

Aus der Universitäts-Hautklinik Tübingen
Abteilung Dermatologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. M. Röcken

Dermatoskopie von Hauttumoren
Vergleich von vier
Handdermatoskopen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Simone Jaworski
aus
Münsingen

2007

Dekan: Professor Dr. F. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. A. Blum

2. Berichterstatter: Professor Dr. U. Schiefer

Für meine Eltern

Gabi und Karl-Heinz Jaworski

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Dermatoskopie	1
1.2.	Geschichte der Dermatoskopie	1
1.3.	Grundlagen der Dermatoskopie	3
1.4.	Geräte der Dermatoskopie	3
1.5.	Verbesserung der diagnostischen Treffsicherheit mittels Dermatoskopie	4
1.6.	Zielsetzung und Fragestellungen der Arbeit	5
2.	Material und Methoden	6
2.1.	Gewinnung und Verwaltung der Rohdaten	6
2.2.	Beschreibung des Aufnahmesystems	9
2.2.1.	Kamera	9
2.2.2.	Kameraeinstellungen	10
2.2.3.	Dermatoskope	11
2.3.	Untersuchung der Abbildungseigenschaften bei Testbildern	16
2.3.1.	Helligkeit	16
2.3.2.	Schärfe	16
2.3.3.	Verzerrungen	17
2.3.4.	Farbe	17
2.4.	Digitale Bildanalyse	17
2.4.1.	Symmetrie	18
2.4.2.	Begrenzungsschärfe	18
2.4.3.	Begrenzungsquotient	18
2.4.4.	Farbe	18
2.4.5.	Durchmesser	19
2.4.6.	Fläche	19
2.4.7.	Bildauswertung	19
2.5.	Subjektive Untersucherbewertungen	20

3.	Ergebnisse	21
3.1.	Untersuchung der Abbildungseigenschaften bei Testbildern	21
3.1.1.	Helligkeit	21
3.1.2.	Schärfe	23
3.1.3.	Verzerrungen	25
3.1.4.	Farbe	27
3.2.	Digitale Bildanalyse	36
3.2.1.	Symmetrie	36
3.2.2.	Begrenzungsschärfe	38
3.2.3.	Begrenzungsquotient	40
3.2.4.	Farbe	42
3.2.5.	Durchmesser	44
3.2.6.	Fläche	46
3.2.7.	Subjektive Untersucherbewertungen	48
4.	Diskussion	52
4.1.	Untersuchung der Abbildungseigenschaften bei Testbildern	53
4.1.1.	Helligkeit	53
4.1.2.	Schärfe	53
4.1.3.	Verzerrungen	54
4.1.4.	Farbe	54
4.2.	Digitale Bildanalyse	55
4.3.	Subjektive Untersucherbewertungen	56
4.4.	Schlussfolgerungen	57
5.	Zusammenfassung	58
6.	Literatur	59

1. Einleitung

1.1. Dermatoskopie

Die Dermatoskopie (Auflichtmikroskopie, Dermoskopie) ist ein nicht-invasives diagnostisches Verfahren zur in-vivo Betrachtung von melanozytären und nicht-melanozytären Hautläsionen. Diese Technik ermöglicht eine Visualisierung der Hautoberfläche und der in ihr gelegenen Strukturen. Die dadurch erkennbaren morphologischen Strukturen ermöglichen dem Dermatologen eine diagnostische Einordnung und damit die Dignitätsbeurteilung von Hauttumoren.

1.2. Geschichte der Dermatoskopie

Die Dermatoskopie ist eine vergleichsweise jung etablierte diagnostische Methode in der Dermatologie. Die historische Entwicklung der Dermatoskopie ist in Tabelle 1 dargestellt [27] [37]. Diese Methode war bis in die 90er Jahre des 20. Jahrhunderts wenig bekannt und wurde kaum eingesetzt. Erst mit der Einführung handlicher Geräte, der Vereinheitlichung der Terminologie und der Etablierung diagnostischer Kriterien hat die Dermatoskopie zunehmend an praktischer Bedeutung gewonnen [19] [29] [49]. Schon vor 300 Jahren wurden Versuche gemacht, ein Mikroskop direkt an der Haut einzusetzen. Die Einsatzgebiete der Dermatoskopie haben sich im Laufe der Zeit geändert: Anfänglich untersuchte man Gefäße der Haut oder entzündliche bzw. infektiöse Hautkrankheiten [27]. Heute sind pigmentierte sowie zunehmend auch nicht-pigmentierte Hauttumore von Interesse [33]. Die grundlegende Entwicklungsarbeit für die Dermatoskopie wurde in Österreich und Deutschland geleistet. Neben der Etablierung der Methode und Festlegung der einheitlichen Terminologie, stand die Dignitätsbeurteilung im Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses.

Tabelle 1: Meilensteine der Dermatoskopie

Jahr	Ereignis
1663	J.C. Kohlhaus: Beobachtung der Nagelmatrix mit einem Mikroskop [19]
1878	E. von Abbe setzt erstmals Immersionsöl beim Mikroskopieren ein [19]
1893	P. Unna: Die Diaskopie der Hautkrankheiten: Untersuchung von Lupus vulgaris mit einem Tropfen Immersionsöl durch einen Objektträger [19]
1916- 1921	Herstellung der ersten mono- und binokularen Kapillarmikroskope bei der Firma Carl Zeiss, Jena im Auftrag von O. Müller [19]
1920- 1921	J. Saphier: Schriften zur Dermatoskopie Saphier ist damit Begründer der dermatologischen Auflichtmikroskopie [19].
1933	H. Hinselmann: Die Bedeutung der Kolposkopie für die Diagnose von kutanen Ulzera und Tumoren [19]
1951	L. Goldman: Analyse von Nävi und Melanomen mittels monookularer Auflichtmikroskope [19]
1958	L. Goldman entwickelt das erste transportable Auflichtmikroskop [19]
1971	R. MacKie: Bedeutung der Dermatoskopie für die Differentialdiagnose zwischen benignen und malignen melanozytären Hautveränderungen [36]
1987	H. Pehamberger: Entwicklung der Musteranalyse für pigmentierte Hautläsionen [47] [51]
1989	Erste internationale Konsensus-Konferenz zur Festlegung der dermatoskopischen Terminologie in Hamburg [7] [8]
1991	J. Kreuzsch und G. Rassner: erster Atlas zur Auflichtmikroskopie [34]
1994	W. Stolz: ABCD-Regel [45] [53] [54]
1996	S. W. Menzies: Menzies-Score [42] [40]
1998	G. Argenziano 7-Point-List [4] [6]
1999	Erste Tagung zur Dermatoskopie mit allen führenden Gruppen aus dem deutschsprachigen Raum in Tübingen [18]
2000	Konsensus-Konferenz via Internet [5]
2001	Erster Welt-Kongress der Dermatoskopie in Rom

1.3. Grundlagen der Dermatoskopie

Beim Betrachten der Haut oder eines Hauttumors wird 93% bis 96% des auf die Haut treffenden Lichtes entweder an der Hornschicht reflektiert, im darunter liegenden Gewebe gestreut oder absorbiert [4]. Je unregelmäßiger sich die Hautoberfläche darstellt, desto höher ist der reflektierende Anteil und desto weniger Licht erreicht die tiefer liegenden Strukturen. Der Brechungsindex des Stratum corneums beträgt 1,55. Wird auf das Stratum corneum eine Glasscheibe mit einem Brechungsindex von 1,52 gelegt und zwischen beiden eine Kontaktflüssigkeit (z.B. Wasser, wasserlösliches Gel, Olivenöl, Paraffinum subliquidum oder Desinfektionsspray) gebracht, wird eine nahezu vollständige Reflexionsfreiheit erzielt [6] [32] [34] [39] [40] [52] [53]. Dadurch können bei guten Verhältnissen Strukturen bis zum Stratum reticulare beurteilt werden. Nebenwirkungen der Ankopplungsflüssigkeiten sind, bis auf kasuistische Beschreibungen von Kontaktallergien auf Öle, ausgeschlossen [24]. Immersionsöle, die früher häufig eingesetzt wurden, sollten aufgrund der teratogen und hepatotoxischen Wirkungen der Inhaltsstoffe, chloriniertes Paraffin und Dibutylphthalate, nicht mehr verwendet werden [11].

Auf Grund ungleicher Pigment- und Strukturanteile in den verschiedenen Hautniveaus entstehen in der Dermatoskopie unterschiedliche Farben. Die verschiedenen Struktur- und Farbelemente besitzen eine grundlegende Bedeutung für die Dignitätsbeurteilung der Hauttumoren. Bei dem Gebrauch von Lupen, Taschenmikroskopen, Dermatoskopen, Stereomikroskopen, Kameras oder digitalen Bildsystemen variieren die Vergrößerungen zwischen sechs- und 400-fach [53].

1.4. Geräte der Dermatoskopie

Die Dermatoskopie arbeitet mit unterschiedlichen mono- bzw. binokularen Instrumenten [34] [53]. Die binokularen Geräte sind oft kostspielig und die Untersuchungen häufig zeitaufwändig, so dass sich diese in der dermatologischen Praxis nicht durchgesetzt haben. Erst mit der Einführung handlicher monookularer Geräte erreichte die Dermatoskopie ihren Durchbruch in der dermatologi-

schen Routinediagnostik [19]. Die derzeit im klinischen Alltag gängigen monokularen Geräte mit einer zehnfachen Vergrößerung sind die Dermatoskope Heine Delta 10[®] und Heine Delta 20[®] (beide Heine Optotechnik, Herrsching/Germany [26]), Dermogenius[®] (Rodenstock Präzisionsoptik GmbH, München/Germany [48]) und DermLite Foto₃₇[®] mit und ohne Kontaktscheibe (3Gen LLC, USA [1]).

1.5. Verbesserung der diagnostischen Treffsicherheit mittels Dermatoskopie

Zahlreiche Studien aus den 90er Jahren haben die Wertigkeit und Genauigkeit der Dermatoskopie in der Diagnosestellung von Hauttumoren belegt [38]. Über 70 morphologische Kriterien sind etabliert worden, die mit dem bloßen Auge nicht sichtbar sind [4] [6] [22] [33] [34] [40] [43] [47] [51] [53]. So werden einerseits maligne Melanome deutlich früher erkannt und im heilbaren Stadium operativ entfernt, andererseits werden benigne melanozytäre und nicht-melanozytäre Läsionen nicht unnötig entfernt, wenn diese die Kriterien der Gutartigkeit in der Dermatoskopie aufweisen.

In Abhängigkeit von der Erfahrung des Dermatologen liegt die diagnostische Genauigkeit, ein Melanom zu entdecken, im Rahmen der klinischen Untersuchung zwischen 65 bis 80% [25] [44] [55]. In einer Analyse von Publikationen über die Effektivität der Dermatoskopie konnte nachgewiesen werden, dass der Einsatz der Dermatoskopie die Sensitivität um 10-27% gegenüber der klinischen Diagnose mit dem bloßen Auge erhöht [38].

Zu den klinischen Kriterien vermochten zusätzliche dermatoskopische Kriterien die präoperative Dickenschätzung zu verbessern [3] [21]. Durch Studien konnte jedoch auch gezeigt werden, dass die verbesserte diagnostische Leistung durch die Dermatoskopie nur dann erbracht werden kann, wenn eine Ausbildung und entsprechendes Training des Anwenders vorliegt [12] [13]. Durch mehrstündiges Training konnte die diagnostische Treffsicherheit von Ungeübten um mehr als 8% im Durchschnitt angehoben werden. Die Bemühungen gehen nun in die Richtung, die Dermatoskopie auch bei Hausärzten als Screening-

methode zu etablieren. Hierzu wurde eine einfache, genaue, reproduzierbare und leicht durchführbare Methode entwickelt, um die diagnostische Genauigkeit auch bei Ungeübten zu verbessern [56].

1.6. Zielsetzung und Fragestellungen der Arbeit

Die Wertigkeit der Dermatoskopie zur differentialdiagnostischen Abklärung von pigmentierten und nicht-pigmentierten Hauttumoren gilt mittlerweile als unbestritten [5] [30]. Gerade bei initialen Melanomen sind jedoch auch der Dermatoskopie Grenzen gesetzt. [50]. Oft sind hier die malignitäts-verdächtigen Differentialstrukturen noch nicht sehr ausgeprägt. Auch bei Verlaufsbeobachtungen ist es hilfreich, wenn schon diskrete Veränderungen dermatoskopisch sichtbar sind [9] [20] [41] [57]. Die bestmögliche Darstellung der Farbe und der Differentialstrukturen mit einem Dermatoskop unterstützt zudem die Korrelation zwischen Dermatoskopie und Histologie [10] [17].

Bis zum heutigen Zeitpunkt gibt es keine Studie zur Vergleichbarkeit der gängigen monookularen Handdermatoskope. Es ist jedoch wichtig, diese Unterschiede herauszuarbeiten, um eine Verbesserung der Frühdiagnose maligner Hauttumore zu ermöglichen. Ziel dieser Arbeit war, die Geräte hinsichtlich ihrer technisch erfassbaren Kriterien wie Abbildungseigenschaften zu vergleichen und bedeutsame Unterschiede herauszuarbeiten. Somit soll diese Arbeit auch einen Anhaltspunkt bei der Auswahl des geeigneten Instruments bieten.

2. Material und Methoden

2.1. Gewinnung und Verwaltung der Rohdaten

In dieser Studie wurden Fotos von Hauttumoren zusammen mit Informationen über den betreffenden Fall in einer Bilddatenbank gespeichert und später ausgewertet. Dabei wurden Hauttumore von Patienten, die im Zeitraum vom 26. Juni 2003 bis 02. Oktober 2003 ambulant oder stationär in der Universitäts-Hautklinik Tübingen in Behandlung waren, verwendet. Es wurden Hauttumore unterschiedlicher Dignität eingeschlossen, darunter histologisch gesicherte und nicht gesicherte (Tabelle 2). Mittels digitaler Kamera (Nikon Coolpix 995[®]) wurde bei 80 Patienten von 142 Hauttumoren jeweils ein makroskopisches Foto und anschließend dermatoskopische Fotos mit fünf verschiedenen Dermatosekopen (Heine Delta 10[®], Heine Delta 20[®], Dermogenius[®], DermLite Foto 37[®] mit Kontaktscheibe und DermLite Foto 37[®] ohne Kontaktscheibe) aufgenommen. Alle Patienten wurden über die Studie mündlich sowie schriftlich aufgeklärt. Das Votum der Ethikkommission lag vor. Bis auf Schleimhautregionen wurden von allen Körperstellen Aufnahmen durchgeführt.

86 Hauttumore wurden in örtlicher Betäubung von Fach- und Oberärzten der Universitäts- Hautklinik exzidiert und anschließend die Diagnose histologisch gestellt. Bei 56 Läsionen lag nach den Kriterien der Dermatosekopie kein Malignitätsverdacht vor und es war somit eine Exzision nicht indiziert [3] [7] [8] [14] [17] [34] [35] [53]. Diese Einschätzung erfolgte ausschließlich durch dermatoskopisch versierte Dermatologen.

Tabelle 2: Übersicht der eingeschlossenen benignen nicht-melanozytären und melanozytären Hautläsionen, sowie der malignen nicht-melanozytären und melanozytären Hautläsionen

Benigne nicht-melanozytär	Benigne melanozytär	Maligne nicht-melanozytär	Maligne melanozytär
<ul style="list-style-type: none"> • Seborrhoische Keratose (6) • Dermatofibrom (2) • Angiom (4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lentiginöser melanozytärer Nävus (1) • Melanozytärer Nävus vom Junctionstyp (2) • Melanozytärer Nävus vom Compoundtyp (21) • Melanozytärer Nävus vom dermalen Typ (7) • Kongenitaler melanozytärer Nävus (1) • Pigmentierter Spindelzellnävus (Reed) (2) • Blauer Nävus (2) • Nävus spilus (1) • Rezidivnävus (1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Basalzellkarzinom (2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Superfiziell spreitendes Melanom (SSM) (3) • Lentigo maligna (LM) (2)

Von den 142 von Hauttumoren aufgenommenen Fotos konnten nur 57 Hautläsionen von 46 Patienten in die Bildanalyse und Auswertung einbezogen werden. 85 Läsionen mussten ausgeschlossen werden.

Ausschlusskriterien waren:

- unterschiedlicher Bildausschnitt der Fotos,
- ein oder mehrere unscharfe Fotos in der Bilderserie,
- falsche Fokussierung (z.B. auf im Vordergrund liegende Haare) und/ oder
- Blasenbildung.

Diese Fehler konnten nicht verhindert werden, da eine Überprüfung der Bilder auf dem Kamera-Display zur Erkennung solcher Fehler nicht ausreichte. Sie konnten erst bei der Betrachtung am Bildschirm erkannt werden.

2.2. Beschreibung des Aufnahmesystems

2.2.1. Kamera

Alle Aufnahmen wurden mit einer Nikon Coolpix 995[®] Digitalkamera [46] der Nikon Corporation, Japan, durchgeführt. Soweit es möglich war, wurden alle Aufnahmen im Automatik-Modus durchgeführt, um eine einfache Handhabung und gleiche Aufnahmebedingungen zu gewährleisten.

Diese Kamera besaß als Aufnahmeelement einen 0,56 Zoll CCD (Charge-Coupled Device) mit 3,34 Millionen Pixel (Picture Elements). Durch die Anordnung der Pixel auf dem CCD (2,048 x 1,536) ergibt sich ein Bildformat von 4:3. Außerdem hatte die Kamera ein Vierfach-Zoomobjektiv mit einer Brennweite von 8 mm - 32 mm (entspricht im Kleinbildformat 38 mm - 152 mm) und einer von 2,6 bis 5,1 einstellbaren Blendenzahl [46].

Das automatische Fokussiersystem verwendete eine TTL (through the lens)-Kontrasterkennung mit 5-Segment-Multi-Autofokus. Der Aufnahmebereich lag zwischen 30 cm und unendlich, im Makromodus bei 2 cm bis unendlich. Die Empfindlichkeit war zwischen ISO 100 und ISO 800 einstellbar. Der Weißabgleich konnte automatisch oder manuell erfolgen, wobei aus fünf Voreinstellungen ausgewählt werden konnte [46].

Die Bilddaten wurden bei dieser Kamera auf einer Compactflash[™]-Karte gemäß des Standards DCF (Digital Camera Format) abgespeichert. Dabei werden die Bilder entweder in einem unkomprimierten Format (TIF – Tagged Image File Format) oder in drei auswählbaren Kompressionsstufen („FINE“, „BASIC“, „HI“) im JPEG-Format abgelegt [28]. Der JPEG-Standard ist nach der Joint Photographic Experts Group benannt und definiert eine verlustbehaftete Bildkompression. Die Stärke der Kompression (und damit auch die Einbußen an Bildqualität) ist einstellbar und wird meist in Form eines Qualitätsfaktors zwischen 1 und 100 angegeben (100 entspricht höchster Qualität). Die eigentliche Kompressionsrate hängt jedoch von Qualitätsfaktor und dem zu komprimierenden Bildinhalt ab. In einer Studie zu digitalen Bildern bei Hautläsionen wurde ermit-

telt, dass bei einem Qualitätsfaktor von 50 eine Kompressionsrate von ungefähr 30:1 erzielt werden kann [31].

Die Daten wurden von der Speicherkarte mit einem Kartenlesegerät auf ein Rechnersystem übertragen, und dort zur Analyse gespeichert. Die Größe der Kamera betrug 138 mm (Breite) x 82 mm (Höhe) x 40 mm (Tiefe). Das Gewicht der Kamera betrug ohne Batterie 390 g. Die Stromversorgung erfolgte mit einem Lithium-Ionen-Akku [46].

2.2.2. Kameraeinstellungen

Um die Vergleichbarkeit der erstellten Aufnahmen zu gewährleisten, wurden die wichtigsten Konfigurationsparameter fest und praxisbezogen eingestellt. Diese Benutzerkonfigurationen wurden als "Anwendereinstellung" in der Kamera hinterlegt und konnten so einfach abgerufen werden. Eine Übersicht der verwendeten Kameraeinstellungen ist in Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 3: Übersicht über die verwendeten Kameraeinstellungen

Konfigurationsparameter	Wert
Bildgröße	2,048 x 1,536 Pixel
Bildqualität	NORMAL (JPEG mit Qualitätsfaktor 88)
Empfindlichkeit	ISO400
Digitalzoom	1 (deaktiviert)
Brennweite (Zoomobjektiv)	26,9 mm
AF-Messfeldaktivierung	Automatik (Autofokus fokussiert auf Objekt mit kürzester Distanz)
Weißabgleich	Kunstlicht/Leuchtstoffröhre (siehe Text)
Belichtungssteuerung	Programmautomatik
Belichtungsmessung	Autofokus + Spot (Belichtungsmessung im Autofokus-Messfeld)

Als Bildqualität wurde „NORMAL“ gewählt, was bedeutet, dass die Bilder im JPEG-Format mit einem Qualitätsfaktor von 88 gespeichert werden. In der Studie von Kittler und Mitarbeiter wurde gezeigt, dass eine JPEG-Kompression mit einem Qualitätsfaktor von 50 keinen Informationsverlust darstellt, der die Unterscheidung zwischen malignen und nicht-malignen Hautläsionen beeinträchtigt [31]. Da der hier verwendete Qualitätsfaktor noch höher war, kann davon ausgegangen werden, dass die JPEG-Kompression keinen Einfluss auf die Ergebnisse dieser Studie hatte. Ein bei dieser Einstellung aufgenommenes Bild benötigte als Speicherplatz bei der verwendeten Auflösung von 2.048 x 1.536 Pixel und einer Farbtiefe von 24 Bit von ca. 800 kB¹.

Beim Weißabgleich wurden zwei verschiedene Einstellungen für die Dermatoskope gewählt: Für das Heine Delta 10[®] wurde die Weißabgleich-Voreinstellung für warmes Kunstlicht (Glühlampe) verwendet, für die anderen Geräte wurde die Voreinstellung für kaltes Kunstlicht (Leuchtstoffröhren) verwendet. Diese Einstellungen wurden für eine möglichst neutrale Farbgebung gewählt.

2.2.3. Dermatoskope

Um die Dermatoskope zusammen mit der Kamera verwenden zu können, musste für Heine Delta 10[®] und Dermogenius[®] ein Adapterring aus Edelstahl angefertigt werden. Als Adapter für das Heine Delta 20[®] verwendeten wir den Heine Fotoadapter, während für das DermLite Foto 37[®] kein Adapter benötigt wurde. Die Verwendung der Adapter führte aufgrund der einfacheren Handhabung bei der Erstellung der Aufnahmen zu folgender Reihenfolge: Heine Delta 10[®], Dermogenius[®], Heine Delta 20[®], DermLite Foto 37[®] mit Kontaktscheibe und DermLite Foto 37[®] ohne Kontaktscheibe. Diese Reihenfolge wurde in der schriftlichen Ausarbeitung der Arbeit beibehalten.

¹ Die Größe des unkomprimierten Bildes beträgt 9 MB (2.048 x 1.536 x 24 Bit), somit ergibt sich eine Kompressionsrate von ca. 11,5:1.

Im Folgenden werden die verwendeten Dermatoskope mit den technischen Daten vorgestellt. Außerdem wird in Bildern dargestellt, wie die Dermatoskope zusammen mit der Kamera gehandhabt wurden (Abbildung 1 - 4). Sofern Kontaktscheiben vorhanden waren, wurden diese vor den Aufnahmen mit Softasept Spray[®] angefeuchtet.

Heine Delta 10[®]



Abbildung 1: Heine Delta 10[®]

Vergrößerung:	10x
Lichtquelle:	3,5 V Halogenlampe
Kontaktscheibe:	21 mm ohne Skalierung
Stromversorgung:	Beta [®] R 3,5 V Handgriff
Hersteller:	Heine Optotechnik, Herrsching/Germany [26]

Dermogenius®

Abbildung 2: Dermogenius®

- Vergrößerung: 10x
- Lichtquelle: 6 weiße LED (lichtemittierende Dioden) der Laserklasse 1²
- Kontaktscheibe: 21 mm ohne Skalenmarkierung
- Stromversorgung: Ladeschale und Steckernetzteil
- Hersteller: Rodenstock Präzisionsoptik GmbH, München/Germany [48]

Die Beleuchtungsstärke kann bei diesem Gerät in zwei Stufen eingestellt werden (70% oder 100%). Für diese Studie wurde immer eine Beleuchtungsstärke von 100% gewählt.

² Laserklassen nach der Norm DIN EN 60825- 1; Klasse 1: Leistung < 25 μ W, Wellenlänge: 400- 700 nm (sichtbar), ungefährlich

Heine Delta 20[®]Abbildung 3: Heine Delta 20[®]

- Vergrößerung: 10x
- Lichtquelle: 6 weiße LED der Laserklasse 1
- Kontaktscheibe: 21 mm ohne Skalenmarkierung
- Stromversorgung: Beta[®] R 3,5 V Handgriff
- Hersteller: Heine Optotechnik, Herrsching/Germany [26]

DermLite Foto 37[®]Abbildung 4: DermLite Foto 37[®]

Vergrößerung:	10x
Lichtquelle:	24 weiße LED, kreuzpolarisiert
Kontaktscheibe:	25 mm ohne Skalenmarkierung
Stromversorgung:	externer Power Pack
Hersteller:	3Gen LLC, USA [1]

Dieses Gerät kann sowohl mit als auch ohne Kontaktscheibe verwendet werden. Für diese Studie wurden beide Optionen verwendet, wobei im Folgenden die Abkürzungen „DermLite[®] mK“ für DermLite Foto 37[®] mit Kontaktscheibe und „DermLite[®] oK“ für DermLite Foto 37[®] ohne Kontaktscheibe verwendet werden.

2.3. Untersuchung der Abbildungseigenschaften bei Testbildern

Um die Unterschiede der einzelnen Dermatoskope zu ermitteln, wurden die aufgenommenen Fotos nach unterschiedlichen Kriterien bewertet. Im Folgenden ist beschrieben, wie Helligkeit, Schärfe, Verzerrungen und Farbe der Aufnahmen bestimmt wurde.

2.3.1. Helligkeit

Bei dieser Analyse wurde die Qualität der Beleuchtung betrachtet. Mit jedem Dermatoskop wurde hierzu ein weißes, grob strukturiertes Büropapier aufgenommen. Aus diesen Bildern wurde dann ein Histogramm über die Helligkeitswerte aller Bildpunkte der jeweiligen Bilder erstellt. Aus diesen Histogrammen der jeweiligen Dermatoskope wurden anschließend die dunkelsten (minimale Helligkeitswerte) und hellsten (maximale Helligkeitswerte) Bildpunkte ermittelt. Die hieraus gewonnenen Helligkeitswerte mussten im Zusammenhang mit einem Streumaß betrachtet werden, hier wurde der Interquartilbereich (Q75-Q25) gewählt.

Zur Darstellung der Helligkeitsverteilung wurde auf die Bilder ein Medianfilter der Größe 201 angewendet, um die Papierstrukturen zu entfernen. Das resultierende Bild wurde auf die Helligkeitswerte 0-255 skaliert, um die dunkelsten Bereich schwarz und die hellsten Bereiche weiß darzustellen.

2.3.2. Schärfe

Für die Berechnung der Schärfe wurden wiederum die Aufnahmen mit grob strukturiertem Büropapier verwendet. Dabei wurde für jeden Bildpunkt die betragsmäßige Differenz der Rot-, Grün- und Blauwerte (RGB-Werte) zu den benachbarten Bildpunkten bestimmt und über alle Punkte gemittelt. Die Schärfe wurde für das ganze Bild sowie für das Zentrum berechnet. Für die Bestimmung der Schärfe im Zentrum wurde horizontal und vertikal jeweils das mittlere Drittel ausgewählt und somit das Neuntel in der Bildmitte betrachtet. Auch bei dieser Untersuchung wurden die Bilder zur Veranschaulichung mit dem Medianfilter bearbeitet und anschließend skaliert, um die schärfsten Bereiche weiß und die Bereiche mit der geringsten Schärfe schwarz darzustellen.

2.3.3. Verzerrungen

Um die Linsenverzerrung der einzelnen Dermatoskope zu untersuchen, wurden mit jedem Gerät Aufnahmen eines Millimeterpapiers gemacht und anschließend am Computer eine automatische Verzerrungskorrektur durchgeführt. Das aufgenommene Linienmuster des Millimeterpapiers wurde dabei so bearbeitet, dass diese Linien anschließend wieder gerade waren. Die Stärke der Korrektur gab über die Verzerrung des aufgenommenen Bildes und damit über die Verzerrung des optischen Systems Aufschluss.

2.3.4. Farbe

Die Farbe eines Pixels wird aus den drei Farben rot, grün und blau additiv gemischt. Jede Farbe des Farbraums lässt sich durch den Anteil dieser drei Farbkomponenten in Form eines Tripels (Rot, Grün, Blau) beschreiben. Diese Komponenten können ganzzahlige Werte zwischen 0 (kein Anteil der entsprechenden Farbe) und 255 (maximaler Anteil) annehmen. So ist z.B. (0, 0, 0) die Farbe Schwarz, (255, 255, 255) die Farbe Weiß und (255, 0, 0) ein kräftiges Rot. Um die Farbwiedergabe der Dermatoskope zu untersuchen, wurden mit den Dermatoskopen Aufnahmen eines Testbildes mit verschiedenen Farbtestfeldern gemacht und die RGB-Werte (Rot-, Grün- und Blauwerte) für jedes Farbfeld ausgewertet.

2.4. Digitale Bildanalyse

Für die digitale Bildanalyse wurde uns das Programm MoleExpert *micro* der DatInf® GmbH Tübingen zur Verfügung gestellt [23]. MoleExpert *micro* wurde zur Unterstützung der Diagnosefindung entwickelt [15] [16] [18]. Das Programm bestimmt Scores für sechs Merkmale, die die Basis für die Berechnung eines Gesamtscores darstellen. Beim Vergleich der Dermatoskope spielte jedoch der Gesamtscore der einzelnen Läsionen keine Rolle. Vielmehr war für diese Studie interessant, in wie weit die Ergebnisse der Merkmalscores der jeweiligen Dermatoskope miteinander übereinstimmen bzw. voneinander abweichen.

2.4.1. Symmetrie

Zur Bestimmung der Symmetrie wurden Achsen durch den Mittelpunkt der Läsion gelegt. Für jede dieser Achsen wurde die Übereinstimmung der Läsion auf beiden Seite der Achse gemessen. Die Übereinstimmung wurde als Symmetriemaß verwendet. Unter Berücksichtigung aller Achsen wurde ein Score für die Asymmetrie der Läsion ermittelt.

2.4.2. Begrenzungsschärfe

Dieses Merkmal beschreibt den Kontrast bzw. die Steilheit des Überganges zwischen den Farbhelligkeiten (Summe der Rot-, Grün- und Blauwerte) zwischen Hautläsion und Umgebung. Die Grenze zwischen Läsion und Umgebung wurde zuvor durch MoleExpert *micro* bestimmt; der Wert wurde über den gesamten Rand aufsummiert und normiert. Eine scharfe Begrenzung hatte einen hohen Wert, da der Rand in diesem Fall eine scharfe Abgrenzung hatte und die Änderung der Helligkeit am Rand somit groß war.

2.4.3. Begrenzungsquotient

Der Wert dieses Merkmals war der Quotient aus der Länge des von MoleExpert *micro* zuerst gefundenen Randes und der Länge des geglätteten Randes. Eine scharfe Begrenzung hatte einen Wert nahe eins, da dann die Glättung des Randes eine geringe Auswirkung auf dessen Länge hatte. Unscharfe Begrenzungen haben einen größeren Wert, da der uneglättete Rand deutlich länger war, als der geglättete Rand und somit ist der Quotient größer eins.

2.4.4. Farbe

Bei dieser Analyse wurden die im Bild vorkommenden Farbunterschiede und deren Streuung gemessen. Es wurden hierbei der Mittelwert und die Standardabweichung der Farben Rot, Grün, Blau und des Grauwertes, sowie deren Korrelationen untereinander ermittelt. Durch die Berücksichtigung der Streuung der Farbverteilung wurde bei diesem Score gleichzeitig die Strukturinformation der Läsion verwertet.

2.4.5. Durchmesser

Wie bei der Asymmetrie wurden auch zur Bestimmung des maximalen Durchmessers Achsen durch den Mittelpunkt der Läsion gelegt. Für die Bestimmung des Durchmessers wurde der Rand der Läsion verwendet, weshalb die hierbei erzielte Genauigkeit auch von der Randschärfe abhing.

2.4.6. Fläche

Dieses Merkmal beschrieb die Größe der Fläche innerhalb des gefundenen Randes. Somit hing dieser Wert wiederum von der Ermittlung des Randes ab.

2.4.7. Bildauswertung

Die erhobenen Daten wurden mit SPSS 13.0 für Windows ausgewertet und als Ergebnisdiagramme erstellt.

Zur Darstellung der Verteilungen wurde das Box & Whiskerdiagramm verwendet, bei dem mit einem Kasten (Box) die Interquartilsbreite und der Bereich für das obere und untere Quartil beschrieben wird. Der Median wurde durch einen horizontalen Strich in der Box angezeigt. Zusätzlich zeigten Linien (Whisker) das 90% und 10% Quantil an (siehe Abbildung 5).

Um die erhaltenen Merkmal-Scores miteinander vergleichen zu können, wurden die Ergebnisse der verschiedenen Dermatoskope miteinander korreliert und in einem Scatterdiagramm dargestellt. Da die Merkmal-Scores aller Aufnahmen von allen fünf Dermatoskopen miteinander korreliert wurden, ergab sich eine Scatterplot-Matrix von 5x5 Scatterplots.

Mit dem Korrelationskoeffizient nach Pearson (r) wurde angegeben, in wie weit die Merkmal-Scores übereinstimmten.

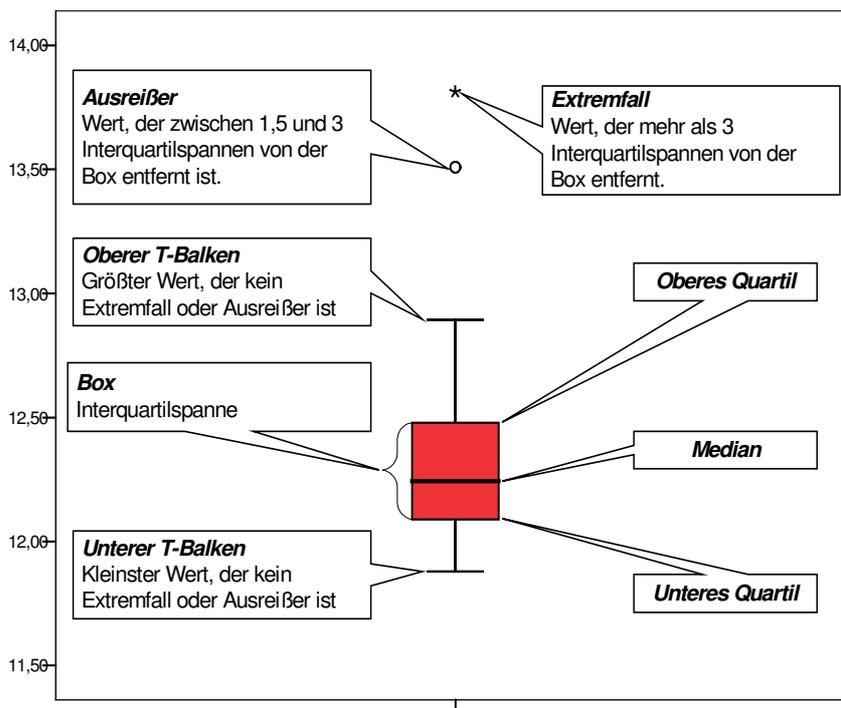


Abbildung 5: Erläuterung Box & Whiskerdiagramm

2.5. Subjektive Untersucherbewertungen

Um subjektive Eindrücke der Bildanalyse zu untersuchen, wurden die Aufnahmen einem dermatoskopisch versierten Dermatologen und einer in die Materie eingeführten Medizinstudentin vorgelegt. Diese vergaben zur Qualitätsbewertung der fünf Bilder einer Bilderserie die Ränge eins bis fünf (1 = sehr gut, 5 = sehr schlecht).

Anschließend wurde eine Rangliste der einzelnen Untersucher errechnet und die Ergebnisse miteinander korreliert.

3. Ergebnisse

3.1. Untersuchung der Abbildungseigenschaften bei Testbildern

3.1.1. Helligkeit

Die Ergebnisse der Helligkeitsanalyse sind in Tabelle 4 mit Angaben zu minimalen und maximalen Helligkeitswerten sowie dem Interquartilbereich (Q75-Q25) als Streumaß aufgeführt. Es zeigte sich für das Heine Delta 10[®] mit einem Interquartilbereich (IQR) von 29 die größte Streuung. Dermogenius[®] wies mit einem IQR von 3 die geringste Streuung auf. Das Heine Delta 10[®] hatte die geringsten Helligkeitswerte (Min: 90, Max: 156) und DermLite Foto 37[®] oK hatte die höchsten Werte (Min: 173, Max: 201). In Abbildung 6 ist die Verteilung der Helligkeitswerte abgebildet. Beim Heine Delta10[®] lagen die höchsten Helligkeitswerte vor allem im unteren und die niedrigsten Werte im oberen Bildabschnitt. Das Dermogenius[®] hatte seine höchsten Werte auf der linken Bildseite, wohingegen die anderen Geräte ihren hellsten Bereich im Zentrum hatten. Aufgrund der automatischen Belichtungseinstellung der Kamera dürfen die minimalen und maximalen Helligkeitswerte jedoch nicht miteinander verglichen werden; diese sollen zur Veranschaulichung der Streuung dienen.

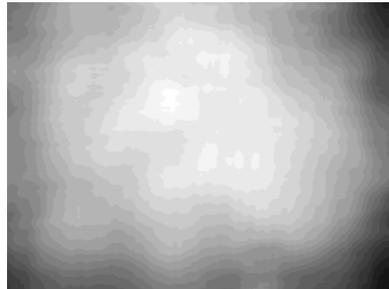
Tabelle 4: Minimale (Min), maximale (Max) Helligkeitswerte und Interquartilbereich (IQR) der Helligkeitsanalyse

	Min	Max	IQR (Q75-Q25)
Heine Delta 10 [®]	90	156	29
Dermogenius [®]	155	173	3
Heine Delta 20 [®]	160	184	7
DermLite [®] mK	166	192	8
DermLite [®] oK	173	201	8

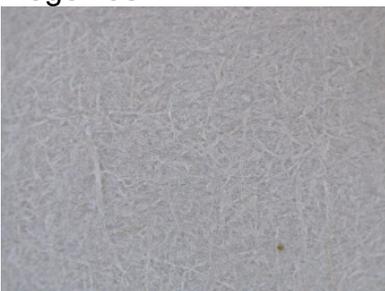
a: Heine Delta 10[®]



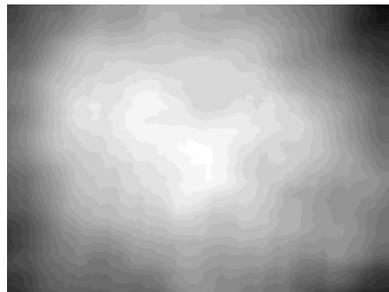
b: Heine Delta 20[®]



c: Dermogenius[®]



d: DermLite[®] mK



e: DermLite[®] oK

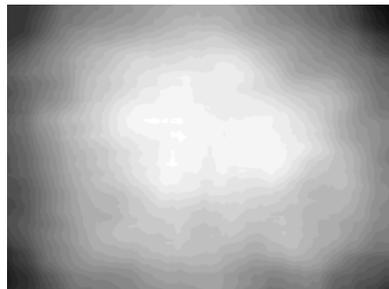


Abbildung 6: a-e: Erläuterung auf der nächsten Seite

Abbildung 6 a-e: Verteilung der Helligkeitswerte: links vor und rechts nach Anwendung von Medianfilter und Skalierung (weiß = hellster Bereich, schwarz = dunkelster Bereich, mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

3.1.2. Schärfe

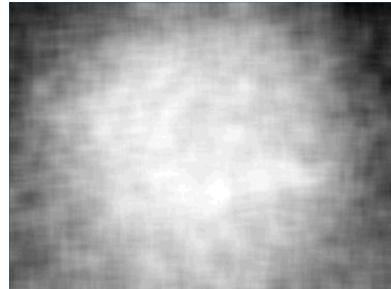
Die Ergebnisse der Schärfenberechnung sind in Tabelle 5 aufgeführt. Ermittelt wurde die Schärfe im Zentrum, im gesamten Bild und die resultierende Differenz. Im Zentrum war Heine Delta 10[®] mit 8,23 am schärfsten, im gesamten Bild dagegen Dermogenius[®] mit 6,52. Den geringsten Unterschied zwischen der Schärfe im Zentrum und im gesamten Bild wies DermLite Foto 37[®] mK auf, mit einer Differenz von 0,2. Der größte Unterschied war bei Heine Delta 10[®] festzustellen. Wie in Abbildung 7 zu erkennen ist, hatten alle Geräte ihren schärfsten Bereich in der Mitte des Bildes.

Bei den Bildern, die der Visualisierung der Schärfeverteilung dienen, konnte man darüber hinaus die Auswirkung der JPEG-Kompression erkennen, da sich diese vor allem an den Kanten auswirkte.

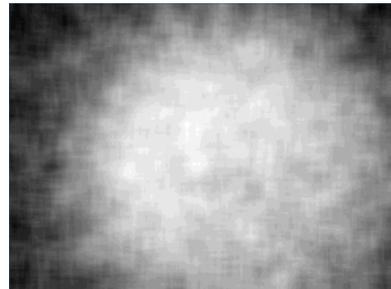
Tabelle 5: Schärfe im Zentrum (Z), im gesamten Bild (G) und die Differenz (D)

	Z	G	D
Heine Delta 10 [®]	8,23	6,42	1,81
Dermogenius [®]	8,10	6,52	1,58
Heine Delta 20 [®]	7,11	6,17	0,94
DermLite [®] mK	5,92	5,72	0,2
DermLite [®] oK	6,07	5,70	0,37

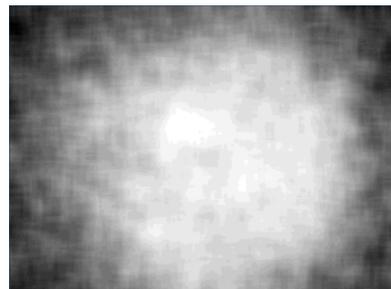
a: Heine Delta 10[®]



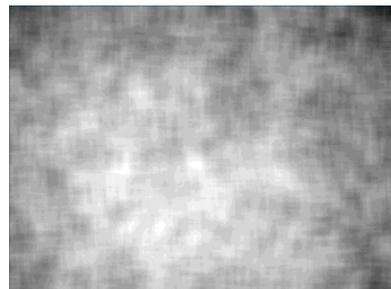
b: Heine Delta 20[®]



c: Dermogenius[®]



d: DermLite[®] mK



e: DermLite[®] oK



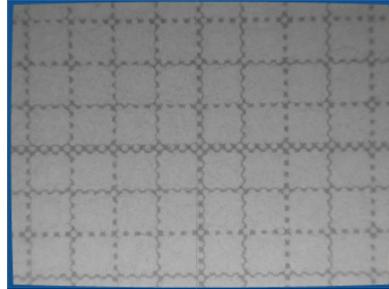
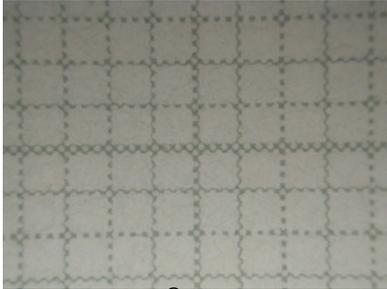
Abbildung 7 a-e: Erläuterung auf der nächsten Seite

Abbildung 7 a-e: Linke Seite: Vorlage rechte Seite: graphische Darstellung der Schärfeverteilung (weiß = schärfster Bereich, schwarz = unschärfster Bereich, mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

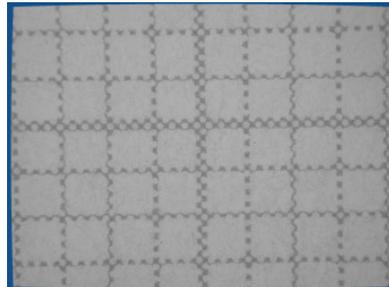
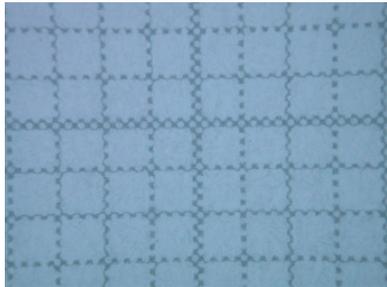
3.1.3. Verzerrungen

Für alle Dermatoskope wurde eine diskrete tonnenförmige Verzerrung mit einem Wert von -2×10^{-8} bestimmt (Abbildung 8).

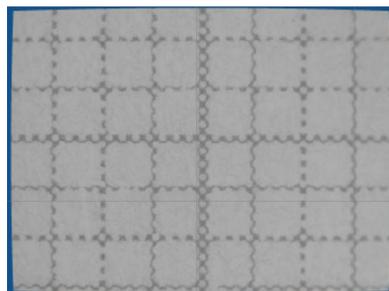
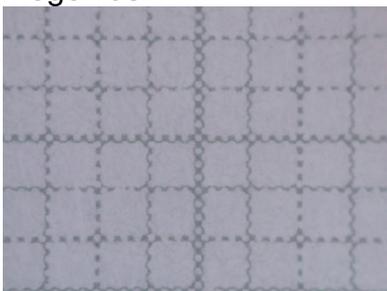
a: Heine Delta 10[®]



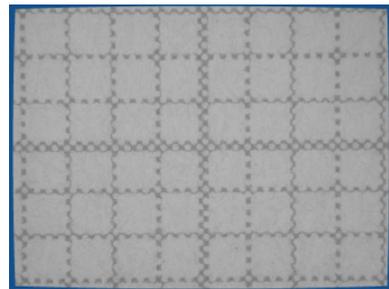
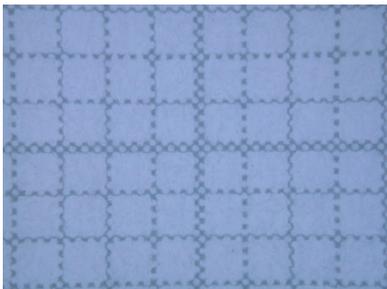
b: Heine Delta 20[®]



c: Dermogenius[®]



d: DermLite[®] mK



e: DermLite[®] oK

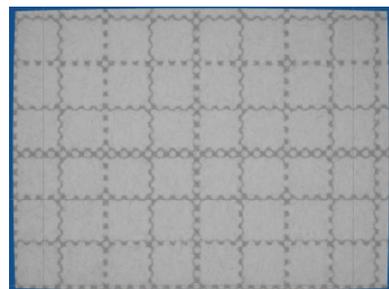
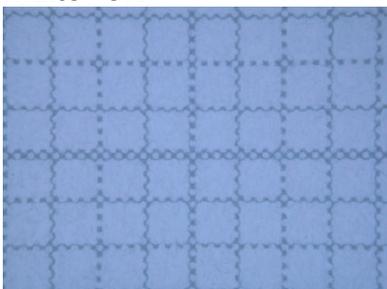


Abbildung 8 a-e: Erläuterung auf der nächsten Seite

Abbildung 8 a-e: Linke Seite: Aufnahmen des Millimeterpapiers rechte Seite: automatische Verzerrungskorrektur (blauer Rand = Verzerrungskorrektur, mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

3.1.4. Farbe

Abbildung 9 zeigt das Testbild, das für die Bestimmung der Farbwiedergabe verwendet wurde. Die Zahlen bezeichnen die Farbregionen, die untersucht wurden. Im Folgenden wird auf Farbenregionen durch Angabe dieser Nummern verwiesen.



Abbildung 9: Testbild zur Bestimmung der Farbwiedergabe mit Nummerierung der Farbregionen

Die für die verschiedenen Farbregionen des Testbildes ermittelten RGB-Werte (Rot-, Grün- und Blauwerte) sind in Tabelle 6 dargestellt. Entgegen der Bilddaten, die nur ganzzahlige Werte enthalten, sind hier gebrochene Zahlen angegeben, da der Farbwert nicht nur an einem Punkt der Farbregion ermittelt, sondern über das ganze Farbfeld gemittelt wurde.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse aus Tabelle 6 werden Diagramme für die drei Farbkomponenten gezeigt, in denen der Anteil der jeweiligen Komponente für die unterschiedlichen Farbregionen des Testbildes aufgetragen ist.

Tabelle 6: Farbwerte für die Aufnahmen der verschiedenen Testfelder mit unterschiedlichen Dermatoskopen (R = Rot, G = Grün, B = Blau, mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Region		Heine 10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
1	R	7,3	7,7	4,2	4,5	3,9
	G	11,0	8,7	9,1	9,2	7,9
	B	10,8	12,5	18,2	21,3	20,6
2	R	178,4	202,1	181,8	182,1	173,3
	G	172,1	200,8	215,2	210,1	204,1
	B	155,7	214,0	241,3	250,7	251,6
3	R	162,7	155,9	146,5	145,7	138,7
	G	31,1	47,3	62,8	60,8	59,1
	B	95,4	149,0	167,4	182,6	184,0
4	R	5,0	64,2	34,6	51,3	49,2
	G	120,4	131,5	158,0	148,2	145,4
	B	141,8	176,5	210,9	217,9	220,3
5	R	188,5	183,9	177,7	167,2	158,3
	G	126,0	137,9	141,8	138,8	144,0
	B	1,2	1,9	15,3	21,1	24,6
6	R	7,3	62,8	33,9	50,5	49,0
	G	96,9	99,4	125,3	117,0	114,6
	B	134,3	163,7	192,2	201,1	203,5
7	R	7,0	52,3	30,0	46,5	45,9
	G	60,1	61,7	87,8	79,1	77,4
	B	111,4	140,3	168,0	178,8	181,1
8	R	12,9	47,3	28,7	40,3	40,6
	G	28,6	30,2	50,1	44,6	43,9
	B	83,2	112,2	134,6	144,2	148,0
9	R	19,6	26,3	17,3	18,9	17,2
	G	113,0	103,4	117,0	111,5	108,5
	B	67,8	55,9	84,3	86,4	88,7
10	R	3,6	10,7	4,3	4,0	4,1
	G	99,9	89,1	104,4	98,6	95,5
	B	58,2	41,5	68,1	68,6	71,1
11	R	1,2	7,3	1,8	2,4	1,7
	G	87,2	78,6	93,2	87,5	85,1
	B	47,8	31,9	55,3	56,3	56,3
12	R	167,9	111,0	112,4	102,8	96,5
	G	7,7	6,5	7,8	10,7	8,5
	B	1,4	13,5	17,7	25,8	23,2
13	R	165,7	107,8	110,1	101,0	95,2
	G	5,4	4,4	5,3	6,3	4,9
	B	1,0	11,6	16,1	20,1	18,6
14	R	158,0	102,2	104,1	94,4	88,9
	G	3,4	5,2	6,2	7,4	6,0
	B	1,5	12,2	16,3	21,7	19,5

Rotwerte

Abbildung 10 zeigt die über die Farbfelder gemittelten Werte der roten Farbkomponente für die fünf untersuchten Dermatoskope. Hier waren vor allem in den Regionen 4, 6-8 und 12-14, somit bei den blauen und roten Farbfeldern, Unterschiede zwischen den Dermatoskopen zu erkennen. Vor allem das Heine Delta 10[®] zeigte bei Rottönen einen wesentlich höheren Anteil der R-Komponente als die anderen Dermatoskope, während es in den blauen Farbfeldern einen wesentlich geringeren Anteil der R-Komponente gegenüber den anderen Geräten zeigte.

Tabelle 7: Auszug aus Tabelle 6: Rotwerte (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Region	Heine 10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
1	7,3	7,7	4,2	4,5	3,9
2	178,4	202,1	181,8	182,1	173,3
3	162,7	155,9	146,5	145,7	138,7
4	5,0	64,2	34,6	51,3	49,2
5	188,5	183,9	177,7	167,2	158,3
6	7,3	62,8	33,9	50,5	49,0
7	7,0	52,3	30,0	46,5	45,9
8	12,9	47,3	28,7	40,3	40,6
9	19,6	26,3	17,3	18,9	17,2
10	3,6	10,7	4,3	4,0	4,1
11	1,2	7,3	1,8	2,4	1,7
12	167,9	111,0	112,4	102,8	96,5
13	165,7	107,8	110,1	101,0	95,2
14	158,0	102,2	104,1	94,4	88,9

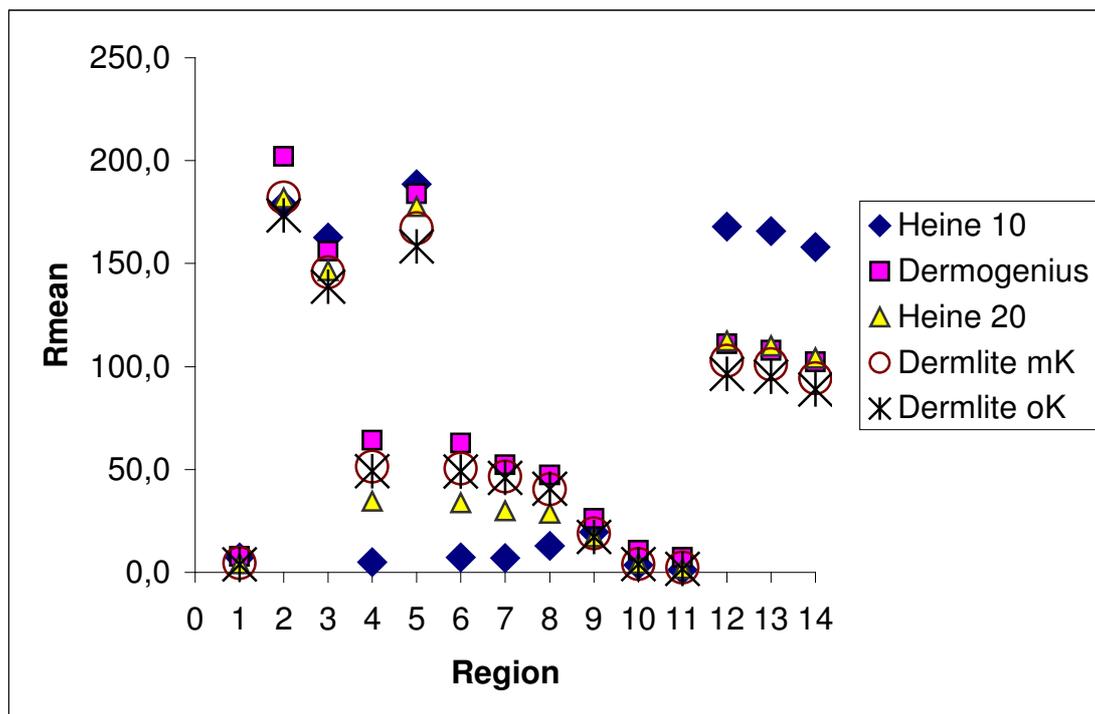


Abbildung 10: Über die Farbfelder gemittelte Rotwerte (Rmean) für der Dermatostkope für die Farbregionen des Testbildes
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Grünwerte

Bei der Grün-Komponente in Abbildung 11 ist zunächst zu erkennen, dass die Felder 12-14 kaum Grünanteil hatten, was bei roten Feldern auch offensichtlich ist. In den Regionen 2-5 (Grau, Magenta, Cyan, Gelb) war die Grünkomponente des Heine Delta 10[®] geringer als die der anderen Geräte.

Tabelle 8: Auszug aus Tabelle 6: Grünwerte (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Region	Heine 10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
1	11,0	8,7	9,1	9,2	7,9
2	172,1	200,8	215,2	210,1	204,1
3	31,1	47,3	62,8	60,8	59,1
4	120,4	131,5	158,0	148,2	145,4
5	126,0	137,9	141,8	138,8	144,0
6	96,9	99,4	125,3	117,0	114,6
7	60,1	61,7	87,8	79,1	77,4
8	28,6	30,2	50,1	44,6	43,9
9	113,0	103,4	117,0	111,5	108,5
10	99,9	89,1	104,4	98,6	95,5
11	87,2	78,6	93,2	87,5	85,1
12	7,7	6,5	7,8	10,7	8,5
13	5,4	4,4	5,3	6,3	4,9
14	3,4	5,2	6,2	7,4	6,0

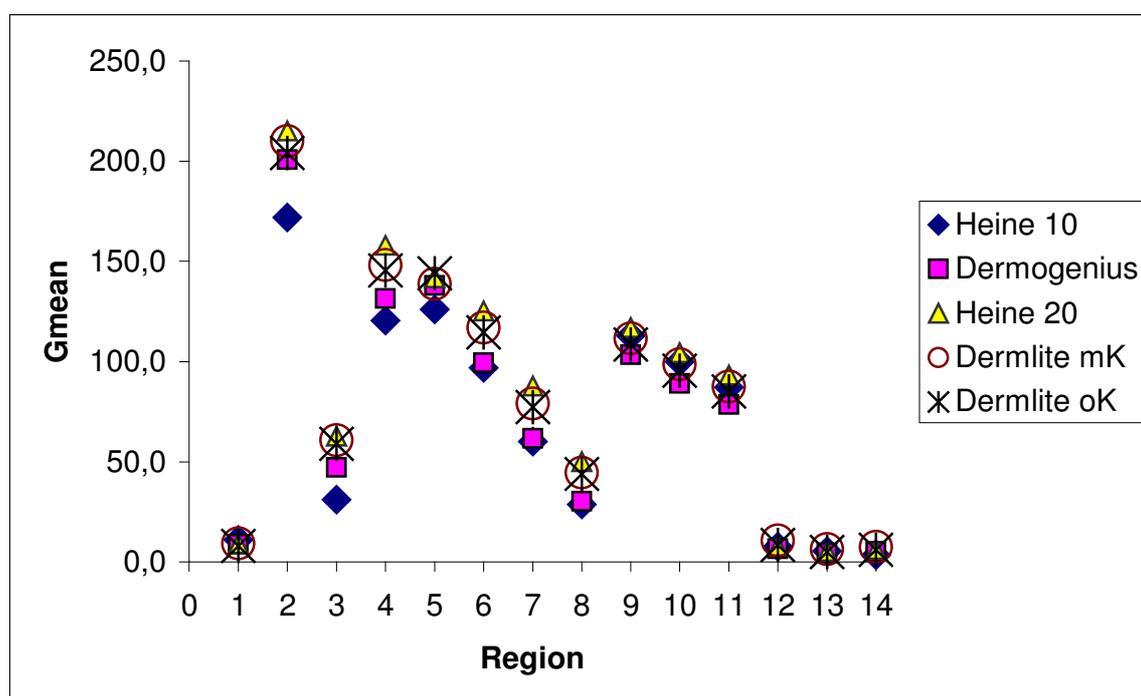


Abbildung 11: Über die Farbfelder gemittelte Grünwerte (Gmean) für die Farbregionen des Testbildes (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Blauwerte

Die Anteile der Blau-Komponente sind in Abbildung 12 gezeigt. In den Regionen 2-4 (Grau, Magenta, Cyan) und 6-8 lag der Blauwert des Heine Delta 10[®] unter dem der anderen Geräte. In den Regionen 9-11 hatte Dermogenius[®] die geringsten Blauwerte.

Tabelle 9: Auszug aus Tabelle 6: Blauwerte (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Region	Heine 10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
1	10,8	12,5	18,2	21,3	20,6
2	155,7	214,0	241,3	250,7	251,6
3	95,4	149,0	167,4	182,6	184,0
4	141,8	176,5	210,9	217,9	220,3
5	1,2	1,9	15,3	21,1	24,6
6	134,3	163,7	192,2	201,1	203,5
7	111,4	140,3	168,0	178,8	181,1
8	83,2	112,2	134,6	144,2	148,0
9	67,8	55,9	84,3	86,4	88,7
10	58,2	41,5	68,1	68,6	71,1
11	47,8	31,9	55,3	56,3	56,3
12	1,4	13,5	17,7	25,8	23,2
13	1,0	11,6	16,1	20,1	18,6
14	1,5	12,2	16,3	21,7	19,5

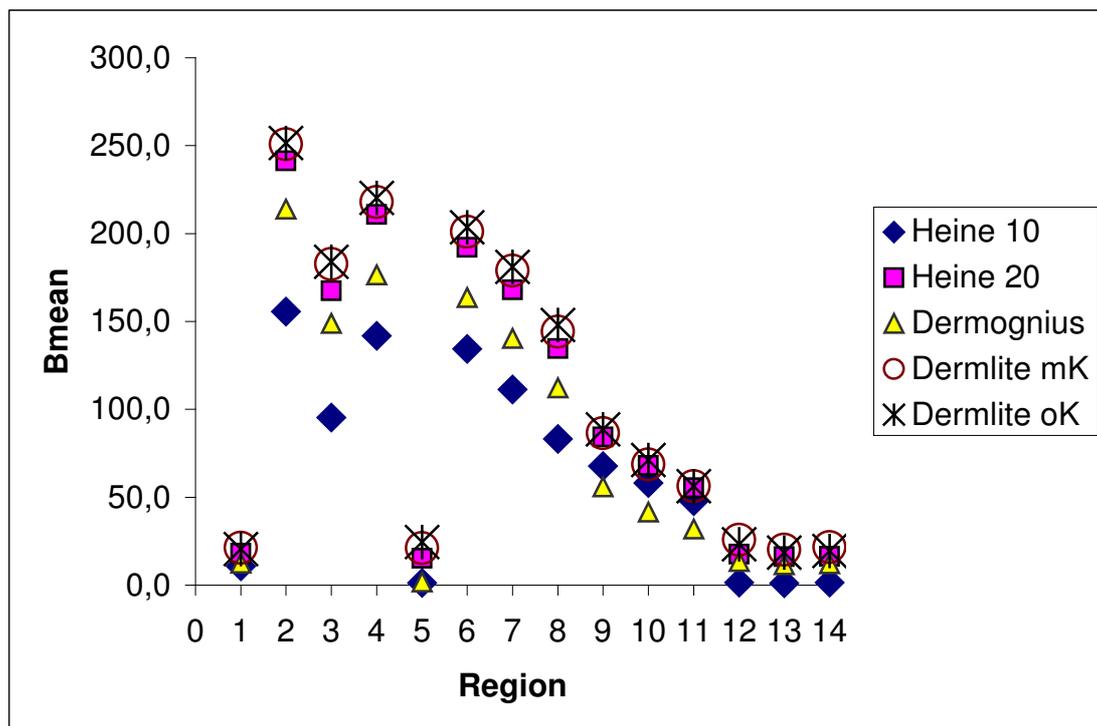


Abbildung 12: Über die Farbfelder gemittelte Blauwerte (Bmean) der Dermatoskope für die Farbregionen des Testbildes (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Grau- und Schwarzwerte

Um die Farbabweichungen der Geräte direkt miteinander vergleichen zu können, wurden in Abbildung 13 und Abbildung 14 die RGB-Werte der grauen und schwarzen Farbfelder verglichen. Ein Grauton sollte bei optimaler Abbildung auf den RGB-Farbraum mit drei identischen Werten für die Komponenten R, G und B beschrieben werden.

In Abbildung 13 ist zu erkennen, dass Dermogenius[®] einen Grauton am besten in den RGB-Farbraum abbildet. Heine Delta 10[®] erreichte eine ähnliche Übereinstimmung der Komponenten. In Abbildung 14 war für diese beiden Geräte ein ähnliches Resultat zu beobachten. Alle anderen Dermatoskope wichen wesentlich Richtung blau ab, was sich in einem erheblich höheren Wert der Blaukomponente gegenüber der Rot- und Grünkomponente zeigte. Zudem war bei diesen Geräten auch die Rotkomponente schwächer.

Tabelle 10: Auszug aus Tabelle 6: Farbregion 2 (grau) (R = Rot, G = Grün, B = Blau, mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Region		Heine 10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
2	R	178,4	202,1	181,8	182,1	173,3
	G	172,1	200,8	215,2	210,1	204,1
	B	155,7	214,0	241,3	250,7	251,6

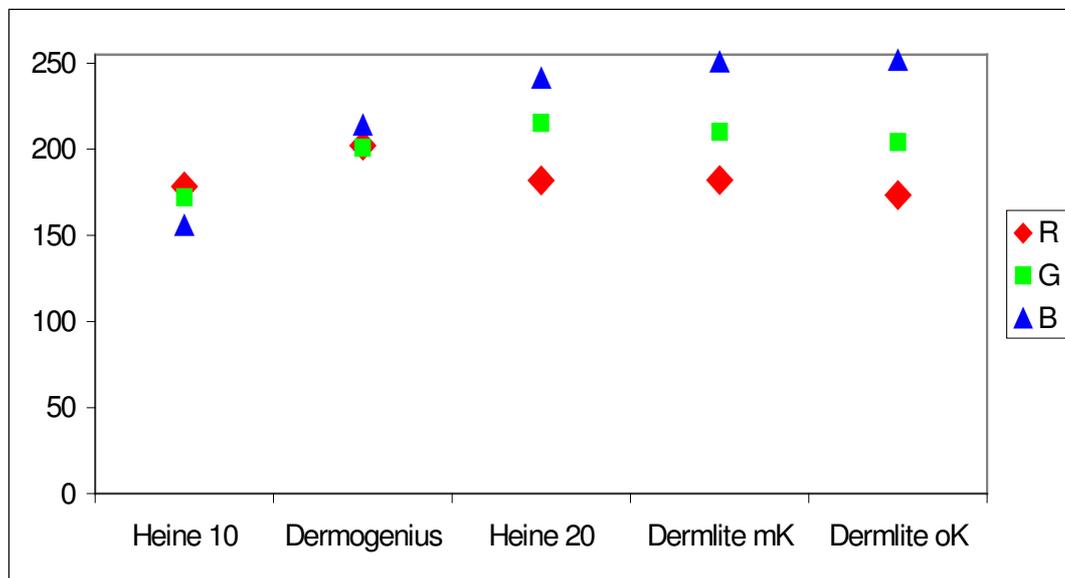


Abbildung 13: RGB-Werte für das Farbfeld 2 (grau) der Dermatoskope

Tabelle 11: Auszug aus Tabelle 6: Farbregion 1 (schwarz) (R = Rot, G = Grün, B = Blau, mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Region		Heine 10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
1	R	7,3	7,7	4,2	4,5	3,9
	G	11,0	8,7	9,1	9,2	7,9
	B	10,8	12,5	18,2	21,3	20,6

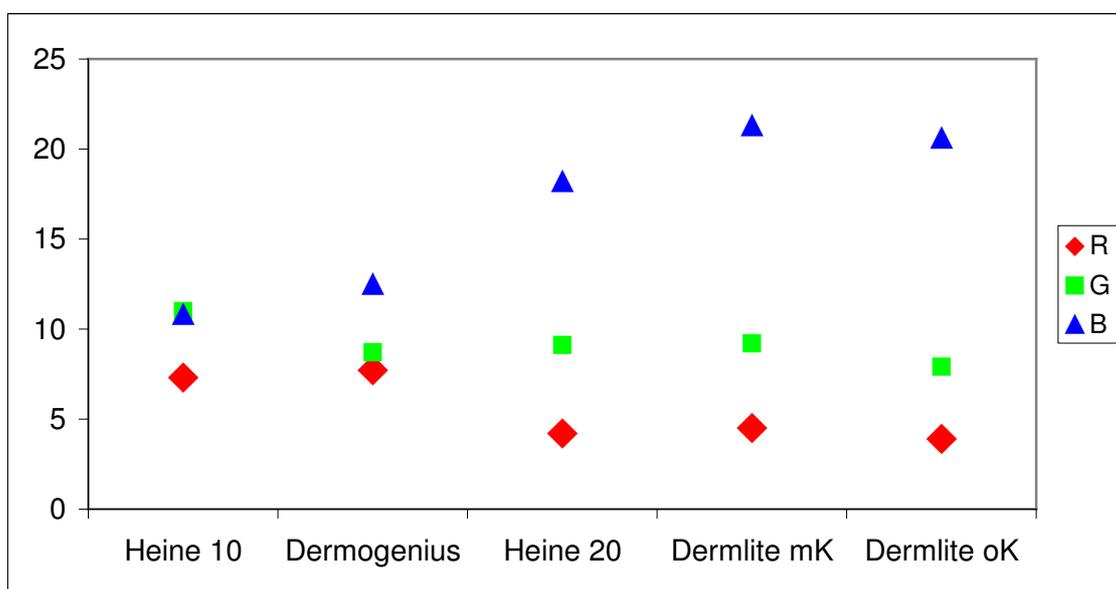


Abbildung 14: RGB-Werte für das Farbfeld 1 (schwarz) der Dermatoskope (zur besseren Veranschaulichung wurde der Bereich der Ordinate nur bis 25 gewählt und stellt damit den unteren Abschnitt der möglichen Werte dar)

3.2. Digitale Bildanalyse

3.2.1. Symmetrie

Die Verteilungen des für die Aufnahmen bestimmten Symmetrie-Scores sind in Abbildung 15 gezeigt. Der Median nahm für alle Dermatoskope einen ähnlichen Wert an, während die Whisker für die unterschiedlichen Dermatoskope, vor allem für die unteren Werte, mehr voneinander abwichen.

In der Scatterplot-Matrix in Abbildung 16 und an den Werten für r in Tabelle 12 ist zu erkennen, dass sich für DermLite Foto₃₇[®] und Heine Delta 20[®] die beste Übereinstimmung ergab, während der Vergleich von Heine Delta 10[®] mit den restlichen Dermatoskopen eine relativ schlechte Übereinstimmung ergab.

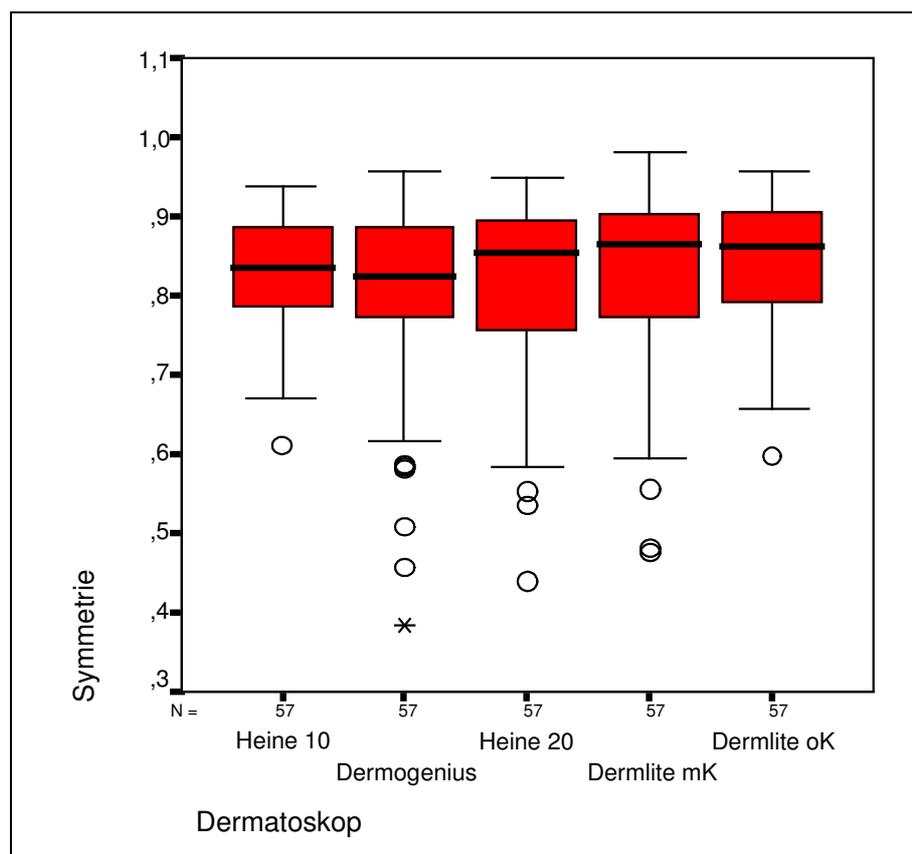


Abbildung 15: Box & Whisker Plot der Verteilung des Symmetriemerkmals (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

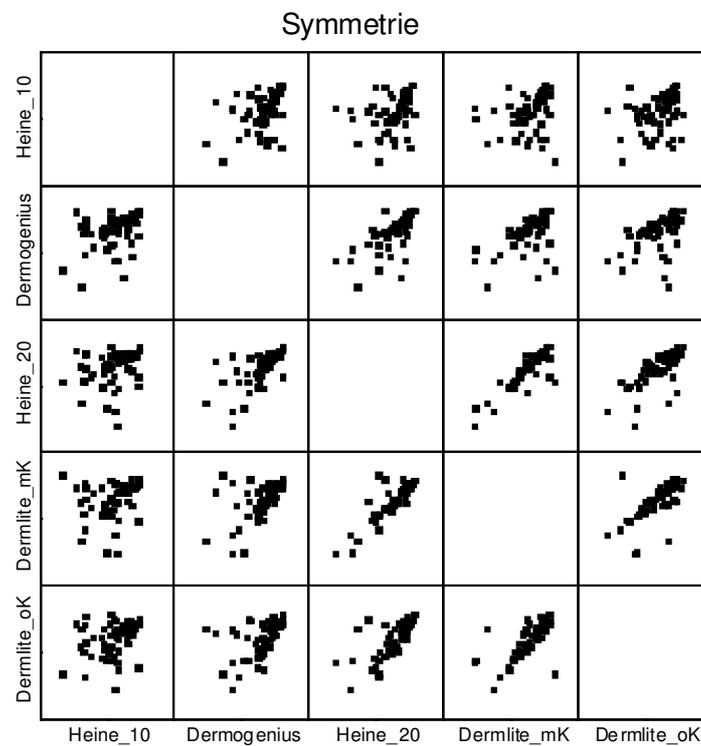


Abbildung 16: Scatterplot Matrix für das Symmetriemerkmal
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Tabelle 12: Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Symmetriemerkmal
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

r	Heine10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
Heine10 [®]	1,000	0,339	0,277	0,231	0,318
Dermogenius [®]	0,339	1,000	0,660	0,534	0,481
Heine 20 [®]	0,277	0,660	1,000	0,868	0,707
DermLite [®] mK	0,231	0,534	0,868	1,000	0,672
DermLite [®] oK	0,318	0,481	0,707	0,672	1,000

3.2.2. Begrenzungsschärfe

In Abbildung 17 ist zu erkennen, dass die Werte für Heine Delta 10[®] enger beieinander liegen als für die anderen Dermatoskope. Der Median stieg von Heine Delta 10[®] zu DermLite Foto 37[®] oK leicht an.

In der Scatterplot-Matrix von Abbildung 18 und anhand der Werte für r in Tabelle 13 ist zu erkennen, dass die Werte für Begrenzungsmerkmale relativ gut übereinstimmten.

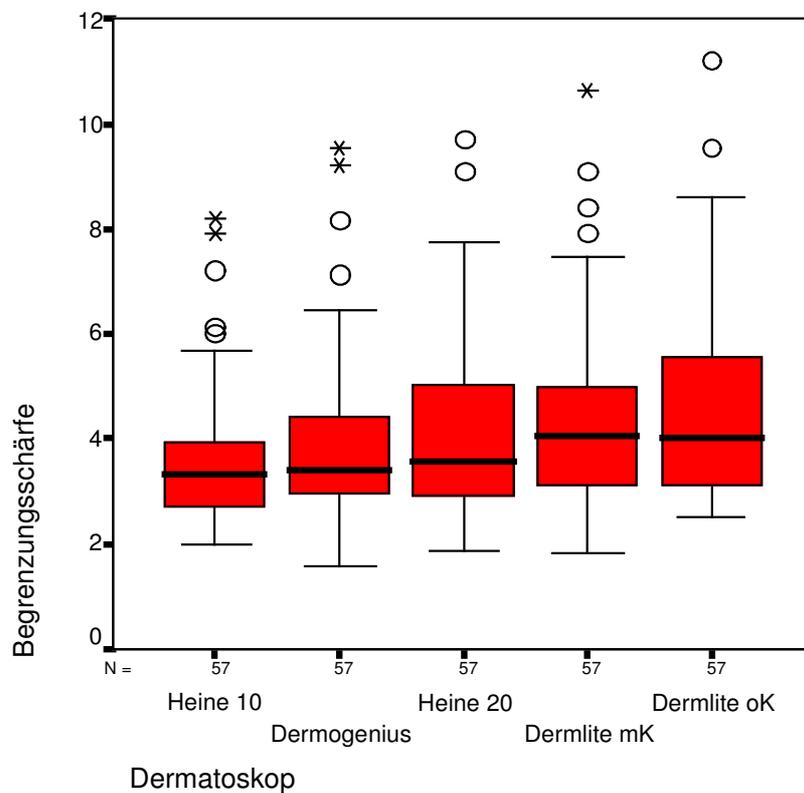


Abbildung 17: Box & Whisker Plot der Verteilung der Begrenzungsschärfe (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

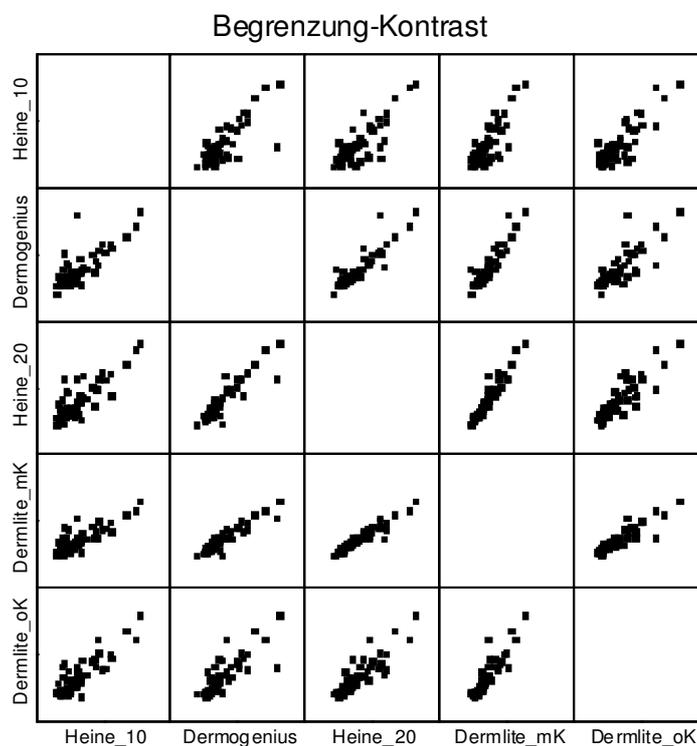


Abbildung 18: Scatterplot-Matrix für die Begrenzungsschärfe
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Tabelle 13: Korrelationskoeffizient nach Pearson für die Begrenzungsschärfe
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

<i>r</i>	Heine10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
Heine10 [®]	1,000	0,793	0,821	0,816	0,852
Dermogenius [®]	0,793	1,000	0,912	0,927	0,811
Heine 20 [®]	0,821	0,912	1,000	0,957	0,877
DermLite [®] mK	0,816	0,927	0,957	1,000	0,906
DermLite [®] oK	0,852	0,811	0,877	0,906	1,000

3.2.3. Begrenzungsquotient

Im Gegensatz zur Begrenzungsschärfe fielen beim Begrenzungsquotienten die Mediane in Abbildung 19 von Heine Delta 10[®] zu DermLite Foto 37[®] oK leicht ab. Die beste Übereinstimmung ergab sich, wie aus Abbildung 20 und Tabelle 14 zu entnehmen ist, für die beiden DermLite Foto 37[®] Geräte.

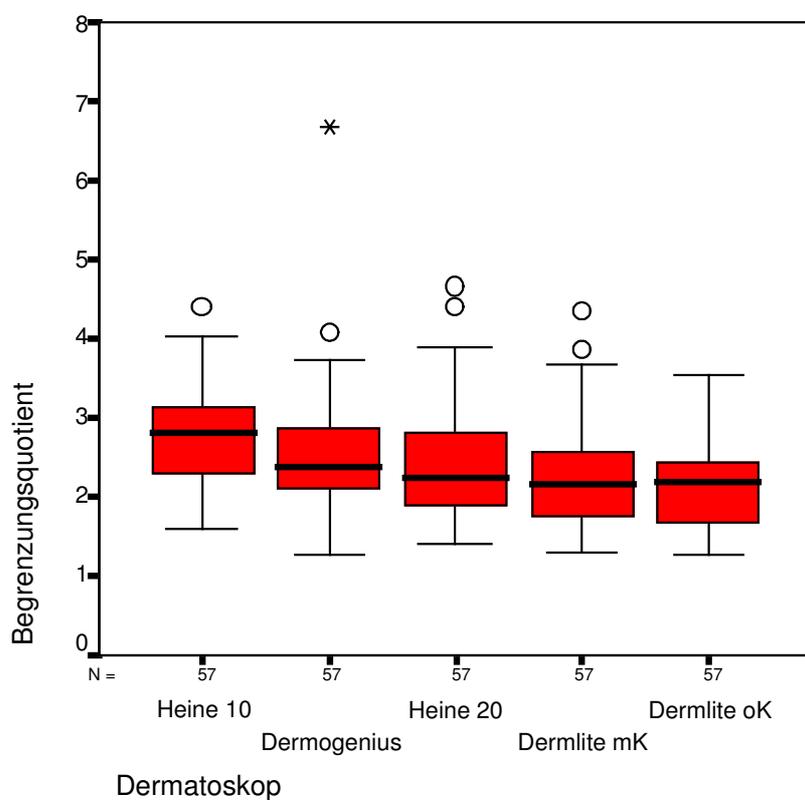


Abbildung 19: Box & Whisker Plot für den Begrenzungsquotient
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

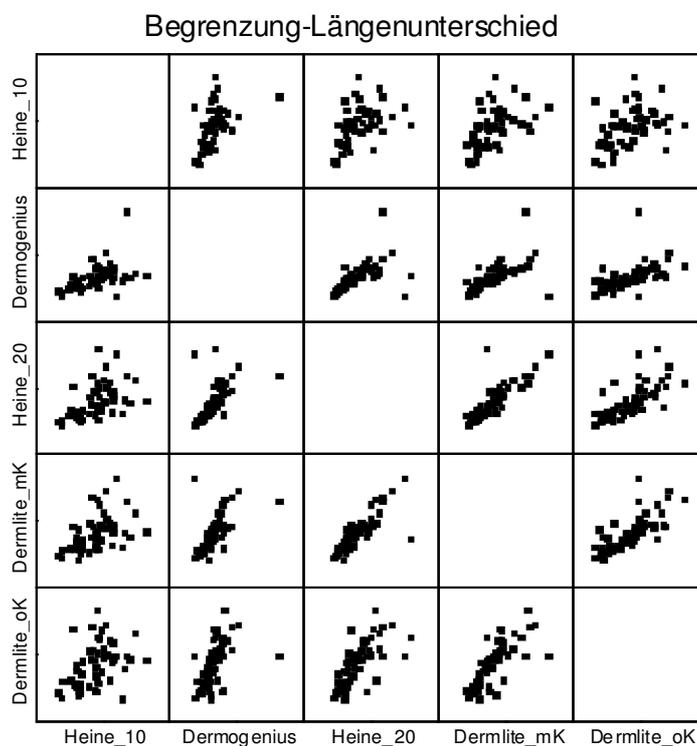


Abbildung 20: Scatterplot-Matrix für den Begrenzungsquotient
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Tabelle 14: Korrelationskoeffizient nach Pearson für den Begrenzungsquotient
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

<i>r</i>	Heine10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
Heine10 [®]	1,000	0,483	0,505	0,499	0,419
Dermogenius [®]	0,483	1,000	0,549	0,582	0,513
Heine 20 [®]	0,505	0,549	1,000	0,821	0,705
DermLite [®] mK	0,499	0,582	0,821	1,000	0,754
DermLite [®] oK	0,419	0,513	0,705	0,754	1,000

3.2.4. Farbe

Im Diagramm der Abbildung 21 ist zu erkennen, dass der Median für Heine Delta 10[®] höher war als der anderer Geräte, wobei sich gerade auch bei Heine Delta 10[®] eine geringere Streuung zeigte.

Anhand der Scatterplot-Matrix in Abbildung 22 und mit den Werten für r in Tabelle 15 war zu erkennen, dass sich für Dermogenius[®] und DermLite Foto 37[®] oK der größte Unterschied ergab, während Heine Delta 20[®] und DermLite Foto 37[®] mK am besten übereinstimmten.

Zudem war zu erkennen, dass die Werte für Heine Delta 10[®] im wesentlichen eine lineare Abbildung darstellten (Scatterplot entspricht beinahe einer Geraden).

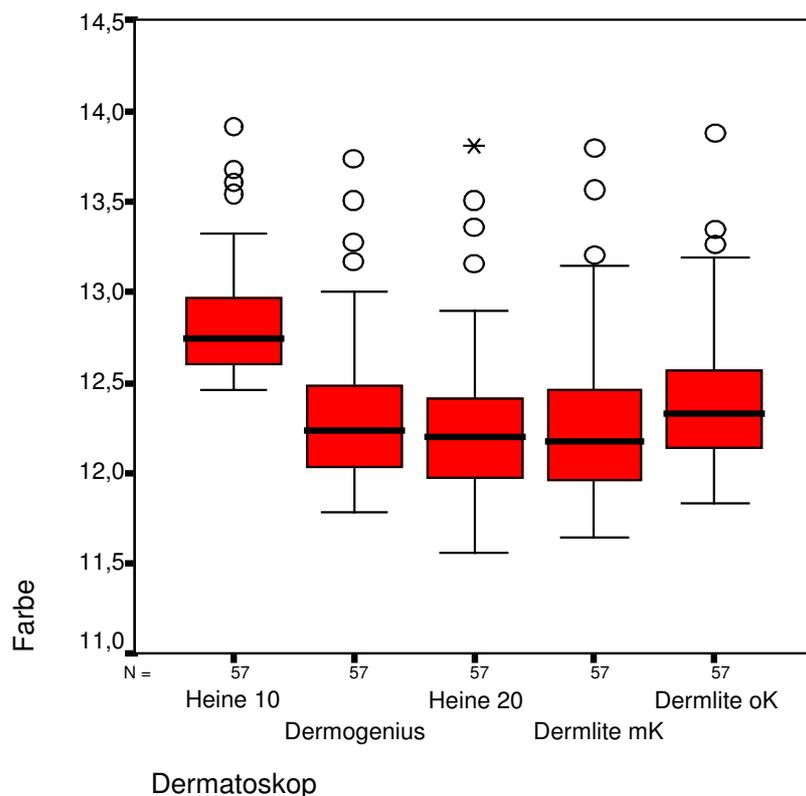


Abbildung 21: Box & Whisker Plot der Verteilung des Farbmerkmals (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

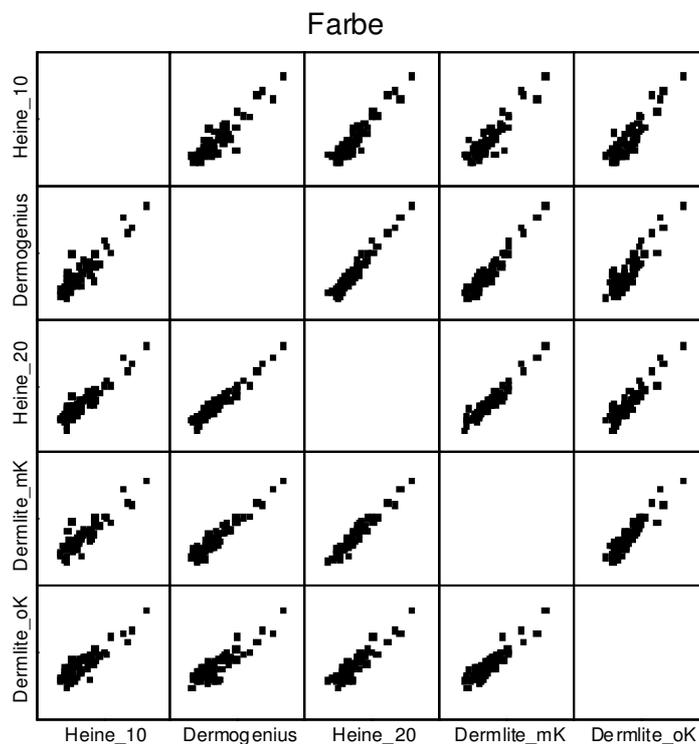


Abbildung 22: Scatterplot-Matrix für das Farbmerkmal
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Tabelle 15: Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Farbmerkmal
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

r	Heine10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
Heine10 [®]	1,000	0,910	0,936	0,899	0,903
Dermogenius [®]	0,910	1,000	0,970	0,957	0,895
Heine 20 [®]	0,936	0,970	1,000	0,964	0,925
DermLite [®] mK	0,899	0,957	0,964	1,000	0,919
DermLite [®] oK	0,903	0,895	0,925	0,919	1,000

3.2.5. Durchmesser

Der Median des Scores für den Durchmesser war für Heine Delta 10[®] größer als der Median der anderen Geräte, wie aus dem Diagramm aus Abbildung 23 hervorgeht. Auch die Streuung der Ergebnisse war bei diesem Gerät geringer als die der anderen Geräte. Zudem ist zu erkennen, dass der obere T-Balken bei allen Boxplots einen ähnlichen Wert annahm.

In Abbildung 24 und anhand der Werte für r aus Tabelle 16 war zu erkennen, dass Heine Delta 20[®], Dermogenius[®], DermLite Foto 37[®] mK und DermLite Foto 37[®] oK im Score für den Durchmesser weitgehend übereinstimmten.

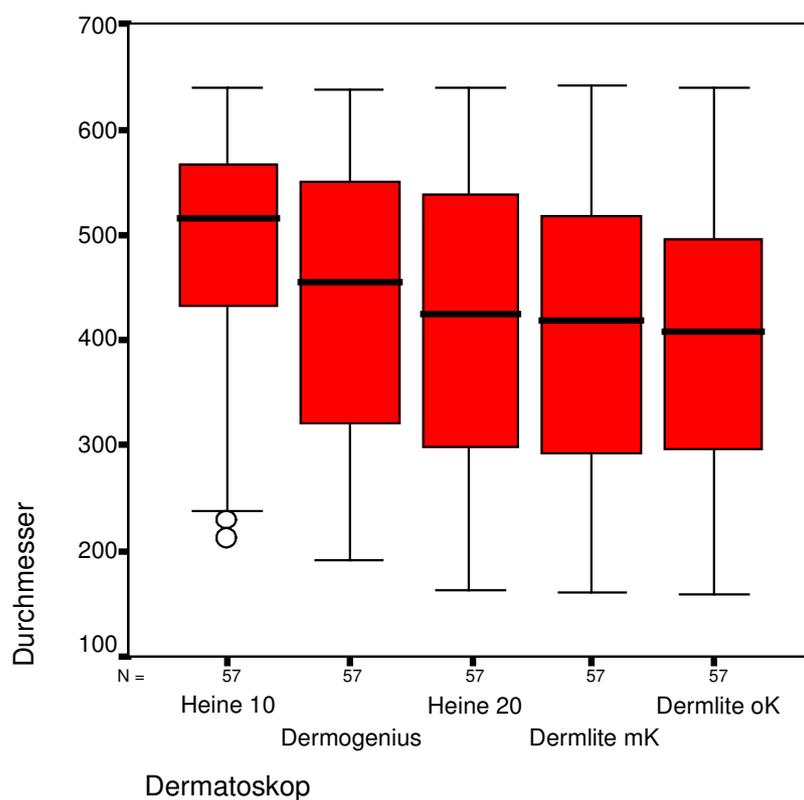


Abbildung 23: Box & Whisker Plot der Verteilung des Durchmessermerkmals (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

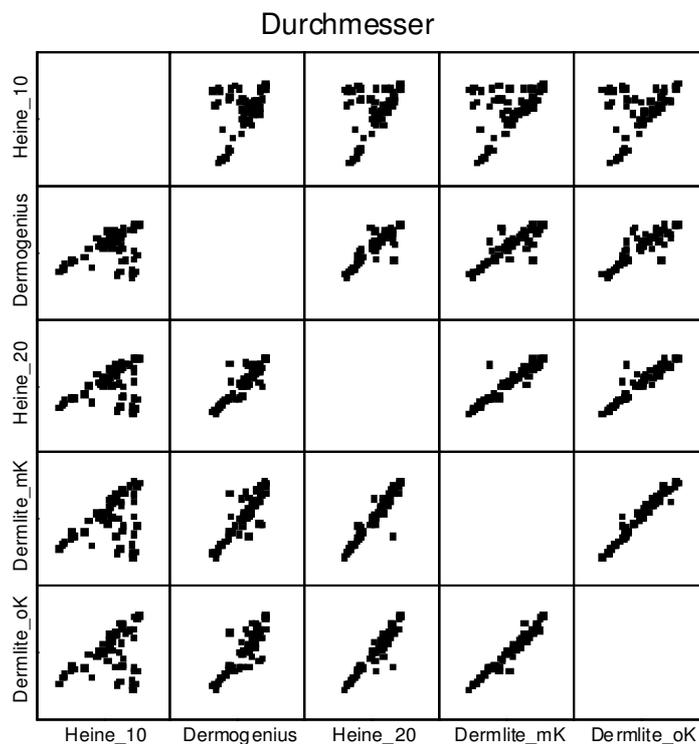


Abbildung 24: Scatterplot-Matrix für das Durchmessermerkmal
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Tabelle 16: Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Durchmessermerkmal
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

<i>r</i>	Heine10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
Heine10 [®]	1,000	0,399	0,406	0,423	0,386
Dermogenius [®]	0,399	1,000	0,887	0,865	0,863
Heine 20 [®]	0,406	0,887	1,000	0,939	0,935
DermLite [®] mK	0,423	0,865	0,939	1,000	0,975
DermLite [®] oK	0,386	0,863	0,935	0,975	1,000

3.2.6. Fläche

Beim Flächenmerkmal in Abbildung 25 war der Median für Heine Delta 10[®] deutlich höher als der anderer Geräte. Außerdem ergab sich hier auch wieder eine geringere Streuung der Werte bei Heine Delta 10[®] gegenüber den anderen Geräten.

In der Scatterplot-Matrix in Abbildung 26 und anhand der Werte für r aus Tabelle 17 war zu erkennen, dass die Flächenmerkmalswerte für alle Dermatoskope bis auf Heine Delta 10[®] gut miteinander übereinstimmten.

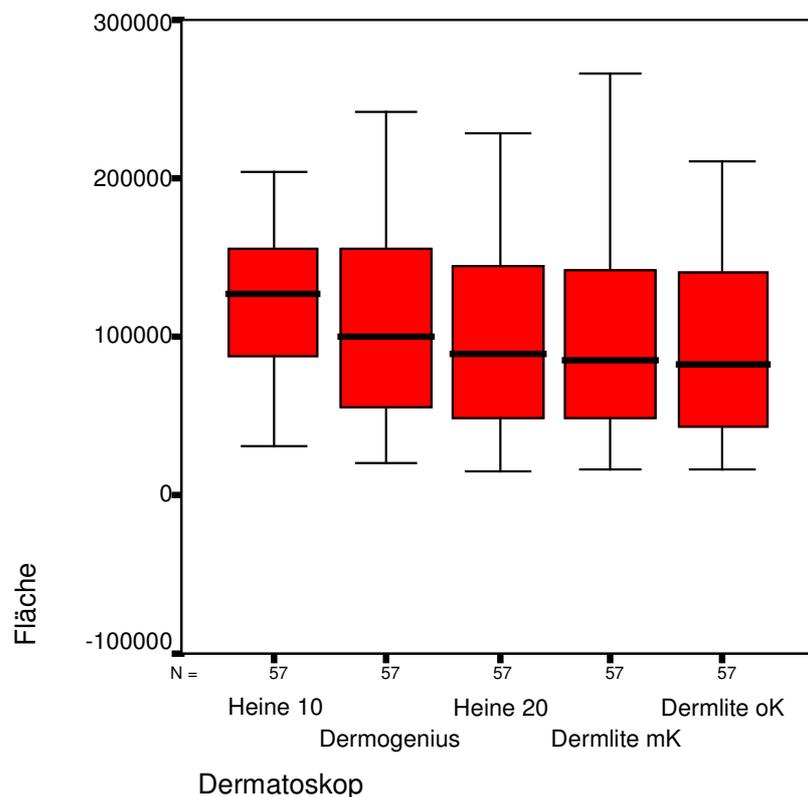


Abbildung 25: Box & Whisker Plot der Verteilung des Flächenmerkmals (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

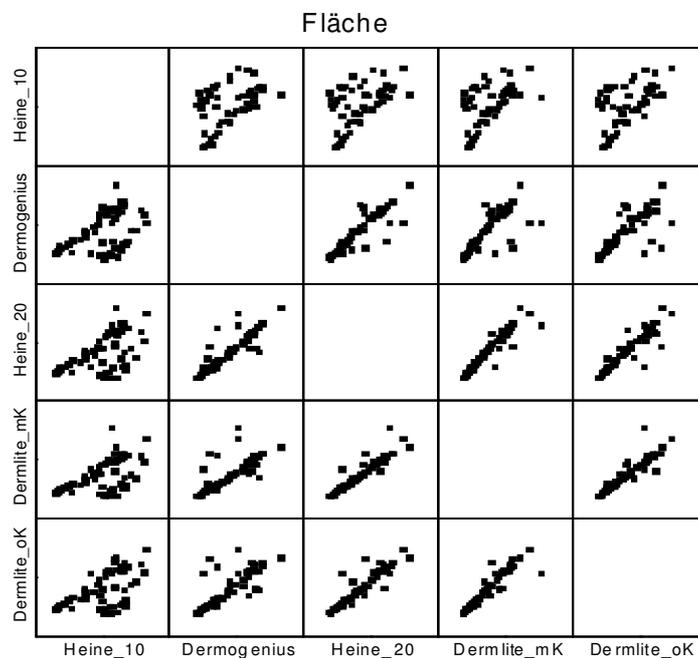


Abbildung 26: Scatterplot-Matrix für das Flächenmerkmal
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

Tabelle 17: Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Flächenmerkmal (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

<i>r</i>	Heine10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
Heine10 [®]	1,000	0,463	0,533	0,528	0,548
Dermogenius [®]	0,463	1,000	0,877	0,757	0,750
Heine 20 [®]	0,533	0,877	1,000	0,937	0,915
DermLite [®] mK	0,528	0,757	0,937	1,000	0,923
DermLite [®] oK	0,548	0,750	0,915	0,923	1,000

3.2.7. Subjektive Untersucherbewertungen

Die Mittelwerte der abgegebenen Rangnummern für die Aufnahmen sind in Tabelle 18 dargestellt. Nach dieser Bewertung lieferte Heine Delta 20[®] die nach subjektivem Empfinden besten Aufnahmen, während Dermogenius[®] und DermLite Foto₃₇[®] mK sich nach dieser Bewertung den zweiten Rang teilen. Heine Delta 10[®] und DermLite Foto₃₇[®] oK schnitten bei dieser Bewertung am schlechtesten ab.

Tabelle 18: Mittelwerte der subjektiven Bewertung aller Aufnahmen der Dermatoskope (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe, Untersucher 1= Dermatologe, Untersucher 2= Medizinstudentin)

	Heine 10 [®]	Dermogenius [®]	Heine 20 [®]	DermLite [®] mK	DermLite [®] oK
Untersucher 1	4,04	1,77	1,07	1,77	4,08
Untersucher 2	4,18	1,75	1,35	1,68	4,08
Durchschnitt beider Untersucher	4,11	1,76	1,21	1,73	4,08

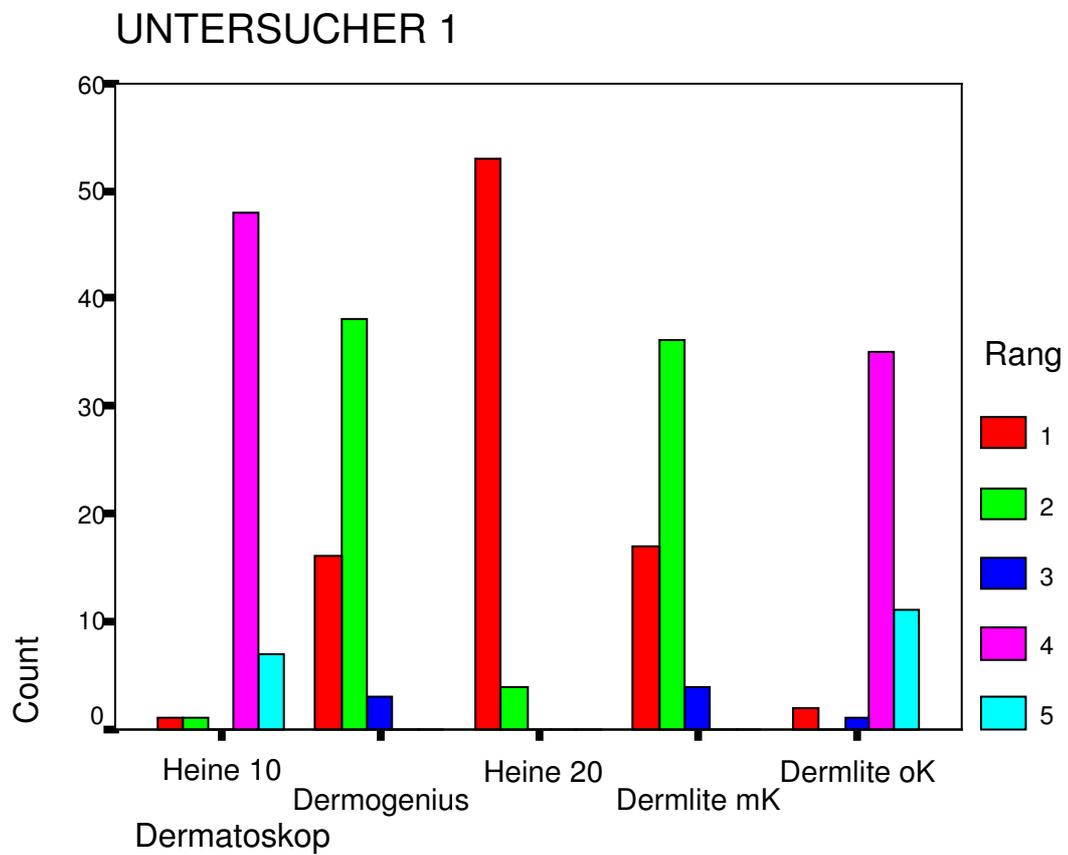


Abbildung 27: Subjektive Bewertung des ersten Untersuchers (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe, Untersucher 1= Dermatologe)

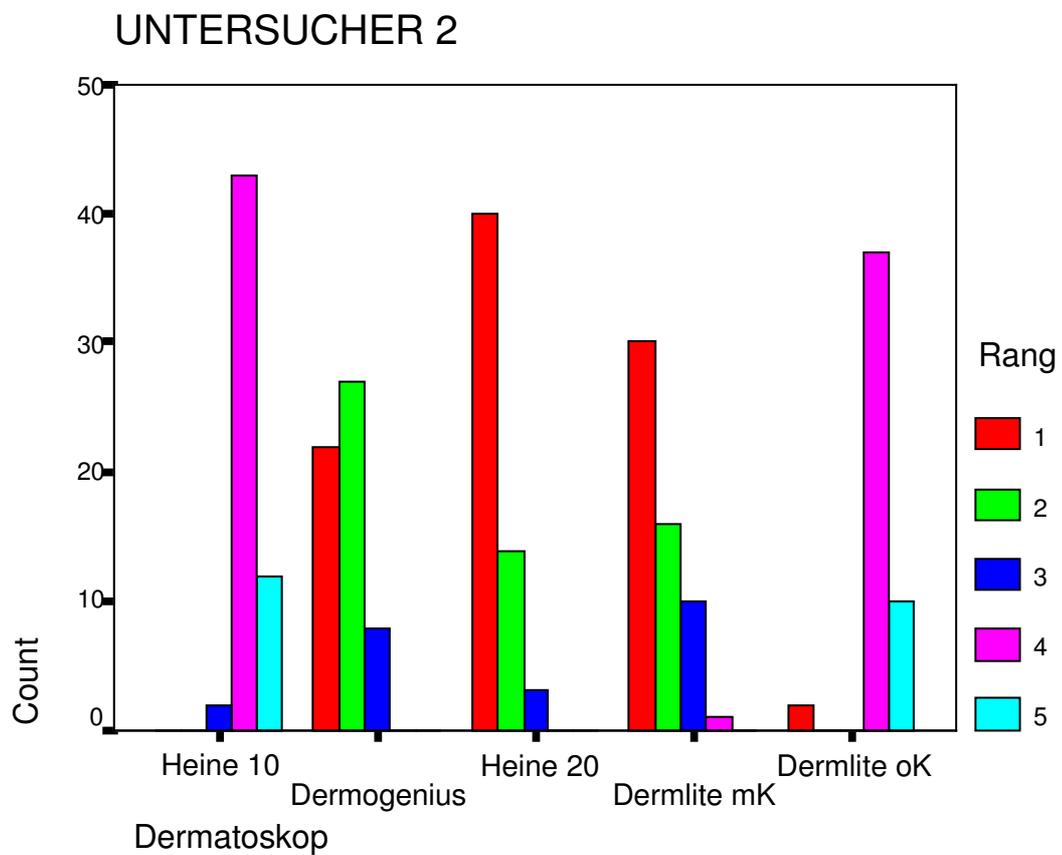


Abbildung 28: Subjektive Bewertung des zweiten Untersuchers (mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe, Untersucher 2= Medizinstudentin)

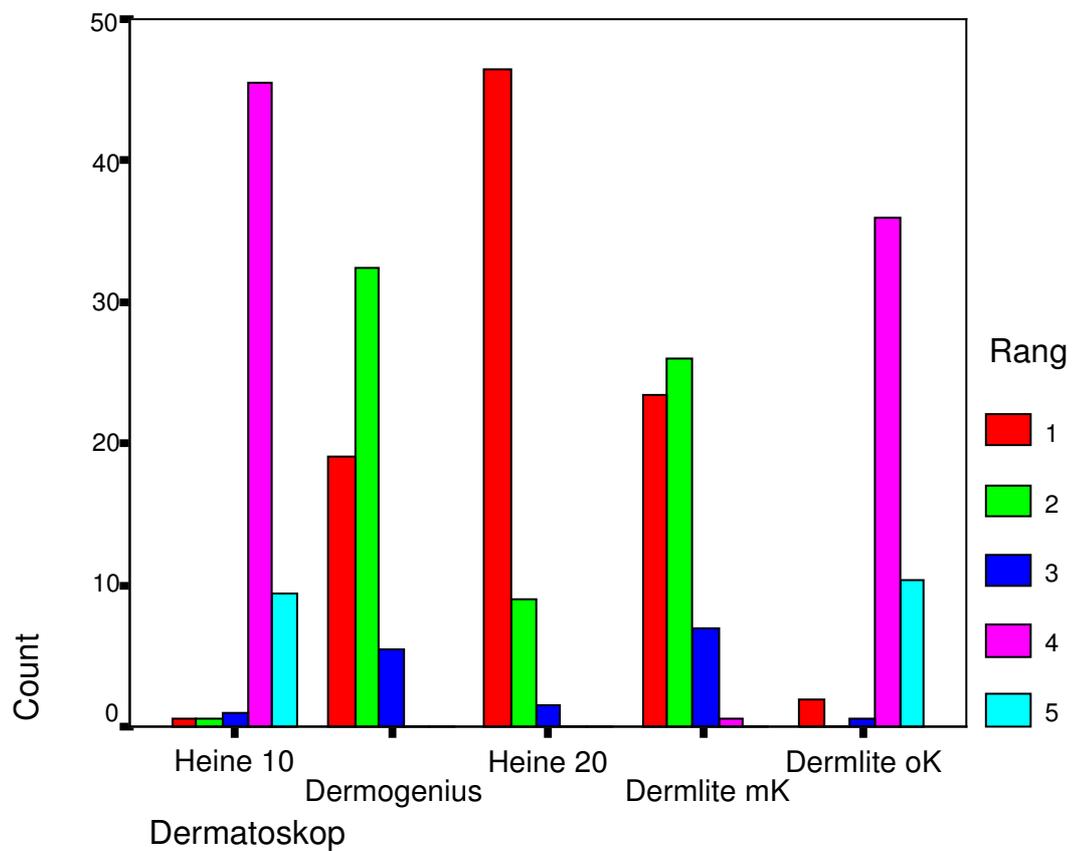


Abbildung 29: Mittelwert der Bewertungen beider Untersucher
(mK= mit Kontaktscheibe, oK= ohne Kontaktscheibe)

4. Diskussion

Die Wertigkeit der Dermatoskopie in der Diagnosestellung von Hauttumoren ist gut belegt [4] [6] [22] [33] [34] [38] [40] [43] [47] [51] [53]. So werden einerseits maligne Melanome deutlich früher erkannt und im heilbaren Stadium operativ entfernt, andererseits werden benigne melanozytäre und nicht-melanozytäre Läsionen nicht unnötig entfernt, wenn diese die Kriterien der Gutartigkeit in der Dermatoskopie aufweisen. Die Voraussetzung für eine differenzierte Beurteilung von pigmentierten und nicht-pigmentierten Hauttumoren mittels Dermatoskopie ist hierbei eine gute Bildqualität.

In der vorliegenden Arbeit wurde nun erstmalig ein Vergleich der im klinischen Alltag gängigen monookularen Dermatoskope durchgeführt. Erstaunlich ist, dass eine solche Untersuchung in den letzten zehn Jahren der Dermatoskopie, in der sich diese Methode stark entwickelt und etabliert hat, bisher nicht durchgeführt worden ist. Somit besteht eine Hauptschwierigkeit der vorliegenden Arbeit darin, dass kein Vergleich mit kritischer Diskussion anhand der Literatur durchgeführt werden kann. So müssen die hier gewonnenen Ergebnisse ohne den gewünschten und notwendigen Literaturvergleich diskutiert werden.

Bewusst wurden keine Untersuchungen auf statistische Signifikanz in dieser Arbeit durchgeführt, da die dafür notwendigen Voraussetzungen durch die baulichen Unterschiede der Geräte nicht gegeben waren. Daher wurden hier die Ergebnisse deskriptiv dargelegt und diskutiert.

Alle Dermatoskope wiesen die gleiche zehnfache Vergrößerung auf und zeigten hier keine Unterschiede.

Hinsichtlich der Beleuchtung unterschieden sie sich jedoch durch Art und Anordnung der Lichtquellen (Heine Delta 10[®] mit einer Halogenlampe versus Heine Delta 20[®], Dermogenius[®] mit jeweils sechs lichtemittierenden Dioden (LED) und DermLite Foto 37[®] mit 24 LED). Außerdem besaß ein Dermatoskop keine Kontaktscheibe, so dass im Gegensatz zu den anderen Dermatoskopen auf Kontaktflüssigkeit verzichtet werden konnte. (DermLite Foto 37[®] oK ohne Kon-

taktflüssigkeit versus Heine Delta 10[®], Heine Delta 20[®], Dermogenius[®] und DermLite Foto 37[®] mK jeweils mit Kontaktflüssigkeit).

Durch die baulichen Unterschiede der Geräte ergaben sich Abweichungen in den Abbildungseigenschaften bezüglich Lichtverteilung, Helligkeits-, Farb- und Strukturwiedergabe.

4.1. Untersuchung der Abbildungseigenschaften bei Testbildern

4.1.1. Helligkeit

Bei der Helligkeitsanalyse wurde untersucht, wie gleichmäßig ein Bild ausgeleuchtet wurde und wie die Helligkeitswerte im Bild verteilt waren. Das Heine Delta 10[®] hatte mit einem IQR von 29 die größte Streuung der Helligkeitswerte, das heißt, die Ausleuchtung war bei diesem Gerät am wenigsten homogen. Dermogenius[®] wies mit einem IQR von 3 die geringste Streuung auf, somit war die Ausleuchtung am homogensten.

Bei der Verteilung der Helligkeitswerte fiel beim Heine Delta 10[®] auf, dass ausschließlich der untere Bildbereich gut ausgeleuchtet war. Bei den anderen Dermatoskopen war die Verteilung der Helligkeitswerte wesentlich gleichmäßiger.

Es ist offensichtlich, dass die homogene Verteilung der Helligkeitswerte durch die ringförmige Anordnung mehrerer Lichtquellen zustande kommt. Da beim Heine Delta 10[®] nur eine Lichtquelle verwendet wird, führte dies zu einer ungleichmäßigen Ausleuchtung. Ob jedoch sechs oder 24 LED verwendet werden, scheint für eine gute Helligkeitsverteilung nicht unbedingt bedeutend zu sein, da Dermogenius mit sechs LED eine homogenere Ausleuchtung als DermLite Foto 37[®] mit 24 LED erreichte.

4.1.2. Schärfe

Bei der Schärfe wurde untersucht, wie klar die Kante eines Bildpunktes vom benachbarten Bildpunkt abgegrenzt werden konnte. Dies ist in der Dermatoskopie sehr wichtig, um bereits diskrete Unterschiede von Differentialstrukturen zu erkennen [5] [9] [10] [41] [50] [56].

Insgesamt betrachtet war der Absolutwert der Schärfe bei DermLite Foto 37[®] am schlechtesten, der Unterschied zwischen Schärfe am Rand und im Zentrum jedoch am geringsten. Hier stellt sich die Frage, ob dies an der größeren Aufnahme­fläche von DermLite Foto 37[®] lag (25 mm versus 21 mm bei den anderen Geräten), und ob deshalb auch die Linse bei diesem Dermatoskop anders beschaffen ist. Interessant wäre deshalb auch ein Vergleich der Linsenarten und Linsendurchmesser der verschiedenen Dermatoskope.

Das in der Optik bekannte Problem der Randschärfe lässt sich bei sphärischen Linsen nicht vermeiden und kann nur durch Verwendung komplexer Linsensysteme verhindert werden.

4.1.3. Verzerrungen

Für alle Bilder wurde eine Verzerrungskorrektur von -2×10^{-8} bestimmt. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Verzerrung aller Dermatoskope mehr oder weniger gleich ist. Es konnte kein sichtbarer Unterschied zwischen den Geräten ermittelt werden. Zu überlegen ist, ob die Verzerrung auch durch die Kameraoptik hervorgerufen wurde.

4.1.4. Farbe

Bei der Farbuntersuchung spielte vor allem der Weißabgleich und die unterschiedliche Farbtemperatur, das heißt die Lichtfarbe der Lichtquellen, eine Rolle.

Insgesamt war zu beobachten, dass trotz der Wahl entsprechender Weißabgleichprofile Heine Delta 10[®] eher nach rot tendierte, während die anderen mit LED ausgestatteten Dermatoskope eher nach blau tendierten.

Dermogenius[®] bildete den Grauton am besten in den RGB-Farbraum ab. Heine Delta 10[®] erreichte eine ähnliche Übereinstimmung der Farbkomponenten. Bei der Farbe Schwarz war für diese beiden Geräte ein ähnliches Resultat zu beobachten. Alle anderen Dermatoskope wichen wesentlich nach blau ab, was sich in einem erheblich höheren Wert der Blaukomponente gegenüber der Rot- und Grünkomponente zeigte. Zudem war bei diesen Geräten auch die Rotkom-

ponente schwächer. Hieraus können jedoch noch keine allgemeinen Schlüsse über die Farbwiedergabe gezogen werden, da die voreingestellten Profile für den Weißabgleich der Kamera eine wesentliche Rolle spielen. Diese Beobachtung lässt deshalb nur den Schluss zu, dass die Weißabgleich-Einstellung „Kunstlicht“ der verwendeten Kamera mit Heine Delta 10[®] optimale Ergebnisse lieferte, während die Einstellung „Leuchtstoffröhre“ für Dermogenius[®] die beste Einstellung war. Mit den anderen Dermatoskopen könnten mit manuell erstellten Weißabgleich-Profilen möglicherweise auch ähnlich gute Farbwiedergaben erzielt werden. Jedoch würde dies einen erheblichen zeitlichen Aufwand pro Bild bedeuten und ist somit für den täglichen Gebrauch nicht praktikabel.

Bei der Analyse der Fragen muss auch berücksichtigt werden, dass die Rottöne gerade bei dem Erkennen und Differenzieren von Gefäßen eine zentrale Rolle spielen [5] [33] [40] [53]. Dieser Fragestellung sollte in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden.

Es wäre zudem interessant, in wie weit ein vom Hersteller angegebener Wert über die Lichttemperatur der Beleuchtung zur Erstellung von Weißabgleich-Profilen verwendet werden könnte und wie sich die Farbtemperatur von LED über deren Lebensdauer verändert.

4.2. Digitale Bildanalyse

Für die digitale Bildanalyse spielten die Merkmale „Begrenzungsschärfe“ und „Begrenzungsquotient“, also die exakte Bestimmung der Gesamtfläche sowie des Randes, die wichtigste Rolle.

Bei Heine Delta 10[®] zeigte sich bei der Bestimmung der Symmetrie-Merkmale die schlechtesten Werte im Gegensatz zu den anderen untersuchten Dermatoskopen. Wieder stellt sich hier die Frage, in wie weit dies durch die einzelne Lichtquelle zu erklären ist.

Ebenfalls zeigten sich bei Heine Delta 10[®] die schlechtesten Werte für die Begrenzungsschärfe im Vergleich zu den anderen Dermatoskopen. Auch hier mag der Grund in der einzelnen Lichtquelle liegen. Interessanterweise zeigten sich

die besten Werte für die Begrenzungsschärfe mit DermLite Foto₃₇[®] oK, das heißt, dass durch die Kontaktscheibe ein gewisser Grad der Begrenzungsschärfe verloren geht. Hingegen zeigt die Analyse der vorliegenden Bilder, dass gerade in der Untersuchung von Hauttumoren ohne Kontaktscheibe und Kontaktflüssigkeit die Darstellung von Differentialstrukturen deutlich schlechter ist. Dies ist ein gewisser Widerspruch. Dabei muss berücksichtigt werden, dass in der Dermatoskopie nicht die oberflächlich-exophytischen Strukturen von großer Wichtigkeit sind, sondern die intra-epidermalen sowie intra-dermalen. Gerade dies stellt die wichtige diagnostische Wertigkeit der Dermatoskopie dar, die gerade mit der Kontaktscheibe und –flüssigkeit im Gegensatz zum menschlichen Auge erreicht wird und dem Untersucher ermöglicht durch den aufgehobenen Brechungsindex in die Haut zu schauen.

Die Art der Lichtquellen schien einen wesentlichen Einfluss auf den Farb-Score zu haben. Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen der Farbungersuchung anhand von Testbildern überein. Heine Delta 10[®] hatte ein höheres Spektrum der Farben, wobei sich die Frage stellt, in wie weit reelle Farben dargestellt wurden. Wie schon beschrieben, kann auch hier der Grund in der einzigen Lichtquelle mit den verbundenen vermehrten Rottönen liegen. Somit sollte die Streuung der Farben so gering wie möglich sein, was bei den Geräten mit LED auch der Fall war.

Beim Durchmesser- und Flächenwert wurde herausgearbeitet, dass Heine Delta 10[®] die Hauttumore zwar einheitlicher, jedoch größer als die anderen untersuchten Dermatoskope darstellte. Der Grund hierfür liegt sicherlich nicht nur in der einzelnen Lichtquelle, sondern mag auch in einer anderen Beschaffenheit der Linse begründet liegen.

4.3. Subjektive Untersucherbewertungen

Bei der subjektiven Beurteilung der hier untersuchten Dermatoskope zeigten sich deutliche Unterschiede in den Bewertungen der Dermatoskope. Diese lagen für die jeweiligen Geräte im ähnlichen Bereich. Kritisch ist hier anzumerken,

dass es sich um subjektive Wahrnehmungen von zwei Anwendern handelte. Es zeigt, wie wichtig der Vergleich verschiedener Geräte durch den Anwender ist.

4.4. Schlussfolgerungen

Für die gute Beurteilung von pigmentierten und nicht-pigmentierten Hauttumoren unterschiedlicher Dignität mit Hilfe von Handdermatoskopen ist es unabdingbar, eine gute Qualität der Vergrößerung, der Optik und der Lichtquelle zu haben. Die Vergrößerung war bei den hier vorgestellten Dermatoskopen (Heine Delta 10[®], Heine Delta 20[®], Dermogenius[®], DermLite Foto 37[®] mit und ohne Kontaktscheibe) identisch. Die Optik zeigte hingegen Unterschiede, da ein Gerät (DermLite Foto 37[®] ohne Kontaktscheibe) ohne Kontaktscheibe mit entsprechender Flüssigkeit zwischen dieser und der Haut arbeitete. Exophytische Tumore konnten somit zwar besser räumlich beurteilt werden, doch geht dies mit einem erheblichen Verlust von normalerweise sichtbaren Differentialstrukturen einher. Die Lichtquellen sind bei den neueren Geräten (Heine Delta 20[®], Dermogenius[®], DermLite Foto 37[®] mit und ohne Kontaktscheibe) inzwischen mit sechs bzw. 24 LED deutlich verbessert worden, was die Bildqualität bezüglich Farben und sichtbaren Differentialstrukturen immens verbessert.

5. Zusammenfassung

Die Dermatoskopie ist ein elementares, nicht-invasives Untersuchungsmittel für die Dignitätsbeurteilung von pigmentierten und nicht-pigmentierten Hauttumoren bei guter Bildqualität. In der vorliegenden Arbeit wurde erstmalig ein systematischer Vergleich von Lichtverteilung, Helligkeits-, Farb- und Strukturwiedergabe, sowie der subjektiven Bewertung durch zwei Anwender der im klinischen Alltag gängigen monookularen Dermatoskope durchgeführt.

Mittels digitaler Kamera (Nikon Coolpix 995[®]) wurde von 80 Patienten mit 142 Hauttumoren jeweils ein makroskopisches und dermatoskopisches Fotos mit vier verschiedenen Dermatoskopen (Heine Delta 10[®], Heine Delta 20[®], Dermogenius[®], DermLite Foto 37[®] mit und ohne Kontaktscheibe) aufgenommen. Die Patienten wurden schriftlich aufgeklärt; das Votum der Ethikkommission lag vor.

Die Vergrößerung war bei den hier vorgestellten Dermatoskopen (Heine Delta 10[®], Heine Delta 20[®], Dermogenius[®], DermLite Foto 37[®] mit und ohne Kontaktscheibe) identisch. Die Optik zeigte hingegen Unterschiede, da ein Gerät (DermLite Foto 37[®] ohne Kontaktscheibe) ohne Kontaktscheibe und deshalb ohne Kontaktflüssigkeit arbeitete. Exophytische Tumore konnten somit zwar besser räumlich beurteilt werden, doch geht dies mit einem erheblichen Verlust von normalerweise sichtbaren Differentialstrukturen einher. Die Lichtquellen sind bei den neueren Geräten (Heine Delta 20[®], Dermogenius[®], DermLite Foto 37[®] mit und ohne Kontaktscheibe) inzwischen mit sechs bzw. 24 LED deutlich verbessert worden, was die Bildqualität bezüglich Farben und sichtbarer Differentialstrukturen immens verbessert. Es zeigten sich jedoch keine deutlichen Verbesserungen der Bilder und Werte für die Dermatoskope mit 24 LED im Vergleich zu denen mit 6 LED.

Bei der subjektiven Beurteilung der hier untersuchten Dermatoskope zeigten sich deutliche Unterschiede in den Bewertungen der Dermatoskope. Es zeigt, wie wichtig der Vergleich verschiedener Geräte durch den Anwender ist.

6. Literatur

- [1] 3Gen LLC im Internet: <http://www.dermlite.com>
- [2] Anderson RR, Parrish JA (1981) The optics of human skin. *J Invest Dermatol* 77: 13-19
- [3] Argenziano G, Fabbrocini G, Carli P, De Giorgi V, Delfino M (1999) Clinical and dermoscopic criteria for the preoperative evaluation of cutaneous melanoma thickness. *J Am Acad Dermatol* 40: 61-68
- [4] Argenziano G, Fabbrocini G, Carli P, De Giorgi V, Sammarco E, Delfino M (1998) Epiluminescence microscopy for the diagnosis of doubtful melanocytic skin lesions - Comparison of the ABCD rule of dermoscopy and a new 7-Point checklist based on pattern analysis. *Arch Dermatol* 134: 1563-1570
- [5] Argenziano G, Soyer HP, Chimenti S et al. (2003) Dermoscopy of pigmented skin lesions: Results of a consensus meeting via the Internet. *J Am Acad Dermatol* 48: 679-693
- [6] Argenziano G, Soyer HP, De Giorgi V, Piccolo D. Interactive atlas of dermoscopy. EDRA - Medical Publishing and New Media, Milan, 2000
- [7] Bahmer FA, Fritsch P, Kreusch J, et al. (1990) Diagnostische Kriterien in der Auflichtmikroskopie. Konsensus-Treffen der Arbeitsgruppe Analytische Morphologie der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Forschung, 17. November 1989 in Hamburg. *Hautarzt* 41: 513-514
- [8] Bahmer FA, Fritsch P, Kreusch J, et al. (1990) Terminology in surface microscopy. Consensus meeting of the Committee on Analytical Morphology of the Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Forschung, Hamburg, Fed-

- eral Republic of Germany, Nov. 17, 1989. *J Am Acad Dermatol* 23: 1159-1162
- [9] Bauer J, Blum A, Strohäcker U, Garbe C (2005) Surveillance of patients at high risk for cutaneous malignant melanoma using digital dermoscopy. *Br J Dermatol* 152: 87-92
- [10] Bauer J, Metzler G, Rassner G, Blum A (2001) Dermatoscopy turns Histopathologist's attention to the suspicious area in melanotic lesions. *Arch Dermatol* 137: 1338-1340
- [11] Binder M, Kittler H, Pehamberger H, Wolff K (1999) Possible hazard to patients from immersion oil used for epiluminescence microscopy. *J Am Acad Dermatol* 40: 499
- [12] Binder M, Puespoeck Schwarz M, et al. (1997) Epiluminescence microscopy of small pigmented skin lesions: short-term formal training improves the diagnostic performance of dermatologists. *J Am Acad Dermatol* 36: 197-202
- [13] Binder M, Schwarz M, Winkler A, et al. (1995) Epiluminescence microscopy. A useful tool for the diagnosis of pigmented skin lesions for formally trained dermatologists. *Arch Dermatol* 131: 286-291
- [14] Binder M, Steiner A, Schwarz M, et al. (1994) Application of an artificial neural network in epiluminescence microscopy pattern analysis of pigmented skin lesions: a pilot study. *Br J Dermatol* 130: 460-465
- [15] Blum A, Ellwanger U, Lüdtke H, Garbe C (1999) Digital image analysis of pigmented lesions: The Tübinger Mole Analyser. *Skin Res Technol* 5: 127
- [16] Blum A, Lüdtke H, Ellwanger U, Schwabe R, Rassner G, Garbe C (2004) Digital image analysis for diagnosis of cutaneous melanoma. Development

- of a highly effective computer algorithm based on analysis of 837 melanocytic lesions. *Br J Dermatol* 151: 1029-1038
- [17] Blum A, Metzler G, Hofmann-Wellenhof R, Soyer HP, Garbe C, Bauer J (2003) Korrelation von Dermatoskopie und Histologie bei melanozytären und nicht-melanozytären Hauttumoren. *Hautarzt* 54: 279-293
- [18] Blum A, Rassner G, Garbe C (2000) Auflichtmikroskopie und digitale Bildanalyse pigmentierter Hautveränderungen. Tagung am 3. und 4. Dezember 1999 in Tübingen. *Hautarzt* 10: 786-788
- [19] Braun-Falco O, Stolz W, Bilek P, Merkle T, Landthaler M (1990) Das Dermatoskop. Eine Vereinfachung der Auflichtmikroskopie von pigmentierten Hautveränderungen. *Hautarzt* 41: 131-136
- [20] Braun RP, Lemonnier E, Guillod J, Skaria A, Salomon D, Saurat JH (1998) Two types of pattern modification detected on the follow-up of benign melanocytic skin lesions by digitized epiluminescence microscopy. *Melanoma Res* 8: 431-437
- [21] Carli P, de Giorgi V, Palli D, Giannotti V, Giannotti B (2000) Preoperative assessment of melanoma thickness by ABCD score of dermatoscopy. *J Am Acad Dermatol* 43: 459-466
- [22] Dal Pozzo V, Benelli C, Roscetti E (1999) The seven features for melanoma: a new dermoscopic algorithm for the diagnosis of malignant melanoma. *Eur J Dermatol* 9: 303-308
- [23] DatInf im Internet: <http://www.moleexpert.de>
- [24] Franz H, Frank R, Rytter M, Haustein UF (1998) Allergic contact dermatitis due to cedarwood oil after dermatoscopy. *Contact Dermatitis* 38: 182-183
- [25] Grant Kels JM, Bason ET, Grin CM (1999) The misdiagnosis of malignant melanoma. *J Am Acad Dermatol* 40: 539-548

-
- [26] Heine Optotechnik im Internet: <http://www.heine.com>
- [27] Hoegl L, Stolz W, Braun-Falco O (1993) Historische Entwicklung der Auflichtmikroskopie. *Hautarzt* 44: 182-185
- [28] CCITT/ITU T.81 (1992) Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images - Requirements and Guidelines
- [29] Kerl H, Wolf IH, Sterry W, Soyer HP (1995) Dermatoskopie. Eine neue Methode zur klinischen Diagnose des malignen Melanoms. *Dtsch Med Wochenschr* 120: 801-805
- [30] Kittler H, Pehamberger H, Wolff K, Binder M (2002) Diagnostic accuracy of dermoscopy. *Lancet Oncol* 3: 159-165
- [31] Kittler H, Seltenheim M, Pehamberger H, Wolff K, Binder M (1998) Diagnostic informativeness of compressed digital epiluminescence microscopy images of pigmented skin lesions with photographs. *Melanoma Res* 8: 255-260
- [32] Kopf AW, Salopek TG, Slade J, Marghoob AA, Bart RS (1995) Techniques of cutaneous examination for the detection of skin cancer. *Cancer* 75: 684-690
- [33] Kreusch J, Koch F (1996) Auflichtmikroskopische Charakterisierung von Gefäßmustern in Hauttumoren. *Hautarzt* 47: 264-272
- [34] Kreusch J, Rassner G *Auflichtmikroskopie pigmentierter Hauttumoren*. Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1991
- [35] Kreusch J, Rassner G, Trahn C, Pietsch Breitfeld B, Henke D, Selbmann HK (1992) Epiluminescent microscopy: a score of morphological features to identify malignant melanoma. *Pigment Cell Res Suppl* 2: 295-298

-
- [36] MacKie RM (1971) An aid to the preoperative assessment of pigmented lesions of the skin. *Br J Dermatol* 85: 232-238
- [37] Malvehy J, Puig S (eds) (2002) *Principles of Dermoscopy*. Cege Editors, Barcelona
- [38] Mayer J (1997) Systematic review of the diagnostic accuracy of dermatoscopy in detecting malignant melanoma. *Med J Aust* 167: 206-210
- [39] Melski JW (1993) Water-soluble gels in epiluminescence microscopy. *J Am Acad Dermatol* 29: 129-130
- [40] Menzies SW, Crotty KA, Ingvar C, McCarthy WH. *An atlas of surface microscopy of pigmented skin lesions*. McGraw-Hill Book Company, Sydney, New York, London, 1996
- [41] Menzies SW, Gutanev A, Avramidis M, Batrac A, McCarthy WH (2001) Short-term digital surface microscopic monitoring of atypical changing melanocytic lesions. *Arch Dermatol* 137: 1583-1589
- [42] Menzies SW, Ingvar C, Crotty KA, McCarthy WH (1996) Frequency and morphologic characteristics of invasive melanomas lacking specific surface microscopic features. *Arch Dermatol* 132: 1178-1182
- [43] Menzies SW, Ingvar C, McCarthy WH (1996) A sensitivity and specificity analysis of the surface microscopy features of invasive melanoma. *Melanoma Res* 6: 55-62
- [44] Miller M, Ackerman AB (1992) How accurate are dermatologists in the diagnosis of melanoma? Degree of accuracy and implications. *Arch Dermatol* 128: 559-560
- [45] Nachbar F, Stolz W, Merkle T, et al. (1994) The ABCD rule of dermatoscopy. High prospective value in the diagnosis of doubtful melanocytic skin lesions. *J Am Acad Dermatol* 30: 551-559

-
- [46] NIKON CORPORATION Das Nikon-Handbuch zur Digitalfotografie mit der COOLPIX995 Digitalkamera, Oktober 2002. Im Internet: <ftp://ftp.nikon-euro.com/DOWNLOAD/E995/E995mgdea.pdf>
- [47] Pehamberger H, Steiner A, Wolff K (1987) In vivo epiluminescence microscopy of pigmented skin lesions. I. Pattern analysis of pigmented skin lesions. *J Am Acad Dermatol* 17: 571-583
- [48] Rodenstock Präzisionsoptik GmbH im Internet: <http://www.dermogenius.de>
- [49] Schiffner R, Gläbl A, Burgdorff T, Landthaler M, Stolz W (2000) Neue Entwicklung in der Dermatoskopie. In: Plettenberg A, Meigel WN (Hrsg.) *Dermatologie an der Schwelle zum neuen Jahrtausend. Aktueller Stand von Klinik und Forschung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 32-33
- [50] Skvara H, Teban L, Fiebiger M, Binder M, Kittler H (2005) Limitation of Dermoscopy in the Recognition of Melanoma. *Arch Dermatol* 141: 155-160
- [51] Steiner A, Pehamberger H, Wolff K (1987) In vivo epiluminescence microscopy of pigmented skin lesions. II. Diagnosis of small pigmented skin lesions and early detection of malignant melanoma. *J Am Acad Dermatol* 17: 584-591
- [52] Stolz W (1993) Ist die Verwendung von Öl zur Auflichtmikroskopie notwendig? *Hautarzt* 44: 742-743
- [53] Stolz W, Braun-Falco O, Bilek P, Landthaler M. *Farbatlas der Dermatoskopie*. Blackwell Wissenschaft, Berlin, 2002

-
- [54] Stolz W, Riemann A, Cagnetta AB, et al. (1994) ABCD rule of dermatoscopy: a new practical method for early recognition of malignant melanoma. *Eur J Dermatol* 4: 521-527
- [55] Wolf IH, Smolle J, Soyer HP, Kerl H (1998) Sensitivity in the clinical diagnosis of malignant melanoma. *Melanoma Res* 8: 425-429
- [56] Zaudalek I, Argenziano G, Soyer HP, et al. (2006) Three-point checklist of dermoscopy: an open internet study. *Br J Dermatol* 154: 431-437
- [57] Zaudalek I, Grinschgl S, Argenziano G, et al. (2006) Age related prevalence of dermoscopy patterns in acquired melanotic naevi. *Br J Dermatol* 154: 299-304.

Danksagung

Mein Dank gilt an erster Stelle meinem Doktorvater Herrn **Privatdozent Dr. med. A. Blum**, der meine Arbeit exzellent betreute. Ich danke ihm ganz besonders für sein Vertrauen, seine Unterstützung und konstruktiven Anregungen in allen Phasen der Arbeit.

Herrn **Professor Dr. med. M. Röcken**, Ärztlicher Direktor an der Universitäts-Hautklinik Tübingen danke ich für die mir gegebene Möglichkeit, diese Promotionschrift zu erstellen.

Den Herren **Diplom-Physiker Holger Lüttke** und **Diplom-Soziologen Ulf Ellwanger** danke ich dafür, dass sie mir ihr Bildanalyseprogramm zur Verfügung gestellt haben und dadurch entscheidend zur Auswertung der Daten beitragen.

Den Firmen **Heine Optotechnik**, Herrsching/Germany, **Rodenstock Präzisionsoptik GmbH**, München/Germany und **3Gen LLC**, USA danke ich für die Leihgabe ihrer Dermatoskope.

Den **Patienten der Universitäts-Hautklinik Tübingen** danke ich für ihre Zustimmung zu den für die Arbeit notwendigen Aufnahmen.

Allen **Mitarbeitern der Universitäts-Hautklinik Tübingen** danke ich für die wertvolle Mithilfe und freundliche Arbeitsatmosphäre während der Erstellung der Arbeit ganz speziell danke ich **Oliver Hallmaier** (Fotograf) für seine Unterstützung.

Ein ganz besonderer Dank geht an **meine Eltern**, die mir das Studium der Medizin ermöglicht haben und stets an mich glaubten.

Letztendlich gilt mein herzlichster Dank meinem Freund **Jochen Kögel**, der mich persönlich unterstützte und mir mit Rat und Tat zur Seite stand.

Lebenslauf

Name: Simone Jaworski

Geburtsdatum: 12. Juni 1981

Geburtsort: Münsingen

Familienstand: ledig

Eltern: Karl-Heinz Jaworski
Gabi Jaworski

Staatsangehörigkeit: Deutsch

Schulausbildung: 1987 - 1991 Grundschule Weikersheim
1991 - 1992 Gymnasium Weikersheim
1992 - 2000 Lessing Gymnasium Winnenden,
Abitur im Juni 2000

Studium: April 2001 Beginn des Medizinstudiums an der
Eberhard-Karls- Universität zu Tübingen
24.03.2003 Ärztliche Vorprüfung
13.11.2007 Staatsexamen