



ZEITSCHRIFT FÜR PRAKTISCHE AUGENHEILKUNDE  
& AUGENÄRZTLICHE FORTBILDUNG

MAI | 2024 | 45. JAHRGANG | 5. HEFT

---

# Die Wachsende Bedeutung von KI in der Augenheilkunde

Teil 2: KI-Anwendungen bei Glaukom, Katarakt  
und Hornhauterkrankungen

(The growing importance of artificial intelligence in ophthalmology.  
Part 2: AI applications for glaucoma, cataracts and corneal diseases.)

---

TRISTAN DAEHN  
HAMBURG

---



# Die Wachsende Bedeutung von KI in der Augenheilkunde

## Teil 2: KI-Anwendungen bei Glaukom, Katarakt und Hornhauterkrankungen

(The growing importance of artificial intelligence in ophthalmology.  
Part 2: AI applications for glaucoma, cataracts and corneal diseases.)

TRISTAN DAEHN  
HAMBURG

**Zusammenfassung:** KI-Systeme verbessern die Diagnose und Behandlung von Augenerkrankungen durch schnelle Analyse großer Bildmengen und Erkennung von Mustern, die für das menschliche Auge schwer zu identifizieren sind. Trotz der Herausforderungen wie der Einhaltung von Datenschutzvorgaben und der Datenqualität hat die KI das Potenzial, die Augenheilkunde durch verbesserte Diagnostik und effektivere Patientenversorgung nachhaltig zu verändern. Teil 2 des Beitrages behandelt die KI-Anwendungen beim Glaukom, der Katarakt sowie bei Hornhauterkrankungen und gibt einen Ausblick, wo die KI-Reise hingehen könnte.

Z. prakt. Augenheilkd. 45: 229–234 (2024)

**Summary:** AI systems enhance the diagnosis and treatment of eye diseases by rapidly analyzing large volumes of images and identifying patterns that are difficult for the human eye to detect. Despite challenges such as data privacy and data quality, AI has the potential to transform ophthalmology through improved diagnostics and more effective patient care. Part 2 of the article deals with AI applications in glaucoma, cataract and corneal diseases and gives an outlook on where the AI journey could take us. The bibliography follows at the end of the second part.

Z. prakt. Augenheilkd. 45: 229–234 (2024)

### Glaukom

Die Integration von künstlicher Intelligenz bei der Glaukomdiagnostik markiert einen Fortschritt im Kampf gegen diese weitverbreitete Augenerkrankung. Das Glaukom, das durch die Exkavation des Sehnervenkopfes und Beeinträchtigungen des Gesichtsfeldes charakterisiert ist, ist eine der häufigsten Ursache für irreversible Blindheit und betrifft weltweit mehr als 70 Millionen Menschen.

Aufgrund des globalen Bevölkerungswachstums und der Alterung wird erwartet, dass die Zahl der Glaukompatienten bis 2040 auf 112 Millionen steigt.

Neben insuffizienter Therapie und mangelnder Compliance der Patienten spielt hier vor allem eine schlechte Diagnosequalität eine erhebliche Rolle: Die meisten durch Glaukom verursachten Sehverluste könnten durch eine frühzeitige Diagnose und rechtzeitige Behandlung vermieden werden [31].

### Analyse von Papillen- und Fundusfotos sowie OCT-Bildern des Sehnervenkopfes

KI-Methoden wie maschinelles Lernen und „Deep Learning“ revolutionieren die Bewertung von strukturellen und funktionalen Veränderungen, die mit einer Glaukomerkrankung verbunden sind, indem sie verschiedene Bildgebungs- und Testmodalitäten wie Fundusfotografie und optische Kohärenztomo-

grafie (OCT) nutzen. Diese Technologien ermöglichen präzise Diagnosen und das Erkennen von Mustern, die dem menschlichen Auge entgehen könnten.

Besonders bei der Analyse von Papillenfotos und OCT-Bildern des Sehnervenkopfes zeigen KI-Algorithmen ihr Potenzial, indem sie spezifische Veränderungen identifizieren, die für die Früherkennung beim Glaukom entscheidend sind. Fortschritte in der KI-Forschung haben Systeme hervorgebracht, die mit außerordentlicher Genauigkeit glaukomatöse Optikusneuropathien bei Fundusbildern erkennen. So erreichte ein von Li et al. entwickeltes Deep-Learning-System beeindruckende Ergebnisse mit einer Spezifität von 92,0% und einer Sensitivität von 95,6%. Gleichzeitig demonstrieren Arbeiten von Ran et al., dass 3D-Deep-Learning-Systeme, die mit OCT-Datensätzen trainiert wurden, sogar mit der Leistung von Glaukomspezialisten vergleichbar sind [24].

### Früherkennung des primären Winkelblocks

KI wird auch in der Früherkennung des primären Winkelblocks eingesetzt, wie die Arbeit von Fu et al. belegt, die ein Deep-Learning-System zur automatisierten Erkennung des Winkelblocks entwickelten [9]. Darüber hinaus ermöglicht KI die Vorhersage der Glaukomprogression, wie aus den Studien von Yousefi et al. und Wang et al. hervorgeht, die innovative maschinelle Lernmethoden für die Analyse des Gesichtsfeldes einsetzen [39].

Insgesamt eröffnet die KI neue Horizonte für die Früherkennung und das Management beim Glaukom, wodurch das Risiko einer irreversiblen Sehbehinderung verringert werden kann. Diese Entwicklungen versprechen, die Effizienz und Genauigkeit der Glaukomdiagnostik erheblich zu verbessern und bieten eine Chance für bessere Screening-Methoden und Behandlungsstrategien.

## Katarakt

Die automatisierte Erkennung der Katarakt mittels Bildgebung und Fotografie durch die KI belegt einen weiteren Fortschritt in der ophthalmologischen Diagnostik. KI-Systeme, insbesondere die auf „Deep Learning“ basierenden Algorithmen, haben bewiesen, dass sie in der Lage sind, Katarakte auf Fotografien des Auges präzise zu identifizieren und zu klassifizieren. Diese Technologie ermöglicht eine effiziente und genaue Diagnose von Katarakten, was besonders den Patienten zugutekommen kann, deren Zugang zu Augenärzten deutlich erschwert ist. Dies gilt sowohl für viele Regionen weltweit als auch für Patienten mit eingeschränkter Mobilität, die sich in häuslicher oder institutioneller Pflege befinden.

Forschungen wie die von Keenan et al. belegen, dass durch Deep-Learning-Modelle – wie beispielsweise „Deep LensNet“ – Katarakte anhand von Spaltlampenbildern und Aufnahmen im regradienten Licht mit hoher Genauigkeit quantitativ klassifiziert werden können [32]. Ein weiterer Fortschritt wurde von Tham et al. erzielt, die ein KI-System auf Basis von Fundusbildern für das Katarakt screening entwickelten, das eine hohe Treffsicherheit aufweist und sich leicht in bestehende Systeme integrieren lässt – und das gleichzeitig auch andere Erkrankungen des Augenhintergrunds erkennen kann [16].

Darüber hinaus kann KI auch bei der Kataraktchirurgie unterstützen, wie Nespolo et al. demonstrieren, indem sie eine Plattform entwickelten, die Chirurgen in Echtzeit visuelles Feedback gibt, was die Sicherheit und Effizienz der Eingriffe verbessert [20]. Die Integration intelligenter Systeme kann somit weltweit einen einheitlich hohen Standard bei der Diagnose, Beratung bis hin zu Therapie etablieren und gleichzeitig die gewonnenen Daten zur Verbesserung der zukünftigen Behandlung zu nutzen.

## Hornhaut

Die Hornhaut ist zwar als vorderster Teil des Auges gut zugänglich, jedoch ist die Beurteilung der Hornhaut aufgrund ihrer Unterteilung in unterschiedliche funktionelle Schichten und ihre Relevanz als Teil des optischen Systems nicht ganz einfach. Die automatisierte Auswertung durch die KI beruht hier meist auf multimodaler Bildgebung wie z. B. Hornhauttopografie, Spaltlampenbild und Vorderabschnitts-OCT.

### Keratokonus

Der Keratokonus manifestiert sich durch Verdünnung des Stromas und Vorwölbung der Hornhaut, was einen unregelmäßigen Astigmatismus oder einen Transparenzverlust zur Folge hat. Die Früherkennung insbesondere des subklinischen Keratokonus und eine adäquate Behandlung wie das korneale Crosslinking sind für die Stabilisierung der Befunde und die Verbesserung der visuellen Prognose unerlässlich.

Ein manifester Keratokonus ist durch seine klinischen Zeichen oder mittels Hornhauttopografie zu erkennen. Eine besondere Herausforderung liegt jedoch in der Identifizierung des subklinischen Keratokonus [8]. KI kann hier bei Screening und Diagnose unterstützen. Luna et al. berichteten über eine Treffsicherheit von 89% bei der Diagnose des subklinischen Keratokonus durch ein Machine-Learning-System, das hauptsächlich auf der Pentacam-Topografie beruht. Das Modell ergab eine Sensitivität von 93% und eine Spezifität von 86%.

Timemy et al. entwickelten ein Deep-Learning-Modell, das nach Training mit 542 Augen eine Genauigkeit von 98,8% bei der Erkennung einer Erkrankung und 81,5% bei der genauen Klassifikation erreichte [1, 4].

Neben der Erkennung ist die präzise Prognose der Krankheitsentwicklung für

den gezielten Einsatz von zum Beispiel einem Crosslinking entscheidend. Jiménez-García et al. stellten ein neuronales Netzwerk vor, das die Progression des Keratokonus anhand zweier vorheriger Tomografiemessungen vorhersagen kann. Das Netzwerk, das sechs Charakteristika als Eingabe nutzte und die Ergebnisse (stabil oder verdächtig auf Progression) lieferte, zeigte positive und negative prädiktive Werte<sup>1</sup> von 71,4 % bzw. 80,2 % [13]. Diese Daten verdeutlichen das Potenzial der KI, die bei der Erstellung personalisierter Behandlungspläne für Keratokonuspatienten unterstützen können.

## Refraktive Chirurgie

Trotz standardisierter präoperativer Untersuchungen bleibt es eine wesentliche Herausforderung, die Augen zu dektieren, die ein Risiko für eine verfahrensinduzierte Ektasie aufweisen. Die KI bietet die Chance postoperative Komplikationen nach Laserverfahren zu minimieren, indem sie Patienten, bei denen ein Risiko besteht, präoperativ korrekt diagnostizieren und dann mit dem richtigen Verfahren behandeln. Zudem kann die KI die visuellen Ergebnisse bei der refraktiven Chirurgie verbessern, indem die Vorhersagbarkeit der postoperativen Refraktion maximiert wird.

In jüngster Zeit wurden neue KI-Plattformen entwickelt, um Kandidaten zu erkennen, die ein hohes Risiko für eine progressive Ektasie nach LASIK und Sehverminderung aufweisen. Eine solche Plattform nutzt heterogene Algorithmen, um anhand von umfangreichen Daten und assoziierten klinischen Entscheidungen erfahrener Experten geeignete Kandidaten für einen refraktiven Eingriff zu identifizieren. Diese

<sup>1</sup> Der positive prädiktive Wert beschreibt den Anteil der Personen mit positivem Testergebnis, bei denen die gesuchte Krankheit auch tatsächlich vorliegt. Der negative prädiktive Wert beschreibt den Anteil der Personen mit negativem Testergebnis, die tatsächlich nicht an der gesuchten Krankheit leiden.

Methoden übertreffen klassische Verfahren statistisch signifikant bei der Vorhersageleistung [38].

Lopes und Kollegen verwendeten eine KI-Plattform zur präoperativen Analyse von Pentacam-Bildern und erreichten damit eine hohe Sensitivität und Spezifität bei der Diagnose von verdächtigen Ektasien und dem Vorliegen eines Keratokonus.

Weitere Studien nutzen maschinelles Lernen zur Vorhersage der Ergebnisse von Eingriffen wie der „Small Incision Lenticule Extraction“ (SMILE). In einer Kohortenstudie lagen die Ergebnisse bei 93 % der Augen innerhalb von  $\pm 0,50$  dpt der durch Algorithmen vorhergesagten Ergebnisse, verglichen mit 83 % der Augen nach dem vom Chirurgen festgelegten Nomogramm [6].

## Mikrobielle Keratitis

Die mikrobielle Keratitis, die Infektion der Kornea mit Bakterien, Pilzen oder Akanthamoeben, zählt weltweit zu den Hauptursachen für eine einseitige Erblindung. Schätzungsweise sind davon jedes Jahr 1,5–2 Millionen Menschen weltweit betroffen. Fehldiagnosen und darauf basierende Behandlungen können zu erheblichen Problemen führen – bis hin zu einer Hornhautperforation, die eine Transplantation erforderlich macht.

Die Beurteilung der Schwere einer mikrobiellen Keratitis während der klinischen Untersuchung ist hochgradig subjektiv und untersucherabhängig. Die Diagnose ist nicht unproblematisch und hängt oft von den eingesetzten mikroskopischen Verfahren ab. Ein Erregernachweis gelingt oft nicht und variiert stark von Labor zu Labor [36].

In diesem Bereich steckt aber auch die Anwendung der KI noch in den Kinderschuhen. Singh et al. entwickelten ein trainiertes, automatisiertes neuronales Netzwerk, das mit einer Genauigkeit von 90,7 % eine bakterielle oder Pilz-

keratitis klassifizierte – deutlich genauer als die Vorhersagerate eines erfahrenen menschlichen Beobachters, bei dem die Rate bei 62,8 % liegt [27].

Patel et al. verwendeten die semi-automatische Segmentierung, um Ulkustiefenmessungen zu analysieren und die Variabilität der Hornhautulkusmessungen zwischen geschulten Beobachtern und der Software zu untersuchen [21]. Sie stellten fest, dass bei der Messung von Hornhautgeschwüren selbst unter Augenärzten die Variabilität besteht und fotografische sowie computergestützte Methoden zur Quantifizierung der Ulkustiefe die Variabilität verringern können.

## Konfokale Mikroskopie

Die konfokale Mikroskopie bei der Diagnose der Pilzkeratitis zum Nachweis von Pilzhyphen eingesetzt. Eine erhebliche Herausforderung bei der Analyse der konfokalen Bilder ist jedoch die Unterscheidung zwischen normalen Hornhautbildern mit der Darstellung der Hornhautnerven und den Bildern von Augen mit Pilzkeratitis, auf denen die Pilzhyphen auf komplizierten Hintergründen zu sehen sind. Wu et al. schlugen eine neuartige automatisierte Methode zur Hyphenerkennung vor, die bei der genauen Diagnose hilft. Die aktuellen Modelle befinden sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium.

Jedoch könnte die breite Anwendung anderer Bildgebungstechniken wie das Vorderabschnitts-OCT zur besseren Bewertung der Tiefe und Größe der Läsion bei Keratitispatienten neue Möglichkeiten für die Anwendung von KI in der Diagnostik und Bewertung der mikrobiellen Keratitis eröffnen [22].

## Ausblick

In den letzten Jahren hat die Anwendung künstlicher Intelligenz in der Augenheilkunde beeindruckende Fortschritte erzielt, indem sie in vielen

diagnostischen und prognostischen Aufgaben mit der Leistung von Augenärzten gleichzieht oder diese sogar übertrifft. KI-Systeme haben das Potential, die Augenheilkunde durch ihre Fähigkeit, große Datenmengen zu analysieren und Muster zu erkennen, tiefgreifend zu verändern. Diese Fortschritte versprechen eine frühere und präzisere Erkennung von Erkrankungen wie der diabetischen Retinopathie und dem Glaukom, was entscheidend zur Verhinderung des Verlustes des Sehvermögens beitragen kann.

Dabei sollen durch die KI-Systeme keineswegs die Ärzte ersetzt werden, sondern sollen zur Unterstützung und Entlastung im immer stärker verdichteten Arbeitsalltag dienen.

Trotz dieser Errungenschaften stehen wir vor Herausforderungen und der Notwendigkeit, KI-Modelle kontinuierlich an die klinische Umgebung anzupassen. Techniken des kontinuierlichen Lernens könnten KI-Systeme befähigen, sich über die Zeit hinweg zu verbessern, ähnlich wie ein Kliniker lernt und sich entwickelt. Darüber hinaus ermöglicht die KI eine Analysetiefe von Daten und Befunden, die über die visuelle Inspektion hinausgehen und eröffnet somit neue Möglichkeiten die Behandlung und Patientenbetreuung zu verbessern.

### Hohe Datenqualität und Validierung notwendig

Ein kritischer Punkt bleibt die Qualität der Daten, die KI-Systeme speisen. Ein Training auf Grundlage schlechter Datensätze wird zwangsläufig zu einer schlechten Analyseperformance führen („Garbage in, Garbage out“, GIGO<sup>2</sup>). Da Bilder niedriger Qualität im klinischen Alltag unvermeidlich sind, ist die Entwicklung von neuen Algorithmen zur Verbesserung der KI-Leistung hier von entscheidender Bedeutung.

Weiterhin bedarf es der Validierung von KI-Systemen durch prospektive Studien und die Anwendung spezieller Richtlinien wie der SPIRIT-AI- und CONSORT-AI-Erweiterungen<sup>3</sup> sind wesentlich, um den klinischen Nutzen von KI zu demonstrieren. Internationale Standards können dabei die Verbreitung neuer Technologie deutlich beschleunigen und hohe Standards gewährleisten.

### Datensicherheit

Weiterhin stellen Privatsphäre der Patienten und die Datensicherheit zentrale Herausforderungen dar. Um diese Bedenken zu berücksichtigen, wurden verschiedene Ansätze vorgeschlagen. Zunächst ist es entscheidend, dass sensible Daten nur mit Einwilligung der Patienten erhoben und für Forschungszwecke verwendet werden. Anonymisierungs- und Aggregationsstrategien sollten implementiert werden, um persönliche Details zu verschleiern und die Privatsphäre der Patienten zu schützen. Klinische Einrichtungen tragen die Verantwortung, Patientendaten sorgfältig zu behandeln, indem sie beispielsweise angemessene Sicherheitsprotokolle anwenden.

Ein weiterer wichtiger Ansatz zur Minimierung von Datenschutzrisiken ist die differentielle Privatsphäre (DP), eine auf

<sup>2</sup> GIGO besagt, dass ein Rechner mit hoher Wahrscheinlichkeit – nicht aber notwendigerweise – eine ungültige oder nicht aussagekräftige Ausgabe produziert, wenn die Eingabe ungültig oder nicht aussagekräftig ist. Sie wird üblicherweise verwendet, um darauf hinzuweisen, dass Rechner nicht von sich aus korrekte bzw. aussagekräftige Eingaben von falschen bzw. nicht aussagekräftigen unterscheiden können

<sup>3</sup> Die SPIRIT-AI- und CONSORT-AI-Initiative ist ein internationales Gemeinschaftsprojekt zur Verbesserung der Transparenz und Vollständigkeit der Berichterstattung über klinische Studien, in denen Interventionen mit künstlicher Intelligenz (KI) bewertet werden. SPIRIT-AI steht für „Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials – Artificial Intelligence“ und CONSORT-AI steht für „Consolidated Standards of Reporting Trials – Artificial Intelligence“.

Datenstörung basierende Methode, die es ermöglicht, die globale Information eines Datensatzes zu bewahren, während Informationen über Einzelpersonen reduziert werden. Diese Methode verhindert, dass externe Beobachter Rückschlüsse darauf ziehen können, ob spezifische Individuen zur Gewinnung eines Ergebnisses aus dem Datensatz verwendet wurden. Darüber hinaus wird die homomorphe Verschlüsselung, ein Verschlüsselungsverfahren, das Berechnungen aus verschlüsselten Daten ermöglicht, als Goldstandard für die Datensicherheit betrachtet. Dieser Ansatz wurde bereits erfolgreich auf KI-Algorithmen und -Daten angewendet, um sichere und gemeinsame Berechnungen zu ermöglichen.

Diese Strategien sind essenziell, um die Privatsphäre der Patienten und die Sicherheit ihrer Daten im Rahmen medizinischer KI-Anwendungen zu gewährleisten. Durch die Berücksichtigung dieser Ansätze können Forscher und Entwickler das Vertrauen in KI-Systeme stärken und gleichzeitig den rechtlichen und ethischen Anforderungen gerecht werden. Die Implementierung dieser Datenschutz- und Sicherheitsmaßnahmen ist ein wichtiger Schritt in Richtung der verantwortungsvollen Nutzung von KI in der medizinischen Forschung und Praxis, um eine sichere und effektive Patientenversorgung zu gewährleisten.

### Personalisierte Medizin

Personalisierte Medizin durch KI-gesteuerte Datenanalyse ist ein spannender Ansatz der Nutzung von KI, um aus einer Vielzahl von Patientendaten – einschließlich genetischer Informationen – personalisierte Behandlungsempfehlungen abzuleiten. Dies könnte in der Zukunft zu individuell zugeschnittenen Therapien führen, die auf die spezifi-

schen Bedürfnisse und Risikofaktoren jedes Patienten abgestimmt sind.

## KI in klinischen Studien

Die Verwendung von KI zur Verbesserung der Patientenselektion für klinische Studien wird bereits erforscht. Tools wie „IBM Watson“ können elektronische Krankenakten durchsuchen, um geeignete Studienteilnehmer zu identifizieren, was die Durchführung effizienter und zielgerichteter macht.

## Automatisierte Bildanalyse zur Verbesserung der Testeffizienz

KI-basierte Systeme werden entwickelt, um die Patientenbelastung durch regelmäßige Tests zu verringern. Bei-

spielsweise kann die Software Pegasus automatisch Fundusfotos analysieren. Solche Systeme könnten die Notwendigkeit traditioneller Tests, wie beispielsweise Gesichtsfeldmessungen, reduzieren und gleichzeitig eine kontinuierliche Überwachung ermöglichen.

## Entdeckung neuer Behandlungsziele durch KI

Die KI hilft auch bei der Erforschung der Glaukompathogenese, indem sie Datenmuster analysiert, die Hinweise auf neue Behandlungsansätze geben könnten. Durch das Verständnis komplexer Zusammenhänge, die zur Krankheitsprogression beitragen, könnten zukünftig innovative Therapien entwickelt werden.

## Fazit

Die Integration künstlicher Intelligenz in die ophthalmologische Forschung und Praxis hat das Potenzial, die Augenheilkunde auf zukünftige Herausforderungen wie den demografischen Wandel vorzubereiten und den Weg zu einer personalisierten Medizin zu ebnen. Die Überwindung bestehender Herausforderungen und die Ausschöpfung des vollen Potenzials von KI erfordern eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachdisziplinen. Dadurch kann KI eine Schlüsselrolle in der Zukunft der Augenheilkunde spielen und eine verbesserte Patientenversorgung weltweit ermöglichen.

## LITERATUR

1. *Al-Timemy AH et al (2021)* A hybrid deep learning construct for detecting keratoconus from corneal maps. *Transl Vis Sci Technol* 10: 16
2. *Amisha M, Malik P, Rathaur V (2019)* Overview of artificial intelligence in medicine. *J Family Med Prim Care* 8: 2328–2331
3. *Burlina P et al (2019)* Artificial intelligence and deep learning. In: *Computational retinal image analysis: Tools, applications and perspectives* (Hrsg: Trucco E, MacGillivray T, Xu Y). S 379–404. Academic Press, Cambridge/USA
4. *Castro-Luna, G (2021)* Diagnosis of subclinical keratoconus based on machine learning techniques. *J Clin Med* 10: 4281
5. *Cheung CY et al (2022)* A deep learning model for detection of Alzheimer's disease based on retinal photographs: a retrospective, multicentre case-control study. *Lancet. Digital Health.* 4: e806–e815
6. *Cui T et al (2020)* Applying machine learning techniques in nomogram prediction and analysis for SMILE treatment. *A J Ophthalmol* 210: 71–77
7. *Dai L et al (2024)* A deep learning system for predicting time to progression of diabetic retinopathy. *Nat Med* 21: 1–11
8. *Ferdi AC et al (2019)* Keratoconus natural progression: A systematic review and meta-analysis of 11529 eyes. *Ophthalmology* 126: 935–945
9. *Fu H et al (2019)* A deep learning system for automated angle-closure detection in anterior segment optical coherence tomography images. *Am J Ophthalmol* 203: 37–45
10. *Fujimoto JG et al (2015)* The development of OCT. In: *Cardiovascular OCT Imaging* (Hrsg: Jang I-K). S 1–21. Springer, New York
11. *Hamet P, Tremblay J (2017)* Artificial intelligence in medicine. *Metabolism* 69: 36–40
12. *Hu ZJ, Sadda SR (2019)* Image analysis tools for assessment of atrophic macular diseases. In: *Computational retinal image analysis: Tools, applications and perspectives* (Hrsg: Trucco E, MacGillivray T, Xu Y). S 353–378. Academic Press, Cambridge/USA
13. *Jiménez-García M et al (2021)* Forecasting progressive trends in keratoconus by means of a time delay neural network. *J Clin Med* 10: 3238
14. *Kapoor R (2019)* The current state of artificial intelligence in ophthalmology. *Surv Ophthalmol* 64: 233–240
15. *Kaul V, Enslin S, Gross SA (2020)* The history of artificial intelligence in medicine. *Gastrointest Endos* 92: 807–812
16. *Keenan TDL et al (2022)* DeepLensNet: Deep learning automated diagnosis and quantitative classification of cataract type and severity. *Ophthalmology* 129: 571–584
17. *Kumar S et al (2005)* Internet based ophthalmology service: impact assessment. *Br J Ophthalmol* 89: 1382
18. *Li Z et al (2023)* Artificial intelligence in ophthalmology: The path to the real-world clinic. *Cell Rep Med* 4: 101095
19. *Natarajan S et al (2019)* Diagnostic accuracy of community-based diabetic retinopathy screening with an offline artificial intelligence system on a smartphone. *JAMA Ophthalmol* 137: 1182–1188
20. *Nespolo, GR et al (2022)* Evaluation of artificial intelligence-based intraoperative guidance tools for phacoemulsification cataract surgery. *JAMA Ophthalmol* 140: 170–177
21. *Patel TP et al (2018)* Novel image-based analysis for reduction of clinician-dependent variability in measurement of the corneal ulcer size. *Cornea* 37: 331–339
22. *Patel DV, Zhang J, McGheeb CNJ (2019)* In vivo confocal microscopy of the inflamed anterior segment: A review of clinical and research applications. *Clin Exp Ophthalmol* 47: 334–345
23. *Poplin R et al (2018)* Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nat Biomed Eng* 2: 158–164
24. *Ran AR et al (2019)* Detection of glaucomatous optic neuropathy with spectral-domain optical coherence tomography: a retrospective training and validation deep-learning analysis. *Lancet Digit Health* 1: e172–e182
25. *Rim T H et al (2021)* Deep-learning-based cardiovascular risk stratification using coronary artery calcium scores predicted from retinal photographs. *Lancet Digit Health* 3: e306–e316
26. *Rocha EM et al (2015)* Could you imagine that much of images? *Arq Bras Oftalmol* 78: V–VI
27. *Saini JS (2003)* Neural network approach to classify infective keratitis. *Cur Eye Res* 27: 111–116
28. *Sarao V, Veritti D, Lanzetta P (2020)* Automated diabetic retinopathy detection with two different retinal imaging devices

- using artificial intelligence: a comparison study. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 258: 2647–2654
29. *Scheltens P et al (2021)* Alzheimer's disease. *Lancet* 397: 1577–1590
  30. *Swanson C et al (2003)* Semiautomated computer analysis of vessel growth in preterm infants without and with ROP. *Br J Ophthalmol* 87: 1474–1477
  31. *Tham YC et al (2014)* Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: A systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 121: 2081–2090
  32. *Tham YC et al (2022)* Detecting visually significant cataract using retinal photograph-based deep learning. *Nat Aging* 2: 264–271
  33. *Timoney PJ, Breathnach CS (2013)* Allvar Gullstrand and the slit lamp 1911. *Ir J Med Sci* 182: 301–305
  34. *Tsui E et al (2019)* Imaging and testing in pediatric retina: A current review of the literature. *Int Ophthalmol Clin* 59: 15–37
  35. *Wang J et al (2018)* Automated retinopathy of prematurity screening using deep neural networks. *EBioMedicine* 35: 361–368
  36. *Ung L et al (2019)* The persistent dilemma of microbial keratitis: Global burden, diagnosis, and antimicrobial resistance. *Surv Ophthalmol* 64: 255–271
  37. *Wittenberg LA et al (2012)* Computer-based image analysis for plus disease diagnosis in retinopathy of prematurity. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 49: 11–19
  38. *Yoo TK et al (2019)* Adopting machine learning to automatically identify candidate patients for corneal refractive surgery. *Npj Digit Med* 2: 1–9
  39. *Yousefi S et al (2018)* Detection of longitudinal visual field progression in glaucoma using machine learning. *Am J Ophthalmol* 193: 71–79

## KORRESPONDENZADRESSE:

**Dr. med. Tristan Daehn**

nordBLICK Augenklinik Bellevue  
Lindenallee 21–23  
24105 Kiel

t.daehn@nordblick.de