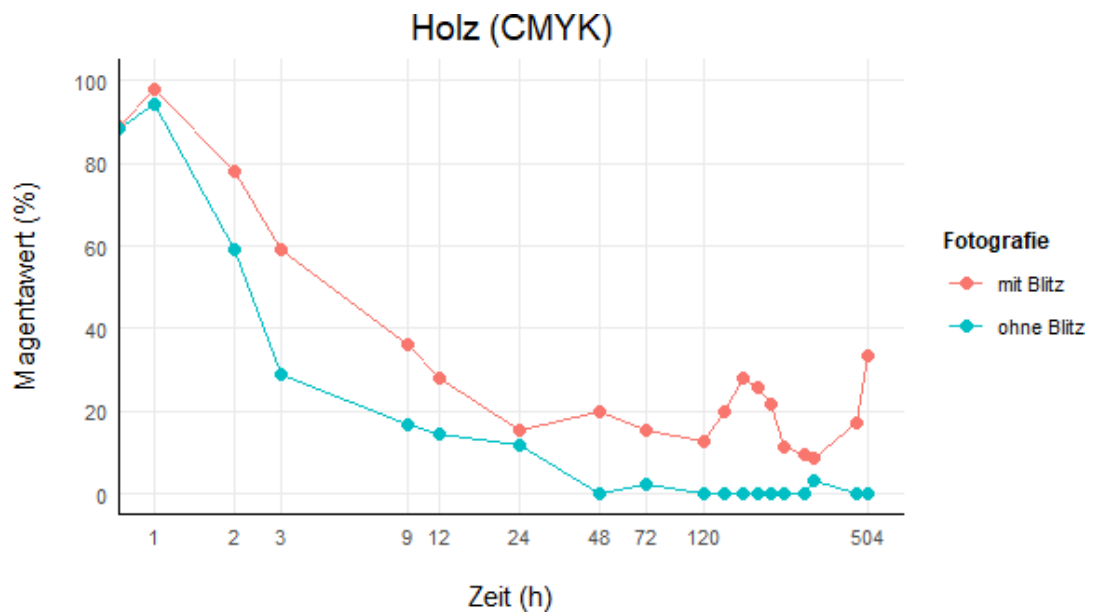


Abbildung 45: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

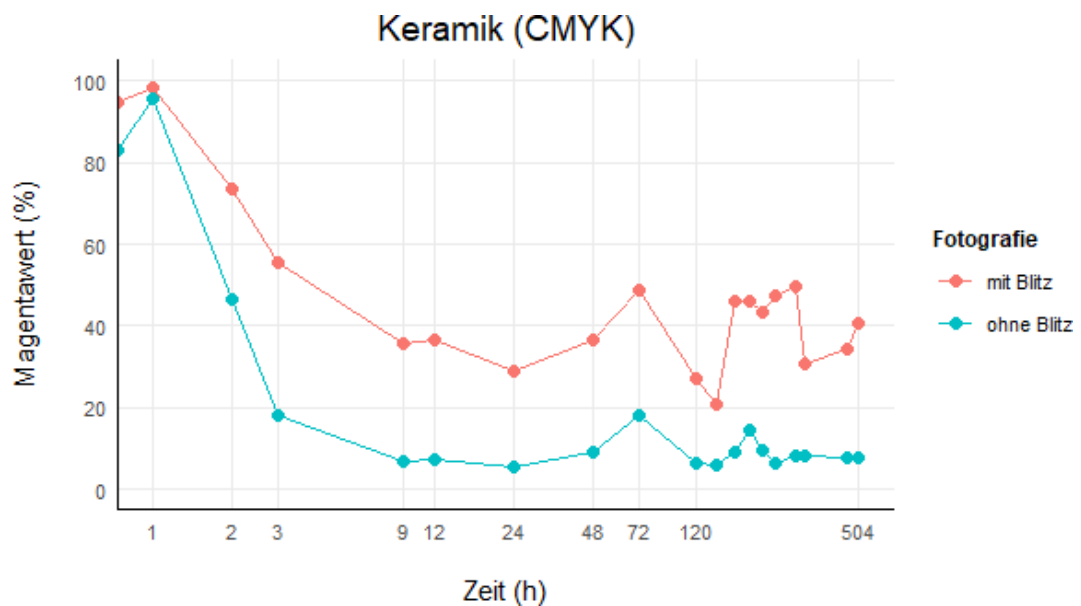


Abbildung 46: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Keramik im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

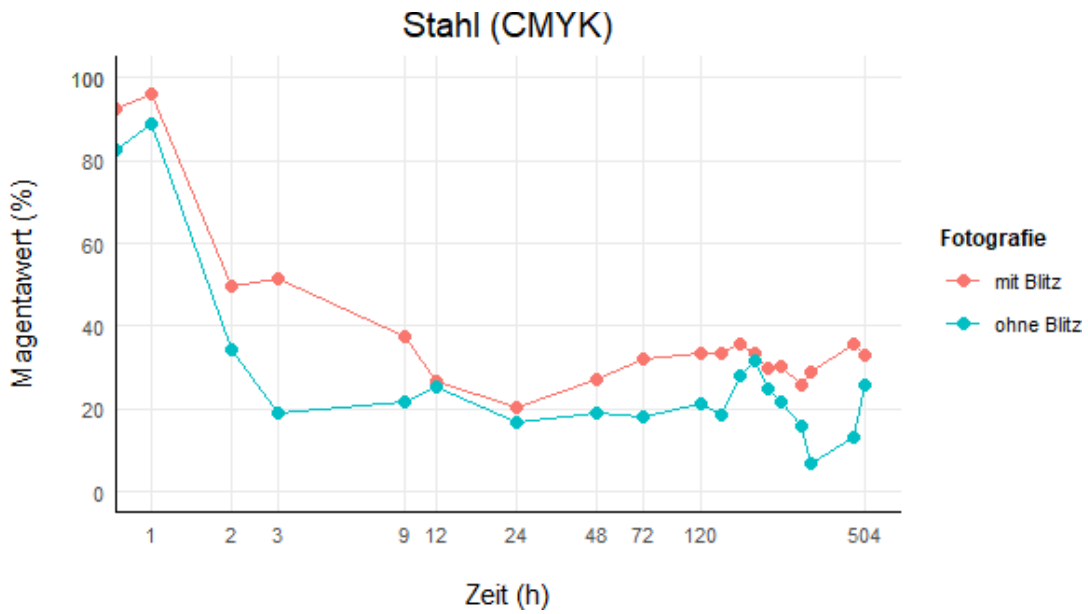


Abbildung 47: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

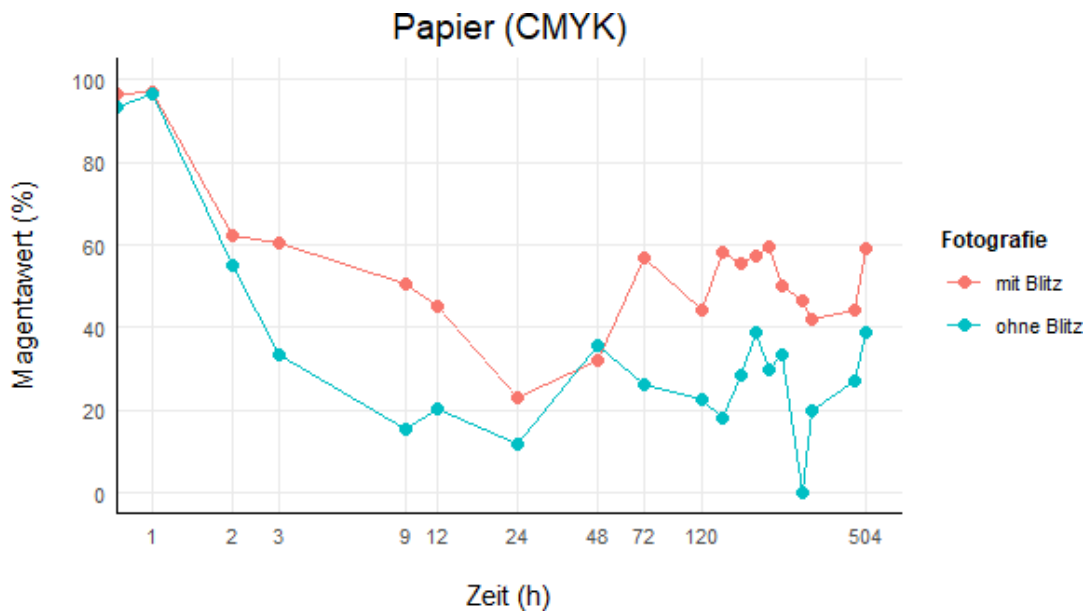


Abbildung 48: Magentawert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

5.2.2.2 Helligkeitswert-Verlauf (HSL)

Die Ausgangswerte der Helligkeit sind erneut sehr niedrig und der Verlauf hält sich bei den meisten Untergründen einigermaßen konstant im unteren Drittel. Bei Holz und Papier ist eine vermehrte Überlappung der Werte mit Blitz und ohne Blitz zu vermerken (siehe Abb. 50, 53). Bei Kunststoff (Abb. 49) liegen die Werte wiederum weiter auseinander. Zudem sind die Helligkeitswerte zwischen 9h und 48h etwas erhöht (siehe Abb. 49 – 53).

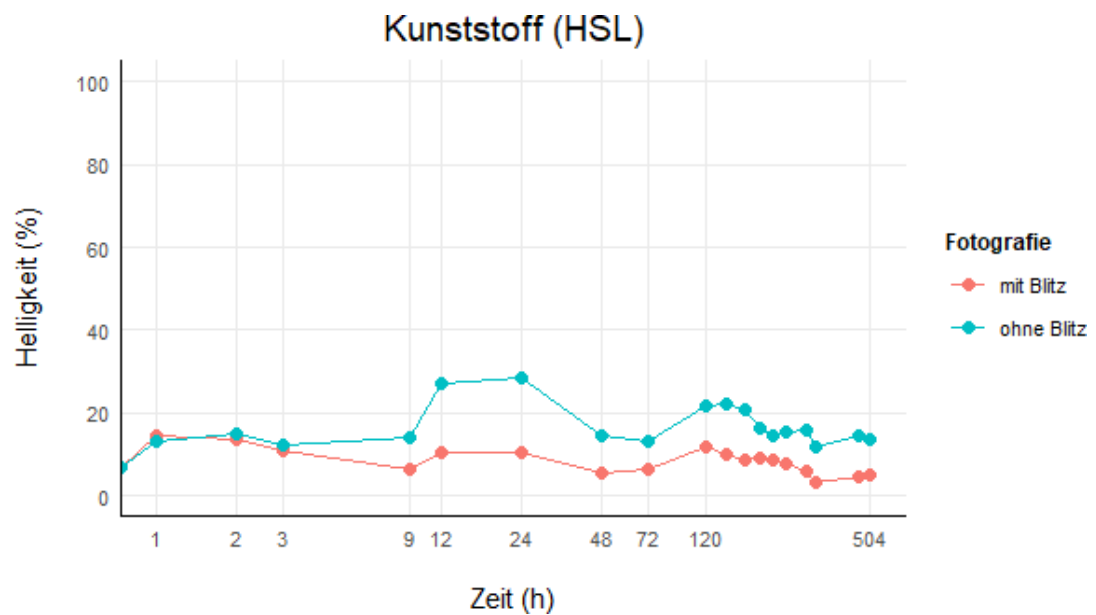


Abbildung 49: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

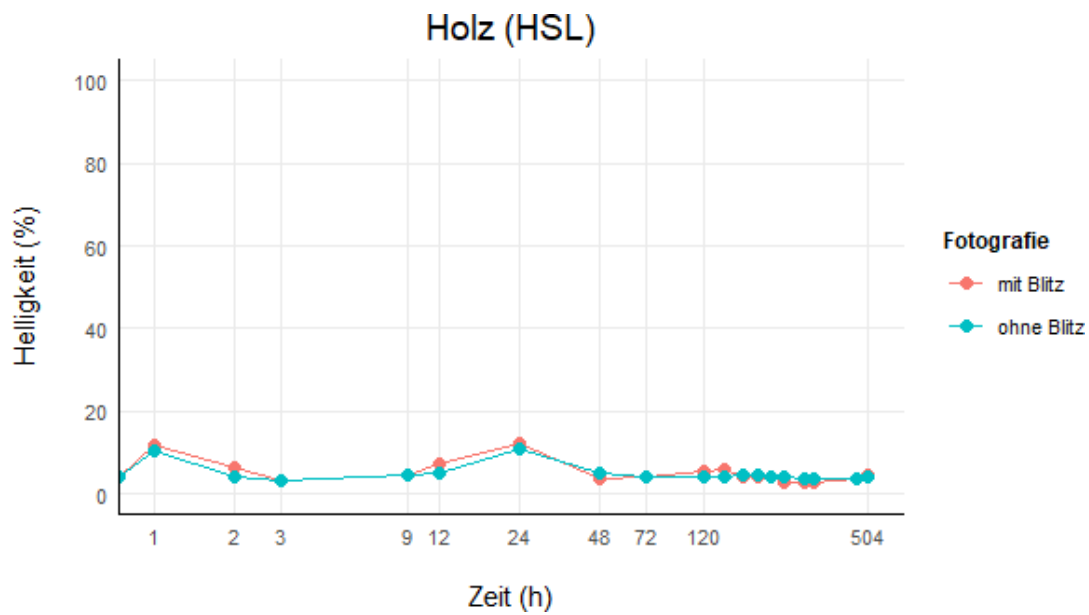


Abbildung 50: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

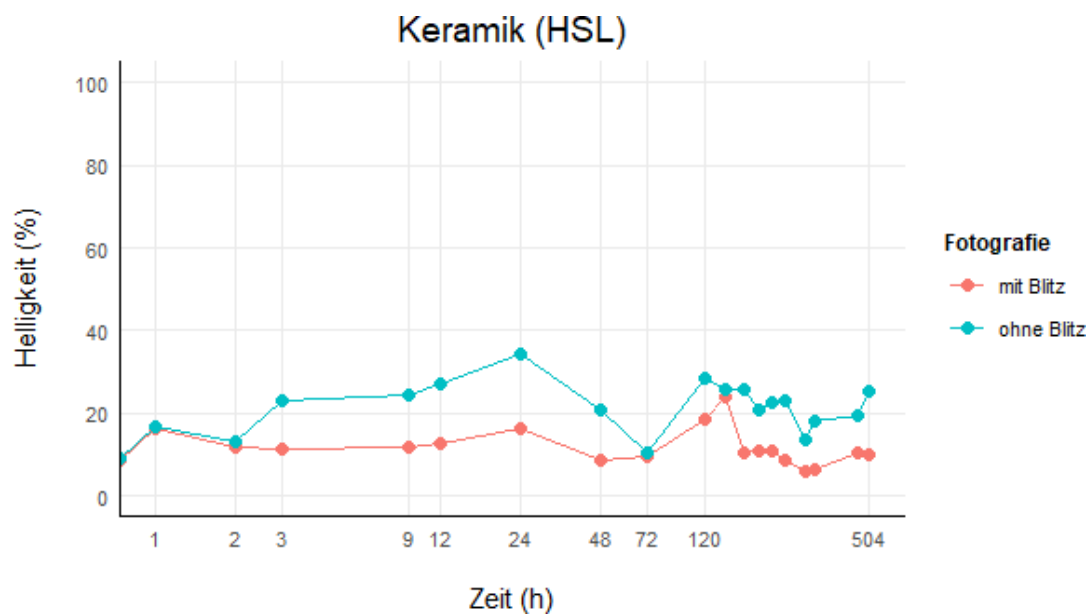


Abbildung 51: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Keramik im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

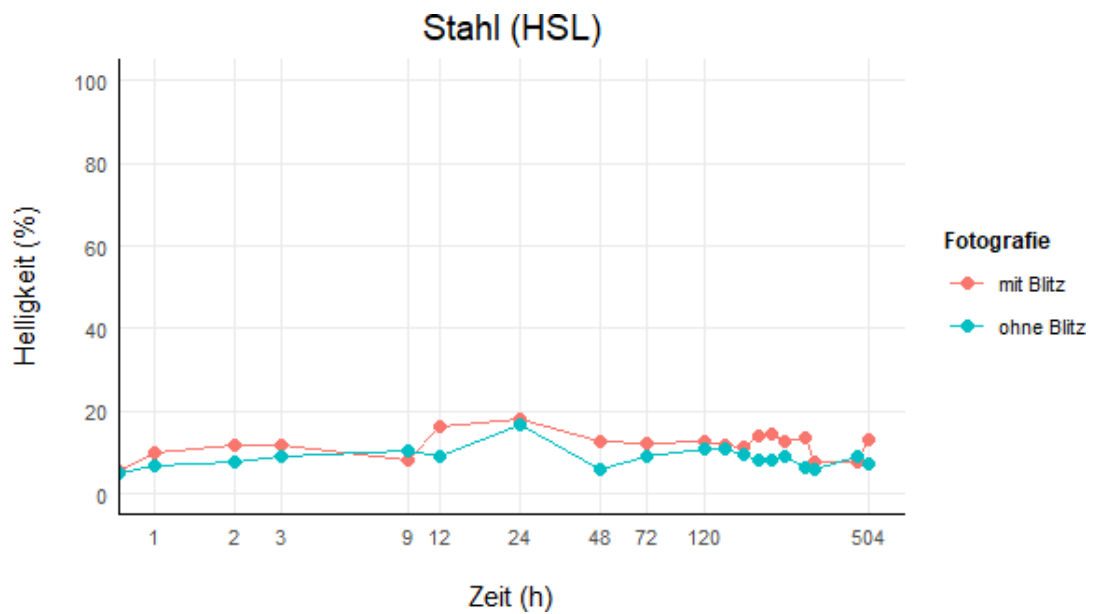


Abbildung 52: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

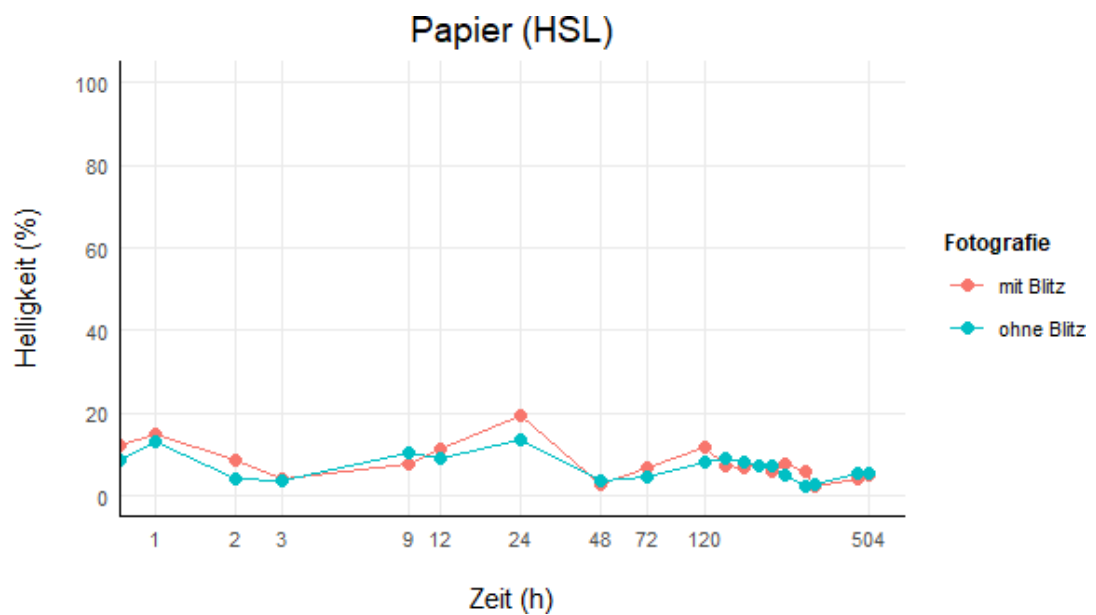


Abbildung 53: Helligkeitswert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

5.2.2.3 Rotwert-Verlauf (RGB)

Beim Rotwert der Flecke auf Holz und Papier ist im Vergleich zum ersten Versuch folgendes aufgefallen: Die Werte der beiden Fotografie-Techniken unterscheiden sich hier kaum (siehe Abb. 55, 58), während beim ersten Versuch die Werte mit Blitz deutlich höher sind. Auch der Verlauf an sich unterscheidet sich von den vorherigen Ergebnissen. Demnach ist bei Holz und Papier nach einer Stunde der höchste Wert zu beobachten, nach 24h ein weiterer Anstieg. Bei Holz bleiben die Werte nach 24h bis zum Ende der Messungen konstant.

Bei Kunststoff ist die Differenz zwischen den Verläufen mit Blitz und ohne Blitz größer geworden. Ab der dritten Stunde sind die Werte ohne Blitz höher (siehe Abb. 54). Der Verlauf von Keramik zeigt bei 24h einen deutlichen Peak, fällt bis 72h ab und steigt bei 120h wieder an (Abb. 56). Auf Stahl sind die Werte beider Fotografie-Weisen auf einem niedrigeren Niveau und durch weniger Schwankungen ausgezeichnet, wie Abb. 57 zu entnehmen ist.

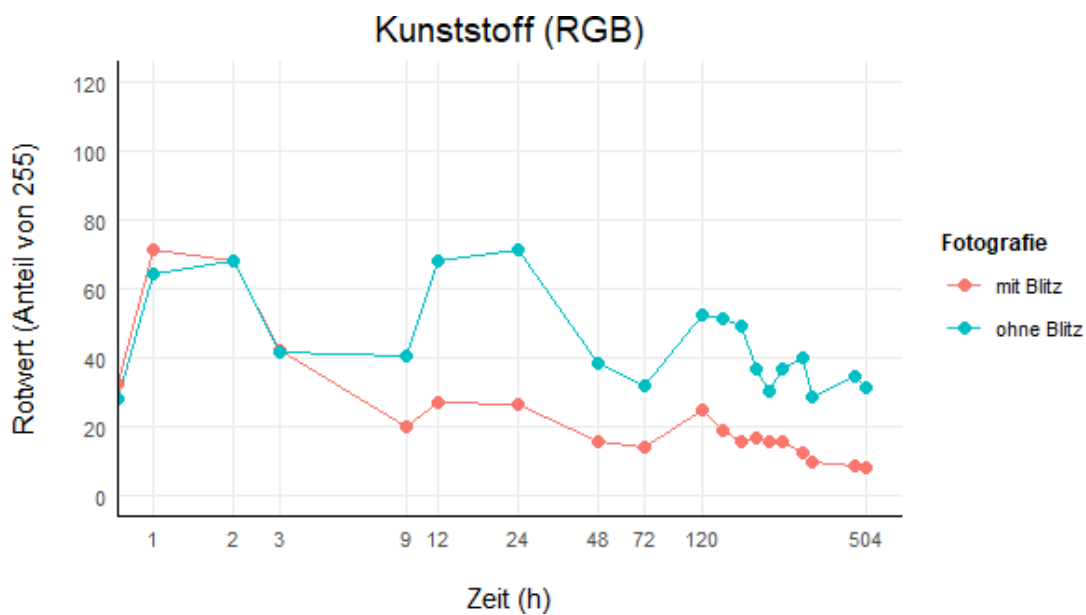


Abbildung 54: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Kunststoff im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

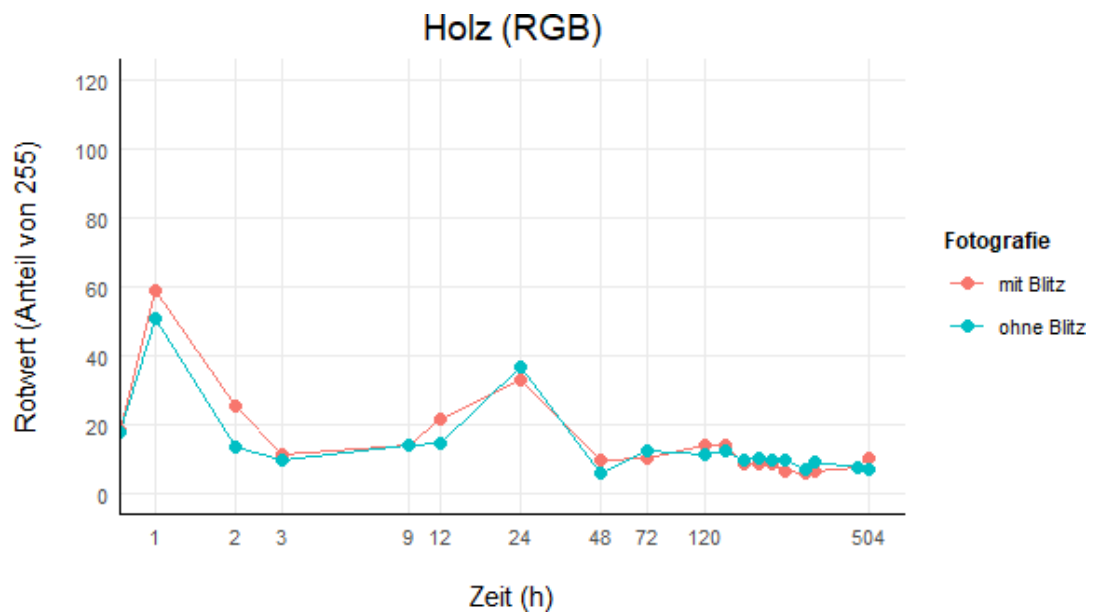


Abbildung 55: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Holz im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

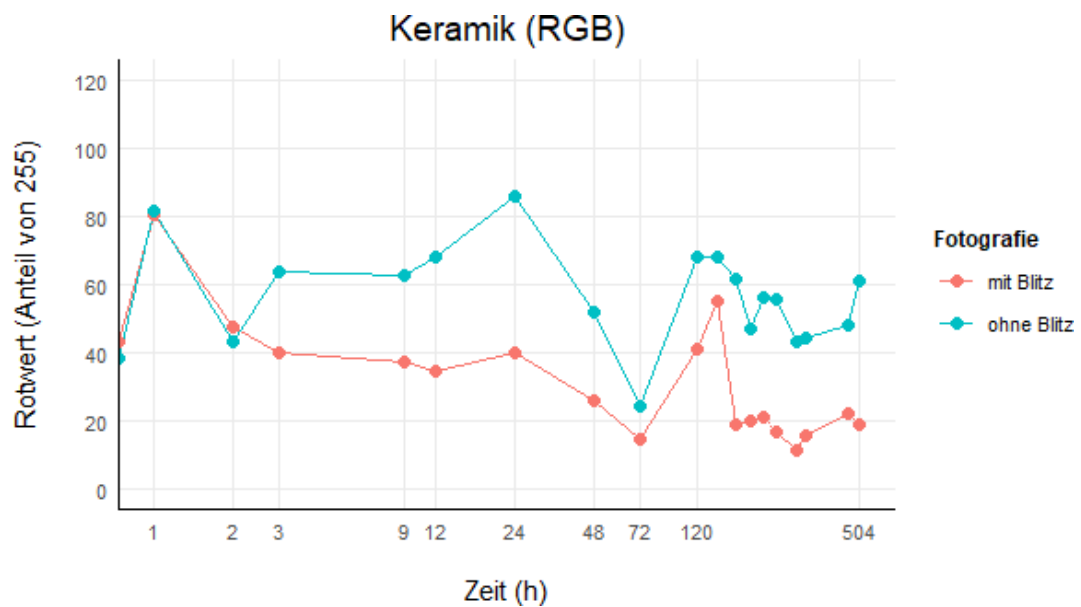


Abbildung 56: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Keramik im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

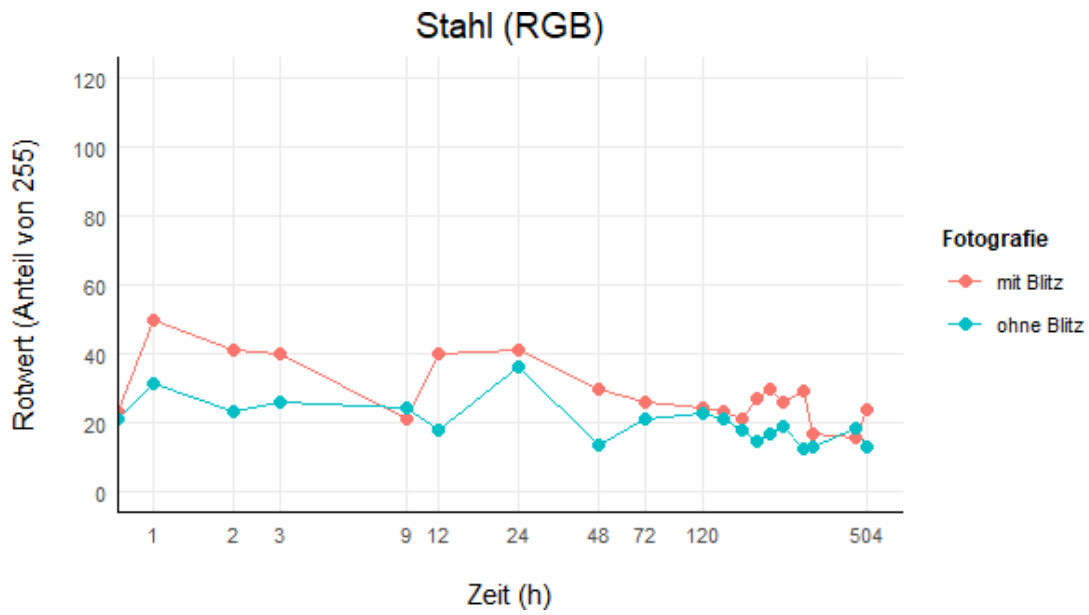


Abbildung 57: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Stahl im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

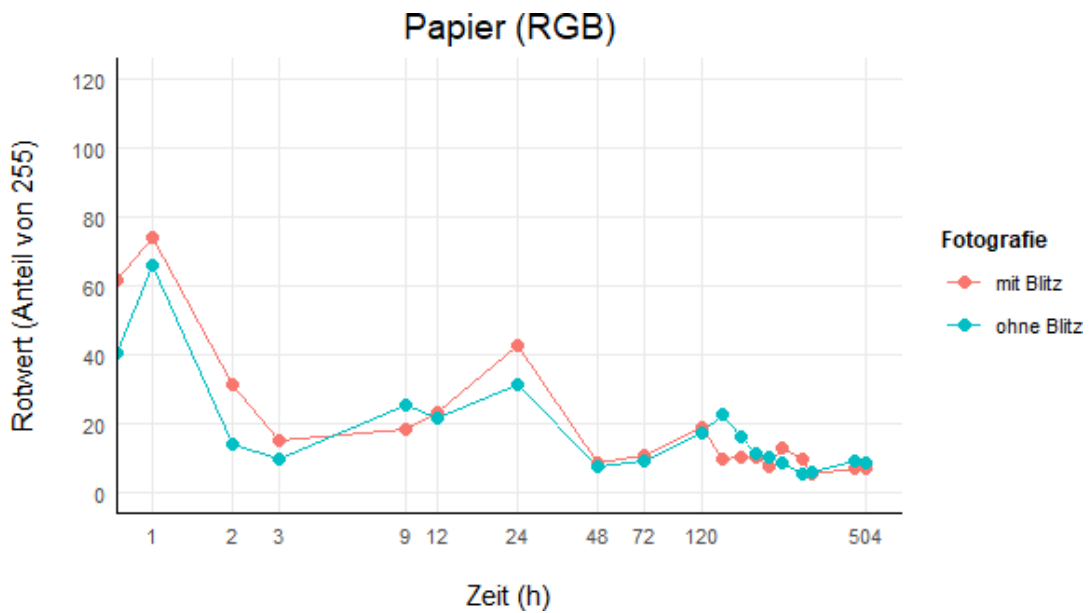


Abbildung 58: Rotwert-Verläufe mit und ohne Blitz von Papier im Zeitraum 0h bis 504h nach Erstellung [eigene Darstellung]

6 Diskussion

In dieser Arbeit wurden Blutflecke auf acht verschiedenen Untergründen generiert und die farblichen Veränderungen der Flecke mittels verschiedener Farbraummodelle gemessen. Hierfür wurden die Flecke jeweils mit Blitz und ohne Blitz fotografiert und die Veränderungen des Magentawertes (CMYK), des Helligkeitswertes (HSL) und des Rotwertes (RGB) festgehalten.

Auf Polyester zeigten die Tropfen unregelmäßige Strukturen auf (teilweise kugelförmig). Zudem war die Farbwahrnehmung der Flecke auf dem dunklen Untergrund erheblich beeinträchtigt. Daher wurde der Versuch wiederholt und durch verschiedene Verschmierungs-techniken versucht, den Problemen entgegenzuwirken. Bis auf Glas und Stoff wurde der Versuch für die anderen Untergründe ebenfalls wiederholt.

Ziel der Versuche war es, die Alterungsprozesse des Blutes in den Farbwertverläufen zu erkennen, um eine Aussage zu tätigen, welche Farbmodelle für die Altersschätzung von Blut geeignet sind.

In den folgenden Abschnitten sollen die Ergebnisse hinsichtlich verschiedener Aspekte diskutiert werden.

Zunächst sollen die Gründe für die farblichen und strukturellen Veränderungen des Blutes erschlossen werden. Speziell wird auf die Polyester-Versuche eingegangen.

Anschließend wird der Fokus auf individuelle Herausforderungen bei der Vorbereitung bzw. Durchführung gelegt.

Zudem gilt es eine Aussage zu treffen, welche Variante der Fotografie, mit Blitz oder ohne Blitz, die besseren Ergebnisse erzielt.

Zuletzt, unter Einbeziehung aller vorherigen Resultate, wird eine Entscheidung getroffen, welches Farbmodell sich am ehesten für die Schätzung des Blutalters eignet.

6.1 Fotografische Auswertung

Auf den fotografischen Dokumentationen der Blutflecke über den Zeitraum 1h bis 504h (bzw. 0h bis 504h im zweiten Versuch) konnte man sehen, dass die Zusammensetzung und die Farbe des Untergrundes einen erheblichen Einfluss auf die strukturellen und farblichen Veränderungen der Blutflecke hatten.

Wie im zweiten Versuch zu erkennen war, waren die Flecke auf den glatten, undurchlässigen Oberflächen (Keramik, Stahl, Kunststoff und Glas) unmittelbar nach dem Auftragen dunkel und hellten innerhalb einer Stunde zu einem hellen Rot auf. Dies ließ sich durch zwei Gründe erklären. Zum einen durch die Anreicherung der Tropfen mit dem umliegenden Sauerstoff. Zum anderen durch die Reflexion, die auf eben diesen Oberflächen stärker erfolgte und die Flecke daher intensiver scheinen ließ.

Auf Stoff wirkten die Flecke matter und weniger intensiv, da sich das Blut in den Fasern verteilte und so weniger Erythrozyten pro Fläche vorhanden waren. Reflexionen des Blutes blieben durchgehend aus, weil das Licht von der unregelmäßigen Oberfläche absorbiert und gestreut wurde, anstatt es zurückzuwerfen.

Die starken Reflexionen auf Papier und Holz konnten auf die Unebenheiten in der Struktur und die dadurch unregelmäßige Verteilung des Blutes zurückgeführt werden, welche das Licht stärker brechen ließen.

Da die Poren von Papier im Gegensatz zu Holz und Stoff sehr klein und gleichmäßig verteilt sind, blieb die runde Form trotz Eindringen erhalten. Durch das schnelle Einziehen in die Poren trocknete der Fleck auf Papier schneller als auf glatten undurchlässigen Untergründen, wo der Fleck auf der Oberfläche blieb.

In den folgenden Stunden war die Bildung von Methämoglobin durch Oxidation des Eisens am stärksten, was zu einer braunen Färbung der Flecke führte. Zugleich vollzog sich der Verdunstungsprozess von Wasser, während die festen Bestandteile des Blutes zurückblieben. Die Flecke waren infolgedessen dichter bzw. visköser und absorbierten mehr Licht, was ebenfalls zu der Farbveränderung beitrug.

Im Laufe der Verdunstung nahm das Volumen der Flecke ab, was auf den glatten Oberflächen spannungsgeladene Bereiche erzeugte, die zu Rissen führten.

Bei den saugfähigen bzw. rauen Oberflächen fand die Verdunstung sowohl an der Oberfläche als auch im Inneren des Materials statt, was lokalen Spannungen entgegenwirkte. Auch die Elastizität der Fasern konnte Spannungen auffangen, weshalb bei Stoff und Holz keine Risse gesichtet wurden. Mit Entstehungsmechanismen von Rissbildungen setzten sich Sobac und Brutin 2013 in einer Studie auseinander [27].

Dass die Ränder auf den glatten Oberflächen leichte farbliche Differenzen zum Zentrum der Tropfen aufweisen, lässt sich wie bereits in Abschnitt 3.4 beschrieben durch die unterschiedliche Trocknungsgeschwindigkeit erklären.

Unregelmäßige Schwankungen bei den Farbwertverläufen sind vermutlich auf Reflexionen bzw. Schattenwurf zurückzuführen.

6.2 Polyester-Versuche

Die Tropfen auf Polyester zeigten nach dem Aufkommen unregelmäßige Erscheinungsformen auf. Polyester zählt zu den hydrophoben Untergründen, weshalb die Tropfen dazu tendierten, sich zusammenzuziehen und kugelförmig zu bleiben. Dies bewirkte eine verlangsamte Oxidation sowie verringerte Verdunstungsrate des Wassers. Hinzu kam die dunkle Farbe des Polyesters, die den Großteil des Lichts absorbierte. Dadurch wurde der Kontrast zwischen den Flecken und dem Untergrund reduziert und das Blut erschien ab einer Stunde nahezu schwarz. Bei den flacheren Flecken, die Risse bildeten, schien der Untergrund an vielen Stellen durch. Bei einem dunklen, farbigen Hintergrund, wie in diesem

Falle Polyester, bewirkte das Durchscheinen, dass Teile der Hintergrundfarbe in die Farbmessung integriert wurden, die den Farbton der Flecke spürbar verfälschten. Demnach ließ sich diese Beobachtung als ein Grund für die vielen Schwankungen und hohen Magentawerte festhalten.

Im Gegensatz zum ersten Versuch krümmten sich die Tropfen beim zweiten Versuch und hoben sich von der Oberfläche ab. Daraus ließ sich schließen, dass die Polyester-Sorten Unterschiede in der Zusammensetzung aufwiesen und diese bereits genügten, um zu einem differenzierten strukturellen Verhalten des Blutes zu führen.

Durch die Verschmierungstechniken mittels Löffel und Handschuhen konnte ein Zusammenziehen bzw. eine Krümmung verhindert werden (siehe Abb. 37). Bei der Verteilung mit Zahnstocher hoben sich die Ränder ab, das Zentrum lag auf der Oberfläche auf. Es ist davon auszugehen, dass durch den ausgeübten Druck, der mit dem Löffel und dem Handschuh stärker war, die hydrophobe Wirkung des Polyesters vorübergehend überwunden wurde, weshalb die Blutflecke haften blieben. Bei den Tropfen, die mittels Handschuhen verschmiert wurden, konnte nach 1h ein geringerer flüssiger Anteil festgestellt werden, was darauf schließen lässt, dass die Tropfen zum Teil in die Fasern eingedrungen sind. Die Flecke ohne Verschmierung lösten sich zum Teil gänzlich vom Untergrund ab, was besondere Vorsicht im Umgang mit den Proben erforderte. Die verschmierten Flecke verrutschten nicht und erleichterten so den Prozess der Fotografie.

Die mechanisch veränderten Tropfen waren mit dem Fortschreiten der Verdunstung durch Rissbildungen gekennzeichnet, was die Auswertung wiederum beeinträchtigte. Des Weiteren führte die flache Ausbreitung der Tropfen vermehrt zu Reflexionen. Daher ist anzunehmen, dass es sich bei den geringeren Magenta- bzw. Rotwerten aus zuvor genannten Gründen eher um Verfälschungen handelt. Durch Verwendung anderer Beleuchtungstechniken könnte dem weiter nachgegangen werden. Bezogen auf die Anwendung in der Praxis sind nachträgliche mechanische Veränderungen am Blut relativ unrealistisch, da es nur in Fällen funktionieren würde, bei denen das Blut noch flüssig vorliegt.

Verschmierungstechniken als Methode zur verbesserten Analyse von Blut auf dunkelblauem Polyester können daher, basierend auf den Resultaten des vorliegenden Versuchs, als nicht vorteilhaft eingeordnet werden.

Generell gestaltete sich die Farbraumanalyse von Blut auf dunklen Oberflächen schwierig. Stattdessen könnten sich andere Methoden dafür eher eignen.

Die Studie von Schotman *et al.* [28] und Edelman *et al.* [29] beschäftigte sich mit dem Umgang von Blut auf dunklen Untergründen. Dazu testeten sie Kameras mit sichtbarem Licht, sowie Nahinfrarot (NIR) und Kurzwellen-Infrarot Kameras, von denen sich letztere als beste Methode erwies. Die Qualität der Ergebnisse ist allerdings von der genauen Zusammensetzung des Untergrundes beeinflusst

6.3 Herausforderungen bei der Vorbereitung/ Durchführung

Um Versuche replizieren und Ergebnisse korrekt interpretieren zu können, war es notwendig, alle Untergründe in ausreichender Menge zur Verfügung zu haben und deren genaue Zusammensetzung zu kennen. In dieser Studie waren die Informationen über einige Materialien wie z.B. Polyester des ersten Versuchs nicht vorhanden, weshalb Gründe für das unterschiedliche Verhalten zwar vermutet, aber nicht eindeutig identifiziert werden konnten.

Des Weiteren hatten bereits kleinste Veränderungen bei der Fotografie Auswirkungen auf die Erscheinung des Blutflecks im Bild. Die Position der Untergründe auf der Arbeitsfläche wurde nicht immer exakt eingehalten, was zu veränderten Lichtverhältnissen bedingt durch die Deckenstrahler führte. Auch die Position der fotografierenden Person hat durch Licht- und Schattenwurf leichte Differenzen erzeugt.

Beim zweiten Versuch wurde auf die Einhaltung der Position auf der Arbeitsfläche sowie auf den Licht- und Schattenwurf bei der Fotografie genauer geachtet. Dies zeigt sich an eindeutigeren Farbwertverläufen des zweiten Versuchs, weshalb dieser dem ersten Versuch vorzuziehen ist.

Der optimale Abstand zwischen Kamera und Blutfleck wurde nach der Studie von SHIN *et al.* [3] auf 8 cm bemessen, da es unterhalb zu einer unscharfen Auflösung des Bildes kam, die die Auswertung beeinträchtigten. Der Abstand hat sich in dieser Studie ebenfalls bewährt.

6.4 Digitale Auswertung

Die Ergebnisse der digitalen Auswertung hingen maßgeblich von der Wahl des Auswertungsprogramms ab. Für diese Studie wurde sich aufgrund einer leichten Handhabung für das Vektorgraphikprogramm Inkscape entschieden. Diese Software unterstützt Farbverarbeitung, ist allerdings primär auf die Arbeit mit Vektorgraphiken spezialisiert. Daher könnte die Farbauswertung weniger präzise sein als mit einem Programm wie Gimp, welches speziell auf Rastergraphiken ausgelegt ist. Ob etwaige Präzisionsunterschiede vorliegen und falls ja, inwiefern sich diese auf die Farbwerte auswirken würden, ist allerdings bisher nicht erwiesen.

Die Positionierung der Pipette in einem Radius von 30 Pixeln ausgehend vom Tropfenmittelpunkt erfolgte manuell. Grundsätzlich ist zu raten, die Messung vom Programm selbst und konstant vom Tropfenmittelpunkt durchführen zu lassen, um bei jeder Messung exakt den gleichen Bereich des Tropfens zu erfassen. Durch das Aufreißen der Tropfen wären allerdings Teile des Untergrundes in den Radius und damit die Farbauswertung mit eingeflossen. Deshalb wurde sich für die manuelle Durchführung entschieden und die Positionierung ggf. leicht angepasst, sofern es sich nur um vereinzelte Risse handelte. Der Radius von 30 Pixeln erwies sich grundsätzlich als geeignet. Kleinere Radien würden unzureichend repräsentativ sein. Zu groß gewählte Radien würden die Ränder des Blutflecks mit einbeziehen, was die Auswertung verfälschen würde.

Ein Durchscheinen von hellen Untergründen (z.B. weiß oder beige) beeinflusste die

Farbanalyse der Blutstropfen nur minimal, da derartige Untergründe mehr Licht reflektierten und weniger Farbintensität aufwiesen, wodurch der Farbton der Blutflecke besser erhalten blieb. Der Einfluss eines dunklen bzw. farbigen Hintergrundes ist gravierender (siehe Abschnitt 6.1). Daher könnte in zukünftigen Studien getestet werden, ob in solchen Fällen ein kleinerer Radius von Vorteil sein könnte, welcher ein Durchscheinen des Hintergrundes ausschließt.

6.5 Fotografie-Techniken

Sowohl die Magentawerte, als auch die Rotwerte, die mit Blitz fotografiert wurden, waren in den meisten Fällen konstant höher als die Daten ohne Blitz. Die Flecke erschienen durch den Blitz heller bzw. überbelichtet. Zudem traten mit dem Eintritt des Verdunstungsprozesses bzw. den chemischen Veränderungen vermehrt Reflexionen auf, die bei der Fotografie ohne Blitz größtenteils ausblieben. Daher ist von den beiden Varianten die Methode ohne Blitz zu empfehlen, da sie die wirkliche Farbe präziser überträgt. Dennoch ist die Fotografie in einem abgedunkelten Raum mit konstanter direkter Beleuchtung vermutlich die bessere Wahl, da keine wechselhaften Lichtverhältnisse auftreten können.

Bei Stoff ist die Wahl der Methode unwesentlich, da das Blut vollständig aufgenommen wurde und keine Reflexionen auftraten. Die Auswertung der Farbwerte beider Techniken lagen nah beieinander. Diese Feststellung könnte auch für weitere helle saugfähige Materialien gelten.

In einer Studie von 2013 befassten sich Thanakiatkrai *et al.* [30] mit der Blutaltersschätzung mittels farbmischer Analysen auf einem Smartphone. Dazu wurden verschiedene Smartphone-Kameras getestet, darunter die des Samsung Galaxy S Plus, des Apple iPhone 4 und des Apple iPad 2. Es offenbarten sich erhebliche Unterschiede zwischen den Betriebssystemen IOS (Apple) und Android (Samsung), wobei letzteres die besseren Ergebnisse erzielte. Da die Resultate jedoch auf den damalige technische Verhältnisse basierten, kann nicht explizit davon ausgegangen werden, dass sie heute noch gültig sind. Daher wäre eine erneute Studie erforderlich, die auf den aktuellen Stand der Technologie angepasst ist.

6.6 Auswertung der Farbmodelle

Rückblickend auf die Ergebnisse des zweiten Versuchs kann beobachtet werden, dass der Magentawert innerhalb der ersten Stunde zunimmt. Dies stimmt überein mit der Sauerstoffaufnahme des Blutes, was zu einem intensiveren Rotton und dementsprechend zu höheren Magentawerten führt.

In den ersten zwei bis drei Stunden nach Erstellung der Blutproben ist bei allen Untergründen ein deutlicher Abfall des Magentawertes zu vermerken. Auch diese Beobachtung deckt sich mit den chemischen (oxidativen) Prozessen von Hämoglobin, die in den ersten Stunden am stärksten sind. Bei Glas und Stoff ist die Abnahme weniger prägnant, was an den unterschiedlichen Verdunstungsraten bzw. der Lichtstreuung liegen könnte.

Die Magentawerte sinken bei den meisten Proben bis auf bei Polyester bis 120h weiterhin ab, da die Umwandlung in Methämoglobin weiterhin stattfindet. Nach fünf Tagen halten sich die Verläufe weitestgehend konstant, da nur noch wenige Veränderungen stattfinden. Am Messpunkt nach 336h lässt sich ein weiterer Abfall beobachten, wobei die Werte der meisten Proben anschließend wieder leicht ansteigen. Die Senkung auf die Umwandlung von Methämoglobin in Hämichrom zurückzuführen sein, wonach die Flecke nahezu schwarz schienen. Der darauffolgende Anstieg ist eher untypisch und könnte an Reflexionen liegen. Ein direkter Vergleich der Verläufe der Kameraeinstellungen ergibt, dass die meisten Verläufe nahezu identisch, aber in der vertikalen Ebene versetzt sind. Die Magentawerte, die durch die Fotografie mit Blitz entstanden, sind konstant höher. Dies zeigt, dass der Magentawert unabhängig von der Fotografie-Weise (nur bezogen auf Blitz bzw. kein Blitz) mit den Alterungsprozessen des Blutes korreliert.

Die Verwendung des Magentawertes zur Blutaltersschätzung stellt sich daher als erwiesen dar. Dass eine einzige Komponente eines Farbmodells bereits aussagekräftig ist, erleichtert den Rechenaufwand und die Komplexität der Auswertung. Dennoch können auch weitere Komponenten des CMYK-Farbmodells in die Altersschätzung mit einbezogen werden, um ein präzises Gesamtbild zu erhalten. Zum Beispiel belegt die Studie von Dinmeung *et al.* [31], dass sich auch der K-Wert (Schwarzanteil) eignet.

Die Helligkeitswerte des HSL-Farbmodells zeigen bei keinem Untergrund signifikante Änderungen. Sie sind bereits von Beginn an sehr niedrig und halten das Niveau weitestgehend konstant. Es sind nur vereinzelt Schwankungen zu beobachten, wie z.B. im Zeitraum von 9h bis 48.

Die Helligkeitswerte des HSL-Modells lassen keine Aussagen über das ungefähre Blutalter zu, da die Werte nicht mit den farblichen Änderungen der Blutspuren korrelieren. Daher ist die Helligkeit zur Blutaltersschätzung ungeeignet. Es könnte in weiteren Studien überprüft werden, ob durch Einbeziehen aller HSL-Komponenten bessere Ergebnisse erzielt werden können.

Während die Helligkeitskomponente des HSV-Modells bei Stark [4] ebenfalls nur ungenügende Ergebnisse erzielte, identifizierten Dinmeung *et al.* [31] die Helligkeit als aussagekräftigsten Parameter. Daher könnte in Erwägung gezogen werden, in einer weiteren Studie dem Helligkeitswert des HSV-Modells genauer zu analysieren.

Auch bei den Rotwerten des RGB-Farbraums können während der ersten Stunde ein Anstieg sowie ab der zweiten Stunde ein prägnanter Abfall der Werte identifiziert werden. Der Rückgang ist allerdings bei einigen Untergründen, z.B. Kunststoff weniger ausgeprägt als beim Magentawert. Nach den ersten Stunden weichen die Verläufe der verschiedenen Untergründe voneinander ab. Während einige durch stärkere Schwankungen ausgezeichnet sind, liegen andere Verläufe konstant auf nahezu demselben Niveau. Des Weiteren fällt auf, die Ergebnisse des ersten Versuchs erhebliche Unterschiede zu denen des zweiten Versuchs aufweisen. Dies betrifft sowohl den Verlauf an sich als auch die Differenzen zwischen den verschiedenen Kameraeinstellungen. Z.B. ist bei Holz im ersten Versuch keine konstante Abnahme des Rotwertes zu sehen und die Werte mit Blitz sind deutlich über denen ohne Blitz. Im zweiten Versuch zeigt der Verlauf jedoch klare An- bzw. Abstiege und

bzgl. der Kameraeinstellungen sind die Werte nahezu identisch. Diese Beobachtung lässt vermuten, dass das RGB-Modell sensibler auf alterungsbedingte Verformungen (z.B. Rissbildungen) der Flecke oder den Einfluss von Lichtverhältnissen reagiert. Es zeichnet sich ab, dass der Verlauf des Rotwertes an einigen Stellen, besonders in den ersten ein bis drei Stunden, mit den Prozessen der Blutalterung korreliert. Allerdings treten ab den darauffolgenden Stunden oben erwähnte Unterschiede auf, dessen Gründe nicht eindeutig identifiziert werden können. Daher ist die Messung des Rotwertes, zumindest auf die vorliegende Studie, als Methode zur Blutaltersschätzung eher ungeeignet.

Dinmeung *et al.* [31] untersuchten alle Komponenten des RGB-Modells und konnten ebenfalls feststellen, dass der Rotwert von Messabweichungen betroffen war. Stattdessen lieferte der B-Wert aussagekräftigere Ergebnisse. Damit zeigt sich, dass die Verwendung des RGB-Modells zur Blutaltersschätzung im Allgemeinen möglich ist und weiter analysiert werden sollte.

7 Fazit und Ausblick

Grundlage für diese Studie war die Bachelorarbeit von Stark, in der eine Smartphone-App entwickelt wurde, die anhand von fotografierten Blutspuren durch farbmtrische Analysen eine ungefähre Altersschätzung der Blutspuren vornahm. Im Zuge dessen wurden Blutproben auf vier verschiedenen Untergründen – Glas, Holz, Papier und Stoff – erstellt und über einen Zeitraum von drei Wochen fotografiert. Es zeigte sich, dass die unterschiedlichen Untergründe die Blutalterung beeinflussten.

Für die Analyse wurden verschiedene Farbmodelle getestet. Dabei erzielte der Magenta-wert des CMYK-Modells die aussagekräftigsten Ergebnisse, während die Ergebnisse des HSV-Modells unzureichend waren.

Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit war es, die Studie von Stark mit Schwerpunkt auf das Experiment der Blutproben zu erweitern. Mit den gewonnenen Ergebnisse soll die App zukünftig weiterentwickelt und optimiert werden.

Um die Vielseitigkeit der Anwendung zu erhöhen, wurden vier weitere Untergründe – Kunststoff, Stahl, Keramik und Polyester - in die Versuchsreihe aufgenommen. Informationen über den Einfluss der Untergründe auf die Form und Farbwahrnehmung der Blutflecke wurde entsprechend abgeleitet und können in die App implementiert werden.

Darüber hinaus wurde die Zahl der Messpunkte (bei gleichbleibendem Zeitraum) erhöht, um detailliertere Farbwertverläufe zu erhalten. Diese zeichneten sich durch vermehrte Schwankungen aus.

Die Fotografie erfolgte sowohl mit Blitz als auch ohne Blitz, um mögliche Unterschiede in der Farbwahrnehmung der Blutflecke und deren Auswirkung auf die Analyse zu erforschen. Die Fotografie ohne Blitz stellte sich als geeigneter heraus, da die Werte mit Blitz konstanter Überbelichtung und Reflexionen ausgesetzt waren. Auch diese Ergebnisse können in der App-Weiterentwicklung mit einbezogen werden.

Im Rahmen des ersten Versuchs traten bei Polyester einige Komplikationen bzgl. der Form und Farbwahrnehmung der Blutflecke auf (siehe Abb.). Die Gründe dafür lagen zum einen an der hydrophoben Wirkung, zum anderen an der dunkelblauen Farbe des Polyesters. Daher wurde in einem zweiten Experiment untersucht, ob den Komplikationen durch verschiedene Verschmierungstechniken entgegengewirkt werden kann. Die mechanischen Einwirkungen bewirkten zwar augenscheinlich eine verbesserte Form, trugen jedoch zu

häufigen Reflexionen bei, die die Ergebnisse verfälschten. Demnach stellten sich die Verschmierungsstechniken als nicht zielführend heraus.

Für die digitale Auswertung, die hier mit Inkscape erfolgte, wurden weitere Farbmodelle herangezogen, um deren Eignung für die Blutaltersschätzung zu testen. Als Basis diente der Magentawert des CMYK-Farbmodells. Zusätzlich wurde der Helligkeitswert des HSL-Modells sowie der Rotwert des RGB-Modells untersucht.

Die Analyse der Farbwertverläufe zeigte, dass die Helligkeitswerte über den gesamten Zeitraum von drei Wochen kaum Änderungen aufwiesen. Dadurch können keine Informationen über das Blutalter abgeleitet werden, weshalb dieser Wert als ungeeignet angesehen wird.

Anhand der Verläufe der Rotwerte konnten einige Stellen identifiziert werden, die mit Alterungsprozessen des Blutes korrelierten. Jedoch waren die Ergebnisse des ersten und zweiten Versuchs sehr unterschiedlich, was darauf schließen ließ, dass die Werte empfindlich auf äußere Einflüsse (z.B. veränderte Lichtverhältnisse) reagieren, selbst wenn diese nur minimal sind. Andere Studien stellten fest, dass der Blauwert geeigneter ist, weshalb das RGB-Modell fortlaufend weiter untersucht werden sollte.

Die Magentawerte korrelierten stark mit den chemischen Prozessen der Blutalterung. So konnte die Entstehung der verschiedenen Hämoglobinderivate in den Verläufen der Magentawerte identifiziert werden. Auch die Folgen der unterschiedlichen Kameraeinstellungen wurden durch den Magentawert präzise erfasst.

Abschließend lässt sich daher festhalten, dass der Magentawert auch in dieser Studie als aussagekräftigster Parameter zur Blutaltersschätzung angesehen wird.

Literaturverzeichnis

- [1] E. Locard, *La Police et Les Méthodes Scientifiques*, S. 8, 1934.
- [2] D. Labudde, M. Mohaupt, *Bioinformatik im Handlungsfeld der Forensik*, Mittweida: Springer, 2018, S. 37 - 38.
- [3] J. Shin, S. Choi, J. - S. Yang, J. Song, J. - S. Choi, H. - I. Jung, „Smart Forensic Phone: Colorimetric analysis of a bloodstain for age“, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 243, S. 221-225, Aug. 2016.
- [4] S. Stark, *Entwicklung einer Smartphone-App zur Blutaltersbestimmung*, Hochschule Mittweida, Mittweida, 2017.
- [5] D. Kühn, J. Luxem, K. Runggaldier, *Rettungsdienst*, 2. Auflage, München: Urban & Fischer, 2001.
- [6] Gesundheit.Gv.at, „Rote Blutkörperchen“, Redaktion Gesundheitsportal, 2020. [Online]. Verfügbar:
https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjlvwq9pImKAXWrnf0HHS5DO_kQFnoECDoQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.gesundheit.gv.at%2Flabor%2Flaborwerte%2Fblutbild%2Fblutbild-01-ery2-hk.html&usg=AOvVaw3CalgA8S4MsaA-F-CfZlxw&opi=89978449. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [7] Thieme via medici, „Hämoglobin: Synthese und Abbau“, Thieme Verlag KG, 2024. [Online]. Verfügbar:
<https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjax4mV-4iKAXW1if0HHfJ3CCcQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fviamedici.thieme.de%2Flernmodul%2F549519%2F539519%2Fh%25C3%25A4moglobin%2Bsynthese%2Bund%2Babbau&usg=AOvVaw3y4QoDWamLFov1LAtmZY2e&opi=89978449/>. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [8] DocCheck Flexikon, „Blutplasma“, DocCheck Community GmbH, 2024. [Online]. Verfügbar:
https://dccdn.de/www.doccheck.com/data/4k/g9/qy/x7/xg/m5/blutbestandteile_md.jpg. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].

-
- [9] Lecturio, „Zusammensetzung des Blutes und Hämostase (Blutgerinnung“, Lecturio GmbH, 2023. [Online]. Verfügbar: https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjt9_ji_4iKAxVc9LsIHZH-CHtYQFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.lecturio.de%2Fartikel%2Fmedizin%2Fzusammensetzung-des-blutes-und-haemostase-blutgerinnung%2F&usg=AOvVaw1v-hWlSejmehwiKQOzHKGI&opi=89978449. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [10] K. T. Preissner, *Regulation der plasmatischen Gerinnungskaskade*, in *Hämostaseologie Grundlagen, Diagnostik, Therapie*, Hrsg: B. Pötzsch, K. Madlener, 2. Auflage, Unter Mitarbeit von M. Gawaz, C. Mannhalter, M. Geiger, H. Langer, Springer, 2010.
- [11] B. Linnemann, E. Lindhoff-Last, *Gerinnungskaskade*, in *Prävention von Thrombosen und Embolien in der Inneren Medizin: Möglichkeiten und Vorzüge von niedermolekularen Heparinen*, Springer, S. 32-39, 2005.
- [12] Takeda, „Hämostase“, Takeda Pharma Vertrieb GmbH & Co. KG, 2021. [Online]. Verfügbar: https://www.passion-haemostaseologie.de/sites/default/files/styles/original_fallback/public/2024-02/tak_haem_pf_haemostase_gerinnungskaskade.jpg?itok=SmR_9qGB. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [13] E. Mützel, S. Kunz, O. Peschel, *Blutspurenmuster-Verteilungsanalyse-Aspekte für die klinisch – forensische Praxis* in *Klinisch-forensische Medizin*, Hrsg: M. Grassberger, E. E. Türk, K. Yen, Springer, 2013.
- [14] O. Peschel, F. Ramsthaler, M. Rothschild, *Forensische Blutspurenmusteranalyse*, Lehmanns Media, 2015.
- [15] S.H. James, „Outline of Basic Laboratory Experiments for Bloodstain Pattern Interpretation“, *Scientific and Legal Applications of Bloodstain Pattern Interpretation*, CRC Press, 1998.
- [16] H. F. Miles, R. M. Morgan, J. E. Millington, „The influence of fabric surface characteristics on satellite bloodstain morphology“, *Science & Justice*, Vol. 54, S. 262 – 266, Jul. 2014.
- [17] L. Lennen, J. Trevethan, I. Bintcliffe, LGC Forensics, „DNA-Spuren richtig sichern“, *Bund Deutscher Kriminalbeamter*, 2011. [Online]. Verfügbar: <https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=>

-
- 2ahUKEwiL8oiFj4mKAXWsg_0HHch-CPBsQFnoECBgQAQ&url=https%3A%2F%2Fcdnmedia.eurofins.com%2FMicrosites%2Fmedia%2F1496%2Fgesamtausgabe_dk_0311.pdf&usg=AOvVaw1BRnK-KugL5EKwMv5dFhkS0&opi=89978449. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [18] T. Bergmann, M. Klöden, J. Dreßler, D. Labudde, „Automatic Classification of Bloodstains with Deep Learning Methods“, *KI – Künstliche Intelligenz*, Mittweida, 2022.
- [19] S.N. Kunz, C. Grove, J. Adamec, „Forensische Analyse von Schlagspritzmustern unter ballistischen Gesichtspunkten“, Springer, S. 552, Okt. 2015. [Online]. Verfügbar: https://media.springernature.com/lw1200/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs00194-015-0050-5/MediaObjects/194_2015_50_Fig7_HTML.jpg. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [20] R. Kumar, K. Sharma, V. Sharma, „Bloodstain age estimation through infrared spectroscopy and Chemometric models“, *Science & Justice*, Vol. 60, S. 538 – 546, 2020.
- [21] E. Hasche, P. Ingwer, *Game of Colors: Moderne Bewegtbildproduktion Theorie und Praxis für Film, Video und Fernsehen*, Springer, 2016.
- [22] Računalniške novice, „Wie funktionieren Smartphone-Kameras?“, 2023. [Online]. Verfügbar: https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi0xL_4IYm-KAxWC0AIHHR7yAMUQFnoECDEQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.racunalniske-novice.com%2Fde%2Fwie-smartphone-kameras-funktionieren%2F&usg=AOvVaw0KcidF68bw5I4S_tdKCb3M&opi=89978449. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [23] TechSmith, „Über die Farbmodelle RGB, CMYK und Hex, ihre Anwendung und Umwandlung“, TechSmith Corporation, [Online]. Verfügbar: https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKE-wiRrTXI4mKAXVO_7siHYyxM74QFnoECB4QAw&url=https%3A%2F%2Fwww.techsmith.de%2Fblog%2Frgb-und-cmyk-unterschied%2F%23%3A~%3Atext%3D%252C0%252C0.-%2CHex%252DFarben%2520und%2520hexadezimal%2520Farbcodes%2CRot%252C%2520Gr%252C%2520Blau%2520erzeugt.&usg=AOvVaw3X8jZ5Sm8_L6cNaM-wilbXE&opi=89978449. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].

-
- [24] TonerPartner, „RGB in CMYK umwandeln – So einfach geht es“, [Online]. Verfügbar: <https://www.tonerpartner.de/out/media/image/rgb-versus-cmyk.jpg>. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [25] A. Nischwitz, M. Fischer, P. Haberäcker, G. Socher, *Bildverarbeitung Band II des Standardwerks Computergraphik und Bildverarbeitung*, 4. Auflage, Springer, 2020.
- [26] Farbe auf Wisotop, „HSB/HSV und HSL-Farbmodell“, 2017. [Online]. Verfügbar: <https://wisotop.de/assets/2014/farbmodelle-hsv-hsl-zyylinder.png>. [Letzter Zugriff: 02.12.2024].
- [27] B. Sobac, D. Brutin, „Desiccation of a sessile drop of blood: Cracks, folds formation and delamination“, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 448, S. 33 – 34, 2014.
- [28] T.G. Schotman, A.A. Westen, J. van der Weerd, K.G. de Bruin, "Understanding the visibility of blood on dark surfaces: A practical evaluation of visible light, NIR, and SWIR imaging." *Forensic science international*, Vol. 257, S. 214-219, 2015.
- [29] P. Thanakiatkrai, A. Yaodam, T. Kipipit, „Age estimation of bloodstains using smartphones and digital image analysis“, *Forensic Science International*, Vol. 233, S. 288 – 297, 2013.
- [30] G. Edelman, V. Manti, S.M. van Ruth, T. van Leeuwen, M. Aalders, „Identification and age estimation of blood stains on colored backgrounds by near infrared spectroscopy“, *Forensic Science International* 220, S. 239 – 244, 2012.
- [31] N. Dinmeung, Y. Sirisathitkul, C. Sirisathitkul, „Colorimetric parameters for bloodstain characterization by smartphone“, *ARAB Journal of Basic And Applied Sciences*, Vol. 30, S. 197 – 207, 2023.

Anlagen

Bilder der Blutflecke und SkripteA

Anlagen, Teil 1

Aufgrund der Größe des Anhangs wurden die Inhalte auf einen USB-Stick kopier.

Inhalte des USB-Sticks:

- Alle aufgenommenen Bilder der Blutspuren
- Alle Exceltabellen des CMYK-, HSL- und RGB-Farbmodells
- Alle Skripte für die Erstellung der Graphiken

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 02.12.2024

A solid black rectangular box used to redact the signature of the author.

Celina Schmidt