

Aus dem Institut für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin
der Stiftung Katholisches Marienhospital Herne
- Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum -
Direktor: Prof. Dr. med. C. Puchstein

**Effekte einer intensivierten Insulintherapie auf Mortalität und
Morbidität operativer Intensivpatienten**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Medizin
einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der Ruhr-Universität Bochum

vorgelegt von
Sebastian Kokemohr
aus Wilhelmshaven
2007

Dekan: Prof. Dr. med. G. Muhr

Referent: Prof. Dr. med. C. Puchstein

Koreferent:

Tag der mündlichen Prüfung:

**Gewidmet meiner Mutter,
ohne die vieles nicht möglich gewesen wäre**

INHALTSVERZEICHNIS

Kapitel	Seite
1	EINLEITUNG
	1
1.1	Fragestellung
	1
1.2	Insulin und physiologische Glukoregulation
	2
1.2.1	Insulinsynthese und -sekretion
	2
1.2.2	Insulinrezeptor, Signaltransduktion und Insulinwirkungen
	3
1.2.3	Physiologische Glukoregulation
	5
1.3	Pathophysiologie der Glukoregulation beim kritisch kranken Patienten
	6
1.3.1	Allgemeines
	6
1.3.2	Systemische Stressantwort und Hyperglykämie
	7
1.3.2.1	ZNS-Modulation
	7
1.3.2.2	Hormonelle Modulation der Glukoseproduktion
	8
1.3.2.3	Der Einfluss von Zytokinen auf die Entstehung einer Hyperglykämie
	10
1.3.3	Stressinduzierte Veränderungen des Glukosemetabolismus
	11
1.3.3.1	Erhöhung der Glukoseproduktion
	11
1.3.3.2	Glukoseaufnahme und Verstoffwechselung
	12
1.3.3.3	Insulinresistenz
	12
2	METHODEN
	13
2.1	Patienten
2.1.1	Patientenauswahl und -gruppen
2.1.2	Einwilligung und Anonymisierung
2.1.3	Ein- und Ausschlusskriterien
2.2	Parametererfassung
2.2.1	Grunddaten

INHALTSVERZEICHNIS

2.2.2	Erweiterte Datenerhebung
2.2.2.1	Inzidenz von Infektionskrankheiten
2.2.2.2	Vorbekannter Diabetes
2.2.2.3	Grenzwertüberschreitungen
2.2.3	Weitere Parameter
2.2.4	Glukose- und Insulinmonitoring
2.3	Parameterauswertung, Signifikanz
2.4	Intensivierte Insulintherapie
2.5	Enterale und parenterale Ernährung
3	ERGEBNISSE
3.1	Vergleichbarkeit der Studiengruppen
3.2	Struktur der Studiengruppen
3.3	Mortalität
3.4	Insulinapplikation und Kontrolle der Blutglukosekonzentration
3.5	Morbidität
3.6	Der Blutglukosespiegel als prädiktiver Wert
4	DISKUSSION
5	ABSTRACT
6	LITERATURVERZEICHNIS
7	ANHANG
7.1	Tabelle zur Ermittlung des SAPS-II-Punktwertes
7.2	Tabelle zur Ermittlung des APACHE II-Punktwertes
7.3	Das Leuven-Protokoll
8	ERKLÄRUNG
9	DANKSAGUNG
10	CURRICULUM VITAE

Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
ACTH	Adrenocorticotropes Hormon
ANV	akutes Nierenversagen
APACHE II	Acute Physiology and Chronic Health Evaluation Score
ATP	Adenosintriphosphat
BG	Blutglukose
BGA	Blutgasanalyse
BIPAP	Bilevel Positive Airway Pressure Ventilation
bpm	beats per minute
cAMP	Cyclo-Adenosinmonophosphat
CDC	Center of Disease Control
COX	Cyclooxygenase
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure Ventilation
CRH	Corticotropin releasing hormone
CVVH	Kontinuierliche veno-venöse Hämofiltration
CVVHD	Kontinuierliche veno-venöse Hämodialyse
d	Tage
dL	Deziliter
EK	Erythrozytenkonzentrat
et al.	et alii (und andere)
FFP	Fresh Frozen Plasma (gefrorenes Frischplasma)
FiO ₂	Sauerstoffanteil in der Inspirationsluft
GCS	Glasgow Coma Score
GLUT	Glukosetransporter
ICU	Intensive Care Unit
IDDM	Insulin-dependent Diabetes Mellitus
IE	Internationale Einheiten
IFN- α	Interferon Alpha
IGF-I	Insulin-like growth factor I
IL	Interleukin
IP ₃	Inositol-1,4,5-triphosphat
i.v.	intravenös

L	Liter
MAP	Mitogen activated protein
mg	Milligramm
MIF	Makrophagen-Inhibitor-Faktor
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol	Millimol
NADPH	Nicotinamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat + Wasserstoff
NF-κB	Nukleärer Faktor Kappa B
NICE-SUGAR	Normoglycaemia in intensive care evaluation and survival using glucose algorithm regulation (Studie)
NIDDM	Non-Insulin-dependent Diabetes Mellitus
NO	Stickstoffoxid
NRZ	Nationales Referenzzentrum
o.g.	oben genannte(n)
(P)aO ₂	arterieller Sauerstoffpartialdruck
(P)AO ₂	Alveolärer Sauerstoffpartialdruck
PI3K	Phosphatidylinosit-3-Kinase
PIP2	Phosphatidylinositol-4,5-bisphosphat
PLC	Phospholipase C
RKI	Robert-Koch-Institut
R-Qu.	R-Quadrat
SAPS II	New Simplified Acute Physiology Score
SFAR	Société Française d'Anesthésie et de Réanimation
SI	Système international d'unités
s.o.	siehe oben
s.u.	siehe unten
Tab.	Tabelle
TNF	Tumornekrosefaktor
THK	Thrombozytenhochkonzentrat
TK	Thrombozytenkonzentrat
u.a.	unter anderem
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
ZNS	zentrales Nervensystem

1 EINLEITUNG

1.1 Fragestellung

Hyperglykämie und Insulinresistenz sind häufig bei Intensivpatienten auftretende Phänomene [1]. Dabei treten diese auch bei Patienten auf, bei denen vorher keine gestörte Glukosetoleranz bzw. ein Diabetes mellitus bekannt waren. Der Einfluss von normoglykämischen Blutglukosespiegeln unter Anwendung der Insulintherapie bei Intensivpatienten war bis vor kurzem unklar. Im Jahre 2001 wurde im New England Journal of Medicine eine Studie veröffentlicht, die sich mit dem Einfluss einer intensivierten Insulintherapie beschäftigte [2]. In dieser prospektiv randomisierten Studie wurden insgesamt 1.548 beatmete Intensivpatienten eingeschlossen. Die Patienten erhielten entweder eine konventionelle Insulintherapie mit einer Einstellung des Blutglukosewertes auf nicht mehr als 180-200 mg/dl (n=783) oder eine intensivierte Insulintherapie mit Zielwerten zwischen 80-110 mg/dl (n=765). Dabei konnte gezeigt werden, dass die intensivierte Insulintherapie zu einem Anstieg der Überlebensrate im Vergleich zur Kontrollgruppe führte. Dieser Effekt war nicht nur für die Intensivstation, sondern auch für den weiteren Krankenhausverlauf nachweisbar. Gleichzeitig verminderte die intensivierte Insulintherapie die Morbidität kritisch kranker Patienten.

Die vorliegende Arbeit analysiert die Effektivität der Einführung einer intensivierten Insulintherapie auf der operativen Intensivstation des Marienhospitals in Herne, wobei Maßnahmen, Gefahren und Schwierigkeiten aufgezeigt werden sollen sowie ein Vergleich von Morbidität und Mortalität der retrospektiv analysierten Patientengruppen anhand diverser Parameter erfolgt.

1.2 Insulin und physiologische Glukoregulation

1.2.1 Insulinsynthese und -sekretion

Insulin ist ein Peptidhormon mit einer Länge von 51 Aminosäuren und wird in den β -Zellen der Langerhansschen Inseln des Pankreas synthetisiert. Es entsteht an den Ribosomen am rauhen endoplasmatischen Retikulum zunächst das Präkursormolekül Präproinsulin, welches zunächst proteolytisch zu Proinsulin prozessiert wird. Das Proinsulin wird zum Golgi-Apparat transportiert und dort in Vesikeln eingeschlossen. Das Proinsulin wird intravesikulär in Insulin und das verbleibende C-Peptid aufgespalten. Durch Verschmelzen der Vesikel mit der Zellmembran werden Insulin und C-Peptid exozytotisch sezerniert. Die basale Insulinsekretion verläuft pulsatorisch mit einer Periodizität von etwa 9 bis 14 Minuten [3]. Die Insulinsekretion wird hauptsächlich durch Glukose – direkt und durch Aktivierung anderer Stimulatoren der Insulinsekretion – stimuliert. Hohe extrazelluläre Glukosekonzentrationen bewirken eine Aufnahme von Glukose in die β -Zellen durch die Glukosetransporter GLUT1 und GLUT2; die Expression dieser Transporter wird durch chronische Hyperglykämie stimuliert [4, 5]. Die aufgenommene Glukose wird durch eine spezifische Glukokinase zu Glukose-6-Phosphat umgewandelt [6]. Der intrazelluläre Glukosestoffwechsel führt schließlich zu einer erhöhten intrazellulären ATP-Konzentration, wodurch kaliumabhängige ATP-Kanäle in der Membran der β -Zellen geschlossen werden, was eine Depolarisation der Zellmembran und einen nachfolgenden Kalziumeinstrom bewirkt. Die erhöhte intrazelluläre Kalziumkonzentration stimuliert die Verschmelzung der insulinhaltigen Vesikel mit der Zellmembran und damit die exozytotische Freisetzung von Insulin. Über diesen Regulationsmechanismus hinaus besitzen die β -Zellen Membranrezeptoren für verschiedene Peptide, Hormone und Neurotransmitter, welche die Insulinsekretion modulieren [7].

1.2.2 Insulinrezeptor, Signaltransduktion und Insulinwirkungen

Der Insulinrezeptor, ein heterotetrameres Protein, welches in fast allen menschlichen Zellen exprimiert wird, ist zusammengesetzt aus zwei extrazellulären α -Untereinheiten, welche jeweils durch kovalente Disulfidbrückenbindungen mit einer der beiden transmembranären β -Untereinheiten verbunden sind. Die β -Untereinheiten besitzen intrazellulär eine Tyrosinkinase, welche durch die Bindung von Insulin an den Rezeptor aktiviert wird [8]. Dies löst eine schnelle Autophosphorylierung des Rezeptors an spezifischen Tyrosinseitenketten aus, wobei die Signaltransduktion von der Bindung des Insulinmoleküls an den α -Untereinheiten bis zur Autophosphorylierung der β -Untereinheiten noch nicht vollständig verstanden ist [9]. Intrazelluläre Proteine binden daraufhin an den Rezeptor und werden an spezifischen Aminosäureresten phosphoryliert. Das Insulinsignal wird dann über diese Proteine durch die Bildung von Signalkomplexen an verschiedene intrazelluläre Signalkaskaden gekoppelt. Drei Hauptkaskaden propagieren das durch den Insulinrezeptor generierte Signal, der PI_3 -Kinase-Signalweg, der MAP-Kinase-Signalweg sowie der PLC/ IP_3 -Weg (siehe Abbildung 1.1).

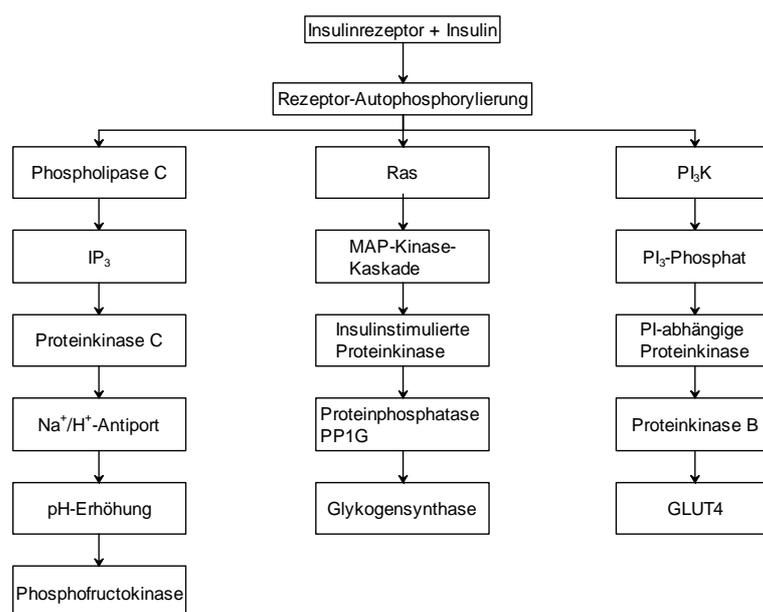


Abb. 1.1: Wichtige Signaltransduktionswege des Insulins. Erläuterungen siehe Text. (modifiziert nach [10])

Phospholipase C wird unter anderem durch insulinvermittelte Signale aktiviert. Die Aktivierung des Enzyms führt dazu, dass aus PIP_2 die Second Messenger IP_3 und Diacylglycerin freigesetzt werden. Zusammen aktivieren sie die Proteinkinase C. Ein Substrat der Proteinkinase C ist der transmembranäre Na^+/H^+ -Antiporter, welcher Wasserstoffionen aus der Zelle befördert und gleichzeitig Natrium in die Zelle hineinpumpt. Hierdurch wird der pH-Wert der Zelle leicht angehoben, was die Aktivierung des Proteins Phosphofruktokinase und damit einen erhöhten Glukoseverbrauch zur Folge hat. Ein weiterer Weg, der durch Insulin stimuliert wird ist die MAP-Kinase-Kaskade. Diese führt zur Aktivierung der insulinstimulierten Proteinkinase, welche die Proteinphosphatase PP1G phosphoryliert und damit aktiviert. Diese Proteinphosphatase dephosphoryliert und aktiviert damit die Glykogensynthase. Glukose wird damit dem Glykogenspeicher zugeführt. Der dritte Weg führt zur Aktivierung der PI3K, welche Phosphatidylinositol zu Phosphatidylinositol-3-Phosphat phosphoryliert. Dieses Phospholipid dient dann als Membrananker für die Proteinkinase B, welche durch die phosphatidylinositolabhängige Proteinkinase wird. In Muskel- und Fettzellen wird hierdurch ein Verschmelzen von Transportvesikeln, welche den transmembranären Glukosetransporter GLUT4 enthalten, ausgelöst. Durch die Translokation von GLUT4 in die Zellmembran wird ein verstärkter Glukoseeinstrom in die Zellen ermöglicht [11]. Diese (und weitere) Wege senken den Blutglukosespiegel dementsprechend durch die Prinzipien: Inhibition der Glykogenolyse und Glukoneogenese, Erhöhung der zellulären Glukoseaufnahme, Erhöhung der Glykolyse im Muskel- und Fettgewebe und Stimulation der Glykogensynthese. Über diese Funktionen hinaus spielt Insulin eine Rolle im Fett- und Proteinstoffwechsel. Im Fettstoffwechsel löst Insulin eine erhöhte Aktivität der Lipoproteinlipase aus, ein im Endothel der Gefäßkapillaren von Muskel- und Fettgewebe lokalisiertes Enzym, welches aus zirkulierenden Lipoproteinen Triglyceride hydrolytisch abspaltet. Insulin erhöht die Aktivität der Lipoproteinlipase im Fettgewebe

und inhibiert gleichzeitig die Aktivität dieses Enzyms im Muskelgewebe [12]. In den Fettzellen stimuliert Insulin die Veresterung freier Fettsäuren zu Triglyceriden bei gleichzeitig gesteigerter Glykolyse, welche als Metabolit unter anderem Glycerol-3-Phosphat liefert, welches in der Veresterung der freien Fettsäuren zu Triglyceriden genutzt wird [13]. Die Lipolyse in den Fettzellen wird durch insulinabhängige Inhibition der hormonsensitiven Lipase gehemmt [14].

1.2.3 Physiologische Glukoregulation

Im postprandialen Zustand bewirkt der Anstieg des Blutglukosespiegels eine Insulinausschüttung aus dem Pankreas, welche sowohl direkt an den β -Zellen der Pankreasinseln wie auch indirekt über Glukorezeptoren im ventromedialen Hypothalamus vermittelt wird. Insulin verursacht eine Glukoseaufnahme in Muskel- und Fettgewebe mittels Translokation des Transportproteins GLUT-4 in die Plasmamembran dieser Zellen. Ein weiterer wesentlicher Anteil der Blutglukose wird durch die Leber aufgebommen, wobei die Aufnahme dort insulinunabhängig durch GLUT-2 vermittelt wird und im Wesentlichen von der portalvenösen Blutglukosekonzentration abhängt. Insulin bewirkt gleichzeitig jedoch eine Reduktion der hepatischen Glukoneogenese und Glykogenolyse, was zur Steigerung der Nettoaufnahme von Glukose in die Leber beiträgt [15]. Im Gehirn findet die Glukoseaufnahme hingegen insulinabhängig mit nahezu konstanter Rate statt. Im nüchternen Zustand werden etwa 80% der Glukose insulinunabhängig in die Gewebe, überwiegend in das Gehirn, aufgenommen. Die Bereitstellung von Glukose erfolgt über die Glukoneogenese in Leber und Niere sowie über die Glykogenolyse in der Leber, wobei die Glykogenspeicher nach etwa 24 Stunden verbraucht sind. Die Glukoneogenese geht in den ersten Tagen des Fastens von glukoplastischen Aminosäuren aus, später erfolgt eine Umstellung des Körpers auf die Verwertung von Ketonkörpern. Die Insulin-

antagonistischen Hormone Glukagon, Kortisol, Katecholamine und das Wachstumshormon spielen lediglich zur Bereitstellung von Glukose während einer Hypoglykämie und in Stresssituationen eine Rolle [16].

1.3 Pathophysiologie der Glukoregulation beim kritisch kranken Patienten

1.3.1 Allgemeines

Die Tatsache, dass häufig eine Hyperglykämie auf ein akutes Trauma (Verletzung, Operation, Sepsis) folgt, ist bereits seit dem 19. Jahrhundert bekannt. Seitdem wurden Begriffe wie „Stressdiabetes“, „traumatischer Diabetes“ oder „Diabetes des Schwerverletzten“ geprägt [17]. Der evolutionäre pathophysiologische Sinn wurde gesehen in der osmotischen Kompensation einer intravasalen Hypovolämie einerseits, in der Deckung des Energiebedarfs glukoseabhängiger Systeme wie dem Gehirn, Phagozyten und anderen reparativen Systemen andererseits. Die Prävalenz einer stressbedingten Hyperglykämie ist dabei im Einzelfall aufgrund sehr breit gestreuter Studienergebnisse schwer abzuschätzen: Bei Patienten, bei denen bisher kein Diabetes diagnostiziert wurde und die sich aufgrund eines akuten Myokardinfarktes in Intensivbehandlung befanden wurde eine Stresshyperglykämie beobachtet bei zwischen 4% und 71% [18], bei nichtdiabetischen Patienten, die auf einer Intensivstation hospitalisiert waren und eine Sepsis erlitten wird der Wert mit etwa 50% des Patientengutes angegeben [19]. Einflussgrößen auf den Blutglukosespiegel, die nicht das Trauma als pathophysiologische Grundlage haben, wohl aber die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer stressinduzierten Hyperglykämie beeinflussen, sind u.a. Leberzirrhose, Pankreatitis, Niereninsuffizienz, Adipositas, hohes Lebensalter und bestimmte Arzneimitteltherapien [20].

1.3.2 Systemische Stressantwort und Hyperglykämie

1.3.2.1 ZNS-Modulation

Die physiologische Antwort auf Stress beinhaltet eine aktivierende Modulation des ZNS mit nachfolgender Stimulation des Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Systems sowie des Sympathikus und des Nebennierenmarks [21]. Auslöser hierfür sind eine Reihe von Faktoren, wie z.B. Hypoglykämie, eine Veränderung des intravasalen Flüssigkeitsvolumens, Azidose, Hypoxämie und Schmerz. Ebenso haben bestimmte Zytokine einen aktivierenden Einfluss. Maßgebliche zentralnervöse Systeme zur Kontrolle der Stressantwort sind das hypothalamisch ausgeschüttete CRH sowie noradrenalinerge Neurone des Hypothalamus und Hirnstammes. CRH bewirkt die Ausschüttung von ACTH aus dem Hypophysenvorderlappen, was wiederum zu einer erhöhten Ausschüttung von Cortisol aus der Nebennierenrinde führt. Um einen exzessiven Cortisolanstieg zu vermeiden hat Cortisol selbst wiederum einen hemmenden Effekt auf die Freisetzung von CRH im Sinne eines Feedback-Mechanismus. Einen großen Einfluss auf dieses System nehmen immunmodulatorische Effektoren wie der Tumornekrosefaktor (TNF), Interleukin-I (IL-1) und IL-6, für welche eine stark stimulierende, synergistische Wirkung auf die CRH-Ausschüttung nachgewiesen werden konnte. Andere Zytokine wiederum üben einen hemmenden Einfluss auf die Hypophysen-Hypothalamus-Nebennieren-Achse aus. Bei kritisch kranken Patienten unterbleibt trotz Aktivierung des Hypophysenvorderlappens und einer zunächst dementsprechenden Ausschüttung von Hypophysenvorderlappenhormonen eine Aktivierung der Zielorgane [16, 22]. Die über das sympathische Nervensystem gesteigerte Freisetzung von Katecholaminen aus dem Nebennierenmark bewirkt einen Anstieg des Blutglukosespiegels durch gesteigerte Glykogenolyse und supprimierte Insulinsekretion. Im weiteren Verlauf einer intensivpflichtigen Erkrankung kommt es zu einer reduzierten hypothalamischen Reduktion

des Hypophysenvorderlappens, was zu einer Minderaktivierung metabolischer Zielorgane führt. Es kommt zu einer reduzierten ACTH-Produktion bei jedoch weiterhin erhöhter Plasma-Kortisolkonzentration [23]. Diese Konzentrationen reichen jedoch bei vielen kritisch Kranken Patienten nicht aus, weswegen auf vielen Intensivstationen eine Substitutionstherapie mit Hydrokortison obligater Bestandteil der Therapie ist; die Effektivität dieser Substitutionstherapie wird allerdings bereits seit geraumer Zeit kontrovers diskutiert [24]. Der Zustand des relativen Kortisolmangels wird als relative Nebennierenrindeninsuffizienz bezeichnet [25].

1.3.2.2 Hormonelle Modulation der Glukoseproduktion

Der relative Anteil der Hormonwirkungen auf die Entstehung einer Stress-Hyperglykämie ist abhängig vom Ausmaß von Trauma und Verletzung [20]. In der Frühphase (bis etwa 3 Stunden nach dem auslösenden Trauma) ist für die Entstehung einer Hyperglykämie vor allem eine durch Katecholamine gesteigerte hepatische Glykogenolyse verantwortlich; in Studien zeigte sich eine direkte Korrelation zwischen Plasmaadrenalin- und Blutglukosespiegel [26]. Währenddessen bleibt der Glukagonspiegel zunächst normal; der initiale Anstieg des Blutglukosespiegels ist vom Ausmaß der Glukagonsekretion unabhängig [27]. Die Insulinproduktion in der Frühphase sinkt leicht durch die Aktivierung pankreatischer α -Rezeptoren und hat nur wenig Einfluss auf das Ausmaß der Hyperglykämie [28]. Im weiteren Verlauf wird die Hyperglykämie vor allem durch eine verstärkte hepatische Glukoneogenese aufrechterhalten. Stärkstes Stimulanz der hepatischen Glukoneogenese ist Glukagon, während Katecholamine und andere Mediatoren eine geringere Rolle spielen. Patienten im Postaggressionsstoffwechsel haben sowohl signifikant erhöhte Plasmaglukagon- wie auch (in einem geringeren Ausmaß) Plasmainsulinspiegel [29]. Die Fähigkeit von Glukagon, die hepatische

Glukoneogenese zu stimulieren lässt mit der Zeit nach, so dass der Einfluss anderer Hormone (z.B. Kortisol und Adrenalin) relativ zunimmt [30]. Der im Stressmetabolismus leicht gesteigerte Plasmakortisolspiegel spielt bei der Aufrechterhaltung einer Hyperglykämie eine permissive Rolle, indem es die Wirkungen von Glukagon und Adrenalin an der Leber potenziert. Ebenfalls erhöht ist die Konzentration des Wachstumshormons, welches ebenfalls die Glukoneogenese stimuliert und die periphere insulinabhängige Glukoseaufnahme hemmt [20]. Eine Übersicht zeigt Tab. 1.1.

Tab 1.1: Gegenregulatorische Hormone, welche an der Entstehung der Hyperglykämie bei kritisch kranken Patienten beteiligt sind (modifiziert nach [31]).

Hormon	Mechanismus
Adrenalin	<ul style="list-style-type: none"> • Induziert Insulinresistenz in der Skelettmuskulatur • Glukoneogenese ↑ • Glykogenolyse in Leber und Skelettmuskel ↑ • Lipolyse ↑, freie Fettsäuren ↑ • Direkte Hemmung der Insulinsekretion
Noradrenalin	<ul style="list-style-type: none"> • Lipolyse ↑ • Glykogenolyse ↑
Glukagon	<ul style="list-style-type: none"> • Glukoneogenese ↑ • Glykogenolyse ↑
Glukokortikoide	<ul style="list-style-type: none"> • Induziert Insulinresistenz in der Skelettmuskulatur • Lipolyse ↑ • Glukoneogenese ↑
Wachstumshormon	<ul style="list-style-type: none"> • Induziert Insulinresistenz in der Skelettmuskulatur • Lipolyse ↑ • Glukoneogenese ↑
Tumornekrosefaktor	<ul style="list-style-type: none"> • Induziert Insulinresistenz in der Skelettmuskulatur und der Leber

1.3.2.3 Der Einfluss von Zytokinen auf die Entstehung einer Hyperglykämie

Zytokine beeinflussen im Stressmetabolismus den Glukosestoffwechsel sowohl direkt wie auch indirekt durch die Stimulation der Sekretion glukoregulatorischer Hormone [32]. TNF- α bewirkt eine Hyperglykämie durch Induktion einer hepatischen und peripheren Insulinresistenz und Erhöhung der hepatischen Glukoseproduktion sowie eine verstärkte Ausschüttung von Stresshormonen [33]. In Abhängigkeit von Ihrer Plasmakonzentration inhibieren andere Zytokine die Insulinsekretion, IFN- α wiederum führt zu einer Hyperglykämie durch die Erhöhung der Ausschüttung von Glukagon, Kortisol und Wachstumshormon [34]. Ebenso nehmen Zytokine Einfluss auf das ZNS und beeinflussen den Glukosemetabolismus durch eine Erhöhung der Ausschüttung von Glukagon und Kortikosteroiden [35, 36]. In Abbildung 1.1 ist ein stark vereinfachtes Schema der Entstehung der Hyperglykämie bei kritisch kranken Patienten abgebildet, welches die Effekte, die in den vorigen Abschnitten beschrieben werden darstellt.

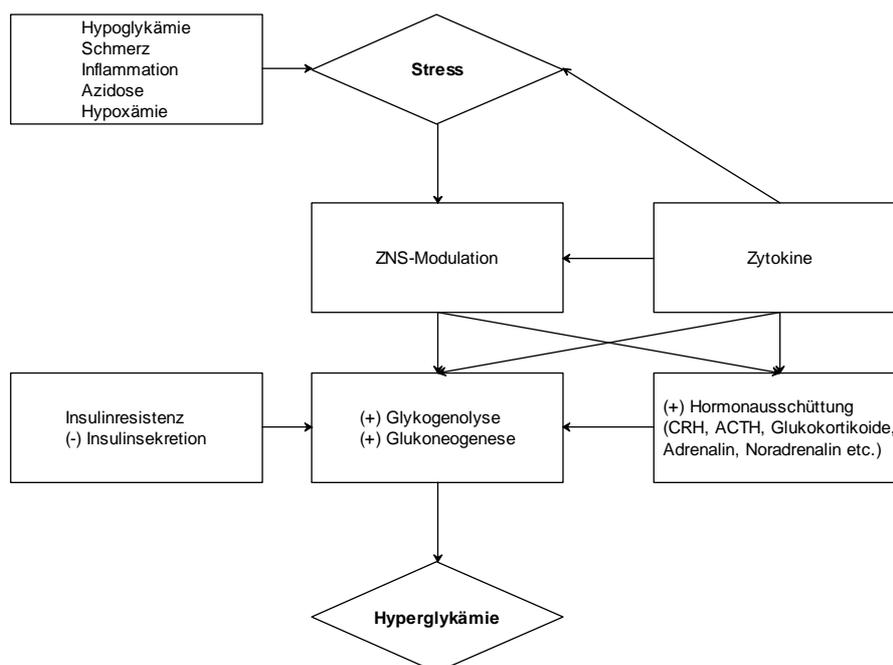


Abb 1.1: Vereinfachtes Schema der Hyperglykämieentstehung bei kritisch kranken Patienten

1.3.3 Stressinduzierte Veränderungen des Glukosemetabolismus

1.3.3.1 Erhöhung der Glukoseproduktion

Eine Erhöhung der Glukoseproduktion wird bei fast allen Formen akuter Erkrankung beobachtet. Hauptsubstrate der Leber für die Glukoneogenese im Stressmetabolismus sind Laktat und Alanin (die renale Glukoneogenese verwendet hauptsächlich Glutamin[37]); der Verbrauch der Leber dieser Substrate steigt im Stressmetabolismus um das zwei- bis dreifache [38]. Laktat wird in dieser Stoffwechsellage von der Lunge, dem Gastrointestinaltrakt sowie neutrophilen Granulozyten und Makrophagen erzeugt [39]. Die erhöhte Bildung von freien Sauerstoffradikalen bei kritisch kranken Patienten bewirken eine erhöhte Utilisation von Glukose in der Glykolyse sowie im Pentosephosphatweg [40]. Das in der Glykolyse entstehende Laktat wird grösstenteils im Cori-Zyklus in der Leber recycelt [41]. Stress löst auch eine erhöhte Freisetzung von Alanin aus der Skelettmuskulatur aus, welches im Glukose-Alanin-Zyklus metabolisiert wird [41]. Etwa 30% der Alaninreserven entstammen der Skelettmuskulatur, der weitaus größere Teil entstammt der de-novo-Synthese. Das Kohlenstoffgerüst dieses neu synthetisierten Alanins stammt aus Pyruvat, welches wiederum aus dem Abbau von Glukose gewonnen wird [42]. Eine Zufuhr von Substraten der Glukoneogenese (z.B. Laktat, Glycerol) löst bei kritisch kranken Patienten eine massiv gesteigerte hepatische Glukoneogenese aus, wobei die Freisetzungsrates neu synthetisierter Glukose gleich bleibt, was darauf hinweist, dass die Autoregulation der Präkursormoleküle der hepatischen Glukoneogenese trotz der erhöhten Glukoneogenese bei kritisch kranken Patienten intakt bleibt [43].

1.3.3.2 Glukoseaufnahme und Verstoffwechslung

Der Stressmetabolismus beinhaltet eine erhöhte Glukoseaufnahme in allen Organen und Geweben des Körpers. Dies ist die Folge einer zytokininduzierten Steigerung der nicht-insulinabhängigen Glukoseaufnahme und am ausgeprägtesten in denjenigen Organen, die direkt durch die akute Erkrankung betroffen sind, während die insulinabhängige Glukoseaufnahme in der Skelettmuskulatur sinkt. [41, 44, 45]. Diese Erhöhung der Glukoseaufnahme ist eine Folge der erhöhten Synthese und Translokation in die Plasmamembran des GLUT-1-Transporters [46, 47]. Nach dem Transport in die Zellen wird Glukose phosphoryliert und der Glykolyse oder Glykogensynthese zugeführt, wobei im Stressmetabolismus die Glykolyse stimuliert wird, was in der Folge die Laktat- und Pyruvatproduktion in Rahmen der aeroben Glykolyse erhöht. Die nichtoxidative Glukoseverwertung durch die Glykogensynthese ist ein wichtiger Bestandteil der Glukoregulation. Dieser Stoffwechselweg ist bei kritisch kranken Patienten im Skelettmuskel gestört und ist ein mitauslösender Faktor bei der Entstehung der Insulinresistenz [48].

1.3.3.4 Insulinresistenz

Im Stressmetabolismus entsteht eine Insulinresistenz, deren Ausmaß direkt proportional zum Ausmaß der Stressantwort ist [20]. Unter der Insulinresistenz wird im Allgemeinen ein Zustand verstanden, in welchem Insulin nur eine subnormale Antwort des Glukosemetabolismus auslöst [49]. Die periphere Insulinresistenz ist vor allem eine Folge der gestörten insulinabhängigen Glukoseaufnahme im Skelettmuskel. Auslöser sind Zytokine (TNF, IL-1, IL-6 und weitere) und gegenregulatorische Hormone, welche die insulinabhängige Glukoseaufnahme in der Skelettmuskulatur durch Veränderungen der insulinvermittelten Signaltransduktion und der verminderten Translokation des GLUT-4-Transporters in die Zellmembran

hemmen [50]. TNF- α inhibiert zudem die insulinvermittelte Aktivierung der PI3K und MAP-Kinase sowie die Glukoseaufnahme in Skelettmuskelzellen [51]. Auch Katecholamine spielen eine wichtige Rolle bei der Entstehung der Insulinresistenz; die Mechanismen sind noch nicht vollständig aufgeklärt. In Adipozyten jedoch konnte gezeigt werden, dass Katecholamine die insulinvermittelte Glukoseaufnahme durch Störung der Autophosphorylierung der Tyrosin-Domänen des Insulinrezeptors vermindern [50]. Des Weiteren spielt die gestörte nichtoxidative Glukoseverwertung eine wichtige Rolle bei der Entstehung der Insulinresistenz (s.o.). Unter der zentralen Insulinresistenz versteht man eine Störung der Steuerung der hepatischen Glukoneogenese bei physiologischen Insulinkonzentrationen [52]. Diese Resistenz kann durch eine ausreichend hohe exogene Zufuhr von Insulin durchbrochen werden. Insulin unterbindet hierbei die Freisetzung von Glukose aus der Leber durch Erhöhung der Transkription des Glukokinase-Gens [53].

Die Auswirkungen der Hyperglykämie beim kritisch kranken Patienten werden im Diskussionsteil der Arbeit dargestellt.

2 METHODEN

2.1 Patienten

2.1.1 Patientenauswahl und -gruppen

Es wurden Daten von n=247 Patienten retrospektiv erhoben, die in eine Therapie- (n=117) und eine Kontrollgruppe (n=130) unterteilt worden sind. Patienten der Kontrollgruppe erhielten Insulin subkutan nach einem festen Schema (siehe Tab 2.x), um den Blutglukosewert in einem Bereich von weniger als x mg/dL zu halten. Patienten der Therapiegruppe erhielten eine intravenöse intensivierete Insulintherapie nach dem in Tab 2.x aufgeführten Schema, um einen Blutglukose-Zielwert von 90-120 mg/dL zu erreichen. Aufgrund der zu Beginn dieser Studie (im Jahr 2005) herrschenden Studienlage, welche eine deutliche Verbesserung in der Therapiegruppe hinsichtlich Mortalität und Morbidität erwarten ließ (siehe u.a. [2, 54]) sowie aufgrund klinikorganisatorischer Überlegungen wurde keine randomisierte Studie durchgeführt sondern es wurden Daten von Patienten aus dem Jahr 2003 (Kontrollgruppe vor Einführung der intensivierten Insulintherapie) mit Daten aus den Jahren 2005/06 (Therapiegruppe nach Einführung der intensivierten Insulintherapie) verglichen. Die daraus entstehende Problematik bezüglich der statistischen Vergleichbarkeit der Studiengruppen wird in den Kapiteln 2.3 und 3.1 behandelt. Alle in die Studie aufgenommenen Patienten unterzogen sich vor der Aufnahme auf die Intensivstation einem operativen Eingriff. Das Spektrum der durchgeführten Interventionen umfasste Operationen aus dem viszeral-, unfall-, thorax-, gefäßchirurgischen, urologischen sowie dem gynäkologisch-senologischen Stoffgebiet.

2.1.2 Einwilligung und Anonymisierung

Die intensivierete Insulintherapie ist seit Beginn des Jahres 2005 fester Bestandteil des allgemeinen Therapiekonzeptes auf der operativen

Intensivstation des Marienhospitals Herne. Der erwartete Nutzen der Therapie erschließt sich aus der internationalen Studienlage zu diesem Zeitpunkt (u.a. [2, 31, 55-60]) Laut Genehmigung der Ethikkommission vom Datum war eine explizite Einwilligung der Patienten daher nicht notwendig.

Alle patientenbezogenen Daten wurden anonymisiert erhoben; eine namentliche Zuordnung kompletter Datensätze oder von Einzeldaten ist nicht möglich.

2.1.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Grundsätzlich wurden alle operierten Intensivpatienten eingeschlossen, die im Studienzeitraum auf der operativen Intensivstation aufgenommen wurden. Patienten wurden aus der Studie ausgeschlossen bei einer Liegedauer von weniger als drei Tagen und/oder bei kontinuierlicher Normoglykämie (ohne Insulintherapie).

2.2 Parametererfassung

2.2.1 Grunddaten

Als Grunddaten wurden von jedem Patienten erhoben:

- Alter in Jahren zum Zeitpunkt der Aufnahme
- Geschlecht
- Liegedauer in Tagen auf der Intensivstation
- Überleben (Entlassung aus dem Krankenhaus, Tod auf Intensivstation, Tod nach Verlegung)
- Diagnose, welche die Operationsindikation darstellt
- Durchgeführte operative Intervention

Die Erkrankungsschwere wurde mittels etablierter Scores erfasst. Von allen Patienten wurden 24 Stunden nach Aufnahme die Punktwerte für den

APACHE II-Score [61] sowie den SAPS II-Score [62] erfasst. Zur Berechnung der Scores wurden die von der SFAR im Internet bereitgestellten halbautomatisierten Formulare benutzt. [63, 64] Höhere Punktwerte in den Scores bedeuten ein schwereres Ausmaß der Erkrankung. Die Tabellen, nach denen die APACHE II- und SAPS II-Scores berechnet wurden, finden sich im Anhang.

Tab 2.1: Glasgow Coma Score			
Augen	Öffnen	Spontan	4
		Auf Ansprechen	3
		Auf Schmerzen	2
		Kein Ansprechen	1
Verbales Ansprechen		Orientiert und beantwortet Fragen	5
		Desorientiert und beantwortet Fragen	4
		Ungezielte verbale Reaktion	3
		Unverständliche Laute	2
		Kein Ansprechen	1
Körpermotorik	Auf Ansprechen	Befolgen	6
		Gezielte Abwehrreaktion	5
	Auf Schmerzreize	Ungezielte Abwehrflexion	4
		Beugehaltung (Dekortikation)	3
		Streckhaltung (Decerebration)	2
	Kein Ansprechen	1	
Total			3-15

In beide Scores fließt der Punktwert der Glasgow Coma Scale (GCS) zum Erhebungszeitpunkt mit ein (s. Tabelle 2.1). Die Erhebung dieses Scores setzt voraus, dass der zu beurteilende Patient sich nicht in einer Anästhesie bzw. einer Analgosedierung befindet. Da diese Voraussetzung bei beatmeten Intensivpatienten nicht gegeben ist und aus der Aktenlage auch ein präoperativer GCS nicht konsequent zu erheben war, wurde für analgosedierte Patienten grundsätzlich mit 3 Punkten der tiefstmögliche Punktwert zur Berechnung von SAPS II- und APACHE II-Score verwendet [61, 62]; die resultierenden Werte dieser Patienten sind daher systematisch falsch erhöht.

2.2.2 Erweiterte Datenerhebung

Über die in 2.2.1.1 genannten Grunddaten hinaus wurden von jedem Patienten weitere Parameter erhoben:

2.2.2.1 Inzidenz von Infektionserkrankungen

Infektionserkrankungen stellen ein großes Problem bei operativen Intensivpatienten dar. Von allen Patienten wurde erhoben, ob während des Aufenthaltes auf der Intensivstation zu folgenden Infektionserkrankungen kam:

- Pneumonie
- Sepsis
- Peritonitis
- Harnwegsinfekt

Maßgeblich für die Diagnosestellung der o.g. Infektionserkrankungen waren dabei die Definitionen des CDC [65].

Im Falle des Auftretens einer oder mehrerer der Infektionserkrankungen wurde versucht, einen Erregernachweis zu führen. Das mikrobiologische Untersuchungsmaterial war hierbei die broncho-alveoläre Lavage oder via Endotrachealtubus gewonnenes Trachealsekret für die Pneumonie, aerobe und anaerobe Blutkulturen für die Sepsis, Peritonealabstriche für die Peritonitis und eine Urinkultur aus Katheter- oder Mittelstrahlurin für den Harnwegsinfekt. In Fällen, in denen ein Erregernachweis nicht gelang wurde die Infektion als durch unbekanntem Erreger ausgelöste Infektion in die Studiendatenbank aufgenommen.

2.2.2.2 Vorbekannter Diabetes

Da sich die vorliegende Studie mit dem postoperativen Glukosemetabolismus befasst ist eine Diabeteserkrankung des Patienten eine wesentliche Einflussgröße. Es wurde in der Studiendatenbank erfasst, ob ein Diabetes zum Zeitpunkt der Aufnahme auf die Intensivstation bereits bekannt war. Eine diabetische Erkrankung wurde unabhängig vom

Erkrankungstyp (Typ-I oder Typ-II-Diabetes bzw. sonstige Diabetestypen) und der bisher notwendigen Therapie (IDDM oder NIDDM) erfasst.

2.2.2.3 Grenzwertüberschreitungen

Es wurde bei allen Patienten täglich Kreatinin und Harnstoff im Serum bestimmt. Überschritt der Kreatininwert die Schwelle von 2,5 mg/dl und/oder der Harnstoffwert die Schwelle von 54 mg/dl, so wurde dies in der Studiendatenbank erfasst.

Des Weiteren wurde bei allen Patienten mindestens 3stündlich (bei Patienten zu Beginn einer intensivierten Insulintherapie oder bei Patienten mit Hypoglykämien stündlich) der Blutzuckerwert aus Kapillarblut oder arteriellem Blut bestimmt. Das Auftreten einer milden oder schweren Hypoglykämie (milde Hypoglykämie: definiert als Blutglukosespiegel kleiner als 65 mg/dL oder eindeutige klinische Symptome einer Hypoglykämie bei einem Wert zwischen 65-74 mg/dL, schwere Hypoglykämie: Blutglukosespiegel \leq 40 mg/dL) wurde ebenfalls in der Datenbank erfasst.

2.2.3 weitere Parameter

Von jedem Patienten wurden des Weiteren während des Aufenthaltes auf der Intensivstation die folgenden Daten erfasst:

- Dauer einer eventuellen Antibiotikabehandlung (alle Applikationsformen) in Tagen
- Dauer einer eventuellen intravenösen Medikation mit Katecholaminen (Epinephrin, Norepinephrin, Dopamin, Dobutamin) in Tagen
- Anzahl der Tage, an denen ein Nierenersatzverfahren (CVVH oder CVVHD) zur Anwendung kam

- Gesamte Beatmungsdauer in Stunden (alle invasiven Beatmungsformen sowie Maskenbeatmung mit BIPAP oder CPAP)
- Anzahl Tage, an denen eine parenterale Ernährung zugeführt wurde. Als parenteral ernährt galten hierbei Patienten, die mindestens eine Infusionslösung mit 10%igem Aminosäureanteil und eine Infusionslösung mit 20%igem Glukoseanteil erhielten.
- Anzahl Tage, an denen eine künstliche enterale Ernährung über eine Magen- oder Duodenalsonde verabreicht wurde. Als künstlich enteral ernährt galten hierbei nur Patienten die vollwertige enterale Ernährung erhielten; eine Applikation von Wasser oder Tee allein wurde nicht als enterale Ernährung gewertet.
- Anzahl der verbrauchten Blutprodukte (EK, TK, FFP) in Stück. THK wurden dabei in die entsprechende TK-Äquivalenzdosis umgerechnet.

2.2.4 Glukose- und Insulinmonitoring

Bei allen Patienten wurde der Blutglukosespiegel nach Aufnahme, danach mindestens 3stündlich entweder aus kapillärem Blut mittels eines photometrisch arbeitenden Blutzuckermessgerätes oder aber aus arteriellem Blut mittels eines BGA-Gerätes (Typ RadiometerTM ABL 715[©]) bestimmt. Erfasst wurden jeweils die um 8 Uhr, 16 Uhr und 24 Uhr gemessenen Werte sowie der Tagesspitzenwert und der Tagestiefstwert. Aus den Tageswerten wurde ein Tagesmittelwert, aus allen Tagesmittelwerten eines Patienten ein patientenbezogener Gesamtmittelwert berechnet. Alle Blutglukosewerte sind – entsprechend der Ausgabe der auf der Intensivstation verwendeten Messgeräte - in mg/dL angegeben. Zur Umrechnung in die SI-Einheit mmol/L sind die hier angegebenen Werte mit 0,0555 zu multiplizieren. Des weiteren wurde von allen Patienten die absolute Menge des intravenös applizierten Insulins (IE/Tag) erfasst und ein patientenspezifischer Gesamt-Mittelwert (Gesamtinsulindosis in

IE/Aufenthaltsdauer) sowie ein patientenspezifischer Mittelwert nur für die Tage, an denen tatsächlich Insulin gegeben wurde berechnet (Gesamtdosis in IE/Applikationstage). Subkutan injiziertes Insulin wurde nicht erfasst und ging nicht mit in die Berechnungen ein.

2.3 Parameterauswertung, Signifikanz

Die Erfassung der Daten sowie die Berechnung der mittleren Blutglukosespiegel sowie der mittleren Dosen erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft[™] Excel[™] 2002. (Microsoft[™] Corp. Redmond, USA). Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS für Windows, Version 11.5 (SPSS Inc.[™]).

Da die Vergleichs- und Therapiegruppe nicht randomisiert wurden (siehe Kap. 2.1) musste zunächst die statistische Vergleichbarkeit der Gruppen überprüft werden. Dies geschah mittels des Levène-Tests für die Parameter Alter und Erkrankungsschwere (SAPS II und APACHE II-Scores [61, 62]); für das Geschlecht sowie das bekannte Vorliegen einer diabetischen Vorerkrankung mittels des Chi-Quadrat-Tests. Die Ergebnisse des Vergleichs der Gruppenzusammensetzung finden sich in Abschnitt 3.1. Unterschiede zwischen den Therapiegruppen wurden als signifikant betrachtet, wenn der Wahrscheinlichkeitswert $p \leq 0,05$ betrug.

2.4 Intensivierte Insulintherapie

(bisherige Standardtherapie siehe file einfügen)

Patienten, welche ab dem 1. Januar 2005 auf der operativen Intensivstation aufgenommen wurden, erhielten eine intensivierete Insulintherapie nach einem modifizierten Leuven-Protokoll [2] (das Leuven-Protokoll ist im Anhang aufgeführt), um den Zielwert von 80-110 mg/dl Blutglukose zu erreichen. Nachdem in den ersten Wochen der klinischen Erprobung mit klinisch auffällig vielen Hypoglykämien und einem generalisierten

Krampfanfall, ausgelöst durch eine Hypoglykämie, schwerwiegende Nebenwirkungen auftraten wurde das Protokoll ab dem 1.3.2005 modifiziert und der Zielbereich für den Blutglukosespiegel auf 90-120 mg/dl festgesetzt. Das verwendete Protokoll ist **der unten stehenden Tabelle** zu entnehmen. Patientendaten wurden ab dem Wirksamwerden des aktualisierten Protokolls am 1.3.2005 erfasst und ausgewertet. Insulin wurde mittels Spritzenpumpen (Braun™ Perfusor™ FM) über peripher- oder zentralvenöse Zugänge verabreicht. Die Spritzen enthielten 100 IE Human-Altinsulin in 50 ml 5%iger Glukoselösung. **TABELLE (Protokoll) EINFÜGEN**

2.5 Enterale und parenterale Ernährung

3 ERGEBNISSE

3.1 Vergleichbarkeit der Studiengruppen

Aufgrund der Tatsache, dass die vorliegende Studie nicht parallelisiert und randomisiert durchgeführt werden konnte ergab sich die Notwendigkeit, die Struktur der Gruppen zu vergleichen, um die Vergleichbarkeit nachzuweisen. Es gilt bei der statistischen Analyse der Vergleichsgrößen daher die Hypothese, dass ein signifikanter Unterschied in den jeweiligen Parametern zwischen den zu untersuchenden Gruppen besteht und daher die Ergebnisse durch diese Ungleichheit beeinflusst werden. Diese Hypothese konnte verworfen – und die Gruppen demzufolge als hinreichend gleich strukturiert und somit in statistischen Analysen als vergleichbar betrachtet – werden, wenn der Signifikanzwert (p-Wert) zwischen den zu vergleichenden Parametern $>0,05$ betrug.

Die Analyse der erhobenen Daten ergab, dass die Studiengruppen in punkto Altersstruktur, Geschlechterverteilung, dem Einsatz einer maschinellen Beatmung und Erkrankungsschwere nach SAPS II-Punktwert vergleichbar sind ($p>0,05$). Statistisch signifikante Unterschiede bestehen jedoch bei der Anzahl der bekannt diabetisch vorerkrankten Patienten ($p=0,028$), der Erkrankungsschwere nach APACHE II-Punktwert ($p=0,017$) und dem initialen Blutglukosespiegel bei Aufnahme der Patienten auf die operative Intensivstation ($p=0,024$). Eine Gegenüberstellung dieser Parameter findet sich in Tab. 3.1. Im Diskussionsteil dieser Arbeit sind weitere Parameter, welche bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sind und welche nicht erfasst werden konnten aufgeführt.

3.2 Struktur der Vergleichsgruppen

Tab. 3.1: Struktur der Vergleichsgruppen – Grunddaten			
Parameter	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p[†]
Alter (Jahre)	66,57±15,21	68,21±12,03	0,350
Männlich – Anzahl (%)	68 (52,3%)	62 (53%)	-
Weiblich – Anzahl (%)	62 (47,7%)	56 (47%)	-
APACHE II Score [†]	15,15±9,280	18,03±10,051	0,020
SAPS II Score [†]	39,63±21,929	43,44±22,148	0,176
Beatmete Patienten	78 (60,0%)	79 (67,5%)	0,236
Diabetische Vorerkrankung	20 (15,4%)	32 (27,4%)	0,028

†: p-Wert-Ermittlung mittels des exakten zweiseitigen Fisher-Tests

Aus Tabelle 3.2 sind die exakten Werte der meisten Parameter, welche im vorstehenden Abschnitt auf Vergleichbarkeit überprüft wurden, zu entnehmen (die Daten für den Blutglukosespiegel bei Aufnahme auf die operative Intensivstation finden sich im entsprechenden Abschnitt weiter unten).

Die Patienten beider Untersuchungsgruppen befanden sich zum Untersuchungszeitpunkt durchschnittlich in der zweiten Hälfte des sechsten Lebensdezenniums. In beiden Gruppen waren männliche Patienten geringfügig stärker vertreten als weibliche. Der durchschnittliche Schweregrad der Erkrankung, repräsentiert durch die APACHE II- und SAPS-II-Punktwerte [61, 62] lag in der Gruppe, welche mit einer intensivierten Insulintherapie behandelt wurde, geringfügig höher als in der Gruppe, welche keine intensiverte Insulintherapie erhielt. Eine statistische Signifikanz ließ sich hier für den APACHE II-Score nachweisen ($p=0,020$). Ebenso waren diabetisch vorerkrankte Patienten in der Therapiegruppe signifikant ($p=0,028$) häufiger vertreten.

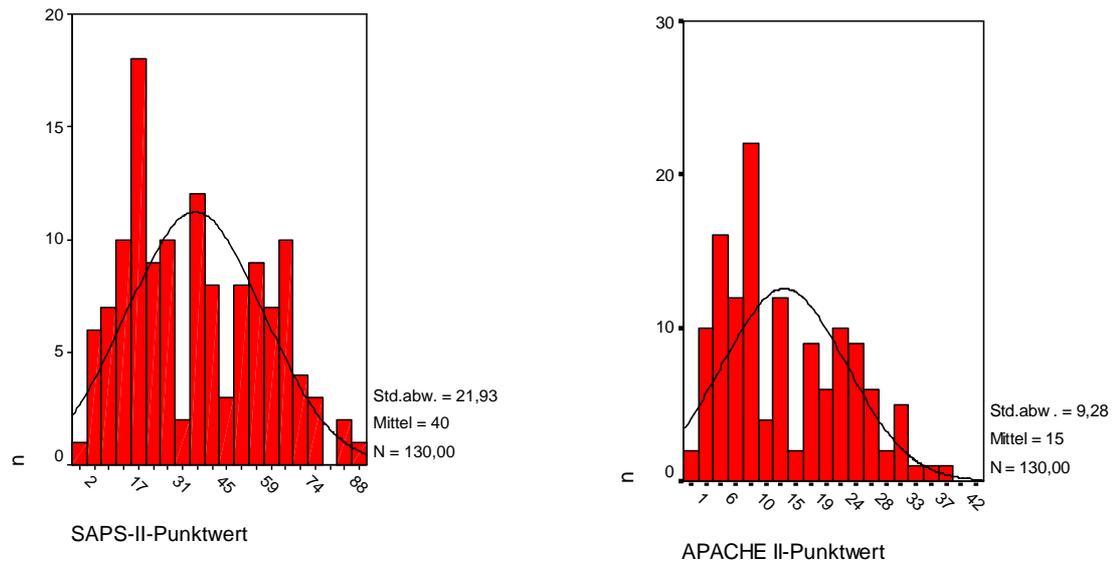


Abb. 3.1: Histogramm und Normalverteilungskurve der SAPS-II und APACHE-II- Scores (herkömmliche Therapie)

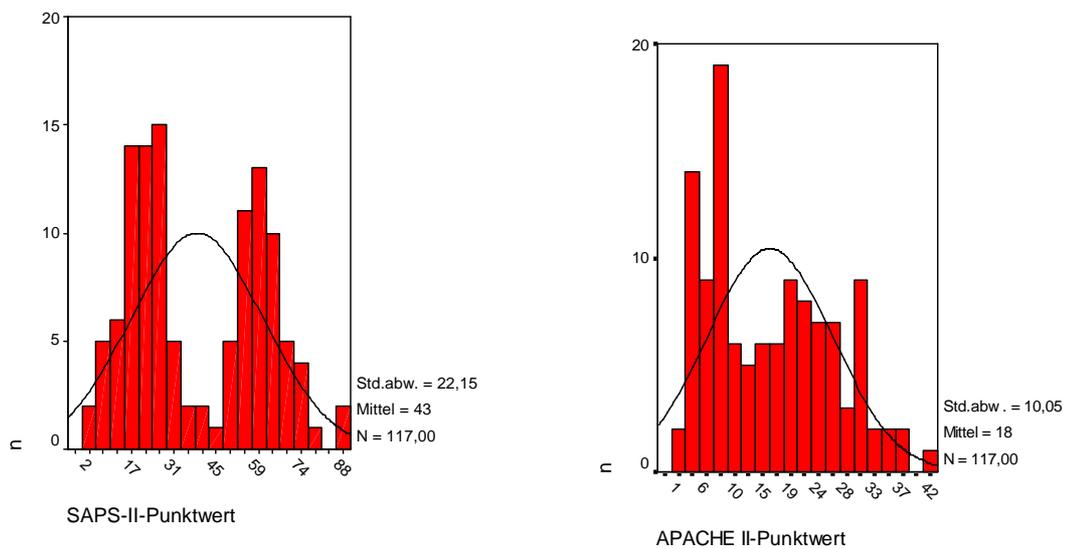


Abb. 3.2: Histogramm und Normalverteilungskurve der SAPS-II und APACHE-II- Scores (intensivierte Insulintherapie)

Obenstehende Abbildungen (3.1 und 3.2) zeigen die Histogramme und Normalverteilungskurven der APACHE II- und SAPS II-Punktwerte in der Untersuchungsgruppen.

Die beiden Scoring-Systeme verwenden unterschiedliche Parameter zur Berechnung der Erkrankungsschwere (siehe Anhang sowie [61, 62]) und gewichten diese unterschiedlich. Nachstehendes Streudiagramm (Abb. 3.3) mit einem Korrelationskoeffizienten von $R\text{-Quadrat} = 0,8673$ zeigt einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen den resultierenden Punktwerten der beiden Bewertungssysteme, so dass davon ausgegangen werden kann, dass beide Systeme die Erkrankungsschwere etwa gleich gut erfassen.

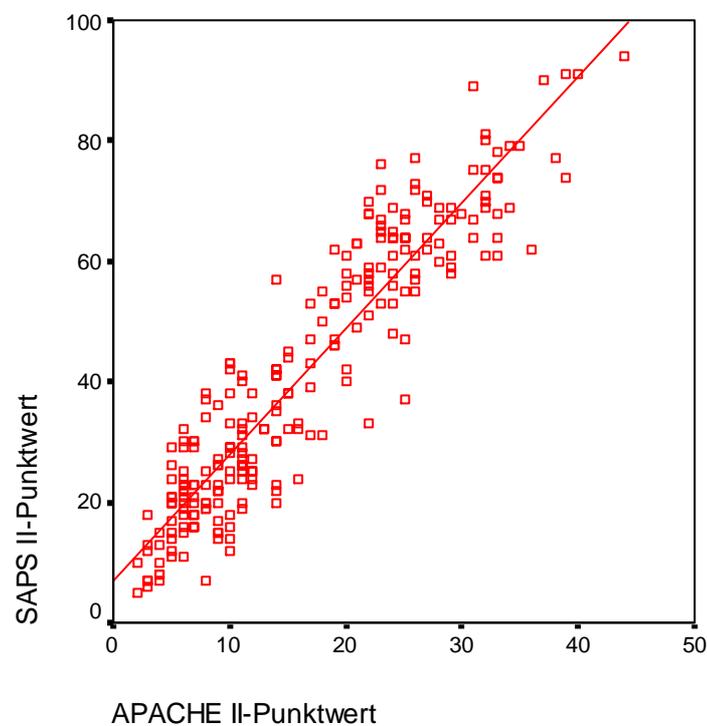


Abb. 3.3: Streudiagramm zum Zusammenhang zwischen SAPS II- und APACHE II-Punktwert je Patient. ($R\text{-Quadrat}=0,8673$)

3.3 Mortalität

Tab 3.2.: Gesamtmortalität			
Parameter	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p
Gesamtüberleben (Anzahl Patienten / %)	90 (69,2%)	87 (74,4%)	0,579 [†]
Verstorben auf ICU	34 (26,2%)	24 (20,5%)	0,364 [◇]
Verstorben nach Verlegung	6 (4,6%)	6 (5,1%)	1,000 [◇]

†: p-Wert-Ermittlung mittels des Chi-Quadrat-Tests
◇: p-Wert-Ermittlung mittels des exakten zweiseitigen Fisher-Tests

Primäre Fragestellung der vorliegenden Studie war es, ob durch den Einsatz der intensivierten Insulintherapie eine Verbesserung der Überlebenschancen erzielt werden kann. Die Gesamtergebnisse sind Tabelle 3.2 zu entnehmen. Zwar konnte mit 74,4% überlebenden Patienten in der Gruppe mit intensivierter Insulintherapie eine Verbesserung gegenüber der Vergleichsgruppe mit 69,2% überlebenden Patienten erzielt werden, jedoch war eine statistische Signifikanz dieses Unterschiedes mit $p=0,579$ (für die gesamte Studienpopulation) nicht gegeben. Abb. 3.4 stellt die Gesamtmortalität grafisch dar.

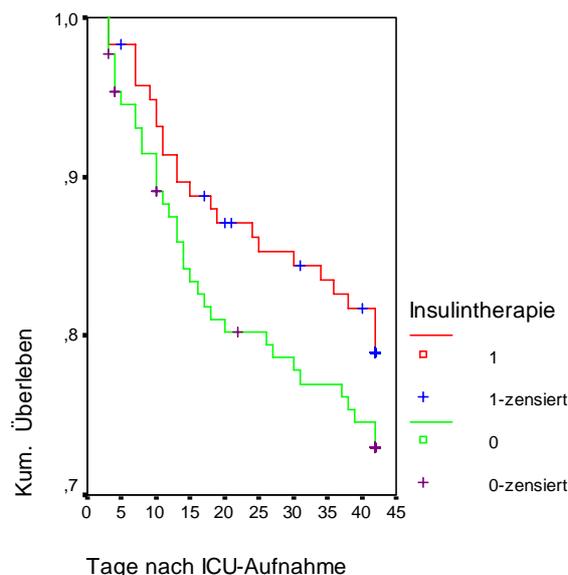


Abb. 3.4: Überlebensanalyse der Vergleichsgruppen (nach Kaplan-Meier)

Tab 3.3: Mortalität nach Subgruppen**Mortalität (auf Intensivstation) nach Fachrichtung[‡]**

Legende: Anzahl Todesfälle / Gesamtzahl von Patienten aus der Fachrichtung (% Fachrichtungsanteil an der Gesamtkohorte) (% Todesfälle / % Todesfälle an den Gesamt-Todesfällen / % Todesfälle bezogen auf alle Patienten)

Parameter	Herkömmliche Behandlung (n=124)	Intensivierte Insulintherapie (n=111)	p
Abdominalchirurgie	14/66 (53,2%) (21,2%/41,2%/11,3%)	14/60 (54,1%) (23,3%/58.2%/12,61%)	0,832 [◊]
Thoraxchirurgie	4/9 (7,3%) (44,4%/11,7%/3,2%)	0/11 (9,9%) (0%/0%/0%)	0,026 [◊]
Urologie	5/20 (16,1%) (25%/14,7%/4,0%)	4/18 (16,2%) (22,2%/16,7%/3,6%)	1,000 [◊]
Gynäkologie & Senologie	0/2 (1,6%) (0%/0%/0%)	0/3 (2,7%) (0%/0%/0%)	-
Gefäßchirurgie	7/23 (18,6%) (30,4%/20,6%/5,6%)	5/15 (13,5%) (33,3%/20,9%/4,5%)	1,000 [◊]
Unfallchirurgie	4/4 (3,2%) (100%/11,8%/3,2%)	1/4 (3,6%) (25%/4,2%/0,9%)	0,143 [◊]

Mortalität (auf Intensivstation) nach Liegedauer

Liegedauer ≤ 5 d (Todesfälle/% von n)	7 (11,1%) n=63	2 (3,9%) n=51	0,184 [◊]
Liegedauer > 5 ≤ 10 d (Todesfälle/% von n)	7 (29,2%) n=24	6 (24,0%) n=25	0,754 [◊]
Liegedauer > 10 d (Todesfälle/% von n)	20 (54,1%) n=37	16 (45,7%) n=35	0,638 [◊]

Mortalität (auf Intensivstation) nach Einsatz einer maschinellen Beatmung

Patienten ohne maschinelle Beatmung (Todesfälle/% von n)	0 (0%) n=50	1 (2,6%) n=38	0,432 [◊]
Patienten mit maschineller Beatmung (Todesfälle/% von n)	34 (45,9%) n=74	23 (31,5%) n=73	0,091 [◊]

Tab 3.3: Mortalität nach Subgruppen (Fortsetzung)**Mortalität (gesamt) nach dem Status einer diabetischen Vorerkrankung**

Fachrichtung	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p
Todesfälle Diabetiker (Anzahl Patienten / %)	8 (6,2%)	8 (6,8%)	0,258 [‡]
Todesfälle Nichtdiabetiker (Anzahl Patienten / %)	32 (24,6%)	22 (18,8%)	0,866 [‡]

‡: p-Wert-Ermittlung mittels des Chi-Quadrat-Tests

◇: p-Wert-Ermittlung mittels des exakten zweiseitigen Fisher-Tests

‡: Patienten, die sich interdisziplinären Mehrfacheingriffen unterziehen mussten wurden der Fachrichtung zugerechnet, welche vornehmlich eine intensivstationäre Therapie erforderlich machte

In Tab. 3.3 findet sich eine Aufschlüsselung der Mortalität nach Subpopulationen. In der Aufschlüsselung der Mortalität nach Patienten verschiedener operativer Fachrichtungen zeigt sich lediglich für die Gruppe der Patienten, die sich einem thoraxchirurgischen Eingriff unterzogen mit 0% Todesfällen in der Therapiegruppe gegenüber 44,4% in der Vergleichsgruppe mit $p=0,026$ eine Signifikanz. Aufgrund der geringen thoraxchirurgischen Fallzahlen ($n=9$ in der Therapie-, $n=11$ in der Vergleichsgruppe) lässt sich dennoch kein allgemeingültiges Ergebnis ableiten. Für Patienten anderer operativer Fachdisziplinen wurde keine signifikante Veränderung der Mortalität gefunden.

Eine Aufschlüsselung der Patienten nach ihrer Liegedauer auf der Intensivstation in drei Kollektive (≤ 5 Tage, 6-10 Tage, > 10 Tage) zeigte, ebenso wie eine Aufschlüsselung nach dem Status einer diabetischen Vorerkrankung keine signifikanten Veränderungen der Mortalität. Betrachtet man ausschließlich die Mortalität unter Patienten, welche eine maschinelle Beatmung erhielten, so sieht man eine Verbesserung der Mortalität von 45,9% Todesfällen der beatmeten Patienten in der Vergleichs- auf 31,5% in der Therapiegruppe. Der Nachweis einer Signifikanz war mit $p=0,091$ allerdings auch hier nicht gegeben.

Tab. 3.4: Mortalität in Abhängigkeit der Erkrankungsschwere			
Legende: Anzahl Todesfälle auf Intensivstation/nach Verlegung (% auf Intensivstation / % nach Verlegung) †			
Erkrankungsschwere	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p
Nach SAPS II-Score			
Sterbewahrscheinlichkeit (nach SAPS II)	34,02%	38,53%	0,298 [◇]
SAPS II ≤ 20	0 (0%/0%) n=30	0 (0%/0%) n=19	-
SAPS II > 20 ≤ 35	2/2 (6,7%/6,7%) n=30	2/1 (5%/2,5%) n=40	0,656 [‡]
SAPS II > 35 ≤ 50	7/1 (29,1%/4,2%) n=24	3/0 (42,9%/0%) n=7	0,711 [‡]
SAPS II > 50	25/3 (54,3%/6,5%) n=46	20/4 (39,2%/7,8%) n=51	0,325 [‡]
Nach APACHE-II-Score			
Sterbewahrscheinlichkeit (nach APACHE II)	27,35%	34,40%	0,030 [◇]
APACHE II ≤ 8	0/0 (0%/0%) n=40	0/0 (0%/0%) n=25	-
APACHE II > 8 ≤ 16	6/4 (15,4%/10,3%) n=39	1/1 (3,1%/3,1%) n=32	0,093 [‡]
APACHE II > 16 ≤ 24	10/0 (38,5%/0%) n=26	5/3 (18,5%/11,1%) n=27	0,086 [‡]
APACHE II > 24	18/2 (72%/8%) n=25	18/2 (54,5%/6,1%) n=33	0,287 [‡]

†: Prozentangaben beziehen sich auf die Patienten mit der jeweiligen Erkrankungsschwere, nicht auf die Gesamtkohorte. Die entsprechenden Zahlen sind als n in der jeweiligen Tabellenzelle mit angegeben.

‡: p-Wert-Ermittlung mittels des Chi-Quadrat-Tests

◇: p-Wert-Ermittlung mittels des zweiseitigen T-Tests

Schlüsselt man die Patientenkollektive nach Ihrer Erkrankungsschwere auf (siehe Tab 3.4), so ist erkennbar, dass die Mortalität mit steigendem Punktwert und damit steigender Erkrankungsschwere deutlich zunimmt. Eine signifikante Verringerung der Mortalität durch Anwendung der intensivierten Insulintherapie konnte in keinem der Subkollektive nachgewiesen werden.

3.4 Insulinapplikation und Kontrolle der Blutglukosekonzentration

Tab. 3.5: Insulinapplikation			
Variable	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p
i.v.-Insulintherapie (Anzahl Patienten (%))	16 (12,3%)	117 (100%)	<0,001 [†]
Berechnung nur für Patienten, die tatsächlich Insulin erhielten			
Durchschnittliche Insulin- Tagesdosis (Mittelwert IE / Applikationstage)	51,31±20,636 n=9	26,02±15,093	<0,001 [‡]
Durchschnittliche Insulin- Tagesdosis (Mittelwert IE / Intensiv-Aufenthaltstage)	39,15±28,055 n=9	30,17±24,823	0,184 [‡]
Durchschnittliche Applikationsdauer (Tage)	9,63±9,749 n=9	8,08±9,053	0,526 [‡]
Durchschnittliche Applikationsdauer (% der Intensivtage)	49,057±28,618 % n=9	69,591±26,486 %	0,005 [‡]
Berechnung für die Gesamtgruppen			
Durchschnittliche Insulin- Tagesdosis (Mittelwert IE / Applikationstage)	6,32±18,327	26,02±15,093	<0,001 [‡]
Durchschnittliche Insulin- Tagesdosis (Mittelwert IE / Intensiv-Aufenthaltstage)	4,82±16,070	30,17±24,823	<0,001 [‡]
Durchschnittliche Applikationsdauer (Tage)	1,18±4,597	8,08±9,053	<0,001 [‡]
Durchschnittliche Applikationsdauer (% der Intensivtage)	6,03±18,894 %	69,591±26,486 %	<0,001 [‡]

†: p-Wert-Ermittlung mittels des exakten zweiseitigen Fisher-Tests
‡: p-Wert-Ermittlung mittels des zweiseitigen T-Tests

Tabelle 3.5 sind die Daten zur i.v.-Insulinapplikation in den Untersuchungsgruppen zu entnehmen. In der Vergleichsgruppe erhielten 16 Patienten während des Aufenthaltes auf der Intensivstation intravenöses Insulin, bei 5 (31,25%) dieser Patienten war ein vorbestehender Diabetes bekannt. Der mittlere APACHE II-Punktwert bei diesen Patienten betrug $23 \pm 7,916$, der mittlere SAPS II-Punktwert betrug $58,5 \pm 15,625$ Punkte. Beide Werte lagen damit signifikant ($p < 0,001$) höher als bei den Patienten der Vergleichsgruppe, die kein intravenöses Insulin erhielten. Grundsätzlich kam in dieser Gruppe kein Protokoll zur standardisierten Steuerung einer intravenösen Insulinapplikation zum Einsatz; bei allen 16 Patienten, welche dennoch intravenös Insulin erhielten, handelte es sich um individualtherapeutische Entscheidungen aufgrund schwer zu beherrschender hyperglykämischer Stoffwechsellage. (Mittlerer Blutglukosewert der Patienten mit Insulinapplikation: $183,44 \pm 24,999$ mg/dL vs. $148,73 \pm 30,454$ mg/dL bei Patienten in der Vergleichsgruppe ohne Insulinapplikation, $p < 0,001$). In der Therapiegruppe erhielten alle Patienten intravenöses Insulin nach dem im Methodik-Teil dieser Arbeit aufgeführten Schema. Die durchschnittliche Applikationsdauer betrug $9,63 \pm 9,749$ Tage ($49,057 \pm 28,618$ % der Liegedauer auf Intensivstation) (nur Patienten, die Insulin erhielten) bzw. $1,18 \pm 4,597$ Tage ($6,03 \pm 18,894$ % der Liegedauer auf Intensivstation) (alle Patienten) in der Vergleichsgruppe, $8,08 \pm 9,053$ Tage ($69,591 \pm 26,486$ % der Intensivaufenthaltsdauer) in der Therapiegruppe. Die durchschnittliche Insulindosis der Patienten der Vergleichsgruppe, welche intravenöses Insulin erhielten, betrug $51,31 \pm 20,636$ IE/d, in der Therapiegruppe $26,02 \pm 15,093$ IE/d ($p < 0,001$).

Tab 3.6: Kontrolle der Blutglukose			
Variable	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p [†]
Blutglukose bei postoperativer Aufnahme auf die Intensivstation (mg/dL)	179,20±53,397	196,23±64,405	0,024
Blutglukose-Mittelwert während der Intensivbehandlung – alle Patienten (mg/dL)	153,00±31,877	143,94±20,468	0,008
Blutglukose-Mittelwert während der Intensivbehandlung – Nichtdiabetiker (mg/dL)	146,24±24,945 n=110	137,68±16,104 n=85	0,004
Blutglukose-Mittelwert während der Intensivbehandlung – Diabetiker (mg/dL)	190,24±40,057 n=20	160,52±40,057 n=32	0,005

†: p-Wert-Ermittlung mittels des exakten zweiseitigen Fisher-Tests

Tabelle 3.6 sind die Mittelwerte der Blutglukosespiegel zu entnehmen. Es konnte eine signifikante Reduktion des mittleren Blutglukosespiegels sowie dessen Schwankungsbreite in der Therapiegruppe (153,00±31,877 mg/dL in der Vergleichsgruppe vs. 143,94±20,468 mg/dL in der Therapiegruppe; p<0,01) erzielt werden, wobei der Zielwert von 90-120 mg/dL verpasst wurde. Bei Aufnahme lag mit 179,20±53,397 vs. 196,23±64,405 der Blutglukosespiegel in der Therapiegruppe signifikant (p=0,024) höher als in der Vergleichsgruppe, obwohl zwischenzeitlich keine Veränderungen in der perioperativen Infusionstherapie stattgefunden haben. Vergleicht man allerdings nur Diabetiker mit Nichtdiabetikern in den beiden Gruppen, so ergibt sich für die Nichtdiabetiker ein mittlerer Blutglukosewert von 177,16±53,201 mg/dL in der Vergleichsgruppe vs. 183,60±52,752 mg/dL in der Therapiegruppe (p=0,401), für die Diabetiker ein Wert von 190,40±54,458 in der Vergleichsgruppe vs. 229,78±79,887 in der

Therapiegruppe ($p=0,058$). Die signifikante Differenz mag demzufolge dem signifikant höheren Anteil an Diabetikern in der Therapiegruppe zugeschrieben werden.

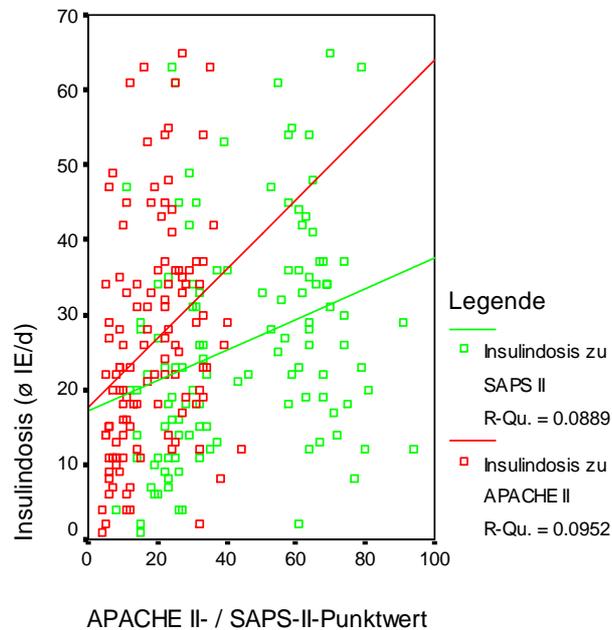


Abb. 3.5: Streudiagramm zur Abhängigkeit der durchschnittlichen Insulindosis (in IE/d) von der Erkrankungsschwere (nur Patienten mit intensivierter Insulintherapie)

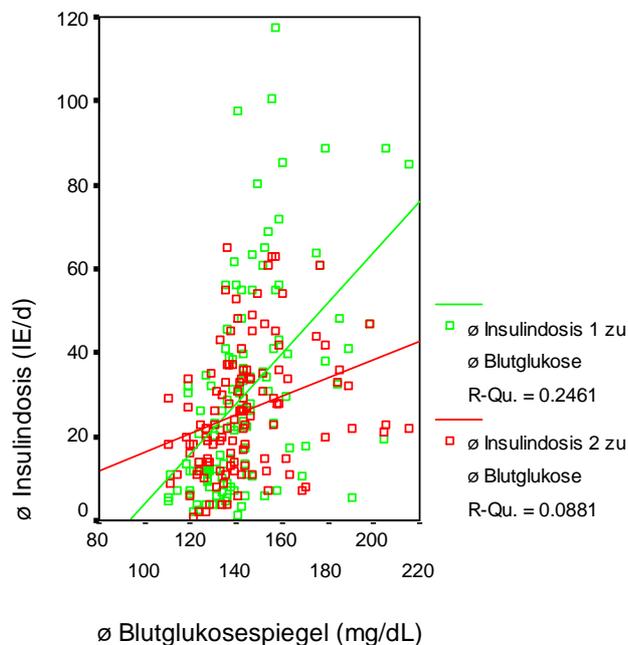


Abb. 3.6: Verhältnis zwischen durchschnittlichem Blutglukosespiegel und der Insulindosis. (nur Patienten mit intensivierter Insulintherapie). Erläuterung: \emptyset Insulindosis 1 ist berechnet nur für Tage, an denen Insulin gegeben wurde. \emptyset Insulindosis 2 ist berechnet über die Gesamtaufenthaltsdauer auf der Intensivstation.

Abb. 3.5 zeigt, dass die notwendige durchschnittliche Insulindosis pro Tag (nur unter Berücksichtigung von Patienten, welche eine intensivierete Insulintherapie erhielten) nicht von der Erkrankungsschwere – ausgedrückt als SAPS II und APACHE II-Punktwert – abhängig ist, Abb. 3.6 zeigt zudem, dass die durchschnittliche Insulindosis pro Tag zudem vom mittleren Blutglukosespiegel weitgehend unabhängig ist. Die individuell benötigte Insulinmenge scheint daher von einem anderen, hier nicht erfassten Faktor (z.B. dem Ausmaß der peripheren Insulinresistenz) abhängig zu sein. Auch eine Aufschlüsselung nach Diabetikern und Nichtdiabetikern zeigte keine signifikanteren Zusammenhänge.

Abb. 3.7 und 3.8 zeigen – aufgeschlüsselt nach Therapie- und Vergleichsgruppe – das Verhältnis von Erkrankungsschwere zu mittlerem Blutglukosespiegel. Es konnte in keiner der beiden Gruppen ein signifikanter Zusammenhang dargestellt werden. Auch, wenn man aus der Vergleichsgruppe diejenigen Patienten herausnimmt, die intravenös Insulin erhielten (in den Abbildungen nicht dargestellt), zeigt sich kein nachweisbarer Zusammenhang zwischen Erkrankungsschwere und mittlerem Blutglukosespiegel, so dass dieser als Morbiditäts- und Mortalitätsmarker ungeeignet betrachtet werden muss. Ebenso gilt dies für den Blutglukosespiegel, welcher bei Aufnahme auf die Intensivstation bestimmt wird.

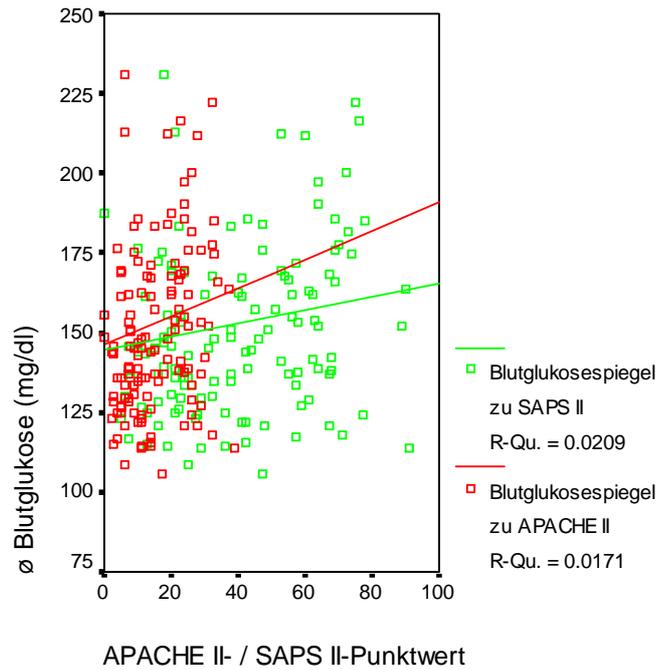


Abb. 3.7: Streudiagramm zur Abhängigkeit des durchschnittlichen Blutglukosespiegels (in mg/dl) von der Erkrankungsschwere (gemessen als APACHE II- und SAPS-II-Punktwert) (Patienten mit herkömmlicher Therapie)

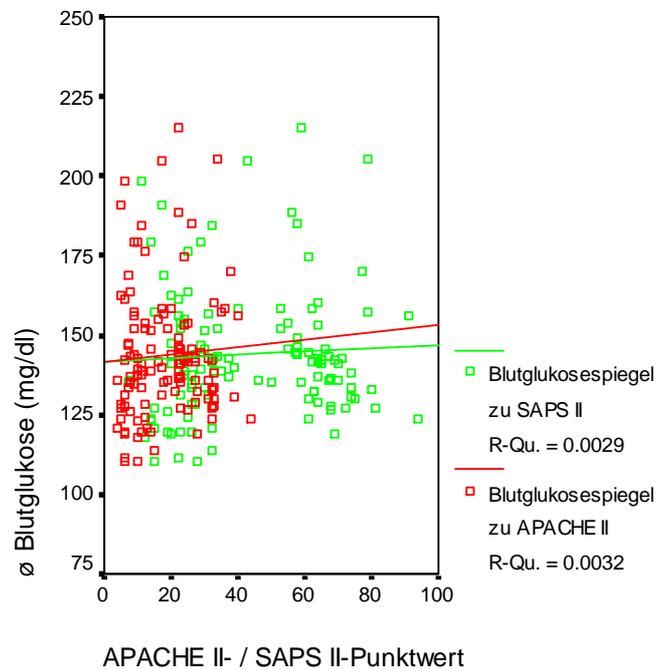


Abb. 3.8: Streudiagramm zur Abhängigkeit des durchschnittlichen Blutglukosespiegels (in mg/dl) von der Erkrankungsschwere (gemessen als APACHE II- und SAPS-II-Punktwert) (Patienten mit intensiver Insulintherapie)

3.5 Morbidität

Tab. 3.7: Liegedauer			
Variable	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p[†]
Liegedauer (Tage)	9,84±9,672	11,32±10,691	0,255

†: p-Wert-Ermittlung mittels des exakten zweiseitigen Fisher-Tests

Eine signifikante Veränderung der Liegedauer konnte nicht beobachtet werden.

Tab. 3.8: Inzidenz häufiger Infektionserkrankungen			
Variable	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p[†]
Pneumonien (Anzahl Fälle / % der Patienten)	49 (37,7%)	39 (33,3%)	0,508
Sepsis (Anzahl Fälle / % der Patienten)	20 (15,4%)	31 (26,5%)	0,040
Peritonitis (Anzahl Fälle / % der Patienten)	14 (10,8%)	20 (17,1%)	0,195
Harnwegsinfekte (Anzahl Fälle / % der Patienten)	23 (17,7%)	22 (18,8%)	0,870

†: p-Wert-Ermittlung mittels des Chi-Quadrat-Tests

Obenstehende Tabelle zeigt die Häufigkeit diagnostizierter Infektionen in den Studiengruppen. Eine signifikante Veränderung konnte beim Auftreten septischer Krankheitsverläufe beobachtet werden, welche bei 26,5% der Therapiegruppe gegenüber 15,4% in der Vergleichsgruppe (p=0,040) diagnostiziert wurde.

Tab. 3.9: Therapiebedürftigkeit			
Variable	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p
Beatmungen (Anzahl Fälle / % der Patienten)	78 (60,0%)	79 (67,5%)	0,236 [†]
Ø Beatmungsdauer [°] (h)	230,7±351,6	216,7±265,9	0,780 [‡]
Nierenersatzverfahren[◊]	9 (6,9%)	6 (5,1%)	0,604 [†]
Ø Dauer von Nierenersatzverfahren [°] (d)	4,7±2,3	9,0±9,5	0,206 [‡]
Antibiotikagabe	105 (80,8%)	111 (94,4%)	0,001 [†]
Ø Dauer der Antibiotikagabe [°] (d)	10,5±11,9	9,5±8,6	0,507 [‡]
Katecholaminpflichtigkeit	85 (65,4%)	74 (63,2%)	0,790 [†]
Ø Dauer der Katecholaminpflichtigkeit [°] (d)	6,49±7,2	7,39±7,0	0,430 [‡]
Parenterale Ernährung	76 (58,8%)	68 (58,1%)	1,000 [†]
Ø Dauer der parenteralen Ernährung [°] (d)	8,7±9,9	9,5±9,1	0,639 [‡]
Enterale Ernährung	30 (23,1%)	31 (26,5%)	0,557 [†]
Ø Dauer der enteralen Ernährung [°] (d)	12,9±11,7	12,4±10,9	0,842 [‡]
Gabe von Erythrozytenkonzentraten	95 (73,1%)	75 (64,1%)	0,133 [†]
Ø Anzahl Erythrozytenkonzentrate [°]	4,56±4,44	5,08±5,33	0,487 [‡]
Gabe von FFP	27 (20,8%)	42 (35,9%)	0,010 [†]
Ø Anzahl FFP [°]	4,70±4,74	7,31±6,19	0,066 [‡]
Gabe von Thrombozytenkonzentraten	9 (6,9%)	12 (10,3%)	0,370 [†]
Ø Anzahl Thrombozytenkonzentrate [°]	6,00±5,22	3,5±2,11	0,147 [‡]

†: p-Wert-Ermittlung mittels des Chi-Quadrat-Tests
‡: p-Wert-Ermittlung mittels des exakten zweiseitigen Fisher-Tests
◊: CVVH oder CVVHD
°: Werte nur unter Berücksichtigung der Patienten, die die entsprechende Therapie erhielten

In Tab. 3.9 sind die Daten zur Anwendung verschiedener (intensiv-)therapeutischer Maßnahmen in den Studiengruppen aufgeführt. Signifikante Unterschiede finden sich bei der Anwendungshäufigkeit von Antibiotika und gefrorenem Frischplasma, welche in der Therapiegruppe überzufällig häufiger eingesetzt wurden als in der Vergleichsgruppe. Da in der Therapiegruppe auch das Auftreten einer Sepsis signifikant höher lag als in der Vergleichsgruppe (s.o.) erscheint diese Veränderung als logische Folge daraus, ohne dass dieser Zusammenhang allerdings tatsächlich nachgewiesen werden kann.

Tab. 3.10: Grenzwertüberschreitungen			
Variable	Herkömmliche Behandlung (n=130)	Intensivierte Insulintherapie (n=117)	p[†]
Serum-Kreatinin \geq 2,5 mg/dl (Anzahl Fälle / % der Patienten)	28 (21,5%)	19 (16,2%)	0,332
Serum-Harnstoff \geq 54 mg/dl (Anzahl Fälle / % der Patienten)	71 (54,6%)	66 (56,4%)	0,799
Milde Hypoglykämie [‡] (Anzahl Fälle / % der Patienten)	9 (6,9%)	21 (17,9%)	0,011
Schwere Hypoglykämie [‡] (Anzahl Fälle / % der Patienten)	1 (0,8%)	5 (4,3%)	0,104

†: p-Wert-Ermittlung mittels des Chi-Quadrat-Tests
‡: Definitionen siehe Kapitel 2.2.2.3

Hinsichtlich der Grenzwertüberschreitungen der erfassten Parameter (Tab 3.10) konnte eine signifikante Veränderung bei den Retentionsparametern Serum-Kreatinin und Serum-Harnstoff nicht beobachtet werden; die nicht signifikante Veränderung bei der Notwendigkeit des Einsatzes von Nierenersatzverfahren (s.o.) erscheint daher konsequent. Deutlich und signifikant angestiegen als unmittelbare Folge des Einsatzes der intensivierten Insulintherapie sind jedoch die Fälle von milden Hypoglykämien (17,9% in der Therapie- vs. 6,9% in der Vergleichsgruppe, p=0,011). Schwere Hypoglykämien traten nicht signifikant häufiger auf.

3.6 Der Blutglukosespiegel als prädiktiver Wert

Es stellt sich die Frage, ob der mittlere Blutglukosespiegel oder der Blutglukosespiegel bei Aufnahme auf die Intensivstation einen Wert als prädiktiver Faktor bezüglich Mortalität und/oder Morbidität besitzt. Eine bivariate Korrelationsanalyse von Blutglukosespiegel bei Aufnahme und dem Überleben der intensivstationären Therapie zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (Korrelation nach Pearson 0,022, Signifikanz (zweiseitig) = 0,739). Bei Patienten ohne diabetische Vorerkrankung betrug die Korrelation nach Pearson 0,172 (signifikant auf dem Niveau $p=0,005$). Eine lineare Regressionsanalyse (analysiert für alle sowie ausschließlich für nichtdiabetische Patienten) von Blutglukosespiegel bei Aufnahme und SAPS II-/APACHE II-Punktwerten zeigte keinen signifikanten Zusammenhang zwischen diesen Werten (siehe Abb. 3.9). Dieselben Analysen für den mittleren Blutglukosespiegel während des Intensivaufenthaltes (berechnet nur für Patienten ohne intensivierete Insulintherapie) ergaben keine signifikanteren Zusammenhänge (s. Abb. 3.7 und 3.8).

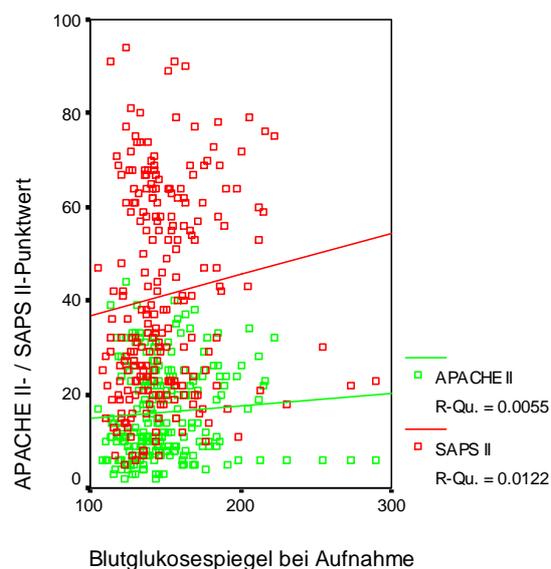


Abb. 3.9: Streudiagramm zum Zusammenhang zwischen Aufnahme-Blutglukosespiegel und Erkrankungsschwere (alle Patienten). Nicht dargestellt ist das Streudiagramm für nichtdiabetische Patienten, hier betrug R-Quadrat 0,0106 für den APACHE II- sowie 0,0163 für den SAPS II-Score.

4 DISKUSSION

Die Tatsache, dass vorliegende Studie nicht prospektiv und randomisiert durchgeführt werden konnte sondern retrospektiv zwei Patientengruppen zu unterschiedlichen Zeitpunkten verglichen, hat unmittelbare wie mittelbare Auswirkungen auf die Studienergebnisse. In Kapitel 3.1 wurden bereits in den erfassten Daten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Studiengruppen nachgewiesen, was deren Vergleichbarkeit vermutlich erheblich beeinflusst. Allein die Tatsache, dass bei einer Arbeit, deren wesentlicher Inhalt sich mit der Glukoregulation als Bestandteil der gestörten Homöostase beim kritisch kranken Patienten befasst, in der Studiengruppe ein signifikant höherer Anteil an diabetisch vorerkrankten Patienten – mit dementsprechend vorbestehender, von der akuten Erkrankung unabhängiger Schädigung dieser Homöostase – vertreten ist, hat zur Folge, dass die Ergebnisse äußerst kritisch interpretiert werden müssen. Hinzu kommen nicht erfasste Parameter, welche sich zwischen der Untersuchung der beiden Patientengruppen verändert haben könnten und von denen nicht angenommen werden kann, dass sie keinen Einfluss auf die Ergebnisse hätten. Es seien als einige Beispiele genannt:

- Änderung anderer therapeutischer Richtlinien
- Einführung neuer Pharmaka oder operativer Strategien
- Veränderung des Erregerspektrums, dessen Resistenzen und Virulenz auf der Intensivstation
- Veränderung sozioökonomischer Faktoren
- Personelle Veränderungen beim patientennah arbeitenden Personal und daraus resultierende Veränderung der fachlichen Qualifikationen und Versorgungsqualität

Diese Liste ließe sich sicherlich noch um etliche Punkte erweitern; die Konsequenzen für die Ergebnisse dieser Studie sind nicht erfassbar. Dieses

konzeptionelle Manko muss bei der Interpretation der Ergebnisse ebenfalls berücksichtigt werden.

Die vorliegende Studie konnte mit dem verwendeten Therapieprotokoll eine Reduktion des mittleren Blutglukosespiegels von $153,00 \pm 31,877$ mg/dL in der Kontrollgruppe auf $143,94 \pm 20,468$ mg/dL ($p=0,008$) in der Therapiegruppe erzielen. Der Zielwert von 90-120 mg/dL wurde jedoch nicht erreicht. Nach den bis Mitte 2005 veröffentlichten Studien ist zu vermuten, dass dies die Ergebnisse ungünstig beeinflusst haben könnte, da van den Berghe und andere bereits 2003 zeigen konnten, dass gerade das Erreichen einer normoglykämien Stoffwechsellage beim kritisch kranken, postoperativen Patienten positiven Einfluss auf die primären Faktoren Mortalität und Morbidität hat [58, 66-68]; zu demselben Ergebnis kommt eine Metaanalyse von 35 Studien, welche feststellt, dass eine intravenöse Insulingabe ohne spezifische Vorgabe eines Zielbereiches für den Blutglukosespiegel nicht mit einer Verbesserung von Mortalität und Morbidität einher geht [69]. In anderen Studien wurde statt einer reinen Spritzenpumpen-gesteuerten Insulinzufuhr eine Glukose-Kalium-Insulin-Infusionslösung verwendet, wobei bis zu 1 IE Insulin/kg KG/h verabreicht wurde, ohne einen spezifischen Zielbereich für den Blutglukosespiegel vorzugeben. Die Studien behandeln vor allem die klinische Sicherheit der Anwendung solcher Lösungen, wobei durch die Anwendung von Glukose-Kalium-Infusionslösungen in einer Studie bei Patienten mit akutem Herzinfarkt eine Verbesserung der Mortalität und Morbidität gezeigt werden konnte; uns obwohl keine spezifische Vorgabe für den Zielbereich gemacht wurde [70, 71] konnten Szabo et al den Blutglukosespiegel nichtdiabetischer Patienten mit dieser Methode bei etwa 110 mg/dL etablieren. In [54] konnte eine deutliche Reduktion der Mortalität (um 29%) auch bei bereits weniger ausgeprägter Senkung – jedoch mit Vorgabe eines spezifischen Zielbereiches – des mittleren Blutglukosespiegels (von 152 mg/dL auf 130 mg/dL) festgestellt werden.

Tab 4.1: Vergleichende Übersicht der Ergebnisse einiger Studien zur intensivierten Insulintherapie bezüglich der Mortalität. Fettgedruckte Werte bei den Mortalitätsangaben bedeuten eine signifikante Veränderung.

Studie	vorliegende Arbeit	Van den Berghe 2001[2]	Van den Berghe 2006 [72]	Krinsley 2004 [54]
Vorwiegende Fachrichtung	gemischt chirurgisch	kardiochirurgisch	internistisch	interdisziplinär
Fallzahl	130	783	605	800
Kontrollgruppe				
Fallzahl	117	765	595	800
Therapiegruppe				
Diabetiker	20 (15,4%)	103 (13%)	97 (16%)	131 (16,4%)
Kontrollgruppe				
(Anzahl / %)				
Diabetiker	32 (27,4%)	101 (13%)	106 (17,8%)	145 (18,1%)
Therapiegruppe				
(Anzahl / %)				
Blutglukosespiegel	153±32	153±33	†	152±93
Kontrollgruppe				
(mg/dL)				
Blutglukosespiegel	144±20	103±19	†	131±55
Therapiegruppe				
(mg/dL)				
Mortalität	40 (30,8%)	63 (8,0%)	162 (26,8%)	167 (20,9%)
Kontrollgruppe				
(Todesfälle / %)				
Mortalität	30 (25,6%)	35 (4,6%)	144 (24,2%)	118 (14,8%)
Therapiegruppe				
(Todesfälle / %)				

†: Daten in der Studie nur grafisch dargestellt; es kam jedoch zu einer signifikanten ($p < 0,001$) Senkung des mittleren Blutglukosespiegels

Verschiedene Studien erreichten bei wesentlich deutlicherer Senkung des mittleren Blutglukosespiegels als sie in der vorliegenden Arbeit erzielt werden konnte signifikante Verbesserungen der Kurzzeitmortalität: In einer Studie von van den Berghe et al., welche ausschließlich mechanisch beatmete, vorrangig kardiochirurgische Patienten beinhaltete [2], konnte eine Reduktion des mittleren morgendlichen Blutglukosespiegels von 153 ± 33 mg/dL in der Kontrollgruppe auf 103 ± 19 mg/dL in der

Therapiegruppe erzielt werden. Die Gesamtmortalität während des Intensivaufenthaltes konnte in dieser Studie von 8,0% auf 4,6% ($p < 0,04$), während des gesamten Krankenhausaufenthaltes von 10,9% auf 7,2% ($p = 0,01$) gesenkt werden. Eine signifikante Reduktion wurde hier jedoch nur für Patienten nachgewiesen, welche mehr als 5 Tage auf der Intensivstation behandelt werden mussten. In dieser Subpopulation konnte eine Reduktion der Mortalität von 20,2% auf 10,6% ($p = 0,005$) nachgewiesen werden. Pittas et al. analysierten in einer Meta-Studie 2005 die Ergebnisse von 35 kontrollierten, randomisierten Studien zur Anwendung der intensivierten Insulintherapie beim kritisch kranken Patienten [69] und konnten bezüglich der Kurzzeit-Mortalität eine Verbesserung für operierte Intensivpatienten, solche mit einem vorbestehenden Diabetes mellitus sowie für Patienten mit Myokardinfarkt ohne folgende Reperfusionstherapie feststellen. Bezüglich der Höhe des anzustrebenden Blutglukosespiegels gibt es unterschiedliche Ansichten, da die besprochenen (und weitere) Studien Effekte auf Mortalität und Morbidität bei unterschiedlich effektiver Senkung nachweisen konnten. Demzufolge ist dieser Punkt auch gegenwärtig noch Forschungsgegenstand in Studien [73]. Die vorliegende Studie konnte die Ergebnisse in Bezug auf die Mortalität nicht reproduzieren; die beobachtete Senkung der Mortalität in der Studien-Subpopulation mit einer intensivstationären Liegedauer von mehr als 5 Tagen (für die van den Berghe et al. eine signifikante Verbesserung erzielen konnten) von 44,3% auf 36,7% war mit $p = 0,46$ nicht signifikant und konnte auch für andere nach Intensivbehandlungsdauer erstellte Subpopulationen oder die Gesamtstudienpopulation nicht reproduziert werden (siehe Tab. 3.3). Bezüglich der zwar erreichten, signifikanten Senkung des mittleren Blutglukosespiegels muss kommentierend angemerkt werden, dass die Steuerung der Blutglukosekonzentration zwar mit dem in Tab 2.x festgelegten Protokoll durchgeführt wurde, bei der Datenerfassung jedoch wiederholt auffiel, dass in der Therapiegruppe besagtes Protokoll durch die

durchführungsverantwortlichen Personen nicht in jedem Fall konsequent beachtet wurde. Insbesondere bei diskreten Abweichungen des Blutglukosespiegels über den angesetzten Zielbereich hinaus wurde häufig ein (Wieder-)beginn der Insulinzufuhr unterlassen. Es ist zu vermuten, dass die Senkung des mittleren Blutglukosespiegels deutlicher hätte ausfallen können, wäre das vorgeschriebene Protokoll stringenter beachtet worden. Vor der Veröffentlichung der randomisierten, kontrollierten Single-Center-Studie von van den Berghe et al. 2001 [2] fand das Thema der Blutglukosekontrolle in der postoperativen Intensivmedizin kaum Beachtung, die Hyperglykämie wurde zumeist als physiologische Reaktion als Bestandteil des Postaggressionsstoffwechsels angesehen. Seitdem stieg die Zahl der Publikationen zu diesem Thema sprunghaft an. Für einen Großteil der PubMed-gelisteten Publikationen zeichnen die Autoren um van den Berghe verantwortlich, viele dieser Publikationen beziehen sich auf Daten der zuerst veröffentlichten Studie. In jüngerer Zeit wurde Kritik an der 2001 von van den Berghe et al. veröffentlichten Studie laut: Angus und Abraham in [74] sowie Bellomo und Moritoki in [75] bemängelten im wesentlichen die folgenden Punkte: Die Studie war zwar randomisiert, kontrolliert und prospektiv, nicht aber geblindet; die Sterblichkeit in der Kontrollgruppe (in Bezug auf die durchschnittliche Erkrankungsschwere) war relativ hoch und die Patienten erhielten auf einer Routine-Basis hochkalorische parenterale Ernährung – eine Methode, die nicht generell verbreitet ist. Des Weiteren waren fast ausschließlich kardiochirurgische Patienten in die Studie aufgenommen worden, so dass sich die Ergebnisse nicht auf kritisch erkrankte Patienten anderer Fachrichtungen abbilden ließen. Trotz dieser Kritik wurde die intensivierete Insulintherapie weit verbreiteter Standard-Bestandteil einer Intensivtherapie operativer und nichtoperativer Disziplinen. [76, 77] – und andere Studien konnten durch Anwendung einer intensivierten Insulintherapie ebenfalls Verbesserungen in Bezug auf Morbidität und/oder Mortalität nachweisen (u.a. [78, 79]). Van den Berge et al. veröffentlichten im Februar 2006 im New England

Journal of Medicine eine neue Studie zur intensivierten Insulintherapie; diese Studie bezog sich allerdings auf Patienten einer internistischen Intensivstation, insbesondere Patienten, die wegen Erkrankungen des Respirations- oder Gastrointestinaltraktes einer intensivmedizinischen Behandlung bedurften (68,3% der Patienten in der Kontroll-, 68,1% in der Therapiegruppe) [72]. Obwohl auch hier eine effektive und signifikante Senkung des Blutglukosespiegels erzielt wurde, konnte eine Reduktion der Mortalität hier nur für Subgruppen nachgewiesen werden, nicht aber für die Gesamtheit der Studienpopulation. Es konnte allerdings eine Reduktion der Morbidität erzielt werden: Die Entwöhnung vom Respirator ging schneller von statten und die Liegedauer auf der Intensivstation und im Krankenhaus war geringer. Beide Ergebnisse konnte diese Arbeit nicht nachzeichnen (siehe Tab. 3.7 und 3.9); zwar war die durchschnittliche Beatmungsdauer in der Gruppe mit intensivierter Insulintherapie geringfügig kürzer ($230,7 \pm 351,6$ h in der Kontrollgruppe vs. $216,7 \pm 265,9$ h in der Therapiegruppe), eine statistische Signifikanz dieser Verkürzung konnte jedoch nicht nachgewiesen werden ($p=0,780$). Die signifikant höhere Rate von septischen Verläufen in der vorliegenden Arbeit (26,5% der Patienten in der Therapiegruppe vs. 15,4% der in der Vergleichsgruppe) überrascht, da in anderen Studien der intensivierten Insulintherapie eine antiinflammatorische Wirkung mit positivem Einfluss auf die Manifestation von Sepsis und sepsisbedingtem Multiorganversagen postuliert wird. Bereits van den Berghe in ihrer Originalarbeit fand gerade für Patienten mit einem nachgewiesenem septischen Fokus eine deutliche Verbesserung der Überlebenschancen [2]. Darüber hinaus wird in [80] ein neuroprotektiver Effekt beschrieben; in der Arbeit wurde bei Patienten mit einer Intensivbehandlungsdauer von ≥ 7 Tagen eine Reduktion von 49% für das Auftreten einer Polyneuropathie beschrieben. Zu diskutieren sind in diesem Zusammenhang die möglichen Wirkungsmechanismen der intensivierten Insulintherapie beim kritisch kranken Patienten: Ein zusammenfassender Artikel von Jeschke aus dem Jahr 2003 bezieht sich auf tierexperimentelle

Versuche, welche eine durch Insulingabe bewirkte Reduktion der Sekretion proinflammatorischer Mediatoren wie IL-1, IL-6, TNF und MIF bei einer gleichzeitigen Erhöhung antiinflammatorischer Zytokine wie IL-2, IL-4 und IL-10 durch eine Modulation pro- und antiinflammatorischer Signaltransduktionsfaktoren nachwies [55, 81]. Auch für andere proinflammatorische Faktoren (u.a. TNF- α , intranukleäres NF- κ B) sowie für die Bildung von freien Sauerstoffradikalen (durch Reduktion der Bildung des Proteins p47, s.u.) konnte eine reduzierte Bildung und/oder Aktivität gezeigt werden [82-84]. Es ist erwiesen, dass die Insulinresistenz, welche im Rahmen des Postaggressionsstoffwechsels innerhalb weniger Stunden auftritt, vor allem eine Störung der Glukosespeicherung (vor allem als Glykogen im Skelettmuskel) bei gleichzeitig erhaltener Glukoseoxidation zur Folge hat [85]. Carlson konnte in einer im Jahre 2004 veröffentlichten Arbeit zeigen, dass exogen zugeführtes Insulin einen positiven Effekt auf diesen Signalweg und damit die Glukoseverwertbarkeit durch den Organismus hat [86]. Jeschke et al. untersuchten bei pädiatrischen brandverletzten Patienten die Effektivität einer Insulintherapie, indem sie die Patienten, welche Verbrennungen von mehr als 40% der Körperoberfläche in zwei Gruppen aufteilten: Die Therapiegruppe erhielt Insulin, um einen Blutglukosespiegel von weniger als 180 mg/dL einzustellen; die Kontrollgruppe enthielt Patienten, die kein Insulin benötigten, um den Blutglukosespiegel in diesem Bereich zu halten. Hierbei wurde für die Insulintherapiegruppe eine verminderte proinflammatorische Reaktion mit reduzierten Spiegeln von proinflammatorischen Zytokinen und Akut-Phase-Proteinen nachgewiesen während die Plasmaspiegel antiinflammatorischer Zytokine und IGF-I erhöht und die Leberfunktion verbessert war [55]. Weitere anabole Effekte des Insulins beim kritisch kranken Patienten sind eine erhöhte Aufnahme von Aminosäuren und eine erhöhte Proteinbiosynthese, vor allem in der Skelettmuskulatur [87-91]. Es stellt sich die Frage, weshalb eine Normoglykämie Ziel der Behandlung mit einer intensivierten

Insulintherapie und nicht allein die Gabe von Insulin ohne Wahrung einer Normoglykämie ausreichend ist: Es sind zahlreiche durch eine Hyperglykämie ausgelöste oder verstärkte Faktoren bekannt, welche den Krankheitsverlauf bzw. Gesundheitszustand negativ beeinflussen¹. In tierexperimentellen Studien wurden durch Hyperglykämie ausgelöste proinflammatorische Effekte beobachtet (erhöhte Leukozytentransmigration in mesenterischen Gefäßen, verbunden mit Erhöhung der gefäßendothelialen NO-Freisetzung, erhöhte Leukozytenadhärenz, erhöhte Expression von P-Selektin, Störungen von Chemotaxis und Phagozytose) [1, 92]. Die Bildung freier Radikale, insbesondere des Sauerstoffradikals $O_2^{\bullet -}$ ist erhöht [93]. Diese freien Radikale besitzen die Fähigkeit, Botenstoffe wie Prostaglandin I₂ sowie NO zu inaktivieren [94, 95]. Gleichzeitig wurde bei Hyperglykämie eine Erhöhung der Expression des Proteins p47, Schlüsselprotein der NADPH-Oxidase, beobachtet. Es wird vermutet, dass die erhöhte Bildung freier Radikale direkt durch die Aktivierung der NADPH-Oxidase ausgelöst wird. Hierdurch kommt es zu einer Depletion von antioxidativen Agenzien wie α -Tocopherol [96-98]. Es wird demzufolge angenommen: Hyperglykämie \rightarrow Aktivierung der NADPH-Oxidase \rightarrow Bildung freier Radikale \rightarrow Depletion antioxidativer Agenzien mit daraus folgendem oxidativem und proinflammatorischem Stress. Esposito et al. wiesen in einer Studie mit gesunden Probanden und solchen mit einer gestörten Glukosetoleranz nach, dass eine Hyperglykämie mit einer Erhöhung der Konzentration proinflammatorischer Mediatoren einhergeht und oxidativen Stress induziert [99]. Ferner konnte eine Erhöhung der Aktivität der COX2 vor allem in Endothelzellen nachgewiesen werden. Infolgedessen kommt es zu einer Erhöhung proinflammatorischer Zytokine (u.a. Leukotrien B₄) über den Eikosanoid-Pathway. Kurzfristig löst eine Hyperglykämie durch Glukosurie und Dehydration Störungen im Flüssigkeitshaushalt aus [100]. Der

¹ Die Diskussion bezieht sich hier auf die akute Hyperglykämie des kritisch kranken (auch nichtdiabetischen) Patienten, nicht auf die Langzeiteffekte der diabetischen Hyperglykämie oder Akutzustände wie das hyperosmolare oder ketoazidotische Koma.

neuroprotektive Effekt der Insulintherapie mag zudem auch (mit)ursächlich für eine verringerte Beatmungsdauer sein [80]. Die Gesamtheit der Studien (welche den positiven Effekt des Insulins und den schädigenden Einfluss einer Hyperglykämie behandeln) bietet Erklärungsansätze für die positiven Effekte einer intensivierten Insulintherapie bezüglich der Mortalität und Morbidität sowie dafür, weshalb diese Effekte vor allem bei postoperativen sowie Trauma-Patienten und bei Patienten mit einer Septikämie beobachtet werden konnten – ein Beweis für den Zusammenhang ist allerdings bisher nicht erbracht und kann daher nur vermutet werden.

Es ist nach wie vor nicht geklärt ob eine frühe respektive eine persistierende Hyperglykämie Aussagekraft als prädiktiver Wert bezüglich Erkrankungsschwere, Morbidität und Mortalität besitzt. Die in Kapitel 3.6 dargestellten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit konnten diesbezüglich keine signifikanten Zusammenhänge darstellen – weder ein besonders niedriger noch ein besonders hoher Blutglukosespiegel bei Aufnahme auf die Intensivstation korrelierten signifikant mit dem Auftreten von Infektionen, dem Bedarf an intensivtherapeutischen Massnahmen, den APACHE II- und SAPS II-Scores oder der Mortalität; ebenso konnten die mittleren Blutglukosespiegel von Patienten, welche keine intensivierete Insulintherapie erhielten, nicht in eine signifikante Korrelation zu den genannten Parametern gesetzt werden. In Ergänzung zu den in Kapitel 3.5 aufgeführten Ergebnissen ist zu erwähnen, dass auch in Subkollektiven (Vorliegen einer diabetischen Erkrankung, Liegedauer, Erkrankungsschwere) keine signifikante Korrelation der Blutglukosespiegel zu Mortalität und Morbidität nachweisbar war. Nach den Ergebnissen dieser Studie ist der Blutglukosespiegel operativer Intensivpatienten somit nicht als prädiktiver Wert in Bezug auf Mortalität und Morbidität verwendbar. In der Tat scheint nach der bisherigen Erkenntnislage die Erkrankungsart diesbezüglich eine Rolle zu spielen: Für thorax- und kardiochirurgische, neurochirurgische und kardiologische (nichtdiabetische) Patienten konnte in Studien ein signifikanter Zusammenhang zwischen

einer bei Aufnahme bestehenden Hyperglykämie und einer erhöhten Mortalität nachgewiesen werden, während für viszeralchirurgische und internistische Patienten sowie für Patienten, die an Diabetes mellitus erkrankt sind ein solcher Zusammenhang nicht gezeigt werden konnte [101]. Für eine große, (in Bezug auf die Fachrichtung) gemischte Population konnte in [102] wiederum ein Zusammenhang zwischen einer Hyperglykämie bei Aufnahme und einem verschlechterten Outcome (in Bezug auf die Mortalität) nachgewiesen werden; auch hier war dieser Zusammenhang allerdings nur für nichtdiabetische Patienten nachweisbar. In einer Studie auf einer medizinischen Intensivstation konnten Ligtenberg et al. keinen Zusammenhang zwischen dem mittleren Blutglukosespiegel und der Mortalität nachweisen [103].

Wesentlicher Aspekt einer jeden pharmakologischen Therapie ist stets die klinische Anwendungssicherheit für den Patienten. Sowohl in der vorliegenden Arbeit wie auch in anderen Studien war ein verstärktes (überzufällig häufiges) Auftreten von hypoglykämischen Zuständen die offensichtlichste und häufigste unerwünschte Wirkung. In der ersten Studie von van den Berghe et al. bei kardiochirurgischen Patienten [2] war die Hypoglykämie definiert als Blutglukosewert ≤ 40 mg/dL und trat bei 6 Patienten in der Kontrollgruppe sowie bei 39 Patienten in der Therapiegruppe auf (Signifikanz in der Veröffentlichung nicht angegeben). Bei zwei dieser Patienten zeigten sich als Symptome Kaltschweißigkeit und Agitiertheit, es wurden jedoch keine Fälle von hämodynamisch relevanten Veränderungen oder Krampfanfällen beobachtet. In der zweiten Studie von van den Berghe bei internistischen Intensivpatienten [72] traten Hypoglykämien in der Therapiegruppe ebenfalls signifikant häufiger auf. Krinsley unterteilte in seiner Arbeit die Hypoglykämien in schwere und mäßige Hypoglykämien ein [54]: Als schwere Hypoglykämie wurden Blutglukosespiegel von ≤ 40 mg/dL definiert, als milde Hypoglykämie Blutglukosespiegel von 40-59 mg/dL. Eine schwere Hypoglykämie trat bei 0,35% der Patienten der Kontroll- und bei 0,34% in der Therapiegruppe

($p=0,89$) auf. Milde Hypoglykämien traten bei 0,54% in der Kontroll- und bei 1,02% in der Therapiegruppe auf ($p=0,02$). In der vorliegenden Arbeit wurden die Hypoglykämien ebenfalls in zwei Kategorien (milde und schwere Hypoglykämie; Definitionen siehe Kapitel 2.2.2.3) unterteilt. Wie bereits in Kapitel 2.4 erwähnt, wurde vor Beginn der Datenerfassung für die vorliegende Arbeit bereits mit einem Protokoll für die intensivierete Insulintherapie gearbeitet. Auch wenn die Daten aus dieser Episode nicht erfasst wurden, ist erwähnenswert, dass hier ein durch Hypoglykämie induzierter zerebraler Krampfanfall als Nebenwirkung der Insulintherapie auftrat, woraufhin das Protokoll (siehe Kapitel 2.4) modifiziert wurde. Während der Erfassungsperiode traten in der Kontrollgruppe bei 9 Patienten (6,9%) milde, bei einem Patienten (0,8%) eine schwere Hypoglykämie auf. In der Therapiegruppe traten bei 21 Patienten (17,9%) leichte, bei 5 Patienten (4,3%) schwere Hypoglykämien auf, wobei der Unterschied nur für das Auftreten leichter Hypoglykämien signifikant war ($p=0,011$).

Nach Veröffentlichung der zweiten van den Berghe-Studie [72] verstärkte sich die wissenschaftliche Debatte über Nutzen und potentielle Risiken der intensivierten Insulintherapie. Ein bei Medscape veröffentlichter Artikel [104] beinhaltet eine Diskussion zwischen G. van den Berghe und A. Malhotra, Autor des Editorials im New England Journal of Medicine in der Ausgabe vom 2. Februar 2006 [76], jener Ausgabe, in der besagte Studie von van den Berghe et al. veröffentlicht wurde. Malhotra interpretiert das Gesamtoutcome der Studie als negativ, räumt allerdings ein, dass Ergebnisse von Subgruppen „interessant“ seien. Van den Berghe, die nach den Ergebnissen der Studie die intensivierete Insulintherapie auf der internistischen Intensivstation als festen Bestandteil der Intensivtherapie einführte, entgegnet, dass selbst bei konservativer Betrachtungsweise die „Ergebnisse nicht als negativ bezeichnet werden könnten.“ Malhotra kritisiert hier neben methodischen Mängeln (Zuweisung bestimmter Patienten in eine bestimmte Subgruppe nach bereits erfolgter Randomisierung) vor allem, dass die 28-Tage-Mortalität keinen

Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen zeigen konnte (30% in der Vergleichsgruppe vs. 29,9% in der Therapiegruppe, $p=0,9$). Ein definitiver Beweis für die Wirksamkeit der intensivierten Insulintherapie stehe zudem noch aus und die potentielle Gefährdung von Patienten durch die Therapie sei ebenfalls nicht geklärt. Malhotra bezieht sich hierbei auf die Ergebnisse einer deutschen Studie, welche früh gestoppt wurde, da kein Unterschied in Mortalität und Morbidität festgestellt wurde, dafür aber häufig Hypoglykämien auftraten (12,1% in der Therapie- vs. 2,1% in der Kontrollgruppe, $p<0,001$) [105]. Er folgert, dass derzeit somit Unklarheit darüber bestehe, ob und welche Patienten eine intensivierte Insulintherapie erhalten sollten und verweist auf zwei derzeit laufende große Studien, deren Ergebnisse mehr Klarheit versprechen: Die europäische GluControl-Studie mit 3500 Patienten [106] sowie die australisch-neuseeländisch-kanadische Multicenterstudie NICE-SUGAR mit 4500 Patienten [107]. Die Datenerfassung der GluControl-Studie ist gegenwärtig bereits abgeschlossen, Ergebnisse wurden jedoch bisher aus keiner der beiden Studien veröffentlicht. Van den Berghe hingegen bezieht sich in diesem Artikel auf die deutlich gesenkte Mortalität in der Gruppe der Patienten, welche mehr als 3 Tage auf der Intensivstation verweilten (52,5% in der Kontroll-, 43% in der Therapiegruppe, $p=0,009$) sowie auf die Prävention von neu erworbenen Nierenschäden in der Therapiegruppe mit folglich gesenktem Bedarf an Nierenersatzverfahren sowie auf die gesenkte durchschnittliche Beatmungsdauer. Die Ersparnis durch die intensivierte Insulintherapie beziffert sie auf 3000 US-\$ pro Patient. Eine Analyse der Kosteneffektivität der intensivierten Insulintherapie wurde bisher nicht veröffentlicht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die intensivierte Insulintherapie großes Potential in der Intensivtherapie zu haben scheint und die pathophysiologischen Erklärungsansätze für die Wirksamkeit einer intensivierten Insulintherapie in den vergangenen Jahren zunehmend besser geklärt wurden. Es bleiben jedoch Zweifel an der tatsächlichen Effektivität

und der klinischen Anwendungssicherheit bestehen, die durch Folgestudien geklärt werden müssen. Die Ergebnisse der GluControl- sowie der NICE-SUGAR-Studie werden hierzu vermutlich einen wesentlichen Beitrag leisten. Bis die Datenlage also durch diese und/oder weitere Studienergebnisse gesichert ist sollte die intensivierete Insulintherapie daher nur mit Bedacht durch geschultes Personal und unter ständiger Kontrolle des Blutglukosespiegels erfolgen, um unerwünschte Nebenwirkungen zu minimieren.

5 ABSTRACT

Sebastian Kokemohr

„Einführung einer intensivierten Insulintherapie im Rahmen der Behandlung operativer Intensivpatienten“

- Problem:** Hyperglykämie und periphere Insulinresistenz sind bei operativen Intensivpatienten ein regelmäßig auftretendes Phänomen, auch wenn keine diabetische Vorerkrankung vorliegt. Studien lassen erwarten, dass eine intensivierte Insulintherapie mit intravenöser Insulingabe nach festem Schema und Vorgabe eines Zielbereiches für den Blutglukosewert eine signifikante Verbesserung der Morbidität und Mortalität nach sich zieht. Diese Studie behandelt die Einführung einer solchen Therapie auf der operativen Intensivstation des Marienhospitals Herne und soll Maßnahmen, Möglichkeiten und Gefahren einer solchen Therapie aufzeigen.
- Methoden:** Retrospektive (nicht randomisierte) Analyse der Daten von 247 Patienten, davon 130 als Kontrollgruppe (Daten aus dem Jahr 2003) ohne regelmäßige intravenöse Insulingabe und ohne Vorgabe eines Zielbereiches für den Blutglukosewert, 117 als Therapiegruppe (Daten aus den Jahren 2005 und 2006) mit intravenöser Insulingabe nach einem festen Schema zum Erreichen eines Blutglukosewertes von 90-120 mg/dL. Primärer Outcome-Faktor war hierbei die Mortalität auf Intensivstation, sekundäre Outcome-Faktoren waren diverse Morbiditätsparameter und die Mortalität im weiteren Verlauf des Krankenhausaufenthaltes.
- Ergebnisse:** Es konnte in der Therapiegruppe eine signifikante Reduktion des mittleren Blutglukosespiegels erzielt werden. Eine signifikante Reduktion von Morbidität oder Mortalität wurde in der Therapiegruppe nicht erzielt. Septische Krankheitsverläufe, der Verbrauch von Antibiotika und gefrorenem Frischplasma lag in der Therapiegruppe signifikant höher als in der Vergleichsgruppe. Hypoglykämie Zustände traten in der Therapiegruppe signifikant häufiger auf.
- Diskussion:** Trotz viel versprechender Ergebnisse größerer Studien und der Entdeckung pathophysiologischer Zusammenhänge, welche Erklärungsansätze für ein verbessertes Outcome kritisch kranker Intensivpatienten durch die intensivierte Insulintherapie bieten, zeigen diese Studie wie auch in jüngster Vergangenheit publizierte größere Studien heterogene Ergebnisse. Signifikant häufig wird als Problem vor allem die Hypoglykämie bei Patienten, welche eine intensivierte Insulintherapie erhalten, beobachtet. Dies, sowie die fortbestehende wissenschaftliche Diskussion zu diesem Thema zeigen, dass weitere (nach Möglichkeit multizentrische, randomisierte) Studien sowie eine Verbesserung der Insulintherapieprotokolle nötig sind, um die Anwendungssicherheit zu erhöhen und um schlussendlich Aussagen darüber treffen zu können, welche Patienten von einer solchen Therapie profitieren. Solche Studien sind mit der NICE-SUGAR- sowie der GluControl-Studie derzeit in Arbeit.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Montori, VM, Bistran, BR, McMahon, MM (2002). *Hyperglycemia in acutely ill patients*. *Jama*, **288**, 2167-2169.
- [2] van den Berghe, G, Wouters, P, Weekers, F, Verwaest, C, Bruyninckx, F, Schetz, M, Vlasselaers, D, Ferdinande, P, Lauwers, P, Bouillon, R (2001). *Intensive insulin therapy in critically ill patients*. *N Engl J Med*, **345**, 1359-1367.
- [3] Goodner, C, Walike, B, Koerker, D (1977). *Insulin, glucagon and glucose exhibit synchronous, sustained oscillations in fasting monkeys*. *Science*, **195**, 177.
- [4] Yasuda, K, Yamada, Y, Inagaki, N (1992). *Expression of GLUT1 and GLUT2 glucose transporter isoforms in rat islets of Langerhans and their regulation by glucose*. *Diabetes*, **41**, 76.
- [5] Liang, Y, Cushman, S, Whitesell, R, Matschinsky, F (1997). *GLUT1 is adequate for glucose uptake in GLUT2-deficient insulin-releasing beta cells*. *Horm Metab Res*, **29**, 255.
- [6] Matschinsky, F, Liang, Y, Kesavan, P (1993). *Glucokinase as pancreatic beta-cell glucose sensor and diabetes gene*. *J Clin Invest*, **92**, 2092.
- [7] *Insulin secretion and pancreatic beta-cell function*. (Zugriff vom: 28.10.2006), UpToDate, Quelle:
<http://www.utdol.com/utd/content/topic.do?topicKey=diabetes/22515&view=print>
- [8] *Structure and function of the insulin receptor*. (Zugriff vom: 26.11.2006), Quelle:
<http://www.utdol.com/utd/content/topic.do?topicKey=diabetes/13268&view=print>
- [9] Luo, R, Beniac, D, Fernandes, A (1999). *Quaternary structure of the insulin-insulin receptor complex*. *Science*, **285**, 1077.
- [10] *Insulin-Signaltransduktion*. (Zugriff vom: 27.11.2006), Quelle:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:InsST.png>
Das Originalbild steht unter der GNU FDL (GNU Free Documentation License). Das hier erstellte (an das Original angelehnte) Bild steht somit ebenfalls unter derselben Lizenz.

- [11] *Insulin*. (Zugriff vom: 22.11.2006), Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Insulin>
- [12] Farese, R, Yost, T, Eckel, R (1991). *Tissue-specific regulation of lipoprotein lipase activity by insulin/glucose in normal-weight humans*. *Metabolism*, **40**, 214.
- [13] Vaughan, M, Steinberg, D (1965). *Glyceride biosynthesis, glyceride breakdown and glycogen breakdown in adipose tissue: mechanism and regulation*. Aus: AR Renold, GF Cahill: *Handbook of physiology, adipose tissue*, Vol. 24, American Physiological Society, Washington, DC, 239.
- [14] Stralfors, P, Bjorgell, P, Belfrage, P (1984). *Hormonal regulation of hormone-sensitive lipase in intact adipocytes: identification of phosphorylated sites and effects on the phosphorylation by lipolytic hormones and insulin*. *Proc Natl Acad Sci USA*, **81**, 3317.
- [15] Pagliassotti, M, Moore, M, Neal, D, Cherrington, A (1992). *Insulin is required for the liver to respond to intraportal glucose delivery in the conscious dog*. *Diabetes*, **41**, 1247-1256.
- [16] Brännler, T, Wrede, C (2005). *Endokrine Störungen bei kritisch Kranken*. *Intensivmed*, **42**, 639-652.
- [17] Bernard, C, *Lecons sur le Diabete et la Glycogenase Animale*. (1877). Paris, Baillière.
- [18] Capes, SE, Hunt, D, Malmberg, K, Gerstein, GC (2000). *Stress hyperglycaemia and increased risk of death in patients with and without diabetes: a systematic overview*. *Lancet*, **355**, 773-778.
- [19] Frankenfield, DC, Omert, LA, Bedellino, MM (1994). *Correlation between measured energy expenditure and clinically obtained values in trauma and sepsis patients*. *J Parent Ent Nutr*, **18**, 398-403.
- [20] Mizock, BA (2001). *Alterations in fuel metabolism in critical illness: hyperglycaemia*. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, **15**, 533-551.
- [21] Chrousos, GP (1995). *The hypothalamic-pituitary-adrenal axis and immune-mediated inflammation*. *N Engl J Med*, **332**, 1351-1362.
- [22] Zaloga, G, Marik, PE (2001). *Hypothalamic-pituitary-adrenal insufficiency*. *Crit Care Clin*, **17**, 25-41.

- [23] Barton, R, Stoner, H, Watson, H (1987). *Relationships among plasma cortisol, adrenocorticotropin and severity of injury in recently injured patients*. J Trauma, **27**, 384-392.
- [24] Weigand, MA, Bardenheuer, HJ, Bottiger, BW (2003). *Klinisches Management bei Patienten mit Sepsis*. Anaesthesist, **52**, 3-22.
- [25] Moran, J, Chapman, M, O'Fathartaigh, M, Leppard, P (1994). *Hypercortisolaemia and adrenocortical responsiveness at onset of septic shock*. Intensive Care Med, **20**, 489-495.
- [26] Frayn, K, Little, R, Maycock, P, Stoner, H (1985). *The relationship of plasma catecholamines to acute metabolic and hormonal responses to injury in man*. Circulatory Shock, **16**, 229-240.
- [27] Frayn, K (1986). *Hormonal control of metabolism in trauma and sepsis*. Clin Endocrinol, **24**, 577-599.
- [28] Barton, R (1985). *Neuroendocrine mobilization of body fuels after injury*. British Medical Bulletin, **41**, 218-225.
- [29] Siegel, J, Cerra, F, Coleman, B (1979). *Physiological and metabolic correlations in human sepsis*. Surgery, **86**, 163-193.
- [30] Wolfe, RR (1997). *Substrate utilization/insulin resistance in sepsis/trauma*. Baillière's Clinical Endocrinology and Metabolism, **11**, 645-647.
- [31] Lewis, KS, Kane-Gill, SL, Bobek, MB, Dasta, JF (2004). *Intensive insulin therapy for critically ill patients*. Ann Pharmacother, **38**, 1243-1251.
- [32] Memon, R, Feingold, K, Grunfeld, C (1997). *Cytokines and intermediary metabolism*. Aus: DG Remick, JS Friedland: *Cytokines in health and disease*, Vol. 2, New York, 381-399.
- [33] Lang, C, Dobrescu, C, Bagby, G (1992). *Tumor necrosis factor impairs insulin action on peripheral glucose disposal and hepatic glucose output*. Endocrinology, **130**, 43-52.
- [34] Koivisto, V, Pelkonen, R, Cantell, K (1989). *Effect of interferon on glucose tolerance and insulin sensitivity*. Diabetes, **38**, 641-647.
- [35] Lang, C, Molina, P, Yousef, K (Role of IL-1 alpha in central nervous system immunomodulation of glucoregulation). 1993. Brain Research, **324**, 53-60.

- [36] Petit, F, Jarrous, A, Dickinson, R (1994). *Contribution of central and peripheral adrenergic stimulation to IL-1 alpha-mediated gluco-regulation*. Am J Physiol, **267**, E49-E56.
- [37] Stumvoll, M, Periello, G, Meyer, C, Herich, J (1999). *Role of glutamine in human carbohydrate metabolism in kidney and other tissues*. Kidney International, **55**, 778-792.
- [38] Wilmore, D, Goodwin, C, Aulick, L (1980). *Effect of injury and infection on visceral metabolism and circulation*. Ann Surg, **192**, 491-504.
- [39] Kellum, J, Kramer, D, Lee, K (1997). *Release of lactate by the lung iun acute lung injury*. Chest, **111**, 1301-1305.
- [40] Haji-Michael, P, Ladriere, L, Sener, A (1999). *Leukocyte glycolysis and lactate output in animal sepsis and ex vivo human blood*. Metabolism, **48**, 779-785.
- [41] Mizock, BA (1995). *Alterations in carbohydrate metabolism during stress: a review of the literature*. Journal of Medicine, **98**, 75-84.
- [42] Wolfe, RR (1987). *Carbohydrate metabolism in the critically ill patient*. Crit Care Clin, **3**, 11-24.
- [43] Tappy, L, Cayeux, M, Schneiter, P (1995). *Effects of lactate on glucose metabolism in healthy subjects and in severly injured hyperglycemic patients*. Am J Physiol, **268**, E630-E635.
- [44] Mezaros, K, Lang, C, Bagby, G, Spitzer, J (1987). *Contribution of different organs to increased glucose consumption after endotoxin administration*. J Biol Chem, **262**, 10965-10970.
- [45] Lang, C, Brobrescu, C (1991). *Gram-negative infection increases noninsulin-mediated glucose disposal*. Endocrinology, **128**, 645-653.
- [46] Meszaros, K, Lang, C, Bagby, G, Spitzer, J (1987). *Tumor necrosis factor increases in vivo glucose utilization of macrophage-rich tissues*. Biochemical and Biophysical Research Communications, **149**, 1-6.
- [47] Bird, T, Davies, A, Baldwin, S, Saklatvala, J (1990). *Interleukin-1 stimulates hexose transport in fibroblasts by increasing the expression of glucose transporters*. J Biol Chem, **265**, 13578-13583.

- [48] Shangraw, R, Jahoor, F, Miyoshi, H (1989). *Differentiation between septic and postburn insulin resistance*. *Metabolism*, **38**, 983-989.
- [49] Moller, D, Flier, J (1991). *Insulin resistance - mechanisms, syndromes and implications*. *N Engl J Med*, **325**, 938.
- [50] Lang, C (1993). *Mechanism of insulin resistance in infection*. Aus: G Schlag, H Radl: *Pathophysiology of shock, sepsis and organ failure*, Springer Verlag, Berlin, 609-625.
- [51] del Aguila, L, Claffey, K, Kirwan, J (1999). *TNF alpha impairs insulin signaling and insulin stimulation of glucose uptake in C₂C₁₂ muscle cells*. *Am J Physiol*, **276**, E849-E855.
- [52] Wolfe, RR, Burke, J (1978). *Glucose and lactate metabolism in experimental septic shock*. *Am J Physiol*, **235**, R219-R227.
- [53] Iynedjian, P (1993). *Mammalian glucokinase and its gene*. *Biochemical Journal*, **293**, 1-13.
- [54] Krinsley, JS (2004). *Effect of an intensive glucose management protocol on the mortality of critically ill adult patients*. *Mayo Clin Proc*, **79**, 992-1000.
- [55] Jeschke, MG (2003). *Intensivierte Insulintherapie bei Sepsis*. *Anaesthesist*, **52 Suppl 1**, 20-23.
- [56] Jeschke, MG, Klein, D, Herndon, DN (2004). *Insulin treatment improves the systemic inflammatory reaction to severe trauma*. *Ann Surg*, **239**, 553-560.
- [57] Klein, D, Schubert, T, Horch, RE, Jauch, KW, Jeschke, MG (2004). *Insulin treatment improves hepatic morphology and function through modulation of hepatic signals after severe trauma*. *Ann Surg*, **240**, 340-349.
- [58] Van den Berghe, G, Wouters, PJ, Bouillon, R, Weekers, F, Verwaest, C, Schetz, M, Vlasselaers, D, Ferdinande, P, Lauwers, P (2003). *Outcome benefit of intensive insulin therapy in the critically ill: Insulin dose versus glycemic control*. *Crit Care Med*, **31**, 359-366.
- [59] Solano, T, Totaro, R (2004). *Insulin therapy in critically ill patients*. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, **7**, 199-205.

- [60] Mesotten, D, Van den Berghe, G (2003). *Clinical potential of insulin therapy in critically ill patients*. *Drugs*, **63**, 625-636.
- [61] Knaus, WA, Draper, EA, Wagner, DP, Zimmerman, JE (1985). *APACHE II: a severity of disease classification system*. *Crit Care Med*, **13**, 818-829.
- [62] Le Gall, JR, Lemeshow, S, Saulnier, F (1993). *A new simplified acute Physiology Score (SAPS II) based on a European/North American multicenter study*. *JAMA*, **270**, 2957-2963.
- [63] SFAR. *APACHE II Calculator*. (Zugriff vom: 2004-2006), Quelle: <http://www.sfar.org/scores2/apache22.html>
- [64] SFAR. *SAPS II Calculator*. (Zugriff vom: 2004-06), Quelle: <http://www.sfar.org/scores2/saps2.html>
- [65] *Definition nosokomialer Infektionen (CDC-Definitionen)*. (2003) 4. Auflage, Nationales Referenzzentrum (NRZ) für Surveillance nosokomialer Infektionen. Berlin, Robert-Koch-Institut.
- [66] Bertolini, G, Latronico, N, Brazzi, L, Radrizzani, D (2003). *Insulin dose or glycemic control for the critically ill?* *Crit Care Med*, **31**, 2565-2566; author reply 2566.
- [67] Kanji, S, Singh, A, Tierney, M, Meggison, H, McIntyre, L, Hebert, PC (2004). *Standardization of intravenous insulin therapy improves the efficiency and safety of blood glucose control in critically ill adults*. *Intensive Care Med*, **30**, 804-810.
- [68] Finney, SJ, Zekveld, C, Elia, A, Evans, TW (2003). *Glucose control and mortality in critically ill patients*. *JAMA*, **290**, 2041-2047.
- [69] Pittas, AG, Siegel, RD, Lau, J (2004). *Insulin therapy for critically ill hospitalized patients: A meta-analysis of randomized controlled trials*. *Arch Intern Med*, **164**, 2005-2011.
- [70] Malmberg, K (1999). *Prospective randomised study of intensive insulin treatment on long term survival after acute myocardial infarction in patients with diabetes mellitus. DIGAMI (Diabetes Mellitus, Insulin Glucose Infusion Acute Myocardial Infarction) Study Group*. *BMJ*, **1997**, 1512-1515.
- [71] Szabo, Z, Hakanson, E, Maros, T, Svedjeholm, R (2003). *High-dose glucose-insulin-potassium after cardiac surgery: a retrospective*

- analysis of clinical safety issues. Acta Anaesthesiol Scand*, **47**, 383-390.
- [72] Van den Berghe, G, Wilmer, A, Hermans, G, Meersseman, W, Wouters, P, Milants, I, van Wijngaerden, E, Bobbaers, H, Bouillon, R (2006). *Intensive insulin therapy in the medical ICU. N Engl J Med*, **354**, 449-461.
- [73] Coursin, DB, Connery, LE, Ketzler, JT (2004). *Perioperative diabetic and hyperglycemic management issues. Crit Care Med*, **32**, S116-125.
- [74] Angus, D, Abraham, E (2005). *Intensive Insulin therapy in critical illness. Am J Respir Crit Care*, **172**, 1358-1359.
- [75] Bellomo, R, Egi, M (2005). *Glycemic Control in the Intensive Care Unit: Why we should wait for NICE-SUGAR. Mayo Clin Proc*, **80**, 1546-1548.
- [76] Malhotra, A (2006). *Intensive Insulin in Intensive Care. N Engl J Med*, **354**, 516.
- [77] Johan Groeneveld, AB, Beishuizen, A, Visser, FC (2002). *Insulin: a wonder drug in the critically ill? Crit Care*, **6**, 102-105.
- [78] Furnary, A, Zerr, K, Grunkemeier, G, Starr, A (1999). *Continuous intravenous insulin infusion reduces the incidence of deep sternal wound infection in diabetic patients after cardiac surgical procedures. Ann Thorac Surg*, **67**, 352-360.
- [79] Furnary, A, Gao, G, Grunkemeier, G (2003). *Continuous insulin infusion reduces mortality in patients with diabetes undergoing coronary artery bypass grafting. J Thorac Cardiovasc Surg*, **125**, 1007-1021.
- [80] Van den Berghe, G, Schoonheydt, K, Becx, P, Bruyninckx, F, Wouters, P (2005). *Insulin therapy protects the central and peripheral nervous system of intensive care patients. Neurology*, **64**, 1348-1353.
- [81] Jeschke, MG, Einspanier, R, Klein, D, Jauch, KW (2002). *Insulin attenuates the systemic inflammatory response to thermal trauma. Mol Med*, **8**, 443-450.

- [82] Das, UN (2000). *Possible beneficial action(s) of glucose-insulin-potassium regimen in acute myocardial infarction and inflammatory conditions: a hypothesis*. Diabetologia, **43**, 1081-1082.
- [83] Dandona, P, Aljada, A, Mohanty, P, Ghanim, H, Hamouda, W, Assian, E, Ahmad, S (2001). *Insulin inhibits intranuclear nuclear factor kappaB and stimulates IkappaB in mononuclear cells in obese subjects: evidence for an anti-inflammatory effect?* J Clin Endocrinol Metab, **86**, 3257-3265.
- [84] Das, UN (2001). *Is insulin an anti-inflammatory molecule?* Nutrition, **17**, 409-413.
- [85] Saeed, M, Carlson, GL, Little, RA, Irving, MH (1999). *Selective impairment of glucose storage in human sepsis*. Br J Surg, **86**, 813-821.
- [86] Carlson, GL (2004). *Hunterian Lecture: Insulin resistance in human sepsis: implications for the nutritional and metabolic care of the critically ill surgical patient*. Ann R Coll Surg Engl, **86**, 75-81.
- [87] Biolo, G, Wolfe, RR (1995). *Physiologic hyperinsulinemia stimulates protein synthesis and enhances transport of select amino acids in human skeletal muscle*. J Clin Invest, **95**, 811-819.
- [88] van den Berghe, G, de Zegher, F, Bouillon, R (1998). *Acute and prolonged critical illness as different neuroendocrine paradigms*. J Clin Endocrinol Metab, **83**, 1827-1834.
- [89] Bennet, WM, Scirmgeour, CM (1990). *Euglycemic hyperinsulinemia augments amino acid uptake by human leg tissue during hyperaminoacidemia*. Am J Physiol, **259**, E185-E194.
- [90] Fryburg, DA, Hill, SA (1995). *Insulin and insulin-like growth factor-I enhances human skeletal muscle protein anabolism during hyperaminoacidemia by different mechanisms*. J Clin Invest, **95**, 1722-1729.
- [91] Gore, DC, Wolf, SE, Sanford, AP, Herndon, DN, Wolfe, RR (2004). *Extremity hyperinsulinemia stimulates muscle protein synthesis in severely injured patients*. Am J Physiol Endocrinol Metab, **286**, E529-534.
- [92] Booth, G, Stalker, T, Lefer, A, Scalia, R (2001). *Elevated ambient glucose induces acute inflammatory events in the microvasculature: effects of insulin*. Am J Physiol, **280**, E848-E856.

- [93] Das, UN (2003). *Insulin: an endogenous cardioprotector*. *Curr Opin Crit Care*, **9**, 375-383.
- [94] Das, UN (2000). *Free radicals, cytokines and nitric oxide in cardiac failure and myocardial infarction*. *Mol Cell Biochem*, **215**, 145-152.
- [95] Laight, D, Kaw, A, Carrier, M (1998). *Interaction between superoxide anion and nitric oxide in the regulation of vascular endothelial cells*. *Br J Pharmacol*, **124**, 238-244.
- [96] Mohan, I, Das, U (1997). *Oxidant stress, anti-oxidants and nitric oxide in non-insulin dependent diabetes mellitus*. *Med Sci Res*, **25**, 55-57.
- [97] Das, UN, Kumar, KV, Mohan, IK (1994). *Lipid peroxides and essential fatty acids in patients with diabetes mellitus and diabetic nephropathy*. *J Nutr Med*, **4**, 149-155.
- [98] Mohanty, P, Hamouda, W, Garg, R (2000). *Glucose challenge stimulates reactive oxygen species (ROS) generation by leukocytes*. *J Clin Endocrinol Metab*, **85**, 2970-2974.
- [99] Esposito, K, Nappo, F, Marfella, R (2002). *Inflammatory cytokine concentrations are acutely increased by hyperglycemia in humans: role of oxidative stress*. *Circulation*, **106**, 2067-2072.
- [100] McCowen, KC, Malhotra, A, Bistrian, BR (2001). *Stress-induced hyperglycemia*. *Crit Care Clin*, **17**, 107-124.
- [101] Oeyen, S (2005). *Admission hyperglycemia and outcome: The ongoing story*. *Crit Care Med*, **33**, 2048-2049.
- [102] Whitcomb, BW, Kimbrough Pradhan, E, Pittas, AG (2005). *Impact of admission hyperglycemia on hospital mortality in various intensive care unit populations*. *Crit Care Med*, **33**, 2772-2777.
- [103] Ligtenberg, JJM, Meijering, S, Stienstra, Y, van der Horst, ICC, Vogelzang, M, Nijsten, MWN, Tulleken, JE, Zijlstra, JG (2006). *Mean glucose level is not an independent risk factor for mortality in mixed ICU patients*. *Intensive Care Med*, **32**, 435-438.
- [104] *New study sparks debate about benefit of intensive insulin therapy*. (Zugriff vom: 21.11.2006), Medscape, Quelle: <http://www.medscape.com/viewarticle/538963>

- [105] Brunkhorst, F, Kuhnt, E, Engel, C (2005). *Intensive insulin therapy in patients with severe sepsis and shock is associated with an increased rate of hypoglycemia. Results from a randomized multicenter study (VISEP)*. Infection, **33**, 19-20.
- [106] *Glucontrol Study: Comparing the effects of two glucose control regimens by insulin in intensive care unit patients*. (Zugriff vom: 24.11.2006), Quelle: <http://clinicaltrials.gov/show/NCT00107601>
- [107] *Normoglycaemia in intensive care evaluation and survival using glucose algorithm regulation (NICE-SUGAR study)*. (Zugriff vom: 24.11.2006), Quelle: <http://clinicaltrials.gov/show/NCT00220987>

7 ANHANG

7.1 Tabelle zur Ermittlung des SAPS II-Punktwertes

Tab. 7.1: Tabelle zur Ermittlung des SAPS II-Punktwertes

Parameter	Wert	Punkte
Art der Aufnahme	Elektiv chirurgisch	0
	Internistisch	6
	Notfallchirurgisch	8
Chronische Erkrankungen	Keine	0
	Metastasierendes Malignom	9
	Maligne hämatologische Erkrankung	10
	AIDS	17
GCS (Punkte)	< 6	26
	6-8	13
	9-10	7
	10-13	5
	14-15	0
Alter (Jahre)	< 40	0
	40-59	7
	60-69	12
	70-74	15
	75-79	16
	≥ 80	18
Systolischer Blutdruck (mmHg)	< 70	13
	70-99	5
	100-199	0
	≥ 200	2
Herzfrequenz (bpm)	< 40	11
	40-69	2
	70-119	0
	120-159	4
	≥ 160	7
Temperatur (° C)	< 39° C	0
	≥ 39° C	3
Mechanisch beatmeter Patient und PaO ₂ /FiO ₂ ... (mmHg)	< 100	11
	100-199	9
	≥ 200	6

Urinmenge (L/d)	< 0,5	11
	0,5-0,999	4
	> 1	0
Serumharnstoff (mg/dL)	< 28	0
	28-83	6
	≥ 84	10
Leukozyten (x 10 ³ /mm ³)	< 1	12
	1-19	0
	≥ 20	3
Serum-Kalium (mmol/L)	< 3	3
	3-4,9	0
	≥ 5	3
Serum-Natrium (mmol/L)	≥ 145	1
	125-144	0
	< 125	5
Serum-Bikarbonat (mmol/L)	< 15	6
	15-19	3
	≥ 20	0
Serum-Bilirubin (gesamt) (mg/dL)	< 4	0
	4-5,9	4
	≥ 6	9

Aus dem resultierenden Punktwert kann mit der folgenden Formel die Sterbewahrscheinlichkeit berechnet werden:

$$\text{Logit}^2 = -7,7631 + 0,0737 * (\text{SAPS II}) + 0,9971 * \ln((\text{SAPS II}) + 1)$$

$$\text{Sterbewahrscheinlichkeit} = \frac{e^{(\text{Logit})}}{1 + e^{(\text{Logit})}}$$

² Logit: Logarithmus eines Odds mit $p \geq 0 \leq 1$ durch Gegenwahrscheinlichkeit (1-p);

$$\text{Logit} = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$$

7.2 Tabelle zur Ermittlung des APACHE II-Punktwertes

Tab 7.2: Tabelle zur Ermittlung des APACHE II-Punktwertes

Parameter	Wert	Punkte	
Temperatur (°C)	≤ 29,9	4	
	30-31,9	3	
	32-33,9	2	
	34-35,9	1	
	36-38,4	0	
	38,5-38,9	1	
	39-40,9	3	
	≥ 41	4	
Arterieller Mitteldruck (mmHg)	≤ 49	4	
	50-69	2	
	70-109	0	
	110-129	2	
	130-159	3	
	≥ 160	4	
Herzfrequenz (bpm)	≤ 39	4	
	40-54	3	
	55-69	2	
	70-109	0	
	110-139	2	
	134-179	3	
	≥ 180	4	
Atemfrequenz (Atemzüge/min)	≤ 5	4	
	6-9	2	
	10-11	1	
	12-24	0	
	25-34	1	
	35-49	3	
	≥ 50	4	
FiO ₂	≥ 0,5 → (A-a)O ₂ (mmHg)	<200	0
		200-349	2
		450-499	3
		≥ 500	4
	< 0,5 → pO ₂ (mmHg)	< 55	4
		55-60	3
		61-69	1
		≥ 70	0

Arterieller pH-Wert	$\geq 7,7$	4
	7,6-7,69	3
	7,5-7,59	1
	7,33-7,49	0
	7,25-7,32	2
	7,15-7,24	3
	$< 7,15$	4

Serum-Natrium (mmol/L)	≥ 180	4
	160-179	3
	155-159	2
	150-154	1
	130-149	0
	120-129	2
	111-119	3
	≤ 110	4

Serum-Kalium (mmol/L)	≥ 7	4
	6-6,9	3
	5,5-5,9	1
	3,5-5,4	0
	3-3,4	1
	2,5-2,9	2
	$\leq 2,5$	4

Serum-Kreatinin (mg/dL)	mit ANV	$\leq 0,6$	4
		0,6-1,4	0
		1,5-1,9	4
		2-3,4	6
		$\geq 3,5$	8
	ohne ANV	$\leq 0,6$	2
		0,6-1,4	0
		1,5-1,9	2
		2-3,4	3
		$\geq 3,5$	4

Hämatokrit (%)	< 20	4
	20-29,9	2
	30-45,9	1
	46-49,9	0
	50-59,9	2
	≥ 60	4

Leukozyten (x 10 ³ /mm ³)	<1	4
	1-2,9	2
	3-14,9	0
	15-19,9	1
	20-39,9	2
	≥ 40	4
GCS	15	0
	14	1
	13	2
	12	3
	11	4
	10	5
	9	6
	8	7
	7	8
	6	9
	5	10
4	11	
3	12	
Alter (Jahre)	≤ 44	0
	45-54	2
	55-64	3
	65-74	5
	≥75	6
Chronische Organinsuffizienz [†] oder immunkompromittierter Patient und...	... keine Operation	5
	... Notfalloperation	5
	... elektive Operation	2

[†]: „chronische Organinsuffizienz“ ist im APACHE II-Score genau definiert. Genaue Informationen dazu sind dem Originalartikel [61] zu entnehmen.

Aus dem resultierenden Punktwert kann mit der folgenden Formel die Sterbewahrscheinlichkeit berechnet werden:

$$\text{Logit} = -3,517 + (\text{APACHE II}) * 0,146$$

$$\text{Sterbewahrscheinlichkeit} = \frac{e^{(\text{Logit})}}{1 + e^{(\text{Logit})}}$$

7.3 Das Leuven-Protokoll

Das sogenannte „Leuven-Protokoll“ ist das von Greet van den Berghe et al. in ihren Studien [2, 72] verwendete Protokoll und hat als Zielwert einen Blutglukosespiegel von 80-110 mg/dL.

Tab. 7.3: Das Leuven-Protokoll

Test	Ergebnis	Maßnahme
Blutglukosemessung bei Aufnahme auf ICU	BG >220 mg/dL	Start der Insulininfusion mit 2-4 IE/h
	BG 110-220 mg/dL	Start der Insulininfusion mit 1-2 IE/h
	BG < 110 mg/dL	Keine Insulininfusion, Messung alle 4 Stunden
Blutglukosemessung alle 1-2 Stunden bis BG im Zielbereich	BG > 140 mg/dL	Insulindosis erhöhen um 1-2 IE/h
	BG 110-140 mg/dL	Insulindosis erhöhen um 0,5-1 IE/h
	BG nähert sich Zielbereich	Insulindosis um 0,1-0,5 IE/h anpassen
Blutglukosemessung alle 4 Stunden	BG nähert sich Zielbereich	Insulindosis um 0,1-0,5 IE/h anpassen
	BG im Zielbereich	Insulindosis belassen
	BG stark fallend	Insulindosis halbieren, Kontrollabstände verkürzen
	BG 60-80 mg/dL	Insulindosis reduzieren, Kontrolle nach einer Stunde
	BG 40-60 mg/dL	Insulin stoppen
	BG < 40 mg/dL	Insulin stoppen, 10 g-weise i.v.-Applikation von Glukose

8 ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte Hilfe durch Dritte durchgeführt und verfasst habe. Die vorliegende Arbeit wurde nicht – auch nicht auszugsweise – an anderen Stellen oder Hochschulen zu Promotions- oder sonstigen Zwecken eingereicht. Es wurde bisher kein sonstiger Promotionsversuch unternommen.

Bochum, den Datum

Sebastian Kokemohr

9 DANKSAGUNG

Mein Dank geht an all diejenigen, die durch Ihre Arbeit und durch Ihren Einsatz zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt:

- Herrn Dr. med. Thomas Reimer, Marienhospital Herne, der mir während der gesamten Zeit stets als Betreuer dieser Arbeit bei jeglichen Fragen hilfreich zur Seite stand.
- Herrn Dr. med. Bernd Miele, Oberarzt der Anästhesiologie am Marienhospital Herne, der mir ebenfalls oft Fragen beantworten konnte.
- Dem gesamten pflegerischen Team der interdisziplinären Intensivstation des Marienhospitals Herne, welchem die praktische Umsetzung des Studienprotokolls oblag.
- Frau Claaßen-Mielke, Institut für medizinische Statistik und Biometrie der Ruhr-Universität Bochum, die mir bei der Erläuterung statistischer Methoden eine unschätzbare Hilfe war.

10 CURRICULUM VITAE

Persönliche Daten

Name:	Sebastian Kokemohr
Geburtsdatum:	24. März 1977
Geburtsort:	Wilhelmshaven
Familienstand:	Ledig
Konfession:	Evangelisch

Schulischer und beruflicher Werdegang

1983-1996	Grundschule und Gymnasium in Wiefelstede, Wilhelmshaven, Jaderberg und Oldenburg
1996	Abitur am Herbartgymnasium Oldenburg
08/1996-04/1997	Angestellter bei Cynox Digital Equipment, Hard- und Softwareentwicklung, Petersfehn
05/1997-08/1998	Zivildienst und anschließendes Praktikum im Altenpflegeheim Westerstede
10/1998-09/2001	Ausbildung zum exam. Krankenpfleger am Reinhard-Nieter-Krankenhaus Wilhelmshaven
10/2001-12/2007	Studium der Humanmedizin an der Ruhr-Universität Bochum
9/2003	Ärztliche Vorprüfung
12/2007	Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung, Approbation
11/2001-08/2006	Berufstätigkeit als Krankenpfleger auf der operativen Intensivstation des St. Josef-Hospitals Bochum sowie der kardiologischen Intensivstation des Marienhospitals Gelsenkirchen

Famulaturen

2004	Anästhesie, ev. Krankenhaus Witten
2004	Anästhesie, Marienhospital Herne
2005	Pädiatrie, Kaduthuruthy Coop. Hospital, Indien
2006	Allgemeinmedizin, Wilhelmshaven

Praktisches Jahr

08/2006-12/2006	Chirurgie, Notfallzentrum Chirurgie, Inselspital Bern, Schweiz
12/2006-4/2007	Neurologie, Knappschaftskrankenhaus Bochum-Langendreer
4/2007-7/2007	Innere Medizin, Notfallzentrum Medizin, Inselspital Bern, Schweiz