

Mit KI und in 3D: Digitale Dermatologie



Die Dermatologie befindet sich im Umbruch: Klassische bildgebende Verfahren werden zunehmend mit Künstlicher Intelligenz (KI) kombiniert, um Diagnosen schneller, objektiver und präziser zu stellen. Bereits etablierte Techniken wie die Dermatoskopie profitieren von digitaler Erweiterung, während neue und innovative Systeme – beispielsweise 3D-Ganzkörperscanner, konfokale Laserscanmikroskopie und die LC-OCT-Bildgebung – den Blick auf Hautveränderungen in bislang ungekanntem Detailreichtum ermöglichen.

Die Kombination dieser fortschrittlichen Technologien verspricht nicht nur einen Qualitätssprung in Diagnostik und Therapiemonitoring, sondern auch erhebliche Effizienzgewinne im klinischen Alltag. Dieser Artikel bietet eine Übersicht über den aktuellen Entwicklungsstand, über zukünftige Einsatzmöglichkeiten dieser Technologien sowie den Einsatz von KI bei den bildgebenden Verfahren in der Dermatologie.

Digitale Dermatoskopie

Die klassische Dermatoskopie dient der Analyse und Beurteilung von Oberflächenmerkmalen verschiedener Hautveränderungen mit bis zu 60-facher Vergrößerung und stellt nach wie vor die Basis der Hautkrebsdiagnostik dar [1]. Der Einsatz von seriellen Aufnahmen im Rahmen der digitalen Dermatoskopie erlaubt zusätzlich minimale Veränderungen von Hautläsionen und Muttermalen im zeitlichen Verlauf zu vergleichen. Auf dieser Datengrundlage setzen KI-Modelle an: Convolutional Neural Networks (CNNs) extrahieren morphologische Merkmale wie Farbverteilung, Formunregelmäßigkeiten und Asymmetrien und berechnen daraus standardisierte Risiko-Scores (etwa den DEXI-Score = Dermoscopy Explained Intelligence), der die Wahrscheinlichkeit für benigne oder maligne Entitäten quantifiziert (Abbildung 1 b). Moderne

Systeme liefern darüber hinaus „Heatmaps“, die auf die entscheidenden suspekten Bildregionen hinweisen und so die Nachvollziehbarkeit der KI-Entscheidung unterstützen. Ärztliche Expertise gepaart mit Unterstützung durch eine KI, also ein Zusammenspiel aus Mensch und Maschine, erzielt laut Studien aktuell die besten Ergebnisse im Hinblick auf Sensitivität und Spezifität bei der Diagnosestellung [2].

3D-Ganzkörperscanner

Ein weiterer Meilenstein ist der 3D-Ganzkörperscanner zur hochauflösenden dreidimensionalen Dokumentation dermatologischer Erkrankungen. Mit nur einer einzigen Aufnahme kann so die gesamte Hautoberfläche eines Patienten in Sekundenschnelle visualisiert werden (Abbildung 1 a).

Spezialisierte Algorithmen detektieren automatisch pigmentierte und nicht pigmentierte Läsionen, vergleichen Scans verschiedener Zeitpunkte und erkennen bereits kleinste Veränderungen. Besonders in der Prävention eröffnen sich Chancen: Maschinelles Lernen identifiziert Muster, die auf maligne Transformationen hindeuten, noch bevor sie für das Auge erkennbar sind. Studien zeigen eine deutliche Zeitersparnis und höhere Detektionsraten kleiner Läsionen im Vergleich zur manuellen Ganzkörperuntersuchung [3].

Darüber hinaus ermöglicht eine 3D-Dokumentation der Körperoberfläche auch bei chronisch-entzündlichen Hauterkrankungen wie Psoriasis vulgaris eine objektive Ermittlung des betroffenen Körperoberflächenanteils und eine anschließende Berechnung beispielsweise des Psoriasis Area and Severity Index (PASI).

Line-field konfokale optische Kohärenztomografie (LC-OCT)

Die Bildgebung mittels LC-OCT kombiniert die Vorteile der optischen Kohärenztomografie (hohe Eindringtiefe) mit der konfokalen Laserscanmikroskopie (zelluläre Auflösung). Sie ermöglicht eine schmerzfreie und hochauflösende Darstellung der oberflächlichen Hautschichten in Echtzeit [4].

Basierend auf den LC-OCT-Daten können KI-Algorithmen strukturelle Merkmale quantifizieren und dem Anwender pathologische Veränderungen in Sekundenschnelle darstellen. Derzeit eingesetzte KI-Algorithmen sind bereits in der Lage, Areale mit Basalzellkarzinomen automatisch darzustellen (Abbildung 2) und können hierbei bei der präoperativen Festlegung von Operations-

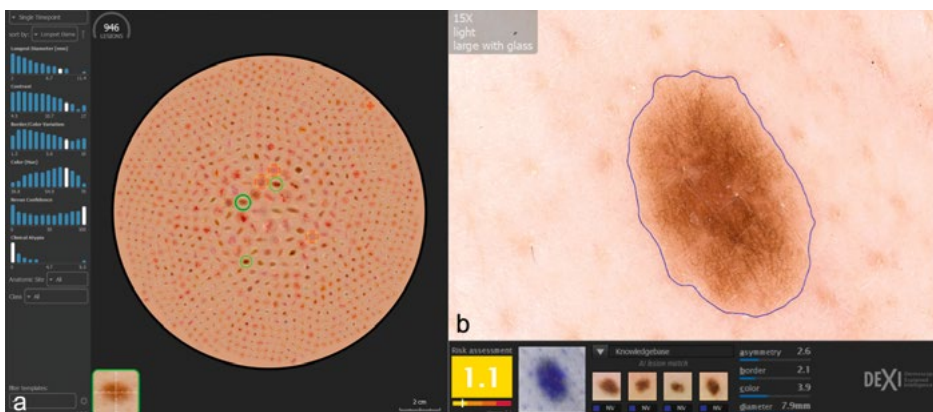


Abbildung 1: Übersichtsdarstellung aller Hautveränderungen in der 3D-Aufnahme (a) sowie anschließende digitale Dermatoskopie eines Nävuszellnävus in der 15-fachen Vergrößerung mit automatisierter Berechnung des DEXI-Scores, basierend auf morphologischen Attributen wie Asymmetrie, Begrenzung, Farbe und Durchmesser (b).

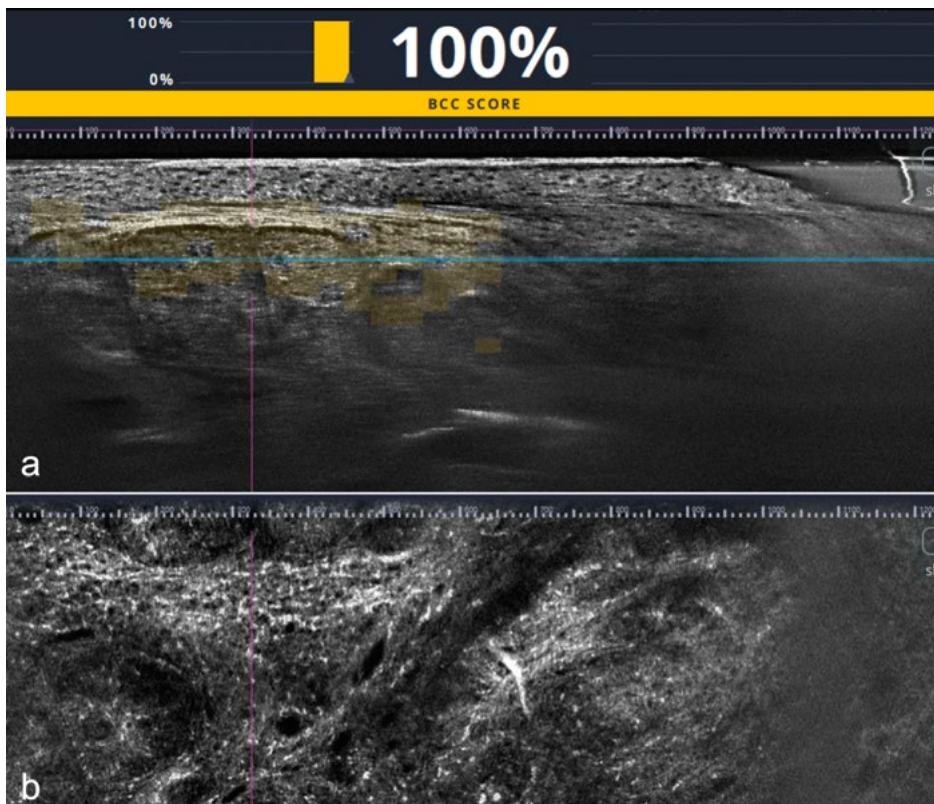


Abbildung 2: Darstellung eines soliden Basalzellkarzinoms (BCC) mittels LC-OCT-Bildgebung in der vertikalen (a) und horizontalen (b) Ansicht. Ein integrierter KI-Algorithmus markiert automatisch suspekte Areale und gibt die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Basalzellkarzinoms an.

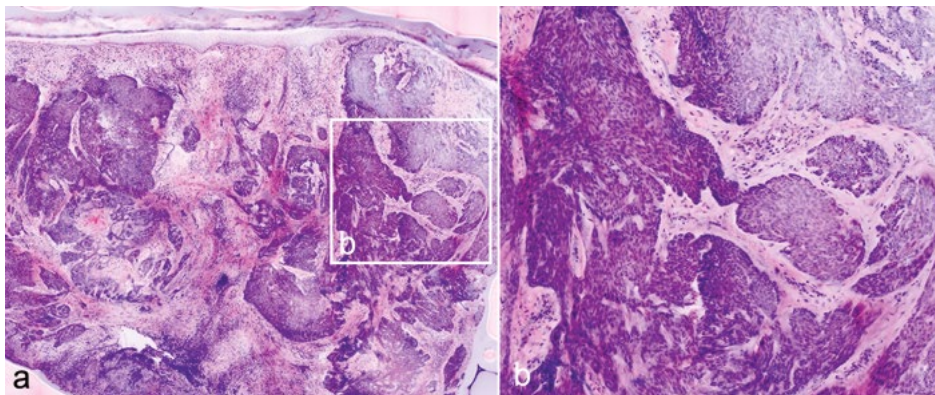


Abbildung 3: Darstellung eines soliden Basalzellkarzinoms (BCC) in der digitalen HE-Färbung mittels ex vivo konfokaler Laserscanmikroskopie: In der Übersichtsaufnahme (a) und Detailansicht (b) zeigen sich ausgehend von der Epidermis Stränge und Nester basaloider Tumorzellen mit Palisadenstellung der Kerne in den Randbereichen.

rändern behilflich sein [5]. Zudem besteht die Möglichkeit, verschiedene Hautschichten und einzelne Keratinozytenkerne zu segmentieren, um wertvolle Hinweise auf Entartungsrisiken zu liefern, etwa bei aktinischen Keratosen oder Frühformen von Plattenepithelkarzinomen [6].

Ex vivo konfokale Laserscan-mikroskopie (ex vivo KLM)

Innovative Bildgebungstechniken gewinnen nicht nur in der präoperativen Diagnostik, sondern

zunehmend auch im operativen Setting und insbesondere in der Schnellschnittdiagnostik an Bedeutung. Hier ermöglicht die ex vivo KLM intraoperative Untersuchungen von frisch exzidiertem Gewebe und generiert ohne vorherige Fixierung hochauflösende Bilder zur Darstellung von Strukturen bis auf subzellulärer Ebene.

Mithilfe digitaler Hämatoxylin-Eosin-ähnlicher Färbungen können somit Bilder erzeugt werden, die mit konventionellen histologischen Schnitten vergleichbar sind [7]. Die Bilder sind im Gegensatz

zur herkömmlichen Schnellschnittdiagnostik mit Kryostat- oder HE-Schnitten jedoch direkt vollständig digitalisiert und können mit KI-gestützten Auswertungsverfahren kombiniert werden. Studien konnten zeigen, dass Deep Learning-Modelle bei ex vivo KLM-Bildern in der Lage sind, Basalzellkarzinome und Plattenepithelkarzinome von tumorfreien Arealen der Haut mit hoher Spezifität und Sensitivität zu unterscheiden [8, 9]. Trotz der vielversprechenden Studienergebnisse befindet sich die vollautomatisierte Integration von KI-Algorithmen aktuell noch im Entwicklungsstadium.

Fazit

Die Synergie aus innovativen bildgebenden Verfahren und KI-gestützter Analyse führt zu einer objektiven, reproduzierbaren Diagnostik, die sowohl ambulant als auch im intraoperativen Setting neue Standards setzt. Zukünftige Entwicklungen werden in der multimodalen Datensynthese – der Kombination von Dermatoskopie-, 3D-Scan- und LC-OCT-Datensätzen – liegen und die KI-Algorithmen weiter verfeinern. Gleichzeitig bestehen aber auch Einschränkungen und Fehlerquellen in Bezug bei der Nutzung von KI-basierter Diagnostik. Die große Menge an valide annotierten Bilddatensätzen, die notwendig sind, um KI-Algorithmen zu trainieren, stellen eine Herausforderung dar. Auch technische Limitationen beim Auftreten von Bildartefakten, unscharfen Tumorrändern oder mangelndem Kontrast können die Genauigkeit der KI-Bildererkennung und -Bewertung einschränken. Die erfolgreiche Implementierung erfordert daher eine enge Zusammenarbeit zwischen Dermatologie, Medizintechnik und KI-Forschenden, um validierte, benutzerfreundliche Systeme in den klinischen Alltag zu integrieren und so eine personalisierte, digital unterstützte Dermatologie zu realisieren.

Das Literaturverzeichnis kann im Internet unter www.bayerisches-aerzteblatt.de (Aktuelles Heft) abgerufen werden.

Autorinnen & Autor

Dr. Maximilian Deubing^{1,2}

Paulina Pabst²

Professorin Dr. Daniela Hartmann^{1,2}

¹ Klinik für Dermatologie, Allergologie und Lasermedizin, München Klinik

² Klinik und Poliklinik für Dermatologie und Allergologie, Klinikum der Universität München