

Photogrammetrische 3D-Erfassung und Auswertung medikamentös induzierter „Gänsehaut“

ANDREAS HECHT¹ & DANILO SCHNEIDER¹

Zusammenfassung: In diesem Projekt werden photogrammetrische Aufnahme- und Auswertetechniken untersucht, um damit eine Studie zur Untersuchung der autonomen Nervenfunktion der Haut an dem Universitätsklinikum Dresden zu unterstützen. Dabei wird gezeigt und experimentell nachgewiesen, dass mit Hilfe von photogrammetrischen Techniken menschliche Gänsehaut dreidimensional erfasst und nahezu vollautomatisch aus Sicht medizinischer Fragestellungen mit einer relativen Genauigkeit von 1 % ausgewertet werden kann.

1 Einleitung

Die menschliche Haut ist mit einer Oberfläche von 1,5 – 2 m² das größte Organ des Organismus (FRITSCH 2009). Sie ist prinzipiell in drei Schichten aufgebaut (siehe Abbildung 1) und erfüllt eine Reihe an Funktionen, unter anderem die Schutzfunktion.

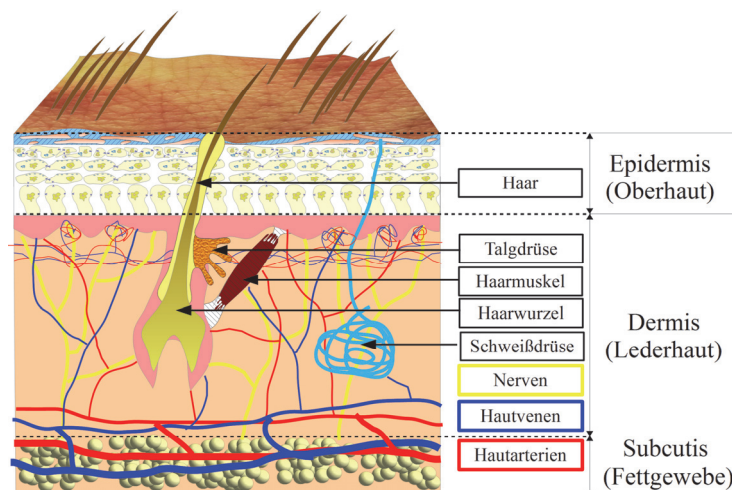


Abb. 1: Schematischer Aufbau der menschlichen Haut in Anlehnung an FRITSCH (2009)

Dabei werden äußere Reize, wie beispielsweise Temperatur oder Schmerzen, durch die in ihr liegenden autonomen Nervenfasern an das zentrale Nervensystem weitergeleitet, dass daraufhin reagiert. Eine mögliche Reaktion des Nervensystems zeigt sich in Form von Gänsehaut an der Hautoberfläche. Dabei ziehen sich die „musculus arrector pili“, oder auch Haarmuskeln genannt, in der zweiten Hautschicht, der Lederhaut, zusammen und stimulieren dabei Talgdrüsen, die zum Schutz der Haut Talg an die Hautoberfläche befördern.

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Professur für Photogrammetrie, E-Mail: hecht.andreas@gmx.net, danilo.schneider@tu-dresden.de

In einer derzeitigen Studie an dem Universitätsklinikum Dresden, Klinik und Poliklinik für Neurologie, wird dieser Zusammenhang zwischen Gänsehaut und dem Nervensystem des Menschen untersucht. Dabei wird ein Verfahren getestet, bei dem als Zielparameter die Funktion der autonomen Hautnervenfasern im Vordergrund steht. Um diese zu beurteilen wird bei einem Probanden ein Medikament auf der Haut appliziert, das zu einer lokalen Gänsehaut führt (SIEPMANN et al. 2013). Anhand der Fläche, die durch direkte sowie indirekte Stimulierung der am Applikationsort liegenden Hautnervenfasern in Form von Gänsehaut sichtbar wird, kann auf die Nervenfunktion der Haut geschlossen werden. In einem bisherigen Auswerteverfahren wird dafür ein Silikonabdruck von dem stimulierten Bereich angefertigt. Dieser Abdruck wird zur Kontrasterhöhung mit Tonerfarbe eingefärbt, bevor dieser zweidimensional digitalisiert und anschließend anhand eines interaktiv gewählten Schwellwerts ausgewertet wird. Das Ergebnis dieser Auswertemethode sind zweidimensionale Größen, wie die Fläche einzelner Erhebungen bzw. die Gesamtfläche sowie die Anzahl aller Erhebungen. Ein weiterer, aus medizinischer Sicht interessanter Parameter ist das Volumen einzelner Erhebungen, das mit dieser Aufnahme- und Auswertemethode nicht bestimmt werden kann.

2 Zielstellung

Aufgrund der beschriebenen Problematik ist das Ziel dieser Arbeit, verschiedene, insbesondere photogrammetrische Oberflächenmessverfahren, hinsichtlich ihrer Eignung zur Aufnahme der genannten Silikonabdrücke zu untersuchen und gegenüberzustellen. Unter der Annahme, dass eine Erhebung mindestens 0,05 mm hoch ist, ist ein Verfahren dann geeignet, wenn dieses theoretisch in der Lage wäre, diesen Höhenunterschied aufzulösen.

Ein weiteres Ziel ist es, eine Auswahl der untersuchten Aufnahmeverfahren an Silikonabdrücken anzuwenden und aus den damit erzeugten Daten eine Auswertestrategie hinsichtlich medizinisch relevanter Fragestellungen zu entwickeln. Diese Fragestellung richtet sich nach den abzuleitenden Parametern Anzahl aller Erhebungen, der Fläche sowie dem Volumen einer einzelnen Erhebung und der Gesamtfläche des stimulierten Bereichs.

Sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Auswertung sind die angewandten Verfahren hinsichtlich ihrer erreichbaren Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu bewerten. Zudem wird auch der Automatisierungsgrad des gesamten Prozesses von der Gänsehaut bis zu den abgeleiteten Parametern betrachtet.

3 Datenakquisition

Bei der theoretischen Betrachtung der Oberflächenmessverfahren wird in Anlehnung an (NOTNI 2007) eine Kategorisierung der Verfahren aufgezeigt. Da für diese Arbeit aufgrund der Beschaffenheit von Silikonabdrücken nur optische Messverfahren von Interesse sind, werden diese in koaxiale, triangulationsbasierte und tomographische Verfahren unterteilt, bevor die einzelnen Verfahren genauer betrachtet werden. Bei diesen Betrachtungen wird gezeigt, dass diese Messverfahren in der Lage sind, Höhenunterschiede bis in den Nanometerbereich aufzulösen (SCHERER 2007). Unter Berücksichtigung der im Rahmen dieser Arbeit praktischen Umsetzbarkeit sind vier unterschiedliche Verfahren ausgewählt und experimentell getestet worden. Zu den

ausgewählten Verfahren gehören das Lichtschnittverfahren (MicroScribe/ MicroScan), Streifenlichtprojektionsverfahren (GOM Atos Triple Scan II), phasogrammetrische Verfahren (Kolibri Flex) sowie das triangulationsbasierte Structure-from-Motion Verfahren (NIKON D700 + Agisoft PhotoScan).

Die Besonderheit bei dem zuletzt genannten Verfahren ist die Maßstabsbestimmung sowie die Abschätzung der Genauigkeit, da Structure-from-Motion-Algorithmen in der Lage sind, eine Szene aus Bildern dreidimensional zu rekonstruieren, jedoch ohne deren Maßstab festzulegen. Um dieses Maßstabsproblem zu lösen, ist auf einem Drehteller ein Testfeld mit aufgedruckten und eingemessenen Zielmarken fixiert worden. Anhand dieser Zielmarken ist es möglich mit der Auswertesoftware „Agisoft PhotoScan“ diese automatisch zu detektieren und für die Maßstabsfestlegung zu verwenden. Für die Aufnahme selbst sind neben der Kamera, ein Makroobjektiv sowie Zwischenringe für eine Vergrößerung des Bildmaßstabs verwendet worden. Aufgrund der langen Belichtungszeit bei Makroobjektiven wird die Kamera auf einem Stativ fixiert. Abbildung 2 zeigt die konzentrische Aufnahmeanordnung des Messobjekts aus zwei verschiedenen Perspektiven.

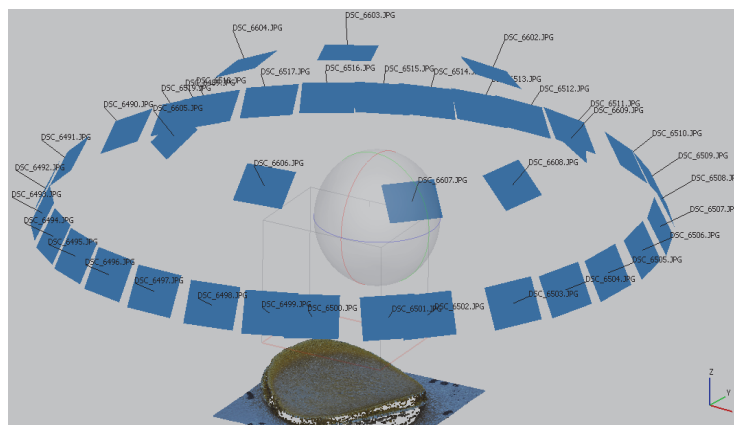


Abb. 2: konzentrische Aufnahmeanordnung (dargestellt in Agisoft PhotoScan)

Eine Genauigkeitsabschätzung erfolgt durch die Beurteilung der Restklaffungen der Passpunkte im Bezug zu dem Modell. Für eine weitere Abschätzung der Genauigkeit werden pragmatisch lokale Bereiche der umliegenden Auflagefläche als eben angenommen. Dadurch ist es möglich, in dieser ebenen Fläche eine mathematisch beschriebene Ebene einzupassen und deren Standardabweichung als Genauigkeitskriterium für die Z-Koordinate heranzuziehen.

Die Genauigkeitsabschätzungen der weiteren Verfahren erfolgten zum einen über die Angabe der Hersteller bzw. die erreichte Kalibriergenauigkeit und zum anderen ebenfalls durch die lokale Einpassung von Ebenen. Damit konnten die Herstellerangaben für jedes Verfahren im Zusammenhang mit Silikonabdrücken bestätigt werden. Das Resultat jeder Aufnahme ist eine dreidimensionale Punktwolke. Tabelle 1 stellt die Ergebnisse der Genauigkeitsabschätzung sowie weitere relevante Informationen bezüglich der Aufnahme zusammengefasst dar.

Tab. 1: Gegenüberstellung der angewandten Messsysteme

	ATOS Triple Scan II	Kolibri Flex	MicroScan	PhotoScan
Aufnahmeaufwand	60 min	45 min	60 min	330 min
Systemkosten (ca.)	100.000 €	80.000 €	18.000 €	8.000 €
Kalibrierung	Testfeld	Simultan	Testfeld	Simultan
absolute Genauigkeit	0,005 mm	0,005 mm	0,138 mm	0,015 mm
relative Genauigkeit	1 : 10.000	1 : 10.000	1 : 362	1 : 3333
laterale Auflösung	0,104 mm	0,053 mm	0,138 mm	0,018 mm
relative Punktdichte	107 pkt/mm ²	663 pkt/mm ²	179 pkt/mm ²	2916 pkt/mm ²

Die besten Genauigkeiten liefern bei einer relativ kurzen Aufnahmezeit die Systeme ATOS und Kolibri. Als Nachteil ist bei diesen Systemen der hohe Preis anzusehen. Die unterschiedliche Punktdichte bei beiden Systemen kann nicht mit einem Qualitätsunterschied begründet werden, sondern liegt dies vielmehr in der systeminternen Reduzierung der Punktwolke und kann daher nicht als Nachteil angesehen werden.

Eine etwas schlechtere Genauigkeit wird bei der bildbasierten Auswertung in Agisoft PhotoScan erreicht. Bei diesem System sind vor allem die niedrigen Systemkosten erwähnenswert, da dadurch dieses System im Vergleich zu den anderen als Low-Cost-System angesehen werden kann. Dieser Vorteil der niedrigen Systemkosten wird unter anderem durch den langen Aufnahme- und Auswerteaufwand kompensiert. Ein weiterer Punkt ist die enorm hohe Punktdichte bei diesem System. Dies sollte eher als Nachteil angesehen werden, da aufgrund dessen eine Weiterverarbeitung erschwert werden könnte. Mit dem System MicroScan ist die geforderte Genauigkeit nicht erreicht worden.

4 Auswertung

Für die Auswertung ist in diesem Fall die oberflächenspezifische zweieinhalbdimensionale Datenstruktur der Punktwolke ausgenutzt worden. Durch Interpolation der Punktwolke auf ein regelmäßiges Raster konnten sogenannte Tiefenbilder erstellt werden. Der Vorteil dieser Tiefenbilder liegt darin, dass Daten anhand von Bildverarbeitungsalgorithmen ausgewertet werden können. Die Genauigkeit der Zielparameter wird durch Varianzfortpflanzung berechnet.

4.1 Vorverarbeitung

Im ersten Schritt der Auswertung sind die Tiefenbilder anhand eines Medianfilters geglättet worden. Dies ist notwendig um hochfrequentes Rauschen zu filtern (JIANG & BUNKE 1997). Dabei ist aufgefallen, dass bei den Systemen Atos und Kolibri kaum eine Filterwirkung stattgefunden hat. Dies ist auf etwaige systeminterne Filterung der Daten zurückzuführen.

Im nächsten Schritt der Vorverarbeitung sind die Daten um einen langwelligen Anteil zu reduzieren. Dieser Anteil entsteht bei der Herstellung der Silikonabdrücke, da diese bei den

Probanden auf der Oberseite des Unterarms erzeugt worden sind und an dieser Stelle eine natürliche Wölbung des Arms vorhanden ist. Abbildung 3 zeigt das Tiefenbild vor und nach der Reduktion um den langwelligen Anteil.

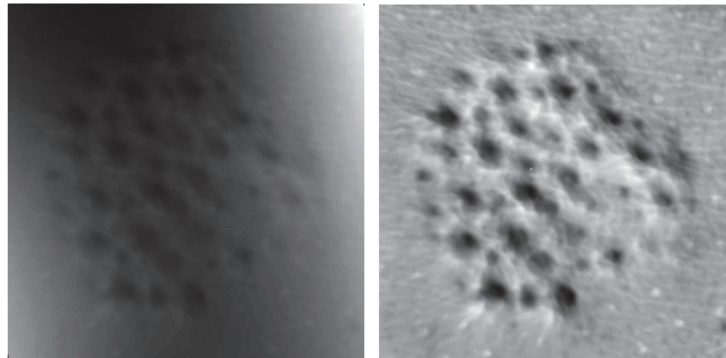


Abb. 3: Reduzierung der Ausgangsdaten um ihren langwelligen Anteil (links: Ausgangsdaten, rechts: gefilterte Daten)

4.2 Segmentierung

Ein weiterer Vorteil dieser Tiefenbilder ist, dass jeder Grauwert als Höhe angesehen werden kann. Dies ermöglicht beispielsweise eine pixelbasierte Auswertung anhand von Schwellwerten. In JÄHNE (2012) wird gezeigt, dass diese Schwellwertverfahren sich dann eignen, wenn Objekte mit gleichen Grauwerten vorkommen. Dies ist hier nicht der Fall, da von unterschiedlichen starken Erhebungen bzw. im Silikonabdruck Vertiefungen ausgegangen werden muss. Aus diesem Grund findet die Segmentierung anhand einer in HANDELS (2009) aufgegriffener Texturanalysemethode statt. Dabei wird in einem Fenster die Texturenergie nach Laws berechnet und anhand eines relativen Schwellwerts von 15 % der maximalen Texturenergie segmentiert.

Für die finale Segmentierung sind noch weitere Kriterien berücksichtigt worden. Zum Einen, dass keine Erhebung eine Höhe kleiner Null aufweist und zum Anderen, dass keine Erhebungen an den Randbereichen existieren. Werden diese Bedingungen als binäre Matrizen mit dem Format des Tiefenbilds formuliert, so können durch eine logische UND- Verknüpfung diese zu einer finalen Segmentierung zusammengefasst werden. Das Ergebnis ist die Trennung inhaltlich relevanter Bereiche vom Hintergrund.

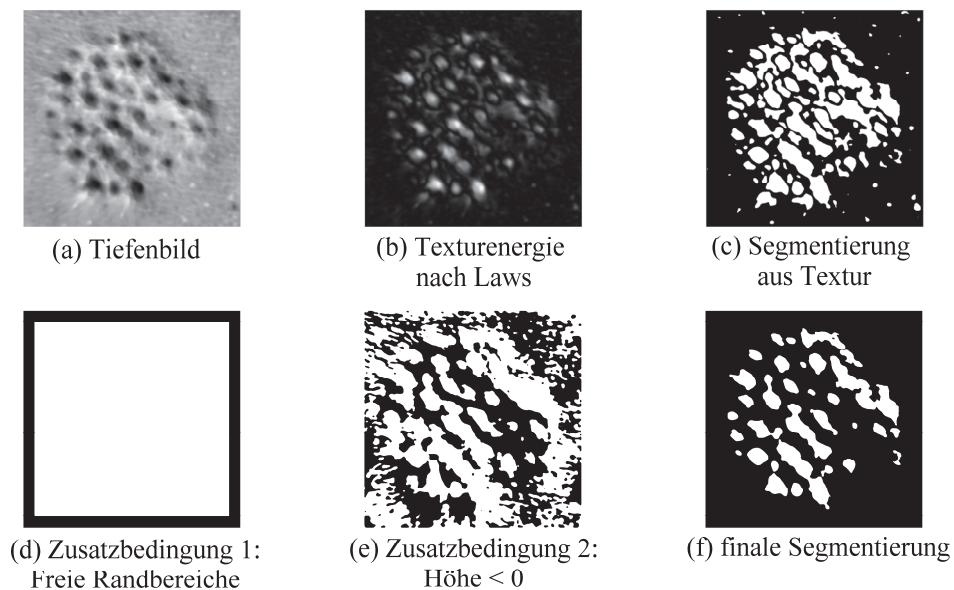


Abb. 4: Segmentierung des Tiefenbildes

4.3 Merkmalsextraktion

Im nächsten Schritt werden alle zusammenhängenden Bereiche aufsteigend nummeriert. Da zwei oder mehrere dicht nebeneinanderliegende Erhebungen in einem Bereich gemeinsam segmentiert worden sein können, bedarf es einer Nachuntersuchung aller einzelnen Bereiche. Bei dieser Untersuchung werden anhand eines 5×5 Nachbarschaftskriteriums alle segmentierten Rasterelemente betrachtet. Liegt das zu betrachtende zentrale Element nicht an der Stelle in diesem 5×5 Fenster mit der geringsten Höhe, so wird das Element unter Vorhaltung der Ausgangskordinaten an die Stelle mit der geringsten Höhe verschoben und das Suchfenster dementsprechend angepasst. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis das zu betrachtende mittlere Element des Fensters das Element mit der niedrigsten Höhe ist. Im Anschluss daran werden die Elemente mit identischen Koordinaten zusammengefasst und nummeriert, bevor die Einzelelemente in das Ausgangskordinatensystem zurücktransformiert werden. Das Ergebnis sind Abgrenzungen der einzelnen Erhebungen, deren Fläche und Volumen durch die Summe der zugehörigen Rasterelementflächen bzw. -volumen berechnet wird.

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Auswertung sind die geforderten abzuleitenden Parameter: Anzahl der Erhebungen, die Gesamtfläche der Stimulierung sowie die Grundfläche und das Volumen jeder einzelnen Erhebung. Diese können für weitere Interpretationen aus medizinischer Sicht visualisiert werden (siehe Abbildung 5).

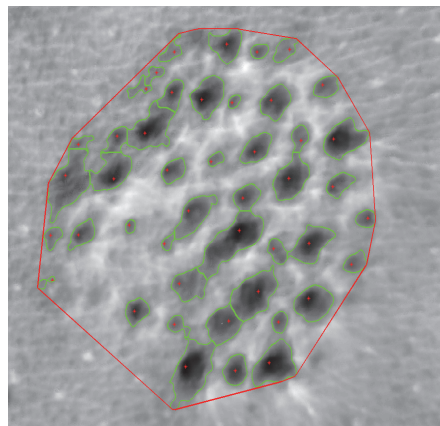


Abb. 5: Visualisierung der Ergebnisse

Für eine Genauigkeitsabschätzung der Fläche und des Volumens jeder Erhebung wird mittels Varianzfortpflanzung zuerst die relative Genauigkeit eines jeden Rasterelements bestimmt bevor diese dann wiederum aufsummiert werden. Für die Interpretation der Genauigkeiten werden die Extremwerte sowie der RMSE betrachtet (siehe Tabelle 2).

Tab. 2: Genauigkeitsbetrachtungen

	Fläche	Volumen
MIN	$A \pm 0,49 \%$	$V \pm 0,56 \%$
MAX	$A \pm 5,82 \%$	$V \pm 6,04 \%$
RMSE	1,03 %	1,05 %

Des Weiteren konnten mit den abgeleiteten Parametern weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Beispielsweise ist untersucht worden, ob ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Grundfläche einer Erhebung und dessen Volumen besteht. Dafür sind die Ergebnisse in einem Flächen-Volumen-Diagramm betrachtet und mithilfe der Regressionsanalyse ein linearer Zusammenhang aufgestellt worden. Dabei zeigt sich, dass bei diesem Beispiel ein linearer Zusammenhang zwischen Fläche und Volumen erkennbar ist.

Eine weitere Untersuchung ist die Überprüfung der Grundflächegeometrie einzelner Erhebungen auf Kreisförmigkeit. Dafür sind ausgleichende Kreise in das reale Umringspolygon eingepasst worden. Hierbei zeigt sich, dass sich die Kreisflächen lediglich gering im Genauigkeitsniveau von den realen Flächen unterscheiden.

6 Fazit und Ausblick

Die menschliche Haut ist ein komplexes Organ, das im Zusammenhang mit dem zentralen Nervensystem steht. Um das Nervensystem anhand der Haut beurteilen zu können, werden äußere Reize in Form einer Applizierung eines Medikaments simuliert, um eine Reaktion der in der Haut

liegenden Nerven zu verursachen. Medizinisch betrachtet stellt sich dabei die Frage, inwiefern eine indirekte Stimulation der am Applikationsort umgebenden Nerven stattgefunden hat bzw. welche Eigenschaften der stimulierte Bereich im Detail hat.

Für die Beantwortung dieser Fragestellung ist im Rahmen der Arbeit ein Verfahren entwickelt worden. Bei diesem Verfahren konnten relative Genauigkeiten von 1 % der Objektgröße erreicht werden, was das photogrammetrische Aufnahme- und Auswertepotential zur Erfassung von medikamentös induzierter Gänsehaut experimentell nachgewiesen hat.

Für weitere Untersuchungen empfiehlt es sich, diese Auswertung auf größere Stichproben zu beziehen, um aus medizinischer Sicht statistisch auswertbare Ergebnisse zu erhalten. Ein weiterer Punkt wäre die Diskussion von Silikon als geeignetes Dokumentationsmedium, da der Silikonabdruck eine nicht einschätzbare Fehlerquelle darstellt.

Aus diesem Grund sollte ein Verfahren entwickelt werden, bei dem die Stimulation direkt am Mensch erfasst werden kann.

7 Danksagung

Die Autoren danken Elka Frenz und Timo Siepmann vom Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Dresden, Klinik und Poliklinik für Neurologie für die aus photogrammetrischer Sicht interessante Fragestellung sowie die konstruktiven Diskussionen und Anregungen.

8 Literaturverzeichnis

- FRITSCH, P., 2009: Dermatologie und Venerologie für das Studium. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- HANDELS, H., 2009: Medizinische Bildverarbeitung - Bildanalyse, Mustererkennung und Visualisierung für die computergestützte ärztliche Diagnostik und Therapie. 2. Auflage, Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- JÄHNE, B., 2012: Digitale Bildverarbeitung - und Bildgewinnung. 7. Auflage, Heidelberg: Springer Verlag.
- JIANG, X. & BUNKE, H., 1997: Dreidimensionales Computersehen - Gewinnung und Analyse von Tiefenbildern. Berlin: Springer-Verlag.
- NOTNI, G., 2007: Verfahren zur optischen 3-D-Messtechnik. Handbuch zur Industriellen Bildverarbeitung - Qualitätssicherung in der Praxis, Bauer, N. (Hrsg.), Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, S. 214-232.
- SCHERER, S., 2007: Fokus-Variation zur optischen 3-D-Messung im Mikro- und Nanobereich. Handbuch zur industriellen Bildverarbeitung - Qualitätssicherung in der Praxis, Bauer, N. (Hrsg.), Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, S. 198-202.
- SIEPMANN, T., ILLIGENS, B. M.-W. & PENZLIN, A. I., 2013: Autonome Nervenkrankheiten - Früherkennung und leitliniengerechte Behandlung. DMW - Deutsche Medizinische Wochenschrift **30**, S. 1529-1532.