

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Institut für Versorgungsforschung in der
Dermatologie und bei Pflegeberufen

Univ.-Prof. Dr. med. Matthias Augustin

Apps in der Dermatologie
Ein Scoping Review

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:
Philip Strömer
aus Mönchengladbach

Hamburg 2024

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 01.07.2025**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Stefan Schneider

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. Matthias Augustin

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung.....	6
1.1.	Hintergrund.....	6
1.2.	Bisherige Veröffentlichungen	10
1.2.1.	App-Store-Analysen	10
1.2.2.	Reviews zur App-Literatur.....	13
1.3.	Forschungslücke.....	15
1.4.	Forschungsfragen	16
2.	Material und Methoden	17
2.1.	Definition des Suchalgorithmus.....	18
2.2.	Definition der Ein- und Ausschlusskriterien.....	22
2.3.	Literaturrecherche und Screening	23
2.4.	Aufbau Auswertungstabelle.....	24
3.	Ergebnisse.....	27
3.1.	Literatur-Screening.....	27
3.2.	Matrixanalyse.....	29
3.2.1.	Formale Daten	30
3.2.2.	Studiendesign und -teilnehmer.....	32
3.2.3.	Indikationen.....	38
3.2.4.	Outcomes.....	39
3.2.5.	Untersuchte Apps.....	39
3.2.6.	App-Konzept und -Intention	40
3.2.7.	WHO-Klassifikation der Funktion von Apps.....	42
3.2.8.	Am häufigsten untersuchte Apps.....	45
4.	Diskussion.....	49
5.	Limitationen der Arbeit	69
6.	Fazit und Ausblick	70
7.	Abstract.....	73

8. Abkürzungsverzeichnis	75
9. Abbildungsverzeichnis	77
10. Tabellenverzeichnis.....	78
11. Literaturverzeichnis.....	79
Zitierte Literatur.....	79
Alle relevanten Publikationen der systematischen Literaturrecherche	84
12. Danksagung	94
13. Lebenslauf.....	95
14. Anhang	96
15. Eidesstattliche Versicherung.....	103

*The most profound technologies are those that disappear.
They weave themselves into the fabric of everyday life until
they are indistinguishable from it.*

Marc Weiser, 1991

ALLGEMEINE HINWEISE

Die vorliegende Arbeit verwendet international anerkannte, englische Begrifflichkeiten, sofern gegenwärtig keine deutschen Übersetzungen beziehungsweise Fachbegriffe definiert oder etabliert worden sind.

In der Dissertation wird darauf verzichtet, bei Personenbezeichnungen sowohl die männliche als auch die weibliche Form zu nennen. Wird nicht explizit auf ein Geschlecht verwiesen, gilt eine Form zur besseren Lesbarkeit für alle Geschlechter.

Alle Tabellen und Abbildungen in dieser Schrift, bei denen keine Quelle angegeben ist, wurden eigens angefertigt.

INTERESSENKONFLIKTE

Der Autor, Philip Strömer, erklärt hiermit, dass keine materiellen oder nichtmateriellen Interessenkonflikte bestehen, die den Inhalt dieser Arbeit beeinflusst haben könnten.

PERSISTENT IDENTIFIER

URN:nbn:de:gbv:18-ediss-129933urn:nbn:de:gbv:18-ediss-129933

1. Einleitung

1.1. Hintergrund

Am 9.1.2007 wurde mit dem iPhone von Apple (vgl. Apple Inc., 2007) zwar nicht das erste Smartphone vorgestellt, jedoch jenes, welches rückblickend wesentliche Merkmale heutiger Smartphones eingeführt und den Begriff neu definiert hat (vgl. Agar, 2013).

Smartphones sind heute bekannt als tragbare elektronische Geräte, deren Bedienfläche größtenteils aus einem Display mit Berührungssensor besteht. Sie sind der Nachfolger des Mobiltelefons und haben mit ihrer leichten Bedienbarkeit die Welt nachhaltig und in beinahe allen Lebensbereichen verändert (Ough, 2023). Heutzutage sind sie aus dem Alltagsleben nicht mehr wegzudenken. Sie vereinen eine Vielzahl von Diensten, für die zuvor einzelne andere Geräte genutzt werden mussten, unter anderem wichtige Funktionen wie Telefonie, Mailverkehr, Internetzugang, Multimediawiedergabe, Navigation, Organisation und Datenspeicherung (vgl. Ough, 2023).

Smartphones sind für viele ein wichtiges Werkzeug für den privaten und öffentlichen Austausch. Beide Arten der Kommunikation finden vorwiegend in den sozialen Medien beziehungsweise auf Social Media statt. Dies sind digitale Plattformen, die unter anderem die Kommunikation mit Einzelpersonen oder Gruppen ermöglichen, darüber hinaus aber auch den Konsum anderer Medien erlauben (vgl. Schneider & Toyka-Seid, 2023). Die verfügbaren Software-Programme, die auf der Benutzeroberfläche des Smartphones angezeigt und gesteuert werden, nennen sich „Apps“, abgeleitet aus dem englischen Wort „applications“, was auf Deutsch „Anwendung“ bedeutet (vgl. bpb, 2019).

Nahezu alle Branchen und Lebenswelten haben sich verändert, einige sind gänzlich neu entstanden. Die aktuelle Form von Social Media ist heute so selbstverständlich wie vor 15 Jahren noch nicht existent. Apps als kleine Alltagshelfer beim Einkauf, auf Reisen, im Studium oder im Bereich Gesundheit begleiten uns auf Schritt und Tritt. Entfernungen sind kürzer geworden, Informationen überall und jederzeit verfügbar, künstliche Intelligenz (KI) unterstützt uns in vielen Lebensbereichen, Technologien passen in eine Armbanduhr oder ein tragbares Gerät nicht einmal so groß wie eine Hand.

Das Internet wird mittlerweile genauso oft durch Smartphones wie durch Desktop-Computer genutzt (StatCounter, 2023). Bereiche, die durch Apps bequem und schnell auf einem Smartphone für Patienten und Ärzte bereitgestellt werden, sind zum Beispiel der Zugang zu medizinischem Wissen, die Dokumentation des Krankheitsverlaufs und die Kommunikation

zwischen Teilnehmern des Gesundheitswesens (vgl. Albrecht *et al.*, 2016). Darüber hinaus können Apps die Nutzung künstlicher Intelligenz zur Diagnoseunterstützung zugänglich machen. Apps für Store-and-Forward (SaF) Telekonsultationen ermöglichen es, Bilder und Krankheitsinformationen zu senden, welche anschließend zeitlich flexibel vom zuständigen Arzt begutachtet werden können (Kaliyadan & Ramsey, 2022). Die Großzahl von Möglichkeiten stellt vielversprechende Chancen dar, birgt jedoch auch Herausforderungen im Hinblick auf Datenschutz, Diagnosegenauigkeit, Haftung bei Fehlern und die Notwendigkeit einer angemessenen medizinischen Kontrolle in Präsenz (vgl. Mars *et al.*, 2018, Elsner *et al.*, 2018 & Jobson *et al.*, 2021).

Laut HealthOn (2022) existieren im Google Play Store etwa 3,6 Millionen Anwendungen. Von 120.000 (~3,4%) „Gesundheit & Fitness“ Apps seien circa 8.500 deutschsprachig. Unter 53.000 (~1,5%) Apps der Kategorie „Medizin“ seien etwa 3.000 deutsche Anwendungen zu finden (Stand August 2022). Die Firma Apple Inc. legt keine Zahlen neuer als Oktober 2016 offen, um entsprechende Aussagen zu treffen. Zu dieser Zeit gab es etwa 1,9 Millionen Apps im Apple App Store, darunter 61.000 (~3,2%) Apps in der Kategorie „Gesundheit & Fitness“ und 39.000 (~2%) in „Medizin“ (HealthOn, 2022).

Die lange Zeit fehlende Regulierung von Gesundheits-Apps widerspricht dem allgemeinen Streben nach Qualität im Gesundheitswesen. Spätestens, wenn es um die Vorsorge, die Diagnose, die Therapie oder die Rehabilitation von Erkrankungen geht, hat jede Gesellschaft ein grundsätzliches Interesse an einer nachprüfbaren Qualität und ihrer Kontrolle (vgl. Bork *et al.*, 2018). Die staatliche Fürsorge und Regulation des individuellen und irrationalen Potenzials von Krankheit und Tod durch das Gesundheitswesen sind unabdingbare Voraussetzungen für ein gutes Funktionieren der Gesellschaft und menschenrechtlich verankert (vgl. Krennerich, 2021).

In Deutschland, wie in vielen anderen Ländern, bestehen bis heute nur wenige Ansätze, um diesen neuen Bereich der Gesundheitsfürsorge und -vorsorge auf seine Qualität hin zu prüfen. Allgemein anerkannte Kriterien zur Bewertung der medizinischen Qualität von Fitness-, Wellness- und Gesundheits-Apps existieren bislang noch nicht (vgl. Verbraucherzentrale Bundesverband, 2023).

Laut Albrecht und Jan (2017) beinhalte diese Fülle an Optionen bei gesundheitsbezogenen Apps sicherlich viele Apps hoher Qualität, jedoch könne die Mehrheit der Anwendungen, deren Qualität fraglich sei, im Zweifelsfall die Gesundheit der Nutzer aufs Spiel setzen. Die Entwickler der Anwendungen täten dies nicht absichtlich, sondern könnten nicht mit den

hohen und sich schnell wandelnden Ansprüchen mithalten. Hohe Anforderungen bestünden in Bezug auf Funktionalität und Bequemlichkeit der Nutzeroberflächen, ebenso wie auf Rücksichtnahme gegenüber den Regularien, Richt- und Leitlinien im Feld der Medizin, die es zu beachten gilt, um die Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit ihres Produkts zu gewährleisten (Albrecht & Jan, 2017).

Durch die seit 2021 verpflichtende EU Medical Device Regulation (MDR) ist festgelegt, dass in der EU Apps, die nach eben dieser als Medical Device App (MD-App) zu definieren sind, bevor sie auf dem Markt angeboten oder in diesen importiert werden, mit dem geltenden Recht auf Konformität zu überprüfen sind (Conformité Européenne/CE-Zertifizierung; vgl. *MDR 2023*). Das Prüfsiegel bestätigt, dass grundlegende Sicherheitsmaßgaben in der Entwicklung der App eingehalten wurden. Die inhaltliche Qualität der Informationen, der Nutzeroberfläche und der Privatsphäre werden nicht überprüft, weswegen das Prüfsiegel nicht direkt für eine bessere oder vertrauenswürdiger App steht (vgl. Kramer, 2017). Mit Inkrafttreten der MDR ist es zur Aufgabe der Vertreiber von Apps (App Stores) geworden, dass ausschließlich CE-zertifizierte MD-Apps angeboten werden, dass Beschwerden an MD-Apps überwacht und ernste Qualitätsbedenken den Behörden gemeldet werden (*MDR 2023*). Laut Sadare *et al.* sei jedoch nicht herauszufinden, ob und in welchem Umfang diese neuen Aufgaben durch die App Stores umgesetzt wurden. Es seien weiterhin viele Apps, die als Medizinprodukt zu definieren sind, ohne Hinweis auf eine CE-Zertifizierung erhältlich (Sadare *et al.*, 2023).

Um Patienten bei der Auswahl qualitativ zufriedenstellender Apps zu unterstützen, setzt unter anderem die Bundesärztekammer darauf, über mögliche Qualitätsmängel bei Apps aufzuklären (BÄK & KBV, 2020). Eine weitere Möglichkeit für Patienten bieten Plattformen, die als unabhängige Dritte ausgewählte Apps auf Qualität prüfen und teilweise auch Prüfsiegel ausstellen (vgl. Albrecht, 2018).

In Deutschland wurde mit Einführung eines speziellen Zulassungsverfahrens für medizinische Apps im Digitale-Versorgung-Gesetz (DVG, 2019) das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) damit beauftragt, Qualitäts- und Sicherheitskriterien für Apps zu entwickeln, die über die MDR hinausgehen. Anbieter, die das daraufhin entwickelte Zulassungsverfahren durchlaufen haben, können als Digitale Gesundheitsanwendung (DiGA) zu Lasten der gesetzlichen Krankenversicherungen von Ärzten auf Rezept verordnet werden (BfArM, o. J.b). Das Verfahren ist jedoch auf Anwendungen, die als Medizinprodukt zu klassifizieren sind (v. A. diagnose- und therapiebezogene Anwendungen) und eine niedrige Risikoklassifizierung aufweisen,

beschränkt (BfArM, o. J.b). Nur einzelne der verfügbaren Gesundheits-Apps befinden sich einige Jahre nach der Implementierung dieses Systems aber auf diesem Weg. Gründe dafür seien laut HealthOn (o. J.) der dafür benötigte „Nachweis des patientenrelevanten Nutzens“, der mit hohen Kosten zur Durchführung einer Studie verbunden ist, und eine große Unsicherheit in Bezug auf die nach der Zulassung als DiGA zu erzielenden Preise sowie die Quantität der Verschreibungen auf Rezept. Außerdem sind Apps, die als Medizinprodukt der Risikoklasse IIb oder III gelten, von der Zulassung als DiGA ausgeschlossen (BfArM, o. J.b). Aktuell findet sich unter den 52 zugelassenen DiGAs keine dermatologische Anwendung (vgl. Sonnet, 2023 & BfArM, o. J.a; Stand 31.12.2023).

Im Jahr 2020 identifizierten Azad-Khaneghah *et al.* durch eine umfangreiche Literaturrecherche 25 verschiedene Bewertungsskalen für Qualität. Alle wurden von Experten-Gruppen entwickelt, ohne ein theoretisches Grundgerüst als Basis. Laut Autoren folge daraus, dass die herangezogenen Kriterien für Qualität je nach Score eine große Varianz aufweisen und deshalb ihre Validität fragwürdig sei (Azad-Khaneghah *et al.*, 2020). Auch Nouri *et al.* (2018) weisen in ihrem Review zu Qualitätskriterien bei mHealth Apps auf die „umfangreiche Heterogenität der Assessment Kriterien“ hin. Zum Beispiel nutzt der MARS Score (Stoyanov *et al.*, 2015) Engagement, Funktionalität, Ästhetik, Informationsqualität und subjektive Qualität als Kategorien der Datenerfassung, der ORCHA-24 (Leigh *et al.*, 2017) die Kategorien Data Governance, Klinische Wirksamkeit und Sicherheit sowie Nutzererlebnis und -bindung.

Insgesamt gibt es nur wenige Qualitätsfragebögen für Apps wie ORCHA-24, den MARS-Score und die Checkliste des Royal College of Physicians (Wyatt *et al.*, 2015), welche die Evidenzlage zumindest mit in die Bewertung einbeziehen. Laut der Übersichtarbeit der Haute Autorité de Santé (HAS, 2021) wurde der MARS-Score am häufigsten in Veröffentlichungen verwendet. Stoyanov *et al.* erarbeiteten diesen im Jahr 2015 in einer Review-Arbeit aus über 20 verschiedenen publizierten Vorschlägen zur Messung der medizinischen Qualität von mHealth-Anwendungen. Es beschäftigt sich jedoch lediglich einer von 19 Teilaspekten des Gesamtscores mit der Frage, ob eine Studie vorliegt und ob ein positiver Outcome gemessen wurde (Stoyanov *et al.*, 2015). Die Güte der Studie ist dabei irrelevant. Auch bei der von der HAS durchgeführten Suche nach Online-Datenbanken, die Apps bewerten, wurde nur in wenigen Fällen wie „Digimeda“ und „Health Navigator“ die Evidenzlage teilweise einbezogen (Haute Autorité de Santé, 2021).

„Die Entwicklungsdynamik auf dem Markt der Gesundheits-Apps ist als sehr hoch einzuschätzen“ schreiben Albrecht *et al.* bereits im Jahr 2016. Zum einen ist die große

Anzahl an neu entwickelten Apps gemeint, zum anderen aber auch der kurze Feedback- und Produktzyklus zwischen Versionen mit augenblicklich verfügbaren Updates. Hinzu käme die schnelle Entwicklung neuer Soft- und Hardware der Smartphones, welche Innovation fördere (Albrecht *et al.*, 2016). Wissenschaftliche Belege seien kaum vorhanden, was daran liegen könne, „dass klassische wissenschaftliche Vorgehensweisen dafür nur wenig geeignet sind“ (ebd.). „Entsprechende Belege können vermutlich mit klassischen Methoden nur schwer erbracht werden, da der notwendige Untersuchungszeitraum oft im Gegensatz zur hohen Veränderungsdynamik der Produkte steht“ (ebd.). Medikamente oder medizinischen Geräte werden für die Zulassung mittels Studiendesigns untersucht, die über Jahrzehnte entwickelt und konsentiert wurden. Die Entwicklungsdynamik dieser ist jedoch nicht mit Apps zu vergleichen.

1.2. Bisherige Veröffentlichungen

Der Begriff „Literaturreview“ ist nicht eindeutig definiert, im wissenschaftlichen Kontext wird er jedoch meist genutzt, wenn ein Überblick über die bisherige wissenschaftliche Literatur verschafft werden soll. Da es sich hierbei nicht um primäre Forschung, sondern „Forschung von Forschung“ handelt, werden Reviews auch als Sekundärliteratur bezeichnet (vgl. Sturma *et al.*, 2016).

Für die Zusammenfassung der bisherigen Datenlage zum Thema „Apps in der Dermatologie“ sind neben Literaturreviews auch Veröffentlichungen von Interesse, die eine Übersicht über die verfügbaren Apps am Markt geben. Diese Arbeiten sind als Primärliteratur einzustufen und werden im weiteren Verlauf „App-Store-Analysen“ genannt, auch wenn sie teilweise von Journalen irreführenderweise als Reviews bezeichnet werden.

Für dieses Scoping Review sind sowohl die Betrachtung der bestehenden Apps als auch die Betrachtung der zugehörigen Literatur von Relevanz. Im nachfolgenden Kapitel wird die verfügbare, den App-Markt analysierende Primärliteratur beschrieben (Kapitel 1.2.1). Im Anschluss folgt die Betrachtung relevanter Literaturreviews (Kapitel 1.2.2).

1.2.1. App-Store-Analysen

Veröffentlichungen, die einen Überblick zu vorhandenen mobilen Anwendungen schaffen, untersuchen, welche Anwendungen auf den Vertriebsplattformen für Apps, den sogenannten „App Stores“, verfügbar sind. Den Großteil des weltweiten Markts teilen sich seit vielen Jahren die App Stores von Google LLC, genannt „Google Play“ und Apple Inc., genannt „(Apple) App Store“. Sie beinhalten zusammen mehrere Millionen Apps.

Bereits in 2012, kaum fünf Jahre nach der Marktreife des ersten Smartphones, sind laut Hamilton und Brady bereits tausende medizinische Apps verfügbar. Sie äußern Bedenken bezüglich Sicherheit, Vertraulichkeit, Qualität und Regulation der Apps. Vorbehalte dieser Art sind bis heute nicht beseitigt. Ferner verzeichnen Hamilton und Brady in ihrer Analyse im Jahr 2012 79 Apps dem Thema der Dermatologie, wobei Apps, die Referenzmaterialien zur Verfügung stellen, mit 62 Prozent den größten Anteil bilden. Seither nimmt die Anzahl der dermatologischen Apps stetig zu. Im Jahr 2013 veröffentlichten Brewer *et al.* eine ähnliche Analyse. Sie suchten neben dem Begriff „dermatology“ auch nach sechs häufigen dermatologischen Erkrankungen. Ihre Suche fand 229 Dermatologie-Apps. Auch hier bildeten Apps, die Referenzmaterialien bereitstellen, mit 27 Prozent den größten Anteil am Markt. Eine ähnliche App-Store-Analyse wurde von Patel *et al.* 2014 durchgeführt. Hier wurde die zuvor durchgeführte Suche von Brewer *et al.* einzig um den Begriff „Teledermatologie“ erweitert und 319 verschiedene Apps gefunden. Flaten *et al.* (2018) führte dieselbe Suche in 2017 durch und fand 526 Dermatologie-Anwendungen. Die Arbeit von Ouellette und Rao (2022) hat die App Store-Suche um wenige Begriffe erweitert und in 2022 632 relevante Apps gefunden.

Die Daten aus 2022 wurden von den Autoren unter anderem nach der Zielgruppe der App aufgeteilt. 62,5% der Apps wenden sich an Patienten, 32,1% an Gesundheitspersonal und 5,4% an beide Gruppen. Apps, die Referenzmaterial für Patienten zur Verfügung stellen, waren mit 25,8 Prozent am häufigsten vertreten („Disease Guides“). Andere häufige Kategorien sind Selbst-Überwachung und -Diagnose (14,9 Prozent), Teledermatologie (11,1%) und dermatologisches Referenzmaterial für Gesundheitspersonal (9,8%).

Der dargestellte Wachstumstrend bei dermatologischen Apps ist analog auch für Hautkrebs-Apps nachzuvollziehen. Kassianos *et al.* (2015) identifizierten im Jahr 2014 39 Hautkrebs-Apps, Ngoo *et al.* (2018) fanden 2017 43 Apps. Die Analyse von Kong *et al.* (2020) identifizierte 2019 66 Apps zu Hautkrebs. Zuletzt genannte Veröffentlichung analysiert außerdem den Wandel auf dem App-Markt. So konnten in 2019 von den 39 Apps, die in 2014 gefunden wurden, nur noch neun und von den 43 Apps, die im Jahr 2017 gefunden wurden, nur noch 20 Apps in den App Stores ausgemacht werden. Kong *et al.* (2020) beschrieben außerdem, dass der Anteil von Apps, die automatische, KI-unterstützte Bildanalysen durchführen, von 23,3% im Jahr 2017 auf 39,4% im Jahr 2019 stieg. Apps, welche die Möglichkeit einer teledermatologischen Untersuchung bieten, bilden mit 27,3 Prozent die zweitgrößte Kategorie, gefolgt von Anwendungen, die das Aufnehmen dermatoskopischer Bilder über zusätzliches Handyzubehör ermöglichen (13,6%).

Vereinzelt finden sich App-Store-Analysen, die einzelne Apps genauer betrachten. Beispielsweise analysiert Steeb *et al.* (2019) 17 Hautkrebs-Apps, die in deutscher Sprache verfügbar, für Patienten bestimmt und kostenfrei erhältlich sind, mithilfe des sog. MARS-Scores. Diese Bewertungsskala reicht von eins, „inadequate“ (dt.: „unzureichend“), bis fünf, „excellent“ (dt.: „ausgezeichnet“). Die Apps haben eine insgesamt hohe Qualität mit einem Durchschnittswert von $3,78 \pm 0,55$. Zu beachten ist, dass der Teilscore „Ästhetik“ mit $4,10 \pm 0,66$ den Durchschnitt nach oben zieht, während der Teilscore Information mit $3,68 \pm 0,61$ unterdurchschnittlich abschneidet. Lull *et al.* (2022) untersuchen acht deutschsprachige Psoriasis-Apps, die sowohl im Google Play als auch im Apple App Store zu finden sind und sich an betroffene Patienten richten. Die Apps werden mit dem MARS-G (MARS-German; deutsche Version des MARS-Scores von Messner *et al.*, 2020) betrachtet und erreichen Scores zwischen 3 und 4,18 Punkten. Die am besten abschneidende App wird außerdem von zwei Patienten mit dem uMARS-G (Score angelehnt an den MARS-G, jedoch vom Patienten/ Benutzer der App zu eruieren) getestet. Mit einem Ergebnis von 3,48 Punkten schneidet die App in der Nutzerbewertung deutlich schlechter ab. Die Übersichtsarbeit von Masud *et al.* (2018) ist darauf ausgelegt, einen Score für die Bewertung von Apps zu erstellen, die Patientenedukation zum Ziel haben. Apps mit 16 oder mehr von 20 maximal möglichen Punkten gelten nach dieser Skala als „wertvoll und adäquat für Patientenedukation“. Von 44 in den beiden gängigen App-Stores gefundenen Edukationsanwendungen erreichten bei der Analyse neun (20,5 %) einen solchen Score. Die gleiche Bewertungsskala nutzen auch Sambhi *et al.* (2019). Sie betrachten Apps, die Patienten mit Akne unterstützen. Zwei der 25 untersuchten Apps erzielten einen Score von 16 oder mehr. Schuster *et al.* (2020) erforschen die Evidenz hinter 21 Apps, die zu Juckreiz (Pruritus) identifiziert wurden. Zu drei der Anwendungen kann eine Validierungsstudie gefunden werden.

Insgesamt zeigen App-Store-Analysen somit, dass die Anzahl an Apps, die in der Dermatologie zur Verfügung steht, kontinuierlich zunimmt. Das zur Verfügung stellen von Referenzmaterialien bildet schon früh eine der meistvertretenen Funktionen. Teledermatologie und KI-gestützte Bildanalyse-Apps sind zuletzt immer häufiger vertreten. Ein starkes Augenmerk liegt auf Anwendungen zu Hautkrebs, nur vereinzelt wurden Apps zu anderen Erkrankungen betrachtet. Wird versucht die Qualität von Apps zu messen, gibt es mehrere Bewertungsskalen, die genutzt werden. Wird eine Bewertung von Patienten statt von medizinischen Wissenschaftlern durchgeführt, kann der Qualitäts-Score erheblich geringer

ausfallen. Wird nach Evidenz als Basis einer App gesucht, sind zumindest bei Juckreiz nur vereinzelt Validierungsstudien zu finden.

1.2.2. Reviews zur App-Literatur

Die Dermatologie ist ein wichtiger Bestandteil in der Digitalentwicklung. Das zeigen zum Beispiel Millenson *et al.* (2018). Sie untersuchen in ihrem Scoping Review fachrichtungsübergreifend die Evidenz zu patientengerichteten digitalen Diagnosewerkzeugen. Aus den 30 relevanten Studien ist die Dermatologie mit zehn Veröffentlichungen größter Fokus. Acht Studien bieten allgemeine Triage- und Diagnoseunterstützung, die restlichen zwölf teilen sich auf neun weitere Fachgebiete auf. Als auffällig beschreiben die Autoren außerdem, dass viele Apps in Publikationen nicht namentlich genannt werden und dass die Hälfte der vorliegenden Studien nicht die Performance der Apps untersuchen, sondern lediglich App-Charakteristiken beschreiben. Auch der Scoping Review von Mars *et al.* (2018) analysiert einen Teilaspekt der medizinischen Digitalisierung fachübergreifend und unterstreicht die Vorreiterrolle der Dermatologie. Er betrachtet alle Veröffentlichungen zur Nutzung von mit dem Handy selbstgemachten Bildern. Vierzig der 68 identifizierten Studien behandeln die Dermatologie. Der Fokus der Arbeit liegt auf medizinisch ethischen Bedenken bei der Nutzung von Bildern in der Medizin. Am häufigsten nannten Studien Bedenken wie Vertraulichkeit (12), Sicherheit (12), Einwilligung (10) und Bildqualität (10). Die Autoren stellen fest, dass bislang nur vereinzelt Hilfestellungen existieren, wie rechtliche Herausforderungen zu bewältigen sind. Probleme damit, wie Aufzeichnungen aufbewahrt und Bilder sowie Informationen gespeichert und zwischen Smartphones bzw. auf andere Geräte übertragen werden sollen, werden besonders hervorgehoben, sind jedoch nicht die einzigen.

Morris *et al.* (2018) betrachten die Nutzung von Instant Messengern (Anwendungen zum textbasierten Austausch von Nachrichten; z.B. SMS, WhatsApp, WeChat, etc.) in der Dermatologie. Die Anwendungsgebiete in den gefundenen 31 Studien sind vielfältig. Fokus legen die Autoren zum einen auf Publikationen, die den Nutzen für Fernbehandlung besonders in Entwicklungsländern (3 Studien) zeigen, zum anderen auf Studien, die Bedenken zu medizinisch-rechtlichen Aspekten äußern (10 Studien).

Veröffentlichungen, die sich mit einer spezifischen Krankheit beschäftigen, behandeln, wie auch die App-Store-Analysen, zumeist Hautkrebs. Die systematische Literaturrecherche von Rat *et al.* (2018) untersucht 25 Studien zu automatisierter KI-Analyse (12 Studien) und teledermatologischer SaF-Analyse von Melanomen (13 Studien). Unter anderem finden die

Autoren heraus, dass die gemessene Genauigkeit in den KI-Studien breit gefächert ist (Sensitivität: 7% bis 87%, Median 69%; Spezifität 9% bis 100%) und die Konkordanz zwischen Tele Dermatologen und vor-Ort-Untersuchung in ähnlichem Ausmaß schwankt (Kappa Koeffizient zwischen 0,20 und 0,87). Außerdem zeigt die Auswertung der Studien nach ihrer Datenerhebung, dass bei der Validierung von KI-Apps oft Datenbanken genommen werden, welche die Grund- und Praxisversorgung nicht widerspiegeln. Freeman *et al.* (2020) untersuchen in ihrem systematischen Review neun Studien zu Smartphone-KI-Anwendungen und auch sie beschreiben, dass methodische Schwächen zum Beispiel in der Datenerhebung bestehen. Sowohl Rat *et al.*, als auch Freeman *et al.* kommen wegen dieser und weiterer Gründe zum gleichen Schluss: Apps als Screening-Werkzeuge sind für die Bevölkerung aktuell noch nicht in Betracht zu ziehen, weil bestehende Studien keine ausreichende Genauigkeit nachweisen und die Zielpopulation nicht abbilden.

Systematische Recherchen zu Apps für weitere Hauterkrankungen sind nur vereinzelt durchgeführt worden. Das Review von Koepp *et al.* (2020) zu Dekubitus Apps zeigt, dass die bis dato verfügbare Literatur einzig die Entwicklung von mobilen Anwendungen beschreibt und gewonnene Erkenntnisse für weitere Forschung mitteilt. Ein Goldstandard kann daher nicht erarbeitet werden und es bedarf weiterer Evaluation der Qualität der entwickelten Anwendungen. In dem narrativen Review von Havelin und Hampton (2022) wurden 55 Apps und 13 App-Studien im Kontext der Psoriasis zusammengetragen. Ihre Analyse ergibt, dass nur für eine App eine Validierungsstudie und für drei Apps klinische Testungen zu finden sind. Sie beschreiben die fehlende Evidenz bei einem Großteil der Apps als problematisch für Ärzte, da die Verantwortung dem Patienten gegenüber besteht, zuverlässige Datenquellen zu vermitteln.

Insgesamt sind nur sehr wenige Reviews und noch weniger systematische Literaturrecherchen zu finden, die Smartphone-Anwendungen in der Dermatologie thematisieren. Die Dermatologie allgemein zeigt sich jedoch im Vergleich zu anderen als eine Fachrichtung mit vielen Veröffentlichungen zu Apps. Der Umgang mit Patientendaten und weiteren Sicherheitsbedenken im digitalen Raum wird in vielen Studien geäußert. Diagnose-spezifische Apps, Studien und auch Reviews finden sich am häufigsten zu Hautkrebs und ähnlichen Läsionen. Der Evidenzgrad von Anwendungen wird von Reviews bisher durchweg als zu gering angegeben, um sie in den Versorgungsalltag integrieren zu können.

1.3. Forschungslücke

Aus gesellschaftlicher, politischer und wissenschaftlicher Sicht ist eine kritische Auseinandersetzung mit der Entwicklung digitaler Elemente in der Medizin unabdingbar, um Qualitätsverluste in der Versorgung zu vermeiden. Nichtsdestoweniger präsentiert die digitale Welt mit Wearables, Künstlicher Intelligenz, Social Media und ihrer sofortigen, ubiquitären Verfügbarkeit ein großes Potenzial, dass es auszuschöpfen gilt. Dies betrifft die einzelnen Fachbereiche der Medizin, aber auch andere Gesundheitswissenschaften. Soll eine Anwendung eine medizinische Aufgabe ersetzen oder ergänzen, ist es entscheidend, dass eine für den Patienten geprüfte, mindestens gleich hohe Versorgungsqualität erbracht wird. In Deutschland sowie in anderen westlichen Ländern mag der Anspruch an die notwendige Qualität dabei vielleicht höher sein als in anderen Regionen der Welt. Vor einer Auseinandersetzung mit derartigen Fragen muss aber zunächst der Status quo definiert werden. In vielen Bereichen der Medizin ist diese Bestandsaufnahme noch nicht erfolgt. In der Dermatologie gibt es zumindest bereits eine Leitlinie zur Teledermatologie, die von der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft (DDG) und dem Berufsverband der deutschen Dermatologen (BVDD) federführend unter Mitwirkung von Patientenvertretern, Medizinjuristen, Krankenkassenvertretern, Medizinethikern und Vertretern der ärztlichen Selbstverwaltung auf wissenschaftlichen Niveau als S2-k-Leitlinie bei der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) im Jahre 2020 veröffentlicht wurde (Augustin *et al.*, 2020). Sie beschreibt die derzeit gültigen gesetzlichen Rahmenbedingungen, sammelt die bis dato verfügbaren Informationen zu telemedizinischen Projekten, skizziert Chancen und Risiken und versucht teledermatologische Versorgung einzuordnen. Medizinische Apps sind jedoch noch nicht Teil dieser Bestandsaufnahme.

Die Auswahl an Publikationen zu mobilen Anwendungen in der Dermatologie ist karg. Die Anzahl an Übersichtsarbeiten fällt noch geringer aus. Ein Teil der Arbeiten, die einen Überblick zu verfügbaren Anwendungen auf dem Markt verschaffen, wurde im vorangegangenen Kapitel als App-Store-Analysen betitelt und zusammengefasst. Diese sind nicht der Sekundärliteratur zuzuordnen und auch oft nur beschreibender Natur. Wird versucht, zu den gefundenen Apps Validierungsstudien zu finden, ist dies bei den meisten Anwendungen erfolglos. Unter den wenigen relevanten Reviews sind längst nicht alle Arbeiten systematische Literaturreviews. Die Zahl der Primärquellen könnte bislang noch zu gering sein, um aussagekräftige Literaturanalysen zuzulassen – auch bei der meist-untersuchten Erkrankung, Hautkrebs. Literaturreviews beschränken sich zumeist auf

einzelne Krankheiten, einzelne Smartphone-Funktionen oder andere Teilaspekte des Themas. Ein Review über die Gesamtheit der verfügbaren Forschung zu dermatologischen Smartphone-Anwendungen fehlt bislang.

Die vorliegende Dissertation knüpft an die Notwendigkeit an, diese Wissenslücke zu schließen, um eine Basis für weitere Forschungsschwerpunkte im Themenfeld zu ermöglichen. Anhand einer Literaturrecherche soll der Status Quo zu Apps in der Dermatologie erhoben und dargestellt sowie die Evidenz präsentiert und analysiert werden. Das primäre Ziel der Arbeit ist eine Katalogisierung der in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlichten Originalarbeiten, die sich mit der Analyse von für die Dermatologie relevanten Apps beschäftigen. Dies soll ermöglichen, Aussagen über die Belastbarkeit der vorhandenen Kenntnisse zu treffen. Im Rahmen der systematischen Literaturrecherche soll der gegenwärtige Forschungsstand transparent dargestellt werden, um zukünftige Chancen und Herausforderungen herauszuarbeiten. Sekundäre Ziele der Arbeit sind potenziell vorhandene strukturelle Probleme bei App-spezifischen Veröffentlichungen aufzudecken, die Identifizierung von diagnoseübergreifenden Schwerpunkten der Literatur wie Studiendesign, Zielgruppe und App-Funktion und die Analyse der drei Apps mit den meisten Primärquellen. Berücksichtigt wurden alle Veröffentlichungen, die bis zum 17.11.2022 in der Suchmaschine für medizinische Datenbanken www.pubmed.gov gefunden wurden.

1.4. Forschungsfragen

- Wie groß ist der Umfang der Evidenz zu "Smart Device"-Anwendungen im Feld der Dermatologie?
- Welche Studiendesigns wurden bei Veröffentlichungen zum Thema gewählt?
- Welche Funktionen weisen die untersuchten Anwendungen auf?
- Können die untersuchten Veröffentlichungen einen Nutzen von bestimmten Anwendungen nachweisen?
- Welche weiteren Erkenntnisse sind aus der Analyse der Daten zu gewinnen?

2. Material und Methoden

In Anbetracht der breiten Zielsetzung wurde entschieden, als Design für die vorliegende Dissertation ein Scoping Review zu wählen. Im Sammelwerk „JBI [Joanna Briggs Institute] Manual for Evidence Synthesis“ (Aromataris E, 2020) beschreiben Peters MDJ *et al.* (2020) „Scoping Reviews“ als Literaturrecherchen, die ein Themenfeld mit einem breiten Spektrum (engl.: „broad scope“) betrachten. Ihre Aufgabe sei es einen Überblick zu liefern, zusammenzufassen und eine Basis für zukünftige Forschung zu schaffen. Der qualitative Vergleich sowie die Analyse von methodischen Limitationen und Bias der Literatur erfolgt hingegen typischerweise in systematischen Reviews.

Peters MDJ *et al.* (2020) beschreiben das „PPC mnemonic“ („Participants/Concept/Context mnemonic“, dt.: Teilnehmer/Konzept/Kontext Merkhilfe) als geeignetes Werkzeug für Scoping Reviews, um Titel, Fragestellung und Einschlusskriterien möglichst kongruent aufeinander abzustimmen. Die drei Elemente Teilnehmer, Konzept und Kontext seien ausreichend, um das breite Themenfeld einzuschränken und dienen als Basis, um Titel, Forschungsfragen und Einschlusskriterien aufeinander abzustimmen. Im Folgenden wurden sie auf das vorliegende Scoping Review angewendet:

- Teilnehmer (Participants): keine spezifische Population oder Einschränkungen,
- Konzept/Idee (Concept): alle relevanten Studien müssen sich mit einer dermatologischen Fragestellung beschäftigen, Apps nutzen und diese inhaltlich analysieren (Details siehe Abbildung 1),
- Kontext/Zusammenhang (Context): weltweit, Fragestellung hat keine Einschränkungen zum Kontext.

Einschlusskriterien (Population, concept, context (PCC) mnemonic)		
1. Population: Nicht genauer spezifiziert. Keine Einschränkungen zu eingeschlossener Population.		
2. Concept:		
2.1.	Studien die eine App/Apps beinhalten	o (native) App für ein mobiles Gerät (Smartphones/Tablets) OR o Web App, genutzt durch ein mobiles Gerät (smartphone/tablets)
AND		
2.2.	die Forschung auf das Feld der Dermatologie fokussieren	o primäre oder sekundäre dermatologische Erkrankung oder deren Prävention OR o Beschäftigte im dermatologischen Gesundheitswesen
AND		
2.3.	die App/Apps analysieren indem sie mindestens eins der folgenden bewerten:	o Patienten-/Nutzerzufriedenheit o Wirksamkeit/Effizienz o Effektivität o Durchführbarkeit, Akzeptanz und Benutzerfreundlichkeit o Qualität der Versorgung o Adhärenz zur App oder Therapie
3. Context: Weltweit. Nicht genauer spezifiziert. Keine Einschränkungen zu eingeschlossenem Kontext.		

Abbildung 1: PCC mnemonic - Struktur mithilfe derer die Einschlusskriterien konkretisiert wurden.

2.1. Definition des Suchalgorithmus

Der Suchalgorithmus wurde auf der Basis des PCC-Frameworks konstruiert. Die beiden „Concept“-Aspekte 2.1. und 2.2. (siehe Abbildung 1) wurden möglichst vollumfänglich mit Suchbegriffen umschrieben, um alle relevanten Arbeiten auf der PubMed-Plattform zusammenzutragen. Der Aspekt 2.3. konnte nicht vollumfänglich von Befehlen im Suchstring berücksichtigt werden, weshalb nach diesem Einschlusskriterium erst später im Screening-Prozess durch den Reviewer gefiltert wurde.

Während der Entwicklung des Suchstrings wurden zahlreiche Suchbegriffe getestet und verschiedene Varianten, die Begriffe logisch zu verknüpfen, ausprobiert. Die dreiundzwanzigste, endgültige Version des Algorithmus besteht aus zwei Teilen und ist in verkürzter Form in Abbildung 2 dargestellt. Der vollständige Suchstring ist im Anhang 1 zu finden.

Dermatologie		Mobile Application	
([>150 dermatologic diagnoses] OR Dermatol* OR "skin disease" OR Dermatology[MeSH])	AND	(App OR Apps OR (application AND (phone OR tablet OR smartphone OR mobile)))	

Abbildung 2: Suchstring vereinfacht dargestellt getrennt nach eingeschlossenen Suchelementen, die den Teilbereich Dermatologie eingrenzen (links) und Begriffen, die das Themengebiet Apps abdecken (rechts).

3. Der erste Teil des Suchstrings zielt darauf ab, alle Arbeiten auf der Plattform PubMed zu suchen, die das Thema Dermatologie behandeln. Dies wird durch eine umfassende Sammlung an Dermatosen (>180 Begriffe zu Dermatosen; s. vollständiger Suchstring: Anhang 1), eine Wortstammsuche („Dermatol*“) und den MeSH-Begriff (Medical Subject Heading; s. AbkürzungsverzeichnisAbstract

Apps in der Dermatologie – Ein Scoping Review

Hintergrund: Mobile Anwendungen und Technologien in der Medizin haben das Potenzial, ressourcenschonend und zeitgemäß in allen Bereichen des Gesundheitswesens die Lebens- und Versorgungsqualität zu verbessern. In der Dermatologie wurden bereits einige Möglichkeiten genutzt, Apps zu implementieren. Eine Zusammenfassung der existierenden Forschung gibt es bislang jedoch nicht. Das Ziel des Scoping Reviews ist, eine breitgefächerte Übersicht der bislang veröffentlichten Evidenz zu Apps in der Dermatologie zu erstellen. Dieser Status quo soll Besonderheiten und Schwierigkeiten bei der Forschung zu Apps aufzeigen und Grundlage für die Ermittlung von weiteren Forschungsvorhaben sein, die auf dem bisherigen Wissen zum Thema aufbauen.

Methoden: Es erfolgte eine weltweite Literaturrecherche in der PubMed-Onlinedatenbank. Im Screening-Prozess wurden die Veröffentlichungen gefiltert und die relevanten Studien wurden in einer Excel-Matrix katalogisiert, die weitere wichtige Details beinhaltet. Dazu zählten im wesentlichen allgemeine Veröffentlichungsdaten sowie Daten zur durchgeführten Studie und der untersuchten App. Im Anschluss wurde die Matrix anhand deskriptiver Statistik ausgewertet.

Ergebnisse: Der Screening-Prozess reduzierte die 1185 initial gefundenen Arbeiten auf 110 relevante. Die Analyse der Daten zeigte, dass erste relevante Studien ab 2012 veröffentlicht wurden und die Veröffentlichungsrate ab 2017 zunahm. Die Artikel wurden vorwiegend in eHealth spezifischen Journalen veröffentlicht und weniger in denen der führenden wissenschaftlichen Gesellschaften. Die am häufigsten untersuchten Indikationen sind Hautkrebs und Hautveränderungen (26%) und Wunden (18%). Neunundfünfzig Prozent der Studien wurden mit 100 oder weniger Teilnehmern durchgeführt. Laut Oxford Centre for Evidence-Based Medicine wurde das optimale Studiendesign für Evidenz von 30% der Publikationen gewählt. Die Ergebnisse der Studien sind quantitativer, wie auch qualitativer Natur, jedoch aufgrund der vielfältigen Variablen der Veröffentlichungen untereinander nicht vergleichbar. Positive Studieneffekte konnten in 68% der Publikationen gezeigt werden. In den 110 untersuchten Arbeiten wurden 99 verschiedenen Apps untersucht, 70 konnten namentlich identifiziert werden. Neunundachtzig Apps wurden nur von einer Studie betrachtet, sieben Anwendungen von zwei Studien. Die drei Anwendungen mit mehr als zwei Studien wurden genauer betrachtet. Die untersuchten Apps waren überwiegend auf Diagnostik (n=42), Verlaufsbeobachtung (n=29) oder Prävention (n=27) ausgelegt. Die Apps dienen häufig entweder dem Patienten (n=50) oder dem Arzt (n=27) sowie der Kommunikation zwischen Arzt und weiteren Person (n=19).

Diskussion: Die Analyse der 110 inkludierten Arbeiten zeigt nur wenige belastbare Daten, gemessen an allgemein anerkannten Qualitätsstandards für die Qualität wissenschaftlicher Publikationen. Dennoch zeigen 74 Publikationen zumindest positive Effekte, die Indizien sind für eine Verbesserung der Versorgung durch den Einsatz von Apps. Um in Zukunft eine bessere Vergleichbarkeit und belastbarere Ergebnisse zu erzielen, bedarf es verstärkter Forschung zu Apps. Zudem muss eine anerkannte standardisierte Methodik für Studien geschaffen werden, die adäquat auf den sich rasch wandelnden Markt zugeschnittenen ist. Die bisher für Medikamente oder Medizinprodukte etablierten Standards sind nicht oder nur teilweise auf medizinische Apps übertragbar. Um eine verstärkte Diskussion in dermatologischen Fachkreisen zu initiieren müssen führende Journale App-Artikel einbeziehen und gegebenenfalls ihre Einschlusskriterien an den digitalen Wandel anpassen.

Apps in Dermatology - A Scoping Review

Background: Medical mobile applications and technologies have the potential to improve all areas of healthcare in terms of quality of life and care in a resource-saving and modern way. Some opportunities to implement apps have already been used in dermatology. However, there is no summary of existing research to date. The aim of this scoping review is to provide a broad overview of the evidence on apps in dermatology published to date. This status quo is intended to highlight special characteristics and difficulties in research on apps and provide a foundation for further research projects that build on existing knowledge in this field.

Methods: A worldwide literature search was conducted in the PubMed online database. In the screening process, the publications were filtered and the relevant studies were catalogued in an Excel matrix containing further important details. This included general publication data as well as data on the conducted study and the analysed app. The matrix was then analysed using descriptive statistics.

Results: The screening process reduced the 1185 initially found studies to 110 relevant ones. The data analysis showed that the first relevant studies were published from 2012 and the publication rate increased as of 2017. The articles were mainly published in eHealth-specific journals and less in those of the leading scientific societies. The most frequently investigated indications were skin cancer and skin lesions (26%) and wounds (18%). Fifty-nine per cent of the studies were conducted with 100 or fewer participants. According to the Oxford Centre for Evidence-Based Medicine, the optimal study design for gaining evidence was chosen by 30% of the publications. The results of the studies are of a quantitative and qualitative nature, but are not comparable due to the many variables in the publications. Positive study effects were shown in 68% of the publications. In the 110 papers analysed, 99 different apps were examined, 70 of which could be identified by name. Eighty-nine apps were analysed by only one study, seven apps by two studies. The three apps with more than two studies were analysed in more detail. The apps analysed were predominantly designed for diagnostics (n=42), monitoring (n=29) or prevention (n=27). The apps were often used either by a patient (n=50) or a doctor (n=27) as well as for communication between doctors and other people (n=19).

Discussion: The analysis of the 110 papers included shows only little reliable data measured in accordance with generally recognised quality standards for the quality of scientific publications. Nevertheless, 74 publications at least show positive effects that are indicating an improvement in care through the use of apps. In order to achieve better comparability and more reliable results in the future, more research on apps is needed. It is also necessary to create a recognised standardised methodology for studies that is adequately tailored to the rapidly changing app market. The standards established to date for drugs or medical devices are not or only partially transferable to medical apps. In order to initiate an intensified discussion in dermatological circles, leading journals must include app articles and, if necessary, adapt their inclusion criteria to the digital transformation.

Abkürzungsverzeichnis) für Dermatologie umgesetzt.

Der zweite Teil des Suchstrings verknüpft Schlüsselwörter zum Themengebiet Apps gezielt und logisch miteinander. Um alle relevanten Publikationen einzuschließen, wurde uneingeschränkt nach den Begriffen „App“ und „Apps“ gesucht. Darüber hinaus wurden Arbeiten, welche das Wort „application“ beinhalten, eingeschlossen, wenn zusätzlich eines der Wörter „Phone“, „Tablet“, „Smartphone“ oder „mobile“ vorzufinden war. Diese Einschränkung war nötig, da das Wort „application“ alleine im Englischen eine Vielzahl von Bedeutungen hat, ähnlich dem Deutschen Wort „Anwendung“.

Bereits während der Erarbeitung des Suchstrings zeigte sich, dass einzelne Zusammenhänge für viele Fehltreffer ursächlich sind (siehe unten). Es wurde jedoch bewusst darauf verzichtet, exkludierende Operatoren in den Suchalgorithmus einzubauen, um fälschliche Ausschlüsse zu vermeiden.

Die dem Ergebnis der Algorithmus-Suche zugrundeliegenden 1085 Studien sind in das Literaturverwaltungsprogramm „Citavi“ (Version 6.14.0.) eingepflegt worden.

3.1. Definition der Ein- und Ausschlusskriterien

Die Ergebnisse der Literaturrecherche wurden mit den Einschlusskriterien, die sich aus dem PCC-Konzept ergeben (siehe Abbildung 1) und den im folgenden aufgeführten Ausschlusskriterien gefiltert. Die nach Anwendung der Kriterien auf Titel und Abstract verbliebenen Arbeiten wurden zusätzlich im Volltext mit den gleichen Gesichtspunkten analysiert.

Ausschlusskriterien:

- Duplikate,
- Arbeiten, für die kein Abstract bzw. Volltext in englischer oder deutscher Sprache vorliegt, um etwaig entstehende Unschärfen durch fehlerhafte Transkription zu vermeiden,
- Sekundärliteratur, da alle relevanten Informationen für die Analyse in den Originalarbeiten zu verorten sind,
- Publikationen, die im Sinne der Zielsetzung der vorliegenden Dissertation nicht einem relevanten Format entsprechen,
 - o Übersichtsarbeiten (Marktentwicklung oder -querschnitt zu Medizin- oder Dermatologie-Apps),
 - o Leserbriefe an die Redaktion (Letter to the Editor),
 - o veröffentlichte Kommentare zu bestehender Literatur,

- Zeitschriftenartikel, in denen keine neuen wissenschaftlichen Ergebnisse veröffentlicht werden, sondern Kontext, Funktion, Nutzen, potenzielle Anwendungsgebiete oder weitere Aspekte einer App oder Gruppe von Apps besprochen werden,
- weitere, für die zugrundeliegende Fragestellung nicht relevante Formate, wie Konferenz-Anwesenheitslisten, Einzelfallstudien, Werbebanner und Buchkapitel,
- Zwischenberichte ohne verwertbare Ergebnisse oder Berichte zu geplanten Studiendesigns,
- Berichte zur Methodik der Entwicklung von Apps,
- Studien, die ausschließlich Umfragen zum Nutzungsverhalten von Apps oder den Sozialen Medien zum Gegenstand hatten.

3.2. Literaturrecherche und Screening

Grundlage für die Analyse ist eine systematische Literaturrecherche auf der Plattform www.pubmed.gov, der die Datenbank MEDLINE und darüber hinaus weitere biowissenschaftliche Fachzeitschriften und digital publizierte Bücher zu Grunde liegen. Der Suchzeitraum wurde nicht begrenzt, Stichtag für die Suche war der 17.11.2022.

Der Suchstring wurde so gewählt, dass falsch-negative Ergebnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit vermieden werden konnten (siehe 2.1 Definition des Suchalgorithmus). Dadurch kam es zu einer Vielzahl an Treffern, bei denen einzelne Suchbegriffe in einem anderen Sachzusammenhang verwendet wurden. Sie wurden erst während des Screening-Prozesses identifiziert und ausgeschlossen. Hierzu gehörten Veröffentlichungen, in denen:

- die Abkürzung “app“ für einen anderen Begriff benutzt wurde wie “approximately” oder als Akronym für Begriffe wie “acute phase protein” oder „aminopepdidase P“,
- Suchbegriffe wie “application” oder “Tablet” als Homonym verwendet werden,
- nicht oder nicht zumindest mehrheitlich dermatologische Krankheitsentitäten untersucht werden und
- Apps lediglich als methodisches Instrument zur Datenerfassung genutzt werden.

Die individuelle und manuelle Extraktion der für die Zielsetzung der Dissertation relevanten Arbeiten war erforderlich, da unter anderem die Begriffe “application”, “tablet”, “mobile” und “apps” sowohl im umgangssprachlichen als auch im medizinischen Sprachgebrauch bis heute in ihrer Begrifflichkeit unscharf benutzt werden, bessere Zielkriterien für eine

möglichst vollständige Suche jedoch nicht zur Verfügung stehen. Darüber hinaus führten auch andere Suchbegriffe zu Fehltreffern.

3.3. Aufbau Auswertungstabelle

Nach dem Title- und Abstract-Screening wurden im Rahmen des Volltext-Screenings die relevanten Studien im Programm Microsoft Excel in einer Auswertungsmatrix gelistet. Zur deskriptiven Statistik wurden die im folgenden besprochenen Daten für jede Studie identifiziert und nach folgenden übergeordneten Kategorien katalogisiert:

- Basisdaten der Veröffentlichung (Autor, Jahr, Titel, Journal),
- zugrundeliegendes Studiendesign,
- Probandenanzahl,
- Land der Durchführung,
- der Intervention zugrunde liegende Krankheit,
- Format und Name der App,
- Funktion der App in Orientierung an die Klassifikation der WHO (Garrett Mehl *et al.*, 2018),
- Zielstruktur der Intervention (im Ablauf der ärztlichen Behandlung in der die App relevant ist),
- primäres Ziel der Intervention in Bezug auf Zusatznutzen,
- Zielgruppe der App,
- Wahl der Kontrollgruppe,
- Studienergebnisse.

Innerhalb der genannten Kriterien erfolgte eine weitere Aufschlüsselung in Detailbereiche. Im Folgenden werden für eine Reihe von Kriterien die gewählten Differenzierungen aufgeführt:

Die Gliederung unter *Zielstruktur der Intervention* bezieht sich auf die folgenden Unterpunkte der medizinischen Behandlung, in der die App eingesetzt wird:

- Allgemein,
- Edukation für Gesundheitspersonal,
- Prävention (primär und sekundär),
- Triage,
- Konsultation,
- Diagnostik,
- Therapie,

- Patientenüberwachung/Verlaufsbeobachtung,
- Nachsorge & Rehabilitation.

Zudem wurden Apps nach *primärem Ziel der Intervention in Bezug auf Zusatznutzen* unterteilt. Es wurden unterschieden nach Zusatznutzen bei:

- Zugang zu (hochqualitativer/zeitnaher) Versorgung,
- Adhärenz zur Therapie bzw. Prävention,
- Kenntnissen oder Gesundheitsverhalten der Patienten,
- Leistung, Fähigkeiten oder Wissen des Gesundheitspersonals,
- Diagnosegenauigkeit,
- Kontinuität der Versorgung,
- Ressourcennutzung,
- Einhaltung der Behandlungsrichtlinien.

Ferner wurde die angesprochene *Zielgruppe der App* erhoben unterteilt in:

- Arzt,
- Student,
- Patient (auch Prävention betreibende Person),
- Krankenpfleger,
- weiteres Gesundheitspersonal und Pflegende.

Findet Kommunikation statt, wurde diese festgehalten. Aufgetreten ist die Kommunikation zwischen:

- Arzt und Patient,
- Dermatologen und Dermatologen,
- Niedergelassenem Allgemeinmediziner und Dermatologen,
- weiteres Gesundheitspersonal und Dermatologen.

Zudem wurde die Wahl der Kontrollgruppe notiert:

- keine Vergleichsgruppe,
- App vs. Standardbehandlung,
- App vs. Baseline,
- App vs. App.

Die Studienergebnisse wurden in folgende Kategorien festgehalten:

- Durchführbarkeit (feasibility),
- Adhärenz zur DHI,

- Therapie Adhärenz,
- Benutzerfreundlichkeit (usability),
- Akzeptanz/Zufriedenheit,
- Wirksamkeit (efficacy),
- Effizienz (efficiency),
- Äquivalenz (equivalence),
- Konkordanz (concordance),
- Genauigkeit (accuracy),
- Sensitivität (sensitivity),
- Spezifität (specificity),
- Verlässlichkeit (reliability).

Die Tabelle schließt in der letzten Spalte mit dem Studieneffekt, welcher eine Bewertung der gemessenen Outcomes in Bezug auf das Ziel der Studie ist. Es waren die Einträge „positiv“, „negativ“, „kein Effekt“ und „nicht bewertbar“ möglich.

4. Ergebnisse

4.1. Literatur-Screening

Von den 1.328.000 bei Pubmed gelisteten Arbeiten zur Dermatologie (gesucht mit dem dermatologiespezifischen Teil des Suchstrings) bilden 1185 Arbeiten die Schnittmenge mit den ca. 60.000 Veröffentlichungen zu Apps (gesucht mit dem App-spezifischen Teil des Suchstrings). Die Abhandlung des Screening-Prozesses ist verkürzt in Abbildung 3 dargestellt.

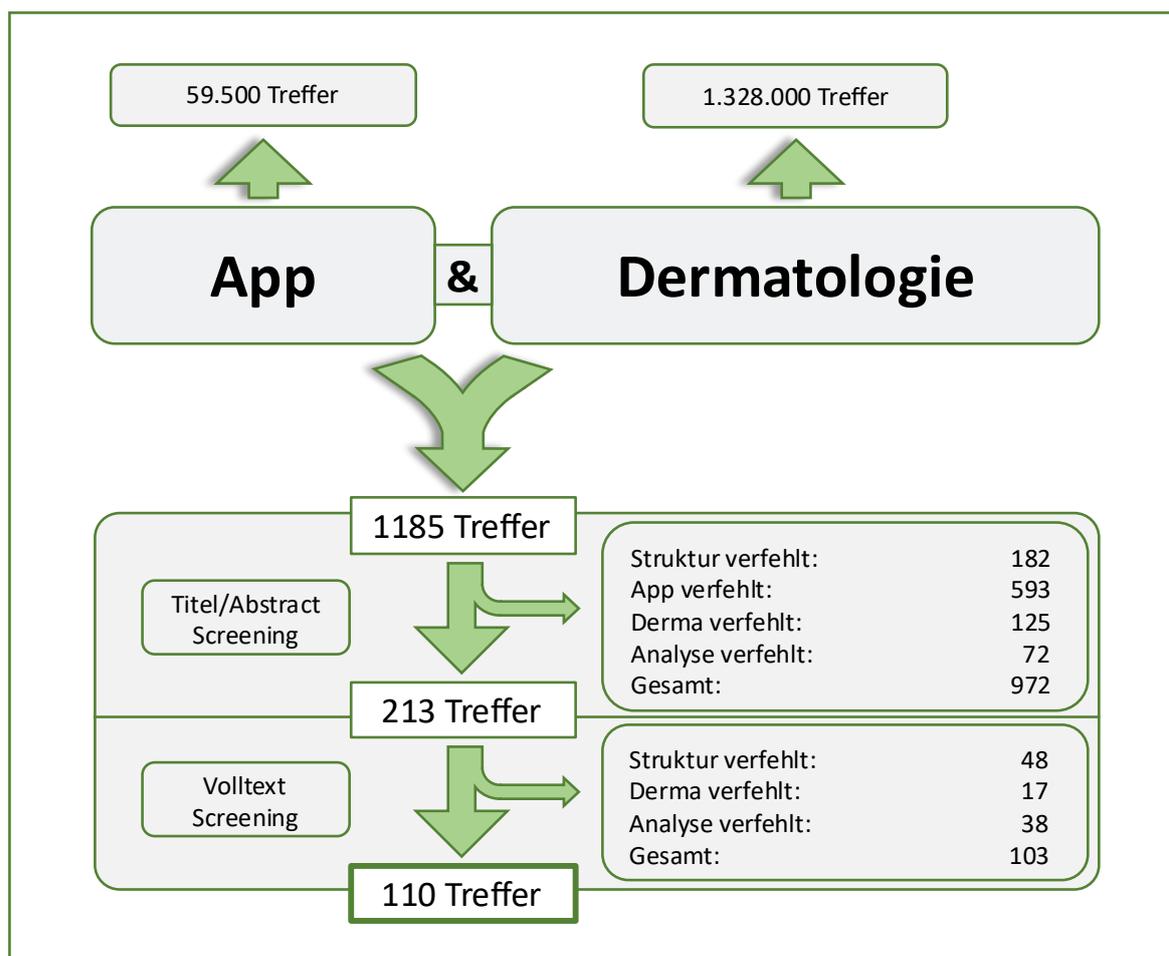


Abbildung 3: Flow-Chart Suchstring: Die Suchstring-Teile zu Apps und Dermatologie fanden einzeln eine umfangreiche Anzahl von Publikationen, zusammengesetzt beschränkte sich die Literatur auf 1185 Treffer. Nach Titel/Abstract und Volltext Screening blieben 110 Studien zur vollständigen Analyse über. Die Anzahl der exkludierten Arbeiten wurde in Gruppen zusammengefasst, genauere Daten zur Exklusion sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Bei Analyse der Titel und Abstracts wurden insgesamt 972 Arbeiten ausgeschlossen, da sie zwar die Anforderungen des Suchstrings erfüllten, jedoch nicht die Einschlusskriterien des Reviews. Einhundertzweiundachtzig Arbeiten wurden aufgrund diverser Ausschlusskriterien (siehe Kapitel 3.1) aussortiert. Am häufigsten wurden Studien herausgefiltert, da der Begriff App sich nicht auf eine Mobiltelefon-Anwendung bezog (n=593). In weiteren

125 Fällen verfehlt der Suchstring das Thema Dermatologie, 72 Veröffentlichungen erwähnten eine App, analysierten diese jedoch nicht. In der Volltextanalyse wurden weitere 48 Arbeiten durch die Ausschlusskriterien herausgefiltert, 17 Arbeiten, da kein eindeutiger dermatologischer Bezug erkenntlich war und 38 Arbeiten, da eine App erwähnt, aber nicht analysiert wurde. Eine genauere Aufschlüsselung der ausgeschlossenen Arbeiten, unterteilt nach den Gründen ihrer Exklusion, kann Tabelle 1 entnommen werden. Nach dem Screening-Prozess verblieben 110 Studien.

Tabelle 1: Ausgeschlossene Publikationen durch Title/Abstract- und Volltext-Screening geordnet in Untergruppen nach Ausschlussgrund. Nach Screening-Prozess verbleiben 110 der 1185 Arbeiten zur Analyse. (*Begriffserklärung s. Einleitung; **Konferenztaschenrechner, Einzelfallstudien, Werbebanner, Studienvorabdrucke, Buchkapitel, weitere)

Ausschlusskriterien	Title/Abstract-Screening	Volltext-Screening	Gesamtes Screening
1. Duplikate	3	0	3
2. Veröffentlichung nicht in Deutsch oder Englisch	1	5	6
3. Reviews	56	0	56
4. Publikationsart	95	15	110
#.1. App-Store-Analysen*	37	0	37
#.2. Leserbriefe (an die Redaktion)	28	0	28
#.3. Kommentare	11	0	11
#.4. Zeitschriftenartikel	6	15	21
#.5. andere**	13	0	13
5. Publikationsinhalt	27	28	55
#.1. Studienprotokolle/Verlaufsberichte	0	18	18
#.2. App Design- und Entwicklungsprozess	16	7	23
#.3. Umfragen zu App(s), keine DHI	11	3	14
Einschlusskriterien nicht erfüllt			
6. Es wurde keine App genutzt	593	0	593
#.1. Fehltreffer: App als Abkürzung	349		349
#.#.1. "Acute phase protein"	19		19
#.#.2. "Aminopeptidase P"	12		12
#.#.3. "Amyloid precursor protein"	139		139
#.#.4. "Approximately"	10		10
#.#.5. "Atrophoderma of Pasini-Pierini"	11		11
#.#.6. "App" in Formel/Variable	90		90
#.#.7. Andere	68		68
#.2. Fehltreffer: "Application" UND x	244		244
#.#.1. "Tablet"	69		69
#.#.2. "Phone"	16		16
#.#.3. "Mobile"	159		159
7. Kein dermatologischer Fokus	125	17	142
#.1. Veterinär & botanisch	13	1	14
#.2. medizinisch allgemein/Gesundheit und Fitness	31	2	33
#.3. Anderes Feld der Medizin	74	0	74
#.4. Kein überwiegender Fokus auf Dermatologie	7	14	21
8. Keine Analyse der App(s)	72	38	110
#.1. App wird zur Durchführung der Studie genutzt	41	10	51
#.#.1. Datenerfassung/Tagebücher	26	9	35
#.#.2. Umfragen	9	1	10
#.#.3. Patientenrekrutierung	6	0	6
#.2. App ist nur Nebenbemerkung	31	28	59
Gesamt:	972	103	1075

4.2. Matrixanalyse

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der Datenmatrix präsentiert. Sie wurden thematisch in mehrere Unterkapitel aufgeteilt. Bei der Betrachtung der Daten ist zu beachten, dass insgesamt vier Arbeiten Ergebnisse zu mehreren Apps oder mehrere

Ergebnisse zu einer App lieferten (siehe Tabelle 2). Insgesamt wurden 110 Studien analysiert und 117 Einträge in der Excel-Matrix festgehalten. Die Datenbasis, auf die sich einzelne Auswertungen beziehen, kann daher zwischen diesen Werten variieren. Teilweise wurde für Auswertungen jede Studie nur einmalig gewertet, damit alle Publikationen gleich gewichtet sind. Falls Mehrfachnennungen bei einer Auswertung möglich waren, wird dies in der Beschreibung der Tabelle oder Abbildung erwähnt.

Tabelle 2: Studien mit mehreren Dateneinträgen: Aus den insgesamt 110 analysierten Studien wurden 117 Dateneinträge in der Analysematrix erstellt.

Analyse der Studien		Anzahl	Anteil
Studien gesamt		110	100,0%
Studien mit mehreren Einträgen/Apps		4	3,6%
Nr. 45	Sondermann, Wiebke et al.	2 Einträge zu	1 App
Nr. 82	Ngoo, Alexander et al.	3 Einträge zu	3 Apps
Nr. 83	Wolf, Joel A. et al.	4 Einträge zu	4 Apps
Nr. 95	Aarts, Pim et al.	2 Einträge zu	2 Apps
Dateneinträge Gesamt		117	

4.2.1. Formale Daten

In den vergangenen zehn Jahren hat unter den analysierten Arbeiten die jährliche Anzahl der Veröffentlichungen kontinuierlich zugenommen. Nach 2016 ist ein deutlicher Anstieg festzustellen (siehe Abbildung 4). Vor 2012 konnten keine relevanten Veröffentlichungen gefunden werden.

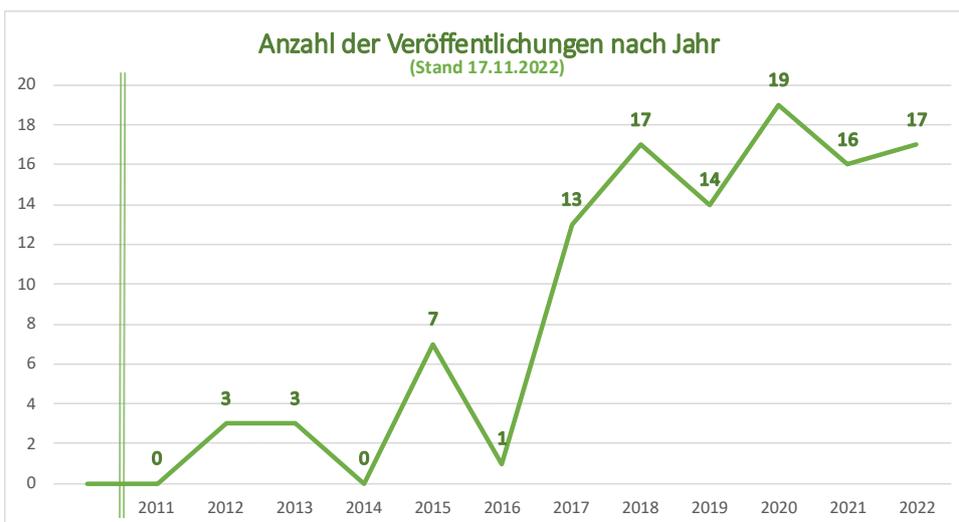


Abbildung 4: Aufteilung der Studien nach Veröffentlichungsjahr; die Suche war in Bezug auf die Zeit uneingeschränkt (gestrichelte Linie: gleitender Durchschnitt des letzten und aktuellen Jahreswerts; N=110)

Die Autoren wählten 66 unterschiedliche wissenschaftliche Journale für ihre Publikation (siehe Anhang, Tabelle 15). Mehr als jede sechste eingeschlossene Studie wurde in einem

Fünf Studien konnten identifiziert werden, deren Ergebnisse in mehr als einem Land generiert wurden (siehe Tabelle 3), vier davon auf unterschiedlichen Kontinenten.

Tabelle 3: Internationale Studien

Autorenteam	Jahr	Länder
Greisman et al.	2015	Guatemala, Uganda, USA
Itoh et al.	2022	Elfenbeinküste, Japan
Jacob et al.	2020	Deutschland, Schweiz
Oladele et al.	2021	Nigeria, USA
Schnitzler et al.	2019	Polen, USA

Bei den 110 zur Auswertung gekommenen Arbeiten wurden die Daten in 71 Studien unizentrisch erhoben, in 23 Studien multizentrisch und in 16 Studien dezentral. Die dezentrale Datenerhebung fand in vielen verschiedenen Formen statt. Patienten fanden die untersuchte Anwendung eigenständig im App-Store oder wurden durch Werbung auf Flyern in Arztpraxen sowie online angeworben. Sie erklärten sich bereit, an der Studie teilzunehmen und installierten die App. Apps halfen dem Patienten zum Beispiel bei der Dokumentation der Medikation oder der Krankheit, andere Apps unterstützten bei der Übermittlung von Bildern und Daten, um eine teledermatologische Beratung durch einen Arzt anzufordern.

4.2.2. Studiendesign und -teilnehmer

Das am häufigsten gewählte Studiendesign ist die Querschnittstudie. Sie fanden verblindet und nicht verblindet statt. In den meisten Fällen wurden Apps entweder gegen andere Apps oder klassische therapeutische Interventionen getestet. Fünfzehn Veröffentlichungen sind randomisiert kontrollierte Studien. Unter den 20 deskriptiven Umfrage-Studien finden sich im Wesentlichen Interviews zur Qualität von Apps und Umfragen zu Nutzerfreundlichkeit oder Akzeptanz. Weitere 20% machen Pilotstudien und Studien zur Überprüfung der Durchführbarkeit aus (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Aufteilung der Studien nach Studiendesign (Cross-Sectional Studien sind in verblindete und unverblindete aufgeteilt; N=111, eine Studie führte zwei Untersuchungen mit unterschiedlichen Studiendesigns durch)

Studiendesign:	Anzahl
Randomized controlled trial	15
Cross-Sectional Study	11
Cross-Sectional Study (verbl.)	18
Pre-Post Study	7
Cohort Study	2
Survey (Descriptive)	20
Feasibility/Pilot Trial	22
Sonstige Studien	16

Oxford Center for Evidence Based Medicine (OCEBM) nach wird die wissenschaftliche Qualität und Aussagekraft einer medizinischen Studie entscheidend durch das Studiendesign bestimmt. Laut aktueller Empfehlung des Oxford Center for Evidence Based Medicine (OCEBM) von 2011 (CEBM Levels of Evidence Working Group, 2011) ist das bestmögliche Studiendesign abhängig davon, welche klinische Frage eine Studie beantworten soll (Howick *et al.*, 2011).

Evidenz wird nach OCEBM in Level eins bis fünf eingeteilt. Für das höchste Evidenzniveau, Level 1, ist ein systematisches Review mehrerer Studien nötig. Level-2-Evidenz kann durch unterschiedliche Studiendesigns erreicht werden, je nachdem, welche Fragestellung eine Arbeit untersucht. Drei der klinischen Fragestellungen, die in der OCEBM-Empfehlung besprochen werden, können für die Funktion von Apps relevant sein. Die Frage „Ist diese Diagnostik oder dieser Überwachungs-Test genau?“ ist für Diagnostik oder Monitoring Apps relevant und kann auf Level-2-Niveau mit verblindeten Querschnittstudien beantwortet werden (daher die Aufteilung in Tabelle 4 nach verblindeten und nicht verblindeten Querschnittstudien). „Hilft diese Intervention?“ und „Ist dieser (Früherkennungs-) Test lohnend?“ sind für Interventions- beziehungsweise Prognose-Apps relevante Fragestellungen und beide können Evidenz auf Level 2 durch randomisiert kontrollierte Studien (RCTs) erbringen.

Unter den 110 analysierten Studien befinden sich 15 RCTs, wovon 14 Arbeiten die Wirksamkeit einer App und eine Arbeit die Zeitersparnis durch telemedizinische Behandlung untersuchte. Alle Arbeiten beantworteten somit die Fragestellung „Hilft diese Intervention?“ und erreichen das Evidenz-Niveau Level 2. Außerdem sind aus 28 inkludierten Querschnittstudien 18 verblindet und können somit nach OCEBM für Evidenzniveau Level 2 herangezogen werden. Die Fragestellung, ob die untersuchte Diagnostik genau ist oder der sich der untersuchte Präventionstest lohnt, beantworten zehn

der 18 Studien durch Ergebnisse zu Konkordanz, sechs durch Ergebnisse zu Genauigkeit, neun mit Ergebnissen zu Sensibilität und Spezifität und eine mit Ergebnissen zu Verlässlichkeit (siehe Tabelle 5). Manche Studien haben mehrere Parameter genannt und untersucht.

Tabelle 5: Veröffentlichungen mit Studiendesign nach OCEBM Level 2 (Randomisierte kontrollierte Studien und verblindete Querschnitt-studien)

Studien mit Evidenz Level 2 (OCEBM)	
rand. kontrol. Studien	15
- Wirksamkeit	14
- Effizienz	1
verbl. Querschnittstudien	18
- Konkordanz	10
- Genauigkeit	6
- Sensib. & Spezif.	10
- Verlässlichkeit	1

Dreiunddreißig der 110 Studien (30%) hatten somit laut OCEBM das bestmögliche Studiendesign, um als Primärquelle Evidenz zu klinischen Fragestellungen zu beantworten. Einzig Systematische Reviews können hochwertigere Evidenz erbringen, diese sind jedoch in dieser Arbeit nur in der Einleitung berücksichtigt und nicht analysiert worden. 70% der Arbeiten verwendeten Vergleichsstudien, Konkordanzstudien, unverblindete Querschnittstudien, Diagnosestudien oder nicht weiter konkretisierte Studiendesigns. Die Ergebnisse waren häufig deskriptiv oder beantworteten Fragestellungen, die nicht explizit klinisch relevant sind, wie beispielsweise Qualität der Nutzeroberfläche.

Mit 100 Stück waren die meisten Studien prospektiv angelegt, nur zehn retrospektiv. Die eingeschlossene Zahl der Teilnehmer oder Fälle schwankte stark. Die Studie von Sondermann *et al.* (2020) führte zwei grundlegend unterschiedliche Untersuchungen durch, weswegen beide Studien in separaten Einträgen aufgenommen wurden. Insgesamt wurden somit 111 Einträge in Hinblick auf die Teilnehmer- und Fallzahl betrachtet, darunter eine Arbeit, die keine Angaben machte. Die meisten Untersuchungen (n=65; 59%) haben maximal 100 Fälle eingeschlossen, weitere 22 % (n=25) 200 oder weniger Fälle. Achtzehn Prozent (n=20) der Studien untersuchten mehr als 200 Fälle (siehe Abbildung 7). Eine detailliertere Analyse der Teilnehmerzahlen ist Abbildung 8 zu entnehmen.

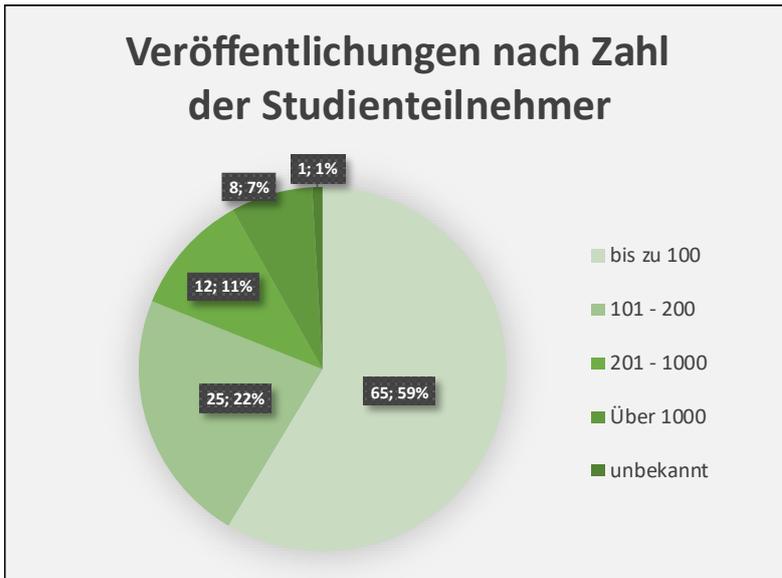


Abbildung 7: Verteilung der Studien nach Teilnehmerzahl (N=111, eine Studie führte zwei Untersuchungen mit unterschiedlichen Teilnehmerzahlen durch)

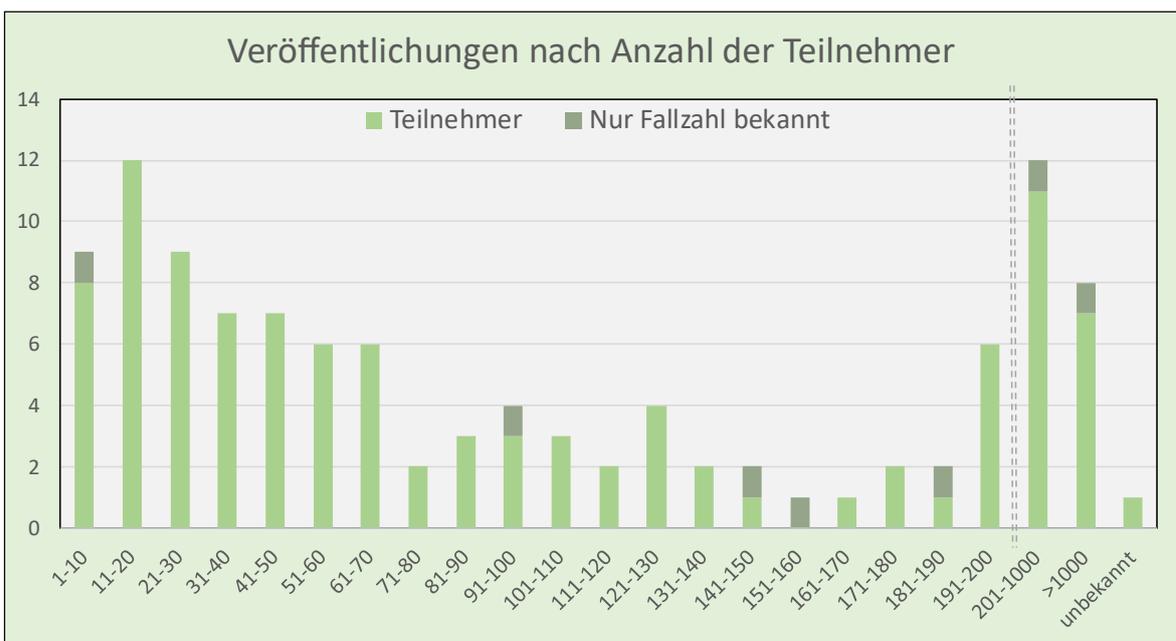


Abbildung 8: Veröffentlichungen nach Anzahl der Teilnehmer, detailliert. Abgebildet sind Studien mit bis zu 200 Teilnehmern in 10er Schritten. Falls Studien nur Fälle behandelt haben oder Bilder aus alten Datenbanken verwendet wurden, wurde dieser Wert abgebildet und unterschieden (siehe Legende). (N=111, eine Studie führte zwei Untersuchungen mit unterschiedlichen Teilnehmerzahlen durch)

Um weitere belastbare Ergebnisse aus der Matrix zu extrahieren, erfolgte eine Analyse der Arbeiten mit Level-2-Evidenzniveau, bei denen grob von einer ausreichenden Studienpower ausgegangen werden konnte. Hierfür wurde ein Filter von über 100 eingeschlossenen Teilnehmern oder Datensätzen gewählt. Ergänzend wurde nach Arbeiten gefiltert, die einen positiven Studieneffekt haben (für die Auswertung des Studieneffekts siehe Kapitel 4.2.4

Outcomes). In der Auswertung verbleiben zehn Arbeiten, die diese Kriterien erfüllen (siehe Abbildung 9 für Flow Chart und Tabelle 6 für weitere Studiendetails):

- vier Arbeiten zu Apps mit Bilderkennungsalgorithmen: Eine auf 40 verschiedene häufige Dermatosen ausgelegte App, eine Anwendung für die Schweregradbestimmung bei Akne, eine Arbeit zur Auswertung von ELISA-Tests bei Antikörperbestimmungen mittels App und Handyzubehör und eine App zur Erkennung von Hautkrebs bei Läsionen,
- zwei weitere Arbeiten zu Hautkrebs mit präventivem Ziel: Eine Anwendung wurde an Teenagern, die andere an Nierentransplantatempfängern getestet,
- zwei telemedizinische Arbeiten: eine zur Triage bei Verbrennungswunden, die andere zu Konsilen bei Kindern mit Ausschlag in der pädiatrischen Notaufnahme,
- eine Arbeit zu einer App, die der Aufklärung bei Masernimpfungen dient sowie
- eine Arbeit mit App, die durch Erinnerungen die Adhärenz zur Medikation bei Psoriasis erhöhen soll

Relevante Studien	Level 2 (OCEBM)	> 100 Teilnehmer	positiver Studieneffekt
RCT	15	9	4
Cross. (verbl.)	18	11	6
Gesamt	33	20	10

Abbildung 9: OCEBM Level 2-Studien mit über 100 Teilnehmern und positivem Studieneffekt (Flow Chart)

Tabelle 6: OCEBM Level 2-Studien mit über 100 Teilnehmern und positivem Studieneffekt im Detail. (*Teilnehmer;

**Anzahl der Datensätze, da keine Patienten aktiv an der Studie teilgenommen haben)

Autor	Titel	Teiln.*	App-Name	Diagnose	App Funktion (in der Studie)	Ergebnis
Berg, Brandon et al., (2015)	Cellphone-Based Hand-Held Microplate Reader for Point-of-Care Testing of Enzyme-Linked Immunosorbent Assays	571	Colorimetric Plate Reader	Masern, Mumps, HSV	ELISA-Testauswertung mit Bilderkennungsalgorithmus und 3D-gedrucktem LED-Handyzubehör	ELISA-Test wurden für Mumps, Masern, HSV-1 und HSV-2 mit einer Genauigkeit von 99,6%, 98,6%, 99,4% beziehungsweise 99,4% gemessen.
Brinker, Titus J. et al., (2020)	Effect of a Face-Aging Mobile App-Based Intervention on Skin Cancer Protection Behavior in Secondary Schools in Brazil: A Cluster-Randomized Clinical Trial	1573	Surface	Hautkrebs	3D Gesichtsfilter, der beschleunigte Hautalterung und weitere Gefahren von UV-Strahlung simuliert	Tägliche Nutzung von Sonnencreme bei Schülern stieg signifikant bei 6-Monate-Nachbefragung, Sonnenbaden verhalten sank.
Devrim, Ilker et al., (2019)	Reliability and accuracy of smartphones for paediatric infectious disease consultations for children with rash in the paediatric emergency department	194	WhatsApp	Hautausschlag	Bild-/Nachrichtenaustausch (nächtliche Tele-Konsile in der pädi. Notaufnahme für Kinder mit Ausschlag)	Telediagnose des Dermatologen stimmte zu 96,4% mit finaler Diagnose des Dermatologen (face-to-face am folgenden Morgen) überein.
Fadda, Marta et al., (2017)	Effectiveness of a smartphone app to increase parents' knowledge and empowerment in the MMR vaccination: A randomized controlled trial	184	MorbiQuiz	Masern	Videos und spielfähig dargestellte Informationen für Eltern; Aufklärung über Masernimpfung	Interventionen zu Wissen und psycholischem Empowerment wurden getrennt und zusammen getestet, zusammen wird Wissen der Eltern und
Gacto-Sánchez, Purificación et al., (2020)	Diagnostic accuracy of a telemedicine tool for acute burns diagnosis	202	-	Verbrennung	Telemedizinische Triage von Patienten mit Verbrennungen	Triageentscheidung per App hat Sensitivität von 99,4% bei Spezifität von 100% gegenüber Dermatologen vor Ort.
Pangti, R. et al., (2020)	A machine learning-based, decision support, mobile phone application for diagnosis of common dermatological diseases	5014	-	40 häufige Erkrankungen	Algorithmus für Bilderkennung von dermatologischen Erkrankungen	Mit nur einem Bild wurde richtige Diagnose als erste bzw. unter den ersten drei angezeigt mit 76,9% bzw. 89,6% Sensitivität und Spezifität von 99,1%.
Robinson, June K. et al., (2016)	A Randomized Controlled Trial of a Mobile Medical App for Kidney Transplant Recipients: Effect on Use of Sun Protection	170	SunProtect	Hautkrebs	Patienteninformation zu Gefahr von Sonneneinstrahlung (genutzt bei Nierentransplantatpatienten)	Wissen allgemein und zu erhöhtem Hautkrebsrisiko ist erhöht bei App-Nutzern gegenüber Kontrollgruppe; unschlüssige Ergebnisse Änderung der Pigmentdichte bei Follow-up
Svendsen, M. T. et al., (2018)	A smartphone application supporting patients with psoriasis improves adherence to topical treatment: A randomized controlled trial	134	MyPso SmartTopTM	Psoriasis	Tägliche Erinnerung an orale und topische Medikation	Adhärenz und Syptomintensität besser nach 4 Wochen; nach 8 und 26 Wochen, sowie DLQI-Veränderung ohne Signifikanz
Udrea, A. et al., (2019)	Accuracy of a smartphone application for triage of skin lesions based on machine learning algorithms	5485	SkinVision	Hautkrebs	Algorithmus für Bilderkennung von (prä-) malignen Läsionen	Sensitivität bei 285 hist. bestätigten Läsionen ist 95,1% (93% bei MM; 97% bei KC und Vorläufern); Spezifität bei 6000 gutartigen Kontrollbildern bei 78,3%
Wang, Jiaojia et al., (2022)	A cell phone app for facial acne severity assessment	147**	-	Akne	Algorithmus für Bilderkennung von Akne und Schweregrad-beurteilung	Akne-Score wurde von 12 Dermatologen mit unterschiedlich viel Erfahrung erhoben; Genauigkeit App (94,6%) liegt zwischen Dermatologen (>15J Erfahrung: 98,0%) und

Etwa die Hälfte aller Arbeiten wählte eine Standardbehandlung als Vergleichsreferenz. In 10% der Fälle erfolgte ein „pre-post“ Vergleich, bei dem zunächst die Ausgangsdatenlage erhoben wurde, die mit den Ergebnissen nach der Intervention verglichen wurde. Vierzig Arbeiten haben Outcome-Parameter von Apps ermittelt, ohne eine Vergleichsgruppe heranzuziehen. In drei Arbeiten wurden Apps mit ihren Outcomes im Vergleich zu einer anderen App untersucht (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Aufteilung der Studien nach Art des Vergleichs, der untersucht wurde (N=114, drei Doppelt-Nennungen enthalten, eine Studie führte zwei Untersuchungen durch)

Vergleich	Anzahl
App vs. Standardbehandlung	59
App vs. Baseline	11
App vs. App	3
Kein Vergleich	41

4.2.3. Indikationen

Neben Arbeiten, die ein breites Spektrum der dermatologischen Krankheitsentitäten abgebildet haben und Publikationen, die sich mit allgemeinen dermatologischen Themen befassen oder keine genauen Diagnosen spezifizieren, konnten insgesamt 79 Arbeiten identifiziert werden, die Diagnose-spezifisch waren.

Mit 29 Veröffentlichungen standen am häufigsten gutartige und/oder bösartige Neubildungen der Haut im Fokus der Autoren. 17 Publikationen beschäftigen sich mit chronischen Wunden unterschiedlichen Ursprungs. Für die Psoriasis finden sich sieben Arbeiten. Daneben waren eine Reihe von Hauterkrankungen Gegenstand der Analysen in bis zu drei unterschiedlichen Publikationen (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Aufteilung der Studien mit nur einer Indikation nach ebendieser (N=79)

Studien mit nur einer Indikation	Anzahl
Hautkrebs	20
Dekubitus	12
Hautveränderungen (gut- und bösartige)	9
Psoriasis	7
Ulzera	5
Atopische Dermatitis	3
Kutane Leishmaniose	3
Sonnenbrand	3
Wunden	3
Akne	2
Pruritus	2
Verbrennungen	2
Aktinische Keratose	1
Allergische Reaktion	1
Allergischer Schnupfen	1
Ekzem	1
HIV	1
Mastozytose	1
Narben	1
Pilz	1

4.2.4. Outcomes

Der Vergleich der Studienoutcomes untereinander bringt aufgrund der vielen unterschiedlichen gemessenen Parametern und durchgeführten Studiendesigns keine verwertbaren Ergebnisse. Jedoch erfolgte auf Basis aller gemessener Outcomes eine Bewertung des Studieneffekts für jeden Eintrag der Matrix. Bei Studien, die mehrere Apps betrachteten, wurden fast ausschließlich die gleichen Studieneffekte für alle Apps beobachtet. Um alle Studien in der Analyse gleich zu gewichten, wurde jede Studie nur einmalig gewertet, womit sich die Auswertung auf die Gesamtmenge von 110 Studien bezieht. Hier zeigte sich, dass 74 Publikationen einen positiven Effekt hatten, negative Effekte waren in zehn Publikationen und kein Effekt in neun Publikationen festzustellen. 17 Arbeiten waren bezüglich eines messbaren Effekts nicht verwertbar (siehe Abbildung 10).

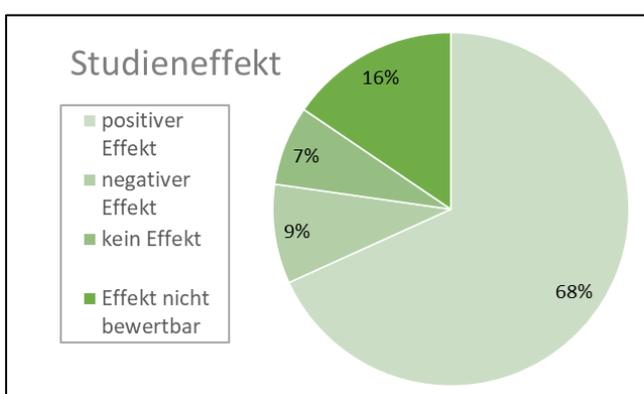


Abbildung 10: Aufteilung der Studien nach Studieneffekt; Der Studieneffekt ist subjektiv vom Reviewer auf Basis der Studien-Outcomes bewertet worden. (N=110)

Um zu klären, ob ein positiver Studieneffekt auch zu einer Verbesserung der Versorgung führt, wurden daraufhin nochmals alle Arbeiten im Volltext betrachtet. Im Wesentlichen waren dabei die möglichen subjektiv eingeschätzten Effekte auf die Versorgung übereinstimmend mit den ermittelten Effekten der Studienergebnisse. Auch bei Arbeiten, die negative Effekte bei den Ergebnissen aufwiesen, konnte entsprechend kein positiver Versorgungseffekt gesehen werden.

4.2.5. Untersuchte Apps

Der Großteil der untersuchten Anwendungen sind native Apps (92,9%). Bei diesen ist die Software lokal auf einem Mobilgerät installiert. Nur wenige Anwendungen sind webbasiert (7,1%), hierbei wird zur Nutzung eine Website besucht und es werden Daten über das Internet ausgetauscht. Eine vollständige namentliche Auflistung der Apps, die in den analysierten Studien untersucht wurden, ist in Anhang 2 in Tabelle 17 zu finden. Etwa 29% der untersuchten Apps wurden in den Studien nicht namentlich genannt und konnten somit

nicht identifiziert werden. Bei diesen wurden die Autorenteams verglichen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wurde in zwei Publikationen mit ähnlichem Autorenteam dieselbe App untersucht, welche in dieser Arbeit als „Unbekannt 1“ bezeichnet wird. Für weitere sechs namentlich genannte Apps konnten zwei unterschiedliche Studien identifiziert werden (siehe Anhang 2, Tabelle 17) und für drei Apps finden sich mehr als zwei Studien (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Analyse der untersuchten Apps: Zu namentlich genannten Apps wurden teilweise mehrere Studien durchgeführt, manche Studien haben mehrere Apps untersucht. Alle 117 Einträge der Analyse-Matrix werden in der Tabelle berücksichtigt.

Analyse Apps	Anzahl	Anteil
nicht namentlich genannte Apps	29	29,3%
namentlich genannte Apps	70	70,7%
Apps gesamt	99	100,0%
Mobile Apps	92	92,9%
Web Apps	7	7,1%
Apps mit einer Studie	89	89,9%
Apps mit zwei Studien	7	7,1%
Apps mit mehr als zwei Studien:	3	3,0%
- SkinVision	7	
- Sunface	4	
- FLIR ONE	3	

4.2.6. App-Konzept und -Intention

Bei der Analyse der 110 relevanten Veröffentlichungen sind drei führende Zielstrukturen zu erkennen (siehe Tabelle 10). Diagnoseanwendungen hatten im Durchschnitt seltener positive und häufiger negative Studieneffekte. Patientenüberwachung und Verlaufsbeobachtung wurden von überdurchschnittlich vielen Studien mit positivem Effekt bewertet. Auch die Präventionsstudien werden überdurchschnittlich gut bewertet. Weitere Bereiche mit vornehmlich positiven Effekten waren die Edukationsanwendungen bei medizinischem Personal, Triage und Nachsorge/Rehabilitation. Die Therapie-relevanten Apps liegen im Durchschnitt.

Tabelle 10: Aufteilung der Studien nach der Zielstruktur der App (Mehrfachnennungen möglich, jede Studie wurde nur ein Mal gewertet)

Studien nach Zielstruktur der App	Anzahl	Studieneffekt	
		positiv	negativ
Allgemein (unspezifisch)	1	0,0%	100,0%
Edukation für Gesundheitspersonal	9	77,8%	0,0%
Prävention (primär und sekundär)	27	70,4%	3,7%
Triage	6	100,0%	0,0%
Diagnose	42	59,5%	19,0%
Therapie	15	66,7%	13,3%
Patientenüberwachung/Verlaufsbeobachtung	29	82,8%	0,0%
Nachsorge/Rehabilitation	4	100,0%	0,0%

Im Wesentlichen teilt sich der Zusatznutzen, der von dermatologischen Apps angestrebt wird, gleichmäßig in fünf Kategorien auf (siehe Tabelle 11). Im Vordergrund stehen Wissenstransfer an Patienten oder medizinisches Personal. Studien zu letzterer Gruppe sowie auch Studien mit Apps, die den Zugang zu Versorgung erleichtern, weisen überdurchschnittlich häufig einen positiven Studieneffekt auf. Die Evidenz zu Anwendungen zur Verbesserung der Diagnosegenauigkeit schneiden sowohl häufiger mit negativem Studieneffekt ab, als auch sehr viel seltener mit einem positiven. Apps zur Adhärenzsteigerung bei Therapie bzw. Präventionsmaßnahmen werden 15 Mal untersucht.

Tabelle 11: Aufteilung der Studien nach erwartetem Zusatznutzen (Mehrfachnennungen möglich, jede Studie wurde nur ein Mal gewertet)

Studien nach Zusatznutzen	Anzahl	Studieneffekt	
		positiv	negativ
Kenntnisse oder Gesundheitsverhalten der Patienten	33	69,7%	12,1%
Leistung, Fähigkeiten oder Wissen des Gesundheitspersonals	25	84,0%	0,0%
Diagnosegenauigkeit	24	37,5%	25,0%
Zugang zu (hochqualitativer/zeitnaher) Versorgung	18	83,3%	11,1%
Adhärenz zur Therapie bzw. Prävention	15	73,3%	0,0%
Kontinuität der Versorgung	6	66,7%	0,0%
Ressourcennutzung	1	100,0%	0,0%
Einhaltung der Behandlungsrichtlinien	1	100,0%	0,0%

Die Auswertung der Zielgruppen der untersuchten Apps ergibt 50 Arbeiten, die patientenzentrierte Ansätze verfolgen (siehe Tabelle 12). Etwa gleich viele beschäftigen sich mit Ärzten oder anderem Gesundheitspersonal. Knapp 20 Arbeiten beziehen sich auf die Interaktion mehrerer Akteure des Gesundheitswesens. Die positiven Studieneffekte sind größtenteils gleichmäßig auf die Zielgruppen verteilt. Wurden Apps untersucht, die weiteres Gesundheitspersonal und Pflegende ansprechen, schlossen die Studien häufiger positiv ab.

Auch die Apps, welche die Interaktion zwischen Teilnehmern des Gesundheitswesens fördern, wurden im Durchschnitt häufiger positiv bewertet.

Tabelle 12: Aufteilung der Studien nach Zielgruppe der App. Mehrfachnennungen waren möglich. Separat aufgeführt nach Apps deren Zielgruppe ein Nutzer ist und solche, die eine Kommunikation zwischen zwei Gruppen ermöglichen. (Mehrfachnennungen möglich, jede Studie wurde nur ein Mal gewertet)

Studien nach Zielgruppe der App	Anzahl	Studieneffekt	
		positiv	negativ
Patient	50	64,0%	12,0%
Arzt	27	63,0%	3,7%
Krankenpfleger	15	66,7%	6,7%
Weiteres Gesundheitspersonal und Pflegende	8	87,5%	0,0%
Student	5	80,0%	0,0%
Dermatologe & Patient	8	87,5%	0,0%
Hausarzt & Dermatologe	7	85,7%	14,3%
Dermatologe & Dermatologe	2	50,0%	50,0%
Weitere & Dermatologe	2	100,0%	0,0%

4.2.7. WHO-Klassifikation der Funktion von Apps

Im Jahr 2018 hat eine Arbeitsgruppe der WHO einen Vorschlag vorgestellt, wie eine Klassifikation von digitalen Gesundheitsanwendungen (DHI, digital health interventions) entsprechend ihrer Funktionen erfolgen kann, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen (World Health Organization, 2018). Für eine weitere Analyse der identifizierten Arbeiten wurde diese Einteilung zugrunde gelegt. In der untenstehenden Tabelle 13 ist die Zugehörigkeit der untersuchten Anwendungen abgebildet. Da die meisten Apps nicht auf eine Funktion beschränkt sind, wurden neben der Primärfunktion bis zu zwei weitere Hauptfunktionen (falls zutreffend) nach WHO-Klassifizierung in die Matrix aufgenommen. Die Auswertung fand für jeden Eintrag der Analyse-Matrix statt (N=117), wodurch mehrfach untersuchte Apps stärker gewichtet sind. Insgesamt gibt die Auswertung an, welche Funktionen zu Apps am häufigsten untersucht wurden. Die ermittelten Hauptfunktionen einer Anwendung können je nach Fokus in unterschiedlichen Studien verschiedene sein.

Die betrachteten Apps verteilten sich weitgehend gleichmäßig auf drei der WHO-Hauptkategorien, der Bereich der „Health System Managers“ war für die Fragestellung der vorliegenden Dissertation nicht relevant.

Aus gemessenen Daten lassen sich in jeder Hauptkategorie Schwerpunkte herauslesen. Apps, deren Primärfunktion sich an Patienten richtet, beschäftigen sich zu 45% mit Datensammlung und patientenseitiger Dokumentation von Gesundheitsdaten. Ein weiterer

Schwerpunkt bei an Patienten gerichteten Apps ist - insbesondere bei zusätzlicher Berücksichtigung der weiteren Hauptfunktionen - die Vermittlung von Gesundheitswissen. Fast 60% der Apps, die sich an Anbieter von Gesundheitsleistungen richten, beschäftigen sich mit dem Austausch und der Bewertung/Beurteilung von medizinischen Informationen entweder zwischen Gesundheitsanbietern oder zwischen Patient und Gesundheitsanbieter. Triagierung von Patienten nach Risikostratifizierung wurde zwar in keiner Arbeit als primäre Funktion eingesetzt, findet sich aber in knapp 20% als weitere Funktion von Apps, die sich an die Zielgruppe der Gesundheitsanbieter richtet. Nahezu alle Arbeiten im Bereich Daten-Dienste untersuchten Apps zur Datenanalyse oder zu Bewertungs-Algorithmen unter Zuhilfenahme von künstlicher Intelligenz.

Tabelle 13: Aufteilung der Apps nach WHO-Klassifizierung unterteilt in Primärfunktion allein und alle gelisteten (bis zu drei) Hauptfunktionen. Mehrfach untersuchte Apps wurden auch mehrfach gewertet, die festgehaltenen Primär-/Hauptfunktionen können je nach Fokus einer Studie unterschiedliche sein. (N=117)

Verteilung der Einträge nach Funktion der App (WHO Klassifikation)		Primärfunktion			Alle notierten Hauptfunktionen		
		Anzahl Studien	Anteil gesamt	Anteil an Kategorie	Anzahl Studien	Anteil gesamt	Anteil an Kategorie
1. Clients		40	34,2%		56	33,5%	
1.2. Transmit targeted health information to client(s) based on health status or demographics		6	5,1%	15,0%	8	4,8%	14,3%
1.3. Transmit targeted alerts and reminders to client(s)		5	4,3%	12,5%	9	5,4%	16,1%
4.2. Self monitoring of health or diagnostic data by client		4	3,4%	10,0%	5	3,0%	8,9%
4.3. Active data capture/documentation by client		18	15,4%	45,0%	21	12,6%	37,5%
6.1. Client look-up of health information		7	6,0%	17,5%	13	7,8%	23,2%
2. Healthcare providers		46	39,3%		75	44,9%	
2.1. Longitudinal tracking of clients' health status and services		6	5,1%	13,0%	7	4,2%	9,3%
2.3. Manage client's unstructured clinical records (e.g. notes, images, documents)		0			1	0,6%	1,3%
2.4. Routine health indicator data collection and management		1	0,9%	2,2%	3	1,8%	4,0%
3.1. Provide prompts and alerts based according to protocol		1	0,9%	2,2%	1	0,6%	1,3%
3.2. Provide checklist according to protocol		3	2,6%	6,5%	3	1,8%	4,0%
3.3. Screen clients by risk or other health status		0			14	8,4%	18,7%
4.1. Consultations between remote client and healthcare provider		1	0,9%	2,2%	2	1,2%	2,7%
4.3. Transmission of medical data (e.g. images, notes, and videos) to healthcare provider		19	16,2%	41,3%	22	13,2%	29,3%
4.4. Consultations for case management between healthcare providers		8	6,8%	17,4%	9	5,4%	12,0%
5.5. Peer group for healthcare providers		0			1	0,6%	1,3%
7.1. Schedule client appointments based on clinical care plan		0			1	0,6%	1,3%
8.1. Provide training content and reference material to healthcare provider(s)		6	5,1%	13,0%	6	3,6%	8,0%
8.2. Assess capacity of healthcare provider(s)		0			1	0,6%	1,3%
10.3. Capture diagnostic results from digital devices		1	0,9%	2,2%	4	2,4%	5,3%
3. Health system managers		0			0		
4. Data Services		31	26,5%		36	21,6%	
1.1. Non-routine data collection and management		1	0,9%	3,2%	2	1,2%	5,6%
1.3. Data synthesis and visualizations		1	0,9%	3,2%	1	0,6%	2,8%
1.4. Automated analysis of data to generate new information or predictions on future events		29	24,8%	93,5%	33	19,8%	91,7%

4.2.8. Am häufigsten untersuchte Apps

Liegen mehrere Veröffentlichungen zu einer App vor, kann dies gelegentlich einen direkten Vergleich der Outcomes erlauben und Aussagen über die Konsistenz der Ergebnisse sind gegebenenfalls möglich. Für drei der gefundenen Apps liegen drei oder mehr Studien vor: FLIR ONE, Sunface und SkinVision (siehe Tabelle 9). Diese wurden im Folgenden genauer betrachtet.

FLIR ONE

Die Anwendung FLIR ONE verbindet ein Smartphone zusätzlich mit einem Adapter für eine Wärmebildkamera und analysiert die gewonnenen Bilddaten. In zwei Veröffentlichungen werden diese Daten analysiert, um die Vorhersagegenauigkeit eines Algorithmus bezüglich der Abheilungsdauer von Verbrennungswunden zu untersuchen (Jaspers *et al.*, 2017; Ganon *et al.*, 2020). In einer dritten Studie wird untersucht, ob die Auswertung von Prick-Test-Ergebnissen mittels Temperaturanalyse der Wärmebilder möglich ist (Anzengruber *et al.*, 2019). Bei den zwei Studien, die sich mit Verbrennungswunden beschäftigen, sind die Ergebnisse nur bedingt vergleichbar. Die gemessenen Outcome-Parameter Spezifität und Sensitivität sind zwar die gleichen, unterscheiden sich jedoch je nach Messzeitpunkt stark.

Sunface

Es konnten vier Studien zur Anwendung Sunface identifiziert werden. Im Jahr 2017 wurde eine Studie zur Umsetzbarkeit bzw. Machbarkeit veröffentlicht (Brinker & Schadendorf *et al.*, 2017). Im gleichen Jahr erfolgte eine weitere Studie mit gleichem Studiendesign an einer größeren Gruppe von 205 Schülern im Alter von 13-19 mit vergleichbarem positiven Effekt (Brinker & Brieske *et al.*, 2017). Im Wesentlichen wurde nur die Zielgruppe geändert. In 2018 erfolgte darauf aufbauend eine weitere Studie mit der gleichen Zielgruppe, aber geänderter Population (Schüler in Brasilien statt Deutschland) mit 356 Teilnehmern (Brinker *et al.*, 2018). Die Ergebnisse waren erneut vergleichbar und konsistent gut. Im Jahr 2020 konnte dann eine randomisiert-kontrollierte Studie mit fast 1600 Probanden, in denen Schulklassen mit und ohne Intervention miteinander verglichen wurden (Brinker *et al.*, 2020), veröffentlicht werden. Die Studie bestätigte die Ergebnisse der Vorstudien und zeigte signifikante, bessere Effekte in der Interventions-Gruppe. Alle vier Studien wurden vom gleichen Erstautor durchgeführt, der auch Entwickler der App ist.

Skin Vision

Die dritte Anwendung, für die mehrere Studien veröffentlicht wurden, ist die App SkinVision. Vier Studien stammen aus den Niederlanden und je eine aus Australien, Deutschland und der Schweiz. Diese Studien wurden jeweils von unterschiedlichen Erstautoren durchgeführt, einige Mitglieder der Autorengruppen überschneiden sich.

An den ersten beiden Studien aus den Jahren 2015 (Maier *et al.*, 2015) und 2017 (Thissen *et al.*, 2017) sind zwei Autoren wiederholt beteiligt, darunter A. Udrea, welche Erstautorin einer weiteren Studie aus 2019 ist. Diese Veröffentlichung aus 2019 hat drei Autoren, die außerdem an der Publikation von Sangers *et al.* (2022) beteiligt sind. Alle Autoren, die an mindestens zwei Publikationen beteiligt sind, haben mindestens in einer ihrer Studien einen Interessenkonflikt angegeben (siehe Tabelle 14). Sie waren entweder Berater oder haben anderweitig Gelder von SkinVision erhalten, manche Autoren besaßen Anteile an der Firma SkinVision B.V. oder haben ein Post-Doktor-Stipendium erhalten. Das Unternehmen Skin Vision hat für die Studie von Sangers *et al.* (2022) einen uneingeschränkten Forschungszuschuss bereitgestellt, bei den drei anderen genannten Studien war es zumindest teilweise direkt am Design der Studie beteiligt. Die drei in diesem Absatz nicht näher besprochenen Veröffentlichungen zur App SkinVision haben keine Interessenkonflikte mit SkinVision B.V. angegeben.

Tabelle 14: SkinVision-Veröffentlichungen mit Autoren die mehrfach beteiligt sind; Autorenschaften an mehreren Studien sind farbig hervorgehoben; Conflicts of interest (Interessenkonflikte): * unrestricted research grant, ** (occasional) advisor/consultant/ received fees, *** Equity in/affiliated with Skin Vision, **** received post-doctoral scholarship

Erstautor	Maier, T.	Thissen, M.	Udrea, A.	Sangers, T.
Veröffentlichungsjahr	2015	2017	2019	2022
Erhebungsland	Deutschland	Niederlande	Niederlande	Niederlande
Autoren:	Maier, T. **	Thissen, Monique	Udrea, A. ***	Sangers, Tobias *
	Kulichova, D.	Udrea, Andrea **	Mitra, G. D. ***	Reeder, Suzan
	Schotten, K.	Hacking, Michelle	Costea, D. ***	van der Vet, Sophie
	Astrid, R.	Braunmuehl, Tanja von	Noels, E. C.	Jhingoer, Sharan
	Ruzicka, T.	Ruzicka, Thomas **	Wakkee, M. **	Mooyaart, Antien
	Berking, C.		Siegel, D. M. **	Siegel, Daniel M. ** ****
	Udrea, A. **, ****		Carvalho, T. M. de	Nijsten, Tamar *, ** ****
			Nijsten, T. E. C. *	Wakkee, Marlies *
SkinVision B.V. ist beteiligt an ...	"supported in part [...] for the design and conduct of the study"	"design and oversight of this study was supported, in part"	"supported [...] for the design and conduct of the study"	"funded with an unrestricted research grant"

Sechs der Veröffentlichungen zu SkinVision nennen eine Sensitivität und Spezifität. Fünf dieser Studien treffen Aussagen dazu, wie in der Auswertung mit einer mittleren Risikoeinschätzung verfahren wurde, Sangers *et al.*, 2022 erwähnt nicht, dass eine mittlere Risikoeinteilung möglich war. Vier kommen nur bei hoher Risikoeinschätzung der App zu einem positiven Testergebnis. Eine Studie bewertet ein hohes und mittleres Risiko als

positives Testergebnis (Ngoo *et al.*, 2018). Die Arbeit von Chung *et al.* (2019) wertet die Genauigkeit der App aus, ohne Risikoklassifizierungen zu kombinieren. Um die Studie mit den anderen vergleichbar zu machen, wurden die Werte für Sensitivität und Spezifität berechnet, indem, wie in den meisten anderen Studien, nur eine hohe Risikoeinschätzung als positives Testergebnis gewertet wurde. Alle benötigten Informationen ließen sich einer Matrix in der Veröffentlichung entnehmen. Die resultierenden Werte zur Genauigkeit der App sind in Abbildung 11 dargestellt. Es wird unterschieden, ob bei der Berechnung eine histologische oder klinische Diagnose als Vergleich gewählt wurde. Einige Studien haben Daten für beide Arten des Vergleichs angegeben. Zwei Studien ermittelten zusätzlich Werte für den Vergleich zwischen Arzt und der histologischen Kontrolle.

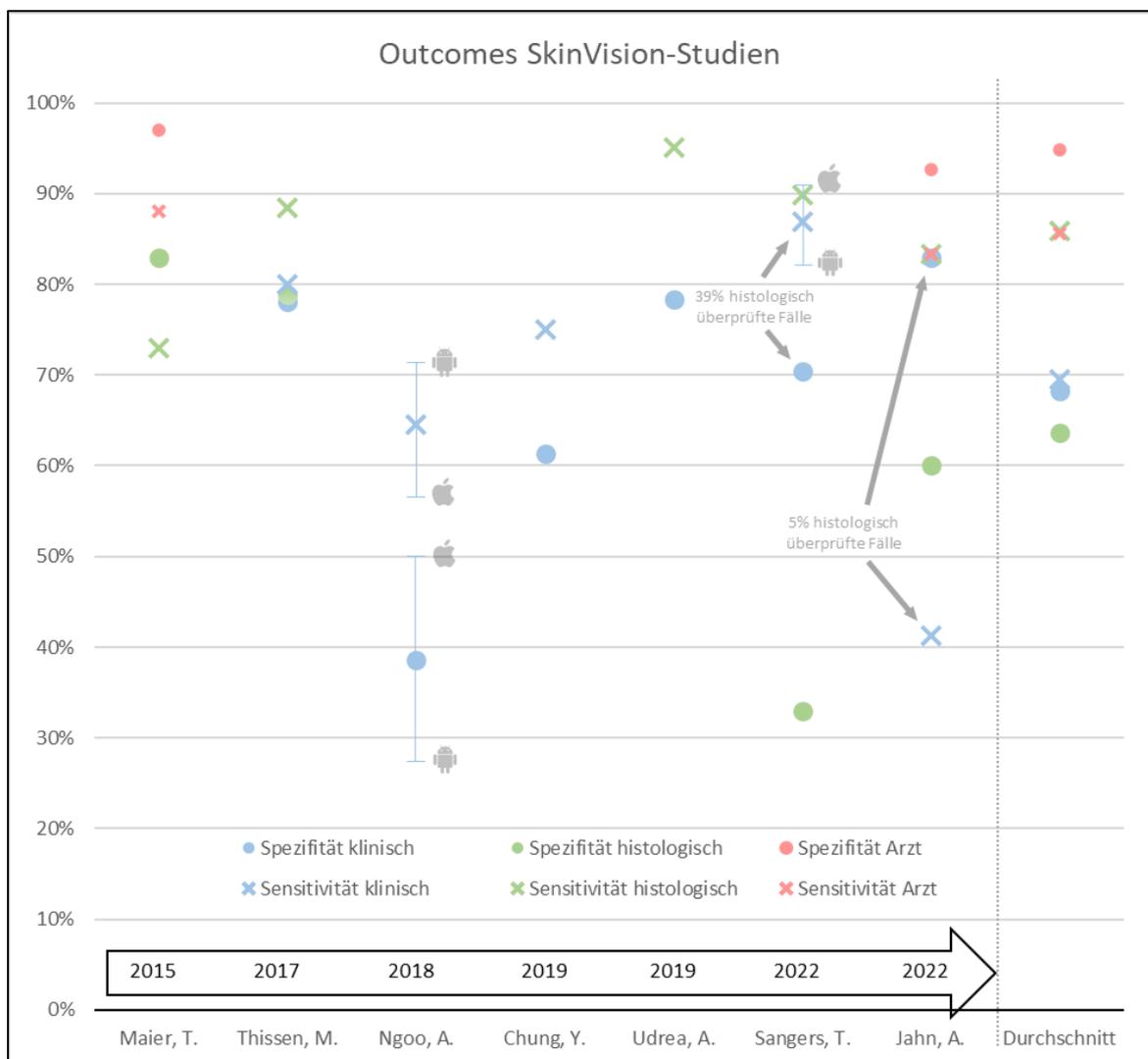


Abbildung 11: Daten zu SkinVision-Studien; eingezeichnete Spannweiten der Werte sind die gemessenen Unterschiede zwischen der App-Version im iOS-Betriebssystem (Apple inc. Logo) und im Android-Betriebssystem (Android Logo); wurden der Berechnung der klinischen Werte auch teilweise histologisch überprüfte Diagnosen zugrunde gelegt, ist dieser Anteil in grauer Schrift aufgeführt, die Werte mit einem Pfeil ausgewiesen; Die roten Datenpunkte sind Werte, bei denen die klinische Diagnose mit der histologischen als Goldstandard verglichen wurde.

Die Werte für die Sensitivität gegenüber histologischer Kontrolle sind vergleichsweise konstant (73,0-95,1%, Ø: 85,9%), während die Sensitivität gegenüber der klinischen Diagnose als Kontrolle stark schwankt (41,3-86,9%, Ø: 69,5%). Die Werte zur Spezifität schwanken unabhängig davon, ob die histologische (32,9-83,0%, Ø: 63,7%) oder klinische Diagnose (38,7-82,9%, Ø: 68,3%) als Vergleichsstandard genommen wird, stark.

Zwei Veröffentlichungen berechneten nicht nur die Genauigkeit der App, sondern auch Werte für die Genauigkeit der klinischen Diagnosen, wofür histologische Ergebnisse als Goldstandard genommen wurden. Dazu wurden in der Studie von Jahn *et al.*, 2022 nicht nur Läsionen entfernt, wenn sie klinisch als maligne eingestuft wurden, sondern auch, wenn sie einen gewissen Grenzwert bei der Risikoeinschätzung eines zwei- bzw. dreidimensionalen Ganzkörperfotographie-Systems überschritten. Der Studie von Maier *et al.* (2015) ist nicht zu entnehmen, warum Läsionen trotz gutartiger Einschätzung der Dermatologen exzidiert wurden. Im Mittel der zwei Studien ist die Sensitivität der überprüften Dermatologen ähnlich zur SkinVision-App (85,7% bzw. 85,9%). Die Spezifität der Ärzte fiel hingegen deutlich besser aus (94,9% bzw. 63,7%).

Die SkinVision-App ist für die zwei führenden Betriebssysteme für Smartphones, iOS (Apple Inc.) und Android (unter anderem Google LLC), verfügbar. Die Studie von Ngoo *et al.* aus dem Jahr 2018 zeigt für die iOS- gegenüber der Android-Version eine deutlich schlechtere Sensitivität, während die Spezifität deutlich höher ist. In der Studie von Sangers *et al.* aus 2022 ist die Sensitivität der App im iOS-Betriebssystem dagegen signifikant höher (91,0 % vs. 83,0%). Vier Studien nutzten die App ausschließlich auf einem Apple-Gerät (iOS-Version). Die retrospektiv untersuchten Datensätze, die zur Berechnung der Spezifität in der Studie von Udrea *et al.* (2019) herangezogen wurden, stammen teilweise (13% der 6000 Datensätze) von Android-Smartphones.

In einigen Studien konnte ein Teil der untersuchten Bilder von der App nicht verarbeitet werden (45% in Chung *et al.*, 2019; 15% in Ngoo *et al.*, 2018; 3,6% in Sangers *et al.*, 2022). Die anderen Arbeiten machen hierzu keine Angaben.

5. Diskussion

Trotz der voranschreitenden Digitalisierung werden mobile Smartphone-Anwendungen in der Medizin bisweilen kaum genutzt. Oftmals fehlt die Evidenz, um einen Zusatznutzen für die Versorgung nachzuweisen. Um das Potenzial von dermatologischen Apps abschätzen zu können, ist die Erhebung des Status Quo notwendig.

Das Ziel des vorliegenden Scoping Reviews ist, diese Erhebung durchzuführen, indem alle dermatologischen Studien, die Apps analysieren, untersucht werden. Mithilfe eines Suchstrings wurden vorläufig 1085 Ergebnisse in der Onlinedatenbank PubMed gefunden. Die 110 für die Fragestellung relevanten Arbeiten wurden mithilfe einer Analysematrix untersucht, die anschließend ausgewertet wurde.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche zeigen eine sehr inhomogene Studienlage bezüglich Methodik, Studiendesign, Indikation, Zielgruppen, Outcome-Parametern, Patientenzahl und Art der Intervention, was eine Vergleichbarkeit erschwert und wenig Platz für die Beantwortung spezifischer Fragestellungen durch systematische Reviews lässt. Auf der anderen Seite zeigt gerade diese breite Palette an interessanten und interessierenden Fragestellungen das Potenzial dieses immer noch jungen Forschungsgebiets. Bis auf wenige Ausnahmen findet sich jeweils lediglich eine Studie je App. Die Zahl der jährlich veröffentlichten Arbeiten nimmt in den letzten Jahren zu, jedoch sind im Bereich der Methodik erhebliche Optimierungspotenziale festzustellen.

Bisherige Literatur

Obwohl weitläufig gerade im wissenschaftlichen Kontext der Begriff „Review“ als systematische Aufarbeitung von veröffentlichter Fach-/Primärliteratur verstanden wird, werden die hier als „App-Store-Analysen“ bezeichneten Veröffentlichungen auf Plattformen wie PubMed und in Journalen als Reviews markiert. Sie analysieren jedoch keine Primärliteratur. Die Autoren beenden den Titel ihrer Arbeiten teilweise mit dem Anhängsel „[...] : A review“ oder beschreiben das Ziel der Arbeit mit „This review analyses [...]“ ohne auf die fehlende Trennschärfe zu systematischen Reviews hinzuweisen. Vereinzelt lässt sogar erst ein Blick in den Volltext die Schlussfolgerung zu, dass es sich um Primärliteratur handelt.

Die Menge an wissenschaftlich validierten Apps ist überschaubar, erfolgreich nachgewiesene Zusatznutzen sind noch seltener. Die Publikation von Schuster *et al.* (2020) zeigt für die Diagnose Juckreiz, dass aus zwölf im App Store gefundenen Anwendungen nur drei eine Validierungsstudie aufweisen. Die Güte der drei Studien wird nicht besprochen.

Im Februar 2022 finden Ouellette und Rao 632 relevante dermatologische Apps mit ihrer Suche, im November des gleichen Jahres liegt der Stichtag dieser Arbeit und findet Studien zu 99 Apps. Nur 70 davon mit namentlicher Nennung und nur ein Bruchteil sind Validierungsstudien. Setzt man als Anforderung an eine Validierungsstudie, dass sie ein Level-2-Evidenzniveau nach OCEBM, mindestens 100 Teilnehmer und einen Zusatznutzen aufweisen soll, finden sich lediglich zehn Studien. Hierunter sind drei Studien ohne namentliche Nennung der App und eine Validierung der Messenger-Anwendung WhatsApp für SaF-Telekonsile. Einem Großteil der Masse an Apps fehlt somit der wissenschaftliche Nutznachweis. Trotzdem können auch unter den nicht validierten Anwendungen medizinisch nützliche sein.

In einem Großteil der bisherigen Literatur – App-Store-Analysen, Reviews und der vorliegenden Primärliteratur – werden zwei Aussagen fast ubiquitär getroffen: rechtliche und ethische Bedenken zu Apps sind nicht ausreichend adressiert und das Potenzial für Apps ist in der Dermatologie groß. Die großen Entwicklungsmöglichkeiten von Apps in der Dermatologie lassen sich quantitativ nicht feststellen. Dass die medizinische Forschung zu App-Anwendungen jedoch bereits einen klaren Fokus auf das Feld der Dermatologie legt, zeigen die in der Einleitung besprochenen Reviews von Millenson *et al.* (2018) und Mars *et al.* (2018).

Viele Veröffentlichungen sprechen die zwei Themen in Diskussion und Fazit an, einige behandeln sie ausgiebiger. In der Einleitung wurden zu rechtlichen und ethischen Einwänden bereits die Literaturrecherchen von Mars *et al.* (2018) und Morris *et al.* (2018) besprochen. Ein weiteres Beispiel ist der Review Artikel von Jobson *et al.* (2021), der den Fokus auf moralische und rechtliche Bedenken bei Anwendung von Bildanalyse-Software legt, die mit künstlicher Intelligenz versucht, Hautkrebs zu erkennen. Unter Laborbedingungen seien einige Anwendungen bereits in der Lage, Fachärzte zu übertreffen. Das Potential dieser Technik sei gerade in Australien groß. Hierbei handelt es sich jedoch noch nicht um Smartphone-Apps. Die Autoren behandeln Themen wie haftungsrechtliche Bedenken bei falsch negativen KI-Einschätzungen, Sicherheit der persönlichen Daten sowie vorhandene und fehlende Medizinprodukt-Regularien. Sie betonen im Fazit, dass die Möglichkeit, durch diese Analysesoftware Patientenversorgung effizienter zu gestalten, groß ist, jedoch die Patienten vor möglichen Schäden geschützt werden müssen. Insgesamt ist es wichtig, dass rechtliche und ethische Limitationen, bevor diese Werkzeuge umfangreich genutzt werden, von Patienten und Ärzten verstanden werden.

Screening

Nach wie vor werden Begriffe wie mHealth, eHealth, digital health, App, Web application oder eTool für mobile Applikationen in der Umgangssprache und der Wissenschaft gleichwertig verwendet. Aufgrund dieser fehlenden, allgemein gültigen Genauigkeit in der Nomenklatur war eine breite Suche erforderlich, um eine möglichst vollständige Analyse der Literatur zu ermöglichen. Insbesondere der Begriff "App" wurde häufig auch als Abkürzung für eine ganze Reihe von weiteren Begriffen (siehe Tabelle 1) benutzt (349 Fehltreffer). Dennoch wurde darauf verzichtet, exkludierende Operatoren zu verwenden, um keine Arbeiten fälschlicherweise aus der Suche zu eliminieren.

Des Weiteren inkludiert der Suchstring auch Veröffentlichungen, die das verkürzte Wort „App“ nicht explizit nennen, da der Begriff nach seiner ersten Nutzung je nach Land und Generation länger gebraucht haben kann, um sich als omnipräsente Ausdrucksweise für mobile Anwendungen zu etablieren. Zusätzlich wurde daher auch nach „(Smart-)Phone application“, „mobile application“ und „tablet application“ als Umschreibung gesucht. Auch wenn diese Begriffspaare nicht in direkter Abfolge im Abstract vorkommen, wurden die Studien inkludiert, um möglichst keine relevanten Arbeiten zu übersehen. Diese sehr breite Suche führte dazu, dass viele Arbeiten im Screening manuell aussortiert werden mussten (244 Fehltreffer). Häufig tauchten Fehltreffer zum Beispiel auf bei *Applikation* einer *Tablette* (eng.: „*application of a tablet*“) oder der pharmakologischen *Anwendung* (eng.: „*application*“) der Chromatographie und Auswertung der *mobilen* Phase (eng.: „*mobile phase*“).

Sehr allgemeine Suchbegriffe, wie "Dermatologie", waren wegen des thematischen Fokus auf die Dermatologie unumgänglich, führten jedoch ebenso zu einer Vielzahl von Fehltreffern. Hatte ein Autor zum Beispiel eine akademische Zugehörigkeit zu einem dermatologischen Institut in der Veröffentlichung angegeben, reichte dies aus, um vom Suchstring inkludiert zu werden. Einige Veröffentlichungen erwähnten zwar dermatologische Erkrankungen, bezogen sich jedoch auf die Medizin allgemein, waren allgemeine Gesundheits- und Fitness-Anwendungen oder für Tiere bestimmt. Auch eine Studie zu Apps zur Bestimmung von Sonnenbrand bei Äpfeln wurde ausgeschlossen. Studien wurden außerdem exkludiert, wenn nicht mindestens 50 Prozent der untersuchten Daten dermatologisch waren. Dies war beispielsweise bei telemedizinischen Studien der Fall.

Werden in einer Publikation die Dermatologie am Menschen und eine mobile Anwendung genannt, musste zusätzlich erörtert werden, ob auch eine Analyse der App stattgefunden hat. Anwendungen, die eine App nicht untersuchten und lediglich zur Umfrage, Datenerhebung

oder Patientenrekrutierung nutzten, wurden ebenso aussortiert wie Studien, die nur in einer Nebenbemerkung erwähnen, dass eine App zum untersuchten Thema in Zukunft denkbar, sinnvoll oder erwünscht wäre.

Insgesamt mussten somit 90,7 Prozent der vom Suchstring gefundenen Arbeiten in der Abstract- oder Volltextsuche exkludiert werden.

Publikationsjahr

Für die vorliegende Arbeit wurde keine zeitliche Begrenzung in der Suche benutzt, jedoch ergibt sich eine thematische Beschränkung, da das erste Smartphone und zugleich die ersten App-Anwendungen erst 2007 auf den Markt kamen. Wie zu erwarten, verfehlten alle Veröffentlichungen von vor 2007 im Screening die Inklusion. Unter den im Screening analysierten Studien finden sich bereits 2009 Kommentare, welche die Möglichkeiten von Apps reflektieren (Massone *et al.*, 2009). Die erste relevante Analysen zu dermatologischen Apps ist jedoch erst im Januar 2012 erschienen (Lamel *et al.*, 2012). Die Zahl der relevanten Publikationen nimmt im Jahr 2017 schlagartig zu und bleibt seither auf einem erhöhten Niveau (siehe Abbildung 4). Ein allgemeiner Entwicklungstrend ist schwer zu bestimmen, zumal der Ausbruch der Covid-19-Pandemie zeitweise die Forschung stark geprägt sowie durch zwischenmenschliche Kontaktminimierung auch behindert hat.

Veröffentlichungsorgane

Die Autoren wählten für ihre Veröffentlichungen über 60 verschiedene Journale. Insgesamt 38 Arbeiten waren in Journalen zu finden, deren Gegenstand spezifisch oder ausschließlich eHealth ist. Die Organe des Journal of medical internet research (JMIR) scheinen sich mit 20 Arbeiten als besonders beliebt zu erweisen. Mit 14 Veröffentlichungen wurde „JMIR mHealth and uHealth“ fast dreimal häufiger genutzt als das häufigste Journal ohne eHealth-Fokus, JEADV, mit 5 Publikationen. Das genannte JMIR-Organ hat einen Impact Factor von 5,0 und im Vergleich zu in der Dermatologie etablierten und renommierten Publikationsorganen eine ähnliche Reputation. Im JDDG (Impact Faktor: 5,2), JEADV (9,2) und JAAD (13,8), wurden keine, fünf, beziehungsweise eine Arbeit publiziert. Es ist zu vermuten, dass die hohe Zitationsrate der in JMIR-Organen veröffentlichten Arbeiten auf ein entsprechendes Interesse an digitalen Themen zurückzuführen ist, die Gegenstand der Journale sind. Dieses Interesse spiegelt sich jedoch nicht in den führenden dermatologischen Journalen wider.

Die offiziellen Organe der wissenschaftlichen Fachgesellschaften in Deutschland, Europa und Amerika haben in ihren Statuten möglicherweise einen stärkeren Fokus auf Arbeiten,

welche die Qualitätsanforderungen nach anerkannten Standards erfüllen, aber für klassische Forschung entwickelt wurden. Dies birgt die Gefahr, dass die zunehmende digitale Facette des Fachgebiets in diesen Fachjournalen auf Dauer unterrepräsentiert bleibt. Um einen breiteren wissenschaftlichen Diskurs zu digitalen Themen in den Fachgesellschaften zu ermöglichen, könnte es hilfreich sein, auf digitale Anwendungen adaptierte Standards zu entwickeln, um eine höhere Veröffentlichungsrate und damit einen kritischeren Diskurs zu ermöglichen.

Datenerhebung

Etwa die Hälfte der Studien zu Apps in der Dermatologie wurden in Europa (54/110; 49%) durchgeführt. Davon stammen 21 Publikationen aus dem deutschsprachigen Raum. Eine grenzüberschreitende Durchführung der Datenanalyse, Patientenrekrutierung oder einer Intervention bleibt bis heute allerdings die Ausnahme (siehe Tabelle 3).

Weitaus häufiger wurde aber bereits eine dezentrale Datenerhebung genutzt, die in den meisten Fällen zumindest teilweise mit Apps durchgeführt wird. Sie wird durch eine multimediale Probandenrekrutierung, -aufklärung und -einwilligung ermöglicht. Für diese aus arbeitsökonomischer Sicht hilfreiche Art des Studiendesign gibt es bisher noch keine allgemein anerkannten Standards. Auch Analysen von möglicherweise verknüpften Risiken bezüglich Verzerrungen oder Belastbarkeit der so erhobenen Daten fehlen. Allerdings birgt diese Art der Probandenbeobachtung, die erst durch digitale Medien in größerem Umfang möglich wurde, ein großes Potential für die Beantwortung weiterer Fragestellungen. Es ist möglich, dass Studienteilnehmer im Rahmen von Querschnitt- oder Längsschnittstudien unabhängig von ihrem physischen Standort in großer Zahl mittels einer App eingebunden und betrachtet werden können. Um das Potenzial dieser neuen Möglichkeit genauer zu untersuchen, wäre es sinnvoll, die 16 inkludierten, relevanten dermatologischen Studien sowie weitere aus anderen Disziplinen, im Rahmen einer SWOT-Analyse aufzuarbeiten.

Studiendesign, Evidenzniveau und Teilnehmerzahlen

Höchstes Evidenzniveau auf Level 1 nach OCEBM (CEBM Levels of Evidence Working Group, 2011) ist nur durch ein Review der bestehenden Literatur möglich. Einige der unter 1.2.2 aufgeführten Reviews streben dies an, untersuchen jedoch mehrere App-Anwendungen zeitgleich. Bei weniger komplexen Anwendungen, die Überschneidungen in ihrer Funktion haben, kann es möglich sein, Apps unterschiedlicher Entwickler miteinander zu vergleichen. Patienten-App-Tagebücher oder Erinnerungsanwendungen für Medikamente können beispielsweise recht ähnlich funktionieren und zusammengefasst untersucht werden. Bei komplexen Anwendungen, wie KI-gesteuerten Algorithmen zur

Bildererkennung von Melanomen, kann es zu großen Unterschieden in der Genauigkeit kommen. Beispielsweise zeigt Rat *et al.* (2018), dass bei zwölf Studien zu KI-Anwendungen die Sensitivität zwischen sieben und 87 Prozent und die Spezifität zwischen neun und 100 Prozent schwankt. Um Evidenz zu einer einzelnen App zu schaffen, ist ein Review mit engem Fokus auf eine Anwendung nötig und selbst dann spielen noch Faktoren wie der Versionsverlauf, das genutzte Betriebssystem und die Smartphonekamera eine Rolle (siehe auch „Appspezifische Problematiken“). Wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt, ist dafür die Studienlage jedoch kaum ausreichend. Einzig drei Anwendungen haben bisher drei oder mehr relevante Veröffentlichungen, in denen die App analysiert wird, vorzuweisen. Ein Review zu diesen Anwendungen existiert nicht. Evidenz auf Level 1 nach OCEBM ist somit nicht vorhanden.

Wie im Ergebnisteil (siehe 4.2.2) bereits beschrieben, kann der nächstbeste Grad an Evidenz, Level 2 nach OCEBM, durch Primärliteratur erreicht werden. Dreiunddreißig der 110 untersuchten Studien (30%) erreichen diesen Grad, jedoch weisen nicht alle Studien einen Erfolg der untersuchten App nach. Letztendlich sind das jene Studien, die Apps in der Dermatologie qualitativ optimieren können.

Die detaillierte Betrachtung der Teilnehmerzahlen (siehe Abbildung 8: Veröffentlichungen nach Anzahl der Teilnehmer, detailliert Abbildung 8) der analysierten Studien zeigt, dass 40% der Untersuchungen maximal 50 Teilnehmer und 59% maximal 100 Teilnehmer hatten. Aufgrund der enormen Varianz zwischen den Veröffentlichungen kann keine einheitliche minimale Fallzahlmenge berechnet werden. Dennoch wurde arbiträr die Grenze von über 100 Teilnehmern gesetzt, um eine grobe Einschätzung der Evidenzlage aus der Matrix entnehmen zu können. Zwanzig der 33 OCEBM-Level 2-Studien wiesen dieses Kriterium auf und zehn der Publikationen konnten zusätzlich einen positiven Zusatznutzen einer App nachweisen. Diese pragmatische Filterung liefert grob die zehn Studien die den wertvollsten positiven Outcome für Apps in der Dermatologie bringen. Sie sind im Detail in Tabelle 6 aufgeführt.

Bezüglich der Methodik und der Studien-Power und damit der Belastbarkeit der Ergebnisse wären in Zukunft mehr Studien nach OCEBM Level-2-Evidenz sowie höhere Teilnehmerzahlen wünschenswert, sodass in Zukunft aussagekräftige Reviewarbeiten (OCEBM Level-1-Evidenz) möglich werden. Auch wenn die durchschnittliche Qualität aller untersuchter Studien hinter den an allgemein in der wissenschaftlichen Welt anerkannten Standards gemessen in vielen Fällen zurückbleibt, erlaubt ihre Auswertung dennoch verwertbare Aussagen. Diese werden im Folgenden gelistet.

Referenzstandard

In der Hälfte der untersuchten Studien wurden Apps gegen eine etablierte Standardbehandlung getestet, wobei verschiedene Outcome-Parameter gemessen wurden. Daraus ergeben sich Hinweise auf einen möglichen Zusatznutzen oder die Vergleichbarkeit einer App mit etablierten Verfahren.

Eine Reihe von Studien beschäftigen sich mit der Gegenüberstellung von Apps. Auch wenn hierdurch keine Aussage über eine Versorgungsverbesserung erzielt werden kann, erlaubt die Methodik eine Aussage zum Stellenwert von Apps im Vergleich miteinander und kann deren Vor- und Nachteile aufzeigen.

Wieder andere Studiendesigns testeten outcome-Parameter von Apps, ohne mit einem Standard oder einer anderen App zu vergleichen. Hierbei konnten Erkenntnisse zu Anwenderfreundlichkeit, Nutzerzufriedenheit und der daraus resultierenden Therapieadhärenz oder Wirksamkeit der untersuchten Intervention gewonnen werden.

Indikation

Neunundsiebzig der Veröffentlichungen behandeln eine einzige Diagnose. Ein deutlicher Fokus auf Hautkrebs konnte, wie auch in der bisher veröffentlichten Literatur, festgestellt werden. Mit 36,7 Prozent beschäftigen sich über ein Drittel der diagnosespezifischen Studien mit Hautkrebs oder verdächtigen Hautläsionen. Darüber hinaus waren Karzinome und verdächtige Läsionen auch Thema bei einigen teledermatologischen Studien, die eine Vielzahl von Diagnosen betrachteten.

WHO-Klassifikation der Funktion von Apps

Es wurden 28 Apps mit primärer telemedizinischer Hauptfunktion der Kategorie 2.4 nach WHO untersucht. Bezieht man alle drei festgehaltenen Hauptfunktionen mit ein, sind es 33 Anwendungen (Doppelnennungen möglich). Die meisten Anwendungen dienen der Datenübertragung vom Patienten zum Gesundheitsanbieter (20/28 bzw. 24/33), etwa 30% der Anwendungen ließen Konsultationen zwischen Gesundheitsanbietern zu (8/28 bzw. 9/33).

Die generelle Betrachtung der Ergebnisse der WHO-Klassifizierung zeigt, dass unter den Apps für medizinische Leistungsanbieter telemedizinische Anwendungen bisher am häufigsten untersucht wurden (60%). Bietet eine App telemedizinisches Angebot an, steht dies meist im Mittelpunkt, nur selten war die sekundäre oder tertiäre Funktion einer App die Datenübermittlung an andere. Screening-Tests für Patienten hingegen waren bei

Anwendungen ausschließlich sekundäres oder tertiäres Angebot, zumeist zusammen mit KI-Datenanalysen, welche als primäre Hauptfunktion gewertet wurde.

45 Prozent der Studien mit patientenorientierten Anwendungen erforschten Apps für die Datensammlung und patientenseitige Dokumentation von Gesundheitsdaten. Betrachtet man alle drei Hauptfunktionen, spielt auch die Vermittlung von Gesundheitswissen häufig eine Rolle.

Studien mit Apps aus der Kategorie Daten-Dienste untersuchten fast ausschließlich Anwendungen zur Datenanalyse oder zu Bewertungs-Algorithmen unter Zuhilfenahme von künstlicher Intelligenz. Diese Funktionen standen meist im Fokus und waren selten sekundäre oder tertiäre Hauptfunktion.

Outcomes

Die breit angelegte Suche des vorliegenden Scoping Reviews hat zur Folge, dass das Feld der untersuchten Studien ein sehr heterogenes ist. Jegliche Art von wissenschaftlichen Outcome-Parametern wurden eingeschlossen. Dies erlaubt zwar keine durchgängige Vergleichbarkeit der Studien untereinander, schaut man sich jedoch jede Studie einzeln an und vergleicht das tatsächliche Ergebnis mit dem deklarierten Ziel der Studie beziehungsweise der App, kann beurteilt werden, ob die Untersuchung einen positiven oder negativen Effekt hatte. In einigen Fällen ist das Ergebnis dieser Abwägung jedoch gewesen, dass eine Studie zu einer Anwendung keinen Effekt in Bezug auf das gesetzte Ziel zeigen oder gänzlich keine Aussage zu einem Effekt treffen konnte. Die Bewertung erlaubt zwar keine Beurteilung der Belastbarkeit der Ergebnisse, gibt aber sehr wohl einen Hinweis auf einen möglichen Nutzen von Studien und Apps. Damit sind die gewonnenen Erkenntnisse hilfreich und zeigen ein großes Potential an möglichen Benefits für das Gesundheitswesen. Die Ergebnisse dieser Betrachtung sind in Abbildung 10 gezeigt und fließen auch an anderer Stelle in Bewertungen ein.

Unter allen untersuchten Veröffentlichungen wurden 68 Prozent mit einem positiven Effekt bewertet und neun Studien mit einem negativen. Die Beurteilung des positiven Effekts oder gar der Effektstärke hängt jedoch in erheblichem Umfang von der Wahl der Parameter ab. Je simpler das Ziel der Studie gewählt wird, umso unkomplizierter ist es, einen positiven Effekt nachzuweisen. Bei komplexeren Fragestellungen zum Beispiel zur Genauigkeit oder Konkordanz zeigte sich dabei eine größere Schwierigkeit. Die Signifikanz der erbrachten Evidenz spielt somit keinen Faktor in der Bewertung des Studieneffekts. Diese spiegelt sich auch in den im weiteren besprochenen Ergebnissen wieder. Themenfelder, wie Diagnose

und Therapie, in denen häufig die Genauigkeit untersucht wird und Apps mit einem Goldstandard verglichen werden, weisen einen geringeren Durchschnittswert für positiv bewertete Outcomes auf.

Untersuchte Apps

Mit dem angewandten Algorithmus wurde spezifisch nach mobilen Anwendungen für Smartphones gesucht. Dennoch tauchten sieben Studien zu sechs Anwendungen auf, die nicht nativ über eine App auf dem Mobiltelefon, sondern über einen Web-Browser aufgerufen werden. Wurden diese Anwendungen in der Studie über ein Handy oder Tablet angesteuert, wurde die Studie nicht ausgeschlossen. Die Struktur des Suchalgorithmus garantiert jedoch keine Gewissheit darüber, dass jegliche Web-Anwendungen eingeschlossen wurden.

Zielstruktur der App

Bei der Analyse der 110 relevanten Veröffentlichungen sind drei führende Zielstrukturen zu erkennen. Diese liegen in der Diagnose, der Patientenüberwachung sowie in der Prävention (42, 29 und 27 Studien). Studien mit Diagnoseanwendungen schneiden mit 60 Prozent positiven und 19 Prozent negativen Effekten unterdurchschnittlich ab. Die denkbaren Gründe hierfür sind mannigfaltig. Diagnose-Apps sind oft sehr viel komplexer aufgebaut als einfachere Anwendungen. Sie beinhalten das Feld der KI-Anwendungen und Telemedizin, beide Gebiete bringen viele Anwendungen hervor, die sich mit dem Goldstandard messen und versuchen, diesen zu ersetzen. Oft wurden zur Validierung RCT-Studien durchgeführt. Hierbei einen als positiv zu bewertenden Outcome zu erreichen ist sehr viel aufwendiger, als bei Umfrage-Studien zur Nutzerzufriedenheit. Positiv zu bewertende Effekte bei Forschung zu Diagnoseanwendungen sind somit wertvoller Fortschritt und mehr Forschung in diesem Bereich ist nötig und wünschenswert.

Apps, die Patientenüberwachung und Verlaufsbeobachtung ermöglichen, bestanden zu einem großen Teil aus telemedizinischen Anwendungen, beispielsweise zur Wundversorgung und Apps mit Checklisten oder Photo-Funktion zur Dokumentation eines Krankheitsverlaufs durch den Patienten oder Arzt. Diese Anwendungen schnitten im Durchschnitt mit 83 Prozent positiven Effekten und nie mit negativem Effekt ab. Die Einbeziehung von App-Anwendung sowie der Patienten in die Dokumentation des Krankheitsverlaufs scheint ein Erfolgsmodell zu sein. Genau so ist die telemedizinische Nachsorge, wie sie teilweise in Deutschland bereits angewandt wird, positiv zu bewerten. Der Erfolg konnte in Studien mit unterschiedlichen Designs und Anwendungen gezeigt werden.

Bei Arbeiten zu dermatologischer Prävention (27 der 110 Veröffentlichungen) hatten 79% ein positives Ergebnis, was anhand der gegebenen Studienlage für ein großes Potenzial digitaler Applikationen in der Vorsorge zu dermatologischen Behandlungen spricht. An dieser Stelle werden die Vorteile der Digitalisierung genutzt, indem Patienten in großer Breite allgemein über dermatologische Krankheiten aufgeklärt werden können. Apps können somit eine große Stütze für Prävention durch Aufklärung darstellen, da eine deutlich höhere Zahl an Patienten zeitgleich erreicht werden kann.

Zusatznutzen der App

Fünf Zusatznutzen von dermatologischen Apps wurden von Studien häufig untersucht (siehe Tabelle 11). Am ausgiebigsten wurde Evidenz zu App-Anwendungen geschaffen, welche die Kenntnisse oder das Gesundheitsverhalten des Patienten unterstützen wollen. Die hier mit negativem Studieneffekt auftauchenden Arbeiten sind unter anderem patientenorientierte Apps zur Hautkrebserkennung. Oft wurde außerdem das Potenzial untersucht, dem Patienten zusätzliche Gesundheitsinformationen zur Verfügung zu stellen, um eine Krankheit besser zu verstehen oder Prävention zu betreiben. Dieses wichtige Feld der Forschung hat das Potenzial, gute evidenzbasierte Apps hervorzubringen, die, wie in der Einleitung beschrieben, leider nicht häufig vorhanden oder einfach zu finden sind. Patientenfreundliche und evidenzbasierte Anwendungen können verständliche Erklärungen komplexer Inhalte wiederholt und jederzeit für Patienten präsentieren, um Ärzte und Gesundheitspersonal zu entlasten. Fehlt die Evidenzgrundlage jedoch, ist die Gefahr von Fehlinformation und Fehlinterpretationen des Patienten hoch und kann Misstrauen bilden. Individuelle Nachfragen müssen weiterhin mit fachlichem Personal adressiert werden können.

Veröffentlichungen der Kategorie „Leistung, Fähigkeiten oder Wissen des Gesundheitspersonals“ können überdurchschnittlich oft einen positiven Effekt nachweisen. Viele der Anwendungen sind digitale Lerninhalte zur Ausbildung oder Werkzeuge, um Zeit im Arbeitsalltag zu sparen. Im Gegensatz dazu können App-Studien zur Verbesserung der Diagnosegenauigkeit nur selten positive und überdurchschnittlich oft negative Effekte zeigen. Wie bereits weiter oben besprochen, wird an Anwendungen, die Diagnosen stellen oder die Genauigkeit sogar noch erhöhen sollen, ein hoher Standard angelegt. Jeder erfolgreich nachgewiesene Nutzen einer solchen App ist ein Schritt näher in Richtung Fortschritt.

Auch die Evidenz zu Anwendungen, die den Zugang zu Versorgung erhöhen, schnitten deutlich überdurchschnittlich ab. Die Kategorie besteht fast ausschließlich aus Studien zu

Store-and-Forward Anwendungen, welche durch kurze Wartezeiten den Patienten oder anfragenden Arzt einer anderen Fachrichtung unterstützen können. Es ist jedoch nicht banal, diese Ergebnisse auf die Versorgung anzuwenden. Denn steckt nicht mehr die Motivation eines Pilotprojektes dahinter, zeitnah Anfragen zu beantworten und ist die Nachfrage größer als die Kapazität der teilnehmenden Dermatologen, kann auch die Beantwortung von SaF Anwendungen, ähnlich wie persönliche Termine, in Verzug geraten. Die Hoffnung ist, dass diese Art der Konsultation genug vermeidbare Patientenvorstellungen abwendet und so die Kapazitäten schafft.

Der angestrebte Zusatznutzen der Adhärenzsteigerung hat großes Potenzial, da die Patientenadhärenz in vielen Situationen häufig nicht optimal ist. Die untersuchten Anwendungen stellen immer ein zusätzliches Angebot dar und ersetzen keine anderen Maßnahmen. Somit ist das Risiko auch bei Versagen der App nicht größer, als sie nicht angewendet zu haben. Dieses Prinzip gilt auch für Anwendungen mit anderen Zielen, die nur zusätzlich eingesetzt werden.

Zielgruppe der App

Die große Mehrheit der Anwendungen richteten sich an Patienten, Ärzte sowie Krankenpfleger und schneiden mit leicht unterdurchschnittlichen Werten für den Studieneffekt ab. Apps zu seltener untersuchten Zielgruppen, wie Studenten, wurden hingegen überdurchschnittlich positiv bewertet. Nur acht Veröffentlichungen analysierten Apps für Gesundheitshelfer abseits der Ärzte und der Krankenpflege. Vor allem Anwendungen zur Unterstützung der häuslichen Pflege durch Angehörige wurden untersucht. Der Studieneffekt war in sieben aus acht Fällen positiv.

Anwendungen mit zwischenmenschlicher Kommunikation schnitten im Mittel besonders positiv ab. Die Telekommunikation zwischen Dermatologen und Hausarzt diente zumeist der Triage von Patientenüberweisungen. Die Anwendungen zwischen Patient und Dermatologen waren meist telemedizinisch, untersuchten jedoch nur in zwei Fällen die Genauigkeit der gestellten Diagnosen, zu selten, um allgemeine Schlüsse ziehen zu können.

Am häufigsten untersuchte Apps

Anwendungen unterschiedlicher Entwickler unterscheiden sich in essentiellen Bereichen wie Nutzeroberfläche, Datenverarbeitung und Zusatzfunktionen. Daher ist es mit zunehmender Komplexität der App-Funktion von Vorteil, dass mehrere Veröffentlichungen zur gleichen Anwendung vorliegen. Dies erlaubt einen direkten Vergleich der Outcomes sowie Aussagen über die Konsistenz der Ergebnisse. Für drei der gefundenen Apps liegen

drei oder mehr Studien vor; SkinVision, Sunface und FLIR ONE. Die im Folgenden besprochenen Aspekte sind teils spezifisch für die vorliegende Arbeit. Die große Mehrheit ist jedoch hier nur stellvertretend an wenigen Beispielen beschrieben und lässt sich auf den gesamten Bereich der App-Forschung beziehen.

FLIR ONE

Die Studien zu FLIR ONE wählten unterschiedliche Indikationen. Zum einen wurde die Vorhersagegenauigkeit einer Wärmebildkamera bezüglich der Abheilungsdauer von Verbrennungswunden untersucht (Jaspers *et al.*, 2017; Ganon *et al.*, 2020). Zum anderen wurde analysiert, ob Prick-Test-Ergebnisse anhand mittels Wärmebildkamera aufgenommener Bilder ausgewertet werden können (Anzengruber *et al.*, 2019). Bei den zwei zuerst genannten Studien sind die Ergebnisse nur bedingt vergleichbar, da die Methodik variierte und möglicherweise Veränderungen an der App zwischen den Studien vorgenommen wurden. Zumindest konnte aber in der neueren Studie eine Verbesserung von Sensitivität und Spezifität im Vergleich zur ersten Studie gezeigt werden. Würden sich die Studiendesigns gleichen und der einzige geänderte Faktor wäre die Abänderung der Anwendung, könnten die gesteigerte Genauigkeit auf die neue App-Version zurückgeführt werden.

Sunface

Die zu Sunface vorliegenden Studien bauen dagegen sehr gut aufeinander auf. Zunächst wurde im Jahr 2017 an einer kleinen Zahl von Studenten eine „proof-of-concept“-Studie durchgeführt, um die Umsetzbarkeit bzw. Machbarkeit zu überprüfen (Brinker & Schadendorf *et al.*, 2017). Ebenfalls in 2017 erfolgte eine weitere Studie mit gleichem Studiendesign an einer größeren Gruppe von 205 Schülern im Alter von 13-19 mit vergleichbarem positiven Effekt (Brinker & Brieske *et al.*, 2017). Im Wesentlichen wurde nur die Zielgruppe geändert. In 2018 erfolgte darauf aufbauend eine weitere Studie mit der gleichen Zielgruppe, aber geänderter Population (Schüler in Brasilien statt Deutschland) mit 356 Teilnehmern (Brinker *et al.*, 2018). Die Ergebnisse waren erneut vergleichbar und konsistent gut. Im Jahr 2020 erfolgte dann eine randomisiert-kontrollierte Studie mit fast 1600 Probanden, in denen Schulklassen mit und ohne Intervention miteinander verglichen wurden (Brinker *et al.*, 2020). Die Studie bestätigte die Ergebnisse der Vorstudien und zeigte signifikante bessere Effekte in der Interventions-Gruppe. Dieser Aufbau eines Studienprogramms wird als Prototyp einer wünschenswerten Vorgehensweise angesehen und führt neben in vielen Arbeiten nachweisbaren positiven Effekten auch zu einer deutlich höheren Belastbarkeit.

Skin Vision

Mit sieben Studien ist SkinVision die am häufigsten vertretene App in der vorliegenden Analyse. Im weiteren Verlauf der Diskussion dient ihre genauere Betrachtung in besonderer Weise als Beispiel für Aspekte, die im Bereich der medizinischen Apps und ihrer Forschung markant ausgeprägt oder sogar einzigartig sind. Diese Punkte sind weit verbreitet im Forschungsfeld der App-Anwendungen und nicht auf die SkinVision-App begrenzt. Sie ergeben sich teilweise aus der besonderen Funktionsweise von Apps, die in der Forschung vergleichsweise neu sind.

Apps mit KI-gestützten Algorithmen zur Bilddatenauswertung – wie SkinVision – liegt eine neurale Netzwerkstruktur (engl.: „neural network“) zugrunde, die in mehreren Ebenen der Datenverarbeitung einem Eingangs-Bild eine Ausgangsbewertung zuordnet. Tausende von Trainingsbildern mit vorbekannten Diagnosen sowie Kontrollbilder ohne Diagnose werden zur Verfügung gestellt und der Algorithmus passt seine Bewertungsparameter der unterschiedlichen Ebenen so an, dass die vorgegebenen Ergebnisse korrekterweise ausgegeben werden. Werden nun neue, unbekannte Bilder von erlernten Erkrankungen präsentiert, soll der trainierte Algorithmus diese auch richtig einschätzen können. Ein solches selbstkalibrierendes neurales Netzwerk wird oft als „Black Box“ beschrieben, da kaum nachvollzogen werden kann, anhand welcher Schritte das Netzwerk die eingespeisten Bilder bewertet und zu seinem Ergebnis kommt. Die Hoffnung der Entwickler ist es, dass ein Algorithmus, mit den richtigen Voreinstellungen eine Automatisierung und möglicherweise Verbesserung der Diagnosestellung ermöglicht.

Bias

Alle Veröffentlichungen zu SkinVision haben unterschiedliche Erstautoren und ihre Daten wurden in vier verschiedenen Nationen erhoben. Dennoch kann man die Studien nicht unreflektiert für unabhängige Daten halten. Bei genauerer Betrachtung der Autoren fällt auf, dass vier der Studien erheblich vom Unternehmen SkinVision B.V., dem die SkinVision App gehört, gefördert wurden (siehe Tabelle 14). Dass SkinVision B.V. Einfluss auf das Studiendesign genommen hat, ist in den vier Veröffentlichungen angegeben. In welchem Umfang dies genau stattgefunden hat, ist für den Leser nicht genau zu beurteilen. Bei der Arbeit von Udrea *et al.* (2019) hatten sechs der acht Autoren Interessenkonflikte gegenüber der untersuchten App angegeben. In genau dieser Studie, in der die höchste Sensitivität der App und eine Spezifität weit über dem Durchschnitt gemessen wurden, muss die Unabhängigkeit der Untersucher also als deutlich eingeschränkt angesehen werden.

In einem erheblichen Teil der untersuchten Publikationen waren die Autoren der Studie auch gleichzeitig die Entwickler der Anwendung. Dieser Umstand stellt per se einen Interessenkonflikt dar. Nahmen die Autoren der Anwendung an der Untersuchung teil oder hatten sie eine persönliche Bindung zu den Untersuchern, wünschten sich die Versuchsleiter eventuell mehr als in unabhängigen Studien ein positives Outcome der Studie. Somit könnte es erschwert gewesen sein, mit dem Versuchsaufbau eine subtile Beeinflussung der Teilnehmer ausreichend zu vermeiden. Eine entsprechende wissenschaftliche Standardisierung in der Durchführung der Studie kann die Minimierung dieses Bias beinhaltet haben. Werden diese und andere entwicklerbedingte Einflussfaktoren in einer Studie nicht adressiert, sollte eine solche, vom Entwickler durchgeführte Publikation, bestenfalls nicht die einzige Validierungsstudie einer Anwendung sein. Ein Beispiel hierfür ist die oben bereits als Positivbeispiel für ihr Studiendesign erwähnte Anwendung Sunface. Die Personalunion von Erstautor aller vier Studien und Eigentümer der App stellt hier einen Interessenkonflikt dar.

Auch Studien, deren Ziel ein Überblick über verfügbare Anwendungen ist, unterliegen dieser Beeinflussung. So führen Schuster *et al.* (2020) eine App-Store-Analyse zu Juckreiz (Pruritus) durch und suchen außerdem nach Validierungsstudien von Apps. Es wurden 21 Anwendungen gefunden, wovon drei Validierungsstudien aufweisen. Eine dieser drei Apps wird im Verlauf der Arbeit mehrfach hervorgehoben. Hierbei handelt es sich um die App, dessen Mitgründer Teil des dreiköpfigen Autorenteam ist. Es ist zu vermuten, dass dieser erheblichen Einfluss auf das Design der Studie und die Verfassung der Veröffentlichung hatte.

Ähnlich verhält es sich mit dem Funding Bias. Die Finanzierung der meisten untersuchten Studien erfolgte nicht aus Forschungstöpfen unabhängiger Institutionen wie staatlicher Quellen, unrestricted grants oder Drittmitteln von wissenschaftlichen Gesellschaften, sondern waren offenkundig interessengesteuert bereitgestellt. Nicht selten war ein positiver Outcome direkt mit dem wirtschaftlichen Erfolg des finanzierenden Unternehmens verknüpft.

Die oben vorangegangenen genannten Beeinflussungen fallen besonders bei App-bezogenen Studien auf. Jedoch sind zusätzlich weitere Arten von Bias allgegenwärtig, wie auch in der restlichen Wissenschaft. In vielen Fällen sind diese Einflüsse nicht vollständig zu eliminieren.

Genauigkeit

Dermatologische Smartphone-Apps können entweder zusätzlich zur bestehenden Versorgung eingesetzt werden oder eine bestehende Funktion ersetzen. In beiden Fällen ist es wichtig, dass keine fehlerhaften Informationen mitgeteilt werden. Soll eine Funktion von einer Anwendung übernommen werden, muss ihre Genauigkeit am bisherigen Status Quo gemessen werden. Bei der Berechnung der Genauigkeit der SkinVision-App tritt ein grundsätzliches Problem auf, was sämtliche neue Diagnosewerkzeuge betrifft. Zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität ist der Vergleich mit einem Referenzstandard nötig, der das wünschenswerte Testergebnis vorgibt. Jedoch ist auch jener Standard fehleranfällig und nicht mit absoluter Sicherheit immer korrekt. Im Falle der Bilddaten-analysierenden KI-Software verpackt in einer App, die Hautläsionen diagnostizieren sollen, ist die histologische Analyse der ausgeschnittenen Hautläsionen die zuverlässigste Referenz – der sogenannte „Goldstandard“. Diese kann jedoch nur alleinig als Vergleich dienen, wenn alle von der App bewerteten Läsionen auch histologisch untersucht werden. Oft ist dies nicht der Fall, da aus ethischen und wirtschaftlichen Gründen meist nur Hautläsionen ausgeschnitten und untersucht werden, bei denen von einem gewissen Risiko auszugehen ist. Dieses Risiko wird von Dermatologen eingeschätzt.

Der Vergleich mit dem Referenzstandard Dermatologe ist vom Vergleich mit der histologischen Bewertung klar abzugrenzen. Er stellt nicht den Goldstandard dar und unterliegt weiteren Faktoren, wie einer Risikoabwägung mit dem Wohlbefinden des Patienten im Vordergrund. Bei klinisch unklarem Bild einer Hautläsion gilt es, großzügig Hautläsionen auszuschneiden, wenn ein Zweifel an der Benignität besteht, um den Patienten vor möglichen schwerwiegenden Folgen zu bewahren.

Insgesamt stehen somit zum einen nur selten klinisch gutartig bewertete Läsionen mit histologischer Bewertung zur Verfügung, um Algorithmen zu trainieren und zu bewerten. Zum anderen werden nur selten von Algorithmen als risikoreich bewertete Läsionen, die vom Dermatologen als gutartig bewertet wurden, analysiert und histologisch getestet, um die Genauigkeit einer App zu berechnen.

Diesen strukturellen und ethischen Konflikt gilt es, in der Forschung zu beachten. Je nachdem, wie dieser adressiert wurde, ergeben sich weitere Problematiken. Mehrere Möglichkeiten von Studiendesigns sind in Bezug auf den Referenzstandard bisher durchgeführt worden:

- Validierungsstudien, die nur histologisch geprüfte Fälle betrachteten, untersuchten die Genauigkeit von App-Algorithmen zu einem großen Teil lediglich anhand von klinisch als risikoreich bewerteten Hautläsionen. Risikoarme Läsionen werden nur selten präsentiert, da sie häufig nicht entfernt oder histologisch untersucht werden. Diese Unterrepräsentation von krankheitsfreien Daten stellen einen Unterschied gegenüber dem Behandlungsalltag dar. Auch das Training der Algorithmen anhand von Daten, die von Hochrisikoläsionen geprägt sind, kann dazu führen, dass Apps mit solchen Bildern wenig vertraut sind und zu Fehleinschätzungen neigen.
- Validierungsstudien, die nur die klinische Diagnose eines Dermatologen als Referenzstandard untersuchten, haben nicht den Goldstandard als Vergleich gewählt. Wie zuvor beschrieben, beinhaltet die Diagnose des Dermatologen eine gewisse Risikoabschätzung und unterliegt auch einer Schwankung je nach Erfahrung des Vergleichs-Dermatologen. Wird dieser als Referenz gewählt, testet die Studie, wie gut ein Algorithmus wie ein Dermatologe entscheiden kann und nicht, wie gut eine App maligne Diagnosen erkennen kann. Werden Daten aus einem solchen Szenario zum Trainieren der Algorithmen benutzt, wird eine App entworfen, die versucht, Dermatologen nachzuahmen – jedoch besteht nicht die Chance, besser als diese zu sein.
- Andere Publikationen untersuchten alle Läsionen, die in einem ähnlichen Setting zum Versorgungsalltag untersucht wurden. Für Läsionen, die klinisch als gutartig bewertet und nicht exzidiert wurden, galt die klinische Diagnose des Dermatologen als Referenzstandard, in Fällen der Exzision jedoch das histologische Ergebnis. Somit galt weder der Dermatologe noch die histologische Bewertung als konsequenter Vergleichsstandard. Die Ergebnisse sind daher nur eingeschränkt zu verwenden.

Bisher existiert keine Studie aus dem Versorgungsalltag, die alle Läsionen, die von einer App als Hochrisikoläsion eingestuft wurden, histologisch analysiert. Daher kann nicht mit endgültiger Gewissheit eine Aussage getroffen werden, wie genau Apps zu Hautläsionen im Vergleich zur histologischen Kontrolle sind. Ethisch ist eine solche Studie zurzeit noch nicht vertretbar, da von zu vielen falsch-positiven Risikoeinschätzungen ausgegangen werden kann. Alternativ könnte eine Studie mit Langzeitbeobachtung von Patienten durchgeführt werden. Eine solche ist jedoch aufwendig und kostspielig und daher für App-Entwickler ohne externe Finanzierung nur schwer durchführbar.

Ähnlich herausfordernd ist zu quantifizieren, wie gut Dermatologen gegenüber der histologischen Kontrolle sind, denn es kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie viele maligne Läsionen nicht untersucht wurden, weil sie klinisch als benigne bewertet wurden.

Der oben beschriebene „Black Box“-Charakter der Bewertungsalgorithmen lässt offen, ob detaillierte Bildanalysen eventuell bisher unentdeckte Merkmale maligner Strukturen oder Zusammenhänge zwischen Merkmalen erkennen, die mit bloßem Auge bisher nicht erfasst wurden. Somit bleibt die Möglichkeit, dass Apps Dermatologen unterstützen oder sogar übertreffen könnten.

In Abbildung 11 sind aufgrund der besprochenen Problematik die Angaben für Sensitivität und Spezifität der SkinVision-App, wenn möglich, getrennt nach histologisch und klinisch berechneten Werten aufgeführt. Die Anzahl der Datenpunkte aus den SkinVision-Studien ist begrenzt, jedoch lassen sich grobe Trends ablesen. Der Durchschnittswert für die histologisch kontrollierte Sensitivität der App ist im Vergleich zum klinisch kontrollierten Wert erheblich besser, die Spezifität folgt diesem Trend nicht. Außerdem befinden sich die Werte für die histologische Sensitivität alle in einem Bereich von 22 Prozentpunkten, während die restlichen Messwerte einen Bereich von 44 bis 50 Prozentpunkten haben und deutlich mehr schwanken.

Bereits zuvor genannte Faktoren können hierfür mögliche Ursachen sein. Das Training der Algorithmen findet häufig anhand von Daten statt, die von Hochrisikoläsionen geprägt sind. Fehlinterpretationen von gutartigen Läsionen können daher die Anzahl an falsch positiv bewerteten Läsionen erhöhen und somit die Spezifität verringern.

Eine mögliche Ursache dafür, dass die durchschnittliche histologische Sensitivität in den Studien besser und in ihrer Schwankung stabiler als die klinisch gemessene Sensitivität ist, könnte sein, dass die klinische Diagnosestellung zu einem Anteil auf subjektive Faktoren, wie Erfahrung, zurückzuführen ist. Durch den Vergleich mit einem subjektiv beeinflussten Vergleichspunkt ist eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse aus App und klinischer Betrachtung schwer zu erreichen. Würde man einen zweiten Dermatologen mit den Ergebnissen des Ersten vergleichen, würde die Übereinstimmung auch nicht ohne Fehler sein. Die Daten aus der Studie von Piccolo *et al.* (2014) unterstützen diesen Gedankengang. Die Studie untersuchte unter anderem verblindet die klinischen Diagnosen dreier Dermatologen, die dermatoskopisch 165 histologisch geprüfte pigmentierte Hautläsionen (20% Melanome) bewerteten. Die drei Untersucher erreichten eine Sensitivität von 100%,

82% und 91% bei einer Spezifität von 69%, 77% und 48%. Es ist daher denkbar, dass die Genauigkeitswerte, die gegenüber klinischen Diagnosen bestimmt wurden, instabiler und niedriger als die histologisch kontrollierten sind, da bei ihnen die eingeschränkte Interrater-Reliabilität in die Ergebnisse eingeht.

Außerdem muss bedacht werden, dass durch die Entwickler der App ein Grenzwert festgelegt wird, ab welchem Risikograd eine Läsion als maligne bewertet wird. Wird diese Grenze verändert, werden Sensitivität und Spezifität antiproportional zueinander beeinflusst. Verbessert sich der eine Wert, verschlechtert sich der andere. Je nach Version der Anwendung kann dieser Grenzwert anders gewählt sein. Daher können erhobene Werte mit unterschiedlichen Algorithmus-Versionen nicht immer verglichen werden. Eine solche Verschiebung des Grenzwertes nehmen Ngoo *et al.* (2018) faktisch vor, da ihre Studie als einzige angibt, eine mittlere Risikobewertung der App als positives Testergebnis zu werten. Die Spezifität zeigt sich erwartungsgemäß mit deutlichem Abstand als schlechteste unter den Studien, die Sensitivität ist jedoch nicht überdurchschnittlich.

Ein entscheidender Faktor ist außerdem, dass sich Apps wie SkinVision im Gegensatz zu Ärzten vorbehalten, einen gewissen Anteil an Läsionen nicht bewerten zu können. Beispielsweise konnten in der Arbeit von Chung *et al.* (2019) 45 Prozent der Bilddaten nicht ausgewertet werden. Dennoch machen manche Veröffentlichungen zu so einer relevanten Information keine Angaben.

Des Weiteren deckt diese Arbeit lediglich KI-Algorithmen dermatologischer App-Anwendungen ab. Algorithmen, welchen mehr Rechenleistung zur Verfügung steht als die eines gängigen Smartphones, können bereits heute bessere Werte für Sensitivität und Spezifität erreichen.

Appspezifische Problematiken

App-Anwendungen sind ein relativ neues Format in der Medizin und der wissenschaftlichen Forschung. Sie finden vielseitig Anwendung in Lehre, Prävention, Diagnose, Therapie und Nachsorge. Häufig werden mehrere Funktionen vereint. Die Untersuchung des patientenorientierten Nutzens dieser Anwendungen bringt einige Hürden und Eigenschaften mit sich, die neuartig sind und bisher nicht adressiert werden mussten.

Beispielsweise kann nicht ausgeschlossen werden, dass durch die technische Integration einer Software in die Architektur unterschiedlicher Betriebssysteme (Android und iOS) weitere Fehlerquellen in der Vergleichbarkeit der resultierenden Ergebnisse entstehen. Auch wenn Entwickler vermutlich wichtige Elemente wie den Bildanalyse-Algorithmus

möglichst ähnlich in die Apps beider Plattformen einbauen, können hier Unterschiede entstehen.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Medizinprodukten, die oft unverändert mit der gleichen Software arbeiten und durch ein neues Modell mit neuer Software abgelöst werden, wird sie bei Apps oft im Abstand weniger Wochen aktualisiert. Die App-Software bleibt oft nicht länger als einige Wochen die gleiche. Updates der App werden automatisch oder auf Knopfdruck installiert. Der Umfang der Änderungen kann minimal oder grundlegend sein, ohne dass man es der App-Oberfläche ansieht. Wird ein solches Produkt untersucht, ist es wünschenswert, dass die Versionsnummer dokumentiert wird. Beispielsweise ist diese Information nur in einer der sieben Skin-Vision Veröffentlichungen zu finden (Jahn *et al.*, 2022).

Welche Version der App untersucht wird, ist einer der wichtigsten Faktoren für die Untersuchung der Genauigkeit einer App. Im Beispiel SkinVision beeinflusst auch maßgeblich die Version des Algorithmus zur Bildanalyse und Risikobewertung die Ergebnisse. Einige Studien greifen diese Faktoren auf. Zum Beispiel liegen den Werten zu Spezifität und Sensibilität aus den Veröffentlichungen von Maier *et al.*, 2015 und Thissen *et al.*, 2017 dieselben 144 Datensätze zugrunde. Zweitgenannter Autor beschreibt in seiner Arbeit, dass der Algorithmus mit neuen Daten kalibriert und daher erneut getestet wurde. Keines der Autorenteam gibt jedoch die Versionsnummer der App an.

Ist die Versionsnummer der App bekannt, ist oft trotzdem nicht nachzuvollziehen, welche und wie viele relevante Änderungen zwischen den Erhebungen der Daten zweier Studien vorgenommen wurden. Wäre jedoch die Version des zugrundeliegenden Algorithmus unverändert, könnte man die Daten als vergleichbar ansehen.

Wird die App in seiner iOS-Version untersucht, wird eines der Smartphones der Marke Apple Inc. genutzt, die Android-Version der App kann auf vielen Smartphones etlicher Hersteller genutzt werden. Die Hardware, die die Rechenleistung und weitere Faktoren bestimmt, ist oft je nach Modell (auch bei gleichem Hersteller) sehr unterschiedlich. Während Maier *et al.*, 2015 das iPhone 4S (Veröffentlicht in 2011) nutzte, wurde bei Sangers *et al.*, 2022 ein iPhone Xr (Veröffentlicht in 2018) verwendet. Zwischen den zwei Modellen liegen fünf Generationen der Smartphone-Entwicklung bei einem der führenden Hersteller auf dem Weltmarkt mit erheblichen Fortschritten in der Datenverarbeitung. Außerdem weisen die unterschiedlichen Handymodelle unterschiedlich starke Kameras auf. Das iPhone 4S hat eine Kamera, die acht Millionen Pixel aufnehmen kann, das iPhone XR

kann mit zwölf Millionen Pixeln 50% mehr Bildinformationen registrieren. Bei den SkinVision-Arbeiten wurde die Pixeldichte der genutzten Kameras, sowie die Modellbezeichnung der genutzten Smartphones nur in vier der sieben Arbeiten genannt.

Apps, Smartphones, Kameras und Arbeitsspeicher sind nur einige Faktoren, die einem konstanten Wandel unterliegen. Innerhalb weniger Jahre ändern sich viele Umstände, beispielsweise auch die Version des Betriebssystems. Man kann davon ausgehen, dass in den sieben Jahren zwischen der ersten und letzten Veröffentlichung zu SkinVision eine Großzahl an Neuerungen liegen. Geht man davon aus, dass die Anwendung optimiert wurde, muss dennoch beachtet werden, dass alte Ergebnisse nicht mehr mit der neuen Version der Anwendung verglichen werden können.

Weisen Apps unterschiedlicher Hersteller dieselbe oder eine ähnliche Funktion auf, können sie grundsätzlich miteinander verglichen werden. Je nach Komplexität der Funktion ist ein Vergleich erschwert. Zum Beispiel weisen verschiedene Medikamentenwecker nur wenige Unterschiede auf. Komplexere Anwendungen, die beispielsweise auf KI-gestützte Algorithmen zurückgreifen, können unter anderem durch das Training an abweichendem Bildmaterial und ihren Blackbox-Charakter, erheblich voneinander abweichen. Vergleicht man mehrere dieser Anwendungen, können nur allgemeine Schlüsse gezogen werden.

Ferner ist bei App-Veröffentlichungen relevant, dass App-Store-Plattformen in verschiedenen Ländern unterschiedliche Apps zur Verfügung stellen. Diese Beschränkung umgingen van Galen *et al.* (2019), indem sie eine App-Suchmaschine nutzten, die Apps aus 55 Ländern im Google Play und dem Apple App-Store sammelten. Zusätzlich wurde in China in zehn verschiedenen App Stores, die laut Autoren 95% der Nutzer abdecken, gesucht. Im Gegensatz dazu nutzten manche Autoren, wie zum Beispiel Masud *et al.* (2018), nur im Apple App-Store, der Plattform mit den zweitmeisten Anwendungen. Limitierend ist außerdem, dass viele Analysen zahlungspflichtige Apps kategorisch aus der Betrachtung ausgeschlossen haben. Dies kann gegebenenfalls gerade solche Apps, die umfangreiche, professionell erarbeitete Inhalte aufweisen, ausschließen. Um Verzerrungen durch den Zugriff auf App Stores aus verschiedenen Ländern zu vermeiden, könnte ein zuverlässiges Tool eines Drittanbieters, der alle verfügbaren Apps für Analysen zugänglich macht, als wissenschaftlicher Standard etabliert werden.

6. Limitationen der Arbeit

Im Zuge dieser Arbeit wurden alle englischen und deutschen Veröffentlichungen betrachtet, die bis zum 17.11.2022 auf der Online-Plattform pubmed.gov gefunden wurden. Obwohl PubMed die größte freizugängliche biomedizinische Datenbank ist, kann es sein, dass vereinzelte relevante Veröffentlichungen nicht beachtet wurden. Eine Ausweitung der Suche wäre in einer Folgearbeit denkbar.

Der in der Arbeit genutzte Suchalgorithmus ist an PubMed angepasst und themenspezifisch für Apps in der Dermatologie konzipiert worden. Um alle relevanten Arbeiten zu erfassen, wurden bei der Erarbeitung des Algorithmus sämtliche Kombinationen getestet. Um Studien nicht fälschlich auszusortieren, wurde zusätzlich die Benutzung von ausschließenden Termini vermieden. Dennoch kann es vorgekommen sein, dass einzelne Studien irrtümlich nicht gefunden wurden.

Der Suchstring zielte darauf ab, Studien zu nativen Apps (Erklärung s. Kapitel 4.2.4) zu finden, jedoch wurden auch Arbeiten zu webbasierten Apps inkludiert. Letztere waren nicht im Fokus der Erhebung und sind daher nicht vollumfänglich abgedeckt.

Aufgrund der Vielfalt der untersuchten Studien, unter anderem in Bezug auf analysierte Diagnose und App, Studiendesign, Outcome-Parameter sowie Funktion der App, können die Outcomes der untersuchten Studien nur schwer miteinander verglichen werden. Die Vielfalt zwischen den Studien ist grundsätzlich durch die Struktur eines Scoping Reviews begünstigt, außerdem ist das betrachtete Gebiet „Apps in der Dermatologie“ ein breit gefächertes und kaum eingeschränkt. Sollten genug Studien zu einer enger gefassten Fragestellung im Themengebiet vorliegen, um qualifizierte Schlüsse aus den Ergebnissen zu ziehen, ist die Durchführung systematischer Reviews zur Untersuchung der Evidenz empfehlenswert. Aktuell sind solche enger gefassten Analysen erschwert, da dabei aufgrund des zwangsläufig zugrundeliegenden geringeren Datenmaterials grundsätzlich die Belastbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt ist.

In Studien mit App-Fokus ist zu beachten, dass Verzerrungen der Ergebnisse durch Interessenkonflikte der Forscher auftreten können, die nicht selten gleichzeitig auch Entwickler der untersuchten Apps sind.

7. Fazit und Ausblick

Apps sind mittlerweile längst in verschiedenste Bereiche der Gesundheitsversorgung integriert und finden eine immer größere Verbreitung. Gesundheitsförderung, Lehre, Dokumentation, Anamneseerhebung und Medikationserinnerung sind nur einige simple Beispiele. Komplexere Funktionen, wie die Unterstützung bei Diagnostik und Therapie oder die synchrone sowie asynchrone Telekommunikation zur Triage und Nachbehandlung, sind ebenfalls Bereiche, in denen Apps einen Mehrwert erbringen können. Viele Anwendungen haben bisher keinen Eingang in die regelhafte Kostenerstattung der staatlichen und privaten Krankenversicherungen gefunden, werden aber zunehmend im Rahmen von Modellversuchen, Zusatzangeboten oder Studien angewandt.

Das Feld der verfügbaren Veröffentlichungen zu Apps ist breit gestreut. Die Vielzahl der zugrunde liegenden Studiendesigns, der untersuchten Outcome-Parameter, der betrachteten Krankheitsbilder und der gewählten Referenzstandards erschwert eine Vergleichbarkeit der Studien. Die Beurteilung der Dignität von Hautläsionen ist einer der wenigen Fokuspunkte der bisherigen Evidenz. Liegen mehrere Anwendungen mit ähnlichem Themenschwerpunkt vor, ist die Vergleichbarkeit dennoch durch einige appspezifische Faktoren eingeschränkt. Ergebnisse von Studien von vor wenigen Jahren lassen sich zum Teil bereits nicht mehr mit der aktuellen Version einer App, die für modernere Smartphones mit besserer Hardware und Software weiterentwickelt wurde, vergleichen. Viele der untersuchten Studien führten die Entwickler der Apps selbst durch oder finanzierten diese. Solche erheblichen Interessenkonflikte verringern die Belastbarkeit der Ergebnisse.

Mehr Untersuchungen, die sich durch unabhängige Forschungsgelder finanzieren, sind wünschenswert. Zunächst aber bedarf es eines neuen wissenschaftlichen Konsenses, welche Qualitätskriterien für die Beurteilung von medizinischen Apps sinnvoll erscheinen, um belastbare Aussagen zu Nutzen und Nebenwirkungen zu treffen. Apps werden häufig kostengünstig entwickelt, teure Studien sind oft nicht finanzierbar. Fehlerbehebung und andere Anpassungen können innerhalb von Tagen geschehen und verändern das Produkt teilweise grundlegend. Daher eignen sich die klassischen etablierten Verfahren für die Bewertung von Medikamenten oder Medizinprodukten häufig nicht. Placebo-Apps oder Doppelverblindung sind schwer durchzuführen. Daher muss ein Leitfaden für Forschung zu mobilen Anwendungen geschaffen werden, der den Umgang mit Problemen, die sich in bisheriger Literatur ergeben haben, diskutiert.

Studien, welche einen solchen Leitfaden beachten, können fundiert zur Datengrundlage für medizinisch wichtige Anwendungen beitragen. Besonders erstrebenswert sind dafür laut Oxford Centre for Evidence Based Medicine Studien nach Level-2-Evidenz (CEBM Levels of Evidence Working Group, 2011). Evidenz auf Level-1 kann nur durch Reviews von Level-2 Studien erbracht werden. Da bisher nur wenige Veröffentlichungen existieren, die sich im Thema, dem Design und dem Outcome ähneln, sind auch kaum Reviews durchgeführt worden, die handfeste Evidenz lieferten. Bei Anwendungen mit simplen Funktionen kann es sinnvoll sein, diese in einem Review miteinander zu vergleichen. Bei komplexen Anwendungen hingegen sind im Zweifelsfall sogar Unterschiede innerhalb verschiedener App-Versionen aus dem gleichen Jahr zu groß, um durch eine Analyse neue Erkenntnisse zur aktuell verfügbaren Anwendung herauszufinden. Auch hier sollte ein Leitfaden zur Forschung an Apps genauere Hilfestellung geben.

Darüber hinaus ist zusätzlich der Zugang zu Journalen für App-Studien anscheinend erschwert. Ein Großteil der Veröffentlichungen wurde in eHealth-spezifischen Zeitschriften publiziert. Die Organe nationaler und internationaler wissenschaftlicher Gesellschaften veröffentlichten kaum Literatur zu App-Anwendungen. Um eine intensivere Diskussion anzuregen und die technische Innovation zu fördern, sollte zum Beispiel eine gesonderte Rubrik integriert werden, denen andere Review-Mechanismen zugrundeliegen.

Insgesamt lassen sich somit bezogen auf den allgemeinen Markt für medizinische mobile Apps nur wenige dermatologische Studien identifizieren, die hohen Qualitätsansprüchen genügen. Sehr wohl aber lassen sich eine ganze Reihe von Hinweisen auf einzelne positive Versorgungseffekte finden. Beispielsweise gibt es viele positive Outcomes für Anwendungen im Bereich Prävention und Lehre sowie bei Telemedizin für Patientenachbehandlung oder Zugang zu Versorgung. Die dezentrale Datenerhebung bietet einen erheblichen Vorteil, nicht nur für App-Forschung, sondern auch jegliche andere Untersuchung, welche die App als Dokumentations-, Umfrage- oder Rekrutierungswerkzeug nutzt.

Ethische und rechtliche Fragestellungen sind nicht vollständig beantwortet. Sie beinhalten Datenschutz und -transfer, Privatsphäre, regulatorische Rahmenbedingungen, Behandlungsfehler und Haftung. Die Möglichkeiten durch Apps Hilfestellung für Patienten und Ärzte zugänglich zu machen, sind vielfältig, ausreichende Nachweise zu Genauigkeit und gesundheitlicher Unbedenklichkeit fehlen jedoch häufig noch. Wurde die methodische Qualität untersucht, waren die Ergebnisse schwach und die Gefahr für Verzerrung der Studienergebnisse teilweise hoch. Sowohl bei App-Store-Analysen als auch bei

systematischen Übersichtsarbeiten liegt ein klarer Schwerpunkt der Forschung auf dem Thema Hautkrebs. Reviews zu anderen Erkrankungen berichten jedoch auch von fehlender Evidenz sowie Bedenken ethischer und juristischer Natur. Insgesamt bedarf es in vielerlei Hinsicht noch einer kritischen umfassenden Auseinandersetzung mit dem gesamten Wandlungsprozess auf medizinisch-fachlicher, technischer, rechtlicher, ethischer sowie gesellschaftspolitischer Ebene.

Verantwortungsvoll eingesetzt, können mobile Technologien in der Medizin eine zeitgemäßere Ausgestaltung erschaffen und ressourcenschonende Versorgungsangebote unterstützen. Sie haben möglicherweise sogar das Potenzial, zur Steigerung der Leistungs- und Versorgungsqualität beizutragen, insbesondere bei der Betreuung chronisch kranker oder älterer Personen, die vermehrt medizinische Unterstützung benötigen. Besonders im Bereich Prävention und Gesundheitsförderung bieten Apps großes Potenzial, die breite Bevölkerung oder einzelne Patienten aufzuklären.

8. Abstract

Apps in der Dermatologie – Ein Scoping Review

Hintergrund: Mobile Anwendungen und Technologien in der Medizin haben das Potenzial, ressourcenschonend und zeitgemäß in allen Bereichen des Gesundheitswesens die Lebens- und Versorgungsqualität zu verbessern. In der Dermatologie wurden bereits einige Möglichkeiten genutzt, Apps zu implementieren. Eine Zusammenfassung der existierenden Forschung gibt es bislang jedoch nicht. Das Ziel des Scoping Reviews ist, eine breitgefächerte Übersicht der bislang veröffentlichten Evidenz zu Apps in der Dermatologie zu erstellen. Dieser Status quo soll Besonderheiten und Schwierigkeiten bei der Forschung zu Apps aufzeigen und Grundlage für die Ermittlung von weiteren Forschungsvorhaben sein, die auf dem bisherigen Wissen zum Thema aufbauen.

Methoden: Es erfolgte eine weltweite Literaturrecherche in der PubMed-Onlinedatenbank. Im Screening-Prozess wurden die Veröffentlichungen gefiltert und die relevanten Studien wurden in einer Excel-Matrix katalogisiert, die weitere wichtige Details beinhaltet. Dazu zählten im wesentlichen allgemeine Veröffentlichungsdaten sowie Daten zur durchgeführten Studie und der untersuchten App. Im Anschluss wurde die Matrix anhand deskriptiver Statistik ausgewertet.

Ergebnisse: Der Screening-Prozess reduzierte die 1185 initial gefundenen Arbeiten auf 110 relevante. Die Analyse der Daten zeigte, dass erste relevante Studien ab 2012 veröffentlicht wurden und die Veröffentlichungsrate ab 2017 zunahm. Die Artikel wurden vorwiegend in eHealth spezifischen Journalen veröffentlicht und weniger in denen der führenden wissenschaftlichen Gesellschaften. Die am häufigsten untersuchten Indikationen sind Hautkrebs und Hautveränderungen (26%) und Wunden (18%). Neunundfünfzig Prozent der Studien wurden mit 100 oder weniger Teilnehmern durchgeführt. Laut Oxford Centre for Evidence-Based Medicine wurde das optimale Studiendesign für Evidenz von 30% der Publikationen gewählt. Die Ergebnisse der Studien sind quantitativer, wie auch qualitativer Natur, jedoch aufgrund der vielfältigen Variablen der Veröffentlichungen untereinander nicht vergleichbar. Positive Studieneffekte konnten in 68% der Publikationen gezeigt werden. In den 110 untersuchten Arbeiten wurden 99 verschiedenen Apps untersucht, 70 konnten namentlich identifiziert werden. Neunundachtzig Apps wurden nur von einer Studie betrachtet, sieben Anwendungen von zwei Studien. Die drei Anwendungen mit mehr als zwei Studien wurden genauer betrachtet. Die untersuchten Apps waren überwiegend auf Diagnostik (n=42), Verlaufsbeobachtung (n=29) oder Prävention (n=27) ausgelegt. Die Apps dienen häufig entweder dem Patienten (n=50) oder dem Arzt (n=27) sowie der Kommunikation zwischen Arzt und weiteren Person (n=19).

Diskussion: Die Analyse der 110 inkludierten Arbeiten zeigt nur wenige belastbare Daten, gemessen an allgemein anerkannten Qualitätsstandards für die Qualität wissenschaftlicher Publikationen. Dennoch zeigen 74 Publikationen zumindest positive Effekte, die Indizien sind für eine Verbesserung der Versorgung durch den Einsatz von Apps. Um in Zukunft eine bessere Vergleichbarkeit und belastbarere Ergebnisse zu erzielen, bedarf es verstärkter Forschung zu Apps. Zudem muss eine anerkannte standardisierte Methodik für Studien geschaffen werden, die adäquat auf den sich rasch wandelnden Markt zugeschnitten ist. Die bisher für Medikamente oder Medizinprodukte etablierten Standards sind nicht oder nur teilweise auf medizinische Apps übertragbar. Um eine verstärkte Diskussion in dermatologischen Fachkreisen zu initiieren müssen führende Journale App-Artikel einbeziehen und gegebenenfalls ihre Einschlusskriterien an den digitalen Wandel anpassen.

Apps in Dermatology - A Scoping Review

Background: Medical mobile applications and technologies have the potential to improve all areas of healthcare in terms of quality of life and care in a resource-saving and modern way. Some opportunities to implement apps have already been used in dermatology. However, there is no summary of existing research to date. The aim of this scoping review is to provide a broad overview of the evidence on apps in dermatology published to date. This status quo is intended to highlight special characteristics and difficulties in research on apps and provide a foundation for further research projects that build on existing knowledge in this field.

Methods: A worldwide literature search was conducted in the PubMed online database. In the screening process, the publications were filtered and the relevant studies were catalogued in an Excel matrix containing further important details. This included general publication data as well as data on the conducted study and the analysed app. The matrix was then analysed using descriptive statistics.

Results: The screening process reduced the 1185 initially found studies to 110 relevant ones. The data analysis showed that the first relevant studies were published from 2012 and the publication rate increased as of 2017. The articles were mainly published in eHealth-specific journals and less in those of the leading scientific societies. The most frequently investigated indications were skin cancer and skin lesions (26%) and wounds (18%). Fifty-nine per cent of the studies were conducted with 100 or fewer participants. According to the Oxford Centre for Evidence-Based Medicine, the optimal study design for gaining evidence was chosen by 30% of the publications. The results of the studies are of a quantitative and qualitative nature, but are not comparable due to the many variables in the publications. Positive study effects were shown in 68% of the publications. In the 110 papers analysed, 99 different apps were examined, 70 of which could be identified by name. Eighty-nine apps were analysed by only one study, seven apps by two studies. The three apps with more than two studies were analysed in more detail. The apps analysed were predominantly designed for diagnostics (n=42), monitoring (n=29) or prevention (n=27). The apps were often used either by a patient (n=50) or a doctor (n=27) as well as for communication between doctors and other people (n=19).

Discussion: The analysis of the 110 papers included shows only little reliable data measured in accordance with generally recognised quality standards for the quality of scientific publications. Nevertheless, 74 publications at least show positive effects that are indicating an improvement in care through the use of apps. In order to achieve better comparability and more reliable results in the future, more research on apps is needed. It is also necessary to create a recognised standardised methodology for studies that is adequately tailored to the rapidly changing app market. The standards established to date for drugs or medical devices are not or only partially transferable to medical apps. In order to initiate an intensified discussion in dermatological circles, leading journals must include app articles and, if necessary, adapt their inclusion criteria to the digital transformation.

9. Abkürzungsverzeichnis

App	Application (deutsch: Applikation [für mobile Geräte])
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BVDD	Berufsverband der Deutschen Dermatologen
CE	Conformité Européenne (EU-Zertifizierung)
DDG	Deutsche Dermatologische Gesellschaft eV
DHI	Digital health intervention
DiGA	Digitale Gesundheits-Anwendung
DVG	Digitale-Versorgung-Gesetz
ebd.	ebenda (zuletzt genannte Quelle)
eHealth	electronic Health
ELISA	enzyme-linked immunosorbent assay
eTool	electronic Tool
EU	Europäische Union
JAAD	Journal of the American Academy of Dermatology
JBI	Joanna Briggs Institute
JDDG	Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft
JEADV	Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology
JMIR	Journal of medical internet research
KI	Künstliche Intelligenz
MARS	Mobile App Rating Scale
MARS-G	Mobile App Rating Scale - German (deutsche Version)
MeSH	Medical Subject Heading (PubMed geführte Veröffentlichungen werden indexiert durch einen begrenzten kontrollierten Katalog an medizinisch relevanten Schlagwörtern, den MeSH-Terms)
MD-App	Medical Device App
MDR	Medical Device Regulation (EU Richtlinie)
mHealth	mobile Health
OCEBM	Oxford Center for Evidence Based Medicine
ORCHA-24	The Organisation for the Review of Care and Health Applications - 24 Question Assessment
PCC	Participants/Concept/Context

RCT	Randomized controlled trial (randomisierte, kontrollierte Studie)
SaF	Store-and-Forward
SWOT	Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Risiken)
uMARS-G	user version of the MARS-G
WHO	World Health Organisation

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PCC mnemonic	18
Abbildung 2: Suchstring vereinfacht dargestellt	18
Abbildung 3: Flow-Chart Suchstring.....	27
Abbildung 4: Aufteilung der Studien nach Veröffentlichungsjahr.....	30
Abbildung 5: Aufteilung der Studien nach Kontinent	31
Abbildung 6: Aufteilung der Studien nach Land der Datenerhebung	31
Abbildung 7: Verteilung der Studien nach Teilnehmerzahl.....	35
Abbildung 8: Veröffentlichungen nach Anzahl der Teilnehmer, detailliert	35
Abbildung 9: OCEBM Level 2-Studien mit über 100 Teilnehmern und positivem Studieneffekt (Flow Chart).....	36
Abbildung 10: Aufteilung der Studien nach Studieneffekt.....	39
Abbildung 11: Daten zu SkinVision-Studien.....	47

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgeschlossene Publikationen durch Title/Abstract- und Volltext-Screening	29
Tabelle 2: Studien mit mehreren Dateneinträgen	30
Tabelle 3: Internationale Studien.....	32
Tabelle 4: Aufteilung der Studien nach Studiendesign.....	33
Tabelle 5: Veröffentlichungen mit Studiendesign nach OCEBM Level 2	34
Tabelle 6: OCEBM Level 2-Studien mit über 100 Teilnehmern und positivem Studieneffekt im Detail.....	37
Tabelle 7: Aufteilung der Studien nach Art des Vergleichs.....	38
Tabelle 8: Aufteilung der Studien mit nur einer Indikation nach ebendieser	38
Tabelle 9: Analyse der untersuchten Apps.....	40
Tabelle 10: Aufteilung der Studien nach der Zielstruktur der App	41
Tabelle 11: Aufteilung der Studien nach erwartetem Zusatznutzen.....	41
Tabelle 12: Aufteilung der Studien nach Zielgruppe der App	42
Tabelle 13: Aufteilung der Apps nach WHO-Klassifizierung	44
Tabelle 14: SkinVision-Veröffentlichungen mit Autoren die mehrfach beteiligt sind	46
Tabelle 15: Veröffentlichungsorgane.....	99
Tabelle 16: Studien nach Land der Datenerhebung.....	101
Tabelle 17: Namen der Apps aus den untersuchten Studien	102

12. Literaturverzeichnis

Zitierte Literatur

- Agar, J. (2013) *Constant touch: A global history of the mobile phone*. *Icon Books: Duxford*.
- Albrecht, U.-V. (2018) Gesundheits-Apps: Fachübergreifende Qualitätskriterien sind unabdingbar. *Deutsches Ärzteblatt*, 19 Januar. Available from: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/195806/Gesundheits-Apps-Fachuebergreifende-Qualitaetskriterien-sind-unabdingbar> [Accessed 22 Dezember 2023].
- Albrecht, U.-V., Amelung, V.E., Aumann, I., Breil, B. & Rutz, M. (2016) *Chances and Risks of Mobile Health Apps (CHARISMHA) (abridged version)*.
- Albrecht, U.-V. & Jan, U. von (2017) Safe, sound and desirable: development of mHealth apps under the stress of rapid life cycles. *MHealth*, 3, 27. Available from: <https://doi.org/10.21037/mhealth.2017.06.05>.
- Anzengruber, F., Alotaibi, F., Kaufmann, L.S., Ghosh, A., Oswald, M.R. & Maul, J.-T. et al. (2019) Thermography: High sensitivity and specificity diagnosing contact dermatitis in patch testing. *Allergology International : Official Journal of the Japanese Society of Allergology*, 68(2), 254–258. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.alit.2018.12.001>.
- Apple Inc. (2007) *Apple Reinvents the Phone with iPhone*, personal communication. 9 Januar. Available from: <https://www.apple.com/newsroom/2007/01/09Apple-Reinvents-the-Phone-with-iPhone/> [Accessed 1 Dezember 2023].
- Aromataris E, M.Z. (Ed.) (2020) *JBIM Manual for Evidence Synthesis, JBIM, 2020*.
- Augustin, M., Strömer, K. & et al. (2020) S2k-Leitlinie Tele Dermatologie. Available from: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/013-097.html>.
- Azad-Khaneghah, P., Neubauer, N., Miguel Cruz, A. & Liu, L. (2020) Mobile health app usability and quality rating scales: a systematic review. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, 16(7), 712–721. Available from: <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1701103>.
- BÄK & KBV (2020) *Gesundheits-Apps im klinischen Alltag: Handreichung für Ärztinnen und Ärzte*.
- BfArM (o. J.a) *DiGA-Verzeichnis*. Available from: <https://diga.bfarm.de/de/verzeichnis?type=%5B%5D> [Accessed 6 Januar 2024].
- BfArM (o. J.b) *Wissenswertes zu DiGA*. Available from: https://www.bfarm.de/DE/Medizinprodukte/Aufgaben/DiGA-und-DiPA/DiGA/Wissenswertes/_node.html [Accessed 21 Dezember 2023].
- Bork, U., Weitz, J. & Penter, V. (2018) Apps und Mobile Health: Viele Potenziale noch nicht ausgeschöpft. *Deutsches Ärzteblatt*, 19 Januar. Available from: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/195817/Apps-und-Mobile-Health-Viele-Potenziale-noch-nicht-ausgeschoepft> [Accessed 22 Dezember 2023].
- bpb (2019) *Das Smartphone: Was kann man damit alles machen?* Available from: <https://www.bpb.de/themen/politisches-system/politik-einfach-fuer-alle/297836/das-smartphone-was-kann-man-damit-alles-machen/> [Accessed 20 Dezember 2023].
- Brewer, A.C., Endly, D.C., Henley, J., Amir, M., Sampson, B.P. & Moreau, J.F. et al. (2013) Mobile applications in dermatology. *JAMA Dermatology*, 149(11), 1300–1304. Available from: <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2013.5517>.
- Brinker, T.J., Brieske, C.M., Schaefer, C.M., Buslaff, F., Gatzka, M. & Petri, M.P. et al. (2017) Photoaging Mobile Apps in School-Based Melanoma Prevention: Pilot Study. *Journal of Medical Internet Research*, 19(9), e319. Available from: <https://doi.org/10.2196/jmir.8661>.
- Brinker, T.J., Faria, B.L., Faria, O.M. de, Klode, J., Schadendorf, D. & Utikal, J.S. et al. (2020) Effect of a Face-Aging Mobile App-Based Intervention on Skin Cancer Protection Behavior in Secondary Schools in Brazil: A Cluster-Randomized Clinical Trial. *JAMA*

- Dermatology*, 156(7), 737–745. Available from: <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2020.0511>.
- Brinker, T.J., Heckl, M., Gatzka, M., Heppt, M.V., Resende Rodrigues, H. & Schneider, S. et al. (2018) A Skin Cancer Prevention Facial-Aging Mobile App for Secondary Schools in Brazil: Appearance-Focused Interventional Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 6(3), e60. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.9794>.
- Brinker, T.J., Schadendorf, D., Klode, J., Cosgarea, I., Rösch, A. & Jansen, P. et al. (2017) Photoaging Mobile Apps as a Novel Opportunity for Melanoma Prevention: Pilot Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 5(7), e101. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.8231>.
- CEBM Levels of Evidence Working Group (2011) *The Oxford Levels of Evidence 2*. Available from: <https://www.cebm.ox.ac.uk/resources/levels-of-evidence/ocebmllevels-of-evidence> [Accessed 10 Mai 2023].
- Chung, Y., van der Sande, A.A.J., Roos, K.P. de, Bekkenk, M.W., Haas, E.R.M. de & Kelleners-Smeets, N.W.J. et al. (2019) Poor agreement between the automated risk assessment of a smartphone application for skin cancer detection and the rating by dermatologists. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*. Available from: <https://doi.org/10.1111/jdv.15873>.
- Elsner, P., Bauer, A., Diepgen, T.L., Drexler, H., Fartasch, M. & John, S.M. et al. (2018) Position paper: Telemedicine in occupational dermatology - current status and perspectives. *Journal Der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft = Journal of the German Society of Dermatology : JDDG*, 16(8), 969–974. Available from: <https://doi.org/10.1111/ddg.13605>.
- Flaten, H.K., St Claire, C., Schlager, E., Dunnick, C.A. & Dellavalle, R.P. (2018) Growth of mobile applications in dermatology - 2017 update. *Dermatology Online Journal*, 24(2).
- Freeman, K., Dinnes, J., Chuchu, N., Takwoingi, Y., Bayliss, S.E. & Matin, R.N. et al. (2020) Algorithm based smartphone apps to assess risk of skin cancer in adults: systematic review of diagnostic accuracy studies. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, m127. Available from: <https://doi.org/10.1136/bmj.m127>.
- Ganon, S., Guédon, A., Cassier, S. & Atlan, M. (2020) Contribution of thermal imaging in determining the depth of pediatric acute burns. *Burns : Journal of the International Society for Burn Injuries*, 46(5), 1091–1099. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.11.019>.
- Garrett Mehl, Tigest Tamrat, Alain B. Labrique, Maeghan Orton, Elaine Baker & Sean Blaschke et al. (2018) *Classification of Digital Health Interventions v 1.0*. Available from: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14531.30243>.
- Hamilton, A.D. & Brady, R.R.W. (2012) Medical professional involvement in smartphone 'apps' in dermatology. *The British Journal of Dermatology*, 167(1), 220–221. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2012.10844.x>.
- Haute Autorité de Santé (2021) *Assessment of apps in the mobile health (mHealth) sector: Overview and quality criteria of medical content for referencing digital services in the digital health space and the professional service package*.
- Havelin, A. & Hampton, P. (2022) Telemedicine and e-Health in the Management of Psoriasis: Improving Patient Outcomes - A Narrative Review. *Psoriasis (Auckland, N.Z.)*, 12, 15–24. Available from: <https://doi.org/10.2147/PTT.S323471>.
- HealthOn (2022) *Statistiken Gesundheits-Apps: Health-App Dashboard*. Available from: <https://healthon.de/healthapp-dashboard> [Accessed 18 Februar 2024].
- HealthOn (o. J.) *CE-gekennzeichnete Medizin-App - was ist das?* Available from: <https://healthon.de/diga-aufklaerung/medizin-app-ce> [Accessed 9 Februar 2024].
- Howick, J., Chalmers, I., Glasziou, P., Greenhalgh, T., Heneghan, C. & Liberati, A. et al. (2011) *Explanation of the 2011 Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (OCEBM)*

- Levels of Evidence (Background Document)*. Available from: <https://www.cebm.ox.ac.uk/resources/levels-of-evidence/ocebml-levels-of-evidence>.
- Jahn, A.S., Navarini, A.A., Cerminara, S.E., Kostner, L., Huber, S.M. & Kunz, M. et al. (2022) Over-Detection of Melanoma-Suspect Lesions by a CE-Certified Smartphone App: Performance in Comparison to Dermatologists, 2D and 3D Convolutional Neural Networks in a Prospective Data Set of 1204 Pigmented Skin Lesions Involving Patients' Perception. *Cancers*, 14(15). Available from: <https://doi.org/10.3390/cancers14153829>.
- Jaspers, M.E.H., Carrière, M.E., Meij-de Vries, A., Klaessens, J.H.G.M. & van Zuijlen, P.P.M. (2017) The FLIR ONE thermal imager for the assessment of burn wounds: Reliability and validity study. *Burns : Journal of the International Society for Burn Injuries*, 43(7), 1516–1523. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.burns.2017.04.006>.
- Jobson, D., Mar, V. & Freckelton, I. (2021) Legal and ethical considerations of artificial intelligence in skin cancer diagnosis. *The Australasian Journal of Dermatology*. Available from: <https://doi.org/10.1111/ajd.13690>.
- Kaliyadan, F. & Ramsey, M.L. (2022) Teledermatology. *StatPearls [Internet]*. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29083682/>.
- Kassianos, A.P., Emery, J.D., Murchie, P. & Walter, F.M. (2015) Smartphone applications for melanoma detection by community, patient and generalist clinician users: A review. *The British Journal of Dermatology*, 172(6), 1507–1518. Available from: <https://doi.org/10.1111/bjd.13665>.
- Koeppe, J., Baron, M.V., Hernandez Martins, P.R., Brandenburg, C., Kira, A.T.F. & Trindade, V.D. et al. (2020) The Quality of Mobile Apps Used for the Identification of Pressure Ulcers in Adults: Systematic Survey and Review of Apps in App Stores. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(6), e14266. Available from: <https://doi.org/10.2196/14266>.
- Kong, F.W., Horsham, C., Ngoo, A., Soyer, H.P. & Janda, M. (2020) Review of smartphone mobile applications for skin cancer detection: what are the changes in availability, functionality, and costs to users over time? *International Journal of Dermatology*. Available from: <https://doi.org/10.1111/ijd.15132>.
- Kramer, U. (2017) Wie gut sind Gesundheits-Apps? *Aktuelle Ernährungsmedizin*, 42(03), 193–205. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0043-109130>.
- Krennerich, M. (2021) Gesundheit als Menschenrecht. *Bundeszentrale für politische Bildung*, 7 Dezember. Available from: <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/weltgesundheit-2020/318302/gesundheit-als-menschenrecht/> [Accessed 21 Dezember 2023].
- Lamel, S.A., Haldeman, K.M., Ely, H., Kovarik, C.L., Pak, H. & Armstrong, A.W. (2012) Application of mobile teledermatology for skin cancer screening. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 67(4), 576–581. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2011.11.957>.
- Leigh, S., Ouyang, J. & Mimmagh, C. (2017) Effective? Engaging? Secure? Applying the ORCHA-24 framework to evaluate apps for chronic insomnia disorder. *Evidence-Based Mental Health*, 20(4), e20. Available from: <https://doi.org/10.1136/eb-2017-102751>.
- Lull, C., Ahnen, J.A. von, Gross, G., Olsavszky, V., Knitza, J. & Leipe, J. et al. (2022) German Mobile Apps for Patients With Psoriasis: Systematic Search and Evaluation. *JMIR MHealth and UHealth*, 10(5), e34017. Available from: <https://doi.org/10.2196/34017>.
- Maier, T., Kulichova, D., Schotten, K., Astrid, R., Ruzicka, T. & Berking, C. et al. (2015) Accuracy of a smartphone application using fractal image analysis of pigmented moles compared to clinical diagnosis and histological result. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*, 29(4), 663–667. Available from: <https://doi.org/10.1111/jdv.12648>.
- Mars, M., Morris, C. & Scott, R.E. (2018) Selfie Telemedicine - What Are the Legal and Regulatory Issues? *Studies in Health Technology and Informatics*, 254, 53–62.

- Massone, C., Brunasso, A.M.G., Campbell, T.M. & Soyer, H.P. (2009) Mobile teledermoscopy--melanoma diagnosis by one click? *Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery*, 28(3), 203–205. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sder.2009.06.002>.
- Masud, A., Shafi, S. & Rao, B.K. (2018) Mobile medical apps for patient education: A graded review of available dermatology apps. *Cutis*, 101(2), 141–144.
- MDR 2023 (EUR-Lex - Access to European Union law). Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02017R0745-20230320> [Accessed 18 Februar 2024].
- Messner, E.-M., Terhorst, Y., Barke, A., Baumeister, H., Stoyanov, S. & Hides, L. et al. (2020) The German Version of the Mobile App Rating Scale (MARS-G): Development and Validation Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(3), e14479. Available from: <https://doi.org/10.2196/14479>.
- Millenson, M.L., Baldwin, J.L., Zipperer, L. & Singh, H. (2018) Beyond Dr. Google: The evidence on consumer-facing digital tools for diagnosis. *Diagnosis (Berlin, Germany)*, 5(3), 95–105. Available from: <https://doi.org/10.1515/dx-2018-0009>.
- Morris, C., Scott, R.E. & Mars, M. (2018) Instant Messaging in Dermatology: A Literature Review. *Studies in Health Technology and Informatics*, 254, 70–76.
- Ngoo, A., Finnane, A., McMeniman, E., Soyer, H.P. & Janda, M. (2018) Fighting Melanoma with Smartphones: A Snapshot of Where We are a Decade after App Stores Opened Their Doors. *International Journal of Medical Informatics*, 118, 99–112. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2018.08.004>.
- Ngoo, A., Finnane, A., McMeniman, E., Tan, J.-M., Janda, M. & Soyer, H.P. (2018) Efficacy of smartphone applications in high-risk pigmented lesions. *The Australasian Journal of Dermatology*, 59(3), e175-e182. Available from: <https://doi.org/10.1111/ajd.12599>.
- Nouri, R., R Niakan Kalhori, S., Ghazisaeedi, M., Marchand, G. & Yasini, M. (2018) Criteria for assessing the quality of mHealth apps: a systematic review. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*, 25(8), 1089–1098. Available from: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocy050>.
- Ouellette, S. & Rao, B.K. (2022) Usefulness of Smartphones in Dermatology: A US-Based Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6). Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph19063553>.
- Ough, T. (2023) The surprising ways cellphones have changed our lives. *BBC*, 3 April. Available from: <https://www.bbc.com/future/article/20230331-the-surprising-way-cellphones-changed-our-lives> [Accessed 8 Dezember 2023].
- Patel, S., Eluri, M., Boyers, L.N., Karimkhani, C. & Dellavalle, R.P. (2014) Update on mobile applications in dermatology. *Dermatology Online Journal*, 21(2).
- Peters MDJ, Godfrey C, McInerney P, Munn Z, Tricco AC & Khalil, H. (2020) Chapter 11: Scoping Reviews (2020 version). In: Aromataris E, M.Z. (Ed.) *JBI Manual for Evidence Synthesis*, JBI, 2020.
- Piccolo, D., Crisman, G., Schoinas, S., Altamura, D. & Peris, K. (2014) Computer-automated ABCD versus dermatologists with different degrees of experience in dermoscopy. *European Journal of Dermatology : EJD*, 24(4), 477–481. Available from: <https://doi.org/10.1684/ejd.2014.2320>.
- Rat, C., Hild, S., Rault Sérandour, J., Gaultier, A., Quereux, G. & Dreno, B. et al. (2018) Use of Smartphones for Early Detection of Melanoma: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, 20(4), e135. Available from: <https://doi.org/10.2196/jmir.9392>.
- Sadare, O., Melvin, T., Harvey, H., Vollebregt, E. & Gilbert, S. (2023) Can Apple and Google continue as health app gatekeepers as well as distributors and developers? *Npj*

- Digit. Med. (Nature Partner Journals Digital Medicine)*, 6(1), 8. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00754-6>.
- Sambhi, R.-D., Kalaichandran, R. & Tan, J. (2019) Critical analysis of features and quality of applications for clinical management of acne. *Dermatology Online Journal*, 25(10).
- Sangers, T., Reeder, S., van der Vet, S., Jhingoer, S., Mooyaart, A. & Siegel, D.M. et al. (2022) Validation of a Market-Approved Artificial Intelligence Mobile Health App for Skin Cancer Screening: A Prospective Multicenter Diagnostic Accuracy Study. *Dermatology (Basel, Switzerland)*, 1–8. Available from: <https://doi.org/10.1159/000520474>.
- Schneider, G. & Toyka-Seid, C. (2023) Soziale Medien/ Soziale Netzwerke/ Social Media. *Bundeszentrale für politische Bildung*, 30 März. Available from: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/das-junge-politik-lexikon/321140/soziale-medien-soziale-netzwerke-social-media/> [Accessed 10 Dezember 2023].
- Schuster, B., Dugas, M. & Zink, A. (2020) Medical apps - possibilities for pruritus. *Der Hautarzt; Zeitschrift für Dermatologie, Venerologie, und verwandte Gebiete*, 71(7), 528–534. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00105-020-04603-5>.
- Sondermann, W., Kalle, C. von, Utikal, J.S., Schadendorf, D., Esser, S. & Durani, B. et al. (2020) External scientific evaluation of the first tele dermatology app without direct patient contact in Germany (Online Dermatologist-AppDoc). *Der Hautarzt; Zeitschrift für Dermatologie, Venerologie, und verwandte Gebiete*, 1–11. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00105-020-04660-w>.
- Sonnet, M. (2023) DiGA: Stand heute und morgen. *springermedizin.de*, 6 Mai. Available from: <https://www.springermedizin.de/ddg-tagung-2023/wissenschaft/diga-in-der-dermatologie/25322804> [Accessed 21 Dezember 2023].
- StatCounter (2023) *Desktop vs Mobile vs Tablet Market Share Europe - Global Stats*. Available from: <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/desktop-mobile-tablet/europe/#monthly-200901-202311> [Accessed 21 Dezember 2023].
- Steeb, T., Wessely, A., French, L.E., Heppt, M.V. & Berking, C. (2019) Skin Cancer Smartphone Applications for German-speaking Patients: Review and Content Analysis Using the Mobile App Rating Scale. *Acta Dermato-Venereologica*. Available from: <https://doi.org/10.2340/00015555-3240>.
- Stoyanov, S.R., Hides, L., Kavanagh, D.J., Zelenko, O., Tjondronegoro, D. & Mani, M. (2015) Mobile app rating scale: a new tool for assessing the quality of health mobile apps. *JMIR MHealth and UHealth*, 3(1), e27. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.3422>.
- Sturma, A., Ritschl, V., Dennhardt, S. & Stamm, T. (2016) Reviews. *Wissenschaftliches Arbeiten und Schreiben*, 207–221. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-662-49908-5_8.
- Thissen, M., Udrea, A., Hacking, M., Braunmuehl, T. von & Ruzicka, T. (2017) mHealth App for Risk Assessment of Pigmented and Nonpigmented Skin Lesions-A Study on Sensitivity and Specificity in Detecting Malignancy. *Telemedicine Journal and E-Health : the Official Journal of the American Telemedicine Association*, 23(12), 948–954. Available from: <https://doi.org/10.1089/tmj.2016.0259>.
- Udrea, A., Mitra, G.D., Costea, D., Noels, E.C., Wakkee, M. & Siegel, D.M. et al. (2019) Accuracy of a smartphone application for triage of skin lesions based on machine learning algorithms. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*. Available from: <https://doi.org/10.1111/jdv.15935>.
- van Galen, L.S., Xu, X., Koh, M.J.A., Thng, S. & Car, J. (2019) Eczema apps conformance with clinical guidelines: A systematic assessment of functions, tools and content. *The British Journal of Dermatology*. Available from: <https://doi.org/10.1111/bjd.18152>.
- Verbraucherzentrale Bundesverband (2023) *Gesundheits-Apps: medizinische Anwendungen auf Rezept*. Available from: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/gesundheits->

pflge/aerzte-und-kliniken/gesundheitsapps-medizinische-anwendungen-auf-rezept-41241 [Accessed 22 Dezember 2023].

World Health Organization (2018) *Classification of digital health interventions v1.0: a shared language to describe the uses of digital technology for health*. WHO/RHR/18.06. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260480>.

Wyatt, J.C., Thimbleby, H., Rastall, P., Hoogewerf, J., Wooldridge, D. & Williams, J. (2015) What makes a good clinical app? Introducing the RCP Health Informatics Unit checklist. *Clinical Medicine (London, England)*, 15(6), 519–521. Available from: <https://doi.org/10.7861/clinmedicine.15-6-519>.

Alle relevanten Publikationen der systematischen Literaturrecherche

1. Aarts, P., van Huijstee, J.C., Ragamin, A., Reeves, J.L., van Montfrans, C. & van der Zee, Hessel H et al. (2022) Validity and Reliability of Two Digital Wound Measurement Tools after Surgery in Patients with Hidradenitis Suppurativa. *Dermatology (Basel, Switzerland)*, 1–10. Available from: <https://doi.org/10.1159/000525844>.
2. Allan, J.L., Johnston, D.W., Johnston, M. & Murchie, P. (2022) Describing, predicting and explaining adherence to total skin self-examination (TSSE) in people with melanoma: a 12-month longitudinal study. *BMJ Open*, 12(8), e056755. Available from: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-056755>.
3. Amann, J., Fiordelli, M., Brach, M., Bertschy, S., Scheel-Sailer, A. & Rubinelli, S. (2020) Co-designing a Self-Management App Prototype to Support People With Spinal Cord Injury in the Prevention of Pressure Injuries: Mixed Methods Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(7), e18018. Available from: <https://doi.org/10.2196/18018>.
4. Amann, J., Fiordelli, M., Scheel-Sailer, A., Brach, M. & Rubinelli, S. (2020) Opportunities and Challenges of a Self-Management App to Support People With Spinal Cord Injury in the Prevention of Pressure Injuries: Qualitative Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(12), e22452. Available from: <https://doi.org/10.2196/22452>.
5. Anzengruber, F., Alotaibi, F., Kaufmann, L.S., Ghosh, A., Oswald, M.R. & Maul, J.-T. et al. (2019) Thermography: High sensitivity and specificity diagnosing contact dermatitis in patch testing. *Allergology International : Official Journal of the Japanese Society of Allergology*, 68(2), 254–258. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.alit.2018.12.001>.
6. Barcaui, C.B. & Lima, P.M.O. (2018) Application of Teledermoscopy in the Diagnosis of Pigmented Lesions. *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2018, 1624073. Available from: <https://doi.org/10.1155/2018/1624073>.
7. Berg, B., Cortazar, B., Tseng, D., Ozkan, H., Feng, S. & Wei, Q. et al. (2015) Cellphone-Based Hand-Held Microplate Reader for Point-of-Care Testing of Enzyme-Linked Immunosorbent Assays. *ACS Nano*, 9(8), 7857–7866. Available from: <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b03203>.
8. Berndt, R.-D., Takenga, M.C., Kuehn, S., Preik, P., Dubbermann, D. & Juenger, M. (2012) Development of a mobile teledermatology system. *Telemedicine Journal and E-Health : the Official Journal of the American Telemedicine Association*, 18(9), 668–673. Available from: <https://doi.org/10.1089/tmj.2011.0273>.
9. Börve, A., Dahlén Gyllencreutz, J., Terstappen, K., Johansson Backman, E., Aldenbratt, A. & Danielsson, M. et al. (2015) Smartphone teledermoscopy referrals: A novel process for improved triage of skin cancer patients. *Acta Dermato-Venereologica*, 95(2), 186–190. Available from: <https://doi.org/10.2340/00015555-1906>.

10. Börve, A., Terstappen, K., Sandberg, C. & Paoli, J. (2013) Mobile teledermoscopy- there's an app for that! *Dermatology Practical & Conceptual*, 3(2), 41–48. Available from: <https://doi.org/10.5826/dpc.0302a05>.
11. Brandl, L.C., Liebram, C., Schramm, W. & Pobiruchin, M. (2022) A German Smartphone-Based Self-management Tool for Psoriasis: Community-Driven Development and Evaluation of Quality-of-Life Effects. *JMIR Formative Research*, 6(7), e32593. Available from: <https://doi.org/10.2196/32593>.
12. Brinker, T.J., Brieske, C.M., Schaefer, C.M., Buslaff, F., Gatzka, M. & Petri, M.P. et al. (2017) Photoaging Mobile Apps in School-Based Melanoma Prevention: Pilot Study. *Journal of Medical Internet Research*, 19(9), e319. Available from: <https://doi.org/10.2196/jmir.8661>.
13. Brinker, T.J., Faria, B.L., Faria, O.M. de, Klode, J., Schadendorf, D. & Utikal, J.S. et al. (2020) Effect of a Face-Aging Mobile App-Based Intervention on Skin Cancer Protection Behavior in Secondary Schools in Brazil: A Cluster-Randomized Clinical Trial. *JAMA Dermatology*, 156(7), 737–745. Available from: <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2020.0511>.
14. Brinker, T.J., Heckl, M., Gatzka, M., Heppt, M.V., Resende Rodrigues, H. & Schneider, S. et al. (2018) A Skin Cancer Prevention Facial-Aging Mobile App for Secondary Schools in Brazil: Appearance-Focused Interventional Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 6(3), e60. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.9794>.
15. Brinker, T.J., Schadendorf, D., Klode, J., Cosgarea, I., Rösch, A. & Jansen, P. et al. (2017) Photoaging Mobile Apps as a Novel Opportunity for Melanoma Prevention: Pilot Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 5(7), e101. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.8231>.
16. Buller, D.B., Berwick, M., Lantz, K., Buller, M.K., Shane, J. & Kane, I. et al. (2015) Evaluation of immediate and 12-week effects of a smartphone sun-safety mobile application: A randomized clinical trial. *JAMA Dermatology*, 151(5), 505–512. Available from: <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2014.3894>.
17. Buller, D.B., Berwick, M., Lantz, K., Buller, M.K., Shane, J. & Kane, I. et al. (2015) Smartphone mobile application delivering personalized, real-time sun protection advice: A randomized clinical trial. *JAMA Dermatology*, 151(5), 497–504. Available from: <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2014.3889>.
18. Cazzolato, M.T., Ramos, J.S., Rodrigues, L.S., Scabora, L.C., Chino, D.Y.T. & Jorge, A.E.S. et al. (2021) The UTrack framework for segmenting and measuring dermatological ulcers through telemedicine. *Computers in Biology and Medicine*, 134, 104489. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104489>.
19. Chung, Y., van der Sande, A.A.J., Roos, K.P. de, Bekkenk, M.W., Haas, E.R.M. de & Kelleners-Smeets, N.W.J. et al. (2019) Poor agreement between the automated risk assessment of a smartphone application for skin cancer detection and the rating by dermatologists. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*. Available from: <https://doi.org/10.1111/jdv.15873>.
20. Cline, A., Unrue, E.L., Collins, A. & Feldman, S.R. (2019) Adherence to a novel home phototherapy system with integrated features. *Unknown*, 25(3).
21. DaCunha, M., Habashi-Daniel, A., Hanson, C., Nichols, E. & Fraga, G.R. (2020) A smartphone application to improve the precision of biopsy site identification: A proof-of-concept study. *Health Informatics Journal*, 1460458220910341. Available from: <https://doi.org/10.1177/1460458220910341>.
22. Damsin, T., Canivet, G., Jacquemin, P., Seidel, L., Gillet, P. & Giet, D. et al. (2020) Value of Teledermoscopy in Primary Healthcare Centers: Preliminary Results of the TELESPOT Project in Belgium. *Dermatology and Therapy*, 10(6), 1405–1413. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13555-020-00445-0>.

23. Del Castillo, A.M., Del Mar Castro, M., Cossio, A., García Luna, J.A., Rincón, D. & Castillo, R.M. et al. (2022) Sensitivity and Specificity of the Remote Evaluation of Therapeutic Response in Cutaneous Leishmaniasis Using Photographs from a Mobile Application. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 107(3), 662–668. Available from: <https://doi.org/10.4269/ajtmh.22-0164>.
24. Devrim, İ., Düzgöl, M., Kara, A., Çağlar, İ., Devrim, F. & Bayram, N. et al. (2019) Reliability and accuracy of smartphones for paediatric infectious disease consultations for children with rash in the paediatric emergency department. *BMC Pediatrics*, 19(1), 40. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1416-8>.
25. Do Khac, A., Jourdan, C., Fazilleau, S., Palayer, C., Laffont, I. & Dupeyron, A. et al. (2021) mHealth App for Pressure Ulcer Wound Assessment in Patients With Spinal Cord Injury: Clinical Validation Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 9(2), e26443. Available from: <https://doi.org/10.2196/26443>.
26. Domogalla, L., Beck, A., Schulze-Hagen, T., Herr, R., Benecke, J. & Schmieder, A. (2021) Impact of an eHealth Smartphone App on the Mental Health of Patients With Psoriasis: Prospective Randomized Controlled Intervention Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 9(10), e28149. Available from: <https://doi.org/10.2196/28149>.
27. Doukas, C., Stagkopoulos, P., Kiranoudis, C.T. & Maglogiannis, I. (2012) Automated skin lesion assessment using mobile technologies and cloud platforms. *Conference Proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*, 2012, 2444–2447. Available from: <https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346458>.
28. Drabent, P., Mitri, R., Le Naour, G., Hermine, O., Rossignol, J. & Molina, T.J. et al. (2021) A New Digital Method for Counting Mast Cells in Cutaneous Specific Lesions of Mastocytosis: A Series of Adult Cases of Mastocytosis With Clinical-Pathological Correlations. *The American Journal of Dermatopathology*, 43(1), 35–41. Available from: <https://doi.org/10.1097/DAD.0000000000001705>.
29. Eber, E.L., Arzberger, E., Michor, C., Hofmann-Wellenhof, R. & Salmhofer, W. (2019) Mobile Teledermatologie in der Behandlung chronischer Ulzera. *Der Hautarzt; Zeitschrift für Dermatologie, Venerologie, und verwandte Gebiete*, 70(5), 346–353. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00105-019-4397-5>.
30. Elkhalfi, S., Bhana, R., Blaga, A., Joshi, S., Svejda, M. & Kasilingam, V. et al. (2021) Development and Validation of a Mobile Clinical Decision Support Tool for the Diagnosis of Drug Allergy in Adults: The Drug Allergy App. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology. in Practice*. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2021.07.057>.
31. Estocado, N. & Dickson, L. (2022) Mobile wound management system application: a three-year retrospective study of its effect on quality of coding pressure injury at three acute care hospitals. *Wounds : a Compendium of Clinical Research and Practice*, 34(7), 185–194. Available from: <https://doi.org/10.25270/wnds/20220506.01>.
32. Fadda, M., Galimberti, E., Fiordelli, M., Romanò, L., Zanetti, A. & Schulz, P.J. (2017) Effectiveness of a smartphone app to increase parents' knowledge and empowerment in the MMR vaccination decision: A randomized controlled trial. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 13(11), 2512–2521. Available from: <https://doi.org/10.1080/21645515.2017.1360456>.
33. Fadda, M., Galimberti, E., Fiordelli, M. & Schulz, P.J. (2018) Evaluation of a Mobile Phone-Based Intervention to Increase Parents' Knowledge About the Measles-Mumps-Rubella Vaccination and Their Psychological Empowerment: Mixed-Method Approach. *JMIR MHealth and UHealth*, 6(3), e59. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.8263>.

34. Ferreira da Silva, Priscilla Elias, Junior, Gerson Dos Santos Fonseca, Ambrozio, R.B., Salles Tiburcio Costa, Monique Gomes, Machado, G.B. & Guimarães de Carvalho, Silvio Fernando et al. (2020) LeishCare(®): A Software Designed for the Management of Individuals with Leishmaniasis. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 103(2), 909–916. Available from: <https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0178>.
35. Fiks, A.G., Fleisher, L., Berrigan, L., Sykes, E., Mayne, S.L. & Gruver, R. et al. (2018) Usability, Acceptability, and Impact of a Pediatric Tele dermatology Mobile Health Application. *Telemedicine Journal and E-Health : the Official Journal of the American Telemedicine Association*, 24(3), 236–245. Available from: <https://doi.org/10.1089/tmj.2017.0075>.
36. Fransen, F., Martens, H., Nagtzaam, I. & Heeneman, S. (2018) Use of e-learning in clinical clerkships: Effects on acquisition of dermatological knowledge and learning processes. *International Journal of Medical Education*, 9, 11–17. Available from: <https://doi.org/10.5116/ijme.5a47.8ab0>.
37. Gacto-Sánchez, P., Molina-Morales, J., Rodríguez-Vela, F., Moreno-Conde, J., Sendin-Martin, M. & Parra-Calderon, C. et al. (2020) Diagnostic accuracy of a telemedicine tool for acute burns diagnosis. *Burns : Journal of the International Society for Burn Injuries*. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.burns.2020.05.020>.
38. Ganon, S., Guédon, A., Cassier, S. & Atlan, M. (2020) Contribution of thermal imaging in determining the depth of pediatric acute burns. *Burns : Journal of the International Society for Burn Injuries*, 46(5), 1091–1099. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.11.019>.
39. Garzorz-Stark, N., Beicht, S., Baghin, V., Stark, S.P., Biedermann, T. & Lauffer, F. (2021) IMPROVE 1.0: Individual Monitoring of Psoriasis Activity by Regular Online App Questionnaires and Outpatient Visits. *Frontiers in Medicine*, 8, 648233. Available from: <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.648233>.
40. Gernart, M., Tsianakas, A., Zeidler, C., Riepe, C., Osada, N. & Pihan, D. et al. (2017) ItchApp©: An App-based eDiary for Assessment of Chronic Pruritus in Clinical Trials. *Acta Dermato-Venereologica*, 97(5), 601–606. Available from: <https://doi.org/10.2340/00015555-2602>.
41. Goodwin, B.M., Olney, C.M., Ferguson, J.E., Hansen, A.H., Eddy, B. & Goldish, G. et al. (2021) Visualization of user interactions with a pressure mapping mobile application for wheelchair users at risk for pressure injuries. *Assistive Technology : the Official Journal of RESNA*. Available from: <https://doi.org/10.1080/10400435.2020.1862938>.
42. Greisman, L., Nguyen, T.M., Mann, R.E., Baganizi, M., Jacobson, M. & Paccione, G.A. et al. (2015) Feasibility and cost of a medical student proxy-based mobile tele dermatology consult service with Kisoro, Uganda, and Lake Atitlán, Guatemala. *International Journal of Dermatology*, 54(6), 685–692. Available from: <https://doi.org/10.1111/ijd.12708>.
43. Gudmundsdóttir, S.L., Ballarini, T., Ámundadóttir, M.L., Mészáros, J., Eysteinsdóttir, J.H. & Thorleifsdóttir, R.H. et al. (2022) Clinical Efficacy of a Digital Intervention for Patients with Atopic Dermatitis: a Prospective Single-Center Study. *Dermatology and Therapy*, 12(11), 2601–2611. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13555-022-00821-y>.
44. Hacker, E., Horsham, C., Vagenas, D., Jones, L., Lowe, J. & Janda, M. (2018) A Mobile Technology Intervention With Ultraviolet Radiation Dosimeters and Smartphone Apps for Skin Cancer Prevention in Young Adults: Randomized Controlled Trial. *JMIR MHealth and UHealth*, 6(11), e199. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.9854>.

45. Hacker, E., Horsham, C., Allen, M., Nathan, A., Lowe, J. & Janda, M. (2018) Capturing Ultraviolet Radiation Exposure and Physical Activity: Feasibility Study and Comparison Between Self-Reports, Mobile Apps, Dosimeters, and Accelerometers. *JMIR Research Protocols*, 7(4), e102. Available from: <https://doi.org/10.2196/resprot.9695>.
46. Hampton, P., Richardson, D., Brown, S., Goodhead, C., Montague, K. & Olivier, P. (2019) Usability testing of MySkinSelfie: A mobile phone application for skin self-monitoring. *Clinical and Experimental Dermatology*. Available from: <https://doi.org/10.1111/ced.13995>.
47. Hawkins, S.D., Barilla, S. & Feldman, S.R. (2017) Web app based patient education in psoriasis - a randomized controlled trial. *Dermatology Online Journal*, 23(4).
48. Horsham, C., Snoswell, C., Vagenas, D., Loescher, L.J., Gillespie, N. & Soyer, H.P. et al. (2020) Is Teledermoscopy Ready to Replace Face-to-Face Examinations for the Early Detection of Skin Cancer? Consumer Views, Technology Acceptance, and Satisfaction with Care. *Dermatology (Basel, Switzerland)*, 236(2), 90–96. Available from: <https://doi.org/10.1159/000506154>.
49. Hubli, M., Zemp, R., Albisser, U., Camenzind, F., Leonova, O. & Curt, A. et al. (2021) Feedback improves compliance of pressure relief activities in wheelchair users with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 59(2), 175–184. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41393-020-0522-7>.
50. Itoh, S., Kouadio, K., Didier, K.Y., Ugai, K., Yao, K.A. & Yotsu, R.R. (2022) Evaluation of the Usability of a Mobile Application on Neglected Skin Diseases in Côte d'Ivoire: A Pilot Study. *Studies in Health Technology and Informatics*, 290, 972–976. Available from: <https://doi.org/10.3233/SHTI220225>.
51. Jacob, C., Sanchez-Vazquez, A. & Ivory, C. (2020) Factors Impacting Clinicians' Adoption of a Clinical Photo Documentation App and its Implications for Clinical Workflows and Quality of Care: Qualitative Case Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(9), e20203. Available from: <https://doi.org/10.2196/20203>.
52. Jahn, A.S., Navarini, A.A., Cerminara, S.E., Kostner, L., Huber, S.M. & Kunz, M. et al. (2022) Over-Detection of Melanoma-Suspect Lesions by a CE-Certified Smartphone App: Performance in Comparison to Dermatologists, 2D and 3D Convolutional Neural Networks in a Prospective Data Set of 1204 Pigmented Skin Lesions Involving Patients' Perception. *Cancers*, 14(15). Available from: <https://doi.org/10.3390/cancers14153829>.
53. Jaspers, M.E.H., Carrière, M.E., Meij-de Vries, A., Klaessens, J.H.G.M. & van Zuijlen, P.P.M. (2017) The FLIR ONE thermal imager for the assessment of burn wounds: Reliability and validity study. *Burns : Journal of the International Society for Burn Injuries*, 43(7), 1516–1523. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.burns.2017.04.006>.
54. Jobbágy, A., Kiss, N., Meznerics, F.A., Farkas, K., Plázár, D. & Bozsányi, S. et al. (2022) Emergency Use and Efficacy of an Asynchronous Teledermatology System as a Novel Tool for Early Diagnosis of Skin Cancer during the First Wave of COVID-19 Pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5). Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph19052699>.
55. Joergensen, K.M., Vestergaard, C., Joergensen, M.S., Eiken, A., Malmstedt-Miller, M. & Schultz, A.N.Ø. et al. (2020) Memory Buttons in Combination with Mobile Application-Induced Objective and Subjective Effects in Patients with Atopic Dermatitis. *Dermatology Research and Practice*, 2020, 8915893. Available from: <https://doi.org/10.1155/2020/8915893>.
56. Lamel, S.A., Haldeman, K.M., Ely, H., Kovarik, C.L., Pak, H. & Armstrong, A.W. (2012) Application of mobile teledermatology for skin cancer screening. *Journal of*

- the American Academy of Dermatology*, 67(4), 576–581. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2011.11.957>.
57. Lau, C.H., Yu, K.H.-O., Yip, T.F., Luk, L.Y.F., Wai, A.K.C. & Sit, T.-Y. et al. (2022) An artificial intelligence-enabled smartphone app for real-time pressure injury assessment. *Frontiers in Medical Technology*, 4, 905074. Available from: <https://doi.org/10.3389/fmedt.2022.905074>.
 58. Lee, J.Y., Kim, M., Yang, H.-K., Kim, H.M., Cho, J. & Kim, Y.-M. et al. (2018) Reliability and validity of the Atopic Dermatitis Symptom Score (ADSS). *Pediatric Allergy and Immunology : Official Publication of the European Society of Pediatric Allergy and Immunology*, 29(3), 290–295. Available from: <https://doi.org/10.1111/pai.12865>.
 59. Liu, C.-H., Lin, I.-C., Lu, J.-J. & Cai, D. (2019) A Smartphone App for Improving Clinical Photography in Emergency Departments: Comparative Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 7(7), e14531. Available from: <https://doi.org/10.2196/14531>.
 60. Liu, R.-F., Wang, F.-Y., Yen, H., Sun, P.-L. & Yang, C.-H. (2018) A new mobile learning module using smartphone wallpapers in identification of medical fungi for medical students and residents. *International Journal of Dermatology*, 57(4), 458–462. Available from: <https://doi.org/10.1111/ijd.13934>.
 61. Maier, T., Kulichova, D., Schotten, K., Astrid, R., Ruzicka, T. & Berking, C. et al. (2015) Accuracy of a smartphone application using fractal image analysis of pigmented moles compared to clinical diagnosis and histological result. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*, 29(4), 663–667. Available from: <https://doi.org/10.1111/jdv.12648>.
 62. Marek, A.J., Chu, E.Y., Ming, M.E., Khan, Z.A. & Kovarik, C.L. (2018) Piloting the Use of Smartphones, Reminders, and Accountability Partners to Promote Skin Self-Examinations in Patients with Total Body Photography: A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Clinical Dermatology*, 19(5), 779–785. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40257-018-0372-7>.
 63. McKeown, E., McGraw, C., Holder, P., Shand, J. & Hirani, S.P. (2022) Acceptability and Impact of an Educational App (iCare) for Informal Carers Looking After People at Risk of Pressure Ulceration: Mixed Methods Pilot Study. *JMIR Formative Research*, 6(9), e36517. Available from: <https://doi.org/10.2196/36517>.
 64. Mikołajczyk, M., Patrzyk, S., Nieniewski, M. & Woźniacka, A. (2021) Evaluation of a smartphone application for diagnosis of skin diseases. *Postepy Dermatologii I Alergologii*, 38(5), 761–766. Available from: <https://doi.org/10.5114/ada.2020.101258>.
 65. Moreno-Ramírez, D., Herrerías-Esteban, J.M., Ojeda-Vila, T., Carrascosa, J.M., Carretero, G. & La Cueva, P. de et al. (2017) Fiabilidad de una aplicación de ayuda a la toma de decisiones terapéuticas en el paciente con psoriasis (MDi Psoriasis®): Reliability of the MDi Psoriasis Application to Aid Therapeutic Decision-Making in Psoriasis. *Actas Dermo-Sifiliograficas*, 108(7), 650–656. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ad.2017.02.009>.
 66. Nahm, W.J., Shen, J., Kirsner, R.S., Nichols, A.J., Harris, Z.C. & Phillips, A.R. et al. (2020) Treating keratinocyte carcinomas with a combination of imiquimod, 5-fluorouracil, and tretinoin using store-and-forward telemedicine in the age of coronavirus disease 2019 to promote social distancing. *JAAD Case Reports*. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jdc.2020.07.024>.
 67. Nair, H.K.R. (2018) Increasing productivity with smartphone digital imagery wound measurements and analysis. *Journal of Wound Care*, 27(Sup9a), S12-S19. Available from: <https://doi.org/10.12968/jowc.2018.27.Sup9a.S12>.
 68. Naraghi, S., Mutsvangwa, T., Goliath, R., Rangaka, M.X. & Douglas, T.S. (2018) Mobile phone-based evaluation of latent tuberculosis infection: Proof of concept for

- an integrated image capture and analysis system. *Computers in Biology and Medicine*, 98, 76–84. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.05.009>.
69. Ngoo, A., Finnane, A., McMeniman, E., Tan, J.-M., Janda, M. & Soyer, H.P. (2018) Efficacy of smartphone applications in high-risk pigmented lesions. *The Australasian Journal of Dermatology*, 59(3), e175-e182. Available from: <https://doi.org/10.1111/ajd.12599>.
 70. Noll, C., Jan, U. von, Raap, U. & Albrecht, U.-V. (2017) Mobile Augmented Reality as a Feature for Self-Oriented, Blended Learning in Medicine: Randomized Controlled Trial. *JMIR MHealth and UHealth*, 5(9), e139. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.7943>.
 71. Oladele, D., Iwelunmor, J., Gbajabiamila, T., Obiezu-Umeh, C., Okwuzu, J.O. & Nwaozuru, U. et al. (2021) The 4 Youth By Youth mHealth Photo Verification App for HIV Self-testing in Nigeria: Qualitative Analysis of User Experiences. *JMIR Formative Research*, 5(11), e25824. Available from: <https://doi.org/10.2196/25824>.
 72. Olney, C.M., Vos-Draper, T., Egginton, J., Ferguson, J., Goldish, G. & Eddy, B. et al. (2019) Development of a comprehensive mobile assessment of pressure (CMAP) system for pressure injury prevention for veterans with spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 1–10. Available from: <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1570437>.
 73. Pak, C., Jeon, J. in, Kim, H., Kim, J., Park, S. & Ahn, K.-H. et al. (2018) A smartphone-based teleconsultation system for the management of chronic pressure injuries. *Wound Repair and Regeneration : Official Publication of the Wound Healing Society [and] the European Tissue Repair Society*, 26 Suppl 1, S19-S26. Available from: <https://doi.org/10.1111/wrr.2>.
 74. Pangti, R., Mathur, J., Chouhan, V., Kumar, S., Rajput, L. & Shah, S. et al. (2020) A machine learning-based, decision support, mobile phone application for diagnosis of common dermatological diseases. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*. Available from: <https://doi.org/10.1111/jdv.16967>.
 75. Pecina, J.L., Wyatt, K.D., Comfere, N.I., Bernard, M.E. & North, F. (2017) Uses of Mobile Device Digital Photography of Dermatologic Conditions in Primary Care. *JMIR MHealth and UHealth*, 5(11), e165. Available from: <https://doi.org/10.2196/mhealth.8257>.
 76. Peracca, S.B., Fonseca, A., Hines, A., King, H.A., Grenga, A.M. & Jackson, G.L. et al. (2021) Implementation of Mobile Tele dermatology: Challenges and Opportunities. *Telemedicine Journal and E-Health : the Official Journal of the American Telemedicine Association*. Available from: <https://doi.org/10.1089/tmj.2020.0500>.
 77. Peracca, S.B., Fonseca, A.S., Lachica, O., Jackson, G.L., Morris, I.J. & King, H.A. et al. (2022) Organizational Readiness for Patient-Facing Mobile Tele dermatology to Care for Established Veteran Patients in the United States. *Telemedicine Journal and E-Health : the Official Journal of the American Telemedicine Association*. Available from: <https://doi.org/10.1089/tmj.2022.0009>.
 78. Phillips, A.L., Edwards, S., Parmesar, K., Soltan, M. & Guckian, J. (2021) Slack as a virtual undergraduate dermatology community: a pilot study. *Clinical and Experimental Dermatology*, 46(6), 1028–1037. Available from: <https://doi.org/10.1111/ced.14601>.
 79. Quinn, E.M., Corrigan, M.A., O'Mullane, J., Murphy, D., Lehane, E.A. & Leahy-Warren, P. et al. (2013) Clinical unity and community empowerment: The use of smartphone technology to empower community management of chronic venous ulcers through the support of a tertiary unit. *PloS One*, 8(11), e78786. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078786>.
 80. Rajpaul, K. & Acton, C. (2015) The use of smart technology to deliver efficient and effective pressure-damage education. *British Journal of Nursing (Mark Allen*

- Publishing*), 24 Suppl 20, S4-S12. Available from: <https://doi.org/10.12968/bjon.2015.24.Sup20.S4>.
81. Rizvi, S.M.H., Schopf, T., Sangha, A., Ulvin, K. & Gjersvik, P. (2020) Tele dermatology in Norway using a mobile phone app. *PloS One*, 15(4), e0232131. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232131>.
 82. Robinson, J.K., Friedewald, J.J., Desai, A. & Gordon, E.J. (2016) A Randomized Controlled Trial of a Mobile Medical App for Kidney Transplant Recipients: Effect on Use of Sun Protection. *Transplantation Direct*, 2(1). Available from: <https://doi.org/10.1097/TXD.0000000000000561>.
 83. Robinson, J.K., Patel, S., Heo, S.Y., Gray, E., Lim, J. & Kwon, K. et al. (2021) Real-Time UV Measurement With a Sun Protection System for Warning Young Adults About Sunburn: Prospective Cohort Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 9(5), e25895. Available from: <https://doi.org/10.2196/25895>.
 84. Rodrigues, A.M., Sniehotta, F.F., Birch-Machin, M.A., Olivier, P. & Araújo-Soares, V. (2017) Systematic and Iterative Development of a Smartphone App to Promote Sun-Protection Among Holidaymakers: Design of a Prototype and Results of Usability and Acceptability Testing. *JMIR Research Protocols*, 6(6), e112. Available from: <https://doi.org/10.2196/resprot.7172>.
 85. Rubagumya, F., Nyagabona, S.K., Longombe, A.N., Manirakiza, A., Ngowi, J. & Maniragaba, T. et al. (2020) Feasibility Study of a Smartphone Application for Detecting Skin Cancers in People With Albinism. *JCO Global Oncology*, 6, 1370–1375. Available from: <https://doi.org/10.1200/GO.20.00264>.
 86. Rubiano, L., Alexander, N.D.E., Castillo, R.M., Martínez, Á.J., García Luna, J.A. & Arango, J.D. et al. (2021) Adaptation and performance of a mobile application for early detection of cutaneous leishmaniasis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 15(2), e0008989. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008989>.
 87. Ruiz, A.J., LaRoche, E.P.M., Gunn, J.R., Hull, S.M., Hasan, T. & Chapman, M.S. et al. (2019) Smartphone fluorescence imager for quantitative dosimetry of protoporphyrin-IX-based photodynamic therapy in skin. *Journal of Biomedical Optics*, 25(6), 1–13. Available from: <https://doi.org/10.1117/1.JBO.25.6.063802>.
 88. Sáenz, J.P., Novoa, M.P., Correal, D. & Eapen, B.R. (2018) On Using a Mobile Application to Support Tele dermatology: A Case Study in an Underprivileged Area in Colombia. *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2018, 1496941. Available from: <https://doi.org/10.1155/2018/1496941>.
 89. Sanderson, R.W., Fang, Q., Curatolo, A., Taba, A., DeJong, H.M. & Wood, F.M. et al. (2021) Smartphone-based optical palpation: towards elastography of skin for telehealth applications. *Biomedical Optics Express*, 12(6), 3117–3132. Available from: <https://doi.org/10.1364/BOE.424567>.
 90. Sangers, T., Reeder, S., van der Vet, S., Jhingoer, S., Mooyart, A. & Siegel, D.M. et al. (2022) Validation of a Market-Approved Artificial Intelligence Mobile Health App for Skin Cancer Screening: A Prospective Multicenter Diagnostic Accuracy Study. *Dermatology (Basel, Switzerland)*, 1–8. Available from: <https://doi.org/10.1159/000520474>.
 91. Schnitzler, C., Rosen, J., Szepietowski, J.C., Reich, A., Yosipovitch, G. & Reszke, R. et al. (2019) Validation of 'ItchApp©' in Poland and in the USA: Multicentre validation study of an electronic diary for the assessment of pruritus. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*, 33(2), 398–404. Available from: <https://doi.org/10.1111/jdv.15300>.
 92. Shirai, T., Bulandres, P., Choi, J.-A., D'Ortenzio, D., Moon, N. & Musselman, K. et al. (2020) The use of a mobile educational tool on pressure injury education for individuals living with spinal cord injury/disease: a qualitative research study.

- Disability and Rehabilitation*, 1–10. Available from: <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1771780>.
93. Silveira, C.E.G., Carcano, C., Mauad, E.C., Faleiros, H. & Longatto-Filho, A. (2019) Cell phone usefulness to improve the skin cancer screening: Preliminary results and critical analysis of mobile app development. *Rural and Remote Health*, 19(1), 4895. Available from: <https://doi.org/10.22605/RRH4895>.
 94. Sondermann, W., Kalle, C. von, Utikal, J.S., Schadendorf, D., Esser, S. & Durani, B. et al. (2020) External scientific evaluation of the first teledermatology app without direct patient contact in Germany (Online Dermatologist-AppDoc). *Der Hautarzt; Zeitschrift für Dermatologie, Venerologie, und verwandte Gebiete*, 1–11. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00105-020-04660-w>.
 95. Svendsen, M.T., Andersen, F., Andersen, K.H., Pottgård, A., Johannessen, H. & Möller, S. et al. (2018) A smartphone application supporting patients with psoriasis improves adherence to topical treatment: A randomized controlled trial. *The British Journal of Dermatology*, 179(5), 1062–1071. Available from: <https://doi.org/10.1111/bjd.16667>.
 96. Thissen, M., Udrea, A., Hacking, M., Braunmuehl, T. von & Ruzicka, T. (2017) mHealth App for Risk Assessment of Pigmented and Nonpigmented Skin Lesions-A Study on Sensitivity and Specificity in Detecting Malignancy. *Telemedicine Journal and E-Health : the Official Journal of the American Telemedicine Association*, 23(12), 948–954. Available from: <https://doi.org/10.1089/tmj.2016.0259>.
 97. Trinh, P., Yekrang, K., Phung, M., Pugliese, S., Chang, A.L.S. & Bailey, E.E. et al. (2022) Partnering with a senior living community to optimise teledermatology via full body skin screening during the COVID-19 pandemic: A pilot programme. *Skin Health and Disease*, 2(3), e141. Available from: <https://doi.org/10.1002/ski2.141>.
 98. Udrea, A., Mitra, G.D., Costea, D., Noels, E.C., Wakkee, M. & Siegel, D.M. et al. (2019) Accuracy of a smartphone application for triage of skin lesions based on machine learning algorithms. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*. Available from: <https://doi.org/10.1111/jdv.15935>.
 99. Ventura, M.T., Giuliano, A.F.M., Buquicchio, R., Bedbrook, A., Czarlewski, W. & Laune, D. et al. (2021) Implementation of the MASK-Air® App for Rhinitis and Asthma in Older Adults: MASK@Puglia Pilot Study. *International Archives of Allergy and Immunology*, 1–6. Available from: <https://doi.org/10.1159/000518032>.
 100. Walter, F.M., Pannebakker, M.M., Barclay, M.E., Mills, K., Saunders, C.L. & Murchie, P. et al. (2020) Effect of a Skin Self-monitoring Smartphone Application on Time to Physician Consultation Among Patients With Possible Melanoma: A Phase 2 Randomized Clinical Trial. *JAMA Network Open*, 3(2), e200001. Available from: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.0001>.
 101. Wang, S.C., Anderson, J.A.E., Evans, R., Woo, K., Beland, B. & Sasseville, D. et al. (2017) Point-of-care wound visioning technology: Reproducibility and accuracy of a wound measurement app. *PloS One*, 12(8), e0183139. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183139>.
 102. Wang, Y.-C., Ganzorig, B., Wu, C.-C., Iqbal, U., Khan, H.-A.-A. & Hsieh, W.-S. et al. (2018) Patient satisfaction with dermatology teleconsultation by using MedX. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 167, 37–42. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.10.015>.
 103. Wang, F.-Y., Liu, R.-F., Chuang, G., Yang, C.-H. & Chang, Y.-Y. (2019) Smartphone wallpapers for dermoscopy training in medical students and residents. *International Journal of Dermatology*, 58(3), 345–349. Available from: <https://doi.org/10.1111/ijd.14338>.

104. Wang, J., Luo, Y., Wang, Z., Hounye, A.H., Cao, C. & Hou, M. et al. (2022) A cell phone app for facial acne severity assessment. *Applied Intelligence (Dordrecht, Netherlands)*, 1–20. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10489-022-03774-z>.
105. Wangenheim, A. von & Nunes, D.H. (2019) Creating a Web Infrastructure for the Support of Clinical Protocols and Clinical Management: An Example in Tele dermatology. *Telemedicine Journal and E-Health : the Official Journal of the American Telemedicine Association*, 25(9), 781–790. Available from: <https://doi.org/10.1089/tmj.2018.0197>.
106. Wolf, J.A., Moreau, J.F., Akilov, O., Patton, T., English, J.C. & Ho, J. et al. (2013) Diagnostic inaccuracy of smartphone applications for melanoma detection. *JAMA Dermatology*, 149(4), 422–426. Available from: <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2013.2382>.
107. Young, A.R., Schalka, S., Temple, R.C., Simeone, E., Sohn, M. & Kohlmann, C. et al. (2022) Innovative digital solution supporting sun protection and vitamin D synthesis by using satellite-based monitoring of solar radiation. *Photochemical & Photobiological Sciences : Official Journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology*, 21(11), 1853–1868. Available from: <https://doi.org/10.1007/s43630-022-00263-7>.
108. Zhang, J., Mihai, C., Tüshaus, L., Scebbba, G., Distler, O. & Karlen, W. (2021) Wound Image Quality From a Mobile Health Tool for Home-Based Chronic Wound Management With Real-Time Quality Feedback: Randomized Feasibility Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 9(7), e26149. Available from: <https://doi.org/10.2196/26149>.
109. Zheng, D.X., Ning, A.Y., Levoska, M.A., Xiang, L., Wong, C. & Scott, J.F. (2020) Acne and social media: A cross-sectional study of content quality on TikTok. *Pediatric Dermatology*. Available from: <https://doi.org/10.1111/pde.14471>.
110. Zink, A., Kolbinger, A., Leibl, M., Leon-Suarez, I., Gloning, J. & Merkel, C. et al. (2017) The value of tele dermatology using a mobile app compared to conventional dermatology. *European Journal of Dermatology : EJD*, 27(4), 429–431. Available from: <https://doi.org/10.1684/ejd.2017.3044>.

13. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Univ.-Prof. Dr. med. Matthias Augustin, der diese Arbeit ermöglicht hat und mir großen Freiraum bei der Gestaltung und Umsetzung der Dissertation gewährte. Darüber hinaus möchte ich Dr. phil. Marina Otten und Patrick Reinders für die zahlreichen hilfreichen Gespräche und die wertvolle Betreuung während des gesamten Promotionsprozesses danken.

Ebenso möchte ich meinem Vater Klaus meinen tiefen Dank aussprechen. Ohne seine Unterstützung wäre ich heute nicht an dem Punkt, an dem ich jetzt bin – dies gilt in vielerlei Hinsicht, insbesondere auch in Bezug auf die Dissertation. Abschließend gilt mein Dank meiner Freundin Milena für die aufbauenden Gespräche, ihre Geduld und ihre unermüdliche Unterstützung.

14. Lebenslauf

Lebenslauf aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht enthalten.

15. Anhang

Bei Interesse der Aktualisierung der Forschungsarbeit kann Zugriff auf die Originaldaten und Auswertungstabellen per Mail unter philip.stroemer@gmail.com erfragt werden.

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Suchstring Pubmed.gov.....	96
Anhang 2: Weitere Tabellen.....	99

Anhang 1: Suchstring Pubmed.gov

((“Viral infection” AND (skin OR cutaneous)) OR “Pityriasis rosea” OR (“Bacterial infection” AND (skin OR cutaneous)) OR (“Fungal infection” AND (skin OR cutaneous)) OR “Pityriasis versicolor” OR dermatitis OR eczema OR “atopic eczema” OR “seborrhoeic dermatitis” OR “nummular dermatitis” OR “lichen simplex” OR “asteatotic eczema” OR psoriasis OR “lichen planus” OR “Pityriasis lichenoides” OR “Pityriasis rubra pilaris” OR parapsoriasis OR urticaria OR angioedema OR “annular erythema” OR “erythema multiforme” OR “Pyoderma gangrenosum” OR “Eosinophilic cellulitis” OR “Erythema nodosum” OR Pemphigus OR Pemphigoid OR “Linear IgA bullous dermatosis” OR “Epidermolysis bullosa acquisita” OR “dermatitis herpetiformis” OR “Cutaneous lupus erythematosus” OR “chronic discoid lupus” OR “Lichen sclerosus” OR morphea OR mucinosis OR myxedema OR “cutaneous xanthoma” OR porphyria OR (calcification AND (skin OR cutaneous)) OR ichthyosis OR “Darier disease” OR “Hailey-Hailey disease” OR “Pachyonychia congenita” OR albinism OR “epidermolysis bullosa” OR pseudoxanthoma OR naevus OR “port wine stain” OR pruritus OR prurigo OR ((Self-induced OR self-inflicted) AND (skin OR cutaneous) AND (disorder OR disease)) OR Ichthyoses OR (epiderm* AND hyperkeratosis AND acanthosis) OR Porokeratosis OR “Skin peeling” OR “Xerosis cutis” OR “Palmoplantar keratoderma” OR “Keratosis pilaris” OR (Disorder AND (skin OR cutaneous) AND (colour OR color)) OR “Acquired hypermelanosis” OR Melasma OR Freckles OR (non-melanin AND pigment*) OR Vitiligo OR Alopecia OR “hair loss” OR Hypertrichosis OR Hirsutism OR Acne OR rosacea OR “periorificial dermatitis” OR (disorder AND sebaceous gland) OR “hidradenitis suppurativa” OR Hyperhidrosis OR Hypohidrosis OR Miliaria OR (deformities AND nail plate) OR Onycholysis OR “skin atrophy” OR “Cutis laxa” OR Anetoderma OR Poikiloderma OR Keloid OR “Hypertrophic scar” OR fibromatosis OR “Perforating dermatoses” OR Scleredema OR Scleroderma OR “Granuloma annulare” OR “Necrobiosis lipoidica” OR “Lymphocytoma cutis” OR

(Panniculitis AND (skin OR cutaneous)) OR Lipoatrophy OR lipodystrophy OR "Subcutaneous lipomatosis" OR Lipoedema OR Cellulite OR Angiokeratoma OR Purpura OR bruising OR (Vasculitis AND (skin OR cutaneous)) OR (Ulcer AND (skin OR cutaneous)) OR "pilonidal sinus disease" OR "drug eruption" OR "pressure injury" OR "pressure ulcer" OR callosity OR "Polymorphic light eruption" OR "Chronic actinic dermatitis" OR sunburn OR "allergic contact dermatitis" OR "cutaneous cyst" OR "skin tags" OR "actinic keratosis" OR Histiocytoses OR ("paraneoplastic syndrome" AND (skin OR cutaneous)) OR radiodermatitis OR nevus OR nevi OR "lentigo maligna" OR ("adnexal carcinoma" AND (skin OR cutaneous)) OR ("basal cell carcinoma" AND (skin OR cutaneous)) OR ("neuroendocrine carcinoma" AND (skin OR cutaneous)) OR (sarcoma AND (skin OR cutaneous)) OR (melanoma AND (skin OR cutaneous)) OR ("squamous cell carcinoma" AND (skin OR cutaneous)) OR "bowen disease" OR ("lupus erythematosus" AND (skin OR cutaneous)) OR dermatomyositis OR "systemic sclerosis" OR ("Sjögren syndrome" AND (skin OR cutaneous)) OR ("mixed connective tissue disease" AND (skin OR cutaneous)) OR "SAPHO syndrome" OR "behcet disease" OR (sarcoidosis AND (skin OR cutaneous)) OR ("graft versus host disease" AND (skin OR cutaneous)) OR "bacterial cellulitis" OR erysipelas OR lymphangitis OR "necrotising fasciitis" OR Impetigo OR ecthyma OR "bacterial folliculitis" OR ("pyogenic abscess" AND (skin OR cutaneous)) OR "Molluscum contagiosum" OR ("human papillomavirus infection" AND (skin OR mucous membrane)) OR "varicella zoster" OR ("herpes simplex" AND (skin OR cutaneous OR mucosa)) OR "roseola infantum" OR rubella OR measles OR "erythema infectiosum" OR ("picornavirus infection" AND (skin OR "mucous membrane")) OR (candidosis AND (lip OR "mucous membrane" OR skin OR cutaneous)) OR (leishmaniasis AND (skin OR cutaneous OR "mucous membrane")) OR ("larva migrans" AND (skin OR cutaneous)) OR (onchocerciasis AND (skin OR cutaneous)) OR pediculosis OR scabies OR (mites AND (skin OR cutaneous)) OR (lymphoma AND (skin OR cutaneous)) OR (burns AND (skin OR cutaneous)) OR frostbite OR (Adenoma AND (skin OR cutaneous)) OR (adnexal AND (skin OR cutaneous)) OR trichilemmoma OR trichoepithelioma OR trichofolliculoma OR (syphilis AND (skin OR cutaneous)) OR (tuberculosis AND (skin OR cutaneous)) OR (extragenital AND condylom* AND acuminat*) OR keratoacanthoma OR "seborrhoeic keratosis" OR ("mast cell tumor" AND (skin OR cutaneous)) OR "ectodermal dysplasia" OR "ehlers danlos syndrome" OR "juvenile xanthogranuloma" OR [Dermatol*](#) OR ["skin disease"](#) OR [Dermatology\[MeSH\]](#)) AND ([app\[Title/Abstract\]](#) OR [apps\[Title/Abstract\]](#) OR ([application\[Title/Abstract\]](#) AND ([phone\[Title/Abstract\]](#) OR [tablet\[Title/Abstract\]](#) OR [smartphone\[Title/Abstract\]](#) OR [mobile\[Title/Abstract\]](#))))

Anhang 2: Weitere Tabellen

Tabelle 15: Veröffentlichungsorgane, in denen inkludierte Studien publiziert wurden und Anzahl der Studien

Individuelle Zeitschriften	Studienanzahl
JMIR mHealth and uHealth	14
Telemedicine journal and e-health : the official journal of the American Telemedicine Association	6
Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV	5
JAMA dermatology	4
Burns : journal of the International Society for Burn Injuries	3
International journal of dermatology	3
PloS one	3
Dermatology (Basel, Switzerland)	3
JMIR formative research	3
Acta dermato-venereologica	2
Dermatology online journal	2
JMIR research protocols	2
International journal of telemedicine and applications	2
Der Hautarzt; Zeitschrift für Dermatologie, Venerologie, und verwandte Gebiete	2
The American journal of tropical medicine and hygiene	2
Computers in biology and medicine	2
Clinical and experimental dermatology	2
Dermatology and therapy	2
Allergology international : official journal of the Japanese Society of Allergology	1
Dermatology practical & conceptual	1
Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine	1
International journal of medical education	1
American journal of clinical dermatology	1
The British journal of dermatology	1
Health informatics journal	1
BMC pediatrics	1
The American Journal of dermatopathology	1
Dermatology research and practice	1
Pediatric allergy and immunology : official publication of the European Society of Pediatric Allergy	1
Actas dermo-sifiliograficas	1
Journal of wound care	1
Transplantation direct	1
Journal of biomedical optics	1
Computer methods and programs in biomedicine	1
Pediatric dermatology	1
European journal of dermatology : EJD	1
Journal of the American Academy of Dermatology	1
JCO global oncology	1
Rural and remote health	1
JAMA network open	1
The journal of allergy and clinical immunology. In practice	1
Frontiers in medicine	1
ACS nano	1

Fortsetzung der Tabelle:

Individuelle Zeitschriften	Studienanzahl
Human vaccines & immunotherapeutics	1
International journal of environmental research and public health	1
Postepy dermatologii i alergologii	1
PLoS neglected tropical diseases	1
Biomedical optics express	1
Spinal cord	1
International archives of allergy and immunology	1
The journal of spinal cord medicine	1
Wound repair and regeneration : official publication of the Wound Healing Society [and] the Euro	1
The Australasian journal of dermatology	1
Journal of medical Internet research	1
JAAD case reports	1
Assistive technology : the official journal of RESNA	1
British journal of nursing (Mark Allen Publishing)	1
Disability and rehabilitation	1
BMJ open	1
Wounds : a compendium of clinical research and practice	1
Studies in health technology and informatics	1
Cancers	1
Frontiers in medical technology	1
Skin health and disease	1
Applied intelligence (Dordrecht, Netherlands)	1
Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Asso	1

Tabelle 16: Studien nach Land der Datenerhebung

Studien nach Land	Anzahl
USA	22
Deutschland	11
Brasilien	8
Schweiz	8
Vereintes Königreich	8
Niederlande	7
Australien	4
Taiwan	4
Frankreich	3
Kolumbien	3
Dänemark	2
Kanada	2
Südkorea	2
Schweden	2
Spanien	2
Belgien	1
China	1
Griechenland	1
Hong Kong	1
Island	1
Indien	1
Irland	1
Italien	1
Malaysia	1
Neuseeland	1
Norwegen	1
Österreich	1
Polen	1
Südafrika	1
Tanzania	1
Türkei	1
Ungarn	1

Tabelle 17: Namen der Apps aus den untersuchten Studien (alphabetisch); Bei den Studien ohne namentliche Nennung der App wurden die Autoren abgeglichen. Eine Anwendung, die mit hoher Wahrscheinlichkeit vom gleichen Autorenteam in zwei Studien untersucht wurde, wurde als „Unbekannt 1“ benannt

Individuelle Apps	Anzahl der Studien	Mobile/Web Applikation	Individuelle Apps	Anzahl der Studien	Mobile/Web Applikation
-	28	26/2	MedX	1	Mobile App
- (Unbekannt 1)	2	Web Applikation	MelanomaDetector	1	Mobile App
ASICA app	1	Mobile App	mISkin	1	Mobile App
Askin	1	Mobile App	Mobil Neurodermitis	1	Mobile App
AW-Shift	1	Mobile App	MorbiQuiz	2	Mobile App
ClickDerm	1	Mobile App	My VA Images (MVAI)	1	Mobile App
ClickMedix+	1	Mobile App	MyPso SmarTopTM	1	Mobile App
Colorimetric Plate Reader	1	Mobile App	MySkinPal	1	Mobile App
CYCHFastshot	1	Mobile App	MySkinSelfie	1	Mobile App
DermaScope Mobile	1	Mobile App	NDKare	1	Mobile App
DermPatientEd.Com	1	Web Applikation	NgoziYangu	1	Mobile App
DermTRAC	1	Mobile App	Online Hautarzt – AppDoc	2	Mobile App
Dr. Mole	1	Mobile App	Open Camera (+ Gadget)	1	Mobile App
Drug Allergy	1	Mobile App	PhotoExam	1	Mobile App
Education in Dermatology	1	Web Applikation	Pressure Ulcer Target	1	Mobile App
eSkinHealth	1	Mobile App	ReMIT Client app	1	Mobile App
FLIR ONE	3	Mobile App	RightSite	1	Mobile App
Guaral RPC	1	Mobile App	Sidekick Health	1	Mobile App
Guaral+ST	1	Mobile App	Skinhealth	1	Mobile App
Handscope FotoFinder	1	Mobile App	SkinIO	1	Mobile App
iCare	1	Mobile App	SkinVision	7	Mobile App
iDoc24 PRO®	1	Mobile App	Slack	1	Web Applikation
iDoc24®	1	Mobile App	Solar Cell	2	Mobile App
imitoCam	1	Mobile App	SpotMole	1	Mobile App
imitoMeasure	1	Mobile App	Sun4Health®	1	Mobile App
ImitoWound	1	Mobile App	Sunface	4	Mobile App
IMPROVE 1.0	1	Mobile App	SunProtect	1	Mobile App
inSight®	1	Mobile App	SunSmart	1	Mobile App
ItchApp©	2	Mobile App	Swift Wound	1	Mobile App
iTest	1	Mobile App	Teledermato	1	Mobile App
KLARA	1	Mobile App	TikTok	1	Mobile App
KlikKit (Gadget app)	1	Mobile App	UTrack-App	1	Mobile App
LeishCare®	1	Mobile App	UV Guard	1	Mobile App
mARble-Derma	1	Mobile App	VA Telederm	1	Web Applikation
MASK-air®	1	Mobile App	Wallpaper Changer	2	Mobile App
MDi-Psoriasis	1	Mobile App	WhatsApp	2	Mobile App

16. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Philip Strömer