

# Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden

## *Water-filtered infrared-A (wIRA) for the improvement of wound healing of acute and chronic wounds*

G. Hoffmann

### ZUSAMMENFASSUNG

Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) ist eine spezielle Form der Wärmestrahlung. wIRA entspricht dem Großteil der in gemäßigten Klimazonen die Erdoberfläche wasserdampfgefiltert erreichten Sonnenwärmestrahlung. wIRA vermag sowohl bei akuten Wunden als auch bei chronischen Wunden einschließlich infizierter Wunden Schmerzen deutlich zu mindern und eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung herabzusetzen sowie positive immunmodulierende Effekte zu zeigen. wIRA kann die Wundheilung beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung verbessern oder sogar ermöglichen. Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung im Gewebe als drei energetisch für Wundheilung wichtige Faktoren steigen. Selbst der normale Wundheilungsprozess kann durch wIRA verbessert werden. Die genannten Wirkungen sind durch sechs prospektive Studien belegt. Drei Studien wurden bei akuten Wunden durchgeführt: randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studien der chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg bei frischen abdominalen Operationswunden mit 111 Patienten und der Kinderchirurgie Kassel bei 45 schwerbrandverletzten Kindern sowie der Dermatologie der Charité Berlin bei 12 Probanden mit experimentellen Wunden. Drei Studien betreffen chronische venöse Unterschenkel-Ulzera: randomisierte, kontrollierte Studie in Basel

mit 40 Patienten sowie prospektive Studie der Universität Tromsø/Norwegen und des Krankenhauses in Hillerød/Dänemark mit 10 Patienten mit u. a. aufwändiger Verlaufskontrolle mit Thermographie und derzeit durchgeführte randomisierte, kontrollierte, verblindete Studie der Universitätshautklinik Freiburg mit einem geplanten Umfang von ca. 50 Patienten.

### SCHLÜSSELWÖRTER

Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA), Wundheilung, akute und chronische Wunden, Schmerzminderung, Problemwunden, Wundinfektionen, Infektionsabwehr, Wundsekretion, Entzündung, Energiebereitstellung, Sauerstoffversorgung, Sauerstoffpartialdruck im Gewebe, Gewebetemperatur, Gewebedurchblutung, prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studien.

### SUMMARY

Water-filtered infrared-A (wIRA) is a special form of heat radiation. wIRA corresponds to the major part of the water-filtered sun's heat radiation in moderate climatic zones on the surface of the earth. wIRA can considerably alleviate the pain and diminish an elevated wound exudation and inflammation and can show positive immunomodulatory effects both in acute and in chronic wounds including infected wounds. wIRA can advance wound healing or improve or even enable an impaired wound healing. Temperature, oxygen partial pressure, and perfusion in the tissue rise. These three factors are energetically vital for wound healing. Even the normal wound healing process can be improved by wIRA. The mentioned effects have been proven by six prospective studies. Three studies were carried out in acute wounds: randomized, controlled, double-blind studies of the Department of Surgery of the University Hospital Heidelberg

with 111 patients after major abdominal surgery and of the Department of Pediatric Surgery of the Children's Hospital Park Schönfeld, Kassel, with 45 severely burned children, and of the Department of Dermatology of the University Medical Center Charité, Berlin, with 12 volunteers with experimental wounds. Three studies concern chronic venous stasis ulcers: randomized, controlled study in Basel with 40 patients and prospective study of the University Tromsø/Norway and the Hospital in Hillerød/Denmark with 10 patients including extensive thermographic investigations and follow-up, and currently performed randomized, controlled, blinded study of the Department of Dermatology of the University Hospital Freiburg with a planned cohort of approximately 50 patients.

### KEYWORDS

water-filtered infrared-A (wIRA), wound healing, acute and chronic wounds, reduction of pain, problem wounds, wound infections, infection defense, wound exudation, inflammation, energy supply, oxygen supply, tissue oxygen partial pressure, tissue temperature, tissue blood flow, prospective, randomized, controlled, double-blind studies.

## Grundlagen

Während die Sonnenwärmestrahlung in der Wüste ohne Wasserdampf in der Erdatmosphäre stechend-brennend empfunden wird, wirkt die Wärmestrahlung der Sonne in gemäßigten Breiten durch die Filterung durch Wasserdampf in der Erdatmosphäre auf der Erdoberfläche angenehm wärmend [8, 13, 22, 23]. Durch die Wasserfiltration werden die Strahlungsanteile gemindert (Wasserabsorptionsbanden innerhalb des Infrarot A sowie die meisten Teile des Infrarot B und C), die

**Prof. Dr. med. Gerd Hoffmann**  
Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Institut für Sportwissenschaften  
Ginnheimer Landstraße 39  
60487 Frankfurt am Main  
E-Mail: Hoffmann@em.uni-frankfurt.de

sonst durch Wechselwirkung mit Wassermolekülen in der Haut eine unerwünschte thermische Belastung der obersten Hautschicht hervorrufen würden (s. Abb. 1) [8, 13, 22, 23, 44].

Technisch wird wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in speziellen Strahlern erzeugt, in denen die gesamte Strahlung eines Halogen-Strahlers durch eine Wasser enthaltende Küvette hindurchtritt, so dass die genannten unerwünschten Strahlungsanteile innerhalb des Infrarot gemindert oder herausgefiltert werden (s. Abb. 1) [13, 22, 23, 43]. Innerhalb des Infrarot stellt das verbleibende wIRA (im Bereich 780–1400 nm) vorwiegend Strahlung mit gutem Eindringvermögen in das Gewebe dar. wIRA erlaubt gegenüber ungefilterter Infrarotstrahlung einen mehrfachen Energieeintrag in das Gewebe bei geringerer thermischer Belastung der Hautoberfläche. Dies ist der Sonnenwärmestrahlung in gemäßigten Breiten vergleichbar [13, 22, 23]. Typische wIRA-Strahler emittieren keine Ultraviolett-Strahlung (UV) und nahezu keine Infrarot-B- und Infrarot-C-Strahlung. Der Anteil der Infrarot-A-Strahlung ist im Verhältnis zum Anteil des sichtbaren Lichts (= **visible light** = VIS, 380–780 nm) betont (s. Abb. 1) [23].

## Wirkprinzipien und klinische Wirkungen

Wassergefiltertes Infrarot A hat ein hohes Penetrationsvermögen in das Gewebe bei geringer thermischer Oberflächenbelastung. wIRA wirkt sowohl über thermische (auf Wärmeenergieübertragung bezogene) und temperaturabhängige (mit Temperaturänderung auftretende) als auch über nicht-thermische und nicht-temperaturabhängige Effekte [13, 14, 22, 23]. wIRA erzeugt ein therapeutisch nutzbares Wärmefeld im Gewebe [13, 18, 22, 23] und *steigert Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung im Gewebe. Dies sind drei entscheidende Faktoren für eine ausreichende Versorgung des Gewebes mit Energie und Sauerstoff* [15, 22, 23, 39]. Das the-

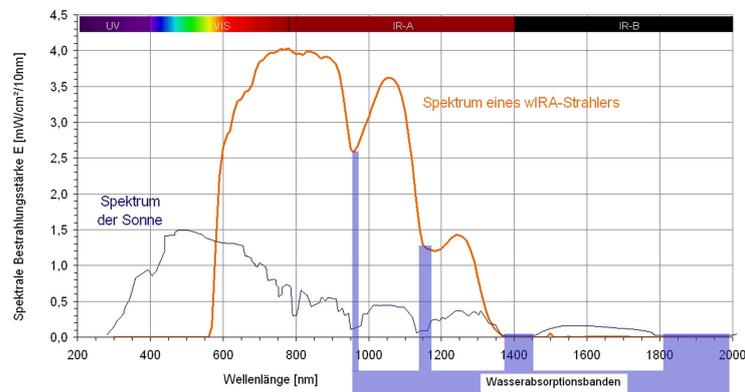


Abbildung 1

Vergleich der Spektren der Sonne auf Meereshöhe und eines wIRA-Strahlers. Spektrale Bestrahlungsstärke der Sonne auf der Erdoberfläche auf Meereshöhe (mit der Sonne am Zenith und bei mittlerem Erde-Sonne-Abstand) (adaptiert aus [7, 23]) und spektrale Bestrahlungsstärke eines wIRA-Strahlers (Hydrosun®-Strahler 501 mit 10 mm Wasserküvette und Orangefilter OG590) bei ca.  $210 \text{ mW/cm}^2$  ( $= 2,1 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ ) Gesamtbestrahlungsstärke (adaptiert aus [22, 23]). Das Spektrum der Sonne auf Meereshöhe umfasst Ultraviolett-Strahlung (UV, <400 nm), sichtbares Licht (VIS, 380–780 nm) und Infrarotstrahlung (IR, >780 nm). Das Spektrum des wIRA-Strahlers umfasst nur sichtbares Licht (VIS) und Infrarotstrahlung (IR); der sichtbare Teil hängt vom verwendeten Farbfilter ab; der wIRA-Strahler emittiert keine Ultraviolett-Strahlung (UV). Beide Spektren zeigen die verminderten Bestrahlungsstärken im Bereich der Wasserabsorptionsbanden.

rapeutisch nutzbare Wärmefeld im Gewebe reicht bis in ca. 5 cm Tiefe [13, 18, 22, 23]. Die Temperatur steigt z. B. oberflächlich von  $32,5^\circ\text{C}$  um fast  $6^\circ\text{C}$  auf  $38,2^\circ\text{C}$  [38] und in 2 cm Gewebetiefe um  $2,7^\circ\text{C}$  [15]. Der Sauerstoffpartialdruck im Gewebe steigt in 2 cm Gewebetiefe um ca. 30 % [15]. Eine Steigerung der Gewebedurchblutung ist bis in ca. 5 cm Tiefe nachweisbar [18], oberflächlich kann sich die Durchblutung verachtfachen [38].

Wundheilung und Infektionsabwehr (z. B. Granulozytenfunktion einschließlich ihrer antibakteriellen Sauerstoffradikalbildung) hängen entscheidend von einer ausreichenden Versorgung mit Energie und Sauerstoff ab [15, 22, 23, 39], und insbesondere chronische Wunden sind oft extrem hypoxisch [15, 19, 22, 23, 39], was das Infektionsrisiko deutlich erhöht [15]. Deshalb stellt die Verbesserung sowohl der Energiebereitstellung pro Zeit (Steigerung der Stoffwechselleistung) als auch der Sauerstoffversorgung eine Erklärung für die klinisch gute Wirkung von wIRA auf Wunden und Wundinfektionen dar [15, 22, 23, 25, 39]. Zusätzlich bewirken wIRA und

Infrarot A nicht-thermische und ohne relevante Temperaturänderung auftretende Effekte [3, 4, 6, 9, 11, 12, 26, 32, 37] einschließlich Stimulation der Wundheilung [10]. Diese Effekte beruhen darauf, dass direkte Reize auf Zellen und zelluläre Strukturen (z. B. Cytochrom-C-Oxidase [30–32]) gesetzt werden.

*Klinisch vermag wIRA Schmerzen deutlich zu mindern (mit bemerkenswert niedrigerem Analgetikabedarf) und eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung herabzusetzen sowie positive immunmodulierende Effekte zu zeigen* [5, 15, 20–24, 39].

Die Schmerzminderung durch wIRA wird sowohl über thermische als auch nicht-thermische Wirkungen erklärt: eine gesteigerte Durchblutung erlaubt eine bessere Elimination akkumulierter Metabolite, wie Schmerzmediatoren, Laktat und Bakterientoxine, und steigert zusammen mit der erhöhten Gewebetemperatur den Stoffwechsel (verbesserte Regeneration und Metabolisierung akkumulierter Stoffe); nicht-thermische Effekte beinhalten direkte Wirkungen auf Zellen und möglicherweise auch auf Nozizeptoren



**Abbildung 2**  
Beispiel für eine Bestrahlung einer Wunde mit einem wIRA-Strahler (aus [39, 45]).

[15, 16]. wIRA kann außerdem über seine deutlich muskelentspannende Wirkung schmerzmindernd wirken. Eine Schmerzminderung [41] bewirkt – neben einer Verbesserung der Lebensqualität – auch eine Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks [1, 15, 16] und senkt damit deutlich das Infektionsrisiko [15, 16, 27].

wIRA kann sowohl bei akuten als auch bei chronischen Wunden einschließlich infizierter Wunden die Wundheilung beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung verbessern [16, 22, 23, 45]. Die Zeitdauer bis zu einer definierten Wundflächenreduktion oder bis zum kompletten Wundschluss kann verkürzt werden [5, 28] oder es wird eine Wundheilung bei zuvor nicht-heilenden chronischen Wunden erreicht [5, 39]. Selbst der normale Wundheilungsprozess kann verbessert werden [15, 16, 22, 23, 45].

Neben den beschriebenen Effekten von wIRA wirkt eine Bestrahlung mit sichtbarem Licht und wIRA vermutlich mit endogenen Porphyrinen (z. B. Protoporphyrin IX) quasi als milde Photodynamische Therapie PDT (endogener PDT-ähnlicher Effekt) zellregenerationsfördernd und damit wundheilungsfördernd und wahrscheinlich auch infektionspräventiv bzw. antibakteriell [22, 24, 25, 26, 45].

Für wIRA in therapeutischen Bestrahlungsstärken und -dosen konnte nicht nur gezeigt werden, dass es für

menschliche Haut unbedenklich ist [4, 6, 14, 22, 23], sondern dass es zellschützende Effekte hat [4, 6, 9, 12, 14, 22, 23, 25, 37]. Diese Aspekte werden insbesondere in [14] und [23] diskutiert.

Die Wirkungen von wIRA und ihr Beleg durch Messungen und klinische Untersuchungen werden in den drei zusammengehörigen Übersichtsarbeiten [16, 23, 45] sowie der Übersichtsarbeit [22] ausführlich dargelegt.

Bestrahlungsabstand ist zu wählen, bei Patienten mit gestörtem Sensorium (z. B. bei diabetischer Polyneuropathie) oder bei gestörter Rückäußerungsfähigkeit, bei schlecht durchblutetem Gewebe, bei kaltem Gewebe oder geringem Unterhautgewebe (z. B. Schienbeinkante) [22, 23].

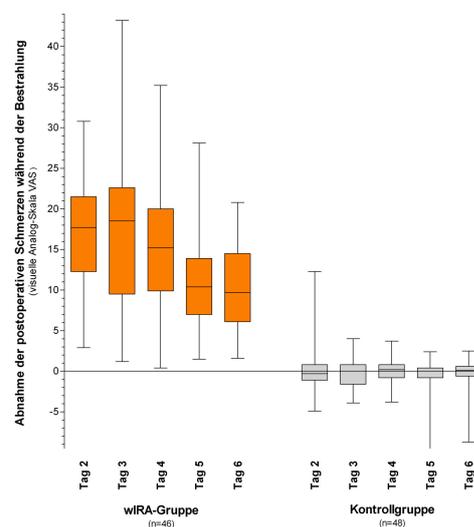
## Klinische Untersuchungen bei akuten Wunden

### Universitätsklinik Heidelberg

Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studie mit 111 Patienten nach großen abdominalen Operationen in der Chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg [15, 16, 22] zeigte mit täglich zweimal 20 Minuten Bestrahlung (beginnend am zweiten postoperativen Tag) in der Gruppe mit wIRA und sichtbarem Licht VIS verglichen mit der Kontrollgruppe mit nur VIS eine signifikante und relevante Schmerzreduktion verbunden mit einer deutlich verminderten erforderlichen Analgetikadosis. Während 230 einzelner Bestrahlungen mit wIRA (+VIS) (maximal ca. 175 mW/cm<sup>2</sup> wIRA und ca. 45 mW/cm<sup>2</sup> VIS) nahm der Schmerz ausnahmslos ab (s. Abb. 3), der Median der Schmerzminderung an den postoperativen Tagen 2–6

## Anwendung

wIRA ist ein kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies, leicht anwendbares, als angenehm empfundenes Verfahren mit guter Tiefenwirkung [13, 22, 23]. Die Bestrahlung der typischerweise unbedeckten Haut oder Wunde erfolgt senkrecht zur Haut (s. Abb. 2) mit einem wIRA-Strahler täglich ein- bis zweimal über 20–30 Minuten oder länger mit moderater, als angenehm empfundener Bestrahlungsstärke (typischerweise ca. 60–120 mW/cm<sup>2</sup> wIRA bzw. 80–160 mW/cm<sup>2</sup> wIRA und sichtbares Licht VIS) [14, 22, 23]. Wenn es dem Patienten zu warm wird, ist rechtzeitig der Abstand etwas zu vergrößern, d. h. die Bestrahlungsstärke zu verringern [22, 23]. Spezielle Vorsicht ist geboten, d. h. ein größerer



**Abbildung 3**  
Studie Heidelberg: Abnahme der postoperativen Schmerzen während Bestrahlung in der Gruppe mit wasserfiltriertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) und in der Kontrollgruppe mit nur sichtbarem Licht (VIS) (erhoben mit einer visuellen Analogskala; dargestellt mit Minimum, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile und Maximum (Box-Whiskers-Darstellung; die Box repräsentiert die Interquartil-Spanne), adaptiert aus [15, 16]). Der Schmerz nahm während der 230 einzelnen Bestrahlungen mit wIRA(+VIS) ausnahmslos ab, während der Schmerz in der Kontrollgruppe unverändert blieb ( $p < 0,001$ ).

betrug 13,4 auf einer 100 mm visuellen Analogskala (VAS, 0–100), während der Schmerz in der Kontrollgruppe unverändert blieb ( $p < 0,001$ , signifikant<sup>#</sup>). Die erforderliche Analgetikadosis war in den Untergruppen mit wIRA(+VIS) 57–70 % niedriger als in den Kontrolluntergruppen mit nur VIS (s. Tab. 1).

Während der Bestrahlung mit wIRA(+VIS) stieg der subkutane Sauerstoffpartialdruck um ca. 30 % und die subkutane Temperatur um ca. 2,7 °C an (beides in 2 cm Gewebetiefe), während beide in der Kontrollgruppe unverändert blieben. Nach Bestrahlung lag der Median des subkutanen Sauerstoffpartialdrucks bei 41,6 (mit wIRA) versus 30,2 mm Hg in der Kontrollgruppe ( $p < 0,001$ , signifikant) und der Median der subkutanen Temperatur bei 38,9 versus 36,4 °C ( $p < 0,001$ , signifikant). Die Gesamtbeurteilung des Effekts der Bestrahlung einschließlich Wundheilung, Schmerzen und kosmetischem Ergebnis, erhoben mit einer VAS (0–100 mit 50 als Indifferenzpunkt ohne Effekt) durch den Chirurgen bzw. den Patienten, war in der Gruppe mit wIRA wesentlich besser als in der Kontrollgruppe (s. Tab. 2). Dies galt auch für die einzelnen

**Tabelle 1**

Studie Heidelberg: Erforderliche Analgetikadosis in den einzelnen Untergruppen (Medianwerte) [15,16].

Art der Analgesie	Wirkstoff	wIRA + VIS	VIS (Kontrollgr.)	P-Wert
Peridural-Katheter-Analgesie	Ropivacain	598 ml	1.398 ml	< 0,001
patientenkontrollierte Analgesie	Piritramid	31 mg	102 mg	0,001
intravenöse oder orale Analgesie	Metamizol	3,4 g	10,2 g	0,005

**Tabelle 2**

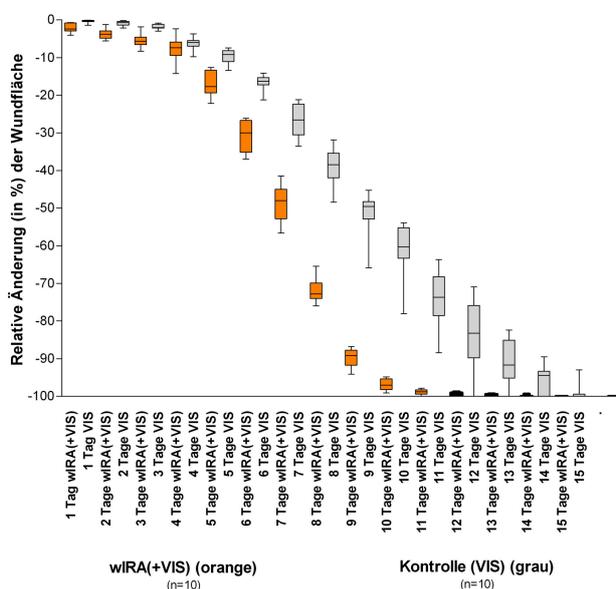
Studie Heidelberg: Beurteilung der Effekte der Bestrahlung durch den Chirurgen und den Patienten (Medianwerte) [15,16].

Effekt	Beurteiler	wIRA + VIS	VIS (Kontrollgr.)	P-Wert
Wundheilung	Chirurg	88,6	78,5	< 0,001
	Patient	85,8	81,0	0,040
Kosmetisches Ergebnis	Chirurg	84,5	76,5	< 0,001
	Patient	86,7	73,6	0,001
Gesamt	Chirurg	79,0	46,8	< 0,001
	Patient	79,0	50,2	< 0,001

Aspekte Wundheilung (Chirurg:  $p < 0,001$ , signifikant) und kosmetisches Ergebnis (s. Tab. 2). Außerdem zeigte sich ein Trend zugunsten der wIRA-Gruppe hin zu einer niedrigeren Rate von Wundinfektionen insgesamt (3 von 46, ca. 7 %, versus 7 von 48, ca. 15 %)

einschließlich später Infektionen nach der Entlassung, hervorgerufen durch eine unterschiedliche Rate von späten Infektionen nach der Entlassung: dies waren 0 von 46 in der wIRA-Gruppe und 4 von 48 in der Kontrollgruppe. Und es gab einen Trend hin zu einem

<sup>#</sup>Teststatistische Anmerkung: im Sinne einer korrekten Alpha-Fehler-Adjustierung und Begrenzung der Zahl konfirmatorischer Tests wurden nur die in der Studienplanung festgelegten 5 konfirmatorischen Hauptzielvariablen Beurteilung der Wundheilung durch den Chirurgen, Beurteilung der Wundheilung durch den Patienten, Schmerzminderung während Bestrahlung, Sauerstoffpartialdruck in 2 cm Gewebetiefe nach Bestrahlung und Temperatur in 2 cm Gewebetiefe nach Bestrahlung konfirmatorisch getestet [15]. Entsprechend sind p-Werte zu anderen Zielvariablen formal als deskriptiv anzusehen.



**Abbildung 4**

Studie Kassel: Relative Änderung der Wundfläche von schwerbrandverletzten Kindern in Abhängigkeit von der Dauer der Behandlung (in Tagen) in der Gruppe mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) und in der Kontrollgruppe mit nur sichtbarem Licht (VIS) (dargestellt mit Minimum, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile und Maximum (Box-Whiskers-Darstellung; die Box repräsentiert die Interquartil-Spanne), adaptiert aus [16, 28]). Die Abbildung präsentiert die Daten von den 10 + 10 = 20 Kindern (von 21 + 24 = 45 Kindern), die Verbrennungen vom Grad 2a (nicht 2b) hatten und die folglich bis zum kompletten Wundschluss konservativ, einschließlich Bestrahlung (beginnend am Tag der Verbrennung bis zum kompletten Wundschluss) mit wIRA(+VIS) oder nur mit VIS (Kontrollgruppe), behandelt wurden. Patienten in der Gruppe mit wIRA zeigten eine schnellere Abnahme der Wundfläche verglichen mit der Kontrollgruppe: eine Abnahme der Wundfläche im Median um 50 % wurde in der Gruppe mit wIRA bereits nach 7 Tagen, verglichen mit 9 Tagen in der Kontrollgruppe, und eine Abnahme der Wundfläche im Median um 90 % wurde in der Gruppe mit wIRA bereits nach 9 Tagen, verglichen mit 13 Tagen in der Kontrollgruppe, erreicht.

kürzeren postoperativen Krankenhausaufenthalt: 9 Tage in der wIRA-Gruppe versus 11 Tage in der Kontrollgruppe ( $p = 0,037$ ).

*Das Hauptergebnis der Studie war, dass postoperative Bestrahlung mit wIRA selbst einen normalen Wundheilungsprozess verbessern kann [15, 16, 20, 21, 22].*

### Kinderkrankenhaus Park Schönfeld, Kassel

Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppel-blind Studie mit 45 schwerbrandverletzten Kindern in der Kinderchirurgie des Kinderkrankenhauses Park Schönfeld in Kassel [16, 22, 28] zeigte mit täglich 30 Minuten Bestrahlung (ab dem ersten Tag, Tag der Verbrennung als Tag 1) in der Gruppe mit wIRA und sichtbarem Licht VIS verglichen mit einer Kontrollgruppe mit nur VIS eine deutlich schnellere Abnahme der Wundfläche.

Am fünften Tag (d. h. nach 4 Tagen mit Bestrahlung) wurde entschieden, ob ein chirurgisches Debridement nekrotischen Gewebes wegen tieferer (Grad 2b) Verbrennungen notwendig war (11 von 21 in der Gruppe mit wIRA, 14 von 24 in der Kontrollgruppe) oder eine konservative Behandlung möglich war (Verbrennungen vom Grad 2a, dies waren 10 von 21 in der Gruppe mit wIRA und 10 von 24 in der Kontrollgruppe). Diese 10 + 10 = 20 Patienten mit konservativer Behandlung wurden in der Studie weitergeführt und bis zur vollständigen Reepithelisierung bestrahlt.

Von diesen 20 Patienten zeigten die Patienten in der Gruppe mit wIRA (+VIS) (ca. 75 % wIRA, ca. 25 % VIS) eine deutlich schnellere Abnahme der Wundfläche als die Patienten der Kontrollgruppe mit VIS. Eine Abnahme der Wundfläche im Median um 50 % wurde in der Gruppe mit wIRA bereits nach 7 Tagen, verglichen mit 9 Tagen in der Kontrollgruppe, und eine Abnahme der Wundfläche im Median um 90 % wurde nach 9 Tagen, verglichen mit 13 Tagen in der Kontrollgruppe, erreicht (s. Abb. 4).

Außerdem zeigte die Gruppe mit wIRA bessere Ergebnisse bis 3 Monate nach der Verbrennung hinsichtlich der chirurgischen Gesamteinschätzung der Wunde, hinsichtlich des kosmetischen Ergebnisses und hinsichtlich der Einschätzung des Effekts der Bestrahlung sowie einen tendenziell kürzeren Krankenhausaufenthalt, jeweils verglichen mit der Kontrollgruppe [16, 22, 28].

### Charité, Berlin

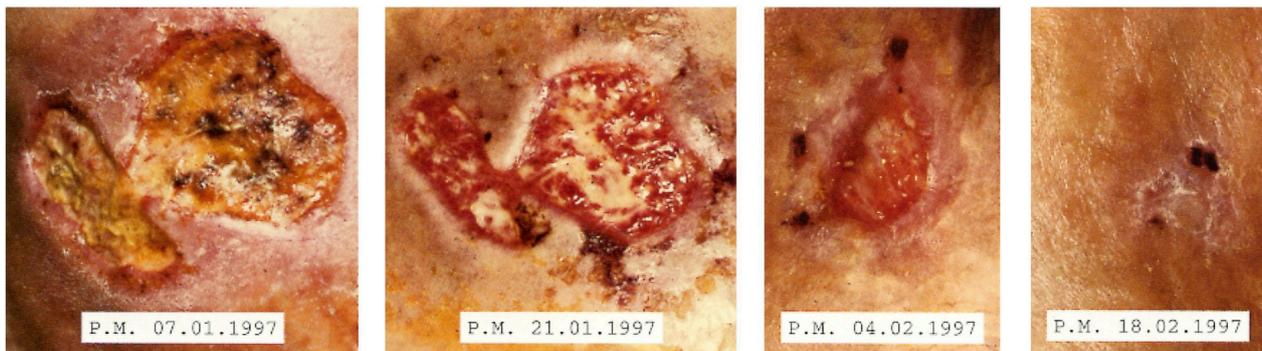
In einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie mit 12 Probanden an der Universitätsklinik Charité in Berlin [16] wurden bei jedem Probanden 4 experimentelle oberflächliche Wunden (5 mm Durchmesser) als ein Modell für akute Wunden mittels Saugblasentechnik und Entfernen des Blasendachs mit Skalpell und steriler Pinzette erzeugt (Tag 1). 4 verschiedene Behandlungsarten wurden während 10 Tagen angewendet und untersucht: keine Therapie; nur wIRA(+VIS) (ca.

75 % wIRA, ca. 25 % VIS; täglich 30 Minuten Bestrahlung); nur Dexpanthenol-Salbe einmal täglich; wIRA (+VIS) mit Dexpanthenol-Salbe einmal täglich.

Die Heilung der kleinen experimentellen Wunden war aus klinischer Sicht bei allen 4 Behandlungsarten sehr gut. Deshalb gab es nur kleine Unterschiede zwischen den Behandlungsarten mit kleinen Vorteilen für die Kombination wIRA(+VIS) mit Dexpanthenol-Salbe und für nur Dexpanthenol-Salbe hinsichtlich der relativen Änderung der Wundfläche und der Einschätzung des Empfindens des Wundgebietes.

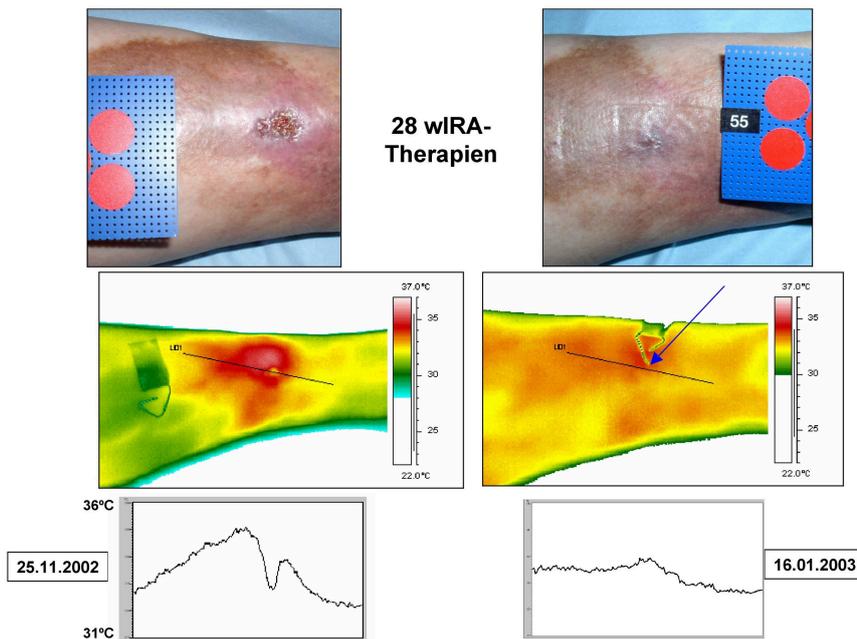
Eine Laser-Scan-Mikroskopie mit einem Score-System [2] zeigte jedoch Unterschiede zwischen den 4 Behandlungsarten hinsichtlich der Bildung des Stratum corneum (von der ersten Schicht von Korneozyten bis zur vollen Ausbildung) insbesondere für die Tage 5–7. Die schnellste Ausbildung des Stratum corneum wurde bei Wunden beobachtet, die mit der Kombination wIRA(+VIS) mit Dexpanthenol-Salbe behandelt wurden, am zweitschnellsten war wIRA(+VIS) alleine, an dritter Stelle lag Dexpanthenol-Salbe allein und an letzter Stelle waren die unbehandelten Wunden [16].

Keimzahlbestimmungen der Wunden (alle 2 Tage) zeigten, dass wIRA(+VIS) und die Kombination von wIRA(+VIS) mit Dexpanthenol-Salbe in der Lage waren, die Kolonisation mit physiologischer Hautflora bis zum Tag 5 im Vergleich zu den beiden anderen



**Abbildung 5**

Studie Basel: Beispiel für einen Heilungsverlauf eines chronischen venösen Unterschenkel-Ulkus unter Therapie mit wIRA (dreimal wöchentlich 30 Minuten Bestrahlung mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS)): Anfangsbefund, Befund nach 2 Wochen, nach 4 Wochen und nach 6 Wochen (aus [22, 45]).



**Abbildung 6**

Studie Tromsø/Hillerød: Beispiel für einen Heilungsverlauf eines chronischen venösen Unterschenkel-Ulkus unter Therapie mit wIRA (28mal 30 Minuten Bestrahlung mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) innerhalb von 52 Tagen = ca. 7 Wochen) mit normaler Aufsicht, thermographischem Bild und Temperaturprofil durch das Ulkus – jeweils links vor Therapie und rechts nach Abschluss der Therapie. Der Pfeil zeigt im Abschluss-thermographiebild auf die Stelle, an der die Wunde war. Durchmesser der roten Kreise: 16 mm. (aus [22, 39]).

Gruppen (untherapierte Gruppe und Gruppe mit nur Dexpanthenol-Salbe) zu verhindern. Zu allen untersuchten Zeitpunkten war das Maß an Kolonisation unter Therapie mit wIRA(+VIS) allein niedriger (mehr supprimiert) als in der Gruppe mit der Kombination wIRA(+VIS) mit Dexpanthenol-Salbe [16].

### Weitere klinische Untersuchungen bei akuten Wunden und Perspektiven

Während der Rehabilitation nach Hüft- und Knie-Endoprothesen-Operationen war durch Bestrahlung mit wIRA (+VIS) die Resorption von Wundseromen und Wundhämatomen sowohl klinisch als auch sonographisch schneller und die Schmerzen waren reduziert: wIRA stellt eine nicht-invasive Alternative zu Punktionen und Wundrevisionsoperationen dar [16, 22].

wIRA kann persistierende postoperative Schmerzen z. B. nach Thorakotomie eindrucksvoll mindern [16].

Da positive Effekte bereits sowohl für präoperatives [36] wie auch postoperatives [15, 42] Erwärmen des Operationsgebietes gezeigt wurden, erscheint es klinisch sinnvoll, zukünftig wIRA sowohl prä- als auch postopera-

tiv z. B. bei abdominalen und thorakalen Operationen einzusetzen [16].

wIRA kann präoperativ (z. B. während 1–2 Wochen) zur Präkonditionierung der Entnahme- und der Empfängerstellen von Hautlappen, Transplantaten oder Spalthauttransplantaten und postoperativ zum Verbessern der Wundheilung und zum Mindern von Schmerz, Entzündung und Infektion an allen genannten Stellen verwendet werden [16].

wIRA kann zum Unterstützen einer prophylaktischen prä- oder intraoperativen Antibiotika-Gabe eingesetzt werden und es kann auch diskutiert werden, dies unter bestimmten Umständen durch wIRA zu ersetzen [15, 16].

### Klinische Untersuchungen bei chronischen Wunden

#### Basel

Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte Studie in Basel [5, 22, 45] mit 40 Patienten mit chronischen venösen Unterschenkelulzera ergab bei zusätzlich dreimal wöchentlich 30 Minuten Bestrahlung mit wIRA(+VIS) über maximal 6 Wochen eine signifikant

und relevant schnellere Wundheilung sowie einen signifikant ( $p < 0,001$ ) und relevant geringeren Schmerzmittelverbrauch gegenüber einer in gleicher Form therapierten, aber nicht bestrahlten Kontrollgruppe. In der Gruppe mit wIRA wurden im Mittel 18 Tage bis zum kompletten Wundschluss benötigt, in der Kontrollgruppe 42 Tage. Die Restulkusfläche nach 42 Tagen betrug in der Gruppe mit wIRA  $0,4 \text{ cm}^2$ , in der Kontrollgruppe  $2,8 \text{ cm}^2$ . Abbildung 5 zeigt beispielhaft einen erfolgreichen Heilungsverlauf.

#### Universität Tromsø, Krankenhaus Hillerød

Eine weitere prospektive Studie der Universität Tromsø/Norwegen und des Krankenhauses in Hillerød/Dänemark [22, 39, 45] mit 10 Patienten mit u. a. aufwändiger thermographischer Verlaufskontrolle ergab unter wIRA(+VIS) eine vollständige oder fast vollständige Abheilung (96–100 % Reduktion der Wundfläche) vorher therapierefraktärer chronischer Unterschenkelulzera bei 7 der 10 Patienten sowie eine deutliche Ulkusverkleinerung bei 2 weiteren der 10 Patienten. (Eines der Einschlusskriterien war eine Ulkusgröße bis 5 cm Durchmesser. Die maximale Bestrah-


**Abbildung 7**

Beispiel für einen Heilungsverlauf eines chronischen venösen Unterschenkel-Ulkus unter Therapie mit wIRA

(täglich 30 Minuten Bestrahlung mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS))  
 (eigene Beobachtung): Anfangsbefund, Befund nach 3,5 Monaten, nach 4,5 Monaten (aus [22, 45]).

lungsstärke betrug ca. 140 mW/cm<sup>2</sup> wIRA und ca. 45 mW/cm<sup>2</sup> VIS.)

Die Schmerzen verringerten sich deutlich, so dass die erforderliche Schmerzmedikation von z. B. 15 auf 0 Schmerztabletten täglich reduziert werden konnte. Das thermographische Bild, das vor Therapiebeginn typischerweise einen hyperthermen Ulkusrandwall mit relativ hypothermem Ulkusgrund zeigte, normalisierte sich bis zum Abschluss der Therapie (weitgehend ausgeglichene Temperaturdifferenzen) [22, 39, 45]. Insgesamt zeigten sich im Therapieverlauf deutliche Verbesserungen der Beurteilung der Wundheilung, des kosmetischen Ergebnisses und der Gesamtbeurteilung des Effekts der Bestrahlung.

Bei einem Einzelfall war ein Seitenvergleich (Therapie eines Beins mit einem Ulkus mit wIRA(+VIS), Therapie des anderen Beins mit einem Ulkus nur mit VIS) möglich, der deutliche Unterschiede zugunsten von wIRA ergab [39, 45].

Ein Beispiel für einen erfolgreichen Therapieverlauf mit wIRA ist in der Abbildung 6 mit normaler Aufsicht, thermographischem Bild und Temperaturprofil durch das Ulkus – jeweils vor Therapie und nach Abschluss der Therapie – dargestellt [22, 39, 45].

Bei den 6 Patienten ohne Begleitprobleme, d. h. ohne periphere arterielle Verschlusskrankheit, Rauchen

oder fehlender Kompressionstherapie, wurde ausnahmslos eine vollständige oder fast vollständige Abheilung erreicht. Selbst bei den 4 Patienten mit Begleitproblemen wurde eine Reduktion der Wundfläche bei 4 der 5 Ulzera erreicht. Nur bei einer Patientin mit fehlender Kompressionstherapie kam es zu einer leichten Zunahme der Wundfläche, was die Bedeutung der Gesamtherapie und insbesondere der Kompressionstherapie [29] bei chronischen venösen Unterschenkelulzera zeigt.

### Universität Freiburg

Erste Zwischenergebnisse einer weiteren derzeit durchgeführten prospektiven, randomisierten, kontrollierten, verblindeten Studie der Hautklinik der Universität Freiburg [45] mit einem geplanten Umfang von ca. 50 Patienten mit chronischen venösen Unterschenkelulzera (eines der Einschlusskriterien: Ulkusfläche 1–200 cm<sup>2</sup>) bestätigen die positiven Effekte von wIRA bei chronischen Wunden. Die deskriptive Zwischenauswertung der ersten 23 Patienten mit Kompressionstherapie, Wundsäuberung und unter Berücksichtigung der Wundverhältnisse standardisierten Wundaufgaben sowie 30 Minuten Bestrahlung fünfmal pro Woche über 9 Wochen und weiteren 4 Wochen ohne Bestrahlung ergibt in der Gruppe mit wIRA(+VIS), verglichen

mit einer Kontrollgruppe mit nur VIS, eine bessere und schnellere Wundheilung. Dies zeigt sich in der relativen Änderung der Wundfläche, einer besseren Granulation und einer günstigen Beeinflussung der mikrobiologisch bestimmten Keimlast der Wunden. In der Gruppe mit wIRA(+VIS) wurde mit maximal ca. 140 mW/cm<sup>2</sup> wIRA und ca. 45 mW/cm<sup>2</sup> VIS bestrahlt.

### Weitere klinische Untersuchungen bei chronischen Wunden und Perspektiven

Bei chronischen Wunden werden mit wIRA vollständige Abheilungen erreicht, die zuvor nicht erreicht wurden [20, 22, 45]. Der Verlauf der erfolgreichen Therapie mit täglich 30 Minuten Bestrahlung mit wIRA(+VIS) bis zum kompletten Wundschluss nach ca. 5 Monaten bei einer 88-jährigen Patientin mit einem zuvor seit 13 Monaten auf ca. 10 cm Durchmesser progredienten Ulkus am rechten distalen medialen Unterschenkel bei chronischer venöser Insuffizienz, deutlichen Unterschenkel-Stauungsödemen und großflächiger Stauungsdermatitis sowie mit Wundinfektion bei Diabetes mellitus ist in der Abbildung 7 dargestellt [20, 22, 45].

Auch Prophylaxe und Therapie von Dekubitalulzera sind mit wIRA möglich [22, 45].

wIRA kann außerdem auch bei Wunden zur Resorptionsverbesserung und damit Wirkungsverstärkung topisch aufgetragener Substanzen eingesetzt werden [17, 22, 23, 40]. Auch eine Kombination mit Photodynamischer Therapie PDT in antiinfektiver Indikation [33–35] ist möglich [22, 24, 25, 45].

### Fazit

- Positive Effekte von wIRA auf die Wundheilung wurden in 6 Studien und auch in der klinischen Routine beschrieben.
- wIRA steigert Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung im Gewebe. wIRA hat zusätzlich nicht-thermische Effekte auf Zellen und zelluläre Strukturen.

- wIRA kann sowohl bei akuten als auch bei chronischen Wunden einschließlich infizierter Wunden die Wundheilung beschleunigen oder einen stagnierenden Wundheilungsprozess verbessern und insbesondere bei nicht-heilenden chronischen Wunden eine Wundheilung ermöglichen. Selbst der normale Wundheilungsprozess kann verbessert werden.
  - wIRA vermag Schmerzen deutlich zu mindern, die Wundsekretion sowie eine Entzündung zu reduzieren sowie positive immunmodulierende Effekte zu zeigen.
  - Es erscheint klinisch sinnvoll, wIRA prä- und postoperativ z. B. bei abdominalen und thorakalen Operationen sowie zur präoperativen Konditionierung und postoperativen Therapie der Entnahme- und der Empfängerstelle von Hauttransplantaten zu nutzen.
  - wIRA kann dazu beitragen, Heilungshemmnisse bei chronischen Wunden zu überwinden.
  - Auch Prophylaxe und Therapie von Dekubitalulzera sind mit wIRA möglich.
  - wIRA stellt eine wertvolle Therapieoption dar und sollte grundsätzlich bei akuten und chronischen Wunden erwogen werden.
- Kontaktadressen sind am Ende des Artikels angegeben.

### Literaturverzeichnis

1. Akca O, Melischek M, Scheck T, Hellwagner K, Arkilic CF, Kurz A et al: Postoperative pain and subcutaneous oxygen tension. *Lancet*. 1999; 354: 41–2.
2. Alborova A, Lademann J, Meyer L, Kramer A, Teichmann A, Sterry W, Antoniou C: Einsatz der Laser-Scan-Mikroskopie zur Charakterisierung der Wundheilung. Application of laser scanning microscopy for the characterization of wound healing. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip*. 2007; 2 (2): Doc37. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000070.pdf> (PDF) und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000070.shtml> (shtml).
3. Albrecht-Buehler G: Surface extensions of 3T3 cells towards distant infrared light sources. *J Cell Biol*. 1991; 114 (3): 493–502.
4. Applegate LA, Scaletta C, Panizzon R, Frenk E, Hohlfeld P, Schwarzkopf S: Induction of the putative protective protein ferritin by infrared radiation: implications in skin repair. *Int J Mol Med*. 2000; 5 (3): 247–51.
5. Biland L, Barras J: Die wassergefilterte Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung venöser Ulcera [Abstract]. *Hefte Wundbehand*. 2001; 5: 41.
6. Burri N, Gebbers N, Applegate LA: Chronic infrared-A radiation repair: Implications in cellular senescence and extracellular matrix. In: Pandalai SG, ed. *Recent Research Developments in Photochemistry & Photobiology*, vol. 7. Trivandrum: Transworld Research Network; 2004. p. 219–31.
7. Carter DR, editor: *Electro-Optics Handbook*, Burle Industries, Lancaster, PA, USA, 8.1974. Reprinted 5.1978, 6.1989, 1.1992. Section 6, p. 63. Firmenschrift. Burle Industries GmbH, Baesweiler, Germany.
8. Cobarg CC: Physikalische Grundlagen der wassergefilterten Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. *Wärmerotherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten*. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 19–28.
9. Danno K, Horio T, Imamura S: Infrared radiation suppresses ultraviolet B-induced sunburn-cell formation. *Arch Dermatol Res*. 1992; 284 (2): 92–4.
10. Danno K, Mori N, Toda K, Kobayashi T, Utani A: Near-infrared irradiation stimulates cutaneous wound repair: laboratory experiments on possible mechanisms. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2001; 17 (6): 261–5.
11. Ehrlicher A, Betz T, Stuhmann B, Koch D, Milner V, Raizen MG, Käs J: Guiding neuronal growth with light. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2002; 99 (25): 16024–8. doi:10.1073/pnas.252631899.
12. Frank S, Menezes S, Lebreton-De Coster C, Oster M, Dubertret L, Coulomb B: Infrared radiation induces the p53 signaling pathway: role in infrared prevention of ultraviolet B toxicity. *Exp Dermatol*. 2006;15(2):130-7.
13. Fuchs SM, Fluhr JW, Bankova L, Tittelbach J, Hoffmann G, Elsner P: Photodynamic therapy (PDT) and waterfiltered infrared A (wIRA) in patients with recalcitrant common hand and foot warts. *Photodynamische Therapie (PDT) und wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) bei Patienten mit therapieresistiblen vulgären Hand- und Fußwarzen*. *Ger Med Sci*. 2004;2:Doc08. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/gms/2004-2/000018.pdf> (PDF) und <http://www.egms.de/en/gms/2004-2/000018.shtml> (shtml).
14. Gebbers N, Hirt-Burri N, Scaletta C, Hoffmann G, Applegate LA: Water-filtered infrared-A radiation (wIRA) is not implicated in cellular degeneration of human skin. *Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung (wIRA) ist nicht an der Zelldegeneration menschlicher Haut beteiligt*. *GMS Ger Med Sci*. 2007;5:Doc08. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/gms/2007-5/000044.pdf> (PDF) und <http://www.egms.de/en/gms/2007-5/000044.shtml> (shtml).
15. Hartel M, Hoffmann G, Wente MN, Martignoni ME, Büchler MW, Friess H: Randomized clinical trial of the influence of local water-filtered infrared A irradiation on wound healing after abdominal surgery. *Br J Surg*. 2006; 93(8): 952–60. DOI: 10.1002/bjs.5429.
16. Hartel M, Illing P, Mercer JB, Lademann J, Daeschlein G, Hoffmann G: Therapy of acute wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) [review]. *Therapie akuter Wunden mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) [Übersichtsarbeit]*. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip*. 2007; 2 (2): Doc53. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.pdf> (PDF) und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.shtml> (shtml).
17. Hauptthal H: In vitro- und in vivo-Untersuchungen zur temperaturgesteuerten Arzneistoff-Liberation und Permeation. Dissertation. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität; 1997.
18. Hellige G, Becker G, Hahn G: Temperaturverteilung und Eindringtiefe wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. *Wärmerotherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten*. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 63–79.
19. Hoffmann G: Improvement of wound healing in chronic ulcers by hyperbaric oxygenation and by waterfiltered ultrared A induced localized hyperthermia. *Adv Exp Med Biol*. 1994; 345: 181–8.
20. Hoffmann G: Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden. *MedReport*. 2005; 29 (34): 4. Auch online verfügbar unter: [http://www.medreports.de/med-pdf05/mreport34\\_05.pdf](http://www.medreports.de/med-pdf05/mreport34_05.pdf)
21. Hoffmann G: Water-filtered infrared A (wIRA) for the improvement of wound healing in acute and chronic wounds. *Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden*. *Z Wundheilung - J Wound Healing*. 2005; Sonderheft 2: 130.
22. Hoffmann G: Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung [Übersichtsarbeit]. *Water-filtered infrared A (wIRA) for the improvement of wound healing [review]*. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip*. 2006; 1 (1): Doc20. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.pdf> (PDF) und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.shtml> (shtml).
23. Hoffmann G: Principles and working mechanisms of water-filtered infrared-A (wIRA) in relation to wound healing [review]. *Grundlagen und Wirkprinzipien von wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) in Bezug zur Wundheilung [Übersichtsarbeit]*. *GMS Krankenhaus-*

- hyg Interdiszip. 2007; 2 (2): Doc54. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.pdf> (PDF) und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.shtml> (shtml).
24. Hoffmann G: Klinische Anwendungen von wassergefiltertem Infrarot A (wIRA). In: Kaase H, Serick F, Hrsg. Sechstes Symposium „Licht und Gesundheit“ der Technischen Universität Berlin und der Deutschen Gesellschaft für Photobiologie, Berlin, 13./14.03.2008. Berlin; 2008. S. 130-146.
  25. Hoffmann G: Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA). In: Kramer A, Assadian O, Hrsg. Wallhäußers Praxis der Sterilisation, Desinfektion, Antiseptik und Konservierung. Qualitätssicherung der Hygiene in medizinischen und industriellen Bereichen. Stuttgart: Thieme, 2008. [in Publikation].
  26. Hoffmann G, Meffert H: Apparent contradiction between negative effects of UV radiation and positive effects of sun exposure. *GMS Ger Med Sci.* 2005; 3: Doc01. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/gms/2005-3/000019.pdf> (PDF) und <http://www.egms.de/en/gms/2005-3/000019.shtml> (shtml).
  27. Hopf HW, Hunt TK, West JM, Blomquist P, Goodson WH III, Jensen JA et al: Wound tissue oxygen tension predicts the risk of wound infection in surgical patients. *Arch Surg.* 1997; 132: 997-1004.
  28. Illing P, Gresing T: Improvement of wound healing in severely burned children by water-filtered infrared-A (wIRA). *GMS Ger Med Sci.* 2008; 6. [Publikation in Vorbereitung].
  29. Johnson S: Compression hosiery in the prevention and treatment of venous leg ulcers. *World Wide Wounds* 2002. Online available from: <http://www.worldwidewounds.com/2002/september/Johnson/Compression-Hosiery-Leg-Ulcers.html>
  30. Karu TI: Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells [review]. *J Photochem Photobiol B.* 1999; 49 (1): 1-17.
  31. Karu TI: Low-power laser effects. In: Waynant RW, editor. *Lasers in medicine.* Boca Raton: CRC Press; 2002. p. 171-209.
  32. Karu TI, Pyatibrat IV, Kalendo GS: Cell attachment to extracellular matrices is modulated by pulsed radiation at 820 nm and chemicals that modify the activity of enzymes in the plasma membrane. *Lasers Surg Med.* 2001; 29 (3): 274-81.
  33. Lambrechts SA, Demidova TN, Aalders MC, Hasan T, Hamblin MR: Photodynamic therapy for *Staphylococcus aureus* infected burn wounds in mice. *Photochem Photobiol Sci.* 2005; 4 (7): 503-9.
  34. Maisch T: Anti-microbial photodynamic therapy: useful in the future? *Lasers Med Sci.* 2007; 22: 83-91. DOI 10.1007/s10103-006-0409-7.
  35. Maisch T: Arnold-Rikli-Preis 2007. Die Rolle von Singulett-Sauerstoff bei der photodynamischen Inaktivierung von Bakterien mit sichtbarem Licht. In: Kaase H, Serick F, Hrsg. Sechstes Symposium „Licht und Gesundheit“ der Technischen Universität Berlin und der Deutschen Gesellschaft für Photobiologie, Berlin, 13./14.03.2008. Berlin; 2008. S. 124-129.
  36. Melling AC, Ali B, Scott EM, Leaper DJ: Effects of preoperative warming on the incidence of wound infection after clean surgery: a randomised controlled trial. *Lancet.* 2001; 358: 876-80.
  37. Menezes S, Coulomb B, Lebreton C, Dubertret L: Non-coherent near infrared radiation protects normal human dermal fibroblasts from solar ultraviolet toxicity. *J Invest Dermatol.* 1998; 111 (4): 629-33.
  38. Mercer JB, de Weerd L: The effect of water-filtered infrared-A (wIRA) irradiation on skin temperature and skin blood flow as evaluated by infrared thermography and scanning laser Doppler imaging. *Thermology Int.* 2005; 15 (3): 89-94.
  39. Mercer JB, Nielsen SP, Hoffmann G: Improvement of wound healing by water-filtered infrared-A (wIRA) in patients with chronic venous leg ulcers including evaluation using infrared thermography. *GMS Ger Med Sci.* 2008; 6. [Publikation in Vorbereitung].
  40. Otberg N, Grone D, Meyer L, Schanzer S, Hoffmann G, Ackermann H, Sterry W, Lademann J: Water-filtered infrared-A (wIRA) can act as a penetration enhancer for topically applied substances. *GMS Ger Med Sci.* 2008; 6. [Publikation in Vorbereitung].
  41. Pediani R: What has pain relief to do with acute surgical wound healing? *World Wide Wounds* 2001. Online verfügbar unter: <http://www.worldwidewounds.com/2001/march/Pediani/Pain-relief-surgical-wounds.html>.
  42. Plattner O, Akca O, Herbst F, Arkilic CF, Függer R, Barlan M, Kurz A, Hopf H, Werba A, Sessler DI: The influence of 2 surgical bandage systems on wound tissue oxygen tension. *Arch Surg.* 2000; 135: 818-22.
  43. Rzeznik J: Die Technik zur loko-regionalen Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 29-46.
  44. Vaupel P, Rzeznik J, Stofft E: Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus konventionelle Infrarotstrahlung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie. *Phys Med Rehabilitationsmed Kurortmed.* 1995; 5: 77-81.
  45. von Felbert V, Schumann H, Mercer JB, Strasser W, Daeschlein G, Hoffmann G: Therapy of chronic wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) [review]. Therapie chronischer Wunden mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) [Übersichtsarbeit]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2007; 2 (2): Doc52. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.pdf> (PDF) und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.shtml> (shtml).

**Kontaktadresse für wIRA bei chronischen Wunden:**

Dr. med. Hauke Schumann  
 Universitätsklinikum Freiburg  
 Universitäts-Hautklinik  
 Leiter des Kompetenzzentrums  
 Fragile Haut  
 Hauptstraße 7, 79104 Freiburg  
 Tel: 0761-270-6701, Fax: -6829  
 E-Mail: [Hauke.Schumann@uniklinik-freiburg.de](mailto:Hauke.Schumann@uniklinik-freiburg.de)

**Kontaktadresse für wIRA bei akuten Wunden:**

PD Dr. med. Mark Hartel  
 Technische Universität München  
 Klinik für Chirurgie  
 Ismaninger Straße 22,  
 81675 München  
 Tel: 089-4140-5099  
 E-Mail: [Mark.Hartel@chir.med.tu-muenchen.de](mailto:Mark.Hartel@chir.med.tu-muenchen.de)

**Kontaktadresse für wIRA bei Verbrennungswunden:**

Dr. med. Peter Illing  
 Kinderkrankenhaus Park Schönfeld,  
 Kinderchirurgische Abteilung  
 Frankfurter Straße 167,  
 34121 Kassel  
 Tel: 0561-9285-124, Fax: -230  
 E-Mail: [P.Illing@park-schoenfeld.de](mailto:P.Illing@park-schoenfeld.de)