

# KI in der Diagnose von Hautkrebs und Brustkrebs

Florian Jungermann

7. Juli 2021

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>
1.1	Krebs . . . . .
1.2	Die Stärke der KI . . . . .
<b>2</b>	<b>Allgemeines</b>
<b>3</b>	<b>Brustkrebs</b>
<b>4</b>	<b>Hautkrebs</b>
4.1	Ärzte gegen KI . . . . .
4.2	Wide field detection . . . . .
4.3	Die App Skinvision . . . . .
4.3.1	Evaluation von Skinvision . . . . .
4.4	Kritik an Haut-Scan-Apps . . . . .
<b>5</b>	<b>Fazit</b>

## Literatur

### 1 Einleitung

#### 1.1 Krebs

“In Deutschland erkranken jedes Jahr fast 500.000 Menschen an Krebs” (Robert Koch-Institut und Gesellschaft der epidemiolo-

gischen Krebsregister in Deutschland e.V., 2020, S.7)

<b>1</b>	<b>Auch wenn sich die Überlebensaussichten in den letzten Jahren deutlich gebessert haben, ist dennoch aufgrund der demografischen Entwicklungen in den nächsten zehn Jahren mit einem Anstieg der Krebsneuerkrankungen um rund (23%) zu rechnen (ebd.). Der Zeitpunkt der Diagnose spielt für die Behandlungs- und Überlebensaussichten eine entscheidende Rolle. Eine Früherkennung von Krebs kann lebensrettend sein.</b>
6	Es gibt eine ganze Vielzahl von unterschiedlichen Krebserkrankungen mit unterschiedlichen Erkennungsmethoden. Beispielsweise kann eine Leukämie über das Blutbild festgestellt werden. Dennoch beruht ein großer Teil der (Früh-)Erkennung von Krebs auf bildgebenden Verfahren und deren Auswertungen. Zum Einsatz kommen beispielsweise: Röntgen, Ultraschall, CT <sup>1</sup> , MRT <sup>2</sup> oder visuelle Betrachtung mit dem bloßen Auge. Die Interpretation und Auswertung der Aufnahmen obliegt klassischerweise einem Arzt, der an den Bildern eine

<sup>1</sup>Computertomographie: Arbeitet mit Röntgenstrahlung.

<sup>2</sup>Magnetresonanztomographie: Schichtaufnahmen mithilfe von Magnetfeldern und Radiowellen. Im Gegensatz zum CT keine Strahlenbelastung.

Mustererkennung durchführt. Dieses Verfahren kann relativ zeitaufwendig sein und auch Ärzte können Fehler machen und etwas übersehen.

## 1.2 Die Stärke der KI

Hier kommt die künstliche Intelligenz ins Spiel. Denn Mustererkennung ist eine der großen Stärken von künstlicher Intelligenz und sie lässt sich präzise darauf trainieren. In den letzten Jahren sind große Fortschritte gemacht worden. Teilweise ist die KI sogar besser in der Erkennung (siehe Kapitel 4.1), als ein ausgebildeter Arzt bzw. kann Muster früher und in subtilerem Zustand erkennen, als dies mit bloßem Auge möglich wäre. Dies macht auch einen Einsatz im privaten Feld möglich. Beispielsweise mithilfe einer App, die Bilder von Hautanomalien auswertet (Kapitel 4.3).

Dieses Whitepaper befasst sich mit den häufigen Krebsarten Hautkrebs und Brustkrebs und gibt einen Überblick über KI-gestützte Krebsdiagnose in diesen Bereichen.

## 2 Allgemeines

KI im Bereich Medizin muss besondere Anforderungen erfüllen. Anders als in anderen Bereichen braucht es hier eine ganz besondere Zuverlässigkeit. Gerade die Trainingsdaten spielen hier eine große Rolle. Beispielsweise muss die KI auch an Bevölkerungsgruppen/Ethnien funktionieren, mit der sie nicht trainiert wurde (Savage, 2020). Eine Brustkrebserkennungs-KI des MIT<sup>3</sup>, die überwiegend mit Daten der wei-

---

<sup>3</sup>Massachusetts Institute of Technology

ßen Bevölkerung trainiert wurde, hatte bei einem Test keine Probleme mit der Erkennung von Brustkrebs in der schwarzen Bevölkerung.

Die CE Kennzeichnung, die für viele Güter, wie auch für Medizinprodukte in der EU vorgeschrieben ist (Wikipedia, 2021b), gibt es mittlerweile auch für KIs. Medizinprodukte müssen dabei zusätzliche Kriterien erfüllen. Beispielsweise müssen sie “nicht nur sicher, sondern auch im Rahmen der vom Hersteller vorgegebenen Zweckbestimmung medizinisch-technisch leistungsfähig sein” (ebd.).

Die KI des Unternehmens “Aidence”, das Lösungen im Bereich der künstlichen Intelligenz für medizinische Bildanalyse entwickelt, hat so eine Kennzeichnung für einen Assistenten für das Lungenknotenmanagement “Veye Chest” erhalten (MED-TECH News, 2020).

## 3 Brustkrebs

Laut Robert Koch-Institut und Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (2020) sind im Jahre 2016 68.950 Frauen und 710 Männer an Brustkrebs erkrankt. Im selben Jahr sind 18.570 Frauen und 166 Männer an Brustkrebs gestorben. “In den westlichen Staaten ist Brustkrebs die häufigste Krebsart bei Frauen” (Wikipedia, 2021a). In Abbildung 1 ist die Entwicklung über die Jahre zu erkennen.

Seit 2008 gibt es ein gesetzliches Brustkrebs-Früherkennungsprogramm für Frauen. Neben der Tast-Untersuchung, die Personen an sich selbst durchführen können, oder der Ultraschall-Untersuchung, ist

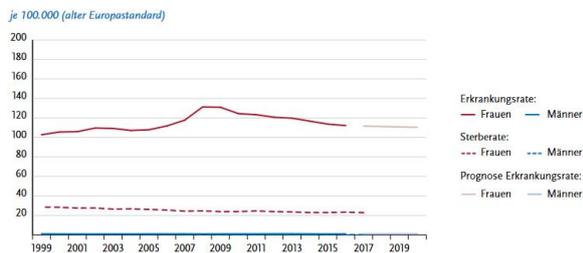


Abbildung 1: Brustkrebs: Altersstandardisierte Erkrankungs- und Sterberaten nach Geschlecht, ICD-10 C50, Deutschland 1999-2016/2017, Prognose (Inzidenz) bis 2020. Abbildung und Beschreibung aus: Robert Koch-Institut und Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (2020, S.79)

eine häufige Methode zum Feststellen eines Tumors in der Brust die Mammografie. Vorteil hierbei: Im Gegensatz zum Abtasten, können hier auch kleinere Tumore erkannt werden. Bei der Mammografie wird ein Röntgenbild der Brust gemacht und anschließend von einem Arzt auf Auffälligkeiten hin analysiert. Das ist allerdings nicht immer ganz einfach (siehe Abbildung 2). Dabei kann eine Mammografie über Leben und Tod entscheiden: Tabár et al. (2011) konnten zeigen, dass Mammografie Screenings signifikant die Mortalität von Brustkrebs reduzieren können.

Es gibt bereits einige Entwicklungen zur KI gestützten Brustkrebs-Erkennung. McKinney et al. (2020) entwickelten eine KI zur Untersuchung von Mammografien, die in einer Evaluation menschliche Experten in der Treffergenauigkeit übertraf. Die KI wurde mit einem großen Datensatz mit Mammografien aus den USA (25.856) und Großbritannien (3.097) trainiert.

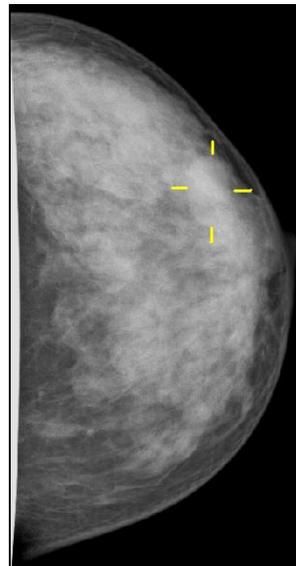


Abbildung 2: In der Mammographie einer dichten Brust ist das Karzinom kaum zu erkennen. Abbildung und Beschreibung aus: Wikipedia (2021a)

Anschließend wurde das System genutzt, um frühere Mammografien von Frauen zu untersuchen, bei denen feststand, dass sie später Brustkrebs bekamen. Im Ergebnis übertraf die KI die ursprünglichen Entscheidungen der Radiologen. Des weiteren übertraf die KI die Entscheidungen von sechs Radiologen, die 500 zufällig ausgewählte Fälle untersuchten (Pisano, 2020).

Die Autoren führten außerdem eine Simulation durch, in der die KI in dem "Double-Reading" Verfahren, das in Europa üblich ist<sup>4</sup>, teilnahm. Die Simulation ergab, dass die Arbeitsbelastung des zweiten Experten mit KI Unterstützung um 88% verringert werden kann.

<sup>4</sup>Zwei Experten bewerten die Mammografien entweder zusammen oder unabhängig voneinander. Dadurch können Sensitivität und Spezifität erhöht werden

Die Autoren merkten allerdings an, dass die echte Welt komplizierter ist, als die kontrollierte Umgebung der Studie<sup>5</sup> und daher klinische Studien erforderlich sind, bevor ein breiter Einsatz in der Praxis in Erwägung gezogen werden kann (Pisano, 2020).

Yala, Lehman, Schuster, Portnoi und Barzilay (2019) entwickelten einen Deep Learning Algorithmus zur Brustkrebs-Risikoeinschätzung. Dazu sammelten sie 88.994 Mammografien von 39.571 Frauen aus einem Vier-Jahres-Zeitraum und überprüften, welche der Frauen später tatsächlich an Brustkrebs erkrankten. Mit diesen Daten wurde dann der Algorithmus trainiert. Ein Teil der Daten wurde nicht zum Training, sondern zur späteren Evaluierung verwendet.

Das Standard Modell zur Brustkrebsrisikoeinschätzung, das Ärzte verwenden, ist das Tyrer-Cuzick Modell<sup>6</sup>. Dieses wurde herangezogen, um den neu entwickelten Algorithmus zu evaluieren. 31% der Frauen, die später Brustkrebs entwickelten, wurden von dem Algorithmus in die Kategorie "High Risk" eingeordnet. Das Tyrer-Cuzick Modell hingegen stufte nur 18% dieser Frauen in diese Kategorie ein (Yala et al., 2019).

Die Autoren sehen beispielsweise eine Anwendung des Algorithmus darin, dass Ärzte aufgrund der Risikoeinschätzung bessere Screening Pläne für ihre Patienten erarbeiten können.

---

<sup>5</sup>beispielsweise Mammografien, die mit verschiedenen Technologien oder mit Geräten verschiedener Hersteller gemacht wurden

<sup>6</sup>Das Modell zieht Daten ein, wie z.B. Alter, Krebs in der Familie, Alter der ersten Periode und der Menopause.

## 4 Hautkrebs

“Skin conditions, especially different types of cancer, are common. Yet the number of dermatologists is fairly low. Dermatology is a specialty suited for artificial intelligence (AI) research and potential incorporation in clinical practice. AI has the potential to decrease dermatologist workloads, eliminate repetitive and routine tasks, and improve access to dermatological care.” (Esteva & Topol, 2019)

Im Jahre 2016 sind 11.150 Frauen und 12.090 Männer am Hautkrebs “Malignes Melanom” erkrankt (Robert Koch-Institut und Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V., 2020, S.64). Im gleichen Jahr sind außerdem 1.226 Frauen und 1.700 Männer an dieser Art des Hautkrebs verstorben (ebd.). Abbildung 3 zeigt den Verlauf über die letzten Jahre.

Im Gegensatz zu anderen Krebsarten, die weiter innen im Körper liegen, erfolgt die Erkennung beim Malignen Melanom durch das bloße Auge. Hier werden meistens keine weiteren bildgebenden Verfahren angewandt (abgesehen von Hilfsmitteln wie Vergrößerungsgläsern). Dies macht das Maligne Melanom besonders interessant für KI Techniken. Denn nahezu jeder hat heutzutage entsprechende visuelle “Sensoren”, namentlich Kameras, zur Verfügung. Es liegt daher nahe, automatisierte Auswertungen per App von zuhause aus möglich zu machen, um Ärzte zu entlasten. Und entsprechende Apps gibt es bereits (siehe Kapitel 4.3).

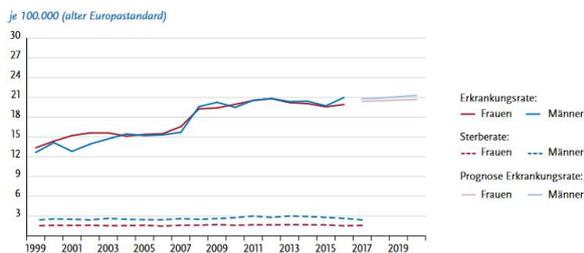


Abbildung 3: Hautkrebs: Altersstandardisierte Erkrankungs- und Sterberaten nach Geschlecht, ICD-10 C43, Deutschland 1999-2016/2017, Prognose (Inzidenz) bis 2020. Abbildung und Beschreibung aus: Robert Koch-Institut und Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (2020, S.65)

## 4.1 Ärzte gegen KI

Es gibt mittlerweile eine ganze Reihe von KIs, genauer gesagt “deep convolution neural networks”, die es sich zur Aufgabe gemacht haben, Hautkrebs zu erkennen. Auch gibt es einige Studien dazu, die Leistung der KI mit Leistungen von Ärzten zu unterscheiden.

Beispielhaft sei hier die Studie von Brinker et al. (2019) genannt. Sie vergleicht die Trefferquote von Ärzten mit der Quote einer selbst entwickelten KI beim Erkennen von Hautkrebs. Der Algorithmus wurde von Wissenschaftlern des Deutschen Krebsforschungszentrums, der Universitäts-Hautklinik und des Nationalen Zentrums für Tumorerkrankungen Heidelberg entwickelt und mit insgesamt 12.378 Bildern trainiert.

Die 157 Hautärzte aus zwölf Uni Kliniken und die KI sollten hundert Bilder beurteilen und eine Klassifikation dahingehend vornehmen, ob es sich um schwarzen Hautkrebs

oder ein Muttermal handelt (Handelsblatt, 2019).

Im Ergebnis war die KI präziser. Nur sieben der Dermatologen waren besser, 14 waren gleich gut.

Die Autoren des Papers merken allerdings an, dass eventuell ein gewisser Bias durch das konkrete Testszenario entstanden sein könnte. Beispielsweise hatten die Ärzte nur die Bilder zur Verfügung und nicht - wie in der Praxis üblich - mehr Informationen zur Krankheitsgeschichte etc. Diese klinischen Daten können die Spezifität und Sensitivität der Ärzte etwas erhöhen (Haenssle et al., 2018).

Die KI kann eine ärztliche Diagnose nicht ersetzen. In der Praxis sind nämlich mehr als 100 Diagnosen zu unterscheiden - nicht nur zwei. Außerdem nutzt die KI nicht alle zur Verfügung stehenden Informationen, wie zum Beispiel Tasteindrücke. Die KI kann allerdings einem Arzt gut Hilfestellung leisten und false negatives dadurch reduzieren, dass sie eine Hautanomalie als potentiellen Krebs kennzeichnet, die ein Arzt evtl. übersehen oder anders gekennzeichnet hätte: “CNNs and humans apply different techniques for identifying melanoma which could complement each other in order for more accurate diagnoses in the form of assistant systems.” (Brinker et al., 2019)

Im Zweifel kann dann immer noch eine Biopsie<sup>7</sup> genommen werden.

## 4.2 Wide field detection

Einen von vorneherein anderen Ansatz verfolgt die KI, die in der Studie von Soenksen et al. (2021) evaluiert wird. Diese KI (De-

<sup>7</sup>Gewebeprobe

ep convolutional neural network) ist darauf ausgelegt, den Arzt zu unterstützen die Suche nach SPLs<sup>8</sup> effizienter zu gestalten und seinen Fokus auf potentiell wichtige untersuchenswerte Stellen zu leiten (Lewis, 2021).

Es wird mit einer einfachen Kamera (z.B. mit einem Smartphone) eine größere Hautregion aufgenommen. Eine KI analysiert dann das Hautbild und markiert verdächtige Stellen (gelb = sollte näher betrachtet werden, rot = erfordert weitere Untersuchung oder Überweisung zum Dermatologen). Abbildung 4 zeigt die Einschätzung der KI.

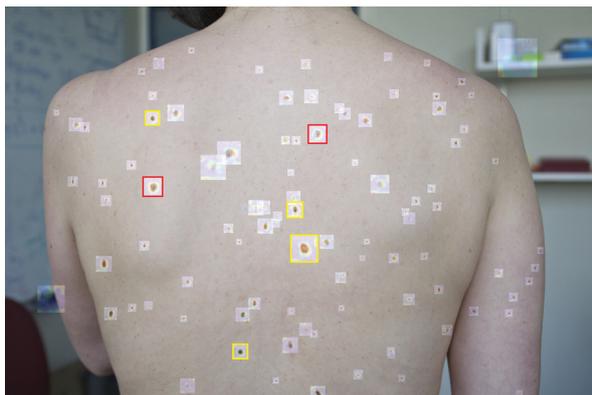


Abbildung 4: “Wide field detection” von verdächtigen Läsionen. Die KI markiert verdächtige Hautveränderungen, die durch den Arzt näher angesehen werden sollten. Abbildung und Beschreibung aus: Soenksen et al. (2021)

“This method could allow for rapid and accurate assessments of pigmented lesion suspiciousness within a primary care visit and could enable improved patient

<sup>8</sup>suspicious pigmented lesion

triaging, utilization of resources, and earlier treatment of melanoma.” (Soenksen et al., 2021)

Die KI wurde dabei mit einem Datensatz von der Größe 38.283 trainiert. Ein Teil der Daten (15.244) stammte von einer Vielzahl von “consumer-grade-cameras” (ebd.), sodass sicher gestellt werden kann, dass die KI keine Aufnahmen von hightech Kameras benötigt.

### 4.3 Die App Skinvision

Auch auf dem Consumer-Markt ist die KI Technologie zur Erkennung von Hautkrebs angekommen. Ein Beispiel hierfür ist die App “Skinvision”. Nach eigener Aussage hat die App 1 Mio. Nutzer. Bislang wurden mehr als 3,5 Mio. Hautuntersuchungen durchgeführt und 40.000 Fälle von Melanomen festgestellt (SkinVision, 2021). Die App bietet neben der Diagnose von einzelnen Flecken noch weitere Funktionen, wie z.B. ein Risikoprofil zu erstellen oder einen Hauttypentest zu machen. Die Nutzung der App ist kostenpflichtig. Eine einzelne Überprüfung eines Flecks kostet 6,99 Euro. Eine “Flatrate” für drei Monate kostet 24,99 Euro und für ein ganzes Jahr 49,99 Euro.

Einen Arzt kann und soll die App allerdings nicht ersetzen. In seinen FAQ schreibt der Anbieter:

“Unsere Hautuntersuchungen haben weder die Absicht, eine medizinische Diagnose zu stellen, noch ersetzen sie Besuche beim fachmedizinischen Experten. (SkinVision, 2021)

### 4.3.1 Evaluation von Skinvision

Skinvision hat mit Studien versucht, die Trefferquote ihres Systems bestätigen zu lassen. Eine Studie der EADV<sup>9</sup> bescheinigt der App eine Sensitivität<sup>10</sup> von 95% und eine Spezifität<sup>11</sup> von 78%. Das bedeutet, dass ein in 78% der Fälle angegebenes negatives Ergebnis in Wahrheit nicht negativ ist.

Ein Interessenskonflikt bei der Studie könnte allerdings existieren (wie die Autoren der Studie auch transparent selber angeben), da die Studie von Skinvision unterstützt wurde.

## 4.4 Kritik an Haut-Scan-Apps

Eine Metastudie von Freeman et al. (2020) untersuchte verschiedene Hautkrebs-Diagnose-Apps, unter anderen Skinvision, und deren Studien und kam zu einem kritischen Urteil. So werfen (Freeman et al., 2020) den Studien vor, dass die zuverlässigen Daten knapp sind, es teilweise selektive Probandenauswahl und keine konsistenten Klassifikationen gab und Referenzstandards nur unzureichend eingehalten wurden. Beispielsweise wählen in fünf der analysierten Studien Kliniker aus, welche Hautauffälligkeiten getestet werden sollen. In sieben Studien wurden die Stellen von den Forschern und nicht von den Teilnehmern fotografiert. Diese "Kontrolle der Laienbeteiligung" könne die Ergebnisse weg von der realen Anwendung verzerren (Sophie Porter - mobihealthnews, 2020).

Freeman et al. (2020) schreiben:

---

<sup>9</sup>European academy of dermatology and venereology

<sup>10</sup>Richtig-Positiv-Erkennungsrate

<sup>11</sup>Richtig-Negativ-Erkennungsrate

"While recognising their potential, the authors have warned against their use in the current state."

Und kommen zu dem Urteil, dass die CE Zertifizierung für solche Apps besser reguliert werden müssen, da sie ansonsten eine Gefahr für die Öffentlichkeit darstellen können (ebd.):

"Current algorithm based smartphone apps cannot be relied on to detect all cases of melanoma or other skin cancers. Test performance is likely to be poorer than reported here when used in clinically relevant populations and by the intended users of the apps. The current regulatory process for awarding the CE marking for algorithm based apps does not provide adequate protection to the public."

## 5 Fazit

Künstliche Intelligenz ist längst in der Medizin angekommen. Besonders die Krebsdiagnose, die mit bildgebenden Verfahren arbeitet, eignet sich gut für den Einsatz der KI. Allerdings kann sie einen Arzt längst nicht ersetzen. Sie ist vielmehr ein zusätzliches Werkzeug, das Ärzte unterstützen und entlasten kann - vergleichbar mit einer Rechtschreibkorrektur am Computer, auf die wir auch nicht mehr verzichten, der wir aber auch nicht 100 prozentig vertrauen.

Manche Auffälligkeiten kann eine KI übersehen - genauso wie manche Auffälligkeiten von einem Arzt übersehen werden

können. Die KI kann, mit ihren besonderen Fähigkeiten, wie ein vier Augen Prinzip funktionieren und zusammen mit einem Arzt für mehr Sicherheit sorgen.

Auch wenn Heimanwendungen wie Hautkrebs-Diagnose-Apps kritisch gesehen werden können, da auf ihr Ergebnis nicht zu hundert Prozent vertraut werden sollte, senken sie zumindest die Hemmschwelle irgendeiner Art von Untersuchung durchzuführen und können statistisch gesehen helfen, Krebs früher zu erkennen und erfolgreich zu behandeln.

## Literatur

- Brinker, T. J., Hekler, A., Enk, A. H., Klode, J., Hauschild, A., Berking, C., ... Schrüfer, P. (2019). Deep learning outperformed 136 of 157 dermatologists in a head-to-head dermoscopic melanoma image classification task. *European Journal of Cancer*, 113, 47-54. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959804919302217> doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2019.04.001>
- Esteva, A. & Topol, E. (2019, 11). Can skin cancer diagnosis be transformed by ai? *The Lancet*, 394, 1795. doi: 10.1016/S0140-6736(19)32726-6
- Freeman, K., Dinnes, J., Chuchu, N., Takwoingi, Y., Bayliss, S. E., Matin, R. N., ... Deeks, J. J. (2020). Algorithm based smartphone apps to assess risk of skin cancer in adults: systematic review of diagnostic accuracy studies. *BMJ*, 368. Zugriff auf <https://www.bmj.com/content/368/bmj.m127> doi: 10.1136/bmj.m127
- Haenssle, H., Fink, C., Schneiderbauer, R., Toberer, F., Buhl, T., Blum, A., ... Zalaudek, I. (2018). Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists. *Annals of Oncology*, 29 (8), 1836-1842. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923753419341055> (Immune-related pathologic response criteria) doi: <https://doi.org/10.1093/annonc/mdy166>
- Handelsblatt. (2019, 04). *Künstliche Intelligenz erkennt Hautkrebs besser als Hautärzte*. Zugriff am 07.06.2021 auf <https://www.handelsblatt.com/technik/vernetzt/medizin-kuenstliche-intelligenz-erkennt-hautkrebs-besser-als-hautaerzte/24209424.html>
- Lewis, M. (2021, 04). *An artificial intelligence tool that can help detect melanoma*. Zugriff am 11.06.2021 auf <https://news.mit.edu/2021/artificial-intelligence-tool-can-help-detect-melanoma-0402>
- McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafi-an, H., ... Shetty, S. (2020, 01. Jan). International evaluation of an ai system for breast cancer screening. *Nature*, 577 (7788), 89-94. Zugriff am 14.06.2021 auf <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6> doi: 10.1038/s41586-019-1799-6
- MED-TECH News. (2020, 11). *Ai solutions provider receives ce mark under*

- eu mdr. Zugriff am 07.06.2021 auf <https://www.med-technews.com/news/ai-and-vr-in-healthcare/ai-solutions-provider-receives-ce-mark-under-eu-mdr/>
- Pisano, E. D. (2020, 01). Ai shows promise for breast cancer screening. *Nature*, 577, S35-S36. doi: 10.1038/d41586-020-00847-2
- Robert Koch-Institut und Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (2020). *Krebs in deutschland 2015/2016* (12. Aufl.). Zugriff am 05.06.2021 auf [https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs\\_in\\_Deutschland/kid\\_2019/krebs\\_in\\_deutschland\\_2019.pdf](https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs_in_Deutschland/kid_2019/krebs_in_deutschland_2019.pdf)
- Savage, N. (2020, 03). How ai is improving cancer diagnostics. *Nature*, 579, S14-S16. doi: 10.1038/d41586-020-00847-2
- SkinVision. (2021, 06). *Skinvision homepage*. Zugriff am 07.06.2021 auf <https://www.skinvision.com/de/>
- Soenksen, L. R., Kassis, T., Conover, S. T., Marti-Fuster, B., Birkenfeld, J. S., Tucker-Schwartz, J., ... Gray, M. L. (2021). Using deep learning for dermatologist-level detection of suspicious pigmented skin lesions from wide-field images. *Science Translational Medicine*, 13 (581). Zugriff auf <https://stm.sciencemag.org/content/13/581/eabb3652> doi: 10.1126/scitranslmed.abb3652
- Sophie Porter - mobihealthnews. (2020, 02). *Study: Skin cancer detection apps 'cannot be relied on' for an accurate diagnosis*. Zugriff am 14.06.2021 auf <https://www.mobihealthnews.com/news/emea/study-skin-cancer-detection-apps-cannot-be-relied-accurate-diagnosis>
- Tabár, L., Vitak, B., Chen, T. H.-H., Yen, A. M.-F., Cohen, A., Tot, T., ... others (2011). Swedish two-county trial: impact of mammographic screening on breast cancer mortality during 3 decades. *Radiology*, 260 (3), 658-663.
- Wikipedia. (2021a). *Brustkrebs — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. Zugriff am 11.06.2021 auf <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Brustkrebs&oldid=212834415>
- Wikipedia. (2021b). *CE-Kennzeichnung — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. Zugriff am 07.06.2021 auf <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=CE-Kennzeichnung&oldid=212556261>
- Yala, A., Lehman, C., Schuster, T., Portnoi, T. & Barzilay, R. (2019). A deep learning mammography-based model for improved breast cancer risk prediction. *Radiology*, 292 (1), 60-66. Zugriff auf <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182716> (PMID: 31063083) doi: 10.1148/radiol.2019182716