

Gefahr oder Chance für den tierärztlichen Beruf?

Digitalisierung und künstliche Intelligenz

Robert Klopffleisch und Christof Bertram

Welche Chancen Digitalisierung und künstliche Intelligenz der Veterinärmedizin bieten, wird hier erläutert.

Digitalisierung und künstliche Intelligenz (KI) sind Schlagworte, die beinahe täglich in der Presse auftreten. Sie werden dabei zumeist als Treiber einer sich stark verändernden Arbeits- und Lebensumwelt beschrieben. Die Konnotation der beiden Begriffe ist in Deutschland zumeist zweigeteilt. Zum einen werden die Chancen der neuen Technologien gesehen bzw. verpasste Chancen angemahnt, wenn die heimische Wirtschaft und Verwaltung den Anschluss bei diesen Technologien im Vergleich zu anderen Weltregionen verpassen könnte. Zum anderen werden die Entwicklungen im Bereich KI sehr kritisch betrachtet, da befürchtet wird, dass menschliche Arbeitsplätze verloren gehen oder gar die Freiheit des menschlichen Willens durch übermächtige Computeralgorithmen eingeschränkt wird. In anderen Ländern, wie der Volksrepublik China, werden die Möglichkeiten der KI hingegen viel positiver, ja fast euphorisch angenommen und als Lösung zahlreicher wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Probleme angesehen.

Der tierärztliche Beruf setzt sich bereits mit diesen Entwicklungen auseinander bzw. wird dies in erkennbarer Zukunft in zunehmendem Maße tun müssen. Aber sind es nun Chancen oder Gefahren, die diese Entwicklung den Tierärzten in den Bereichen Diagnostik und Therapie bieten? Wird die Qualität unserer Dienstleistung dadurch verbessert oder darunter leiden? Werden Computeralgorithmen die tierärztliche Tätigkeit in der Zukunft nicht nur unterstützen, sondern vollständig übernehmen und somit Arbeitsplätze und Einkommensquellen abschaffen?

Digitalisierung versus künstliche Intelligenz

Grundsätzlich können diese noch offenen Fragen letztlich erst in der Zukunft rückwirkend beantwortet werden. Andererseits sind bereits erste Entwicklungen zu beobachten, die zumindest ansatzweise seriöse Prognosen ermöglichen. Zunächst ist es für die Betrachtung wichtig, sich die Begrifflichkeiten Digitalisierung und KI bewusst zu machen und v. a. voneinander zu trennen.

Digitalisierung stellt im ursprünglichen Sinne die Umstellung von analogen, physika-

lischen Informationen, wie Patientenkartekarten auf Papier oder Röntgenbilder auf Film, auf digitale Formate wie Praxismanagement-Softwarelösungen oder digitale Röntgenbilder dar. Im tierärztlichen Berufsalltag nähert sich der digitale Informationsanteil rasant den 100 Prozent, genau wie in nahezu allen Bereichen des Lebens. Lediglich das gedruckte (Fach-)Buch sowie Fachzeitschriften wehren sich allen Unkenrufen zum Trotz beharrlich gegen ihre Abschaffung. Die Digitalisierung des tierärztlichen Berufs ist somit bereits weit fortgeschritten und hat in fast allen tiermedizinischen Disziplinen und Arbeitsabläufen zur Vereinfachung und Effizienzsteigerung beigetragen.

Die Entwicklungen im Bereich der KI sind hingegen neuer und noch von relativ begrenzter Relevanz für den tierärztlichen Beruf. Schon in näherer Zukunft könnten sich jedoch einige, v. a. diagnostische Tätigkeitsfelder, wie die Radiologie und Pathologie, in ihrem methodischen Ansatz ändern.

Grundsätzlich sind Definition und v. a. Quantifizierung der KI nicht einfach. Dies basiert zum Teil darauf, dass bereits die Definition und Messung „natürlicher“ Intelligenz schwierig und umstritten ist: Neben reiner Informationsspeicherung- und Datenverarbeitungskapazität werden gewöhnlich auch Selbstreflexion und -wahrnehmung, ein freier Wille, Flexibilität, rhetorische Fähigkeiten und soziale Kompetenzen je nach Betrachtungsweise als Teilaspekt von Intelligenz wahrgenommen. Natürliche Intelligenz ist deshalb schwierig zu messen. Aber auch für die Beantwortung der Frage, wie intelligent KI-Systeme sind, stellt der Mangel an akzeptierten Messverfahren ein Problem dar. Gemessen mit den Intelligenztestverfahren für Menschen, erreichen die besten KI-Systeme momentan Intelligenzquotienten von maximal 47 [1], was dem durchschnittlichen Intelligenzquotienten von 6-jährigen Kindern entspricht. Getestet wurde dabei jedoch nur die Fähigkeit, klar strukturierte Wissensfragen zu beantworten. Die Fähigkeit zur Schaffung von Wissen, Innovation und allgemeine Problemlösungsfähigkeiten wurden hingegen nicht mit einbezogen.

Formal definiert, ist die KI ein Teilgebiet der Informatik, das sich mit technologischen Ansätzen mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens beschäftigt. Als intelligentes Verhalten des Computers wird seine Fähigkeit angesehen, sinnvolle Entscheidungen in komplexen,

nicht offensichtlich eindeutigen Situationen zu finden. Als Beispiel für die Möglichkeiten der KI werden häufig die Fähigkeiten verschiedener Google-Algorithmen wie Alphago und Alphazero dargestellt. Diese Programme sind fähig, die Regeln der Brettspiele Go und Schach zum Teil nur durch einfaches Beobachten selbstständig zu erlernen und im Anschluss menschliche Schach- und Go-Großmeister zu schlagen [2]. Bei genauerer Betrachtung sind die Fähigkeiten dieser intelligenten Programme jedoch nur auf einen Aspekt von Intelligenz beschränkt: die Durchdringung und Analyse von riesigen Datenmengen, d. h. im konkreten Fall der beiden Brettspielprogramme das Potenzial, alle möglichen Folgen einer und zahlreicher darauf folgender Entscheidungen (Zug einer Schachfigur) zu berechnen und so die erfolgreichste Zugvariante zu wählen.

Die beeindruckendere Leistung der vorgenannten Programme und der momentan wichtigste Zweig der KI ist hingegen das mehr oder weniger „autodidaktische“ Lernen der Spielregeln. Dieses sogenannte Maschinernen stellt ein Teilgebiet der KI dar und basiert auf künstlichen neuronalen Netzwerken [3]. Diese sind in der Herangehensweise der Informationsverarbeitung den biologischen Neuronennetzwerken des Gehirns nachgebildete Netze aus virtuellen Neuronen. Beim Maschinernen passen sie, ähnlich den Vorgängen im menschlichen Gehirn, über die Gewichtung der Signale der einzelnen Neuronen im Netz und der Ausbildung und Löschung von Neuronenverbindungen das Netzwerk selbstständig an, um vorgegebene Aufgaben bestmöglich lösen zu können.

Diese Fähigkeiten können nun bei entsprechend vorhandener Datenmenge missbraucht werden, um anhand von demografischen Daten, bisherigen Kaufentscheidungen und allgemeinem Verhalten in sozialen Medien, Verhaltensmuster zu erkennen und gezielt Kauf- oder Wahlentscheidungen von Menschen zu beeinflussen. Andererseits werden ähnliche Programme bereits erfolgreich in der Medizin genutzt, um große Datenmengen auszuwerten: In der Grundlagenforschung werden beispielsweise die bei der Sequenzierung von Tumorgenomen entstehenden riesigen Datenmengen mittels KI analysiert, um dadurch die teils anarchischen Tumorstoffwechselwege zu verstehen und sinnvolle Schlussfolgerungen für neue therapeutische Ansätze zu ziehen. Aber auch

für den klinischen Alltag und die Alltagsdiagnostik könnten die Lernerfolge künstlicher neuronaler Netzwerke schon bald eine große Rolle spielen.

Computerassistierte Diagnosesysteme für bildgebende Diagnoseverfahren

Das automatische Erkennen von pathologischen Veränderungen in Radiologie, Pathologie und Zytologie sind die Bereiche der tierärztlichen Praxis, in denen Maschinenlernen-basierte KI möglicherweise schon in naher Zukunft in die Diagnosestellung einbezogen wird. So werden momentan nahezu täglich neue, jedoch zumeist noch grundlagenwissenschaftlich orientierte, Ansätze zur automatischen Auswertung von Röntgen-, Tomografie- oder digitalisierten zytologischen und histologischen Bildern publiziert [4–6].

Ziel und Antrieb ist hierbei die Ergänzung der momentanen nahezu komplett „Mensch“-basierten Bildanalysemethoden, um der wertvollen Ressource Mensch v. a. kognitiv einfache, repetitive und somit ermüdende Aufgaben abzunehmen. Insbesondere die zunehmend genutzten radiologischen Verfahren der Computer- und Magnetresonanztomografie (CT/MRT) haben zu einer massiven Erhöhung der vom Radiologen zu betrachtenden Bildmenge geführt, die nur mit großem Zeitaufwand von hoch spezialisierten Tierärzten analysiert werden können. Weiterhin zeigen menschliche Betrachter aber auch grundsätzliche visuelle und kognitive Schwächen, wie Unaufmerksamkeitsblindheit, Bestätigungsbias und variable Konzentrationsfähigkeit [7]. Diese bewirken letztlich eine reduzierte Exaktheit, die als Inter- und Intraobservervariabilität gemessen werden kann. So führt bekanntermaßen das wiederholte Betrachten des gleichen Bildmaterials durch denselben oder unabhängige Betrachter nicht immer zur gleichen Diagnose.

Deshalb sind computerassistierte Diagnose (CAD-)Systeme, d. h. digitale Systeme, die den Diagnostiker unterstützen und seine Diagnose objektivieren, ihn aber nicht ersetzen, momen-

tan das Entwicklungsziel vieler Firmen und Studien. Das derzeit bekannteste und am intensivsten beforschte CAD wird bei der Routinemammografie, vorrangig in den USA, angewandt. Hierbei werden zweidimensionale Röntgenbilder, aber insbesondere auch die umfangreicheren dreidimensionalen Tomosynthesbilder des Milchdrüsengewebes zusätzlich bzw. zunächst automatisch von einer Software nach auffälligen Befunden untersucht. Dem Radiologen werden dann lediglich vorselektierte Bereiche vorgestellt [4]. Erste Untersuchungen nach der Einführung der auf neuronalen Netzwerken basierenden Systeme waren zunächst ernüchternd. Es zeigte sich, dass sie zu einer längeren Betrachtungszeit der Bilder, hohen Falschpositivrate und somit unnötigen weiterführenden Untersuchungen bei gesunden Frauen führten, während kaum zusätzliche und bisher übersehene Läsionen identifiziert wurden [8–11].

Neuere CAD-Varianten haben diese Fehler reduziert und zeigen eine dem Menschen ähnliche Sensitivität und Spezifität [4,9]. Der Mensch wird jedoch in Bezug auf die Qualität der Ergebnisse bisher nicht überholt, nicht zuletzt da die Algorithmen auf vom Menschen annotierten Daten basieren. Was jedoch alle neueren Studien zu diesem Thema zeigen, ist eine Beschleunigung der Diagnosefindung mittels Präselektion von interessanten Strukturen durch CAD-Systeme [4]. Der Radiologe muss also nicht mehr die komplette Bilddatenmenge durchmustern, sondern nur noch automatisch vorselektierte verdächtige Areale und spart somit Zeit und Konzentrationsfähigkeit. Die Einsparung von Radiologenzzeit durch CAD wird mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit jedoch nicht zum Verlust von Radiologearbeitsplätzen führen, da die zu verarbeitenden Datenmengen mit zunehmender Leistungsfähigkeit und Nutzung dreidimensionaler Bildgebungsverfahren stetig zunehmen und so die Einsparungen wettmachen werden.

Die bisherigen Entwicklungen in der automatisierten zytologischen oder histopathologischen Diagnose hinken den Entwicklungen in der Radiologie noch weit hinterher. Dies liegt am größeren und wirtschaftlich interessanteren

„Markt“ für radiologische Produkte, aber auch an der größeren Variabilität der mehrfarbigen histologischen Präparate, die weiterhin sehr häufig verschiedenste technische Artefakte des schwer zu standardisierenden Herstellungsprozesses zeigen. Momentan werden automatisierte Bildanalysen deshalb überwiegend zur Quantifizierung von immunohistochemischen und Spezialfärbungen genutzt [12,13]. Die Wahrnehmung des bei diesen Methoden produzierten Farbsignals ist sowohl für den Computer als auch den menschlichen Diagnostiker grundsätzlich recht einfach. Die Quantifizierung der Menge an positiven Zellen im Schnitt ist jedoch für den grundsätzlich subjektiven menschlichen Betrachter außerordentlich schwierig und ermüdend. Die Automatisierung dieser Aufgabe ermöglicht hingegen eine sehr hohe Genauigkeit und nahezu perfekte Reproduzierbarkeit. So wird beispielsweise in der Humanmedizin die Quantifizierung von Brustkrebsmarkern bereits routinemäßig automatisiert mittels CAD durchgeführt [14].

CAD-Systeme in der Veterinärmedizin

Ähnliche CAD-Systeme haben bisher noch keinen Einzug in die Tiermedizin gehalten. Unsere Arbeitsgruppe am Institut für Pathologie des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin erforscht jedoch momentan intensiv die neuen Möglichkeiten neuronaler Netzwerke für die Entwicklung eines ersten CAD-Systems für eine objektivere histopathologische Tumordiagnostik in der Tiermedizin. So konnte ein Eindruck von den Potenzialen, aber auch den Schwächen des Maschinenlernens gewonnen werden. Erster Fokus der Arbeitsgruppe liegt auf der Entwicklung eines CAD-Systems für ein verbessertes histologisches Grading von kaninen Mastzelltumoren durch Präselektion interessanter Bildausschnitte [15]. Das momentane Mastzelltumor-Grading basiert auf mehreren zu quantifizierenden Parametern, wie Atypie und Größe der Zellkerne der Tumorzellen, Zahl der mehrkernigen Tumorzellen und v. a. die Zahl mitotischer Tumorzellen pro zehn

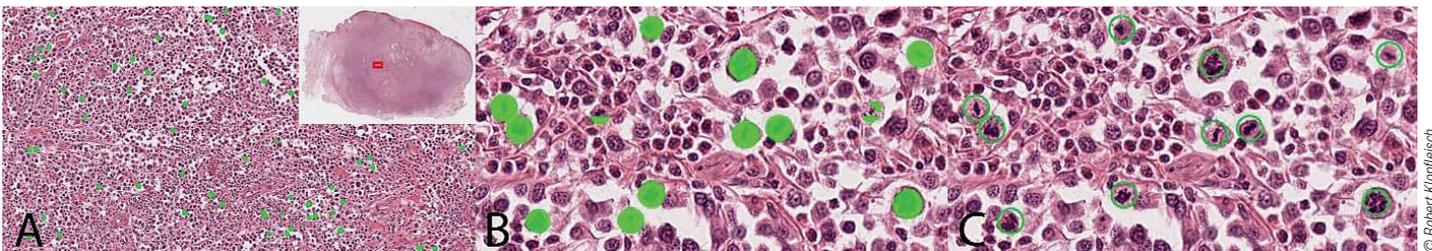


Abb. 1: A) Mittlere Vergrößerung eines kaninen Mastzelltumors mit automatisierter Erkennung von Mitosefiguren (grüne Markierung) durch ein artifizielles neuronales Netzwerk. Inset: Gesamtübersicht des kompletten histologischen Schnittes. Der rote Kasten markiert den Bildausschnitt von ca. acht Gesichtsfeldern bei 400x-Vergrößerung.

B) Ausschnitt aus Bild A mit automatisch durch das Netzwerk erkannte Mitosefiguren (grün).

C) Gleicher Ausschnitt wie in Bild B mit manuell durch zwei Pathologen annotierten Mitosen (grüne Kreise). Vergleich von A und B zeigt, dass die automatisch und manuell identifizierten Mitosen zu einem hohen Anteil übereinstimmen.

mikroskopischen Beobachtungsfeldern. Da diese relevanten Parameter jedoch nicht immer gleichmäßig im Tumor verteilt sind, wird im Grading-Algorithmus gefordert, dass die Gesichtsfelder mit den meisten Mitosen zur Auswertung herangezogen werden. Um diese Felder zu identifizieren, müsste der gesamte Schnitt mit einem Arbeitsaufwand von zahlreichen Stunden relativ stupider Arbeit vom Pathologen durchmustert werden. Die Beobachtungsfelder werden deshalb in großen Tumoren nur eingeschränkt repräsentativ vom Pathologen ausgewählt, was zu abweichender Reproduzierbarkeit des Grading-Ergebnisses führen kann.

Die Arbeitsgruppe folgte daher der Idee, eine semiautomatische CAD-basierte Mitosedetektion zu entwickeln, die einen schnellen Überblick über alle Mitosefiguren im Hämatoxylin-Eosin-gefärbten Schnitt und somit eine verbesserte Exaktheit des ermittelten, klinisch hoch relevanten Tumorgrades ermöglicht. Zu diesem Zweck wurde eine umfangreiche Datenbank aufgebaut, in der Bildausschnitte von Zehntausenden typischen Mitosefiguren, Tumorzellen und anderen Gewebestrukturen gesammelt wurde. Diese wurden anschließend wiederholt in ein artifizielles neuronales Netzwerk eingespeist, das selbstständig aus diesen Daten erlernte, Mitosefiguren oder Tumorzellen von anderen Gewebestrukturen zu differenzieren (**Abb. 1**).

Stärken und Schwächen von neuronalen Netzwerken/Maschinlernen

Während des oben beschriebenen Projektes konnten wir als Tierärzte in Kooperation mit IT-Spezialisten der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (Arbeitsgruppe Prof. A. Meier) aus erster Hand feststellen, wie intelligent oder eben doch nicht so intelligent neuronale Netzwerke wirklich sind bzw. was die Stärken und Schwächen dieser Systeme gegenüber dem Menschen sind:

1. Künstliche neuronale Netzwerke können selbstständig lernen. Neuronale Netzwerke, die in allen Bereichen der KI zum Maschinlernen eingesetzt werden, identifizieren selbstständig Muster, die für die Unterscheidung von Strukturen in Bildern von Bedeutung sind. Welche exakten Kriterien die Blackbox „Neuronales Netzwerk“ dabei nutzt, um beispielsweise eine Mitose von einem Granulozyten zu unterscheiden, sind jedoch nicht oder nur sehr aufwendig nachvollziehbar. In unserer Studie extrahierte das Netzwerk differenzierende Eigenschaften von Mitosen, wobei unklar ist, anhand welcher Eigenschaften (Farbton? Größe? Randeffekte?) der Algorithmus letztlich eine mitotische Tumorzelle von den anderen Zellen unterscheidet. Für die Mitoseerkennung ist das Ergebnis akzeptabel, da die Korrektheit

und somit diagnostische Sicherheit des Algorithmus relativ einfach zu überprüfen ist. In anderen Bereichen, z. B. der Kredit- und Versicherungswürdigkeit von Kunden, erscheint dieser Blackbox-Charakter hingegen fragwürdig. Können wir Computern Entscheidungen überlassen, von denen wir nicht genau wissen, wie sie getroffen werden? Insbesondere aus diesem Gründen hat das EU-Parlament der EU-Kommission empfohlen, Maßnahmen dafür zu treffen, dass Berechnungen von KI-Systemen jederzeit in eine für den Menschen verständliche Form überführbar sein müssen [16].

2. Künstliche neuronale Netzwerke lernen schnell, brauchen aber viele Lernbeispiele.

Auch die in unserer Studie genutzten modernsten neuronalen Netzwerke, die auf relativ leistungsfähigen Rechnern laufen, sind in Bezug auf die Schnelligkeit des Lernens dem Menschen noch unterlegen. So erkennen basal qualifizierte Tiermedizinstudenten typische Mitosefiguren in histologischen Präparaten bereits nach Betrachtung von wenigen Beispielen mit hoher Genauigkeit. Dem neuronalen Netzwerk mussten hingegen Zehntausende Beispiele von Mitosefiguren und allen „Nicht-Mitose“-Strukturen angeboten werden, damit es eine dem Menschen ähnliche Treffgenauigkeit erzielte.

3. Künstliche neuronale Netzwerke haben Schwierigkeiten bei der einfachen Übertragung des Gelernten auf neue Situationen.

Das vom künstlich-intelligenten neuronalen Netzwerk Erlernte, wird relativ starr angewandt. Ein Transfer der Fähigkeiten auf andere Situationen (Transferlernen), in unserem Beispiel auf andere Tumoren, Gewebe oder anders gefärbte Schnitte, ist nur mit einem hohen Genauigkeitsverlust möglich. Für den Transfer des Gelernten sind deshalb umfangreiche und aufwendige Erweiterungen der Datenbank und des Lernprozesses nötig. Darüber hinaus findet beim Menschen nahezu automatisch eine Kontextualisierung des Gelernten statt. Das heißt in unserem Beispiel, der Pathologe unterscheidet nekrotische und mitotische Zellen, die teils ähnliche Zellkernstrukturen haben können, auch daran, dass er die Umgebung der Zelle in die Entscheidung einbezieht. Letztlich ist aber auch das Erlernen dieser Fähigkeit nur eine Frage der dem artifiziellem neuronalen Netzwerk vorliegenden Trainingsdatenbanken mit entsprechenden Bildstrukturen und Verknüpfungen.

4. Trainierte neuronale Netzwerke sind bei der Analyse von großen Datenmengen um ein Vielfaches schneller als der Mensch.

Automatisierung bedeutet schon seit der Einführung von Maschinen und Fließbändern v. a. eine Geschwindigkeits- und somit Effizienzerhöhung von Arbeitsprozessen. Grundsätzlich gilt dies auch für tierärztliche Tätigkeiten. Wäh-

rend der Pathologe zur Identifizierung des Anteils mitotischer Tumorzellen in der Gesamtpopulation von Tumorzellen in einem großflächigen Tumorschnitt viele Stunden benötigen und diese bestmögliche Analyse sehr teuer machen würde, konnte das von uns trainierte neuronale Netzwerk in weniger als 2 Minuten alle typischen Mitosefiguren in einem großen Tumorschnitt identifizieren.

5. Automatisierte Bildanalyseverfahren ermöglichen eine 100-prozentige Reproduzierbarkeit.

Die wiederholte Analyse des gleichen Bildes führt bei unverändertem Algorithmus zu vollständig übereinstimmenden Ergebnissen. Insbesondere bei großen Datenmengen und langwierigen, ermüdenden quantitativen Analysen erreicht der menschliche Betrachter diese Reproduzierbarkeit der Ergebnisse im Durchschnitt nicht.

Zusammenfassung

Digitalisierung und KI stellen miteinander verbundene, grundsätzlich aber völlig unterschiedliche Themengebiete dar. Die Digitalisierung der Tiermedizin, ob nun in der Praxisverwaltung oder bei den bildgebenden Verfahren, ist schon weit vorangeschritten und hat die Arbeitsabläufe zumeist vereinfacht und beschleunigt. Die zunehmende Digitalisierung von klinischen Daten und Diagnoseverfahren ermöglicht es nun, die Methoden der KI und hier insbesondere des Maschinlernens mittels neuronaler Netzwerke zu nutzen, um z. B. CAD-Systeme zu entwickeln, die dem Diagnostiker ermüdende Routineaufgaben abnehmen können. Chancen dieser technologischen Entwicklungen sind möglicherweise schnellere und objektivere Diagnosen insbesondere in bildverarbeitenden Disziplinen der Radiologie und Pathologie. Andererseits könnte eine Ausweitung der „Gerätemedizin“ unter Bedeutungsverlust von menschlichen Fähigkeiten wie Intuition, Empathie, Flexibilität und Kreativität die Folge sein. Sicher ist jedoch, dass die zunehmende Bedeutung von CAD-Systemen, die erforderlichen Kompetenzen z. B. des Pathologen oder Radiologen verändern werden. So findet beispielsweise in der Humanmedizin bereits eine Diskussion darüber statt, ob und inwieweit die Radiologen- und Pathologenausbildung möglicherweise etwas weniger Fokus auf das Trainieren der manuell-optischen Mustererkennung legen, sondern verstärkt Datenanalysekompetenzen vermitteln sollte [17]. Stand heute sind die Fähigkeiten der sogenannten künstlichen Intelligenz jedoch noch weit davon entfernt, den Menschen im komplexen Umfeld der klinischen tierärztlichen Tätigkeit mit ihren hohen Anforderungen an Flexibilität, komplexen Diagnoseprozessen und Therapieentscheidungen auch nur ansatzweise zu ersetzen.

Literatur

- [1] Liu F, Shi Y, Liu Y (2017): Intelligence Quotient and Intelligence Grade of Artificial Intelligence. *Annals of Data Science*. 4 (2): 179–91.
- [2] Silver D et al. (2017): Mastering the game of Go without human knowledge. *Nature*. 550 (7676): 354–9.
- [3] Deo RC (2015): Machine Learning in Medicine. *Circulation*. 132 (20): 1920–30.
- [4] Benedikt RA et al. (2018): Concurrent Computer-Aided Detection Improves Reading Time of Digital Breast Tomosynthesis and Maintains Interpretation Performance in a Multireader Multicase Study. *AJR Am J Roentgenol*. 210 (3): 685–94.
- [5] van Zelst JCM et al. (2017): Improved cancer detection in automated breast ultrasound by radiologists using Computer Aided Detection. *Eur J Radiol*. 89: 54–9.
- [6] Ehteshami Bejnordi B et al. (2017): Diagnostic Assessment of Deep Learning Algorithms for Detection of Lymph Node Metastases in Women With Breast Cancer. *JAMA*. 318 (22): 2199–210.
- [7] Aeffner F et al. (2017): The Gold Standard Paradox in Digital Image Analysis: Manual Versus Automated Scoring as Ground Truth. *Arch Pathol Lab Med*. 141 (9): 1267–75.
- [8] Tchou PM et al. (2010): Interpretation time of computer-aided detection at screening mammography. *Radiology*. 257 (1): 40–6.
- [9] Lehman CD et al. (2015): Diagnostic Accuracy of Digital Screening Mammography With and Without Computer-Aided Detection. *JAMA Intern Med*. 175 (11): 1828–37.
- [10] Kim SJ et al. (2009): Computer-aided detection in digital mammography: false-positive marks and their reproducibility in negative mammograms. *Acta Radiol*. 50 (9): 999–1004.
- [11] Philpotts LE (2009): Can computer-aided detection be detrimental to mammographic interpretation? *Radiology*. 253 (1): 17–22.
- [12] Feuchtinger A et al. (2015): Image analysis of immunohistochemistry is superior to visual scoring as shown for patient outcome of esophageal adenocarcinoma. *Histochem Cell Biol*. 143 (1): 1–9.
- [13] Stalhammar G et al. (2016): Digital image analysis outperforms manual biomarker assessment in breast cancer. *Mod Pathol*. 29(4): 318–29.
- [14] Wolff AC et al. (2018): Human Epidermal Growth Factor Receptor 2 Testing in Breast Cancer: American Society of Clinical Oncology/College of American Pathologists Clinical Practice Guideline Focused Update. *Arch Pathol Lab Med*.
- [15] <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8-2017-0005+0+DOC+XML+V0//DE>
- [16] Aubreville M et al. (2017): A Guided Spatial Transformer Network for Histology Cell Differentiation. in *Eurographics Workshop on Visual Computing for Biology and Medicine*. 2017. Bremen: The Eurographics Association.
- [17] Jha S, Topol EJ (2016): Adapting to Artificial Intelligence: Radiologists and Pathologists as Information Specialists. *JAMA*. 316 (22): 2353–54.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Robert Klopfleisch



Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Institut für Veterinärpathologie, Robert-von-Ostertag-Str. 15, 14163 Berlin, Tel. +49 30 83862450, Robert. Klopfleisch@fu-berlin.de



Christof Bertram

Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Institut für Tierpathologie, Doktorand

Impfflyer zum Download und gedruckt erhältlich

Seit 2003 stellt die BTK einen Fragen- und Antwortkatalog rund um das Thema „Impfung von Hund und Katze“ zur Verfügung, der 2013 aktualisiert wurde und seither als Flyer mit dem Titel „Ein kleiner Pieks kann Leben retten. Impfung für Hund und Katze notwendig oder überflüssig?“ gestaltet ist.

Zum Download ist dieser Flyer auf der BTK-Homepage zu finden unter www.bundestieraerztekammer.de (Für Tierärzte/Tipps für Tierhalter).

Aufgrund zahlreicher Nachfragen bietet die BTK diesen Flyer nun auch direkt in gedruckter Form zum Selbstkostenpreis an. Die Flyer kosten 19 Cent/Stück zzgl. Porto. Bestellungen an geschaefsstelle@btkberlin.de.

