

1. Einleitung

In jeder Gesellschaft werden die Praktiken, Methoden und Heilmittel der Medizin durch kulturelle Einflüsse aus Werten und Traditionen geprägt (Landy 1977). Entsprechend den gesellschaftlichen Bedürfnissen und Strömungen kristallisieren sich auch in der Forschung immer wieder neue Schwerpunkte heraus. Zunehmende Unzufriedenheit und kritische Auseinandersetzung mit iatrogen verursachten Schädigungen des Patienten durch diagnostische und therapeutische Massnahmen führte zu neuen Ansätzen in der modernen Medizin (Greifeld 1995).

In diesem Kontext sind auch lichttherapeutische Verfahren zu nennen, die in den letzten Jahren zunehmend ins öffentliche und wissenschaftliche Interesse gerückt sind. Dabei sind sicherlich neben vielfältigsten Ursachen folgende relevant: Zunahme der Medienberichte über alternative Heilverfahren sowie die Vermittlung medizinethnologischer Aspekte; Extrem hohe Erwartungshaltung bezüglich forschungsorientierter Medizin bzw. Evidence Based Medicine (EBM); Entwicklung neuer therapeutischer Ansätze; steigender Kostendruck auf die Gesundheitssysteme; und nicht zuletzt die seit Jahrtausenden anhaltende Faszination an dem Phänomen Licht.

Licht in seinen physischen, metaphysisch-religiösen Erscheinungsformen sowie seine therapeutischen Anwendungen haben in allen Weltkulturen, angefangen von den Ethnien der Naturvölker bis zu den Industriegesellschaften, kreative Darstellungs- und Erklärungsmuster geschaffen. Der dadurch entstandene Vertrautheitsgrad schafft einen leichteren Zugang zu diesem therapeutischen Medium in nahezu allen Bevölkerungsschichten und gehört, unter anderem mit der Forderung nach soziokultureller Angemessenheit, zu den Grundprinzipien der WHO (WHO 1978).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Auswirkungen optischer Strahlung auf den menschlichen Organismus. Betroffen ist speziell die Haut, die als äussere Bedeckung der Körperoberfläche entscheidender Entstehungsort für zahlreiche Wechselwirkungen mit dem Licht ist. Ihre Aufgaben sind nicht nur eine Schutzfunktion gegen mechanische Reize, Austrocknung, Temperaturunterschiede, Infektionserreger und elektromagnetische Strahlung (Kligman 1964). Die Haut dient auch der Reizaufnahme, dem Stoffaustausch und als Ort für zahlreiche Syntheseschritte. Ein Beispiel unter vielen ist die lichtinduzierte Vitamin D Synthese.

Die optische Strahlung erreicht beim Eindringen in die einzelnen Hautschichten Empfangsorgane für zahlreiche Sinnesempfindungen. Sie ermöglichen eine Kommunikation mit der Umwelt und können Reize, um nur einige zu nennen, wie Temperatur-, Schmerz-, Druck- und Vibrationsempfindungen aufnehmen. Neben der passiven Reizaufnahme kann die Haut, z. B. mit den enthaltenen ca. 3 Millionen ekkrinen Schweißdrüsen, von denen sich ca. 29 % auf die unteren Extremitäten verteilen (Stüttgen 1965), zusätzlich aktiv auf ihre Umwelt reagieren. Beispiele sind temperaturabhängige Schwankungen der Hautwasserabgabe, aber auch eine durch Sonnenstrahlung induzierte Bildung von Hautpigmenten durch Melanozyten.

Das emittierte Spektrum elektromagnetischer Strahlung wird von der Haut unterschiedlich absorbiert und reflektiert. Von möglichen Auswirkungen sind heutzutage bereits einige positive und negative Eigenschaften bekannt. Sonnenlicht wird in Verbindung mit biochemischen Prozessen, wie z.B. der bereits erwähnten Synthese von Vitamin D, aber auch mit der Entstehung von malignen Hauterkrankungen gebracht. Auch auf emotionaler Basis können Auswirkungen von Licht nachgewiesen werden, wie z.B. der im Volksmund unter „Winterdepression“ bekannten Seasonal Affective Disorder (SAD). Eine Studie in den USA ergab bei Personen, die seit mindestens 3 Jahren in Alaska leben und unter SAD leiden, mit einer Prevalence von 9,2 % einen der höchsten je beobachteten Werte (Booker und Hellekson 1992) dieser sonnenlichtabhängigen Störung.

Die ersten experimentellen Untersuchungen über einen möglichen therapeutischen Nutzen des Lichtes wurden in Europa erst Ende des 19. Jahrhunderts durchgeführt. Eine zunächst ausbleibende Intensivierung dieser Untersuchungen hängt möglicherweise mit den Entwicklungen der modernen Medizin zusammen. Die Entwicklung spezifischer Therapieformen, wie z.B. die pharmakologische Therapie der Tuberkulose, drängten unspezifische Methoden, wie die Lichttherapie, in den Hintergrund (Tronnier 1972). Der Rückgang der Lichtmangelerscheinung Rachitis könnte ebenfalls dazu beigetragen haben.

Gegen Ende des 20. Jahrhunderts kam es zu einer erneuten intensivierten Forschung bezüglich möglicher therapeutischer Nutzung von elektromagnetischer Strahlung. Gründe hierfür sind nicht nur verbesserte Heilungschancen gegenüber bisherigen Therapien, sondern auch das kostengünstigere Verfahren. In der Plastischen Chirurgie am Universitätskrankenhaus Gent (Belgien) wird die VIP-Lichttherapie (VIP = Visible and Infrared Polarised) für tiefe dermale Wunden bereits

als Therapie der Wahl eingesetzt, wodurch Liegezeiten um 1-2 Tage verkürzt werden können (Monstrey et al. 2002). Mittels einem mobilen Handgerät ist es sogar möglich, die Therapie kostengünstig privat fortzusetzen.

1.1. Problemstellung

Licht ist ein lebenswichtiges Medium, ohne das ein biologisches Leben in der uns bekannten Form nur bedingt möglich wäre. Die unterschiedlichen Eigenschaften und Qualitäten der einzelnen Spektren sind noch nicht umfassend erforscht. Auch wenn es bereits Erkenntnisse über die physikalische Lichtabsorption gibt, so ist der biologische Absorptionsort weitgehend unbekannt (Tronnier 1972). Die bisher untersuchten Wirkungen der verschiedenen Anwendungsverfahren in der Lichttherapie sind wegen ihrer Komplexität teils umstritten und nicht vollständig geklärt. Im Zentrum der Problemstellung steht jedoch der Betroffene von Hautkrankheiten, da sie für den Patienten nicht nur besonders schmerzhaft, sondern auch eine psychologisch-emotionale Komponente bergen können (z.B. wenn die betroffenen Hautareale für andere Mitmenschen sichtbar sind und zu Entstellungen führen).

Der therapeutische Nutzen einer Behandlung mit elektromagnetischen Wellen wird vor allem in der Dermatologie eingesetzt. Zahlreiche Hauterkrankungen werden mit einem unterschiedlichen, für die jeweilige Erkrankung spezifischen Spektrum bestrahlt bzw. therapiert. Eine einfache und kostengünstige Anwendung, die nachweislich positive Resultate hervorbringt, machte die Lichttherapie populär. Mittels intensiver Forschung war es mit der Zeit möglich, den unterschiedlichen Bereichen der optischen Strahlung spezifische Eigenschaften zuzuordnen. Wirkungen beschränkten sich dabei nicht nur auf die Hautoberfläche und die unmittelbar benachbarten Hautschichten. Zusätzlich konnten Wechselwirkungen mit zellulären Bestandteilen des in oberflächlichen Hautgefäßen zirkulierenden Blutes nachgewiesen werden. Unter anderem können z.B. UV-B-Strahlen Fieber und Leukozytose induzieren, sowie die hepatische Proteinsynthese beeinflussen (Ramadori 1992). Dies könnte bedeuten, dass in der Haut entstandene Botenstoffe an verschiedenen Organen Veränderungen hervorrufen können. Im Zuge des technischen Fortschritts wurden Lichtquellen entwickelt, die sowohl einzelne

Therapeutische Anwendung von Licht

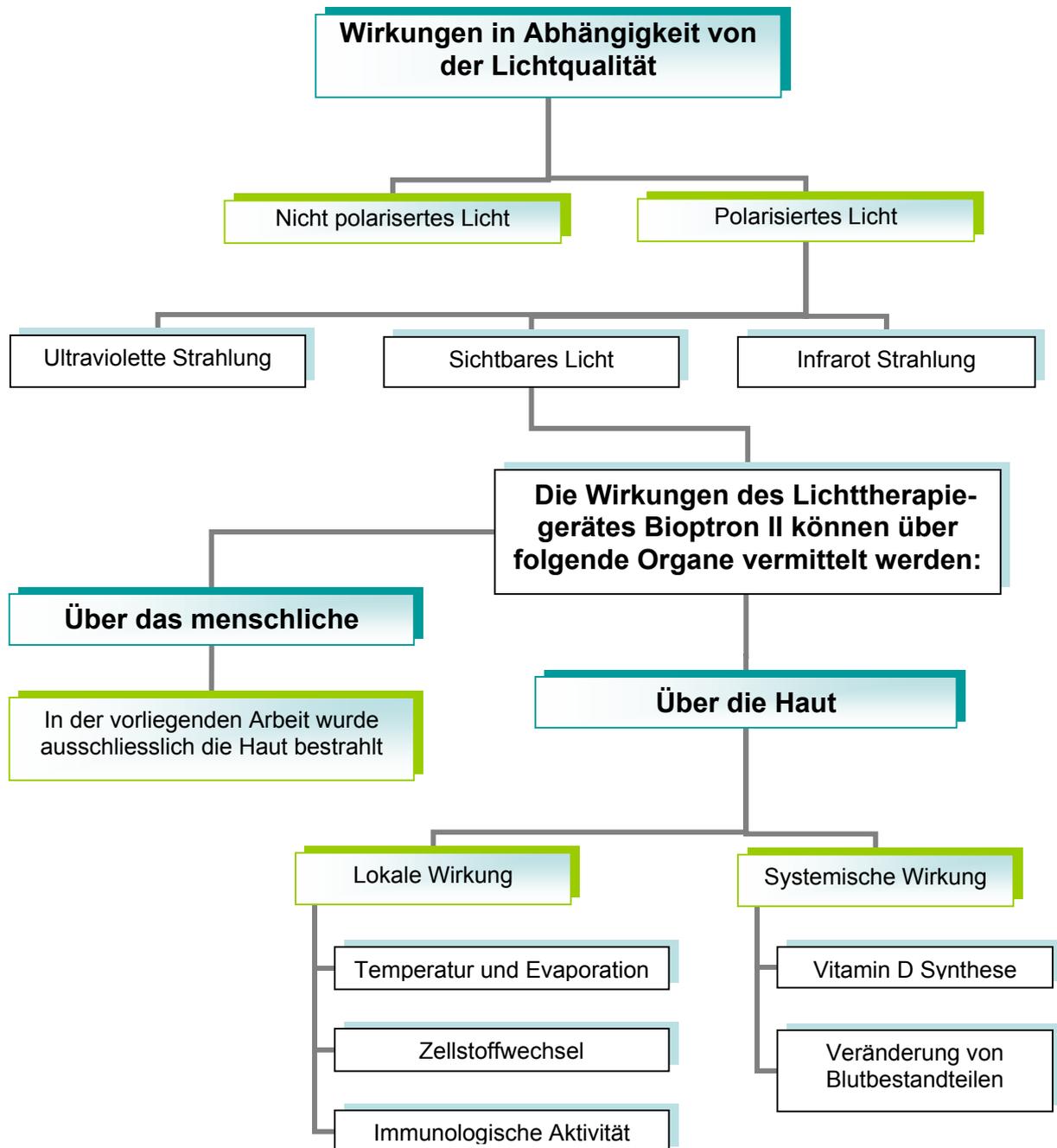


Abbildung 1: Das Flussdiagramm zeigt graphisch die Annäherung an das Thema „Lichttherapie“ unter Berücksichtigung zentraler Fragestellungen, die in der vorliegenden Arbeit mit dem Lichttherapiegerät Bioptron II untersucht wurden.

Teilbereiche als auch nahezu das gesamte Spektrum des Sonnenlichts emittieren können. Für die verschiedenen Hautkrankheiten wurden die unterschiedlichsten Lichttherapie-Formen entwickelt. Ein gewünschter schneller Behandlungserfolg konnte jedoch nicht immer erzielt werden. Dies trifft besonders auf entzündliche Hauterkrankungen, wie der Psoriasis, zu.

Bevor der Nutzen der Lichttherapie im allgemeinen und der in dieser Arbeit untersuchten VIP-Lichttherapie im speziellen diskutiert wird, sollten eventuell vorhandene Erwartungshaltungen gedämpft werden, da es sich um eine weitestgehend unspezifische systemische Behandlungsform handelt. Die Anwendung, unabhängig in welcher Form, kann ein Leiden nicht unmittelbar heilen und grösstenteils eine pharmakologische Therapie auch nicht ersetzen. Durch Biostimulation der Zellen wäre jedoch eine Aktivierung körpereigener Regenerations-Prozesse denkbar, wobei die therapeutischen Erfolge zum Teil erst lange nach der Lichtexposition auftreten und sich so der Aufmerksamkeit des Untersuchers entziehen können. Es handelt sich bei der VIP-Lichttherapie daher um eine begleitende Therapie, die Heilungschancen verbessern und beschleunigen kann.

In der hier vorliegenden Arbeit sind die Auswirkungen von inkohärentem linear emittiertem polarisiertem Licht des Lichttherapiegerätes Bioptron II (ausführliche Beschreibung im Methodenteil) untersucht worden (Abbildung 1, Seite 4). Ergänzend zu bisherigen Experimenten lag der Schwerpunkt der Untersuchungen bei den Gesamtwirkungen von somatisch physiologisch nachweisbaren Veränderungen in der Haut in vivo. Inhaltlich wurden folgende Veränderungen untersucht:

1. Auswirkungen zeitlich unterschiedlicher Bestrahlungsintervalle
2. Reizantwort und Verhaltensmuster des Organismus auf die Bestrahlung
3. Abhängigkeiten zwischen Hauttemperatur, Hautwasserabgabe und Hautbeschaffenheit
4. Physiologische Reaktionen aufgrund postulierter photoimmunologischer Vorgänge

Zentraler Gegenstand der Fragestellungen ist der Wasserhaushalt der Haut mit seinen Wirkungspotentialen. Klinisch relevant ist dabei der Betrag der Perspiratio Insensibilis Cornealis (PIC), welcher ein guter Parameter für den Zustand der Wasserbarriere des Stratum corneum ist. Demnach können Hauterkrankungen

charakteristische Veränderungen der Hautwasserabgabe verursachen (Nilsson 1977 May, Tupker et al. 1989). Zusätzlich handelt es sich dabei um einen besonders sensiblen physiologischen Parameter; der bereits auf minimale körperliche und klimatische Veränderungen reagiert.

Die grosse Variabilität und Sensibilität der Hautwasserabgabe kan jedoch nur mit besonders empfindlichen Messgeräten ausreichend erfasst werden, was lange Zeit aufgrund unzureichender apparativer Ausstattung nicht möglich war. Erst mit der Entwicklung von Techniken, die die Hautwasserabgabe durch spezifische Veränderungen des Dampfdruckgradienten über der Haut ermitteln, wurden genaue Messungen der Wasserabgabe über kleinen Hautarealen möglich.

Anhand der Veränderungen von Hautwasserabgabe und Hauttemperatur wurde der Einfluss der Bestrahlungen bewertet. Dies sollte einen Vergleich von Messreihen ermöglichen, in denen Applikationsdauer sowie Bestrahlungsform variiert wurden. Insbesondere sollte ein Vergleich der Ergebnisse, die auf eine photoimmunologische Reaktion durch die VIP-Lichttherapie hindeuten, mit einer Placebo-Gruppe ermöglicht werden. Bevor jedoch näher auf die Methode und Ergebnisse eingegangen wird sollen noch einige Anmerkungen zum Stand der Forschung in der Lichttherapie dargestellt werden (Seite 7).

1.2. Stand der Forschung

1.2.1. Die Lichttherapie

Das für das menschliche Auge sichtbare Spektrum elektromagnetischer Wellen wird im allgemeinen Sprachgebrauch als Licht bezeichnet. Nach den Festlegungen des Comité Internationale d'Écléragé (CIE) ist dies aber nur ein Teil des gesamten Lichtspektrums.

In der Lichttherapie, eines der grossen Teilgebiete in der Physikalischen Medizin, können die Bestrahlungen mit natürlichem und künstlichem Licht durchgeführt werden. Biophysikalisch wirkt jedoch nicht nur das vom menschlichen Auge wahrgenommene, sondern auch das unsichtbare elektromagnetische Wellenspektrum. Die dem sichtbaren Licht benachbarten UV- und IR-Strahlen können selektiv oder im Verband des optischen Spektrums ihre biologischen Wirkungen entfalten. Das Spektrum wird aufgrund seiner Eigenschaften in unterschiedliche Wellenbereiche zerlegt (Wiedemann 1987):

1. UV-C	=	100 nm	– 280 nm
2. UV-B	=	280 nm	– 315 nm
3. UV-A	=	315 nm	– 380 nm
4. Sichtbares Licht	=	380 nm	– 780 nm
5. IR-A	=	780 nm	– 1400 nm
6. IR-B	=	1400 nm	– 3000 nm
7. IR-C	=	3000 nm	– 10 ⁶ nm (1 mm)

Die physikalische Lichtabsorption ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Die Lichtempfindlichkeit nimmt bis zur Pubertät zu, ist bis zum 50. Lebensjahr gleichbleibend und nimmt anschliessend wieder ab. Sie unterliegt weiterhin tages- und jahreszeitlichen Schwankungen, ist abhängig von der Intensität (höhere UV-Dosis z.B. im Hochgebirge oder in Äquatornähe) sowie körperlichen und hormonellen Einflüssen. Nicht nur Hautfarbe, sondern auch die unterschiedlichen Lichtempfindlichkeiten der verschiedenen Körperregionen sind von Bedeutung. Ein in den 30er Jahren entwickeltes Dosierungsschema zur Behandlung der Knochentuberkulose im Hochgebirge berücksichtigte bereits, dass Füsse und

Unterschenkel einer längeren Lichtgewöhnung bedürfen als Beispielsweise der Oberkörper (Rollier 1938). In aktuellen Untersuchungen werden die Unterschiede im Bezug auf die Lichtempfindlichkeit vor allem mit Dicke und Zusammensetzung der Hornschicht (Stratum Corneum) erklärt (Wiedemann 1987).

In die Haut eindringendes UV-Licht wird bis zu einer Wellenlänge von 300 nm fast vollständig vom Melanin, den Hautpigmenten der Basalschicht, absorbiert. Ein optisches Fenster liegt zwischen 600 und 1300 nm (Anderson und Parrish 1981) mit einem Durchlässigkeitsmaximum bei ca. 780 nm. Oberhalb von 1400 nm kann das IR-Licht die Hornschicht (Stratum corneum) nicht mehr durchdringen (Wiedemann 1987). Die Eindringtiefe der Strahlung hingegen steigt mit zunehmender Wellenlänge stetig auf bis zu 1 cm bei 1400 nm an. Ursachen für die unterschiedliche Eindringtiefe in die Haut sind die Wechselwirkungen der Strahlung mit den einzelnen Hautschichten in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge. So wird z. B. kurzwellige Strahlung stärker gebrochen als langwellige Strahlung und kann trotz höherer Energie nicht so tief in die Haut eindringen.

Basierend auf der Tatsache, dass Haut ein inhomogenes Medium ist, kommt es neben dem Übergang Luft-Haut innerhalb der einzelnen Hautschichten zu weiteren Lichtbrechungen. Aus optischer Sicht kann die Haut aufgrund ihrer Eigenschaften in vier Schichten unterteilt werden:

1. Hornschicht (Stratum corneum)
2. Stachelzellschicht (Stratum spinosum)
3. Lederhaut (Dermis)
4. Unterhaut (Subkutis).

Die auftreffende Strahlung führt zur Reflexion, deren Ausmass von der Brechzahl beider Medien, dem Einfallswinkel und der Polarisationsorientierung der Strahlung abhängt (van Gemert et al. 1989). Der mittlere Wert beträgt ca. 5 % (Anderson und Parrish 1982). Die Totalreflexion unter sehr flachem Winkel hat für Strahlungsfluss bzw. -ausbreitung im Stratum corneum mehr Bedeutung als die übrigen Reflexionen. Wegen der zellulären bzw. der subzellulären inhomogenen Struktur des Gewebes mit seinen komplexen Gefässüberlagerungen kommt es zu starken Lichtstreuungen und Remissionen (Rückstreuung). Das annähernde Streuungschaos führt bereits in der Epidermis zu isotroper bzw. idealdiffuser Streuung.

Die Absorption elektromagnetischer Strahlung erfolgt in der menschlichen Haut auf molekularer Ebene. Folglich kann ein Molekül durch Absorption eines Photons in einen „angeregten“ Zustand höherer Energie überführt werden. Dieser Zustand wird aber nur dann erreicht, wenn die Quantenenergie des Photons der Energiedifferenz zwischen beiden Molekülzuständen entspricht (Kochevar 1992). Die Schwelle für die Energiedifferenz liegt bei ca. 400 nm, da erst die Bereiche zwischen dem sichtbaren Licht und der UV-Strahlung die Elektronenverteilung verändern. Infrarotstrahlung hingegen verstärkt die Schwingung der Atomkerne gegeneinander und führt so zu einem Temperaturanstieg (Kochevar et al. 1987). Es gilt also: Je grösser die Wellenlänge, desto mehr wird von der absorbierten Energie in Wärme umgewandelt. Die dabei entstehende Temperaturerhöhung im Gewebe kann zwar ablaufende physiologische Prozesse beschleunigen, bewirkt aber keine photochemischen oder photobiologischen Wechselwirkungen (Anderson und Parrish 1982).

Wechselwirkungen zwischen optischer Strahlung und lebender Materie

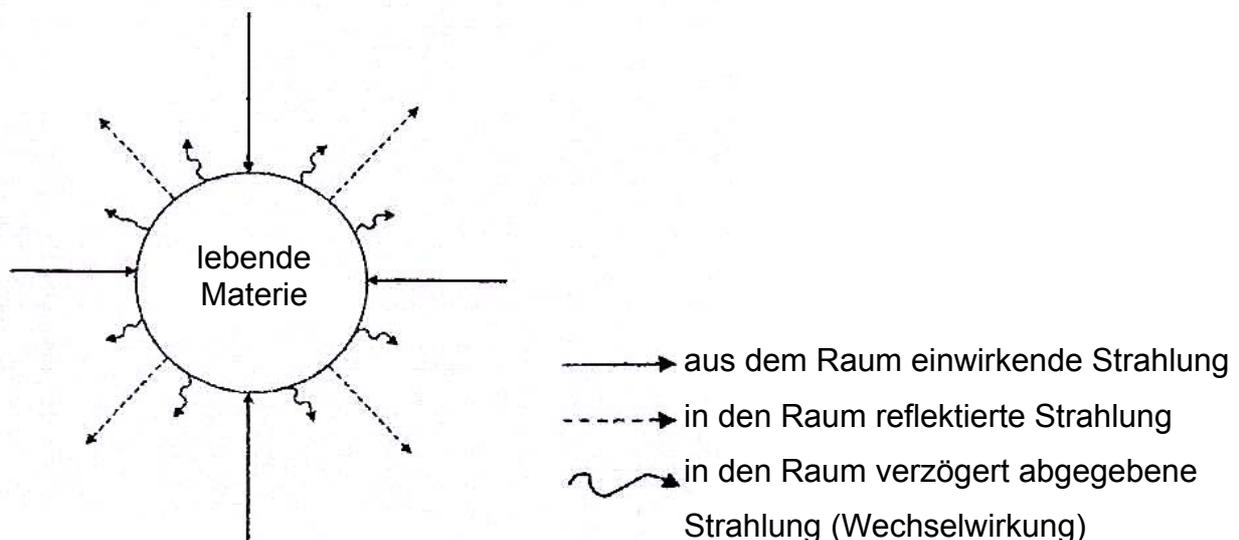


Abbildung 2: Die stark vereinfachte Darstellung demonstriert den Sachverhalt der untersuchten Absorptions- und Transmissionseigenschaften optischer Strahlung von Blut und seinen Bestandteilen. (Riemann et al. 1983)

Nach der Absorption eines Photons geht das Molekül in einen angeregten Zustand über, den es nach einigen Piko- bis Nanosekunden durch Abgabe der Anregungsenergie wieder verlässt (Spikes 1982). Bei der Abgabe wird diese häufig in Schwingungsenergie bzw. in Wärme umgewandelt (interne Konversion); die Energie kann aber auch wieder als optische Strahlung abgegeben werden (Fluoreszenz), was vor allem bei kleineren Molekülen beobachtet wird (West 1982). Auch beim Fluoreszenzlicht wird ein Teil der Quantenenergie in Wärme umgewandelt, so dass die Wellenlänge um mehrere Nanometer grösser ist als das absorbierte Anregungslicht. In den meisten Fällen entstehen allerdings durch die Absorption einer „Mindestanregungsenergie“ chemische Photoprodukte. Dabei gehen die Moleküle durch Veränderung des Spin in einen sog. Triplettzustand über („intersystem crossing“). Dieser, einige Mikrosekunden anhaltende, Zustand bewirkt z.B. die Entstehung von Sauerstoff-Radikalen (Singulett-Sauerstoff) oder im Bereich der DNS die Bildung von Thymin-Dimeren (Ananthaswamy und Pierceall 1990).

Neben Licht mit einer Wellenlänge von ca. 400 nm ist auch Infrarot-Licht bei 820 nm in der Lage, chemische Prozesse zu induzieren. Karu et al. (2001) stellte in seinen Experimenten fest, dass es durch die Bestrahlung zu einer vermehrten Anbindungsfähigkeit von Zellen an extrazelluläre Matrizen, wie z.B. Glas führte und begründete dies mit einer Veränderung der Plasmamembran. Ausserdem wurden über Enzyme monovalente Ionenfluxe durch die Zellmembran moduliert (Karu et al. 2001)

1.2.2. Therapeutisches Spektrum

Die therapeutische Breite umfasst mittlerweile mit infraroter, sichtbarer und ultravioletter Strahlung nahezu das gesamte Spektrum der optischen Strahlung in einem Bereich von mehr als 20 Dekaden (siehe Tabelle 1, Seite 11). In der Lichttherapie wird entweder ein umfassendes, dem Sonnenlicht nachempfundenen Spektrum (Heliotherapie) oder nur ein spezifischer Teilbereich eingesetzt. Eine anschließende Zusammenfassung soll Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten anhand der wichtigsten Anwendungsgebiete kurz skizzieren:

Prozentuales Verhältnis von resorbierter Strahlung zur Eindringtiefe

Art der Strahlung	Wellenlänge	Epidermis	Kutis	Subkutis
UV-B	280 – 315 nm	20%	10%	-
UV-A	315 – 380 nm	55%	40%	1%
Sichtbares Licht	380 – 780 nm	80%	70%	5%
IR-A	780 – 1400 nm	70%	60%	15%

Tabelle 1: Die Tabelle zeigt das prozentuale Verhältnis von Eindringtiefe und Absorption einzelner elektromagnetischer Wellenlängen in Abhängigkeit von der jeweiligen Hautschicht (Raab 1990).

Die ersten therapeutischen Ansätze umfassten das gesamte Lichtspektrum (Sonnenstrahlung) aufgrund fehlender technischer Möglichkeiten, Teilbereiche herauszufiltern. Im Zuge des technischen Fortschritts wurde es möglich nur einige Teilbereiche der Strahlung zu verwenden. Die folgende Darstellung der untersuchten Wellenlängen wird allerdings auf das sichtbare Licht und Teile der Infrarotstrahlung (400 und 2000 nm) beschränkt, die auch von der hier untersuchten Lichtquelle emittiert werden.

Ein neuer Ansatz in der Lichttherapie ist die Verwendung von inkohärentem linear polarisiertem Licht, das aufgrund der Polarisierung und damit verbundener höherer Energie tiefer in die Hautschichten eindringen kann. Die Forschung konzentrierte

sich zunächst auf Wirkungen einzelner Wellenlängen. Auch hier wird ebenfalls nur der Bereich zwischen 400 und 2000 nm dargestellt. In den letzten Jahren sind zudem auch experimentelle Untersuchungen mit dem in dieser Arbeit verwendeten Lichttherapiegerät Bioptron II gemacht worden. Der Unterschied liegt hierbei im Zusammenwirken von Infrarotstrahlung, sichtbarem Licht und der zusätzlichen Polarisation des Lichts. Die Qualitäten der unterschiedlichen Wellenlängen können sich, im Gegensatz zu fraktionierten Bestrahlungen einzelner Wellenlängen, gegenseitig ergänzen.

1.2.2.1. Therapeutische Ansätze im Lichtspektrum zwischen 400 und 2000 nm

Gesamtes Lichtspektrum

Anfang des 20. Jahrhunderts gelang es der Wissenschaft, genauere Erkenntnisse über Eigenschaften und Effekte des Lichtes zu erlangen. Am pharmakologischen Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München entdeckte O. Raab im Wintersemester 1897/98 im Rahmen seiner Dissertation (1900) photodynamische Effekte für mögliche therapeutische Verwendungen. Für weitere Untersuchungen über mögliche Erfolge der Lichttherapie und deren therapeutische Anwendung in der Praxis erhielt N. Finsen im Jahre 1903 den Nobelpreis für Medizin (Libermann 1991). Die Lichtexposition hat zusätzlich einen Einfluss auf das autonome Nervensystem, der je nach Zeitpunkt und Dosis variiert. Sensible Rezeptoren von peripheren Nerven in der Lederhaut (Dermis) werden aufgrund ihrer Eindringtiefe besonders von den Strahlen des sichtbaren und infraroten Lichtes erreicht. Es kommt zu einem Anstieg des Sympathikus* während der Bestrahlung, der im Zuge der Erythembildung in einen Vagotonus** umschlägt (Wiedemann 1987).

*Sympathikus: Die Erregung des Sympathikus führt zu erhöhter Herz- und Atemfrequenz, Blutdruckanstieg, Erweiterung der Pupillen, vermehrter Schweissneigung und verminderter Verdauungsaktivitäten (Pschyrembel 1998).

** Vagotonus: Es kommt zur Erregung des Parasympathikus, der sich im Bezug auf den Sympathikus gegensätzlich verhält. Es kommt zu verminderter Herz- und Atemfrequenz, Blutdruckabfall, Verengung der Pupillen, verminderter Schweissneigung und vermehrten Verdauungsaktivitäten (Pschyrembel 1998).

Sichtbares Licht

Der günstige Einfluss von blauem Licht auf den Ikterus Neonatorum ist im Jahre 1958 erstmals beschrieben worden (Cremer et al. 1958) und mehrfach durch spätere Studien belegt worden (Lucey 1972). Der Mechanismus ist eine Photooxidation des Bilirubin zu oxidierten Bilirubinderivaten, Photoaddition an Glutathion oder N-Azetylcystein sowie Photoisomerisierung. Es entstehen Produkte, die aufgrund erhöhter Polarität bzw. Hydrophilität besser transportiert und ausgeschieden werden können (Sisson et al. 1982). Bei einer Prävalenz von ca. 5 % findet das Verfahren in zahlreichen Säuglingsstationen zur Therapie des Ikterus Neonatorum seine Anwendung (Jährgig et al. 1992).

S. Mc Donald (1982) entdeckte einen weiteren positiven Effekt von blauem Licht. In einem Versuch liess er die gelenkentzündeten Hände von Patienten rheumatischer Arthritis in einen Kasten stecken und mit einer bläulichen Glühbirne bestrahlen. Die Patienten berichteten von einer Schmerzreduzierung aufgrund der Bestrahlung.

Infrarot-Strahlung

Wie in Tabelle 1 (Seite 11) zu erkennen ist, nimmt die Eindringtiefe der elektromagnetischen Strahlung bis zu einer Wellenlänge von ca. $\lambda = 1100$ nm kontinuierlich zu (Haina et al. 1987). Die Energie der IR-Strahlung wird nicht wie die UV-Strahlung in photochemische Energie, sondern in Wärme umgewandelt, wodurch eine reaktive Erweiterung der Kapillaren und Arteriolen ausgelöst wird (Wiedemann 1987). Gleichzeitig kann es über Axonreflexe in bestrahlungsfern liegenden Organen zu konsensuellen gefässerweiternden Reaktionen kommen (Lippross 1951).

Das tiefe Eindringen von Infrarot-Strahlung bewirkt eine Durchwärmung der Haut und findet als therapeutische Wärme seine Anwendung zur Lösung von Verspannungen und dem beschleunigten Rückgang entzündlicher Veränderungen. Höhere Intensitäten bewirken ein kalorisches Erythem (Erythema ab igne), bei weiterer Intensivierung bis zur Verbrennung (Raab 1990).

Nach neuesten Erkenntnissen kann durch Infrarot-Strahlung in humanen dermalen Fibroblasten die Kollagenase I mRNA- und Proteinexpression gesteigert werden (Steege et al. 1998). Ein Einsatz könnte bei sklerodermiformen Hautveränderungen sinnvoll sein.

1.2.2.2. Spezielle Ansätze in der Lichttherapie im Spektrum 400 bis 2000 nm

Niederenergetische Laserstrahlung

In den frühen 70er Jahren konnte E. Mester (1971) mit seinen Untersuchungen einen positiven Effekt der Lichttherapie auf die Wundheilung belegen und deutete auf das Potential weiterer Applikationsmöglichkeiten hin. Aufgrund der Verwendung von kohärenter Strahlung war es möglich gezielten Gewebeabschnitten energetisch hochwertige Strahlung zuzuführen. Für einzelne Wellenlängen wurden bestimmte Eigenschaften entdeckt und deren therapeutischer Nutzen untersucht bzw. nachgewiesen. In der Literatur wurden gesteigerte mitochondriale Aktivität durch 632 nm und intensives axonales Nervenwachstum durch 780 nm (Yu et al. 2003) sowie ein positiver Effekt bei rheumatischer Arthritis durch kohärente Strahlung im infrarot Bereich beschrieben. In einer Gruppe von Patienten mit rheumatoider Arthritis kam es bei 70 % zu Schmerzlinderung und verminderter Morgensteifigkeit im Anschluss an die Bestrahlung (Brosseau et al. 2000). In einer anderen Gruppe von Patienten konnten neben Verminderung von Schmerzen und Muskelverspannungen auch die Nackenbeweglichkeit gegenüber der Placebogruppe signifikant verbessert werden (Ozdemir et al. 2001).

Es findet sich eine Fülle verwendeter Begriffe und Abkürzungen für diese Form der Lichttherapie wie z. B. Low Power Laser (LPL), Low Energy Laser (LEL), Low Intensity Laser Therapy (LILT) oder Low Level Laser Therapy (LLLT).

Inkohärentes linear polarisiertes Licht

Ein neuer Ansatz in der Lichttherapie war die Verwendung von inkohärentem polarisiertem Licht. Im Unterschied zur niederenergetischen Laserstrahlung wurde die Aufnahme der Strahlungsenergie im Gewebe nicht durch Phasbindung, wie beim Laser, sondern durch einheitliche Schwingungsrichtung (Polarisation) erreicht. Diese in den letzten Jahren neu hinzugekommene, vielversprechende Form der Lichttherapie verwendet ein grösseres Spektrum aus dem sichtbaren und infraroten Licht und wird als Lineary Polarised Light (LPL) oder Visible Incoherent Polarised (VIP)-Lichttherapie bezeichnet. Ersterer Begriff, bzw. dessen Abkürzung, ist mit der im Rahmen der Lasertherapie verwendeten Abkürzung Low Power Laser (LPL) identisch und sollte daher, um Irritationen zu vermeiden, nicht mehr verwendet werden.

Die Polarisation des Lichtes soll entscheidend für die Regulation der Zellmembranaktivität sein und einen wichtigen Faktor für die Biostimulation darstellen (Fenyo 1984, Kubasova et al. 1988). Dabei kann die photobiologische Wirkung unmittelbar im Anschluss an die Bestrahlung (direkt) oder zu einem späteren Zeitpunkt (indirekt) auftreten (Mester et al. 1985). Die inkohärenten polarisierten elektromagnetischen Strahlen entfalten besonders ihre Wirkung an der durch Fett- und Protein-Molekülen charakterisierten Zellmembran. Durch die Polarisation der Moleküle werden die zelleigenen Mechanismen optimiert und die körpereigenen Regenerationsprozesse in den unterschiedlichen Ebenen unterstützt (Young et al. 1992, Kubasova et al. 1995). In der Wundheilung kommt es zu einem beschleunigten Heilungsprozess nach schweren Verbrennungen 2. Grades bei gleichzeitig verminderter Narbenentstehung (Monstrey et al. 2002).

Inkohärentes polarisiertes Licht verfügt auch über eine photomodulatorische Wirksamkeit. Sie wird über die unmittelbar unter der Hautoberfläche liegenden akralen Kapillargefäße direkt auf die im zirkulierenden Blut enthaltenen Zellen übertragen und verbessert z.B. die Verformbarkeit von Erythrozyten (Yokoyama und Sugiyama 2003). Über die Blutbahn verteilen sich die photomodulierten Zellen und können so auch an nicht exponierten Stellen ihre Wirksamkeit entfalten. Für diese Tatsache spricht besonders, dass es bei der Behandlung von Patienten mit venöser Beinulzera nicht nur im bestrahlten Bereich (Medenica und Lens 2003), sondern auch an nicht therapierten Krankheitsherden zu einer Verbesserung der Heilungsprozesse gekommen ist (Bazso et al. 1982).