

Aus der Chirurgischen Klinik
Abteilung für Neurochirurgie
Leiter: Prof. Dr. med. habil. Jürgen Piek

**Thermographische Verlaufsbeobachtung der
Wundheilung nach Operationen an der Brust- und
Lendenwirbelsäule**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Rostock

vorgelegt von
Lisanne Dittrich
aus Aschaffenburg

Rostock 2011

Dekan: Prof. Dr. med. Emil Christian Reisinger

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Jürgen Piek, Klinik und Poliklinik für Chirurgie, Abteilung für Neurochirurgie, Universität Rostock
2. Gutachter: Prof. Dr. med. Georg Gradl, Klinik und Poliklinik für Chirurgie, Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universität Rostock
3. Gutachter: Prof. Dr. med. Karl Kiening, Neurochirurgische Klinik, Universitätsklinikum Heidelberg

Datum der Verteidigung: 17.07.2012

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Anhangsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1. Thermographie in der medizinischen Diagnostik	1
1.2. Ziele der Arbeit	3
2 Theoretischer Hintergrund	4
2.1 Grundlagen der Infrarotthermographie	4
2.2 Theorie der Wundheilung	5
2.3 Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen	7
3 Material und Methoden	8
3.1 Auswahl der Patienten	8
3.2 Technik der verschiedenen untersuchten Wirbelsäulenoperationen	8
3.2.1 Mikrochirurgische Diskektomie	8
3.2.2 Größere Eingriffe	9
3.3 Eigene Untersuchungen	10
3.3.1 Messung der Wundtemperatur	10
3.3.2 Laborparameter und Körpertemperatur	11
3.3.3 Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit	12
3.3.4 Bestimmung von Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen	12
3.4 Auswertung	12
3.4.1 Thermographische Untersuchungen	12
3.4.2 Laborwerte	13
3.4.3 Risikofaktoren	14
3.4.4 Statistische Methoden	14

4 Ergebnisse	15
4.1 Beschreibung der Stichprobe	15
4.2 Wundtemperaturverlauf der einzelnen Gruppen im Längsschnitt	19
4.3 Wundtemperaturverlauf innerhalb der Wunde in den Einzelgruppen	25
4.4 Vergleich der Thermogramme der Gruppen untereinander	29
4.4.1 Vergleich der Thermogramme: „Größere Eingriffe“ und „Wundinfektionen“	29
4.4.2 Vergleich der Thermogramme: „Mikrochirurgische Diskektomien“ und „größere Eingriffe“	31
4.5 Einfluss der Risikofaktoren	33
4.5.1 Einfluss von Adipositas auf die Wundtemperatur	33
4.5.2 Einfluss von Nikotinkonsum auf die Wundtemperatur	35
4.6 Zusammenhang zwischen Körpertemperatur und Wundtemperatur	37
4.7 Auswertung des Laborparameters „CRP“	40
4.8 Zusammenhang zwischen „CRP“ und Wundtemperatur	41
5 Diskussion	43
5.1 Spinale Wundinfektionen	43
5.2 Thermographie zur Detektion entzündlicher Prozesse	44
5.3 Temperaturentwicklung im Wundbereich	45
5.4 Unterschiede im Temperaturverlauf bei Wundinfektion	46
5.5 Einfluss der Wundgröße auf den Temperaturverlauf	47
5.6 Auswirkungen von Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen auf die Wundtemperatur	48
5.7 Zusammenhang zwischen Wundtemperatur und Körpertemperatur	50
5.8 CRP-Verlauf und Korrelation mit der Wundtemperatur	50
6 Zusammenfassung	52
7 Thesen	54
Literaturverzeichnis	56
Anhang	62
Eidesstattliche Erklärung	71

Abkürzungsverzeichnis

Ad	Adipositas
BMI	Body Mass Index
CRP	C- reaktives Protein
GE	Größere Eingriffe
MD	Mikrochirurgische Diskektomie
MW	Mittelwert
N	Anzahl Werte
NG	Normalgewicht
NR	Nichtraucher
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
p.o.	postoperativ
R	Raucher
SD	Standardabweichung
T	Temperatur
T ₀ - T ₃	Wundbereiche T ₀ - T ₃ /Temperaturen in Wundbereichen T ₀ - T ₃
ΔT	Temperaturdifferenz
WI	Wundinfektionen
ρ	Korrelationskoeffizient

Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abbildung 1	Thermogramm eines Patienten nach Wirbelsäulenoperation	2
Abbildung 2	Spektralbereich der Infrarotstrahlung	4
Abbildung 3	Schwarzer Körper	5
Abbildung 4	Flir Systems Therma Cam™ B20 HS	10
Abbildung 5	Einteilung der Messareale	13
Abbildung 6	Gruppenaufteilung	16
Abbildung 7	Risikofaktorenverteilung mit prozentuaem Auftreten in den einzelnen Gruppen	19
Abbildung 8	Zeitlicher Temperaturverlauf von T ₀ : Mikrochirurgische Diskektomie	20
Abbildung 9	Zeitlicher Temperaturverlauf von T ₀ : Größere Eingriffe	22
Abbildung 10	Zeitlicher Temperaturverlauf von T ₀ : Wundinfektionen	24
Abbildung 11	Vergleich des Temperaturverlaufs in den verschiedenen Wundbereichen: Mikrochirurgische Diskektomie	25
Abbildung 12	Vergleich des Temperaturverlaufs in den verschiedenen Wundbereichen: Größere Eingriffe	27
Abbildung 13	Vergleich des Temperaturverlaufs in den verschiedenen Wundbereichen: Wundinfektionen	28
Abbildung 14	Vergleich der Wundtemperaturen im Zeitverlauf: Größere Eingriffe vs. Wundinfektionen	29
Abbildung 15	Vergleich der Wundtemperaturen im Zeitverlauf: Mikrochirurgische Diskektomie vs. größere Eingriffe	32
Abbildung 16	Temperaturverlauf in T ₀ : Adipositas vs. Normalgewicht	34
Abbildung 17	Temperaturverlauf in T ₀ : Raucher vs. Nichtraucher	35
Abbildung 18	Zeitlicher Temperaturverlauf: Körpertemperatur vs. Wundtemperatur in T ₀	37
Abbildung 19	Korrelation Körpertemperatur - Wundtemperatur in T ₀	38
Abbildung 20	CRP-Verlauf in den Gruppen	40
Abbildung 21	Zeitlicher Verlauf: CRP vs. Wundtemperatur in T ₀	41
Abbildung 22	Korrelation CRP - Wundtemperatur T ₀	42

Tabellenverzeichnis

		Seite
Tabelle 1	Allgemeine Patientendaten: Alle Eingriffe	15
Tabelle 2	Allgemeine Patientendaten: Mikrochirurgische Dissektomien	16
Tabelle 3	Einteilung Eingriffsarten	17
Tabelle 4	Segmentanzahl	17
Tabelle 5	Allgemeine Patientendaten: Größere Eingriffe	17
Tabelle 6	Allgemeine Patientendaten: Gruppe Wundinfektionen	18
Tabelle 7	Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche und Differenzen zur Ausgangstemperatur: Mikrochirurgische Dissektomie	21
Tabelle 8	Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche und Differenzen zur Ausgangstemperatur: Größere Eingriffe	23
Tabelle 9	Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche und Differenzen zur Ausgangstemperatur: Wundinfektionen	24
Tabelle 10	Temperaturdifferenzen zwischen den Wundbereichen: Mikrochirurgische Dissektomie	26
Tabelle 11	Temperaturdifferenzen zwischen den Wundbereichen: Größere Eingriffe	27
Tabelle 12	Temperaturdifferenzen zwischen den Wundbereichen: Wundinfektionen	28
Tabelle 13	Temperaturdifferenzen: Größere Eingriffe - Wundinfektionen	30
Tabelle 14	Temperaturdifferenzen: Größere Eingriffe - mikrochirurgische Dissektomie	33
Tabelle 15	Temperaturdifferenzen: Adipositas - Normalgewicht	34
Tabelle 16	Temperaturdifferenzen: Raucher - Nichtraucher	36
Tabelle 17	Korrelation Körpertemperatur - Wundtemperatur	39
Tabelle 18	CRP-Verlauf in den Gruppen	41
Tabelle 19	Korrelation CRP - Wundtemperatur	Anhang
Tabelle 20	Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche: Gruppe Adipositas und Gruppe Normalgewicht	Anhang
Tabelle 21	Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche: Gruppe Raucher und Gruppe Nichtraucher	Anhang

Anhangsverzeichnis

		Seite
Anhang 1	Erfassungsbogen Teil 1	62
Anhang 2	Erfassungsbogen Teil 2	63
Anhang 3	Exemplarische Thermogramme eines Patienten nach mikrochirurgischer Diskektomie	64
Anhang 4	Exemplarische Thermogramme eines Patienten nach größerem Eingriff mit unauffälligem Heilungsverlauf	65
Anhang 5	Exemplarische Thermogramme eines Patienten mit Wundinfektion	67
Anhang 6	Tabelle 19: Korrelation CRP - Wundtemperatur	69
Anhang 7	Tabelle 20: Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche: Gruppe Adipositas und Gruppe Normalgewicht	70
Anhang 8	Tabelle 21: Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche: Gruppe Raucher und Gruppe Nichtraucher	70

1 Einleitung

1.1 Thermographie in der medizinischen Diagnostik

Seit Lawson in Kanada 1956 die Methode der Infrarotthermographie zur Brustkrebsdiagnostik einfuhrte ¹, wurde bereits in vielen weiteren Bereichen der Medizin versucht, sich diese Technik zu diagnostischen Zwecken nutzbar zu machen. Überall dort, wo es gilt, Temperaturdifferenzen aufzudecken, die auf eine verstärkte oder verminderte Durchblutung hindeuten, ist der Einsatz der Wärmebildtechnik denkbar. Als vergleichsweise günstiges, benutzerfreundliches und schonendes Verfahren bietet sich die Thermographie zur einfachen und schnellen Anwendung an. In einigen Bereichen gibt es längst zahlreiche Studien, wie beispielsweise im Rahmen der Erfassung von Ulzera und Durchblutungsstörungen beim diabetischen Fußsyndrom ²⁻⁵ oder bei der Beurteilung des Anheilungserfolges von freien Transplantaten ⁶⁻⁸. Doch ebenso die bereits in den Anfängen der medizinischen Thermographie getestete Anwendung im Bereich der Brustkrebsdiagnostik wurde schon umfangreich untersucht ⁹⁻¹³, und ist mittlerweile weit verbreitet. Andere mögliche Einsatzgebiete für die Wärmebildkamera finden sich überdies in der Detektion von Entzündungen im Kniegelenk ¹⁴, in der Schweregradbestimmung von Verbrennungen ^{15 16}, sowie in der Erfolgskontrolle von Bypassen in der Herzchirurgie ^{17 18}.

Auch zur Erkennung von Wundinfektionen mit Hilfe der Thermographie gibt es schon einige Studien ¹⁹⁻²⁴, wobei unter anderem der Temperaturverlauf nach medianer Sternotomie erfasst wurde ^{22 23}. Im Verlauf der normalen Wundheilung kommt es zu Temperaturschwankungen, verursacht durch eine mehr oder weniger starke Durchblutung des Wundgebietes ^{19 20 24}. Eine Wundinfektion geht ebenfalls meist mit einer Temperaturänderung einher. Durch die Entzündungsreaktion ist der Wundbereich wärmer als das umliegende Gewebe. Die Thermographie kann diese Veränderungen sichtbar machen und quantifizieren.

Zur Beobachtung des Heilungsverlaufes bei Wunden nach Wirbelsäulenoperationen gibt es bisher noch keine Studien. Gerade die tiefen Wundinfektionen nach spinaler Chirurgie sind jedoch gefürchtete Komplikationen und oftmals schwer zu diagnostizieren, da klinische Zeichen anfangs häufig fehlen und diagnostische Tests meist schwer zu interpretieren sind ²⁵. Eine frühzeitige Erkennung und Behandlung ist aber von entscheidender Bedeutung für das spätere klinische Outcome ²⁶⁻²⁸. In einer aktuellen Studie von 2010 wurden die Häufigkeiten von Wundinfektionen nach verschiedenen Wirbelsäulenoperationen an über 108.000

Patienten untersucht ²⁹. Hierbei wurde unter allen Eingriffen eine Infektionsrate von 2,1% gefunden, zusammengesetzt aus 1,3% tiefen und 0,8% oberflächlichen Wundinfektionen. Patienten mit Revisionsoperationen hatten ein 33% höheres Risiko, eine Wundinfektion zu entwickeln, und die Verwendung von Implantaten erhöhte die Infektionsrate (2,3%) ebenfalls im Vergleich zu den implantatfreien Operationen (1,8%). Vor allem für die tiefen Wundinfektionen von Bedeutung ist auch, ob ein minimal invasiver (0,4%) oder ein offener (1,9%) Zugang gewählt wurde.

Die Letalität spinaler Infektionen ist auch im Zeitalter der Antibiotikatherapie mit ca. 20% ³⁰ noch sehr hoch. Bei frühzeitiger Behandlung jedoch kann in über 90% der Fälle eine Ausheilung erreicht werden³⁰. Dies macht umso mehr deutlich, wie wichtig eine rechtzeitige Diagnose und Therapie sind.

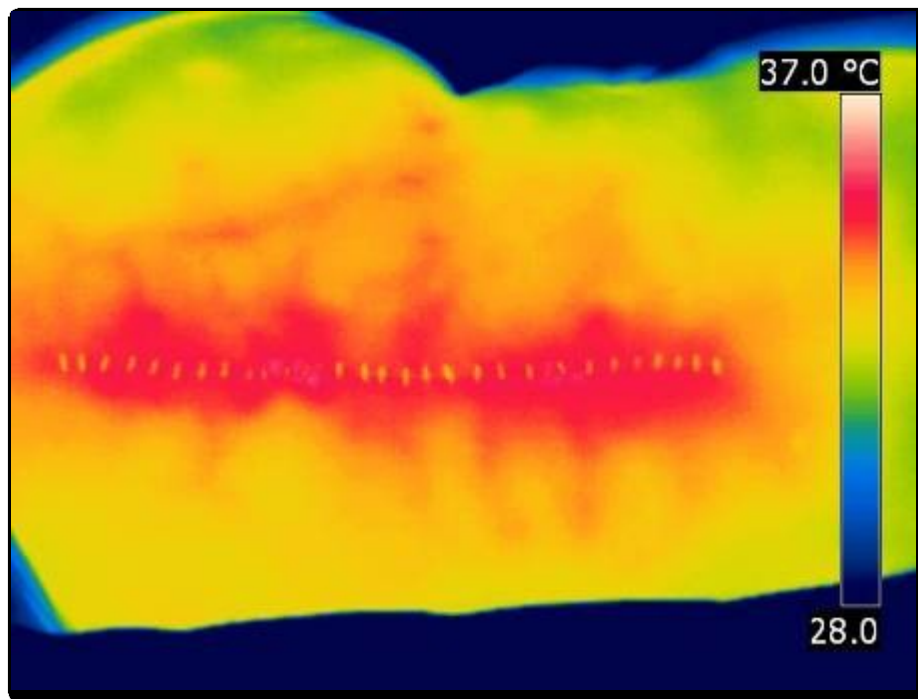


Abbildung 1: Thermogramm eines Patienten nach Wirbelsäulenoperation

1.2 Ziele der Arbeit

In der folgenden Arbeit wurde die Wundtemperatur nach spinaler Chirurgie mit Hilfe einer Wärmebildkamera untersucht. Ziel dabei war, den Temperaturverlauf bei normaler Wundheilung sowie bei Wundheilungsstörungen zu erfassen und zu vergleichen, ferner den Einfluss der Wundgröße bzw. der Eingriffsart auf die Wundtemperatur und deren Verlauf darzustellen. Gleichzeitig sollte ein möglicher Zusammenhang zwischen der Konzentration der Entzündungsparameter im Serum und der Temperatur im Wundbereich untersucht werden. Des Weiteren wurde untersucht, wie sich Nikotinkonsum und Adipositas als Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen auf die Wundtemperatur auswirken.

Abschließend sollte aus den gewonnenen Ergebnissen bewertet werden, inwieweit sich die Methode der Infrarotthermographie zur Erfassung von Wundinfektionen nach spinalen Eingriffen eignet.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Grundlagen der Infrarotthermographie

Infrarotstrahlung ist elektromagnetische Strahlung und hat eine größere Wellenlänge als das sichtbare Licht, womit sie im Spektralbereich über dem Bereich liegt, den das menschliche Auge wahrnehmen kann. Die infrarote Eigenstrahlung von Körpern und Gegenständen in unserer Umgebung kann mittels Wärmebildtechnik sichtbar gemacht werden. Bedeutung dafür hat vor allem der Wellenlängenbereich von 0,78 bis 14,00 μm .

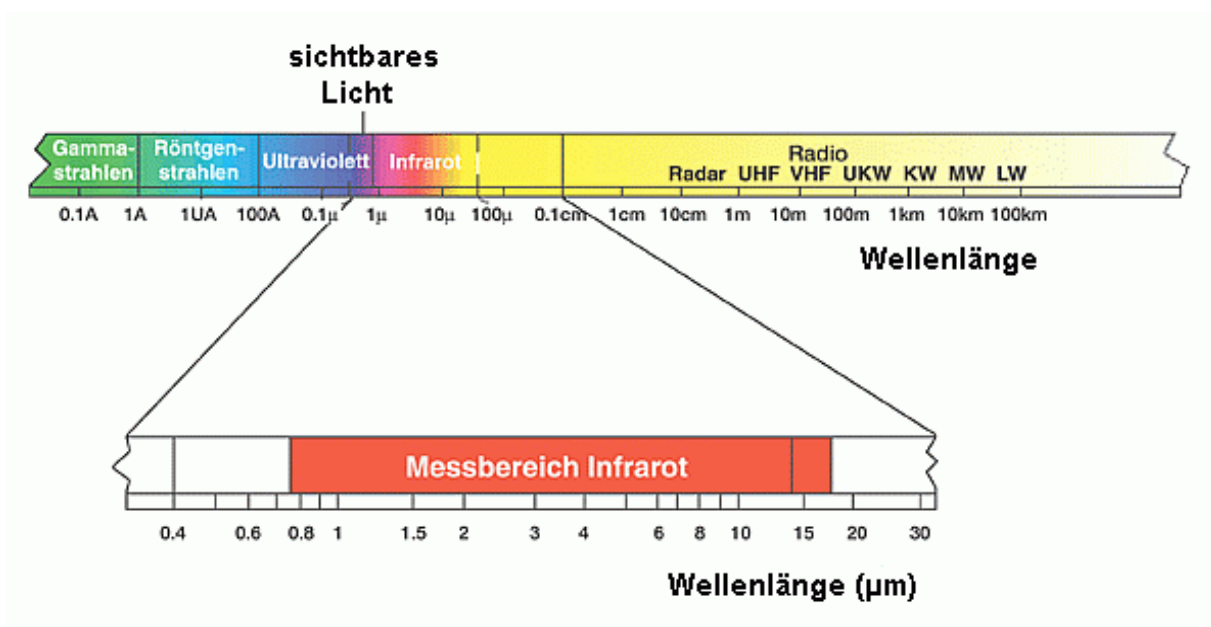


Abbildung 2: Spektralbereich der Infrarotstrahlung (Quelle: <http://www.klemmt.de/images/01/15/15001.gif>)

Um diese Strahlung zu visualisieren, benötigt man ein entsprechendes Gerät, das Strahlung im infraroten Bereich berührungslos detektieren kann und die räumliche und energetische Struktur des Objektes visuell wiedergibt. Das physikalische Verhalten der Infrarotstrahlung ist dem des sichtbaren Lichts gleich. Sie bewegt sich geradlinig von der Strahlungsquelle weg und unterliegt ebenfalls den Phänomenen der Absorption und Reflexion. Die Durchdringungsfähigkeit der Strahlung nennt man Transmission. Schon die molekulare Absorption der Luftmoleküle und die Streuung an den Luftmolekülen zwischen dem Objekt und dem Sensor führt zu einer Schwächung der transmittierten Strahlung, weshalb die Parameter Luftfeuchtigkeit und Atmosphärentemperatur bei der Auswertung eines

Thermogramms berücksichtigt werden müssen. Der Emissionsgrad ε ist abhängig vom Material und der Temperatur eines Objektes, seiner Oberflächenbeschaffenheit und der Abstrahlrichtung und kennzeichnet die spezifische Ausstrahlung des Gegenstandes im Verhältnis zu der des Schwarzen Körpers. Dieser ist das Modell des idealen Wärmestrahlers, der die Infrarotstrahlung gleichermaßen absorbiert wie emittiert. Weder reflektiert er die Strahlung noch lässt er sie durch.

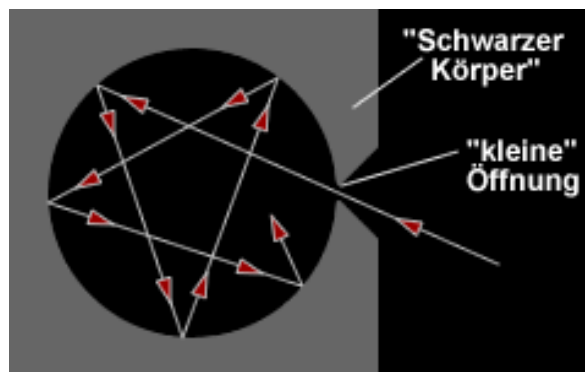


Abbildung 3: Schwarzer Körper (Quelle: <http://www.greier-greiner.at/hc/planck.htm>)

Der Emissionsgrad ε stellt die Verbindung zwischen dem idealisierten schwarzen Körper und dem realen Gegenstand her. Im Vergleich zum schwarzen Körper mit einem Emissionsgrad $\varepsilon = 1$, kommt die menschliche Haut mit einem Emissionsgrad $\varepsilon = 0,98$ den Idealbedingungen recht nahe und ist daher für die Infrarottechnik gut geeignet.

2.2 Theorie der Wundheilung

Die physiologische Wundheilung gliedert sich in vier Phasen: die exsudative Phase, die resorptive Phase, die proliferative Phase und die reparative Phase. Die einzelnen Phasen überdecken sich. Je nach Größe und Beschaffenheit der Wunde sind sie von unterschiedlicher Dauer.

Exsudative Phase:

In der ersten Phase kommt es direkt nach Wundsetzung zu einer kurzen Periode der Vasokonstriktion in den Gefäßen der Wundränder. Die darauf folgende Vasodilatation bewirkt eine Verlangsamung des Blutflusses im Wundbereich, und Leukozyten heften sich an

die Kapillarwände. Auf den Leukozyten bleiben Thrombozyten und rote Blutkörperchen haften. Aus der Lymphe und dem Blut entsteht das Wundsekret, das die Wunde provisorisch verschließt. Eine vermehrte Durchlässigkeit der Kapillaren in der exsudativen Phase lässt eine weitere Einwanderung von neutrophilen Granulozyten, aber auch von wenigen Lymphozyten und Monozyten zu.

Resorptive Phase:

In der resorptiven Phase erfolgt die Phagozytose und Lyse der geschädigten oder toten Zellen. Dabei werden auch eingedrungene Mikroorganismen beseitigt und nekrotische Wundränder und Fibringerinnsel abgebaut. Im Vordergrund stehen bei diesen Vorgängen Makrophagen und Granulozyten. Wichtig ist aber auch die Aufgabe der Thrombozyten im Wundbereich, die Wachstumsfaktoren und hämotaktisch wirkende Stoffe abgeben und damit die Zellmigration und Zellteilung beeinflussen.

Proliferative Phase:

In der dritten Wundheilungsphase, der proliferativen Phase, erscheinen zunehmend Proliferationszellen in der Wunde. Gleichzeitig wandern Kapillarknospen in das Wundgebiet ein. Die Wunde enthält gefäßreiches Granulationsgewebe und es bilden sich erste Kollagen- und Retikulinfibrillen.

Reparative Phase:

Zu Beginn der vierten Wundheilungsphase, auch reparative Phase genannt, nehmen die Fibroblasten und Makrophagen in der Wunde ab und die Wunde wird weniger gefäßreich. Die ausdifferenzierten Myofibroblasten bewirken eine Wundkontraktion und es kommt zum Abschluss der Epithelialisierung. Von den Wundrändern aus lösen sich Epithelzellen und bewegen sich Richtung Wundmitte. Sie beenden ihre Mitosen und Migration, wenn sie in der Wundmitte aufeinander treffen.

Am Ende des Heilungsprozesses entsteht eine dichte, relativ gefäßfreie Narbe aus Kollagenfasern, mit nur wenigen übrig gebliebenen Entzündungszellen, Rundzellen oder Fremdkörperriesenzellen^{31 32}.

2.3 Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen

Viele verschiedene Faktoren können die Wundheilung beeinträchtigen. Zu den allgemeinen Faktoren zählen dabei unter anderem fortgeschrittenes Alter, Anämie, die Einnahme antientzündlicher Medikamente, Diabetes mellitus als Begleiterkrankung, Kachexie, Adipositas und eine niedrige Umgebungstemperatur. Bei den lokalen Faktoren sind vor allem eine schlechte Blutversorgung, Denervation des Wundgebietes, Hämatome im Wundbereich und lokale Infektionen als negative Einflüsse auf den Heilungsverlauf zu nennen. Außerdem kann die Dauer einer Operation, die Operationstechnik, die Wahl des Nahtmaterials und die Art des Gewebes die Wundheilung beeinflussen^{31 32}.

3 Material und Methoden

3.1 Auswahl der Patienten

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden prospektiv 52 Patienten untersucht, die sich im Zeitraum von September 2007 bis Mai 2009 in der Abteilung für Neurochirurgie der Universität Rostock einer Operation an der Wirbelsäule unterzogen. Bei allen Patienten wurde ab dem ersten postoperativen Tag bis zum Entlassungstag die Hauttemperatur um die Operationswunde gemessen. Der Eingriffsart nach gliederte sich die Stichprobe in zwei Untergruppen. In der ersten fanden sich Patienten, die eine mikrochirurgische Diskektomie erhielten. Die zweite Gruppe bestand aus Patienten mit größeren Eingriffen, bei welchen es sich größtenteils um Spondylodesen in PLIF-Technik und Spinalkanaldekompensationen handelte. Vor Durchführung der Studie wurde das geplante Studienprotokoll der Ethikkommission vorgestellt und von dieser positiv bewertet. Jeder Patient wurde vor Beginn der Untersuchung aufgeklärt und unterschrieb eine Einverständniserklärung.

3.2 Technik der verschiedenen untersuchten Wirbelsäulenoperationen

Alle Patienten erhielten nach Einleitung der Narkose einmalig Spizef®, ein Cephalosporin der 2. Generation intravenös. Bei Verdacht auf eine Wundinfektion wurde zunächst mit einer kalkulierten Antibiotikatherapie begonnen, die dann gegebenenfalls nach Eingang der mikrobiologischen Ergebnisse des Wundabstriches umgestellt wurde.

3.2.1 Mikrochirurgische Diskektomie

Da 70% der lumbalen Bandscheibenvorfälle über den interlaminären Zugang operiert werden können³³, wird im Folgenden dieser näher erläutert.

Nach Einleitung der Narkose und Höhenkontrolle mittels Bildwandler erfolgte ein etwa 3cm langer Hautschnitt und die ipsilaterale Eröffnung der Fascia thoracolumbalis, sowie die Abpräparation der Rückenstrecker-muskulatur. Ein Spekulum/ Retraktor wurde eingesetzt und nach Höhenverifikation das Ligamentum flavum eröffnet. Gegebenenfalls mussten

angrenzende Bogenanteile oder mediale hypertrophierte Wirbelgelenkanteile reseziert werden. Es folgte die Darstellung der Nervenwurzel und die Palpation und Mobilisierung des Vorfalls. Blutungen aus epiduralen Venen wurden mittels Elektrokoagulation gestillt. Nach Entfernung des Sequesters und Inspektion des Bandscheibenfaches wurde dieses gegebenenfalls mit Fasszangen oder Küretten ausgeräumt. Es folgte das Ausspülen des Situs mit Ringer/Kochsalzlösung sowie eine exakte Blutstillung. Daraufhin wurde die Wunde schichtgerecht verschlossen. Die Versorgung der tieferen Schichten erfolgte mittels Naht, der Hautverschluss mittels Klammern.³³ Meist war die Anlage einer Redon-Drainage nicht nötig. Der Verbandswechsel erfolgte täglich im Rahmen der Temperaturmessungen. Die Klammern wurden am 7. bis 9. postoperativen Tag entfernt.

3.2.2 Größere Eingriffe

Stellvertretend für die Gruppe der größeren Eingriffe, wird im Folgenden die unter den Patienten der Studie am häufigsten durchgeführte dorsale Fusion in PLIF-Technik erläutert. Nach Narkoseeinleitung und Lagerung des Patienten erfolgte der Hautschnitt, dessen Größe sich nach der Anzahl der zu überbrückenden Segmente richtete. Daraufhin folgte die Blutstillung und danach die Freilegung über die Facettengelenke hin bis zu den Ansätzen der Querfortsätze. Nach der nun folgenden Entfernung des unteren äußeren Gelenkanteils wurden in die Pedikel der zu überbrückenden Segmente Schrauben eingebracht, die später mit Hilfe von Längsträgern verbunden wurden. Daraufhin wurde ein Zugang zum Bandscheibenfach geschaffen, indem das Ligamentum flavum und ggf. Anteile der hypertrophierten Wirbelbögen reseziert wurden. Unter Schonung der dort austretenden Nervenwurzel und des Duralsackes wurde das Längsband und der dorsale Anulus fibrosus in Form eines medial gestielten Lappens eröffnet. Es folgte die Ausräumung des Bandscheibenfaches und die Entfernung der Knorpelbeläge der Endplatten sowie die Resektion der dorsalen Ober- und Unterkanten der benachbarten Wirbelkörper. Nun wurde der Intervertebralraum aufgespreizt und das ventrale Drittel oder Viertel der sich gegenüberstehenden Endplatten abgetragen. Nach erfolgter Einbringung der PEEK-Cages (Abstützkörbe) wurde die bestehende segmentale Distraktionskraft in eine segmentale Kompressionskraft umgewandelt durch Ansetzen einer Kompressionszange und festes Anziehen der Innen- und Außenmuttern an den Längsträgern. Nach Einlage von Redon-Drainagen folgte die Refixation der Muskulatur und der Wundverschluss mittels Fasziennaht, Subkutannaht, Subkutandrainage und

Hautverschluss³⁴. Die Redon-Drainagen wurden je nach Fördermenge zwischen dem 2. und dem 6. Tag gezogen. Die Entfernung der Klammern erfolgte in Abhängigkeit von der Wundgröße am 10. bis 12. postoperativen Tag.

3.3 Eigene Untersuchungen

3.3.1 Messung der Wundtemperatur

Bei der Messung der Hauttemperatur im Bereich der Wunde kam das Thermographiesystem Therma Cam™ B20 HS (Abb. 4) der Firma FLIR Systems Inc. (Frankfurt am Main) zum Einsatz. Messbar sind dabei Temperaturdifferenzen von 0,1°C. Die graphische Darstellung erfolgt mittels Thermogrammen in Grautönen oder farbig, wobei in dieser Studie die farbige Darstellung bevorzugt wurde, bei welcher jeder Temperaturbereich durch eine bestimmte Farbe repräsentiert wird.



Abbildung 4: Flir Systems Therma Cam™ B20 HS (Quelle: <http://www.goinfrared.com/canada/cameras/B-Series/thermacam-bx320>)

Die Messungen erfolgten ab dem ersten postoperativen Tag täglich bis zur Entlassung aus der stationären Versorgung. Auf die Erfassung der präoperativen Temperaturwerte wurde verzichtet, da das Operationsgebiet und damit der Wundbereich vorher meist nicht klar abzugrenzen waren. Eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse wurde gewährleistet, indem die Messungen unter standardisierten Bedingungen durchgeführt wurden. Da viele der

Patienten nicht aus dem Bett mobilisierbar waren, mussten sie jeweils im eigenen Zimmer untersucht werden. Um dennoch die Einflüsse der Umgebungsbedingungen berücksichtigen zu können, wurden Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit parallel erfasst. Diese wurden später im Auswertungsprogramm bei jedem Wärmebild in die Liste der Objektparameter eingetragen. Auf diese Weise konnten mögliche tagesabhängige Schwankungen berücksichtigt werden. Der Messablauf gestaltete sich folgendermaßen: Nach Entkleidung der Patienten und Entfernung des Verbandes wurde 3 Minuten gewartet bis zur eigentlichen Messung, damit die Patienten sich an die Umgebungstemperatur gewöhnen konnten. Währenddessen wurde keine Reinigung der Wunde durchgeführt, um die Temperatur im Bereich der Wunde nicht zu beeinflussen. Der Abstand zwischen der Kamera und dem Patienten war stets der gleiche und wurde ebenfalls bei der Auswertung berücksichtigt, da sich mit der Entfernung vom Messobjekt der Einfluss der Umgebungstemperatur auf das Messergebnis ändert. Als Bezugspunkte für die korrekte Messung und Scharfstellung des Kamerabildes, sowie auch für die spätere Auswertung, wurden die Nahtklammern verwendet, da deren Länge von 7mm auch bei unterschiedlichem Abstand und Wundgröße gleich blieben.

3.3.2 Laborparameter und Körpertemperatur

Zusätzlich zur Messung der Wundtemperatur erfolgte gleichzeitig die Messung der axillären Körpertemperatur der Patienten. Die Laborparameter Leukozyten und CRP wurden jeden zweiten Tag bestimmt. Bei Infektionsverdacht wurden diese Parameter häufiger untersucht. Der Normbereich für Leukozyten wurde von 4 bis $10 \cdot 10^9 / l$ festgelegt, der Normbereich für CRP bis 5 mg/l . Grundsätzlich wurden Patienten mit erhöhten CRP-Werten nicht zur Operation zugelassen, ausgenommen Notfalloperationen, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass die präoperativen CRP-Werte der an der Studie teilnehmenden Patienten im Normbereich lagen.

3.3.3 Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit

Die Parameter Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden jeweils täglich im Rahmen der Messungen bestimmt. Sie wurden später zur Auswertung herangezogen, um durch Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren die Wundtemperatur möglichst exakt bestimmen zu können.

3.3.4 Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen

Als mögliche Risikofaktoren für das Auftreten von Wundheilungsstörungen wurden der Nikotinkonsum, Voroperationen, sowie Begleiterkrankungen der Patienten erfasst, die möglicherweise die natürliche Wundheilung beeinflussen. Dabei wurde die Liste der erfassten Komorbiditäten auf Adipositas, Diabetes mellitus, konsumierende Tumorerkrankungen, Niereninsuffizienz, Leberzirrhose, COPD und Herzinsuffizienz beschränkt.

3.4 Auswertung

3.4.1 Thermographische Untersuchungen

Zur Auswertung der Thermogramme stand die Software des ThermoCAM Reporter 8 der Firma FLIR Systems zur Verfügung. Erst mit dieser neuen Version war es möglich auch polygone Bereiche innerhalb des Bildes abzugrenzen, innerhalb derer die Temperatúrauswertung erfolgen sollte. Bei Versuchen mit dem Vorgängerprogramm stellte sich heraus, dass Rechtecke nicht geeignet sind, hinreichend genau die interessierenden Areale abzugrenzen. Da die Wunden natürlicherweise nicht in geraden Linien verliefen, sondern je nach Lage des Patienten teilweise unregelmäßig oder leicht verzogen erschienen, war nur mit der exakten Erfassung des Messbereiches mittels Erstellung von Polygonen eine genaue Auswertung erreichbar.

Zunächst mussten bei jedem Thermogramm die Objektparameter festgelegt werden. Um die Einflüsse der Umgebung auf die Messung bei der Auswertung mit berechnen zu können, wurden die Parameter relative Luftfeuchtigkeit, Atmosphärentemperatur, reflektierte Temperatur, Messabstand und Emissionsgrad der Haut für jedes Thermogramm neu

eingetragen. In dieser Studie erfolgte die Einteilung der Messareale in 7 Bereiche (Abb. 5). Der zentrale Messbereich direkt über der Wunde, im Folgenden T_0 genannt, wurde mittels der Polygone genau in der Länge der Wunde und in der Breite der Nahtklammern (7mm) virtuell abgesteckt. Links und rechts von T_0 wurden jeweils drei weitere Areale der gleichen Größe bestimmt, die Messbereiche T_{1li} , T_{2li} , T_{3li} sowie T_{1re} , T_{2re} und T_{3re} . Die Anordnung der Messareale im Thermogramm zeigt Abbildung 5. Bei der weiteren Verarbeitung der Daten wurden jeweils die Messareale links und rechts von T_0 zusammengefasst, so dass aus T_{1li} und T_{1re} beispielsweise der Mittelwert T_1 entstand.

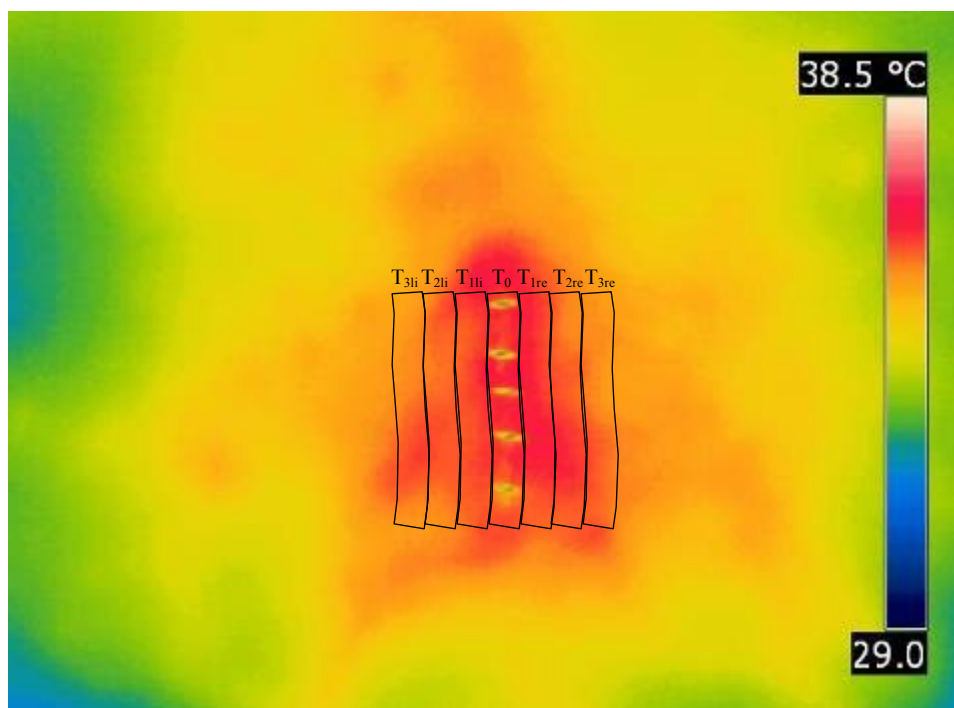


Abbildung 5: Einteilung der Messareale

3.4.2 Laborwerte

Bei der Auswertung der weiteren Parameter wurde lediglich das CRP berücksichtigt. Die Leukozytenwerte wurden aufgrund ihrer geringen Aussagekraft bezüglich einer Wundinfektion nicht in die Auswertung mit einbezogen. Das CRP wurde bei der Berechnung des Korrelationskoeffizienten stets der Wundtemperatur am Abnahmetag zugeordnet.

3.4.3 Risikofaktoren

Die Häufigkeit der Begleiterkrankungen und der Voroperationen in den einzelnen Gruppen, sowie der Nikotinkonsum wurden statistisch ausgewertet. Zur Bestimmung des Risikofaktors Adipositas wurde mit Hilfe des Körpergewichts und der Körpergröße der Patienten der jeweilige BMI ermittelt und es konnte ein Mittelwert für jede Gruppe errechnet werden.

3.4.4 Statistische Methoden

Zur statistischen Auswertung der erhobenen Daten wurde das Statistikprogramm SPSS 19 der Firma IBM verwendet. Zunächst wurden dabei die erfassten Werte auf Normalverteilung überprüft mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests. Da sich nicht bei allen Wundtemperaturwerten eine Normalverteilung ergab, wurden die folgenden Analysen mit parametrischen und auch mit parameterfreien Tests durchgeführt. Dabei erfolgte die Bestimmung der Signifikanz für die Temperaturunterschiede im Zeitverlauf, sowie für die Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Wundbereichen mit dem T-Test für abhängige Stichproben bzw. mit dem Wilcoxon-Test, je nachdem, ob Normalverteilung vorlag oder nicht. Für die Frage nach signifikanten Unterschieden der Wundtemperaturen der verschiedenen Gruppen untereinander wurde der T-Test für unabhängige Stichproben bzw. der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Zur Untersuchung der Korrelation zwischen der Körpertemperatur und der Wundtemperatur wurde der Korrelationskoeffizient ρ nach Pearson beziehungsweise der Rangkorrelationskoeffizient ρ nach Spearman berechnet.

4 Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden Standardabweichungen erst angegeben ab einer Werteanzahl von ≥ 5 .

Zur besseren Anschaulichkeit wurden die y-Achsen der Graphen unterschiedlich skaliert. Dies ist beim Vergleich der Graphen der einzelnen Gruppen zu beachten.

4.1 Beschreibung der Stichprobe

Die Wundtemperatur im Bereich der Rückenwunden wurde bei insgesamt 52 Patienten mit einer Infrarotkamera täglich erfasst. Die Messungen erfolgten ab dem ersten postoperativen Tag bis zum Tag der Entlassung. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 56,7 (SD = 13,0) Jahren, der durchschnittliche Beobachtungszeitraum bei 8,2 (SD = 5,0) Tagen.

Retrospektiv wurden die Patienten in 3 Gruppen aufgeteilt, wobei als Zuordnungskriterium primär die Eingriffsart gewählt wurde. Eine weitere Unterteilung erfolgte in unauffällige Wundheilung und Wundheilungsstörungen. Abbildung 6 zeigt die Gruppeneinteilung.

Allgemeine Patientendaten: Alle Eingriffe					
	N	Min.	Max.	MW	SD
Alter [a]	52	28	83	56,67	13,04
Größe [m]	52	1,52	1,93	1,72	0,09
Gewicht [kg]	52	47,0	130	80,91	15,48
BMI [kg/m²]	52	17,30	37,70	27,51	4,92
Wundlänge [cm]	52	3,0	35,0	9,39	7,55
Aufenthaltsdauer [d]	52	2	62	8,23	5,03

Tabelle 1

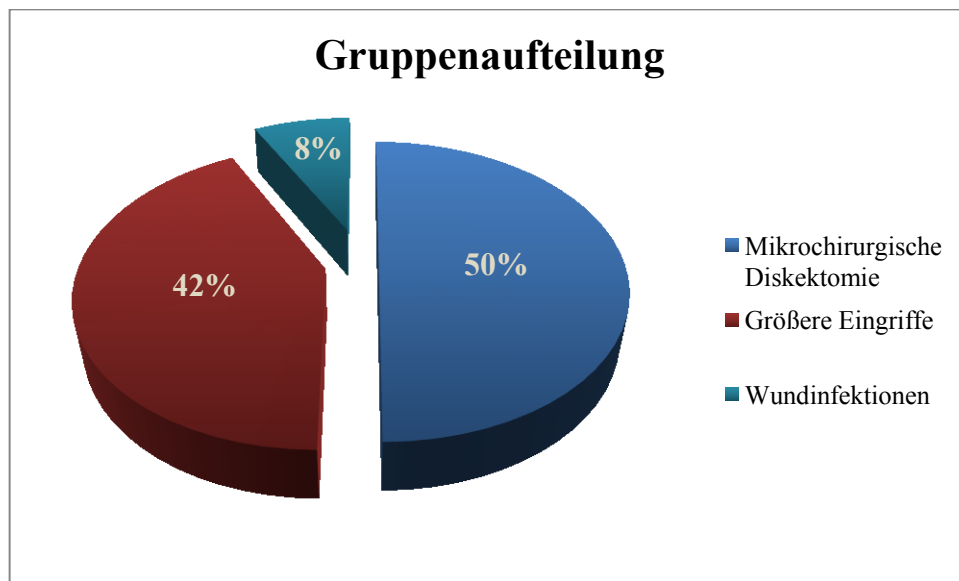


Abbildung 6

Gruppe mikrochirurgische Diskektomie (MD)

In Gruppe MD fanden sich 26 Patienten, die eine alleinige mikrochirurgische Diskektomie erhielten. In dieser Gruppe gab es keine Komplikationen im Sinne von Wundheilungsstörungen, so dass keine weitere Unterteilung erfolgte. Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum von 5,9 (SD = 1,6) Tagen und die durchschnittliche Wundlänge von 4,3 (SD = 0,9) cm in der ersten Gruppe stellten sich als vergleichsweise homogen heraus. Das Durchschnittsalter der Patienten in dieser Gruppe betrug 51,2 (SD = 11,7) Jahre und bei einer Größe von 1,75 (SD = 0,10) m und einem Gewicht von 81,5 (SD = 17,7) kg ergab sich ein mittlerer BMI von 26,5 (SD = 4,5) kg/m².

Allgemeine Patientendaten: Mikrochirurgische Diskektomie					
	N	Min.	Max.	MW	SD
Alter [a]	26	31	72	51,23	11,70
Größe [m]	26	1,58	1,93	1,75	0,10
Gewicht [kg]	26	52,0	130,0	81,52	17,70
BMI [kg/m ²]	26	18,20	37,60	26,45	4,51
Wundlänge [cm]	26	3,0	6,5	4,33	0,94
Aufenthaltsdauer [d]	26	3	10	5,88	1,58

Tabelle 2

Gruppe „größere Eingriffe“ (GE)

Die Gruppe GE setzte sich aus 22 Patienten zusammen mit unterschiedlichen, ausgedehnteren Wirbelsäulenoperationen und unauffälliger Wundheilung. Zu diesen größeren Eingriffen gehörten sowohl Spinalkanaldekompensationen, als auch Stabilisierungsoperationen und Metallentfernungen bzw. Kombinationen dieser Operationen. In den Tabellen 3 und 4 werden die unterschiedlichen Eingriffsarten, sowie die Anzahl der operierten Wirbelsäulensegmente in Gruppe GE und Gruppe WI (Wundinfektionen) noch einmal aufgezeigt.

Eingriffsarten: Größere Eingriffe						
	gesamt	alleine	+ interspin. Spacer	+ Fixateur interne	+ TLIF	Revisionen
Spinalkanaldekompensation	10	1	5	4		2
nur Fixateur interne	14 (3)*	9			5 (1)*	10 (3)*
Metallentfernung	2	2				2

Tabelle 3: Einteilung Eingriffsarten Größere Eingriffe, *davon Gruppe Wundinfektionen

	Segmente		
	1	2	≥ 3
Spinalkanaldekompensation	8	1	1
nur Fixateur interne	6	3 (1)*	5 (3)*
Metallentfernung	2		

Tabelle 4: Segmentanzahl, *davon Gruppe Wundinfektionen

Die mittlere Beobachtungsdauer in der zweiten Gruppe lag bei 8,8 (SD = 3,4) Tagen, die durchschnittliche Wundlänge bei 12,4 (SD = 6,1) cm. Es ergab sich ein Durchschnittsalter von 61,1 (SD = 12,7) Jahren und ein mittlerer BMI von 28,3 (SD = 5,2) kg/m² bei einer Durchschnittsgröße von 1,69 (SD = 0,07) m und einem Gewicht von 80,1 (SD = 14,0) kg.

Allgemeine Patientendaten: Größere Eingriffe					
	N	Min.	Max.	MW	SD
Alter [a]	22	28	83	61,14	12,71
Größe [m]	22	1,52	1,80	1,69	0,07
Gewicht [kg]	22	47,0	102,0	80,09	13,95
BMI [kg/m²]	22	17,30	37,70	28,30	5,24
Wundlänge [cm]	22	3,0	23,0	12,41	6,07
Aufenthaltsdauer [d]	22	2	18	8,82	3,40

Tabelle 5

Gruppe Wundinfektionen (WI)

Der dritten Gruppe wurden Patienten mit Wundinfektionen während des Klinikaufenthaltes zugeordnet. Dabei fanden sich 4 Patienten mit jeweils sehr ausgedehnten Wirbelsäulenoperationen. Bei drei Patienten entwickelte sich eine tiefe Wundinfektion, die mit Wundrevisionen und Antibiotika behandelt wurde. Während der Revisionsoperationen wurden Abstriche vom Wundgebiet genommen, die später mikrobiologisch untersucht wurden. Als Erreger fanden sich in 2 Fällen *Enterococcus species* und in einem Fall *Staphylococcus aureus*. Ein Patient zeigte eine oberflächliche Wundinfektion, die aber ohne weitere chirurgische Maßnahmen ausheilte.

In Gruppe WI betrug die durchschnittliche Aufenthaltsdauer 20,25 Tage, wobei ein Patient auf Grund von multiplen Aufenthalten auf der Intensivstation nicht über den vollen Zeitraum beobachtet werden konnte. Die durchschnittliche Wundlänge von 25,8 cm war dabei deutlich größer und das Durchschnittsalter von 67,5 Jahren war deutlich höher als in den anderen beiden Gruppen. Bei einer durchschnittlichen Größe von 1,66 m und einem mittleren Gewicht von 81,5 kg ergab sich ein BMI von 30,00 kg/m².

Allgemeine Patientendate: Wundinfektionen					
	N	Min.	Max.	MW	SD
Alter [a]	4	58	77	67,50	7,77
Größe [m]	4	1,58	1,80	1,66	0,10
Gewicht [kg]	4	68,0	90,0	81,50	9,47
BMI [kg/m²]	4	25,30	36,10	30,00	5,13
Wundlänge [cm]	4	19,0	35,0	25,75	7,63
Aufenthaltsdauer [d]	4	11	33	20,25	9,22

Tabelle 6

Risikofaktoren

Bei der Auswertung der Verteilung der Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen in den einzelnen Gruppen wurden nur die häufigen Risikofaktoren berücksichtigt. Dabei zeigte sich in der Gruppe der Wundinfektionen eine deutlich höhere Risikofaktorenrate pro Patient, als in den Gruppen mit unauffälliger Wundheilung, wie in Abbildung 7 veranschaulicht wird.

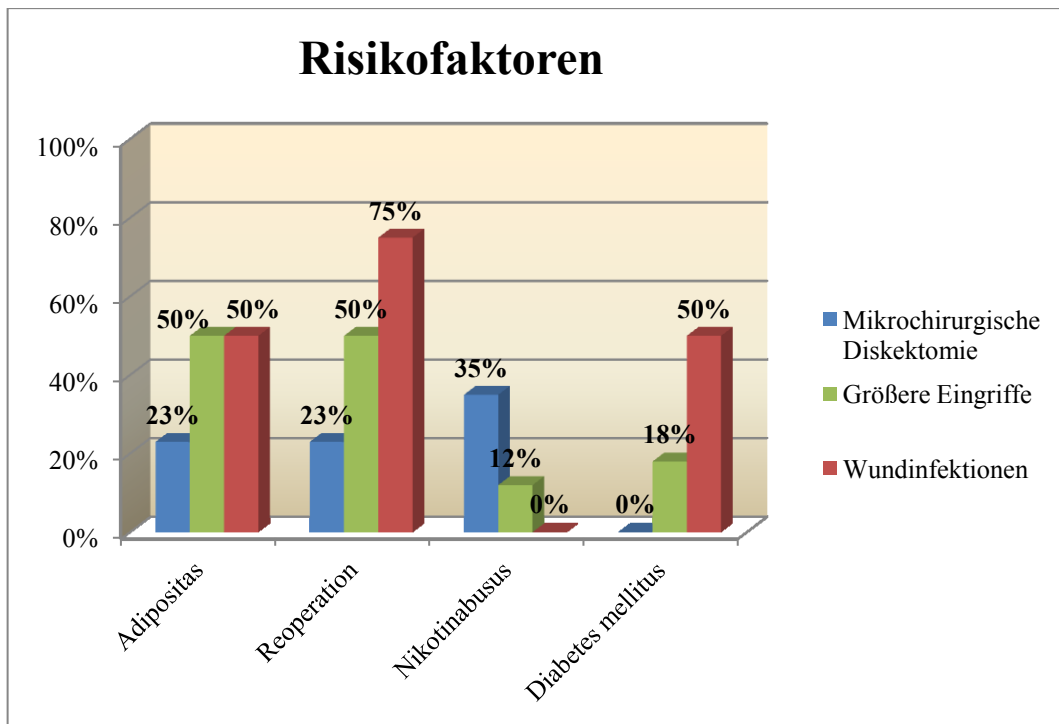


Abbildung 7: Risikofaktorenverteilung mit prozentualem Auftreten in den einzelnen Gruppen

In den ersten beiden Gruppen kamen auf einen Patienten durchschnittlich 1,13 bzw. 1,32 Risikofaktoren, in der Gruppe der Wundheilungsstörungen betrug diese Rate 2,25.

4.2 Wundtemperaturverlauf der einzelnen Gruppen im Längsschnitt

Der besseren Anschaulichkeit wegen wurden die Diagramme der Wundtemperaturen im Zeitverlauf unterschiedlich skaliert. Dies ist bei Vergleich der Abbildungen in diesem Kapitel stets zu beachten. Der Temperaturverlauf wird beispielhaft am Temperaturverlauf im Wundbereich T_0 (siehe Seite 13) beschrieben.

4.2.1 Mikrochirurgische Diskektomie

Bei den Patienten, die ausschließlich eine mikrochirurgische Diskektomie erhielten, wurde die Messung der Wundtemperatur ab dem ersten postoperativen Tag bis zum Entlassungstag durchgeführt. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer dieser Patientengruppe lag bei 5,9 Tagen. Am 7. und 8. postoperativen Tag waren kaum noch Daten zu erheben, weshalb im

Nachhinein der Cut-off für Gruppe MD an Tag 6 gewählt wurde. Tabelle 7 zeigt die Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche im Zeitverlauf, sowie den p-Wert für die Differenzen zwischen Tag 1 und den Folgetagen. Abbildung 8 stellt den zeitlichen Wundtemperaturverlauf im Wundbereich T_0 grafisch dar.

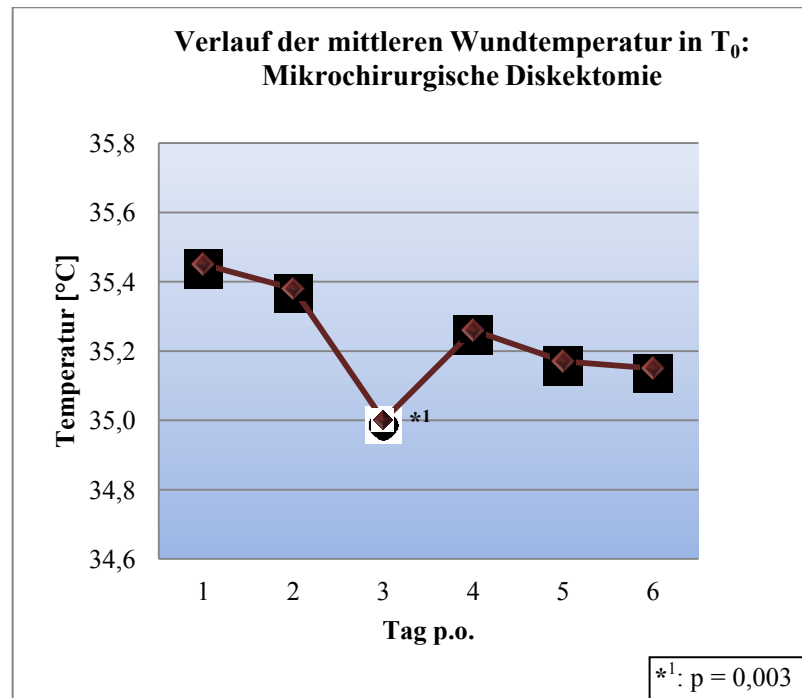


Abbildung 8

In der Gruppe der mikrochirurgischen Diskektomien erreichte die Wundtemperatur bereits ihr Maximum am 1. postoperativen Tag mit einem Mittelwert in T_0 von 35,45 (SD = 0,58) °C. Daraufhin fiel die Temperaturkurve kontinuierlich ab um am 3. Tag ihr Minimum bei 35,00 (SD = 0,65) °C zu erreichen. Dieser Temperaturabfall vom 1. zum 3. postoperativen Tag war in allen Wundbereichen statistisch signifikant ($p_{T0} = 0,003$; $p_{T1} = 0,001$; $p_{T2} = 0,001$; $p_{T3} = 0,001$). Nach dem 3. Tag stieg die mittlere Wundtemperatur in T_0 zum 4. postoperativen Tag um 0,26°C auf 35,26 (SD = 0,72) °C zunächst erneut leicht an, um in den darauffolgenden Tagen wieder langsam zu fallen.

Die Temperaturdifferenz zwischen Tag 1 und Tag 4, 5 und 6 stellte sich nur in den peripheren Wundbereichen $T_1 - T_3$ als statistisch signifikant heraus (p-Werte: siehe Tabelle 7).

Tag	N	T ₀		ΔT_0 (Tag1-TagX)	p-Wert	T ₁		ΔT_1 (Tag1-TagX)	p-Wert
		MW	SD			MW	SD		
1	26	35,45	0,58			35,56	0,56		
2	26	35,38	0,65	0,08	0,760	35,45	0,59	0,11	0,346
3	26	35,00	0,72	0,45	0,003*	35,04	0,66	0,52	0,001*
4	25	35,26	0,72	0,19	0,165	35,28	0,75	0,28	0,028*
5	21	35,17	0,80	0,28	0,134	35,24	0,75	0,32	0,017*
6	15	35,15	0,66	0,30	0,184	35,18	0,68	0,38	0,062
Tag	N	T ₂		ΔT_2 (Tag1-TagX)	p-Wert	T ₃		ΔT_3 (Tag1-TagX)	p-Wert
		MW	SD			MW	SD		
1	26	35,51	0,56			35,41	0,55		
2	26	35,37	0,55	0,14	0,322	35,27	0,54	0,14	0,232
3	26	34,99	0,58	0,52	0,001*	34,86	0,55	0,55	0,001*
4	25	35,18	0,75	0,33	0,018*	35,06	0,70	0,35	0,014*
5	21	35,17	0,74	0,34	0,007*	35,05	0,70	0,36	0,004*
6	15	35,14	0,63	0,37	0,046*	35,00	0,64	0,41	0,044*

Tabelle 7: Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche in Gruppe MD und Differenzen zur Ausgangstemperatur (signifikante Temperaturdifferenzen)*

4.2.2 Größere Eingriffe

In Gruppe GE wurden die Messungen ebenfalls vom 1. postoperativen Tag bis zum Entlassungstag durchgeführt. Der Cut-off in dieser Gruppe wurde auf Grund geringer Datenanzahl in den darauf folgenden Tagen bei Tag 11 gewählt. Abbildung 9 stellt den Wundtemperaturverlauf in den einzelnen Wundbereichen in Gruppe GE dar. Tabelle 8 zeigt die Wundtemperaturen im zeitlichen Verlauf, sowie die zugehörigen p-Werte zu den Temperaturdifferenzen zwischen Tag 1 und den Folgetagen.

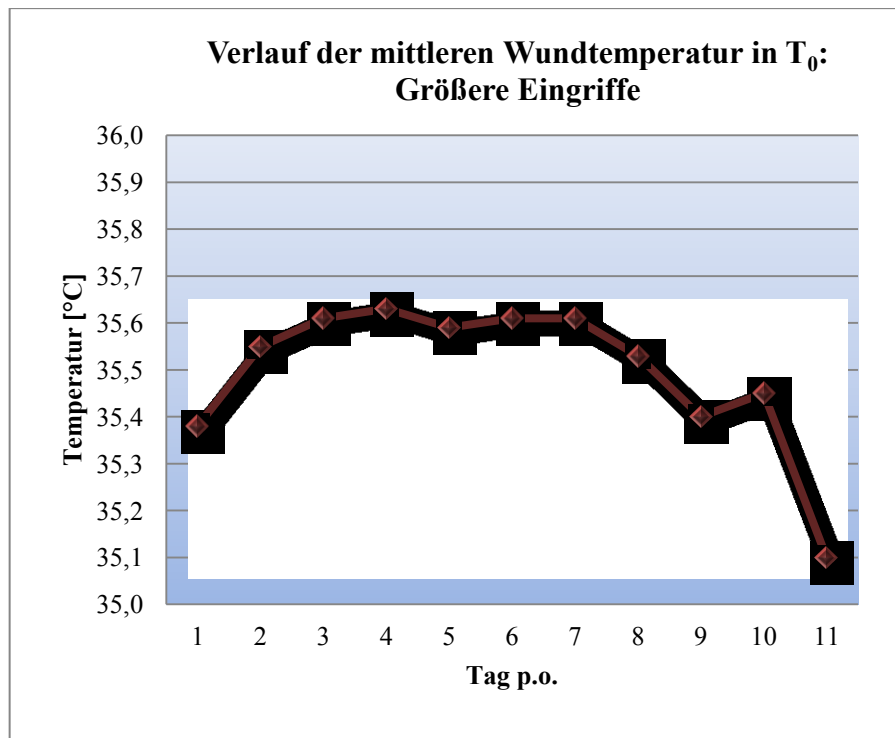


Abbildung 9

Bei den größeren Eingriffen mit unauffälliger Wundheilung zeigte sich primär ein kontinuierlicher Temperaturanstieg in Wundbereich T₀ von 35,38 (SD = 0,64) °C am ersten auf 35,63 (SD = 0,49) °C am vierten postoperativen Tag. Danach blieb die Wundtemperatur bis zum 7.Tag auf nahezu konstantem Niveau mit nur sehr leichten Schwankungen um maximal 0,04°C. Bis zu Tag 9 konnte in T₀ ein Temperaturabfall um 0,21°C auf 35,40 (SD = 0,40) °C festgestellt werden. Nach einem minimalen Anstieg zum 10. postoperativen Tag setzte sich dieser Temperaturabfall weiter fort, um am 11. Tag die Ausgangstemperatur mit 35,10 (SD = 0,60) °C erstmalig wieder zu unterschreiten. Keiner der Temperaturanstiege und Temperaturabfälle gegenüber der Ausgangstemperatur stellte sich als statistisch signifikant heraus.

Tag	N	T ₀		ΔT_0 (Tag1-TagX)	p-Wert	T ₁		ΔT_1 (Tag1-TagX)	p-Wert
		MW	SD			MW	SD		
1	22	35,38	0,64			35,42	0,61		
2	22	35,55	0,59	-0,17	0,373	35,53	0,59	-0,11	0,722
3	21	35,61	0,80	-0,23	0,162	35,59	0,79	-0,17	0,523
4	21	35,63	0,49	-0,25	0,155	35,62	0,48	-0,20	0,360
5	20	35,59	0,48	-0,21	0,116	35,52	0,51	-0,10	0,939
6	21	35,61	0,66	-0,23	0,287	35,56	0,63	-0,14	0,674
7	20	35,61	0,60	-0,23	0,184	35,55	0,58	-0,13	0,838
8	13	35,53	0,65	-0,15	0,277	35,44	0,61	-0,02	0,983
9	7	35,40	0,40	-0,02	0,229	35,34	0,35	0,08	0,542
10	6	35,45	0,38	-0,07	0,499	35,38	0,41	0,04	0,635
11	5	35,10	0,60	0,28	0,858	35,09	0,57	0,33	0,386
Tag	N	T ₂		ΔT_2 (Tag1-TagX)	p-Wert	T ₃		ΔT_3 (Tag1-TagX)	p-Wert
		MW	SD			MW	SD		
1	22	35,32	0,57			35,22	0,62		
2	22	35,43	0,65	-0,11	0,466	35,26	0,68	-0,04	0,731
3	21	35,49	0,75	-0,17	0,426	35,37	0,75	-0,15	0,535
4	21	35,48	0,45	-0,16	0,296	35,35	0,46	-0,13	0,487
5	20	35,37	0,50	-0,05	0,846	35,25	0,55	-0,03	0,747
6	21	35,42	0,53	-0,10	0,671	35,34	0,51	-0,12	0,634
7	20	35,40	0,54	-0,08	0,820	35,27	0,49	-0,05	0,916
8	13	35,36	0,58	-0,04	0,622	35,29	0,59	-0,07	0,534
9	7	35,30	0,33	0,02	0,969	35,24	0,42	-0,02	0,937
10	6	35,22	0,38	10,00	0,702	35,15	0,43	0,07	0,706
11	5	35,12	0,51	0,20	0,562	35,04	0,61	0,18	0,524

Tabelle 8: Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche in Gruppe GE und Differenzen zur Ausgangstemperatur

4.2.3 Wundinfektionen

Die thermografischen Messungen bei den Patienten mit Wundinfektionen erfolgten ebenfalls täglich, jedoch konnten nicht alle Patienten über die volle Aufenthaltsdauer beobachtet werden. Der Cut-off wurde, wie bei den unauffälligen Verläufen (Gruppe GE), in Gruppe WI an Tag 11 gelegt. In Abbildung 10 sind die Temperaturschwankungen in dieser Gruppe dargestellt, in Tabelle 9 sind die Temperaturverläufe in den einzelnen Wundbereichen aufgelistet. Das Temperaturmaximum im Wundbereich T₀ bei den Patienten mit Wundinfektionen wurde bereits an Tag 1 erreicht mit einer Durchschnittstemperatur von 36,30 °C. Es folgte ein steiler Temperaturabfall um 0,60 °C auf 35,70 °C an Tag 2.

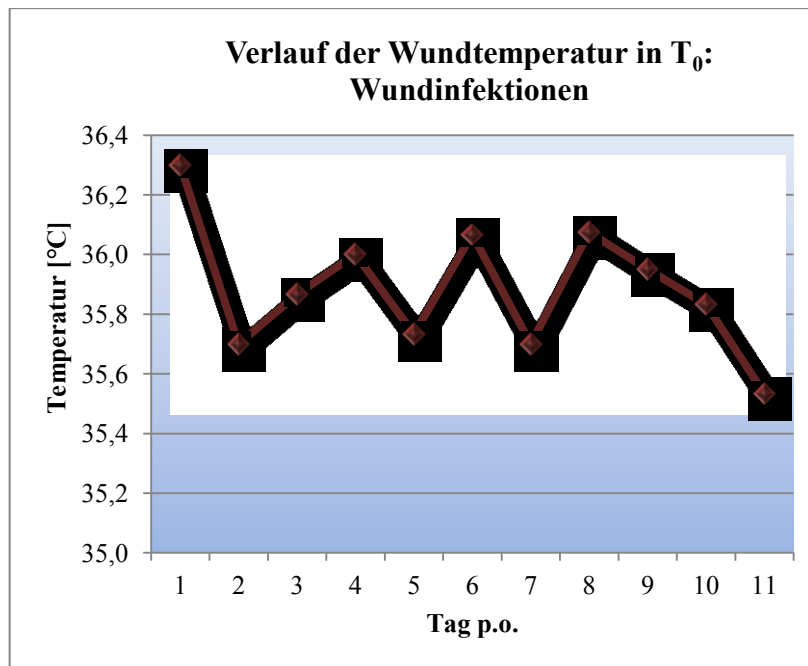


Abbildung 10

Daraufhin gab es einen erneuten Temperaturanstieg um 0,30 °C auf 36,00 °C am vierten postoperativen Tag. Der darauffolgende Temperaturverlauf stellte sich auf Grund der geringen Fallzahl als sehr unregelmäßig dar, die Wundtemperatur blieb jedoch auf konstant hohem Niveau. Erst ab Tag 8 konnte in T₀ ein kontinuierlicher Temperaturabfall von 36,08 °C auf 35,53 °C am 11. Tag festgestellt werden. Aufgrund der kleinen Fallzahlen, konnte keine der Temperaturdifferenzen im Bezug auf die Ausgangstemperatur an Tag eins als statistisch signifikant bezeichnet werden.

Tag	N	T ₀	ΔT_0 (Tag1- TagX)	p-Wert	T ₁	ΔT_1 (Tag1- TagX)	p-Wert	T ₂	ΔT_2 (Tag1- TagX)	p-Wert	T ₃	ΔT_3 (Tag1- TagX)	p-Wert
1	3	36,30			36,20			35,73			35,63		
2	3	35,70	0,60	0,109	35,67	0,53	0,102	35,48	0,25	0,238	35,33	0,30	0,109
3	3	35,87	0,43	0,186	35,78	0,42	0,154	35,43	0,30	0,151	35,20	0,43	0,019
4	3	36,00	0,30	1,000	35,93	0,27	1,000	35,67	0,06	1,000	35,43	0,20	1,000
5	3	35,73	0,57	0,285	35,68	0,52	0,384	35,33	0,40	0,074	35,22	0,41	0,025
6	3	36,07	0,23	0,369	35,85	0,35	0,161	35,60	0,13	0,747	35,45	0,18	0,511
7	3	35,70	0,60	0,285	35,57	0,63	0,249	35,40	0,33	0,245	35,38	0,25	0,225
8	4	36,08	0,22	0,285	35,99	0,21	0,279	35,76	-0,03	0,469	35,59	0,04	0,166
9	4	35,95	0,35	0,300	35,86	0,34	0,225	35,74	-0,01	0,149	35,63	0,00	0,115
10	3	35,83	0,47	0,317	35,68	0,52	0,285	35,18	0,55	0,135	34,97	0,66	0,148
11	3	35,53	0,77	0,323	35,57	0,63	0,328	35,28	0,45	0,297	35,05	0,58	0,226
12	2	34,95	1,35	0,079	34,93	1,27	0,096	35,75	-0,02	0,077	34,73	0,90	0,052

Tabelle 9: Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche in Gruppe WI und Differenzen zur Ausgangstemperatur

4.3 Wundtemperaturverlauf innerhalb der Wunde in den Einzelgruppen

Bei der Auswertung der Thermogramme wurden auch die Unterschiede im räumlichen Temperaturverhalten untersucht. Dabei wurden die peripheren Wundbereiche T_1 , T_2 , und T_3 jeweils dem zentralen Wundbereich T_0 gegenübergestellt und die Differenzen auf statistische Signifikanz hin überprüft.

4.3.1 Mikrochirurgische Diskektomie

In der Gruppe der mikrochirurgischen Diskektomien zeigte sich gegenüber der Temperatur im zentralen Wundbereich T_0 zunächst ein Temperaturanstieg zum nach peripher direkt angrenzenden Wundbereich T_1 . Dieser Temperaturanstieg um durchschnittlich $0,05^\circ\text{C}$ stellte sich nur an Tag 1 als statistisch signifikant ($p = 0,001$) heraus. Die Durchschnittstemperaturen in den weiteren nach außen angrenzenden Wundbereichen T_2 und T_3 waren im Schnitt niedriger als die Temperatur im zentralen Wundbereich T_0 und zwar um im Mittel $0,02^\circ\text{C}$ bzw. $0,13^\circ\text{C}$. Dabei war die Temperaturdifferenz zwischen T_0 und T_2 nur an Tag 4 und 5 statistisch signifikant ($p = 0,022$ bzw. $p = 0,038$). Die Temperaturdifferenz zwischen T_0 und T_3 war an den Tagen 2, 4, 5 und 6 statistisch signifikant ($p = 0,007$; $p = 0,001$; $p = 0,002$; $p = 0,020$).

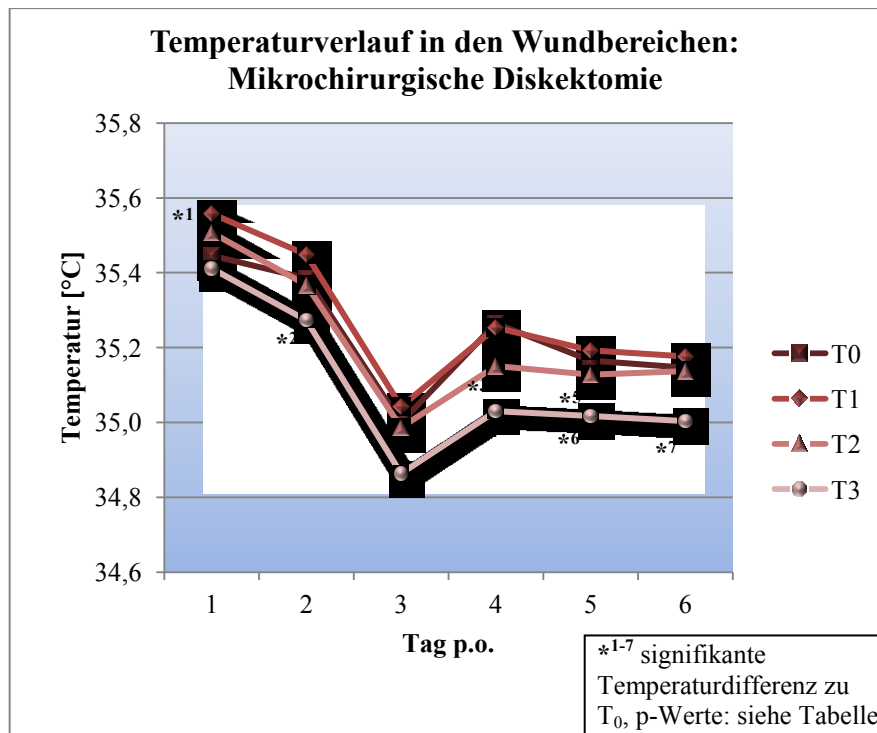


Abbildung 11

Mikrochirurgische Diskektomie						
Tag	ΔT_0-T_1	p-Wert	ΔT_0-T_2	p-Wert	ΔT_0-T_3	p-Wert
1	-0,11	0,001* ¹	-0,06	0,154	0,03	0,495
2	-0,06	0,080	0,02	0,443	0,11	0,007* ²
3	-0,04	0,231	0,01	0,793	0,14	0,054
4	-0,01	0,527	0,09	0,022* ³	0,21	0,001* ⁴
5	-0,03	0,417	0,03	0,038* ⁵	0,15	0,002* ⁶
6	-0,03	0,279	0,01	0,781	0,14	0,020* ⁷

Tabelle 10: Temperaturdifferenzen zwischen den Wundbereichen, Gruppe MD (* signifikant)

4.3.2 Größere Eingriffe

In der Gruppe der größeren Eingriffe war die Wundtemperatur im zentralen Wundbereich T₀ an den meisten Tagen die höchste Temperatur. Die Wundtemperatur nahm in dieser Gruppe nach peripher stetig ab. Von T₀ zum angrenzenden Wundbereich T₁ gab es nur einen sehr kleinen Temperaturabfall um durchschnittlich 0,04 °C, der sich nur an den Tagen 5 - 8 als statistisch signifikant erwies (p = 0,008; p = 0,024; p = 0,004; p = 0,010).

Hingegen war der Temperaturabfall von T₀ zu T₂ mit durchschnittlich 0,19 °C deutlicher und stellte sich dabei auch an den Tagen 2 - 9 als statistisch signifikant heraus (Tabelle 11). Auch gegenüber dem Temperaturbereich T₃ ergab sich an den Tagen 1 - 9 eine statistisch signifikante (Tabelle 11) Temperaturdifferenz von im Mittel 0,31 °C.

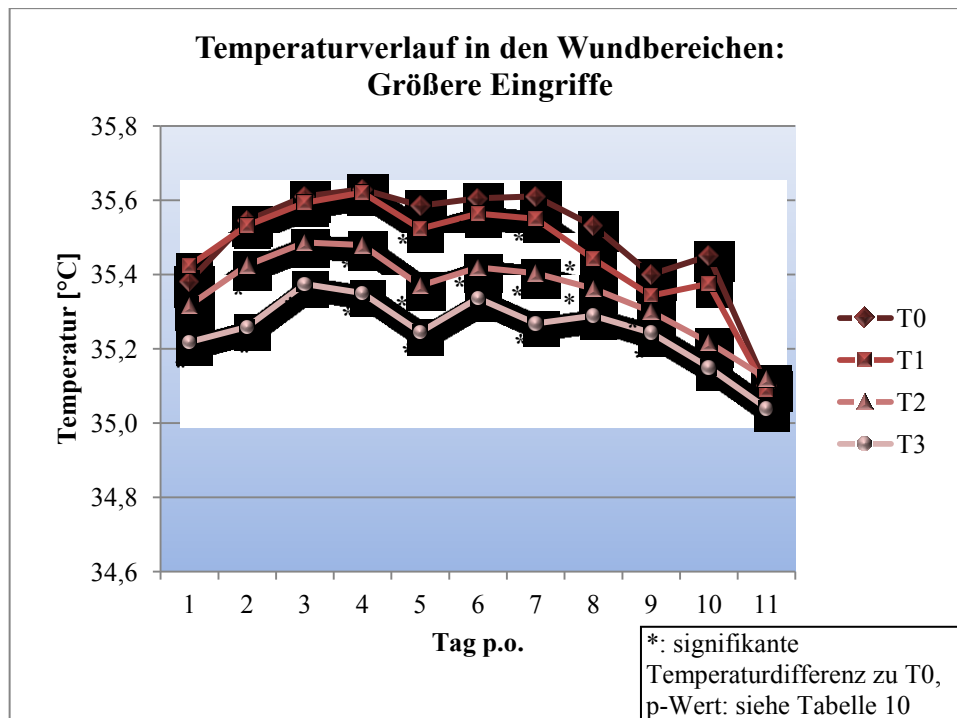


Abbildung 12: Vergleich des Temperaturverlaufs in den verschiedenen Wundbereichen Gruppe GE

Größere Eingriffe						
Tag	ΔT_0-T_1	p-Wert	ΔT_0-T_2	p-Wert	ΔT_0-T_3	p-Wert
1	-0,02	0,365	0,13	0,102	0,23	0,015*
2	0,02	0,229	0,13	0,010*	0,29	0,001*
3	0,02	0,324	0,16	0,004*	0,29	0,001*
4	0,01	0,372	0,17	0,004*	0,31	0,001*
5	0,06	0,008*	0,24	0,001*	0,36	0,001*
6	0,06	0,024*	0,22	0,001*	0,31	0,001*
7	0,07	0,004*	0,22	0,001*	0,34	0,001*
8	0,09	0,010*	0,21	0,033*	0,29	0,020*
9	0,07	0,089	0,15	0,042*	0,23	0,018*
10	0,10	0,088	0,37	0,056	0,49	0,052
11	-0,01	0,857	0,08	0,414	0,22	0,158

Tabelle 11: Temperaturdifferenzen zwischen den Wundbereichen, Gruppe GE (* signifikant)

4.3.3 Wundinfektionen

In der Gruppe der Wundinfektionen zeigte sich ebenfalls, dass die Temperatur im zentralen Wundbereich T_0 die höchste war. Gegenüber T_0 ergab sich zunächst ein Temperaturanstieg zum nach peripher direkt angrenzenden Wundbereich T_1 . Dieser Temperaturanstieg um durchschnittlich $0,08\text{ °C}$ stellte sich ausschließlich an Tag 9 als statistisch signifikant ($p =$

0,035) heraus. Die Durchschnittstemperaturen in den weiteren nach außen angrenzenden Wundbereichen T_2 und T_3 fielen mit zunehmender Distanz von der Wundmitte kontinuierlich ab. Von T_0 zu T_2 ergab sich eine mittlere Temperaturdifferenz von $0,36^\circ\text{C}$, von T_0 zu T_3 wurde ein durchschnittlicher Temperaturabfall um $0,51^\circ\text{C}$ ermittelt. Diese Temperaturdifferenzen waren nur an Tag 9 signifikant ($p = 0,026$ bzw. $p = 0,030$).

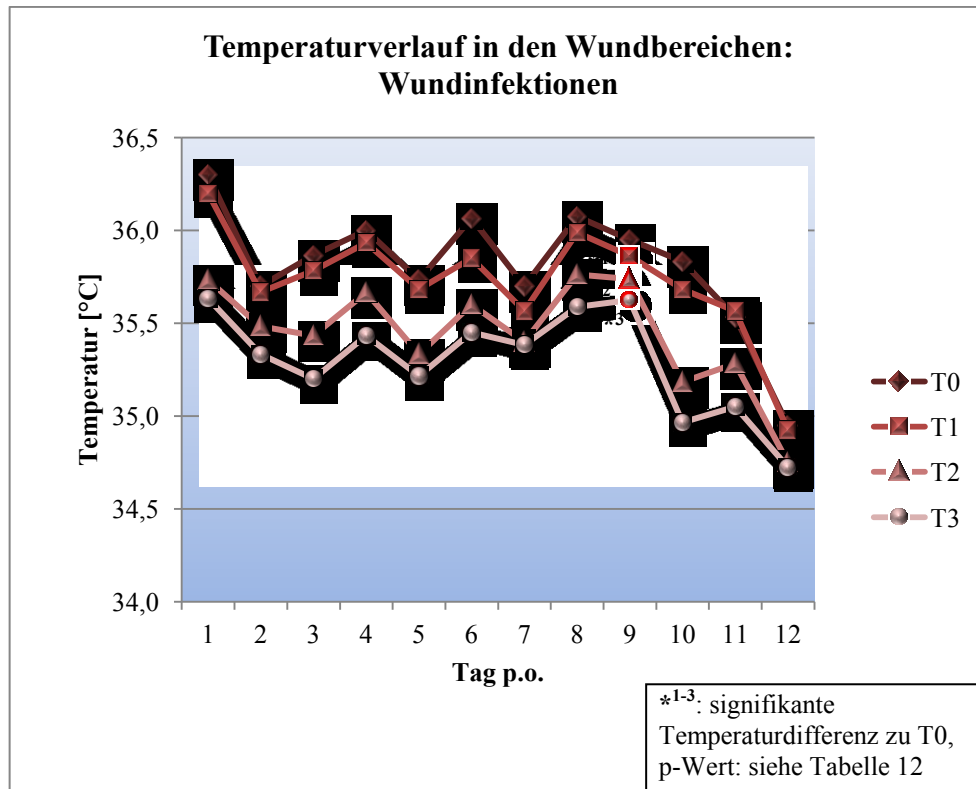


Abbildung 13

Wundinfektionen						
Tag	ΔT_0-T_1	p-Wert	ΔT_0-T_2	p-Wert	ΔT_0-T_3	p-Wert
1	0,10	0,321	0,57	0,307	0,67	0,289
2	0,03	0,157	0,22	0,109	0,37	0,109
3	0,08	0,300	0,43	0,238	0,67	0,233
4	0,07	0,180	0,33	0,285	0,57	0,285
5	0,05	0,180	0,40	0,102	0,52	0,102
6	0,22	0,096	0,47	0,060	0,62	0,177
7	0,13	0,102	0,30	0,102	0,32	0,180
8	0,09	0,066	0,31	0,068	0,49	0,144
9	0,09	0,035* ¹	0,21	0,026* ²	0,32	0,030* ³
10	0,15	0,285	0,65	0,303	0,87	0,289
11	-0,03	0,529	0,25	0,291	0,48	0,142
12	0,03	0,874	0,20	0,626	0,23	0,690

Tabelle 12: Temperaturdifferenzen zwischen den Wundbereichen, Gruppe WI (* signifikant)

4.4 Vergleich der Thermogramme der Gruppen untereinander

4.4.1 Vergleich der Thermogramme: „Unauffälliger Heilungsverlauf“ und „Wundinfektion“

Abbildung 14 zeigt die Verläufe der mittleren Wundtemperatur der unauffälligen Wunden im Vergleich zur mittleren Wundtemperatur der Wunden mit Wundinfektion. Angesichts der kleinen Patientenzahlen konnte die schließende Statistik nur bis zum 10. postoperativen Tag erfolgen. Tabelle 13 zeigt die Temperaturdifferenzen zwischen den Wunden mit Wundinfektion und den unauffälligen Wunden.

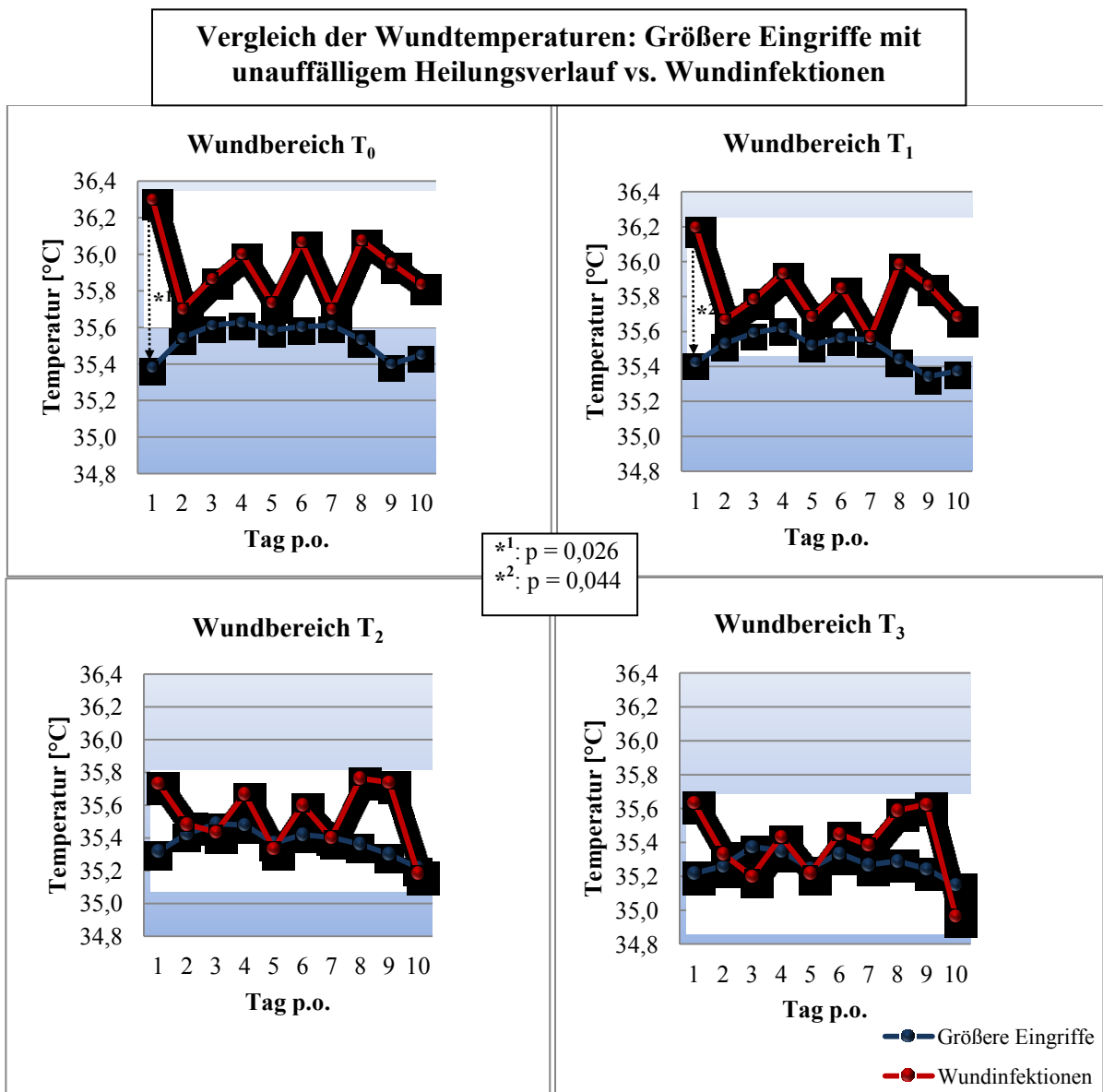


Abbildung 14: Vergleich der Wundtemperaturen im Zeitverlauf Gruppe GE vs. Gruppe WI

Am 1. postoperativen Tag war die Temperatur der infizierten Wunden im Mittel um 0,92 (SD = 0,38) °C höher als die der Wunden mit unauffälliger Wundheilung. Dieser Unterschied war sowohl im zentralen Wundbereich T₀, als auch im nach peripher angrenzenden Wundbereich T₁ statistisch signifikant (p = 0,026 bzw. 0,044). In den weiter peripher liegenden Wundbereichen T₂ und T₃ konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. An den folgenden Tagen stellte sich keine der Differenzen zwischen den Gruppen als statistisch signifikant heraus.

Im zentralen Wundbereich T₀ sowie in T₁ war die durchschnittliche Temperatur der Wunden mit Wundinfektion bis zum 11. postoperativen Tag stets höher als die der unauffälligen Wunden. Mit zunehmender Distanz zur Wundmitte nahm der Unterschied an Deutlichkeit ab, so dass in den äußeren Wundbereichen T₂ und T₃ kaum noch Differenzen zwischen den Gruppen zu finden waren.

In der Gruppe der Wundinfektionen hatte die Wundtemperatur ihr Maximum an Tag 1, in der Gruppe der unauffälligen Wundheilungsverläufe wurde das Temperaturmaximum am 4. Tag erreicht. Die Maximaltemperatur von Gruppe WI war um 0,7 °C höher als die von Gruppe GE.

Tag	T ₀		T ₁		T ₂		T ₃	
	ΔT_{WI-GE} [°C]	p-Wert	ΔT_{WI-GE} [°C]	p-Wert	ΔT_{WI-GE} [°C]	p-Wert	ΔT_{WI-GE} [°C]	p-Wert
1	0,92	0,026* ¹	0,78	0,044* ²	0,42	0,248	0,42	0,290
2	0,15	0,550	0,13	0,663	0,06	0,882	0,07	1,000
3	0,26	0,590	0,19	0,685	-0,05	0,907	-0,17	0,705
4	0,37	0,310	0,31	0,351	0,19	0,505	0,08	0,620
5	0,15	0,635	0,16	0,632	-0,04	0,910	-0,03	0,937
6	0,46	0,251	0,29	0,451	0,18	0,567	0,11	0,711
7	0,09	0,966	0,02	0,963	0,00	0,994	0,12	0,712
8	0,54	0,102	0,55	0,120	0,40	0,233	0,30	0,379
9	0,55	0,152	0,52	0,157	0,44	0,259	0,38	0,370
10	0,38	0,175	0,31	0,262	-0,03	0,922	-0,18	0,677

Tabelle 13: Temperaturdifferenzen: Größere Eingriffe - Wundinfektionen

4.4.2 Vergleich der Thermogramme: „Mikrochirurgische Diskektomien“ und „größere Eingriffe“

Um den Einfluss der Wundgröße auf die Wundtemperatur zu untersuchen, wurde die Gruppe der mikrochirurgischen Diskektomien mit der Gruppe der größeren Eingriffe mit unauffälligem Heilungsverlauf verglichen. In Gruppe MD betrug die Wundlänge durchschnittlich 4,3 (SD = 0,9) cm, in Gruppe 2 hingegen 12,4 (SD = 6,1) cm. Auf Grund geringer Patientenzahlen in Gruppe MD nach dem 6. postoperativen Tag, wurde die Auswertung nur bis zu diesem Tag durchgeführt.

Bei Gegenüberstellung der Wundtemperaturen der beiden Gruppen zeigte sich, dass im zentralen Wundbereich T_0 die Wundtemperatur der größeren Wunden meist höher war als die der kleineren Wunden und zwar um 0,06 bis 0,61 °C. Lediglich an Tag 1 war die Wundtemperatur in Gruppe GE niedriger als in Gruppe MD. Während in Gruppe MD die Wundtemperatur bereits am 1. postoperativen Tag ihr Maximum mit 35,45 (SD = 0,58) °C erreichte, stieg in Gruppe GE die Wundtemperatur, ausgehend vom 1. postoperativen Tag, zunächst an, um ihr Maximum (MW = 35,62 °C ;SD = 0,48 °C) am 4. Tag zu erreichen. Bei den mikrochirurgischen Diskektomien kam es, von Tag 1 ausgehend, zu einem Temperaturabfall bis zum 3. postoperativen Tag, an dem die Wundtemperatur ihr Minimum (MW = 35,00°C; SD = 0,72°C) hatte. Zum gleichen Zeitpunkt befand sich die Wundtemperatur der größeren Eingriffe noch im Ansteigen, so dass eine signifikante Differenz von 0,61°C zwischen den Gruppen festgestellt werden konnte ($p = 0,009$). Diese Temperaturdifferenz an Tag 3 war auch in den peripheren Wundbereichen T_1 bis T_3 signifikant ($p = 0,012$; $p = 0,013$; $p = 0,010$). An Tag 6 kam es bei den größeren Eingriffen zu einem erneuten leichten Anstieg der Wundtemperatur, derweilen es bei den mikrochirurgischen Diskektomien zu einem Temperaturabfall in der Wunde kam. Im zentralen Wundbereich T_0 war diese Differenz von 0,46°C statistisch signifikant ($p = 0,048$).

**Vergleich der Wundtemperaturen:
Mikrochirurgische Diskektomie vs. größere Eingriffe**

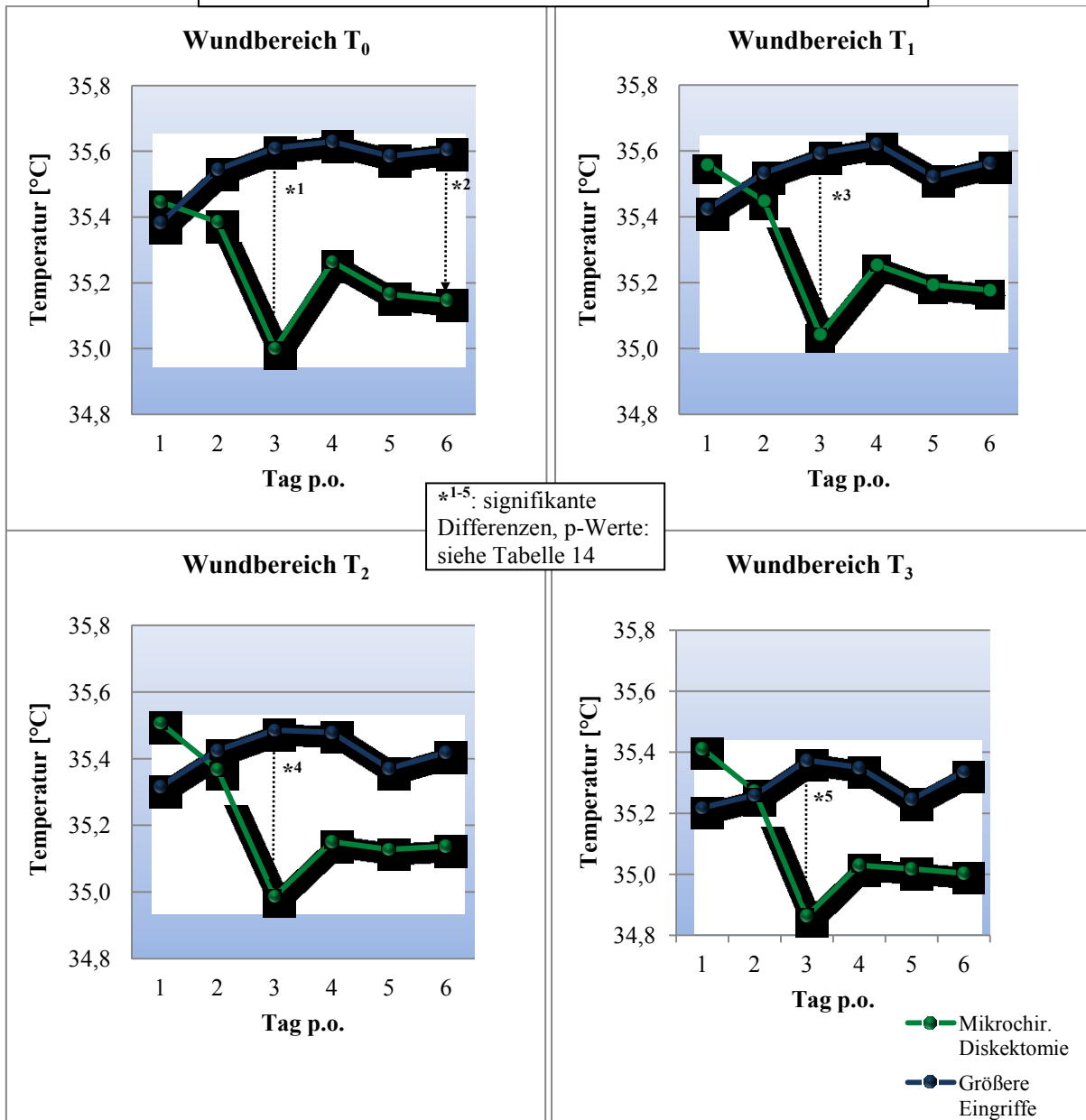


Abbildung 15: Vergleich der Wundtemperaturen im Zeitverlauf Gruppe MD vs. Gruppe GE

Abbildung 15 stellt die unterschiedlichen Temperaturverläufe in den beiden Gruppen dar. Insgesamt ließ sich feststellen, dass bei den größeren Wunden das Temperaturmaximum später erreicht wurde und die Wundtemperatur für einen längeren Zeitraum auf einem nahezu konstant hohen Niveau blieb. Bei den kleineren Wunden indessen wurde die höchste Wundtemperatur im Zeitverlauf schon am ersten postoperativen Tag erreicht und fiel dann bis zum 3. Tag schnell ab, um dann noch einmal am 4. Tag leicht anzusteigen, bevor sie zum 5. und 6. Tag langsam absank. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen stellten sich im

zentralen Wundbereich T₀ am deutlichsten dar, während sie mit zunehmendem Abstand von der Wundmitte geringer wurde.

Tag	T ₀		T ₁		T ₂		T ₃	
	ΔT_{GE-MD} [°C]	p-Wert	ΔT_{GE-MD} [°C]	p-Wert	ΔT_{GE-MD} [°C]	p-Wert	ΔT_{GE-MD} [°C]	p-Wert
1	-0,06	0,716	-0,13	0,427	-0,19	0,248	-0,19	0,258
2	0,16	0,333	0,08	0,555	0,06	0,739	-0,01	0,804
3	0,61	0,009* ¹	0,55	0,012* ³	0,50	0,013* ⁴	0,51	0,010* ⁵
4	0,36	0,160	0,35	0,076	0,30	0,279	0,29	0,270
5	0,38	0,154	0,29	0,164	0,20	0,324	0,19	0,338
6	0,46	0,048* ²	0,39	0,087	0,28	0,153	0,33	0,091

Tabelle 14: Temperaturdifferenzen: Größere Eingriffe - Mikrochirurgische Diskektomie

4.5 Einfluss der Risikofaktoren auf die Wundtemperatur

Bei Betrachtung des Einflusses der Risikofaktoren auf die Wundtemperatur wurde die Auswertung auf die relativ häufig vorkommenden Faktoren Adipositas und Nikotinkonsum beschränkt.

4.5.1 Einfluss von Adipositas auf die Wundtemperatur

Zur Auswertung des Einflusses von Adipositas auf die Wundtemperatur wurden die Patienten retrospektiv in zwei Gruppen eingeteilt. In der einen Gruppe fanden sich die Patienten mit Adipositas, also mit einem BMI von ≥ 30 kg/m². Die andere Gruppe bildeten Patienten mit Normalgewicht (BMI ≤ 25 kg/m²). Die Gruppe der Adipösen wurde von 17 Patienten gebildet mit einem mittleren BMI von 32,6 kg/m² und einem Durchschnittsalter von 57,6 Jahren. Die mittlere Wundlänge betrug 10,0 cm und die durchschnittliche Aufenthaltsdauer lag bei 8,2 Tagen. In der Gruppe der Normalgewichtigen fanden sich 18 Patienten mit einem Durchschnitts-BMI von 22,6 kg/m² und einem Durchschnittsalter von 53,1 Jahren. Die mittlere Wundlänge lag bei 7,7 cm und die durchschnittliche Aufenthaltsdauer betrug 6,4 Tage.

Die Temperaturverläufe wurden bis zum 8. postoperativen Tag betrachtet, da die Wundtemperaturen an den Folgetagen aufgrund geringer Patientenzahlen nicht repräsentativ waren. Es zeigte sich, dass im Wundbereich T₀ die mittlere Wundtemperatur der adipösen

Patienten durchgängig höher war als die der normalgewichtigen Patienten. Während die Wundtemperatur bei den normalgewichtigen Patienten am dritten postoperativen Tag ein Minimum erreichte, stieg die Wundtemperatur der Adipösen vom zweiten zum dritten postoperativen Tag leicht an. Diese Differenz der Wundtemperaturen am dritten postoperativen Tag war statistisch signifikant ($p_{T_0} = 0,015$). Auch in den anderen Wundbereichen waren diese Unterschiede an Tag 3 signifikant ($p_{T_1} = 0,035$; $p_{T_2} = 0,037$; $p_{T_3} = 0,043$). An Tag 4 und 5 gab es lediglich im zentralen Wundbereich T_0 statistisch signifikante Wundtemperaturunterschiede zwischen den Gruppen ($p = 0,041$ bzw. $p = 0,031$).

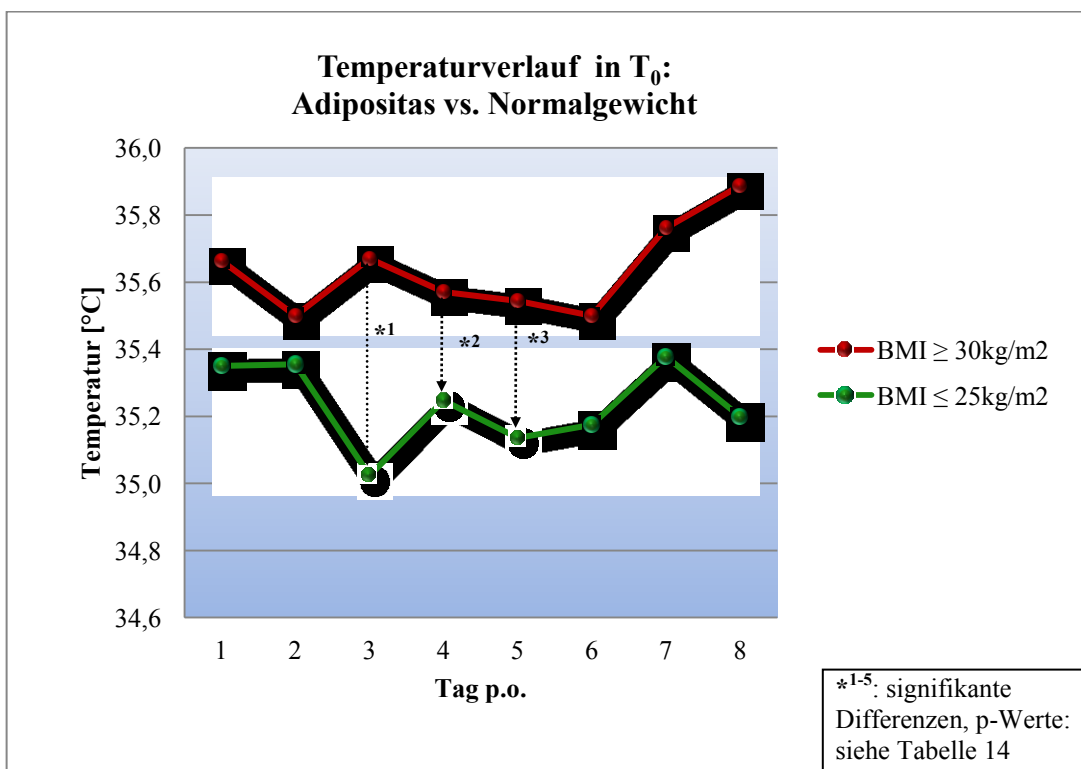


Abbildung 16: Temperaturverlauf in T_0 : Adipositas vs. Normalgewicht

Tag	T_0		T_1		T_2		T_3	
	ΔT_{Ad-NG} [°C]	p-Wert	ΔT_{Ad-NG} [°C]	p-Wert	ΔT_{Ad-NG} [°C]	p-Wert	ΔT_{Ad-NG} [°C]	p-Wert
1	0,31	0,100	0,15	0,415	0,04	0,834	0,03	0,875
2	0,14	0,568	-0,03	0,757	-0,09	0,680	-0,18	0,525
3	0,65	0,015* ¹	0,57	0,035	0,53	0,037	0,50	0,043
4	0,32	0,041* ²	0,26	0,250	0,16	0,092	0,16	0,092
5	0,41	0,031* ³	0,38	0,141	0,32	0,215	0,32	0,201
6	0,32	0,247	0,23	0,399	0,14	0,550	0,10	0,654
7	0,38	0,126	0,34	0,196	0,24	0,298	0,23	0,308
8	0,69	0,059	0,56	0,085	0,48	0,133	0,40	0,217

Tabelle 15: Temperaturdifferenzen: Adipositas - Normalgewicht

4.5.2 Einfluss von Nikotinkonsum auf die Wundtemperatur

Um den Einfluss von Nikotinkonsum auf die Wundtemperatur näher zu untersuchen, wurden die Patienten in eine Gruppe der Raucher und eine Gruppe der Nichtraucher eingeteilt. Dabei wurden ausschließlich solche Patienten mit eingeschlossen, die während ihres stationären Aufenthaltes eine unauffällige Wundheilung gezeigt hatten. Die Wundtemperaturdifferenzen wurden hierzu bis zum 7. postoperativen Tag ausgewertet. In der Gruppe der Raucher fanden sich 14 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 45,1 Jahren und einer mittleren Aufenthaltsdauer von 6,9 Tagen. Nach den Patientenangaben wurde ein durchschnittlicher Nikotinkonsum von 17,9 Zigaretten pro Tag ermittelt. Zur Gruppe der Nichtraucher gehörten 35 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 60,4 Jahren und einer mittleren Aufenthaltsdauer von 7,5 Tagen. Die mittlere Wundlänge war in beiden Gruppen vergleichbar und betrug bei den Rauchern 8,2 cm und bei den Nichtrauchern 8,1 cm.

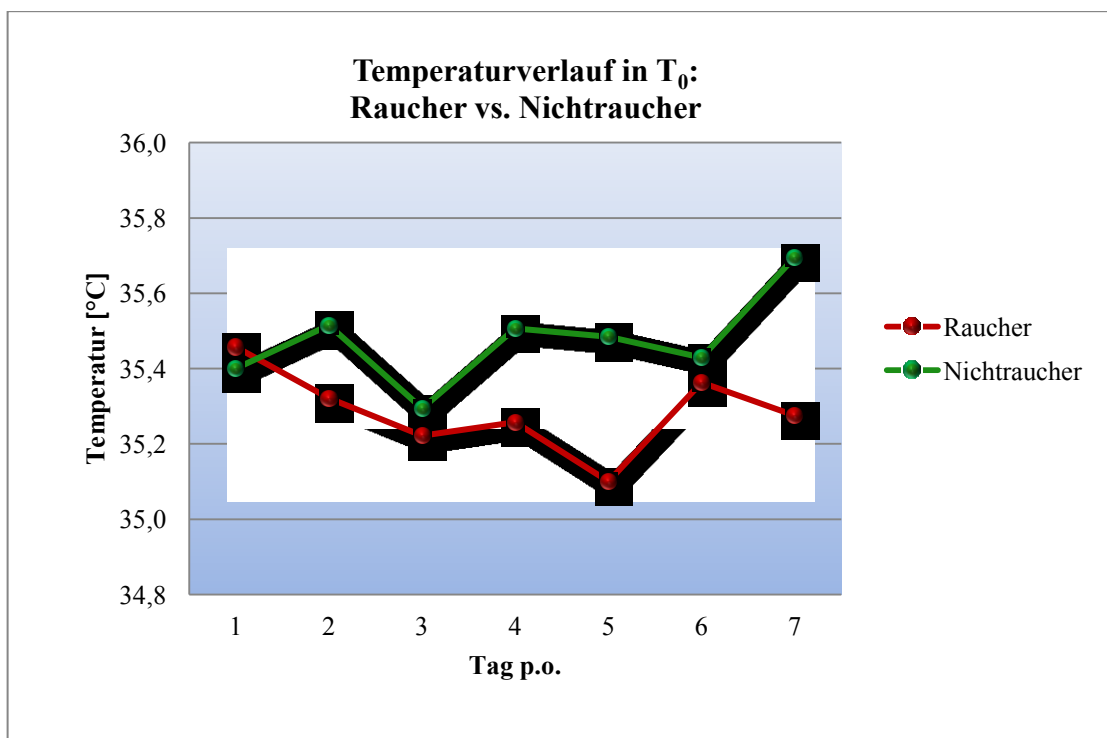


Abbildung 17: Temperaturverlauf in T_0 : Raucher vs. Nichtraucher

Bis auf den ersten postoperativen Tag war die Wundtemperatur der Raucher durchweg geringer als die der Nichtraucher. Besonders deutlich war dieser Unterschied an den Tagen 5 ($\Delta T_0 = 0,38 \text{ }^{\circ}\text{C}$) und 7 ($\Delta T_0 = 0,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Keine der Temperaturdifferenzen zwischen den

Gruppen stellte sich als statistisch signifikant heraus (siehe Tabelle 16). In der Gruppe der Raucher wurde die höchste Wundtemperatur bereits am ersten postoperativen Tag erreicht und hatte ihr Minimum an Tag 5. In der Gruppe der Nichtraucher stieg die Wundtemperatur vom 1. zum 2. postoperativen Tag zunächst an, um am 3. Tag ihr Minimum bei 35,29 (SD = 0,88) °C zu erreichen. An den beobachteten Folgetagen war die Wundtemperatur stets höher als die Ausgangstemperatur an Tag 1. Mit zunehmendem Abstand von der Wundmitte wurden die Temperaturdifferenzen zwischen den Gruppen kleiner.

Tag	T ₀		T ₁		T ₂		T ₃	
	ΔT_{NR-R} [°C]	p-Wert	ΔT_{NR-R} [°C]	p-Wert	ΔT_{NR-R} [°C]	p-Wert	ΔT_{NR-R} [°C]	p-Wert
1	-0,06	0,768	-0,07	0,722	-0,03	0,859	-0,04	0,840
2	0,19	0,151	0,14	0,166	0,11	0,573	0,05	0,510
3	0,07	0,782	0,12	0,626	0,11	0,627	0,05	0,808
4	0,25	0,287	0,27	0,196	0,33	0,132	0,23	0,261
5	0,38	0,315	0,32	0,185	0,26	0,275	0,16	0,494
6	0,07	0,815	0,01	0,966	-0,01	0,979	-0,11	0,650
7	0,42	0,099	0,32	0,170	0,20	0,355	0,17	0,387

Tabelle 16: Temperaturdifferenzen: Nichtraucher – Raucher

4.6 Zusammenhang zwischen Körpertemperatur und Wundtemperatur

Um den Zusammenhang zwischen Körpertemperatur und Wundtemperatur zu untersuchen, wurden Korrelationskoeffizienten berechnet. Je nachdem ob Normalverteilung der Messwerte vorlag oder nicht wurde entweder der Korrelationskoeffizient nach Pearson ρ oder der Korrelationskoeffizient nach Spearman ρ_s bestimmt.

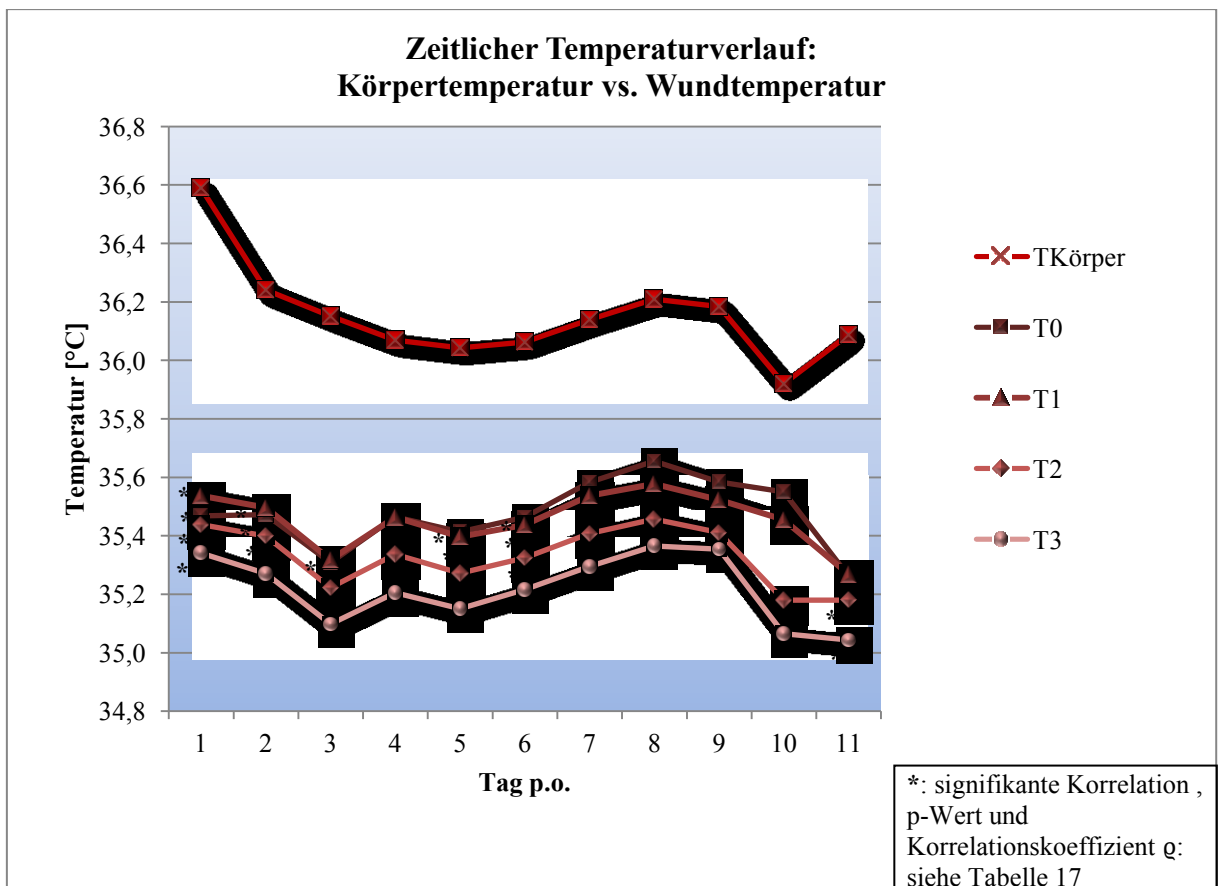


Abbildung 18

An Tag 1 lag zwischen allen Wundbereichen und der Körpertemperatur eine hoch signifikante Korrelation geringen bis mittleren Ausmaßes vor (Tabelle 17). Am 2. postoperativen Tag war eine signifikante Korrelation nur mit den Wundbereichen T₀, T₁ und T₂ gegeben, am 3. Tag nur mit T₀. Die Bestimmung des Korrelationskoeffizienten zeigte am 4. Tag keine signifikante Korrelation, an Tag 5 jedoch eine geringe Korrelation zwischen der Körpertemperatur und den Wundtemperaturen in T₀ und T₁. Am 6. postoperativen Tag korrelierten die Wundtemperaturen aller Wundbereiche in geringem Ausmaß signifikant mit der Körpertemperatur. An den darauffolgenden Tagen ergaben sich keine signifikanten Korrelationen.

Korrelation Körpertemperatur - Wundtemperatur in T₀

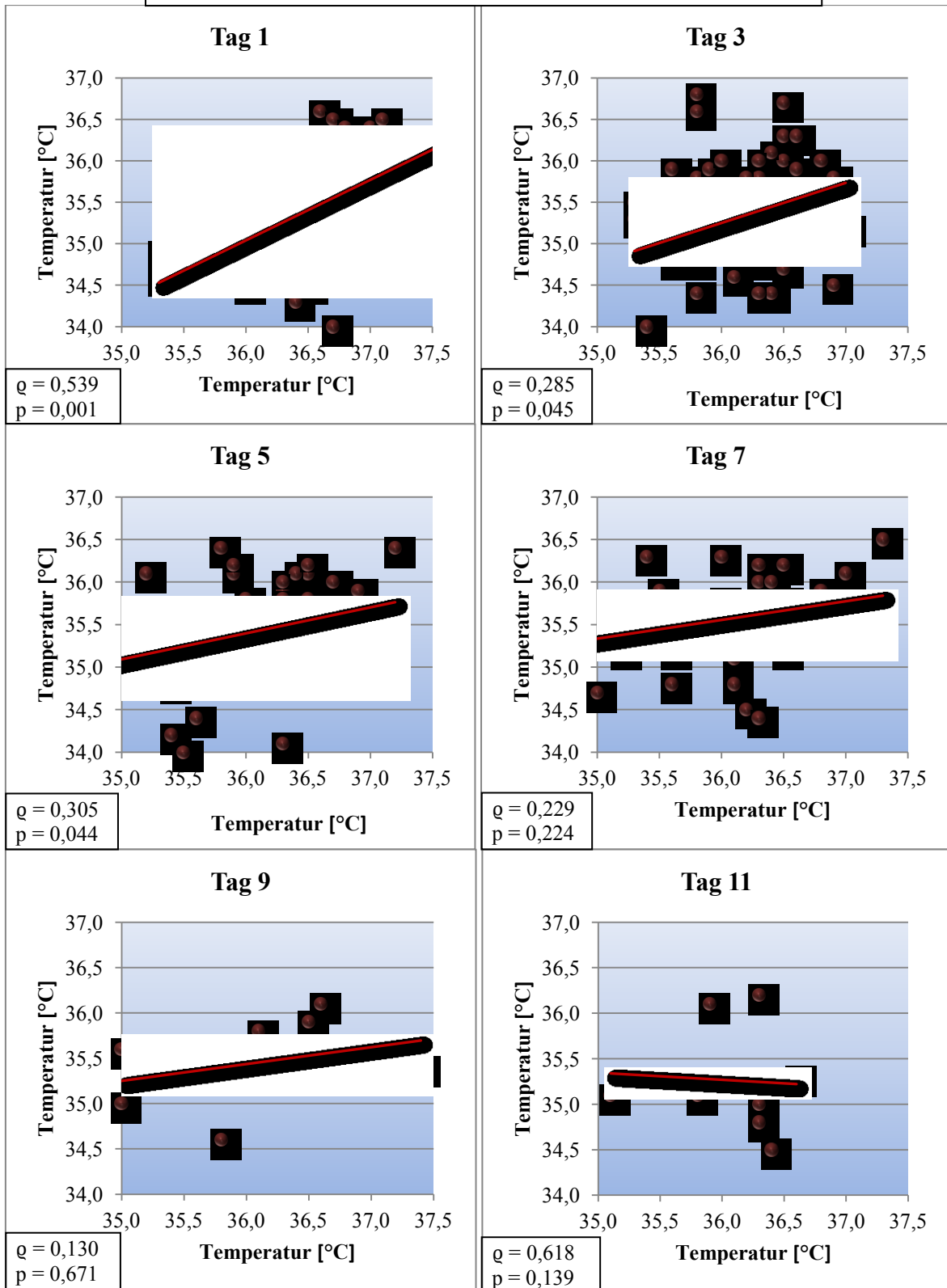


Abbildung 19: Regressionsgeraden Körpertemperatur - Wundtemperatur jeden 2. Tag

Korrelation Körpertemperatur - Wundtemperatur						
		Tag 1	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag1	Korrelationskoeffizient ρ		0,539	0,534	0,488	0,482
	Signifikanz p		0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
		Tag 2	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag2	Korrelationskoeffizient ρ		0,399	0,359	0,280	0,240
	Signifikanz p		0,004*	0,010*	0,046*	0,090
		Tag 3	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag3	Korrelationskoeffizient ρ		0,285	0,266	0,224	0,217
	Signifikanz p		0,045*	0,062	0,118	0,130
		Tag 4	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag4	Korrelationskoeffizient ρ		0,193	0,196	0,113	0,106
	Signifikanz p		0,184	0,176	0,439	0,469
		Tag 5	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag5	Korrelationskoeffizient ρ		0,305	0,299	0,236	0,221
	Signifikanz p		0,044*	0,049*	0,123	0,150
		Tag 6	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag6	Korrelationskoeffizient ρ		0,323	0,382	0,407	0,422
	Signifikanz p		0,045*	0,016*	0,010*	0,008*
		Tag 7	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag7	Korrelationskoeffizient ρ		0,229	0,242	0,269	0,225
	Signifikanz p		0,224	0,197	0,150	0,231
		Tag 8	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag8	Korrelationskoeffizient ρ		0,275	0,219	0,291	0,284
	Signifikanz p		0,240	0,354	0,213	0,226
		Tag 9	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag9	Korrelationskoeffizient ρ		0,130 ¹	0,109 ¹	0,198 ¹	0,191 ¹
	Signifikanz p		0,671	0,723	0,516	0,532
		Tag 10	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag10	Korrelationskoeffizient ρ		-0,560 ¹	-0,413	-0,053 ¹	0,071 ¹
	Signifikanz p		0,093	0,235	0,884	0,846
		Tag 11	T₀	T₁	T₂	T₃
T_{Körper} Tag11	Korrelationskoeffizient ρ		0,618	0,729	0,805	0,769
	Signifikanz p		0,139	0,063	0,029*	0,043*

Tabelle 17: Korrelation Körpertemperatur - Wundtemperatur

In Abbildung 19 wird die Korrelation zwischen Körpertemperatur und Wundtemperatur in T_0 anhand von Streudiagrammen mit Regressionsgeraden veranschaulicht.

4.7 Auswertung des Laborparameters „CRP“

Eine induktiv statistische Auswertung des Laborparameters CRP war auf Grund geringer Anzahl von Werten in den einzelnen Gruppen nicht möglich. Deshalb wird nachfolgend der CRP-Verlauf nur deskriptiv statistisch ausgewertet. Die präoperativen CRP-Werte lagen bei nahezu allen Patienten im Normbereich. Lediglich bei Notfalloperationen wurden erhöhte CRP-Werte geduldet.

Postoperativ kam es in allen Gruppen zu einem Anstieg der CRP-Werte, jedoch war das Ausmaß des Anstiegs unterschiedlich. In der Gruppe der mikrochirurgischen Dissektomien erreichte das CRP sein Maximum am 3. postoperativen Tag bei durchschnittlich 60,90 mg/l und sank dann kontinuierlich ab, erreichte aber bis zum Tag der Entlassung noch keine Normwerte. Bei den größeren Eingriffen zeigte sich ebenfalls bis zum 3. postoperativen Tag ein steiler Anstieg des CRP auf mittlere Maximalwerte von 115,9 (SD = 91,5) mg/l. Danach fiel das CRP wieder ab bis zum 6. Tag, an dem es einen durchschnittlichen Wert von 46,1 (SD = 74,4) mg/l annahm.

In der Gruppe der Wundinfektionen wurde ein erstes CRP-Maximum bereits am 2. postoperativen Tag erreicht bei 155,0 mg/l. Daraufhin fiel das CRP bis zum 5. postoperativen Tag auf 37,9 mg/l ab, um danach erneut auf einen Maximalwert von 198,0 mg/l anzusteigen.

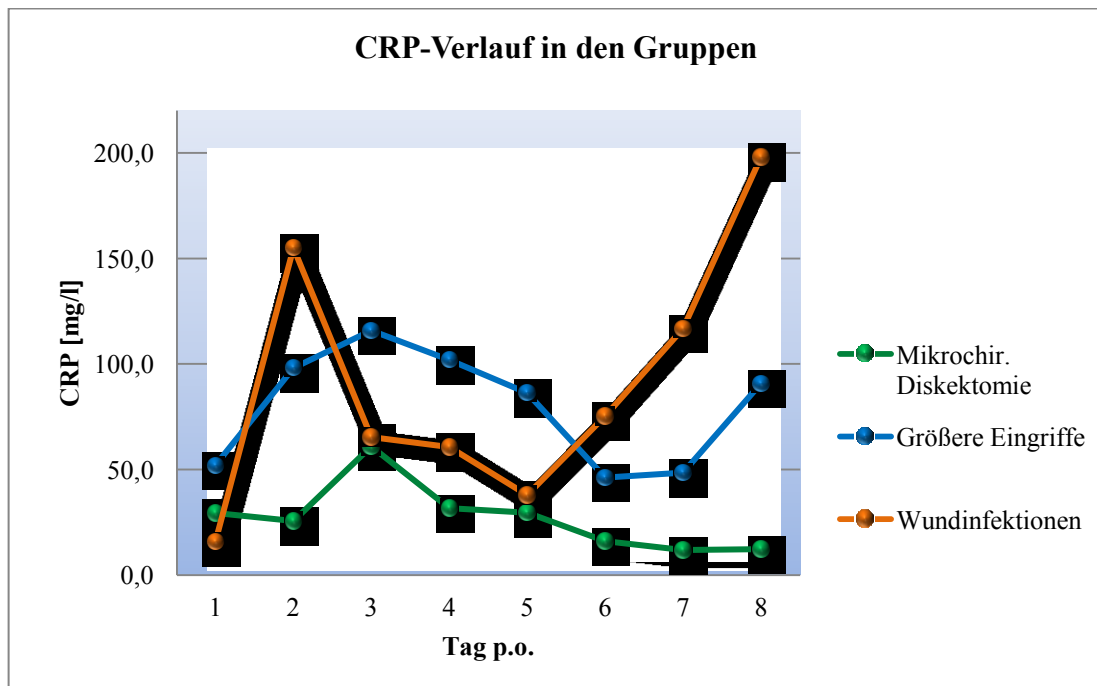


Abbildung 20

Tag	CRP Gruppe MD [mg/l]			CRP Gruppe GE [mg/l]			CRP Gruppe WI [mg/l]		
	N	MW	SD	N	MW	SD	N	MW	SD
1	6	29,32	21,68	5	51,90	39,14	1	15,70	.
2	14	25,56	49,30	6	98,10	110,22	1	155,00	.
3	3	60,90	.	7	115,86	91,49	1	65,30	.
4	12	31,67	40,76	11	101,92	70,15	2	60,65	.
5	9	29,51	42,82	4	86,28	.	1	37,90	.
6	4	16,03	.	12	46,14	74,42	1	75,30	.
7	3	11,82	.	5	48,46	50,92	2	116,75	.
8	3	12,26	.	5	90,74	118,40	1	198,00	.

Tabelle 18: CRP-Verlauf in den Gruppen

4.8 Zusammenhang zwischen „CRP“ und Wundtemperatur

Der Verlauf der Wundtemperatur in T_0 im Vergleich zum Verlauf des Laborparameters CRP ist in Abbildung 21 zu sehen. Abbildung 22 zeigt die Korrelation aller in der Studie erfassten CRP-Werte mit ihren zugehörigen Hauttemperaturen im Wundbereich T_0 . Zusätzlich eingezeichnet ist die entsprechende Regressionsgerade.

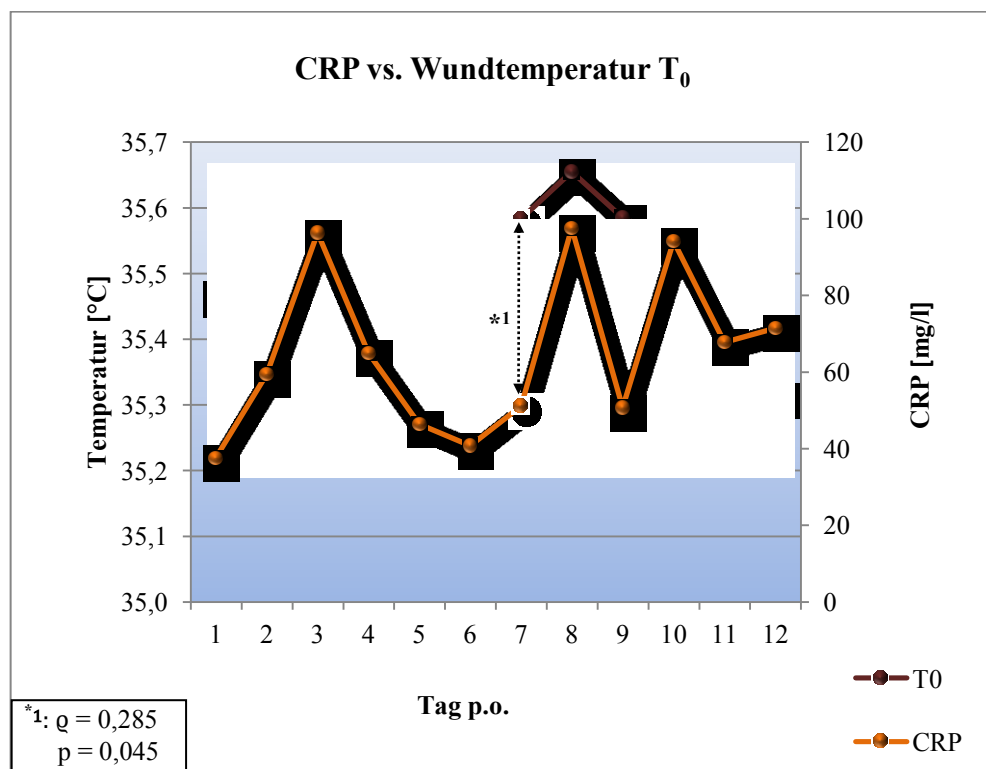


Abbildung 21

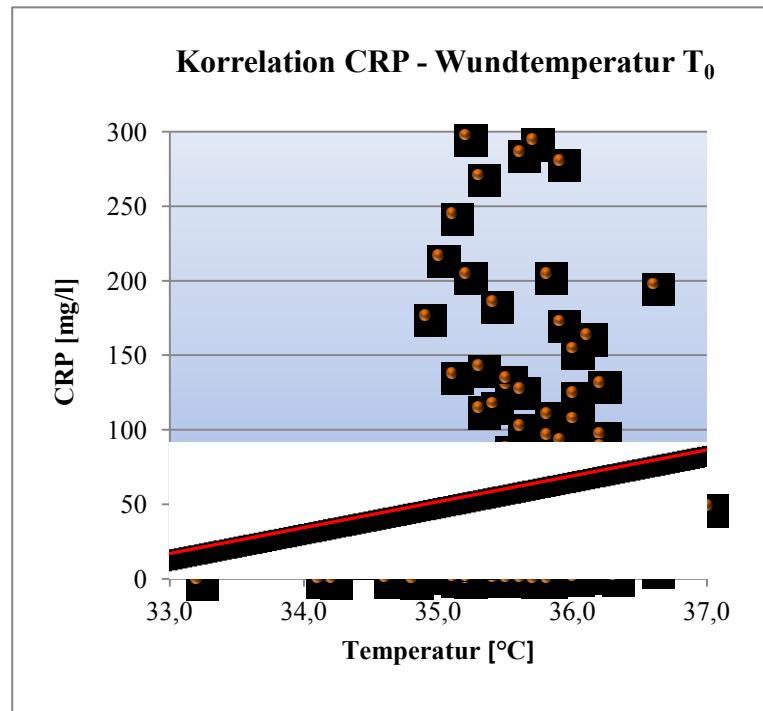


Abbildung 22

Während die Wundtemperatur in T₀ zum 3. postoperativen Tag hin abfiel, erreichte das CRP am gleichen Tag sein Maximum bei 96,3 (SD = 79,0) mg/l. Bis zum 6. postoperativen Tag fiel das CRP auf durchschnittlich 40,8 (SD = 63,9) mg/l. Die Wundtemperatur stieg mit einem kurzen Abfall an Tag 5 erneut an, um ihr Maximum am 8. postoperativen Tag bei 35,66 (SD = 0,61) °C zu erreichen. Gleichzeitig erreichte das CRP ein zweites Maximum von 76,5 (SD = 102,8) mg/l. Lediglich an Tag 7 konnte eine signifikante Korrelation mittleren Ausmaßes ($p = 0,030$) zwischen dem Laborparameter CRP und der Wundtemperatur in T₀ festgestellt werden. Abbildung 22 verdeutlicht in einem Streu-Punktdiagramm noch einmal den geringen Zusammenhang zwischen CRP und Wundtemperatur. Die Punktwolke streut sehr weit und gruppiert sich kaum in der Nähe der Regressionsgeraden. In Tabelle 19 im Anhang finden sich die Korrelationskoeffizienten und die zugehörigen Irrtumswahrscheinlichkeiten. Aufgrund der kleinen Fallzahlen im Bereich der gemessenen CRP-Werte wurde auf eine Signifikanzprüfung nach dem 9. Tag verzichtet.

5. Diskussion

5.1 Spinale Wundinfektionen

Wie schon anfangs erwähnt, zählen Infektionen des Wundgebietes zu den schwerwiegenden Komplikationen nach Operationen an der Wirbelsäule. Das Risiko einer Wundinfektion kann durch verschiedenste Faktoren erhöht werden. So haben beispielsweise Patienten mit einem BMI von $\geq 30\text{kg/m}^2$ und Raucher ein mehr als zweifach erhöhtes Risiko nach spinalen Operationen eine Wundinfektion zu erleiden^{35 36}. Bereits erfolgte Voroperationen erhöhen das Wundinfektionsrisiko nach spinalen Fusionsoperationen fast um das Vierfache³⁶. Auch in dieser Untersuchung hatten die Patienten mit Wundinfektion nahezu doppelt so viele Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen wie jene, die einen unauffälligen Heilungsverlauf zeigten. Weitere Einflussfaktoren auf die Wundheilung sind das Ausmaß der Operation, die Operationsdauer und eine etwaige Instrumentierung^{35 37}. In vorliegender Arbeit war bei allen Patienten, die später eine Wundinfektion entwickelten, vorher ein instrumentierter Eingriff vorgenommen worden, der 2 oder mehr Segmente betraf. Abgesehen von den weitreichenden gesundheitlichen Folgen, die nicht selten zu Invalidität und Tod führen, sind auch die Kosten für Revisionsoperationen und stark verlängerte Krankenhausaufenthalte immens.

Schimmel et al. beobachteten den klinischen Verlauf von 36 Patienten, die eine Wundinfektion nach Fusionsoperationen der Wirbelsäule entwickelten. Dabei stellten sie fest, dass pro Fall durchschnittlich 2,1 Revisionsoperationen nötig waren, um den Infektionsherd zu sanieren, was insgesamt zu 1121 zusätzlichen Tagen Krankenhausaufenthalt führte³⁶. Auch bei Patienten dieser Studie verlängerte die Wundinfektion den Krankenhausaufenthalt erheblich, so dass sich die stationäre Aufenthaltsdauer im Vergleich zur Gruppe der Patienten mit ähnlichen Eingriffen und unauffälligem Heilungsverlauf im Mittel um 11,4 Tage auf mehr als das Doppelte verlängerte. In Studien mit größerer Patientenzahl betrug die mittlere Zeit bis zur Diagnose 13,5³⁶ Tage bzw. 23³⁸ Tage. Ein Grund für diese langen Diagnosezeiträume sind u.a. fehlende klinische Infektionszeichen. Bei den schwerwiegenderen tiefen Wundinfektionen ist die Wunde an der Hautoberfläche wegen des mehrschichtigen Wundverschlusses oftmals unauffällig, die Patienten haben kein Fieber und häufig auch nur geringe Schmerzen²⁵. Manchmal ist nur ein erneuter CRP-Anstieg oder ein Ausbleiben des CRP-Rückgangs als Zeichen für eine mögliche Wundinfektion vorhanden. Die bildgebenden Verfahren, die Aufschluss bringen könnten, wie Szintigraphie, CT und Kontrastmittel-MRT

setzen den Patienten einer erheblichen Strahlenbelastung aus oder sind wegen schlechter Nieren- oder Schilddrüsenwerte oft nicht durchführbar. Des Weiteren sind sie kostenintensiv und ortsgebunden und führen häufig nicht zu einer Diagnose³⁹, da postoperativ schwer zu unterscheiden ist zwischen einer normalen inflammatorischen Reaktion und abnormem Infektionsgeschehen. Die Thermographie hingegen ist jederzeit und überall anwendbar, unschädlich für den Patienten und bringt ein sofortiges Ergebnis.

5.2 Thermographie zur Detektion entzündlicher Prozesse

Obwohl Calor = Wärme schon seit der Antike als wichtiges Entzündungszeichen gilt, gibt es allgemein wenig quantitative Daten über die Wärmeentwicklung in entzündeten Geweben. Früher versuchte man noch mittels der Berührung der Hände festzustellen, ob ein bestimmtes Körperareal überwärmt war. Mit der heutigen Technik ist die Temperaturbestimmung viel objektiver und genauer möglich und doch wird die Thermographie beispielsweise zur Diagnostik von entzündlichen Prozessen noch kaum genutzt. Einige Studien zeigen, dass sich nicht nur oberflächliche Entzündungen mit der Wärmebildkamera zuverlässig detektieren lassen. So wurde in einer aktuellen Untersuchung von 2010 die Oberflächentemperatur der Patella mit dem röntgenologisch bestimmten Schweregrad der Arthritis im Kniegelenk verglichen¹⁴. Dabei zeigte sich eine gute Korrelation zwischen der präpatellaren Hauttemperatur und dem Schweregrad der Arthritis. Über die thermographische Beobachtung von OP-Wunden gibt es kaum Literatur. Die wenigen vorhandenen Studien beschreiben den Wundtemperaturverlauf nach Sternotomie^{22 23} oder Gallenblasenentfernung¹⁹. Bei diesen wurde ein deutlicher Unterschied des Temperaturverlaufs von unauffällig heilenden Wunden und Wunden mit Infektionsgeschehen beobachtet. Die Patientenzahlen in diesen Arbeiten waren jedoch zu gering, um die Methode auf Sensitivität und Spezifität zu prüfen. Zu dem Temperaturverlauf im Wundbereich nach Wirbelsäulenoperationen gibt es noch keine Daten. Daher kann in einigen Teilen der Diskussion kein Vergleich gezogen werden zwischen den hier gewonnenen Erkenntnissen und Ergebnissen anderer Arbeiten.

5.3 Temperaturentwicklung im Wundbereich

Zeitlicher Verlauf

Bei Betrachtung des Wundtemperaturverlaufs in der Gruppe der größeren Eingriffe zeigte sich zunächst ein Anstieg der Wundtemperatur bis zum 4. postoperativen Tag und dann ein Konstantbleiben für mehrere Tage. Diese Temperaturerhöhung ist ein Zeichen für die Aktivität der Reparationsvorgänge im Wundbereich. Die Freisetzung humoraler Substanzen führt zur Vasodilatation und damit zur Hyperämie im Gebiet des verletzten Gewebes^{32 40}. Anfangs stellt sich noch ein relativ großes Areal um den OP-Schnitt herum als überwärmt dar. Später wird dieses Hyperämie-Gebiet immer kleiner und am Ende des Beobachtungszeitraums ist schließlich nur noch ein schmaler, scharf abgegrenzter Streifen im zentralen Wundbereich überwärmt. Ähnliche Beobachtungen machte auch Horzic 1996, als er die Temperaturänderungen im Heilungsverlauf nach Cholezystektomien mittels Kontaktthermographie beobachtete¹⁹. Erst am 11. postoperativen Tag fiel die mittlere Wundtemperatur in T_0 bei den größeren Eingriffen in vorliegender Arbeit wieder unter das Niveau des ersten postoperativen Tages.

Bei den mit durchschnittlich 4,3 cm vergleichsweise kleinen Wunden nach mikrochirurgischer Diskektomie wurde ein anderer Wundtemperaturverlauf verzeichnet. In dieser Gruppe wurde die Maximaltemperatur bereits am ersten Tag erreicht. Insgesamt betrachtet war die Durchschnittswundtemperatur nach mikrochirurgischer Diskektomie auch deutlich geringer, als nach größeren Eingriffen, was wohl mit der geringeren Gewebsverletzung und damit der geringeren Freisetzung humoraler Substanzen zusammenhängt^{32 40}. Da bei den rein mikrochirurgischen Diskektomien keine Implantate eingesetzt wurden, war die Wundfläche viel kleiner und die Operationsdauer geringer³⁷. Dadurch ging die Heilung schneller von statten als bei größeren Eingriffen mit Einsatz von Implantaten.

Bei den Wundinfektionen war die Wundtemperatur deutlich höher als bei unauffälliger Wundheilung und blieb auch länger erhöht. Das lässt sich mit der stärkeren Entzündungsreaktion und der verlangsamten Wundheilung bei Wundinfektionen erklären.

Zwar wurden im Zuge dieser Studie keine lokalen Durchblutungsstörungen beobachtet, die zu Wundheilungsstörungen führten, dennoch ist auch die Detektion von schlecht durchblutetem Gewebe durch die Wärmebildkamera möglich. Eine Temperaturerniedrigung im

Thermogramm deutet daraufhin, dass der entsprechende Bereich möglicherweise gefährdet ist, auf Grund mangelnder Blutversorgung nekrotisch zu werden. Diese Anwendungsmöglichkeit der Thermographie wurde bereits zur Beobachtung der Heilung von freien Transplantaten getestet⁶ und kann auch im Bereich von Wunden eine Hilfe sein, wenn es zu klären gilt, warum eine Wunde schlecht heilt.

Räumlicher Verlauf

Bei Betrachtung des Temperaturverlaufs innerhalb der Wunde, also in den verschiedenen Wundbereichen, wurde bei den kleineren Wunden nach mikrochirurgischer Dissektomie nur ein relativ geringer Temperaturabfall von der Wundmitte nach peripher festgestellt. Dahingegen war der Temperaturabfall von zentral nach peripher bei den größeren Eingriffen ausgeprägter und die Differenzen in den meisten Fällen signifikant. Als besonders groß stellte sich der Temperaturunterschied zwischen Wundmitte und weiter peripher gelegenen Wundbereichen bei den Patienten mit Wundinfektion heraus. Er betrug zwischen den Wundbereichen T_0 und T_3 $0,23 - 0,87^\circ\text{C}$. Allerdings gehörten auf Grund der relativ selten vorkommenden Wundinfektionen in diese Gruppe nur 4 Patienten. Daher sollten diese Ergebnisse nur unter Vorbehalt bewertet werden. Die gemessenen Daten deuten darauf hin, dass bei Wundinfektionen besonders der zentrale Wundbereich von der Temperaturerhöhung betroffen ist und die Temperaturdifferenzen zur nicht von der Entzündungsreaktion betroffenen Umgebung größer sind als bei unauffälliger Wundheilung. Ein scharf abgegrenzter Bereich überwärmten Gewebes kann somit hinweisend sein für eine darunterliegende Entzündung infolge einer Wundinfektion.

5.4 Unterschiede im Temperaturverlauf bei Wundinfektion

Bei Vergleich der Wundtemperatur von unauffälligen Wunden mit Wunden mit Wundinfektion war die wichtigste Feststellung, dass während der gesamten Beobachtungsdauer die mittlere Wundtemperatur der Wunden mit Wundinfektion deutlich höher war als die mittlere Wundtemperatur der unauffällig verheilenden Wunden. Dies zeigte sich mit besonderer Deutlichkeit im zentralen Wundbereich. Mit wachsender Entfernung von der Wundmitte nahm die mittlere Temperaturdifferenz zwischen den Gruppen ab. Des Weiteren war der Temperaturabfall von zentral nach peripher besonders ausgeprägt bei den

Wunden mit Wundinfektion. Während der Datenerfassung für die Studie traten nur wenige Wundinfektionen auf, weswegen man die Ergebnisse nicht verallgemeinern kann. Dennoch gibt es eine eindeutige Tendenz, die einer gründlicheren Untersuchung in weiterführenden Studien bedarf. Dabei sollten Wundtemperaturverläufe von einer großen Anzahl von Patienten mit unauffälligen Wunden erfasst werden und die Stichprobe nach Operationsausmaß, Segmentanzahl und etwaigem Einsatz von Implantaten aufgeteilt werden. Bei Verdacht auf eine Wundinfektion könnte man so mittels Wärmebildkamera schnell und einfach eine Abweichung vom normalen Temperaturverlauf feststellen, was die Diagnose vereinfachen würde.

5.5 Einfluss der Wundgröße auf den Temperaturverlauf

Festgestellt werden konnte, dass der Verlauf der Wundtemperatur abhängig ist von der Wundgröße und dem Operationsausmaß. Ein verallgemeinerter, charakteristischer Temperaturverlauf für alle spinalen Operationswunden kann nicht angegeben werden. So zeigte sich beispielsweise bei der Gegenüberstellung der Temperaturverläufe von mikrochirurgischen Diskektomien und größeren Eingriffen, dass die mittlere maximale Wundtemperatur in beiden Gruppen an unterschiedlichen Tagen erreicht wurde und zwar in Gruppe MD bereits am ersten Tag und in Gruppe GE erst am 4. Tag. Auch war die Wundtemperatur bei den Wunden nach größeren Eingriffen fast durchgängig höher als nach alleiniger mikrochirurgischer Diskektomie. Dies ist dadurch erklärbar, dass bei den größeren Eingriffen mehr Gewebe verletzt wurde als bei den mikrochirurgischen Diskektomien und es dabei zu einer vermehrten Freisetzung humoraler Substanzen kam. Diese bewirkten eine stärkere Vasodilatation und eine ausgeprägtere Entzündungsreaktion im Wundgebiet. Des Weiteren entstand bei den größeren Eingriffen meist vermehrt geschädigtes Gewebe, das zunächst abgeräumt werden musste, bevor die eigentliche Regeneration beginnen konnte³². Lediglich am ersten postoperativen Tag war die Wundtemperatur in Gruppe MD höher als in Gruppe GE. Wahrscheinlich ist, dass bei den rein mikrochirurgischen Diskektomien nahezu ideale Voraussetzungen für eine schnelle primäre Wundheilung gegeben waren. Der Operationsschnitt war klein und die Operationsdauer war vergleichsweise kurz, so dass das Kontaminationsrisiko der Wunde sehr gering war. Ebenso vermindert eine kürzere Operationsdauer die Gefahren für eine Wundrandnekrose durch Austrocknung oder Druck der Operationsinstrumente³². Dadurch waren die Reparationsvorgänge bei den

mikrochirurgischen Diskektomien schon am ersten postoperativen Tag weiter fortgeschritten, während bei den größeren Eingriffen dieser Punkt im Heilungsverlauf erst später erreicht wurde.

5.6 Auswirkungen von Risikofaktoren für Wundheilungsstörungen auf die Wundtemperatur

Nikotinkonsum

Um die Auswirkungen von Nikotinkonsum auf die Wundtemperatur zu untersuchen, wurden die Patienten mit unauffälliger Wundheilung retrospektiv in eine Raucher- und eine Nichtrauchergruppe eingeteilt. Dabei zeigte sich, dass die mittlere Wundtemperatur der Raucher, abgesehen vom ersten postoperativen Tag, während der gesamten Beobachtungszeit unter der mittleren Wundtemperatur der Nichtraucher lag. In zahlreichen Studien wurde bereits nachgewiesen, dass sich die Hautdurchblutung nach Nikotinkonsum wesentlich verringert⁴¹⁻⁴³. Dies könnte die Differenzen in den mittleren Wundtemperaturen erklären, denn eine verminderte Durchblutung führt zu einer geringeren Wärmeentwicklung in der Haut, was wiederum in den Thermogrammen sichtbar wird. Die Tatsache, dass die durchschnittliche Wundtemperatur der Raucher am ersten postoperativen Tag noch höher war als die der Nichtraucher, ist dabei keineswegs widersprüchlich, sondern leicht dadurch zu erklären, dass die meisten Patienten am ersten postoperativen Tag auf Grund fehlender Mobilität noch nicht wieder rauchen konnten. Einige Studien haben bereits nachgewiesen, dass schon nach kurzer Zeit der Abstinenz auch bei Rauchern die periphere Durchblutung wieder ansteigt^{42 43}, was erklärt, warum in der Gruppe der Raucher kurz nach der Operation und damit nach einiger Zeit Nikotinabstinenz die Hautdurchblutung im Wundbereich und damit auch die Wundtemperatur höher war als später.

Mittlerweile wurde schon häufiger bestätigt, dass Nikotinkonsum zu einer erhöhten Komplikationsrate nach operativen Eingriffen führt, insbesondere auch was die Wundinfektionsrate betrifft. Einer Studie aus dem Jahr 2002 zu Folge traten bei Rauchern in 3,6% der Fälle Wundinfektionen auf, während Nichtraucher nur in 0,6% der Fälle eine Wundinfektion entwickelten⁴⁴. Genauer untersucht wurde auch, welche Unterschiede zwischen der Wundheilung der Raucher und der Nichtraucher bestehen. So fand *Sørensen* beispielsweise heraus, dass die Anzahl der Makrophagen und bestimmter Fibroblasten in den

Wunden der Raucher vermindert war und dass Nikotinabstinenz die Wundinfektionsrate verringern kann⁴⁵. Die Wundtemperaturwerte in der vorliegenden Arbeit unterstreichen die Ergebnisse dieser Studien dahingehend, dass die festgestellte geringere Wundtemperatur der Raucher auf eine verminderte Durchblutung und möglicherweise auch auf eine Verlangsamung der Reparationsvorgänge im Wundbereich hinweist. Da die Wundtemperatur in dieser Studie nur retrospektiv auf das Nikotinkonsumverhalten der Patienten hin untersucht wurde und die Patientenzahl relativ gering war, sollte zur weiteren Untersuchung dieses Aspekts und um signifikante Ergebnisse zu erhalten, eine größere Patientengruppe beobachtet werden.

Adipositas

Zur Auswertung der Einflüsse von Adipositas auf die Wundtemperatur wurden ebenfalls retrospektiv zwei Gruppen gebildet, wobei sich in der ersten Gruppe adipöse Patienten fanden, definitionsgemäß also mit einem BMI von $\geq 30\text{kg/m}^2$. Die zweite Gruppe wurde gebildet von normalgewichtigen Patienten mit einem BMI zwischen 18 und 25kg/m^2 . Hierbei wurde festgestellt, dass während des gesamten beobachteten Zeitraums die mittlere Wundtemperatur der Adipösen höher war als die der normalgewichtigen Patienten. An Tag 3–5 waren diese Temperaturdifferenzen im Wundbereich T_0 statistisch signifikant. In den weiter peripher liegenden Wundbereichen waren die Unterschiede geringer als im zentralen Wundbereich. Zunächst scheint dieses Ergebnis eher entgegen der Erwartung zu sein, da davon ausgegangen wird, dass das vermehrte Fettgewebe bei adipösen Patienten den Wärmetransport aus dem Körperkern behindert. Eine Studie von 2009 ergab jedoch, dass bei adipösen Patienten die Hauttemperatur an manchen Körperstellen eher höher ist als bei normalgewichtigen Patienten⁴⁶. In der erwähnten Untersuchung wurde die Hauttemperatur abdominal und an der Fingerbeere erfasst. Dabei zeigte sich, dass die mittlere abdominale Hauttemperatur bei Adipösen auf Grund der Wärme isolierenden Fettschicht niedriger war, als die der normalgewichtigen Versuchspersonen. An der Fingerbeere allerdings wurde das Gegenteil festgestellt, die Patienten mit einem BMI von $\geq 30\text{kg/m}^2$ hatten eine höhere mittlere Hauttemperatur als die Patienten mit einem BMI im Normbereich. Wahrscheinlich wird in Körperbereichen mit nur sehr dünner Fettschicht die Wärmeabgabe zum Ausgleich erhöht, da der Wärmetransport aus dem Körperinneren abdominal, beispielsweise durch die adipösen Bauchdecken, behindert ist. Damit könnte sich auch in der vorliegenden Studie die höhere Hauttemperatur im Wundbereich erklären, da direkt über den Dornfortsätzen der Wirbelsäule

selbst bei ausgeprägt adipösen Patienten nur sehr wenig Fettgewebe vorhanden ist. In den weiter peripher liegenden Wundbereichen ist die Fettschicht dicker als direkt in der Wundmitte, die meist zentral über den Dornfortsätzen liegt. Somit ist die Hauttemperatur dort vermindert und damit auch die Differenz zwischen der Wundtemperatur der adipösen und der normalgewichtigen Patienten geringer.

5.7 Zusammenhang zwischen Wundtemperatur und Körpertemperatur

Um den Einfluss der Körpertemperatur auf die Wundtemperatur zu erfassen wurden Korrelationskoeffizienten berechnet. Erwartungsgemäß zeigte sich ein gewisser Zusammenhang zwischen Wundtemperatur und Körpertemperatur der Patienten. Das Ausmaß der Korrelation war jedoch meist gering und nur an Tag 1 und 6 war die Korrelation zwischen Körpertemperatur und Wundtemperatur in allen Wundbereichen signifikant. Das Temperaturmaximum der mittleren Körpertemperatur aller Patienten wurde bereits am ersten postoperativen Tag erreicht, während die maximale mittlere Wundtemperatur aller Patienten erst am 8. postoperativen Tag auftrat. Die Schwankungen der Wundtemperatur im Heilungsverlauf lassen sich somit nur teilweise durch die Schwankungen der Körpertemperatur erklären.

5.8 CRP-Verlauf und Korrelation mit der Wundtemperatur

Der Verlauf des CRP bei den Patienten der Studie war vergleichbar mit dem CRP-Verlauf in vorangehenden Studien mit ähnlichem Patientenkollektiv. Es zeigte sich sowohl in der Gruppe der mikrochirurgischen Diskektomien, als auch in der Gruppe der größeren Eingriffe ein CRP-Maximum am 3. postoperativen Tag. Diese Werte decken sich mit Resultaten aus früheren Studien, in denen ein Peak der CRP-Werte nach spinalen Eingriffen zwischen dem 2. und 4. postoperativen Tag verzeichnet wurde⁴⁷⁻⁵⁰.

Bei den größeren Eingriffen fiel das CRP-Maximum mit einem Mittelwert von 115,86 mg/l deutlich höher aus als bei den rein mikrochirurgischen Diskektomien (CRP-Max.: 60,90 mg/l). In einer Studie von 2001 wurden die CRP-Werte von nichtinstrumentierten und instrumentierten Wirbelsäulenoperationen verglichen, wobei sich ebenfalls bei den ausgedehnteren instrumentierten Eingriffen ein signifikant höherer CRP-Peak zeigte, als bei

den Eingriffen ohne Implantate⁵¹. Zwar ist die Anzahl der täglich erfassten CRP-Werte in der vorliegenden Studie relativ gering, dennoch zeigte sich bei den Patienten mit unauffälligem Heilungsverlauf ein ähnliches Bild der zeitlichen Entwicklung des mittleren CRPs wie in vergleichbaren anderen Arbeiten.

Es wurde bereits mehrfach festgestellt, dass das CRP unter den momentan geläufigen Entzündungsmarkern eine besondere Stellung einnimmt, da es eine gute Sensitivität und einen guten negativ prädiktiven Wert besitzt in Bezug auf die Diagnostik von entzündlichen Komplikationen^{47 49}. Bildet sich etwa ein zweiter CRP-Peak aus oder fallen die CRP-Werte nicht wie erwartet, ist es relativ wahrscheinlich, dass eine Wundinfektion vorliegt⁴⁷. Auch in der vorliegenden Studie zeigten die Patienten mit Wundinfektion einen zweiten CRP-Anstieg mit einem Maximum am 8. postoperativen Tag. Allerdings war die Anzahl der gemessenen CRP-Werte zu gering, um die Ergebnisse auf Signifikanz zu prüfen.

Die Prüfung auf Korrelation zwischen dem CRP und der Wundtemperatur zeigte kaum einen Zusammenhang zwischen den beiden Größen. Einzig an Tag 7 war eine signifikante Korrelation festzustellen. Somit kann nicht von einem gegenseitigen Zusammenhang ausgegangen werden.

Allerdings könnte die gleichzeitige Messung des Laborparameters CRP und der Wundtemperatur ein verbessertes Vorgehen bei Verdacht auf eine Wundinfektion sein. Ein entscheidender Nachteil des CRPs als Entzündungsmarker ist seine fehlende Spezifität, da es auch bei anderen Infektionen im Körper ansteigt, wie den häufig stationär auftretenden Harnwegs- oder Gastrointestinalinfekten, und ebenfalls erhöht ist bei postoperativen Thrombosen. Hierbei könnte nun die Thermographie eine gute diagnostische Hilfe sein. Denn wenn bei gleichzeitig erhöhten CRP-Werten die Wundtemperatur wieder ansteigt oder höher ist, als zu diesem Zeitpunkt erwartet, wird eine Wundinfektion als Ursache der erhöhten CRP-Werte sehr wahrscheinlich.

Um allerdings valide Vergleichswerte für jeden postoperativen Zeitpunkt zu haben, müsste eine weit größere Patientengruppe mittels Thermographie postoperativ beobachtet werden, wobei eine feinere Aufteilung in Gruppen mit ähnlicher Wundgröße und Eingriffsart vorgenommen werden sollte. Die Thermographie könnte dann eine hilfreiche, einfach anzuwendende, schonende Zusatzmethode zur Diagnostik von Wundinfektionen sein. Diese Arbeit ist dabei als Pilotstudie zu sehen, da die Patientenzahl in den einzelnen Gruppen nicht ausreichend war, um die Werte als Vergleichswerte heranzuziehen.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde mittels Thermographie der Temperaturverlauf während der Wundheilung nach Operationen an der Brust- und Lendenwirbelsäule untersucht. Ziel war es, den Temperaturverlauf bei normaler Wundheilung zu beschreiben und zu untersuchen, inwieweit bestimmte Faktoren eine Änderung des Kurvenverlaufs verursachen und ob weiter bei Wundinfektionen frühzeitig eine Abweichung von der Norm festzustellen ist. Zu Grunde lag die Vorstellung, dass entzündliche Vorgänge eine messbare Temperaturerhöhung verursachen. Dabei wurden die Wunden sowohl nach mikrochirurgischer Diskektomie als auch nach größeren wirbelsäulenchirurgischen Eingriffen im postoperativen Verlauf täglich mit einer Wärmebildkamera und einer Digitalkamera fotografiert. Zusätzlich wurden die Laborparameter CRP und Leukozyten jeden 2.Tag bestimmt.

Es zeigte sich, dass ein charakteristischer *zeitlicher Verlauf* der Wundtemperatur zu verzeichnen war, der gut mit dem Ablauf der Reparationsvorgänge in der Wunde korreliert. Dabei war auch ein Unterschied zwischen dem Temperaturverlauf nach mikrochirurgischer Diskektomie und dem nach größeren Eingriffen festzustellen: Das Temperaturmaximum wurde bei mikrochirurgischer Diskektomie früher erreicht. Bei Wundinfektionen war die Wundtemperatur von Anfang an deutlich höher und blieb länger auf hohem Niveau.

Im *räumlichen Verlauf* war ein unterschiedlich starker Temperaturabfall von der Wundmitte nach peripher zu sehen. War der Unterschied zwischen Wundmitte und Peripherie bei den mikrochirurgischen Diskektomien noch relativ gering, so wurde er bei den größeren Eingriffen deutlicher und war bei den Wundinfektionen besonders groß. Somit lässt sich sagen, dass ein scharf abgegrenzter überwärmter Bereich für das Vorhandensein einer Wundinfektion spricht. Diese Beobachtungen bezüglich der Wundinfektion sollten in einer größeren Studie verifiziert werden, da während des gesamten Beobachtungszeitraumes nur 4 Wundinfektionen in dem Patientenkollektiv auftraten.

Beim Vergleich des Temperaturverlaufs von Wunden mit unauffälliger Wundheilung und Wunden mit Wundinfektion zeigte sich, dass besonders im zentralen Wundbereich bei Wundinfektion eine deutlich höhere Wundtemperatur zu verzeichnen war. Die Thermographie könnte somit zur Detektion von Wundheilungsstörungen sehr hilfreich sein. Voraussetzung zur breiteren Anwendung wäre eine größere Datenmenge, um einen Normalverlauf für jede Art von Wirbelsäulenoperation erstellen zu können.

Untersucht wurden ferner häufig vorkommende Risikofaktoren für Wundinfektionen und deren Einfluss auf die Wundtemperatur. Hierbei zeigte sich, dass Raucher eine niedrigere Wundtemperatur haben als Nichtraucher, was dafür spricht, dass die Durchblutung im Wundgebiet bei den Rauchern mit großer Wahrscheinlichkeit schlechter ist.

Die Auswertung des Risikofaktors „Adipositas“ ergab eine höhere Wundtemperatur im Bereich der spinalen Wunden bei adipösen Patienten gegenüber Normalgewichtigen. Andere Studien haben bereits gezeigt, dass bei Adipösen an Stellen geringer Fettgewebstiefe die Temperatur zum Ausgleich gesteigert wird, da die Wärmeabgabe an anderer Stelle, wie der Abdominalregion, aufgrund der starken Fettschicht nur vermindert möglich ist.

Der Verlauf des CRP-Wertes der Patienten in vorliegender Studie war vergleichbar mit den Verläufen aus bereits veröffentlichten Arbeiten. Ein Maximum wurde um den dritten Tag erreicht, dann fiel der CRP-Wert kontinuierlich ab. Bei den Patienten mit Wundinfektion war ein zweiter CRP-Anstieg zu verzeichnen. Allerdings gab es kaum eine Korrelation zwischen CRP-Wert und Wundtemperatur. Bei gemeinsamer Betrachtung der beiden Parameter lässt sich jedoch die diagnostische Sicherheit in Bezug auf Wundinfektionen erhöhen.

Um die Thermographie zur Detektion von Wundinfektionen einer breiteren Anwendung zuzuführen, würden größere Studien benötigt, um für jede Art von Wirbelsäulenoperation einen charakteristischen Wundtemperaturverlauf bei normaler Wundheilung erstellen zu können. Dabei wäre es optimal, den Einfluss der die Wundtemperatur beeinflussenden Risikofaktoren möglichst gering zu halten. Dann könnte eine Abweichung vom normalen Wundtemperaturverlauf, neben erneut erhöhten CRP-Werten und klinischen Zeichen, einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung der Diagnostik von Wundinfektionen nach Wirbelsäulenoperationen liefern.

7 Thesen

- Spinale Wundinfektionen sind schwerwiegende Komplikationen nach Wirbelsäulenoperationen, die eingriffsabhängig in 0,2 bis über 10% der Fälle auftreten.
- Bekannte Risikofaktoren für spinale Wundinfektionen sind u.a. Adipositas, Nikotinkonsum, Diabetes mellitus, lange Operationsdauer, Instrumentierung, große Wundfläche.
- Untersucht wurden prospektiv 52 Patienten nach verschiedenen spinalen Eingriffen mit dem Ziel, durch tägliche Erfassung der Wundtemperatur mittels Thermographie normale und gestörte Verläufe der Wundheilung zu erfassen. Beantwortet werden sollte hierbei die Frage, ob sich die Thermographie prinzipiell als Methode eignet, eine gestörte Wundheilung frühzeitig zu erfassen.
- In vorliegender Studie wurden bei 4 von 52 Patienten Wundheilungsstörungen beobachtet. Diese traten sämtlich nach ausgedehnten, instrumentierten Wirbelsäulenoperationen auf. Patienten mit Wundinfektion hatten mehr Risikofaktoren als Patienten mit unauffälligem Heilungsverlauf.
- Die Temperatur im Wundbereich änderte sich im normalen Heilungsverlauf. Diese Temperaturschwankungen lassen sich durch die ablaufenden Reparationsvorgänge erklären.
- Der Temperaturverlauf von kleinen Wunden nach mikrochirurgischer Diskektomie unterscheidet sich grundlegend von dem großer Wunden nach größeren Eingriffen wie Stabilisierungsoperationen der Wirbelsäule. Die Wundtemperatur nach größeren Eingriffen ist höher als nach rein mikrochirurgischer Diskektomie. Die Temperaturmaxima werden an unterschiedlichen Tagen erreicht (Tag1 bei mikrochirurgischer Diskektomie, Tag 4 bei größeren Eingriffen). Dies ist dadurch erklärbar, dass der Heilungsprozess bei kleinerer Wundfläche schneller vonstattengeht.
- Die Wundtemperatur fällt von zentral nach peripher hin ab. Diese Temperaturunterschiede innerhalb der Wunde sind bei größeren Wunden ausgeprägter und waren in vorliegender Studie bei den Wunden mit Wundinfektion am stärksten.

- Wunden mit Wundinfektion haben während des gesamten Heilungsverlaufes eine höhere Temperatur als Wunden ohne Wundinfektion.
- Ein scharf abgegrenzter überwärmter Bereich spricht für eine Wundinfektion.
- Raucher haben eine niedrigere Wundtemperatur als Nichtraucher.
- Adipöse Patienten haben eine höhere Wundtemperatur als Normalgewichtige.
- Es zeigte sich ein gewisser Zusammenhang zwischen Körpertemperatur und Wundtemperatur, jedoch war dieser geringen Ausmaßes und nur an zwei Tagen signifikant.
- Die CRP-Verläufe bei den Patienten in vorliegender Studie sind vergleichbar mit denen aus bereits veröffentlichten Arbeiten. Patienten mit Wundinfektionen zeigten einen zweiten CRP-Anstieg ab etwa dem 6. postoperativen Tag.
- Insgesamt erwies sich die Infrarotthermographie als eine problemlos und einfach durchzuführende, nicht invasive Methode, die den Patienten nicht belastete.
- Aufgrund der geringen Anzahl an Wundinfektionen in der Studiengruppe kann bezüglich ihrer Aussagekraft in Hinblick auf eine frühzeitige Erkennung von Infektionen nur eine eingeschränkte Aussage getroffen werden.
- Die gewonnenen Daten lassen jedoch vermuten, dass sie eine geeignete Methode darstellen könnte, um derartige Infektionen früh zu erkennen. Zur endgültigen Bestätigung ist jedoch die Verlaufserfassung von mehr Patienten mit derartigen Wundinfektionen nötig.

Literaturverzeichnis

1. Lawson R. Implications of surface temperatures in the diagnosis of breast cancer. *Can Med Assoc J* 1956;75(4):309-11.
2. Armstrong DG, Lavery LA. A retrospective study of patients with diabetes mellitus after partial foot amputation and hyperbaric oxygen treatment. *J Foot Ankle Surg* 2006;45(1):58-9; author reply 59-60.
3. Armstrong DG, Lipsky BA, Polis AB, Abramson MA. Does dermal thermometry predict clinical outcome in diabetic foot infection? Analysis of data from the SIDESTEP* trial. *Int Wound J* 2006;3(4):302-7.
4. Nagase T, Sanada H, Takehara K, Oe M, Iizaka S, Ohashi Y, et al. Variations of plantar thermographic patterns in normal controls and non-ulcer diabetic patients: Novel classification using angiosome concept. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2011.
5. Nakagami G, Sanada H, Iizaka S, Kadono T, Higashino T, Koyanagi H, et al. Predicting delayed pressure ulcer healing using thermography: a prospective cohort study. *J Wound Care* 2010;19(11):465-6, 68, 70 passim.
6. de Weerd L, Miland AO, Mercer JB. Perfusion dynamics of free DIEP and SIEA flaps during the first postoperative week monitored with dynamic infrared thermography. *Ann Plast Surg* 2009;62(1):42-7.
7. Tenorio X, Mahajan AL, Wettstein R, Harder Y, Pawlovski M, Pittet B. Early detection of flap failure using a new thermographic device. *J Surg Res* 2009;151(1):15-21.
8. Kalra S, Dancey A, Waters R. Intraoperative selection of dominant perforator vessel in DIEP free flaps based on perfusion strength using digital infrared thermography - a pilot study. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2007;60(12):1365-8.
9. Head JF, Wang F, Lipari CA, Elliott RL. The important role of infrared imaging in breast cancer. *IEEE Eng Med Biol Mag* 2000;19(3):52-7.

10. Gautherie M, Yahyai A, Dehlinger S, De Prins J, Walter JP. Computerized chronothermodynamic breast examinations under ambulatory conditions. *Chronobiol Int* 1990;7(3):239-43.
11. Kontos M, Wilson R, Fentiman I. Digital infrared thermal imaging (DITI) of breast lesions: sensitivity and specificity of detection of primary breast cancers. *Clin Radiol* 2011.
12. Amri A, Saidane A, Pulko S. Thermal analysis of a three-dimensional breast model with embedded tumour using the transmission line matrix (TLM) method. *Comput Biol Med* 2011;41(2):76-86.
13. Lin QY, Yang HQ, Xie SS, Wang YH, Ye Z, Chen SQ. Detecting early breast tumour by finite element thermal analysis. *J Med Eng Technol* 2009;33(4):274-80.
14. Denoble AE, Hall N, Pieper CF, Kraus VB. Patellar skin surface temperature by thermography reflects knee osteoarthritis severity. *Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord* 2010;3:69-75.
15. Liddington MI, Shakespeare PG. Timing of the thermographic assessment of burns. *Burns* 1996;22(1):26-8.
16. Ruminski J, Kaczmarek M, Renkielska A, Nowakowski A. Thermal parametric imaging in the evaluation of skin burn depth. *IEEE Trans Biomed Eng* 2007;54(2):303-12.
17. Mohr FW, Falk V, Philippi A, Autschbach R, Krieger H, Diegeler A, et al. Intraoperative assessment of internal mammary artery bypass graft patency by thermal coronary angiography. *Cardiovasc Surg* 1994;2(6):703-10.
18. Lekas R, Jakuska P, Krisciukaitis A, Veikutis V, Dzemyda G, Mickevicius T, et al. Monitoring changes in heart tissue temperature and evaluation of graft function after coronary artery bypass grafting surgery. *Medicina (Kaunas)* 2009;45(3):221-5.

19. Horzic M, Bunoza D, Maric K. Contact Thermography in a study of primary healing of surgical wounds. *Ostomy Wound Manage* 1996;42(1):36-8, 40-2, 44.
20. Horzic M, Maric K, Bunoza D. [The temperature dynamics during the healing processing of a surgical wound]. *Biomed Tech (Berl)* 1995;40(4):106-9.
21. Kliot DA, Birnbaum SJ. Thermographic studies of wound healing. *Am J Obstet Gynecol* 1965;93(4):515-21.
22. Lischke S. Thermographische Beurteilung sternaler Wundheilungsstörungen nach Operationen mit der Herz-Lungen-Maschine, 2006.
23. Robicsek F, Masters TN, Daugherty HK, Cook JW, Selle JG, Hess PJ, et al. The value of thermography in the early diagnosis of postoperative sternal wound infections. *Thorac Cardiovasc Surg* 1984;32(4):260-5.
24. Viitanen SM, Viljanto J. Wound healing. A thermographic study. *Ann Chir Gynaecol Fenn* 1972;61(2):101-6.
25. Sasso RC, Garrido BJ. Postoperative spinal wound infections. *J Am Acad Orthop Surg* 2008;16(6):330-7.
26. Quinones-Hinojosa A, Jun P, Jacobs R, Rosenberg WS, Weinstein PR. General principles in the medical and surgical management of spinal infections: a multidisciplinary approach. *Neurosurg Focus* 2004;17(6):E1.
27. Jimenez-Mejias ME, de Dios Colmenero J, Sanchez-Lora FJ, Palomino-Nicas J, Reguera JM, Garcia de la Heras J, et al. Postoperative spondylodiskitis: etiology, clinical findings, prognosis, and comparison with nonoperative pyogenic spondylodiskitis. *Clin Infect Dis* 1999;29(2):339-45.
28. Sapico FL, Montgomerie JZ. Vertebral osteomyelitis. *Infect Dis Clin North Am* 1990;4(3):539-50.

29. Smith JS, Shaffrey CI, Sansur CA, Berven SH, Fu KM, Broadstone PA, et al. Rates of Infection Following Spine Surgery Based on 108,419 Procedures: : A Report from the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010.
30. Keenen TL BD. Differential diagnosis and conservative treatment of infectious diseases. In: Frymoyer JW, editor. *The Adult Spine: Principles and Practice*: Lippencott-Raven, 1997.
31. Bauknecht KJ. *Postoperative Wundheilung von Organen und Organsystemen* Berlin: de Gruyter, 1990.
32. Sedlarik KM. *Wundheilung*. 2., wesentlich erw. und völlig überarbeitete Aufl. ed. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1993.
33. Börm W. *Spinale Neurochirurgie : operatives Management von Wirbelsäulenerkrankungen*. Stuttgart ; New York: Schattauer, 2009.
34. Harms JG, Jeszenszky, D. Die posteriore, lumbale, interkorporelle Fusion in unilateraler transforaminaler Technik *Operative Orthopädie und Traumatologie* 1998;10(2):90-102.
35. Olsen MA, Nepple JJ, Riew KD, Lenke LG, Bridwell KH, Mayfield J, et al. Risk factors for surgical site infection following orthopaedic spinal operations. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90(1):62-9.
36. Schimmel JJ, Horsting PP, de Kleuver M, Wonders G, van Limbeek J. Risk factors for deep surgical site infections after spinal fusion. *Eur Spine J* 2010;19(10):1711-9.
37. Valentini LG, Casali C, Chatenoud L, Chiaffarino F, Uberti-Foppa C, Broggi G. Surgical site infections after elective neurosurgery: a survey of 1747 patients. *Neurosurgery* 2008;62(1):88-95; discussion 95-6.

38. Thalgott JS, Cotler HB, Sasso RC, LaRocca H, Gardner V. Postoperative infections in spinal implants. Classification and analysis--a multicenter study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1991;16(8):981-4.
39. Kastrup O, Wanke I, Maschke M. Neuroimaging of infections. *NeuroRx* 2005;2(2):324-32.
40. Auböck J. Biologie der Wundheilung. In: Wild T, Auböck T, editors. *Manual der Wundheilung*. Wien: Springer, 2007.
41. Petschke FT, Engelhardt TO, Ulmer H, Piza-Katzer H. [Effect of cigarette smoking on skin perfusion of the hand]. *Chirurg* 2006;77(11):1022-6.
42. Midttun M, Sejrsen P, Paaske WP. Smokers have severely disturbed peripheral microcirculation. *Int Angiol* 2006;25(3):293-6.
43. Monfrecola G, Riccio G, Savarese C, Posteraro G, Procaccini EM. The acute effect of smoking on cutaneous microcirculation blood flow in habitual smokers and nonsmokers. *Dermatology* 1998;197(2):115-8.
44. Myles PS, Iacono GA, Hunt JO, Fletcher H, Morris J, McIlroy D, et al. Risk of respiratory complications and wound infection in patients undergoing ambulatory surgery: smokers versus nonsmokers. *Anesthesiology* 2002;97(4):842-7.
45. Sorensen LT, Toft B, Rygaard J, Ladelund S, Teisner B, Gottrup F. Smoking attenuates wound inflammation and proliferation while smoking cessation restores inflammation but not proliferation. *Wound Repair Regen* 2010;18(2):186-92.
46. Savastano DM, Gorbach AM, Eden HS, Brady SM, Reynolds JC, Yanovski JA. Adiposity and human regional body temperature. *Am J Clin Nutr* 2009;90(5):1124-31.
47. Mok JM, Pekmezci M, Piper SL, Boyd E, Berven SH, Burch S, et al. Use of C-reactive protein after spinal surgery: comparison with erythrocyte sedimentation rate as

predictor of early postoperative infectious complications. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33(4):415-21.

48. Giehl JP, Kluba T, Lebherz C. [The course of inflammatory mediators after elective orthopedic interventions]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2000;138(2):181-4.

49. Kang BU, Lee SH, Ahn Y, Choi WC, Choi YG. Surgical site infection in spinal surgery: detection and management based on serial C-reactive protein measurements. *J Neurosurg Spine* 2010;13(2):158-64.

50. Aono H, Ohwada T, Kaneko N, Fuji T, Iwasaki M. The post-operative changes in the level of inflammatory markers after posterior lumbar interbody fusion. *J Bone Joint Surg Br* 2007;89(11):1478-81.

51. Takahashi J, Ebara S, Kamimura M, Kinoshita T, Itoh H, Yuzawa Y, et al. Early-phase enhanced inflammatory reaction after spinal instrumentation surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26(15):1698-704.

Anhang 1: Erfassungsbogen Teil 1

Allgemeine Patientendaten:

Name, Vorname:

Alter:

Größe: Gewicht: BMI:

Zigarettenkonsum: ja nein Anzahl:

Komorbiditäten: 1: Diabetes mellitus 2: Tumor 3: Niereninsuffizienz

4: Leberzirrhose 5: COPD 6: Herzinsuffizienz

Nummer:

Aufnahmedatum:

OP-Datum:

Entlassungsdatum:

Art des Eingriffes

1: BSV-OP 2: Spondylodese/Frakturversorgung, dyn. Stabilisierung

3: „reine“ Dekompression

Lokalisation des Eingriffes

1: HWS 2: BWS 3: LWS

Rezidiveingriff

ja nein

Narbenlänge: _____ cm

Wundlänge

_____ cm

Wundheilungsstörung

Sekundärkontamination: Tag der Diagnosestellung:

Infektion: ja nein Tag der Diagnosestellung:

Erreger: _____ weitere diagn. Maßnahmen:

Zusätzliche Maßnahmen

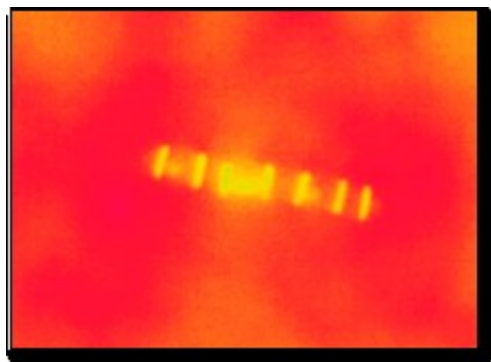
1: chirurg. Debridement am ____ Tag

2: syst. Antibiose & Verbandswechsel

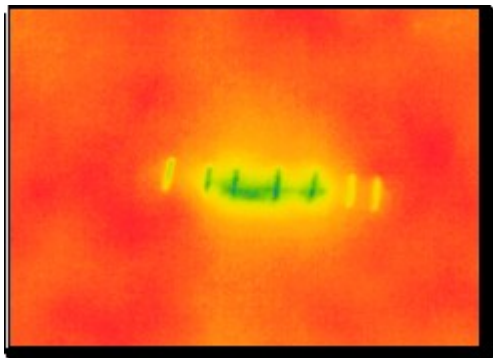
Anhang 2: Erfassungsbogen Teil 2

Datum	T Körper [°C]	T Wund- bereich [°C]	T Raum [°C]	Luft- feuchtig- keit [%]	CRP [mg/l]	Leukos [/l]	Mess- Abstand [m]	Wund- befund	Medikation	Nativ- bild Datei	Thermo- bild Datei

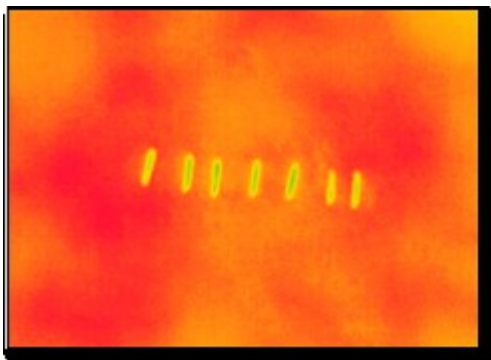
Anhang 3: Exemplarische Thermogramme eines Patienten nach mikrochirurgischer Diskektomie



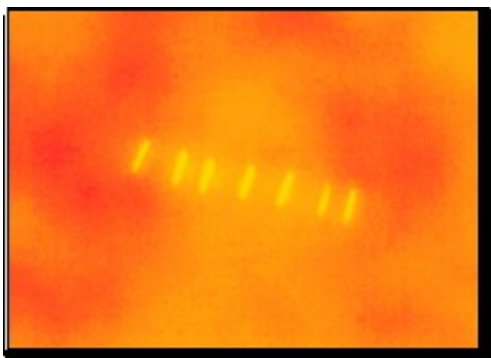
Tag 1 p.o.



Tag 3 p.o.



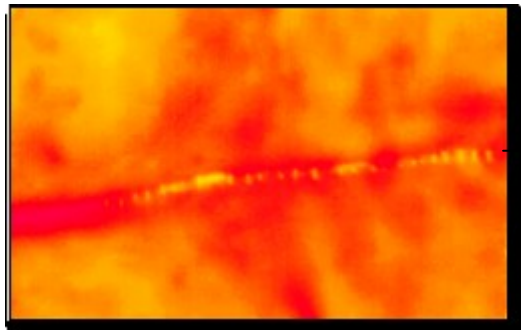
Tag 5 p.o.



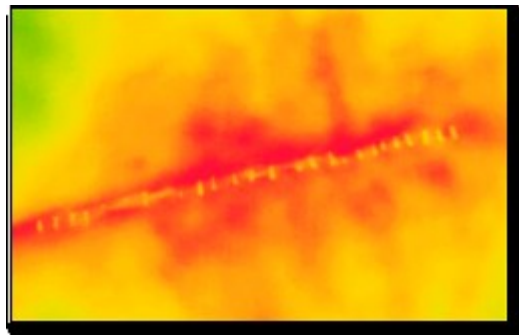
Tag 7 p.o.



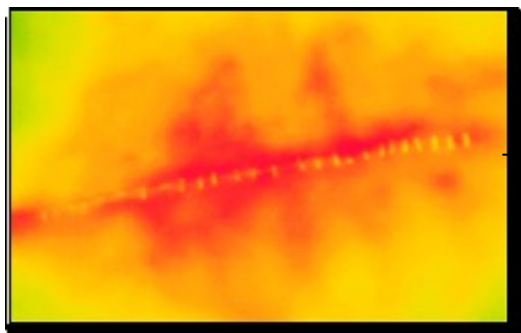
Anhang 4: Exemplarische Thermogramme eines Patienten mit größerem Eingriff und unauffälligem Heilungsverlauf



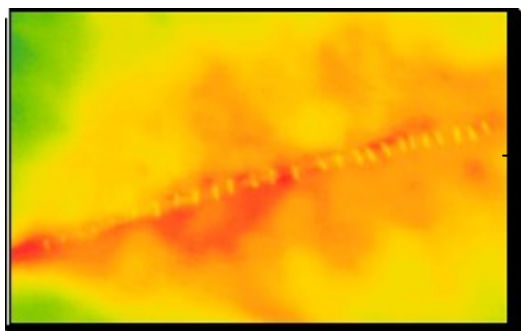
Tag 1 p.o.



Tag 3 p.o.

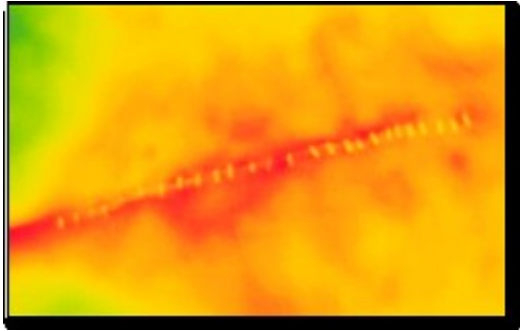


Tag 5 p.o.

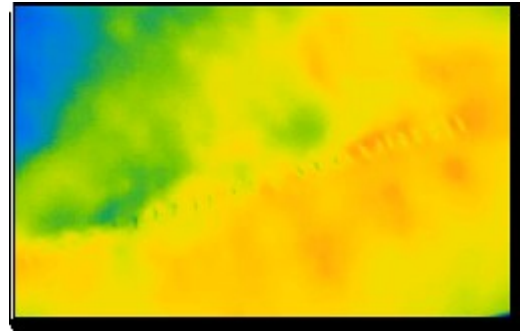


Tag 7 p.o.

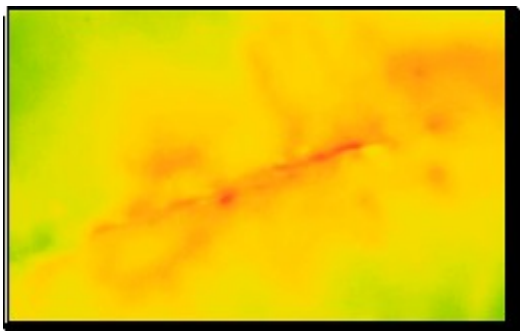




Tag 9 p.o.



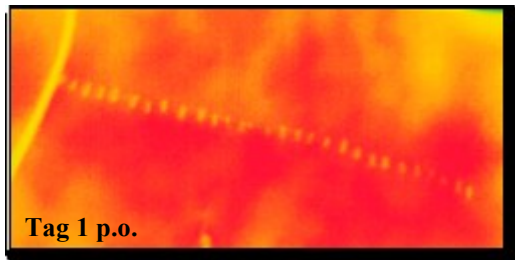
Tag 11 p.o.



Tag 13 p.o.



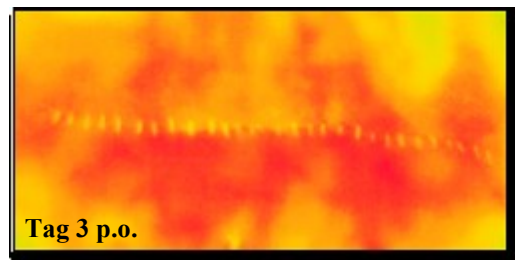
Anhang 5: Exemplarische Thermogramme eines Patienten mit Wundinfektion



- Über dem Operationsgebiet diffuse Temperaturerhöhung
- Klammern kälter als Wundgebiet



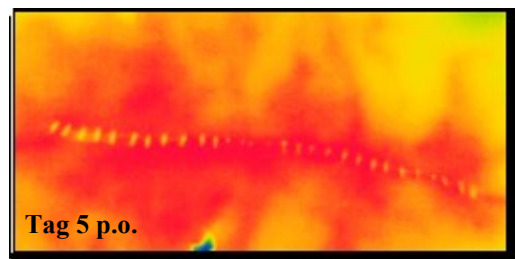
- Wunde unauffällig



- Temperaturrückgang
- Temperatur im Wundbereich diffus erhöht



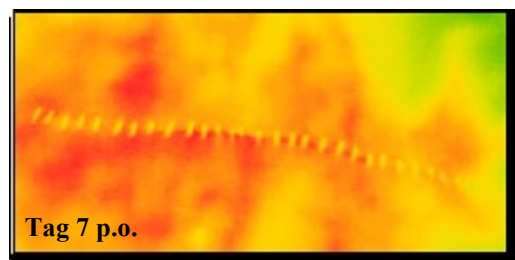
- Wunde unauffällig



- erneuter Temperaturanstieg
- überwärmte Bereiche werden größer



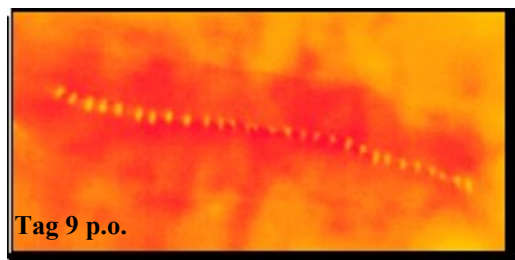
- Wundränder gerötet



- Temperaturrückgang im gesamten Wundbereich



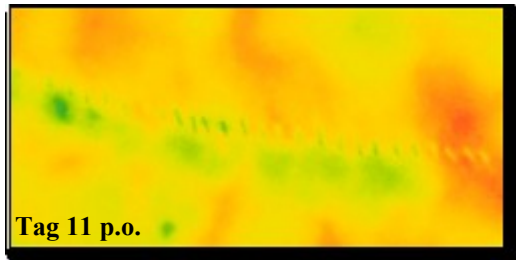
- Wunde leicht gerötet



- Temperatur im Wundgebiet erneut angestiegen
- Erwärmung v.a. in der näheren Wundumgebung



- Wunde gerötet, v.a. im mittleren Wundbereich

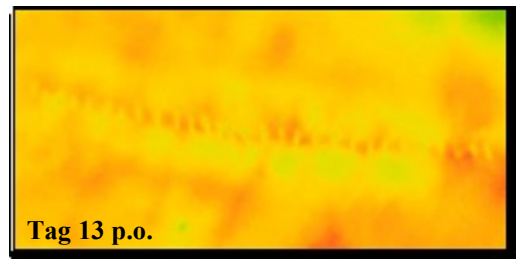


Tag 11 p.o.

- Temperaturrückgang im gesamten Wundgebiet
- Z.n. ventraler Herdsanierung am 9. p.o.-Tag



- serofibrinöses Exsudat
- Wundränder livide

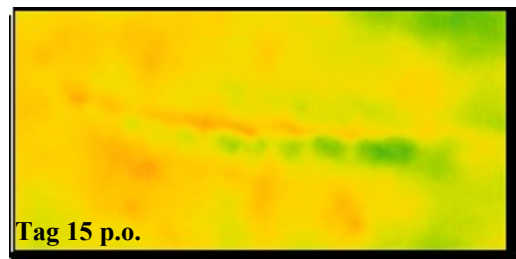


Tag 13 p.o.

- Wundtemperatur nahezu konstant
- Temperaturerhöhung v.a. im Bereich des OP-Schnittes



- seröses Exsudat

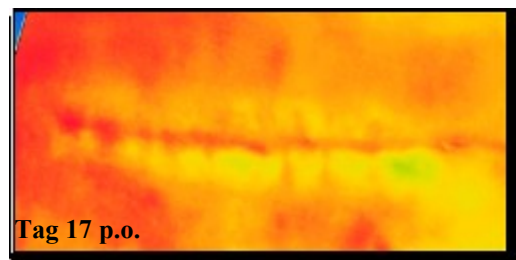


Tag 15 p.o.

- Wundtemperatur erreicht Minimum
- Klammern gezogen

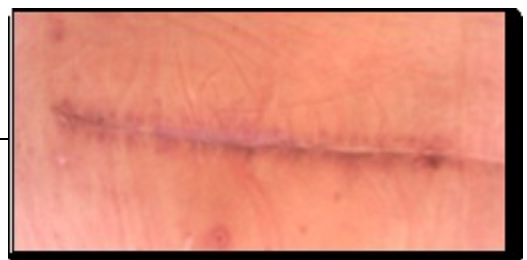


- livide Wundränder

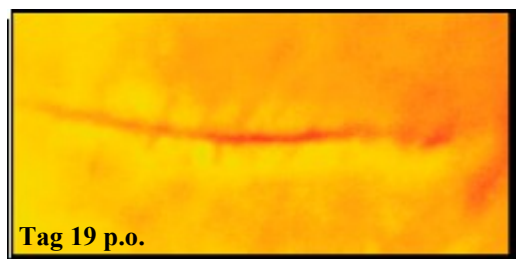


Tag 17 p.o.

- Temperatur erneut angestiegen
- höchste Temperatur im Bereich des OP-Schnittes



- Rötung rückläufig
- Wundränder noch teilweise livide



Tag 19 p.o.

- Temperatur nur noch im Bereich der Narbe erhöht



- Wunde kaum noch gerötet
- narbige Wundheilung besser

Anhang 6:

Korrelation CRP – Wundtemperatur

Korrelation CRP-Wundtemperatur					
	Tag 1	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 1	Korrelationskoeffizient ρ	0,342	0,354	0,401	0,373
	Signifikanz p	0,276	0,258	0,197	0,232
	Tag 2	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 2	Korrelationskoeffizient ρ	0,376	0,339	0,199	0,126
	Signifikanz p	0,085	0,123	0,376	0,576
	Tag 3	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 3	Korrelationskoeffizient ρ	0,205	0,210	0,256	0,273
	Signifikanz p	0,544	0,536	0,448	0,417
	Tag 4	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 4	Korrelationskoeffizient ρ	0,025	0,013	-0,071	-0,114
	Signifikanz p	0,908	0,950	0,740	0,594
	Tag 5	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 5	Korrelationskoeffizient ρ	0,477	0,414	0,314	0,289
	Signifikanz p	0,085	0,142	0,274	0,317
	Tag 6	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 6	Korrelationskoeffizient ρ	-0,027	-0,097	-0,278	-0,256
	Signifikanz p	0,922	0,720	0,297	0,338
	Tag 7	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 7	Korrelationskoeffizient ρ	0,717	0,650	0,613	0,622
	Signifikanz p	0,030*	0,058	0,079	0,074
	Tag 8	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 8	Korrelationskoeffizient ρ	0,383	0,217	0,502	0,502
	Signifikanz p	0,308	0,576	0,168	0,168
	Tag 9	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 9	Korrelationskoeffizient ρ	0,600	0,316	0,000	-0,400
	Signifikanz p	0,400	0,684	1,000	0,600
	Tag 10	T0	T1	T2	T3
CRP Tag 10	Korrelationskoeffizient ρ	-1,000	-0,500	-0,500	-0,866
	Signifikanz p	.	0,667	0,667	0,333

Tabelle 19

Anhang 7: Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche: Gruppe Adipositas und Gruppe Normalgewicht

Tag	T0				T1				T2				T3			
	BMI \geq 30kg/m ²		BMI \leq 25kg/m ²		BMI \geq 30kg/m ²		BMI \leq 25kg/m ²		BMI \geq 30kg/m ²		BMI \leq 25kg/m ²		BMI \geq 30kg/m ²		BMI \leq 25kg/m ²	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1	35,66	0,57	35,35	0,53	35,64	0,53	35,49	0,54	35,50	0,49	35,47	0,52	35,41	0,53	35,38	0,53
2	35,50	0,65	35,36	0,67	35,44	0,65	35,47	0,58	35,31	0,65	35,40	0,60	35,13	0,67	35,31	0,60
3	35,67	0,74	35,02	0,73	35,62	0,77	35,05	0,75	35,51	0,74	34,98	0,68	35,38	0,74	34,88	0,65
4	35,57	0,68	35,25	0,58	35,54	0,72	35,28	0,55	35,37	0,73	35,22	0,52	35,26	0,68	35,10	0,50
5	35,54	0,85	35,14	0,60	35,52	0,75	35,14	0,61	35,38	0,71	35,07	0,65	35,28	0,68	34,96	0,66
6	35,50	0,91	35,18	0,31	35,45	0,87	35,22	0,30	35,30	0,75	35,17	0,23	35,19	0,72	35,09	0,25
7	35,76	0,61	35,38	0,60	35,71	0,59	35,37	0,57	35,53	0,54	35,28	0,50	35,41	0,56	35,18	0,41
8	35,89	0,44	35,20	0,70	35,76	0,38	35,20	0,73	35,63	0,33	35,14	0,77	35,52	0,36	35,12	0,78

Tabelle 20

Anhang 8: Durchschnittstemperaturen der einzelnen Wundbereiche: Gruppe Raucher und Gruppe Nichtraucher

Tag	T0				T1				T2				T3			
	Raucher		Nichtraucher		Raucher		Nichtraucher		Raucher		Nichtraucher		Raucher		Nichtraucher	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1	35,46	0,40	35,40	0,67	35,54	0,38	35,48	0,65	35,44	0,44	35,41	0,62	35,35	0,53	35,31	0,61
2	35,32	0,63	35,51	0,62	35,39	0,49	35,53	0,62	35,32	0,43	35,43	0,65	35,23	0,49	35,28	0,65
3	35,22	0,65	35,29	0,88	35,20	0,70	35,32	0,80	35,13	0,66	35,24	0,72	35,05	0,70	35,11	0,69
4	35,26	0,71	35,51	0,61	35,24	0,71	35,52	0,63	35,09	0,70	35,42	0,60	35,03	0,64	35,26	0,60
5	35,10	0,94	35,48	0,57	35,14	0,79	35,45	0,60	35,08	0,78	35,33	0,59	35,03	0,75	35,19	0,60
6	35,36	0,71	35,43	0,70	35,39	0,67	35,41	0,68	35,31	0,53	35,30	0,60	35,28	0,56	35,17	0,60
7	35,28	0,57	35,69	0,55	35,31	0,52	35,63	0,55	35,27	0,52	35,47	0,50	35,16	0,46	35,34	0,47

Tabelle 21

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich eidesstattlich, die vorliegende Arbeit selbstständig ohne fremde Hilfe, nur unter Nutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und weder diese noch eine andere Arbeit zuvor an einer Hochschule als Dissertation eingereicht zu haben.

Darmstadt, November 2011

Lisanne Dittrich