



Rezension

Veränderungen im Hautmikrobiom nach dermatologischen Verfahren: Eine Scoping-Überprüfung

Jeremy R. Ellis ¹ , Eron J. Powell ² , Luke M. Tomasovic ¹ , Rachel L. Marcheskie ³ , Vishruth Girish ¹ , Anmol Warman ¹ und Darshan Sivaloganathan ^{1,*}

¹ Medizinische Fakultät, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21205, USA; jellis44@jhmi.edu (JRE); ltomaso1@jhu.edu (LMT); vgirish1@jhmi.edu (VG); awarman2@jhmi.edu (AW)

² Fakultät für Biowissenschaften, Universität Utah, Salt Lake City, UT 84112, USA; eron@sciencewithsandy.com

³ Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD 21205, USA; rmarche5@jh.edu

* Korrespondenz: dsivalo1@jhmi.edu

Zusammenfassung: Das Mikrobiom der Haut besteht aus Bakterien, Pilzen, Viren und Milben, die eine entscheidende Rolle bei der Erhaltung der Hautgesundheit und der Immunfunktion spielen. Ungleichgewichte in dieser mikrobiellen Gemeinschaft, bekannt als Dysbiose, werden mit verschiedenen dermatologischen Erkrankungen in Verbindung gebracht. Während bekannt ist, dass Hautpflegeprodukte das Mikrobiom der Haut beeinflussen, wurden die Auswirkungen dermatologischer Verfahren nicht umfassend untersucht. Hier führen wir eine Scoping-Überprüfung durch, um die Studien zu skizzieren, die die Auswirkungen dermatologischer Eingriffe auf das Mikrobiom der Haut untersuchen. Die Phototherapie erwies sich als die am meisten untersuchte Intervention und umfasst UV-Phototherapie, Lichttherapie, Lasertherapie und photodynamische Therapie. Zu chemischen Eingriffen wie chemischen Peelings, Mikropigmentierung und Debridement gibt es vergleichsweise wenige Studien, die ihre Auswirkungen auf das Mikrobiom der Haut beschreiben. Bislang wurden keine Studien zu einer Vielzahl gängiger dermatologischer Verfahren wie Kryotherapie, Hauttransplantationen und Dermabrasion durchgeführt, die möglicherweise eine größere Wahrscheinlichkeit haben, das Mikrobiom der Haut zu beeinflussen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Forschungen zu den Einflüssen dermatologischer Verfahren, insbesondere chemischer und physikalischer Eingriffe, auf das Hautmikrobiom. Umfassendere präklinische und klinische Studien sind nicht nur für das Verständnis der langfristigen Folgen dieser Verfahren, sondern auch für die Optimierung der Patientenergebnisse in der dermatologischen Versorgung erforderlich.

Schlüsselwörter: Hautmikrobiom; Dysbiose; kutanes Mikrobiom; dermatologische Intervention



Zitat: Ellis, JR; Powell, EJ;

Tomasovic, LM; Marcheskie, RL;

Girish, V.; Warman, A.;

Sivaloganathan, D. Veränderungen im

Hautmikrobiom nach

dermatologischen Eingriffen: Eine

Scoping-Überprüfung. Appl. Microbiol. 2024, 4,

972–985. [https://doi.org/10.3390/](https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4020066)

applmicrobiol4020066

Wissenschaftlicher Redakteur: Ian Connerton

Empfangen: 23. Mai 2024

Überarbeitet: 12. Juni 2024

Akzeptiert: 12. Juni 2024

Veröffentlicht: 18. Juni 2024



Copyright: © 2024 bei den Autoren.

Lizenznehmer MDPI, Basel, Schweiz.

Dieser Artikel ist ein Open Access-Artikel

vertrieben unter den Bedingungen und

Bedingungen der Creative Commons

Namensnennungslizenz (CC BY)

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Einleitung

Das Hautmikrobiom umfasst die Mikroorganismen, die die menschliche Haut bewohnen. Zu dieser Gemeinschaft gehören Bakterien, Pilze, Viren und Milben, die alle eine Rolle bei der Erhaltung gesunder Haut spielen [1]. Die Zusammensetzung des Mikrobioms variiert je nach Körperstelle, Umweltbedingungen, Alter, Geschlecht und individuellem Gesundheitszustand [2–4]. Bakterien sind die am häufigsten auf der Haut vorkommenden Mikroben. Zu den wichtigsten Gattungen zählen *Staphylococcus*, *Corynebacterium* und *Propionibacterium* [5]. Diese Bakterien bewohnen bestimmte Nischen auf der Haut, wie Talgdrüsen, Haarfollikel und Schweißdrüsen [6]. Pilze, hauptsächlich der Gattung *Malassezia*, kommen besonders häufig in Talgdrüsen (ölproduzierenden Bereichen) vor. Viren, darunter Bakteriophagen, die Bakterien infizieren, sind ebenfalls Teil des Hautmikrobioms, obwohl sie im Vergleich zu Bakterien und Pilzen weniger gut erforscht sind [8]. Darüber hinaus leben Arthropoden wie die *Demodex*-Milbe entlang der Haarfollikel und in den Talgdrüsen [9].

Das Hautmikrobiom ist für die Gesundheit der Haut von entscheidender Bedeutung und erfüllt verschiedene wichtige Funktionen. Eine seiner Hauptaufgaben ist der Schutz vor Krankheitserregern. Das Mikrobiom fungiert sowohl als physikalische als auch als chemische Barriere, wobei Kommensalbakterien mit pathogenen Mikroben um Ressourcen und Platz konkurrieren [10]. Bakterien wie *Cutibacterium acnes* produzieren antimikrobielle Substanzen, die das Wachstum von Krankheitserregern hemmen [11]. Darüber hinaus dient das Hautmikrobiom dazu, Immunreaktionen im Wirt durch mikrobielle Metaboliten wie freie Fettsäuren auszu-

antimikrobielle Peptide, phenollösliche Moduline und Zellwandkomponenten [12]. Dysbiose, ein Ungleichgewicht oder eine Störung der natürlichen Zusammensetzung des Mikrobioms, wird mit Erkrankungen wie atopischer Dermatitis in Verbindung gebracht, bei der das Mikromilieu der Haut eine verminderte Diversität aufweist und die Wirtssensibilisierung gegenüber mikrobeverwandten Antigenen hochreguliert ist [13], während Erkrankungen wie Akne mit einem übermäßigen Wachstum von *C. acnes* in Verbindung gebracht werden [14].

Das Hautmikrobiom dient auch dazu, die Integrität der physischen Hautbarriere aufrechtzuerhalten. Mikroben regulieren die Produktion von Hautlipiden, die die Barriere stärken – beispielsweise ist die Ceramidproduktion an der Speicherung von Feuchtigkeit beteiligt und hilft, eine Verschlechterung zu verhindern [15]. Bestimmte Mikroben spielen auch eine Rolle bei der Bildung enger Verbindungen und der Funktion von Keratinozyten [16]. Nützliche Biofilme bieten auch Schutz vor Krankheitserregern, sowohl physisch als auch kompetitiv [17].

Aus einer übergroßen Perspektive betrachtet ist die Beziehung zwischen Menschen und den Mikroben, die auf ihrer Haut treiben, symbiotisch. Diese uralten Passagiere haben sich gemeinsam mit dem Menschen entwickelt und erfüllen nützliche Funktionen wie den Abbau von Talg [18,19], die Aufrechterhaltung des pH- Gleichgewichts der Haut [20–22] und die Produktion von Antioxidantien [23].

Die Zusammensetzung des Hautmikrobioms wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Genetische Unterschiede wie die Prädisposition für Autoimmunerkrankungen spielen bei individuellen Hautmikrobiomen eine Rolle [8]. Klima, Umweltverschmutzung, Hygienepraktiken und sogar Kleidung wirken sich auf das Mikrobiom aus [3,24,25]. Alter und hormonelle Veränderungen, insbesondere während der Pubertät und Seneszenz, verändern die mikrobielle Landschaft [2,26–28]. Sowohl systemische Erkrankungen wie Diabetes und Reizdarmsyndrom als auch Hauterkrankungen wie Psoriasis und Neurodermitis können das Hautmikrobiom stören [29–31].

Dermatologen ist schon lange bekannt, dass auch bestimmte Hautpflegeprodukte das mikrobielle Gleichgewicht beeinflussen. Inhaltsstoffe in Seifen, Antibiotika und Kosmetika können zu Dysbiose führen [4]. Die Manipulation der Integrität des Mikrobioms der Haut durch dermatologische Eingriffe wie Exzisionen, Dermabrasion, Lasertherapie und andere physikalische Verfahren ist jedoch noch wenig erforscht. Angesichts der Bedeutung des Mikrobioms der Haut möchten wir den aktuellen Umfang der Literatur definieren, die sich mit Veränderungen des Mikrobioms der Haut durch dermatologische Verfahren beschäftigt.

2. Methoden

Eine Überprüfung des aktuellen Umfangs der Literatur zu den Auswirkungen dermatologischer Eingriffe auf das Hautmikrobiom wurde unter Befolgung der von Arksey und O'Malley [32] und Levac et al. [33] festgelegten Richtlinien durchgeführt. Zur Anleitung des Prozesses wurde ein Scoping-Review-Protokoll entwickelt, das auf protocols.io [34] registriert wurde. Es ist unter <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.261ge53owg47/v2> abrufbar. (abgerufen am 16. Mai 2024). Dieses Dokument entspricht der PRISMA-Erweiterung für Scoping Reviews [35].

2.1. Eignungskriterien Die

Studien wurden basierend auf drei ersten Einschlusskriterien eingeschlossen. Die Studien mussten im Jahr 2007 oder später veröffentlicht worden sein, da dies das Startjahr des Human Microbiome Project war [36]. Studien wurden ausgewählt, wenn sie die Phrase Hautmikrobiom /Mikrobiota/Mikroflora im Titel, in den Schlüsselwörtern oder in der Zusammenfassung enthielten. Beachten Sie, dass einige Studien ohne die Spezifizierung von Haut eingeschlossen wurden, wenn aus dem Kontext offensichtlich war, dass sie sich darauf bezogen. Studien wurden auch nur eingeschlossen, wenn sie sich direkt mit dermatologischen Eingriffen befassten. Das Team erstellte eine Liste genehmigter dermatologischer Eingriffe und verwendete dabei die Codes der Current Procedural Terminology (CPT®) für Dermatologie der American Medical Association (AMA) [37]. Insgesamt wurden 23 Kategorien dermatologischer Verfahren bestimmt. Eingriffe, die ausschließlich aus der Anwendung topischer Salben, Cremes oder Erweichungsmittel bestanden, wurden verworfen.

Studien wurden ausgeschlossen, wenn sie nicht auf Englisch verfügbar waren oder wenn sie nicht den Gesamtzielen der Überprüfung entsprachen. Studien, die sich mit Bakteriotherapie und Prä-/Postbiotika befassten, wurden ausgeschlossen, da solche Behandlungen in erster Linie darauf abzielen, Mikrobiome zu verändern und das Wachstum der Mikroflora zu fördern. Wie oben erwähnt, durften sich die zugelassenen Studien nicht n

mit topischen Cremes, Salben usw. Ebenso wurden Studien ausgeschlossen, in denen orale, intravenöse oder andere systemische Behandlungsformen verwendet wurden. Schließlich mussten die Studien die Auswirkungen auf das Hautmikrobiom direkt bewerten und durften keine Behandlung von Dysbiose oder anderen damit verbundenen Problemen beinhalten. Die besten Studien waren diejenigen, die sich direkt mit der Wirkung einer lokalisierten dermatologischen Intervention auf das Hautmikrobiom befassten.

2.2. Identifizierung und Auswahl der Studien

Am 12. Mai 2024 wurde eine Suche auf PubMed mit der erweiterten Suche durchgeführt. Die eingeschlossenen Jahre waren 2007 bis 2030. Die Suchstrategie wurde nach einem ähnlichen Protokoll wie bei einem Scoping Review von Dol et al. im Jahr 2019 [38] durchgeführt. Schlüsselbegriffe wurden ausgewählt und mit der erweiterten Suche wie folgt in die Suche einbezogen: „((Aknechirurgie) ODER (Exzisionsbiopsie) ODER (Exzision) ODER (Debride) ODER (Injektion) ODER (Tätowierungen) ODER (Mikropigmentierung) ODER (Transplantation) ODER (Laserchirurgie) ODER (Elektrochirurgie) ODER (Kryochirurgie) ODER (Chemochirurgie) ODER (chirurgische Kürettage) ODER (Phototherapie) ODER (Dermabrasion) ODER (chemisches Peeling) ODER (chemische Kauterisierung) ODER (Mohs-Therapie) ODER (Hautpeeling) ODER (Elektrolyse) ODER (Bestrahlung)) UND (Hautmikrobiom))“.

Nach den ersten Suchergebnissen wurden Titel, Zusammenfassung und Schlüsselwörter jedes Artikels überprüft, um Artikel zu finden, die den Einschlusskriterien entsprachen. Die aufgenommenen Artikel wurden dann einer vollständigen Überprüfung unterzogen und gemäß den im Protokoll beschriebenen Verfahren ausgeschlossen, wenn sie den Ausschlusskriterien entsprachen. Bei Artikeln, die während der vollständigen Überprüfung entfernt wurden, wurde der Ausschlussgrund vermerkt.

2.3. Datenverwaltung Die

interessanten Elemente wurden, sofern zutreffend, in Kategorien eingeteilt, vom Projektteam genehmigt und in einem Google-Dokument formatiert. Die eingeschlossenen Studien wurden dann für jedes interessante Element aufgelistet und von zwei Gutachtern bewertet. Wenn das Dokument das interessante Element enthielt, wurde die richtige Kategorie darunter aufgeführt. Diese Daten wurden dann zur einfacheren Datensynthese in ein Google-Tabellenblatt verschoben. Die interessanten Elemente waren die Beschreibung der dermatologischen Intervention, der n-Wert des Studienteilnehmers, Langzeit- vs. Kurzzeitstudien (wobei Langzeitstudien als eine Studiendauer von mehr als einer Woche definiert wurden), Hautzustand und Studienart.

3. Ergebnisse

Die erste Abfrage ergab 524 potenzielle Artikel für die Aufnahme. Durch Überprüfung von Titel, Zusammenfassung und Stichworten wurden 407 Artikel ausgeschlossen, die die Aufnahmekriterien nicht erfüllten. Eine gründliche Überprüfung aller Artikel führte aus den in Abbildung 1 dargelegten Gründen zum Ausschluss von 93 Artikeln. Aus den verbleibenden 24 enthaltenen Artikeln wurden dann die interessanten Elemente extrahiert.

Die eingeschlossenen Artikel wurden an drei verschiedenen Spezies durchgeführt, nämlich Menschen, Hunden und Mäusen. Insgesamt wurden 87,5 % der Artikel an menschlichen Probanden durchgeführt, 8,3 % an Hunden und der gleiche Prozentsatz an Mäusen. Beachten Sie, dass ein Artikel sowohl Menschen als auch Mäuse als Probanden umfasste. Die durchschnittliche Stichprobengröße betrug 21,2 und variierte zwischen 5 und 125 (Tabellen 1 und 2). In keinem der Artikel wurden die Auswirkungen der meisten der oben beschriebenen Interventionskategorien untersucht, insbesondere chemische Kauterisierung, Dermabrasion, Hauttransplantationen, Kryotherapie, Aknechirurgie, Exzisionsbiopsie, Injektion, Elektrochirurgie, chirurgische Kürettage, Mohs-Schönheit, Elektrolyse und Bestrahlung.

3.1. Phototherapie verändert das Hautmikrobiom erheblich

Wir haben festgestellt, dass sich über 70 % der Studien, die die Auswirkungen dermatologischer Verfahren auf das Mikrobiom der Haut untersuchten, auf Phototherapie bezogen (Tabelle 1). Diese therapeutische Behandlung nutzt verschiedene Lichtwellenlängen, um Erkrankungen wie Psoriasis, Ekzeme, Vitiligo und atopische Dermatitis zu behandeln, indem sie zelluläre Prozesse moduliert und Entzündungen reduziert. Sie umfasst mehrere breite Behandlungsarten, die in den untersuchten Studien verwendet wurden, nämlich UV-Phototherapie, Lichttherapie, Lasertherapie und photodynamische Therapie [39]. Sie ist im Allgemeinen mit einer Zunahme der Mikrobiomdiversität verbunden [40–47]. Einige Studien stellten diesbezüglich jedoch keine signifikante Veränderung fest [48,49].

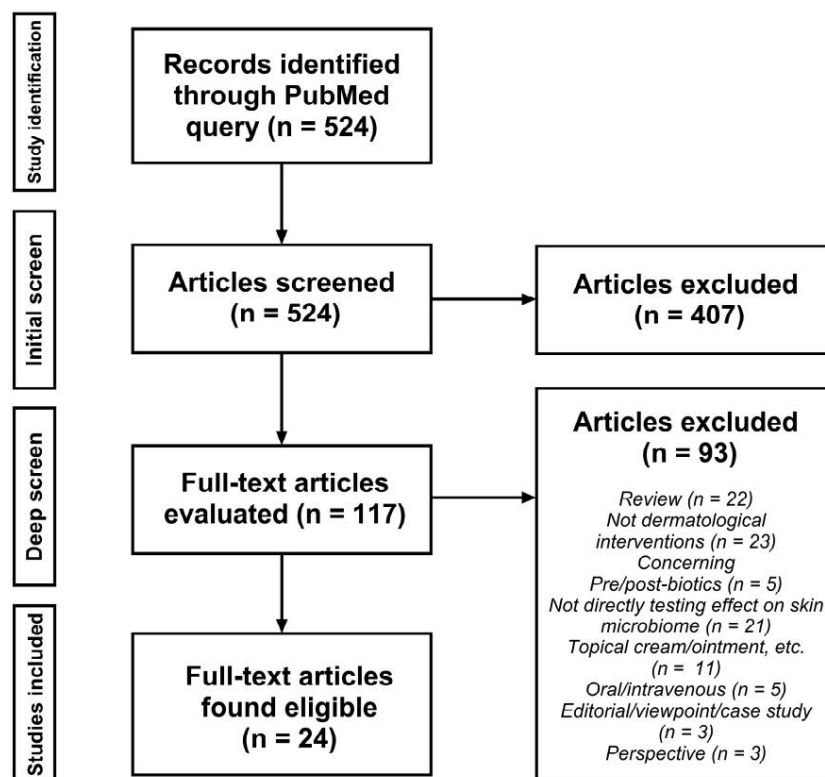


Abbildung 9.1 Bevorzugte Berichtselemente für systematische Überprüfungen und Metaanalysen für Scoping-Überprüfungen (PRISMA-ScR) Flussdiagramm des Studienauswahlalgorithmus.

3.1. Phototherapie verändert das Hautmikrobiom erheblich

UV-Phototherapie ist ein etabliertes Mittel zur Behandlung von Immunsystemerkrankungen. DNA-Prozesse auf dem Hautmikrobiom wurden mit der Phototherapie in Verbindung gebracht (Tabelle 1). Diese therapeutische Behandlung nutzt verschiedene Lichtwellenlängen um Erkrankungen wie Psoriasis, Vitiligo und atopische Dermatitis zu behandeln [50]. Es ist im Allgemeinen wirksam bei der Reduzierung von Ekzemen, Vitiligo und atopische Dermatitis durch Modulation zellulärer Prozesse und Reduzierung von Bakterien, insbesondere *Staphylococcus aureus* [41,43,51,52], bei gleichzeitiger Erhöhung der Anzahl von T-Lymphozyten. Es umfasst mehrere breite Behandlungsarten, die in der untersuchten Studie verwendet wurden, nämlich UV-Phototherapie, Lichttherapie, Lasertherapie und photodynamische Therapie. Eine Fülle von Studien zeigen, dass die UV-Phototherapie bei *Staphylococcus capitis* und *Staphylococcus aureus* [43] und Stämme von *Escherichia coli* [51] einen Einfluss auf das Mikrobiom hat, was mit einer Erhöhung der Artenvielfalt verbunden ist [40–47], et al. [48]. Studien haben jedoch keinen Einfluss von UV-B- oder UV-A-Behandlungen auf den Anstieg der Mikrobiota feststellen können. Die UV-Phototherapie hat sich als besonders wirksam zur Unterdrückung des Immunsystems und zur Induktion von DNA-Schäden in Zielzellen. Es ist eine gängige Behandlung für eine Vielzahl von Erkrankungen, wie z. B. Fälle, in denen nach einer UV-Phototherapie Veränderungen der Mikrobiota vorhanden waren, auch wenn sie Psoriasis, Vitiligo und atopische Dermatitis [50]. Es ist im Allgemeinen wirksam bei der Verringerung der Pathomechanismen, die nicht nur die Wirkung der verschiedenen Methoden zur Förderung der Wundheilung etabliert und die Lasertherapie hat sich als geeignete Methode zur Förderung der Wundheilung etabliert und fördert die Hautverjüngung [55]. In jüngster Zeit hat sich gezeigt, dass sie antibakterielle Wirkungen hat.

keinen anfänglichen Anstieg der Mikrobiota nach drei Schmalband-Ultraviolett-B- Einwirkungen (NB-UVB) festgestellt. Inwieweit die Unterdrückung des Wachstums und der potenzielle Störung der Membranintegrität und Behandlungen, aber die Effekte traten nach 6-8 Wochen Ganzkörperbehandlung auf [42]. In allen potenziellen [56-57]. Von den drei Studien mit Lasertherapie zeigte eine begrenzte Wirkung auf In einigen Fällen wurden nach der UVB-Phototherapie Veränderungen der Mikrobiota festgestellt, auch wenn nicht signifikant oder auf wenige Organismen beschränkt. In einer Studie von Pseudomonas aeruginosa pseudintermedius pseudintermedius beobachtet wurde [49]. Ein weiterer beschränkt. Eine Studie über die Unterdrückung der Membranintegrität und die Membranintegrität konzentrierte sich speziell auf die Unterdrückung der Membranintegrität und die Membranintegrität. Hautverjüngung etabliert [55]. Kürzlich wurde gezeigt, dass sie antibakterielle Wirkungen auf Pseudomonas aeruginosa hat und die Bildung eines Biofilms hemmt. Allerdings wurden nur Tests auf diese Wirkung durchgeführt. Dazu gehören die Unterdrückung des Wachstums und die potenzielle Zerstörung der Membranintegrität sowie bestimmter Bakterien [59].

Bei der Photodynamischen Therapie (PDT) wird ein photosensibilisierendes Mittel aufgetragen, genannt 5-Aminolävulinsäure (ALA) an die Haut, die von Zellen absorbiert und umgewandelt wird in Protoporphyrin IX. Der behandelte Bereich wird Licht bestimmter Wellenlängen ausgesetzt. Protoporphyrin IX absorbiert das Licht und erzeugt reaktive Sauerstoffspezies (ROS). Diese ROS selektiv die Zielzellen zerstören [60]. Dieses bimodale Verfahren aus ALA-Applikation und gezieltem Licht bietet jedoch verstärkte Überlegungen bei der Beurteilung der Ursache von Auswirkungen auf das Mikrobiom. Zwei der drei Studien zeigten eine allgemeine Zunahme der Vielfalt nach Behandlung, während Guo et al. einen leichten Rückgang der Alpha-Diversität nach der Behandlung feststellten, die mit nachfolgenden Behandlungen abnahm [44,45,61]. Die ALA-PDT-Behandlung führte auch zu Rückgang einiger Bakterien, die an Hautkrankheiten beteiligt sind, wie zum Beispiel *C. acnes*.

Tabelle 1. Abgerufene Studien, die die Auswirkungen der Lichttherapie auf das Hautmikrobiom beschreiben, mit Zusammenfassungen.

Autor	Jahr	Dermatologische Verfahren	Studiengröße (n)	Studiendauer	Zustand	Spezies	Ergebnisse
Burns et al. [53]	2019	UV-Phototherapie	6	Kurzzeit (24 h)	Keiner	Menschlich	Es gab einen Anstieg der Cyanobakterien und einen Rückgang der Lactobacillaceae und Pseudomonadaceae.
Kwong et al. [41]	2019	UV-Phototherapie	18 (13 waren UV-Strahlung ausgesetzt)	Langzeit (9 Wochen)	Atopische Dermatitis	Menschlich	Die mikrobielle Vielfalt in der verletzten Haut nahm nach der Behandlung zu. Der Anteil von Staphylococcus aureus nahm durch die Behandlung ab.
Lossius et al. [42]	2021	UV-Phototherapie	16	Langfristige (6–8 Wochen)	atopische Dermatitis	Menschlich	Die Mikrobiota der Haut in Läsionen mit AD zeigte eine höhere Diversität nach 6–8 Wochen Behandlung, während NLS und Nasen-/Rachenmikrobiota blieb unverändert. Es wurden keine signifikanten Veränderungen in der Mikrobiota bereits nach drei NB-UVB-Behandlungen beobachtet.
Hooper et al. [43]	2022	UV-Phototherapie	40 (25 exponiert, 15 Kontrolle)	Langfristig (~6,2 Monate)	Kutanes Lymphom beim Menschen		Die mikrobielle Vielfalt bei NB-UVB-Respondern nahm zu. Die relative Häufigkeit von S. aureus und Staphylococcus lugdunensis wurde reduziert Nachbehandlung. Höhere Konzentrationen von Staphylococcus capitis und Staphylococcus warneri wurden in der Haut von Responderläsionen nachgewiesen vor NB-UVB. Verminderter S. aureus und erhöhter S. capitis, Staphylococcus hominis, Staphylococcus pettenkoferi und S. warneri Konzentrationen wurden in der Haut der Patienten festgestellt, die nach der Behandlung reagierten. Die Artenvielfalt ist bei Non-Respondern ähnlicher und Nicht-NB-UVB-Patienten als zwischen Respondern und Nicht-NB-UVB-Patienten.
Assarsson et al. [51]	2018	UV-Phototherapie	26	Langfristig (10,5 Wochen)	Chronische Plaque Schuppenflechte	Menschlich	Erhöhte relative Häufigkeit von Clostridium und verringerte relative Pseudomonas trat in großer Menge sowohl in Läsionen als auch nicht-läsionale Haut, zusammen mit erhöhter Megasphaera in nicht-läsionale Haut.
Dotterud et al. [52]	2008	UV-Phototherapie	40 (20 Dermatitis, 20 Kontrolle)	Langzeit (6 Wochen)	Atopische Dermatitis	Menschlich	Die Anzahl der S. aureus in der verletzten Haut zeigte einen nicht signifikanten Rückgang nach 4 Wochen Behandlung, mit einem leichten Anstieg nach einer 2-wöchige Nachuntersuchung. Ähnliche Trends wurden bei nichtläsionalen Haut und Stirn.
Wang et al. [61]	2012	UV-Phototherapie	5 Menschen, 5 Mäuse	Kurzfristig (1 Tag)	Keiner	Mensch und Maus	Bei menschlichen Gesichtsbakterien kam es zu einer verringerten Porphyrinproduktion und in mit Cutibacterium acnes infizierten Mäuseohren.
Yuan et al. [44]	2020	UV-Phototherapie	60	N / A	Vitiligo	Menschlich	Die NB-Gruppe zeigte deutlich höhere Diversitätsindizes im Vergleich zu NF, während sich die NF- und DB-Gruppen nicht unterschieden signifikant. Staphylococcus, Bacillus und Prevotella wurden angereichert in DF im Vergleich zu DB, während Propionibacterium die gegenläufiger Trend.
Park et al. [40]	2021	UV-Phototherapie	20 (10 mit atopischer Dermatitis, 10 ohne)	Langfristig (2 Monate)	Atopische Dermatitis	Hund	Die Phototherapie veränderte das Hautmikrobiom bei Hunden mit AD, zunehmende Actinobakterien und Cyanobakterien und abnehmende Staphylococcus pseudintermedius. Eine höhere Alpha-Diversität trat auf nach der Behandlung.

Tabelle 1. Fortsetzung							
Autor	Jahr	Dermatologische Verfahren	Studiengröße (n)	Studiendauer	Zustand	Spezies	Ergebnisse
Kurosaki et al. [54]	2020	UV-Phototherapie	22 (11 Läsionen, 11 nicht-läsional)	Langfristig (2 Monate)	Atopische Dermatitis	Menschlich	Eine Zunahme von Cyanobakterien und eine Abnahme von Bacteroidetes trat in der verletzten Haut auf. Eine signifikante Verringerung der Häufigkeit von S. aureus wurde auch auf Artenebene in der verletzten Haut gefunden.
Liu et al. [48]	2021	Lichttherapie	39 (20 Akne, 19 gesund)	Langfristig (3 Monate)	Akne	Menschlich	Es gab einen signifikanten Anstieg der relativen Häufigkeit von Staphylococcus epidermidis, während C. acnes abnahm.
Muñoz Declara et al. [49]	2024	Lasertherapie (905 nm, 808 nm)	20	Kurzfristig (6 Tage)	Atopische Dermatitis	Hund	Keine signifikanten Veränderungen in der Zusammensetzung oder Vielfalt des Mikrobioms beobachtet, allerdings kam es zu einem Rückgang der relativen Häufigkeit von S. Bei einigen Hunden wurde an den behandelten Stellen M. pseudintermedius festgestellt.
Park et al. [58]	2023	Lasertherapie (755 nm) 21		Langfristig (3 Monate)	Rosacea	Menschlich	Es gab einen Rückgang der relativen Häufigkeit von Cutibacterium, Streptococcus, Clostridium, Bacteroides und Lactobacillus. Eine Zunahme in der relativen Häufigkeit von Staphylococcus, Neisseriaceae, Corynebacterium, Anaerococcus und Lawsonella traten ebenfalls auf. war ein Rückgang der Alpha-Diversität nach der Behandlung.
Rupel et al. [59]	2019	Lasertherapie (445 nm)	15 (8 Behandlung, 7 Kontrolle)	Kurzfristig (Einzel Anwendung)	Keiner	Maus	Blaues Laserlicht verringerte Pseudomonas aeruginosa sowohl in vitro als auch in vivo. Dadurch wurde die Biofilmbildung gehemmt.
Guo et al. [45]	2022	ALA Photodynamische Therapie	26 (18 mit Akne, 8 ohne)	Langzeit (3 Wochen)	Akne	Menschlich	Nach der Behandlung kam es zu einer verringerten Alpha-Diversität. Es gab keine statistisch signifikanter Unterschied zwischen verschiedenen Gruppen beobachtet für C. acnes auf Gattungsebene. Es gab einen Anstieg der Fülle von Pseudomonas, Gordonia, Leptotrichia und Mycobacterium, wodurch sie auf ein gesundes Niveau zurückgeführt werden.
Yang et al. [46]	2021	ALA Photodynamische Therapie	5	Langfristig (2 Monate)	Akne	Menschlich	PDT hemmte C. acnes im follikulären Mikrobiom. Bacillus und Lactococcus nahm nach PDT zu. ALA-PDT erhöhte das Mikrobiom Vielfalt und machte das follikuläre Mikrobiom mehr wie das epidermales Mikrobiom taxonomisch und funktionell.
Tao et al. [47]	2021	ALA Photodynamische Therapie	11	Langzeit (6 Wochen)	Akne	Menschlich	Es gab einen deutlichen Rückgang der relativen Häufigkeit von C. acnes, während Pseudomonas fluorescens signifikant zunahm. Kein Effekt auf S. epidermidis wurde gefunden. Zusätzlich wurde ALA-PDT korreliert mit erhöhter Mikrobiota-Diversität und Verringerung der relativen Fülle funktioneller Gene im Zusammenhang mit dem Energiestoffwechsel und DNA Replikation.

NB-UVB = Schmalband-Ultraviolett-B; AD = atopische Dermatitis; NF = normale Haut vor der Bestrahlung; NB = normale Haut nach der Bestrahlung; DF = verletzte Haut vor der Bestrahlung; DB = verletzte Haut Haut nach Bestrahlung; ALA = 5-Aminolävulinsäure; PDT = Photodynamische Therapie; NLS = nicht-läsionale Haut.

3.2. Verschiedene dermatologische Verfahren beeinflussen das Mikrobiom der

Haut Studien zu anderen dermatologischen Eingriffen als der Phototherapie und ihren Auswirkungen auf des Hautmikrobioms waren in ihrem Umfang vergleichsweise begrenzt (Tabelle 2).

Chemische/physikalische Eingriffe:

Chemische Peelings werden in der Dermatologie eingesetzt, um das Erscheinungsbild der Haut zu verbessern. Dabei werden Erkrankungen wie Akne, Hyperpigmentierung und Alterserscheinungen mithilfe einer chemischen Lösung behandelt, die die Haut peelt und die Zellerneuerung fördert [62]. Häufig verwendete Wirkstoffe sind Alpha-Hydroxysäure (AHA), Beta-Hydroxysäure (BHA), Trichloressigsäure (TCA) und Phenol. Die von Shao et al. (30 % TCA) und Bhardwaj et al. (proprietäres synergistisches Peeling mit mehreren Säuren) verwendeten chemischen Peelings zeigten beide einen konstanten Rückgang bestimmter Bakterienpopulationen wie *Staphylococcus* und *Propionibacterium*, obwohl die Veränderungen der allgemeinen Mikrobiomdiversität variierten [63,64]. Kollagenmasken sollen die Haut mit Feuchtigkeit versorgen, die Elastizität verbessern und das Auftreten feiner Linien und Fältchen reduzieren, indem sie eine direkte Kollagenquelle zur Unterstützung der Hautstruktur und -festigkeit bieten. Bei längerer Anwendung können diese Masken die mikrobielle Diversität erhöhen, zeigen aber nur vernachlässigbare Unterschiede im Vergleich zu unbehandelter Haut, was auf einen begrenzten langfristigen Einfluss auf das mikrobielle Gleichgewicht schließen lässt [65]. Die einzige Studie zur Hochfrequenztherapie zeigte eine Reduktion der Bakterienarten und Dermatophyten (Tabelle 2), was auf das Potenzial der Hochfrequenztherapie zur gezielten mikrobiellen Modulation hinweist [66].

Eine einzelne Studie stellte fest, dass physikalische Behandlungen wie kosmetische Piercings das Mikrobiom verändern, indem sie *C. acnes* verringern und *Staphylococcus epidermidis* erhöhen, was insbesondere lokale Mikrobiomverschiebungen widerspiegelt [67]. Mikropigmentierung wird zur kosmetischen Verbesserung sowie für medizinische Zwecke verwendet, einschließlich der Tarnung von Narben und Vitiligo durch die präzise Ablagerung von Pigment in der Dermis der Haut. Eine Studie, in der die Auswirkungen der Mikropigmentierung speziell auf die Hornhaut beobachtet wurden, ergab keine signifikante Veränderung des okulären Mikrobioms, was auf minimale Auswirkungen auf mikrobielle Gemeinschaften in diesem spezifischen Kontext hindeutet [68]. Das Debridement verändert zwar nicht sofort das Wundmikrobiom, zeigt jedoch eine Verbindung zwischen bestimmten Bakteriengattungen und nicht heilenden Wunden, was den potenziellen Einfluss des Verfahrens auf chronische Wundergebnisse unterstreicht [69]. Zusammen veranschaulichen diese Studien die nuancierten Auswirkungen verschiedener dermatologischer Eingriffe auf die Zusammensetzung des Hautmikrobioms; Veränderungen der Mikrobiota scheinen verfahrensspezifisch zu sein.

Allerdings basieren diese Erkenntnisse auf begrenzten Forschungsergebnissen und es sind weitere Studien erforderlich, um unser Verständnis dieser Auswirkungen zu vertiefen.

Tabelle 2. Abgerufene Studien, die die Auswirkungen chemischer und physikalischer dermatologischer Verfahren auf das Hautmikrobiom beschreiben, mit Zusammenfassungen.

Autor	Jahr	Dermatologische Verfahren	Studiengröße (n)	Studiendauer	Zustand	Spezies	Ergebnisse
Shao et al. [63]	2023	Chemisches Peeling	28	Langfristig (2 Monate)	Akne	Menschlich	Die Anteile von Staphylococcus und Propionibacterium nahmen tendenziell ab.
Bhardwaj et al. [64]	2024	Chemisches Peeling	9	Kurzfristig (Einzel Anwendung, 20 min)	Hyperpigmentierung	Menschlich	Nicht signifikanter Anstieg des Shannon-Diversitätsindex, einer mathematischen Maß für die Artenvielfalt innerhalb einer Gemeinschaft [70]. Beta Die Vielfalt blieb konstant. Keine Veränderung in der Fülle von Staphylococcus epidermidis. Verringerung von Cutibacterium acnes. Verringertes Porphyrin.
Janssens-Böcker et al. [65]	2024	Maske	28	Langzeit (4 Wochen)	Keiner	Menschlich	Shannons Diversitätsindex stieg gegenüber dem Ausgangswert deutlich an, aber zeigte keinen Unterschied zu unbehandelten Flächen. Die Gattung Staphylococcus sowie S. epidermidis verringerten insbesondere signifikant im Laufe der Zeit, jedoch nicht im Vergleich zu unbehandelten Flächen. Nein signifikante Veränderungen wurden bei Corynebacterium, Pseudomonas, oder C. acnes zwischen den Zeitpunkten oder im Vergleich zu unbehandelten Bereichen.
Frommherz et al. [66]	2022	Elektrotherapie (HF-Therapie)	N / A	N / A	Akne	N / A	Rückgang der Bakterienarten, darunter Aerococcus viridans, Bacillus cereus, Aerococcus urinaeequi, Staphylococcus lugdunensis, Staphylococcus haemolyticus, Micrococcus yunnanensis, Mikroccoccus luteus und Mycobacterium-Arten. Dermatophyten nahmen ab in Koloniezahl nach HF-Behandlung, einschließlich Trichophyton benhamiae, Trichophyton rubrum, Trichophyton mentagrophyten, Trichophyton violaceum und Microsporum canis.
Xu et al. [67]	2023	Piercing	28	Langzeit (2 Wochen)	Keiner	Menschlich	Abnahme der relativen Häufigkeit von C. acnes und eine signifikante Anstieg der relativen Häufigkeit von S. epidermidis in der durchdringendes Mikrobiom.
Yilmaz et al. [68]	2023	Mikropigmentierung	125 (35 Hornhaut Tätowierungen, 40 Hornhaut Leukom, 50 gesund)	Unbekannt	Hornhautleukom	Menschlich	Kein signifikanter Unterschied zwischen natürlichen und tätowierten Augen.
Verbanic et al. [69]	2020	Debridement	20	Kurzfristig (gleich nach Debridement)	Chronische Wunde	Menschlich	Das scharfe Debridement veränderte das Wundmikrobiom nicht direkt im Vergleich zur ursprünglichen Wundoberfläche. Aerobier und fakultative Anaerobier, insbesondere die Gattung Enterobacter, waren signifikant mit Wunden verbunden, die nicht innerhalb 6 Monate.

HF = Hochfrequenz.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Dieser Bericht beleuchtet den Umfang der Forschung zu den Auswirkungen dermatologischer Verfahren auf das Mikrobiom der Haut. Die Ergebnisse unterstreichen die unterschiedlichen Auswirkungen verschiedener Eingriffe, wobei die Phototherapie am umfassendsten untersucht wurde. Nach der Behandlung zeigt die Phototherapie im Allgemeinen eine Zunahme der mikrobiellen Vielfalt. Während die meisten Eingriffe eine gewisse Wirkung zeigten, hatte die Phototherapie die ausgeprägteste Wirkung auf das Mikrobiom der Haut. Dies ist nicht überraschend, da Lichtbehandlungen Bakterien abtöten, indem sie DNA-Schäden verursachen [71,72], reaktive oxidative Spezies produzieren [73–75] und Zellmembranen schädigen [76,77]. Die Ergebnisse variieren jedoch, wobei einige Studien keine signifikanten Veränderungen berichten. Diese Diskrepanzen deuten darauf hin, dass die Auswirkungen der Phototherapie auf das Mikrobiom der Haut durch Faktoren wie die spezifischen Wellenlängen des verwendeten Lichts, die zu behandelnde Erkrankung und individuelle Patientenunterschiede beeinflusst werden können.

Es ist seit langem bekannt, dass die Ätiologie von Hauterkrankungen wie Psoriasis und Neurodermitis mit lokalen Entzündungsprozessen in den Hautläsionen der betroffenen Patienten zusammenhängt. Phototherapie ist eine Methode, die von Dermatologen zur Behandlung von Läsionen durch Modulation lokaler Entzündungen eingesetzt wird. Diese Annahme wird durch zahlreiche Studien untermauert, die die Wirksamkeit der Phototherapie bei der Linderung von Symptomen und der Verbesserung des Hautbildes belegen [78–80]. Dies stellt jedoch ein offensichtliches Dilemma dar. Während die Phototherapie diesen Patienten einen unmittelbaren Nutzen bringen kann, kann dies kurzfristige Vorteile möglicherweise zunichte machen, wenn die Phototherapie das Hautmikrobiom auf nachteilige Weise verändert.

Liu et al. (2021) stellten beispielsweise fest, dass bei Patienten, die sich einer Lichttherapie gegen Akne unterzogen, eine erhöhte Häufigkeit von Staphylococcus-Arten in den behandelten Hautzonen festgestellt wurde [48]. Dies impliziert das Potenzial einer Dysbiose nach der Behandlung, die ironischerweise mit atopischer Dermatitis in Verbindung gebracht wurde. Umgekehrt zeigten einige Studien, wie die von Hooper et al. (2022), dass die UV-Phototherapie bei Patienten mit kutanem Lymphom zu einer Verringerung der Staphylococcus-Arten führte, während Kwong et al. feststellten, dass die Behandlung zu einer erhöhten mikrobiellen Vielfalt führte [41,43]. Dies deutet darauf hin, dass die Lichttherapie das native Mikrobiom je nach Kontext und behandelten Erkrankungen entweder negativ verändern oder möglicherweise wiederherstellen könnte. Um die genauen Mechanismen aufzuklären, durch die die Phototherapie das Mikrobiom der Haut beeinflusst, und um festzustellen, ob und in welchem Ausmaß die Phototherapie tatsächlich eine Dysbiose hervorrufen kann, bedarf es weiterer Forschung.

Darüber hinaus können verschiedene Wellenlängen des Lichts bei der Phototherapie unterschiedliche Auswirkungen auf das Mikrobiom haben, sodass Studien zur Erforschung dieser Variablen erforderlich sind. Es ist auch allgemein bekannt, dass bestimmte Wellenlängen Bakterien auf unterschiedliche Weise beeinflussen, wobei UV- und blaue Wellenlängen im Allgemeinen als zerstörerischer gelten als rotes oder infrarotes Licht [73,81–84]. Interessanterweise deuten die von uns untersuchten Studien darauf hin, dass die UV-Lichttherapie insgesamt zu einer Zunahme der mikrobiellen Vielfalt und einer Abnahme pathogener Bakterien wie *S. aureus* führt, während die Lasertherapie, unabhängig von der Wellenlänge, bei allen getesteten Arten zu einer Verringerung der Bakteriendichte führt [40–44,49,51–54,58,59,61]. Die Gründe dafür sind unklar, könnten aber auf die der Lasertherapie innewohnende optische Verstärkung zurückzuführen sein. Lubart et al. fanden heraus, dass schwaches sichtbares Licht das Bakterienwachstum fördert, während hochintensives Licht Bakterien abtötet, was eine mögliche Erklärung liefert [73].

Unser Review zeigt, dass Studien zu dermatologischen Interventionen auf das Hautmikrobiom außer der Phototherapie vergleichsweise begrenzt waren und ihre Wirkung auf das Hautmikrobiom weniger klar ist. Die einzige Studie zum Piercing stellte einen signifikanten Effekt auf die relative Häufigkeit von *S. epidermidis* und *C. acnes* fest und die Autoren führen dies auf die Verschiebung hin zu einem feuchteren lokalen Milieu nach dem Piercing zurück [67]. Andere physikalische Behandlungen zeigten jedoch keine signifikante Veränderung. Besonders überraschend war das Debridement, da es eine Methode ist, ungesundes Gewebe, das oft pathogene Bakterien enthält, von der Haut zu entfernen [85]. Dies kann daran liegen, dass unser Einschlussprotokoll nur eine einzige Studie zu den Wirkungen dieser Behandlung ergab. Ebenso hatte bei den chemischen Interventionen nur das Salicylsäure-Peeling (SA) eine signifikante Wirkung auf das Hautmikrobiom, indem es das Übermaß an Staphylococcus- und Propionibacterium-Arten bei dysbiotischen Patienten verringerte [63]. Es wurde bereits gezeigt, dass SA *in vitro* hemmende und bakterizide Effekte auf *S. aureus* aufweist [86].

könnte darauf hindeuten, dass die mikrobiommodulierende Wirkung dieser chemischen Peelings auf den Wirkstoff (SA) und nicht auf das Peelingvehikel oder die physikalische Peelingwirkung während der Behandlung zurückzuführen ist. Dies unterstreicht die Notwendigkeit zukünftiger Studien, die untersuchen, wie physikalische und chemische Eingriffe möglicherweise zu Dysbiose und ihren langfristigen Auswirkungen auf die Haut der Patienten führen können. Beispielsweise können die verschiedenen chemischen Zusammensetzungen, die in Peelings verwendet werden, wie AHA, BHA, TCA und Phenol, das Mikrobiom unterschiedlich beeinflussen. Um die langfristigen Auswirkungen dieser Eingriffe zu verstehen, sind umfassende Folgestudien unerlässlich.

Mikrobielle Interaktionen spielen auch eine große Rolle in der Dynamik zwischen dem Hautmikrobiom und dermatologischen Eingriffen. Es wurde bereits gezeigt, dass *C. acnes* eine inverse Beziehung zu *S. epidermidis* aufweist [87,88]. Die Studien von Liu et al. und Xu et al. beobachteten eine Abnahme von *C. acnes* und eine Zunahme von *S. epidermidis* nach Lichttherapie bzw. Piercing [48,67]. Dies könnte ein Beispiel für eine antagonistische Beziehung sein, bei der die Abnahme von *C. acnes* durch den anfänglichen dermatologischen Eingriff verursacht wurde und die Zunahme von *S. epidermidis* gleichzeitig und sekundär zur verringerten *C. acnes*-Dichte auftrat.

Ein weiterer, umfassenderer Zusammenhang wurde in zwei UV-Phototherapie-Studien festgestellt, die eine inverse Beziehung zwischen mikrobieller Diversität und *S. aureus* zeigten [41,43]. Dies könnte darauf hindeuten, dass die UV-Phototherapie den *S. aureus*-Spiegel reduziert und so eine höhere Dichte von *S. aureus*-Konkurrenten ermöglicht. Insgesamt beeinflusst der Wettbewerb zwischen den Arten die Zusammensetzung des Hautmikrobioms nach der Behandlung.

Wir haben speziell Studien einbezogen, die sich auf dermatologische Eingriffe konzentrierten, die verfahrenstechnischer Natur waren und die aktuellen CPT®-Codes der AMA für Dermatologie als Ausgangspunkt verwendeten. Dies bot eine standardisierte Grundlage für die Ermittlung der einzubeziehenden Verfahren Interventionen, die ausschließlich aus topischen Salben oder Cremes bestehen, wurden verworfen, da sie in den Verfahrenscodes nicht definiert sind. Studien haben jedoch ergeben, dass insbesondere antibiotische/antiseptische Topika Veränderungen im Hautmikrobiom verursacht haben [89–91]. Ebenso spielen topische Steroide wie Tacrolimus eine Rolle bei der Modulation des Hautmikrobioms bei Patienten mit atopischer Dermatitis. Eine Studie ergab, dass Tacrolimus-Behandlungen zu einer Zunahme der Vielfalt des Hautmikrobioms führen, die der bei gesunden Personen entspricht [92]. Diese Studie war jedoch aufgrund ihrer geringen Stichprobengröße begrenzt. Weitere Studien sollten durchgeführt werden, um das gesamte Ausmaß der Auswirkungen topischer Cremes und Salben auf das Hautmikrobiom aufzuklären.

Von unseren anfänglichen 21 aus dem CPT®-Code abgeleiteten Kategorien waren nur Debridement, Tätowieren, Mikropigmentierung, Elektrochirurgie, Phototherapie, Laserchirurgie und chemisches Peeling vertreten, wobei Kollagenmasken zufällig gefunden wurden. Diese Lücke weist auf einen erheblichen Forschungsbedarf in einem breiteren Spektrum dermatologischer Verfahren hin. Insbesondere Verfahren wie die Kryotherapie, bei der die Temperatur der betroffenen Hautoberflächen drastisch verändert wird, könnten große Auswirkungen auf die lokale Mikrobiota haben. Weitere Bereiche potenzieller Forschung umfassen, sind jedoch nicht beschränkt auf, Dermabrasion, Hauttransplantationen, chemische Kauterisierung und Bestrahlung.

Das Potenzial dermatologischer Eingriffe zur gezielten Veränderung und Wiederherstellung eines gesunden Mikrobioms ist ein Bereich, der noch erforscht werden muss. Wenn sich zeigen lässt, dass bestimmte Verfahren ein ausgewogenes und vielfältiges Mikrobiom fördern, könnten sie nicht nur zur Behandlung von Hauterkrankungen eingesetzt werden, sondern auch zur Erhaltung oder Verbesserung der allgemeinen Hautgesundheit.

Dermatologische Eingriffe sind notwendige Maßnahmen zur Behandlung verschiedener Hauterkrankungen. Allerdings besteht ein dringender Bedarf, ihre langfristigen und kurzfristigen Auswirkungen auf das Hautmikrobiom zu untersuchen, insbesondere im Hinblick auf das Potenzial zur Entstehung einer Dysbiose. Es besteht eine große Wissenslücke hinsichtlich der Auswirkungen, die viele dermatologische Verfahren auf das Hautmikrobiom haben. Unsere Überprüfung unterstreicht die Komplexität der bekannten Zusammenhänge, wie die unterschiedlichen Reaktionen bei verschiedenen Eingriffen. Während einige Studien beispielsweise darauf hinweisen, dass bestimmte Behandlungen zu Veränderungen der mikrobiellen Vielfalt oder der Häufigkeit bestimmter Taxa führen können, deuten andere auf ein Potenzial für eine mikrobielle Wiederherstellung hin. Dies unterstreicht auch die Notwendigkeit weiterer Forschung zu vernachlässigten dermatologischen Verfahren wie Kryotherapie, Hauttransplantationen und Dermabrasion. Umfassende Folgeuntersuchungen darüber, ob dermatologische Verfahren das native Mikrobiom stören und Dysbiose auslösen, könnten die klinische Praxis verbessern und die Patientenergebnisse in der dermatologischen Versorgung optimieren.

5. Einschränkungen

Diese Überprüfung wurde nach der PRISMA-ScR-Methode durchgeführt; es wurde jedoch nur eine Datenbank, PubMed, verwendet. Darüber hinaus waren die aus den Studien extrahierten Daten, insbesondere die Ergebnisse, qualitativer und beschreibender Natur, und daher sind potenzielle Fehler bei einer umfassenden Extraktion möglich. Um Fehler zu vermeiden, wurden jedoch zwei Prüfer eingesetzt. Die zur Erfassung dermatologischer Verfahren verwendeten Suchbegriffe sind möglicherweise nicht umfassend, wurden jedoch an die dermatologischen CPT®-Codes der AMA angepasst, die den Goldstandard für die Definition medizinischer Verfahren darstellen.

Beiträge der Autoren: Konzeptualisierung, JRE und EJP; Methodik, JRE und EJP; Validierung, JRE, EJP und LMT; formale Analyse, JRE, EJP und LMT; Untersuchung, JRE und EJP; Ressourcen, JRE und EJP; Datenkuratierung, JRE und EJP; Schreiben – Vorbereitung des Originalentwurfs, JRE und EJP; Schreiben – Überprüfung und Bearbeitung, JRE, EJP, LMT, RLM, VG, AW und DS; Visualisierung, JRE, EJP und RLM; Überwachung, JRE und DS; Projektverwaltung, JRE und DS. Alle Autoren haben die veröffentlichte Version des Manuskripts gelesen und stimmen ihr zu.

Finanzierung: Diese Forschung erhielt keine externe Finanzierung.

Danksagungen: Wir danken Cedric Ward für seine moralische Unterstützung während des gesamten Projekts.

Interessenkonflikte: Die Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Verweise

- Kong, HH Hautmikrobiom: Genombasierte Einblicke in die Vielfalt und Rolle von Hautmikroben. *Trends Mol. Med.* **2011**, *17*, 320–328. [\[CrossRef\]](#)
- Ying, S.; Zeng, D.-N.; Chi, L.; Tan, Y.; Galzote, C.; Cardona, C.; Lax, S.; Gilbert, J.; Quan, Z.-X. Der Einfluss von Alter und Geschlecht auf hautassoziierte mikrobielle Gemeinschaften in städtischen und ländlichen Bevölkerungen. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0141842. [\[CrossRef\]](#)
- Dimitriu, PA; Iker, B.; Malik, K.; Leung, H.; Mohn, WW; Hillebrand, GG Neue Erkenntnisse über intrinsische und extrinsische Faktoren Die das Mikrobiom der menschlichen Haut formen. *mBio* **2019**, *10*, e00839-19. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Skowron, K.; Bauza-Kaszewska, J.; Kraszewska, Z.; Wiktorczyk-Kapischke, N.; Grudlewska-Buda, K.; Kwiecńska-Piróg, J.; Ważycka-Zacharska, E.; Radtke, L.; Gospodarek-Komkowska, E. Menschliches Hautmikrobiom: Einfluss intrinsischer und extrinsischer Faktoren auf die Hautmikrobiota. *Mikroorganismen* **2021**, *9*, 543. [\[CrossRef\]](#)
- Scharschmidt, TC; Fischbach, MA Was auf unserer Haut lebt: Ökologie, Genomik und therapeutische Möglichkeiten des Hautmikrobioms. *Drug Discov. Today Dis. Mech.* **2013**, *10*, e83–e89. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Kong, HH; Segre, JA Hautmikrobiom: Rückblick, um vorwärts zu kommen. *J. Investig. Dermatol.* **2012**, *132*, 933–939. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Vijaya Chandra, SH; Srinivas, R.; Dawson, TL; Häufig, JE Kutane Malassezia: Kommensal, Pathogen oder Beschützer? Vorderseite. *Zelle. Infizieren. Microbiol.* **2021**, *10*, 614446. [\[CrossRef\]](#)
- Schommer, NN; Gallo, RL Struktur und Funktion des menschlichen Hautmikrobioms. *Trends Microbiol.* **2013**, *21*, 660–668. [\[Querverweis\]](#)
- Foley, R.; Kelly, P.; Gatault, S.; Powell, F. Demodex: Ein Hautbewohner des Menschen und sein bester Freund. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* **2021**, *35*, 62–72. [\[CrossRef\]](#)
- Lee, H.-J.; Kim, M. Hautbarrierefunktion und das Mikrobiom. *Int. J. Mol. Sci.* **2022**, *23*, 13071. [\[CrossRef\]](#)
- Claesen, J.; Spagnolo, JB; Ramos, SF; Kurita, KL; Byrd, AL; Akse, AA; Melnik, AV; Wong, WR; Wang, S.; Hernandez, RD; et al. Ein Cutibacterium Acnes-Antibiotikum moduliert die Zusammensetzung der menschlichen Hautmikrobiota in Haarfollikeln. *Sci. Transl. Med.* **2020**, *12*, eaay5445. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Belkaid, Y.; Segre, JA Dialog zwischen Hautmikrobiota und Immunität. *Science* **2014**, *346*, 954–959. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Roesner, LM; Werfel, T.; Heratizadeh, A. Das adaptive Immunsystem bei atopischer Dermatitis und Auswirkungen auf die Therapie. *Expert Rev. Clin. Immunol.* **2016**, *12*, 787–796. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Toyoda, M.; Morohashi, M. Pathogenese von Akne. *Med. Electron Microsc.* **2001**, *34*, 29–40. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Zheng, Y.; Hunt, RL; Villaruz, AE; Fisher, EL; Liu, R.; Liu, Q.; Cheung, GYC; Li, M.; Otto, M. Commensal Staphylococcus Epidermidis trägt zur Homöostase der Hautbarriere bei, indem es schützende Ceramide erzeugt. *Cell Host Microbe* **2022**, *30*, 301–313.e9. [\[Querverweis\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Sultana, R.; McBain, AJ; O'Neill, CA Stammabhängige Verstärkung der Tight-Junction-Barrierefunktion in primären menschlichen epidermalen Keratinozyten durch Lactobacillus- und Bifidobacterium-Lysate. *Appl. Environ. Microbiol.* **2013**, *79*, 4887–4894. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Percival, SL; Emanuel, C.; Cutting, KF; Williams, DW Mikrobiologie der Haut und die Rolle von Biofilmen bei Infektionen. *Int. Wound J.* **2012**, *9*, 14–32. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

18. Swaney, MH; Nelsen, A.; Sandstrom, S.; Kalan, LR Schweiß- und Talgpräferenzen der menschlichen Hautmikrobiota. *Microbiol. Spectr.* **2023**, *11*, e04180-22. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Townsend, EC; Kalan, LR Das dynamische Gleichgewicht des Hautmikrobioms im Laufe des Lebens. *Biochem. Soc. Trans.* **2023**, *51*, 71–86. [\[CrossRef\]](#)
20. Youn, SH; Choi, CW; Choi, JW; Youn, SW Der pH-Wert der Hautoberfläche und sein unterschiedlicher Einfluss auf die Entwicklung von Akne-Läsionen Nach Geschlecht und Alter. *Skin Res. Technol.* **2013**, *19*, 131–136. [\[CrossRef\]](#)
21. Wang, Y.; Kuo, S.; Shu, M.; Yu, J.; Huang, S.; Dai, A.; Two, A.; Gallo, RL; Huang, C.-M. Staphylococcus Epidermidis im Mikrobiom der menschlichen Haut vermittelt Fermentation, um das Wachstum von Propionibacterium Acnes zu hemmen: Auswirkungen von Probiotika bei Akne Vulgaris. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2014**, *98*, 411–424. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
22. Nodake, Y.; Matsumoto, S.; Miura, R.; Honda, H.; Ishibashi, G.; Matsumoto, S.; Dekio, I.; Sakakibara, R. Pilotstudie zu einer neuartigen Hautpflegemethode durch Augmentation mit Staphylococcus epidermidis, einem autologen Hautmikroorganismus – eine verblindete randomisierte klinische Studie. *J. Dermatol. Sci.* **2015**, *79*, 119–126. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Andersson, T.; Ertürk Bergdahl, G.; Saleh, K.; Magnúsdóttir, H.; Stødkilde, K.; Andersen, CBF; Lundqvist, K.; Jensen, A.; Brüggemann, H.; Lood, R. Gewöhnliche Hautbakterien schützen ihren Wirt vor oxidativem Stress durch das abgesonderte Antioxidans RoxP. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 3596. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Callewaert, C.; Ravard Helffer, K.; Lebaron, P. Hautmikrobiom und sein Zusammenspiel mit der Umwelt. *Am. J. Clin. Dermatol.* **2020**, *21*, 4–11. [\[CrossRef\]](#)
25. Sanders, D.; Grunden, A.; Dunn, RR Eine Überprüfung der Bekleidungsmikrobiologie: Die Geschichte der Kleidung und die Rolle von Mikroben in Textilien. *Biol. Lett.* **2021**, *17*, 20200700. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Smythe, P.; Wilkinson, HN Das Hautmikrobiom: Aktuelle Lage und zukünftige Möglichkeiten. *Int. J. Mol. Sci.* **2023**, *24*, 3950. [\[Querverweis\]](#)
27. Park, J.; Schwardt, NH; Jo, J.-H.; Zhang, Z.; Pillai, V.; Phang, S.; Brady, SM; Portillo, JA; MacGibeny, MA; Liang, H.; et al. Veränderungen der Bakterien- und Pilzgemeinschaften der Haut gesunder Kinder in der Pubertät. *J. Investig. Dermatol.* **2022**, *142*, 212–219. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
28. Schneider, AM; Nolan, ZT; Banerjee, K.; Paine, AR; Cong, Z.; Gettle, SL; Longenecker, AL; Zhan, X.; Agak, GW; Nelson, AM Entwicklung des Gesichtshautmikrobioms während der Pubertät bei normaler und Aknehaut. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* **2023**, *37*, 166–175. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
29. Mazur, M.; Tomczak, H.; Lodyga, M.; Czajkowski, R.; Zaba, R.; Adamski, Z. Das Mikrobiom der menschlichen Haut und seine Variabilität bei Psoriasis und atopischer Dermatitis. *Adv. Dermatol. Allergol. Dermatol. Alergol.* **2021**, *38*, 205–209. [\[CrossRef\]](#)
30. Gardiner, M.; Vicaretti, M.; Sparks, J.; Bansal, S.; Bush, S.; Liu, M.; Darling, A.; Harry, E.; Burke, CM Eine Längsschnittstudie der Diabetisches Haut- und Wundmikrobiom. *PeerJ* **2017**, *5*, e3543. [\[CrossRef\]](#)
31. Reiss, Z.; Rob, F.; Kolar, M.; Schierova, D.; Kreisinger, J.; Jackova, Z.; Roubalova, R.; Coufal, S.; Mihula, M.; Thon, T.; et al. Die Signatur der Hautmikrobiota unterscheidet IBD-Patienten und spiegelt Hautnebenwirkungen während der Anti-TNF-Therapie wider. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* **2023**, *12*, 1064537. [\[CrossRef\]](#)
32. Arksey, H.; O'Malley, L. Scoping Studies: Auf dem Weg zu einem methodologischen Rahmen. *Int. J. Soc. Res. Methodol.* **2005**, *8*, 19–32. [\[Querverweis\]](#)
33. Levac, D.; Colquhoun, H.; O'Brien, KK Scoping Studies: Weiterentwicklung der Methodik. *Implement. Sci.* **2010**, *5*, 69. [\[CrossRef\]](#)
34. Powell, EJ; Ellis, JR Scoping Review Protocol: Veränderungen des Hautmikrobioms nach dermatologischen Eingriffen. 2024. Online verfügbar: <https://www.protocols.io/view/scoping-review-protocol-changes-in-skin-microbiome-261ge53owg47/v2> (abgerufen am 16. Mai 2024).
35. Tricco, AC; Lillie, E.; Zarin, W.; O'Brien, KK; Colquhoun, H.; Levac, D.; Moher, D.; Peters, MDJ; Horsley, T.; Weeks, L.; et al. PRISMA-Erweiterung für Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checkliste und Erklärung. *Ann. Intern. Med.* **2018**, *169*, 467–473. [\[Querverweis\]](#)
36. Turnbaugh, PJ; Ley, RE; Hamady, M.; Fraser-Liggett, CM; Knight, R.; Gordon, JI Das Human Microbiome Project. **2007**, *449*, 804–810. [\[CrossRef\]](#)
37. American Medical Association: CPT—Current Procedural Terminology. Online verfügbar: <https://www.ama-assn.org/amaone/cpt-aktuelle-verfahrensterminologie> (abgerufen am 17. Mai 2024).
38. Dol, J.; Tutelman, PR; Chambers, CT; Barwick, M.; Drake, EK; Parker, JA; Parker, R.; Benchimol, EI; George, RB; Witteman, HO Nutzung sozialer Medien durch Gesundheitsforscher: Scoping Review. *J. Med. Internet Res.* **2019**, *21*, e13687. [\[CrossRef\]](#)
39. Rathod, DG; Muneer, H.; Masood, S. Phototherapie. In *StatPearls*; StatPearls Publishing: Treasure Island, FL, USA, 2024.
40. Park, J.-Y.; Kim, S.-M.; Kim, J.-H. Wirksamkeit der Phototherapie mit 308-nm-Excimerlicht bei Hautmikrobiomdysbiose und Haut Barriervedysfunktion bei atopischer Dermatitis bei Hunden. *Front. Vet. Sci.* **2021**, *8*, 762961. [\[CrossRef\]](#)
41. Kwon, S.; Choi, JY; Shin, J.-W.; Huh, C.-H.; Park, K.-C.; Du, M.-H.; Yoon, S.; Na, J.-I. Veränderungen in der Haut mit und ohne Läsionen Mikrobiom während der Behandlung von atopischer Dermatitis. *Acta Derm. Venereol.* **2019**, *99*, 284–290. [\[CrossRef\]](#)
42. Lossius, AH; Sundnes, O.; Ingham, AC; Edslev, SM; Bjørnholt, JV; Lilje, B.; Bradley, M.; Asad, S.; Haraldsen, G.; Skytt- Andersen, P.; et al. Veränderungen in der Hautmikrobiota nach UVB-Behandlung bei atopischer Dermatitis bei Erwachsenen. *Dermatologie* **2022**, *238*, 109–120. [\[Querverweis\]](#)

43. Hooper, MJ; Enriquez, GL; Veon, FL; LeWitt, TM; Sweeney, D.; Green, SJ; Seed, PC; Choi, J.; Guitart, J.; Burns, MB; et al. Die Schmalband-Ultraviolett-B-Reaktion bei kutanem T-Zell-Lymphom ist durch eine erhöhte Bakterienvielfalt und einen Rückgang von *Staphylococcus aureus* und *Staphylococcus lugdunensis* gekennzeichnet. *Front. Immunol.* **2022**, *13*, 1022093. [\[CrossRef\]](#)
44. Yuan, X.; Wang, L.; Meng, D.; Wu, L.; Wang, X.; Zhang, D.; Luo, Z.; Pang, Y.; Liu, G. Der Einfluss von NB-UVB auf das Profiling der mikrobiellen Gemeinschaft in der Hautläsion von Vitiligo-Patienten. *Microb. Pathog.* **2020**, *140*, 103943. [\[CrossRef\]](#)
45. Guo, Y.; Zeng, M.; Yuan, Y.; Yuan, M.; Chen, Y.; Yu, H.; Liu, R.; Ruan, Z.; Xie, Q.; Jiao, X.; et al. Photodynamische Therapie behandelt Akne durch Veränderung der Zusammensetzung der Hautmikrobiota. *Skin Res. Technol.* **2022**, *29*, e13269. [\[CrossRef\]](#)
46. Yang, Y.; Tao, S.; Zeng, R.; Zheng, H.; Ge, Y. Modulation des Hautmikrobioms bei Aknepatienten durch Aminolävulinsäure – Photodynamische Therapie. *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* **2021**, *36*, 102556. [\[CrossRef\]](#)
47. Tao, S.; Wang, Z.; Quan, C.; Ge, Y.; Qian, Q. Die Auswirkungen von ALA-PDT auf die Mikrobiota in Talgdrüseneinheiten von Patienten mit schwerer Akne: Eine metagenomische Studie. *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* **2021**, *33*, 102050. [\[CrossRef\]](#)
48. Liu, J.; Liu, L.; Zhou, L.; Chen, L.; Chen, X.; Xiong, X.; Deng, Y. Die Wirkung von intensivem gepulstem Licht auf die Hautmikrobiota und Epidermale Barriere bei Patienten mit leichter bis mittelschwerer Akne vulgaris. *Lasers Surg. Med.* **2021**, *53*, 1348–1355. [\[CrossRef\]](#)
49. Muñoz Declara, S.; D'Alessandro, A.; Gori, A.; Cerasuolo, B.; Renzi, S.; Berlanda, M.; Zini, E.; Monici, M.; Cavalieri, D.; Zanna, G. Bewertung der Auswirkungen der Nahinfrarot-Mehrwellenlängen-Lasertherapie mit fest angeschlossenem System auf das Hautmikrobiom bei atopischen Hunden. *Animals* **2024**, *14*, 906. [\[CrossRef\]](#)
50. Juzeniene, A.; Moan, J. Positive Effekte von UV-Strahlung außer durch die Vitamin-D-Produktion. *Dermato-Endocrinology* **2012**, *4*, 109–117. [\[CrossRef\]](#)
51. Assarsson, M.; Duvertorp, A.; Dienus, O.; Söderman, J.; Seifert, O. Signifikante Veränderungen im Hautmikrobiom bei Patienten mit chronischer Plaque-Psoriasis nach der Behandlung mit Schmalband-Ultraviolett B. *Acta Derm. Venereol.* **2018**, *98*, 428–436. [\[CrossRef\]](#)
52. Dotterud, LK; Wilsgaard, T.; Vorland, LH; Falk, ES Die Wirkung von UVB-Strahlung auf die Hautmikrobiota bei Patienten mit atopischer Dermatitis und gesunde Kontrollpersonen. *Int. J. Circumpolar Health* **2008**, *67*, 254–260. [\[CrossRef\]](#)
53. Burns, EM; Ahmed, H.; Isedeh, PN; Kohli, I.; Van Der Pol, W.; Shaheen, A.; Muzaffar, AF; Al-Sadek, C.; Foy, TM; Abdel-gawwad, MS; et al. Ultraviolette Strahlung, sowohl UVA als auch UVB, beeinflusst die Zusammensetzung des Hautmikrobioms. *Exp. Dermatol.* **2019**, *28*, 136–141. [\[CrossRef\]](#)
54. Kurosaki, Y.; Tsurumachi, M.; Kamata, Y.; Tominaga, M.; Suga, Y.; Takamori, K. Auswirkungen einer 308 nm Excimer-Lichtbehandlung auf das Hautmikrobiom von Patienten mit atopischer Dermatitis. *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* **2020**, *36*, 185–191. [\[CrossRef\]](#)
55. Glass, GE Photobiomodulation: Eine Überprüfung der molekularen Beweise für Low-Level-Lichttherapie. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* **2021**, *74*, 1050–1060. [\[CrossRef\]](#)
56. Biener, G.; Masson-Meyers, DS; Bumah, VV; Hussey, G.; Stoneman, MR; Enwemeka, CS; Raicu, V. Blauer/violetter Laser inaktiviert Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* durch Veränderung seines Transmembranpotentials. *J. Photochem. Photobiol. B* **2017**, *170*, 118–124. [\[CrossRef\]](#)
57. Masson-Meyers, DS; Bumah, VV; Biener, G.; Raicu, V.; Enwemeka, CS Die relative antimikrobielle Wirkung von blauer 405 nm LED und blauem 405 nm Laser auf Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* in vitro. *Lasers Med. Sci.* **2015**, *30*, 2265–2271. [\[CrossRef\]](#)
58. Park, S.; Jang, H.; Seong, SH; Kim, JY; Lee, EJ; Bae, YJ; Ahn, YJ; Kim, J.; Oh, SH Die Auswirkungen der langgepulsten Alexandrit- Lasertherapie auf Gesichtsrötungen und die Zusammensetzung der Hautmikrobiota bei Rosazea: Eine prospektive, multizentrische, einarmige klinische Studie. *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* **2024**, *40*. [\[CrossRef\]](#)
59. Rupel, K.; Zupin, L.; Ottaviani, G.; Bertani, I.; Martinelli, V.; Porrelli, D.; Vodret, S.; Vuerich, R.; Passos da Silva, D.; Bussani, R.; et al. Blaues Laserlicht hemmt die Biofilmbildung in vitro und in vivo durch Induktion von oxidativem Stress. *npj Biofilms Microbiomes* **2019**, *5*, 29. [\[CrossRef\]](#)
60. Shi, L.; Liu, P.; Liu, J.; Yang, Y.; Chen, Q.; Zhang, Y.; Zhang, H.; Wang, X. Anwendung von 5-Aminolävulinsäure-photodynamische Therapie bei häufigen Hauterkrankungen. *Transl. Biophotonics* **2020**, *2*, e201900028. [\[CrossRef\]](#)
61. Wang, Y.; Zhu, W.; Shu, M.; Jiang, Y.; Gallo, RL; Liu, Y.-T.; Huang, C.-M. Die Reaktion menschlicher Haut-Kommensalbakterien als Reflexion von UV-Strahlung: UV-B verringert die Porphyrinproduktion. *PLoS ONE* **2012**, *7*, e47798. [\[CrossRef\]](#)
62. Poorian, B.; Keyhan, SO; Chavoshinejad, M. Chemisches Peeling. In *Integrierte Verfahren in der kosmetischen Gesichtschirurgie*; Keyhan, SO, Fattahi, T., Bagheri, SC, Bohluli, B., Amirzade-Irani, MH, Hrsg.; Springer International Publishing: Cham, Schweiz, 2021; S. 413–420. ISBN 978-3-030-46993-1.
63. Shao, X.; Chen, Y.; Zhang, L.; Zhang, Y.; Ariyawati, A.; Chen, T.; Chen, J.; Liu, L.; Pu, Y.; Li, Y.; et al. Wirkung eines 30%igen supramolekularen Salicylsäure-Peelings auf die Hautmikrobiota und Entzündungen bei Patienten mit mittelschwerer bis schwerer Akne vulgaris. *Dermatol. Ther.* **2023**, *13*, 155–168. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
64. Bhardwaj, V.; Handler, MZ; Mao, J.; Azadegan, C.; Panda, PK; Breunig, HG; Wenskus, I.; Diaz, I.; König, K. Eine neuartige synergistische Peeling-Technologie für den professionellen Einsatz zur Reduzierung sichtbarer Hyperpigmentierung im Gesicht: Klinische Beweise und mechanistisches Verständnis durch Computerbiologie und optische Biopsie. *Exp. Dermatol.* **2024**, *33*, e15069. [\[CrossRef\]](#)
65. Janssens-Böcker, C.; Wiesweg, K.; Doberenz, C. Native Collagen Sheet Mask verbessert die Gesundheit und das Aussehen der Haut: Eine umfassende klinische Bewertung. *J. Cosmet. Dermatol.* **2024**, *23*, 1685–1702. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
66. Frommherz, L.; Reinholz, M.; Gürtler, A.; Stadler, P.-C.; Kaemmerer, T.; French, L.; Clanner-Engelshofen, BM Wirkung von Hochfrequenzgeräten in vitro: vielversprechender Ansatz in der Behandlung von Akne vulgaris? *An. Bras. Dermatol.* **2022**, *97*, 729–734. [\[CrossRef\]](#)
67. Xu, CCY; Lemoine, J.; Albert, A.; Whirter, É.M.; Barrett, RDH-Gemeinschaftsversammlung des menschlichen Piercing-Mikrobioms. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **2023**, *290*, 20231174. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

68. Yilmaz, OF; Sarmys, A.; Mutlu, MA; Oguz, H. Beeinflusst eine Hornhauttätowierung die Bindehautmikrobiota? *Cutan. Ocul. Toxicol.* **2024**, *43*, 46–51. [\[CrossRef\]](#)
69. Verbanic, S.; Shen, Y.; Lee, J.; Deacon, JM; Chen, IA Mikrobielle Prädiktoren der Heilung und kurzfristige Wirkung des Debridements auf das Mikrobiom chronischer Wunden. *NPJ Biofilms Microbiomes* **2020**, *6*, 21. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
70. Shannon, CE Eine mathematische Theorie der Kommunikation. *Bell Syst. Tech. J.* **1948**, *27*, 379–423. [\[CrossRef\]](#)
71. Witkin, EM-Strahlung-induzierte Mutationen und ihre Reparatur. *Science* **1966**, *152*, 1345–1353. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
72. Epe, B.; Hegler, J.; Wild, D. Singulett-Sauerstoff als ultimativ reaktive Spezies bei durch *Salmonella Typhimurium* induzierten DNA-Schäden durch Methylenblau/sichtbares Licht. *Carcinogenesis* **1989**, *10*, 2019–2024. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
73. Lubart, R.; Lipovski, A.; Nitzan, Y.; Friedmann, H. Ein möglicher Mechanismus für die bakterizide Wirkung von sichtbarem Licht. *Lasertherm.* **2011**, *20*, 17–22. [\[CrossRef\]](#)
74. de Jager, TL; Cockrell, AE; Du Plessis, SS Durch ultraviolettes Licht induzierte Erzeugung reaktiver Sauerstoffspezies. *Adv. Exp. Med. Biol.* **2017**, *996*, 15–23. [\[CrossRef\]](#)
75. Lipovsky, A.; Nitzan, Y.; Gedanken, A.; Lubart, R. Durch sichtbares Licht induzierte Abtötung von Bakterien als Funktion der Wellenlänge: Bedeutung für die Wundheilung. *Lasers Surg. Med.* **2010**, *42*, 467–472. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
76. Hoenes, K.; Bauer, R.; Spellerberg, B.; Hessling, M. Mikrobielle Photoinaktivierung durch sichtbares Licht führt zu einem begrenzten Verlust von Membranintegrität. *Antibiotika* **2021**, *10*, 341. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
77. McKenzie, K.; Maclean, M.; Grant, MH; Ramakrishnan, P.; MacGregor, SJ; Anderson, JG Die Auswirkungen von 405 nm Licht auf die Integrität bakterieller Membranen, bestimmt durch Salz- und Gallentoleranztests, Leckage von UV-absorbierendem Material und SYTOX Green Labelling. *Microbiology* **2016**, *162*, 1680–1688. [\[CrossRef\]](#)
78. Wan, MT; Lin, JY Aktuelle Erkenntnisse und Anwendungen der photodynamischen Therapie in der Dermatologie. *Clin. Cosmet. Investig. Dermatol.* **2014**, *7*, 145–163. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
79. Wunsch, A.; Matuschka, K. Eine kontrollierte Studie zur Bestimmung der Wirksamkeit der Behandlung mit rotem und nahinfrarotem Licht in Bezug auf Patientenzufriedenheit, Reduzierung feiner Linien, Fältchen, Hautrauheit und Erhöhung der intradermalen Kollagendichte. *Photomed. Laser Surg.* **2014**, *32*, 93–100. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
80. Ablon, G. Phototherapie mit Leuchtdioden. *J. Clin. Aesthetic Dermatol.* **2018**, *11*, 21–27.
81. Kim, S.; Kim, J.; Lim, W.; Jeon, S.; Kim, O.; Koh, J.-T.; Kim, C.-S.; Choi, H.; Kim, O. Bakterizide Wirkungen in vitro durch Bestrahlung mit Leuchtdioden bei Wellenlängen von 625, 525 und 425 nm (rot, grün und blau). *Photomed. Laser Surg.* **2013**, *31*, 554–562. [\[CrossRef\]](#)
82. Enwemeka, CS; Baker, TL; Bumah, VV Die Rolle von UV- und blauem Licht bei der Foto-Eradikation von Mikroorganismen. *J. Photochem. Photobiol.* **2021**, *8*, 100064. [\[CrossRef\]](#)
83. Hadi, J.; Wu, S.; Brightwell, G. Antimikrobielles blaues Licht gegen pathogene Bakterien: Mechanismus, Anwendung in der Lebensmittelindustrie, Hürdentechnologien und potenzielle Resistenzen. *Foods* **2020**, *9*, 1895. [\[CrossRef\]](#)
84. Galo, IDC; Prado, RP; Santos, WGD Blaue und rote Licht-Photoemitter als Ansatz zur Hemmung von *Staphylococcus aureus* und Wachstum von *Pseudomonas aeruginosa*. *Braz. J. Biol.* **2021**, *82*, e231742. [\[CrossRef\]](#)
85. Mancini, S.; Cuomo, R.; Poggialini, M.; D'Aniello, C.; Botta, G. Autolytisches Debridement und Management der bakteriellen Belastung mit einem okklusiven hydroaktiven Deressing, imprägniert mit Polyhexamethylenbiguanid. *Acta Bio Medica Atenei Parm.* **2017**, *88*, 409–413. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
86. Song, X.; Li, R.; Zhang, Q.; He, S.; Wang, Y. Antibakterielle Wirkung und möglicher Mechanismus von Salicylsäure-Mikrokapseln gegen *Escherichia coli* und *Staphylococcus aureus*. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 12761. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
87. Christensen, GJM; Scholz, CFP; Enghild, J.; Rohde, H.; Kilian, M.; Thürmer, A.; Brzuszkiewicz, E.; Lomholt, HB; Brüggemann, H. Antagonismus zwischen *Staphylococcus Epidermidis* und *Propionibacterium Acnes* und seine genomische Basis. *BMC-Genom.* **2016**, *17*, 152. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
88. Francuzik, W.; Franke, K.; Schumann, RR; Heine, G.; Worm, M. *Propionibacterium Acnes* Abundance Correlates Inversely with *Staphylococcus aureus*: Data from Atopic Dermatitis Skin Microbiome. *Acta Derm. Venereol.* **2018**, *98*, 490–495. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
89. Fritz, SA; Wylie, TN; Gula, H.; Hogan, PG; Boyle, MG; Muenks, CE; Sullivan, ML; Burnham, C.-AD; Wylie, KM Längsdynamik bakterieller Hautgemeinschaften im Kontext der Dekolonisierung von *Staphylococcus aureus*. *Microbiol. Spectr.* **2022**, *10*, e02672-21. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
90. SanMiguel, AJ; Meisel, JS; Horwinski, J.; Zheng, Q.; Bradley, CW; Grice, EA Antiseptische Wirkstoffe verursachen kurzfristige, personalisierte und körperspezifische Veränderungen in den bakteriellen Gemeinschaften der Haut. *J. Investig. Dermatol.* **2018**, *138*, 2234–2243. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
91. SanMiguel, AJ; Meisel, JS; Horwinski, J.; Zheng, Q.; Grice, EA Topische antimikrobielle Behandlungen können Veränderungen der bakteriellen Gemeinschaften auf der Haut hervorrufen und die Kolonisierung durch Konkurrenten von *Staphylococcus aureus* verringern. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2017**, *61*, e00774-17. [\[CrossRef\]](#)
92. Wongpiyabovorn, J.; Soonthornchai, W.; Wilantho, A.; Palasuk, M.; Payungporn, S.; Sodsai, P.; Poomipak, W.; Weschawalit, S.; Ruchusatsawat, K.; Baillie, GS; et al. Wirkung von Tacrolimus auf das Hautmikrobiom bei atopischer Dermatitis. *Allergy* **2019**, *74*, 1400–1406. [\[Querverweis\]](#)

Haftungsausschluss/Anmerkung des Herausgebers: Die in allen Veröffentlichungen enthaltenen Aussagen, Meinungen und Daten sind ausschließlich die der einzelnen Autoren und Mitwirkenden und nicht die von MDPI und/oder den Herausgebern. MDPI und/oder die Herausgeber lehnen jegliche Verantwortung für Personen- oder Sachschäden ab, die aus den im Inhalt erwähnten Ideen, Methoden, Anweisungen oder Produkten resultieren.