

# ROLLE VON WUNDVERBÄNDEN BEI DER VERWALTUNG VON CHRONISCHEN UND AKUTEN DIABETISCHEN WUNDEN

Übersetzt aus: ROLE OF WOUND DRESSINGS IN THE MANAGEMENT OF CHRONIC AND ACUTE DIABETIC WOUNDS

Robin Augustine

## Müssen Sie dieses Papier zitieren?

Holen Sie sich das Zitat in  
den Stilen von MLA, APA  
oder Chicago

## Willst du noch mehr Papiere wie diese?

Laden Sie eine PDF-Packung mit zugehörigen

Durchsuchen Sie den Katalog von Academia mit 28  
Millionen kostenlosen Veröffentlichungen

# ROLLE VON WUNDVERBÄNDEN BEI DER VERWALTUNG VON CHRONISCHEN UND AKUTEN DIABETISCHEN WUNDEN

Robin Augustine

[Original Paper](#) 

---

## Zusammenfassung

Menschen mit Diabetes haben aus mehreren Gründen ein erhöhtes Risiko für Wundheilungskomplikationen. Ein besseres Verständnis des molekularen Mechanismus von Diabetes und Fortschritte in der Biomaterialforschung haben zu bedeutenden Fortschritten bei der Behandlung diabetischer Wunden geführt. Diese Fortschritte haben Tausende von Patienten vor einer Amputation der unteren Extremitäten bewahrt. Die meisten dieser Amputationen könnten durch eine gute Fußpflege und Wundbehandlung leicht verhindert werden. Daher ist es für Gesundheitsfachkräfte, die an der akuten Gemeinschaftsschnittstelle arbeiten, von entscheidender Bedeutung, diabetische Wunden effektiv zu behandeln. Die Zukunft der diabetischen Wundheilung liegt in der Entwicklung effektiverer intelligenter Wundauflagen. Die Entwicklung dieser Art von Therapien erfordert multidisziplinäre translationale Forschungsteams. Dieses Kapitel skizziert, wie aktuelle Fortschritte in Molekularbiologie, Polymertechnologie und Biomaterialien in einen multidisziplinären translationalen Forschungsansatz zur Formulierung neuartiger intelligenter Wundauflagen für die diabetische Wundbehandlung integriert werden können. Es bietet auch einen Überblick über die jüngsten Fortschritte in der Biomaterialforschung für die Behandlung diabetischer Wunden und die verschiedenen Arten von Wundverbänden, die auf dem Markt für diabetische Wunden erhältlich sind.

## EINLEITUNG

Der Diabetes bildet eine Multisystemstörung, die den Wundheilungsprozess verzögert und komplizierter macht. Die Komplikationen aufgrund von Diabetes führen zu physiologischen Veränderungen in Geweben und Zellen, die Heilung und Komplikationen verzögern können. Es wurde geschätzt, dass alle 30 Sekunden jemand aufgrund von Diabetes eine untere Extremität verliert (Boulton et al., 2005). Für einen Diabetiker kann sogar ein kleines Fußgeschwür zu einem Geschwür werden, das, wenn es nicht richtig behandelt wird, zu einer Amputation führen kann. Die Wahrscheinlichkeit einer Amputation ist bei Diabetikern um ein Vielfaches höher als bei Nichtdiabetikern. Menschen mit Diabetes haben aufgrund mehrerer damit verbundener Anomalien ein erhöhtes Risiko für Komplikationen bei der Wundheilung. Der Diabetes verringert die Durchblutung, sodass Verletzungen langsamer heilen als bei Menschen, die ihn nicht haben. e dev dieser k diese Forschungsteams.

Forschungsteam Ecular Biology, Po Ar Biology, p ted in a multidi ted in a multi ting Novel Smart Wing Novel sma bietet ein Ove ovides a gement geme bl Infektionen und hat Probleme mit der Wundheilung. Diabetes-Patienten haben oft verengte Arterien, die es dem Blut erschweren, in die Wunde zu gelangen, was die Heilung verzögern und die Wahrscheinlichkeit einer Infektion erhöhen kann. Darüber hinaus haben viele Menschen mit Diabetes auch ein durch Neuropathie reduziertes Gefühl in ihren Händen oder Füßen, was dazu führt, dass geringfügige Verletzungen der Fußhaut oft vernachlässigt werden und sich infizieren (Sweitzer et al., 2006). Im Allgemeinen haben Menschen mit Diabetes ein geschwächtes Immunsystem. Wenn die natürlichen Abwehrkräfte versagen, kann selbst eine kleine Wunde anfällig für eine bakterielle Besiedelung werden. Aufgrund dieser Faktoren ist es wichtig, dass Gesundheitsteams, die an der akuten Gemeinschaftsschnittstelle arbeiten, diabetische Wunden effektiv behandeln. Die diabetische Wundversorgung ist zu einem integralen Bestandteil der Diabetesbehandlung geworden und ein gründliches Verständnis der diabetischen Wundversorgung und Fortschritte bei der Behandlung diabetischer Wunden. Diese Fortschritte haben Tausenden von Patienten das Trauma einer Amputation der unteren Extremitäten erspart. Abbildung 1 fasst die Faktoren zusammen, die zum Auftreten chronischer diabetischer Wunden beitragen. Es ist seit vielen Jahren bekannt, dass die Heilung von Wunden bei Diabetikern länger dauern kann als bei ähnlichen Wunden bei Nichtdiabetikern (Mulder, 1998). Die Wundheilung bei Diabetes ist ein komplexer Prozess, der dadurch gekennzeichnet ist, dass der Phänotyp der Makrophagen beim Diabetiker im Vergleich zur normalen Wundheilung verändert ist (Helen et al., 2006). Die Haupteffekte von Diabetes auf den Wundheilungsprozess sind die Beeinträchtigung der Zellproliferation für die meisten Zelltypen (Sank, 1994; Hehenberger, 1998; Lerman, 2003), erhöhte Apoptose von Endothelzellen (Lorenzi et al., 1985; Baumgartner, 1995; Darby, 1997), Beeinträchtigung des Nachwachsens von Blutgefäßen (Loots, 1998; und Clark, 1999; Greenhalgh, 2003) und verringerte Kollagenablagerung an der Wundstelle (Black, 2003). Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass die Wachstumsfaktorexpression (Shukla, 1998; Wetzler, 2000; Robson, 2001; Greenhalgh, 2003) und die Stickoxidsekretion (Bulgrin, 1995; Zykova, 2000) und die

Entfernung von Makrophagen zu den Lymphknoten verändert sind auch beeinträchtigt werden (Bellingan, 1996).

Vaskulogenese sind charakteristisch für schlecht heilende Wunden bei Diabetikern, insbesondere in den unteren Extremitäten (Brem und Tomic, 2007; Gallagher et al., 2007). Niedriger Sauerstoffpartialdruck reduziert die Aktivität von Enzymen, die reaktive Sauerstoffspezies (ROS) produzieren (Gordillo und Sen, Zellen, die für die Wundkontraktion verantwortlich sind, wird beeinträchtigt. Die Expression von Falten mit reduzierter Sauerstoffzufuhr, wie in den übertragenen Zellen von 21% gezeigt zu 2% Sauerstoffatmosphäre. Die MFB verlieren ihre Fähigkeit, die Matrix in vitro und möglicherweise die Wunde in vivo zu kontrahieren (Modarressi et al., das den Anstieg der mRNA-Spiegel von Prokollagen I vermittelt. Niedrige Sauerstoffspannung ist auch ein Stimulus für die Proliferation der Füße und Knöchel sind die Regionen, die am anfälligsten für diabetische Wundkomplikationen sind. Da diese Bereiche dynamischer sind als in anderen Teilen des Körpers und anfällig für Schwellungen sind, die die Heilung hemmen können. Aber es kann auch eine 95, Zyková y auch beeinträchtigt werden durch mehr Schwielen, trockene Haut und Nervenschäden beeinträchtigt werden. Dies sind die Hauptrisikofaktoren für diabetische Fußgeschwüre, die zu Infektionen führen können. Neben dem Gefühlsverlust in den Füßen können viele Menschen mit Diabetis haben auch Sehprobleme. Daher sind sie möglicherweise nicht in der Lage, kleine Wunden zu fühlen oder visuell zu erkennen, bis sie ernst werden. B. Muskel-Aktin, benötigte längere Zeit, um sich in diabetischen Wunden zu bilden, was darauf hindeutet, dass die Wundkontraktion bei den diabetischen Tieren verzögert sein kann. Außerdem war die Prokollagen I-Expression in den diabetischen Wunden sehr schlecht als bei gesunden Tieren. Die Apoptoserate bei diabetischen Wunden war höher als bei normalen Wunden (Ian et al., 1997).

## KLASSIFIZIERUNG VON DIABETISCHEN WUNDEN

Es gibt zwei gut akzeptierte Systeme zur Klassifizierung diabetischer Wunden: Das Wagner-System und das Texas-System.

### WAGNER-SYSTEM

Die diabetischen Fußgeschwüre können unter Verwendung des Wagner-Klassifikationssystems klassifiziert werden. Das Wagner-System basiert hauptsächlich auf der Wundtiefe und umfasst sechs Wundgrade. Fußgeschwüre Grad 0 haben intakte Haut mit knöchernen Fehlbildungen oder trockene verhornte Haut, die das Risiko für Ulzerationen erhöht, Grad 1 beinhaltet Ulzerationen der Dermis, Grad 2 hat Ulzerationen an Sehnen und Gelenken, Grad 3 erstreckt sich auf den Knochen und verursacht Osteomyelitis, Grad 4 zeigt lokalisierte Gangrän, und Grad 5 hat Gangrän, das einen Großteil des Fußes betrifft (Wagner

et al., 1987).

und Ischämie innerhalb jedes Grades erkannt und Hybridsysteme entwickelt wurden, um diese wichtigen Eigenschaften von Fußgeschwüren zu erklären. zu einer größeren Amputationswahrscheinlichkeit. Das Klassifizierungssystem ist in Tabelle 2 angegeben.

## **Infektion (B) nach dem bekannten Wagner-System ist in der Tabelle dargestellt**

### **WUNDVERBÄNDE**

Die Wundheilung ist ein natürlicher Prozess der Regeneration von dermalen und epidermalen Geweben. Wenn eine Person verwundet wird, findet eine Reihe komplexer biochemischer Aktionen in einer eng orchestrierten Kaskade statt, um den Schaden zu reparieren. Diese Ereignisse können in entzündliche, proliferative und Umbauphasen und Epithelisierung eingeteilt werden. Die Behandlung der Wunden hat sich aus der Antike entwickelt. Anfänglich zielte das Anlegen von Verbandsmaterial auf die Blutungshemmung, den Schutz der Wunde vor umweltbedingten Reizstoffen sowie Wasser- und Elektrolytstörungen ab. Die Haut spielt eine wichtige Rolle bei der Homöostase und der Verhinderung des Eindringens von Mikroorganismen. Die Haut muss im Allgemeinen unmittelbar nach der Verletzung mit einem Verband abgedeckt werden. Das Wundmanagement hat in den letzten Jahrzehnten viele Veränderungen erfahren. Seit der Antike wurde eine Vielzahl von Wundverbänden auf Wunden aufgebracht, für eine wirksame Wundheilung musste ein geeignetes Material zum Abdecken der Wunde verwendet werden, um jegliche Infektion zu verhindern. In der Vergangenheit wurden Honigpasten, Pflanzenfasern und tierische Fette als Wundverbandmaterialien verwendet (Majno, 1975; Thomas, 1990; Doshi und Reneker, 19954; Formhals, 1934). Wundverbände werden in großem Umfang bei der Behandlung von Geschwüren bei Menschen mit Diabetes verwendet. Es gibt viele Arten von Verbänden, die verwendet werden können, die sich auch erheblich in den Kosten unterscheiden. Heutzutage wird mit neuen Biopolymeren und Herstellungstechniken von einem Wundverbandmaterial erwartet, dass es außergewöhnliche Eigenschaften aufweist, die den Heilungsprozess einer Wunde verbessern. an die Wunden abgegeben werden, um deren Heilung zu fördern. Bei einem aktiven Wundverband (AWD) besteht der Hauptzweck darin, die biochemischen Zustände einer Wunde zu kontrollieren, um ihren Heilungsprozess zu unterstützen. Für ein phantasievolles Design eines funktionellen Wundverbandmaterials müssen Eigenschaften des Wundtyps, der Wundheilungszeit, der physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften des Verbands berücksichtigt werden. Letztendlich besteht der Hauptzweck darin, die höchste Heilungsrate und die beste ästhetische Reparatur der Wunde zu erreichen (Thomas S, 1990).

Die heutigen Prinzipien der feuchten Wundheilung basieren auf bahnbrechenden Arbeiten von Winter (1962) und später von Hinman und Maibach (1963). Ein Wundverbandmaterial sollte die Funktion haben, die Wunde zu schützen, zusätzlichen Körper aufzunehmen, das Aussehen zu beweisen und manchmal den Heilungsprozess zu beschleunigen. Die Wundheilung ist ein dynamischer Prozess und die Leistungsanforderungen an einen Verband können sich mit fortschreitender Heilung ändern. Es ist jedoch allgemein anerkannt, dass eine warme, feuchte Umgebung eine schnelle Heilung fördert, und die meisten modernen Wundversorgungsprodukte sind darauf ausgelegt, diese Bedingungen zu erfüllen. Das Wundverbandmaterial sollte eine physikalische Barriere für eine Wunde bereitstellen, aber für Feuchtigkeit und Sauerstoff durchlässig sein. Umfangreiche Literatur al, 1998; Choucair und Phillips, 1996; Turner, 1997; Carver und Leigh, 1992; Higgins und Ashry, 1995; Doughty, 1992; Haimowitz und Margolis, 1997). Der Flüssigkeitshaushalt bei Brandverletzungen ist sehr wichtig, da ein starker Wasserverlust aus dem Körper durch Exsudation und Verdunstung zu einem Absinken der Körpertemperatur und einem Anstieg der Stoffwechselrate führen kann. Abgesehen davon sollte der Verband bestimmte andere Eigenschaften aufweisen, wie einfaches Anlegen und Entfernen und eine gute Haftung, so dass es keinen Bereich gibt, der nicht haftet. Zahlreiche Wundverbandmaterialien sind verfügbar und werden ebenfalls untersucht (Harsh et al., 1991 In situ Das Bilden von Hydrogelen, die in der Form des Wunddefekts hergestellt werden, hat Vorteile gegenüber der Verwendung von geformten Hydrogelgerüsten. Es würde die Anpassungsfähigkeit des Verbands an Wunden ermöglichen. Formen von Membranen und Folien sind problematisch, was die Anpassungsfähigkeit betrifft, und die in situ gebildeten Verbände wird daher vorgeformten Verbänden überlegen sein.

## AUSWAHL EINES WUNDVERBANDMATERIALS

Die Wunde benötigt eine Schutzbarriere, um die Heilung zu fördern. Passive Verbände wie Gaze und Tüll können dazu dienen, die Wunde von der äußeren Umgebung abzudecken. Gaze kann an der Wunde haften bleiben und beim Entfernen das Wundbett stören und ist daher für kleinere Wunden geeignet. Tüll ist eine fettige Gaze, die für minimale bis mäßige Exsudate geeignet ist. Interaktive Verbände enthalten polymere Filme, Schäume und Hydrogele, die für Wasser und Luftsauerstoff durchlässig sind. Solche Verbände sind vorteilhaft für stark exsudierende Wunden und gute Barrieren gegen das Eindringen von Bakterien in die Wunde und die Pathogenese (Andreia und Artur, 2011). Bioaktive Verbände, die aus einer Vielzahl von Biopolymeren wie Kollagen, Hyaluronsäure, Chitosan (CS), Alginat (AL) und Elastin hergestellt werden, haben die Fähigkeit, den physiologischen Zustand der Wunde zu verändern oder zu bekämpfen und die Heilung zu fördern (Falabella 2006; Queen et al . 2004). Diese Wundaufgaben enthalten in der Regel Wirkstoffe wie antimikrobielle und wundheilende Wirkstoffe (Queen et al. 2004).

In Anbetracht der oben genannten Merkmale sind Wundverbandmaterialien so konzipiert, dass sie kritische Zustände wie Infektionen in der lokalen Wundumgebung über die reine

Exsudatbehandlung hinaus bewältigen können. Die Wahl der richtigen Behandlungsoption ist der wesentliche Schritt bei der Behandlung aller Arten von chronischen Wunden (Katarzyna et al., 2013). Die Auswahl des am besten geeigneten Wundverbandmaterials für die Behandlung einer Wunde kann kompliziert sein, und Klarheit über Verbandsform und -funktion ist eine große Hürde, die es zu überwinden gilt (Carville, 1999). Vor der Auswahl einer geeigneten Wundaufgabe ist es entscheidend, die Absicht oder das Hauptziel der vorgeschlagenen Behandlung zu identifizieren. Es ist wichtig, den gesamten Patienten zu beurteilen, die ursächliche Krankheitspathologie zu diagnostizieren und die Meinung des Patienten vorher einzuschätzen (Schultz et al., 2003). Abgesehen von der Verfügbarkeit und Verwendung neuartiger Verbände erfordert die Wundbehandlung ein Verständnis des Prozesses der Gewebereparatur und die Kenntnis der Eigenschaften der verfügbaren Verbände (Carolina und Geoff, 2006). Die Auswahl des Verbandes sollte das Hauptziel haben, ein günstiges Umfeld zu fördern und aufrechtzuerhalten, um die Heilung zu erleichtern (Eaglstein, 1997). Die meisten der veröffentlichten klinischen Daten unterstützen die Verwendung von Wundaufgaben, die Mikroumfangsfaktoren wie optimale Sauerstoffspannung, pH-Wert und Feuchtigkeit fördern, die eine schnellere Wundheilung stimulieren, insbesondere solche, die ein feuchtes Wundmilieu unterstützen. Darüber hinaus die Wunde, Position, Vorhandensein von Trümmern oder Infektionen, Exsudatmenge und Patientenkomfort. Ein effektives Wundmanagement erfordert das Verständnis der Art der Wunde und des Heilungsprozesses. Auch die physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften des Verbandes müssen berücksichtigt werden. Die neuen Biomaterialien, die als Wundaufgaben verwendet werden sollen, sollten ein feuchtes Milieu um die Wunde herum, eine effektive Sauerstoffzirkulation, Zellführung und eine geringe Bakterienlast schaffen.

Entscheidungen zur Wundbehandlung müssen patientenzentriert sein. Die lokale Wundversorgung beginnt mit einer gründlichen Beurteilung der Wunde und einer umfassenden Erhebung von Daten über den Gesamtzustand des Patienten. Die Wundbeurteilung ist der kumulative Prozess der Beobachtung der eigentlichen Wunde sowie der Beobachtung des Patienten, der Datenerfassung und der Auswertung. Die Berücksichtigung der Ätiologie der Wunde ist für die richtige Versorgung unerlässlich. Wundversorgungsprodukte müssen für die jeweilige Wunde individualisiert werden. Beispielsweise kann ein venöses Stauungsgeschwür einen stark absorbierenden Verband sowie die notwendige Kompressionstherapie erfordern. Darüber hinaus ist die Überprüfung des Knöchel-Arm-Index und/oder des Zehendrucks mithilfe der Doppler-Technologie Teil der Gesamtversorgung eines Patienten mit einem peripheren Gefäßgeschwür oder einer Vorgeschichte von diabetischer Neuropathie (Okan et al., 2007).

Für viele Patienten liefert die wöchentliche Neubewertung Indizien für eine erfolgreiche Behandlung und führt zu Entscheidungen, die Produktänderungen nahelegen. Da sich die Wundeigenschaften ändern, sollte sich auch die Wahl der Wundaufgaben ändern. Tatsächlich können mehrere verschiedene Arten von Produkten benötigt werden, während die Wunde die

Heilungsstadien durchläuft. Nach Abschluss einer gründlichen Wundbeurteilung wird die Auswahl von Verbänden und Behandlungen zu einer klinischen Entscheidung, die das erwartete Gesamtergebnis des Patienten einschließt. Die Behandlungsziele können darauf abzielen, eine saubere Wunde zu erreichen, die Wunde zu heilen, ein sauberes Wundbett zu erhalten, eine Verschlechterung der Wunde zu verhindern, Geruch oder Exsudate einzudämmen, Schmerzen zu lindern oder den Patienten in einer anderen Umgebung unterzubringen, um die Behandlung fortzusetzen. Ärzte sollten die Wundbeurteilungsmerkmale mit den Verbandsmerkmalen oder -funktionen abgleichen. Das Ziel der Pflege besteht dann darin, das richtige Produkt zur richtigen Zeit auf der richtigen Wunde anzuwenden. Beispielsweise muss eine körnige, nicht auslaufende feuchte oder nasse Wunde ein Feuchtigkeitsgleichgewicht aufrechterhalten, das zur Heilung beiträgt. Die primäre Wahl des Verbands wäre ein Produkt, das ein feuchtes Milieu aufrechterhält, aber keine Mazeration oder Austrocknung des Wundbetts verursacht. Das Ziel der Verbandsauswahl für eine nekrotische, dränierende diabetische Wunde besteht darin, den Schorf für ein chirurgisches Debridement zu lösen oder aufzuweichen oder das autolytische Debridement der Wunde zu unterstützen, überschüssiges Exsudat zu absorbieren und ein Trauma des umgebenden Gewebes zu verhindern. Eine Wunde, die trocken und nekrotisch und nicht heilbar ist, würde sich nicht darum kümmern, die Wunde zu schützen und auf Anzeichen einer Infektion zu untersuchen. Darüber hinaus ist es wichtig, sich daran zu erinnern, dass eines der Hauptziele der Pflege die Prävention wundbedingter Infektionen ist. Infektionen sind eine häufige Komplikation aller offenen Wunden, einschließlich diabetischer Wunden. Offene Wunden sind mit Bakterien besiedelt, was bedeutet, dass immer eine geringe Anzahl von Bakterien auf der Wundoberfläche vorhanden ist (Doughty, 2010). Antimikrobielle oder antiseptische Verbände können verwendet werden, um Wunden zu behandeln, die kritisch mit Bakterien besiedelt sind, die eine anhaltende Freisetzung verschiedener Wirkstoffe wie Silber oder Cadexomer-Jod bewirken (Rodeheaver, 2007). Laut dem National Pressure Ulcer Advisory Panel und dem European Pressure Ulcer Advisory Panel ist es notwendig, den Wundstatus nach Abschluss des Verbandswechsels neu zu bewerten, damit die am besten geeignete Behandlung durchgeführt werden kann (2009). Die Auswahl des Wundverbands sollte auch eine Bewertung des Behandlungsergebnisses des Patienten umfassen. Akutpatienten mit einer Aufenthaltsdauer von 4-5 Tagen erzielen im Allgemeinen keine Heilung als Ergebnis, sondern ein feuchtes, sauberes Wundbett, das das Heilungsmilieu unterstützt. Die Umstände der häuslichen Pflege und der Langzeitpflege können das Ziel haben, basierend auf dem allgemeinen Gesundheitszustand des Patienten zu heilen oder den aktuellen Zustand der Wunde aufrechtzuerhalten. Wundergebnisse müssen patientenorientiert und naturgetreu im Hinblick auf die Dauer sein, für die ein Patient versorgt wird (Sharon und Elizabeth, 2012). Ein Beispiel für ein verbessertes Verständnis der Zellbiologie der Wundheilung und -technologie ist die Verwendung von Wachstumsfaktoren in der Wundversorgung. Alle Wachstumsfaktoren sind Proteine, die von Zellen ausgeschieden werden und die Fähigkeit haben, die Zellteilung zu stimulieren, eine positive Wirkung während des Wundheilungsprozesses (Davidson, 2010). Wachstumsfaktoren sind jetzt verfügbar –



abgeleitet entweder von den eigenen menschlichen Blutplättchen eines Patienten oder in einer Arzneimittelform, die in einer Tube abgegeben wird, um auf Wunden aufgetragen zu werden. Die Forschung geht weiter, welche Kombination, welche Menge und wann Wachstumsfaktoren die Wundheilung am besten fördern.

Tissue Engineering ist eine faszinierende Technologie, die neue Optionen für das Wundmanagement durch die Verwendung von Hautäquivalenten oder -ersatzstoffen für die Heilung chronischer Wunden bietet. Der Einsatz der Gentherapie bei der Wundheilung durch Regulierung der Expression von Schlüsselmolekülen wie Wachstumsfaktoren ist die noch abzuwartende Zukunftsperspektive.

Aktuelle Entscheidungen zur Wahl des Wundverbands, falls vorhanden, basieren hauptsächlich auf den Verbandskosten und der Auswahl der nützlichsten Behandlungseigenschaften, die jeder Verbandstyp bietet, z. B. die Behandlung von Wundexsudat (Dumville et al, 2011).

## SPEZIALISIERTE WUNDVERBÄNDE

Wünschenswerte Eigenschaften für Wundverbände müssen die Prinzipien der Wundheilung und die Art der Wunde beinhalten. Die herkömmlichen Wundauflagematerialien sind für akute und chronische Wunden im Hinblick auf eine schnelle Wundheilung nicht geeignet. Zu diesem Zweck wurden funktionalisierte biologische und biochemische Bandagen entwickelt. Einer der Hauptvorteile des Einsatzes solcher spezialisierter Wundauflagematerialien ist das modifizierte chemische Milieu, das den physiologischen Bedingungen entsprechend der Art der Wunde gegenübersteht und eine schnellere Heilung ermöglicht (Liane et al., 2013). Außerdem kann ein häufiges Wechseln der Wundaufgabe vermieden werden. Diese Materialien führten im Vergleich zu den herkömmlichen Wundverbandmaterialien zu vielversprechenderen klinischen Ergebnissen. Die bioaktiven Wundauflagematerialien werden aus einer Vielzahl von Biopolymeren wie Pektin, Kollagen, Hyaluronan, CS, AL, Elastin usw. hergestellt. Heutzutage konzentriert sich die Forschung und Entwicklung mehr auf interaktive Anwendungen bei nicht heilenden Wunden als auf die Verwendung natürlicher Materialien bedecken und verbergen Sie einfach die Wunde. Diese neuartigen Wundaufgaben stehen in engem Zusammenhang mit dem proteolytischen Wundmilieu und der Bakterienbelastung, um den Heilungsprozess zu fördern. In letzter Zeit dreht sich die Wundverbandsforschung um die Substitution von synthetischen Polymeren durch natürliche proteinhaltige Wundmaterialien in kontrollierter Weise. Die verbesserten Eigenschaften dieser Verbände, wie die Freisetzung von Antibiotika und Wachstumsfaktoren, sind vorteilhaft für Situationen wie diabetische Fußgeschwüre.

Für diabetische Wunden, insbesondere für diabetische Fußgeschwüre, wurden viele solcher spezialisierten Wundverbandmaterialien wie Hydrokolloide und Hydrogele mit

verbesserter Wundheilung ausprobiert (Daichi et al., 2010).

## EIGENSCHAFTEN EINES WUNDVERBANDMATERIALS FÜR DIABETISCHE WUNDEN

Wie bei allgemeinen Wundaufgaben sollte auch die diabetische Wunde mit Materialien abgedeckt werden, die Symptome lindern, Wundschutz bieten, die Heilung fördern, Wundaustrocknung reduzieren und eine ausreichende Belüftung bieten. Eine schematische Darstellung der wesentlichen Eigenschaften eines diabetischen Wundverbandmaterials ist in Abbildung 2 zu sehen. Wundverbände wurden hergestellt, um eine solche Umgebung zu bewahren und gleichzeitig das Wachstum von Mikroorganismen zu kontrollieren, einen Gasaustausch zu ermöglichen und die Wunde thermisch zu isolieren, was eine schmerzfreie Entfernung ermöglicht. Ein guter Wundverband muss auch virtuellen Aspekten gerecht werden, z. B. die Beobachtung der Wunde ermöglichen und mechanische Unterstützung und Anpassungsfähigkeit bieten. Außerdem müssen die Verbände auch kostengünstig sein (Jones, 1998). Bei der Behandlung diabetischer Wunden muss dem Feuchtigkeitsgehalt der Wunde größte Bedeutung beigemessen werden. Nicht klebende Verbände sind einfach, kostengünstig und gut verträglich. Schaum- und AL-Verbände sind stark absorbierend und wirksam bei stark exsudierenden diabetischen Wunden. Hydrogele fördern die Autolyse und können bei der Behandlung von chronischen diabetischen Geschwüren mit nekrotischem Gewebe vorteilhaft sein. Verbände mit antimikrobiellen Wirkstoffen wie Silber und Povidon-Jod können bei der Behandlung von Wundinfektionen helfen. Okklusivverbände sollten bei infizierten Wunden vermieden werden. Stark exsudierende diabetische Geschwüre müssen häufig gewechselt werden, um die Mazeration der umgebenden Haut zu reduzieren (Hilton et al., 2004).

## ARTEN VON WUNDVERBÄNDEN, DIE FÜR DIABETISCHE WUNDEN GEEIGNET SIND

Es gibt verschiedene Schulen zum idealen Verband bei Diabetes. Im Allgemeinen werden die Prinzipien der feuchten Wundheilung befolgt. Dies ist eine bewährte Vorgehensweise bei unkomplizierten akuten Operationswunden. Chronische diabetische Wunden müssen jedoch alle 1-2 Tage auf Infektionen überwacht werden, daher sind Verbände, die für eine optimale Verwendung über längere Zeiträume ausgelegt sind, nicht ideal. Kleberänder an modernen Verbänden sorgen für einen verbesserten Kontakt mit dem Wundbett. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass die umgebende Haut beim Entfernen nicht beschädigt wird. Infizierte Wunden produzieren vermehrt Exsudat, daher sollte die Exsudataufnahmefähigkeit von Verbänden berücksichtigt werden, ALs sind oft nützlich. Alle ALs haben ähnliche Eigenschaften, aber Unterschiede in der Herstellung wirken sich auf die Absorptionseffektivität

verschiedener Produkte aus. Diejenigen mit genadelten Fasern sind dicht und neigen dazu, in Gegenwart dicker Exsudate eine faserige Matte zu bilden. Dies behindert den Abfluss und kann benachbartes Gewebe unterminieren. Die Verwendung von ALs ist am besten auf Wunden beschränkt, die große Mengen an dünnem Exsudat absondern.

Antimikrobielle Mittel werden in zahlreiche Wundaufgaben eingeführt, wobei Wirksamkeitsnachweise untersucht werden (Ovington, 2010). Silberpräparate oder Cadexomer-Jod-Verbände können verwendet werden, um Bakterien in kolonisierten oder infizierten Wunden zu reduzieren (Schultz et al., 2003). Verbände sind jedoch kein Ersatz für eine systemische Infektionstherapie. Sperrige Verbände erhöhen wahrscheinlich den Druck im Schuh.

Die Wundversorgung und das Management haben sich in der Vergangenheit stark verbessert. Auch wenn viele aktuelle Technologien verbessert und erweitert werden und viele neue Methoden entwickelt und erforscht werden, bleibt Nass-Trocken-Gaze ein beliebter Verband bei Gesundheitsdienstleistern. (Ovington, 2010). Hautersatzstoffe haben sich als "intelligenter" Verband als vielversprechend erwiesen, wobei diese Theorie die neueste und neueste Forschung ist, die getestet wird. Es gibt eine große Anzahl von Wundverbandmaterialien auf dem Markt, die wie folgt diskutiert werden.

## **NICHT HAFTENDER ODER SCHWER HAFTENDER VERBAND**

Verschiedene Arten von nicht haftenden oder mit Kochsalzlösung getränkten Mullverbänden werden oft als Standardbehandlung für diabetische Geschwüre angesehen. Diese Verbände sind atraumatisch und bieten eine feuchte Umgebung für die Wundheilung. Diese Wundverbände sind insofern vorteilhaft, als sie einfach und relativ kostengünstig sind, aber nicht für die spezifische Behandlung von Infektionen ausgelegt sind. Sie können sicher in Kombination mit Antibiotika-Behandlungen verwendet werden. Nicht haftende Verbände auf Silikonbasis wurden entwickelt, um Schäden am Wundbett und umgebendem Gewebe zu minimieren. Sie können besonders bei empfindlicher oder brüchiger Haut wie diabetischen Wunden nützlich sein, bei denen ein regelmäßiger Verbandswechsel erforderlich ist. Silikon ist außerdem inert (Thomas, 2003), wodurch es für Patienten mit einem erhöhten Empfindlichkeitsrisiko, wie z. B. Patienten mit diabetischen Fußgeschwüren, geeignet ist. Adaptic Touch ® Flexible, offenmaschige primäre Wundkontaktschicht aus Zelluloseacetat, beschichtet mit einem weich haftenden Silikon. Es ist so konzipiert, dass es während des Anlegens des Verbands ohne fremde Hilfe an Ort und Stelle bleibt und während des Verbandswechsels sowohl in Bezug auf die Wunde als auch auf die umgebende Haut atraumatisch ist. Die atraumatische Natur des Verbands trägt dazu bei, Schmerzen während des Verbandswechsels zu lindern.

Eine neue Generation von nicht haftenden primären Wundverbänden namens

Lipidkolloid-Verbände wurde entwickelt, um die wünschenswerte Eigenschaft dieser neuen Verbandsklasse mit Urgotul® zu kombinieren. Urgotul® wird für die Granulations- und Reepithelisierungsstadien der Wundheilung empfohlen. Es sollte normalerweise alle 2-3 Tage gewechselt werden, kann aber bei schwach oder leicht exsudierenden Wunden länger (6 Tage) belassen werden. Aufgrund der geringen Wundhaftung ist eine schmerzfreie und atraumatische Entfernung zu erwarten (Moody, 1992; Hollinworth, 1995; Williams, 1996). In der Praxis hat sich herausgestellt, dass dies der Fall ist (Benbow, 2002). Urgotul® besteht aus 100 % Polyester, kreuzweise offen gewebt, imprägniert mit hydrokolloiden Polymeren, dispergiert in einem mit Petrolatum imprägnierten Netz. Sein makroskopischer Aspekt ist der einer nicht fettenden, leichten und weichen Gaze, die sich leicht an die Wundform anpasst. Urgotul® exsudiert nicht, hydrokolloide Polymere sind hydratisiert und bilden mit dem Petrolatum-Anteil des Verbands eine Lipidkolloid-Grenzfläche, die die Adhäsion an der Wundoberfläche verringern soll. Urgotul® Aufnahmekapazität. Die Lipidkolloid-Grenzfläche ist sehr kohäsiv, verhindert die Freisetzung von Petrolatum auf der Wundoberfläche und erleichtert das Entfernen des Verbands. Darüber hinaus verhindert die offene Webart des Polyesters eine Verformung des Wachstums von durchwachsendem Granulationsgewebe und die daraus resultierende Verletzungsgefahr beim Entfernen (Meaume et al., 2002).

## Hydrokolloide

Hydrokolloide sind eine spezielle Klasse von Wundverbänden, die in der klinischen Praxis weit verbreitet sind, um diabetische Wunden zu behandeln. Allgemein bezeichnet der Begriff Hydrokolloid die Familie der Produkte zur Wundbehandlung, die aus kolloidalen oder gelbildenden Materialien in Kombination mit anderen Materialien wie Klebstoffen und Elastomeren hergestellt werden (Joshua et al., 2008). Hydrokolloidverbände sind halbdurchlässig für Dampf, okklusiv für Wundexsudat und absorbierend. Sie werden normalerweise als absorbierende Schicht auf einer Folie oder einem Schaum aufgebracht. Hydrokolloide sind auch zur Granulation und Epithelisierung diabetischer Wunden indiziert. Sie enthalten kolloidale Materialien wie Carboxymethylcellulose (CMC), Gelatine und Pektin (Joshua et al., 2008). Wenn der Verband mit Wundexsudat in Kontakt kommt, absorbiert er Flüssigkeit und bildet ein Gel, das eine feuchte Umgebung schafft, die den Heilungsprozess fördern kann (Heenan, 1998). Hydrokolloidmaterialien sind so konzipiert, dass sie okklusiv sind, Exsudat im Verband einschließen und die Wunde mit Feuchtigkeit versorgen. Dies macht sie zur zweitbeliebtesten Verbandswahl (hinter nicht haftend) für alle diabetischen Fußgeschwüre in einer Studie britischer diabetischer Pflegefachkräfte und Fußpfleger (Fisken und Digby, 1997) Gill (1999) überprüfte die Literatur zur Verwendung von Hydrokolloiden bei Diabetikern Fuß und wies darauf hin, dass sich die Bedenken hinsichtlich der Verwendung von Hydrokolloiden bei diabetischen Fußgeschwüren hauptsächlich auf subjektive Berichte über Nebenwirkungen konzentriert haben, die sich zu einem großen Teil aus der unsachgemäßen Verwendung dieser Wundaufgaben entwickelt haben. TM und Aquacel TM (Conva Tec, Hounslow, UK), Comfeel TM (Coloplast, Peterborough, UK) und Tegisorb TM (3M Healthcare,

Loughborough, UK) (Joshua et al., 2008).

## HYDROGELE

Hydrogele sind quellbare, unlösliche und hydrophile Materialien aus synthetischen Polymeren wie Poly(methacrylaten) und Polyvinylpyrrolidin. Einige Verbände wie Nu-gel TM (Johnson and Johnson, Ascot, UK) und Purilon TM (Coloplast) sind Hydrogel/AL-Kombinationen. Hydrogele ähneln Hydrokolloid-Verbänden insofern, als sie die Autolyse von nekrotischem Gewebe erleichtern sollen, sie unterscheiden sich jedoch darin, dass sie Feuchtigkeit an ausgiebig trockene Wunden spenden. Beispiele sind Aquaform (Maersk Medical) und Intrasite Gel (Smith and Nephew). Hydrogele können je nach Exsudatmenge in Wunden entweder als amorphes Gel oder als elastische, feste Folie oder Folie aufgetragen werden. Zur Herstellung der Folien werden die polymeren Komponenten vernetzt, so dass sie physikalisch Wasser einschließen. Die Blattform von Hydrogel-Verbänden kann eine beträchtliche Menge an Exsudat von exsudierenden diabetischen Geschwüren absorbieren und zurückhalten. Wenn Hydrogel-Verbände als Gel auf die Wunde aufgetragen werden, benötigen sie normalerweise eine sekundäre Abdeckung wie Gaze und (Debra, 1998). Die Blattform benötigt keinen Sekundärverband, da diese als halbdurchlässiger Polymerfilmträger mit oder ohne Kleberänder ausgelegt sind, der die Übertragung von Wasserdampf durch den Verband kontrolliert. Außerdem können die Blätter aufgrund ihrer flexiblen Natur so zugeschnitten werden, dass sie um die Wunde passen. Die Gele werden als Primärverbände verwendet, während die Hydrogelfilme als Primär- oder Sekundärverbände verwendet werden können. Hydrogel-Verbände können zu Mazerationen führen, wenn sie auf mäßig bis stark exsudierende Wunden aufgetragen werden. Daher sollten diese bei Patienten mit Extremitätenischämie mit Vorsicht angewendet werden, da eine trockene Gangrän möglicherweise schnell zu einer feuchten Gangrän mit schwerwiegenden Folgen fortschreiten kann. Auch wenn man zögert, Hydrogele auf infizierte Wunden aufzutragen; In-vitro-Studien haben gezeigt, dass Hydrogele das Bakterienwachstum nicht fördern (Mc-Culloch, 1993). Morgan (2002) schlug vor, dass Hydrogele für die Anwendung in allen Stadien der Wundheilung geeignet sind, ausgenommen stark exsudierende oder infizierte Wunden (Morgan, 2002). Säure) (PGA) wurde von Yen-Hsien Lee et al. Sie haben die Wirkung der Hydrogele auf die Wundheilung in einem durch Streptozotocin (STZ) induzierten Rattenmodell mit Typ-1-Diabetes untersucht. Nach der Transplantation auf Wunden in voller Dicke zeigte geschichtetes AL-CS-PGA eine höhere Wundheilungsrate als herkömmliche AL-Hydrogele. Die histologische Untersuchung zeigte, dass mit AL-CS-PGA behandelte Wunden eine erhöhte Kollagenregeneration und Epithelisierung zeigten (Yen et al., 2012).

## SCHÄUME

Schaumverbände bestehen aus porösem Polyurethanschaum oder einer

Polyurethanschaumfolie, manchmal mit klebenden Rändern. Wundauflagen auf Schaumbasis sind eine weitere beliebte Wahl für die Behandlung des diabetischen Fußes. Diese Verbände besitzen die Fähigkeit, große Mengen an Exsudat zu absorbieren, bieten der Wunde Wärmeisolierung und sind komfortabel. Es gibt einige wenige veröffentlichte Daten zu ihrer Verwendung bei diabetischen Fußulzerationen und keine zu ihrer Verwendung bei Infektionen (Hilton, 2004)

## ALGINATE

Derzeit ist auf dem Markt eine große Vielfalt unterschiedlicher AL-basierter Wundversorgungsprodukte erhältlich. Sie passen sich in Kavitätenwunden an, um Hämostase zu bieten, sind stark saugfähig und atraumatisch und verursachen beim Verbandswechsel kaum Schmerzen. Die AL-Verbände liegen entweder in Form von gefriergetrockneten Schäumen (poröse Platten) oder als flexible Fasern vor. Die Verwendung von ALs als Verbände beruht hauptsächlich auf ihrer Fähigkeit, bei Kontakt mit Wundexsudaten Gele zu bilden, was auf die hohe Exsudataufnahmekapazität zurückzuführen ist. Die hohe Absorption erfolgt über eine starke hydrophile Gelbildung, die Wundsekrete begrenzt und bakterielle Kontamination minimiert (Heenan, 1998). Die an Mannuronat reichen ALs wie Sorbsan TM (Maersk, Suffolk, UK) bilden bei Hydratation weiche, flexible Gele, während die an Guronsäure reichen wie Kaltostat TM (Conva Tec) bei der Absorption von Wundexsudat festere Gele bilden. Einige enthalten Calcium-AL-Fasern wie Sorbsan TM Doyle et al. (1996). Sie ihre Beweglichkeit. Dies deutet darauf hin, dass die Wirkungen des Verbands möglicherweise durch Calciumionen vermittelt wurden, die aus der AL freigesetzt wurden, und daher kann Calcium AL einige zelluläre Aspekte der Wundheilung verbessern, andere jedoch nicht.

## BIOAKTIVE WUNDVERBÄNDE

Die in der Wundbehandlung verwendeten Wirkstoffe haben neben den pharmazeutischen Wirkstoffen und Verbänden, die zu ihrer Verabreichung verwendet werden, eine Revolution revolutioniert. Herkömmliche Verbände, die üblicherweise zum Verabreichen von Arzneimitteln verwendet werden, umfassen einfache Gaze und mit Paraffin imprägnierte Gaze (Tulle Gras). Zu den modernen Verbänden, die zur Abgabe von Wirkstoffen an Wunden verwendet werden, gehören Hydrokolloide, Hydrogele, ALs, Polyurethanschäume/-folien und Silikongele. Einige der üblicherweise verwendeten Wirkstoffe und die Verbände (und neuartige Polymersysteme), die verwendet werden, um sie an Wundstellen abzugeben, werden nachstehend beschrieben.

## ANTIMIKROBIELLE VERBÄNDE

Nach einer Operation besteht bei Patienten mit Diabetes ein höheres Risiko für Wundinfektionen, da ihre Immunantwort beeinträchtigt sein kann (Mulder et al., 1998). Auch wenn der Nachweis einer Infektion in der Regel auf der Beurteilung des Arztes anhand der Entzündungszeichen basiert, kann die Reaktion auf eine Infektion aufgrund der ausgeprägten Pathophysiologie von Diabetes weniger ausgeprägt sein. Daher ist es entscheidend, bei Diabetikern antibakterielle Verbände zu verwenden. Diese dienen als Abdeckungen, die antibakterielle Wirkstoffe wie Silber oder Polyhexa-

## Jodpräparate

Obwohl spekuliert wurde, dass Jod die Heilung verzögert und zytotoxisch ist, werden sie häufig in niedriger Konzentration als Jodophore mit langsamer Freisetzung verwendet, um die Heilungsraten zu verbessern, und sind als hochwirksame antimikrobielle Mittel mit einem breiten Wirkungsspektrum wirksam, einschließlich antibiotikaresistenter Stämme wie Methicillin-resistenter *Staphylococcus aureus* (MRSA) (Gordon, 1993). Cadexomer-Jod und Povidon-Jod sind die beiden wichtigsten Jodpräparate. Povidon-Jod wird seit Jahren als Hautantiseptikum verwendet, aber seine antimikrobielle Wirkung auf Wunden ist umstritten (Lammers et al., 1990). Eine randomisierte kontrollierte Studie mit Cadexomer-Jod versus mit Kochsalzlösung getränkter Gaze bei sauberen Fußgeschwüren zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Heilung zwischen den Gruppen (Apelqvist und Ragnarson, 1996). Trotz fehlender Evidenz halten viele Kliniker Jodpräparate für geeignete Verbände bei infizierten diabetischen Fußulzera (Hilton et al., 2004).

## SILBERIMPRÄGNIERTE VERBÄNDE

Silber wurde in den letzten Jahrzehnten als topisches antimikrobielles Mittel für akute und chronische Wunden verwendet. Die medizinische Verwendung von Silber umfasst seine Einarbeitung in Wundauflagen und seine Verwendung als antibakterielle Beschichtung in Biomaterialien. Wundauflagen, die Silbersulfadiazin oder Silber-Nanomaterialien enthalten, werden zur Behandlung äußerer Infektionen eingesetzt. Es wurde traditionell als Silbernitrat oder als Silbersulfadiazin wie Flamazine-Salbe geliefert. (Tredget et al., 1998) sind ermutigend. Kürzlich wurden Wundauflagen mit eingearbeiteten Silbernanopartikeln entwickelt, da sie aufgrund ihrer großen Oberfläche Ag<sup>+</sup>-Ionen mit einer größeren Rate freisetzen können als massives Silber. Wenn sie aus Verbänden freigesetzt werden, haben sie auch das Potenzial, biologische Kompartimente zu durchqueren (Wilkinson et al., 2011).

## HONEY DRESSING AUF EINEM INFIZIERTEN DIABETISCHEN FUSSGESCHWÜR

Es ist bekannt, dass Honig ein breites Spektrum von Bakterien hemmt, die von Acinetobacter-Arten bis zu Yersinia ruckeri reichen (Blair, 2009). Es wurde in vitro gezeigt, dass das Gel von L-Mesitran Tulle in der Lage ist, MRSA, Extended-Spectrum Beta-Lactamasen (ESBL) und andere antibiotikaresistente Bakterien erfolgreich zu zerstören (Stephen et al., 2011). Diese Studie spiegelte diese In-vitro-Befunde in vivo bei zwei mit P. aeruginosa infizierten Patienten wider. Bei den in diesem Fallbericht behandelten Wunden fand ein schnelles Debridement statt, eines der Hauptmerkmale von Produkten auf Honigbasis (White, 2005; Molan, 2006). Die Stimulierung der Angiogenese durch Produkte auf Honigbasis (Rossiter, 2010) wird durch die in dieser Bewertung beschriebene schnelle Epithelisierung deutlich. Das Auftreten resistenter Stämme und die finanzielle Belastung durch moderne Dressings haben Honig als kostengünstiges Dressing wiederbelebt, insbesondere in Entwicklungsländern. Seine Eignung für alle Stadien der Wundheilung deutet auf seine klinische Wirksamkeit bei Wundinfektionen des diabetischen Fußes hin.

Eine Studie, die an 30 infizierten diabetischen Fußwunden mit Honigverband durchgeführt wurde, zeigte eine vollständige Heilung bei 43 Honigverbänden. Diese Studie beweist, dass kommerzieller Klee Honig eine klinische und kostengünstige Wundaufgabe für diabetische Wunden in Entwicklungsländern ist (Moghazy, 2010).

## WACHSTUMSFAKTOR IMPRÄGNIERTE WUNDVERBÄNDE

Verschiedene Strategien wurden eingesetzt, um den Heilungsprozess bei akuten Wunden zu fördern. Diese Strategien beinhalten normalerweise die Verabreichung eines therapeutischen Stimulus, der eine Heilungsreaktion auslösen soll (z. B. Wachstumsfaktoren, Zelllinien und Gewebeersatz) (Menke et al., 2007; Steed, 2003; Chen et al., 1997).

Die Wundheilungsfähigkeit von Wachstumsfaktoren wird durch die Stimulierung von Angiogenese und Zellproliferation vermittelt, was sowohl zur Produktion als auch zum Abbau der extrazellulären Matrix führt und auch bei der Zellentzündung und Fibroblastenaktivität eine Rolle spielt (Komarcevic, 2000). Wachstumsfaktoren beeinflussen daher die Entzündungs-, Proliferations- und Migrationsphase der Wundheilung (Dijke, 1989). Es wurde über eine Vielzahl von Wachstumsfaktoren berichtet, die am Prozess der Wundheilung beteiligt sind, einschließlich epidermaler Wachstumsfaktor (EGF), Thrombozyten-Wachstumsfaktor (PDGF), Fibroblasten-Wachstumshormon und Granulozyten-Makrophagen-Kolonie-stimulierender Faktor (GM-CSF). ) (Greenhalgh, 1996). Die meisten dieser Wachstumsfaktoren sind rekombinante Proteine, und die Auswahl eines geeigneten Verbands ist entscheidend für eine wirksame Freisetzung und Wirkung an der Wundstelle. Die Einführung des Wachstumsfaktors zum richtigen Zeitpunkt und unter den richtigen Umständen scheint entscheidend zu sein. Der vaskuläre endotheliale Wachstumsfaktor (VEGF) könnte eine wichtige Rolle bei Zuständen spielen, bei denen die Vaskularisation begrenzt ist, wie bei der diabetischen Wunde.



## KOLLAGENBASIERTE WUNDVERBÄNDE IN DER WUNDBEHANDLUNG VON DIABETISCHEN WUNDEN

Kollagen, das von Fibroblasten produziert wird, ist das am häufigsten vorkommende Protein im menschlichen Körper, das an allen drei Phasen der Wundheilungskaskade beteiligt ist. Es stimuliert die Zellmigration und trägt zur Entwicklung neuer Gewebe bei. Kollagenablagerung und -umbau tragen zur erhöhten Zugfestigkeit der Wunde bei, die drei Wochen nach der Verletzung etwa 20 % des Normalwerts beträgt und allmählich ein Maximum von 70 % der normalen Haut erreicht (Desmouliere et al., 1995).

Epithelstrukturen können zwar durch Regeneration heilen, Bindegewebe jedoch nicht und sind auf den Reparaturprozess hauptsächlich durch die Bildung von kollagenem Narbengewebe (Berry et al., 1998), überwiegend vom Typ I, angewiesen, das dazu dient, die Kontinuität, Festigkeit und Funktion des Gewebes wiederherzustellen. Aufgrund ihrer chemotaktischen Eigenschaften auf Wundfibroblasten fördern Kollagenverbände die Ablagerung und Organisation von neu gebildetem Kollagen und schaffen so eine Umgebung, die die Heilung fördert. Auf Kollagen basierende Biomaterialien stimulieren und rekrutieren spezifische Zellen wie Makrophagen und Fibroblasten entlang der Heilungskaskade, um die Wundheilung zu verbessern und zu beeinflussen. Diese Biomaterialien können je nach Verabreichungssystem Feuchtigkeit oder Absorption bereitstellen. Kollagenverbände lassen sich leicht auftragen und entfernen und sind anpassungsfähig. Kollagendressings werden üblicherweise mit Rinder-, Vogel- oder Schweinekollagen formuliert. Oxidierte regenerierte Zellulose, ein Material auf Pflanzenbasis, wurde mit Kollagen kombiniert, um einen Verband herzustellen, der Wachstumsfaktoren binden und schützen kann, indem er Matrix-Metalloproteinasen in der Wundumgebung bindet und inaktiviert. Das verbesserte Verständnis der biochemischen Prozesse, die an der chronischen Wundheilung beteiligt sind, ermöglicht die Entwicklung von Wundversorgungsprodukten, die darauf abzielen, Ungleichgewichte in der Mikroumgebung der Wunde zu korrigieren. Herkömmliche fortschrittliche Wundversorgungsprodukte neigen dazu, das Makromilieu der Wunde anzusprechen, einschließlich der Kontrolle des feuchten Wundmilieus, des Flüssigkeitsmanagements und der kontrollierten Transpiration von Wundflüssigkeiten. Die neuere Klasse von Biomaterialien und Wundheilungsmitteln wie Kollagen und Wachstumsfaktoren zielen auf spezifische Defekte im chronischen Wundmilieu ab. In-vitro-Labordaten weisen auf die Möglichkeit hin, dass diese Wirkstoffe den Wundheilungsprozess auf biochemischer Ebene fördern. Eine große Vielfalt von Kollagenverbänden wurde entwickelt, um die Wundheilung zu fördern, insbesondere bei nicht infizierten, chronischen und indolenten Hautgeschwüren. Neben den kritischen Kollagenfunktionen wirken sich mehrere andere Faktoren, die mit einer schlechten Wundheilung zusammenhängen, direkt auf den Kollagenstoffwechsel aus. Diabetes bildet einen solchen extrinsischen Faktor, bei dem

Hyperglykämie die normale Kollagensynthese reduziert und eine nicht-enzymatische Glykosylierung von Kollagen und Keratin induziert, was zur Bildung von abnorm starrem Kollagen führt und den Gewebeabbau fördert (Black et al., 2003).

## **ALKALISCH BEHANDELTE KOLLAGEN- UND ATELOCOLLAGEN-GELE**

Daichiet al. einen intelligenten Wundverband mit wundheilungsfördernden Komponenten entwickelt. Abgesehen von herkömmlichen Verbänden handelt es sich hierbei um einen Verband vom Gel-Typ, der grundlegende Faktoren enthält, die von den Zellen in einem Komplex aus alkalisch behandeltem Kollagen und Atelokollagen benötigt werden. Eine Methode zur Solubilisierung von Kollagen verwendet Proteasen, Enzyme, die die Querverbindungen zwischen Kollagenmolekülen aufbrechen, wie in der folgenden Abbildung angegeben. Durch Solubilisierung gewonnenes Kollagen wird als Atelokollagen bezeichnet. Die In-vivo-Studie an genetisch diabetischen Mäusen hatte gezeigt, dass das Kollagen-Gel die Bildung von Granulationsgewebe induziert, wobei die Wundkontraktion durch Migration von Epidermiszellen aus dem umgebenden Gewebe verursacht wird. Bis zum 14. Tag war die Wundfläche auf 37 % auf der unbehandelten Seite im Vergleich zu 22 % auf der Kollagen-Gel-Seite zurückgegangen, was darauf hinweist, dass Kollagen-Gel mit einer signifikant stärkeren Wundkontraktion verbunden war. Außerdem gab es auf der Kollagen-Gel-Seite viele Blutgefäße. Der Kollagen-Gel-Verband ist am wirksamsten bei trockenen, offenen Wunden, d. h. solchen mit minimalem Erguss, und er kann auch bei vertieften offenen Wunden wirksam sein. Kollagen-Gel-Verbände sollen bei der Behandlung von Wunden wie Hautdefekten und Hautgeschwüren sehr nützlich sein (Daichi et al., 2010)

## **CHITOSAN-KREUZVERNETZTER KOLLAGEN-SCHWAMM**

Wei Wanget al. berichteten über einen besseren Wundverband zur Verbesserung der diabetischen Wundheilung unter Verwendung eines CS-vernetzten Kollagenschwamms, der rekombinanten humanen sauren FGF enthält. Mit CS vernetztes Kollagen zeigte mehrere Vorteile, die für Wundverbände erforderlich sind, einschließlich der gleichmäßigen und porösen Ultrastruktur, geringerer Wasseraufnahme, Porosität in kleinen Intervallen und hoher Beständigkeit gegen Kollagenaseverdauung und langsame Freisetzung von FGF aus dem Verband. Diabetische Ratten zeigten im Vergleich zu nicht-diabetischen Ratten eine geringere Körpergewichtszunahme. Es deutet darauf hin, dass FGF-imprägnierter CS-vernetzter Kollagenschwamm ein idealer Wundverband ist, um die Heilung von Wunden mit beeinträchtigter Wundheilung, wie z. et al., 2008).

## COLLAGEN ALS ACELLULÄRER HAUTERSATZ

Auf dem Gebiet des biotechnologisch hergestellten Hautersatzes erweist sich Kollagen für Hautkonstrukte (wie Dermagraf® und Apligraf®) als wirksam. Dennoch bleiben die überzeugenden experimentellen Daten zum Wert und potenziellen Einfluss von Kollagen bei der Heilung von feststehenden traumatischen und chirurgischen Wunden oder „schwer heilenden“ chronischen Geschwüren aller Art, einschließlich diabetischer, venöser Bein- und Druckgeschwüre, eindeutig attraktiv für viele wissenschaftliche Gruppen und Hersteller. Dieses Produkt verdient besonderes Interesse, da es Gegenstand längerer und gründlicher Forschung und Vermarktung war. Es handelt sich um einen Matrixverband, der regenerierte Zellulose und Kollagen enthält, von dem experimentell gezeigt wurde, dass er Proteasen, Metalloproteinasen und Elastase in offenen Wunden moduliert (Cullen et al., 2002; Hart et al., 2002), indem er den aus Blutplättchen stammenden Wachstumsfaktor (PDGF) und andere Wachstumsfaktoren in der Wunde. Es gibt auch Hinweise aus klinischen Studien, dass Promogran in der Lage sein könnte, Exsudat zu handhaben und die Heilung bei venösen und diabetischen Geschwüren zu beschleunigen, 2002b). Es gibt eine Fülle von Fallberichten und kleinen Patientenserien, die unterstützend wirken, aber diese haben ein hohes Risiko für Publikationsbias.

## PROTEASE ABSORBIERENDER KOLLAGENVERBAND

Eine beeinträchtigte Wundheilung und nicht heilende Ulzerationen bei Diabetes können auf hohe Konzentrationen von Matrix-Metalloproteasen (MMPs) zurückzuführen sein, die zur Chronifizierung der Wunde beitragen. Die lokale Behandlung mit einem Proteaseinhibitor wirkt sich günstig auf die Wundheilung aus. Somit könnte die topische Anwendung von Proteaseinhibitoren die Wundheilung beeinflussen und den Übergang von einer chronischen zu einer akuten Wunde fördern. Anwendung einer proteasehemmenden modulierenden Matrix (die OCR/Kollagen-Promogran-Matrix, Ethicon), die in Wundverbände eingearbeitet wird. Auch wenn es keinen großen Unterschied zu unbehandelt gab. Zusätzlich MMP-Spiegel im Wundgewebe (analysiert durch ELISA)

war am 8. Tag nur in der Behandlungsgruppe ( $p = 0,01$ ) erhöht. Interessanterweise wird eine signifikante Verringerung des MMP-9/TIMP-2-Verhältnisses in der Gruppe mit ORC/Kollagen behandelt. Diese Wunden zeigten eine schnellere Heilungsrate, wenn sie mit der ORC/Kollagen-Matrix behandelt wurden (Ralf et al., 2006).

## INTELLIGENTE WUNDVERBÄNDE FÜR DIABETISCHE WUNDEN

Die Zukunft der diabetischen Wundheilung liegt in der Nutzung effektiverer künstlicher "intelligenter" Matrix-Hautersatzstoffe. Ein kluges Biomaterial ist wie ein kluger Junge oder

ein kluges Mädchen, das die Dinge den Umständen entsprechend sehr gut handhaben kann. So soll es sich den Umständen entsprechend verhalten und kritische Situationen ohne die Anstrengung einer äußeren Einwirkung bewältigen können.

Ebenso sollte ein intelligenter Wundverband in der Lage sein, die folgenden Strategien zu bewältigen:

Kann überschüssiges Exsudat absorbieren, wann immer es sich auf dem Wundbett bildet  
Kann optimale Belüftung und Feuchtigkeit liefern, um die Heilung zu fördern  
Kann Wundheilungsmittel auf kontrollierte Weise abgeben  
Kann antimikrobielle Mittel zum Zeitpunkt der Infektion abgeben  
Diese intelligenten Matrizen können eine Reihe von freisetzen von Wachstumsfaktoren, Zytokinen und bioaktiven Peptidfragmenten in einer zeitlichen und räumlichen Verteilung sollte eine optimale Geweberegeneration und Reparatur von Wunden in voller Dicke verbessern. Die Entwicklung dieser Art von Therapien erfordert multidisziplinäre translationale Forschungsteams (Sweitzer et al., 2006). Ferner sollte es auch alle optimalen Eigenschaften eines Standard-Wundverbandmaterials aufweisen, wie die Fähigkeit, eine feuchte Umgebung an der Wund/Verband-Grenzfläche aufrechtzuerhalten, überschüssiges Exsudat zu entfernen, Wärmeisolationseigenschaften zu haben, Gasaustausch zu ermöglichen, für Bakterien nach innen und außen undurchlässig zu sein der Wundumgebung, frei von Partikeln und toxischen Wundkontaminationen sein, ein Trauma zulassen und eine schmerzfreie Entfernung ermöglichen (Dealey, 1993).

## INTELLIGENTES EXUDATMANAGEMENT

Ein neues Wundverbandmaterial, das unter dem Handelsnamen Ther-aGauze™ vermarktet wird und entwickelt wurde, um je nach Bedingungen an der Wundoberfläche Feuchtigkeit entweder abzugeben oder zu absorbieren. Dieses Produkt stellt eine neue Klasse intelligenter Verbände dar, die sich dynamisch an bestehende Bedingungen auf der Wundoberfläche und an unterschiedliche Bedürfnisse auf der gesamten Wundoberfläche anpassen können. TheraGauze™ besteht aus einem proprietären inerten Polymer, das in ein nicht gewebtes Polyester/Rayon-Substrat integriert ist. Während des Herstellungsprozesses entsteht durch die Freisetzung von Alkohol in einer speziell kontrollierten Umgebung eine vertikal ausgerichtete Matrix aus Hunderttausenden von mikroskopisch kleinen Kanälen, die in einem fraktalen Muster abnehmen und von Millionen vertikal ausgerichteter Polymerketten begrenzt werden. Eine randomisierte klinische Studie zum Vergleich der Behandlung von Fußgeschwüren bei Patienten mit Diabetes mit der von salzhaltigen Nass-Trocken-Verbänden und die vorläufigen Ergebnisse sind äußerst positiv zugunsten der Verwendung von TheraGauze™ zur Wundheilung (Adam Landsman, 2013) y, 1993). 993).

## T T 7.8.2 SMARTER ANTIMIKROBIELLER VERBAND

Es wurden beträchtliche Anstrengungen unternommen, um Wundverbände mit der Fähigkeit herzustellen, die in das Wundbett eindringenden pathogenen Bakterien zu bekämpfen, indem antibakterielle Mittel eingearbeitet werden. Dies können Antibiotika und Chemikalien wie Silbernitrat oder Jod sein. Jenkins und seine Kollegen vom Department of Chemistry der University of Bath haben gezeigt, dass pathogene Bakterien als Agenten ihrer eigenen Zerstörung verwendet werden können, indem sie Toxine freisetzen, die Nanokapseln aufbrechen, die ein antimikrobielles Mittel enthalten. Es wurde bereits gezeigt, dass dieses einfache Vesikelsystem als "Nano-Trojanisches Pferd" zur Kontrolle von Bakterienwachstum und Infektionen eingesetzt werden kann. Diese Nanokapseln können in Wundaufgaben integriert werden, die pathogene Bakterien automatisch erkennen und darauf reagieren, indem sie ein Antibiotikum in die Wunde freisetzen und die Farbe ändern, um das medizinische Personal zu warnen. Die Arbeit versucht, ein „intelligentes“ Wundverbandmaterial zu entwickeln, das nur in Gegenwart von pathogenen Bakterien einen eingekapselten antimikrobiellen Wirkstoff freisetzt, ohne auf harmlose Bakterien zu reagieren. Eine schematische Darstellung dieses Materials ist in Abbildung 3 gegeben. Die Verwendung bestimmter spezifischer Toxine oder Enzyme, die von den pathogenen Bakterien produziert werden, die Eigenschaft, die einige Bakterien pathogen macht, indem sie ihnen Kapseln präsentieren, die von bakteriellen Toxinen angegriffen werden. In den Kapseln befindet sich ein antimikrobielles Mittel oder ein Farbstoff, der die Bakterien zerstört oder als Hinweis für die Erkennung einer Infektion dient (Jin et al., 2010). Die Forscher haben die Wirksamkeit ihres Systems für zwei pathogene Bakterienarten, *P. aeruginosa* und *S. aureus*, nachgewiesen. Als Kontrollsystem wurde ein apathogener Stamm von *E. coli* verwendet, der keine Toxine oder membranlösende Mittel sezerniert.

In einer anderen Studie von Victoria et al. wurde ein Mikrogel-basierter intelligenter Wundverband für die kontrollierte Abgabe von antimikrobiellen Arzneimitteln unter Verwendung des pH-Werts als Stimulus vorgeschlagen. In handelsüblichen Hydrogel-/Gaze-Wundverbänden quillt das Gel auf, um Wundexsudate zu adsorbieren und Mikrogele bereitzustellen, die aufgrund ihres sehr hohen Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnisses im Vergleich zu Bulk-Gelen eine viel schnellere Reaktion auf äußere Reize wie Temperatur haben oder pH. Als Reaktion auf entweder eine Erhöhung oder eine Verringerung der Lösungsmittelqualität schrumpfen und quellen diese porösen Netzwerke reversibel. Wenn sie gequollen sind, sind die interstitiellen Bereiche innerhalb der Polymermatrix für weitere Chemie verfügbar; wie der Einbau von kleinen Molekülen. Das reversible Schrumpfen und Quellen als Funktion externer Stimuli stellt ein neuartiges Arzneimittelfreisetzungssystem bereit. Da sich die Umgebungsbedingungen einer Wunde im Laufe ihrer Lebensdauer ändern, führt die Tendenz zu einem Anstieg des pH-Werts bei einer Infektion durch die Kombination dieser diskreten Polymerpartikel mit einem Substrat wie Baumwolle zu einem intelligenten Wundverband (Victoria et al., 2006).

## SMARTER WUNDVERBAND ZUR KONTROLLE DER FEUCHTIGKEIT UND REDUZIERUNG VON SCHMERZEN

Die Kontrolle des Feuchtigkeitsgehalts ist eine entscheidende Herausforderung bei der Wundheilung. Trockene und ausgetrocknete Wunden führen schnell zu Nekrose und verminderter Angiogenese. Umgekehrt zeigen zu feuchte Wunden lokalisierte Mazeration, was zur Trennung der Hautschichten führt und das Risiko von Hautabschürfungen und Infektionen erhöht. Das am häufigsten auftretende Problem bei dem Versuch, den Flüssigkeitsgehalt zu kontrollieren, besteht darin, dass jede Wunde ein unterschiedliches Maß an Feuchtigkeitskontrolle erfordert. Idealerweise wäre ein Verband, der sich kontinuierlich an die bestehenden Bedingungen anpasst, in der Lage, einen optimalen Feuchtigkeitsgehalt bereitzustellen, um die Heilung zu verbessern.

Ein intelligenter Wundverband, der unter dem Handelsnamen TheraGauze™ vermarktet wird, der das Skin Moisture Rebalancing Technology (SMRT) Poly- In seiner aktuellen Formulierung wird das SMRT TheraGauze™ Polymer auch mit Propylenglycol (PG) hydratisiert.

### App | e 3 3 SMAR SMAR UND REDUZIEREN P D REDUZ

Eine randomisierte, multizentrische Studie, die von Landsman et al. durchgeführt wurde, untersuchte die Ergebnisse der Behandlung von diabetischen Fußgeschwüren mit TheraGauze und TheraGauze in Verbindung mit Becaplermin (Markenname Regranex), einem rekombinanten „PDGE-BB“, das als topisches Gel für diabetische Fußgeschwüre erhältlich ist. Sie haben diese Ergebnisse auch mit Daten aus der Literatur verglichen, die mit Kochsalzlösung angefeuchtete Gaze und Becaplermin verwendeten. Wunden, bei denen der Feuchtigkeitsgehalt mit TheraGauze reguliert wurde, zeigten eine schnellere Veränderung der Wundfläche und einen höheren Prozentsatz an Wundverschluss nach 12 und 20 Wochen, unabhängig davon, ob Becaplermin verwendet wurde (Landsman, 2010).

Als stiefelähnlicher Verband hält der Kerraboot®-Verband ein feuchtes, feuchtes Milieu aufrecht, das für die Wundheilung optimal ist (<http://www.rnao.org>, 2005). Exsudat oder Ausfluss, der auf einer Wunde verbleibt, kann die Heilung verzögern. Der Kerraboot lässt Exsudat von der Wunde weg und in das absorbierende Pad abfließen, wo es an der Basis ein weiches, anschmiegsames Gel bildet

## UNTERDRUCKWUNDTHERAPIE (NPWT)

Die NPWT ist eine der ältesten Formen der medikamentösen Therapie mit einem Vakuumverband zur Förderung der Heilung bei akuten oder chronischen Wunden. Die NPWT

ist eine bewährte Technologie für nicht heilende Wunden. Klinische Studien haben seine Wirksamkeit bei einer Vielzahl von akuten und chronischen Wunden bewiesen (Graeme und Jagdeep, 2012). Die Therapie beinhaltet die kontrollierte Anwendung von subatmosphärischem Druck auf die lokale Wundumgebung unter Verwendung eines versiegelten Wundverbandes, der mit einer Vakuumpumpe verbunden ist. In den letzten zehn Jahren hat die Verwendung von NPWT erheblich zugenommen, und heute bietet sie Klinikern eine wichtige Wahl für die richtige Behandlung akuter und chronischer Wunden. Gegenwärtig wird die Unterdruck-Wund-NPWT umfassend zur Behandlung verschiedener Arten von Wunden verwendet. Patienten mit Diabetes entwickeln häufig Fußgeschwüre aufgrund von Arteriosklerose, die den Blutfluss zu den Extremitäten blockiert, und einer peripheren Neuropathie, die das Gefühl von Unbehagen aufgrund der mechanischen Belastung oder Verletzung der Füße verhindert. Diese Diabetes-Komplikationen erhöhen die Wahrscheinlichkeit der Induktion von Geschwüren in drucktragenden Bereichen der Füße. Es gibt fünf Mechanismen, durch die die Anwendung von Unterdruck auf eine Wunde den Heilungsprozess unterstützen kann: Stimulation der Bildung von Granulationsgewebe, Wundretraktion und Reduktion von interstitiellen Ödemen. Es gibt einige klinische Beweise, die die Anwendung dieser Art von Verbänden bei Fußwunden bei Patienten mit Diabetes unterstützen. Armstrong et al. untersuchte die Wundheilungsrate nach Teilfußamputation bei Patienten mit Diabetes. Die zugewiesenen 162 Patienten in 16 Wochen, 18 Zentren, randomisierte klinische Studie in den USA. In der NPWT-Gruppe heilten mehr Patienten als in der Kontrollgruppe. Die Geschwindigkeit der Wundheilung, basierend auf der Zeit bis zum vollständigen Verschluss, war in der NPWT-Gruppe schneller als in der Kontrollgruppe. Die Rate der Bildung von Granulationsgewebe, bezogen auf die Zeit bis zu einer Bildung von 76-100 % im Wundbett, war in der NPWT-Gruppe schneller als in der Kontrollgruppe (Armstrong et al., 2005).

Gustavo et al. führte eine randomisierte kontrollierte Studie bei Diabetikern mit einer Fußamputationswunde zur Behandlung mit NPWT oder einem Standard-Wundverband durch, um diabetische Fußamputationswunden zu heilen. Der NPWT wurde mit einem Polyurethan-Ether-Schaumverband, einem Nelaton-Katheter, einer transparenten Klebefolie und einem kontinuierlichen Unterdruck von 100 mm Hg vorbereitet. Die Wunde wurde alle 48–72 h behandelt und wöchentlich ausgewertet. Die durchschnittliche Zeit bis zum Erreichen von 90 % der Granulation war in der NPWT-Gruppe kürzer als in der Kontrollgruppe. Sie haben gezeigt, dass NPWT die Granulationszeit von diabetischen Fußamputationswunden um 40 % im Vergleich zum Standard-Wundverband reduziert (Gustavo et al., 2009).

## **FUSSWUNDVERBÄNDE (DIABETISCHE FUSSWUNDEN, ZEHENWUNDEN)**

Der Wundverband Kalypto Forefoot ist ideal für schwer zu versorgende Wunden am Fuß. Die Fußwundaufgabe Kalypto ist für den Vorfuß (Zehenbereich) konzipiert. Es entsteht ein

Wundverband vom Umschlagtyp, der auf die Vorderseite des Fußes gelegt wird. Der Verband kann in einer großen Socke verborgen oder mit einem Material vom Typ Verband umwickelt werden. Der Unterdruck-Wundverband Kalypto ist einfach anzuwenden und wird von den Patienten bevorzugt. Aus Patientensicht ist es nicht erforderlich, eine schwere Wundpumpe mit sich zu führen. Der Kalypto-Wundsauger beseitigt dieses Problem, da kein Auffangbehälter vorhanden ist. (<http://www.diamondrx.com/foot-wound-dressing> aufgerufen am 01.11.2013)

## FAZIT

Diabetes verzögert den Wundheilungsprozess und macht ihn komplizierter. Wie andere Wunden sollten auch diabetische Wunden mit Materialien abgedeckt werden, die Symptome lindern, Wundschutz bieten, die Heilung fördern, Wund austrocknung reduzieren und eine angemessene Belüftung bieten. Abgesehen davon sollten die mit diabetischen Wunden verbundenen Verwüstungen besonders berücksichtigt werden. AL, Kollagen oder andere herkömmliche Wundverbände haben auch eine multifunktionale Rolle bei der diabetischen Wundbehandlung. Die Kontrolle des Feuchtigkeitsgehalts ist eine entscheidende Herausforderung bei der Wundheilung. Daher sind intelligente Wundauflagen, die überschüssiges Wundexsudat erfolgreich handhaben können, die bevorzugten Kandidaten für chronische diabetische Wunden. Hydrokolloide, Hydrogele, Schäume und ALs werden aufgrund ihrer hervorragenden Exsudatmanagementkapazität in großem Umfang in Wundverbänden verwendet. Um die Belastung mit Krankheitserregern im diabetischen Wundbett zu reduzieren, sind auch smarte antimikrobielle Verbände in der translationalen Forschung. Die Unterdruck-Wundtherapie ist eine bewährte Technologie für nicht heilende diabetische Wunden. Tissue Engineering ist eine faszinierende Technologie, die neue Optionen für das Wundmanagement durch den Einsatz von Hautersatzstoffen zur Heilung chronischer Wunden bietet. Der Einsatz der Gentherapie bei der Wundheilung durch Regulierung der Expression von Schlüsselmolekülen wie Wachstumsfaktoren ist die Zukunftsperspektive, die noch aussteht

## Referenzen

th Lands Lan W Adam, Landsman. A New "Smart" Wound Dressing to Control Moisture Content e Pai Technical nical report, [http://www.solublesystems.com/files/PDF/Ther- and Reduce Pain. aGauze aGauze\\_Whit aper.pdf, per.pdf, accesse aGauze\\_Whitepaper.pdf](http://www.solublesystems.com/files/PDF/Ther- and Reduce Pain. aGauze aGauze_Whit aper.pdf, per.pdf, accesse aGauze_Whitepaper.pdf), accessed on 21/01/2013.

Au nd V and d Artur, rtur, C. P. Appl A Ap Andreia, V. Microbiol Biotechnol, 90, 445–460 (2011).



- Ape Apelqv Ve Apelqvist, J. *Acta a Derm Venereol*, 76, 231–235 (1996).
- Arm nd d Lavery, L Armstrong, D. G. and L. A. Diabetic Foot Study Consortium. *Lancet.*, 12, 3 366(9498), 1704–1710 (2005).
- Armstrong, D. G., Lavery, L. A., and Harkless, L. B. *Diabetes Care.*, 21, 855–859 (1998).
- Baumgartner-Parzer, S. M. *Diabetes.*, 44(11), 1323–1327 (1995).
- Bellingan, G. J. *J. Immunol.*, 157(6), 2577–2585 (1996).
- Black, E. *Arch. Surg.*, 138(1), 34–40 (2003).
- Blair, S. Antibacterial activity of honey. In: Rose Cooper, Peter Molan and Richard White (Eds). *Honey in Modern Wound Management Wounds UK*, London (2009).
- Boulton, A. J., Vileikyte, L., Ragnarson-Tennvall, G., and Apelqvist, J. *Lancet.*, 366, 1719–1724 (2005).
- Brem, H. and Tomic-Canic M. *J. Clin. Invest.*, 117, 1219–1222 (2007).
- Bulgrin, J. P. *Wounds.*, 7, 48–57 (1995).
- Carolina, W. and Geoff, S. *J. Pharma Practice Research*, 36(4) (2006).
- Carver, N. and Leigh, I. M. *Int. J. Dermatol.*, 31, 10–18 (1992).
- unds a Carville, K. General principles of wound management. In: *The care of wounds: guide for nurses*. Oxford: Black well Science, pp. 49–67 (1999).
- he 5th annual Cazzaniga, A. L., Masrshall, D. A., and Mertz, P. M. *Proceedings of the s um alginate Symposium on Advanced Wound Care (New Orleans)*. The effect of calcium 39 (1992). dressing on the multiplication of bacterial pathogens in vitro, p. 139
- man, C. I. *Wound W Chen*, S. M., Ward, S. I., Olutoye, O. O., Diegelmann, R. F., Kelman, Repair *Regen.*, 5, 23–32 (1997).
- (1996) *Cirugía Cir Choucair*, M. and Phillips, T. *Wounds.*, 8(5), 165–172 2 (1996). *Española (English Edition)*, 86(3), 171–177 (2009).
- P he American A rican College Col Cynthia, A. F. and Richard, S. *The Journal of the of Certified*

10). *Wound Specialists*, 2(3), 50–54 (September 2010).

ko, o, H., Hisako Hisako, F., Hideyuki, eyuk S., Hideto, Daichi, C., Tetsushi, T., Hiroyuki, K., Hisako, ic Tsuyoshi T. Sian an *J Oral ral Maxillofac M S.*, Yoshiyuki, M., Ichiro, S., Mitsuyoshi, I., and Tsuyoshi, Surg., 22 (2), 61–67 (2010).

iol., 29(1), 29 (1), 191–200 191–2 (1997). 997). Darby, I. A. *Int. J. Biochem. Cell Biol.*,

m d extracellular tracellular m ma n wound und repair. In J. M Davidson, J. Growth factors and matrix in McCull- nd d Healing Evide ased Management Managemen 4t ed.: F. A. och and L. Kloth (eds). *Wound Evidence-Based Management. . 4th hia*, PA 35–43 (2 Davis (Ed.), pp. Philadelphia, (2010).

de i, O. Wound healing: hea he echnological hnological inn innova Debra, J. B. and Cheri, Technological innovations and market 8). overview. 2:1–185 (1998).

ata, K. K. K Biotechnology, Biotec Biotech y, 7, 793 79 98 (19 (1989). Dijke, P. and Iwata, 793–798

ker, D. H. J J. Electrostatic., rostatic. ic., , 35 3 35, , 1 151 (19 Doshi, J. and Reneker, (1995).

o wound nd healing ealing and wound w Doughty, D. B. Principles of management. In R. A. Bry- or ute and Ch Chro ounds: Nursing M ant (ed). *Acute Chronic Wounds: Management*. St. Louis, MO: Mosby, A 68 ( (1992). 92). 31–68

ghty, D S althcare care Commun Doughty, D. B. Sa Saxe Healthcare Communication 2010, 4(3), 1, 5-7.

th W R Doyle, J. W., Roth, T., and Smith M. J *Biomed Mater Res*, 32, 561–568.

e Dumville, J. J C. eshpande, nde, S., O'M O C., Deshpande, O'Meara, S., and Speak, K. *Cochrane Database Syst. Rev.*, , 9. Art. N Rev. .: CD009111. DO No.: DOI: 10.1002/14651858.CD009111.pub2 (2011).

Au Eaglstein, ag nd Falanga Falanga, V. *Surg. Clin. N. Am.*, 77, 689–700 (1997). W. H. and

Edmon Edm oster, er, A., Jemmott, T., Kerr, D., Malik, R., Knowles, A., Jude, E., Edmonds, M., Foster, Cha ha man an L, and Murray, N. *Wounds UK*, 2(1), 25–30 (2006). Chadwick, P., Rahaman,

F Falabella, A. F. *Dermatol Ther.*, 19, 317–325 (2006).

- Falanga, V. and Kirsner, R. S. J. Cell Physiol., 154, 506–510 (1993).
- Falanga, V., Martin, T. A., Takagi, H., Kirsner R. S., Helfman, T., Pardes, J., Ochoa, M. S. J. Cell Physiol., 157, 408–412 (1993).
- Fisken, R. A., Digby, M. J. Br. Podiatr. Med., 52, 20–22 (1997).
- Formhals A. US patent, 1975504 (1934).
- Gallagher, K. A., Liu, Z. J., Xiao, M., Chen, H., Goldstein, L. J., Buerk, D. G., Nedeau, A., Thom, S. R., and Velazquez, O. C. J. Clin. Invest., 117, 1249–1259 (2007).
- Gill, D. J Wound Care, 8(4), 204–206 (1999).
- Gordillo, G. M. and Sen, C. K. Am. J. Surg., 186, 259–263 (2003).
- Gordon, J. Postgrad Med J, 69(Suppl 3), 106–16 (1993).
- Graeme, E. G. and Jagdeep, N. J. Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery, 65(8), 989–1001 (2012).
- Greenhalgh, D. G. Clin. Plast. Surg., 30(1), 37–45 (2003).
- Greenhalgh, D. G. J Trauma. Inj Infect Crit Care, 41, 159–167 (1996).
- hueva, Gustavo, S., Manuel, E., Mauricio, M., Edgardo, S., José, I. F., Oliva, C., Sanhueza, A., Manuel, V., and Carlos, M. Cir Esp., 86(3), 171–177 (2009).
- D Haimowitz, J. E. and Margolis, D. J. Moist wound healing. In D. Krasner and D. k for r Healthcare Pro- Kane (eds). Chronic Wound Care, In A Clinical Source Book res ons, Inc., Wayne PA, pp. fessionals, Second Edition, Health Management Publications, 49–56 (1997).
- 06). Harvey, D. Br J Community Nurse, 11(6), S28–S30 (2006).
- Heenan, A. World Wide Wounds., 1, 1–7 (1998).
- 35–141 141 (1998). ( (1 ) Hehenberger, K. Wound Repair Regen., 6(2), 135–141
- ol. l., , 68, , 197–207 197–20 (2006). 197–2 ). Waugh, H. V. and Sherratt, J. A. B. Math. Biol.,
- ic diatr. r. Med. Surg., Surg. 12, 31–40 1–40 (1995). (1995 19 Higgins, K. R. and Ashry, H. R.

Clin. Podiatr.

ng, K. G G. Clin. C Hilton, J. R., Williams, D. T., Beuker, B., Miller, D. R R. and Harding, In- fect. Dis., 39, S100–S103 (2004).

m Nature ure, , 200, 200 , 377–378 377 1963). ) Hinman, C. D and Maibach, H. Nature, (1963).

Cell Biol., Dona Bioch Ian, A. D., Teresa, B., Tim, D. H., and Don Donald, G. M. Int. J. Biochem. 29(1), 191–200 (1997).

de Jin, Z., Andrew, L. L., Geraldine, SOC., 132, dine, M., and a Toby, y, A. A J. A. J. AM. AM CHEM. CH 6566–6570 (2010).

Jones, V. Diabetic c Foot., Foot. ot., , 1, 1 , 48–52 48–5 (1998). 8).

Joshua, S. B., Kerr, Howard, N. E. S., a and G Gillian, r, H. M., Ho ian, M. E. J Pharm Sci, 97(8), 3 (2008). (2008 2892–2923

or na, S. T., T ., Magd Magda an Jan, S. J Am Acad Dermatol, 68(4), Katarzyna, Magdalena, C., Anna, K., and A 7–e1 (2013). 013 e117–e126

omarcev arcev A M gl, 53 53, , 363–368 ( (2 Komarcevic A. Me Med Pregl, (2000).

th R. L., Foume, me, M., and Callahan, Ca Cal Lammers, R M. L. Ann Emerg Med, 19, 709–714 e (1990).

Landsm Landsman, A, A Agnew, new, P., Parish, L., Joseph, R., and Galiano, R. D. J Am Podiatr Med Au Assoc so , 10 –160 (201 2010 Assoc, 100(3), 155–160 (2010).

Lerma Ler ath , 1 162(1), 303–312 (2003). Lerman, O. Am J Pathol Pathol,

Lian ian I. F. M., Ana M. M A Liane, A. D., Eugénia, C., and Hermínio, C. deSousa. Acta Biomater, h <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2013.03.033> (2013).

Loots, M. A. J Invest Dermatol, 111(5), 850–857 (1998).

Lorenzi, M., Cagliero, E., and Toledo, S. Diabetes, 34(7), 621–627 (1985).

Majno, G. The Healing Hand: Man and Wound in the Ancient World. Harvard Uni- versity Press, Cambridge (1975).

McCulloch D. Proceedings of 2nd European Conference on Advances in Wound Management. London: MacMillan; 1993. An investigation into the effects of Intrasite Gel on the in-vitro proliferation of aerobic and anaerobic

Meaume, S., Senet, P., Dumas, R., Carsin, H., Pannier, M., and Bohbot, S. British Journal of Nursing, 11(16), (2002).

Menke, N. B., Ward, K. R., Witten, T. M., Bonchev, D. G., and Diegelmann, R. F. Clin Dermatol, 25, 19–25 (2007).

Modarressi, A., Pietramaggiore, G., Godbout, C., Vigato, E., Pittet, B., and Hinz, B. J Invest. Dermatol, 130, 2818–2827 (2010).

Moghazy A. M., Shams, M. E., Adly, O. A., Abbas, A. H., El-Badawy, M. A., E El- med B. A. A sakka, D. M., Hassan, S. A., Abdelmohsen, W. S., Ali, O. S., and Mohamed Diabetes Research and Clinical Practice, 89(3), 276–281 (2010).

Molan, P. Int J Low Extrem Wounds, 5(1), 40–54 (2006).

Morgan, D. A. Hosp Pharmacist, 9, 261–266 (2002).

ir. In Wound Care Mulder, G. D. Clinician's Pocket Guide to Chronic Wound Repair. res ringhouse, inghouse, PA., pp. pp p 58–67 Communications, Network, 4th edn. Springhouse Corp., Springhouse, (1998).

National Pressure Ulcer Advisory Panel and European Pressure Ulcer Advisory Pan- P el. Prevention and Treatment of pressure ulcers: Clinical practice guideline. Wash- Clin prac el; (2009) (2 (20 ington, DC: National Pressure Ulcer Advisory Panel;

bald, ald, R. G. Adv. A Skin Wound Ad Wou Care, 20, Okan, D., Woo, K., Ayello, E. A., and Sibbald, 39–53 (2007).

d Burrell, R. R E. Eur r J Surg, Surg urg, , 166, 166 486–489 4 Olson, M. E., Wright, J. B., Lam, K., and (2000).

m bstitutes. In J. J McCulloch, ulloch, h, L. Kloth (Eds (Eds. Wound Ovington, L. Dressings and skin n substitutes. (Eds.) anagement nagement. . 4th ed. Healing Evidence-Based Management. e ed Philadelphia, adelphia, phia, PA: FA Dav Davis; 180-93 (2010).

de a, H., an and Sussman, an, G G. Int Wound J. Queen, D., Orsted, H., Sanada, J., 1 1, 59–77 (2004).

arkus, M., Kirsten, K R and nd Hendrik, Hendri L. J. Diabetes and its Ralf, L., Carola, Z., , Markus, R., 0(5), ), 329–335 (2 ( (2006). Complications, 20(5),

., Steed, ed, D. L., an z, M. G. C Curr P bl S Surg, 38(2), 65–140 (2001). Robson, M. C., and Franz, Probl

er, r, G. Wound cle clea und irrigatio irrigation Rodeheaver, cleansing, wound irrigation, wound disinfection. In D. Kras- or deheaver, R. R G. Sibbald, bald, (Eds.) (Eds. Chro Ch ner, G. Rodeheaver, Chronic Wound Care: A Clinical Source A alth Car fessionals essionals. . 4th ed. ed Malvern, PA: HMP Communication; Book k fo for Health Care Professionals. 2007). 7). (2007).

th D, and Hugo, go, W. B. B Prog. M Russell, A. D Med Chem, 31, 351–370 (1994).

e Sank, A. J. Surg Res, es, 57 7 (6), 647– 647–65 57(6), 647–653 (1994).

Schmid Schmidt, R. J., and nd T Turner, urner, T. D D. Pharm J, 236, 578 (1986).

Au Schultz, chu G bald, R. G. G G. S., Sibbald, G., Falanga, V., and Stacey, M. Wound Repair Regen, 11 (su (suppl. 200 (suppl.1), S1-S28 (2003).

Sea ea dA Seaman, S. J. Am Pod Assoc, 92, 24–33 (2002).

S Sharon, B. and Elizabeth, A. A. The Journal for Prevention and Healing, 25(2), 87– 92 (2012).

Shukla, A. Biochem Biophys Res Commun, 244(2), 434–439 (1998).

Singer, A. J. and Clark, R. A. F. N. Engl J Med, 341(10), 738–746 (1999).

Steed, D. L. Surg Clin North Am, 83, 547–555 (2003).

Stephen, H. J. and Callaghan, R. Wounds UK, 7(1), 54–57 (2011).

Sweitzer, S. M., Fann, S. A., Borg, T. K., Baynes, J. W., Yost, M. J Diabetes Educ, 32(2), 197–210 (2006).

Thomas, S. Wound Management and Dressing. Pharmaceutical Press: London (1990).

Tredget, E. E., Shankowsky, H. A., Groeneveld, A., and Burrell, R. J Burn Care Re- habil, 19, 531–537 (1998).

D, Russell, A. D D, Russell, A. D e 3. Sank, A. 83. e Sank, A. J. Surg J.

Schmid Schmidt, R.

Turner, T. D. The development of wound management products. In D. Krasner and D. Kane (eds). *Chronic Wound Care: A Clinical Source Book for Healthcare Professionals*, Second Edition. Health Management Publications, Inc., Wayne, PA, 124– 124–38 (1997).

c. SPIE E 6413, Victoria, J. C., Natasa, M., Martin J. S., John C. M., and Bojana V. Proc. 25733 Smart Materials IV, 64130X, December 22, 2006, doi:10.1117/12.712573

Wagner, F. W. Jr. *Orthopedics.*, 10(1), 163–172 (1987).

okun L. Life Lif Sci- Wei, W., Shaoqiang, L., Yechen, X., Yadong, H., Yi, T., Lu, C., , Xiaokun ences, 82(3–4), 190–204 (2008).

Wetzler, C. J *Invest Dermatol*, 115(2), 245–253 (2000).

White, R. *Nurs Stand*, 20(10), 57–64 (2005).

P und Care, e 20(11), 20(11) 543–549 (2011). 20 Wilkinson, L. J., White, R. J., Chipman, J. K. J. *Wound*

Winter, G. D. *Nature*, 193, 293–294 (1962).

We F. L. *Carbohydr Carb Yen*, H. L., Jung, J. C., Ming C. Y., Chiang g T. C., and Wen *Polym.*, 88(3), 809–819 (2012).

1458 8 (2000). Zykova, S. N. *Diabetes*. 49(9), 1451–1458