

**Druck- und Gasförderverhalten von Über- und
Niederdruckinsufflatoren für die laparoskopische Chirurgie**

Marion Erler

Aus der Urologischen Klinik / Poliklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Univ. Prof. Dr. med. Dr. h. c. A. Hofstetter

**Druck- und Gasförderverhalten von Über- und
Niederdruckinsufflatoren für die laparoskopische Chirurgie**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Marion Erler

aus

Kulmbach

2002

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Univ. Prof. Dr. med. Dr. h. c. A. Hofstetter

Mitberichterstatter: Prof. Dr. F. Willgeroth
Prof. Dr. K. Hallfeldt

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. M. Zellner

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. K. Peter

Tag der mündlichen
Prüfung: 10.10.2002

meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1. Geschichte der Laparoskopie	1
1.1.1. Die Ursprünge (400 v.Chr. – 1805 n.Chr.)	1
1.1.2. Die Jahre 1806 – 1900	1
1.1.3. Die Geburt der Laparoskopie	2
1.1.4. Der Einzug in die Moderne	2
1.2. Laparoskopie heute	3
1.2.1. Anwendungsgebiete der Laparoskopie	3
1.2.2. Vorteile	4
1.2.3. Nachteile	5
1.2.4. Typische Komplikationen der Laparoskopie	5
1.2.5. Komplikationen des Pneumoperitoneums	6
1.3. Prinzipien der Über- und Niederdruckinsufflation	7
1.3.1. Überdruckprinzip	7
1.3.2. Niederdruckprinzip	8
2. MATERIAL UND METHODEN	11
2.1. Material	11
2.2. Methoden	11
2.2.1. In-vitro-Versuchsreihe – Analyse des Insufflatorverhaltens am Modell	11
2.2.1.1. Analyse des Niederdruckinsufflators	12
2.2.1.2. Analyse der Überdruckinsufflatoren	13

2.2.2.	In-vivo-Versuchsreihe – Analyse des Druck- und Gasförderverhaltens der Insufflatoren im Tierversuch	15
2.2.2.1.	Subkutane Fehllage der Veress-Nadel	15
2.2.2.2.	Intraabdominelle Lage	16
2.2.2.3.	Intravesikale Fehllage	17
2.2.2.4.	Intravasale Fehllage: V. cava inferior	19
3.	ERGEBNISSE	22
3.1.	In-vitro-Versuchsreihe – Analyse des Insufflatorverhaltens am Modell	22
3.1.1.	Niederdruckinsufflator HI-TEC® Insufflator 1100	22
3.1.1.1.	Verhalten bei Kompartimentdruck oberhalb der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung am Insufflator	22
3.1.1.2.	Insufflatorverhalten bei Kompartimentdruckzunahme während Gasinsufflation	23
3.1.1.3.	Insufflatorverhalten bei Kompartimentdruckabnahme während Gasinsufflation	23
3.1.2.	Überdruckinsufflatoren	25
3.1.2.1.	WIEST Laparoflator electronic® 3509	25
3.1.2.2.	WOM Surgiflator®	33
3.1.2.3.	WISAP® OP-Pneu electronic 7050	45
3.2.	In-vivo-Versuchsreihe – Analyse des Druck- und Gasförderverhaltens der Insufflatoren im Tierversuch	50
3.2.1.	Subkutane Fehllage der Veress-Nadel	50
3.2.1.1.	HI-TEC® Insufflator 1200	50
3.2.1.2.	WISAP® OP-Pneu electronic 7050	50
3.2.1.3.	STRYKER® High Flow Insufflator	52
3.2.1.4.	WOM Surgiflator®	56
3.2.1.5.	WIEST Laparoflator electronic® 3509	58
3.2.2.	Intraabdominelle Lage der Veress-Kanüle	61
3.2.2.1.	HI-TEC® Insufflator 1200	61
3.2.2.2.	WISAP® OP-Pneu electronic 7050	62

3.2.2.3. STRYKER® High Flow Insufflator	64
3.2.2.4. WOM Surgiflator®	68
3.2.2.5. WIEST Laparoflator electronic® 3509	72
3.2.3. Intravesikale Fehllage der Veress-Nadel	77
3.2.3.1. HI-TEC® Insufflator 1200	77
3.2.3.2. WISAP® OP-Pneu electronic 7050	77
3.2.3.3. WOM Surgiflator®	79
3.2.4. Fehllage der Veress-Nadel in der Vena cava inferior	80
3.2.4.1. HI-TEC® Insufflator 1200	80
3.2.4.2. WISAP® OP-Pneu electronic 7050	80
3.2.4.3. STRYKER® High Flow Insufflator	80
3.2.4.4. WOM Surgiflator®	81
3.2.4.5. WIEST Laparoflator electronic® 3509	82
4. DISKUSSION	83
5. ZUSAMMENFASSUNG	91
6. LITERATURVERZEICHNIS	92
7. DANKSAGUNG	98
8. LEBENSLAUF	99

1. EINLEITUNG

Das Bestreben des Arztes besteht seit jeher darin, den Patienten von Krankheit und Leid zu befreien. Damit dies auf möglichst schonende Weise geschieht, ist er stets darauf bedacht, im Rahmen diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen iatrogene Schäden weitestgehend zu vermeiden. Auf der Suche nach immer neuen Möglichkeiten, Effizienz und Patientenkomfort zu verbessern, wird in weiten Bereichen der Medizin seit langem intensiv Forschung betrieben. Bereits vor über 2000 Jahren überlegte man beispielsweise, wie ein wenig belastender Zugang zu den menschlichen Körperhöhlen erreicht werden kann. Damit war die Methode der Endoskopie begründet.

Initial zu rein diagnostischen Zwecken genutzt, entwickelte sich die endoskopische Technik im Lauf der Zeit auch auf therapeutischem Gebiet. Es entstand die heute etablierte minimal invasive Chirurgie, welche operative Versorgung auf höchstem Niveau mit größtmöglicher Schonung des Patienten vereint.

Trotz der unbestrittenen Vorteile dürfen jedoch keinesfalls ihre potentiellen Risiken übersehen werden.

Nicht zuletzt ist die Komplikationshäufigkeit abhängig von einer Lernphase und der Erfahrung des Operateurs.

Ziel sollte sein, alle vermeidbaren Gefahrenquellen zu beseitigen. Mehr als 50% intraoperativer Todesfälle während laparoskopischer Operationen waren bei *Crist* und *Gadacz* auf technische Komplikationen zurückzuführen (16). Entwickler und Hersteller müssen bemüht sein, instrumenten- und gerätebedingte Gefahrenquellen und Komplikationsmöglichkeiten zu erkennen und technisch zu optimieren.

In unserer Untersuchung sollten die technischen Voraussetzungen des Insufflationsgerätes, einem essentiellen Bestandteil des Equipments laparoskopischer Operationen, analysiert werden. Es galt zu klären, ob diese den Anforderungen gerecht werden.

Ziel der Studie war der Nachweis der Präzision handelsüblicher Insufflatoren hinsichtlich ihres Druck- und Gasförderverhaltens. Vor- und Nachteile von Über- und Niederdruckgeräten sollten im Vergleich herausgestellt werden. Von Interesse war zudem, inwieweit potentielle Risikosituationen intraoperativ apparativ erkannt werden und wie sich die Geräte in solch einer Situation verhalten.

Dazu wurden verschiedene intraoperative Problemsituationen *in vitro* und *in vivo* simuliert. Im Tierversuch erfolgte eine bewußte inkorrekte Platzierung der Veress-Nadel in verschiedenen Gewebekompartimenten. Insbesondere galt das Interesse dabei einer intravasalen Fehllage. Hier besteht die Gefahr einer ungewollten Gasförderung und damit einer gasembolischen Komplikation bei einem Nichterkennen der Fehllage durch den Operateur und / oder das Equipment.

1.1. Geschichte der Laparoskopie

1.1.1. Die Ursprünge (400 v. Chr. – 1805 n. Chr.)

Die Geschichte der Endoskopie beginnt mit der erstmaligen Beschreibung endoskopischer Techniken durch Hippokrates (460 – 375 v. Chr.). Er benutzte ein Spekulum zur Durchführung einer rektalen Untersuchung. Vaginale Spekulen und erste andere einfache gynäkologische Instrumente zur Inspektion des Körperinneren über natürliche Körperöffnungen stammen aus etwa der gleichen Zeit, bestätigt durch Funde in den Ruinen von Pompeji. Auch in Rom beschäftigten sich bereits im 1. Jahrhundert nach Christi Geburt Ärzte mit der Entwicklung diverser Instrumente und geeigneter Untersuchungspositionen für die Gynäkologie. Weitere Abhandlungen zu dieser Thematik finden sich im Babylonischen Talmud um 500 n. Chr. (21, 38).

Von Beginn an war die Untersuchung jeglicher Körperhöhlen limitiert durch das Fehlen adäquater Beleuchtung. In den Anfängen standen lediglich Umgebungslicht und verschiedenste Spiegelsysteme zur Verfügung. Eine wesentliche Verbesserung der Beleuchtungsverhältnisse gelang 1587 durch die Realisierung eines bereits 1519 von Leonardo da Vinci beschriebenen Prinzips zur Fokussierung von Licht durch Giulio Cesare Aranzi. Dennoch war die Beleuchtungssituation noch lange nicht optimal. Trotz intensiver Forschung konnte zunächst kein wesentlicher Fortschritt erzielt werden (21, 38).

1.1.2. Die Jahre 1806 – 1900

Der entscheidende Durchbruch bezüglich der Beleuchtungsproblematik gelang Philipp Bozzini im Jahre 1806, der mit einem speziellen Lichtleitersystem eine neue Ära der Endoskopie einleitete. Zunächst verkannt und von vielen Autoritäten der Ärzteschaft als „Spielzeug“ abgetan, die auch durch vergleichbare Entwicklungen und Verbesserungen von Pierre Salomon Segalas und John D. Fisher in den folgenden Jahren nur partiell von der

tatsächlichen Praktikabilität zu überzeugen waren, erlangte Bozzinis Prinzip in Modifikation durch Antonin J. Desormeaux 1855 endlich die verdiente Anerkennung (21, 39).

Die ständige Suche nach lichtintensiveren Beleuchtungssystemen führte zu der Entdeckung der ersten internen Lichtquelle durch Julius Bruck im Jahre 1867. Maximilian Nitze bediente sich 1879 dieser Technik, um sie bei seinem neu kreierten Zystoskop mit speziellem Linsensystem anzuwenden. Die Perfektionierung des Nitze-Zystoskops erfolgte 1887 durch die Integration der von Thomas A. Edison 1879 erfundenen elektrischen Glühlampe. Dieser Prototyp eines modernen Endoskops ermöglichte, die Untersuchung sämtlicher Körperhöhlen über natürliche Zugänge in der klinischen Routine zu etablieren (21).

Den Zugang zu den geschlossenen Höhlen des Körpers wagte man erstmalig zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

1.1.3. Die Geburt der Laparoskopie

Die erste Inspektion der Bauchhöhle führte Georg Kelling im Jahre 1901 an Hunden durch. Er erkannte die Notwendigkeit des Füllens der Bauchhöhle mit einem Gas, um eine bessere Sicht zu erreichen (53). Über einen Trokar wurde filtrierte Luft in den intraabdominellen Raum eingeblasen. Diese Methode hatte er bereits einige Monate zuvor zur Stillung intraabdomineller Blutungen entwickelt (52). Die Besichtigung der Kavität erfolgte dann mittels eines Nitze-Zystoskops, das durch einen zweiten Trokar eingeführt wurde (53). Hans Christian Jacobaeus wandte diese neue Technik erstmalig in leicht modifizierter Form am Menschen an. Er beschrieb im Jahre 1910 seine ersten Erfahrungen über Thorakoskopie und Laparoskopie an Patienten (48). Ein Jahr später untersuchte Bertram M. Bernheim in den Vereinigten Staaten den ersten Patienten laparoskopisch (21).

1918 lieferte Otto Goetze einen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit bei der Anlage des Pneumoperitoneums: eine „automatische Nadel“ (35). Den Sicherheitsaspekt im Auge hatten auch Benjamin H. Orndoff und Richard Zollikofer. Orndoff entwickelte 1920 eine neue Trokarspitze für einen einfacheren Zugang zu der Bauchhöhle. Von Zollikofer stammt der Vorschlag, das Peritoneum mit Kohlendioxid (CO₂) zu insufflieren (21). Wegbereitend für die weitere Entwicklung der Laparoskopie war unbestritten die Veröffentlichung des ersten Lehrbuches und Atlas der Laparoskopie und Thorakoskopie im Jahre 1927 von Roger Korbsch (21).

1929 führte Heinz Kalk ein verbessertes Laparoskop mit einer 135°-Optik ein und machte sich in den folgenden Jahren verdient um die Einbindung der Biopsie in den laparoskopischen Untersuchungsgang (21, 65).

Das Jahr 1933 bedeutete eine Wende in Bezug auf die Anwendungsgebiete der Laparoskopie. Carl Fervers kann mit der Durchführung der ersten intraabdominellen Adhäsiolelyse als Begründer der therapeutischen Laparoskopie bezeichnet werden (31). Die erste Tubensterilisation erfolgte 1936 durch den Schweizer Boesch, in den Vereinigten Staaten erstmals durch Power und Barnes im Jahre 1941. Dort verwirklichte etwa zu der gleichen Zeit John Carroll Ruddock neue Ideen bezüglich Apparaturen und Instrumentarium, inspiriert durch seine Erfahrungen bei 500 selbst durchgeführten Laparoskopien (21, 64). Eine weitere Verbesserung des Sicherheitsaspektes gelang Janos Veress, der 1938 eine Kanüle zur Brust- und Bauchpunktion entwickelte (104), welche auch heute noch bevorzugt für die Anlage eines Pneumoperitoneums Verwendung findet.

1.1.4. Der Einzug in die Moderne

Wie zum Teil bereits in den 30er Jahren, fand nach dem zweiten Weltkrieg in vielen Ländern, weitgehend unabhängig voneinander, eine stetige Weiterentwicklung in allen Bereichen der Laparoskopie statt. Die weiterführende Forschung vollzog sich zu dieser Zeit vor allem auf gynäkologischem Fachgebiet. Raoul Palmer baute 1943 den ersten CO₂-Insufflator und wies in diesem Zusammenhang auf die Relevanz der Kontrolle des intraabdominellen Druckes während eines Eingriffes hin, der 25 mmHg nicht übersteigen sollte (21, 64).

Weitere Fortschritte und eine erneute Steigerung der Sicherheit ergaben sich, ebenfalls 1943, mit der Erfindung der proximalen Kaltlichtquelle durch Fourestiere et al.. Hiermit war es möglich, thermisch bedingte Schäden in der Bauchhöhle auf ein Minimum zu reduzieren. In den klinischen Gebrauch wurde diese Technik später durch Hans Frangenheim eingeführt, der auch den Prototyp für ein modernes CO₂-Insufflationsgerät schuf. Gemeinsam mit Palmer war er für die Etablierung der Elektrokoagulation verantwortlich. Wenig später entwickelte Harold H. Hopkins die „fiberoptics“ und ein genial zu bezeichnendes neues Linsensystem. Beides trug zu einer enormen Verbesserung der Bildqualität bei (20, 21, 38, 64).

Von Beginn der 60er Jahre an spielte Kurt Semm eine Schlüsselrolle für den weiteren Fortschritt der Laparoskopie. Er erfand zahlreiche Instrumente, darunter auch den automatischen Insufflator „CO₂-Pneu“ im Jahre 1963. In der Folgezeit etablierte er eine Reihe von selbst entwickelten Apparaturen und Techniken, z.B. 1979 ein voll elektronisches Insufflationsgerät und 1986 eine Trainingseinheit für den laparoskopisch tätigen Operateur, den „Pelvi-Trainer“. Damit ergab sich die Möglichkeit, immer anspruchsvollere Eingriffe durchzuführen (21, 64).

Patrick Steptoe veröffentlichte 1967 das erste Lehrbuch über laparoskopische Techniken in englischer Sprache. Durch die erste laparoskopische Gewinnung von Eizellen eröffnete er zusammen mit R.G. Edwards das Feld der In-vitro-Fertilisation (20, 21).

Die folgenden Jahre waren gekennzeichnet durch den Ausbau vorhandener Techniken, Verbesserungen und Neuerungen. Hinzu kam z.B. die Anwendung des Lasers, die Einführung der Videolaparoskopie und vieles mehr. Dadurch taten sich der minimal invasiven Chirurgie immer neue Möglichkeiten auf (21, 38).

Ende der 70er bzw. Anfang der 80er Jahre hielt die Laparoskopie ihren Einzug in weitere Fachgebiete der Medizin.

Wurde in der Urologie schon lange Zeit die Endoskopie in Form der Zystoskopie erfolgreich angewandt (39), so findet sich eine Beschreibung eines laparoskopischen Eingriffs aus rein urologischer Indikation erstmals im Jahre 1976. Cortesi et al. berichten über die Möglichkeit der laparoskopischen Diagnostik bei Kryptorchismus (13, 79).

Ähnlich verhält es sich im Bereich der Abdominalchirurgie. 1980 wurde von Semm die erste laparoskopische Appendektomie durchgeführt, 1985 von Erich Mühe die erste Cholezystektomie mittels laparoskopischer Technik (64).

In den letzten Jahren wurde die Anwendung der Laparoskopie in jegliche Richtung immens ausgeweitet. Die stete Verbesserung von Operationstechnik und Equipment eröffnet zwischenzeitlich eine nahezu unglaubliche Vielfalt möglicher Indikationen derartiger Eingriffe. Es sollte jedoch stets eine Nutzen-Risiko-Analyse, im Vergleich zu der konservativen Vorgehensweise, erfolgen.

1.2. Laparoskopie heute

1.2.1. Anwendungsgebiete der Laparoskopie

Man bedient sich heute der Laparoskopie für Diagnostik und Therapie vor allem in den Fachbereichen Allgemein Chirurgie, Gynäkologie und Urologie. Sie gewinnt jedoch auch zunehmend Bedeutung auf anderen Gebieten, wie z.B. der Pädiatrie mit speziellen Indikationen (90) und der Wiederherstellungschirurgie (86).

Einen Überblick über zwischenzeitlich als etabliert geltende Indikationen geben die Übersichten 1 bis 3.

Allgemeinchirurgie (2,59,83)
<u>Diagnostik:</u>
- Notfall-Laparoskopie bei Bauchtrauma
- Abklärung unklarer Abdominalbefunde
- Exploration bei Tumorkrankheiten
- Weiterführende Diagnostik verschiedenster Erkrankungen sämtlicher Organe des Bauchraums
<u>Therapie:</u>
- Vagotomie
- Antirefluxchirurgie (Fundoplikation)
- Cholezystektomie und Gallengangsrevision
- Splenektomie
- Gastrostomie
- Gastrojejunostomie
- Dünndarmresektion
- Hemikolektomie; Sigmaresektion; Abdominoperineale Rektumexstirpation
- Stomaanlage
- Rektopexie
- Appendektomie
- Hernienreparation
- Adhäsiolyse

Übersicht 1

Etablierte Indikationen laparoskopischer Eingriffe in der Allgemeinchirurgie

Gynäkologie (2, 42, 43, 95)

Diagnostik:

- Differentialdiagnostik von Erkrankungen der Beckenorgane
- Differentialdiagnostik bei Verdacht auf Extrauterin gravidität
- Sterilitätsabklärung
- Biopsien und Probeexzisionen

Therapie:

- Adhäsiolyse
- Salpingo- Ovariolyse
- Exstirpation von Ovarialzysten
- Ovariectomie
- Salpingektomie
- Uteruschirurgie (z.B. Myomenukleation, Hysterektomie)
- Pelvine Lymphadenektomie
- Behandlung der Endometriose
- Tubensterilisation
- Operation der Tubargravidität
- Infertilitätsbehandlung
- Behandlung der Streßinkontinenz

Übersicht 2

Etablierte Indikationen laparoskopischer Eingriffe in der Gynäkologie

Urologie (36, 69, 73, 87, 13)

Diagnostik:

- Abklärung unklarer Befunde
- Biopsien
- Diagnostik des intraabdominellen Kryptorchismus

Therapie:

- Heminephrektomie; Nephrektomie; radikale Tumornephrektomie
- Nierenzystenresektion
- Nephrolithotomie
- Adrenalektomie
- Ureterolithotomie; Ureterolyse; Ureterektomie; Harnleiteranastomose; Harnleiterneuimplantation
- Nierenbeckenplastik
- Ileum-Conduit; Ureterokutaneostomie
- Divertikulektomie
- Blasenhalssuspensionsplastik
- Zystektomie; Zystoprostatektomie
- Orchiektomie
- Pelvine Lymphadenektomie
- Orchidopexie
- Behandlung der Lymphozele
- Varikozelektomie
- Kinderurologische Eingriffe

Übersicht 3

Etablierte Indikationen laparoskopischer Eingriffe in der Urologie

1.2.2. Vorteile

Der bahnbrechende Einzug in die Chirurgie vor wenigen Jahren, gelang der Laparoskopie aufgrund einiger bedeutender Vorteile gegenüber den konventionellen, offenen Verfahren.

Konventionelle Chirurgie bedeutet großes operatives Trauma mit Schmerz, tiefgreifenden metabolischen Veränderungen, Organdysfunktion, erhöhter Anfälligkeit für Infektionen, und vielem mehr. Eine Verminderung dieser operativen Streßsituation mit allen potentiellen Folgen, kann durch die Anwendung laparoskopischer Verfahren erreicht werden. Das Operationstrauma wird durch das Fehlen eines großen Schnittes und der Notwendigkeit von

Retraktoren sowie durch Verwendung feinerer Instrumente deutlich reduziert. Dadurch sinkt auch die Häufigkeit der Bildung postoperativer Adhäsionen. In der postoperativen Phase sind raschere Erholung, weniger Schmerzen, sowie die Möglichkeit des baldigen Kostenaufbaus und der frühen Mobilisation zu verzeichnen. Dies bedingt wiederum die Reduktion von Komplikationen wie Lungenatelektasen, Pneumonien oder tiefen Venenthrombosen. Die schnellere Genesung mit kürzeren Liegezeiten in der Klinik und rascher Rückkehr an den Arbeitsplatz, können zu einer Kosteneinsparung führen - insbesondere in der Zeit knapper Ressourcen ein nicht unerheblicher Vorteil. Auch methodisch bedingt lassen sich laparoskopisch die Kosten reduzieren. So entfällt zum Beispiel die gesteigerte Morbidität großer Bauchwunden mit potentieller Wundheilungsstörung, Wunddehiszenz und späterer Entwicklung von Narbenhernien (3, 19, 51).

Unmittelbar damit hängen auch die postoperativ besseren kosmetischen Ergebnisse zusammen (3).

Als weiterer Vorteil läßt sich die Möglichkeit der Durchführung von Diagnostik und Therapie in einer Sitzung mit nur einmaligem Narkoserisiko anführen. Insbesondere Risikopatienten profitieren von einem geringeren Narkoserisiko und dem schonenden laparoskopischen Vorgehen (3, 92, 101).

Letztendlich kann die endoskopische Chirurgie dem Operationsteam möglicherweise einen Infektionsvorteil durch verminderten Kontakt mit dem Blut des Patienten bieten (19).

1.2.3. Nachteile

Endoskopische Eingriffe stellen höchste Ansprüche an das Können und die Geduld des Operateurs. Auch das assistierende Personal unterliegt erheblichen Anforderungen. Nachdem die Komplikationsrate mit der klinischen Lernkurve in unmittelbarem Zusammenhang steht, sind ausreichende Erfahrung und Routine entscheidend für die Vermeidung von Komplikationen. Noch ist die Ausbildung nicht im erforderlichen Umfang gegeben. Spezielle Trainingsprogramme sind vonnöten, um Qualität und Sicherheit zu gewährleisten (3, 18, 19, 33, 93).

Es existieren daneben auch methodisch bedingte Risiken. Intraoperative Problemsituationen können zum Beispiel durch Fehlfunktion der technischen Geräte hervorgerufen werden (18, 33). Hohe Konzentrationsleistung und unphysiologische Armposition führen unter anderem zu rascher mentaler und physischer Ermüdung des Operateurs (18). Beim Auftreten intraoperativer Komplikationen wie z.B. einer arteriellen Blutung kann die endoskopische Beherrschung der Situation schwierig sein. Die Möglichkeit der Organbeurteilung durch Befundertastung entfällt weitgehend (19, 62). Die Bergung der Resektate stellt insbesondere im Zusammenhang mit malignen Prozessen ein Problem dar, da eine Entfernung in toto zu fordern ist (19). Ein potentielles Risiko besteht in der Verimpfung von Tumorzellen. Darüberhinaus existiert die Gefahr eines vermehrten Tumorzellwachstums als Folge des CO₂-Pneumoperitoneums, wofür zumindest im Tierversuch der Nachweis geführt werden konnte (18, 49, 50, 75, 106).

Häufig ergibt sich ein organisatorisches Problem aus der verlängerten Operationsdauer bei schwierigen oder befundgerecht erweiterten Eingriffen bzw. einer erforderlichen Konversion auf ein konventionelles Vorgehen (3, 19).

Die benötigte technische Ausstattung und das spezielle Instrumentarium verursachen nicht unerhebliche Vorhaltungskosten (3). Hinzu kommt, daß nicht jeder Patient für ein laparoskopisches Verfahren geeignet ist und darüberhinaus nicht jedes chirurgische Problem laparoskopisch angegangen werden kann. Es bestehen einige spezifische Kontraindikationen (3, 62).

Nicht außer acht gelassen werden dürfen die speziellen Komplikationen der laparoskopischen Techniken, zum Beispiel durch das Einbringen der Veress-Nadel und der Trokare, die Anlage des Pneumoperitoneums, sowie Nebeneffekte des verwendeten Kohlendioxids.

1.2.4. Typische Komplikationen der Laparoskopie

Jedem operativen Eingriff lasten, neben den allgemeinen Operationsrisiken, typische potentielle Komplikationen an, so auch der Laparoskopie.

Zu den gefahrenträchtigsten Manövern zählen das Einbringen der Veress-Nadel, sowie der Trokare. Insbesondere Gefäßverletzungen sind zu nennen (16, 44, 78, 98, 103). Betroffen sind, neben den Vasa epigastrica, die Gefäße der Bauchdecke, des Mesenteriums und Omentums (37, 98). Selten verletzt werden die großen Gefäße (Aorta, Vena cava, Iliakalgefäße), dann jedoch mit hoher Letalität (16, 34, 40, 63, 77, 82, 85, 91). Daneben treten Verletzungen von Hohlorganen und parenchymatösen Geweben (Dünn- und Dickdarm, Ureter, Blase, anderen Beckenorganen, gelegentlich Leber, Milz, Magen) auf (29, 84, 85, 98). Das Risiko derartiger Verletzungen steigt mit dem Vorhandensein von Adhäsionen, z.B. als Folge von Voroperationen bzw. entzündlichen Erkrankungen oder auch durch konstitutionelle Faktoren wie Darmdistension, Aszites, Adipositas, aber auch extreme Schlankheit des Patienten (38, 44, 62, 91, 103).

Schädigungen extra- und intraabdomineller Strukturen in Form von Verbrennungen mit konsekutiver Nekrose, Gefahr einer späteren Organperforation und Peritonitis (11, 62) kommen durch Anwendung von elektrischem

Strom zur Koagulation, gelegentlich auch durch Laser oder Kaltlicht zustande (38, 85, 91, 98). Das Gefährdungspotential ist dabei im Vergleich zur offenen Operation erhöht. So kann beispielsweise bei Kontakt der aktiven Elektrode mit einem der Trokare, Strom auf diesen und dann über die Bauchwand auf die anderen Trokare übertragen werden (11, 12).

Weitere Komplikationsmöglichkeiten sind die Entwicklung inkarzierter Hernien an den Trokarinsertionsstellen sowie dort entstehende präperitoneale Abszesse (62, 85).

Neben den allgemeinen, treten spezifische Komplikationen des einzelnen Eingriffs auf, wie z.B. die Verletzung des Ductus choledochus während der instrumentellen Manipulationen oder andere biliäre Komplikationen bei der laparoskopischen Cholezystektomie (16, 22).

Es existiert in der Literatur, über die Beschreibung häufiger Komplikationen hinaus, eine Vielzahl teils abenteuerlicher Einzelfallberichte, wie etwa die Verletzung des Herzens nach instrumentellem Vorstoß ins Mediastinum (100).

Im Vordergrund stehen jedoch sicherlich die Komplikationen im Zusammenhang mit der Anlage und Aufrechterhaltung des Pneumoperitoneums.

1.2.5. Komplikationen des Pneumoperitoneums

Zur Anlage des Pneumoperitoneums wird heute überwiegend Kohlendioxid-Gas verwendet. Es ist kostengünstig, überall verfügbar, nicht brennbar, schnell resorbierbar und gut löslich (54, 89). Doch kann es auch mit CO₂ gelegentlich zum Auftreten ernster Komplikationen kommen.

Die Resorption von CO₂ über das Peritoneum, insbesondere bei hohem Druck nach erfolgter Gasinsufflation, sowie der erhöhte intraabdominelle Druck selbst, können eine Reihe von Alterationen physiologischer Parameter bedingen. Veränderungen von Kreislauf-, metabolischen und respiratorischen Funktionen treten relativ häufig in Erscheinung. Meist unproblematisch verlaufend, können sie vereinzelt, vor allem bei vorgeschädigten Patienten, zu ernsten Komplikationen führen (12, 26, 54, 102).

Neben intraoperativer Hyperkapnie, Azidose und Hypoxie, kann es zu einer postoperativen Reduktion bestimmter Atmungsparameter (FVC, FEV₁, FRC, TLC)¹ kommen. Weitere der potentiellen Folgen sind eine Behinderung des venösen Rückstroms mit Prädisposition für die Entwicklung tiefer Venenthrombosen, eine Verminderung des Herzzeitvolumens, Erhöhung des peripheren Widerstandes und Minderperfusion abdomineller Organe (12, 26, 27, 44, 54, 81, 89). Außerdem führen unter anderem vagale Reaktionen zu Arrhythmien, Kollapsneigung, bis hin zu einem Herz-Kreislauf-Stillstand (12, 16, 30, 44, 54, 62, 96, 102).

Entscheidend für die Inzidenz dieser Komplikationen ist die Dauer des Pneumoperitoneums, die Höhe des intraabdominellen Druckes und die damit verbundene CO₂-Resorption (12, 26, 29, 66).

Eine derartige Beeinträchtigung physiologischer Parameter kann im Rahmen einer laparoskopischen Operation während der Schwangerschaft zum Teil fatale Folgen für den Feten haben (1).

Durch die Erhöhung des intraabdominellen Druckes verschiebt sich die Carina nach cranial und es besteht die Gefahr einer bronchialen Intubation bei primär regelrechter Tubuslage (15, 46, 47).

Postoperativ häufig auftretende Schmerzen, vor allem im Bereich der Schulter beziehungsweise des Diaphragmas sind durch mechanische, chemische und thermische Einflüsse bedingt. Diese können zum Beispiel durch Erwärmung des insufflierten Gases auf Körpertemperatur oder geringere insufflierte Volumina reduziert werden (58, 84).

Komplikationen durch Fehlinsufflation in präformierte Kompartimente, z.B. das Mediastinum, das Perikard, die Pleura, das Omentum oder das präperitoneale bzw. subkutane Gewebe, ereignen sich selten, können jedoch ernste klinische Folgen nach sich ziehen (10, 16, 26, 28, 60, 66, 80, 102). Ein subkutanes Emphysem kann sich zuweilen in die Skrotalgegend oder den Gesichtsbereich ausdehnen (7, 26, 28, 41, 66). Die vergrößerte Resorptionsmöglichkeit beschleunigt die Entstehung einer Hyperkapnie (26, 30).

Ursächlich ist unter anderem oft eine inkorrekte Lage der Veress-Nadel bei Anlage des Pneumoperitoneums (28, 66, 80).

Selten ereignet sich eine Gasembolie, dann jedoch oft mit deletärem Ausgang. Ursache ist meist eine unbemerkte direkte Insufflation in das Gefäßsystem, gelegentlich ein indirekter Gaseintritt über instrumentell eröffnete Gefäße. Dabei kommt es zu schwerwiegenden kardiovaskulären Alterationen, bis hin zur Asystolie (12, 16, 23, 55, 71, 96). Folge sind Todesfälle durch CO₂-Gasembolien (6, 12, 14, 45, 61, 70, 88, 99).

Oft ist nicht sicher eine Gasembolie als Todesursache abzugrenzen (9, 40), da es auch durch andere Komplikationen (zum Beispiel einen massiven Blutverlust durch Gefäßverletzung) zum Herz-Kreislauf-Versagen mit tödlichem Ausgang kommen kann (16, 40, 96, 97).

¹ FVC = Forcierte Vitalkapazität, FEV₁ = Forciertes expiratorisches Volumen in der 1. Sekunde, FRC = Funktionelle Residualkapazität, TLC = Totale Lungenkapazität

1.3. Prinzipien der Über- und Niederdruckinsufflation

1.3.1. Überdruckprinzip

Bei der Anlage eines Pneumoperitoneums erfolgt zunächst die Voreinstellung eines „kritischen Druckes“ für das Pneumoperitoneum. Dieses wird durch Insufflationshübe erreicht, deren Druck weit oberhalb des vorgewählten Druckes liegt („Überdruck“).

Ein Überdruckinsufflator mißt durch elektronisch gesteuerte Sensoren über den Insufflationsschlauch den jeweiligen statischen intraabdominellen Druck und führt erforderlichenfalls Gas mit hohem Druck und Fluß nach, bis der vorgewählte intrakavitäre Druck erreicht ist. Insufflations- und Meßphasen wechseln sich ab (monofil- bivalentes Meßsystem) (94). Da das Gerät nicht in der Lage ist, eine Flußwiderstandsbestimmung durchzuführen, muß in der Meßphase zur korrekten Ist-Druck-Registrierung die Insufflation unterbrochen werden. Dabei wird der Widerstand gleich Null gesetzt und dadurch die Messung ermöglicht. Während der Gasinsufflation kann demnach keine Druckregistrierung erfolgen, mit Ausnahme der Messungen kurz vor Erreichen des vorgewählten Druckes bei immer geringer werdendem dynamischen Druckabfall entlang der Insufflationsleitung und damit gegen Null gehendem Widerstand (72).

Das Überdruckprinzip wird technisch unterschiedlich realisiert. Einerseits nimmt mit zunehmender Annäherung des intrakavitären Druckes an den vorgewählten Grenzdruck die Insufflationsdauer der Hübe bei gleichbleibender Druckamplitude ab (Abb. 1). Andererseits können sowohl Druckamplitude als auch Insufflationsdauer bei Annäherung an den vorbestimmten Druck geringer werden (Abb. 2) (24).

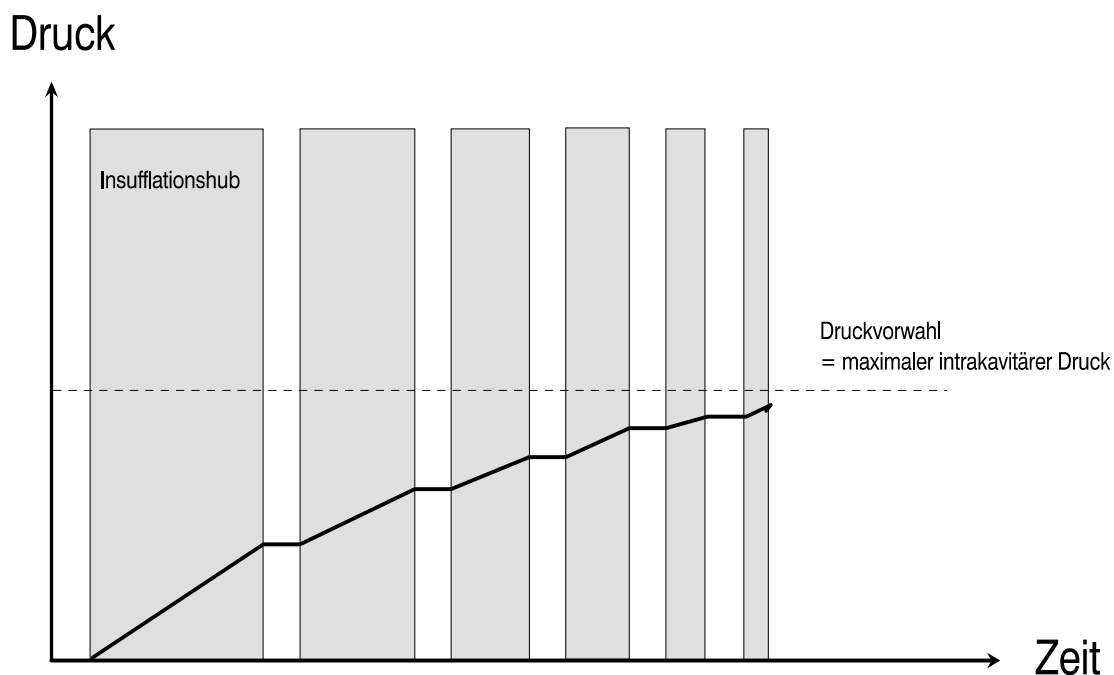


Abb. 1

Prinzip der Überdruckinsufflation.

Mit zunehmender Annäherung des intrakavitären Druckes (—) an den vorgewählten Druck (...) nimmt die Dauer der Insufflationshübe gleicher Druckamplitude ab.

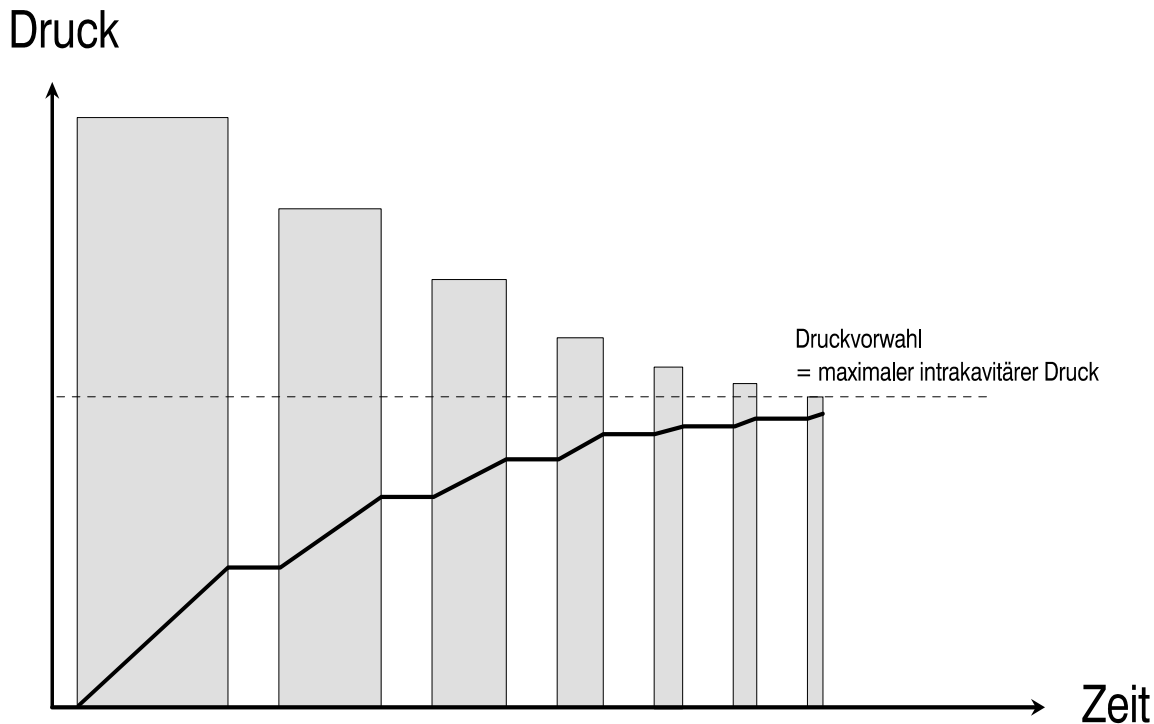


Abb. 2

Prinzip der Überdruckinsufflation.

Mit zunehmender Annäherung des intrakavitären Druckes (—) an den vorgewählten Druck (...) nehmen Dauer und Druckamplitude der Insufflationshübe ab.

1.3.2. Niederdruckprinzip

Bei dem Niederdruckprinzip wird, im Gegensatz zu dem Überdruckprinzip, der Vorwahldruck (= kritischer Druck) nicht überschritten.

Physikalisches Prinzip der Niederdruckinsufflation ist der Druckausgleich zwischen miteinander verbundenen Kavitäten (Prinzip der kommunizierenden Röhren) (Abb. 3). Eine Druckdifferenz $\Delta P = P_i - P_a$ bewirkt einen Volumenstrom Q durch die Verbindungsleitung (Insufflationsleitung und Instrumente). P_i entspricht dabei dem Insufflationsdruck, P_a dem aktuellen Druck innerhalb der zu füllenden Kavität. Je größer der Druckgradient, desto höher ist die fließende Gasmenge, in Abhängigkeit von dem Flußwiderstand des Insufflationspfades (72, 105) (Abb. 4).

Im Gegensatz zu dem Überdruckprinzip kann hier in einer initialen Meßphase, in der bei konstantem Insufflationsdruck P_i der Druckwert P_a kurzzeitig registriert wird (ausreichender Gasfluß vorausgesetzt), der Widerstand durch das Gerät rechnerisch ermittelt werden. Unter Einbeziehung des meßtechnisch ständig erfassbaren Volumenstroms kann dann mit Hilfe des bestimmten Widerstandes der Druckwert P_a direkt und statisch permanent gemessen werden (72).

Wird der Insufflationsdruck P_i konstant gehalten (am Gerät vorwählbarer Insufflationsdruck), geht bei Erreichen des vorgewählten Druckes innerhalb der Kavität der Volumenstrom gegen Null. Damit ist der maximal erreichbare intrakavitäre Druck ($P_{a,max}$) gleich dem vorgewählten Insufflationsdruck P_i . Eine artifizielle Gasförderung ist theoretisch ausgeschlossen. Mit dem beschriebenen Prinzip wird eine kontinuierliche Druckzunahme innerhalb der mit Gas zu füllenden Kavität ohne Schwankungen erreicht. Ein akzidenteller Überdruck kann nicht entstehen (Abb. 4) (72, 105).

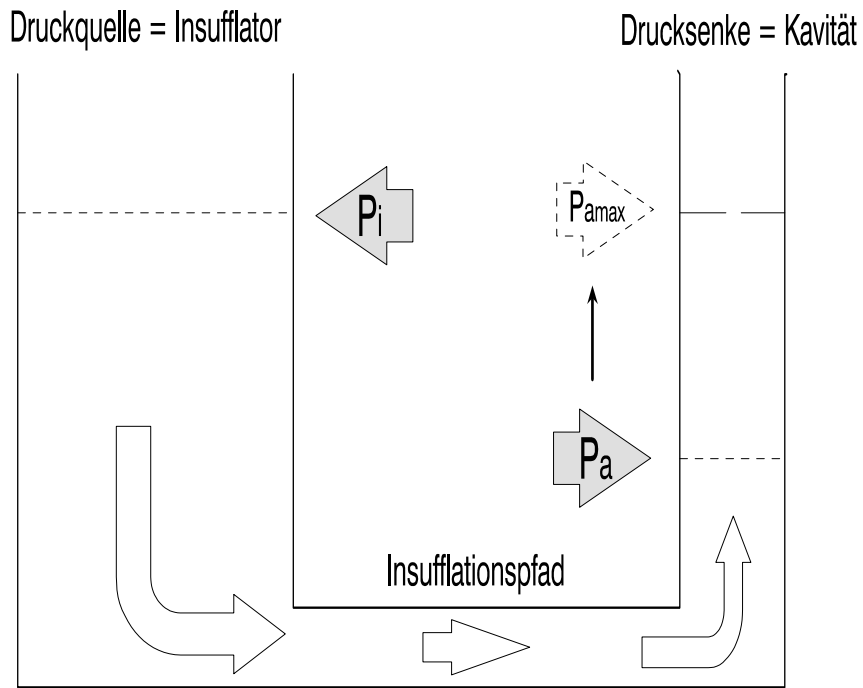


Abb. 3

Prinzip der Niederdruckinsufflation.

Der maximal erreichbare intrakavitäre Druck ($P_{a_{max}}$) entspricht bei kontinuierlichem Gasfluß dem vorgewählten Insufflationsdruck (P_i).

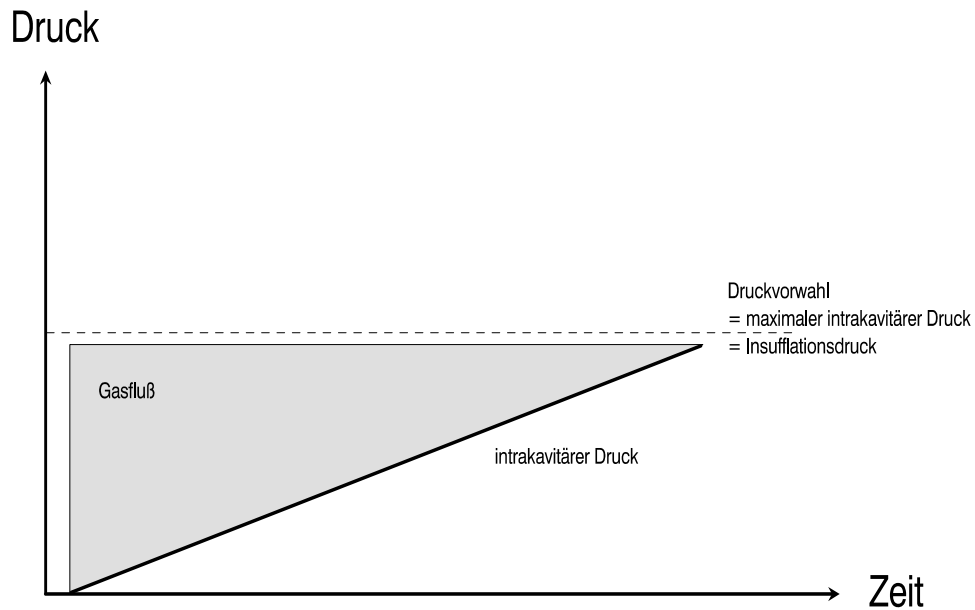


Abb. 4

Prinzip der Niederdruckinsufflation.

Mit zunehmender Annäherung des intrakavitären Druckes (—) an den vorgewählten Druck (---) nimmt der Gasfluß bei gleichbleibendem Insufflationsdruck ab.

Voraussetzung für die Gasinsufflation ist bei beiden Druckprinzipien der den herrschenden intrinsischen Druck übersteigende Insufflationsdruck bei intrakorporaler Lage der Veress-Kanüle. Mit zunehmender Gaszufuhr steigt der Kompartimentdruck bis zu dem am Gerät vorgewählten maximalen Druck an. Dabei messen die Überdruckinsufflatoren nach jedem Gasförderhub den Kompartimentdruck und insufflieren gegebenenfalls einen weiteren Hub, bis das vorgewählte Druckmaximum erreicht ist. Demgegenüber erlauben Geräte nach dem Niederdruckprinzip unter Einbeziehung des errechneten Widerstandes eine kontinuierliche Druckmessung. Folge ist ein gleichmäßiger Gasfluß. Das vorgewählte Druckmaximum sollte nicht überschritten werden, da allein durch hohe Drücke Komplikationen hervorgerufen werden können. Zumindest muß eine Gasförderung oberhalb des Maximaldruckes unterbleiben, um hämodynamische Auswirkungen und Alterationen physiologischer Parameter (bei höheren Vorwahldrücken während der operativen Manipulationen) (12, 41, 74) beziehungsweise Komplikationen wie z.B. Gasembolien bei einer akzidentellen Fehllage der Veress-Nadel (bei niedrigen Vorwahldrücken während der Anlage des Kapnoperitoneums) zu vermeiden.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Material

Die vorgelegte Untersuchung wurde mit fünf handelsüblichen, in der klinischen Routine eingesetzten Insufflatoren durchgeführt. Analysiert wurden ein nach dem Niederdruckprinzip arbeitendes Gerät und vier Überdruckgeräte. Der am technischen Modell getestete Niederdruckinsufflator HI-TEC[®] Typ 1100 wurde bei der Untersuchung in vivo durch das Nachfolgemodell (HI-TEC[®] Typ 1200) ersetzt. Neben den drei in vitro getesteten Überdruckinsufflatoren (WIESS Laparoflator electronic[®] 3509 (Überdruckinsufflator 1); WOM Surgiflator[®] (2); WISAP[®] OP-Pneu electronic 7050 (3)), ging in der zweiten Versuchsreihe zusätzlich ein weiteres Überdruckgerät (STRYKER[®] High Flow Insufflator (Überdruckinsufflator 4)) in die Analyse ein.

Um seine optimale Leistung zu erfüllen, benötigt der Niederdruckinsufflator eine spezielle Hochfluß-Nadel. Verwendet wurde die Hochfluß-Veress-Nadel der Firma Hippocratec, Miesbach. Sie gewährleistet durch einen größeren Querschnitt den erforderlichen hohen Gasfluß. Bei den Überdruckgeräten ist die Wahl des Nadelquerschnitts von untergeordneter Bedeutung, da durch hohe Insufflationsdrücke in jedem Fall ein ausreichender Gasfluß sichergestellt ist.

Als Betriebsgas wurde, wie auch in der klinischen Routine, Kohlendioxid (CO₂) verwendet.

2.2. Methoden

2.2.1. In-vitro-Versuchsreihe – Analyse des Insufflatorverhaltens am Modell

In vitro wurde zunächst das Verhalten der Insufflatoren bei definierten Druckverhältnissen untersucht.

Zur Simulation verschiedener Kompartimentdrücke wurde eine Veress-Kanüle an einem Stativ in beliebige Wassertiefen zwischen 0 und 26 cm eingebracht. Über eine elektromotorisch betriebene Zugeinrichtung waren kontinuierliche Druckänderungen möglich. Die Messung des an der Nadelöffnung herrschenden Druckes erfolgte simultan und unabhängig über ein Maßband, ein angeschlossenes elektronisches Sphygomanometer und ein urodynamisches Druckmeßgerät (Urocomfort[®] Fa. Brüne Medizintechnik, Karlstadt) (Abb. 5). Dadurch wurde die Vergleichbarkeit mit verschiedenen Methoden gemessener Drücke gewährleistet. Der durch die Insufflation auf die Nadel übertragene Gasdruck wurde unmittelbar proximal der Kanüle mittels T-Stück über eine weitere Druckleitung registriert (Urocomfort[®]) (Abb. 5).

Signifikante Fehler der Druckregistrierung aufgrund des T-Stückes konnten in einer vorangehenden Meßreihe ausgeschlossen werden.

Die simultane mehrkanalige Druckregistrierung ermöglichte die gleichzeitige Messung des Kompartimentdruckes und des auf die Veress-Nadel übertragenen Insufflationsdruckes.

Eine skalierte Gasauffangvorrichtung über der Veress-Nadel machte die mengenmäßige Bestimmung freigesetzter Gasmengen bis 70 ml möglich (Abb. 5).

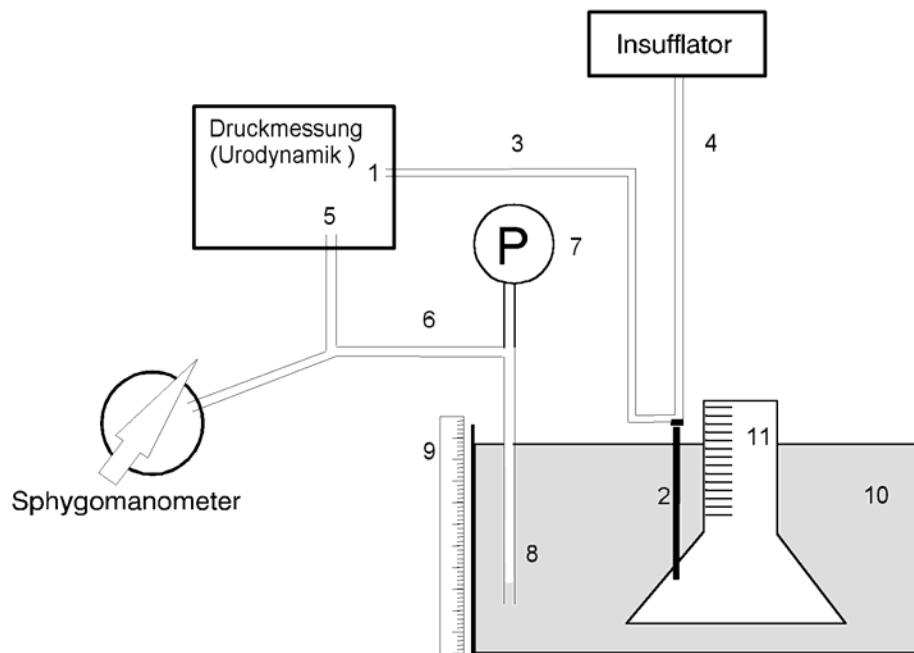


Abb. 5

Schematische Darstellung der Meßapparatur

- /1/ Messung des Insufflationsdruckes unmittelbar proximal der Veress-Kanüle /2/ über Druckleitung /3/;
- /4/ Insufflations- und Druckmeßpfad des Insufflators;
- /5/ Messung des Kompartimentdruckes über Druckleitung /6/;
- /7/ Ballonpumpe zur Einstellung des Druckes im Meßstab /8/;
- /9/ Maßband;
- /10/ Wasserbecken;
- /11/ skaliertes Gas auffangbehälter

Der simulierte Kompartimentdruck wurde in cmH_2O , entsprechend des an der Nadelöffnung herrschenden Druckes in einer bestimmten Wassertiefe, registriert. Das urodynamische Druckmeßgerät mißt ebenfalls in cmH_2O . Hingegen werden Druckwerte am Insufflator in mmHg angegeben. Zur direkten Vergleichbarkeit erfolgt daher jede Druckangabe sowohl in cmH_2O als auch mmHg .

Das Verhalten der Geräte wurde bei unterschiedlichen Kompartimentdrücken und in verschiedenen Flowstufen getestet. Ebenso variierte die am Insufflator einstellbare Druckbegrenzung.

Ziel dieser Meßreihe war, das allgemeine Geräteverhalten zu beobachten, insbesondere die Reaktion auf definierte Gegendrücke und Druckänderungen (wie sie entsprechend bei intrakorporaler Lage der Veress-Kanüle zu erwarten wäre), und ob es innerhalb der eingestellten Druckgrenzen zu unbeabsichtigter Gasförderung kommt.

Die Werte der verschiedenen untersuchten Kompartimentdrücke und der unterschiedlichen Druckbegrenzungen entsprechen den im klinischen Alltag vorkommenden Verhältnissen.

2.2.1.1. Analyse des Niederdruckinsufflators

Unter der Annahme, daß die Veress-Nadel in ein Kompartiment eingebracht wird, in dem der Druck bereits oberhalb des am Insufflator vorgewählten maximalen Kompartimentdruckes liegt, wird dieser Grenzdruck sukzessive erhöht und das Druck- und Gasförderverhalten des Gerätes untersucht.

Die Kompartimentdruckbegrenzung wird initial auf 10 mmHg (13,6 cmH_2O) bzw. 15 mmHg (20,4 cmH_2O) eingestellt und die Öffnung der Veress-Nadel in eine Wassertiefe von 16,0 und 19,0 cm bzw. 25,0 cm eingebracht, Drücken in cmH_2O bzw. 11,8, 14,0 und 18,4 mmHg entsprechend. In Stufen von 1 mmHg (1,36 cmH_2O) wird die Druckbegrenzung angehoben und der Druck bei Beginn der Gasförderung registriert.

Danach wird das Insufflatorverhalten bei langsamer Kompartimentdruckzunahme während einer Gasinsufflation analysiert. Zur Simulation des sich aufbauenden Kapnoperitoneums wird die Veress-Nadel von der Wasseroberfläche aus mit einer Geschwindigkeit von 2 mm/s elektromotorisch unter Wasser getaucht, einer Druckzunahme von 1,0 cmH₂O (0,7 mmHg) / 5s entsprechend. Am Insufflator wird der Maximaldruck mit 14 mmHg (19,0 cmH₂O) vorgewählt.

Zuletzt wird das Verhalten des Gerätes bei Kompartimentdruckabnahme während einer Gasinsufflation geprüft. Um einen langsamen intraabdominellen Druckabfall zu simulieren, wird die Veress-Nadel elektromotorisch mit ebenfalls 2 mm/s aus einer Wassertiefe von 26,0 cm (entsprechend 19,1 mmHg) in Richtung Wasseroberfläche gezogen. Die Druckbegrenzung wird wiederum mit 14 mmHg (19,0 cmH₂O) vorgewählt. Der Versuch wird bei einer Druckbegrenzung von 12 mmHg wiederholt.

2.2.1.2. Analyse der Überdruckinsufflatoren

Bei allen untersuchten Geräten wird der maximale Kompartimentdruck zunächst auf 15 mmHg (20,4 cmH₂O) begrenzt, die Veress-Nadel in eine Wassertiefe von 26,0 cm eingebracht und der Insufflator auf Flowstufe 1 aktiviert.

Es erfolgt zunächst die Registrierung des Insufflationsdruckes während einer Druckreduktion im Kompartiment, die durch Rückzug der Veress-Kanüle aus einer Tiefe von 26,0 cm zur Wasseroberfläche simuliert wird.

Im Folgenden wird das Insufflationsdruck- und Gasförderverhalten bei konstant gehaltenem Kompartimentdruck (entsprechend der Tiefe der Veress-Nadel-Öffnung unter Wasser) und Variation der Druckbegrenzung am Insufflator getestet. Dies entspricht den Verhältnissen bei Anlage eines Kapnoperitoneums.

Die Geräte werden in allen vorhandenen Flowstufen analysiert. Mit Hilfe des Flowselectors (Dreh- bzw. Druckknopf) kann die jeweilige Stufe ausgewählt werden. Die Flowstufe definiert die Höhe des zu fördernden Gasvolumens pro Zeiteinheit.

Flowstufe 1 begrenzt bei dem Gerät der Firma WIEST die Gasförderung auf 1,2 l/min, Stufe 2 auf 2,5 l/min und Stufe 3 auf 9,5 l/min. Die Stufen 2 und 3 bewegen sich bei dem WOM Surgiflator[®] mit 2,6 und 9,0 l/min in ähnlichen Bereichen, Stufe 1 entspricht ebenfalls einer Flußrate von 1,2 l/min. Der WISAP[®] OP-Pneu electronic 7050 bietet nur zwei Wahlmöglichkeiten, eine Stufe 1 mit einem Gasfluß von 1 l/min und einen High-Flow-Modus mit maximal 9 l/min. Die Flowraten für den, in der nachfolgenden Versuchsreihe getesteten, STRYKER[®] High Flow Insufflator betragen, entsprechend dem WOM Surgiflator[®], 1,2 l/min auf Stufe 1, 2,6 l/min auf Stufe 2 und 9,0 l/min auf Stufe 3.

Alle Versuchsreihen werden mit der niedrigsten Stufe begonnen. Danach erfolgt die schrittweise Erhöhung der Flowstufe.

Der WIEST Laparoflator electronic[®] 3509 wird bei einem konstanten Kompartimentdruck von 24,5 cmH₂O (18,0 mmHg) bzw. 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg) und einer Kompartimentdruckbegrenzung von 15 mmHg (20,4 cmH₂O) auf Flowstufe 1 aktiviert.

Dann erfolgt eine Reduktion der Druckbegrenzung auf 7,5 mmHg (10,2 cmH₂O), um eine größere Differenz zum herrschenden Kompartimentdruck zu erreichen. Das Gerät wird bei einem Kompartimentdruck von 24,4 cmH₂O (18,0 mmHg) in allen drei Flowstufen getestet.

Es folgt eine weitere Reduktion der Druckgrenze auf 5 mmHg (6,8 cmH₂O) und Überprüfung des Insufflatorverhaltens bei einem Kompartimentdruck von 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg) auf Flowstufe 1.

Anschließend wird der Druck im Kompartiment auf 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg) reduziert und eine Druckbegrenzung von 10 mmHg (13,6 cmH₂O) vorgewählt. Nach einer Aktivierung auf Stufe 1 wird der Laparoflator bei laufender Insufflation auf Stufe 2 umgeschaltet, wobei alle übrigen Variablen unverändert bleiben.

Zuletzt erfolgt bei gleichen Einstellungen der Start des Gerätes direkt auf Stufe 2 des Flowselectors.

Die maximale Kompartimentdruckbegrenzung kann bei dem WIEST Laparoflator electronic[®] 3509 nur mit einem stufenlosen Regler ohne entsprechende Skalierung zwischen 0 und 15 mmHg (0,0 - 20,4 cmH₂O) eingestellt werden (Abb. 6). Deshalb muß eine gewisse Ungenauigkeit bei der Vorwahl eingeräumt werden.

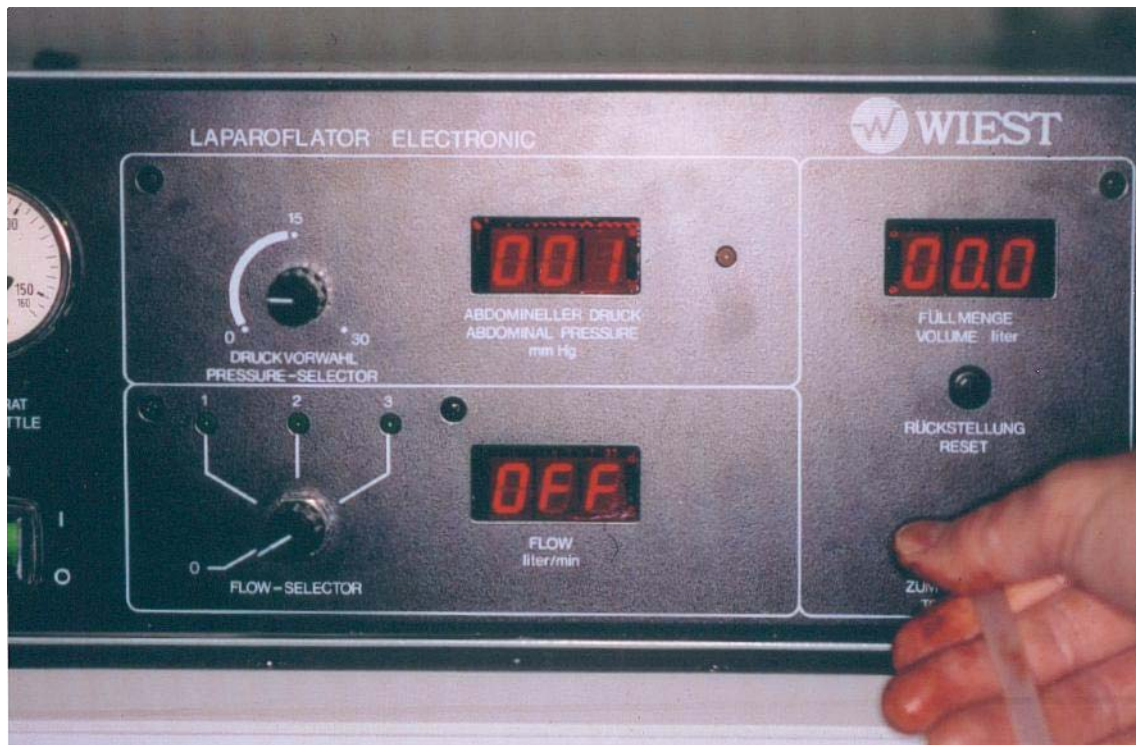


Abb. 6
 WIEST Laparoflator electronic® 3509 –
 Bedienungselemente, stufenlose Druckvorwahl

Die Analyse des WOM Surgiflator® beginnt ebenfalls auf Stufe 1 des Flowselectors, bei einem eingestellten Kompartimentdruck von 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg) und einer Druckbegrenzung von 15 mmHg (20,4 cmH₂O). Bei laufender Insufflation wird sodann auf Flowstufe 2 umgeschaltet. Anschließend erfolgt bei unveränderten Parametern (nach vollständigem Druckausgleich aller Leitungen) die Aktivierung sofort auf Stufe 2 und wiederum ein Umschalten während des Betriebes in Stufe 3 des Flowselectors.

Danach werden die Einstellungen verändert und das Verhalten des Gerätes bei einem Kompartimentdruck von 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg) und einer maximalen Kompartimentdruckbegrenzung von 10 mmHg (13,6 cmH₂O) getestet. Der Insufflator wird zunächst in Stufe 1 und dann jeweils in Stufe 2 und 3 neu aktiviert.

Es folgt eine Reduktion der Druckgrenze auf 5 mmHg (6,8 cmH₂O) bei unverändertem Kompartimentdruck von 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg). Das Gerät wird wiederum in allen drei Flowstufen untersucht.

Auch das Verhalten des WISAP® OP-Pneu electronic 7050 wird zunächst auf Flowselectorstufe 1 analysiert. Der Druck im Kompartiment wird mit 23,5 cmH₂O (17,3 mmHg) vorgegeben, die maximale Druckbegrenzung mit 14 mmHg (19,0 cmH₂O). Unter gleichen Bedingungen wird der Versuch bei Betrieb des Gerätes im High-Flow-Modus wiederholt.

Es wird nun eine maximale Kompartimentdruckbegrenzung von 10 mmHg (13,6 cmH₂O) vorgewählt und die Veress-Nadel in eine Wassertiefe von 16,0 cm, entsprechend einem Kompartimentdruck von 16,0 cmH₂O / 11,8 mmHg eingebracht. Die Insufflation wird auf Flowstufe 1 durchgeführt. Danach erfolgt eine Wiederholung bei gleichen Einstellungen im High-Flow-Modus.

Schließlich wird die Druckgrenze auf 8 mmHg (10,9 cmH₂O) bzw. 4 mmHg (5,4 cmH₂O) reduziert und bei einem Druck im Kompartiment von 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg) der Insufflator jeweils auf Flowstufe 1 aktiviert.

2.2.2. In-vivo-Versuchsreihe – Analyse des Druck- und Gasförderverhaltens der Insufflatoren im Tierversuch

Ziel war die Überprüfung der in vitro erhobenen Daten in vivo und die Klärung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den operativen Einsatz im Tierversuch.

Als Versuchstiere wurden Hybridschweine beiderlei Geschlechts mit einem Alter von ca. 3 Monaten und einem Gewicht von 30–35 kg verwendet.

Die Schweine wurden in Rückenlage auf einem speziellen Operationstisch unter einer Wärmelampe plaziert. Sie wurden mit Hilfe eines Verlängerungsschlauches intramuskulär mit Ketamin / Xylazin / Atropin sediert. Anschließend erfolgte die Intubation unter Sicht mit Endotrachealtuben der Größe 7,0 bis 8,0 unter Zuhilfenahme eines Drains. Die Versuchstiere wurden kontrolliert beatmet. Ein Venenverweilkatheter wurde in eine der Ohrvenen plaziert. Die Narkose wurde als Inhalationsanästhesie mit Isofluran / Lachgas / Sauerstoff ohne Muskelrelaxierung fortgeführt. Narkoseführung und Monitoring erfolgten mit Hilfe von Narkosegeräten der Firma Dräger. Ein CO₂- und Gasmonitoring wurde über eine am Tubuseingang plazierte Sonde durchgeführt. EKG-Elektroden wurden an der Brustwand und ein Pulsoxymeter an einem Ohr positioniert. Der Blutdruck wurde nichtinvasiv an einem Vorderbein gemessen. Eine Temperatursonde lag im Ösophagus.

Die Veress-Kanüle wurde im Verlauf der Untersuchung in vier unterschiedliche Kompartimente eingebracht und das Insufflatorverhalten unter den verschiedenen Bedingungen getestet. Zur Simulation einer Fehllage erfolgte eine Punktion des Subkutangewebes, des intravesikalen Raumes und des Lumens der Vena cava inferior. Als Kontrolle diente die op-taktisch gewünschte, regelrechte intraabdominelle Position.

Der Untersuchung bei subkutaner Fehllage der Veress-Nadel folgten die Versuche bei intraabdomineller und intravesikaler Lage. Zuletzt wurde das Insufflatorverhalten bei Lage der Kanüle in der Vena cava inferior getestet. Wie im Modellversuch erfolgte, neben der Untersuchung des Niederdruckinsufflators, eine Analyse der Überdruckgeräte in allen vorhandenen Flowstufen, wobei auch hier die Stufen schrittweise erhöht wurden.

Die Untersuchungen wurden bei einer maximalen Kompartimentdruckbegrenzung von 12 mmHg (16,3 cmH₂O) bzw. 5 mmHg (6,8 cmH₂O) (bei intravasaler Fehllage) durchgeführt. Die Druckgrenze wird zunächst mit 12 mmHg (16,3 cmH₂O) vorgewählt, da dies den üblichen Bedingungen entspricht, unter denen eine laparoskopische Operation durchgeführt wird. Für die Versuche bei intravasaler Lage wurde die Druckbegrenzung an das Kompartiment adaptiert gewählt.

Die Drücke wurden analog der vorhergehenden Versuchsreihe mit dem Urocomfort[®]-System gemessen.

Das insufflierte Gasvolumen wurde von der Anzeige des jeweiligen Insufflators abgelesen und dokumentiert. Die Geräteanzeige zeigte bei den Versuchen in vitro im Vergleich zu der Registrierung durch die Gasauffangvorrichtung kaum Abweichungen und erwies sich als hinreichend genau.

Da allein die Gesamtgasförderungsmenge klinische Relevanz hat, wurde darauf verzichtet, bei jedem einzelnen Hub eine Volumenregistrierung durchzuführen. Statt dessen wird aus dem Gesamtvolumen bzw. entsprechender Teilvolumina eine durchschnittliche Förderungs menge pro Hub errechnet und diese in allen Tabellen des zugehörigen Ergebnisteils jeweils den einzelnen Hüben zugeteilt.

2.2.2.1. Subkutane Fehllage der Veress-Nadel

Das Einstechen der Kanüle erfolgt in das Subkutangewebe am Unterbauch des Schweins.

Es wird hier lediglich der Insufflationsdruck gemessen (Abb. 7). Eine Registrierung des Druckes im Kompartiment ist nicht möglich bzw. sinnvoll, da keine präformierte Höhle, sondern nur ein kleiner Raum mit hohem Gegendruck besteht.

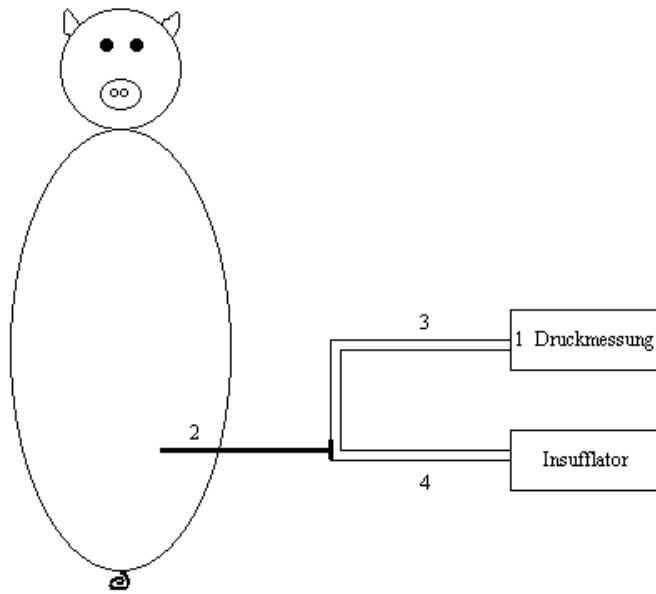


Abb. 7

Schematische Darstellung der subkutanen Fehllage

/1/ Messung des Insufflationsdruckes unmittelbar proximal der Veress-Kanüle /2/ über Druckleitung /3/;
/4/ Gasinsufflations- und Meßleitung des Insufflators

2.2.2.2. Intraabdominelle Lage

Folgende Versuchsanordnung ergibt sich bei intraabdomineller Lage der Veress-Kanüle (Abb. 8):

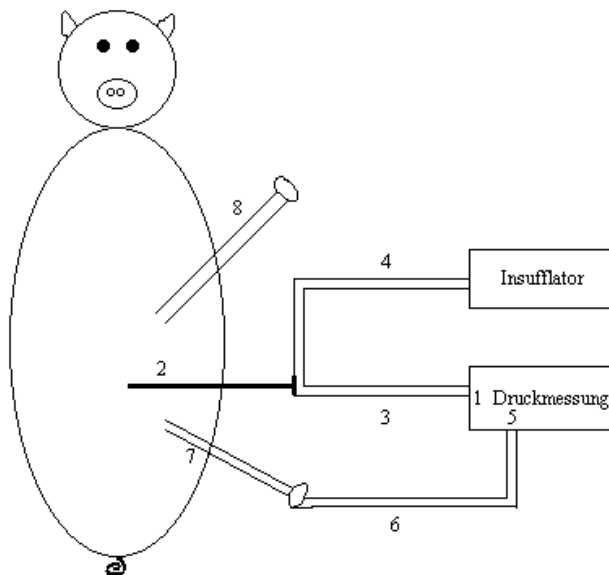


Abb. 8

Schematische Darstellung der intraabdominellen Lage

/1/ Messung des Insufflationsdruckes unmittelbar proximal der Veress-Kanüle /2/ über Druckleitung /3/;
/4/ Gasinsufflations- und Meßleitung des Insufflators;
/5/ Messung des Kompartimentdruckes über Druckleitung /6/ durch Hilfstrokar /7/;
/8/ Haupttrokar mit Optik

Entsprechend der klinischen Vorgehensweise erfolgt die Anlage des Pneumoperitoneums. Nach Inzision werden die Haut mit einer Klemme gefaßt, die Bauchdecken angehoben und die Veress-Nadel eingestochen. Die Insertion des Haupttrokars erfolgt hier neben der Veress-Nadel. Eine an den Haupttrokar konnektierte Optik erlaubt die visuelle Kontrolle der regelrechten intraabdominellen Lage der Kanüle. Die Druckleitung für die Messung des intraabdominellen Druckes liegt in einem extra eingestochenen Hilfstrokar. Sowohl Insufflations- als auch Kompartimentdruck werden über das Urodynamik-Druckmeßgerät registriert (Abb. 8).



Abb. 9
Plazierung der Trokare

2.2.2.3. Intravesikale Fehllage

Die Veress-Nadel wird durch die Bauchdecke und weiter bis in die Harnblase gestochen. Für die Messung des intravesikalen Druckes wird eine zusätzliche Druckleitung benötigt, die über die Harnröhre vorgeschoben wird. Die Leitung für die Druckmessung im Bauchraum liegt, wie in dem vorhergehenden Versuch (mit intraabdomineller Lage der Kanüle), in einem Hilfstrokar. Die Druckleitungen werden an die urodynamische Meßapparatur angeschlossen, die Insufflations- und Kompartimentdruck, sowie den intraabdominellen Druck registriert. In unveränderter Position zum vorherigen Versuch bleibt auch der Haupttrokar mit Optik zur Lagekontrolle der Veress-Nadel (Abb. 10, Abb. 11).

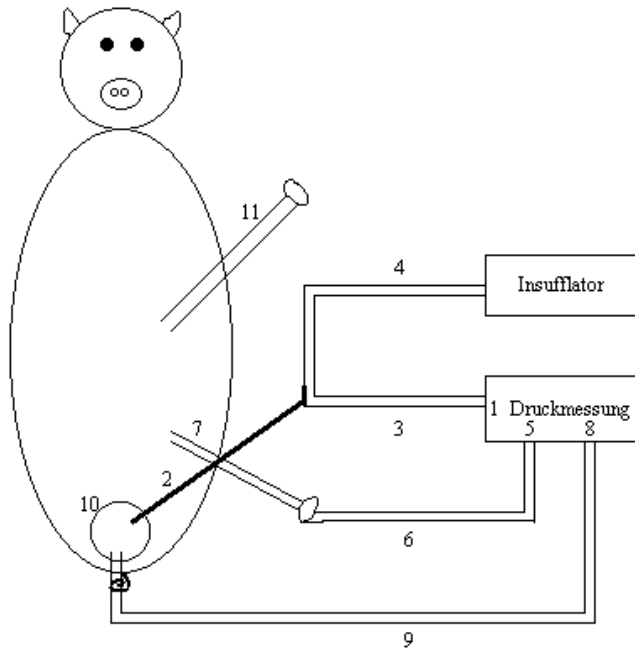


Abb. 10

Schematische Darstellung der intravesikalen Fehllege

/1/ Messung des Insufflationsdruckes unmittelbar proximal der Veress-Kanüle /2/ über Druckleitung /3/;

/4/ Gasinsufflations- und Meßleitung des Insufflators;

/5/ Messung des intraabdominellen Druckes über Druckleitung /6/ durch Hilfsstrokär /7/;

/8/ Messung des Kompartimentdruckes über Druckleitung /9/ in katheterisierter Blase /10/;

/11/ Hauptstrokär mit Optik

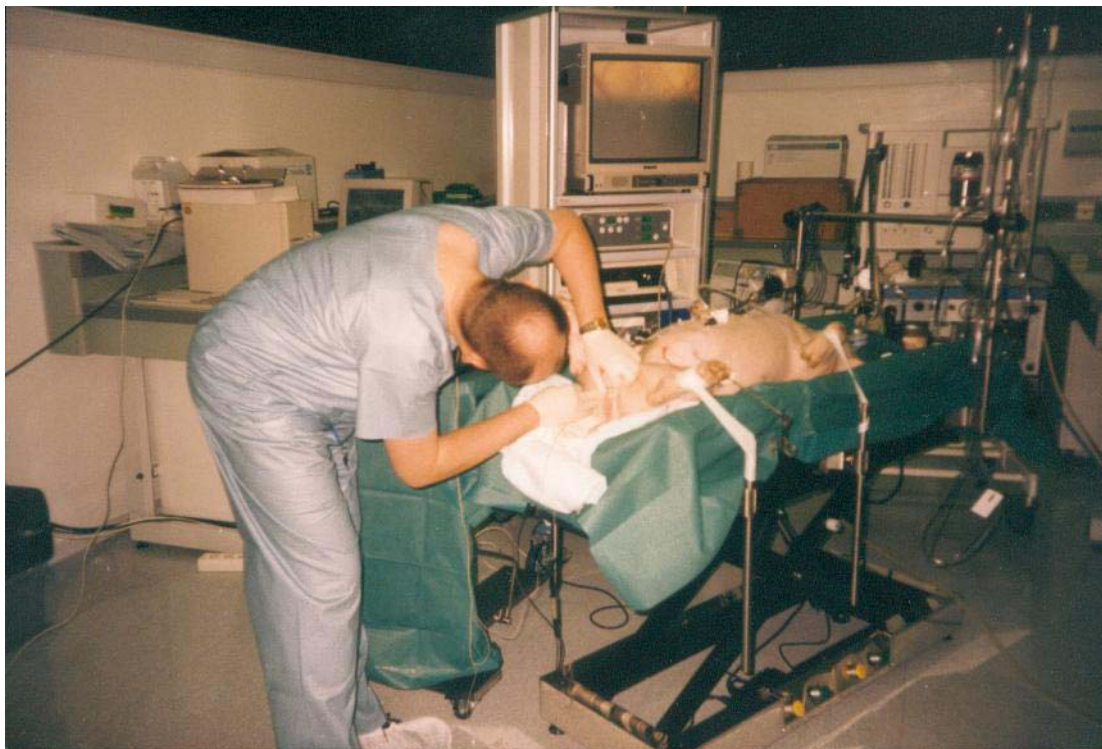


Abb. 11

Katheterisierung eines Schweins zur intravesikalen Druckableitung

2.2.2.4. Intravasale Fehllage: V. cava inferior

Die Versuchstiere wurden laparotomiert und die Kanüle nach Freipräparation der Vena cava inferior direkt in das Gefäß eingestochen. Nach gesicherter intraluminarer Platzierung erfolgte ein gasdichter Bauchdeckenverschluß. Bei dem Einstechen der Veress-Nadel durch die geschlossene Bauchdecke in die V. cava konnte aufgrund des Blutverlustes eine sichere intravasale Lage infolge mangelnder visueller Kontrollmöglichkeit nicht mehr bewiesen werden. Mit dem Druckmeßgerät wurde allein der Insufflationsdruck registriert. Eine Messung im Kompartiment ist nicht möglich, da bei Einlage der zusätzlich benötigten Druckleitung keine ausreichende Abdichtung des Gefäßes erreicht werden kann und demnach kein geschlossenes Kompartiment besteht (Abb. 12, Abb. 13).

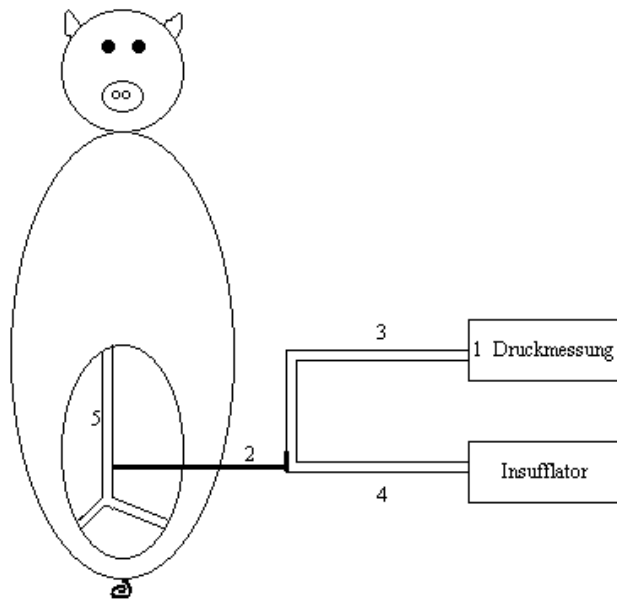


Abb. 12

Schematische Darstellung der intravasalen Fehllage

/1/ Messung des Insufflationsdruckes unmittelbar proximal der Veress-Kanüle /2/ über Druckleitung /3/;

/4/ Gasinsufflations- und Meßleitung des Insufflators;

/5/ Vena cava inferior, sichtbar im laparotomierten Abdomen

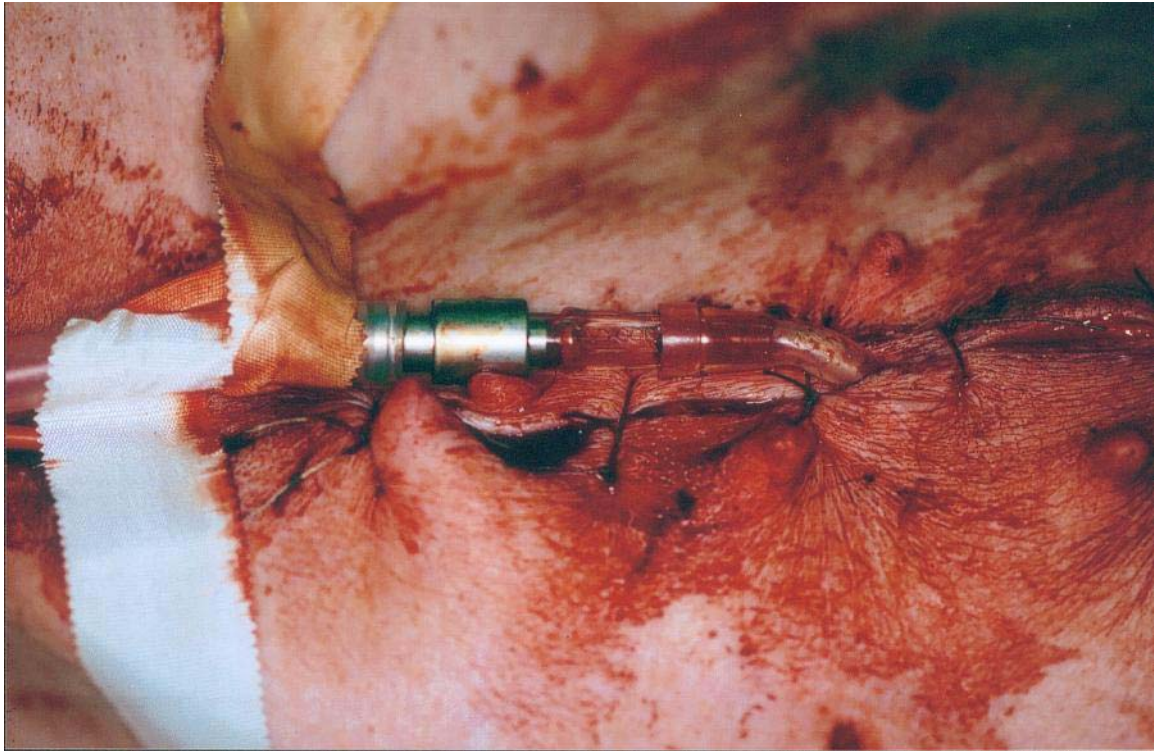


Abb. 13
Insufflationsleitung im laparotomierten Abdomen und gasdichter Verschuß

Neben der Volumenanzeige am Gerät wurde bei dieser Fehllage der Gasfluß präkardial dopplersonographisch kontrolliert, um potentielle hämodynamische Auswirkungen auch kleiner Insufflationsvolumina zu erfassen. Es sollte die Registrierung selbst minimaler Gasmengen sichergestellt werden, die sich der Geräteanzeige möglicherweise entziehen (Abb. 14).

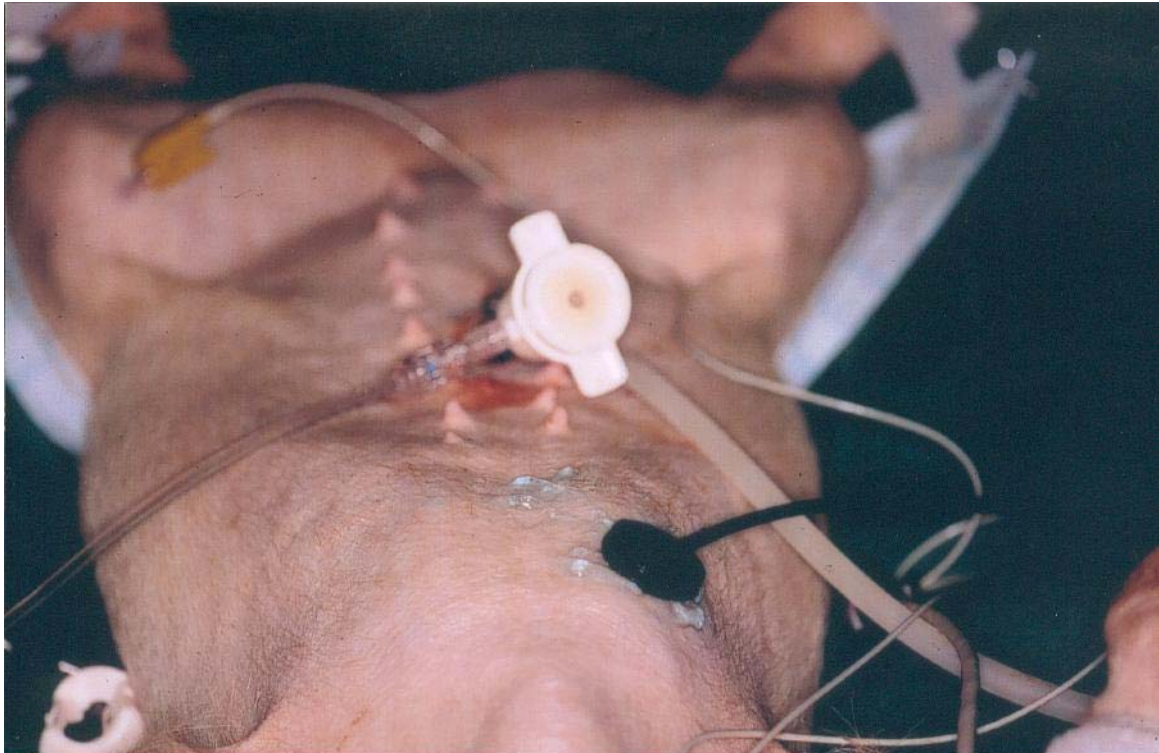


Abb. 14
Plazierung des präkardialen Doppler-Schallkopfes

3. ERGEBNISSE

3.1. In-vitro-Versuchsreihe – Analyse des Insufflatorverhaltens am Modell

3.1.1. Niederdruckinsufflator HI-TEC® Insufflator 1100

3.1.1.1. Verhalten bei Kompartimentdruck oberhalb der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung am Insufflator

Bei Insufflationsbeginn kommt es zu einem kurzen Druckpeak von 23,5, 26,0 und 30,0 cmH₂O (17,3, 19,1 und 22,1 mmHg). Der vorgewählte maximale Kompartimentdruck wird kurzzeitig (durchschnittlich 0,3 s) um 9,9, 12,4 bzw. 9,6 cmH₂O (7,3, 9,1 bzw. 7,1 mmHg) überschritten. Eine Gasförderung tritt jedoch nicht auf. Die Amplitude des Druckpeaks liegt durchschnittlich 6,5 cmH₂O (4,8 mmHg) höher als der herrschende Kompartimentdruck.

Wird die Kompartimentdruckbegrenzung in Schritten von 1 mmHg erhöht, liegt der auf die Veress-Kanüle übertragene Druck um 0,0 bis 3,8 mmHg (0,0 – 5,1 cmH₂O) unterhalb des vorgewählten maximalen Kompartimentdruckes (Tabellen 1, 2 und 3) und nur vereinzelt bis 0,5 mmHg (0,7 cmH₂O) darüber (Tabelle 3). Zu einer Gasförderung kommt es erst, wenn sich der Insufflationsdruck dem statischen Kompartimentdruck bei bereits höher liegender Druckbegrenzung auf 0,0 – 1,0 cmH₂O (0,0 – 0,8 mmHg) (Tabellen 1 und 3) nähert. Erst bei höheren Kompartimentdrücken (25,0 cmH₂O / 18,4 mmHg) beginnt der Gasfluß bereits 4,0 cmH₂O (2,9 mmHg) vor Erreichen des statischen Kompartimentdruckes (Tabelle 2).

Tabelle 1

HI-TEC® Insufflator 1100

Veränderung der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung von 10 – 16 mmHg (13,6 – 21,7 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 19,0 cmH₂O (14,0 mmHg)

Druckbegrenzung am Insufflator		Kompartimentdruck an der Nadelöffnung		Insufflationsdruck 1. Versuch		Insufflationsdruck 2. Versuch		Gasfluß 1. Versuch	Gasfluß 2. Versuch
(mmHg)	(cmH ₂ O)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(ml)
10	13,6	19,0	14,0	12,0	8,8	12,0	8,8	0,0	0,0
11	14,9	19,0	14,0	13,0	9,6	13,0	9,6	0,0	0,0
12	16,3	19,0	14,0	15,0	11,0	14,0	10,3	0,0	0,0
13	17,7	19,0	14,0	16,0	11,8	15,0	11,0	0,0	0,0
14	19,0	19,0	14,0	17,0	12,5	17,0	12,5	0,0	0,0
15	20,4	19,0	14,0	19,0	14,0	17,0	12,5	leicht	0,0
16	21,7	19,0	14,0	-	-	18,0	13,2	-	leicht

Tabelle 2

HI-TEC® Insufflator 1100

Veränderung der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung von 15 – 19 mmHg (20,4 – 25,8 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 25,0 cmH₂O (18,4 mmHg)

Druckbegrenzung am Insufflator		Kompartimentdruck an der Nadelöffnung		Insufflationsdruck		Gasfluß
(mmHg)	(cmH ₂ O)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)
15	20,4	25,0	18,4	16,0	11,8	0,0
16	21,7	25,0	18,4	17,0	12,5	0,0
17	23,1	25,0	18,4	18,0	13,2	0,0
18	24,5	25,0	18,4	20,0	14,7	0,0
19	25,8	25,0	18,4	21,0	15,5	leicht

Tabelle 3HI-TEC[®] Insufflator 1100Veränderung der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung von 10 – 14 mmHg (13,6 – 19,0 cmH₂O)Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Druckbegrenzung am Insufflator		Kompartimentdruck an der Nadelöffnung		Insufflationsdruck		Gasfluß (ml)
(mmHg)	(cmH ₂ O)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	
10	13,6	16,0	11,8	14,0	10,3	0,0
11	14,9	16,0	11,8	15,0	11,0	0,0
12	16,3	16,0	11,8	17,0	12,5	0,0
13	17,7	16,0	11,8	17,0	12,5	leicht
14	19,0	16,0	11,8	18,0	13,2	heftig

3.1.1.2. Insufflatorverhalten bei Kompartimentdruckzunahme während Gasinsufflation

Auf die Veress-Kanüle wird ein konstanter Druck von 17,9 cmH₂O (13,1 mmHg) übertragen. Der Gasfluß beträgt 2,5 l/min und wird optisch durch Gasbläschen beim Eintauchen der Nadel unter die Wasseroberfläche erkennbar.

Nach 90,0 s erreicht die Öffnung der Veress-Nadel eine Wassertiefe von 18,0 cm (13,2 mmHg). Der Gasfluß sinkt 0,8 mmHg (1,1 cmH₂O) vor Erreichen des vorgewählten Druckmaximums am Gerät.

3.1.1.3. Insufflatorverhalten bei Kompartimentdruckabnahme während Gasinsufflation

Bei Aktivierung des Insufflators entsteht ein initialer Druckpeak von durchschnittlich 32,0 cmH₂O (23,6 mmHg) bei einer mittleren Dauer von 0,3 s. Obwohl der kurzfristig aufgebaute Druck im Mittel 6,0 cmH₂O (4,5 mmHg) über dem Wasserdruck und 9,6 mmHg (13,0 cmH₂O) über dem vorgewählten Druckmaximum liegt, kommt es nicht zu einer Gasförderung (Tabelle 4). Nach durchschnittlich 44,9 s Rückzug und einer Wassertiefe von 17,0 cm (einem Kompartimentdruck von 12,5 mmHg entsprechend) beginnt der Gasfluß (Fördervolumen: 2,5 l/min). Bei auftretendem Druckverlust, einem Gasverlust entsprechend, wird somit Gas ersetzt, wenn die vorgewählte Druckgrenze um 1,5 mmHg (2,0 cmH₂O) unterschritten wird (Tabelle 4).

Tabelle 4HI-TEC[®] Insufflator 1100Druckbegrenzung: 14 mmHg (19,0 cmH₂O)

Rückzug der Veress-Nadel aus 26,0 cm Wassertiefe zur Oberfläche

	P-Peak		t-Peak	Gasfluß (ml)	Insufflationsdruck nach Peak		Rückzug- dauer (s)	Wassertiefe bei Gasfluß	
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)		(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cm)	(mmHg)
Start 1	31,0	22,8	0,3	0,0	17,9	13,2	43,5	17,0	12,5
Start 2	33,0	24,3	0,2	0,0	17,9	13,2	46,2	16,9	12,4
Mittelwert	32,0	23,6	0,3	0,0	17,9	13,2	44,9	17,0	12,5

P-Peak: Insufflationsdruck bei Druckpeak

t-Peak: Dauer eines Insufflationsdruckpeaks

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen typischen initialen Druckpeak beim Einschalten des Gerätes und die nachfolgende Einstellung auf einen nahezu konstanten Insufflationsdruck unterhalb der Maximaldruckbegrenzung, der auch mit Rückzug der Veress-Nadel zur Wasseroberfläche, entsprechend einer Verringerung des Kompartimentdruckes, bestehen bleibt (Abb. 15).

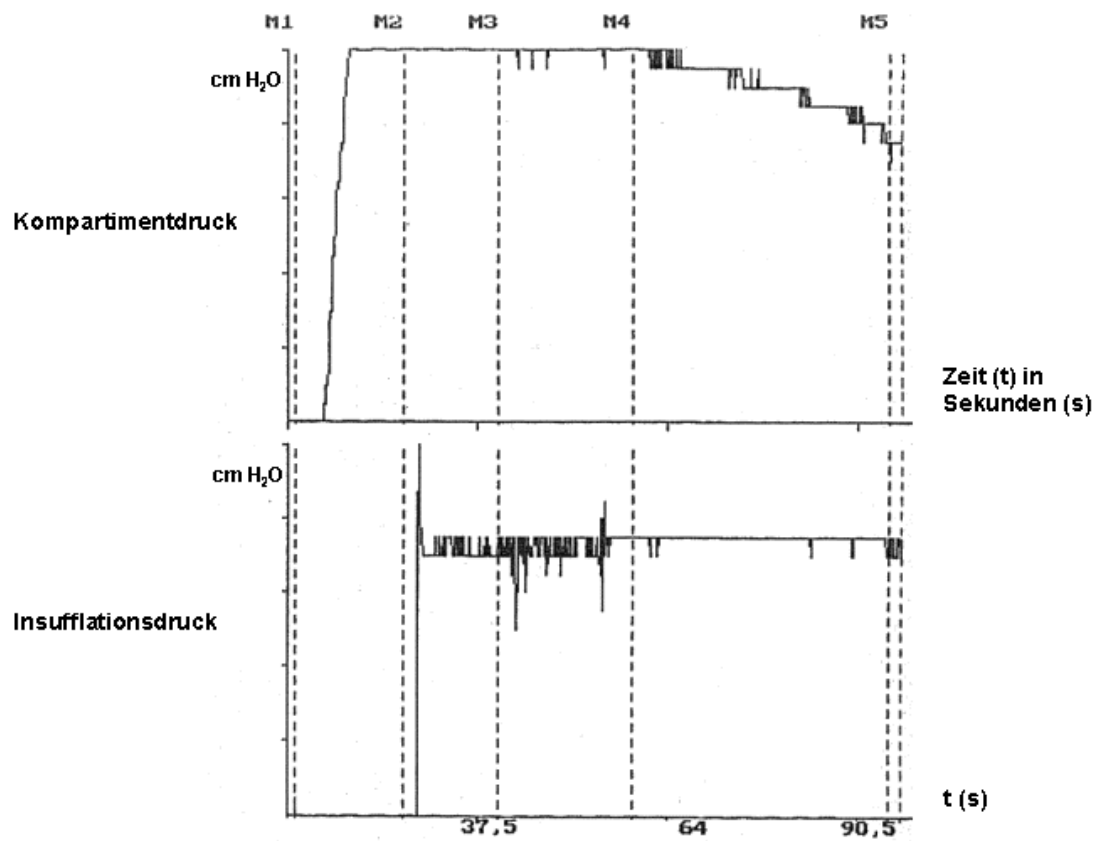


Abb. 15

HI-TEC[®] Insufflator 1100 –

Verläufe von Kompartimentdruck (bei Rückzug der Veress-Nadel) und Insufflationsdruck

M1 = Start der Messung

M2 = Vorgabe des Kompartimentdruckes entsprechend der Wassertiefe der Veress-Nadel und Aktivierung des Insufflators

M3 = konstanter Insufflationsdruck bei konstantem Kompartimentdruck

M4 = Beginn des Rückzugs der Veress-Nadel

M5 = konstanter Insufflationsdruck bei sinkendem Kompartimentdruck

Wird bei unveränderten Versuchsbedingungen die Kompartimentdruckbegrenzung am Insufflator auf 12 mmHg (16,3 cmH₂O) reduziert und das Gerät aktiviert, kommt es erneut zu einem Druckpeak von 31,0 cmH₂O (22,8 mmHg) von 0,5 s Dauer. Eine Gasfreisetzung erfolgt nicht. Im Verlauf bleibt der Druck mit 14,0 cmH₂O (10,3 mmHg) konstant und liegt damit 1,7 mmHg (2,3 cmH₂O) unterhalb der vorgewählten Druckbegrenzung. Nach 54,5 s Rückzug mit einer Geschwindigkeit von 2 mm/s beginnt die Gasförderung. Die Öffnung der Veress-Kanüle befindet sich in einer Wassertiefe von 15,1 cm. Der gemessene Kompartimentdruck beträgt ebenso wie der Insufflationsdruck 15,0 cmH₂O (11,0 mmHg). Zu einer Gasinsufflation kommt es erst, wenn die Kompartimentdruckbegrenzung um 1,0 mmHg (1,3 cmH₂O) unterschritten wird.

Die Messungen dokumentieren, daß der tatsächliche Insufflationsdruck in einem Bereich von -22,4% bis +4,2% der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung entspricht. Der Insufflationsdruck bleibt +/- 1,0 cmH₂O konstant. Größere Druckschwankungen treten nicht auf. Obwohl es bei der ersten Aktivierung des Insufflationsvorganges stets zu einer Druckübersteuerung kommt, entsteht keine artifizielle Gasförderung.

3.1.2. Überdruckinsufflatoren

Untersucht werden sollte zunächst auch hier das Insufflationsdruck- und Gasförderverhalten bei kontinuierlicher Druckreduktion durch Rückzug der Veress-Nadel zur Wasseroberfläche. Nachdem alle untersuchten Überdruckinsufflatoren, im Gegensatz zu der Druckkonstanz des Niederdruckinsufflators, unabhängig von den herrschenden Kompartimentdrücken ein zyklisches Druckverhalten zeigen (siehe unten), wurde im Verlauf der weiteren Untersuchungen der Kompartimentdruck konstant gehalten. Variiert wurde nur noch die Druckbegrenzung am Insufflationsgerät.

Ein Zyklus ist charakterisiert durch eine Insufflationsdruckspitze mit anschließendem Druckabfall und weiterer stufenweiser Druckreduzierung, bevor ein erneuter Druckpeak den nächsten Zyklus einleitet.

3.1.2.1. WIEST Laparoflator electronic® 3509

Das beschriebene zyklische Druckverhalten wird am Beispiel einer Originaldruckregistrierung des initialen Versuches mit dem Laparoflator unter den oben genannten Versuchsbedingungen deutlich (Abb. 16). Bei Aktivierung des Gerätes in Flowstufe 1 baut sich sofort ein Überdruck von 67,0 cmH₂O (51,6 mmHg) über 4,8 s auf. Innerhalb von 20,4 s reduziert sich der Druck treppenartig von 21,0 auf 19,0 cmH₂O (16,2 auf 14,6 mmHg). Als die Nadel eine Tiefe von 21,6 cm (16,6 mmHg) erreicht, wird der Insufflationsdruck kurzzeitig auf 37,8 cmH₂O (29,1 mmHg) hochgeregelt. Dabei kommt es zu einem heftigen Gasfluß von mehr als 70 ml. Im weiteren Verlauf nimmt der Druck erneut treppenartig bis zu einem konstanten Minimalwert von 19,1 cmH₂O (14,7 mmHg) ab. Bei Erreichen dieses Minimalwertes korrigiert das Gerät den Gasdruck regelmäßig auf 26,5 cmH₂O (31,7 mmHg). Meist kommt es dabei auch zu einer unerwünschten Gasfreisetzung von ca. 20 ml je Zyklus (Abb. 16).

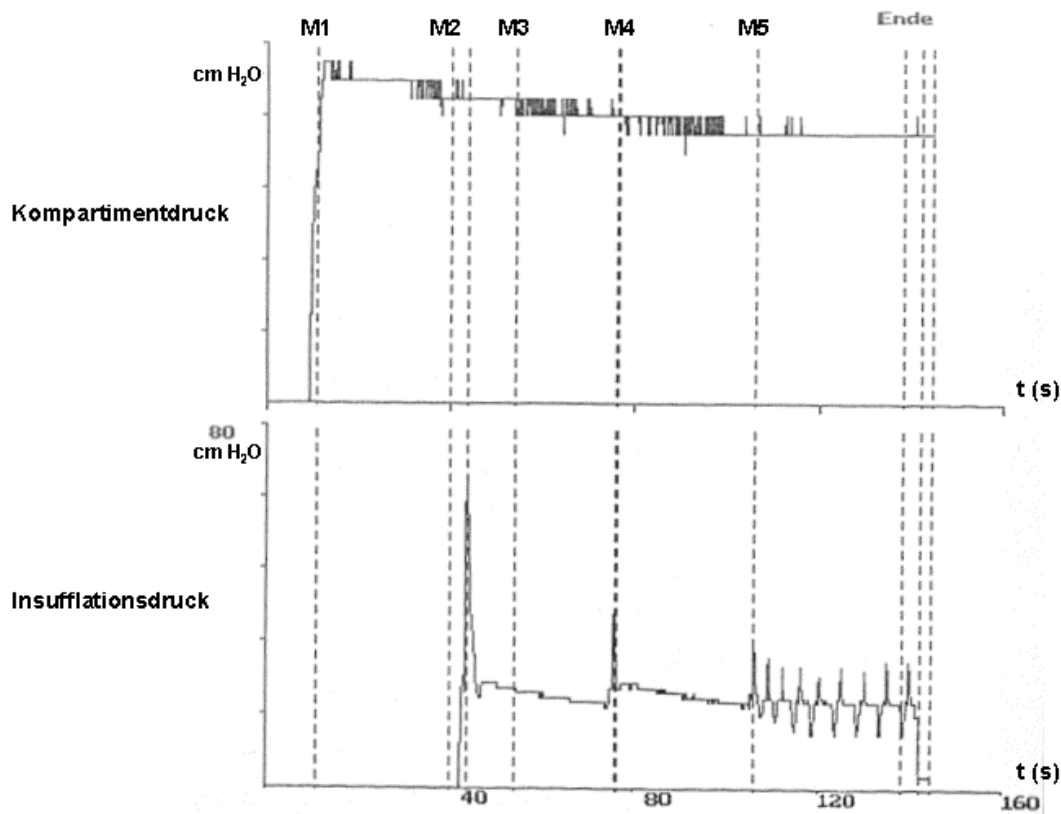


Abb. 16

WIEST Laparoflator electronic® 3509 –

Verläufe von Kompartimentdruck (bei Rückzug der Veress-Nadel) und Insufflationsdruck

M1 = Vorgabe des Kompartimentdruckes entsprechend der Wassertiefe der Veress-Nadel und Beginn des Rückzuges

M2 = Aktivierung des Insufflators

M3 = treppenartiger Druckabfall

M4 = Druckpeak mit heftiger Gasfreisetzung

M5 = zyklische Druckschwankungen mit Freisetzung von jeweils 20 ml CO₂

Bei einer Wassertiefe der Veress-Nadel von 24,0 cm wird ein Kompartimentdruck von 24,5 cmH₂O (18,0 mmHg) gemessen und der Insufflator auf Flowstufe 1 aktiviert. Die Kompartimentdruckbegrenzung wird auf 15 mmHg (20,4 cmH₂O) eingestellt. Der Kompartimentdruck wird nun konstant gehalten.

Auch hier zeigt sich ein zyklischer Druckverlauf mit nahezu regelmäßigen Druckpeaks von durchschnittlich 40,1 cmH₂O (29,5 mmHg). Maximaler und minimaler Druck nach und vor jedem erneuten Peak finden sich nahezu konstant bei Werten von 20,5 cmH₂O (15,1 mmHg) bzw. 17,0 cmH₂O (12,5 mmHg). Bei jedem Druckpeak werden durchschnittlich 47,5 ml Gas insuffliert. Insgesamt werden 760 ml Gas artifiziell freigesetzt, obwohl der Kompartimentdruck stets 3,0 mmHg (4,1 cmH₂O) oberhalb der vorgewählten Druckbegrenzung liegt. Der zeitliche Abstand zwischen den Peaks beträgt im Mittel 30,2 s (Tabelle 5, Abb. 17).

Tabelle 5

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 15 mmHg (20,4 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 24,5 cmH₂O (18,0 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1	44,6	32,8	2,6	20,8	15,3	17,0	12,5	40,0	0,0	46,8
	37,9	27,9	2,4	20,8	15,3	17,0	12,5	40,0	0,0	50,9
	40,2	29,6	3,1	20,8	15,3	17,0	12,5	40,0	0,0	50,9
	38,1	28,0	2,0	20,8	15,3	17,0	12,5	40,0	0,0	30,5
	38,1	28,0	2,2	19,9	14,6	17,0	12,5	40,0	0,0	10,8
	38,1	28,0	2,0	19,9	14,6	17,0	12,5	40,0	0,0	11,8
	38,1	28,0	1,0	20,8	15,3	17,0	12,5	40,0	0,0	14,2
	38,1	28,0	2,0	20,8	15,3	17,0	12,5	40,0	0,0	17,3
	38,1	28,0	3,1	20,8	15,3	17,0	12,5	40,0	0,0	16,3
	38,1	28,0	2,0	19,9	14,6	17,0	12,5	40,0	0,0	18,5
	38,1	28,0	2,0	19,9	14,6	17,0	12,5	40,0	0,0	18,3
	38,1	28,0	2,0	19,9	14,6	entfällt	entfällt	40,0	0,0	entfällt
	Start 2	51,1	37,6	2,2	19,9	14,6	17,0	12,5	70,0	0,0
-		-	entfällt	21,8	16,0	17,0	12,5	0,0	0,0	26,0
44,6		32,8	1,6	20,8	15,3	17,0	12,5	70,0	0,0	52,4
40,2		29,6	1,4	19,9	14,6	17,0	12,5	70,0	0,0	50,3
-		-	entfällt	22,1	16,3	17,0	12,5	0,0	0,0	25,9
-		-	entfällt	20,8	15,3	17,0	12,5	0,0	0,0	22,4
40,2		29,6	1,8	19,9	14,6	entfällt	entfällt	70,0	0,0	entfällt
Mittelwert	40,1	29,5	2,1	20,5	15,1	17,0	12,5	40,0	0,0	30,2
Minimum	37,9	27,9	1,0	19,9	14,6	17,0	12,5	0,0	0,0	10,8
Maximum	51,1	37,6	3,1	22,1	16,3	17,0	12,5	70,0	0,0	52,4
Median	38,1	28,0	2,0	20,8	15,3	17,0	12,5	40,0	0,0	25,9
Summe								760		513,6

P-Peak: Insufflationsdruck bei Druckpeak

t-Peak: Dauer eines Insufflationsdruckpeaks

Pmax nach Peak: maximaler Insufflationsdruck im Anschluß an einen Druckpeak

Pmin vor Peak: minimaler Insufflationsdruck vor dem nächsten Druckpeak

Alarm: akustische Warnung durch den Insufflator

t-Zyklus: Zyklusdauer: Zeitraum von Beginn eines Druckpeaks bis Beginn des nächsten

(Die Erläuterung der verwendeten Abkürzungen gilt ebenso für alle folgenden Tabellen.)

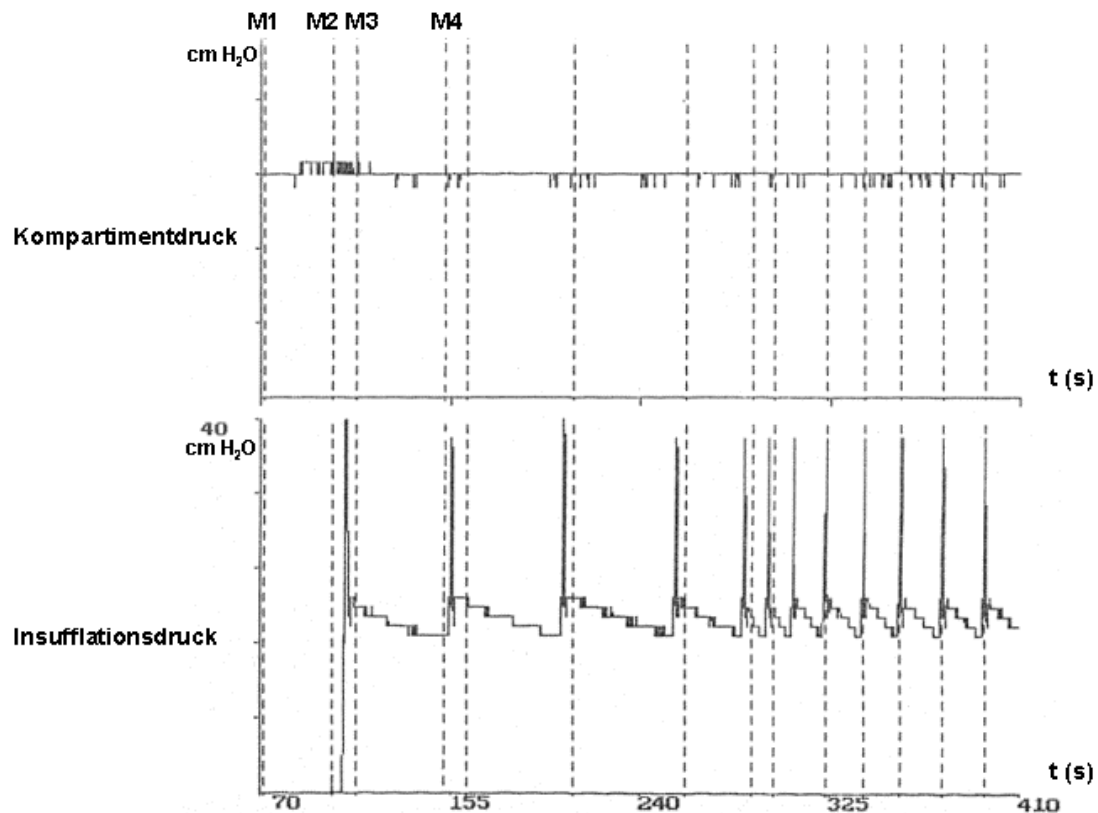


Abb. 17

WIEST Laparoflator electronic® 3509 –

Verlauf des Insufflationsdruckes bei konstantem Kompartimentdruck

M1 = Vorgabe des Kompartimentdruckes entsprechend der Wassertiefe der Veress-Nadel

M2 = Aktivierung des Insufflators

M3 = treppenartiger Druckabfall

M4 = Druckpeak

Bei ansonsten gleichen Parametern wird die Veress-Nadel auf eine Wassertiefe von 23,0 cm angehoben (Kompartimentdruck 23,0 cmH₂O / 16,9 mmHg). Meist kommt es zu einer initialen Druckübersteuerung von 48,0 cmH₂O (35,3 mmHg) mit Gasfreisetzung zwischen 30 und 50 ml. Wie oben beschrieben fällt der Druck von einem maximalen Wert nach dem Peak von im Mittel 21,2 cmH₂O (15,6 mmHg) auf 17,8 cmH₂O (13,1 mmHg). Häufig ist die Hochregelung nach Erreichen des minimalen Druckes verbunden mit einer erneuten Druckübersteuerung. Für die Peaks ergeben sich Werte von durchschnittlich 36,9 cmH₂O (27,1 mmHg), wobei es zu einer mittleren artifiziellen Gasförderung von 23,1 ml kommt. Die Zyklusdauer zeigt starke Unterschiede zwischen 6,5 und 63,5 s und beträgt im Mittel 25,3 s (Tabelle 6).

Tabelle 6

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 15 mmHg (20,4 cmH₂O)Kompartimentdruck: 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1	48,0	35,3	3,2	21,0	15,5	18,0	13,2	30,0	0,0	entfällt
Start 2	48,0	35,3	3,6	22,1	16,3	17,8	13,1	50,0	0,0	31,8
	-	-	entfällt	22,1	16,3	17,8	13,1	0,0	0,0	34,2
	-	-	entfällt	22,1	16,3	17,8	13,1	0,0	0,0	39,1
	-	-	entfällt	22,1	16,3	17,8	13,1	0,0	0,0	36,7
	-	-	entfällt	23,3	17,1	17,8	13,1	0,0	0,0	44,0
	-	-	entfällt	23,3	17,1	17,8	13,1	0,0	0,0	45,2
	-	-	entfällt	23,3	17,1	17,8	13,1	0,0	0,0	46,5
	35,9	26,4	2,0	22,1	16,3	18,8	13,8	20,0	0,0	7,8
	-	-	entfällt	23,3	17,1	18,8	13,8	0,0	0,0	19,3
	-	-	entfällt	23,3	17,1	18,8	13,8	0,0	0,0	22,0
	-	-	entfällt	23,3	17,1	18,8	13,8	0,0	0,0	18,3
	Start 3	-	-	entfällt	19,9	14,6	17,0	12,5	0,0	0,0
34,9		25,7	0,6	20,8	15,3	15,9	11,7	22,0	0,0	63,5
33,9		25,0	1,6	19,9	14,6	15,9	11,7	20,0	0,0	33,4
33,0		24,3	1,3	19,9	14,6	17,9	13,2	20,0	0,0	25,9
31,8		23,4	1,4	19,9	14,6	17,8	13,1	20,0	0,0	18,7
32,6		24,0	1,8	18,9	13,9	17,8	13,1	20,0	0,0	6,5
43,3		31,9	1,7	19,9	14,6	17,0	12,5	20,0	0,0	6,7
34,9		25,7	1,9	19,9	14,6	17,8	13,1	18,0	0,0	8,6
-		-	entfällt	20,4	15,0	17,9	13,2	0,0	0,0	8,3
34,4		25,3	1,4	19,9	14,6	17,8	13,1	20,0	0,0	10,8
-		-	entfällt	20,4	15,0	17,8	13,1	0,0	0,0	10,1
33,9		25,0	1,8	19,9	14,6	17,8	13,1	20,0	0,0	8,3
34,9		25,7	1,8	19,9	14,6	entfällt	entfällt	20,0	0,0	entfällt
Mittelwert	36,9	27,1	1,9	21,2	15,6	17,8	13,1	12,0	0,0	25,3
Minimum	31,8	23,4	0,6	18,9	13,9	15,9	11,7	0,0	0,0	6,5
Maximum	48,0	35,3	3,6	23,3	17,1	18,8	13,8	50,0	0,0	63,5
Median	34,9	25,7	1,8	20,8	15,3	17,8	13,1	18,0	0,0	22,0
Summe								300		582,5

Nach Reduktion der Kompartimentdruckgrenze auf 7,5 mmHg / 10,2 cmH₂O bei einem Kompartimentdruck von 24,4 cmH₂O (18,0 mmHg) liefert das Gerät bei Aktivierung in Stufe 1 für eine Dauer von 1,7 s einen Überdruck von 38,1 cmH₂O (28,0 mmHg). Ausgehend von einem Druck von 14,1 cmH₂O (10,4 mmHg) nach dem Peak zeigt sich ein treppenartiger Druckabfall auf einen minimalen Wert von 8,7 cmH₂O (6,4 mmHg), gefolgt von einer erneuten Druckerhöhung auf 14,1 cmH₂O (10,4 mmHg) und einer weiteren Druckspitze von 34,9 cmH₂O (25,7 mmHg). Nachfolgend kommt es nochmals zu einer zweimaligen Druckerhöhung auf 14,1 cmH₂O (10,4 mmHg) und einem terminalen Druckpeak von 33,9 cmH₂O (25,0 mmHg) mit konsekutivem Druckabfall. Der maximale Insufflationsdruck liegt somit im Schnitt 18,7 mmHg (25,4 cmH₂O) über dem vorgewählten Kompartimentdruck. Die Peaks werden jeweils von einem Gasfluß von 20 ml begleitet (Tabelle 7).

Tabelle 7

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 7,5 mmHg (10,2 cmH₂O)Kompartimentdruck: 24,4 cmH₂O (18,0 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)	
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)				
Start	38,1	28,0	1,7	14,1	10,4	8,7	6,4	20,0	0,0	62,0	
	-	-	entfällt	14,1	10,4	8,7	6,4	0,0	0,0	26,6	
	34,9	25,7	1,9	15,0	11,0	8,7	6,4	20,0	0,0	77,7	
	-	-	entfällt	14,1	10,4	8,7	6,4	0,0	0,0	28,2	
	-	-	entfällt	14,1	10,4	9,0	6,6	0,0	0,0	28,5	
	33,9	25,0	1,4	14,1	10,4	entfällt	entfällt	20,0	0,0	entfällt	
Mittelwert	35,6	26,2	1,7	14,3	10,5	8,8	6,4	10,0	0,0	44,6	
Minimum	33,9	25,0	1,4	14,1	10,4	8,7	6,4	0,0	0,0	26,6	
Maximum	38,1	28,0	1,9	15,0	11,0	9,0	6,6	20,0	0,0	77,7	
Median	34,9	25,7	1,7	14,1	10,4	8,7	6,4	10,0	0,0	28,5	
Summe									60		223,0

Erfolgt die Aktivierung mit Flowstufe 2, zeigt sich ein analoges Druckverhalten. Die geförderte Gasmenge je Hub beträgt nun jedoch lediglich 10 ml.

Auch bei Aktivierung mit Flowstufe 3 beobachtet man einen initialen Peak, gefolgt von einem treppenartigen Druckabfall auf einen Minimalwert, bevor eine erneute Druckspitze den nächsten Zyklus beginnt. Der Gasfluß je Hub beträgt > 70 ml.

Wird der maximale Kompartimentdruck auf 5 mmHg / 6,8 cmH₂O begrenzt und das Gerät bei einem Kompartimentdruck von 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg) auf Flowstufe 1 eingeschaltet, zeigen sich Druckpeaks von durchschnittlich 31,8 cmH₂O (23,4 mmHg). Von einem sich danach einstellenden maximalen Druck von im Mittel 10,6 cmH₂O (7,8 mmHg) fällt der Druck nach durchschnittlich 80,5 s treppenartig auf einen Minimaldruck von 5,7 cmH₂O (4,2 mmHg) ab, bevor es zu einer erneuten Druckübersteuerung kommt. Die damit verbundene Gasfreisetzung beträgt im Durchschnitt 4,4 ml (Tabelle 8).

Tabelle 8

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 5 mmHg (6,8 cmH₂O)Kompartimentdruck: 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)	
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)				
Start 1	31,8	23,4	1,0	15,5	11,4	4,8	3,5	1,0	0,0	64,0	
Start 2	-	-	entfällt	9,7	7,1	5,8	4,3	0,0	0,0	71,2	
	29,6	21,8	9,6	9,7	7,1	5,8	4,3	6,0	0,0	126,9	
Start 3	34,4	25,3	7,7	9,7	7,1	5,8	4,3	4,0	0,0	115,4	
	-	-	entfällt	9,9	7,3	5,8	4,3	0,0	0,0	40,4	
	32,0	23,6	4,6	10,9	8,0	5,8	4,3	6,0	0,0	111,2	
	-	-	entfällt	9,7	7,1	5,8	4,3	0,0	0,0	34,6	
	31,0	22,8	7,7	9,7	7,1	entfällt	entfällt	5,0	0,0	entfällt	
Mittelwert	31,8	23,4	6,1	10,6	7,8	5,7	4,2	2,8	0,0	80,5	
Minimum	29,6	21,8	1,0	9,7	7,1	4,8	3,5	0,0	0,0	34,6	
Maximum	34,4	25,3	9,6	15,5	11,4	5,8	4,3	6,0	0,0	126,9	
Median	31,8	23,4	7,7	9,7	7,1	5,8	4,3	2,5	0,0	71,2	
Summe									22		563,7

Bei Begrenzung des maximalen Kompartimentdruckes auf 10 mmHg (13,6 cmH₂O) wird die Veress-Nadel in eine Wassertiefe von 16,0 cm verbracht und der Insufflator auf Flowstufe 1 gestartet. Wie in den vorhergehenden Versuchen zeigt sich meist eine initiale Druckübersteuerung, verbunden mit einer Gasfreisetzung zwischen 20 und 50 ml. Durchschnittlich erreichen die Peaks 29,5 cmH₂O (21,7 mmHg) bei einer mittleren Gasfreisetzung von 23,5 ml. Auch unter diesen Versuchsbedingungen kommt es nach dem Peak zu einer treppenartigen Druckreduktion auf einen Minimaldruck, von dem aus eine erneute Hochregelung erfolgt, die jedoch nicht in jedem Fall mit einer extremen Druckübersteuerung und artifiziellen Gasfreisetzung verbunden ist. Dennoch liefert das Gerät auch bei diesen Parametern keinen konstanten Insufflationsdruck. Trotz einer den Kompartimentdruck unterschreitenden Maximaldruckbegrenzung wird ein artifizierter Gasausstoß nicht unterdrückt (Tabelle 9).

Tabelle 9

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 10 mmHg (13,6 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1 in 1	29,9	22,0	1,4	13,9	10,2	9,9	7,3	20,0	0,0	19,7
	-	-	entfällt	13,9	10,2	9,6	7,1	0,0	0,0	23,7
	29,9	22,0	1,4	13,9	10,2	10,8	7,9	20,0	0,0	83,0
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	55,7
	29,9	22,0	1,1	14,9	11,0	entfällt	entfällt	21,0	0,0	entfällt
Start 2 in 1	29,8	21,9	2,1	13,9	10,2	10,8	7,9	21,0	0,0	139,1
	28,9	21,3	2,1	14,1	10,4	13,9	10,2	21,0	0,0	64,9
	28,9	21,3	2,1	14,1	10,4	11,8	8,7	21,0	0,0	33,9
	-	-	entfällt	14,5	10,7	11,8	8,7	0,0	0,0	54,0
	26,7	19,7	2,3	13,1	9,6	10,8	7,9	21,0	0,0	18,8
	28,9	21,3	2,3	14,1	10,4	11,8	8,7	20,0	0,0	10,9
Start 3 in 1	28,9	21,3	1,7	14,1	10,4	10,9	8,0	20,0	0,0	9,1
	32,8	24,1	4,1	14,0	10,3	10,8	7,9	50,0	0,0	17,4
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	16,1
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	16,4
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	16,4
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	16,5
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	18,0
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	16,4
Start 4 in 1	-	-	entfällt	14,0	10,3	entfällt	entfällt	0,0	0,0	entfällt
	-	-	entfällt	14,0	10,3	9,9	7,3	0,0	0,0	17,2
	-	-	entfällt	14,0	10,3	9,9	7,3	0,0	0,0	20,2
	-	-	entfällt	14,0	10,3	9,9	7,3	0,0	0,0	19,9
	-	-	entfällt	14,0	10,3	9,9	7,3	0,0	0,0	20,6
	-	-	entfällt	14,9	11,0	9,9	7,3	0,0	0,0	21,9
	-	-	entfällt	14,9	11,0	9,9	7,3	0,0	0,0	21,6
-	-	entfällt	14,9	11,0	9,9	7,3	0,0	0,0	22,7	
Mittelwert	29,5	21,7	2,1	14,2	10,4	10,7	7,9	8,7	0,0	31,0
Minimum	26,7	19,7	1,1	13,1	9,6	9,6	7,1	0,0	0,0	9,1
Maximum	32,8	24,1	4,1	14,9	11,0	13,9	10,2	50,0	0,0	139,1
Median	29,4	21,6	2,1	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	19,9
Summe								235		774,1

Beim Umschalten auf Stufe 2 regelt das Gerät den Insufflationsdruck sofort auf einen relativ konstanten mittleren Maximaldruck von 14,8 cmH₂O (10,9 mmHg), zu einem Überdruck kommt es nicht. Im Verlauf erfolgt auch hier ein treppenartiger Druckabfall auf im Mittel 11,0 cmH₂O (8,1 mmHg), bevor der Druck erneut angehoben wird. Hierauf bezieht sich die Zyklusdauer von durchschnittlich 25,6 s. Eine Gasförderung findet in diesem Falle nicht statt (Tabelle 10).

Tabelle 10

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 10 mmHg (13,6 cmH₂O)Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: Stufe 2 aus 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax		Pmin		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
1 -	-	-	entfällt	14,9	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	18,6
2 aus 1	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	19,7
	-	-	entfällt	14,9	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	21,6
	-	-	entfällt	14,9	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	25,5
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	25,9
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	28,7
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	28,7
	-	-	entfällt	14,9	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	30,3
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	30,3
	-	-	entfällt	14,9	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	30,3
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	32,4
	-	-	entfällt	13,9	10,2	11,8	8,7	0,0	0,0	31,3
-	-	entfällt	14,9	11,0	entfällt	entfällt	0,0	0,0	entfällt	
2 -	-	-	entfällt	14,9	11,0	9,9	7,3	0,0	0,0	22,1
2 aus 1	-	-	entfällt	14,9	11,0	9,9	7,3	0,0	0,0	21,9
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	22,1
	-	-	entfällt	14,9	11,0	9,9	7,3	0,0	0,0	22,1
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	23,2
	-	-	entfällt	14,9	11,0	entfällt	entfällt	0,0	0,0	entfällt
Mittelwert	-	-	-	14,8	10,9	11,0	8,1	0,0	0,0	25,6
Minimum	-	-	-	13,9	10,2	9,9	7,3	0,0	0,0	18,6
Maximum	-	-	-	14,9	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	32,4
Median	-	-	-	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	25,5
Summe								0		434,7

Nimmt man das Gerät, unter Umgehung der Stufe 1, sofort auf Stufe 2 in Betrieb, zeigt es das übliche Druckverhalten. Ein initialer Peak mit artifiziellem Gasausstoß ist gefolgt von einem treppenartigen Druckabfall, bevor eine erneute Hochregelung erfolgt. Nicht in jedem Fall kommt es bei der Hochregelung zu einer Druckübersteuerung mit Gasfreisetzung (Tabelle 11).

Tabelle 11

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 10 mmHg (13,6 cmH₂O)Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: Stufe 2

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1	31,3	23,0	2,9	14,0	10,3	10,8	7,9	24,0	0,0	16,1
in 2	31,3	23,0	2,2	14,9	11,0	10,8	7,9	24,0	0,0	16,3
	31,8	23,4	1,9	14,9	11,0	10,8	7,9	24,0	0,0	19,0
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	2,0	0,0	15,2
	31,8	23,4	1,8	14,9	11,0	10,8	7,9	23,0	0,0	21,1
	31,8	23,4	1,7	14,9	11,0	11,8	8,7	24,0	0,0	20,6
	31,8	23,4	2,0	14,0	10,3	entfällt	entfällt	24,0	0,0	entfällt
Start 2	42,0	30,9	3,5	14,0	10,3	11,8	8,7	100,0	0,0	26,4
in 2	-	-	entfällt	14,9	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	16,8
	-	-	entfällt	14,0	10,3	11,8	8,7	0,0	0,0	16,3
	-	-	entfällt	14,0	10,3	11,8	8,7	0,0	0,0	16,6
	-	-	entfällt	14,0	10,3	11,8	8,7	0,0	0,0	16,3
	-	-	entfällt	14,9	11,0	12,0	8,8	0,0	0,0	16,7
	-	-	entfällt	14,0	10,3	11,8	8,7	0,0	0,0	15,9
Start 3	-	-	entfällt	14,0	10,3	9,7	7,1	0,0	0,0	16,8
in 2	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	20,3
	-	-	entfällt	14,9	11,0	11,0	8,1	0,0	0,0	20,1
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	20,3
	-	-	entfällt	14,9	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	20,0
	-	-	entfällt	14,9	11,0	entfällt	entfällt	0,0	0,0	entfällt
Start 4	-	-	entfällt	12,0	8,8	1,9	1,4	0,0	0,0	3,2
in 2	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,1	7,4	0,0	0,0	24,0
	31,6	23,3	2,4	15,0	11,0	11,8	8,7	23,0	0,0	24,2
	-	-	entfällt	15,0	11,0	10,8	7,9	0,0	0,0	26,6
	32,8	24,1	1,6	15,0	11,0	11,8	8,7	23,0	0,0	30,5
	31,8	23,4	2,3	15,0	11,0	11,8	8,7	24,0	0,0	44,2
	-	-	entfällt	15,0	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	24,2
	31,8	23,4	1,6	15,0	11,0	12,0	8,8	24,0	0,0	58,0
	30,8	22,7	1,9	15,0	11,0	12,0	8,8	25,0	0,0	16,1
	-	-	entfällt	15,0	11,0	entfällt	entfällt	0,0	0,0	entfällt
Mittelwert	32,6	24,0	2,2	14,5	10,7	11,0	8,1	12,1	0,0	21,5
Minimum	30,8	22,7	1,6	12,0	8,8	1,9	1,4	0,0	0,0	3,2
Maximum	42,0	30,9	3,5	15,0	11,0	12,0	8,8	100,0	0,0	58,0
Median	31,8	23,4	2,0	14,9	11,0	11,8	8,7	0,0	0,0	20,0
Summe								364		581,8

3.1.2.2. WOM Surgiflator®

Der Kompartimentdruck wird auf 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg) eingestellt (Veress-Nadel in 23,0 cm Wassertiefe). Die Alarmgrenze für den maximalen Kompartimentdruck wird bei 15 mmHg (20,4 cmH₂O) gewählt. Der Flow-selector arbeitet auf Stufe 1.

Beim Einschalten des Gerätes stellt sich zunächst ein maximaler Druck von durchschnittlich 19,5 cmH₂O (14,4 mmHg) ein, der zyklisch treppenartig auf einen beinahe konstanten minimalen Druckwert abfällt, von dem aus eine Hochregelung auf nahezu den Ausgangswert erfolgt. Eine Druckübersteuerung tritt bei Stufe 1 des Flow-selectors nicht auf. Ebenso wird kein unbeabsichtigter Gasfluß nachgewiesen (Tabelle 12).

Tabelle 12

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 15 mmHg (20,4 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax		Pmin		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1 in 1	-	-	entfällt	19,8	14,6	15,9	11,7	0,0	0,0	2,4
	-	-	entfällt	17,8	13,1	15,9	11,7	0,0	0,0	6,1
	-	-	entfällt	18,8	13,8	15,9	11,7	0,0	0,0	9,4
	-	-	entfällt	18,8	13,8	16,4	12,1	0,0	0,0	10,8
	-	-	entfällt	18,8	13,8	16,4	12,1	0,0	0,0	9,8
	-	-	entfällt	18,8	13,8	16,4	12,1	0,0	0,0	10,2
	-	-	entfällt	18,8	13,8	16,9	12,4	0,0	0,0	10,6
	-	-	entfällt	18,8	13,8	16,9	12,4	0,0	0,0	9,8
	-	-	entfällt	18,8	13,8	16,9	12,4	0,0	0,0	9,6
	-	-	entfällt	18,8	13,8	entfällt	entfällt	0,0	0,0	entfällt
Start 2 in 1	-	-	entfällt	19,9	14,6	16,0	11,8	0,0	0,0	7,6
	-	-	entfällt	18,8	13,8	16,0	11,8	0,0	0,0	7,6
	-	-	entfällt	18,7	13,8	16,9	12,4	0,0	0,0	12,7
	-	-	entfällt	18,8	13,8	16,9	12,4	0,0	0,0	12,7
Start 3 in 1	-	-	entfällt	18,9	13,9	15,0	11,0	0,0	0,0	4,8
	-	-	entfällt	17,0	12,5	15,0	11,0	0,0	0,0	12,9
	-	-	entfällt	17,9	13,2	15,0	11,0	0,0	0,0	14,8
	-	-	entfällt	16,7	12,3	15,0	11,0	0,0	0,0	25,8
Mittelwert	-	-	-	18,6	13,7	16,1	11,8	0,0	0,0	10,4
Minimum	-	-	-	16,7	12,3	15,0	11,0	0,0	0,0	2,4
Maximum	-	-	-	19,9	14,6	16,9	12,4	0,0	0,0	25,8
Median	-	-	-	18,8	13,8	16,0	11,8	0,0	0,0	9,8
Summe								0		177,6

Wird aus Stufe 1 bei aktiviertem Gerät in Flowstufe 2 umgeschaltet, zeigt sich sofort eine kurzdauernde Druckübersteuerung zwischen 48,2 und 78,1 cmH₂O (35,5 und 57,5 mmHg) mit heftiger Gasfreisetzung von mehr als 70 ml. Nach diesen im Schnitt 2,5 s (2,2 – 2,8 s) andauernden Druckspitzen, sowie auch den folgenden Peaks, fällt der Druck auf einen mittleren maximalen Wert von 18,6 cmH₂O (13,7 mmHg). In Zyklen von durchschnittlich 8,3 s Dauer kommt es zu einem treppenartigen Abfall auf einen mittleren Druck von 18,1 cmH₂O (13,3 mmHg), bevor ein erneuter Druckpeak erfolgt. Diese Druckspitzen erfolgen in der Regel als Doppelhübe, vereinzelt als Einfach- oder Mehrfachhübe (Tabelle 13). Dabei liegt das Druckmaximum des ersten Hubes im Schnitt 3,3 cmH₂O (0,0 – 7,7 cmH₂O) bzw. 2,4 mmHg (0,0 – 5,7 mmHg) unterhalb des zweiten. Bei einer durchschnittlichen Druckübersteuerung von 33,3 cmH₂O (24,5 mmHg) fließt in beinahe jedem Zyklus artifizielles Gas (Tabelle 13).

Tabelle 13

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 15 mmHg (20,4 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg)

Flowselector: Stufe 2 aus 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
1 - 2 aus 1	68,0	50,0	2,2	23,9	17,6	15,4	11,3	>70	0,0	42,1
2 - 2 aus 1	78,1	57,5	2,6	23,9	17,6	19,9	14,6	>70	0,0	22,3
	31,8	23,4	0,4	17,8	13,1	17,8	13,1		0,0	
	33,7	24,8	0,9	19,8	14,6	19,8	14,6	4,0	0,0	4,2
	32,8	24,1	0,7	18,8	13,8	18,8	13,8	0,0	0,0	
	32,8	24,1	0,6	19,8	14,6	19,8	14,6	0,0	0,0	3,3
	32,8	24,1	0,8	19,8	14,6	18,8	13,8	7,0	0,0	4,9
	32,8	24,1	0,5	19,8	14,6	19,8	14,6	7,0	0,0	2,2
	31,8	23,4	0,6	18,8	13,8	18,8	13,8	3,0	0,0	3,1
	32,8	24,1	0,5	19,8	14,6	18,8	13,8	5,0	0,0	3,6
	32,8	24,1	0,7	20,8	15,3	19,8	14,6	8,0	0,0	3,6
	31,8	23,4	0,4	18,3	13,5	18,3	13,5		0,0	
	31,8	23,4	0,6	17,8	13,1	17,8	13,1		0,0	
	33,7	24,8	0,7	21,8	16,0	19,8	14,6	12,0	0,0	14,7
	33,3	24,5	0,4	17,7	13,0	17,7	13,0		0,0	
	33,7	24,8	0,7	20,8	15,3	19,8	14,6	18,0	0,0	9,8
	31,8	23,4	0,4	17,8	13,1	17,8	13,1		0,0	
	31,8	23,4	0,7	19,8	14,6	19,8	14,6	12,0	0,0	7,3
	29,9	22,0	0,6	17,7	13,0	17,8	13,1		0,0	
	33,3	24,5	0,8	19,8	14,6	19,8	14,6	20,0	0,0	8,4
	30,8	22,7	0,7	17,7	13,0	17,8	13,1		0,0	
	33,3	24,5	0,8	19,8	14,6	19,8	14,6	23,0	0,0	14,6
	28,0	20,6	0,7	17,7	13,0	17,8	13,1		0,0	
	35,2	25,9	0,8	21,8	16,0	19,8	14,6	22,0	0,0	15,8
	29,9	22,0	0,3	17,7	13,0	17,8	13,1		0,0	
	35,7	26,3	0,6	20,8	15,3	19,8	14,6	20,0	0,0	13,6
	30,8	22,7	0,7	17,7	13,0	17,6	13,0		0,0	
	36,9	27,2	0,7	21,8	16,0	19,8	14,6	27,0	0,0	19,0
29,9	22,0	0,6	18,8	13,8	18,8	13,8		0,0		
35,7	26,3	0,6	20,8	15,3	19,8	14,6	20,0	0,0	13,0	
30,8	22,7	0,5	18,8	13,8	18,8	13,8		0,0		
33,7	24,8	0,8	20,8	15,3	19,8	14,6	20,0	0,0	13,1	
28,0	20,6	0,4	18,8	13,8	18,8	13,8		0,0		
35,7	26,3	0,8	20,8	15,3	19,8	14,6	25,0	0,0	14,0	
32,8	24,1	0,5	18,8	13,8	18,8	13,8		0,0		
33,7	24,8	1,1	20,8	15,3	19,8	14,6	23,0	0,0	23,8	
3 - 2 aus 1	48,2	35,5	2,8	19,9	14,6	19,9	14,6	>70	0,0	17,1
	29,9	22,0	0,6	15,0	11,0	15,0	11,0		0,0	
	35,7	26,3	0,6	18,9	13,9	17,9	13,2	31,0	0,0	3,4
	29,9	22,0	0,5	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	34,7	25,5	0,6	18,9	13,9	17,9	13,2	12,0	0,0	2,9
	29,9	22,0	0,5	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	32,8	24,1	1,1	17,9	13,2	17,9	13,2	37,0	0,0	2,2
	30,8	22,7	0,6	17,9	13,2	16,7	12,3	33,0	0,0	1,0
	30,8	22,7	0,6	17,0	12,5	17,0	12,5		0,0	
	31,8	23,4	0,6	17,0	12,5	17,0	12,5		0,0	
	30,8	22,7	0,6	17,9	13,2	17,9	13,2	35,0	0,0	2,2
	27,7	20,4	0,6	16,2	11,9	16,2	11,9		0,0	
	31,8	23,4	0,6	16,7	12,3	16,7	12,3		0,0	
	29,9	22,0	0,4	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	33,7	24,8	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	20,0	0,0	2,2
30,8	22,7	0,6	16,5	12,1	16,5	12,1		0,0		
34,7	25,5	0,8	16,7	12,3	16,7	12,3	14,0	0,0	4,3	

	28,0	20,6	0,6	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	31,8	23,4	0,6	17,9	13,2	17,9	13,2	15,0	0,0	1,4
	31,8	23,4	0,7	17,9	13,2	16,0	11,8		0,0	
	32,8	24,1	0,6	18,7	13,8	17,9	13,2	17,0	0,0	1,9
	29,9	22,0	0,4	17,0	12,5	17,0	12,5		0,0	
	32,8	24,1	0,4	17,9	13,2	17,9	13,2	26,0	0,0	1,0
	26,0	19,1	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	14,0	0,0	3,1
	30,8	22,7	0,4	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	33,7	24,8	0,6	17,9	13,2	17,9	13,2	13,0	0,0	2,9
	31,8	23,4	0,6	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	32,8	24,1	0,6	17,9	13,2	17,9	13,2	13,0	0,0	1,4
	28,0	20,6	0,6	16,5	12,1	16,5	12,1		0,0	
	32,8	24,1	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	15,0	0,0	2,2
	26,5	19,5	0,6	17,5	12,9	16,7	12,3		0,0	
	31,8	23,4	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	16,0	0,0	2,4
Mittelwert	33,3	24,5	0,7	18,6	13,7	18,1	13,3	(16,8)	0,0	8,3
Minimum	26,0	19,1	0,3	15,0	11,0	15,0	11,0	0,0	0,0	1,0
Maximum	78,1	57,5	2,8	23,9	17,6	19,9	14,6	>70	0,0	42,1
Median	31,8	23,4	0,6	17,9	13,2	17,9	13,2	(16,0)	0,0	3,6
Summe								>827		308,0

Der Insufflator wird nun sofort in Flowstufe 2 aktiviert. Jedesmal zeigt sich auch unter diesen Bedingungen eine initiale Druckspitze zwischen 77,6 und 80,0 cmH₂O (57,1 und 58,9 mmHg) bei gleichzeitiger artifizierter Gasfreisetzung von 70 ml oder mehr. Analog zu den vorhergehenden Versuchen stellt sich ein maximaler Druck nach der Spitze von durchschnittlich 17,6 cmH₂O (13,0 mmHg) ein, der während der zyklischen Verläufe nach einer mittleren Dauer von 9,0 s auf einen minimalen Druckwert von im Mittel 17,3 cmH₂O (12,7 mmHg) abfällt, bevor ein erneuter Druckpeak den nächsten Zyklus einleitet. Meist erscheinen die Peaks in unmittelbarer Folge, als Zwei-, Drei- und Mehrfachhübe. Der Insufflationsdruck erreicht dabei im Schnitt 32,2 cmH₂O (23,7 mmHg). Mit nur einer Ausnahme werden in jedem Zyklus durchschnittlich 28,5 ml Gas artifiziert gepumpt (Tabelle 14).

Tabelle 14

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 15 mmHg (20,4 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg)

Flowselector: Stufe 2

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1 in 2	80,0	58,9	3,6	21,9	16,1	17,8	13,1	70,0	0,0	9,6
	30,8	22,7	0,4	15,9	11,7	15,9	11,7		0,0	
	35,7	26,3	0,7	19,8	14,6	17,8	13,1	25,0	0,0	11,1
	28,0	20,6	0,7	15,9	11,7	15,9	11,7		0,0	
	33,7	24,8	0,9	17,9	13,2	17,9	13,2	23,0	0,0	8,0
	27,7	20,4	0,4	15,9	11,7	15,9	11,7		0,0	
	33,7	24,8	0,6	18,8	13,8	17,9	13,2	20,0	0,0	9,8
	26,7	19,7	0,6	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	32,8	24,1	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	16,0	0,0	5,2
	31,8	23,4	0,6	16,8	12,4	16,8	12,4		0,0	
	30,8	22,7	0,8	16,8	12,4	16,8	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,7	16,8	12,4	16,8	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,8	16,8	12,4	16,8	12,4		0,0	
	30,8	22,7	0,7	17,8	13,1	17,8	13,1	45,0	0,0	8,9
	31,8	23,4	0,7	17,8	13,1	17,8	13,1		0,0	
	32,3	23,8	0,5	17,8	13,1	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,8	17,8	13,1	17,8	13,1	24,0	0,0	5,3
	30,8	22,7	0,6	17,9	13,2	17,9	13,2	30,0	0,0	3,2
	30,8	22,7	0,7	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	30,8	22,7	0,6	15,9	11,7	15,9	11,7		0,0	
	33,7	24,8	0,9	18,8	13,8	17,9	13,2	27,0	0,0	15,6
	28,0	20,6	0,8	15,9	11,7	15,9	11,7		0,0	
	35,7	26,3	1,1	19,8	14,6	17,9	13,2	22,0	0,0	19,9
	29,9	22,0	0,8	15,9	11,7	15,9	11,7		0,0	
	34,7	25,5	0,9	18,8	13,8	17,9	13,2	34,0	0,0	13,7
	28,0	20,6	0,8	15,0	11,0	15,0	11,0		0,0	
	36,6	26,9	1,3	19,8	14,6	17,9	13,2	18,0	0,0	8,4
	29,9	22,0	0,5	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	31,8	23,4	0,6	17,9	13,2	16,9	12,4	28,0	0,0	5,2
	29,9	22,0	0,6	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
31,8	23,4	0,6	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0		
31,8	23,4	0,7	16,9	12,4	17,9	13,2	28,0	0,0	7,2	
29,9	22,0	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0		
30,8	22,7	0,5	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0		
32,8	24,1	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	45,0	0,0	8,0	
30,8	22,7	0,6	17,9	13,2	17,9	13,2	16,0	0,0	5,0	
29,9	22,0	0,5	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0		
40,0	29,4	0,7	20,8	15,3	17,9	13,2	35,0	0,0	13,7	
29,9	22,0	0,7	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0		
29,9	22,0	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0		
30,8	22,7	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0		
32,8	24,1	0,7	17,9	13,2	17,9	13,2	19,0	0,0	8,9	
29,9	22,0	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0		
32,8	24,1	0,7	17,9	13,2	17,9	13,2	45,0	0,0	6,3	
30,8	22,7	0,5	17,9	13,2	16,9	12,4		0,0		
30,8	22,7	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0		
31,8	23,4	0,7	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0		
31,8	23,4	0,5	17,9	13,2	16,9	12,4		0,0		
30,8	22,7	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	29,0	0,0	9,5	
29,9	22,0	0,6	16,5	12,1	16,5	12,1		0,0		
29,9	22,0	0,5	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0		
32,8	24,1	0,7	17,9	13,2	17,9	13,2	33,0	0,0	10,1	

	29,9	22,0	0,6	15,0	11,0	15,0	11,0		0,0	
	36,6	26,9	1,1	20,0	14,7	17,9	13,2	23,0	0,0	18,0
	29,9	22,0	0,5	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	32,8	24,1	0,7	17,9	13,2	17,9	13,2	25,0	0,0	9,4
	28,9	21,3	0,8	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	35,7	26,3	0,9	18,9	13,9	17,9	13,2	25,0	0,0	16,1
	28,9	21,3	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	30,8	22,7	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,7	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	32,8	24,1	0,8	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	29,9	22,0	0,6	17,9	13,2	17,9	13,2	45,0	0,0	8,5
	30,8	22,7	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,6	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	30,8	22,7	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	30,8	22,7	0,5	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	30,0	0,0	9,6
	28,0	20,6	0,4	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	32,8	24,1	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	20,0	0,0	9,0
	30,8	22,7	0,6	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,7	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,7	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	30,8	22,7	0,4	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	33,7	24,8	0,7	18,9	13,9	17,9	13,2	52,0	0,0	16,1
	27,0	19,9	0,4	16,0	11,8	16,0	11,8		0,0	
	35,7	26,3	0,8	19,9	14,6	17,9	13,2	28,0	0,0	18,1
	30,8	22,7	0,6	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,4	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,8	17,8	13,1	17,9	13,2	49,0	0,0	11,8
	29,9	22,0	0,4	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	30,8	22,7	0,7	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,8	16,9	12,4	16,9	12,4		0,0	
	31,8	23,4	0,8	17,8	13,1	17,8	13,1		0,0	
	31,8	23,4	0,8	17,9	13,2	entfällt	entfällt	20,0	0,0	entfällt
Start 2 in 2	77,6	57,1	3,6	22,3	16,4	17,9	13,2	>70	0,0	9,5
	27,0	19,9		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	32,8	24,1	1,5	17,9	13,2	17,9	13,2	20,0	0,0	4,4
	29,9	22,0		18,9	13,9	17,9	13,2		0,0	
	33,7	24,8	2,9	18,9	13,9	17,9	13,2	24,0	0,0	5,1
	33,3	24,5		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	32,8	24,1	1,8	17,9	13,2	17,9	13,2	17,0	0,0	3,6
	30,8	22,7		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	32,8	24,1		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	30,8	22,7	2,9	17,9	13,2	17,9	13,2	18,0	0,0	5,1
	30,1	22,2		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	31,8	23,4		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	30,8	22,7	1,6	17,9	13,2	17,9	13,2	23,0	0,0	3,6
	29,9	22,0		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	30,8	22,7		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	31,8	23,4	2,5	17,9	13,2	17,9	13,2	25,0	0,0	5,1
31,8	23,4	0,7	17,9	13,2	17,0	12,5	21,0	0,0	3,1	
29,9	22,0		17,9	13,2	17,0	12,5		0,0		
31,8	23,4	1,5	17,9	13,2	17,0	12,5	40,0	0,0	4,2	
29,9	22,0		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0		
33,7	24,8	1,6	17,9	13,2	17,9	13,2	24,0	0,0	7,3	
24,6	18,1		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0		
28,9	21,3		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0		
30,6	22,5		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0		
31,8	23,4		17,9	13,2	17,9	13,2		0,0		
30,8	22,7	4,4	17,9	13,2	17,9	13,2	26,0	0,0	7,6	
29,9	22,0		18,9	13,9	17,9	13,2		0,0		

	34,7	25,5	1,5	18,9	13,9	17,9	13,2	24,0	0,0	8,1
	29,9	22,0		18,9	13,9	17,0	12,5		0,0	
	35,7	26,3	1,8	18,9	13,9	17,0	12,5	23,0	0,0	9,1
	25,9	19,1		19,9	14,6	17,9	13,2		0,0	
	35,9	26,4	2,2	19,9	14,6	17,9	13,2	22,0	0,0	10,0
	25,9	19,1		18,9	13,9	17,9	13,2		0,0	
	35,9	26,4	1,8	18,9	13,9	entfällt	entfällt	25,0	0,0	entfällt
Mittelwert	32,2	23,7	0,9	17,6	13,0	17,3	12,7	(28,5)	0,0	9,0
Minimum	24,6	18,1	0,4	15,0	11,0	15,0	11,0	16,0	0,0	3,1
Maximum	80,0	58,9	4,4	22,3	16,4	17,9	13,2	>70	0,0	19,9
Median	30,8	22,7	0,7	17,9	13,2	17,8	13,1	(25,0)	0,0	8,7
Summe								>1281		395,0

Wird der Insufflator aus Flowstufe 2 in Stufe 3 umgeschaltet, zeigt sich ebenfalls eine heftige initiale Druckübersteuerung zwischen 30,8 und 81,9 cmH₂O (22,7 und 60,3 mmHg). Damit verbunden ist jeweils eine artifizielle Gasfreisetzung, bei dem ersten Umschalten auf Stufe 3 von deutlich mehr als 70 ml. In der Folge regelt sich der Druck auf ein Maximum von durchschnittlich 18,5 cmH₂O (13,6 mmHg) ein, das sich zyklisch innerhalb von im Mittel 11,7 s treppenartig auf 17,9 cmH₂O (13,2 mmHg) reduziert, bevor es zu einem erneuten Peak von durchschnittlich 1,1 s Dauer, mit jedoch geringerer Amplitude (im Schnitt 34,2 cmH₂O (25,2 mmHg)) als initial kommt. Die mittlere Gasförderung liegt, abgesehen von dem einmaligen Wert von >> 70 ml (wesentlich mehr als 70 ml), bei 5,3 ml (Tabelle 15).

Tabelle 15

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 15 mmHg (20,4 cmH₂O)Kompartimentdruck: 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg)

Flowselector: Stufe 3 aus 2

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
1 - 3 aus 2	81,9	60,3	3,4	21,8	16,0	17,8	13,1	>>70	0,0	22,9
	29,9	22,0	1,0	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	32,8	24,1	0,9	17,9	13,2	17,9	13,2	7,0	0,0	6,7
	31,9	23,5	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	33,3	24,5	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	4,0	0,0	3,8
	30,8	22,7	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	31,8	23,4	0,3	17,9	13,2	17,9	13,2	5,0	0,0	3,8
	32,8	24,1	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	9,0	0,0	4,8
	32,8	24,1	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	7,0	0,0	4,8
	30,8	22,7	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	31,8	23,4	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	10,0	0,0	2,9
	32,8	24,1	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	5,0	0,0	3,8
	32,8	24,1	0,9	17,9	13,2	17,9	13,2	8,0	0,0	3,8
	28,0	20,6	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	33,7	24,8	0,9	17,9	13,2	17,9	13,2	5,0	0,0	6,2
	30,8	22,7	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	29,9	22,0	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	8,0	0,0	2,8
	29,9	22,0	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2		0,0	
	32,8	24,1	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	8,0	0,0	7,8
	31,8	23,4	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0	3,0
29,9	22,0	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0	4,3	
32,8	24,1	0,9	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0	3,0	
32,8	24,1	0,9	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0	4,8	
30,8	22,7	1,0	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0		
32,8	24,1	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0	11,4	
30,8	22,7	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0		
35,9	26,4	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0	16,2	
2 - 3 aus 2	45,0	33,1	5,8	21,8	16,0	17,9	13,2	6,0	0,0	21,6
	45,0	33,1	3,3	20,8	15,3	18,8	13,8	5,0	0,0	14,8
	32,8	24,1	3,3	20,8	15,3	17,8	13,1	9,0	0,0	17,5
	32,8	24,1	1,7	20,8	15,3	17,8	13,1	5,0	0,0	16,9
	38,6	28,4	6,6	20,8	15,3	17,8	13,1	11,0	0,0	16,3
	37,6	27,7	4,2	20,8	15,3	17,8	13,1	8,0	0,0	16,8
	39,5	29,1	3,3	20,8	15,3	17,8	13,1	6,0	0,0	25,0

3 -	30,8	22,7	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	7,0	0,0	16,6
3 aus 2	31,8	23,4	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	0,0	0,0	14,8
	40,0	29,4	0,2	17,9	13,2	17,9	13,2	4,0	0,0	14,8
	40,0	29,4	1,0	17,9	13,2	17,9	13,2	5,0	0,0	14,8
	39,0	28,7	1,0	17,9	13,2	17,9	13,2	9,0	0,0	16,0
	41,0	30,2	1,0	17,9	13,2	17,9	13,2	7,0	0,0	16,0
	38,1	28,0	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	10,0	0,0	16,6
	40,0	29,4	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	5,0	0,0	16,6
	37,6	27,7	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	8,0	0,0	16,0
	39,8	29,3	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	8,0	0,0	14,8
	34,7	25,5	0,5	17,9	13,2	17,9	13,2	8,0	0,0	17,2
Mittelwert	35,4	26,1	1,3	18,5	13,6	17,9	13,2	(5,3)	0,0	11,7
Minimum	28,0	20,6	0,2	17,9	13,2	17,8	13,1	0,0	0,0	2,8
Maximum	81,9	60,3	6,6	21,8	16,0	18,8	13,8	>>70	0,0	25,0
Median	32,8	24,1	0,8	17,9	13,2	17,9	13,2	(6,0)	0,0	14,8
Summe								>>267		419,9

Bei Wiederholung der Versuchsreihe mit einem Kompartimentdruck von 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg) und einer maximalen Kompartimentdruckbegrenzung von 10 mmHg (13,6 cmH₂O), wird das Gerät zunächst auf Stufe 1 des Flowselectors gestartet. Es zeigt sich weder ein initialer Peak noch eine artifizielle Gasfreisetzung. Der von dem Gerät maximal aufgebaute Druck beträgt im Mittel 13,9 cmH₂O (10,3 mmHg) und reduziert sich zyklisch (mittlere Dauer 12,9 s) treppenartig auf 11,6 cmH₂O (8,5 mmHg) bevor es zu einer Anhebung auf den Ausgangswert kommt (Tabelle 16).

Tabelle 16

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 10 mmHg (13,6 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax		Pmin		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	-	-	entfällt	13,0	9,6	10,6	7,8	0,0	0,0	5,8
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	8,8
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	13,4
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	14,2
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,8	7,9	0,0	0,0	12,7
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,6	7,8	0,0	0,0	14,9
	-	-	entfällt	14,0	10,3	10,6	7,8	0,0	0,0	14,2
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	14,6
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	13,4
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	14,2
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	13,7
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	14,2
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	12,7
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	13,3
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	12,7
	-	-	entfällt	14,0	10,3	11,8	8,7	0,0	0,0	13,4
	-	-	entfällt	14,0	10,3	11,8	8,7	0,0	0,0	13,4
	-	-	entfällt	13,7	10,1	12,1	8,9	0,0	0,0	13,4
	-	-	entfällt	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	12,9
Mittelwert	-	-	-	13,9	10,3	11,6	8,5	0,0	0,0	12,9
Minimum	-	-	-	13,0	9,6	10,6	7,8	0,0	0,0	5,8
Maximum	-	-	-	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	14,9
Median	-	-	-	14,0	10,3	12,1	8,9	0,0	0,0	13,4
Summe								0		245,9

Bei erneutem Start in Stufe 2 des Flowselectors kann wiederum ein initialer Peak von 45,0 cmH₂O (33,1 mmHg) und 0,3 s Dauer nachgewiesen werden. Dabei werden 70 ml Gas gefördert. Das Gerät reguliert im Anschluß an einen Peak auf einen maximalen Druck von durchschnittlich 13,4 cmH₂O (9,9 mmHg), der in zyklischen Abständen von im Mittel 9,1 s Dauer auf 12,9 cmH₂O (9,5 mmHg) abfällt bevor eine erneute Druckerhöhung erfolgt. Meist treten dabei Doppel- bis Sechsfachhübe auf, bei denen es zur artifiziellen Gasfreisetzung kommt. Durchschnittlich ergibt sich eine Gasförderung von 28,9 ml je Zyklus (Tabelle 17).

Tabelle 17

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 10 mmHg (13,6 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: Stufe 2

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	45,0	33,1	0,3	10,7	7,9	10,7	7,9	70,0	0,0	79,3
	25,9	19,1	0,7	14,9	11,0	14,0	10,3		0,0	
	29,6	21,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	4,4
	28,1	20,7	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	31,0	22,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	4,3
	27,0	19,9	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	27,0	19,9	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	27,9	20,5	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	30,0	0,0	4,1
	27,0	19,9	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	21,1	15,5	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	30,0	0,0	5,2
	27,9	20,5	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	10,0	0,0	1,7
	26,9	19,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	3,3
	27,6	20,3	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5	10,0	0,0	1,4
	26,9	19,8	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	28,1	20,7	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	28,1	20,7	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,3	14,9	11,0	14,0	10,3	40,0	0,0	7,1
	26,9	19,8	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	29,1	21,4	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5	20,0	0,0	3,4
	28,1	20,7	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	10,0	0,0	1,7
	27,6	20,3	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	26,9	19,8	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	28,1	20,7	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	30,0	0,0	4,3
	26,9	19,8	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	26,9	19,8	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	30,0	0,0	6,2
	25,9	19,1	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	3,7
	26,9	19,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	29,1	21,4	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	27,6	20,3	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
26,9	19,8	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0		
26,9	19,8	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0		
26,9	19,8	0,7	14,9	11,0	14,0	10,3	60,0	0,0	7,4	
27,9	20,5	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0		
26,9	19,8	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0		
30,0	22,1	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	30,0	0,0	6,6	
24,8	18,3	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0		
30,0	22,1	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5	20,0	0,0	7,2	
24,9	18,3	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0		
32,0	23,6	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	9,3	
21,9	16,1	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0		
29,5	21,7	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	22,0	0,0	7,8	
25,9	19,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0		
31,0	22,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	8,4	
19,9	14,6	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0		
28,1	20,7	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0		
28,1	20,7	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0		
26,9	19,8	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0		
28,1	20,7	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0		
30,0	22,1	0,3	14,9	11,0	14,0	10,3	60,0	0,0	10,5	

	26,9	19,8	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	27,9	20,5	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5	22,0	0,0	4,5
	25,9	19,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	22,0	0,0	9,3
	23,3	17,1	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	31,0	22,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	8,1
	25,9	19,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	31,0	22,8	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5	20,0	0,0	12,3
	24,2	17,8	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	5,4
	26,9	19,8	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	10,3
	21,3	15,7	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	32,0	23,6	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5	22,0	0,0	13,8
	24,9	18,3	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	32,0	23,6	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5	22,0	0,0	15,4
	27,9	20,5	0,7	14,9	11,0	14,0	10,3		0,0	
	29,1	21,4	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	7,5
	29,1	21,4	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	29,1	21,4	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	27,1	19,9	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	26,9	19,8	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	28,1	20,7	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	26,9	19,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	31,0	22,8	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5	70,0	0,0	14,6
	27,1	19,9	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	28,1	20,7	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5	30,0	0,0	5,1
	28,1	20,7	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	28,1	20,7	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	28,1	20,7	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	26,9	19,8	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	29,1	21,4	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5	50,0	0,0	8,2
	28,1	20,7	0,3	14,9	11,0	14,0	10,3		0,0	
	30,0	22,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	7,2
	26,9	19,8	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	25,9	19,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	27,6	20,3	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	29,1	21,4	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	26,9	19,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	27,9	20,5	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	60,0	0,0	8,6
	26,9	19,8	0,3	14,0	10,3	12,9	9,5		0,0	
	30,0	22,1	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5	20,0	0,0	9,2
	24,2	17,8	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	29,1	21,4	0,7	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	27,9	20,5	0,3	12,9	9,5	12,9	9,5		0,0	
	29,1	21,4	0,7	14,0	10,3	12,9	9,5	40,0	0,0	8,9
Mittelwert	28,0	20,6	0,5	13,4	9,9	12,9	9,5	28,9	0,0	9,1
Minimum	19,9	14,6	0,3	10,7	7,9	10,7	7,9	10,0	0,0	1,4
Maximum	45,0	33,1	0,7	14,9	11,0	14,0	10,3	70,0	0,0	79,3
Median	27,9	20,5	0,5	12,9	9,5	12,9	9,5	22,0	0,0	7,2
Summe								1070		335,7

Bei Aktivierung des Insufflators direkt auf Stufe 3 des Flowselectors kommt es sofort zu einem kräftigen Pumpenhub von im Mittel 58,4 cmH₂O (43,0 mmHg) und einer Gasfreisetzung von >> 70 ml. Die Dauer der initialen Peaks beträgt durchschnittlich 2,65 s. Der maximale Druck im Anschluß an sämtliche Druckübersteuerungen wird mit im Mittel 17,7 cmH₂O (13,0 mmHg) registriert, welcher in zyklischen Abständen von im Schnitt 19,3 s Dauer auf ein Minimum von 13,9 cmH₂O (10,2 mmHg) abfällt, bevor es zu einer erneuten Druckübersteuerung mit einer mittleren Gasfreisetzung von 10,4 ml kommt. Die Druckpeaks erreichen bei einer durchschnittlichen Dauer von 1,1 s im Mittel 40,8 cmH₂O (30,0 mmHg) (Tabelle 18).

Tabelle 18

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 10 mmHg (13,6 cmH₂O)Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: Stufe 3

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1	62,0	45,6	2,7	17,8	13,1	13,0	9,6	>>70	0,0	58,0
	31,0	22,8	1,1	17,9	13,2	14,0	10,3	8,0	0,0	43,2
	42,0	30,9	1,1	16,0	11,8	14,0	10,3	10,0	0,0	16,1
	33,0	24,3	1,8	17,9	13,2	14,0	10,3	10,0	0,0	13,4
	44,0	32,4	2,3	16,9	12,4	14,0	10,3	10,0	0,0	11,1
	29,6	21,8	2,3	16,9	12,4	14,1	10,4	10,0	0,0	11,4
	41,0	30,2	0,5	17,9	13,2	14,0	10,3	10,0	0,0	13,2
	41,0	30,2	0,2	17,9	13,2	14,0	10,3	13,0	0,0	15,5
	41,0	30,2	1,1	17,9	13,2	13,0	9,6	13,0	0,0	15,9
	37,0	27,2	0,2	17,9	13,2	13,1	9,6	6,0	0,0	13,9
	41,0	30,2	1,1	17,9	13,2	14,1	10,4	10,0	0,0	16,4
	53,0	39,0	0,2	17,9	13,2	14,0	10,3	20,0	0,0	15,9
	27,9	20,5	0,2	17,9	13,2	14,0	10,3	7,0	0,0	15,9
	39,5	29,1	1,1	17,9	13,2	14,1	10,4	11,0	0,0	17,7
	36,9	27,2	1,1	17,9	13,2	14,1	10,4	10,0	0,0	15,7
42,0	30,9	1,1	17,9	13,2	14,1	10,4	12,0	0,0	18,2	
Start 2	54,8	40,3	2,6	17,9	13,2	14,1	10,4	>>70	0,0	22,7
	31,0	22,8	0,1	17,0	12,5	14,1	10,4	6,0	0,0	18,3
	37,8	27,8	0,6	17,9	13,2	14,1	10,4	10,0	0,0	16,8
	46,0	33,9	0,2	17,9	13,2	14,1	10,4	10,0	0,0	17,1
	45,0	33,1	0,6	17,9	13,2	entfällt	entfällt	11,0	0,0	entfällt
Mittelwert	40,8	30,0	1,1	17,7	13,0	13,9	10,2	(10,4)	0,0	19,3
Minimum	27,9	20,5	0,1	16,0	11,8	13,0	9,6	6,0	0,0	11,1
Maximum	62,0	45,6	2,7	17,9	13,2	14,1	10,4	>>70	0,0	58,0
Median	41,0	30,2	1,1	17,9	13,2	14,0	10,3	(10,0)	0,0	16,0
Summe								>>337		386,4

Wird die maximale Kompartimentdruckbegrenzung auf 5 mmHg (6,8 cmH₂O) reduziert und das Gerät auf Stufe 1 aktiviert, zeigt sich eine ähnliche Verhaltensweise wie in den vorhergehenden Versuchen. Ein initialer Peak von 22,0 cmH₂O (16,2 mmHg) und einer Dauer von 2,7 s mit einer Gasfreisetzung von 45 ml, sowie alle weiteren Peaks, werden gefolgt von einem maximalen Druck von durchschnittlich 7,9 cmH₂O (5,8 mmHg). In zeitlichen Abständen von durchschnittlich 8,7 s fällt der Druck treppenartig auf einen Minimalwert von im Mittel 6,8 cmH₂O (5,0 mmHg) ab, bevor es zu einer erneuten Druckübersteuerung kommt. Es erfolgt eine artifizielle Gasfreisetzung von durchschnittlich 7,4 ml bei Peakwerten von im Schnitt 20,8 cmH₂O (15,3 mmHg) und einer mittleren Peakdauer von 1,0 s (Tabelle 19).

Tabelle 19

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 5 mmHg (6,8 cmH₂O)Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	22,0	16,2	2,7	8,1	6,0	6,0	4,4	45,0	0,0	10,7
	19,8	14,6	1,8	8,1	6,0	7,0	5,2	5,0	0,0	9,8
	20,8	15,3	0,9	8,0	5,9	6,0	4,4	5,0	0,0	8,6
	20,8	15,3	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	7,0	0,0	8,9
	19,8	14,6	1,8	8,0	5,9	6,0	4,4	5,0	0,0	8,6
	20,8	15,3	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	7,0	0,0	10,5
	19,8	14,6	0,4	8,0	5,9	6,0	4,4	8,0	0,0	8,0
	19,8	14,6	1,1	7,0	5,2	7,0	5,2	6,0	0,0	8,9
	19,8	14,6	0,2	7,0	5,2	7,0	5,2	5,0	0,0	8,7
	21,3	15,7	1,8	8,0	5,9	7,0	5,2	7,0	0,0	8,7
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	8,0	0,0	8,9
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	8,0	0,0	8,0
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	7,0	0,0	7,1
	19,8	14,6	0,9	8,0	5,9	6,0	4,4	6,0	0,0	7,1
	21,3	15,7	0,9	7,0	5,2	7,0	5,2	5,0	0,0	8,0
	21,3	15,7	1,8	8,0	5,9	7,0	5,2	8,0	0,0	8,9
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	4,0	0,0	7,1
	19,8	14,6	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	5,0	0,0	7,1
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	5,0	0,0	7,5
	20,8	15,3	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	5,0	0,0	8,7
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	6,0	4,4	8,0	0,0	8,9
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	6,0	0,0	8,9
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	6,0	0,0	8,0
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	6,0	0,0	9,8
	20,8	15,3	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	6,0	0,0	8,0
	21,3	15,7	0,2	8,0	5,9	7,0	5,2	7,0	0,0	8,9
	21,0	15,5	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	5,0	0,0	8,0
	19,9	14,6	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	7,0	0,0	9,8
	21,3	15,7	0,5	8,0	5,9	7,0	5,2	7,0	0,0	10,7
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	5,0	0,0	8,9
	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	entfällt	entfällt	5,0	0,0	entfällt
Mittelwert	20,8	15,3	1,0	7,9	5,8	6,8	5,0	7,4	0,0	8,7
Minimum	19,8	14,6	0,2	7,0	5,2	6,0	4,4	4,0	0,0	7,1
Maximum	22,0	16,2	2,7	8,1	6,0	7,0	5,2	45,0	0,0	10,7
Median	21,3	15,7	0,9	8,0	5,9	7,0	5,2	6,0	0,0	8,7
Summe								229		259,7

Wird der Versuch mit Flowstufe 2 und 3 wiederholt, zeigen sich analoge Verläufe mit allerdings deutlich höheren Druckpeaks und heftigerer Gasfreisetzung. Jeder Peak ist dabei von einem akustischen Gerätealarm begleitet.

3.1.2.3. WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Die maximale Kompartimentdruckbegrenzung wird auf 14 mmHg (19,0 cmH₂O) vorgewählt. Die Veress-Nadel wird in eine Tiefe von 23,0 cm eingebracht und der Kompartimentdruck mit 23,5 cmH₂O (17,3 mmHg) gemessen. Der Insufflator wird auf Stufe 1 des Flowselectors gestartet.

Initial kommt es zu einer Insufflationsdruckspitze zwischen 40,0 und 45,0 cmH₂O (29,4 und 33,1 mmHg), bei gleichzeitiger artifizierlicher Gasförderung von 60 ml. Der maximale Insufflationsdruck im Anschluß an eine Druckspitze beträgt durchschnittlich 22,5 cmH₂O (16,5 mmHg). Innerhalb eines jeden Zyklus mit einer Dauer von im Mittel 56,1 s (9,3 – 226,1 s) fällt der Insufflationsdruck treppenartig auf einen Minimalwert von gemittelt 10,9 cmH₂O (8,0 mmHg), bevor es zu einer erneuten Druckspitze kommt. Die artifizierliche Gasförderung beträgt bei einer Druckübersteuerung von durchschnittlich 28,5 cmH₂O (20,9 mmHg) im Schnitt 30,5 ml je Hub. Über einen Zeitraum von 560,6 s werden insgesamt 366 ml Gas insuffliert (Tabelle 20).

Tabelle 20

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 14 mmHg (19,0 cmH₂O)

Kompartimentdruck: 23,5 cmH₂O (17,3 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1	40,0	29,4	3,7	26,8	19,7	10,8	7,9	60,0	0,0	226,1
	24,8	18,3	2,0	22,0	16,2	10,8	7,9	27,0	0,0	95,8
	24,8	18,3	1,2	22,0	16,2	10,4	7,7	27,0	0,0	9,3
	25,8	19,0	1,7	22,0	16,2	10,5	7,7	20,0	0,0	17,0
	25,8	19,0	2,0	22,0	16,2	9,9	7,3	25,0	0,0	17,7
	26,3	19,4	2,5	22,0	16,2	9,9	7,3	25,0	0,0	24,6
	25,8	19,0	2,5	22,0	16,2	entfällt	entfällt	24,0	0,0	entfällt
Start 2	45,0	33,1	4,4	23,0	16,9	12,3	9,1	60,0	0,0	36,0
	25,8	19,0	2,2	21,8	16,0	10,4	7,7	25,0	0,0	63,1
	25,8	19,0	1,7	21,8	16,0	13,9	10,2	25,0	0,0	32,0
	25,8	19,0	2,1	21,8	16,0	10,4	7,7	24,0	0,0	39,0
	25,8	19,0	2,2	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	24,0	0,0	entfällt
Mittelwert	28,5	20,9	2,4	22,5	16,5	10,9	8,0	30,5	0,0	56,1
Minimum	24,8	18,3	1,2	21,8	16,0	9,9	7,3	20,0	0,0	9,3
Maximum	45,0	33,1	4,4	26,8	19,7	13,9	10,2	60,0	0,0	226,1
Median	25,8	19,0	2,2	22,0	16,2	10,5	7,7	25,0	0,0	34,0
Summe								366		560,6

Wird der Insufflator bei gleichen Druckbedingungen sofort im High-Flow-Modus aktiviert, kommt es zu starken initialen Insufflationsdruckspitzen zwischen 59,3 und 77,1 cmH₂O (43,6 und 56,7 mmHg). Gleichzeitig werden deutlich mehr als 70 ml Gas insuffliert. Der Insufflationsdruck fällt nach einem Peak von im Schnitt 3,1 s Dauer treppenartig von 24,5 cmH₂O (18,0 mmHg) auf 15,9 cmH₂O (11,7 mmHg). Die Zyklusdauer ist mit durchschnittlich 56,1 s (54,9 – 58,3 s) relativ konstant (Tabelle 21).

Tabelle 21

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 14 mmHg (19,0 cmH₂O)Kompartimentdruck: 23,5 cmH₂O (17,3 mmHg)

Flowselector: High-Flow

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1	59,3	43,6	4,7	24,8	18,3	15,9	11,7	>>70	0,0	58,3
	44,0	32,4	2,6	23,6	17,4	15,9	11,7	>70	0,0	55,2
	42,0	30,9	1,9	24,6	18,1	15,9	11,7	>>70	0,0	55,8
	44,8	33,0	2,5	24,6	18,1	entfällt	entfällt	>>70	0,0	entfällt
Start 2	77,1	56,7	4,5	24,6	18,1	15,9	11,7	>>>70	0,0	54,9
	58,8	43,3	2,2	24,6	18,1	entfällt	entfällt	>70	0,0	entfällt
Mittelwert	54,3	40,0	3,1	24,5	18,0	15,9	11,7	>>70	0,0	56,1
Minimum	42,0	30,9	1,9	23,6	17,4	15,9	11,7	>70	0,0	54,9
Maximum	77,1	56,7	4,7	24,8	18,3	15,9	11,7	>>>70	0,0	58,3
Median	51,8	38,1	2,6	24,6	18,1	15,9	11,7	>>70	0,0	55,5
Summe								>>>420		224,2

Bei einem Kompartimentdruck von 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg) und einer maximalen Druckbegrenzung von 10 mmHg (13,6 cmH₂O), zeigt sich bei der ersten Inbetriebnahme mit Flowstufe 1 ein kurzzeitiger Druckpeak von 20,7 cmH₂O (15,2 mmHg), begleitet von einem artifiziellen Gasfluß von 65 ml. In der Folge kommt es nach initialen Druckschwankungen zwischen 18,8 und 9,6 cmH₂O (13,8 und 7,1 mmHg) innerhalb der ersten 28,7 s nach Gerätestart zur Einstellung eines konstanten Insufflationsdruckes von 14,3 cmH₂O (10,5 mmHg) über einen Zeitraum von 206,7 s. Eine Druckübersteuerung oder eine weitere artifizielle Gasförderung konnte nicht beobachtet werden.

Bei zweimaliger erneuter Aktivierung des Systems werden je 65 ml Gas artifiziell gepumpt. Dabei ist die Gasförderung unabhängig vom auftretenden Insufflationsdruck, der sich zwischen 19,8 und 28,1 cmH₂O (14,6 und 20,7 mmHg) bewegt. Der maximale Druck nach allen Insufflationspeaks beträgt durchschnittlich 14,9 cmH₂O (10,9 mmHg) und fällt treppenartig auf einen Wert von im Mittel 9,7 cmH₂O (7,2 mmHg). Die Zyklusdauer liegt zwischen 3,2 und 69,1 s, im Durchschnitt 20,0 s. Über einen Zeitraum von 379,5 s werden insgesamt 661 ml Gas artifiziell gefördert (Tabelle 22).

Tabelle 22

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 10 mmHg (13,6 cmH₂O)Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1	19,8	14,6	3,2	14,9	11,0	9,7	7,1	65,0	0,0	34,5
	18,8	13,8	2,0	14,9	11,0	8,7	6,4	40,0	0,0	21,9
	17,8	13,1	1,6	14,9	11,0	8,7	6,4	28,0	0,0	17,3
	18,8	13,8	1,6	14,9	11,0	8,7	6,4	27,0	0,0	17,3
	17,8	13,1	1,9	14,9	11,0	9,6	7,1	27,0	0,0	20,7
	18,8	13,8	2,0	14,9	11,0	9,9	7,3	27,0	0,0	21,9
	18,8	13,8	1,9	14,9	11,0	9,6	7,1	27,0	0,0	20,7
	18,8	13,8	1,9	14,9	11,0	9,8	7,2	27,0	0,0	20,7
	18,8	13,8	1,6	14,9	11,0	9,9	7,3	27,0	0,0	17,3
	18,8	13,8	1,9	14,9	11,0	9,6	7,1	27,0	0,0	20,7
	18,8	13,8	1,6	14,9	11,0	entfällt	entfällt	27,0	0,0	entfällt
Start 2	28,1	20,7	2,1	14,9	11,0	11,9	8,8	65,0	0,0	39,7
	19,8	14,6	1,1	14,9	11,0	9,7	7,1	28,0	0,0	69,1
	17,8	13,1	1,1	14,0	10,3	9,7	7,1	27,0	0,0	3,2
	18,8	13,8	0,9	14,9	11,0	9,7	7,1	30,0	0,0	5,9
	17,8	13,1	0,9	14,9	11,0	9,7	7,1	27,0	0,0	7,4
	17,8	13,1	1,0	14,9	11,0	8,9	6,6	27,0	0,0	8,6
	18,8	13,8	1,0	14,9	11,0	9,7	7,1	27,0	0,0	10,5
	17,8	13,1	0,5	14,9	11,0	10,6	7,8	27,0	0,0	10,7
	18,8	13,8	0,9	14,9	11,0	10,6	7,8	27,0	0,0	11,4
	18,8	13,8	0,9	14,9	11,0	entfällt	entfällt	27,0	0,0	entfällt
Mittelwert	19,1	14,0	1,5	14,9	10,9	9,7	7,2	31,5	0,0	20,0
Minimum	17,8	13,1	0,5	14,0	10,3	8,7	6,4	27,0	0,0	3,2
Maximum	28,1	20,7	3,2	14,9	11,0	11,9	8,8	65,0	0,0	69,1
Median	18,8	13,8	1,6	14,9	11,0	9,7	7,1	27,0	0,0	17,3
Summe								661		379,5

Wird das Gerät sofort mit dem High-Flow-Modus aktiviert, zeigt sich ein analoger Druckverlauf. Die Amplitude des Insufflationsspitzendruckes beträgt im Durchschnitt 47,3 cmH₂O (34,8 mmHg). Dabei werden jeweils 75 ml Gas artifizuell gefördert. Der anschließende maximale Druck von im Schnitt 17,1 cmH₂O (12,6 mmHg) fällt treppenartig auf einen durchschnittlichen Minimalwert von 6,9 cmH₂O (5,1 mmHg) ab, bevor nach einer mittleren Zeitspanne von 36,0 s (21,6 – 40,7 s) ein neuer Zyklus beginnt. Insgesamt werden innerhalb von 288,2 s 675 ml Gas insuffliert (Tabelle 23).

Tabelle 23

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 10 mmHg (13,6 cmH₂O)Kompartimentdruck: 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)

Flowselector: High-Flow

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	42,0	30,9	3,6	17,0	12,5	1,0	0,7	75,0	0,0	21,6
	50,0	36,8	4,8	17,9	13,2	8,2	6,0	75,0	0,0	40,7
	48,0	35,3	2,4	17,0	12,5	7,5	5,5	75,0	0,0	37,1
	48,0	35,3	3,6	17,0	12,5	7,8	5,7	75,0	0,0	38,3
	45,0	33,1	3,6	17,0	12,5	7,8	5,7	75,0	0,0	38,3
	46,0	33,9	2,4	17,0	12,5	7,8	5,7	75,0	0,0	38,3
	44,0	32,4	3,6	17,0	12,5	7,3	5,4	75,0	0,0	35,9
	52,0	38,3	4,8	17,0	12,5	7,7	5,7	75,0	0,0	38,0
	51,0	37,5	2,4	17,0	12,5	entfällt	entfällt	75,0	0,0	entfällt
Mittelwert	47,3	34,8	3,5	17,1	12,6	6,9	5,1	75,0	0,0	36,0
Minimum	42,0	30,9	2,4	17,0	12,5	1,0	0,7	75,0	0,0	21,6
Maximum	52,0	38,3	4,8	17,9	13,2	8,2	6,0	75,0	0,0	40,7
Median	48,0	35,3	3,6	17,0	12,5	7,8	5,7	75,0	0,0	38,2
Summe								675		288,2

Wird bei einem Kompartimentdruck von 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg) die maximale Kompartimentdruckbegrenzung mit 8 mmHg (10,9 cmH₂O) gewählt und der Insufflator mit Stufe 1 des Flowselectors aktiviert, zeigt sich erneut eine Insufflationsdruckspitze mit einer Amplitude von 43,4 cmH₂O (31,9 mmHg). Gleichzeitig ertönt ein akustischer Alarm. Es werden 60 ml Gas insuffliert. In der Folge kommt es zu dem üblichen treppenartigen Druckabfall von 22,7 cmH₂O (16,7 mmHg) auf einen minimalen Wert von 9,8 cmH₂O (7,2 mmHg), gefolgt von erneuten Druckpeaks mit Gasfreisetzung und meist akustischem Gerätealarm (Tabelle 24).

Tabelle 24

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 8 mmHg (10,9 cmH₂O)Kompartimentdruck: 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	43,4	31,9	4,6	22,7	16,7	9,8	7,2	60,0	++	91,0
	25,6	18,8	2,5	19,4	14,3	9,7	7,1	23,0	0,0	147,7
	26,0	19,1	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	24,0	++	entfällt
Mittelwert	31,7	23,3	3,6	21,1	15,5	9,8	7,2	35,7	-	119,4
Minimum	25,6	18,8	2,5	19,4	14,3	9,7	7,1	23,0	0,0	91,0
Maximum	43,4	31,9	4,6	22,7	16,7	9,8	7,2	60,0	++	147,7
Median	26,0	19,1	3,6	21,1	15,5	9,8	7,2	24,0	-	119,4
Summe								107		238,7

Bei einer Reduktion der maximalen Kompartimentdruckbegrenzung auf 4 mmHg (5,4 cmH₂O) kommt es initial jeweils zu einer starken Insufflationsdruckspitze von 43,0 cmH₂O (31,6 mmHg) mit akustischem Gerätealarm und einer artifiziiellen Gasförderung von 60 ml. Nach diesen und den folgenden Peaks fällt der Druck treppenartig von durchschnittlich 22,6 cmH₂O (16,6 mmHg) auf 3,7 cmH₂O (2,7 mmHg) ab. Die folgenden Insufflationsdruckspitzen von im Schnitt 27,8 cmH₂O (20,5 mmHg) werden von einer mittleren Gasfreisetzung von 22 ml und akustischem Alarm begleitet (Tabelle 25).

Tabelle 25

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 4 mmHg (5,4 cmH₂O)Kompartimentdruck: 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg)

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start 1	43,0	31,6	2,8	26,7	19,7	4,3	3,2	60,0	++	127,0
	28,9	21,3	1,1	19,5	14,4	entfällt	entfällt	22,0	++	entfällt
Start 2	43,0	31,6	4,0	22,9	16,9	3,4	2,5	60,0	++	115,0
	27,5	20,2	1,0	21,8	16,0	3,4	2,5	22,0	++	173,8
	27,0	19,9	1,0	21,9	16,1	entfällt	entfällt	21,0	++	entfällt
Mittelwert	33,9	24,9	2,0	22,6	16,6	3,7	2,7	37,0	-	138,6
Minimum	27,0	19,9	1,0	19,5	14,4	3,4	2,5	21,0	++	115,0
Maximum	43,0	31,6	4,0	26,7	19,7	4,3	3,2	60,0	++	173,8
Median	28,9	21,3	1,1	21,9	16,1	3,4	2,5	22,0	-	127,0
Summe								185		415,8

3.2. In-vivo-Versuchsreihe – Analyse des Druck- und Gasförderverhaltens der Insufflatoren im Tierversuch

3.2.1. Subkutane Fehllage der Veress-Nadel

3.2.1.1. HI-TEC® Insufflator 1200

Bei Aktivierung des Gerätes erfolgt ein kurzer Druckpeak von 49,0 cmH₂O (36,1 mmHg). Die vorgewählte maximale Kompartimentdruckbegrenzung wird für 0,5 s um 32,7 cmH₂O (24,1 mmHg) überschritten. Es kommt dabei nicht zu einer Gasförderung. Anschließend stellt sich ein konstanter Druck von 17,0 cmH₂O (12,5 mmHg) ein. Ein Gasfluß wird nicht beobachtet (Tabelle 26).

Tabelle 26

HI-TEC® Insufflator 1200

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	49,0	36,1	0,5	17,0	12,5	entfällt	entfällt	-	-	0,0	0,0	entfällt

P-Peak: Insufflationsdruck bei Druckpeak

t-Peak: Dauer eines Insufflationsdruckpeaks

Pmax nach Peak: maximaler Insufflationsdruck im Anschluß an einen Druckpeak

Pmin vor Peak: minimaler Insufflationsdruck vor dem nächsten Druckpeak

P-Komp: Kompartimentdruck

Alarm: akustische Warnung durch den Insufflator

t-Zyklus: Zyklusdauer: Zeitraum von Beginn eines Druckpeaks bis Beginn des nächsten

(Die Erläuterung der verwendeten Abkürzungen gilt ebenso für alle folgenden Tabellen.)

Nach 30,4 s wird die Druckkonstanz durch Insufflationsdruckschwankungen von 3,0 cmH₂O (2,2 mmHg) in einem zeitlichen Abstand von 3,2 s und einer Dauer von je 2,4 s unterbrochen. Es erfolgt keine Gasfreisetzung. Das Gerät gibt daraufhin Alarm. Ursache ist eine akzidentelle Abknickung im Schlauch.

3.2.1.2. WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Sofort nach dem Einschalten auf Flowstufe 1 kommt es zu einem Druckpeak von 65,0 cmH₂O (47,8 mmHg) und 5,9 s Dauer, der begleitet ist von artifizieller Gasfreisetzung und akustischem Alarm. Der maximale Insufflationsdruck im Anschluß an diese und die folgenden Druckspitzen von durchschnittlich 48,9 cmH₂O (36,0 mmHg) fällt kontinuierlich auf einen mittleren Wert von 12,5 cmH₂O (9,2 mmHg) ab, bevor eine erneute Druckübersteuerung von durchschnittlich 64,7 cmH₂O (47,6 mmHg) erfolgt, wobei der Druckabfall mit zunehmender Hubzahl deutlich flacher wird. Jeder Zyklus ist bei einer Dauer von im Schnitt 43,5 s mit einer Gasförderung von durchschnittlich 50 ml und Gerätealarm vergesellschaftet. Der vorgewählte Grenzdruck wird jeweils deutlich überschritten (Tabelle 27).

Tabelle 27

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

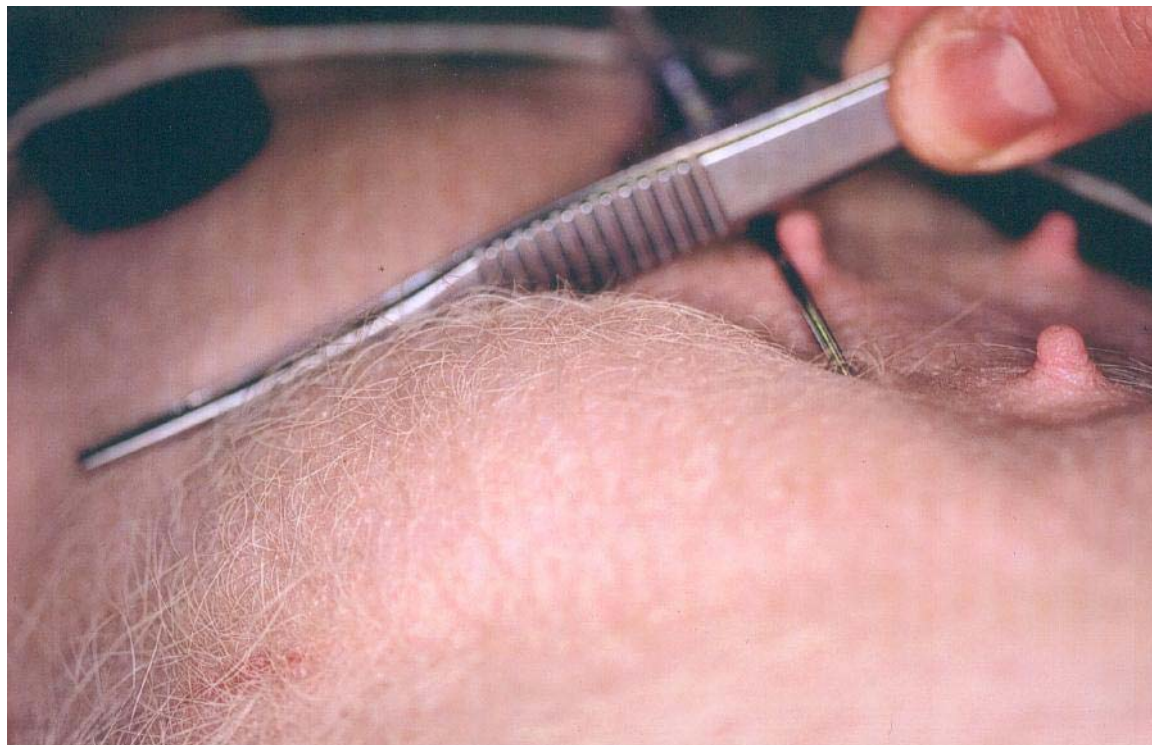
Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	65,0	47,8	5,9	47,0	34,6	12,0	8,8	-	-	50	7,6	48,8
	65,0	47,8	6,3	50,0	36,8	12,0	8,8	-	-	50	7,7	45,5
	64,0	47,1	5,5	51,0	37,5	12,0	8,8	-	-	50	4,3	23,9
	64,0	47,1	6,3	51,0	37,5	13,0	9,6	-	-	50	6,0	21,4
	65,0	47,8	7,2	51,0	37,5	12,0	8,8	-	-	50	5,5	35,7
	65,0	47,8	9,4	49,0	36,1	12,0	8,8	-	-	50	4,0	47,9
	65,0	47,8	14,2	49,0	36,1	15,0	11,0	-	-	50	4,5	70,9
	65,0	47,8	39,2	43,0	31,6	12,0	8,8	-	-	50	0,7	54,0
Mittelwert	64,8	47,7	11,8	48,9	36,0	12,5	9,2	-	-	50	5,0	43,5
Minimum	64,0	47,1	5,5	43,0	31,6	12,0	8,8	-	-	50	0,7	21,4
Maximum	65,0	47,8	39,2	51,0	37,5	15,0	11,0	-	-	50	7,7	70,9
Median	65,0	47,8	6,8	49,5	36,4	12,0	8,8	-	-	50	5,0	46,7
Summe										400		348,1

Gegen Ende des Versuches zeigt sich, entsprechend der steigenden Gasmenge, subkutan ein deutliches Emphysem (Abb. 18).

**Abb. 18**

Fehllage der Veress-Nadel

Subkutanes Emphysem nach Insufflation mit dem WISAP® OP-Pneu electronic 7050 auf Flowstufe 1

Bei der Aktivierung des Gerätes im High-Flow-Modus erfolgt wiederum ein sofortiger Druckpeak, verbunden mit Gasförderung und kurzem Gerätealarm. Danach kommt es zu einem raschen Druckabfall mit anschließender erneuter Druckspitze. Trotz überhöhtem Druck und Gasfluß unterbleibt hier und in der Folge der Alarm. Derartige Zyklen wiederholen sich in sehr kurzen Abständen (durchschnittlich 2,8 s), wobei die Zyklusdauer im Verlauf

der Messung zunimmt. Über einen Zeitraum von 82,6 s werden bei ständigem Fluß insgesamt 3000 ml Gas gefördert (Tabelle 28).

Tabelle 28

WISAP® OP-Pneu electronic 7050
 Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)
 Veress-Nadel: subkutan
 Flowselector: High-Flow

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	64,0	47,1	1,6	32,0	23,6	18,0	13,2	-	-	103,4	2,0	2,5
	65,0	47,8	2,1	24,0	17,7	14,0	10,3	-	-	103,4	0,0	2,5
	64,0	47,1	1,9	48,0	35,3	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	2,5
	64,0	47,1	1,8	43,0	31,6	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	2,4
	64,0	47,1	1,8	44,0	32,4	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	2,5
	64,0	47,1	1,8	39,0	28,7	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	2,4
	64,0	47,1	1,9	30,0	22,1	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	2,4
	64,0	47,1	2,0	27,0	19,9	18,0	13,2	-	-	103,4	0,0	2,5
	64,0	47,1	2,0	21,0	15,5	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	2,4
	64,0	47,1	2,0	24,0	17,7	15,0	11,0	-	-	103,4	0,0	2,4
	64,0	47,1	1,7	43,0	31,6	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	2,4
	64,0	47,1	1,8	45,0	33,1	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	2,5
	64,0	47,1	1,6	50,0	36,8	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	2,5
	64,0	47,1	1,8	36,0	26,5	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	2,4
	63,0	46,4	1,8	27,0	19,9	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	2,4
	64,0	47,1	1,8	33,0	24,3	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	2,7
	64,0	47,1	1,9	43,0	31,6	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	2,8
	64,0	47,1	2,0	27,0	19,9	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	2,9
	64,0	47,1	2,1	27,0	19,9	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,0
	64,0	47,1	2,1	23,0	16,9	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,1
	64,0	47,1	2,1	22,0	16,2	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,4
	64,0	47,1	2,1	23,0	16,9	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,3
	64,0	47,1	2,0	25,0	18,4	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,3
	64,0	47,1	1,8	34,0	25,0	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,5
	64,0	47,1	2,0	30,0	22,1	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,7
	64,0	47,1	1,8	33,0	24,3	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	3,5
	64,0	47,1	2,1	23,0	16,9	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,5
	64,0	47,1	2,1	25,0	18,4	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	3,7
	64,0	47,1	2,0	25,0	18,4	16,0	11,8	-	-	103,4	0,0	3,5
Mittelwert	64,0	47,1	1,9	31,9	23,5	16,6	12,2	-	-	103,4	0,1	2,8
Minimum	63,0	46,4	1,6	21,0	15,5	14,0	10,3	-	-	103,4	0,0	2,4
Maximum	65,0	47,8	2,1	50,0	36,8	18,0	13,2	-	-	103,4	2,0	3,7
Median	64,0	47,1	1,9	30,0	22,1	17,0	12,5	-	-	103,4	0,0	2,5
Summe										3000		82,6

Trotz einer Gesamtgasförderung von 3 l war klinisch kein Emphysem nachweisbar.

3.2.1.3. STRYKER® High Flow Insufflator

Der Insufflator wird zunächst in Flowstufe 1 gestartet. Es erscheint nur eine geringe initiale Druckanhebung und des weiteren kurze Meßhübe ohne artifizielle Gasförderung. Vom Gerät wird kein akustischer Alarm gegeben. Über den gesamten Meßzeitraum bleibt der Insufflationsdruck nahezu konstant auf Höhe der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung (Tabelle 29).

Tabelle 29

STRYKER® High Flow Insufflator

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start in 1	19,0	14,0	1,3	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	13,8
	17,0	12,5	2,1	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	12,1
	17,0	12,5	1,5	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	11,4
	17,0	12,5	2,0	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	11,6
	17,0	12,5	1,9	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	11,9
	17,0	12,5	2,0	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	12,6
	17,0	12,5	1,5	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	12,0
Mittelwert	17,3	12,7	1,8	16,1	11,9	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	12,2
Minimum	17,0	12,5	1,3	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	11,4
Maximum	19,0	14,0	2,1	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	13,8
Median	17,0	12,5	1,9	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	12,0
Summe										0,0		85,4

P-Peak: Höhe der Meßhübe

Bei laufender Insufflation auf Stufe 1 wird das Gerät auf Stufe 2 umgeschaltet. Es zeigt sich sofort ein ausgeprägter Peak von 60,0 cmH₂O (44,2 mmHg) und die Gasförderung beginnt. Dabei wird kein Alarm gegeben. Nach der ersten Druckübersteuerung von 4,4 s Dauer, kommt es sofort zu einem steilen, sehr kurzen Druckabfall mit erneuter Anhebung auf den initialen Wert. Im folgenden ergibt sich ein zyklisches Verhalten. Nach einer durchschnittlichen Peakhöhe von 56,2 cmH₂O (41,4 mmHg) und -dauer von 4,3 s, fällt der Druck von einem mittleren Maximalwert von 24,2 cmH₂O (17,8 mmHg) auf einen Minimalwert von im Schnitt 15,1 cmH₂O (11,1 mmHg) ab, ehe die nächste Druckspitze erfolgt. Die maximale Kompartimentdruckbegrenzung wird hier fast dauerhaft weit überschritten. Über den gesamten registrierten Zeitraum wird eine Gasmenge von 300 ml freigesetzt. Es ertönt kein Gerätealarm (Tabelle 30).

Tabelle 30
STRYKER® High Flow Insufflator
 Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)
 Veress-Nadel: subkutan
 Flowselector: Stufe 2 aus 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
2 aus 1	60,0	44,2	4,4	entfällt	entfällt	14,0	10,3	-	-	10,7	0,0	4,4
	60,0	44,2	4,2	30,0	22,1	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	4,5
	58,0	42,7	4,1	31,0	22,8	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	4,5
	58,0	42,7	4,2	30,0	22,1	16,0	11,8	-	-	10,7	0,0	4,8
	56,0	41,2	4,1	26,0	19,1	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,3
	57,0	42,0	4,0	27,0	19,9	16,0	11,8	-	-	10,7	0,0	5,3
	56,0	41,2	4,2	24,0	17,7	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,7
	56,0	41,2	4,3	22,0	16,2	16,0	11,8	-	-	10,7	0,0	5,7
	57,0	42,0	4,3	22,0	16,2	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,9
	55,0	40,5	4,3	22,0	16,2	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,7
	56,0	41,2	4,4	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,9
	56,0	41,2	4,2	24,0	17,7	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,9
	55,0	40,5	4,2	22,0	16,2	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,8
	56,0	41,2	4,2	29,0	21,3	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,9
	56,0	41,2	4,3	24,0	17,7	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,9
	56,0	41,2	4,2	25,0	18,4	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	6,0
	56,0	41,2	4,2	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,6
	55,0	40,5	4,2	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,2
	56,0	41,2	4,4	20,0	14,7	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,4
	56,0	41,2	4,3	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,2
	56,0	41,2	4,3	20,0	14,7	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,3
	55,0	40,5	4,2	34,0	25,0	16,0	11,8	-	-	10,7	0,0	5,3
	55,0	40,5	4,3	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,5
	56,0	41,2	4,2	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,2
	55,0	40,5	4,4	22,0	16,2	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,4
	55,0	40,5	4,5	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,5
	56,0	41,2	4,2	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,3
	55,0	40,5	4,3	23,0	16,9	16,0	11,8	-	-	10,7	0,0	5,2
Mittelwert	56,2	41,4	4,3	24,2	17,8	15,1	11,1	-	-	10,7	0,0	5,4
Minimum	55,0	40,5	4,0	20,0	14,7	14,0	10,3	-	-	10,7	0,0	4,4
Maximum	60,0	44,2	4,5	34,0	25,0	16,0	11,8	-	-	10,7	0,0	6,0
Median	56,0	41,2	4,2	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	10,7	0,0	5,4
Summe										300		151,3

Wird der Insufflator aus Flowstufe 2 direkt auf Stufe 3 weitergeschaltet, setzt sich der Insufflationsverlauf mit regelmäßigen Druckspitzen unverändert fort. Die Druckwerte bleiben annähernd auf selbem Niveau. Über weitere 14 Hübe werden zusätzlich 400 ml Gas gefördert. Ein Gerätealarm erfolgt nicht (Tabelle 31).

Tabelle 31

STRYKER® High Flow Insufflator

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 3 aus 2

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
3 aus 2	55,0	40,5	4,5	18,0	13,2	16,0	11,8	-	-	28,6	0,0	5,3
	57,0	42,0	4,4	23,0	16,9	16,0	11,8	-	-	28,6	0,0	5,5
	57,0	42,0	4,2	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,3
	58,0	42,7	4,4	20,0	14,7	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
	56,0	41,2	4,2	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
	57,0	42,0	4,2	24,0	17,7	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
	56,0	41,2	4,2	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,3
	55,0	40,5	4,5	19,0	14,0	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
	56,0	41,2	4,4	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
	57,0	42,0	4,4	22,0	16,2	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
	57,0	42,0	4,3	22,0	16,2	16,0	11,8	-	-	28,6	0,0	5,3
	55,0	40,5	4,4	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
	57,0	42,0	4,4	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
	57,0	42,0	4,4	20,0	14,7	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
Mittelwert	56,4	41,5	4,4	21,2	15,6	15,2	11,2	-	-	28,6	0,0	5,4
Minimum	55,0	40,5	4,2	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,3
Maximum	58,0	42,7	4,5	24,0	17,7	16,0	11,8	-	-	28,6	0,0	5,5
Median	57,0	42,0	4,4	21,5	15,8	15,0	11,0	-	-	28,6	0,0	5,4
Summe										400		75,3

Nach etwa 75 s der Insufflation in Flowstufe 3 zeigt sich ein deutliches Emphysem des subkutanen Gewebes in der linken Leistenregion (Abb. 19).

**Abb. 19**

Subkutanen Emphysem links inguinal nach Insufflation mit dem STRYKER® High Flow Insufflator auf Flowstufe 3

3.2.1.4. WOM Surgiflator®

Bei Start des Surgiflators auf Stufe 1 des Flowselectors baut sich ein sehr diskreter Überdruck auf, der nicht von einem artifiziiellen Gasfluß begleitet ist. Ihm folgen mehrere Meßhübe mit nur geringem Druckanstieg von jeweils 3,0 – 4,0 cmH₂O (2,2 – 2,9 mmHg). Die vorgewählte Druckbegrenzung wird um maximal 2,7 cmH₂O (2,0 mmHg) überschritten, es entsteht keine ungewollte Gasförderung (Tabelle 32).

Tabelle 32

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start in 1	19,0	14,0	1,3	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	4,8
	19,0	14,0	1,1	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	8,7
	19,0	14,0	1,0	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	10,7
	18,0	13,2	1,3	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	10,1
	18,0	13,2	1,0	17,0	12,5	14,0	10,3	-	-	0,0	0,0	10,4
	18,0	13,2	0,6	17,0	12,5	14,0	10,3	-	-	0,0	0,0	10,4
	17,0	12,5	2,9	15,0	11,0	14,0	10,3	-	-	0,0	0,0	10,6
	17,0	12,5	2,8	15,0	11,0	13,0	9,6	-	-	0,0	0,0	8,1
	16,0	11,8	0,9	15,0	11,0	13,0	9,6	-	-	0,0	0,0	10,7
	Mittelwert	17,9	13,2	1,4	16,4	12,1	14,2	10,5	-	-	0,0	0,0
Minimum	16,0	11,8	0,6	15,0	11,0	13,0	9,6	-	-	0,0	0,0	4,8
Maximum	19,0	14,0	2,9	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	0,0	0,0	10,7
Median	18,0	13,2	1,1	17,0	12,5	14,0	10,3	-	-	0,0	0,0	10,4
Summe										0,0		84,5

Wird das Gerät von Stufe 1 in Stufe 2 umgeschaltet, zeigt sich sofort eine heftige Druckübersteuerung von 65,0 cmH₂O (47,8 mmHg) mit akustischem Alarm, jedoch ohne artifiziielle Gasfreisetzung. Nach diesem und den folgenden Hüben sinkt der Druck von einem Maximalwert von durchschnittlich 36,3 cmH₂O (26,7 mmHg) langsam und kontinuierlich auf 13,0 cmH₂O (9,6 mmHg) ab, bevor eine weitere Druckspitze von 62,0 cmH₂O (45,6 mmHg) folgt. Die mittlere Zyklusdauer beträgt 83,6 s. Der jeweils kurz nach Hubbeginn einsetzende Gerätealarm steht in Zusammenhang mit kurzzeitigen Flowanzeigen am Gerät. Es fließt trotz hoher Druckübersteuerung kein Gas (Tabelle 33).

Tabelle 33

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 2 aus 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
2 aus 1	65,0	47,8	4,1	38,0	28,0	13,0	9,6	-	-	0,0	7,0	85,5
	62,0	45,6	4,0	35,0	25,8	13,0	9,6	-	-	0,0	5,6	81,7
	62,0	45,6	4,3	36,0	26,5	13,0	9,6	-	-	0,0	5,8	83,6
Mittelwert	63,0	46,4	4,1	36,3	26,7	13,0	9,6	-	-	0,0	6,1	83,6
Minimum	62,0	45,6	4,0	35,0	25,8	13,0	9,6	-	-	0,0	5,6	81,7
Maximum	65,0	47,8	4,3	38,0	28,0	13,0	9,6	-	-	0,0	7,0	85,5
Median	62,0	45,6	4,1	36,0	26,5	13,0	9,6	-	-	0,0	5,8	83,6
Summe										0,0		250,8

Nach Nullabgleich der Anlage mit vollständigem Druckausgleich aller Leitungen, wird der Insufflator in Flowstufe 3 aktiviert. Es entsteht ein kräftiger Hub (66,0 cmH₂O (48,6 mmHg)) von 4,6 s Dauer. Danach fällt der Druck unmittelbar, ohne die bisher beobachteten Stufen, auf einen Minimalwert von 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg) ab. Ein artifizierlicher Gasfluß setzt ein. Der Insufflator gibt hierbei keinen Alarm. In der Folge kommt es zu sehr rasch aufeinanderfolgenden Druckspitzen (Zyklusdauer im Durchschnitt 1,1 s), bei denen die Drücke, ausgehend von einem durchschnittlichen Druckmaximum von 20,5 cmH₂O (15,1 mmHg) nach einer mittleren Peakhöhe von 52,2 cmH₂O (38,4 mmHg) und Peakdauer von 0,6 s steil auf einen Minimalwert von im Durchschnitt 15,2 cmH₂O (11,2 mmHg) abfallen, ehe erneut ein steiler Anstieg erfolgt. Der Insufflationsdruck liegt im Rahmen der Druckspitzen durchschnittlich 35,9 cmH₂O (26,4 mmHg) über der maximalen Kompartimentdruckbegrenzung. Über eine Gesamtdauer von 61,1 s werden bei 55 Einzelhuben 600 ml Gas insuffliert. In keinem Fall ist die artifizierliche Gasinsufflation von einem Gerätealarm begleitet (Tabelle 34). Klinisch zeigt sich hiernach ein deutliches Emphysem der rechten Leiste (Abb. 20).

Tabelle 34

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 3

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start in 3	66,0	48,6	4,6	16,0	11,8	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	4,8
	60,0	44,2	0,7	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,1
	60,0	44,2	0,8	19,0	14,0	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,1
	58,0	42,7	0,7	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	59,0	43,4	0,6	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	60,0	44,2	0,7	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	57,0	42,0	0,6	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	60,0	44,2	0,7	20,0	14,7	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,1
	60,0	44,2	0,6	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,8
	39,0	28,7	0,5	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,7
	36,0	26,5	0,5	18,0	13,2	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	0,7
	52,0	38,3	0,6	17,0	12,5	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	0,8
	52,0	38,3	0,5	17,0	12,5	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	0,7
	50,0	36,8	0,6	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	60,0	44,2	0,6	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,9
	49,0	36,1	0,4	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,9
	60,0	44,2	0,6	25,0	18,4	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,1
	34,0	25,0	0,4	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,7
	57,0	42,0	0,6	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,3
	59,0	43,4	0,6	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,9
	44,0	32,4	0,6	17,0	12,5	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,8
	55,0	40,5	0,6	19,0	14,0	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	58,0	42,7	0,6	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	59,0	43,4	0,6	21,0	15,5	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	1,0
	52,0	38,3	0,5	17,0	12,5	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	0,9
	59,0	43,4	0,5	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	56,0	41,2	0,6	19,0	14,0	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,1
	53,0	39,0	0,6	20,0	14,7	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	1,3
	56,0	41,2	0,3	25,0	18,4	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	53,0	39,0	0,4	22,0	16,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,9
	40,0	29,4	0,4	20,0	14,7	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,1
	53,0	39,0	0,4	24,0	17,7	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	0,7
	52,0	38,3	0,2	34,0	25,0	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	43,0	31,6	0,5	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	58,0	42,7	0,6	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,4
	51,0	37,5	0,3	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,7
	47,0	34,6	0,3	24,0	17,7	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	47,0	34,6	0,4	26,0	19,1	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,2
	58,0	42,7	0,6	18,0	13,2	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	1,3
	49,0	36,1	0,3	24,0	17,7	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	51,0	37,5	0,4	28,0	20,6	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,1
	50,0	36,8	0,3	33,0	24,3	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0

	49,0	36,1	0,5	19,0	14,0	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,1
	49,0	36,1	0,4	20,0	14,7	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	1,0
	52,0	38,3	0,4	20,0	14,7	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
	42,0	30,9	0,5	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,3
	56,0	41,2	0,4	21,0	15,5	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,2
	48,0	35,3	0,5	19,0	14,0	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,2
	56,0	41,2	0,4	25,0	18,4	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,4
	60,0	44,2	0,5	23,0	16,9	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,5
	40,0	29,4	0,5	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,2
	53,0	39,0	0,4	29,0	21,3	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,2
	50,0	36,8	0,6	18,0	13,2	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,3
	44,0	32,4	0,4	20,0	14,7	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,2
	42,0	30,9	0,5	19,0	14,0	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,4
Mittelwert	52,2	38,4	0,6	20,5	15,1	15,2	11,2	-	-	10,9	0,0	1,1
Minimum	34,0	25,0	0,2	16,0	11,8	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	0,7
Maximum	66,0	48,6	4,6	34,0	25,0	16,0	11,8	-	-	10,9	0,0	4,8
Median	53,0	39,0	0,5	19,0	14,0	15,0	11,0	-	-	10,9	0,0	1,0
Summe										600		61,1

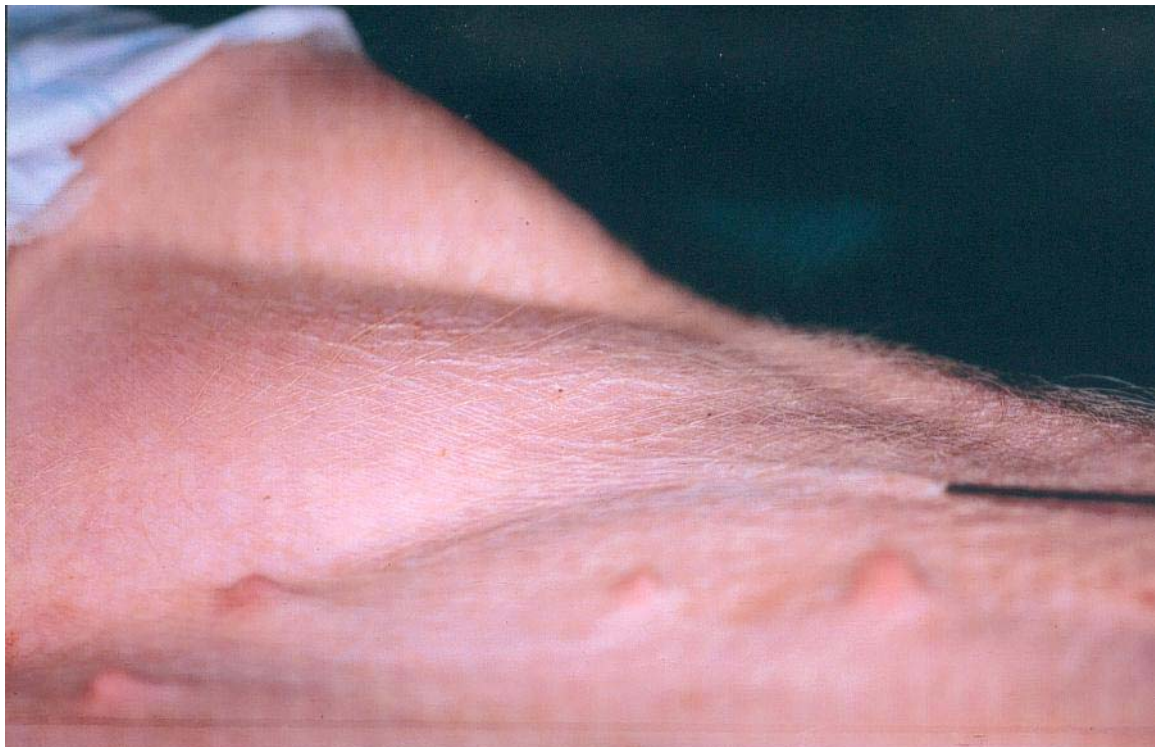


Abb. 20
Emphysem rechts inguinal nach Insufflation mit dem WOM Surgiflator[®], Flowstufe 3

3.2.1.5. WIEST Laparoflator electronic[®] 3509

Unmittelbar nach dem Start in Flowstufe 1 entsteht ein kurzer, vergleichsweise niedriger Druckpeak von 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg) mit anschließendem Druckabfall auf 4,0 cmH₂O (2,9 mmHg), gefolgt von einer erneuten Anhebung auf 17,0 cmH₂O (12,5 mmHg). Im folgenden ergeben sich periodische Schwankungen mit geringer Drucksteigerung auf 18,0 cmH₂O (13,2 mmHg) nachdem der Insufflationsdruck langsam und kontinuierlich auf 12,0 cmH₂O (8,8 mmHg) gesunken ist. Bereits mit dem zweiten Hub setzt eine artifizielle Gasförderung ein. Über den Meßzeitraum von insgesamt 227,7 s belüftet sie sich auf 100 ml (Tabelle 35). Klinisch konnte jedoch kein Emphysem nachgewiesen werden.

Tabelle 35

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	16,0	11,8	1,0	4,0	2,9	4,0	2,9	-	-	0,0	0,0	3,7
	17,0	12,5	2,7	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	23,3
	18,0	13,2	3,5	14,0	10,3	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	20,4
	18,0	13,2	4,1	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	27,6
	18,0	13,2	5,5	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	34,5
	18,0	13,2	5,5	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	34,1
	18,0	13,2	2,2	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	28,3
	18,0	13,2	3,2	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	25,7
	18,0	13,2	3,3	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	30,1
Mittelwert	17,7	13,0	3,4	13,7	10,1	11,1	8,2	-	-	11,1	0,0	25,3
Minimum	16,0	11,8	1,0	4,0	2,9	4,0	2,9	-	-	0,0	0,0	3,7
Maximum	18,0	13,2	5,5	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	34,5
Median	18,0	13,2	3,3	15,0	11,0	12,0	8,8	-	-	12,5	0,0	27,6
Summe										100		227,7

Erfolgt die Aktivierung des Gerätes auf Stufe 2 des Flowselectors, zeigt sich ein analoger Druckverlauf, lediglich mit niedrigeren Druckwerten. Einem initialen diskreten Peak von 6,0 cmH₂O (4,4 mmHg) folgen auch hier zyklisch mäßige Druckanstiege auf 8,0 – 9,0 cmH₂O (5,9 – 6,6 mmHg) mit nachfolgend sanftem Abfall auf einen Minimaldruck von durchschnittlich 3,1 cmH₂O (2,3 mmHg). Mit fortschreitender Beobachtungszeit nimmt die Zyklusdauer zu. Der Insufflationsdruck liegt konstant unter der vorgewählten Druckbegrenzung. Dennoch wird während der ersten fünf Hübe eine Gasmenge von 100 ml freigesetzt. Klinisch bildet sich ein Emphysem mit einer Ausdehnung von 7 x 2 cm. Nach dem fünften Hub sistiert der Gasfluß (Tabelle 36).

Tabelle 36

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 2

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	6,0	4,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	20,0	0,0	3,4
	8,0	5,9	3,0	6,0	4,4	4,0	2,9	-	-	20,0	0,0	17,3
	9,0	6,6	1,5	7,0	5,2	3,0	2,2	-	-	20,0	0,0	24,1
	9,0	6,6	1,5	8,0	5,9	4,0	2,9	-	-	20,0	0,0	33,7
	9,0	6,6	1,9	8,0	5,9	4,0	2,9	-	-	20,0	0,0	40,5
	9,0	6,6	3,4	7,0	5,2	4,0	2,9	-	-	0,0	0,0	42,1
	9,0	6,6	3,1	7,0	5,2	3,0	2,2	-	-	0,0	0,0	43,7
	9,0	6,6	2,5	7,0	5,2	3,0	2,2	-	-	0,0	0,0	43,8
Mittelwert	8,5	6,3	2,2	6,3	4,6	3,1	2,3	-	-	12,5	0,0	31,1
Minimum	6,0	4,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	3,4
Maximum	9,0	6,6	3,4	8,0	5,9	4,0	2,9	-	-	20,0	0,0	43,8
Median	9,0	6,6	2,2	7,0	5,2	3,5	2,6	-	-	20,0	0,0	37,1
Summe										100		248,6

Auch bei Aktivierung des Insufflators auf Stufe 3 erscheint eine analoge Druckkurve, jedoch ohne initialen Peak. Die Druckwerte liegen mit einem durchschnittlichen „P-Peak“ von 16,1 cmH₂O (11,9 mmHg), „Pmax nach Peak“ von 15,0 cmH₂O (11,0 mmHg) und „Pmin vor Peak“ von 11,0 cmH₂O (8,1 mmHg) in der Größenordnung der Insufflation auf Flowstufe 1. Auch bei dieser Flowvorwahl kommt es zu periodischen Druckanhebungen und

-abfällen. Ausgeprägte Druckspitzen fehlen. Die Zyklen werden mit zunehmender Beobachtungszeit länger. Der Insufflationsdruck übersteigt auch hier nicht die maximale Kompartimentdruckgrenze. Innerhalb der ersten vier Zyklen erfolgt eine Gasförderung von insgesamt 100 ml, danach sistiert der Gasfluß. Zu einem Gerätealarm kommt es nicht (Tabelle 37).

Tabelle 37

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: subkutan

Flowselector: Stufe 3

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	17,0	12,5	3,8	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	25,0	0,0	14,5
	16,0	11,8	1,6	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	25,0	0,0	22,2
	16,0	11,8	1,6	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	25,0	0,0	26,4
	16,0	11,8	1,1	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	25,0	0,0	26,2
	16,0	11,8	0,4	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	0,0	0,0	28,0
	16,0	11,8	0,7	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	0,0	0,0	28,2
	16,0	11,8	1,6	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	0,0	0,0	32,1
	16,0	11,8	1,5	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	0,0	0,0	34,1
Mittelwert	16,1	11,9	1,5	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	12,5	0,0	26,5
Minimum	16,0	11,8	0,4	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	0,0	0,0	14,5
Maximum	17,0	12,5	3,8	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	25,0	0,0	34,1
Median	16,0	11,8	1,6	15,0	11,0	11,0	8,1	-	-	12,5	0,0	27,2
Summe										100		211,7

P-Peak: Höhe der Druckanhebungen

3.2.2. Intraabdominelle Lage der Veress-Kanüle

3.2.2.1. HI-TEC® Insufflator 1200

Bei dem Einschalten des Niederdruckinsufflators kommt es nur zu einer kurzen (0,5 s) initialen Druckspitze (29,0 cmH₂O (21,3 mmHg)) mit unmittelbar anschließendem steilen Abfall auf einen konstanten Insufflationsdruck von 13,0 cmH₂O (9,6 mmHg). Nach 3,5 s fällt dieser kurzzeitig (0,5 s) auf 0,0 cmH₂O / mmHg ab, wird aber sofort wieder auf 13,0 cmH₂O (9,6 mmHg) hochgeregelt und bleibt danach für insgesamt 63,9 s bis auf gelegentliche minimale Schwankungen von $\pm 1,0$ cmH₂O (0,7 mmHg) konstant. Der intraabdominelle Druck hat zu diesem Zeitpunkt 14,0 cmH₂O (10,3 mmHg) erreicht und steigt weiter kontinuierlich an. Nach 138,8 s sistiert der Gasfluß von bisher 2,3 l bei einem Kompartimentdruck von 20,0 cmH₂O (14,7 mmHg) (Abb. 21).

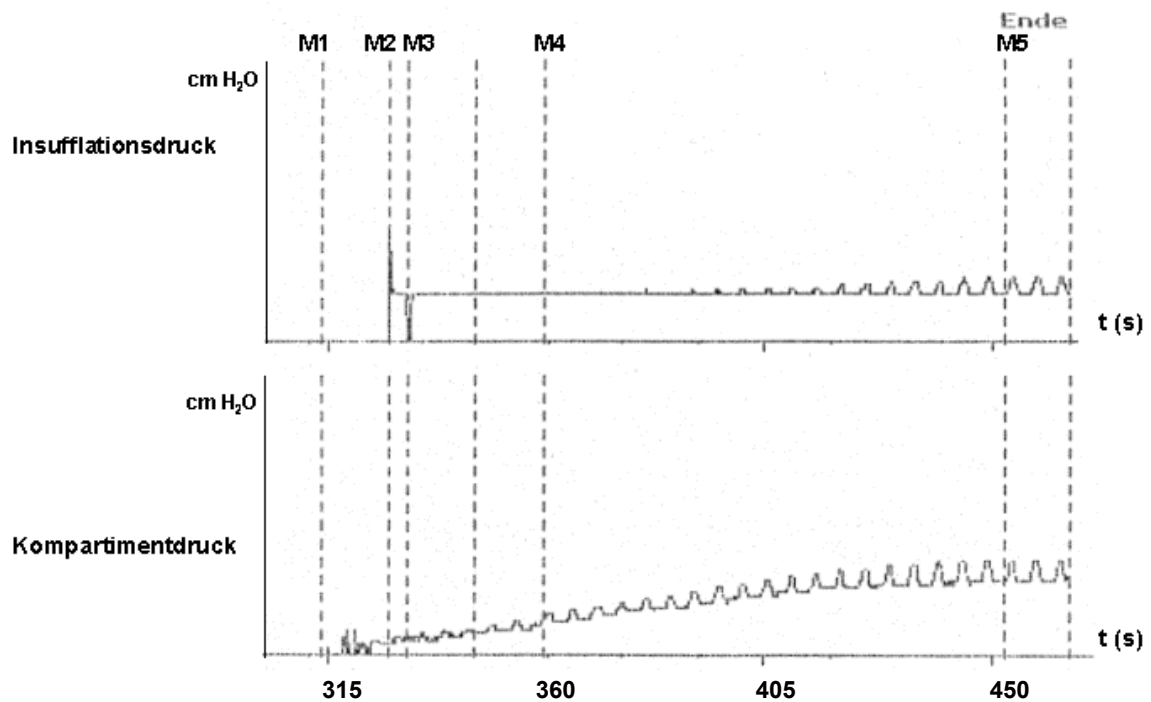


Abb. 21

HI-TEC® Insufflator 1200 –

Verläufe von Insufflationsdruck und Kompartimentdruck

M1 = Start der Messung

M2 = Aktivierung des Insufflators

M3 = konstanter Insufflationsdruck mit Unterbrechung und beginnender Kompartimentdruckanstieg

M4 = konstanter Insufflationsdruck und zunehmender Kompartimentdruckanstieg

M5 = konstanter Insufflationsdruck und Kompartimentdruck

An den beiden Kurven läßt sich sowohl der konstante Insufflationsdruck als auch der gleichmäßige, langsame Druckanstieg im Bauchraum nachvollziehen. Die Überlagerung der Kurven durch zyklische Druckanhebungen ist beatmungstechnisch induziert (Abb. 21).

3.2.2.2. WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Wird das Gerät auf Stufe 1 gestartet, kommt es zu periodischen Insufflationsdruckschwankungen in Form von relativ schwachen Druckanhebungen mit im Verlauf zunehmendem Druckmaximum. Danach erfolgt immer ein kurzzeitiger Druckabfall auf einen Minimalwert, dessen Werte ebenfalls im Verlauf ansteigen. Bei Annäherung des intraabdominellen Druckes an den vorgewählten maximalen Kompartimentdruck verkürzen sich die Zyklen und der Gasfluß (bisher 2,7 l) wird reduziert. Mit weiteren 17 Hüben werden insgesamt nochmals 0,6 l freigesetzt. Anschließend stellt sich ein Druck von 13,0 cmH₂O (9,6 mmHg) ein. Insgesamt besteht, bei nur noch zweimalig auftretenden Insufflationshüben, Druckkonstanz. Über einen Zeitraum von 41,7 s fließen weitere 100 ml Gas. Die Gesamtgasförderung beträgt 3,4 l. Der Druck im Kompartiment übersteigt am Ende die Druckbegrenzung um 2,0 mmHg / 2,7 cmH₂O (Tabelle 38).

Tabelle 38

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	4,0	2,9	3,7	4,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	4,5
	4,0	2,9	3,7	4,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	4,5
	4,0	2,9	3,7	4,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	4,5
	4,0	2,9	3,7	4,0	2,9	0,0	0,0	1,0	0,7	100,0	0,0	4,5
	5,0	3,7	3,7	4,0	2,9	0,0	0,0	1,0	0,7	100,0	0,0	4,5
	5,0	3,7	3,7	5,0	3,7	1,0	0,7	1,0	0,7	55,6	0,0	4,5
	5,0	3,7	3,7	5,0	3,7	1,0	0,7	2,0	1,5	55,6	0,0	4,5
	5,0	3,7	3,7	5,0	3,7	2,0	1,5	2,0	1,5	55,6	0,0	4,5
	5,0	3,7	3,7	5,0	3,7	2,0	1,5	2,0	1,5	55,6	0,0	4,5
	5,0	3,7	3,7	5,0	3,7	2,0	1,5	3,0	2,2	55,6	0,0	4,5
	5,0	3,7	3,7	5,0	3,7	3,0	2,2	4,0	2,9	55,6	0,0	4,5
	6,0	4,4	3,7	5,0	3,7	3,0	2,2	4,0	2,9	55,6	0,0	4,5
	6,0	4,4	3,7	5,0	3,7	3,0	2,2	4,0	2,9	55,6	0,0	4,5
	7,0	5,2	3,7	6,0	4,4	3,0	2,2	4,0	2,9	55,6	0,0	4,5
	7,0	5,2	3,7	6,0	4,4	2,0	1,5	4,0	2,9	76,9	0,0	4,5
	8,0	5,9	3,6	6,0	4,4	3,0	2,2	5,0	3,7	76,9	0,0	4,5
	8,0	5,9	3,7	7,0	5,2	3,0	2,2	5,0	3,7	76,9	0,0	4,5
	8,0	5,9	3,6	7,0	5,2	3,0	2,2	5,0	3,7	76,9	0,0	4,5
	9,0	6,6	3,6	8,0	5,9	3,0	2,2	6,0	4,4	76,9	0,0	4,5
	9,0	6,6	3,7	8,0	5,9	3,0	2,2	6,0	4,4	76,9	0,0	4,5
	10,0	7,4	3,7	10,0	7,4	4,0	2,9	6,0	4,4	76,9	0,0	4,5
	11,0	8,1	3,7	11,0	8,1	4,0	2,9	6,0	4,4	76,9	0,0	4,5
	11,0	8,1	3,7	11,0	8,1	4,0	2,9	7,0	5,2	76,9	0,0	4,5
	11,0	8,1	3,7	11,0	8,1	5,0	3,7	7,0	5,2	76,9	0,0	4,5
	11,0	8,1	3,7	11,0	8,1	6,0	4,4	7,0	5,2	76,9	0,0	4,5
	11,0	8,1	3,6	11,0	8,1	6,0	4,4	7,0	5,2	76,9	0,0	4,5
	11,0	8,1	3,6	11,0	8,1	6,0	4,4	7,0	5,2	76,9	0,0	4,5
	12,0	8,8	3,6	11,0	8,1	6,0	4,4	8,0	5,9	70,0	0,0	4,5
	13,0	9,6	3,6	11,0	8,1	6,0	4,4	10,0	7,4	70,0	0,0	4,5
	13,0	9,6	3,7	12,0	8,8	6,0	4,4	10,0	7,4	70,0	0,0	4,5
	14,0	10,3	3,7	12,0	8,8	6,0	4,4	10,0	7,4	70,0	0,0	4,5
	15,0	11,0	3,7	13,0	9,6	7,0	5,2	11,0	8,1	70,0	0,0	4,5
	15,0	11,0	3,7	13,0	9,6	7,0	5,2	11,0	8,1	70,0	0,0	4,5
	16,0	11,8	3,7	13,0	9,6	7,0	5,2	12,0	8,8	70,0	0,0	4,5
	16,0	11,8	3,6	15,0	11,0	8,0	5,9	12,0	8,8	70,0	0,0	4,5
	17,0	12,5	3,6	16,0	11,8	8,0	5,9	13,0	9,6	70,0	0,0	4,5
	17,0	12,5	3,6	17,0	12,5	9,0	6,6	13,0	9,6	70,0	0,0	4,5
	16,0	11,8	1,6	16,0	11,8	9,0	6,6	14,0	10,3	42,9	0,0	2,4
	18,0	13,2	1,6	17,0	12,5	9,0	6,6	14,0	10,3	42,9	0,0	2,5
	16,0	11,8	1,6	16,0	11,8	10,0	7,4	15,0	11,0	42,9	0,0	2,3
	18,0	13,2	1,6	17,0	12,5	10,0	7,4	15,0	11,0	42,9	0,0	2,5
	16,0	11,8	1,7	16,0	11,8	10,0	7,4	16,0	11,8	42,9	0,0	2,4
	19,0	14,0	1,6	18,0	13,2	11,0	8,1	15,0	11,0	42,9	0,0	2,5

	17,0	12,5	1,5	17,0	12,5	11,0	8,1	16,0	11,8	42,9	0,0	2,4
	20,0	14,7	1,6	16,0	11,8	10,0	7,4	16,0	11,8	30,0	0,0	2,5
	17,0	12,5	1,5	17,0	12,5	11,0	8,1	17,0	12,5	30,0	0,0	2,4
	20,0	14,7	1,5	18,0	13,2	11,0	8,1	17,0	12,5	30,0	0,0	2,5
	18,0	13,2	1,5	15,0	11,0	12,0	8,8	17,0	12,5	30,0	0,0	2,3
	22,0	16,2	1,4	20,0	14,7	12,0	8,8	17,0	12,5	30,0	0,0	2,5
	18,0	13,2	1,5	18,0	13,2	13,0	9,6	17,0	12,5	30,0	0,0	2,3
	17,0	12,5	1,3	16,0	11,8	13,0	9,6	18,0	13,2	30,0	0,0	1,7
	18,0	13,2	1,7	18,0	13,2	12,0	8,8	18,0	13,2	30,0	0,0	2,6
	23,0	16,9	1,8	18,0	13,2	12,0	8,8	19,0	14,0	30,0	0,0	2,5
	19,0	14,0	1,8	19,0	14,0	13,0	9,6	19,0	14,0	30,0	0,0	9,9
	19,0	14,0	1,6	19,0	14,0	13,0	9,6	19,0	14,0	50,0	0,0	19,5
	20,0	14,7	1,7	16,0	11,8	13,0	9,6	19,0	14,0	50,0	0,0	entfällt
Mittelwert	12,4	9,1	3,0	11,5	8,5	6,4	4,7	9,5	7,0	60,7	0,0	4,3
Minimum	4,0	2,9	1,3	4,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1,7
Maximum	23,0	16,9	3,7	20,0	14,7	13,0	9,6	19,0	14,0	100,0	0,0	19,5
Median	12,5	9,2	3,6	11,0	8,1	6,0	4,4	9,0	6,6	62,8	0,0	4,5
Summe										3400		234,2

Arbeitet das Gerät im High-Flow-Modus, wird der vorgewählte Grenzwert für den maximalen Kompartimentdruck um 4,7 cmH₂O (3,5 mmHg) überschritten. Auftretende Insufflationsdruckspitzen übersteigen ihn um durchschnittlich 33,8 cmH₂O (24,9 mmHg). Bei Aktivierung in diesem Modus erscheinen nach einer Latenz von 0,8 s kräftige Druckpeaks (im Schnitt 50,1 cmH₂O (36,9 mmHg)) mit regelhaft steilem Abfall von einem mittleren maximalen Druck von 49,7 cmH₂O (36,6 mmHg) auf einen Minimaldruck von durchschnittlich 7,6 cmH₂O (5,6 mmHg), ehe die nächste Druckübersteuerung folgt. Die minimalen Druckwerte vor dem erneuten Hub steigen mit ihrer Amplitude mit zunehmender Beobachtungsdauer nahezu kontinuierlich an. Mit zunehmendem intraabdominellen Druck werden die Hübe kürzer und sistieren schließlich ganz. Es stellt sich ein konstanter Druck im Kompartiment (21,0 cmH₂O (15,5 mmHg)) sowie am Insufflator (16,0 cmH₂O (11,8 mmHg)) ein. Der intraabdominelle Druckanstieg erfolgt erwartungsgemäß deutlich schneller als in Flowstufe 1. Bei einer hohen Flowrate mit einer Gesamtförderung von 4 l Gas ist der etwas über dem Grenzwert liegende Kompartimentdruck von 21,0 cmH₂O (15,5 mmHg) bereits nach 53,7 s erreicht (Tabelle 39). In der folgenden Phase der Druckkonstanz fließt kein Gas.

Tabelle 39

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: High-Flow

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	49,0	36,1	3,8	48,0	35,3	1,0	0,7	0,0	0,0	285,7	0,0	4,5
	49,0	36,1	3,9	49,0	36,1	2,0	1,5	2,0	1,5	285,7	0,0	4,4
	49,0	36,1	4,0	49,0	36,1	3,0	2,2	4,0	2,9	285,7	0,0	4,7
	50,0	36,8	3,7	49,0	36,1	3,0	2,2	6,0	4,4	285,7	0,0	4,4
	50,0	36,8	3,8	50,0	36,8	4,0	2,9	7,0	5,2	285,7	0,0	4,5
	50,0	36,8	3,8	50,0	36,8	5,0	3,7	8,0	5,9	285,7	0,0	4,5
	50,0	36,8	3,9	50,0	36,8	6,0	4,4	9,0	6,6	285,7	0,0	4,6
	50,0	36,8	3,7	50,0	36,8	7,0	5,2	11,0	8,1	333,3	0,0	4,5
	51,0	37,5	3,7	51,0	37,5	8,0	5,9	13,0	9,6	333,3	0,0	4,7
	52,0	38,3	3,7	51,0	37,5	10,0	7,4	15,0	11,0	333,3	0,0	4,4
	49,0	36,1	1,9	49,0	36,1	13,0	9,6	18,0	13,2	250,0	0,0	2,5
	50,0	36,8	1,7	50,0	36,8	12,0	8,8	18,0	13,2	250,0	0,0	2,5
	50,0	36,8	1,6	50,0	36,8	16,0	11,8	20,0	14,7	250,0	0,0	3,5
	52,0	38,3	1,6	50,0	36,8	16,0	11,8	21,0	15,5	250,0	0,0	entfällt
	Mittelwert	50,1	36,9	3,2	49,7	36,6	7,6	5,6	10,9	8,0	285,7	0,0
Minimum	49,0	36,1	1,6	48,0	35,3	1,0	0,7	0,0	0,0	250,0	0,0	2,5
Maximum	52,0	38,3	4,0	51,0	37,5	16,0	11,8	21,0	15,5	333,3	0,0	4,7
Median	50,0	36,8	3,7	50,0	36,8	6,5	4,8	10,0	7,4	285,7	0,0	4,5
Summe										4000		53,7

3.2.2.3. STRYKER® High Flow Insufflator

Der Insufflator wird auf Stufe 1 des Flowselectors aktiviert. Mit einer minimalen Verzögerung von 0,5 s setzt der erste Hub von 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg) und 1,0 s Dauer ein. Es folgen mehrere gleichförmige längere Hübe von etwa 4 s Dauer mit leicht ansteigender Amplitude. Dabei wird ein steiler Druckabfall auf ein Druckminimum abgelöst von einer erneuten Anhebung. Die Werte dieser Minimaldrücke nehmen, über einen Beobachtungszeitraum von insgesamt 130,2 s, von 0,0 cmH₂O / mmHg bis 14,0 cmH₂O (10,3 mmHg) zu. Die Hübe werden mit steigendem intraabdominellen Druck kürzer und gehen nach Erreichen eines Druckes von 19,0 cmH₂O (14,0 mmHg) in nur noch sehr kurze Meßhübe über. Kurz nach deren Einsetzen endet die Gasförderung, nachdem bis zu diesem Zeitpunkt 1,6 l Gas in die Bauchhöhle geflossen sind (Tabelle 40).

Tabelle 40

STRYKER® High Flow Insufflator

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start	16,0	11,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,5	0,0	1,1
	17,0	12,5	4,0	17,0	12,5	1,0	0,7	0,0	0,0	62,5	0,0	4,4
	17,0	12,5	4,0	17,0	12,5	1,0	0,7	1,0	0,7	62,5	0,0	4,4
	17,0	12,5	4,0	17,0	12,5	1,0	0,7	0,0	0,0	62,5	0,0	4,4
	17,0	12,5	3,9	17,0	12,5	1,0	0,7	2,0	1,5	62,5	0,0	4,3
	17,0	12,5	4,0	17,0	12,5	2,0	1,5	4,0	2,9	62,5	0,0	4,4
	18,0	13,2	4,0	18,0	13,2	3,0	2,2	5,0	3,7	62,5	0,0	4,4
	18,0	13,2	4,0	18,0	13,2	3,0	2,2	6,0	4,4	62,5	0,0	4,3
	18,0	13,2	4,0	18,0	13,2	3,0	2,2	7,0	5,2	62,5	0,0	4,4
	19,0	14,0	4,0	19,0	14,0	4,0	2,9	8,0	5,9	62,5	0,0	4,3
	19,0	14,0	4,1	19,0	14,0	6,0	4,4	8,0	5,9	62,5	0,0	4,4
	19,0	14,0	3,7	19,0	14,0	5,0	3,7	8,0	5,9	62,5	0,0	4,0
	20,0	14,7	3,4	20,0	14,7	6,0	4,4	10,0	7,4	62,5	0,0	3,8
	21,0	15,5	3,7	21,0	15,5	6,0	4,4	10,0	7,4	62,5	0,0	4,0
	23,0	16,9	3,4	21,0	15,5	6,0	4,4	12,0	8,8	62,5	0,0	3,8
	23,0	16,9	3,5	23,0	16,9	8,0	5,9	13,0	9,6	62,5	0,0	3,8
	21,0	15,5	3,5	20,0	14,7	8,0	5,9	13,0	9,6	83,3	0,0	2,9
	24,0	17,7	2,9	23,0	16,9	8,0	5,9	14,0	10,3	83,3	0,0	3,3
	25,0	18,4	2,9	25,0	18,4	12,0	8,8	15,0	11,0	83,3	0,0	3,4
	23,0	16,9	1,3	23,0	16,9	10,0	7,4	15,0	11,0	83,3	0,0	3,8
	26,0	19,1	2,5	26,0	19,1	13,0	9,6	16,0	11,8	83,3	0,0	2,9
	24,0	17,7	1,0	24,0	17,7	10,0	7,4	16,0	11,8	83,3	0,0	1,4
	25,0	18,4	2,1	25,0	18,4	11,0	8,1	16,0	11,8	11,1	0,0	2,5
	28,0	20,6	1,6	28,0	20,6	12,0	8,8	18,0	13,2	11,1	0,0	2,1
	26,0	19,1	1,5	25,0	18,4	12,0	8,8	18,0	13,2	11,1	0,0	2,1
	28,0	20,6	1,5	16,0	11,8	13,0	9,6	19,0	14,0	11,1	0,0	2,4
	26,0	19,1	0,9	26,0	19,1	12,0	8,8	19,0	14,0	11,1	0,0	1,4
	26,0	19,1	1,1	26,0	19,1	14,0	10,3	20,0	14,7	11,1	0,0	3,6
	25,0	18,4	0,7	25,0	18,4	13,0	9,6	20,0	14,7	11,1	0,0	1,1
	26,0	19,1	1,1	25,0	18,4	14,0	10,3	20,0	14,7	11,1	0,0	3,8
	25,0	18,4	0,7	25,0	18,4	14,0	10,3	21,0	15,5	11,1	0,0	1,5
	24,0	17,7	0,8	21,0	15,5	14,0	10,3	20,0	14,7	0,0	0,0	8,4
	24,0	17,7	0,9	24,0	17,7	14,0	10,3	20,0	14,7	0,0	0,0	9,5
	24,0	17,7	0,7	24,0	17,7	14,0	10,3	21,0	15,5	0,0	0,0	9,9
Mittelwert	22,0	16,2	2,5	20,9	15,4	8,1	5,9	12,2	9,0	47,1	0,0	3,8
Minimum	16,0	11,8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
Maximum	28,0	20,6	4,1	28,0	20,6	14,0	10,3	21,0	15,5	83,3	0,0	9,9
Median	23,0	16,9	2,9	21,0	15,5	8,0	5,9	13,5	9,9	62,5	0,0	3,8
Summe										1600		130,2

Startet man das Gerät direkt in Stufe 2, kommt es ohne Latenz zu kräftigen, kurzen Druckspitzen mit zunächst annähernd gleicher Amplitude (durchschnittlich 52,5 cmH₂O (38,6 mmHg)). Mit zunehmender Beobachtungszeit verkürzen sich diese weiter. Nach etwa 40 Peaks erfolgt eine Verringerung der Amplitude. Die Drücke fallen nach den Peaks sehr steil auf einen Minimaldruck ab. Dessen Amplitude steigt mit zunehmendem intraabdominellen Druck von 3,0 auf 17,0 cmH₂O (2,2 auf 12,5 mmHg) an. Nachdem ein Kompartimentdruck von 21,0 cmH₂O (15,5 mmHg) erreicht ist, treten nur noch kurze Meßhübe in größeren Abständen auf und der Gasfluß versiegt, nachdem insgesamt 3,3 l Gas gefördert wurden (Tabelle 41).

Tabelle 41
STRYKER® High Flow Insufflator
 Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)
 Veress-Nadel: intraabdominell
 Flowselector: Stufe 2

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start	56,0	41,2	1,7	55,0	40,5	4,0	2,9	1,0	0,7	166,7	0,0	2,1
	54,0	39,7	1,4	53,0	39,0	4,0	2,9	1,0	0,7	166,7	0,0	1,7
	54,0	39,7	1,7	54,0	39,7	3,0	2,2	1,0	0,7	166,7	0,0	2,0
	54,0	39,7	1,6	54,0	39,7	5,0	3,7	1,0	0,7	166,7	0,0	1,9
	54,0	39,7	1,5	50,0	36,8	4,0	2,9	1,0	0,7	166,7	0,0	1,9
	54,0	39,7	1,4	54,0	39,7	4,0	2,9	2,0	1,5	166,7	0,0	1,9
	54,0	39,7	1,5	54,0	39,7	4,0	2,9	5,0	3,7	66,7	0,0	1,8
	54,0	39,7	1,3	53,0	39,0	5,0	3,7	5,0	3,7	66,7	0,0	1,7
	54,0	39,7	1,5	53,0	39,0	6,0	4,4	5,0	3,7	66,7	0,0	1,8
	53,0	39,0	1,4	52,0	38,3	7,0	5,2	6,0	4,4	66,7	0,0	1,8
	53,0	39,0	1,4	53,0	39,0	6,0	4,4	6,0	4,4	66,7	0,0	1,8
	54,0	39,7	1,3	54,0	39,7	7,0	5,2	7,0	5,2	66,7	0,0	1,7
	53,0	39,0	1,2	53,0	39,0	6,0	4,4	7,0	5,2	66,7	0,0	1,5
	53,0	39,0	1,4	53,0	39,0	6,0	4,4	7,0	5,2	66,7	0,0	1,7
	54,0	39,7	1,4	47,0	34,6	9,0	6,6	9,0	6,6	66,7	0,0	1,8
	53,0	39,0	1,1	53,0	39,0	7,0	5,2	9,0	6,6	66,7	0,0	1,4
	53,0	39,0	1,2	53,0	39,0	8,0	5,9	9,0	6,6	66,7	0,0	1,7
	53,0	39,0	1,3	47,0	34,6	9,0	6,6	9,0	6,6	66,7	0,0	1,5
	53,0	39,0	1,1	52,0	38,3	8,0	5,9	10,0	7,4	66,7	0,0	1,5
	53,0	39,0	1,3	52,0	38,3	7,0	5,2	10,0	7,4	66,7	0,0	1,7
	53,0	39,0	1,1	53,0	39,0	9,0	6,6	10,0	7,4	66,7	0,0	1,4
	53,0	39,0	1,1	53,0	39,0	9,0	6,6	11,0	8,1	47,6	0,0	1,4
	53,0	39,0	1,0	53,0	39,0	9,0	6,6	11,0	8,1	47,6	0,0	1,4
	53,0	39,0	1,1	51,0	37,5	9,0	6,6	11,0	8,1	47,6	0,0	1,5
	53,0	39,0	1,0	53,0	39,0	11,0	8,1	13,0	9,6	47,6	0,0	1,4
	53,0	39,0	1,0	53,0	39,0	9,0	6,6	13,0	9,6	47,6	0,0	1,3
	53,0	39,0	1,0	53,0	39,0	9,0	6,6	13,0	9,6	47,6	0,0	1,4
	53,0	39,0	1,0	53,0	39,0	12,0	8,8	13,0	9,6	47,6	0,0	1,4
	52,0	38,3	0,7	52,0	38,3	11,0	8,1	14,0	10,3	47,6	0,0	1,1
	53,0	39,0	0,9	53,0	39,0	10,0	7,4	14,0	10,3	47,6	0,0	1,3
	53,0	39,0	1,0	48,0	35,3	11,0	8,1	15,0	11,0	47,6	0,0	1,4
	53,0	39,0	1,0	53,0	39,0	14,0	10,3	16,0	11,8	47,6	0,0	1,2
	50,0	36,8	0,5	50,0	36,8	12,0	8,8	16,0	11,8	47,6	0,0	0,9
	53,0	39,0	0,7	53,0	39,0	11,0	8,1	16,0	11,8	47,6	0,0	1,1
	52,0	38,3	0,7	51,0	37,5	12,0	8,8	16,0	11,8	47,6	0,0	1,1
	53,0	39,0	0,8	53,0	39,0	14,0	10,3	17,0	12,5	47,6	0,0	1,1
	51,0	37,5	0,5	51,0	37,5	16,0	11,8	17,0	12,5	47,6	0,0	0,9
	31,0	22,8	0,3	28,0	20,6	13,0	9,6	18,0	13,2	47,6	0,0	0,8
	52,0	38,3	0,6	52,0	38,3	13,0	9,6	18,0	13,2	47,6	0,0	1,0
	51,0	37,5	0,6	51,0	37,5	14,0	10,3	18,0	13,2	47,6	0,0	1,0
	46,0	33,9	0,6	45,0	33,1	14,0	10,3	19,0	14,0	47,6	0,0	1,0
	49,0	36,1	0,5	49,0	36,1	17,0	12,5	20,0	14,7	47,6	0,0	1,5
	29,0	21,3	0,2	28,0	20,6	15,0	11,0	19,0	14,0	20,0	0,0	0,4
	50,0	36,8	0,5	50,0	36,8	15,0	11,0	19,0	14,0	20,0	0,0	0,9
	48,0	35,3	0,5	48,0	35,3	14,0	10,3	19,0	14,0	20,0	0,0	0,9
	47,0	34,6	0,4	47,0	34,6	16,0	11,8	20,0	14,7	20,0	0,0	0,8
	41,0	30,2	0,6	20,0	14,7	17,0	12,5	20,0	14,7	20,0	0,0	1,7
	40,0	29,4	0,3	40,0	29,4	15,0	11,0	20,0	14,7	20,0	0,0	0,7
	39,0	28,7	0,5	28,0	20,6	15,0	11,0	20,0	14,7	20,0	0,0	0,9
	45,0	33,1	0,3	45,0	33,1	16,0	11,8	20,0	14,7	20,0	0,0	0,7
	32,0	23,6	0,4	20,0	14,7	16,0	11,8	21,0	15,5	20,0	0,0	2,6
	39,0	28,7	0,4	20,0	14,7	16,0	11,8	20,0	14,7	20,0	0,0	0,7
	40,0	29,4	0,4	20,0	14,7	16,0	11,8	21,0	15,5	20,0	0,0	0,7
	36,0	26,5	0,5	20,0	14,7	16,0	11,8	21,0	15,5	20,0	0,0	1,0
	28,0	20,6	0,5	28,0	20,6	16,0	11,8	21,0	15,5	20,0	0,0	2,8
	41,0	30,2	0,4	21,0	15,5	16,0	11,8	21,0	15,5	20,0	0,0	6,1
	39,0	28,7	0,5	17,0	12,5	16,0	11,8	21,0	15,5	20,0	0,0	3,9

	33,0	24,3	0,4	19,0	14,0	16,0	11,8	21,0	15,5	0,0	0,0	9,5
	34,0	25,0	0,5	17,0	12,5	17,0	12,5	21,0	15,5	0,0	0,0	10,2
	37,0	27,2	0,4	16,0	11,8	16,0	11,8	21,0	15,5	0,0	0,0	4,8
Mittelwert	48,2	35,5	0,9	44,4	32,7	11,0	8,1	13,4	9,9	55,0	0,0	1,8
Minimum	28,0	20,6	0,2	16,0	11,8	3,0	2,2	1,0	0,7	0,0	0,0	0,4
Maximum	56,0	41,2	1,7	55,0	40,5	17,0	12,5	21,0	15,5	166,7	0,0	10,2
Median	53,0	39,0	1,0	51,5	37,9	11,0	8,1	14,5	10,7	47,6	0,0	1,4
Summe										3300		110,8

Bei Aktivierung auf Flowstufe 3 zeigt sich ein zu Stufe 2 weitgehend analoger Druckverlauf. Die Konstanz der initialen Druckpeaks ist mit Schwankungen von bis zu 5,0 cmH₂O (3,7mmHg) nicht so deutlich ausgeprägt. Die Meßhübe setzen bereits bei einem intraabdominellen Druck von 19,0 cmH₂O (14,0 mmHg) ein. Hier sistsiert auch der Gasfluß. Insgesamt werden ebenfalls 3,3 l Gas gefördert (Tabelle 42).

Tabelle 42

STRYKER® High Flow Insufflator
 Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)
 Veress-Nadel: intraabdominell
 Flowselector: Stufe 3

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	54,0	39,7	1,4	53,0	39,0	2,0	1,5	0,0	0,0	125,0	0,0	2,0
	53,0	39,0	1,5	51,0	37,5	2,0	1,5	1,0	0,7	125,0	0,0	1,8
	52,0	38,3	1,4	50,0	36,8	2,0	1,5	1,0	0,7	125,0	0,0	1,8
	53,0	39,0	1,4	51,0	37,5	2,0	1,5	1,0	0,7	125,0	0,0	1,7
	52,0	38,3	1,4	51,0	37,5	3,0	2,2	1,0	0,7	88,2	0,0	1,8
	49,0	36,1	1,4	47,0	34,6	3,0	2,2	2,0	1,5	88,2	0,0	1,7
	50,0	36,8	1,3	50,0	36,8	4,0	2,9	3,0	2,2	88,2	0,0	1,7
	52,0	38,3	1,3	51,0	37,5	4,0	2,9	3,0	2,2	88,2	0,0	1,7
	51,0	37,5	1,3	50,0	36,8	3,0	2,2	4,0	2,9	88,2	0,0	1,6
	52,0	38,3	1,3	50,0	36,8	5,0	3,7	4,0	2,9	88,2	0,0	1,7
	52,0	38,3	1,4	51,0	37,5	5,0	3,7	4,0	2,9	88,2	0,0	1,7
	51,0	37,5	1,2	50,0	36,8	4,0	2,9	5,0	3,7	88,2	0,0	1,5
	52,0	38,3	1,3	49,0	36,1	5,0	3,7	5,0	3,7	88,2	0,0	1,7
	52,0	38,3	1,1	51,0	37,5	6,0	4,4	5,0	3,7	88,2	0,0	1,6
	51,0	37,5	1,0	50,0	36,8	6,0	4,4	6,0	4,4	88,2	0,0	1,3
	51,0	37,5	1,2	51,0	37,5	6,0	4,4	7,0	5,2	88,2	0,0	1,6
	52,0	38,3	1,1	52,0	38,3	8,0	5,9	7,0	5,2	88,2	0,0	1,6
	52,0	38,3	0,9	50,0	36,8	7,0	5,2	7,0	5,2	88,2	0,0	1,2
	52,0	38,3	1,1	51,0	37,5	7,0	5,2	8,0	5,9	88,2	0,0	1,5
	51,0	37,5	1,0	51,0	37,5	7,0	5,2	8,0	5,9	88,2	0,0	1,4
	52,0	38,3	1,0	52,0	38,3	8,0	5,9	9,0	6,6	88,2	0,0	1,4
	50,0	36,8	1,0	50,0	36,8	8,0	5,9	9,0	6,6	43,5	0,0	1,4
	51,0	37,5	1,0	51,0	37,5	8,0	5,9	9,0	6,6	43,5	0,0	1,3
	52,0	38,3	1,0	52,0	38,3	9,0	6,6	9,0	6,6	43,5	0,0	1,4
	52,0	38,3	0,8	51,0	37,5	8,0	5,9	11,0	8,1	43,5	0,0	1,1
	52,0	38,3	0,9	52,0	38,3	9,0	6,6	11,0	8,1	43,5	0,0	1,3
	52,0	38,3	0,8	52,0	38,3	9,0	6,6	12,0	8,8	43,5	0,0	1,2
	52,0	38,3	0,9	51,0	37,5	11,0	8,1	12,0	8,8	43,5	0,0	1,3
	52,0	38,3	0,5	52,0	38,3	9,0	6,6	12,0	8,8	43,5	0,0	1,0
	52,0	38,3	0,7	48,0	35,3	10,0	7,4	13,0	9,6	43,5	0,0	1,1
	52,0	38,3	0,7	52,0	38,3	10,0	7,4	13,0	9,6	43,5	0,0	1,0
	52,0	38,3	0,9	44,0	32,4	13,0	9,6	13,0	9,6	43,5	0,0	1,3
	52,0	38,3	0,4	52,0	38,3	13,0	9,6	13,0	9,6	43,5	0,0	0,7
	52,0	38,3	0,4	52,0	38,3	10,0	7,4	14,0	10,3	43,5	0,0	0,9
	52,0	38,3	0,6	49,0	36,1	11,0	8,1	14,0	10,3	43,5	0,0	1,0
	52,0	38,3	0,5	52,0	38,3	12,0	8,8	14,0	10,3	43,5	0,0	0,9
	52,0	38,3	0,6	52,0	38,3	13,0	9,6	15,0	11,0	43,5	0,0	0,9
	50,0	36,8	0,4	49,0	36,1	14,0	10,3	17,0	12,5	43,5	0,0	1,2
	41,0	30,2	0,1	41,0	30,2	12,0	8,8	16,0	11,8	43,5	0,0	0,5

	52,0	38,3	0,5	52,0	38,3	12,0	8,8	16,0	11,8	43,5	0,0	0,8
	52,0	38,3	0,5	52,0	38,3	13,0	9,6	16,0	11,8	43,5	0,0	0,9
	52,0	38,3	0,4	52,0	38,3	13,0	9,6	16,0	11,8	43,5	0,0	0,8
	52,0	38,3	0,5	52,0	38,3	14,0	10,3	17,0	12,5	43,5	0,0	2,0
	45,0	33,1	0,3	42,0	30,9	14,0	10,3	17,0	12,5	43,5	0,0	0,6
	49,0	36,1	0,4	49,0	36,1	14,0	10,3	17,0	12,5	27,3	0,0	0,8
	50,0	36,8	0,3	50,0	36,8	14,0	10,3	18,0	13,2	27,3	0,0	0,7
	42,0	30,9	0,4	41,0	30,2	15,0	11,0	18,0	13,2	27,3	0,0	0,7
	50,0	36,8	0,2	50,0	36,8	15,0	11,0	18,0	13,2	27,3	0,0	2,1
	44,0	32,4	0,2	44,0	32,4	14,0	10,3	18,0	13,2	27,3	0,0	0,6
	49,0	36,1	0,2	49,0	36,1	14,0	10,3	18,0	13,2	27,3	0,0	0,6
	43,0	31,6	0,3	43,0	31,6	15,0	11,0	19,0	14,0	27,3	0,0	0,6
	43,0	31,6	0,3	43,0	31,6	15,0	11,0	19,0	14,0	27,3	0,0	0,6
	24,0	17,7	0,2	24,0	17,7	15,0	11,0	19,0	14,0	27,3	0,0	2,7
	43,0	31,6	0,3	43,0	31,6	15,0	11,0	19,0	14,0	27,3	0,0	0,8
	25,0	18,4	0,2	25,0	18,4	15,0	11,0	19,0	14,0	27,3	0,0	4,4
	35,0	25,8	0,1	35,0	25,8	15,0	11,0	19,0	14,0	0,0	0,0	4,7
	35,0	25,8	0,2	35,0	25,8	15,0	11,0	19,0	14,0	0,0	0,0	4,7
	32,0	23,6	0,2	32,0	23,6	15,0	11,0	19,0	14,0	0,0	0,0	5,3
	30,0	22,1	0,1	30,0	22,1	15,0	11,0	19,0	14,0	0,0	0,0	10,6
Mittelwert	48,4	35,6	0,7	47,6	35,0	9,7	7,2	11,5	8,5	55,9	0,0	1,7
Minimum	24,0	17,7	0,1	24,0	17,7	2,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Maximum	54,0	39,7	1,5	53,0	39,0	15,0	11,0	19,0	14,0	125,0	0,0	10,6
Median	52,0	38,3	0,7	50,0	36,8	10,0	7,4	13,0	9,6	43,5	0,0	1,3
Summe										3300		98,5

In Flowstufe 2 und 3 wird der vorgewählte Maximaldruck erwartungsgemäß wesentlich schneller erreicht als in Stufe 1 (54,2 s und 51,8 s versus 84,4 s). Es kommt zu einem deutlicheren Überschreiten des Grenzdruckes durch die Insufflationsdruckspitzen mit 39,7 cmH₂O (29,2 mmHg) in Stufe 2 und 37,7 cmH₂O (27,7 mmHg) in Stufe 3 als in Stufe 1 mit 11,7 cmH₂O (8,6 mmHg). Der intraabdominelle Druck übersteigt bei allen drei Stufen des Flowselectors die vorgegebene Druckgrenze geringfügig (um 4,7 cmH₂O (3,5 mmHg) bei Insufflation auf Stufe 1 und 2, um 2,7 cmH₂O (2,0 mmHg) auf Stufe 3).

3.2.2.4. WOM Surgiflator®

Nach dem Start in Flowstufe 1 erscheinen mit einer Latenz von 0,5 s nach einem kurzen initialen Peak zunächst gleichförmige, relativ lange Hübe ohne Druckübersteuerung. Ihre Amplitude nimmt mit steigendem intraabdominellen Druck bei gleichzeitiger Verkürzung der Hubdauer zu. Die Maximaldruckwerte im Anschluß an die Hübe steigen im Verlauf der Registrierung an. Ebenso verhalten sich die Werte der rasch erreichten Minimaldrücke vor erneuter Druckanhebung. Nach Erreichen eines intraabdominellen Druckes von 24,0 cmH₂O (17,7 mmHg) sind nur noch Meßhübe apparent. Die Gasfreisetzung stoppt bereits bei einem Kompartimentdruck von 22,0 cmH₂O (16,2 mmHg) nach einer Gesamtförderung von 3,3 l (Tabelle 43).

Tabelle 43

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start	11,0	8,1	0,5	11,0	8,1	2,0	1,5	1,0	0,7	90,9	0,0	1,3
	8,0	5,9	3,5	8,0	5,9	1,0	0,7	1,0	0,7	90,9	0,0	4,0
	8,0	5,9	3,9	8,0	5,9	1,0	0,7	1,0	0,7	90,9	0,0	4,4
	8,0	5,9	3,9	8,0	5,9	2,0	1,5	1,0	0,7	90,9	0,0	4,6
	8,0	5,9	3,7	8,0	5,9	2,0	1,5	2,0	1,5	90,9	0,0	4,3
	8,0	5,9	3,7	8,0	5,9	2,0	1,5	2,0	1,5	90,9	0,0	4,3
	8,0	5,9	3,9	7,0	5,2	2,0	1,5	3,0	2,2	90,9	0,0	4,5
	8,0	5,9	3,6	8,0	5,9	2,0	1,5	3,0	2,2	90,9	0,0	4,4
	8,0	5,9	3,6	8,0	5,9	2,0	1,5	4,0	2,9	90,9	0,0	4,4
	8,0	5,9	3,6	8,0	5,9	2,0	1,5	4,0	2,9	90,9	0,0	3,9
	8,0	5,9	4,1	8,0	5,9	2,0	1,5	5,0	3,7	90,9	0,0	4,4
	8,0	5,9	4,0	8,0	5,9	3,0	2,2	5,0	3,7	76,9	0,0	4,5
	9,0	6,6	3,9	8,0	5,9	2,0	1,5	5,0	3,7	76,9	0,0	4,3
	9,0	6,6	4,0	9,0	6,6	2,0	1,5	6,0	4,4	76,9	0,0	4,5
	9,0	6,6	3,9	9,0	6,6	3,0	2,2	6,0	4,4	76,9	0,0	4,2
	10,0	7,4	3,9	9,0	6,6	3,0	2,2	7,0	5,2	76,9	0,0	4,4
	10,0	7,4	3,9	10,0	7,4	3,0	2,2	7,0	5,2	76,9	0,0	4,3
	10,0	7,4	3,9	10,0	7,4	4,0	2,9	8,0	5,9	76,9	0,0	4,4
	11,0	8,1	4,0	9,0	6,6	4,0	2,9	8,0	5,9	76,9	0,0	4,3
	12,0	8,8	4,0	11,0	8,1	2,0	1,5	8,0	5,9	76,9	0,0	4,4
	12,0	8,8	4,0	12,0	8,8	6,0	4,4	9,0	6,6	76,9	0,0	4,5
	12,0	8,8	3,8	12,0	8,8	6,0	4,4	9,0	6,6	76,9	0,0	4,3
	12,0	8,8	3,9	12,0	8,8	6,0	4,4	10,0	7,4	76,9	0,0	4,3
	12,0	8,8	3,9	12,0	8,8	6,0	4,4	10,0	7,4	76,9	0,0	4,4
	13,0	9,6	3,8	12,0	8,8	6,0	4,4	11,0	8,1	66,7	0,0	4,3
	14,0	10,3	3,9	13,0	9,6	6,0	4,4	11,0	8,1	66,7	0,0	4,4
	14,0	10,3	3,9	13,0	9,6	7,0	5,2	12,0	8,8	66,7	0,0	4,4
	15,0	11,0	3,9	13,0	9,6	7,0	5,2	13,0	9,6	66,7	0,0	4,4
	16,0	11,8	3,6	12,0	8,8	8,0	5,9	13,0	9,6	66,7	0,0	4,1
	16,0	11,8	3,5	16,0	11,8	9,0	6,6	14,0	10,3	66,7	0,0	4,1
	15,0	11,0	2,9	15,0	11,0	8,0	5,9	14,0	10,3	66,7	0,0	3,1
	17,0	12,5	3,2	15,0	11,0	9,0	6,6	15,0	11,0	66,7	0,0	3,8
	18,0	13,2	3,0	16,0	11,8	9,0	6,6	15,0	11,0	66,7	0,0	3,6
	19,0	14,0	2,9	19,0	14,0	9,0	6,6	15,0	11,0	66,7	0,0	3,0
	18,0	13,2	2,3	16,0	11,8	10,0	7,4	16,0	11,8	66,7	0,0	2,9
	20,0	14,7	2,6	19,0	14,0	11,0	8,1	17,0	12,5	66,7	0,0	3,2
	18,0	13,2	2,4	18,0	13,2	12,0	8,8	17,0	12,5	66,7	0,0	2,9
	22,0	16,2	2,1	18,0	13,2	12,0	8,8	18,0	13,2	66,7	0,0	2,8
	20,0	14,7	2,1	15,0	11,0	12,0	8,8	18,0	13,2	66,7	0,0	2,5
	22,0	16,2	1,0	20,0	14,7	13,0	9,6	19,0	14,0	30,0	0,0	1,6
	19,0	14,0	1,9	19,0	14,0	13,0	9,6	19,0	14,0	30,0	0,0	2,5
	23,0	16,9	1,9	22,0	16,2	13,0	9,6	19,0	14,0	30,0	0,0	2,5
	20,0	14,7	1,6	20,0	14,7	14,0	10,3	20,0	14,7	30,0	0,0	2,4
	25,0	18,4	1,3	23,0	16,9	15,0	11,0	21,0	15,5	30,0	0,0	2,1
	21,0	15,5	1,0	21,0	15,5	15,0	11,0	21,0	15,5	30,0	0,0	1,9
	22,0	16,2	1,1	22,0	16,2	15,0	11,0	22,0	16,2	30,0	0,0	3,0
	22,0	16,2	0,7	21,0	15,5	15,0	11,0	22,0	16,2	30,0	0,0	1,5
	22,0	16,2	1,0	21,0	15,5	16,0	11,8	22,0	16,2	30,0	0,0	3,3
	22,0	16,2	0,7	21,0	15,5	15,0	11,0	22,0	16,2	30,0	0,0	1,4
	22,0	16,2	0,9	22,0	16,2	16,0	11,8	22,0	16,2	0,0	0,0	1,4
	28,0	20,6	0,9	26,0	19,1	16,0	11,8	22,0	16,2	0,0	0,0	2,1
	22,0	16,2	0,6	22,0	16,2	16,0	11,8	22,0	16,2	0,0	0,0	1,3
	22,0	16,2	0,7	22,0	16,2	17,0	12,5	22,0	16,2	0,0	0,0	1,5
	28,0	20,6	0,7	28,0	20,6	16,0	11,8	22,0	16,2	0,0	0,0	2,0
	22,0	16,2	0,5	22,0	16,2	16,0	11,8	23,0	16,9	0,0	0,0	1,2
	24,0	17,7	0,7	23,0	16,9	17,0	12,5	23,0	16,9	0,0	0,0	1,4
	26,0	19,1	0,5	26,0	19,1	17,0	12,5	24,0	17,7	0,0	0,0	2,5

	23,0	16,9	0,6	19,0	14,0	17,0	12,5	24,0	17,7	0,0	0,0	4,9
	23,0	16,9	0,5	23,0	16,9	17,0	12,5	24,0	17,7	0,0	0,0	4,7
	23,0	16,9	0,5	23,0	16,9	17,0	12,5	24,0	17,7	0,0	0,0	5,1
	24,0	17,7	0,6	20,0	14,7	17,0	12,5	24,0	17,7	0,0	0,0	5,1
Mittelwert	16,2	11,9	2,5	15,4	11,3	9,0	6,6	13,6	10,0	54,1	0,0	3,4
Minimum	8,0	5,9	0,5	7,0	5,2	1,0	0,7	1,0	0,7	0,0	0,0	1,2
Maximum	28,0	20,6	4,1	28,0	20,6	17,0	12,5	24,0	17,7	90,9	0,0	5,1
Median	16,0	11,8	3,0	15,0	11,0	9,0	6,6	14,0	10,3	66,7	0,0	4,1
Summe										3300		210,2

Aktiviert man den Surgiflator auf Stufe 2, setzen nahezu ohne Latenz zunächst relativ breite Hübe (durchschnittlich etwa 2,4 s) ohne eigentlichen Peak ein. Sie werden mit zunehmendem Druck im Kompartiment bis auf 0,3 s verkürzt, während die Amplitude etwas ansteigt (von 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg) auf 35,0 cmH₂O (25,8 mmHg)). Der Minimaldruck, von dem aus ein neuer Hub eingeleitet wird, nimmt von 1,0 cmH₂O (0,7 mmHg) auf 17,0 cmH₂O (12,5 mmHg) zu. Die Beschränkung des Insufflators auf reine Meßhübe erfolgt bei einem intraabdominellen Druck von konstant 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg). Der Gasfluß sistiert. Bis zu diesem Zeitpunkt beträgt die geförderte Gesamtgasmenge 3,4 l (Tabelle 44).

Tabelle 44

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: Stufe 2

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	25,0	18,4	3,0	24,0	17,7	1,0	0,7	1,0	0,7	111,1	0,0	3,4
	24,0	17,7	2,7	23,0	16,9	1,0	0,7	1,0	0,7	111,1	0,0	3,1
	24,0	17,7	2,7	23,0	16,9	1,0	0,7	2,0	1,5	111,1	0,0	3,1
	23,0	16,9	2,8	23,0	16,9	1,0	0,7	3,0	2,2	111,1	0,0	3,1
	23,0	16,9	2,7	22,0	16,2	1,0	0,7	3,0	2,2	111,1	0,0	3,1
	24,0	17,7	2,6	24,0	17,7	2,0	1,5	4,0	2,9	111,1	0,0	3,1
	24,0	17,7	2,5	22,0	16,2	2,0	1,5	4,0	2,9	111,1	0,0	2,9
	24,0	17,7	2,6	22,0	16,2	3,0	2,2	5,0	3,7	111,1	0,0	3,0
	25,0	18,4	2,3	25,0	18,4	4,0	2,9	5,0	3,7	111,1	0,0	2,8
	25,0	18,4	2,3	25,0	18,4	4,0	2,9	6,0	4,4	111,1	0,0	2,6
	25,0	18,4	2,4	24,0	17,7	4,0	2,9	6,0	4,4	111,1	0,0	2,7
	25,0	18,4	2,3	25,0	18,4	3,0	2,2	7,0	5,2	111,1	0,0	2,6
	27,0	19,9	2,4	19,0	14,0	4,0	2,9	7,0	5,2	111,1	0,0	2,8
	26,0	19,1	2,2	26,0	19,1	5,0	3,7	8,0	5,9	111,1	0,0	2,6
	27,0	19,9	2,3	26,0	19,1	4,0	2,9	8,0	5,9	111,1	0,0	2,7
	26,0	19,1	2,2	24,0	17,7	5,0	3,7	8,0	5,9	111,1	0,0	2,6
	27,0	19,9	2,1	26,0	19,1	5,0	3,7	9,0	6,6	111,1	0,0	2,4
	27,0	19,9	2,0	27,0	19,9	7,0	5,2	9,0	6,6	111,1	0,0	2,4
	28,0	20,6	1,7	27,0	19,9	7,0	5,2	10,0	7,4	48,1	0,0	2,2
	28,0	20,6	1,9	28,0	20,6	7,0	5,2	10,0	7,4	48,1	0,0	2,3
	29,0	21,3	1,9	29,0	21,3	7,0	5,2	12,0	8,8	48,1	0,0	2,4
	28,0	20,6	1,7	29,0	21,3	7,0	5,2	12,0	8,8	48,1	0,0	2,1
	31,0	22,8	1,8	31,0	22,8	8,0	5,9	13,0	9,6	48,1	0,0	2,3
	29,0	21,3	1,7	29,0	21,3	8,0	5,9	13,0	9,6	48,1	0,0	2,3
	32,0	23,6	1,5	32,0	23,6	11,0	8,1	14,0	10,3	48,1	0,0	2,0
	30,0	22,1	1,2	29,0	21,3	9,0	6,6	14,0	10,3	48,1	0,0	1,7
	31,0	22,8	1,5	31,0	22,8	10,0	7,4	14,0	10,3	48,1	0,0	2,0
	33,0	24,3	1,3	33,0	24,3	9,0	6,6	15,0	11,0	48,1	0,0	1,8
	32,0	23,6	1,2	32,0	23,6	10,0	7,4	15,0	11,0	48,1	0,0	1,7
	33,0	24,3	1,3	33,0	24,3	13,0	9,6	15,0	11,0	48,1	0,0	1,8
	33,0	24,3	0,7	24,0	17,7	12,0	8,8	17,0	12,5	48,1	0,0	1,2
	32,0	23,6	1,1	26,0	19,1	11,0	8,1	17,0	12,5	48,1	0,0	1,5
	33,0	24,3	1,3	29,0	21,3	13,0	9,6	17,0	12,5	48,1	0,0	1,7
	35,0	25,8	0,7	19,0	14,0	13,0	9,6	17,0	12,5	48,1	0,0	1,2
	32,0	23,6	0,8	32,0	23,6	12,0	8,8	18,0	13,2	48,1	0,0	1,3

	33,0	24,3	1,0	33,0	24,3	13,0	9,6	19,0	14,0	48,1	0,0	1,5
	34,0	25,0	0,8	18,0	13,2	14,0	10,3	19,0	14,0	48,1	0,0	2,1
	30,0	22,1	0,6	13,0	9,6	13,0	9,6	19,0	14,0	48,1	0,0	1,0
	33,0	24,3	0,8	31,0	22,8	13,0	9,6	20,0	14,7	48,1	0,0	1,3
	34,0	25,0	0,8	34,0	25,0	15,0	11,0	21,0	15,5	48,1	0,0	2,6
	29,0	21,3	0,3	29,0	21,3	14,0	10,3	20,0	14,7	48,1	0,0	0,8
	33,0	24,3	0,8	33,0	24,3	14,0	10,3	21,0	15,5	48,1	0,0	1,3
	31,0	22,8	0,6	28,0	20,6	16,0	11,8	21,0	15,5	48,1	0,0	1,1
	32,0	23,6	0,5	21,0	15,5	15,0	11,0	21,0	15,5	48,1	0,0	1,7
	28,0	20,6	0,4	27,0	19,9	14,0	10,3	21,0	15,5	48,1	0,0	0,9
	32,0	23,6	0,5	32,0	23,6	15,0	11,0	22,0	16,2	14,3	0,0	1,0
	32,0	23,6	0,5	32,0	23,6	16,0	11,8	23,0	16,9	14,3	0,0	1,0
	30,0	22,1	0,4	30,0	22,1	15,0	11,0	23,0	16,9	14,3	0,0	2,2
	29,0	21,3	0,3	29,0	21,3	16,0	11,8	23,0	16,9	14,3	0,0	0,9
	31,0	22,8	0,3	31,0	22,8	16,0	11,8	23,0	16,9	14,3	0,0	0,8
	27,0	19,9	0,4	27,0	19,9	16,0	11,8	23,0	16,9	14,3	0,0	2,1
	31,0	22,8	0,4	31,0	22,8	16,0	11,8	23,0	16,9	14,3	0,0	1,1
	29,0	21,3	0,4	23,0	16,9	17,0	12,5	23,0	16,9	0,0	0,0	8,6
	29,0	21,3	0,3	15,0	11,0	16,0	11,8	23,0	16,9	0,0	0,0	5,0
	27,0	19,9	0,4	18,0	13,2	16,0	11,8	23,0	16,9	0,0	0,0	4,9
	29,0	21,3	0,4	16,0	11,8	16,0	11,8	23,0	16,9	0,0	0,0	4,8
	30,0	22,1	0,4	17,0	12,5	16,0	11,8	23,0	16,9	0,0	0,0	5,2
Mittelwert	29,0	21,3	1,4	26,2	19,3	9,8	7,2	14,3	10,5	59,6	0,0	2,4
Minimum	23,0	16,9	0,3	13,0	9,6	1,0	0,7	1,0	0,7	0,0	0,0	0,8
Maximum	35,0	25,8	3,0	34,0	25,0	17,0	12,5	23,0	16,9	111,1	0,0	8,6
Median	29,0	21,3	1,3	27,0	19,9	11,0	8,1	15,0	11,0	48,1	0,0	2,2
Summe										3400		134,4

Beim Einschalten des Gerätes in Stufe 3 kommt es sofort zum Einsetzen starker, relativ schmaler Hübe (maximal 1,8 s) ohne eigentliche Druckspitzen mit nahezu konstanter Amplitude von durchschnittlich 57,4 cmH₂O (42,2 mmHg), die in der Folge kürzer werden. Mit Annäherung an den vorgewählten maximalen Kompartimentdruck treten vereinzelt schwächere Hübe auf, bis schließlich nur noch Meßhübe nachzuweisen sind. Der Minimalwert, auf den die Drücke nach den Hüben regelhaft abfallen, nimmt auch in diesem Versuch stetig zu. Eine Gasförderung erfolgt bis kurz vor Beginn der Druckkontrollphase bei einem Kompartimentdruck von 20,0 cmH₂O (14,7 mmHg). Insgesamt werden 3,5 l Gas freigesetzt (Tabelle 45).

Tabelle 45

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: Stufe 3

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	58,0	42,7	1,8	57,0	42,0	1,0	0,7	0,0	0,0	105,3	0,0	2,1
	57,0	42,0	1,6	55,0	40,5	2,0	1,5	0,0	0,0	105,3	0,0	1,9
	57,0	42,0	1,5	56,0	41,2	1,0	0,7	0,0	0,0	105,3	0,0	1,9
	57,0	42,0	1,5	56,0	41,2	2,0	1,5	0,0	0,0	105,3	0,0	1,9
	56,0	41,2	1,5	54,0	39,7	4,0	2,9	1,0	0,7	105,3	0,0	1,8
	56,0	41,2	1,4	54,0	39,7	3,0	2,2	0,0	0,0	105,3	0,0	1,8
	57,0	42,0	1,4	56,0	41,2	4,0	2,9	2,0	1,5	105,3	0,0	1,7
	56,0	41,2	1,3	56,0	41,2	4,0	2,9	2,0	1,5	105,3	0,0	1,7
	57,0	42,0	1,4	56,0	41,2	3,0	2,2	2,0	1,5	105,3	0,0	1,7
	57,0	42,0	1,3	56,0	41,2	6,0	4,4	3,0	2,2	105,3	0,0	1,7
	57,0	42,0	1,2	55,0	40,5	4,0	2,9	3,0	2,2	105,3	0,0	1,6
	58,0	42,7	1,2	57,0	42,0	4,0	2,9	4,0	2,9	105,3	0,0	1,6
	57,0	42,0	1,4	51,0	37,5	6,0	4,4	5,0	3,7	105,3	0,0	1,6
	58,0	42,7	1,1	56,0	41,2	5,0	3,7	5,0	3,7	105,3	0,0	1,5
	57,0	42,0	1,3	56,0	41,2	8,0	5,9	5,0	3,7	105,3	0,0	1,8
	57,0	42,0	1,1	56,0	41,2	7,0	5,2	5,0	3,7	105,3	0,0	1,5
	57,0	42,0	1,0	56,0	41,2	7,0	5,2	6,0	4,4	105,3	0,0	1,5

	57,0	42,0	1,1	48,0	35,3	6,0	4,4	6,0	4,4	105,3	0,0	1,5
	57,0	42,0	1,1	56,0	41,2	7,0	5,2	6,0	4,4	105,3	0,0	1,5
	57,0	42,0	0,9	57,0	42,0	8,0	5,9	6,0	4,4	71,4	0,0	1,3
	58,0	42,7	1,0	55,0	40,5	8,0	5,9	8,0	5,9	71,4	0,0	1,4
	58,0	42,7	1,0	57,0	42,0	7,0	5,2	9,0	6,6	71,4	0,0	1,4
	58,0	42,7	1,0	58,0	42,7	11,0	8,1	9,0	6,6	71,4	0,0	1,4
	58,0	42,7	0,8	51,0	37,5	9,0	6,6	10,0	7,4	71,4	0,0	1,1
	57,0	42,0	1,0	56,0	41,2	8,0	5,9	10,0	7,4	71,4	0,0	1,4
	58,0	42,7	0,9	39,0	28,7	9,0	6,6	11,0	8,1	71,4	0,0	1,2
	58,0	42,7	0,9	58,0	42,7	12,0	8,8	11,0	8,1	71,4	0,0	1,3
	58,0	42,7	0,5	58,0	42,7	11,0	8,1	12,0	8,8	71,4	0,0	1,0
	58,0	42,7	0,5	58,0	42,7	11,0	8,1	12,0	8,8	71,4	0,0	1,0
	58,0	42,7	0,7	58,0	42,7	11,0	8,1	12,0	8,8	71,4	0,0	1,1
	58,0	42,7	0,8	58,0	42,7	13,0	9,6	12,0	8,8	71,4	0,0	1,1
	58,0	42,7	0,4	58,0	42,7	15,0	11,0	12,0	8,8	71,4	0,0	0,8
	55,0	40,5	0,3	55,0	40,5	12,0	8,8	14,0	10,3	71,4	0,0	0,7
	58,0	42,7	0,6	48,0	35,3	13,0	9,6	14,0	10,3	35,7	0,0	0,9
	58,0	42,7	0,6	58,0	42,7	13,0	9,6	15,0	11,0	35,7	0,0	1,0
	58,0	42,7	0,6	58,0	42,7	14,0	10,3	16,0	11,8	35,7	0,0	1,0
	58,0	42,7	0,4	58,0	42,7	15,0	11,0	17,0	12,5	35,7	0,0	1,5
	55,0	40,5	0,2	55,0	40,5	14,0	10,3	16,0	11,8	35,7	0,0	0,5
	58,0	42,7	0,6	46,0	33,9	14,0	10,3	16,0	11,8	35,7	0,0	0,9
	58,0	42,7	0,5	58,0	42,7	17,0	12,5	17,0	12,5	35,7	0,0	1,0
	58,0	42,7	0,2	58,0	42,7	14,0	10,3	17,0	12,5	35,7	0,0	0,6
	58,0	42,7	0,4	58,0	42,7	15,0	11,0	18,0	13,2	35,7	0,0	2,0
	49,0	36,1	0,2	35,0	25,8	15,0	11,0	18,0	13,2	35,7	0,0	0,6
	52,0	38,3	0,4	25,0	18,4	15,0	11,0	18,0	13,2	35,7	0,0	0,7
	54,0	39,7	0,3	26,0	19,1	17,0	12,5	18,0	13,2	35,7	0,0	0,6
	50,0	36,8	0,3	36,0	26,5	18,0	13,2	19,0	14,0	35,7	0,0	0,7
	47,0	34,6	0,2	25,0	18,4	17,0	12,5	20,0	14,7	35,7	0,0	2,3
	47,0	34,6	0,3	33,0	24,3	17,0	12,5	19,0	14,0	0,0	0,0	0,6
	38,0	28,0	0,3	38,0	28,0	16,0	11,8	20,0	14,7	0,0	0,0	0,8
	25,0	18,4	0,3	19,0	14,0	16,0	11,8	20,0	14,7	0,0	0,0	3,7
	49,0	36,1	0,3	25,0	18,4	17,0	12,5	20,0	14,7	0,0	0,0	4,9
	51,0	37,5	0,2	26,0	19,1	16,0	11,8	20,0	14,7	0,0	0,0	5,0
	49,0	36,1	0,3	25,0	18,4	16,0	11,8	20,0	14,7	0,0	0,0	9,9
	32,0	23,6	0,2	25,0	18,4	16,0	11,8	20,0	14,7	0,0	0,0	6,3
	49,0	36,1	0,4	20,0	14,7	17,0	12,5	20,0	14,7	0,0	0,0	14,5
Mittelwert	54,6	40,2	0,8	48,7	35,8	10,4	7,6	10,9	8,0	63,6	0,0	2,0
Minimum	25,0	18,4	0,2	19,0	14,0	1,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Maximum	58,0	42,7	1,8	58,0	42,7	18,0	13,2	20,0	14,7	105,3	0,0	14,5
Median	57,0	42,0	0,8	56,0	41,2	11,0	8,1	12,0	8,8	71,4	0,0	1,5
Summe										3500		108,5

Ein konstanter intraabdomineller Druck wird, wie erwartet, mit ansteigender Gasflußrate um ein Vielfaches schneller erreicht. Dieser liegt stets mäßig über der maximalen Druckbegrenzung. Durch den Insufflationsdruck wird die Kompartimentdruckgrenze in Stufe 1 nur wenig (um 11,7 cmH₂O (8,6 mmHg)), in Flowstufe 2 deutlich (um 18,7 cmH₂O (13,8 mmHg)) und in Stufe 3 ganz erheblich (um 41,7 cmH₂O (30,7 mmHg)) überschritten.

3.2.2.5. WIEST Laparoflator electronic® 3509

Das Gerät wird in Stufe 1 des Flowselectors gestartet. Ohne wesentliche Verzögerung setzt ein zyklisches Druckverhalten ein. Nach einer mäßigen Druckübersteuerung (durchschnittlich 20,4 cmH₂O (15,0 mmHg)) fallen die Drücke von einem kurz anhaltenden Maximaldruck (im Durchschnitt 12,3 cmH₂O (9,0 mmHg)) auf einen Minimalwert von durchschnittlich 7,4 cmH₂O (5,5 mmHg) ab, von dem aus der nächste Peak eingeleitet wird. Die Amplituden von Peaks, Maximal- und Minimaldruck steigen im Verlauf der Messung an. Bei Erreichen eines intraabdominellen Druckes von 18,0 cmH₂O (13,2 mmHg) nach 188,5 s, stellt sich der Insufflationsdruck auf einen konstanten Wert von 13,0 cmH₂O (9,6 mmHg) ein, die Gasförderung sistiert. Insgesamt werden 3,6 l Gas insuffliert (Tabelle 46).

Tabelle 46

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start	17,0	12,5	1,9	11,0	8,1	3,0	2,2	0,0	0,0	100,0	0,0	5,4
	14,0	10,3	1,4	10,0	7,4	2,0	1,5	0,0	0,0	100,0	0,0	5,2
	15,0	11,0	1,4	9,0	6,6	3,0	2,2	0,0	0,0	100,0	0,0	5,2
	15,0	11,0	1,2	9,0	6,6	3,0	2,2	0,0	0,0	100,0	0,0	5,1
	14,0	10,3	1,1	9,0	6,6	3,0	2,2	1,0	0,7	100,0	0,0	5,3
	13,0	9,6	1,1	8,0	5,9	3,0	2,2	1,0	0,7	100,0	0,0	5,2
	13,0	9,6	1,0	8,0	5,9	3,0	2,2	1,0	0,7	100,0	0,0	5,1
	13,0	9,6	1,0	8,0	5,9	3,0	2,2	1,0	0,7	100,0	0,0	5,2
	13,0	9,6	0,9	9,0	6,6	4,0	2,9	2,0	1,5	100,0	0,0	5,2
	13,0	9,6	1,0	9,0	6,6	4,0	2,9	1,0	0,7	100,0	0,0	5,2
	14,0	10,3	1,3	9,0	6,6	4,0	2,9	2,0	1,5	100,0	0,0	5,1
	14,0	10,3	1,3	9,0	6,6	5,0	3,7	5,0	3,7	100,0	0,0	4,8
	14,0	10,3	1,4	9,0	6,6	6,0	4,4	6,0	4,4	100,0	0,0	5,1
	14,0	10,3	1,4	9,0	6,6	6,0	4,4	6,0	4,4	95,7	0,0	5,1
	15,0	11,0	1,2	10,0	7,4	6,0	4,4	7,0	5,2	95,7	0,0	5,0
	14,0	10,3	1,3	10,0	7,4	6,0	4,4	7,0	5,2	95,7	0,0	5,2
	15,0	11,0	1,3	10,0	7,4	6,0	4,4	8,0	5,9	95,7	0,0	5,1
	14,0	10,3	1,6	11,0	8,1	6,0	4,4	8,0	5,9	95,7	0,0	5,0
	15,0	11,0	1,4	11,0	8,1	7,0	5,2	8,0	5,9	95,7	0,0	5,0
	15,0	11,0	1,5	11,0	8,1	7,0	5,2	9,0	6,6	95,7	0,0	4,2
	15,0	11,0	1,3	12,0	8,8	8,0	5,9	9,0	6,6	95,7	0,0	4,2
	16,0	11,8	1,4	12,0	8,8	8,0	5,9	9,0	6,6	95,7	0,0	4,1
	21,0	15,5	1,6	13,0	9,6	7,0	5,2	10,0	7,4	95,7	0,0	4,1
	26,0	19,1	2,1	13,0	9,6	8,0	5,9	10,0	7,4	95,7	0,0	4,5
	20,0	14,7	1,6	14,0	10,3	8,0	5,9	10,0	7,4	95,7	0,0	4,2
	24,0	17,7	1,4	14,0	10,3	8,0	5,9	11,0	8,1	95,7	0,0	3,9
	22,0	16,2	1,6	13,0	9,6	8,0	5,9	11,0	8,1	95,7	0,0	3,9
	26,0	19,1	1,5	14,0	10,3	9,0	6,6	12,0	8,8	95,7	0,0	5,0
	28,0	20,6	1,5	15,0	11,0	9,0	6,6	13,0	9,6	95,7	0,0	4,9
	24,0	17,7	1,6	15,0	11,0	10,0	7,4	14,0	10,3	95,7	0,0	3,8
	23,0	16,9	1,7	15,0	11,0	12,0	8,8	14,0	10,3	95,7	0,0	4,2
	27,0	19,9	1,3	16,0	11,8	10,0	7,4	14,0	10,3	95,7	0,0	3,4
	31,0	22,8	2,1	16,0	11,8	12,0	8,8	14,0	10,3	95,7	0,0	4,1
	31,0	22,8	1,6	20,0	14,7	10,0	7,4	15,0	11,0	95,7	0,0	3,8
	30,0	22,1	1,9	19,0	14,0	12,0	8,8	15,0	11,0	95,7	0,0	3,7
	30,0	22,1	1,7	17,0	12,5	12,0	8,8	16,0	11,8	95,7	0,0	5,8
	31,0	22,8	1,8	15,0	11,0	12,0	8,8	17,0	12,5	20,0	0,0	5,0
	32,0	23,6	1,8	16,0	11,8	13,0	9,6	17,0	12,5	20,0	0,0	4,9
	31,0	22,8	1,7	16,0	11,8	13,0	9,6	17,0	12,5	20,0	0,0	4,7
	33,0	24,3	1,7	15,0	11,0	13,0	9,6	18,0	13,2	20,0	0,0	4,6
	32,0	23,6	1,9	15,0	11,0	13,0	9,6	18,0	13,2	20,0	0,0	entfällt
Mittelwert	20,4	15,0	1,5	12,3	9,0	7,4	5,5	8,7	6,4	87,8	0,0	4,7
Minimum	13,0	9,6	0,9	8,0	5,9	2,0	1,5	0,0	0,0	20,0	0,0	3,4
Maximum	33,0	24,3	2,1	20,0	14,7	13,0	9,6	18,0	13,2	100,0	0,0	5,8
Median	16,0	11,8	1,4	12,0	8,8	7,0	5,2	9,0	6,6	95,7	0,0	5,0
Summe										3600		188,5

Wird der Laparoflator in Flowstufe 2 aktiviert, finden sich sofort kräftige, relativ schnell aufeinanderfolgende Druckpeaks von durchschnittlich 52,5 cmH₂O (38,6 mmHg). Im letzten Drittel vor Erreichen des Vorwahldruckes werden die Peaks etwas geringer (42,0 cmH₂O / 30,9 mmHg). Ab einem Kompartimentdruck von 17,0

cmH₂O (12,5 mmHg) treten nur noch Meßhübe in größeren Abständen (durchschnittlich 6,7 s) auf. Das Gerät zeigt nach 27 Einzelhüben, in einem Zeitraum von 93,8 s, ein Gasförderungsvolumen von 2,3 l an. Der intraabdominelle Druck ist bis dahin auf 15,0 cmH₂O (11,0 mmHg) angestiegen. In der folgenden Beobachtungszeit von 76,2 s Dauer, die Druckkontrollphase eingeschlossen, werden noch zusätzlich 400 ml Gas freigesetzt (Tabelle 47, Abb. 22).

Tabelle 47

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 12 mmHg (13,6 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: Stufe 2

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	55,0	40,5	3,5	4,0	2,9	1,0	0,7	0,0	0,0	85,2	0,0	9,9
	53,0	39,0	2,8	5,0	3,7	2,0	1,5	1,0	0,7	85,2	0,0	3,6
	53,0	39,0	3,0	4,0	2,9	2,0	1,5	1,0	0,7	85,2	0,0	3,7
	53,0	39,0	2,9	5,0	3,7	2,0	1,5	4,0	2,9	85,2	0,0	3,7
	53,0	39,0	3,0	4,0	2,9	2,0	1,5	5,0	3,7	85,2	0,0	3,7
	53,0	39,0	3,0	5,0	3,7	3,0	2,2	6,0	4,4	85,2	0,0	3,8
	53,0	39,0	2,2	8,0	5,9	4,0	2,9	5,0	3,7	85,2	0,0	3,3
	52,0	38,3	2,3	9,0	6,6	4,0	2,9	6,0	4,4	85,2	0,0	3,4
	53,0	39,0	2,4	8,0	5,9	4,0	2,9	7,0	5,2	85,2	0,0	3,4
	52,0	38,3	2,4	9,0	6,6	5,0	3,7	10,0	7,4	85,2	0,0	3,5
	53,0	39,0	2,1	9,0	6,6	4,0	2,9	8,0	5,9	85,2	0,0	3,2
	53,0	39,0	2,1	8,0	5,9	4,0	2,9	9,0	6,6	85,2	0,0	3,1
	52,0	38,3	2,3	7,0	5,2	6,0	4,4	10,0	7,4	85,2	0,0	3,2
	42,0	30,9	2,2	9,0	6,6	5,0	3,7	9,0	6,6	85,2	0,0	3,0
	54,0	39,7	3,0	7,0	5,2	4,0	2,9	10,0	7,4	85,2	0,0	3,8
	54,0	39,7	3,3	8,0	5,9	6,0	4,4	11,0	8,1	85,2	0,0	4,0
	54,0	39,7	3,3	8,0	5,9	8,0	5,9	13,0	9,6	85,2	0,0	4,0
	42,0	30,9	2,2	9,0	6,6	7,0	5,2	12,0	8,8	85,2	0,0	3,0
	42,0	30,9	2,3	9,0	6,6	7,0	5,2	12,0	8,8	85,2	0,0	2,9
	42,0	30,9	2,3	8,0	5,9	8,0	5,9	12,0	8,8	85,2	0,0	2,8
	42,0	30,9	2,2	8,0	5,9	8,0	5,9	12,0	8,8	85,2	0,0	2,8
	42,0	30,9	2,2	10,0	7,4	8,0	5,9	13,0	9,6	85,2	0,0	5,0
	42,0	30,9	1,3	9,0	6,6	8,0	5,9	15,0	11,0	85,2	0,0	2,0
	42,0	30,9	1,6	8,0	5,9	8,0	5,9	13,0	9,6	85,2	0,0	2,0
	42,0	30,9	1,7	8,0	5,9	8,0	5,9	13,0	9,6	85,2	0,0	2,1
	42,0	30,9	1,6	11,0	8,1	9,0	6,6	14,0	10,3	85,2	0,0	2,1
	42,0	30,9	2,1	9,0	6,6	9,0	6,6	15,0	11,0	85,2	0,0	2,8
	42,0	30,9	2,1	9,0	6,6	9,0	6,6	15,0	11,0	25,0	0,0	2,7
	42,0	30,9	2,0	10,0	7,4	9,0	6,6	15,0	11,0	25,0	0,0	4,8
	42,0	30,9	1,3	10,0	7,4	9,0	6,6	15,0	11,0	25,0	0,0	2,1
	42,0	30,9	2,0	10,0	7,4	10,0	7,4	16,0	11,8	25,0	0,0	2,4
	42,0	30,9	1,4	10,0	7,4	9,0	6,6	16,0	11,8	25,0	0,0	2,1
	42,0	30,9	1,5	14,0	10,3	10,0	7,4	16,0	11,8	25,0	0,0	4,3
	42,0	30,9	1,3	13,0	9,6	10,0	7,4	16,0	11,8	25,0	0,0	4,5
	13,0	9,6	1,3	11,0	8,1	11,0	8,1	17,0	12,5	25,0	0,0	4,3
	14,0	10,3	1,5	10,0	7,4	9,0	6,6	17,0	12,5	25,0	0,0	4,4
	14,0	10,3	1,6	10,0	7,4	10,0	7,4	17,0	12,5	25,0	0,0	6,5

	15,0	11,0	2,2	11,0	8,1	10,0	7,4	16,0	11,8	25,0	0,0	4,4
	14,0	10,3	1,6	11,0	8,1	10,0	7,4	16,0	11,8	25,0	0,0	4,5
	14,0	10,3	1,6	10,0	7,4	10,0	7,4	16,0	11,8	25,0	0,0	14,2
	14,0	10,3	1,1	11,0	8,1	11,0	8,1	17,0	12,5	25,0	0,0	10,5
	15,0	11,0	2,1	10,0	7,4	10,0	7,4	17,0	12,5	25,0	0,0	4,5
	15,0	11,0	1,1	10,0	7,4	10,0	7,4	17,0	12,5	25,0	0,0	entfällt
Mittelwert	40,3	29,7	2,1	8,7	6,4	7,0	5,2	11,7	8,6	62,8	0,0	4,0
Minimum	13,0	9,6	1,1	4,0	2,9	1,0	0,7	0,0	0,0	25,0	0,0	2,0
Maximum	55,0	40,5	3,5	14,0	10,3	11,0	8,1	17,0	12,5	85,2	0,0	14,2
Median	42,0	30,9	2,1	9,0	6,6	8,0	5,9	13,0	9,6	85,2	0,0	3,6
Summe										2700		170,0

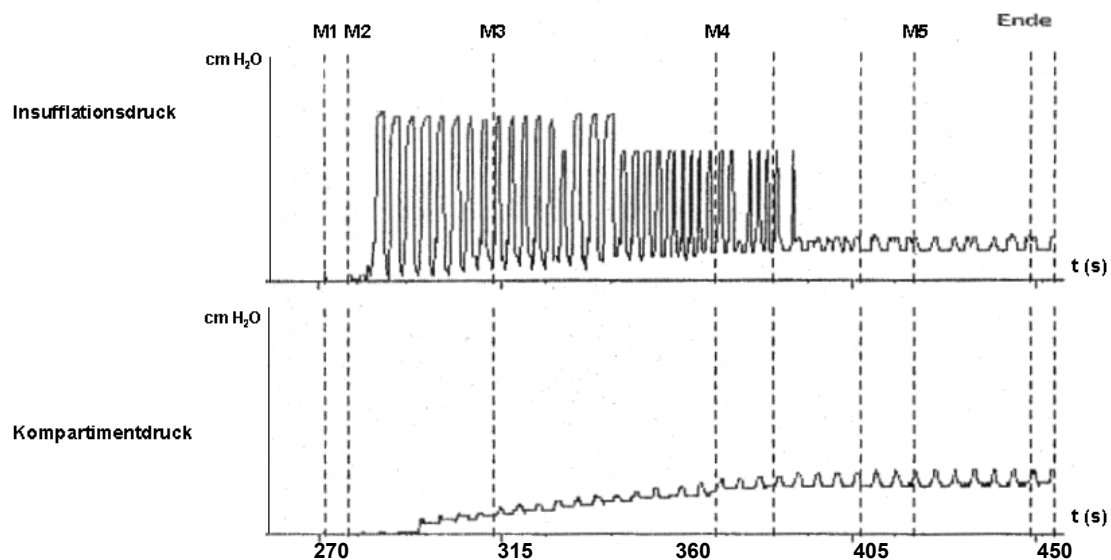


Abb. 22

WIEST Laparoflator electronic® 3509 –

Verläufe von Insufflationsdruck und Kompartimentdruck

M1 = Start der Messung

M2 = Aktivierung des Insufflators

M3 = Insufflationsdruckpeaks und beginnender Kompartimentdruckanstieg

M4 = Verringerung von Amplitude und Dauer der Druckpeaks und zunehmender Kompartimentdruckanstieg

M5 = konstanter Insufflationsdruck und Kompartimentdruck

Am Verlauf der oberen der hier registrierten Kurven läßt sich das Prinzip der Überdruckinsufflation veranschaulichen (Abb. 22).

Die Insufflation beginnt mit den eingestellten Grenzdruck weit übersteigenden Pumpenhüben. Mit zunehmender Annäherung des intrakavitären Druckes an den vorgewählten maximalen Kompartimentdruck verringert sich sowohl die Amplitude als auch die Dauer der Insufflationsdruckspitzen, bis es zur Einstellung eines konstanten Insufflationsdruckes kommt, der nur noch beatmungsdruckbedingte Schwankungen aufweist (Abb. 22).

Die untere Kurve zeigt parallel zur Insufflationsdruckregistrierung den kontinuierlichen Druckanstieg innerhalb der Bauchhöhle, ebenfalls überlagert durch kurzfristige beatmungsbedingte intrakavitäre Druckanhebungen (Abb. 22).

Das Insufflationsverhalten in Stufe 3 des Flowselectors entspricht mit nur geringen Abweichungen dem der Stufe 2. Mit einer Latenz von 1,2 s erfolgen zunächst zwei relativ niedrige Peaks, in der Folge eine Reihe von höheren, deren Dauer sich mit zunehmendem intraabdominellen Druck verkürzt. Nach einer primären Verringerung

der Amplitude erscheinen ab einem Kompartimentdruck von 17,0 cmH₂O (12,5 mmHg) nur noch gelegentliche Meßhübe und der Gasfluß sistiert nach einer Gesamtförderung von 3,2 l. Im weiteren Verlauf bleiben Insufflations- und intraabdomineller Druck mit Werten von 13,0 cmH₂O (9,6 mmHg) bzw. 17,0 cmH₂O (12,5 mmHg) konstant (Tabelle 48).

Tabelle 48

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 12 mmHg (13,6 cmH₂O)

Veress-Nadel: intraabdominell

Flowselector: Stufe 3

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	14,0	10,3	2,0	3,0	2,2	2,0	1,5	0,0	0,0	100,0	0,0	4,5
	25,0	18,4	2,7	10,0	7,4	2,0	1,5	0,0	0,0	100,0	0,0	3,7
	52,0	38,3	2,9	10,0	7,4	2,0	1,5	0,0	0,0	100,0	0,0	4,1
	51,0	37,5	3,0	10,0	7,4	3,0	2,2	0,0	0,0	100,0	0,0	4,2
	51,0	37,5	3,1	10,0	7,4	4,0	2,9	1,0	0,7	100,0	0,0	4,3
	52,0	38,3	3,0	11,0	8,1	5,0	3,7	5,0	3,7	100,0	0,0	4,1
	52,0	38,3	3,0	10,0	7,4	5,0	3,7	6,0	4,4	100,0	0,0	4,1
	52,0	38,3	3,1	11,0	8,1	5,0	3,7	7,0	5,2	100,0	0,0	4,2
	53,0	39,0	3,0	11,0	8,1	6,0	4,4	6,0	4,4	100,0	0,0	4,2
	53,0	39,0	3,0	11,0	8,1	6,0	4,4	7,0	5,2	100,0	0,0	4,2
	55,0	40,5	3,1	11,0	8,1	6,0	4,4	8,0	5,9	200,0	0,0	4,1
	55,0	40,5	3,2	11,0	8,1	6,0	4,4	9,0	6,6	200,0	0,0	4,1
	54,0	39,7	2,0	11,0	8,1	8,0	5,9	9,0	6,6	200,0	0,0	3,0
	54,0	39,7	3,0	11,0	8,1	7,0	5,2	9,0	6,6	200,0	0,0	4,0
	56,0	41,2	2,1	12,0	8,8	7,0	5,2	10,0	7,4	200,0	0,0	3,2
	55,0	40,5	2,2	11,0	8,1	9,0	6,6	10,0	7,4	83,3	0,0	3,3
	42,0	30,9	2,2	13,0	9,6	7,0	5,2	10,0	7,4	83,3	0,0	3,0
	56,0	41,2	1,9	10,0	7,4	10,0	7,4	10,0	7,4	83,3	0,0	2,6
	43,0	31,6	2,7	12,0	8,8	10,0	7,4	11,0	8,1	83,3	0,0	3,5
	43,0	31,6	2,3	12,0	8,8	8,0	5,9	12,0	8,8	83,3	0,0	2,9
	57,0	42,0	2,4	13,0	9,6	10,0	7,4	13,0	9,6	83,3	0,0	3,5
	43,0	31,6	2,6	13,0	9,6	11,0	8,1	13,0	9,6	83,3	0,0	3,2
	43,0	31,6	2,2	13,0	9,6	10,0	7,4	14,0	10,3	83,3	0,0	3,1
	44,0	32,4	2,3	13,0	9,6	12,0	8,8	15,0	11,0	83,3	0,0	2,9
	44,0	32,4	2,3	11,0	8,1	11,0	8,1	15,0	11,0	83,3	0,0	2,9
	44,0	32,4	2,4	12,0	8,8	11,0	8,1	15,0	11,0	83,3	0,0	3,0
	44,0	32,4	2,2	14,0	10,3	12,0	8,8	16,0	11,8	83,3	0,0	4,9
	44,0	32,4	1,3	13,0	9,6	12,0	8,8	16,0	11,8	50,0	0,0	4,3
	44,0	32,4	1,8	13,0	9,6	12,0	8,8	17,0	12,5	50,0	0,0	4,6
	44,0	32,4	1,9	13,0	9,6	12,0	8,8	17,0	12,5	50,0	0,0	6,5
18,0	13,2	2,3	13,0	9,6	12,0	8,8	17,0	12,5	50,0	0,0	4,2	
17,0	12,5	3,0	13,0	9,6	12,0	8,8	17,0	12,5	0,0	0,0	4,7	
17,0	12,5	3,2	13,0	9,6	13,0	9,6	17,0	12,5	0,0	0,0	4,5	
17,0	12,5	3,8	13,0	9,6	13,0	9,6	17,0	12,5	0,0	0,0	4,3	
Mittelwert	43,8	32,2	2,6	11,5	8,5	8,3	6,1	10,3	7,6	94,1	0,0	3,9
Minimum	14,0	10,3	1,3	3,0	2,2	2,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
Maximum	57,0	42,0	3,8	14,0	10,3	13,0	9,6	17,0	12,5	200,0	0,0	6,5
Median	44,0	32,4	2,5	11,5	8,5	8,5	6,3	10,0	7,4	83,3	0,0	4,1
Summe										3200		131,9

In Flowstufe 2 und 3 wird erwartungsgemäß der gewünschte Kompartimentdruck auch bei diesem Gerät um einiges schneller erreicht als in Stufe 1. Ebenso erfolgt in den beiden höheren Stufen ein deutlich weiteres Übersteigen der Druckbegrenzung im Rahmen der Insufflationshübe als in der niedrigen Flowstufe.

3.2.3. Intravesikale Fehllage der Veress-Nadel

3.2.3.1. HI-TEC® Insufflator 1200

Das Einschalten des Niederdruckinsufflators führt sofort zu einer kurzen Druckübersteuerung von 43,0 cmH₂O (31,6 mmHg) und 0,3 s Dauer, ohne daß es zu einer (damit verbundenen) Gasfreisetzung kommt. Ausgehend von einem Maximaldruck nach dem Peak von 23,0 cmH₂O (16,9 mmHg), fällt der Druck auf 20,0 cmH₂O (14,7 mmHg) ab. Nach weiteren 2,3 s entsteht kurzfristig ein Druckabfall auf 13,0 cmH₂O (9,6 mmHg), gefolgt von einem erneuten Anstieg und Einstellung eines konstanten Insufflationsdruckes von 20,0 cmH₂O (14,7 mmHg). Der Insufflationsdruck und der kontinuierlich zunehmende intravesikale Druck sind beatmungsdruckbedingten Schwankungen unterworfen. Der nach dem initialen Peak einsetzende Gasfluß mit einem Gesamtfördervolumen von 100 ml sistiert nach 14,5 s bei Annäherung an den maximalen Kompartimentdruck von 12 mmHg (16,3 cmH₂O), der hier aufgrund der relativ kleinen Blasenkapazität sehr schnell erreicht wird. In der Folge bleiben alle Drücke ohne weitere Gasförderung konstant. Einzig beatmungsbedingte Druckschwankungen werden über die intraabdominelle Druckleitung registriert.

3.2.3.2. WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Wird das Gerät auf Stufe 1 des Flowselectors aktiviert, erscheint mit einer Verzögerung von 0,7 s ein kurzer Druckpeak (33,0 cmH₂O (24,3 mmHg)), gefolgt von Hüben ohne wesentlichen Peak und zunächst ansteigender Amplitude, wobei während der ersten drei Zyklen 200 ml Gas gefördert werden. Gleichzeitig erfolgt eine weitgehend kontinuierliche Zunahme des intravesikalen Druckes. Nach Erreichen des intravesikalen Druckmaximums (bereits nach ca. 18 s) kommt es zu einem langsamen kontinuierlichen Abfall des Insufflations- und Intravesikaldruckes, bedingt durch artifiziellen Gasverlust. Es folgt nach insgesamt 100,0 s ein erneuter Druckanstieg mit einer weiteren Gasfreisetzung von 200 ml und wiederum konsekutivem Abfall von Insufflations- und Kompartimentdruck infolge des Gasverlustes (Tabelle 49).

Tabelle 49

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intravesikal

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	33,0	24,3	2,0	11,0	8,1	7,0	5,2	2,0	1,5	66,7	0,0	5,3
	15,0	11,0	3,6	11,0	8,1	10,0	7,4	5,0	3,7	66,7	0,0	4,5
	21,0	15,5	3,7	16,0	11,8	13,0	9,6	9,0	6,6	66,7	0,0	8,1
	27,0	19,9	2,5	22,0	16,2	16,0	11,8	16,0	11,8	0,0	0,0	82,1
	29,0	21,3	1,8	25,0	18,4	entfällt	entfällt	20,0	14,7	200,0	0,0	entfällt
Mittelwert	25,0	18,4	2,7	17,0	12,5	11,5	8,5	10,4	7,7	80,0	0,0	25,0
Minimum	15,0	11,0	1,8	11,0	8,1	7,0	5,2	2,0	1,5	0,0	0,0	4,5
Maximum	33,0	24,3	3,7	25,0	18,4	16,0	11,8	20,0	14,7	200,0	0,0	82,1
Median	27,0	19,9	2,5	16,0	11,8	11,5	8,5	9,0	6,6	66,7	0,0	6,7
Summe										400		100,0

Bei Start des Insufflators im High-Flow-Modus treten mit einer Latenz von 0,8 s vier kräftige Hübe auf, wobei der Druck steil auf einen Minimalwert von durchschnittlich 11,0 cmH₂O (8,1 mmHg) vor dem nächsten Anstieg abfällt. Damit verbunden ist eine Gasfreisetzung von 300 ml und ein akustischer Gerätealarm nach dem letzten Hub. Nach einer längeren Pause von 26,1 s entsteht ein Peak von 53,0 cmH₂O (39,0 mmHg) mit anschließendem Abfall auf einen Druck von 27,0 cmH₂O (19,9 mmHg), weiteren 100 ml Gasfluß und erneutem Alarm. Der intravesikale Druck steigt mit den ersten vier Hüben kontinuierlich bis 12,0 cmH₂O (8,8 mmHg) an, verweilt über 26,1 s relativ konstant bei 11,4 cmH₂O (8,4 mmHg) und erfährt mit der fünften Druckspitze eine weitere Anhebung auf 22,0 cmH₂O (16,2 mmHg). In der Folge fallen sowohl Insufflations- als auch Kompartimentdruck langsam und kontinuierlich ohne weitere Gasförderung ab. Ursächlich ist ein artifizieller Gasverlust (Tabelle 50).

Tabelle 50

WISAP® OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intravesikal

Flowselector: High-Flow

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	62,0	45,6	1,4	54,0	39,7	15,0	11,0	0,0	0,0	75,0	0,0	2,4
	52,0	38,3	0,9	50,0	36,8	5,0	3,7	1,0	0,7	75,0	0,0	1,6
	51,0	37,5	1,7	50,0	36,8	10,0	7,4	4,0	2,9	75,0	0,0	2,6
	51,0	37,5	1,4	17,0	12,5	14,0	10,3	12,0	8,8	75,0	++	26,1
	53,0	39,0	1,2	27,0	19,9	entfällt	entfällt	22,0	16,2	100,0	++	entfällt
Mittelwert	53,8	39,6	1,3	39,6	29,1	11,0	8,1	7,8	5,7	80,0	-	8,2
Minimum	51,0	37,5	0,9	17,0	12,5	5,0	3,7	0,0	0,0	75,0	0,0	1,6
Maximum	62,0	45,6	1,7	54,0	39,7	15,0	11,0	22,0	16,2	100,0	++	26,1
Median	52,0	38,3	1,4	50,0	36,8	12,0	8,8	4,0	2,9	75,0	-	2,5
Summe										400		32,7

Während der Insufflationshübe kommt es bei beiden Flowstufen zu einem deutlichen Überschreiten des vorgeählten maximalen Kompartimentdruckes.

3.2.3.3. WOM Surgiflator®

Das Gerät liefert auf Stufe 1 nach einer Latenz von 0,7 s mehrere leicht peakartige Hübe von durchschnittlich 26,5 cmH₂O (19,5 mmHg) mit einer Zyklusdauer zwischen 1,6 und 5,4 s. Bei Annäherung an den Vorwahldruck treten nur noch in größeren Abständen vereinzelte Meßhübe ohne Gasförderung auf. Insgesamt werden bis zu dem Erreichen des vorgewählten Kompartimentdruckes nach 32,9 s 200 ml Gas insuffliert. Während der gering ausgeprägten Insufflationshübe wird die Druckbegrenzung um durchschnittlich 7,5 mmHg (10,2 cmH₂O) überschritten. Abgesehen davon übersteigt der intravesikale Druck den vorgewählten Kompartimentdruck jedoch nicht (Tabelle 51).

Tabelle 51

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 12 mmHg (16,3 cmH₂O)

Veress-Nadel: intravesikal

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak (s)	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)		(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	18,0	13,2	1,8	16,0	11,8	2,0	1,5	0,0	0,0	22,2	0,0	2,3
	21,0	15,5	0,9	19,0	14,0	18,0	13,2	3,0	2,2	22,2	0,0	2,9
	23,0	16,9	1,0	25,0	18,4	9,0	6,6	5,0	3,7	22,2	0,0	1,8
	28,0	20,6	2,7	13,0	9,6	13,0	9,6	12,0	8,8	22,2	0,0	3,4
	25,0	18,4	0,6	25,0	18,4	15,0	11,0	12,0	8,8	22,2	0,0	1,7
	26,0	19,1	0,6	26,0	19,1	15,0	11,0	12,0	8,8	22,2	0,0	1,6
	28,0	20,6	0,8	18,0	13,2	16,0	11,8	12,0	8,8	22,2	0,0	4,3
	28,0	20,6	0,7	15,0	11,0	16,0	11,8	13,0	9,6	22,2	0,0	5,4
	29,0	21,3	0,7	18,0	13,2	17,0	12,5	14,0	10,3	22,2	0,0	9,5
	29,0	21,3	0,7	16,0	11,8	17,0	12,5	14,0	10,3	0,0	0,0	11,9
	29,0	21,3	0,8	19,0	14,0	16,0	11,8	14,0	10,3	0,0	0,0	6,4
	31,0	22,8	0,7	20,0	14,7	17,0	12,5	13,0	9,6	0,0	0,0	37,8
30,0	22,1	0,8	18,0	13,2	17,0	12,5	13,0	9,6	0,0	0,0	29,4	
Mittelwert	26,5	19,5	1,0	19,1	14,0	14,5	10,6	10,5	7,8	15,4	0,0	9,1
Minimum	18,0	13,2	0,6	13,0	9,6	2,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
Maximum	31,0	22,8	2,7	26,0	19,1	18,0	13,2	14,0	10,3	22,2	0,0	37,8
Median	28,0	20,6	0,8	18,0	13,2	16,0	11,8	12,0	8,8	22,2	0,0	4,3
Summe										200		118,4

Da sich, abgesehen von einem schnelleren Erreichen des vorgewählten Kompartimentdruckes, ein analoges Verhalten der Geräte wie bei den Versuchen mit intraabdomineller Lage der Veress-Nadel abzeichnete, wurde die Meßreihe nicht weiter fortgeführt.

3.2.4. Fehllage der Veress-Nadel in der Vena cava inferior

Wegen des geringen intravasalen Druckes der Vena cava, ist eine Gasfreigabe bei einem Vorwahldruck von 12 mmHg (16,3 cmH₂O) bei intravasaler Lage der Veress-Nadel zu erwarten und nicht als akzidentell zu bewerten. Deshalb erfolgt hier eine Reduktion der Druckbegrenzung. Sie wird mit 5 mmHg (6,8 cmH₂O) präsumptiv unterhalb des Venendruckes gewählt.

3.2.4.1. HI-TEC[®] Insufflator 1200

Bei Aktivierung des Gerätes kommt es zu einer kurzen Druckübersteuerung von 19,0 cmH₂O (14,0 mmHg) mit 0,3 s Dauer und nachfolgendem Abfall auf einen Insufflationsdruck von 7,0 cmH₂O (5,2 mmHg), der während der gesamten Versuchsdauer von 121,0 s konstant bleibt. Dopplersonographisch wird zu keinem Zeitpunkt Gasfluß nachgewiesen. Ein Gerätealarm erfolgt nicht.

3.2.4.2. WISAP[®] OP-Pneu electronic 7050

Startet man den Insufflator auf Flowstufe 1, erscheint nach einer Latenz von 0,9 s ein kräftiger langer Hub von 58,0 cmH₂O (42,7 mmHg), der in Stufen auf einen für längere Zeit konstant bleibenden Insufflationsdruck von 16,0 cmH₂O (11,8 mmHg) abfällt. Am Gerät wird dabei ein Flow von 1,0 l/min angezeigt. Auf dem höchsten Punkt des Hubes nach 6,0 s bei einer Überschreitung der Druckbegrenzung um 41,7 cmH₂O (30,7 mmHg) setzt akustischer Alarm ein und dopplersonographisch wird eine heftige Gasförderung nachgewiesen (Tabelle 52).

Tabelle 52

WISAP[®] OP-Pneu electronic 7050

Druckbegrenzung: 5 mmHg (6,8 cmH₂O)

Veress-Nadel: Vena cava inferior

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß (ml)	Alarm (s)	t-Zyklus (s)
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)			
Start	58,0	42,7	15,3	36,0	26,5	16,0	11,8	-	-	heftig	++	entfällt

Wegen der in höheren Flowstufen zu erwartenden, noch ausgeprägteren akzidentellen Gasförderung und konsekutiver Vitalgefährdung der nur in begrenzter Zahl verfügbaren Versuchstiere, wurde diese Meßreihe ausschließlich mit den niedrigsten an den Geräten einstellbaren Flowstufen vorgenommen.

3.2.4.3. STRYKER[®] High Flow Insufflator

Insgesamt wird das Gerät dreimal gestartet. Reproduzierbar zeigt sich initial ein kräftiger Hub, der anschließend auf einen Druck von 15,0 bzw. 18,0 cmH₂O (11,0 bzw. 13,2 mmHg) und im weiteren Verlauf kontinuierlich bis 1,0 cmH₂O (0,7 mmHg) abfällt. Dieser Druckabfall erfordert unterschiedlich lange Zeitintervalle (- Tabelle 53: „t-Zyklus“). Die Latenz bis zu dem Auftreten der initialen Druckspitze nach Aktivierung beträgt 0,5 s und 0,2 s. Bei dem dritten Start entsteht sie ohne Zeitverzögerung sofort. Jeder Peak erfolgt mit einem deutlichen Überdruck. Dopplersonographisch wird bei Start 2 und 3 ein massiver intravasaler Gasstrom nachgewiesen. Am Insufflator angezeigt wird ein Fluß von jeweils 0,5 l/min. Lediglich bei Start 1 zeigt sich weder dopplersonographisch noch an der Geräteanzeige eine Gasförderung. Da dies ehest methodisch bedingt zu sein scheint, wird die Reproduzierbarkeit geprüft. Das Gerät gibt in keinem Fall Alarm. Die Druckbegrenzung wird durch jeden Peak weit überschritten (Tabelle 53).

Tabelle 53

STRYKER® High Flow Insufflator

Druckbegrenzung: 5 mmHg (6,8 cmH₂O)

Veress-Nadel: Vena cava inferior

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start 1	44,0	32,4	4,4	15,0	11,0	1,0	0,7	-	-	0,0	0,0	120,2
Start 2	50,0	36,8	3,8	18,0	13,2	1,0	0,7	-	-	massiv	0,0	17,2
Start 3	47,0	34,6	1,3	18,0	13,2	1,0	0,7	-	-	massiv	0,0	40,0
Mittelwert	47,0	34,6	3,2	17,0	12,5	1,0	0,7	-	-	-	0,0	59,1
Minimum	44,0	32,4	1,3	15,0	11,0	1,0	0,7	-	-	0,0	0,0	17,2
Maximum	50,0	36,8	4,4	18,0	13,2	1,0	0,7	-	-	massiv	0,0	120,2
Median	47,0	34,6	3,8	18,0	13,2	1,0	0,7	-	-	-	0,0	40,0

3.2.4.4.WOM Surgiflator®

Nach Starten des Gerätes (Stufe 1), entsteht ohne Latenz ein kräftiger Druckpeak von 69,0 cmH₂O (50,8 mmHg) und 4,4 s Dauer. Verbunden damit ist ein akustischer Gerätealarm. Dopplersonographisch wird ein heftiger Gasfluß nachgewiesen. Am Gerät selbst wird ein Flow von 0,4 l/min angezeigt. Der Druck fällt im Anschluß an den Peak auf einen maximalen Wert von 42,0 cmH₂O (30,9 mmHg) und sukzessive langsam weiter ab (Tabelle 54).

Bei Wiederholung des Versuches zeigt sich reproduzierbar initial ein kräftiger Peak (64,0 cmH₂O (47,1 mmHg)) mit einer Dauer von 4,2 s. Nachfolgend kommt es zu einem Druckabfall auf einen Wert von 33,0 cmH₂O (24,3 mmHg). Wieder ist dopplersonographisch ein hoher Gasfluß bei einem angezeigten Flow von 0,5 l/min nachweisbar. Das Gerät gibt Alarm. Nach einem kurzen Plateau fällt der Insufflationsdruck auf einen in der Folge konstant bleibenden Wert von 15,0 cmH₂O (11,0 mmHg) ab (Tabelle 54).

Tabelle 54

WOM Surgiflator®

Druckbegrenzung: 5 mmHg (6,8 cmH₂O)

Veress-Nadel: Vena cava inferior

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start 1	69,0	50,8	4,4	42,0	30,9	entfällt	entfällt	-	-	heftig	++	entfällt
Start 2	64,0	47,1	4,2	33,0	24,3	15,0	11,0	-	-	heftig	++	entfällt
Mittelwert	66,5	48,9	4,3	37,5	27,6	-	-	-	-	-	-	-
Minimum	64,0	47,1	4,2	33,0	24,3	-	-	-	-	heftig	++	-
Maximum	69,0	50,8	4,4	42,0	30,9	-	-	-	-	heftig	++	-
Median	66,5	48,9	4,3	37,5	27,6	-	-	-	-	-	-	-

Bei beiden Versuchen erfolgt über einen Zeitraum von 77,6 bzw. 72,1 s nach dem initialen Peak keine weitere Druckspitze oder Gasförderung mehr. Der vorgewählte Maximaldruck bleibt durch den Insufflationsdruck jedoch dauerhaft weit (um maximal 35,2 cmH₂O (25,9 mmHg)) überschritten.

3.2.4.5. WIEST Laparoflator electronic® 3509

Mit einer Verzögerung von 0,7 s nach Start auf Flowstufe 1, erfolgt ein Peak von 42,0 cmH₂O (30,9 mmHg) und 3,0 s Dauer, begleitet von einer dopplersonographisch nachgewiesenen massiven Gasförderung (beginnend nach 6,4 s). (Das Display am Insufflator zeigt ein gefördertes Volumen von 100 ml bei einem Flow von 0,1 l/min). Danach fällt der Insufflationsdruck auf einen konstanten Wert von 11,0 cmH₂O (8,1 mmHg), nur noch von regeltechnisch bedingten, zyklischen, kurzen Druckabfällen unterbrochen (- Messung des intravasalen Druckes). Nach weiteren 74,9 s wird ohne erneuten Hub nochmals massiv Gas freigesetzt (wobei hier vom Gerät kein Volumen angegeben wird). Während des gesamten Meßzeitraumes ertönt kein Gerätealarm. Die Druckbegrenzung wird durch den Insufflationsdruck permanent überschritten (Tabelle 55).

Tabelle 55

WIEST Laparoflator electronic® 3509

Druckbegrenzung: 5 mmHg (6,8 cmH₂O)

Veress-Nadel: Vena cava inferior

Flowselector: Stufe 1

	P-Peak		t-Peak	Pmax nach Peak		Pmin vor Peak		P-Komp		Gasfluß	Alarm	t-Zyklus
	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(s)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(cmH ₂ O)	(mmHg)	(ml)	(s)	(s)
Start	42,0	30,9	3,0	14,0	10,3	11,0	8,1	-	-	massiv	0,0	entfällt

Obwohl dopplersonographisch ein Gasfluß sicher nachgewiesen werden kann, zeigen die Geräte WISAP® OP-Pneu electronic 7050, STRYKER® High Flow Insufflator und WOM Surgiflator® den Gasfluß, nicht jedoch die Menge des geförderten Gasvolumens an.

4. DISKUSSION

Die Laparoskopie ist heute eine weit verbreitete Methode, diagnostische und therapeutische Eingriffe auf höchstem technischen Niveau bei größtmöglicher Schonung des Patienten durchzuführen. Als technisch anspruchsvolles Verfahren besitzt sie ein hohes Komplikationspotential. Ein Vorteil gegenüber anderen Operationsverfahren besteht somit nur, wenn die nötige Sicherheit gewährleistet ist. Entscheidend beeinflusst wird der Sicherheitsfaktor durch diverse Komplikationsmöglichkeiten im Zusammenhang mit der Anlage und Aufrechterhaltung des Pneumoperitoneums. Zum einen können Fehler durch den Operateur, zum Beispiel im Sinne einer Fehlpunktion mit der Veress-Nadel und anschließender Gasfehlinufflation in unerwünschte Kompartimente, auftreten. Zum anderen existieren gerätebedingte potentielle Fehlerquellen wie Insufflationen über ein vorgegebenes Druckniveau hinaus. Dabei kommt es beispielsweise zu Alterationen physiologischer Parameter in Folge eines zu hohen intraabdominellen Druckes. Ein Zusammentreffen beider Faktoren kann ernste Komplikationen nach sich ziehen. Beispielsweise kann sich aus einem durch Fehlpunktion in das Subkutangewebe und anschließender Fehlinufflation entstandenen Hautemphysem eine nicht unerhebliche Hyperkapnie entwickeln (26, 30). Schwerwiegendere Komplikationen können sich bei einer akzidentellen Gefäßpunktion mit folgender Gasinsufflation ergeben. Ausgeprägte Gasembolien führen zu kardiovaskulären Reaktionen mit potentiell letalem Ausgang (12, 14, 45, 61).

Die nicht unerheblichen Komplikationsmöglichkeiten laparoskopischer Operationen gaben Anlaß zu unserer Untersuchung. Sie sollte die gerätebedingten Fehlerquellen und die davon ausgehenden Gefahren aufzeigen. Bei den eingesetzten Insufflationsgeräten darf keinesfalls eine Gasinsufflation über ein vorgegebenes Druckniveau hinaus erfolgen. Bestehende Kompartimentdrücke müssen registriert und bei bereits über der Druckgrenze liegenden Werten Insufflationen unterlassen werden. Nur dann ist auch bei einer Fehllage der Veress-Nadel eine genügend hohe Sicherheit gegeben. Ob die Geräte tatsächlich diese Anforderungen erfüllen, galt es in unserer Untersuchung zu prüfen.

Nach ihrem Funktionsprinzip werden die Insufflatoren in Über- und Niederdruckgeräte eingeteilt. Die Überdruckinsufflation hat den Vorteil einer schnellen Füllung der Kavität bei gleichzeitiger Gefahr der Entstehung übermäßig hoher Drücke. Die Niederdruckinsufflation benötigt etwas mehr Zeit, jedoch können nach dem zugrundeliegenden Prinzip mit Sicherheit zu hohe Insufflationsdrücke und Fehlinufflationen vermieden werden. Über- und Niederdruckgeräte wurden hinsichtlich ihres Druck- und Gasförderverhaltens in Abhängigkeit von den zu erwartenden Druckverhältnissen bei ihrem Einsatz unter OP-Bedingungen in vitro und in vivo untersucht.

Eine In-vitro-Versuchsanordnung erlaubte die Simulation

- einer Fehllage der Veress-Nadel in einem Kompartiment mit die maximale Gerätedruckbegrenzung übersteigendem Kompartimentdruck, z.B. dem Subkutangewebe oder einem Gefäßlumen
- einer intraabdominellen Druckerhöhung entsprechend der Anlage eines Kapnoperitoneums
- eines intraabdominellen Druckverlustes, z.B. bei Instrumentenwechsel

Der untersuchte Niederdruckinsufflator zeigte die größte Genauigkeit hinsichtlich der Einhaltung der vorgewählten Druckparameter. Bei einer maximalen Kompartimentdruckbegrenzung zwischen 10 und 19 mmHg (13,6 – 25,8 cmH₂O) bewegte sich der von dem Gerät aufgebaute Insufflationsdruck maximal 0,5 mmHg (0,7 cmH₂O) ober- bzw. 3,8 mmHg (5,1 cmH₂O) unterhalb der vorgewählten Grenze. Insufflationsdruck und maximale Druckbegrenzung waren somit nahezu identisch.

Bei bereits oberhalb dieses Wertes liegendem tatsächlichem Kompartimentdruck kam es nicht zu einer Gasförderung. Dies ist sinnvoll, da andernfalls eine unkontrollierte Druckerhöhung auf Werte weit oberhalb der Druckbegrenzung resultieren würde. Eine Gasinsufflation durch das Gerät erfolgte nur dann, wenn die Druckbegrenzung höher als der Kompartimentdruck lag.

Es zeigte sich zwar bei einem mit 26,0 cmH₂O (19,1 mmHg) deutlich oberhalb der Kavitätsdruckbegrenzung (14 bzw. 12 mmHg / 19,0 bzw. 16,3 cmH₂O) liegenden Kompartimentdruck bei Inbetriebnahme des Insufflators eine kurzzeitige Druckspitze von durchschnittlich 31,7 cmH₂O (23,3 mmHg) und maximal 0,5 s Dauer. Eine artifizielle Gasförderung erfolgte dabei jedoch nicht.

Regelhaft kommt es bei dem Starten des Niederdruckinsufflators zu einer Druckspitze. Ihre Amplitude hängt vom vorherrschenden Kompartimentdruck ab. Die Druckspitze stellt jedoch lediglich einen regeltechnisch bedingten Effekt dar. Sie entspricht dem Einschwingverhalten des Gerätes und ist niemals mit einer ungewollten Gasfreisetzung verbunden.

Im weiteren Verlauf blieb der Insufflationsdruck mit einer Abweichung von maximal $\pm 1,0$ cmH₂O (0,7 mmHg) konstant auf Höhe der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung. Größere Druckschwankungen konnten nicht nachgewiesen werden.

Bei Vorgabe eines höher als die Begrenzung liegenden Kompartimentdruckes und Nachahmung eines intrakavitären Druckabfalls setzt ein Gasfluß erst ein, wenn der Kompartimentdruck die vorbestimmte Grenze unterschreitet.

Wird eine Druckzunahme in dem Kompartiment, entsprechend einer intraabdominellen Druckerhöhung, simuliert, erfolgt ein konstanter Gasfluß mit einem dem maximalen Grenzwert entsprechenden Druck, bis der vorgewählte Grenzdruck durch den Kompartimentdruck erreicht ist.

In vitro konnte damit für den nach dem Niederdruckprinzip arbeitenden Insufflator eine hohe Übereinstimmung von vorgewähltem maximalem Kompartimentdruck und Insufflationsdruck nachgewiesen werden. Konsekutiv kann dadurch eine artifizielle Gasförderung vermieden werden.

Das sollte sich in vivo folgendermaßen auswirken: Wenn nach Insertion der Veress-Nadel eine entsprechend niedrige Druckbegrenzung, zum Beispiel unterhalb des zentralen Venendruckes (ZVD), gewählt würde, sollte bis zur Sicherstellung der exakten Lage der Pneumoperitonealkanüle eine intravasale oder anderweitige Fehlinufflation von Gas mit größtmöglicher Sicherheit vermieden werden können.

Nachdem sich während der Untersuchung nachweisen ließ, daß keiner der untersuchten Überdruckinsufflatoren die dem Niederdruckprinzip entsprechende Insufflationsdruckkonstanz einhalten konnte, wurde der Versuchsablauf dahingehend geändert, daß nur bei konstant gehaltenem Kompartimentdruck die Druckbegrenzung am Insufflator variiert wurde. Damit konnte zumindest das Verhalten der Geräte bei einem simulierten Beginn der Anlage eines Pneumoperitoneums unter verschiedenen Voraussetzungen geprüft werden.

Bei allen Versuchen wurde die am Gerät eingestellte Druckbegrenzung unterschiedlich weit unterhalb des simulierten Kompartimentdruckes gewählt. Trotz dieser Konstellation traten bei der ersten Aktivierung der Insufflatoren mitunter erhebliche Insufflationsdruckspitzen auf, die nahezu stets von einer artifiziellen Gasförderung unterschiedlicher Menge begleitet waren. Druckamplitude und Gasmenge waren dabei in der überwiegenden Zahl der Versuche abhängig von der am Gerät vorgewählten Flowstufe. Im Anschluß an die Druckspitzen regelten alle Geräte auf einen Druck zurück (P_{max} nach Peak), der sich in der Größenordnung der maximalen Kompartimentdruckbegrenzung bewegte. Davon ausgehend zeigte sich ein ebenfalls allen Geräten gemeinsamer treppenartiger Druckabfall bis zum Erreichen eines Minimalwertes (P_{min} vor Peak). (Der Druckabfall erfolgt in Stufen entsprechend der Druckmessungscharakteristik des Überdruckgerätes und ist am ehesten auf einen CO₂-Verlust über die Silikonleitungen zurückzuführen.) Von dem Minimaldruck (P_{min} vor Peak) aus erfolgte wiederum eine plötzliche Druckanhebung, meist in Form einer erneuten Insufflationsdruckspitze mit weit oberhalb des gewählten Grenzdruckes liegendem Druckwert. Gleichzeitig kam es häufig zu einer artifiziellen Gasfreisetzung. Diese Zyklen wiederholten sich regelmäßig bei jedoch unterschiedlichen zeitlichen Intervallen ohne offensichtliche Gesetzmäßigkeit. Sie traten unabhängig von Kompartimentdruckschwankungen und ebenso bei Kompartimentdruckkonstanz auf. Auch bei deutlich oberhalb der Druckbegrenzung liegenden Kompartimentdrücken (bis zu 12,9 mmHg (17,6 cmH₂O)) erfolgten mitunter heftige artifizielle Gasfreisetzungen. Vorgewählte Kompartimentdruckbegrenzung und auftretender Insufflationsdruck konnten als weitgehend voneinander unabhängige Parameter dokumentiert werden.

Der Überdruckinsufflator 1 zeigte zwar nicht bei jeder Insufflationsdruckanpassung nach Abfall auf den beschriebenen Minimaldruck eine Druckspitze. Kam es jedoch zu einem derartigen Peak, war er verbunden mit einer artifiziellen Gasförderung. Die Menge war dabei zum Teil um so höher, je geringer die Differenz zwischen Kompartimentdruck und Druckbegrenzung war. Jedoch flossen auch bei großen Differenzen beträchtliche Mengen Gas (bis zu 60 ml). Eine Verringerung der eingestellten Druckgrenze bei unveränderten Kompartimentdrücken äußerte sich nicht in einer Verminderung der Amplitude der Druckspitzen und in nur einer ungenügenden Reduktion der CO₂-Förderung (noch immer bis zu 60 ml) und damit nicht in einer aufgrund der geringeren Differenz zu erwartenden höheren Sicherheit. In einigen Versuchen wurde insgesamt relativ wenig (ca. 10 ml) Gas insuffliert. Nur ein einziges Mal registrierte das Gerät einen über der vorgewählten Grenze liegenden intrakavitären Druck mit nachfolgend ausbleibender Gasförderung. In den Flowstufen 1 und 2 legte der Insufflator ein nicht reproduzierbares Verhalten an den Tag, das außerdem unabhängig von dem Betrieb in den verschiedenen Stufen war. Auf Stufe 3 des Flowselectors zeigte sich, erwartungsgemäß, eine gesteigerte artifizielle Gasflußmenge im Vergleich zu den niedrigeren Stufen 1 und 2. Der Insufflationsdruck erwies sich insgesamt als äußerst inkonstant. Die Gasfreisetzung erfolgte unkontrolliert.

Das zweite untersuchte Überdruckgerät (WOM Surgiflator[®]) zeigte bei Betrieb in Flowstufe 1 ebenfalls das bei dem Überdruckinsufflator 1 beschriebene zyklische Druckverhalten. Es kam jedoch nur in einem Fall zu einer leichten Druckübersteuerung mit allerdings deutlicher artifizieller Gasfreisetzung (insgesamt 229 ml). Erstaunlicherweise ereignete sich dies gerade bei der größten Differenz zwischen Kompartimentdruck und maximaler Druckbegrenzung. Gerade hier sollte man erwarten, daß der Insufflator den weit oberhalb der Grenze liegenden Kompartimentdruck registriert und konsekutiv eine Gasförderung unterbleibt. Aufgrund der ausbleibenden Druckübersteuerungen und Gasfreisetzung bei allen anderen Versuchen in Flowstufe 1 hätte man eine potentielle

Überlegenheit im Vergleich zu den anderen Geräten postulieren können. Die einmalige deutliche Gasfreisetzung zeigt jedoch, daß dieses Verhalten nicht wirklich reproduzierbar ist und macht damit die vermeintliche Überlegenheit zunichte. Für den Einsatz des Gerätes in vivo müßte jedoch eine Konstanz des gewünschten Verhaltens sichergestellt sein, da andernfalls potentielle Komplikationen durch unkontrollierte Gasinsufflation nicht zu vermeiden wären. Des weiteren müßte das Verhalten in höheren Flowstufen ebenso den Sicherheitsansprüchen genügen. Es erfolgten hier jedoch regelmäßig die beschriebenen Druckpeaks mit gleichzeitiger unerwünschter Gasförderung. Sie traten meist als Doppel- oder Mehrfachhübe auf. Paradoxerweise wurde in Stufe 3 pro Zyklus zum Teil weniger Gas gefördert als in Flowstufe 2. Auch hier ließ sich das Insufflatorverhalten innerhalb der Stufen aber nicht reproduzieren.

Weitgehend unabhängig von der vorgewählten Kompartimentdruckbegrenzung und deren Differenz zum tatsächlichen Kompartimentdruck zeigte der Überdruckinsufflator 3 bereits bei Betrieb in Flowstufe 1 nahezu regelmäßig Druckübersteuerungen mit nicht unerheblicher Gasförderung (bis zu 65 ml pro Hub). Im High-Flow-Modus war die Gasfreisetzung exzessiv (wesentlich mehr als die registrierbaren 70 ml pro Hub). Zu folgern ist, daß bei einem bereits höher als die maximale Druckbegrenzung liegenden Kompartimentdruck auch in vivo diese Konstellation nicht vom Gerät erkannt und eine entsprechend hohe Gasinsufflation erfolgen würde, im Falle einer intravasalen Insufflation mit potentiell letalen Folgen. Bei einer eingestellten Druckgrenze von ≤ 8 mmHg (10,9 cmH₂O) gab das Gerät während der Insufflationsdruckspitzen Alarm. Eine Unterdrückung einer bedeutenden artifiziellen Gasförderung (bis zu 60 ml pro Hub) erfolgte jedoch nicht.

Unsere Untersuchung in vitro macht deutlich, daß die Einstellung einer Kompartimentdruckbegrenzung unterhalb des tatsächlichen Kompartimentdruckes bei den getesteten Überdruckinsufflatoren keinen Schutz vor einer artifiziellen Gasfreisetzung bietet. Unabhängig von dem statischen Druck innerhalb des Kompartiments kommt es zu gerätebedingten Insufflationsdruckschwankungen. Wenn diese einen gewissen Minimalwert erreichen, erfolgt lediglich eine Anhebung auf einen Wert nahe des vorgewählten Grenzwertes. Meist ist die Anhebung jedoch vergesellschaftet mit einer bedeutenden Druckspitze und einem konsekutiven, artifiziellen und in vivo potentiell gesundheitsschädlichen Gasfluß.

Ziel für die Praxis ist, solche Fehlfunktionen und die sich daraus möglicherweise ergebenden Probleme zu vermeiden. Dies kann durch Einsatz eines nach dem Niederdruckprinzip arbeitenden Gerätes realisiert werden. Die Durchführung einer Niederdruckinsufflation erfordert jedoch einen etwas höheren Zeitaufwand, was Verständnis und Kooperation des Operateurs voraussetzt.

In wieweit diese in vitro beobachteten Eigenschaften auf den Operationseinsatz in vivo übertragbar sind und welche Bedeutung ihnen zukommt, wurde in einem Tierversuch untersucht.

Getestet wurden vier handelsübliche, im klinischen Routinebetrieb etablierte Überdruckinsufflatoren, sowie ein ebenfalls im Routinebetrieb eingesetzter Niederdruckinsufflator.

Die Analyse des Druck- und Gasförderverhaltens der verschiedenen Geräte erfolgte bei regelrechter intraabdomineller Lage der Veress-Kanüle und potentiellen Fehllagen (subkutan, intravesikal und intravasal (Lumen der Vena cava inferior)). Begonnen wurde mit der subkutanen Fehllage. Es folgten die Kontrollversuchsreihe bei intraabdomineller Lage der Veress-Nadel und die Untersuchung bei intravesikaler Fehllage. Abschließend wurde das Insufflatorverhalten bei intravasaler Fehllage getestet. Diese Reihenfolge wurde gewählt, um die nur in begrenzter Anzahl zur Verfügung stehenden Versuchstiere für möglichst viele Versuche einsetzen zu können. Es sollte für jede Versuchsreihe eine Unversehrtheit der noch benötigten Strukturen und Kompartimente bestehen, um möglichst reale Ausgangsbedingungen für jeden einzelnen Versuch zu schaffen.

Um das Insufflatorverhalten unter regulären Umständen zu untersuchen und Vergleichswerte zu erhalten, wurde die Veress-Nadel in der freien Bauchhöhle plaziert.

Das theoretische Funktionsprinzip des Niederdruckinsufflators bestätigte sich in vivo bei intraabdomineller Lage der Kanüle mit kontinuierlichem intrakavitären Druckanstieg bis zu der vorgegebenen Druckgrenze. Mit steigendem intraabdominellen Druck verringerte sich der kontinuierliche Gasfluß und sistierte bei Erreichen des vorgewählten Kompartimentdruckes.

Die Kurven der Druckregistrierung (Abb. 21, siehe oben) veranschaulichen dieses Verhalten.

Die Insufflationsdruckkurve zeigt einen sehr kurzen initialen Druckpeak, welcher dem Einschwingverhalten des Gerätes entspricht. Dieser wird gefolgt von einer Phase des konstanten Insufflationsdruckes mit hier einmaligem Abfall auf den Nullpunkt, d.h. Unterbrechung der Insufflation zur Messung des Kompartimentdruckes im Rahmen der monofil bivalenten Registrierung. In der Folge ist am Gerät eine ausreichend hohe Flußrate erreicht, um bei konstantem Insufflationsdruck eine permanente statische Messung durchzuführen (Abb.21).

Die Kurve der intraabdominellen Druckregistrierung läßt den langsamen, gleichmäßigen Druckanstieg im Bauchraum erkennen. Sie ist von zyklischen Schwankungen überlagert, die von temporären, durch die Beatmung induzierten, inspiratorischen Druckanstiegen in der Bauchhöhle herrühren. Bei Annäherung des intraabdominellen Druckes an den Insufflationsdruck treten diese beatmungsdruckbedingten Schwankungen ebenfalls bei der Insufflationsdruckregistrierung zu Tage, da der kurzfristig überhöhte intraabdominelle Druck rückläufig über die Veress-Nadel auf die Druckleitung übertragen wird (Abb.21).

Dieses Phänomen war bei allen Versuchen mit intraabdomineller Lage der Kanüle reproduzierbar. Bei der Überdruckinsufflation traten die zyklischen Druckanhebungen an der Insufflationsdruckkurve nach Einstellung des Insufflationsdruckes auf konstant niedrigem Niveau (im Anschluß an die Insufflationshübe nach Erreichen des vorgewählten intrakavitären Solldruckes) in Erscheinung.

Alle gemessenen Abweichungen von wenigen mmHg des konstanten Insufflationsdruckes und des Kompartimentdruckes, bezogen auf die maximale Kompartimentdruckbegrenzung entsprechen meßmethodischen und apparativ bedingten Fehlern. Sie können daher vernachlässigt werden. Zum Beispiel kamen systembedingte Abweichungen dadurch zustande, daß die Druckmessung des urodynamischen Meßgerätes mit Hilfe einer Wassersäule erfolgt, die innerhalb der selben Meßleitung auf eine Gassäule trifft. Dies ereignet sich sowohl innerhalb des Kompartimentes als auch an der Verbindung zu der Druckmeß- und Insufflationsleitung des Insufflationsgerätes. Dadurch kann es zu Druckschwankungen im System mit einer Nullpunktverschiebung und nachfolgender ungenauer Messung kommen.

Während der Insufflation mit den Überdruckgeräten kam es, trotz zum Teil sehr hoher Druckpeaks und diskontinuierlicher Füllungsphasen, ebenso zu einem weitgehend kontinuierlichen Druckanstieg im Bauchraum. Die Elastizität des umgebenden Gewebes pufferte sämtliche Druckspitzen ab. Negative physiologische Auswirkungen sind dadurch nicht zu erwarten. In kleinen, wenig dehnbaren Räumen, wie zum Beispiel dem Rektum, die diese Pufferung nicht ermöglichen können, entstehen dadurch neben einer artifiziellen Gasfreisetzung pathologisch hohe Drücke, durch die potentielle Komplikationen verursacht werden können.

Bei allen untersuchten Überdruckgeräten ließ sich das Prinzip der Überdruckinsufflation in vivo erkennen: Zyklische Druckanhebungen über die maximale Druckbegrenzung hinaus, deren Dauer und / oder Amplitude sich mit zunehmendem intraabdominellen Druck parallel zu der Gasfreisetzung verringerte und die schließlich in Meßhübe übergingen und bei konstantem Insufflationsdruck ebenso wie der Gasfluß vollständig sistierten. (Typischer Verlauf.) Die beschriebenen Meßhübe imponieren als kurzfristige minimale Druckanhebungen über das Niveau des konstanten Insufflationsdruckes. Sie dienen den Geräten zur Bestimmung des intrakavitären Druckes. Liegt er im vorgewählten Niveau, kommt es zu keiner weiteren Gasfüllung der Kavität. Der Überdruckinsufflator 1 setzte einmalig noch während der Meßhubphase wiederholt Gas frei. Obwohl kein offensichtliches Leck vorhanden war, kam es vermutlich zum Entweichen von Gas über ein solches, da kein weiterer Druckanstieg im Kompartiment erfolgte. Erwartungsgemäß lagen bei Wahl hoher Gasflußstufen (Stufe 3 oder High-Flow-Modus) im Gegensatz zu niedrigen Stufen die maximalen Drücke der Insufflationshübe weit über den vorgewählten Kompartimentdruckgrenzen. Dem hohen Gasfluß entsprechend wurde der vorgewählte Kompartimentdruck auch zügiger erreicht.

Geringe Schwankungen von intraabdominell Druck und dem am Ende herrschenden konstanten Insufflationsdruck sind als systembedingte Meßfehler zu interpretieren.

Auffällig waren die unterschiedlichen Gesamtgas Mengen, die von den Insufflatoren bis zum Erreichen des vorgewählten intraabdominellen Druckes als gefördert angezeigt wurden. Dies macht eine große Ungenauigkeit der einzelnen Geräteanzeigen deutlich. Bei den In-vitro-Versuchen erwies sich die Anzeige als ausreichend genau, was die Einzelvolumina pro Hub betraf. Die Gesamtanzeige variierte in vivo jedoch beträchtlich. Offenbar ergaben sich bei Addition der Einzelvolumina und Insufflation über einen längeren Zeitraum bedeutende Fehler. Die tatsächlich insufflierte Menge konnte demnach nicht sicher angegeben werden.

Das bestätigt die Beobachtung von *Borten et al.* aus dem Jahr 1986. In dieser Studie wurden Insufflatoren in verschiedenen Modi auf die Exaktheit der Volumenanzeigen untersucht. Die Geräteanzeigen erwiesen sich auch hier als äußerst ungenau. Bei einer Anzeige von 1 l geförderter Gasmenge fanden sich Abweichungen von durchschnittlich 353 ml des tatsächlich insufflierten Volumens. Im Modus der automatischen Flowkontrolle zeigten sich die größten Abweichungen (8).

Unter OP-Bedingungen besteht damit nur eine eingeschränkte Kontrollmöglichkeit über das tatsächlich insufflierte Volumen. Bei einem Fortführen der Gasinsufflation unter der Annahme, daß bisher nur ein der Anzeige nach geringes Volumen gefördert wurde, könnte es zu einer Überinsufflation mit allen potentiellen Folgen und Komplikationsmöglichkeiten kommen, die einer übermäßigen CO₂-Freisetzung mit konsekutiv überhöhtem intrakavitären Druck zu eigen sind (z.B. Hyperkapnie, Azidose und Hypoxie, Verminderung des Herzzeitvolumens, Minderperfusion abdominalen Organe, Herz-Kreislauf-Stillstand durch vagale Reaktionen).

Insgesamt ergeben sich bei regelrechter intraabdomineller Lage der Veress-Kanüle durch den Einsatz eines Überdruckinsufflators keine Nachteile für den Patienten. Hohe Druckspitzen werden in der Bauchhöhle abgepuffert, so daß kein relevanter Überdruck entsteht. Im Vergleich zu dem Niederdruckprinzip erfolgt eine deutlich

schnellere Füllung der Kavität. Ein Vorteil gegenüber dem Niederdruckgerät ist somit der Zeitfaktor. Mit Hilfe der Überdruckinsufflation kann der angestrebte Kompartimentdruck schneller erreicht werden.

Im klinischen Alltag werden nicht selten Hautemphyseme durch Insufflation bei inkorrekt Lage der Veress-Kanüle gesetzt. Ein sich bildendes Emphysem durch Gasinsufflation in das Unterhautzellgewebe ist für den Patienten zumeist nicht gefährlich, allerdings subjektiv stark belästigend (durch Schwellung, Krepitation und Schmerz). *Brühl*, der über 366 Fälle von Hautemphysemen infolge einer fehlplazierten Veress-Kanüle berichtet, wertet es bereits als Kunstfehler, wenn trotz fehlliegender Veress-Nadel weiterhin größere Gasmengen insuffliert werden (10). Dies läßt sich bei Verwendung eines Überdruckinsufflators und subkutaner Fehllage jedoch nicht vermeiden. Größere Gasmengen können durch die leistungsstarken Insufflatoren problemlos fehlgeleitet werden. Im Gegensatz dazu läßt sich bei Einsatz eines Niederdruckinsufflators ein unangenehmes und potentiell gesundheitsgefährdendes Emphysem mit Sicherheit vermeiden.

Bei Inbetriebnahme des Niederdruckgerätes mit inkorrekt Lage der Veress-Nadel im Subkutangewebe kam es wiederum reproduzierbar zu dem regeltechnisch bedingten Peak, durch den keine Gasförderung initiiert wurde. Der im folgenden konstant bleibende Druck entsprach praktisch der vorgewählten Druckbegrenzung (Abweichungen systembedingt). Da der Gegendruck im Gewebe bereits über dieser Grenze lag, kam es zu keiner Gasfreisetzung. Die Anwendung des Niederdruckprinzips erfolgte verläßlich auch in vivo. Damit hat sich die theoretisch zu erwartende hohe Gerätesicherheit bestätigt.

Dies ist klinisch von bedeutendem Vorteil. Subkutane Fehlpunktionen sind, insbesondere durch unerfahrene Operateure, nicht immer auszuschließen. Die Ausbildung eines Emphysems kann jedoch in einem solchen Fall mit Sicherheit verhindert werden.

Ein weiterer positiver Sicherheitsaspekt ist die Umsetzung des Niederdruckprinzips in Form einer sogenannten „Schlauchwarnung“. Bei dem ersten Versuch ereignete sich nach ca. 30 s konstantem Insufflationsdruck eine akzidentelle Abknickung des Meß- und Insufflations Schlauches. Bei Obstruktion des Schlauches registriert das Niederdruckgerät, daß der Kompartimentdruck in der Meßleitung statt im Kompartiment abgenommen wird, da kein freier Gasfluß und damit keine Widerstandsmessung mehr möglich ist. Es erhöht den Insufflationsdruck kurzfristig um 2 mmHg („Meßhübe“), um zu verifizieren, daß kein Gasfluß stattfinden kann. Damit ist eine Blockierung im Schlauch bewiesen und das Gerät gibt infolgedessen Alarm.

Diese hohe Übereinstimmung von Insufflationsdruck und Druckbegrenzung, sowie das sichere Ausbleiben einer Gasinsufflation, konnte entsprechend der Definition des Überdruckprinzips von keinem der untersuchten Überdruckgeräte erreicht werden. Obwohl infolge der subkutanen Fehllage bereits ein hoher, über der vorgewählten Druckgrenze liegender Gegendruck bestand, erfolgte der Aufbau hoher Insufflationsdrücke, die teilweise mit einer artifiziellen Gasfreisetzung vergesellschaftet waren und zur Emphysembildung führten.

Während der Überdruckinsufflator 4 in Flowstufe 1 ein dem Niederdruckgerät vergleichbares Verhalten zeigte, kam es bei höheren Stufen regelhaft zu einer deutlichen Grenzdruckübersteigerung mit erheblicher Gasfreisetzung, ohne daß das Gerät Alarm gab. Nach der Insufflation auf Stufe 3 des Flowselectors bildete sich inguinal ein deutliches subkutanes Emphysem.

Ähnlich verhielt sich das Gerät 2. Nur erfolgte in Flowstufe 2 keine Gasförderung und es ertönte Alarm. Auch hier kam es zur Ausbildung eines deutlichen Emphysems.

Der Überdruckinsufflator 1 zeigte in Flowstufe 1 und 2 keine Druckübersteuerung. Es kam jedoch zu relativ geringem Gasfluß ohne Gerätealarm, wobei sich in Stufe 2 ein kleines Emphysem ausbildete. Bei der Insufflation auf Stufe 3 erfolgte nur eine minimale Gasfreisetzung bei nicht nachweisbarer Grenzdrucküberschreitung.

Die Insufflation mit dem Überdruckinsufflator 3 führte bereits in Stufe 1 des Flowselectors bei ständiger Druckübersteuerung mit akustischem Alarm zur Entstehung eines deutlichen Emphysems. Über das Verhalten im High-Flow-Modus ist keine verläßliche Aussage möglich. Bei einer Gesamtgasförderung von 3 l war klinisch kein Emphysem nachweisbar. Da kein offensichtliches Leck vorhanden war, besteht der dringende Verdacht auf eine Dislokation der Veress-Nadel mit akzidenteller Eröffnung anderer Räume, in die das Gas einfließen konnte.

Nach den In-vitro-Versuchen ließ sich vermuten, daß bei bestehendem hohem Kompartimentdruck (z.B. im Subkutangewebe) auch bei niedriger Kompartimentdruckbegrenzung eine Gasförderung von den Überdruckinsufflatoren nicht unterdrückt werden kann. Dies hat sich in vivo bestätigt. Bei subkutaner Fehllage war nur bei Niederdruckinsufflation die Vermeidung eines Emphysems möglich. Aufgrund des zugrunde liegenden physikalischen Prinzips (105) wurde ein pathologisch hoher Druck im Kompartiment entsprechend den Verhältnissen einer Obstruktion der Veress-Nadel erkannt und eine Gasförderung blieb aus. Nicht vermeidbar war die Ausbildung von Emphysemen bei der Überdruckinsufflation, da eine Unabhängigkeit von Insufflationsdruck und in dem Kompartiment herrschenden Druckverhältnissen bestand.

Da auch intravesikale Fehllagen nicht auszuschließen sind (84, 98), wurden hierzu ebenfalls vergleichende Messungen von Über- und Niederdruckgeräten angestellt. Die Erwartung, daß der vorgewählte Kompartimentdruck in dem kleineren Harnblasenvolumen wesentlich schneller und mit wesentlich geringeren Gasmengen erreicht wird als im Bauchraum, hat sich bestätigt. Prinzipiell zeigte sich ein analoger Verlauf zu der intraabdominellen Insufflation. Auch in der Blase kam es zu einer Pufferung selbst höchster Druckspitzen aufgrund der hohen Dehnbarkeit des Organs. Es erfolgte hier ebenfalls ein kontinuierlicher Anstieg des Kompartimentdruckes. Ebenso traten die beatmungsdruckinduzierten Schwankungen in Erscheinung.

Bei den Messungen mit dem Überdruckinsufflator 3 ereignete sich jeweils nach Erreichen des vorbestimmten intrakavitären Druckes ein langsamer, kontinuierlicher Druckabfall, einmal durch eine erneute Insufflationsdruckspitze unterbrochen. Dieser Verlauf ist vermutlich auf ein Gasleck zurückzuführen, ähnlich dem Fall bei intraabdomineller Insufflation. Am ehesten bestand eine Undichtigkeit an der Insertionsstelle. Zu diskutieren ist ebenfalls ein Gasverlust über möglicherweise poröse Silikonschläuche beziehungsweise das Entweichen von Gas über die durch den eingeführten Katheter nicht gänzlich abgeschlossene Harnröhre.

Auch bei intravesikaler Lage der Veress-Nadel kommt es zu einer nicht registrierten Fehlinsufflation.

Ein möglicher Hinweis zu der Erkennung einer intravesikalen Fehllage in Form eines rapide ansteigenden Insufflationsdruckes nach Insufflation kleiner Mengen Gas, wie ihn *Smith* beschreibt (98), konnte in unserer Untersuchung nicht nachvollzogen werden.

Bei einer Fehlinsufflation mit den Überdruckgeräten sind Folgen durch überhöhte Drücke und große CO₂-Mengen nicht auszuschließen.

In der Literatur sind Fehllagen der Veress-Kanüle in der Vena cava dokumentiert. Es wurde deshalb das Geräteverhalten im Vergleich von Über- und Niederdruckprinzip auch bei intravasaler Fehllage untersucht. Ein Vorwahldruck von 12 mmHg (16,3 cmH₂O) liegt präsumptiv über dem zentralen Venendruck (ZVD). Dadurch kann konsequenterweise eine Gasförderung bei intracavaler Fehllage nicht als gerätebedingt und damit auch nicht als technisches Sicherheitsrisiko bewertet werden. Das Insufflationsverhalten wurde daher bei einem den ZVD unterschreitenden Wert untersucht.

Auch unter diesen Bedingungen zeigte der Niederdruckinsufflator ein analoges Verhalten mit initialem Druckpeak und anschließender Einstellung eines konstanten Insufflationsdruckes bei 5 mmHg (6,8 cmH₂O). Hier wird ein relevanter Sicherheitsvorteil für den Niederdruckinsufflator deutlich. Liegt die vorgewählte Kompartimentdruckbegrenzung unterhalb des Druckes im Kompartiment, wird auch bei dieser Fehllage kein Gas mit potentiell letalen Folgen, insbesondere bei nicht erkannter Fehllage, gefördert.

Im Gegensatz dazu zeigten die nach dem Überdruckprinzip arbeitenden Insufflatoren erneut die vorbeschriebenen kräftigen Druckpeaks mit deutlicher Überschreitung der vorgegebenen Druckgrenze. Der Insufflationsdruck erwies sich auch hier unabhängig von der maximalen Kompartimentdruckbegrenzung. Durch diese Konstellation besteht bei jeder Höhe der Druckbegrenzung die Gefahr einer unkontrollierten Insufflation, da die Gasförderung von dem Insufflationsdruck abhängig ist. Hohe Insufflationsdrücke gehen meist mit einer deutlichen Gasfreisetzung einher. Um jeglichen Gasfluß und dessen Ausbreitung im Gefäßsystem exakt dokumentieren zu können, wurde in dieser Versuchsanordnung ein präkardialer Doppler eingesetzt. Klinisch relevant ist die Registrierung der entstehenden Gasemboli im Hinblick auf die potentiell resultierenden Folgen. In unserer Versuchsreihe kam es parallel zu den Druckpeaks jeweils auch zu ausgeprägten Gasförderungen, die dopplersonographisch verifiziert werden konnten. Mit Hilfe des präkardialen Dopplers ist bereits eine Registrierung von sehr kleinen Gasemboli (0,12-0,25 ml) möglich (76). Während die Überdruckinsufflatoren 1 und 4 nach initialem Druckpeak einen Abfall auf Werte um den Vorwahldruck zeigten, lag der Insufflationsdruck bei den Geräten 2 und 3 konstant darüber. Kurzfristige Druckabfälle nach Einstellung eines konstanten Insufflationsdruckes, wie sie bei dem Überdruckinsufflator 1 in Erscheinung traten, sind regeltechnisch bedingt und dienen der Messung des Gegendruckes im Gefäß. Zwar ist auch im „offenen System“ der Vena cava inferior davon auszugehen, daß sich auftretende Druckspitzen in gewisser Weise verlieren, entscheidend ist jedoch der damit verbundene Gasfluß, der zu einer potentiell letalen Gasembolie führen kann. Im Gegensatz zu den Geräten 2 und 3, kam es bei den Überdruckinsufflatoren 1 und 4 während der artifiziellen Gasförderung, trotz deutlich höherer Volumina, nicht zu einem akustischen Gerätealarm.

Aufgrund der analogen Gerätecharakteristik war bei längerer Versuchsdauer von einer fortgesetzten intravasalen Gasförderung auszugehen. Größere insufflierte Gasmengen wären klinisch relevant und ausschlaggebend für letale Gasembolien gewesen. Da nur eine begrenzte Zahl an Versuchstieren zur Verfügung stand, wurden die Versuche stets frühzeitig nach dem ersten Hub abgebrochen, um einen letalen Ausgang zu verhindern.

Die vier untersuchten Überdruckinsufflatoren lassen insgesamt ein sehr ähnliches Druck- und Gasförderverhalten erkennen. Bei diversen Flowstufen bzw. Lagen der Veress-Nadel erscheinen manche Geräte sicherer als die

Vergleichsgeräte, da hier eine akzidentelle Gasinsufflation unterbleibt. Das Verhalten war jedoch nicht reproduzierbar und erfolgte ohne erkennbare Gesetzmäßigkeit.

Bei der Fehlplatzierung der Veress-Kanüle in der Vena cava inferior, ließ sich bei allen vier Überdruckgeräten ein inadäquates und gefahrenträchtiges Verhalten nachweisen. Es herrschte ein von der maximalen Kompartimentdruckbegrenzung unabhängiger, hoher Insufflationsdruck. Bei keinem Gerät konnte die Fehlinsufflation verhindert werden. Außerdem zeigten die Geräte 2, 3 und 4 trotz dopplersonographisch sicher nachgewiesenem Gasfluß kein gefördertes Volumen an. Bereits auf Flowstufe 1 bei einer Druckgrenze unterhalb des ZVD wurden beträchtliche Mengen Gas in das Gefäßsystem insuffliert. Daraus resultiert eine potentielle Gefährdung eines Patienten, die sich bei nicht erkannter intravasaler Fehllage der Pneumoperitonealkanüle ergibt.

Bereits eine Dosis von 1-4 ml/kg CO₂ bei Insufflationsraten von 1-8 l/min nach *Mann et al.* (67) beziehungsweise 3-8 ml/kg nach *Coventry* (15) führt zu massiver Gasembolie mit schweren kollaptischen Zuständen. Diese Mengen entsprechen 70-560 ml bei einer 70 kg schweren Person. Die letale CO₂-Dosis beträgt 15-25 ml/kg (entsprechend einem Gesamtvolumen von 1050-1750 ml für einen 70 kg schweren Patienten) (76). Im Tierversuch liegt sie bei intrajugulärer CO₂-Applikation an Hunden von 33-40 kg bei nur 300-500 ml (25), was ca. 600-1000 ml bei einer Person mit 70 kg Körpergewicht entspricht. *Mayer et al.* fanden sogar eine Letalität von 60% der Versuchstiere bei einer Infusionsrate von 1,2 ml/kg/min. Das entspricht 84 ml/min bei einer 70 kg schweren Person. Bei einer niedrig gewählten Flußrate von 1,5 l/min (Flowselector Stufe 1) entspricht dieser Wert aber nur 5% des insufflierbaren Volumens pro Minute. Das bedeutet, daß bei unbemerkter Fehllage auch durch „low-flow“ Insufflation letale Komplikationen induzierbar sind, insbesondere bei Fehllage in der Vena cava (68). Unsere Untersuchung bestätigte dies mit einer Flußrate von 1 l/min bei intravasaler Fehllage der Veress-Nadel.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der In-vitro- und In-vivo-Versuchsreihe Folgendes.

Das in vitro demonstrierte Verhalten des Niederdruckinsufflators entspricht dem theoretischen physikalischen Prinzip und ist ohne Einschränkung auf das Tiermodell übertragbar. Die hohe Übereinstimmung von Insufflationsdruck und maximaler Druckbegrenzung gewährleistet größtmögliche Sicherheit, die von keinem der untersuchten Überdruckinsufflatoren erreicht werden konnte.

Die Überdruckgeräte zeigten prinzipiell vergleichbare Eigenschaften hinsichtlich des Druck- und Gasförderverhaltens in beiden Versuchsreihen. Der Unterschied bestand darin, daß im Tierversuch im Gegensatz zu dem In-vitro-Modell die Grenzdrucküberschreitungen in Form von Druckpeaks nicht so sehr zum Tragen kamen, da im Körper ein wesentlicher Teil davon abgepuffert wird. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß abgesehen von kleinen, nicht dämpfenden Kompartimenten, im Falle einer Fehllage der Veress-Kanüle nicht so sehr der Druck, sondern ein resultierender Gasfluß potentiell pathophysiologisch bedeutend ist. Diese artifizielle Gasförderung, unabhängig von Flowstufe und Kompartimentdruckbegrenzung war sowohl in vitro, als auch in vivo bei den Überdruckinsufflatoren reproduzierbar. Daraus resultiert ein potentielles Sicherheitsrisiko.

Nach den In-vitro-Untersuchungen lag die Vermutung nahe, daß bei einer Fehlplatzierung der Veress-Kanüle, vor allem in die Vena cava, Anlaß für eine potentiell letale Gasembolie besteht. Das konnte in vivo bestätigt werden. Eine absolut sichere intraabdominelle Lage ist daher bei Verwendung eines Überdruckinsufflators essentiell. Da diese exakte Lage insbesondere durch einen unerfahrenen Operateur jedoch nicht sichergestellt bzw. eine Fehlplatzierung nicht ausgeschlossen werden kann, sollte der Verwendung eines Niederdruckgerätes unbedingt der Vorzug gegeben werden. Im Falle einer tatsächlichen akzidentellen Fehlplatzierung der Veress-Nadel können damit potentiell letale Folgen vermieden werden.

Daneben ist es bedeutend, den Kompartimentdruck auf möglichst niedrigem Niveau zu halten, allerdings noch zufriedenstellende Sichtverhältnisse zu gewährleisten. Um schwerwiegende Komplikationen zu vermeiden, sollte das vorgewählte Druckmaximum 15 mmHg nicht überschreiten (5, 14, 25, 41). Andernfalls kann bei einer akzidentellen Gefäßverletzung durch die alleinige Aufrechterhaltung des Pneumoperitoneums eine CO₂-Embolie verursacht werden (5). Selbst bei Drücken von 12-15 mmHg kommt es bereits zum Eintreten von geringen Mengen Gas in das venöse System (25). *Ferzli et al.* fordern sogar eine Druckbegrenzung auf 10 mmHg, da nach ihrem Bericht bereits bei 15 mmHg unter anderem Pneumothoraces auftraten. Dagegen waren in einer Untersuchung von 50 Patienten, die sich einer laparoskopischen Operation bei einem intraabdominellen Druck von 10 mmHg unterzogen, keine Komplikationen zu verzeichnen (32).

Einem den entsprechend vorgewählten Grenzdruck überschreitenden Insufflationsdruck und einer damit vergesellschafteten unkontrollierten Gasinsufflation kommt insbesondere dann Bedeutung zu, wenn intraoperativ auch andere CO₂-freisetzende Quellen, wie z.B. der CO₂-Laser, zur Anwendung gelangen. In Addition zu einer zyklischen artifiziellen Gasfreisetzung, wie sie die untersuchten Überdruckinsufflatoren zeigten, besteht dadurch die Möglichkeit einer raschen und unbemerkten intraabdominellen Druckzunahme auf Werte, die mit einer erhöhten Komplikationsinzidenz vergesellschaftet sind (56). Der erhöhte Intraabdominaldruck kann zudem auch durch Zufuhr anderer Gase entstehen, wie zum Beispiel beim Einsatz des „argon beam“ Systems. Diese exzessiven Druckwerte können auch bedeutsam das Risiko einer auftretenden Gasembolie bei Gefäßverletzungen steigern, sei es durch Argon oder das CO₂ des Pneumoperitoneums selbst (17). Die Gefahr erhöhter intrakavitärer Druck-

werte ist besonders dann augenscheinlich, wenn sich der Operateur aufgrund einer nicht zuverlässig funktionierenden Druckanzeige dieses Umstandes nicht bewußt ist. Im Zuge dieser Konstellation kam es zum Beispiel zur Ausbildung eines ausgedehnten subkutanen Emphysems während eines laparoskopischen Eingriffs (4). *Koninckx* et al. haben das Problem überhöhter Kompartimentdrücke im Zusammenhang mit dem Einsatz von Lasern erkannt und daraufhin (in Anlehnung an das Niederdruckprinzip (105)) ein Gerät entwickelt, das diese Probleme verhindern hilft (57).

Zur Vermeidung von Komplikationen ist die Entwicklung und der Einsatz technisch intelligenter Systeme und deren einwandfreie Funktion essentiell.

Menschliches Versagen ist technisch nicht immer kompensierbar, was nicht ausschließlich durch geringe technische Qualität sondern vielmehr die zur Anwendung kommenden physikalischen Prinzipien bedingt ist (Überdruck versus Niederdruck). Ein nach dem Überdruckprinzip arbeitendes Gerät zeigt sich hinsichtlich auftretender Fehler wenig sensitiv.

Unsere Untersuchung bestätigt, daß die Komplikationsmöglichkeiten bei Einsatz eines Überdruckinsufflators deutlich höher liegen als mit einem Niederdruckgerät.

In der klinischen Routine werden überwiegend Überdruckinsufflatoren eingesetzt. Die Verwendung eines solchen Gerätes birgt, insbesondere in Kombination mit operationstaktischen und technischen Fehlern das Risiko einer potentiell letalen Gasembolie.

Sind von tödlichen CO₂-Embolien nur wenige Fälle beschrieben, traten doch eine ganze Reihe von kardiovaskulären Kollapszuständen und Herzstillständen nach solchen Embolien auf. Daneben fand sich eine noch größere Zahl nur gering ausgeprägter Embolien mit leichteren Alterationen der Körperfunktionen. Die CO₂-Embolie ist somit ein nicht seltenes Ereignis im Rahmen eines laparoskopischen Eingriffes. Die Möglichkeit des Auftretens dieser Komplikation sollte deshalb stets vom Operateur bedacht und im Auge behalten werden, um bei einem tatsächlichen embolischen Ereignis schnell und adäquat reagieren zu können. Gravierende Folgen können dadurch verhindert werden (76).

Im Vordergrund einer laparoskopischen Operation steht in jedem Fall, maximale Sicherheit für den Patienten zu gewährleisten. Das bedeutet von Beginn an, bei der Anlage und Aufrechterhaltung des Pneumoperitoneums potentielle Komplikationen zu vermeiden. In diesem Zusammenhang sollte, insbesondere durch weniger Erfahrene, der Auswahl des verwendeten CO₂-Insufflators größte Beachtung geschenkt und zum Beispiel bei einem höheren Risiko für das Auftreten einer Gasembolie auf ein nach dem Niederdruckprinzip arbeitendes Gerät, unter Ausnutzung dessen Vorteile, zurückgegriffen werden. Der Vorteil einer geringeren benötigten Zeit bis zum Aufbau und für den Erhalt des Pneumoperitoneums bei der Überdruckinsufflation, ist bei Verwendung des entsprechenden Instrumentariums für die Niederdruckinsufflation nahezu kompensierbar. Damit erfolgt der Aufbau des Pneumoperitoneums und der bei Verwendung eines Überdruckgeräts prompte CO₂-Ersatz bei intraoperativem Gasverlust auch durch den Niederdruckinsufflator in einem angemessenen zeitlichen Rahmen (72). Unter Berücksichtigung aller genannten Aspekte, ist die Insufflation mit einem Niederdruckgerät ein praktikables und sicheres Verfahren, das problemlos im klinischen Routinebetrieb angewendet werden kann und bevorzugt werden sollte.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Wurzeln der Laparoskopie reichen bis in die Zeit vor Christi Geburt zurück. Von ersten primitiven endoskopischen Ansätzen führte eine ständig fortschreitende Entwicklung über die Jahrhunderte zu den heute angewandten, technisch hochentwickelten Verfahren, die Einsatz in weiten Bereichen der Medizin finden.

Den immensen Vorteilen, die diese Technik bietet, steht eine Reihe von Nachteilen und Komplikationsmöglichkeiten gegenüber. Im Rahmen laparoskopischer Eingriffe können Probleme auftreten, die den offenen Operationsverfahren fremd sind. Insbesondere Komplikationen bei Anlage und Aufrechterhaltung des Pneumoperitoneums sind von Bedeutung. Augenscheinlich sind hier vor allem Emphyseme verschiedenster Körperregionen mit nachfolgender Beeinträchtigung physiologischer Parameter und das Auftreten von Gasembolien. Potentiell gerätebedingte Komplikationen sollten vermieden werden. Die technische Ausrüstung sollte helfen, auch Fehler des Operateurs zu erkennen und schlimmere Folgen zu verhindern. Eine einwandfreie Funktion der Insufflationsgeräte ist unabdingbare Voraussetzung für das Gelingen einer laparoskopischen Operation.

Ziel unserer Untersuchung war, Druckcharakter, Insufflationseigenschaften, sowie Reagibilität verschiedener Insufflatoren zu prüfen und aufzuzeigen, mit welcher Präzision diese Geräte hinsichtlich ihres Druck- und Gasförderverhaltens arbeiten. Dabei wurde vor allem dem Vergleich von nach dem Über- bzw. Niederdruckprinzip tätigen Insufflationsgeräten Beachtung geschenkt. Eine In-vitro-Versuchsreihe sollte zeigen, inwieweit die theoretischen Funktionsprinzipien bei Simulation intraoperativer Verhältnisse durch die Geräte umgesetzt werden. Es folgte eine Untersuchung unter verschiedenen Bedingungen im Tierversuch zur Klärung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den operativen Einsatz. Diese Bedingungen waren potentiellen realen Gegebenheiten während eines laparoskopischen Eingriffes nachempfunden. Regelrechte intraoperative Vorgänge (Lage der Veress-Kanüle im Bauchraum) wurden den Insufflatoren ebenso wie provozierte Fehlsituationen (Lage in Subkutangewebe, Blase und Vena cava) dargeboten und deren Reaktion beobachtet.

Da gerade Fehllagen der Veress-Nadel, nach akzidenteller Punktion anderer Kompartimente als der Bauchhöhle wie zum Beispiel des Unterhautgewebes oder großer Gefäße, mit einer erhöhten Komplikationsrate vergesellschaftet sind, sollte die Frage geklärt werden, ob die Insufflatoren über ausreichend Möglichkeiten zu der Fehlererkennung verfügen und ob artifizielle Gasfreisetzungen sowie Überdrücke vermeidbar sind.

Die nach dem Niederdruckprinzip arbeitenden Geräte bieten eine an die aktuellen Druckverhältnisse angepasste, kontinuierliche Gasförderung ohne ein Überschreiten vorgegebener Druckgrenzen. Bei niedriger Druckvorwahl können somit, selbst bei intravasaler Fehllage, sicher Komplikationen vermieden werden, da keine artifizielle Gasfreisetzung erfolgt. Dagegen ist es bei den eingesetzten Überdruckinsufflatoren prinzipbedingt nicht möglich, Grenzdrucküberschreitungen und ausgeprägte Gasfehlinufflationen zu unterdrücken und damit mögliche Komplikationen wie subkutane Emphyseme oder potentiell letale Gasembolien zu verhindern.

Das potentielle Risiko der Überdruckinsufflation sollte bei dem Einsatz eines entsprechenden Gerätes stets beachtet werden. Bei einem erhöhten Risiko für das Auftreten möglicher Komplikationen wie zum Beispiel Gasembolien, ist insbesondere laparoskopisch weniger erfahrenen Operateuren zu empfehlen, einem nach dem Niederdruckprinzip arbeitenden Insufflationsgerät den Vorzug zu geben.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. Amos JD, Schorr SJ, Norman PF, Poole GV, Thomae KR, Thompson Mancino A, Hall TJ, Scott-Conner CEH: Laparoscopic surgery during pregnancy. *Am J Surg* 1996; 171: 435-437
2. Arregui ME, Fitzgibbons RJ Jr., Katkhouda N, McKernan JB, Reich H (eds.): Principles of laparoscopic surgery: basic and advanced techniques. Springer; New York, Berlin, Heidelberg; 1995
3. Azziz R: Advantages and disadvantages of operative endoscopy. In: Azziz R, Alvarez Murphy A (eds.): Practical manual of operative laparoscopy and hysteroscopy. Springer; New York, Berlin, Heidelberg; 1992; 1-6
4. Bard PA, Chen L: Subcutaneous emphysema associated with laparoscopy. *Anesth Analg* 1990; 71: 101-102
5. Bazin JE, Gillart T, Rasson P, Conio N, Aigouy L, Schoeffler P: Haemodynamic conditions enhancing gas embolism after venous injury during laparoscopy: a study in pigs. *Br J Anaesth* 1997; 78: 570-575
6. Beck DH, McQuillan PJ: Fatal carbon dioxide embolism and severe haemorrhage during laparoscopic salpingectomy. *Br J Anaesth* 1994; 72: 243-245
7. Berci G: Pneumoperitoneum. In: Phillips EH, Rosenthal RJ (eds.): Operative strategies in laparoscopic surgery. Springer; Berlin, Heidelberg; 1995; 13-18
8. Borten M, Walsh AK, Friedman EA: Variations in gas flow of laparoscopic insufflators. *Obstet Gynecol* 1986; 68: 522-526
9. Brantley JC 3^d, Riley PM: Cardiovascular collapse during laparoscopy: a report of two cases. *Am J Obstet Gynecol* 1988; 159: 735-737
10. Brühl W: Zwischenfälle und Komplikationen bei der Laparoskopie und gezielten Leberpunktion – Ergebnis einer Umfrage. *Dtsch Med Wochenschr* 1966; 51: 2297-2299
11. Cali RW: Laparoscopy. *Surg Clin North Am* 1980; 60: 407-424
12. Cooperman AM: Complications of laparoscopic surgery. In: Arregui ME, Fitzgibbons RJ Jr., Katkhouda N, McKernan JB, Reich H (eds.): Principles of laparoscopic surgery: basic and advanced techniques. Springer; New York, Berlin, Heidelberg; 1995; 71-77
13. Cortesi N, Ferrari P, Zambarda E, Manenti A, Baldini A, Pignatti Morano F: Diagnosis of bilateral abdominal cryptorchidism by laparoscopy. *Endoscopy* 1976; 8: 33-34
14. Cottin V, Delafosse B, Viale JP: Gas embolism during laparoscopy: a report of seven cases in patients with previous abdominal surgical history. *Surg Endosc* 1996; 10: 166-169
15. Coventry DM: Anaesthesia for laparoscopic surgery. *J R Coll Surg Edinb* 1995; 40: 151-160
16. Crist DW, Gadacz TR: Complications of laparoscopic surgery. *Surg Clin North Am* 1993; 73: 265-289
17. Croce E, Azzola M, Russo R, Golia M, Angelini S, Olmi S: Laparoscopic liver tumour resection with the argon beam. *Endosc Surg Allied Technol* 1994; 2: 186-188
18. Cuschieri A: Whither minimal access surgery: tribulations and expectations. *Am J Surg* 1995; 169: 9-19
19. Cuschieri A, Buess G: Definition und Spektrum der endoskopischen Chirurgie. In: Bueß G, Cuschieri A, Perissat J (Hrsg.): Operationslehre der Endoskopischen Chirurgie. Band 1; Springer; Berlin, Heidelberg, New York; 1994; 9-14
20. Damewood MD: History of the development of gynecologic endoscopic surgery. In: Azziz R, Alvarez Murphy A (eds.): Practical manual of operative laparoscopy and hysteroscopy. Springer; New York, Berlin, Heidelberg; 1992; 7-14

21. Davis CJ, Filipi CJ: A history of endoscopic surgery. In: Arregui ME, Fitzgibbons RJ Jr., Katkhouda N, McKernan JB, Reich H (eds.): Principles of laparoscopic surgery: basic and advanced techniques. Springer; New York, Berlin, Heidelberg; 1995; 3-20
22. Delaitre B, Testas P, Dubois F, Mouret P, Nouaille JM, Suc B, Collet D: Complications des cholecystectomies par voie coelioscopique. A propos de 6512 observations. *Chirurgie* 1992; 118: 92-99
23. Derrien P, Lavenac G, Chaillou M, Lebois E, Milon D, Mambrini A: Embolie gazeuse lors d'une laparoscopie pour cholecystectomie. *Cah Anesthesiol* 1996; 44: 215-218
24. Deutsches Patentamt: Offenlegungsschrift DE 42 40 758 A 1. Bundesrepublik Deutschland; 1993
25. Dion YM, Levesque C, Doillon CJ: Experimental carbon dioxide pulmonary embolization after vena cava laceration under pneumoperitoneum. *Surg Endosc* 1995; 9: 1065-1069
26. D'Ugo D, Cosmo G De, Primieri P, Coppola R, Picciocchi A: Why gasless? Physiopathologic disadvantages of CO₂ insufflation. In: Paolucci V, Schaeff B (eds.): Gasless laparoscopy in general surgery and gynecology: diagnostic and operative procedures. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1996; 12-21
27. Eleftheriadis E, Kotzampassi K, Botsios D, Tzartinoglou E, Farmakis H, Dadoukis J: Splanchnic ischemia during laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 1996; 10: 324-326
28. Evans RM, Hulbert JC, Reddy PK: Complications of laparoscopy. *Semin Urol* 1992; 10: 164-168
29. Fahlenkamp D, Coptcoat MJ: Komplikationen laparoskopischer Eingriffe. In: Rassweiler J, Janetschek G, Griffith DP (Hrsg.): Laparoskopische Chirurgie in der Urologie. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1995; 100-107
30. Felber AR, Blobner M, Weigl EM, Gögler S, Feussner H, Jelen-Esselborn S: Komplikationen bei laparoskopischen Cholezystektomien unter CO₂-Pneumoperitoneum – Erfahrungen bei 100 Eingriffen aus der Sicht des Anästhesisten. *Laparo-endosk Chir* 1992; 1: 69-76
31. Fervers C: Die Laparoskopie mit dem Cystoskop. Ein Beitrag zur Vereinfachung der Technik und zur endoskopischen Strangdurchtrennung in der Bauchhöhle. *Med Klin* 1933; 29: 1042-1045
32. Ferzli GS, Kiel T, Hurwitz JB, Davidson P, Piperno B, Fiorillo MA, Hayek NE, Riina LLH, Sayad P: Pneumothorax as a complication of laparoscopic inguinal hernia repair. *Surg Endosc* 1997; 11: 152-153
33. Gaskin TA, Isobe JH, Mathews JL, Winchester SB, Smith RJ: Laparoscopy and the general surgeon. *Surg Clin North Am* 1991; 71: 1085-1097
34. Geers J, Holden C: Major vascular injury as a complication of laparoscopic surgery: a report of three cases and review of the literature. *Am Surg* 1996; 62: 377-379
35. Goetze O: Die Röntgendiagnostik bei gasgefüllter Bauchhöhle; eine neue Methode. *Münch Med Wschr* 1918; 65: 1275-1280
36. Gomella LG, Strup SE: History of laparoscopy: urology's perspective. *J Endourol* 1993; 7: 1-5
37. Gordon AG, Lewis BV: Gynecological Endoscopy. J.B. Lippincott; Philadelphia; / Gower Medical Publishing; London, New York; 1988
38. Gordon AG, Magos AL: The development of laparoscopic surgery. *Baillieres Clin Obstet Gynaecol* 1989; 3: 429-449
39. Griffith DP, Wong HY: Die Geschichte der Endoskopie und Laparoskopie. In: Rassweiler J, Janetschek G, Griffith DP (Hrsg.): Laparoskopische Chirurgie in der Urologie. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1995; 2-10
40. Hanney RM, Alle KM, Cregan PC: Major vascular injury and laparoscopy. *Aust N Z J Surg* 1995; 65: 533-535

41. Hasel R, Arora SK, Hickey DR: Intraoperative complications of laparoscopic cholecystectomy. *Can J Anaesth* 1993; 40: 459-464
42. Herendael B van, Bettocchi S, Kiswani L, Wallwiener D, Rimbach S: Operative gynäkologische Endoskopie = Endoscopic gynecologic surgery. Schattauer; Stuttgart, New York; 1996
43. Herschlein HJ: Gynäkologie. In: Durst J, Rohen JW (Hrsg.): Chirurgische Operationslehre in einem Band; mit topographischer Anatomie. 2.Aufl.; Schattauer; Stuttgart, New York; 1996; 673-685
44. Hill DJ: Complications of the laparoscopic approach. *Baillieres Clin Obstet Gynaecol* 1994; 8: 865-879
45. Hureau J, Vayre P, Chapuis Y, Germain MA, Jost JL, Murat J, Spay G: Le risque en coeliochirurgie. 100 dossiers d'accidents. Etude qualitative. *Chirurgie* 1996; 121: 1-8
46. Inada T, Uesugi F, Kawachi S, Takubo K: Changes in tracheal tube position during laparoscopic cholecystectomy. *Anaesthesia* 1996; 51: 823-826
47. Iwama H, Nakane M, Aoki K, Watanabe K, Komatsu T, Kaneko T: Abdominal insufflation pressure during laparoscopic cholecystectomy shifts the tracheal carina cephalad. *Anesthesiology* 1996; 84: 491-492
48. Jacobaeus HC: Ueber die Möglichkeit die Zystoskopie bei Untersuchung seröser Höhlungen anzuwenden. *Münch Med Wschr* 1910; 57: 2090-2092
49. Jacobi CA, Sabat R, Bohm B, Zieren HU, Volk HD, Müller JM: Pneumoperitoneum with carbon dioxide stimulates growth of malignant colonic cells. *Surgery* 1997; 121: 72-78
50. Jones DB, Guo LW, Reinhard MK, Soper NJ, Philpott GW, Connett J, Fleshman JW: Impact of pneumoperitoneum on trocar site implantation of colon cancer in hamster model. *Dis Colon Rectum* 1995; 38: 1182-1188
51. Kehlet H, Moesgaard F: Prophylaxis against postoperative complications in gastroenterology. *Scand J Gastroenterol Suppl* 1996; 216: 218-224
52. Kelling G: Die Tamponade der Bauchhöhle mit Luft zur Stillung lebensgefährlicher Intestinalblutungen. *Münch Med Wschr* 1901; 48: 1480-1483+1535-1538
53. Kelling G: Über Oesophagoskopie, Gastroskopie und Kōlioskopie. *Münch Med Wschr* 1902; 49: 21-24
54. Kettler D: Anästhesie bei video-laparoskopischer und -thorakoskopischer Chirurgie. In: Kremer K, Lierse W, Platzer W, Schreiber HW, Weller S (Hrsg.): Chirurgische Operationslehre in 10 Bänden; Band 7, Teil 2: Minimal-invasive Chirurgie. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1995; 6-12
55. Khan AU, Pandya K, Clifton MA: Near fatal gas embolism during laparoscopic cholecystectomy. *Ann R Coll Surg Engl* 1995; 77: 67-68
56. Klingler P, Zhou H, Schwab G, Bodner E: Subcutanes Gasemphysem als intraoperative Komplikation bei der laparoskopischen Laser-Cholecystektomie. *Chirurg* 1992; 63: 761-762
57. Koninckx PR, Vandermeersch E: The persufflator: an insufflation device for laparoscopy and especially for CO₂-laser-endoscopic surgery. *Hum Reprod* 1991; 6: 1288-1290
58. Korell M, Schmaus F, Strowitzki T, Schneeweiss SG, Hepp H: Pain intensity following laparoscopy. *Surg Laparosc Endosc* 1996; 6: 375-379
59. Kremer K, Lierse W, Platzer W, Schreiber HW, Weller S (Hrsg.): Chirurgische Operationslehre in 10 Bänden; Band 7, Teil 2: Minimal-invasive Chirurgie. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1995
60. Kroh U, Wunsch M, Lennartz H: Doppelseitiger Pneumothorax nach Laparoskopie. *Anästh Intensivther Notfallmed* 1984; 19: 258-260
61. Lantz PE, Smith JD: Fatal carbon dioxide embolism complicating attempted laparoscopic cholecystectomy – case report and literature review. *J Forensic Sci* 1994; 39: 1468-1480

62. Levy BS: Complications. In: Sanfilippo JS, Levine RL (eds.): Operative gynecologic endoscopy. 2nd ed.; Springer; New York, Berlin, Heidelberg; 1996; 380-390
63. Lignitz E, Puschel K, Saukko P, Koops E, Mattig W: Iatrogene Blutungskomplikationen bei gynäkologischen Laparoskopien – Bericht über zwei Fälle mit tödlichem Verlauf. *Z Rechtsmed* 1985; 95: 297-306
64. Litynski G, Paolucci V: The long way of laparoscopy and pneumoperitoneum – always together? In: Paolucci V, Schaeff B (eds.): Gasless laparoscopy in general surgery and gynecology: diagnostic and operative procedures. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1996; 2-11
65. Litynski G, Schaeff B, Paolucci V: Zum 100. Geburtstag von Heinz Kalk. Der Durchbruch der Laparoskopie. *Z Gastroenterol* 1995; 33: 594-597
66. Manger T, Fahlke J, Settmacher U, Zanow J, Lippert H: Komplikationen bei 1000 laparoskopischen Eingriffen. *Min Invas Chir* 1994; 2: 64-80
67. Mann C, Boccarda G, Fabre JM, Grevy V, Colson P: The detection of carbon dioxide embolism during laparoscopy in pigs: a comparison of transesophageal Doppler and end-tidal carbon dioxide monitoring. *Acta Anaesthesiol Scand* 1997; 41: 281-286
68. Mayer KL, Ho HS, Mathiesen KA, Wolfe BM: Cardiopulmonary responses to experimental venous carbon dioxide embolism. *Surg Endosc* 1998; 12: 1025-1030
69. McDougall EM, Clayman RV: Advances in laparoscopic urology Part I. History and development of procedures. *Urology* 1994; 43: 420-426
70. McKenzie R: Laparoscopy. *N Z Med J* 1971; 74: 87-91
71. McKernan JB, Champion JK: Access techniques: Veress needle – initial blind trocar insertion versus open laparoscopy with the Hasson trocar. *Endosc Surg Allied Technol* 1995; 3: 35-38
72. Meyer E: Persönliche Mitteilung 1997
73. Miller K: Laparoskopische Operationen an urologischen Kliniken – Ergebnisse einer Umfrage. *Urologe A* 1996; 35: 223-225
74. Motew M, Ivankovich AD, Bieniarz J, Albrecht RF, Zahed B, Scommegna A: Cardiovascular effects and acid-base and blood gas changes during laparoscopy. *Am J Obstet Gynecol* 1973; 115: 1002-1012
75. Mouiel J, Crafa F, Cursio R, Gugenheim J: Oncological risks in laparoscopic surgery. In: Paolucci V, Schaeff B (eds.): Gasless laparoscopy in general surgery and gynecology: diagnostic and operative procedures. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1996; 24-29
76. Nichols SL, Tompkins BM, Henderson PA: Probable carbon dioxide embolism during laparoscopy; case report. *Wis Med J* 1981; 80: 27-29
77. Nordestgaard AG, Bodily KC, Osborne RW Jr., Buttorff JD: Major vascular injuries during laparoscopic procedures. *Am J Surg* 1995; 169: 543-545
78. Oshinsky GS, Smith AD: Laparoscopic needles and trocars: an overview of designs and complications. *J Laparoendosc Surg* 1992; 2: 117-125
79. Ozkara H, Watson LR: Laparoscopic surgery in urology. *Int Urol Nephrol* 1992; 24: 461-464
80. Pascual JB, Baranda MM, Tarrero MT, Gutierrez FM, Garrido IM, Errasti CA: Subcutaneous emphysema, pneumomediastinum, bilateral pneumothorax and pneumopericardium after laparoscopy. *Endoscopy* 1990; 22: 59
81. Patel MI, Hardman DT, Nicholls D, Fisher CM, Appleberg M: The incidence of deep venous thrombosis after laparoscopic cholecystectomy. *Med J Aust* 1996; 164: 652-654, 656

82. Peterson HB, Greenspan JR, Ory HW: Death following puncture of the aorta during laparoscopic sterilization. *Obstet Gynecol* 1982; 59: 133-134
83. Phillips EH, Rosenthal RJ (eds.): *Operative strategies in laparoscopic surgery*. Springer; Berlin, Heidelberg; 1995
84. Pier A, Götz F: Anlage des Pneumoperitoneums. In: Kremer K, Lierse W, Platzer W, Schreiber HW, Weller S (Hrsg.): *Chirurgische Operationslehre in 10 Bänden; Band 7, Teil 2: Minimal-invasive Chirurgie*. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1995; 35-41
85. Pier A, Götz F: Einbringen der Trokare. In: Kremer K, Lierse W, Platzer W, Schreiber HW, Weller S (Hrsg.): *Chirurgische Operationslehre in 10 Bänden; Band 7, Teil 2: Minimal-invasive Chirurgie*. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1995; 42-53
86. Ramirez OM, Daniel RK (eds.): *Endoscopic plastic surgery*. Springer; New York, Berlin, Heidelberg; 1996
87. Rassweiler J, Janetschek G, Griffith DP (Hrsg.): *Laparoskopische Chirurgie in der Urologie*. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1995
88. Root B, Levy MN, Pollack S, Lubert M, Pathak K: Gas embolism death after laparoscopy delayed by "trapping" in portal circulation. *Anesth Analg* 1978; 57: 232-237
89. Sackier JM: Laparoscopy in the emergency setting. *World J Surg* 1992; 16: 1083-1088
90. Schier F: Minimal-invasive Chirurgie im Kindesalter. *Chirurg* 1996; 67: 593-603
91. Schippers E: Komplikationen und deren Vermeidung bei laparoskopischen Eingriffen. In: MIC Davos - 7. Laparoskopischer Trainingskurs, Davos 1996 – Abstracts. W. Zuckschwerdt; München; 1996; 20
92. Schulte-Steinberg H, Meyer G, Forst H: Sind Risikopatienten zur minimal-invasiven Operation mit CO₂-Pneumoperitoneum geeignet? Betrachtung aus anaesthesiologischer Sicht. *Chirurg* 1996; 67: 72-76
93. See WA, Cooper CS, Fisher RJ: Predictors of laparoscopic complications after formal training in laparoscopic surgery. *JAMA* 1993; 270: 2689-2692
94. Semm K: Die Automatisierung des Pneumoperitoneums für die endoskopische Abdominalchirurgie. *Arch Gynecol* 1981; 232: 738-739
95. Semm K: *Operationslehre für endoskopische Abdominal-Chirurgie: operative Pelviskopie, operative Laparoskopie*. Schattauer; Stuttgart, New York; 1984
96. Shifren JL, Adlestein L, Finkler NJ: Asystolic cardiac arrest: a rare complication of laparoscopy. *Obstet Gynecol* 1992; 79: 840-841
97. Shulman D, Aronson HB: Capnography in the early diagnosis of carbon dioxide embolism during laparoscopy. *Can Anaesth Soc J* 1984; 31: 455-459
98. Smith S: Complications of laparoscopic and hysteroscopic surgery. In: Azziz R, Alvarez Murphy A (eds.): *Practical manual of operative laparoscopy and hysteroscopy*. Springer; New York, Berlin, Heidelberg; 1992; 199-215
99. Soutoul JH, Pierre F: Les risques medico-legaux de la coelioscopie. Analyse de 32 dossiers de complications. *J Gynecol Obstet Biol Reprod Paris* 1988; 17: 439-451
100. Swide CE, Nyberg PF: Cardiac trauma: an unusual cause of dysrhythmias and electrocardiographic changes during laparoscopic Nissen fundoplication. *Anesthesiology* 1996; 85: 209-211
101. Taylessani C, Muth K, Niebuhr H, Rückert K: Führt das Pneumoperitoneum bei laparoskopischen Eingriffen zur zusätzlichen Belastung des älteren Patienten? *Langenbecks Arch Chir Suppl Kongreßbd* 1997; 114: 1108-1110

102. Torres Maczassek A, Hanisch E: Pneumoperitoneum – associated complications during laparoscopy. In: Paolucci V, Schaeff B (eds.): Gasless laparoscopy in general surgery and gynecology: diagnostic and operative procedures. Georg Thieme; Stuttgart, New York; 1996; 21-23
103. Troidl H, Gaitzsch A, Winkler-Wilfurth A, Müller W: Fehler und Gefahren bei der laparoskopischen Appendektomie. Chirurg 1993; 64: 212-220
104. Veress J: Neues Instrument zur Ausführung von Brust- oder Bauchpunktionen und Pneumothoraxbehandlung. Dtsch Med Wochenschr 1938; 64: 1480-1481
105. World Intellectual Property Organization: International Patent Classification: A61M 13/00, A61B 1/12, 17/36, International Publication Number: WO 89/04188, Title: Gas insufflation system for use in endoscopy and a surgical endoscope therefor. 1989
106. Wu JS, Brasfield EB, Guo LW, Ruiz M, Connett JM, Philpott GW, Jones DB, Fleshman JW: Implantation of colon cancer at trocar sites is increased by low pressure pneumoperitoneum. Surgery 1997; 122: 1-7

7. DANKSAGUNG

In der Freude und der Zufriedenheit über die Fertigstellung einer solchen Arbeit, gerät der Beitrag derjenigen, die – wenn auch nach außen nicht ohne weiteres sichtbar – wesentlich an der Gestaltung der Dissertation mitgewirkt haben, allzu leicht in Vergessenheit. Ihnen gebührt an dieser Stelle mein Dank.

Herrn Univ. Prof. Dr. med. Dr. h. c. A. Hofstetter danke ich für die Überlassung des Themas.

Besonders möchte ich mich bei Herrn Dr. med. M. Zellner für sein Engagement und die umfassende Betreuung bedanken.

Ebenso gilt mein Dank Herrn E. Meyer, der mir technische Details der Insufflationsgeräte erläuterte.

Die Tierexperimente wurden im Tierversuchslabor – Laparoskopie der Universität Straßburg / Frankreich durchgeführt. Dem Leiter, Herrn Prof. Dr. M. Dimunch, Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe danke ich für die Genehmigung der Versuche und die Bereitstellung der Einrichtung. Für die Durchführung der Experimente möchte ich Herrn Dr. med. M. Zellner und Herrn PD Dr. med. Korell danken, ebenso Herrn W. Marquardt, Herrn E. Meyer und Herrn J. Rumpel.

Herrn Dr. med. A. Buchner danke ich herzlich für die geduldige Mithilfe bei der Gestaltung des Layouts.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Familie und einigen guten Freunden danken, die mir nicht nur bei der Textverarbeitung mit Rat und Tat zur Seite standen, sondern mir während der gesamten Bearbeitungszeit ihre psychologische Unterstützung zukommen ließen.

8. LEBENS LAUF

Erler, Marion Michaela,

geboren am 16. 01. 1973 in Kulmbach als Tochter von Walter Erler und Gertrud Erler, geb. Bachl

1979 – 1981:	Pestalozzi-Grundschule, Weiden i.d.Opf.
1981 – 1983:	Grundschule Luhe-Wildenau
1983 – 1992:	Elly-Heuss-Gymnasium, Weiden i.d.Opf.
07/1992:	Abitur
10/1992 – 09/1994:	Studium der Humanmedizin an der Universität Regensburg, vorklinischer Studienabschnitt
13.09.1994:	Ärztliche Vorprüfung in Regensburg
10/1994 – 03/1998:	Studium der Humanmedizin an der Technischen Universität München, klinischer Studienabschnitt
29.08.1995:	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung in München
08-09/1996:	Famulatur (Allgemeinchirurgie) an der University of Sydney, Australien
01.04.1998:	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung in München
04/1998 – 03/1999:	Praktisches Jahr an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Wahlfach Urologie
08.06.1999:	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung in München
07/1999 – 12/2000:	Tätigkeit als Ärztin im Praktikum in der Klinik für Allgemein-, Gefäß- und Thoraxchirurgie, Klinikum Rosenheim
01/2001:	Beginn der Tätigkeit als Assistenzärztin an dem Institut für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Klinikum Rosenheim