

Aus dem Institut für Klinische Radiologie
des Universitätsklinikums Großhadern
der Ludwig Maximilians Universität München.

Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. Maximilian Reiser

**Computertomographische Untersuchung des Dickdarmes Die
Virtuelle Koloskopie**

**Grundlagen der Durchführbarkeit, Vergleich der
Untersuchungstechniken axialer Schichtung, MPR Schichtung
und Volume Rendering mit dem Goldstandard der
konventionellen Koloskopie**

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

Vorgelegt von

Oliver Hans Eisele

aus

Wolfratshausen

2008

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Ludwigs Maximilians Universität München**

Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. Maximilian F. Reiser

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Andreas Eigler

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Anno Graser

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 10.07.2008

1.	ZUSAMMENFASSUNG	5
1.1.	Einleitung Computertomographische Untersuchung des Dickdarmes	6
1.1.1	Ziele der Arbeit	7
1.1.1.1	Hauptziel	7
1.1.1.2	Nebenziele	7
2.	MATERIAL UND METHODIK DER VIRTUELLEN KOLOSKOPIE	8
2.1	Angaben zum Patientengut	8
2.2	Das Organsystem und seine Pathologien	8
2.2.1	Anatomie und Topographie des Colons	8
2.2.2	Nicht maligne Erkrankungen des Colons	15
2.2.2.1	Kongenitale und erworbene Lageabnormalitäten	15
2.2.2.2	Volvulus	15
2.2.2.3	Hernien	15
2.2.2.4	Divertikulose und Divertikulitis	15
2.2.2.5	Colitis Ulcerosa	16
2.2.2.6	Morbus Crohn	18
2.2.3	Maligne Erkrankungen des Colons	19
2.2.3.1	Polyen und gutartige und semimaligne kolorektale Tumoren	19
2.2.3.2	Neoplastische Polypen (Adenome)	20
2.2.3.3	Maligne Entartung	22
2.2.3.4	Familiäre Polyposis Coli	23
2.2.3.5	Colon-Rektum-Karzinom	25
2.3	Die Computertomographie	29
2.3.1	Grundlagen eines Computertomographen	29
2.3.2	Akquisition	30
2.3.3	Schichtkollimation	30
2.3.4	Schichtdicke	31
2.3.5	Bildrekonstruktion der Rohdaten	31
2.3.6	Partialvolumeneffekt	33
2.3.7	Bilddarstellung	34
2.4	Bildnachverarbeitung	36
2.4.1	Zweidimensionale und dreidimensionale Bildverarbeitung	36
2.4.2	Axiale Schichtbilder	37
2.4.3	Multiplanare Rekonstruktion (MPR)	37
2.4.4	Maximum Intensitätsprojektion (MIP), Minimum Intensitätsprojektion (mIP)	38
2.4.5	Dreidimensionale Oberflächenrekonstruktion Shaded Surface	39
2.4.6	Dreidimensionale Oberflächenrekonstruktion Volume Rendering	40
2.5	Darstellung der virtuellen Koloskopie	43
2.5.1	Kolonographie mittels axialer Darstellung	43
2.5.2	Kolonographie mittels MPR-Darstellung	43
2.5.3	Endoluminale Darstellung als Abwandlung der Volume-Rendering-Technik	44
2.5.4	Extraluminale Darstellung als Abwandlung der Volume-Rendering-Technik	44
2.6	Patientenvorbereitung und Untersuchung der virtuellen Koloskopie	45

2.6.1	Grundlegende Schritte vor der Untersuchung eines Patienten	45
2.6.2	Reinigung des Colons	46
2.6.3	Akquisitionsparameter	46
2.6.4	Kontrastmittel enteral und parenteral	47
2.6.5	Durchführung der Untersuchung	50
2.7	Auswertungsprotokolle	51
2.7.1	„Goldstandard“ konventionelle Koloskopie	51
2.7.2	Axiale Schichtung	52
2.7.3	MPR	52
2.7.4	Endoluminaler Blick	52
2.7.5	Volume Rendering, Prinzip der extraluminalen Darstellung	52
2.7.6	Vergleich der virtuellen Koloskopie mit dem Goldstandard	52
2.7.7	Vergleich der virtuellen Koloskopie mit dem Operationsbericht	53
2.8	Statistik	53
3.	RESULTATE	54
3.1	Resultate der axialen Schnitte	56
3.2	Resultate der MPR-Betrachtung	59
3.3	Resultate der endoluminalen Betrachtung	65
3.4	Resultate des Volume Renderings in Durchschnitttechnik	68
4.	DISKUSSION	72
4.1	Einschlusskriterien	72
4.2	Strahlenbelastung des Patienten	72
4.3	Nachbearbeitungssoftware	73
4.4	Patientencompliance und Invasivität der Untersuchung	73
4.5	Schwächen des Goldstandards und der Vergleichsmöglichkeit	74
4.6	Nachteile bei der virtuellen Darstellung	74
4.7	Resümee	75
5.	DANKSAGUNG	80
6.	LITERATURVERZEICHNIS	81

1. Zusammenfassung

In der hier vorliegenden Arbeit wird die Wertigkeit der Computertomographie in der Bildgebung des Kolonkarzinomes und dessen Vorläufer untersucht. Es werden zwei Fragestellungen oder Ziele untersucht und herausgearbeitet. Einmal ob sich die computertomographische Untersuchung des Colons prinzipiell als mögliche Screening Untersuchung eignet. Andererseits sollten die einzelnen Nachbetrachtungsverfahren bezüglich Ihrer Sensitivität und Spezifität miteinander verglichen und so das effektivste Verfahren herausgearbeitet werden. Nebenher sollte mittels vorliegender Studie das Verfahren der virtuellen Koloskopie an dem Universitätsklinikum Großhadern etabliert werden.

In der Lokalisationsdiagnostik erlaubt die computertomographische Untersuchung des Colons bei strikter Vorbereitung und Einhaltung technischer Besonderheiten eine sichere Detektion von intraluminalen Raumforderungen, sogenannten Polypen, die dem Kolonkarzinom als Vorläufer dienen. In, von Ihrer Größe relevanten Strukturen, erscheint die virtuelle Koloskopie der konventionellen ebenbürtig. in kleinen bis kleinsten Strukturen erscheint die virtuelle Koloskopie gegenüber der konventionellen Koloskopie, zumindest hinsichtlich der Sensitivität, einen Vorteil aufzuweisen.

Die Ergebnisse der computertomographischen Untersuchung der 47 Patienten, bestehend aus axialer Untersuchung, MPR-Untersuchung, endoluminaler Untersuchung und extraluminaler Untersuchung wurden mit dem Goldstandard der konventionellen Koloskopie verglichen. Bezüglich der Untersuchung lag eine Doppelblinduntersuchung vor.

Es wurden nach Auftragen der Ergebnisse in die Vier Felder Tafel Sensitivität und Spezifität der einzelnen Subtypen der computertomographischen Untersuchung, axialer Untersuchung, MPR-Untersuchung, endoluminaler Untersuchung und extraluminaler „Clip Plane“-Untersuchung ermittelt.

Im Vergleich der Untersuchungen zeigte sich, das die rein axiale Betrachtung keine ausreichenden Sensitivität zur Detektion von intraluminalen Raumforderungen erbrachte. Die MPR-Untersuchungen zeigten eine zunehmende Sensitivität für intraluminale Raumforderungen mit Abnahme der Schichtdicke. Die Sensitivitäten und Spezifitäten der dreidimensionalen Verfahren konnten aber auch hierbei nicht erreicht werden. In der vorliegenden Arbeit zeigte sich ein deutlicher Vorteil der dreidimensionalen Verfahren sei es nun eine endoluminale oder „Clip Plane“-Untersuchung. Für die vom Autor favorisierte „Clip Plane“-Untersuchung ergab sich für Raumforderungen von 10 mm oder mehr eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm zeigte sich für die „Clip Plane“- Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 93 Prozent. Bei noch kleineren Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 84 Prozent. Dies zeigte im Vergleich, gerade für die kleinen und kleinsten Raumforderungen, die beste Sensitivität und Spezifität.

Diese Untersuchungsergebnisse decken sich auch mit Studien anderer Forschergruppen, die ähnliche Ergebnisse aufweisen konnten.

Die virtuelle Koloskopie entdeckt in der Gesamtzahl mehr Polypen als die konventionelle Koloskopie. Dies lässt sich anhand der Größe der Raumforderungen unterscheiden.

Bei Polypen mit einer Größe von 10 mm oder mehr stimmen die Ergebnisse der dreidimensionalen virtuellen und der konventionellen Koloskopie überein. Auch bei den Polypen von 5 bis 10 mm Größe werden annähernd gleich viele Polypen gefunden. Bei den Polypen mit einer Größe von unter 5mm entdeckt die virtuelle Koloskopie mehr Polypen als die konventionelle Koloskopie. Dies kann einmal durch die Beschreibung von falsch positiven Befunden in der computertomographischen Untersuchung entstehen

Des weiteren ist es aber auch möglich, dass die konventionelle Koloskopie Polypen übersieht. Studien zu Folge können fünf bis sieben Prozent der Karzinome, sowie der Polypen einer

Größe von 10 mm bei einer Untersuchung übersehen werden. Die Anzahl der nicht detektierten Raumforderungen nimmt mit abnehmender Größe zu. In der vorliegenden Arbeit wird auch diese Frage behandelt.

Ein nicht zu vernachlässigender Faktor stellt auch die Patientenzufriedenheit dar. So konnte bei Befragung der Patienten nach Durchführung der computertomographischen Untersuchung des Colons aufgezeigt werden, dass die virtuelle Koloskopie als eine nicht schmerzhaft und minimalinvasive Untersuchungsmethode empfunden wird.

In Zusammenschau der Ergebnisse und der uns vorliegenden Literatur kommen wir zu dem Schluss, dass die virtuelle Koloskopie bei Einhaltung gewisser Vorbereitungen und technischen Besonderheiten, diagnostisch eine der konventionellen Koloskopie mindestens ebenbürtige Untersuchung darstellt. Die Entwicklung von höher auflösenden Computertomographen als auch die Optimierung der, wie in vorliegender Arbeit erwähnten, „Low Dose“ Computertomographie des Colons wird in Zukunft zu einer zunehmenden Akzeptanz unter Patienten als auch Untersuchern führen.

1.1. Einleitung Computertomographische Untersuchung des Dickdarmes

Das Kolonkarzinom ist die zweithäufigste durch Krebs bedingte Todesursache in Europa und den USA [Silverberg et al 53]. Seine frühzeitige Diagnose beeinflusst nachhaltig die Prognose. Die Inzidenz des Kolonkarzinoms hat in den letzten Jahrzehnten ständig zugenommen [Berg et al 4] und tritt vermehrt bei Individuen auf, in deren Familie es bereits zu einer Erkrankung gekommen ist oder die mit Risikofaktoren für das kolorektale Karzinom behaftet sind [Bond 8]. Screening Untersuchungen in diesen Risikogruppen wären am effektivsten.

Auch der Zusammenhang zwischen adenomatösen Polypen und dem invasiven Kolonkarzinom, die Adenom – Karzinom – Sequenz, der Entstehungsweg von Karzinomen aus adenomatösen Polypen ist allgemein anerkannt [Morson 35]. Eine rechtzeitige Entfernung dieser Adenome scheint die Adenom – Karzinom – Sequenz zu durchbrechen und vor einem invasiven Karzinom zu bewahren [Winawer et al 60]. Polypen stellen sich somit als ein wichtiges Kriterium für eine Screening Untersuchung dar. Aufgrund des langsamen Voranschreitens der Erkrankung von einem Adenom zu einem Karzinom, über einen Zeitraum von mehreren Jahren, bieten Screening Untersuchung hier einen Ansatzpunkt zur Prävention.

Es sind zahlreiche diagnostische Ansätze vorhanden, Patienten zu untersuchen, um Karzinome oder adenomatöse Polypen nachzuweisen.

Zur Zeit vorhandene Tests sind einmal der okkulte Blut-Test, der jedoch wenig Genauigkeit mit sich bringt und auch keine Aussage über Veränderungen der Mukosa treffen kann [Eddy 13].

Ein weiterer diagnostischer Ansatz ist der Einsatz des Barium-Doppelkontrast Einlaufs.

Sein Nachteil liegt hauptsächlich in der Variabilität der Genauigkeit und dem Unbehagen der Patienten bei dieser für sie unangenehmen Untersuchung.

Er stellt die radiologische Standarduntersuchung des Dickdarms dar, bei der eine dünne Beschichtung der Schleimhaut mit Bariumbrei und gleichzeitiger Dillatation des Lumens mittels Luftinsufflation erfolgt.

Die konventionelle Koloskopie stellt den Goldstandard der Untersuchung des Dickdarms dar. Sie ermöglicht eine Inspektion der Mukosa, eine Gewinnung von Biopsieproben und eine

Therapie, nämlich die Abtragung von adenomatösen Polypen mittels einer Elektroschlinge in einer Sitzung. Sie ist jedoch eine sehr teure Untersuchung und ist oft für den Patienten sehr schmerzhaft- Zudem lässt sie sich nicht immer über das gesamte Kolon erstrecken, beispielsweise aufgrund von stenosierenden Karzinomen oder anatomischen Gegebenheiten und beinhaltet ein geringes Risiko für eine Perforation [Orsoni et al 40]. Eine hier neu dazu tretende Methode stellt die Virtuelle Koloskopie dar. Sie hat das Potential, genauer als der okkulte Blut-Test und der Bariumsulfat-Doppelkontrast-Einlauf, sowie sicherer und für den Patienten komfortabler zu sein als die konventionelle Koloskopie [Rex et al 46].

Die Mehrschichtcomputertomographie ermöglicht es, große Organbereiche mit hoher Auflösung in Atemstillstandtechnik zu akquirieren. Durch die gleichzeitige Akquisition von vier oder mehr parallelen Detektoren in Abhängigkeit der Winkelposition des Strahler-Detektor-Systems kann entweder die Durchleuchtungszeit verringert oder die Ortsauflösung erhöht werden [Schatzkin et al 52]. Durch die geringe Invasivität und die kurze Dauer der Untersuchung hat sie auch das Potential, eine höhere Akzeptanz als Screening Untersuchung, seitens der Patienten zu erfahren.

Seit der Entstehung dieser neuen Technik wurden schon viele Versuche unternommen, um sie zur Diagnostik von Polypen und Karzinomen einzusetzen [Hara et al 22]. Virtuelle Bilder der computertomographischen Datensätze zu erstellen, seien es nun endoskopische oder anders rekonstruierte zum Beispiel mittels der Volume Rendering Technik, sind erst durch die Verwendung von Spiral Computertomographen möglich geworden.

Durch die sprunghafte Entwicklung der Computertomographie in den letzten Jahrzehnten konnte sie sich gegenüber der Kernspintomographie einen Vorsprung behaupten, und das Indikationsspektrum drastisch erweitern. Möglich wurde dies alles durch die Entwicklung des Spiral Computertomographen. Frühere Domänen der Projektionsradiographie, wie zum Beispiel die intestinale Diagnostik, werden in wachsendem Maße von der Computertomographie übernommen, mit steigendem Gewinn an Qualität und diagnostischen Möglichkeiten und nicht zuletzt mit sinkender Belastung für den Patienten.

1.1.1 Ziele der Arbeit

1.1.1.1 Hauptziel

Auf dem Boden der computertomographischen Untersuchung sollte geprüft werden, ob sich die virtuelle Koloskopie als Screening Methode zur Erkennung von Polypen und malignen Raumforderungen eignet. Dabei soll die diagnostische Treffsicherheit dieser Methode mit dem derzeitigen Goldstandard, der konventionellen Koloskopie, verglichen werden. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit besteht in der Rekrutierung der Patienten sowie der erstmaligen Etablierung der Untersuchungsmethode am Universitätsklinikum Großhadern der Ludwigs Maximilians Universität München.

1.1.1.2 Nebenziele

Die Nebenziele dieser Arbeit bestehen in der Darstellung und Erlernung sowie Optimierung von Methodik und Technik. Weiterhin soll eruiert werden, welche Form der Nachuntersuchung die besten Ergebnisse im Vergleich mit dem Goldstandard der konventionellen Koloskopie aufzeigt.

2. Material und Methodik der Virtuellen Koloskopie

2.1 Angaben zum Patientengut

Diese prospektive Studie wurde im Zeitraum von 1999 bis 2001 am Universitätsklinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München durchgeführt. Insgesamt wurden 47 Patienten untersucht, davon 23 männlichen und 24 weiblichen Geschlechts. Das Alter der Patienten lag zwischen 24 und 89 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug 58,6 Jahre.

2.2 Das Organsystem und seine Pathologien

2.2.1 Anatomie und Topographie des Colons

Der Dickdarm mit einer Gesamtlänge von ca. 80 – 100 cm besteht aus dem Zäkum mit Appendix, dem Colon ascendens, transversum, descendens und sigmoideum.

Das Rektum besteht aus der Ampulla recti und dem Canalis analis.

Das Colon ascendens ist etwa 25 cm lang, liegt retroperitoneal, ist mit der dorsalen Bauchwand verwachsen und steigt an der rechten Körperseite auf. Es grenzt an den Musculus psoas major und an den Musculus quadratus lumborum. In Höhe des 12. Brust - bis 3. Lendenwirbels geht es an der rechten Kolonflexur, der Flexura coli dextra, die vor der rechten Niere und hinter dem rechten Leberlappen liegt, in das Colon Transversum über. Die Flexur bildet auf der Leber, zusammen mit dem Colon transversum, die Impressio colica.

Das Colon transversum ist ca. 50 cm lang, liegt intraperitoneal, verläuft von der rechten zur linken Körperseite und hängt frei am Mesocolon transversum. Es zieht über die Facies visceralis des rechten Leberlappens und an der Curvatura major des Magens zur Milz. Des weiteren steht es mit dem Duodenum, der Bursa Omentalis, an die es mit seinem dorsalen Rand angrenzt, und dem Pankreaskopf in topographischer Beziehung. Häufig ist auch die Gallenblase über Serosastränge mit dem Colon transversum verbunden. In einzelnen Fällen kommt es vor, dass das Kolon bis in das kleine Becken reicht. Das Mesocolon transversum, an dem das Colon transversum aufgehängt ist, zieht in Höhe des rechten Nierenhilus über Duodenum und Pankreaskopf bis zur Höhe des linken Nierenhilus. An der linken Kolon Flexur, der Flexura coli sinistra, die höher liegt als die Flexura coli dextra und damit einen spitzeren Winkel beschreibt, geht das Colon Transversum in das Colon descendens über, das auf der linken Seite des Körpers absteigt. Die Flexur und der obere Teil des Colon descendens sind über das Ligamentum gastrocolicum mit dem Diaphragma verbunden.

Das Colon descendens liegt retroperitoneal, ist auch mit der dorsalen Bauchwand verwachsen, oft von Dünndarmschlingen bedeckt, liegt ventral der linken Niere und geht in Höhe der linken Crista iliaca in das Colon sigmoideum über.

Das Colon sigmoideum liegt intraperitoneal und verläuft bis in etwa Höhe des 2. bis 3. Kreuzbeinwirbels, wo es in das Rektum übergeht. Der geschlängelte, S - förmige Verlauf des Colon sigmoideum kommt durch ein verschieden langes Mesocolon sigmoideum zustande. Das Omentum majus ist eine Duplikatur des Peritoneums, welches Fettgewebe enthält.

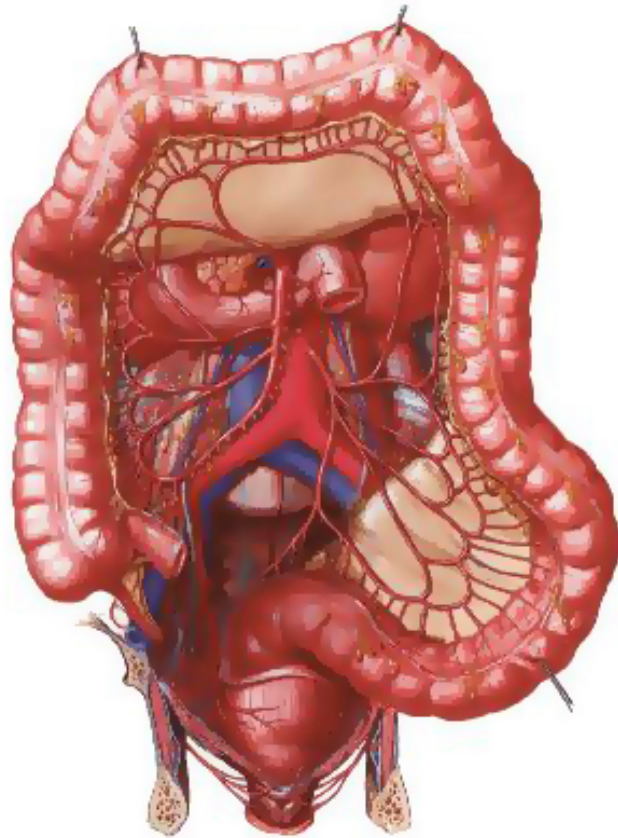


Abb. Netter Atlas der Anatomie; CD-Rom

Das Colon unterscheidet sich vom Dünndarm durch seine Tänen, Haustren, Plicae semilunares und Appendices epiploicae.

Taenien sind Muskelbänder, die längs dem Colon verlaufen. Sie sind etwa 10 mm breit und stellen die zusammengedrückte äußere Längsmuskulatur des Darmes dar. Ihre Funktion ist die Weitstellung des Dickdarms. Insgesamt sind drei Taenien vorhanden.

Die Taenia libera kommt freiliegend am gesamten Colon vor. Die Taenia omentalis, die mit dem Omentum majus verwachsen ist und die Taenia mesocolica, die auf das Colon transversum beschränkt und mit dem Mesocolon verwachsen ist. Am Appendix laufen die drei Taenien zusammen.

Haustrum sind halbkugelförmige Aussackungen des Colons zwischen den Taenien, die durch Einschnürungen von einander getrennt sind. Die Einschnürungen entstehen durch die Kontraktion der zirkulären Muskulatur bei der Darmperistaltik oder Antiperistaltik. Dabei entstehen auch Schleimhautfalten, die in das Darmlumen hinein reichen. Diese werden Plicae semilunares genannt und bestehen aus allen Wandschichten.

Appendices epiploicae sind kleine, vor allem an der Taenia libera vorkommende, und beim Erwachsenen Fett enthaltende Anhängsel der Subserosa [Moll et al 33].

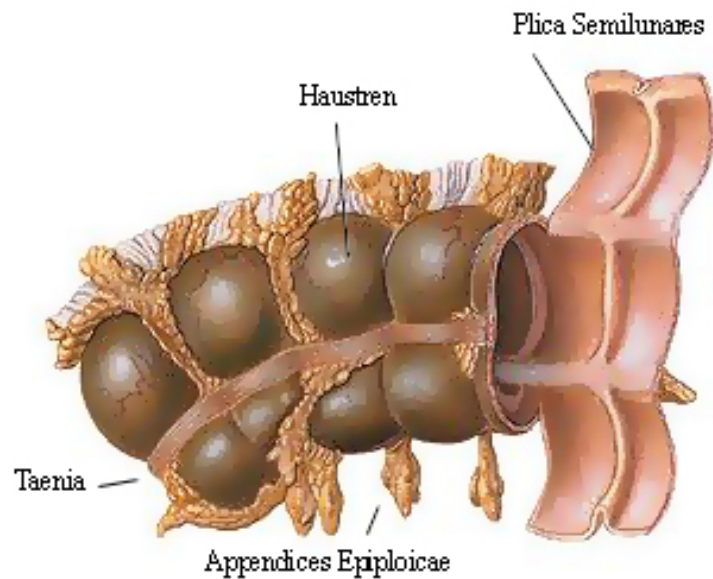


Abb. Netter Atlas der Anatomie; CD Rom

Dem Colon fehlen Zotten und Falten, dafür besitzt es reichlich dicht beieinander stehende tiefe Krypten. Das Epithel der Krypten besteht zu einem großen Teil aus Becherzellen, die einen Gleitschleim für den Speisebrei produzieren. Ebenfalls verfügt das Epithel über Mikrovilli, welche die Aufgabe der Resorption von Wasser und Salzen übernehmen. Des weiteren kommen lymphatische Solitärfofollikel vor.

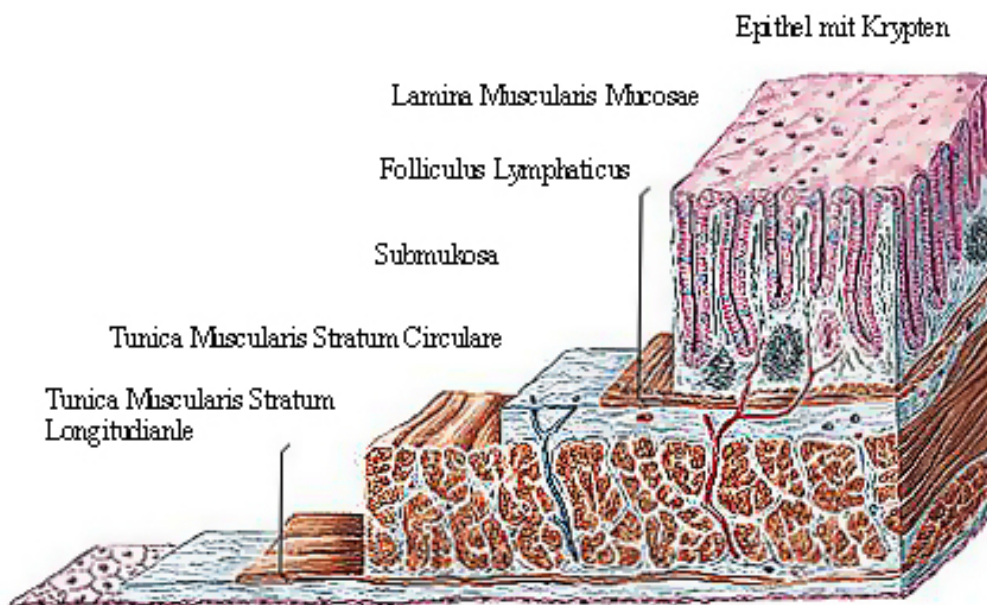


Abb. Netter Atlas der Anatomie; CD-Rom

Die Organe des Magen Darm Traktes sind nach einem einheitlichen Schema aufgebaut, unterschieden sich jedoch durch einzelne Variationen. Von Lumenseitig nach außen wandernd sind sie aus nachfolgenden Schichten aufgebaut.

Tunica mucosa, die eingeteilt wird in:

- Epithel
- Lamina propria mucosae
- Lamina muscularis mucosae

Tela submucosa

Tunica muscularis, die eingeteilt wird in:

- Stratum circulare
- Stratum longitudinale

Tunica adventitia oder **Tela subserosa**

Tunica serosa, die eingeteilt wird in:

- Lamina propria serosa
- Lamina epithelialis serosa [Moll et al 33]

Gerade hinsichtlich der im Kolon auftretenden Neoplasien ist es wichtig, die Gefäßversorgung und den Lymphabfluß des Colons zu kennen. Das Colon wird aus Abgängen der Arteria mesenterica superior und inferior mit Blut versorgt. Die Versorgung des Colons ist sehr komplex und wie folgt einteilbar:

- Hauptarterien
- Arterielle Anastomosen zwischen der Arteria mesenterica superior, der Arteria mesenterica inferior und den Arteriae iliaca internae
- Terminalarterien, Vasa recta
- Venen

Das Colon wird über drei Hauptarterien versorgt, die Arteria mesenterica superior, Arteria mesenterica inferior und Arteriae hypogastricae.

Dabei gilt, dass das Zäkum und das terminale Ileum aus der Arteria Mesenterica superior und Arteria ileocolica mischversorgt werden. Das Colon ascendens wird aus der Arteria ileocolica, Arteria colica dextra und teilweise der Arteria colica media versorgt. Die Appendix wird alleinig durch die Arteria appendicularis versorgt. Die rechte Flexur und das Colon Transversum werden durch die Arteria colica media versorgt. Die linke Flexur und ein großer Teil des Colon descendens werden durch die Arteria colica media und Arteria colica sinistra versorgt, das Colon Sigmoidaeum hauptsächlich durch die Arteria sigmoidea. Das Rektum wird durch eine unterschiedliche Anzahl von kleinen Arterien versorgt, hauptsächlich durch die Arteria mesenterica inferior und der daraus entspringenden Arteria rectalis superior.

Tiefere Teile des Rektums werden aus der Arteria rectalis media, einem Ast der Arteria iliaca interna und inferior, einem Ast der Arteria pudenda interna, versorgt. In dem Versorgungsgebiet bestehen Anastomosen. Die wichtigsten hiervon sind die Riolsche Anastomose und die Randarterie von Drummond. Die Riolsche Anastomose entsteht durch den Zusammenschluss eines Astes der Arteria colica sinistra, der nach cranial zieht, und der Arteria colica media. Beide anastomosieren auf Höhe der Flexura lienalis. Dabei lassen sich insgesamt vier Typen der Anastomose unterscheiden.

Die Randarterie von Drummond ist eine parakolische Anastomose und verbindet die 5 Hauptarterien der Arteria mesenterica superior und inferior. Aus der Randarterie entspringen die Terminalarterien, die so genannten Vasa recta in die Colonwand. Hier gibt es zwei Unterschiede. Sie können entweder als lange oder als kurze Äste auftreten oder als eine Kombination beider. Kurze Äste sind weitaus häufiger als ihre langen Pendants und ebenfalls schmaler. Insgesamt gibt es bei der Versorgung des Colons zahlreiche Variationen.

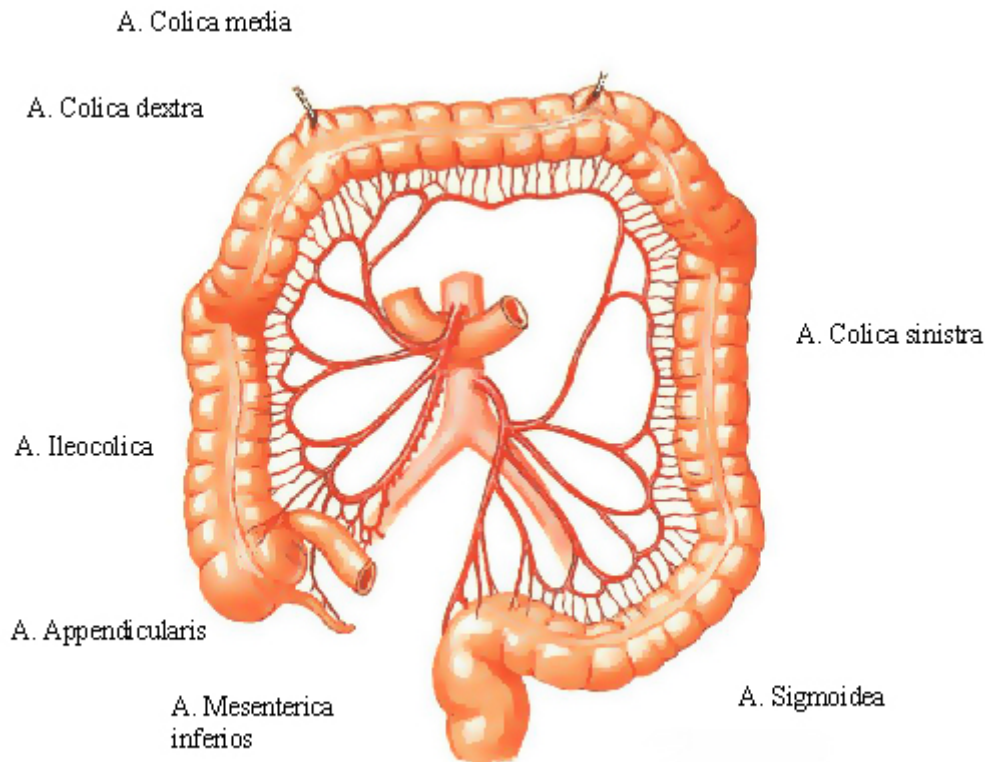


Abb. Netter Atlas der Anatomie; CD-Rom

Der Abfluss des Blutes findet durch ein gleichnamiges venöses System statt, dessen Venen den Arterien im Verlauf folgen. Das Colon ascendens und das Caecum drainieren über die Vena mesenterica superior, die auch Äste des Dünndarms erhält, in die Vena portae, das Colon descendens, sigmoideum und das obere Rektum über die Vena mesenterica inferior in die Vena portae. Das Rektum ist durch einen großen Venenplexus eingebettet. Tiefere Abschnitte des Rektums werden über die Vena rectales media und inferior zur Vena pudenda interna, weiter zur Vena iliaca interna und schließlich zur Vena cava inferior drainiert [Rosenbusch 48].

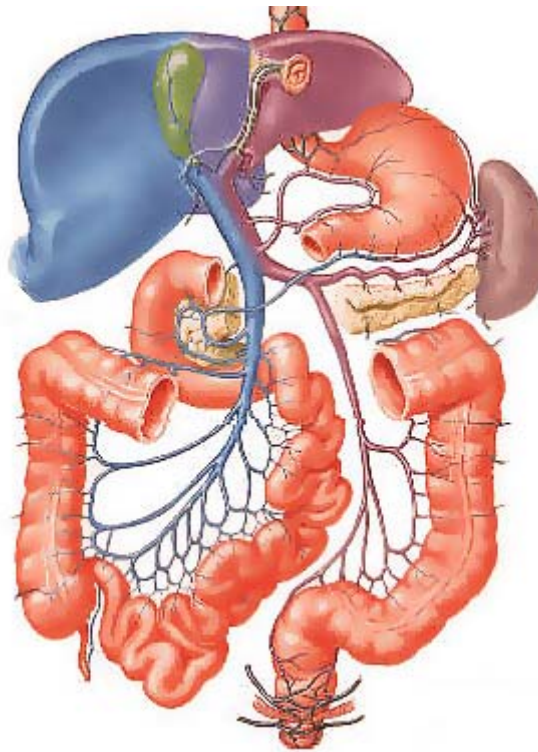


Abb. Netter Atlas der Anatomie; CD-Rom

Das Lymphsystem und dessen Abfluss lässt sich in zwei Systeme aufteilen:

- Intramurales Lymphgefäßsystem
- Extramurales Lymphgefäßsystem

Das intramurale Lymphgefäßsystem besteht aus miteinander kommunizierenden Lymphgefäßen, die submukös und subserös verlaufen.

Das extramurale Lymphgefäßsystem besteht aus mehreren Stationen. Das intramurale System drainiert in regionale Lymphknoten, aus denen die Lymphgefäße weiter nach zentral mit den Arterien laufen. Colon und Rektum werden hierbei gesondert betrachtet.

Im Colon beginnt der Verlauf in den Nodi lymphatici Epicolici, die direkt auf der Colonwand aufliegen. Die nächste Station sind die parakolischen Lymphknoten, die zwischen der Randarterie und dem Colon liegen. Entlang der großen Colongefäße befinden sich die intermediären Lymphknoten, und dann nachfolgend die Hauptlymphknoten, die sich auf Höhe des Abgangs der Arteria mesenterica superior und Arteria mesenterica inferior befinden. Namentlich werden Hauptlymphknoten und intermediäre Lymphknoten nach den entsprechenden großen Gefäßen benannt. Von den Hauptlymphknoten wird nun weiter in den Truncus intestinalis drainiert und von hier aus in den Truncus lumbalis, der die Lymphe aus der unteren Körperregion in die Cisterna chyli weiterleitet.

Auch die Drainage des Rektums folgt diesem Prinzip, wobei sich die Ableitung der Lymphe hier in drei Etagen einteilen lässt.

Die unterste Etage, anatomisch unterhalb der Pektienlinie, leitet die Lymphe entlang der Arteriae haemorrhoidales inferiores zu den inguinalen Lymphknoten und von dort aus in die Nodi lymphatici Iliaci externi et communes. Die mittlere Etage, die sich in Höhe der

Pektenlinie und bis zu 10 cm oberhalb davon befindet, leitet die Lymphe entlang den Ästen der Arteria rectalis superior nach kranial, sowie auch entlang den Ästen der Arteria rectalis media und den Ästen der Arteria rectales inferior.

Die erste Etage, die etwa 10 cm oberhalb der Pektenlinie beginnt, drainiert entlang den Ästen der Arteria rectalis superior nach kranial [Rosenbusch 48].

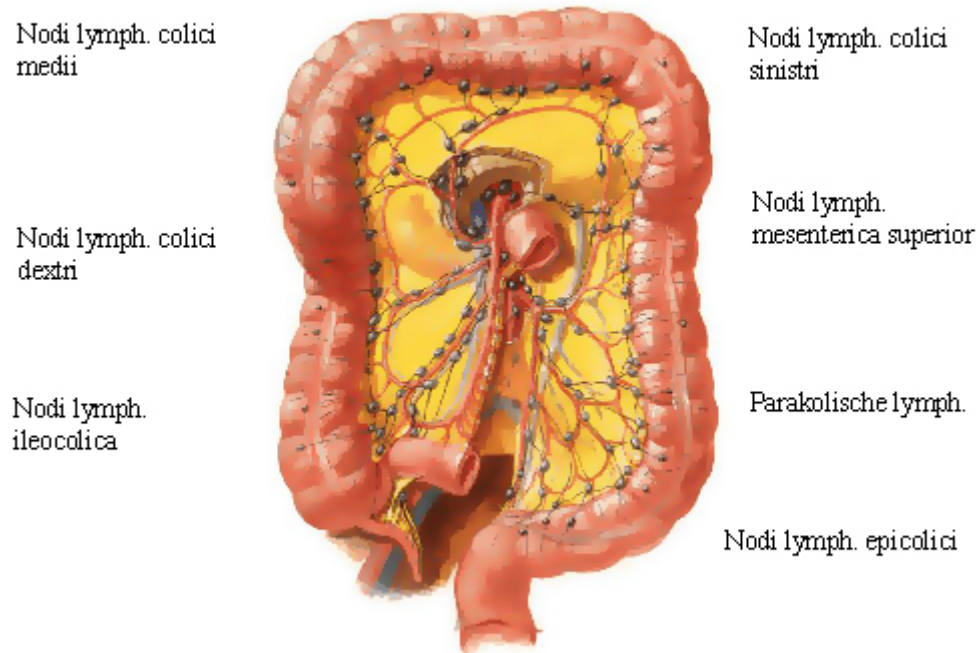


Abb. Netter Atlas der Anatomie; CD-Rom

Zu der Innervation des Dickdarmes sei kurz erwähnt, dass er durch sympathische Innervation aus TH 8 – L 3 und parasymphatisch durch den Nervus vagus bis zur Flexura lienalis, sowie weiter unterhalb über Fasern des sakralen Parasympathikus innerviert wird.

Zu den Funktionen des Dickdarms gehören die Stuhleindickung durch Resorption von Wasser, Elektrolyten und kurzkettigen Fettsäuren, mit einer Resorptionskapazität von zwei bis fünf Litern Wasser innerhalb von 24 Stunden.

Des weiteren hat der Dickdarm die Aufgabe der Durchmischung des Darminhaltes und dessen Transport.

Die Ampulla recti übt eine Reservoirfunktion aus [Rosenbusch 48].

2.2.2 Nicht maligne Erkrankungen des Colons

2.2.2.1 Kongenitale und erworbene Lageabnormalitäten

Die meisten Lageabnormalitäten manifestieren sich klinisch bereits im Kindesalter oder früher, einige jedoch auch erst im Erwachsenenalter.

Die Lageabnormalitäten lassen sich beim Erwachsenen aufgrund von mangelhafter Rotation oder mangelnder Fixation zurückführen.

Dabei sind in den Erscheinungsformen zahlreiche Variationen möglich, auf die vorliegend jedoch nicht näher eingegangen werden soll [Rosenbusch 48].

2.2.2.2 Volvulus

Volvulus bedeutet eine Drehung oder Verknotung. In diesem Falle bedeutet es eine Drehung eines Abschnittes des Colons um seine mesenteriale Achse, welches die Querachse bezeichnet, oder die Längsachse, die intestinale Achse. Diese Erkrankung ist in der Regel eine Kombination aus einer Drehung um beide Achsen und stellt eine ernsthafte klinische Erkrankung dar.

Die hauptsächliche Lokalisation befindet sich im Sigmoid mit Abnahme der Wahrscheinlichkeit für das Zäkum und das Colon transversum. Meist sind Männer im mittleren Lebensalter betroffen. Eine familiäre Häufung ist nachzuweisen.

Die Symptome reichen von einer akuten Symptomatik mit stärksten Schmerzen, bis hin zu einem chronischen Verlauf mit unbestimmter Klinik. Ursächlich für diese Erkrankung ist meist eine Hypermobilität, eine abnorme Fixierung, eine angeborene Lageveränderung oder ein langes Mesokolon. Auch chronische Obstipationen, abdominelle Operationen, sowie auch Schwangerschaften, die eine Überdehnung des Darmes verursachen können, fördern dieses Krankheitsbild. Gefährliche Komplikationen des Volvulus sind Peritonitis, Perforation, ischämische Kolitis und das Gangrän [Rosenbusch 48].

2.2.2.3 Hernien

Hernien bezeichnen ein abnormes Durchtreten von Baueingeweiden durch eine Lücke in der Bauchwand.

Hernien lassen sich unterteilen in:

- Echte Hernien, mit Einbeziehung des Peritoneums
- Falsche Hernien, mit Defekt im Peritoneum und Durchdringung
- Gleitbrüche

Die Gefahr der Hernien besteht vor allem in der Entstehung einer Inkarzeration sowie eines Abszesses [Rosenbusch 48].

2.2.2.4 Divertikulose und Divertikulitis

„Divertikel des Intestinaltraktes sind Lumenausstülpungen der Darmwand. Morphologisch werden die echten Divertikel mit Protrusion aller Wandschichten (Serosa, Muskularis, Mukosa) von den falschen Pseudodivertikeln denen die Muskularis fehlt unterschieden. Echte Divertikel sind kongenital angelegt, Pseudodivertikel erworben“ [Henne-Bruns 25].

Prädilektionsstelle der Divertikel ist das Sigma. Solitäre Divertikel können jedoch auch an allen anderen Abschnitten des Darmes auftreten. Häufig sind sie im hohen Alter anzutreffen, da sich durch die Peristaltik des Darmes und der Involution der Darmwandmuskulatur im Laufe der Zeit serosabedeckte Ausstülpungen der Colonmukosa entwickeln.

„Die Inzidenz beträgt nach dem 50. Lebensjahr fünf Prozent und erreicht im 85. Lebensjahr ca. 70 Prozent“ [Henne-Bruns 25]. Man nimmt an, dass diese Schleimhautdivertikel kongenital angelegt werden. Sie sind häufig multipel, selten solitär auftretend und treten durch eine preformierte, gefäßbedingte Lücke aus. Die Divertikulose stellt dabei die asymptomatische Ansammlung mehrerer Divertikel dar. Die Divertikulitis bezeichnet die Entzündung der mit Darminhalt gefüllten Divertikel. Nur ca. zehn Prozent der Divertikelträger entwickeln Symptome, wie zum Beispiel massive Blutungen aus arrodieren Gefäßen. Die Krankheit kann jedoch auch dramatisch verlaufen, im Sinne einer akuten Genese mit einer freien Perforation und dem Auftreten einer kotigen Peritonitis. Es kann sich auch eine gedeckte Peritonitis entwickeln, sowie das Auftreten von Fisteln entweder in andere Darmschlingen oder Nachbarorgane. Des weiteren kann eine Stenose auf dem Boden einer chronischen Entwicklung mit der Gefahr eines Ileus entstehen [Rosenbusch 48].

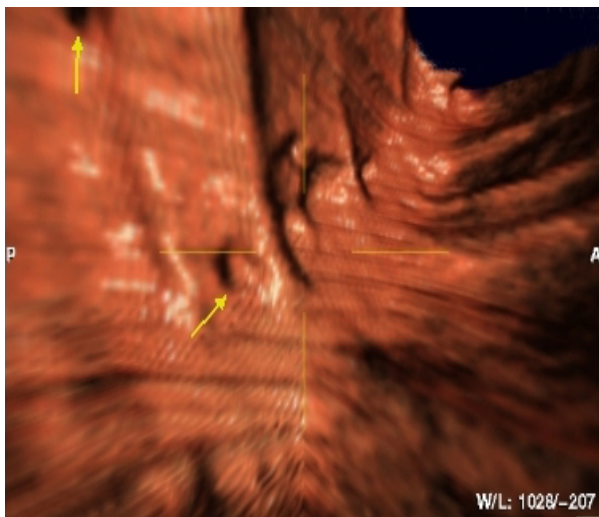


Abb.: Divertikel virtuell endoluminale Untersuchung

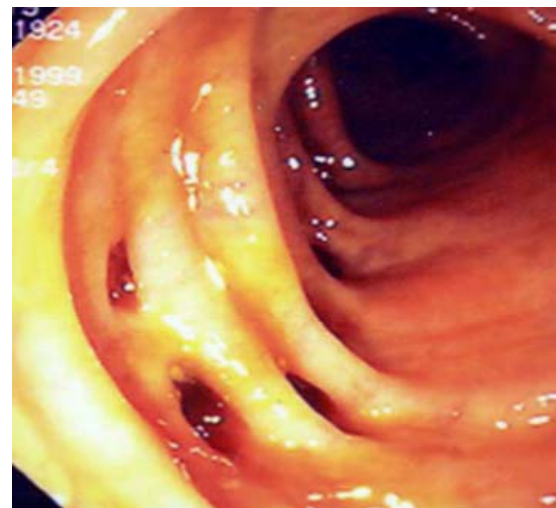


Abb.: Korrespondierende konventionelle Darstellung

2.2.2.5 Colitis Ulcerosa

Die Colitis Ulcerosa stellt eine Krankheit hauptsächlich des Dickdarmes dar, deren Ätiologie bis heute nicht bekannt ist. Sie breitet sich kontinuierlich, von distal am Rektum beginnend, nach proximal aus.

Bei ca. 40 bis 50 Prozent der Patienten sind vor allem das Rektum und das Rektumsigmoid betroffen. Nur bei ca. 20 Prozent der Patienten ist das gesamte Colon betroffen. Typisch für den Krankheitsverlauf sind Schübe mit Hyperämie, Exudation, Verlust des Mukosaepithels und Schleimhautulcerationen mit granulierenden Entzündungen, sowie Kryptenabszesse in den nicht ulzerierten Schleimhautarealen, die sich mit Phasen der Remission abwechseln. Im weiteren Verlauf kommt es aufgrund der chronischen Entzündung zu einer progredienten Schleimhautatrophie. Ein Charakteristikum sind die stehen bleibenden Schleimhautinseln, so genannte Pseudopolypen, die nicht betroffene, „stehen“ gebliebene Schleimhautareale darstellen. Die Erkrankung lässt sich anhand der klinischen Verlaufsform in vier Typen aufteilen, bei denen es jedoch auch zu Überschneidungen kommen kann.

- „Akuter fulminanter Typ (5 -10 Prozent)

- Subakuter rezidivierender Typ (50 – 60 Prozent)
- Rezidivierender Typ mit Übergang in eine chronische Verlaufsform
- Chronische Verlaufsform mit intermittierenden Exazerbationen (10 – 25 Prozent)“[Rosenbusch 48]

Typische Symptome der Colitis ulcerosa sind rektale Blutabgänge, Diarrhöen und abdominelle Schmerzen. Des weiteren treten auch extraintestinale Symptome auf, die sich jedoch hauptsächlich während eines Schubes manifestieren und bei einer Remission wieder zurückbilden können. Typische extraintestinale Symptome sind:

- „periphere Arthropathien
- Erythema nodosum
- Episkleritis
- Ulzerationen des Mundes
- Fettleber
- Pyoderma gangraenosum
- Uveitis“[Henne-Bruns 25]

Gefahren der Colitis ulcerosa liegen in der Entwicklung akuter und massiver Blutungen, der Perforation und der gefährlichsten Komplikation der Colitis ulcerosa, dem toxischen Megakolon. Dies ist eine massive Dilatation des Colons mit hoher Perforationsgefahr und einer einhergehenden Letalität von ca. 50 Prozent. Wie bereits oben erwähnt, stellt die Colitis ulcerosa ein Risiko der malignen Entartung dar. Zehn bis 15 Jahre nach Diagnosestellung geht die Erkrankung mit einem erhöhten Risiko für eine maligne Entartung einher [Bernstein et al 5]. Nach 35 Jahren beträgt das Risiko ca. 20 Prozent und steigt noch höher, falls die Erkrankung bereits vor dem 15 Lebensjahr aufgetreten ist [Henne-Bruns 25, Greenson 20]. Dabei lässt sich das Risiko anhand der Stadien der Epitheldysplasie in drei, bzw. nach einem anderen System in vier Kategorien, abhängig der Histologie einteilen.

Neues System (Riddel u. Mitarb. 1983)	Altes System (Blackstone u. Mitarb. 1981)	Mikroskopische Kriterien
Hochgradig	schwer	Mehr oder weniger dicht aneinandergelagerte villöse Oder tubuläre epitheliale Strukturen, die mit Zylinderepithel bekleidet sind. Anordnung von hyperchromatischen, stark unregelmäßig geformten, polymorphen Kernen mit erhöhter Mitoseaktivität. Verringerung des Muzins; Zellschichtung; zahlreiche Kerne befinden sich nahe der Oberfläche; stärkste dysplastische Veränderungen meist im lumennahen Kryptenabschnitt. Schwer dysplastische Veränderungen sollten mehr als 1-2 Krypten betreffen.
	Mittel	Je stärker die Zellen geschichtet sind, desto chromatinreicher sind die Nuklei.
Niedriggradig	leicht	Der Muzinverlust ist stärker als beim inaktiven Typ. Verlängerte Krypten, die mit hochzylindrischem Epithel ausgekleidet sind, vergrößerte, mehrreihige, regelmäßig langgestreckte, hyperchromatische Nuklei haben, ohne Zeichen deutlicher oder mit nur geringer Anisokaryose; Überwiegend basal lokalisiert; Geringer Rückgang des Schleims; leichte aber deutliche Kernstratifikation; Stärkste dysplastische Veränderungen meist in den lumennahen Kryptenanteilen oder basal lokalisiert. Reichlich dystrophische Becherzellen von siegelringähnlichem Aussehen;

Abb. Chirurgie; Duale Reihe; Doris Henne-Bruns, Michael Dürig, Bernd Kremer, Thieme2001

Nachfolgend eine virtuell endoskopische Darstellung und eine konventionelle endoskopische Darstellung eines Colitis Ulcerosa Befundes.

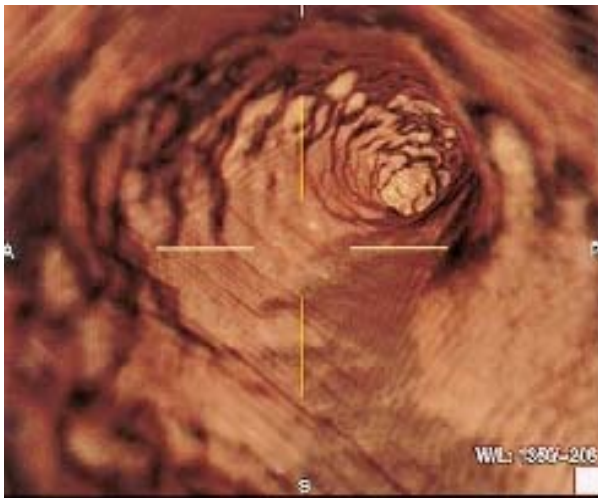


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung einer Colitis Ulcerosa

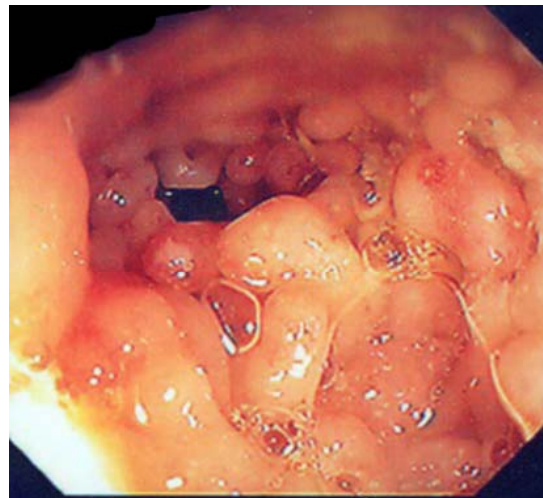


Abb.: Korrespondierende konventionell endoskopische Darstellung

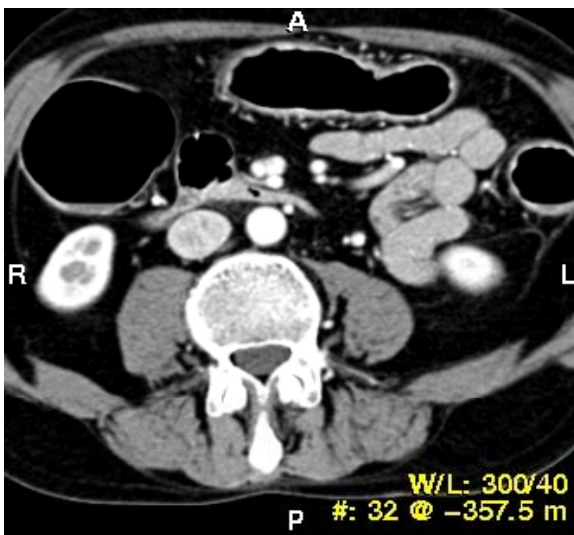


Abb.: Axiales computertomographisches Bild

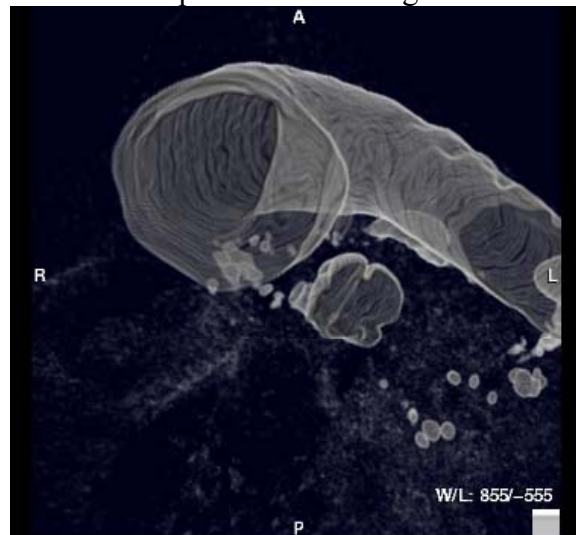


Abb.: Rekonstruktion einer Doppelkontrastdarstellung

2.2.2.6 Morbus Crohn

Der Morbus Crohn stellt eine hauptsächlich den Dünndarm, insbesondere das terminale Ileum betreffende Erkrankung dar. Der Morbus Crohn kann jedoch den ganzen Gastrointestinaltrakt befallen und somit auch das Colon, segmentär oder total. Typische Symptome des Morbus Crohn sind Diarrhöen, vornehmlich ohne Blut- und Schleimbeimengungen, im Gegensatz zu der Colitis Ulcerosa. Allgemeinsymptome beinhalten Gewichtsverlust, Übelkeit und Fieber. Komplikationen des Morbus Crohn stellen äußere und innere Fistelbildungen, Stenosen und segmentale Strikturen, das toxische Megakolon und auch, wenn nur in geringerem Maße, im Vergleich zur Colitis Ulcerosa [Berg et al 5], ein erhöhtes Malignitätsrisiko dar [Prati et al 45, Nikias et al 38]. Ca. 13 bis 22 Jahren (Median 17Jahre) nach Erstdiagnose eines Morbus Crohn kann es zum Auftreten eines Adenokarzinomes kommen [Tine et al 58]. Bei relativ

jungen Patienten tritt das Karzinom meist rechtsseitig und in der Nähe von Fistelbildungen auf [Rosenbusch 48].

Abbildung eines virtuell und konventionell endoskopischen Morbus Crohn Befundes:

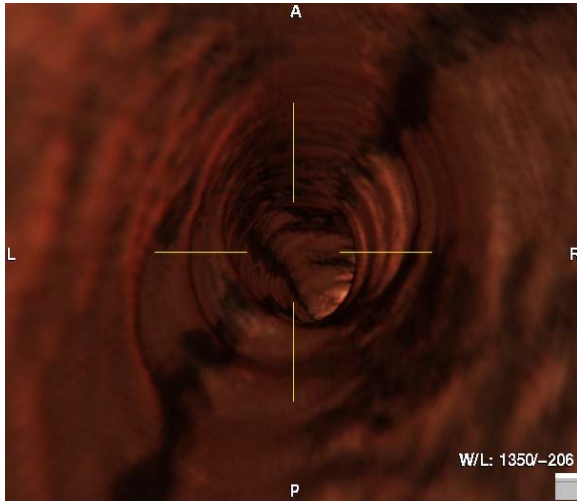


Abb.: virtuell endoskopische Darstellung
Eines Morbus Crohn

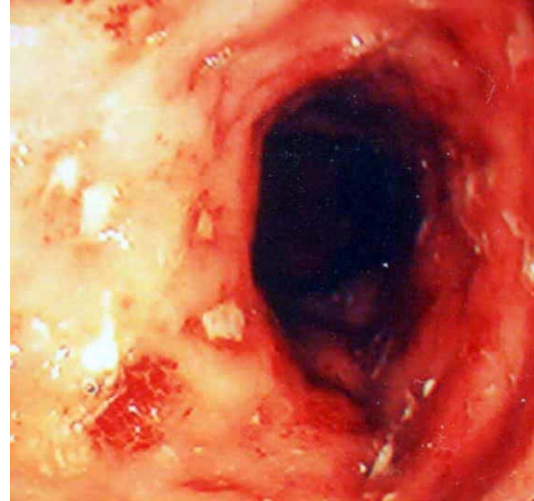


Abb.: Korrespondierende
endoskopische Darstellung

2.2.3 Maligne Erkrankungen des Colons

2.2.3.1 Polypen und gutartige und semimaligne kolorektale Tumoren

Fünf bis sieben Prozent aller Menschen sind Träger von Adenomen. Aufgrund der engen Beziehung epithelialer Polypen, so genannter Adenome, zu der Entwicklung eines Karzinoms und der Annahme, dass nahezu alle Karzinome aus einer polypösen Veränderung entstanden sind, sind die Polypen und ihre rechtzeitige Entdeckung von höchster klinischer Relevanz. [Jackman 28, Morson 35] Der Begriff Polyp wird dabei als eine Gewebemasse oder Wucherung verstanden, die über das Schleimhautniveau ragt und stellt somit eine makroskopische Beschreibung und keine histologische Diagnose dar.

Eingeteilt werden Polypen nach Morson in drei Gruppen:

- neoplastische (Adenome)
 - tubuläre Adenome
 - villöse Adenome
 - tubulovillöse Adenome

- nichtneoplastische
 - hamartöse Polypen
 - entzündliche Polypen

- nicht klassifizierbare Polypen [Rosenbusch 48]

2.2.3.2 Neoplastische Polypen (Adenome)

Neoplastische Polypen bezeichnen nach der Einteilung der WHO gestielte oder sessile Neoplasien mit verschiedenen Atypiegraden.

Bei einer Anzahl von bis zu 10 Polypen spricht man noch von solitär vorkommenden Adenomen, bei mehr als 10 Polypen ist ein Verdacht auf ein Polyposissyndrom zu äußern.

Die Ätiologie der Dickdarmpolypen ist bis dato nicht geklärt. Es bestehen jedoch zahlreiche Hypothesen, die einen Zusammenhang zwischen Ernährung und Entstehung von Adenomen nahe legen.

Es wird angenommen, dass fasernarme, fleisch- und fettreiche Ernährung die Entstehung fördert. Auch Nitrosamine und Veränderungen im Gallenmetabolismus, sowie genetische Faktoren, können die Entstehung begünstigen. Genussmittel wie Tabak und Alkohol stehen in Verdacht eine Bildung zu fördern [Ji et al 29]. Es gibt jedoch ebenfalls Hinweise in der Literatur, die keinerlei protektive Effekte einer faserreichen und fettarmen Diät zeigen, die als Schutz für eine Adenomentstehung propagiert wurde [Alberts et al 1, Pignone 42, Schatzkin et al 50].

Dabei sind statistisch die einzelnen Untertypen wie folgt vorhanden:

- tubulär 66,7 Prozent
- tubulovilliös 21,6 Prozent
- villiös 8,4 Prozent [Eckardt et al 12]

Die Inzidenz der Adenome nimmt mit dem Alter, verstärkt ab dem 40 Lebensjahr, zu. Die Lokalisation der Polypen im Colon scheint ebenfalls altersabhängig zu sein. So lässt sich verallgemeinernd sagen, dass im jüngeren Alter Polypen eher linksseitig und im höheren Alter eher rechtsseitig auftreten.

Symptome, die durch die Adenome auftreten, hängen von ihrer Größe ab. Kleine Adenome (<10 mm) bereiten keine klinischen Symptome und werden als Zufallsbefund bei der Koloskopie oder der Virtuellen Koloskopie entdeckt. Größere Adenome verursachen unspezifische Darmbeschwerden. Es kann zu okkultem Blutverlust, selten zu Anämie und bei gestielten Polypen im analen Bereich, zum einem Prolaps kommen.

Große breitbasige villiöse Adenome verursachen Schleimabgang, Blutbeimengung des Stuhls und Elektrolytverlust. Es kann hierbei zu Hyponatriämie, Hypokaliämie und Hypochlorämie kommen. Bei maligner Entartung kommt es zur Zunahme des Blutverlustes.

Sämtliche Adenome können makroskopisch als gestielte, sessile und intermediäre Formen vorkommen.

Tubuläre Adenome:

Ihre Größe variiert von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern. Sie sind meist rund oder oval, mit glatter, rötlicher Oberfläche. Sie beinhalten stark verzweigte Drüsenschläuche, die durch eine normale Lamina Propria voneinander getrennt sind. Es treten sekundäre Ulzerationen und Infektionen auf.

Ihr Stiel besteht aus normaler Mukosa und geht an der Grenze zwischen Kopf und Hals in das Adenom über [Rosenbusch 48].

Villiöse Adenome:

Sie sind meist deutlich größer als tubuläre Adenome, mit einer Größe von mehr als zehn Millimetern. Ihre Oberfläche ist dabei eher zottenartig und von Schleim bedeckt. Sie liegen meist sessil auf, kleinere Polypen können auch gestielt auftreten. Sie beinhalten schleimsezernierende Zellen, wachsen senkrecht aus der Darmwand, bestehen aus Lamina Propria mit Epithelzellen und reichen bis zur Muscularis Mucosae [Rosenbusch 48].

Nachfolgend virtuell endoskopische, als auch konventionell endoskopische Abbildungen eines Polypen, der sich hinter einer Haustre „versteckt“.

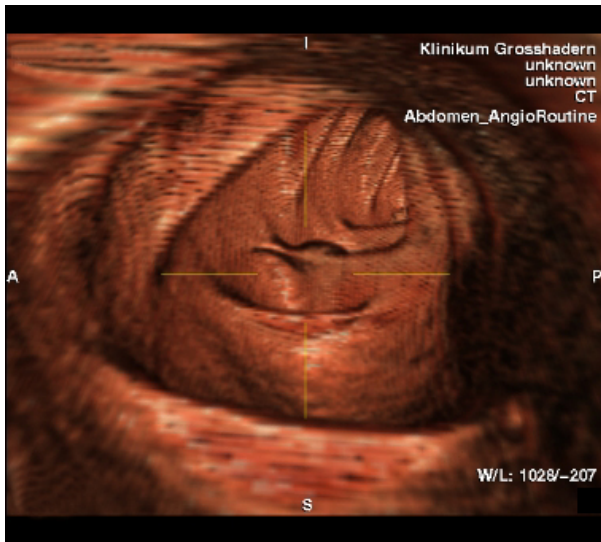


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung eines Polypen

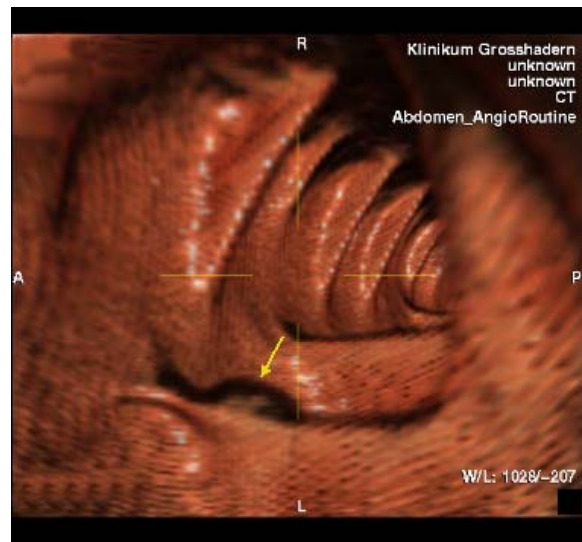


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung eines Polypen

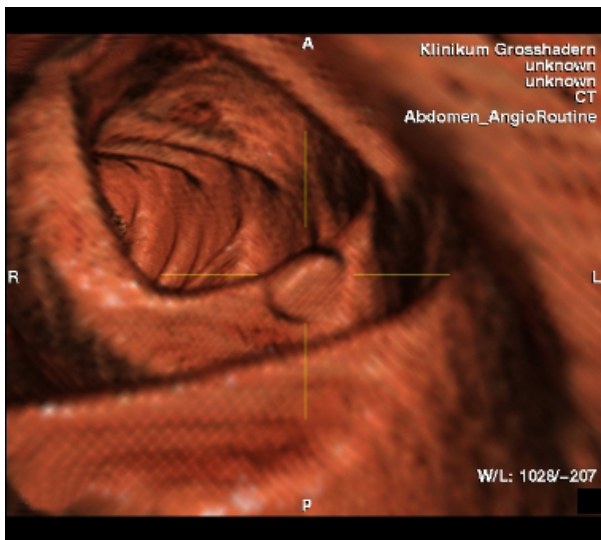


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung eines Polypen



Abb.: Korrespondierende endoskopische Darstellung

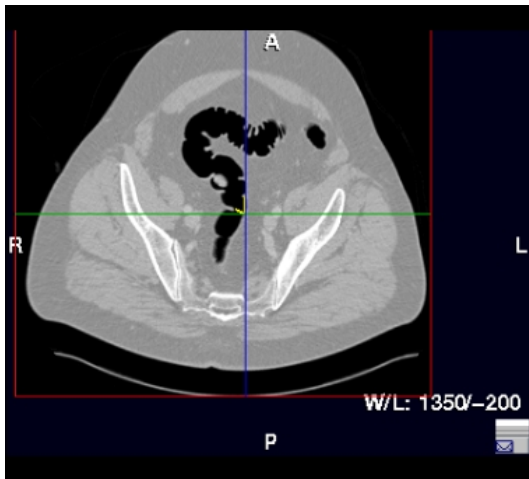


Abb.: axiale computertomographische Darstellung des Polypen

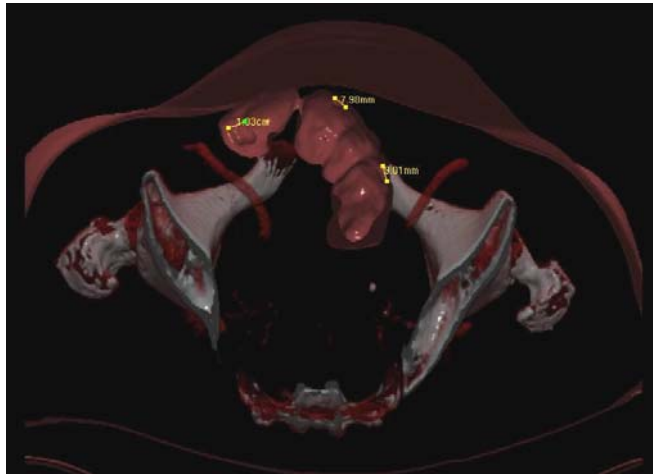


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung von Polypen

Tubulovillöse Adenome:

Sie stellen eine Mischform aus tubulären und villösen Adenomen dar. Mit steigender Größe weisen sie jedoch vermehrt einen villösen Charakter auf. Ihre Oberfläche ist glatt und lobuliert, manchmal mit einer zentralen Einsenkung [Rosenbusch 48].

2.2.3.3 Maligne Entartung

Adenom Karzinom Sequenz [Day 11]
(5-10-15 Jahre)

Die Entartung der Adenome hängt von mehreren Faktoren ab. Die Größe, der histologische Typ und die Epitheliale Dysplasie wirken auf das Risiko der Entartung ein [Day 11].

Größe

Adenom < 1cm
Adenom 1-2cm
Adenom > 2cm

1 Prozent Malignität
10 Prozent Malignität
50 Prozent Malignität

Histologischer Typ

Tubulär
Villös
Tubulovillös

5 Prozent Malignität
40 Prozent Malignität
22 Prozent Malignität

Epitheliale Dysplasie

Leicht (gering)
Mäßig (mittel)
Schwer (stark)

6 Prozent Malignität
18 Prozent Malignität
35 Prozent Malignität

Vgl. Kolon, Klinische Radiologie Endoskopie; Gerd Rosenbusch, Jaques W.A.J. Reed; Thieme Verlag; Tabelle 39, Seite 264

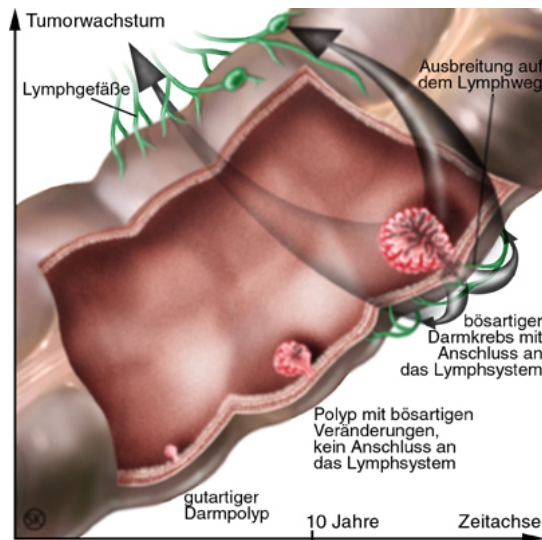


Abb.: © 2002 BSMO - Bertelsmann Springer GmbH. Gottberg Prof. Dr. H. Link

Polypen einer Größe von fünf Millimetern oder mehr sollten entfernt werden, da die Wahrscheinlichkeit einer Malignität bei mindestens einem Prozent liegt [Valerie et al 59, Wolf 61]. Polypen einer Größe von weniger als fünf Millimetern sollten entfernt werden, wenn sie bei der Koloskopie entdeckt werden. Polypen unter fünf Millimetern Größe, die bei einer röntgenologischen Untersuchung entdeckt werden, müssen ein Jahr nach Befunderhebung einer Nachkontrolle unterzogen werden. Sofern keine Polypen entdeckt werden empfiehlt die American Cancer Society eine erneute Kontrolle nach 10 Jahren, und bei Neuentdeckung eines Polypen, unabhängig davon, ob der Polyp entfernt wurde oder nicht, eine Nachkontrolle nach 5 Jahren [Podolsky 43].

Der Polyp muss immer komplett, also mit Stiel entfernt werden. Ist ein sessiler Polyp endoskopisch nicht entfernbar, so stellt das eine Operationsindikation dar [Onken et al 39]. Anschließend sollte eine histologische Untersuchung des Adenoms durchgeführt werden. Bei karzinomatöser Infiltration der Muscularis Mucosae, Submukosa oder tieferer Schichten, ist eine Segmentresektion durchzuführen [Rosenbusch 48].

2.2.3.4 Familiäre Polyposis Coli

Bei der familiären Polyposis Coli führen klinische Symptome wie rektaler Blutverlust, Diarrhöe, krampfartige abdominelle Beschwerden, Anämie, Schleimbeimengung oder Elektrolytverlust, den Patienten zum Arzt. Dabei liegt bei zwei Drittel der Patienten mit dieser Symptomatik schon ein Karzinom vor. Die Adenom-Karzinom-Sequenz ist hier geltend [Morson 35]. Die familiäre Polyposis Coli ist eine obligate Präkanzerose [Bjork et al 7]. Nur eine rechtzeitige Proktokolektomie kann die Prognose verbessern. Ohne Kolektomie ist mit dem Eintreten des Todes in einem Alter von ca. 40 Jahren zu rechnen [Rosenbusch 48].

Syndrom:	Auftreten der Polypen	Malignes Potential	Vererbung
juvenile Polyposis coli	Colon	keine	wahrscheinlich
Oldfield-Syndrom	Colon	80-100 Prozent	autosomal dominant
Zanca-Syndrom	Colon	80-100 Prozent	autosomal dominant
Ruvalcabe-Myhre-Smith-Syndrom	Colon & Dünndarm	nein	autosomal dominant
Devon-Familien-Syndrom	Magen & Ileum	nein	nicht bekannt
Cowden-Syndrom	Magen Colon Dünndarm	erhöhte Inzidenz von Mamma und Schilddrüsenkarzinom	autosomal dominant

Vgl. Kolon, Klinische Radiologie Endoskopie; Gerd Rosenbusch, Jaques W.A.J. Reed; Thieme Verlag, Tabelle 44, Seite 284, 285

2.3.3.5 Colon-Rektum-Karzinom

Nach dem Bronchialkarzinom beim Mann und dem Mamma Karzinom bei der Frau, stellt das Colonkarzinom den dritthäufigsten Tumor des Mannes und den zweithäufigsten Tumor der Frau dar [Statistisches Bundesamt 55].

Etwa 70 Prozent dieser Tumore liegen im Rektosigmoid und ca. 15 Prozent im Zökum, deren Inzidenz langsam zunimmt. Das Colonkarzinom tritt bevorzugt im 6. und 7. Lebensjahrzehnt auf.

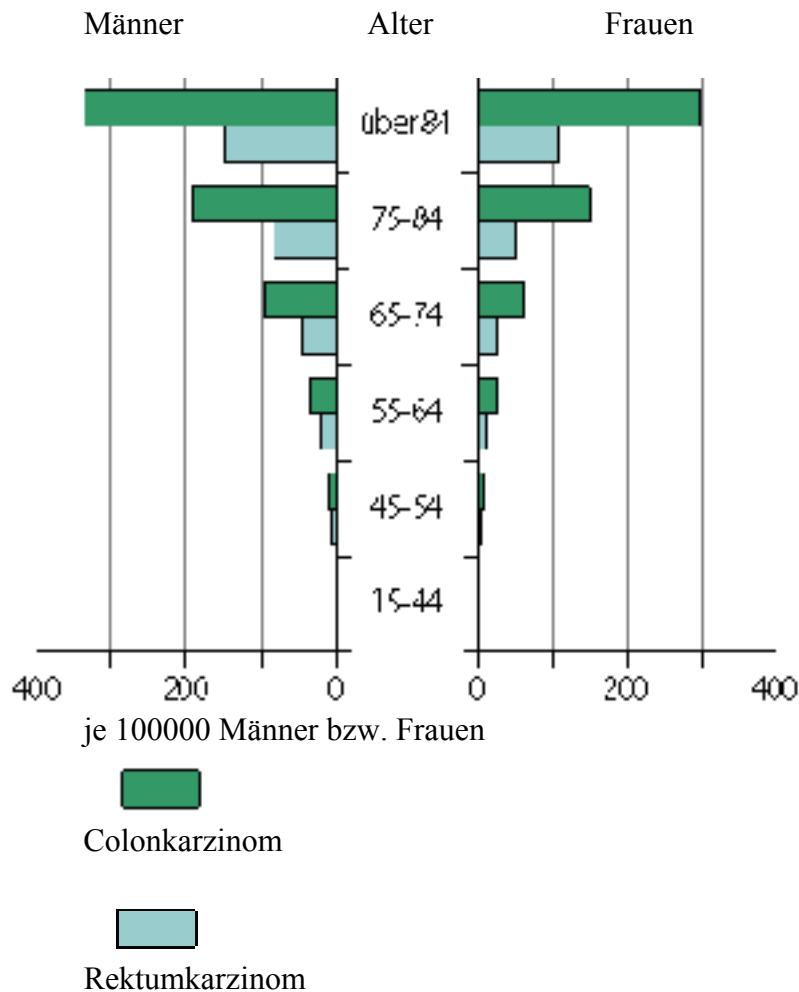


Abb.: Altersspezifische Sterblichkeit an Colon Rektum-/Karzinom 1995, [Gesundheitsbericht für Deutschland 1998]
Gesundheitsberichterstattung des Bundes [Statistisches Bundesamt 54]

Die Inzidenz beträgt derzeit in Deutschland 20 bis 24 pro 100.000 pro Jahr. Die Pathogenese ist nicht geklärt, man weiß jedoch, dass sich die meisten Colo-Rektalen-Karzinome aus vorbestehenden Adenomen über eine längere Zeitspanne entwickeln [Day 11, Morson 35]. Eine Rolle spielt die Vulnerabilität der Mukosazellen des Dickdarmes gegenüber karzinogenen Agenzien, sowie kontrovers diskutiert, die Nahrungszusammensetzung [Alberts et al 1, Schatzkin et al 51]. Die Prognose ist entscheidend abhängig vom Infiltrationsgrad und der Metastasierung, die auf hämatogenem Wege, bevorzugt in die Leber, Einzug hält. Des weiteren weisen drei bis vier Prozent der Patienten mit kolorektalem Karzinom ein Zweitkarzinom auf, nach dem gefahndet werden muss [Hooi et al 26].

Einteilung des Karzinoms nach Dukes oder dem TMN System, wie folgt:

Nach Dukes:

- **A** Mucosal; above muscularis propria, no involvement of Lymph nodes
- **B1** Into muscularis propria but above pericolic fat, no involvement of Lymph nodes
- **B2** Into pericolic or perirectal fat, no involvement of lymph nodes
- **C1** Same penetration as B1 with nodal metastases
- **C2** Same penetration as B2 with nodal metastases
- **D** Distant metastases

Vgl. AJCC Cancer Staging Manual, 6th ed, Greene, Springer-Verlag, New York, 2000

Nach TMN:

Primary Tumor (T)

- **Tis** Carcinoma in situ; intraepithelial or invasion of lamina propria
- **T1** Tumor invades submucosa
- **T2** Tumor invades muscularis propria
- **T3** Tumor invades through the muscularis propria into the subserosa or into non peritonealized pericolic or perirectal tissue
- **T4** Tumor directly invades other organs or structures and/or perforates visceral Peritoneum

Regional lymph nodes (N)

- **NX** Regional nodes cannot be assessed
- **N0** No regional nodal metastases
- **N1** Metastasis in 1 to 3 regional lymph nodes
- **N2** Metastasis in 4 or more regional lymph nodes

Distant metastasis (M)

- **MX** Distant metastasis cannot be assessed
- **M0** No distant metastasis
- **M1** Distant metastasis

Vgl.: AJCC (American Joint Committee on Cancer) Cancer Staging Manual, 6th ed, Greene, FL, Page, DL, Fleming, ID, et al (Eds), Springer-Verlag, New York, 2002, p.115

Histologisch lassen sich die Karzinome einteilen in:

Histologie	Häufigkeit	Besonderheiten
Adenokarzinom :	88,5 Prozent	3 Differenzierungsgrade <ul style="list-style-type: none"> - hoch differenziert - mäßig differenziert - niedrig differenziert
Muzinöses Adenokarzinom:	7,7 Prozent	Mehr als 50% Schleimbildende Zellen; Schlechte Prognose Häufiger bei jungen Menschen
Siegelringkarzinom	0,8 Prozent	Oft erst im fortgeschrittenen Stadium diagn. In mehr als 80% Lymphknotenmetastasen Relativ häufig in Ländern mit niedriger Kolonkarzinomfrequenz
Plattenepithelkarzinom	0,1 Prozent	In etwas höherem Lebensalter; Oft große Tumoren
Adenosquamöses Karzinom	<0,1 Prozent	-
Undifferenziertes Karzinom	2,9 Prozent	Trotz oft großem Ausmaßes allgemein gute Prognose
Unklassifizierbares Karzinom:	≤0,1Prozent	-

Vgl.. Histologische Einteilung der kolorektalen Karzinome (WHO 1976, nach Remmele 1984) mit Inzidenz (Bethge u. Mitarbeiter 1984) [Bethge 6]

Komplikationen des Karzinoms sind die Entwicklung einer Ileus Erkrankung aufgrund der Stenosierung des Lumens in zehn Prozent der Fälle. Eine Darmperforation tritt bei zwei bis fünf Prozent der Fälle auf. Colonkarzinome bleiben lange symptomlos bzw. frühe Symptome werden nicht wahrgenommen oder falsch gedeutet. So ergibt sich meist eine lange Pause zwischen dem Auftreten der Symptome und Einsetzen der Behandlung. Auftretende Symptome sind abhängig von der Lage des Karzinoms. Sitzt der Tumor im Colon ascendens, ist der Schmerz und später der palpable Tumor ein Frühsymptom. Im Colon transversum und descendens stehen Obstipation mit abwechselndem oder auch nur gelegentlichem Durchfall an erster Stelle. Im Rektumbereich herrschen Diarrhöen mit Schleim- und Blutbeimengung vor. Allgemein treten Symptome wie Gewichtsverlust, Müdigkeit, B-Symptomatik und normo- bis hypochromer Anämie auf. Hier besteht die Therapie in der chirurgischen Intervention mit radikaler Resektion [Berchthold 3].

Nachfolgend konventionell endoskopische und virtuelle Bilder eines stenosierenden Colonkarzinoms:

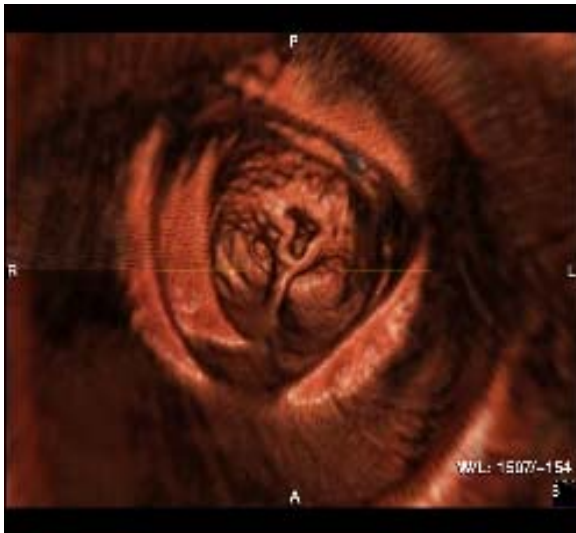


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung eines Colonkarzinoms

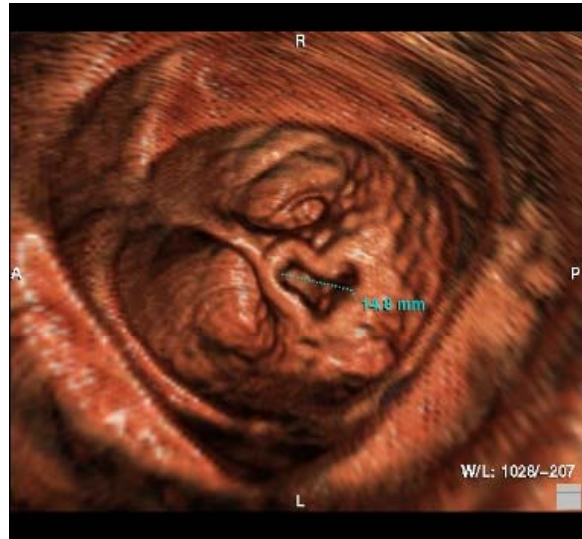


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung eines Colonkarzinoms

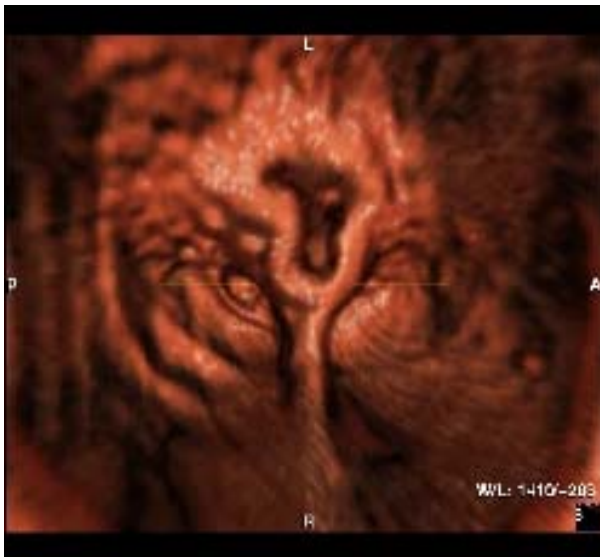


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung eines Colonkarzinoms

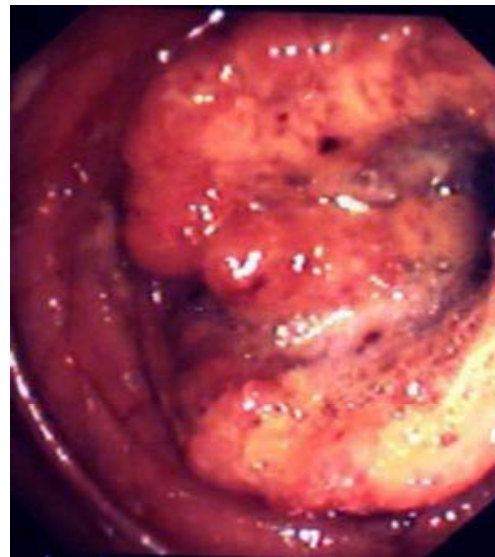


Abb.: korrespondierende konventionell endoskopische Darstellung



Abb.: „Clip Plane“ Darstellung eines Colonkarzinoms

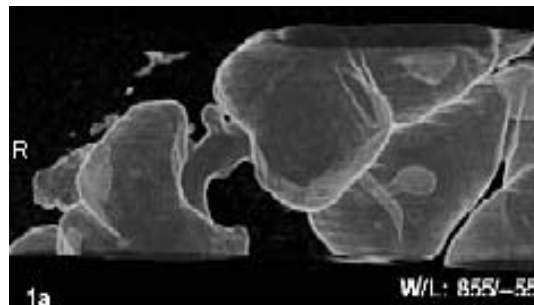
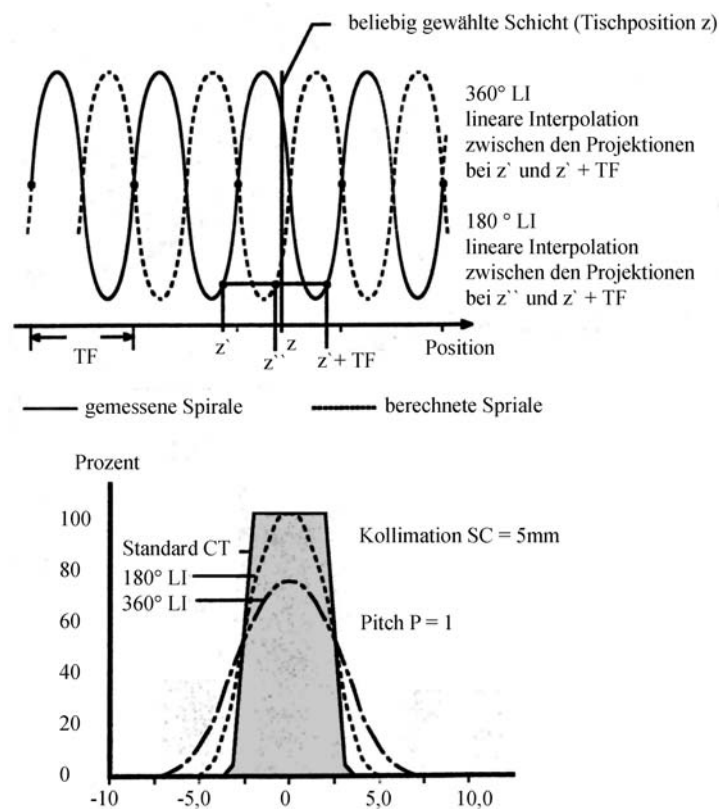


Abb.: Rekonstruktion einer Doppelkontrast Darstellung

2.3 Die Computertomographie

2.3.1 Grundlagen eines Computertomographen

Der Spiral- bzw. Helical-Computertomograph erlangte seine synonyme Bezeichnung durch die spiralförmige, helicale Abtastung. Der Patient wird nicht schichtweise abgetastet sondern kontinuierlich, mit gleichmäßigem Tischvorschub, durch die „Scanebene“ bewegt. So kommt auch die spiralförmige Abtastung zustande. Tischvorschub und Ort der Bildrekonstruktion sind voneinander unabhängig und es kann ein Bild aus jedem beliebigen Spiral-Segment errechnet werden. Auch können die einzelnen Bilder überlappen. Der Begriff Rekonstruktionsinkrement oder Rekonstruktionsintervall bezeichnet den Abstand zwischen den rekonstruierten Schichten. Schichtkollimation und Tischvorschub können ebenfalls unabhängig voneinander eingestellt werden. Der Begriff Pitch bezeichnet das Verhältnis von Tischvorschub pro Rotation zur Schichtkollimation. Erhöht man den Pitch, so verlängert sich der Scanbereich bei konstanter Zeit und die Strahlenbelastung nimmt ab.



Prinzip der Rohdateninterpolation

Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 13

Der Spiral-Computertomograph bietet für die klinische Diagnostik viele Vorteile, so zum Beispiel die kontinuierliche Volumenerfassung innerhalb kurzer Abtastzeit. Der Nachteil des Standard-Computertomographen, dass in atmerverschieblichen Organen kleine Läsionen leicht übersehen werden können, entfällt. Durch die überlappenden Rekonstruktion werden kleine Läsionen unabhängig des Partialvolumeneffektes sichtbar, ebenso wird durch die kurze Abtastzeit eine Aufnahme in Atemstillstandtechnik möglich. Des weiteren ist der Wirkungsgrad der Kontrastmitteluntersuchungen stark erhöht. Ein höherer Kontrast oder eine Einsparung von Kontrastmittel wird ermöglicht. Auch neue Gebiete erschließen sich, wie die

computertomographische-Angiographie sowie dreidimensionale Darstellungen von Organen und Pathologien, wie beispielsweise die virtuelle Koloskopie.

Es entstehen jedoch auch Nachteile, so wird die zu verarbeitende Datenmenge größer und es steigt auch die benötigte Zeit zur Rekonstruktion der Bilder.

Auch wird bei der Verwendung eines kleinen Rekonstruktionsintervalls die Anzahl der anfallenden Bilder sehr hoch. Nimmt man als Beispiel eine Spiral computertomographische-Untersuchung des Abdomens, mit einem Tischvorschub von 8mm und einer Scandauer von 30 Sekunden bei einer Bildrekonstruktion in 2 mm Intervallen, so fallen $40 \times 3 / 2 = 120$ Bilder an. Bei tatsächlichen Untersuchungen fallen noch größere Mengen von Bildern an. Die Dokumentation solch hoher Bildmengen verursacht Probleme, ebenso wie die sinnvolle Betrachtung und Bearbeitung der Bildstapel [Galanski 17].

2.3.2 Akquisition

In der vorliegenden Untersuchungen wurde eine Kollimation von 4 x 1 mm bzw. 4 x 2,5 mm verwendet. Die Ladung pro Schicht betrug zwischen 120 mAs und 160 mAs, bei einem Pitch von 5 – 6. Während der Untersuchung wurde intravenös 120 ml Kontrastmittel verabreicht, Ultravist 300 (Schering,) mit einer Flussrate von 3 ml/s. Ein Delay von 35 Sekunden wurde eingehalten. Rekonstruiert wurde im Weichteilkern mit einer rekonstruierten Schichtdicke pro Tischvorschub von 5/5mm, 3/1,5 mm und 1/0,5 mm. Die Rekonstruktionen mit 5 mm Schichtdicke dienten als Grundlage für die Auswertung der axialen Bilder, welche nicht überlappend rekonstruiert wurden. Für die dreidimensionale Rekonstruktion wurden Schichtdicken von 3 mm und 1mm mit jeweils 50 Prozent Überlappung rekonstruiert [Power et al 44].

Alle Untersuchungen wurden axial und mit verschiedenen 3D - Verfahren rekonstruiert. Falls größere Mengen Reststuhl und Flüssigkeit im Colon verblieben waren, wurde eine zweite Untersuchung in Bauchlage vorgenommen. Dies war jedoch durch gewissenhafte Vorbereitung der Patienten nur selten erforderlich.

Die Untersuchung wurde als eine Abdomen-Angio-Routine durchgeführt. Die Aufnahmedauer betrug zwischen 40 und 50 Sekunden und beinhaltete das gesamte Colon bis hin zum Rektum. Während der Untersuchung bzw. der Aufnahmedauer wurden die Patienten aufgefordert, den Atem anzuhalten, um eine Artefaktbildung zu unterbinden. Dies gelang nahezu allen Patienten ohne Probleme.

2.3.3 Schichtkollimation

Da eine Vielzahl von anatomischen Strukturen parallel zur Körperachse verlaufen, die Schnittführung in der computertomographischen-Diagnostik eine axiale ist und somit Gewebsgrenzen senkrecht geschnitten werden, hält sich der Partialvolumeneffekt in Grenzen und man kann eine entsprechend hohe Schichtkollimation von üblicherweise 7 – 10 mm benutzen. Probleme entstehen erst, wenn Gewebsgrenzen schräg oder parallel geschnitten werden. Hier kommt der Partialvolumeneffekt zum Tragen. Dieser kommt vor bei Strukturen wie dem Diaphragma, Lungenapex, den Nierenpolen, dem Darm oder besonders kleinen Strukturen wie kleinen Gefäßen, Bronchien, Nebennieren und kleinen Polypen. Hier muss nun die Kollimation auf Werte um 1 mm verringert werden [Galanski 17].

2.3.4 Schichtdicke

Die Dicke der untersuchten Schicht wird durch die Kollimation der Röntgenstrahlung bestimmt. Wie in der konventionellen Röntgendiagnostik gibt auch hier die Röntgenröhre keine parallelen, sondern konisch divergierende Strahlen ab. Auch hier wird im Computertomographen, wie in der konventionellen Röntgentechnik, versucht, über Blenden die Strahlung zu kollimieren. Es kann jedoch nie eine exakt planparallele Schicht erfasst werden, was stets zur Folge hat, dass auch angrenzende Objekte abgetastet werden. Um dieses Verhalten zu veranschaulichen, wählt man das Schichtempfindlichkeitsprofil.

Das ideale Schichtprofil ist ein Rechteck, dessen Breite die Schichtdicke angibt. Punkte, die sich innerhalb des Rechteckes befinden, tragen zum Computertomographen-Wert bei, alle außerhalb liegenden nicht. Das Schichtempfindlichkeitsprofil gibt an, wie viel ein bestimmter Punkt zum Bild beiträgt. Das ideale Schichtprofil kann jedoch nicht erreicht werden. Das heißt, dass auch angrenzende primär nicht relevante Regionen zum Bild beitragen. Mit abnehmender Schichtdicke nähert sich das Schichtprofil immer mehr einer Glockenform und entfernt sich somit vom Idealzustand [Galanski 17].

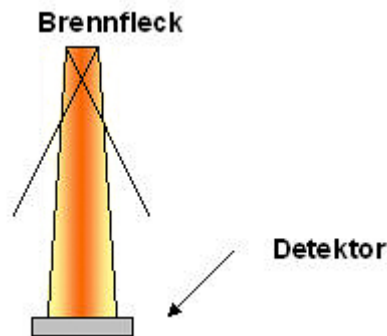


Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998

2.3.5 Bildrekonstruktion der Rohdaten

Durch die Tischbewegung und die 360-Grad-Rotation des Scanners entstehen Bewegungsartefakte. Ursächlich hierfür ist, dass bei der 360 Grad Umdrehung die erste und letzte Projektion unterschiedliche Daten liefern. Um diese Artefakte zu verhindern, ist man gezwungen, die Rohdaten zu interpolieren. Hierfür gibt es verschiedene Algorithmen, deren genauere Erklärung vorliegend jedoch zu weit gehen würde. Wie oben erwähnt, entspricht beim konventionellen Computertomographen die Breite des Schichtprofils der Schichtkollimation. Beim Spiral-Computertomograph entspricht das Schichtprofil jedoch weitgehend einer Glockenform. Diese hieraus erkennbare Breite ist nur noch eine effektive Schichtdicke. Sie hängt von einer Reihe von Faktoren wie zum Beispiel Schichtkollimation, Tischvorschub pro Röhrenrotation oder Interpolationsalgorithmus ab.

Bei einer computertomographischen Untersuchung müssen verschiedene Parameter eingestellt werden, die entscheidend zum Untersuchungsergebnis beitragen. Die wichtigsten hiervon sind die Basisparameter [Galanski 17].

Die Schichtkollimation bestimmt die Ortsauflösung in der z-Achse des Patienten.

Der Tischvorschub pro Röhrenrotation kann unabhängig von der Schichtkollimation gewählt werden. Das Verhältnis von Vorschub pro Rotation zu Schichtkollimation bestimmt den Pitch Wert. Ein Pitch-Wert von unter 1 führt zu einer überlappenden Abtastung des Volumens, ein Wert über zwei zu einer Abtastung mit Lücken und Bewegungsartefakten. Eine Erhöhung des Pitch-Wertes kann sowohl zu einer Vergrößerung als auch zu einer Verkleinerung der

effektiven Schichtdicke führen. Bei konstanter Schichtkollimation und Erhöhung des Tischvorschubes steigt die effektive Schichtdicke an, umgekehrt sinkt bei konstantem Tischvorschub und Verringerung der Schichtkollimation die effektive Schichtdicke [Galanski 17].

Schichtparameter			eff. Schichtdicke (FWTA)	
SC	TF	Pitch	360° LI	180°LI
3mm	6mm	2,0	8,5mm	5,0mm
4mm	6mm	1,5	9,0mm	5,7mm
5mm	6mm	1,2	9,5mm	6,4mm
6mm	6mm	1,0	10mm	7,1mm

SC=Schichtkollimation, TF=Tischvorschub,FWTA=Breite des Schichtprofils

Der Begriff Rekonstruktionsinkrement gibt den Grad der Überlappung zwischen den axialen Schichten an. Durch die Möglichkeit der überlappenden Rekonstruktion können kleine Herde sicherer diagnostiziert werden [Galanski 17].

Rekonstruktionsalgorhythmus

Ortsauflösung und Bildrauschen hängen direkt proportional miteinander zusammen. Der Faltungskern bestimmt das Verhältnis Ortsauflösung zu Bildrauschen. Eine hohe Ortsauflösung ist wichtig, um kleine Strukturen in Lunge oder Knochen wahrzunehmen. Eine hohe Kontrastauflösung ist jedoch wichtig, um feinste Strukturen in parenchymatösen Organen wie Leber oder Pankreas zu diagnostizieren. Hohe Faltungskerne verbessern nun zwar die Ortsauflösung, erhöhen jedoch auch das Bildrauschen. Umgekehrt werden durch glättende Faltungskerne nicht nur das Rauschen, sondern auch die Ortsauflösung verringert [Galanski 17].

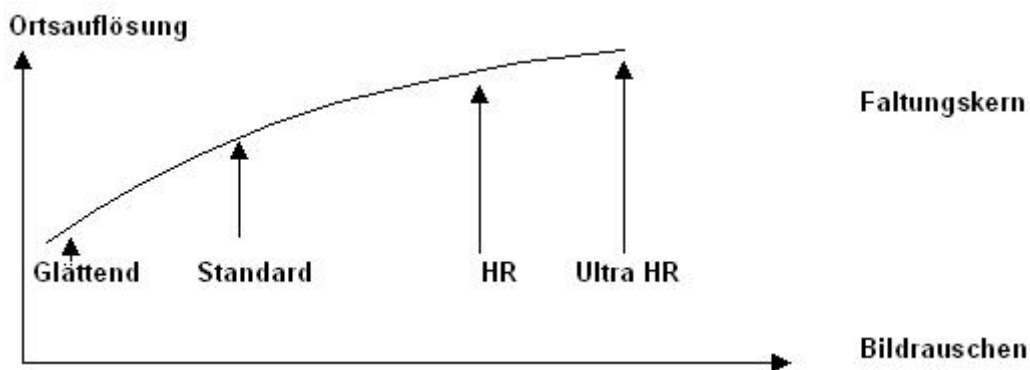
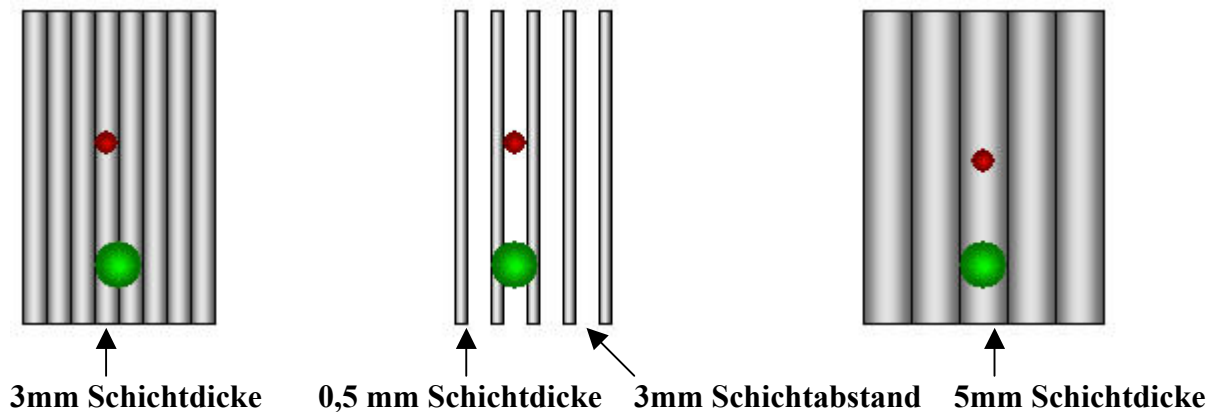


Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 11

2.3.6 Partialvolumeneffekt



● Struktur einer Größe von 3mm oder geringer

● Struktur einer Größe > 3mm

Wie man aus den beiden oben abgebildeten Skizzen entnehmen kann, gibt es einen signifikanten Unterschied bei den Bildstapeln, zwischen einem Stapel mit einer Schichtdicke von 3 mm und einem Bildabstand von 0 mm, und einem Stapel mit einer Schichtdicke von 0,5 mm und einem Schichtabstand von 3 mm. Eine Struktur von 3 mm Größe wird in einem Stapel mit einer Schichtdicke von 3 mm sicher gesehen. Nimmt man nun einen Stapel mit 0,5 mm Schichtdicke und 3 mm Abstand, so kann bei ungünstigen Verhältnissen die Struktur übersehen werden.

Dasselbe gilt für einen Stapel mit 5 mm Schichtdicke, hier kann die Struktur ebenfalls übersehen werden. Sind die Strukturen jedoch größer, wird die Gefahr dieses Effektes immer geringer. So kann eine Struktur größer 3 mm auch in dem zweiten Stapel erkannt werden. Der Partialvolumeneffekt erklärt sich daraus, dass sich der computertomographische Wert eines dargestellten Bildpunktes aus dem entsprechenden Voxel abbildet. Dieses Voxel kann aufgrund seines Aufbaus und seines Volumens mehr als nur einen Gewebetyp enthalten. Es kann zum Beispiel Anteile von Lungengewebe, Knochen und Gefäßen enthalten. Diese verschiedenen Strukturen tragen nun zu dem computertomographischen Wert bei. Der computertomographische Wert setzt sich somit aus den einzelnen Werten der beteiligten Gewebe zusammen. Deshalb nennt man den Partialvolumeneffekt auch Teilvolumeneffekt.

$$CT = v_1 * CT + v_2 * CT + \dots \dots \dots v_i * CT$$

Das heißt, dieser resultierende Wert kann nun abgeschwächt oder in seinem Grauwert verstärkt sein. Der Partialvolumeneffekt wird größer für Strukturen, die in den axialen computertomographischen Bildern nicht senkrecht geschnitten werden, und wird dann besonders groß, wenn eine Struktur parallel geschnitten wird. Da ein Voxel in der z-Richtung eine viel größere Ausdehnung besitzt als in der x, y – Achse, spielt die Schichtkollimation eine große Rolle bei dem Partialvolumeneffekt [Galanski 17].

2.3.7 Bilddarstellung

Ein computertomographisches Bild stellt eine Schicht einer definierten Dicke dar. So entspricht ein Bildpunkt nicht einem einzelnen Punkt, sondern einer Volumeneinheit, einem so genannten Voxel. Das computertomographische Bild besteht aus einer Bildmatrix, die 256^2 bis zu 1024^2 Bildpunkte, die so genannten Pixel umfasst.

Die Größe des Voxels setzt sich zusammen aus der Matrixgröße, dem dargestellten Bildausschnitt (= Field of View) und der Schichtdicke. Für eine große Anzahl von Untersuchungen haben die Voxel eine Streichholzform. Dies kommt dadurch zustande, dass die Schichtdicke, die der z-Achse entspricht, um ein vielfaches größer ist, als die Abmessung in der x- und y-Achse. Das heißt, die Schichtdicke beeinflusst die Form des Voxel sehr stark. Dieser Effekt ist auch ursächlich für den Partialvolumeneffekt. Wird nun die Schichtdicke verringert, so nähert sich die Form des Voxel dem Ideal, einem Würfel. Vollständig kann dies jedoch nicht erreicht werden [Galanski 17].

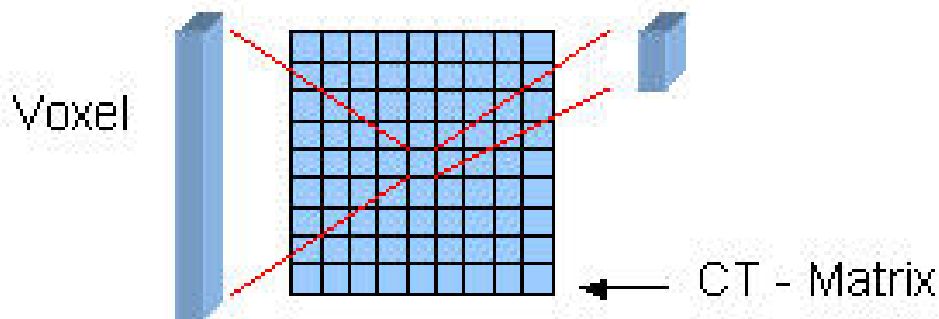


Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 7

Wie bereits oben erwähnt, wird nun jedem einzelnen Voxel bei der Bildrekonstruktion ein computertomographischer Wert zugeordnet, der sich aus der Röntgenschwächung an diesem lokalen Ort ergibt.

G. Hounsfield definierte dabei die computertomographischen Werte, um sie in einer handelbaren Größe zu halten, und um die Abhängigkeit der Röntgenschwächung von der Strahlungsenergie zu verringern.

Die Hounsfield Skala beginnt bei -1000 für Luft und besitzt den definierten Wert 0 für Wasser, wobei sie nach oben offen ist.

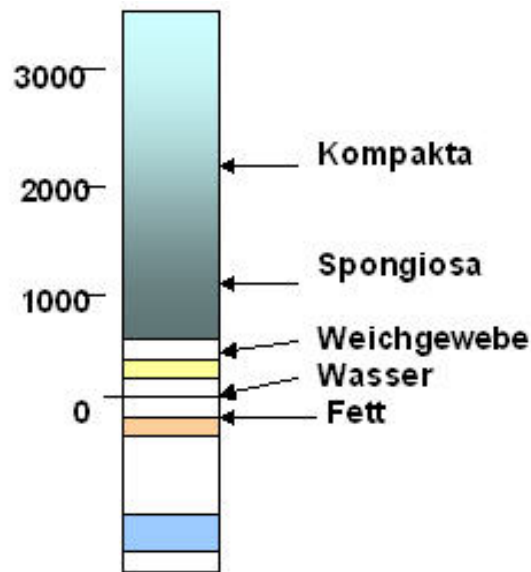


Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 7

Der computertomographische Wertebereich, der zur Verfügung steht, wird üblicherweise von -1024 bis 3071 Hounsfield-Einheiten angegeben.

Es ist jedoch nicht sinnvoll, die gesamte computertomographische Skala den verfügbaren Grauwerten zuzuordnen, da das menschliche Auge nur eine geringe Anzahl von Graustufen unterscheiden kann. Im Regelfall liegt diese zwischen 40 bis 100. Deshalb wird ein Fenster, ein Ausschnitt gewählt, der zur Kontrastanhebung dient. Das Fenster wird eingestellt über ein „Center“ und einen „Level“. Das „Center“ bezeichnet den Mittelpunkt, um den herum im Bereich des „Levels“ Grauwerte angezeigt werden. Der Kontrast ist um so größer je geringer die Weite (=„Level“, „) des Fensters gewählt wird. Die Bilddaten können jetzt mit einer Vielzahl an Geräten und Software weiterverarbeitet werden, zum Beispiel zur Erstellung dreidimensionaler Modelle [Galanski 17].

Ideale Einstellungen in Abhängigkeit verschiedener Organe:

Organ	Weite	Level/Center
Lunge	1500	-650
Weichteil nativ	400	40
Knochen	2000	500
Gefäße	500	100 – 200

Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 8

Nachfolgende Bilder veranschaulichen die unterschiedliche Ausgabe in Abhängigkeit der Einstellungswahl.

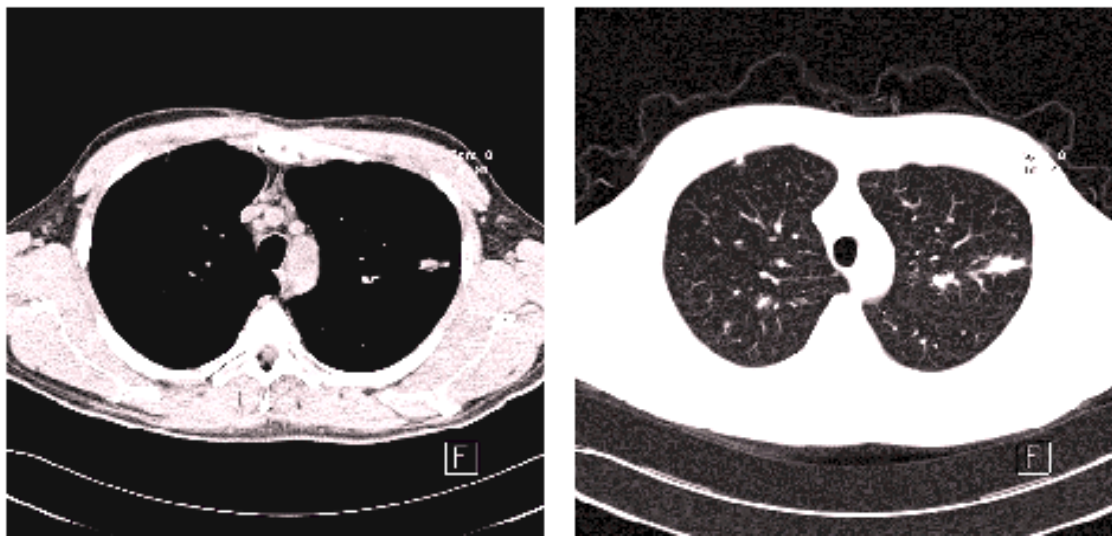


Abb.: Darstellung des Thorax in zwei verschiedenen Fenstern; Siemens 3Dvirtuoso Clinical examples; Präsentations- CD-Rom

2.4 Bildnachverarbeitung

Die Patienten wurden in Kombination verschiedener Techniken untersucht.

- Endoluminal als „virtuelle Koloskopie“
- In Volume-Rendering-Technik, mittels Untersuchung durch „Clip Planes“ von:
 - Cranial
 - Caudal
 - Ventral
 - Dorsal
 - Lateral links
 - Lateral rechts
- Als MPR-Untersuchung
- Sowie in axialen Schichten

2.4.1 Zweidimensionale und dreidimensionale Bildverarbeitung

Allen zwei- und dreidimensionalen Bildverarbeitungsverfahren ist gemeinsam, dass die Einzelschichten zu einem großen Datenvolumen "gestapelt" werden. Dabei wird das Datenvolumen in Voxel eingeteilt, welche ein Volumenelement darstellen. Der Querschnitt eines Voxel entspricht dem eines Pixels, also eines Bildpunktes. Die Höhe des Voxel wird bestimmt durch den Schichtabstand. Durch die Überlappung bei der Abtastung im Spiral-

Computertomographen enthält der Voxel auch immer Informationen über seine Nachbarregionen [Galanski 17].

2.4.2 Axiale Schichtbilder

Axiale Schichtbilder stellen den Grundbaustein einer computertomographischen Untersuchung dar. Es sind einzelne Schnitte durch den zu untersuchenden Körper mit einer bestimmten Schichtdicke.

2.4.3 Multiplanare Rekonstruktion (MPR)

Multiplanare Rekonstruktionen (MPR) sind sekundäre Rekonstruktionen von Schnitten in beliebigen Richtungen aus dem axialen Datenstapel. Um ein so genanntes MPR erzeugen zu können, muss man durch einen Datenstapel eine bestimmte Schnittrichtung in einem Referenzbild, sei es nun axial, dreidimensional oder auch MPR festlegen, zu der man die dazugehörigen MPR erzeugen möchte. Es ist auch möglich, schräge und kurvige Schnittlinien zu erzeugen, die dann nicht nur an einem, zum Beispiel axialen Referenzbild eingezeichnet werden, sondern an mehreren. Die Breite einer MPR kann ebenfalls gewählt werden. Von Vorteil ist hierbei, wenn man die Breite etwas erhöht. Zudem erhöhen dünnere Schichten ebenfalls die Bildqualität.

Eine MPR ist am besten geeignet für Schnittrichtungen, die sich wenig von den axialen Bildern unterscheiden. Bei senkrechter Linienführung zu den axialen Bildern wird die Bildqualität durch die Auflösung der z-Achse beeinflusst. Um Stufenartefakte zu verhindern, empfiehlt es sich, eine genügend große Überlappung der Bilder bei der Akquisition zu wählen.

Insgesamt bieten MPR die Möglichkeit, zum Beispiel bei Fehllagerungen, symmetrische Abbildungen zu erreichen, und ermöglichen das Verfolgen pathologischer Strukturen durch verschiedene Schichten, bei denen eine zweite Ebene oft sehr hilfreich ist [Galanski 17].

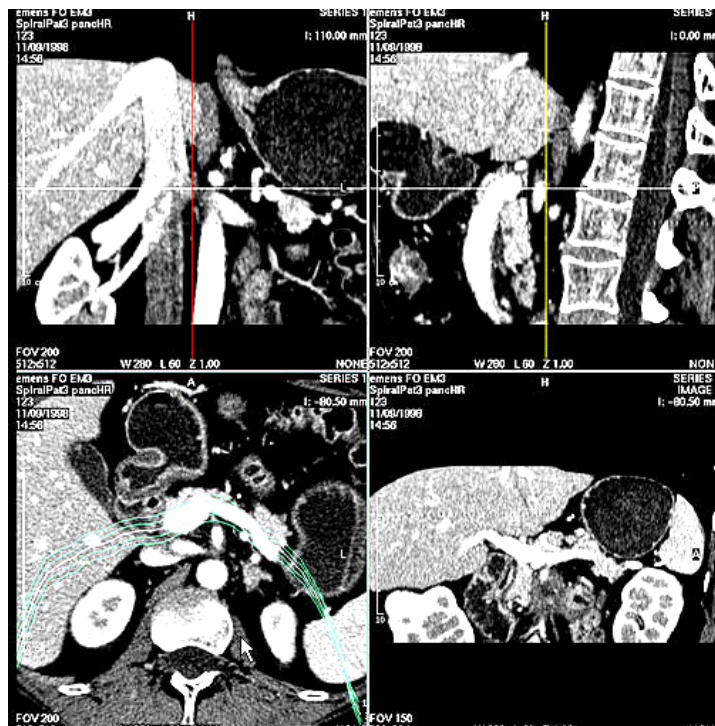


Abb.: Curved MPR des Pankreas, Siemens 3Dvirtuoso Clinical examples

2.4.4 Maximum Intensitätsprojektion (MIP), Minimum Intensitätsprojektion (mIP)

Beide Verfahren, ob nun Maximum Intensitätsprojektion (MIP) oder Minimum Intensitätsprojektion (mIP) dienen dazu, den Kontrast kleiner, aber doch kontrastreicher Strukturen gegenüber der Umgebung anzuheben. Man kann beide Verfahren auf den gesamten Datensatz oder auf einzelne Bereiche anwenden. Bei der MIP werden maximale und bei der mIP minimale computertomographische Werte dargestellt. So ermöglicht die MIP-Darstellung, dass kontrastierte Gefäße oder Verkalkungen unterschiedlicher computertomographischer Werte differenziert werden und auch sehr kleine Gefäße sichtbar gemacht werden können. Der Bildhintergrund wird abhängig vom Bildrauschen dargestellt. Je höher das Rauschen ist, desto dichter wird der Hintergrund. Der Kontrast ist abhängig von dem computertomographischen Wert der gesuchten Struktur und der Differenz zur Umgebung. Der Kontrast wird also umso größer, je geringer die computertomographischen Werte des Hintergrunds sind, je geringer Teilvolumeneffekte sind und je höher der computertomographische Wert in der gewünschten Struktur erscheint. Eine Verbesserung der Bildqualität erreicht man durch Verkleinerung bzw. Verschmälerung des Darstellungsvolumens. Da von der z-Achse beeinflusst, gilt auch hier die Qualität in axialen MIP oder mIP ist am größten.

Trotz aller positiven Seiten gibt es auch bei dieser Darstellungsmethode einige negative Aspekte. So können zum Beispiel kleinere Gefäße der Darstellung entgehen, wenn das Darstellungsvolumen zu groß gewählt wurde oder stärker kontrastierte Umgebungsstrukturen vorliegen und der computertomographische Wert der Gefäße genauso groß oder geringer ist, als der des Hintergrundes. Sei es nun aufgrund von mangelnder Kontrastierung oder durch Partialvolumeneffekte. Auch Dissektionsmembranen werden nur dann erkennbar, wenn diese exakt parallel zur Blickrichtung verlaufen [Galanski 17].

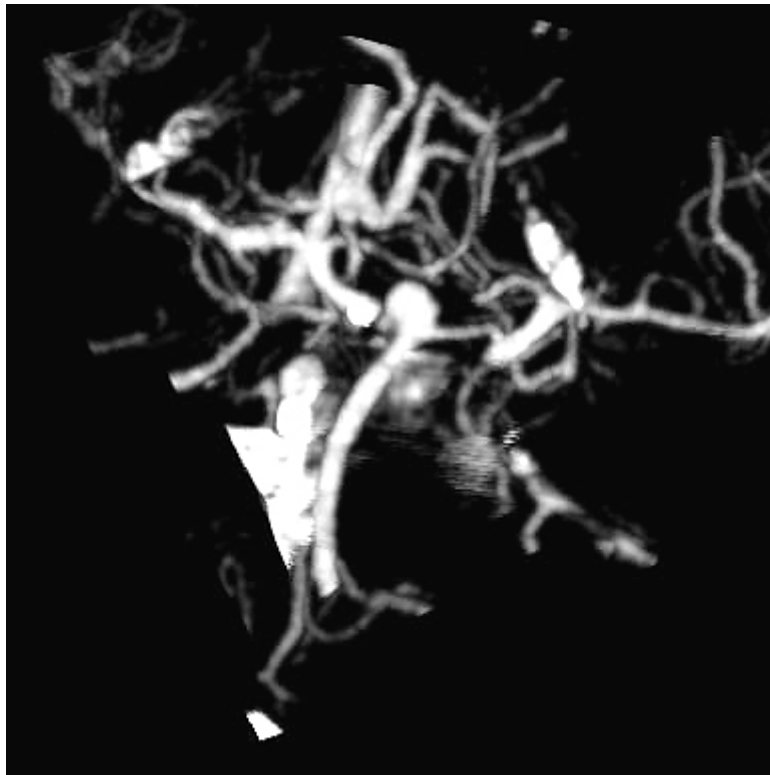


Abb.: MIP der interkraniellen Gefäße, Siemens 3Dvirtuos Clinical examples

2.4.5 Dreidimensionale Oberflächenrekonstruktion Shaded Surface

Eine Struktur in einem Datenvolumen kann dreidimensional dargestellt werden. Hierfür gibt es mehrere Verfahren. Eines der Verfahren ist das so genannte „shaded surface display“, kurz „SSD“ oder auch 3D-Oberflächenrekonstruktion.

Hierfür wird nun das Objekt von Interesse an seinen Rändern von anderen Strukturen durch die sogenannte Segmentation getrennt. Diese ist jedoch stark abhängig von dem Kontrast der Objekte. Am einfachsten lassen sich Hounsfield Schwellenwerte bestimmen, in dessen Bereich alle Voxel dargestellt werden sollen. Um einen dreidimensionalen Eindruck zu bekommen, wird das segmentierte Objekt durch eine virtuelle Lichtquelle beleuchtet. Die Qualität der Darstellung hängt entscheidend von der Segmentation und den Schwellenwerten ab, deren Wahl ist jedoch oft schwierig. Rein theoretisch wäre der Mittelwert zwischen dem computertomographischen Wert des Objektes und der Umgebung der richtige. Dies lässt sich jedoch nicht einfach umsetzen. Strukturen die kleiner sind als die effektive Schichtdicke, verlieren ebenso wie parallel zur Schnittebene verlaufende Strukturen an Kontrast, und gehen dadurch aufgrund des Partialvolumeneffektes verloren. So entstehen Pseudostenosen, Skelett- und Gefäßdefekte.

Durch Verringerung des Schwellenwertes lässt sich diesem Phänomen entgegenwirken. Es werden mehr Voxel angezeigt, jedoch ist eine Gradwanderung vonnöten, da es rasch zur Abbildung von ungewollten Strukturen kommt. Man spricht hier auch von „fliegenden Pixeln“. Besonders an kontrastarmen Grenzflächen entstehen schnell solche störende Effekte. Vorteile bringt diese Technik in der Skelettdiagnostik oder auch in der präoperativen Darstellung von schwierigen anatomischen Verläufen, zum Beispiel in Verbindung mit pathologischen Prozessen. Eine weitere Variante der Segmentation ist das so genannte Editieren. Es kann positiv oder negativ editiert werden, das heißt, es werden entweder Strukturen markiert, die dargestellt werden sollen, oder beim negativen Editieren solche, die nicht dargestellt werden sollen. Sie können als zweidimensionale Verfahren, bei denen Schicht für Schicht editiert werden muss, und als dreidimensionale Verfahren angewendet werden.

Konnektivitätsalgorithmen finden nun zusammengehörende Objekte in einem Datensatz. Zum Beispiel mit gleichen Hounsfield-Werten und einem zusammenhängenden Ausgangspunkt. Auch hier können diese Algorithmen wieder auf einzelne Schichten, Bereiche oder das gesamte Datenvolumen angewendet werden. Je größer man das Volumen wählt, desto rascher lässt sich segmentieren, aber desto höher ist auch das Risiko, dass sich Verbindungen zwischen nicht zusammenhängenden Objekten bilden. Solche so genannten Brücken lassen sich aber auch wieder durch Veränderung der Schwellenwerte trennen. Manuelles Trennen mittels einer Schneidelinie oder morphologische Operatoren ist oft nötig. Diese Operatoren sind unabhängig von Schwellenwerten und beziehen sich nur auf die Morphologie. Sie können Voxel entfernen oder an Grenzschichten aufstapeln oder auch fliegende Pixel entfernen. Dabei verringern sich allerdings zumeist Oberflächendetails [Galanski 17].

Nachfolgend ein Beispiel einer Segmentation eines CT-Abdomen Datensatzes.

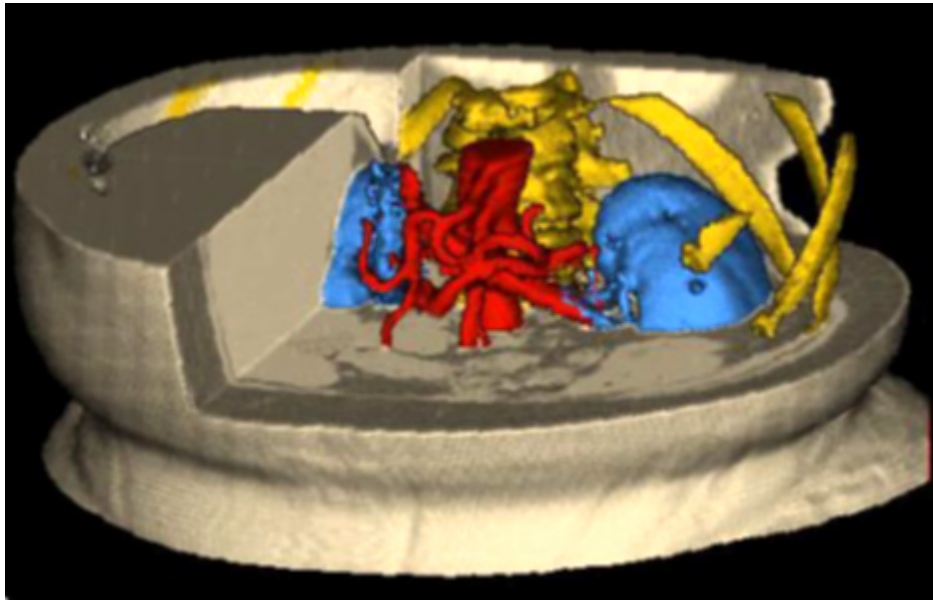


Abb. : SSD des Abdomens ; Siemens 3Dvirtuoso Clinicaexamples

2.4.6 Dreidimensionale Oberflächenrekonstruktion Volume Rendering

Die Volume-Rendering-Technik bezeichnet ein Verfahren, bei dem im Gegensatz zur Oberflächendarstellung (SSD) nicht nur die Objektoberfläche dargestellt wird, sondern sie vereint Oberflächen und Volumendarstellung [Calhoun et al 9].

Bei der bereits oben erwähnte Oberflächendarstellung ist ein dargestelltes Intervall scharf begrenzt. Das heißt, dass entweder Werte, die innerhalb des Intervalls liegen, mit voller Opazität dargestellt werden oder Werte, die außerhalb liegen, gar keinen Beitrag zur Darstellung des Objektes liefern.

Opazität bezeichnet hierbei die Intensität, mit der ein jeweiliger Voxel dargestellt wird. Alle innerhalb des Intervalls dargestellten Voxel haben somit eine maximale Opazität, was wiederum bedeutet, dass bei der Oberflächendarstellung nur die Objektoberfläche dargestellt wird.

Mit der Volume-Rendering-Technik lässt sich die Opazität innerhalb eines Intervalls verändern. Dies ermöglicht nicht nur eine Darstellung der Oberfläche, sondern eine Einbeziehung des gesamten Volumens. Die Volume-Rendering-Technik ist der Oberflächendarstellung SSD überlegen. Sie ist nicht so abhängig vom Partialvolumeneffekt, da eine nicht ganz korrekte Wahl des Schwellenwertes weniger große Einflüsse verursacht. Des weiteren lassen sich Objekte semitransparent darstellen. Es besteht auch die Möglichkeit, mehrere Intervalle, auch überlappend, in die Darstellung eines Objektes zu vereinigen und so höhere Bildgüte zu erreichen. Diese Technik lässt eine große Anzahl von Möglichkeiten zu, um ein Objekt darzustellen. Zum Beispiel als Schnittbilder, halbtransparente Objekte mit Innenleben als dreidimensionale Aufsichtsbilder, und nicht zuletzt die virtuelle Nachahmung von endoskopischen Verfahren. Dabei ist es prinzipiell möglich, jede Hohlraum-Struktur aus der Sicht eines Endoskops darzustellen, wie zum Beispiel das Colon, Bronchien, Nasennebenhöhlen, Gefäße und vieles mehr.

Der Effekt des endoskopischen Bildes wird dadurch erreicht, dass anstelle einer parallelen Projektion Zentralprojektionen eingesetzt werden. Innerhalb des Objektes kann der Benutzer seinen Blickwinkel variabel verändern, „Flugpfade“ vorgeben oder interaktiv „abfliegen“. Die optimale Variante ist die, bei der bei tubulären Organen, wie zum Beispiel dem Colon, durch Berechnung des Mittelpunktes der Struktur eine Flugbahn automatisch errechnet und zugeordnet wird, und der Beobachter, in diesem Falle der untersuchende Arzt, nur noch einen vorher errechneten Film betrachtet. Er sollte auch interaktiv eingreifen können, um Strukturen ausmessen und den Blickwinkel verändern zu können. Besonders gute Darstellungen bei diesen Methoden, insbesondere bei den endoskopischen Darstellungen, lassen sich dann erreichen, wenn zwischen den zwei angrenzenden Medien, am Beispiel des Colons Schleimhaut und Luft, ein besonders großer Unterschied in den Hounsfield-Einheiten herrscht. So kommt es zu einer strikten Trennung der zwei unterschiedlichen Medien, mit dem geringsten Fehler vorausgesetzt, eine optimale Wahl des Intervalls und der besten Bildgüte ist gegeben.

Nachfolgend sind die wichtigsten endoskopisch darzustellenden Organe mit ihren natürlichen Grenzflächen und Intervallen für die Volume-Rendering-Technik bzw. Schwellen für die Oberflächendarstellung SSD abgebildet.

Organ	Grenzfläche	Schwelle, Intervall	
Bronchien	Mediastinum/Luft	>	-500 +- 200
	Bronchialwand/Luft	>	- 700 +- 200
NNH	Schleimhaut/Luft	>	- 500 +- 200
Darm	Weichgewebe/Luft	>	- 500 +- 200
Arterien	Weichgewebe/Kontrastmittel	<	150 +- 50

Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 33

Abschließend ist zu sagen, das die Volume-Rendering-Technik der Oberflächendarstellung weit überlegen ist. Das gilt selbstverständlich auch für die endoskopische Darstellung. Das Oberflächendarstellungsverfahren SSD ist viel artefaktanfälliger, selbst bei vermeintlich optimaler Wahl der Schwellenwerte kommt es immer wieder zu Pseudoverschlüssen und Pseudostenosen. Diese Problematik fällt bei der Volume-Rendering-Technik viel geringer aus [Calhoun et al 9, Galanski 17].

Nachfolgend mehrere Beispiele unterschiedlicher Volume-Rendering-Abbildungen:

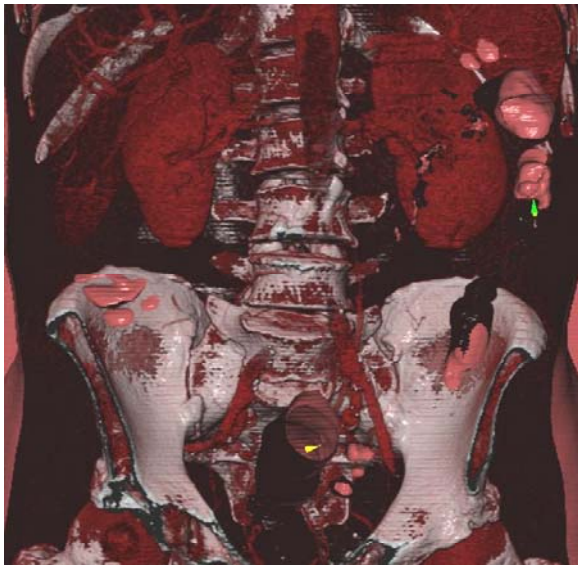


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung eines Polypen

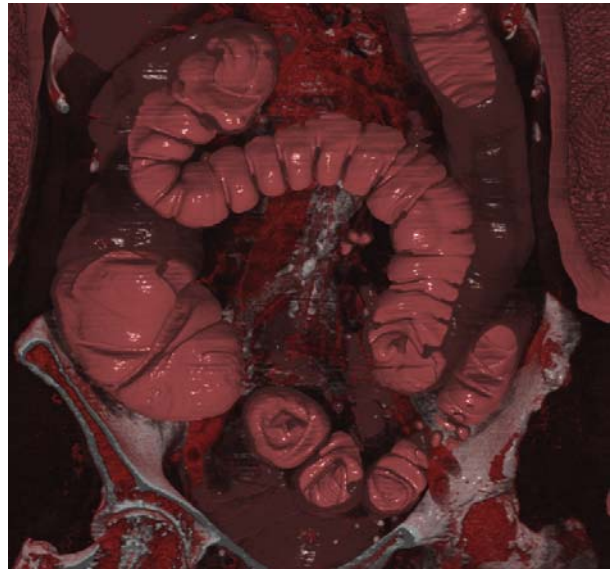


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung eines Polypen

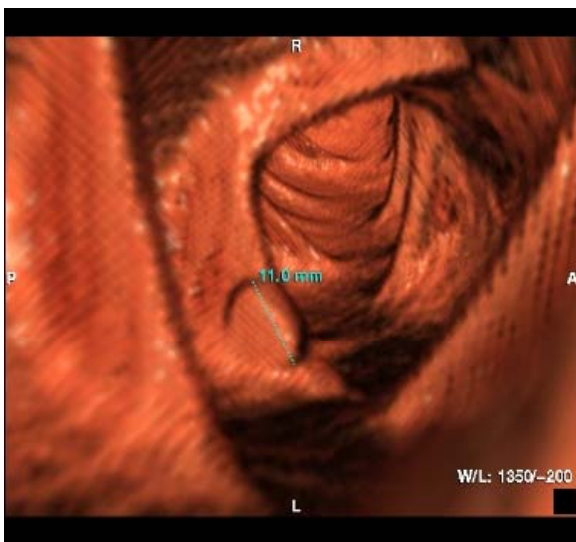


Abb.: Virtuell endoluminale Darstellung eines Polypen



Abb.: Rekonstruktion einer Doppelkontrast Darstellung

2.5 Darstellung der virtuellen Koloskopie

Als Mehrschichtcomputertomograph stand das Siemens-Gerät „Somatom Plus 4 Volume Zoom“ (Siemens, Forchheim) zur Verfügung. Es verfügt über vier parallele Detektorzeilen und eine leistungsfähige Röhrentechnik.

2.5.1 Kolonographie mittels axialer Darstellung

Die Betrachtungsweise der axialen Schichten unterscheidet sich nicht von der normalen Befundung einer computertomographischen Untersuchung. Es zeigt sich lediglich der Vorteil der besseren Beurteilbarkeit des Organs, durch dessen Distension und der konventionellen Koloskopie entsprechenden Vorbereitung.

Für die dreidimensionalen Verfahren der Untersuchung eines Patienten ist eine hohe Bildqualität vonnöten. Diese hängt zum einen von der Auflösung des Computertomographen und insbesondere von der verwendeten Visualisierungseinheit ab.

Für eine endoluminale Darstellung als „virtuelle Koloskopie“ oder auch für die Darstellung von Schnittbildern, mit Hilfe von „Clip Planes“ in Volume-Rendering-Technik, ist das 3D-Texturmapping eine der Voraussetzungen, um bei einem Volumendatensatz eine entsprechende Bildqualität und Darstellung zu erreichen [Hall et al 21].

Sämtliche Rekonstruktionen wurden in einer maximalen Auflösung von 512 x 512 Matrix, rekonstruiert.

Zur Bildbearbeitung dienten uns zwei Systeme:

- Virtuoso, Firma: Siemens, Forchheim, Deutschland
- Vitrea, Firma: Vital Images, Mineapoli,s USA

2.5.2 Kolonographie mittels MPR-Darstellung

Von den axialen computertomographischen Bildern wurden multiplanare Rekonstruktionen erstellt.

Sowohl die Konsole, die Siemens Virtuoso, als auch das Vitrea-Visualisierungssystem boten die Möglichkeit der multiplanaren Rekonstruktion.

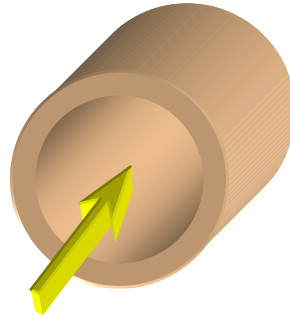
An der Konsole und der daran angeschlossenen Workstation wurden mit der kommerziell implementierten Software die Nachverarbeitungsschritte durchgeführt.

Eine coronare, eine sagittale und eine axiale Ansicht wurden erstellt und ausgewertet.

2.5.3 Endoluminale Darstellung als Abwandlung der Volume-Rendering-Technik

Der Endoluminale Blick simuliert die Sicht durch ein Endoskop und stellt somit eine Form der virtuellen Koloskopie dar.

Blickrichtung in
das Lumen des Colons



Diese Darstellung vereint die Vorteile und auch die Nachteile der Sichtweise der Konventionellen Koloskopie [Paik et al 41].

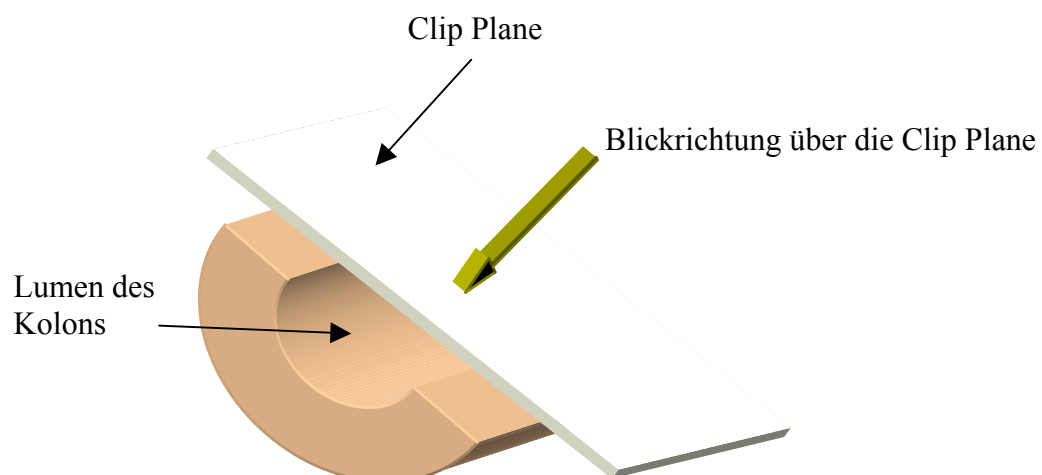
2.5.4 Extraluminale Darstellung als Abwandlung der Volume-Rendering-Technik

Mit Hilfe der Volume-Rendering-Technik entsteht, wie oben beschrieben, eine selektive Darstellung der Oberfläche des Darmes und anderer Weichteilstrukturen. Mit „Clip Planes“ lässt sich nun beliebig durch einen Datensatz „schneiden“ und so die dahinter liegenden Strukturen begutachten, ausmessen und aus jeglicher Richtung betrachten.

Damit hierbei keine Struktur übersehen wird, wurde der jeweilige Datensatz nach einem festen Schema durchsucht.

Vorgehensweise der Untersuchung:

- Cranial
- Caudal
- Ventral
- Dorsal
- Lateral links
- Lateral rechts



2.6 Patientenvorbereitung und Untersuchung der virtuellen Koloskopie

2.6.1 Grundlegende Schritte vor der Untersuchung eines Patienten

Grundlegend muss vor dem Beginn der Untersuchung abgeklärt werden ob eine computertomographische Untersuchung für die jeweilige Fragestellung auf die dafür übliche Art durchgeführt werden kann. Dabei gilt es insbesondere einige körperliche Einschränkungen zu beachten, die nachfolgend aufgeführt werden.

Risikogruppen:

- Nierenfunktionsstörung
- Diabetes Mellitus
- Schwere Hypertonie
- Paraproteinämien

Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 37

Bei Untersuchungsanmeldung zu klären:

- Nierenfunktion (Kreatinin i. S. > 150 µmol/ml)
- Plasmozytom oder Amyloidose
- Kontrastmittelallergie
- Darmreinigung (virtuelle Koloskopie, Sellink)
- Hyperthyreose
- Papilläres oder follikuläres Schilddrüsenkarzinom
- Nüchtern (Magen und Pankreas Computertomographie)
- Abstimmung mit Anästhesie/Pädiatrie

Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 36

Bei Ankunft des Patienten:

- oben genannte Punkte überprüfen
- Aufklärung über:
- Kontrastmittelallergie
- Buscopan, Glucagongabe
- Intervention
- Darmkontrastierung

Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 37

2.6.2 Reinigung des Colons

Bei der Darstellung des Darms oder des Magens ist es unbedingt notwendig, vor der Untersuchung eine gründliche Reinigung durchzuführen. Restinhalte des Magens und des Darms erschweren eine Beurteilung, können sie unmöglich machen und pathologische Strukturen vortäuschen. Stuhlreste im Darm können zum Beispiel Polypen vortäuschen.

Der Patient sollte am Vorabend und am Morgen der Untersuchung keine festen Speisen zu sich nehmen und auch die orale Flüssigkeitsaufnahme etwa 6 Stunden vor Beginn der Untersuchung beenden. Die Gabe eines leichten abführenden Mittels verbessert die Qualität der Untersuchung des Magens oder des Dünndarms ebenfalls.

Für die Darstellung des Colons sollte man den Patienten, einer Vorbereitung entsprechend einer konventionellen Koloskopie unterziehen. Er sollte hierzu einen Tag vor der Untersuchung ein Abführmittel (zum Beispiel X - Prep, Mundipharma) mit ca. zwei bis vier Liter Flüssigkeit verabreicht bekommen. Des weiteren sollte mindestens sechs bis acht Stunden vor der Untersuchung vier Liter Macrogol (Klean - Prep, Norgine) zur zuverlässigen Säuberung des Darmes, aufgenommen werden. So lässt sich mit Gabe von Glucagon oder Buscopan bei der Untersuchung eine optimale Distension und Darstellbarkeit ohne wesentlich störende Restinhalte erreichen [Galanski et al 17].

2.6.3 Akquisitionsparameter

Nachfolgend werden die bei unseren computertomographischen Untersuchungen verwendeten Parameter und Einstellungen für eine optimale Durchführung der „virtuellen Koloskopie“ aufgelistet:

- Eine Kollimation von 4 x 1 mm bzw. 4 x 2,5 mm
- Die Ladung pro Schicht betrug zwischen 120 mAs und 160 mAs;
- Pitch von 5 - 6;
- Verabreichung von intravenösem Kontrastmittel. Durchschnittlich 120 ml Ultravist 300 (Schering) mit einem Fluß von 3 ml/s;
- Delay von 35 Sekunden
- Rekonstruiert im Weichteilkern, mit einer rekonstruierten Schichtdicke pro Tischvorschub von 5/5mm , 3/1,5 mm und 1/0,5 mm.

Die Rekonstruktionen mit 5 mm Schichtdicke dienen als Grundlage für die Auswertung der axialen Bilder, welche nicht überlappend rekonstruiert wurden. Für die „Dreidimensionale“ Rekonstruktion wurden Schichtdicken von 3 mm und 1 mm mit jeweils 50 Prozent Überlappung rekonstruiert [Power et al 44].

Alle Untersuchungen wurden axial und mit verschiedenen Drei-Dimensionalen Verfahren rekonstruiert. Falls größere Mengen Reststuhl und Flüssigkeit im Colon verblieben, wurde eine zweite Untersuchung in Bauchlage vorgenommen. Dies war jedoch durch gewissenhafte Vorbereitung der Patienten nur in seltenen Fällen erforderlich.

Die Untersuchung wurde als eine Abdomen-Angio-Routine durchgeführt, die Aufnahmedauer betrug zwischen 40 und 50 Sekunden und beinhaltete das gesamte Colon bis hin zum Rektum. Während der Untersuchung, bzw. der Aufnahmedauer, wurden die Patienten aufgefordert den

Atem anzuhalten, um eine Artefaktbildung zu unterbinden. Dies gelang nahezu allen Patienten ohne Schwierigkeiten.

2.6.4 Kontrastmittel enteral und parenteral

Röntgenstrahlung wird durch Wechselwirkung mit Materie nach dem Exponentialgesetz abgeschwächt.

$$I_d = I_0 \cdot e^{-\mu d}$$

$I(d)$ = Strahlenintensität nach dem Durchgang durch eine Materie mit der Schichtdicke d

I_0 = Strahlenintensität vor dem Durchgang durch eine Materie (100 Prozent)

d = Dicke der Materieschicht

e = Basis der natürlichen Logarithmen 2,71828;

μ = Linearer Schwächungskoeffizient (Materialkonstante, die von der Strahlenenergie abhängig ist). Je größer diese ist, desto stärker fällt die Photonenstrahlung in der Tiefe exponentiell ab.

Die physikalische Dichte des Stoffes = ρ

$$M/V = \text{gcm}^{-3}$$

(m = Masse, V = Volumen) und

die durchschnittliche Ordnungszahl Z

der Atome im durchstrahlten Volumen mit der 3. – 4. Potenz:

$$Z^3 - Z^4.$$

Röntgenkontrastmittel bewirken in ihrem jeweiligen Verteilungsraum eine von der Konzentration abhängige Strahlenabschwächung, die von der Umgebung, die weniger Kontrastmittel anreichert, differiert. Dabei unterscheidet man positive von negativen Röntgenkontrastmitteln.

Negative Kontrastmittel verursachen einen Unterschied in der Strahlenabschwächung durch die geringere Dichte ρ .

Positive Kontrastmittel führen zu einem Unterschied in der Strahlenabschwächung durch ihre Atome höherer Ordnungszahl $Z^3 - Z^4$.

Dies wird verständlich und deutlich, wenn man bedenkt, dass bei den positiven Röntgenkontrastmitteln, die hauptsächlich aus Barium- und Jodhaltigen Verbindungen bestehen, die Ordnungszahl um ein vielfaches höher liegt, als die Ordnungszahlen im Weichteilgewebe und Fett, entsprechend Wasser.

Ein ideales und damit auch wünschenswertes Kontrastmittel wäre eine inerte Substanz, die sich nur an einem gewünschten Ort, für eine bestimmte Zeit anreichert, vollständig wieder ausgeschieden wird, preisgünstig wäre und keinerlei Nebenwirkungen besitzen würde.

Als orales Kontrastmittel kommt Bariumsulfat diesen Bedingungen am nächsten, vorausgesetzt, es liegt keine Gefahr einer Perforation vor.

Bei den parenteral zu verabreichenden Röntgenkontrastmitteln ist es schwieriger, ein solches nahezu ideales Kontrastmittel zu finden, denn es treten auch Nebenwirkungen auf [Elke 14].

Enterale Kontrastmittel sind für eine Untersuchung des Magen – Darm – Traktes vonnöten. Wie nachfolgend dargestellt gibt es hierfür positive und negative Kontrastmittel.

Präparat	Region	Einsatzbereich
Negative Kontrastmittel		
Wasser/Mannitlösung	Magen, Pankreas	Tumordiagnostik
Methylzellulose-Präparationen	Dünndarm	CT-Sellink
Paraffin-Suspension/pflanzliche Öle	Colon	rektale Applikation
Luft	Magen, Colon	virtuelle
Endoskopie		
Positive Kontrastmittel		
Bariumsulfat-Suspension	Magen, Darm	universell, nicht bei Perforationsgefahr
Jodhaltige Lösungen	Magen, Darm	universell, nicht bei Hyperthyreose

Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 40

Positive Kontrastmittel stellen sich im Vergleich zur Wand des Magen – Darm – Traktes hyperdens dar, negative Kontrastmittel hypodens. Die einzelnen Kontrastmittel haben jeweils Vorteile als auch Nachteile. Die Schleimhaut lässt sich zum Beispiel mit Hilfe von flüssigen negativen Kontrastmitteln gut beurteilen, bei unvollständiger Distension des Hohlorganes wird jedoch die Beurteilung schwierig und auch der Kontrast selbst erscheint oft nur unzureichend. Eine praktikable Verabreichung ist deswegen ein Einlauf in Kombination mit Buscopan. Luft bietet einen großen Vorteil aufgrund des sehr hohen negativen Kontrastes. Auch hier muss für eine ausreichende Distension und auf eine Buscopan Gabe geachtet werden.

Als positive Kontrastmittel dienen Bariumsulfat- und jodhaltige Verbindungen. Sie sind universell einsetzbar und auch bei unzureichender Distension sind Darmstrukturen als solche zu erkennen, jedoch ermöglichen sie keine genaue Beurteilbarkeit der Schleimhaut. Bariumsulfat-Verbindungen sind gut für die konventionelle Darstellung des oberen Magen-Darm-Traktes geeignet, jedoch ist immer auf eine mögliche Perforation zu achten [Galanski 17]. Nachfolgend sind die standardmässigen Applikationsformen enteraler Kontrastmittel aufgelistet.

Region	Technik	Spamolytika	Bemerkungen
Standard			
Oberbauch	500 ml positives KM	-	über 30 min fraktioniert trinken
Abdomen	1 – 1,5 l positives KM	-	über 1-1,5 h fraktioniert trinken
Oberbauch	500 ml positives KM	-	über 30 min fraktioniert trinken
Abdomen	1 – 1,5 l positives KM	-	über 1-1,5 h fraktioniert trinken

Beurteilung der GI-Traktes

Ösophagus	200 ml positives KM	-	in Ausnahmefällen zur Markierung des Lumens
Magen	Auf dem Untersuchungstisch 500 ml Wasser 250 ml Wasser auf Tisch	+ +	kurz vor der Untersuchung Linksseitenlage, bei Kontrastmittelseerie wiederholen
Dünndarm	1,5l stark verdünntes Bariumsulfat	-	CT-Sellink, Duodenalsonde
	1,5l Methylzellulose	-	bessere Schleimhautbeurteilung
Rektum	500 ml positives Kontrastmittel rektal	+	nur zur Markierung des Rektum
(Kolon)	(1-1,5l positives oder negatives	+	(bessere Schleimhautbeurteilung)

Virtuelle Endoskopie

Magen	3 Päckchen Backpulver	+	6 h absolut nüchtern
Kolon	rektale Luftinsufflation	+	Darmreinigung essentiell

Abb. vgl. Ganzkörper-Computertomographie, Galanski Michael, Prokop Mathias; Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York 1998; Seite 41

Bei parenteralen Kontrastmitteln lassen sich ionische und nichtionische Substanzen unterscheiden. Ionische Kontrastmittel sind nur mäßig verträglich, in Abhängigkeit der Injektionsgeschwindigkeit. Es treten bei Flußraten > 2 ml/s starke Missempfindungen auf, die sich als Hitzegefühl, Schmerzen und Brennen äußern. Sie sind deshalb für Spiral-Computertomographen nur bedingt anwendbar. Nichtionische Kontrastmittel sind weitaus besser verträglich. Sie verfügen über eine erheblich niedrigere Osmolarität und bieten sich eher zur Benutzung mit Spiral Computertomographen an [Galanski 17].

Wir verwenden für unsere Untersuchung der virtuellen Koloskopie als enterales, negatives Kontrastmittel Luft. Sie wird kurz vor Beginn der Untersuchung mit einer kleinen Handpumpe von rektal insuffliert und sorgt so für zwei Voraussetzungen für das Gelingen der Untersuchung. Einerseits wird durch das Insufflieren von Luft in Verbindung mit einer Gabe von Buscopan oder Glucagon eine optimale Distension des Darms erreicht, und gleichzeitig bildet Luft einen hohen Kontrast zu der Schleimhaut. Dieser hohe Kontrast zwischen Schleimhaut und Darmlumen wird durch die Gabe eines parenteralen, positiven Kontrastmittels noch weiter erhöht. So entsteht durch das Zusammenspiel dieser beiden Kontrastmittel und einem Delay von 35 Sekunden eine optimale Voraussetzung für eine gut beurteilbare Untersuchung.

Versuche mit jeglichen anderen enteralen, rektal applizierten oder oral aufgenommenen Kontrastmitteln, sei es nun Paraffin oder andere flüssige Substanzen, zeigten nur eine Verschlechterung des Ergebnisses.

2.6.5 Durchführung der Untersuchung

Als Mehrschichtcomputertomograph stand vorliegend das Siemens-Gerät Somatom Plus 4, Volume Zoom (Siemens, Forchheim) zur Verfügung. Es verfügt über vier parallele Detektorzeilen und eine leistungsfähige Röhrentechnik. Konventionelle Computertomographen verfügen nur über eine Detektorzeile und nehmen deshalb auch nur eine Schicht pro Rotation auf. Ein Mehrschichtcomputertomograph kann im Gegensatz dazu mehrere Schichten pro Rotation aufnehmen. Das zur Verfügung gestandene Somatom Plus 4, Volume Zoom kann also 4 Schichten pro Rotation aufnehmen. Es verfügt ebenfalls über eine hohe Gantry - Rotationsgeschwindigkeit von bis zu 500 ms, welches die Möglichkeit bietet, ein Volumen in einer wesentlich kürzeren Zeit zu scannen. Dies ermöglicht natürlich auch, in kürzerer Zeit ein größeres Volumen aufzunehmen, sowie hoch aufgelöste computertomographische Untersuchungen über große Organabschnitte in Atemstillstandstechnik und hoher Bildqualität durchzuführen.

Diese Arten von Computertomographen stellen im Vergleich zu Geräten mit nur einem Detektor eine achtfache Erhöhung der Performance dar. Die Auflösung der z -Achse, kann bis um den Faktor acht erhöht werden, was eine hohe Qualitätsverbesserung darstellt.

Es wurden 47 Patienten vor der Koloskopie oder vor einer chirurgischen Intervention untersucht, die gewonnen Daten mit Hilfe von axialen Bildern und verschiedenen dreidimensionalen Darstellungen betrachtet, und vor Bekanntgabe der Befunde der Koloskopie oder Chirurgie ausgewertet.

Die Patienten wurden wie zu einer konventionellen Koloskopie vorbereitet. Sie bekamen hierzu einen Tag vor der Untersuchung ein Abführmittel (X - Prep, Mundipharma) mit ca. zwei bis vier Litern Flüssigkeit verabreicht. Des weiteren wurde mindestens sechs bis acht Stunden vor der Untersuchung vier Liter Macrogol (Klean - Prep, Norgine) zur zuverlässigen Säuberung des Darmes verabreicht. Die gründliche Säuberung des Darmes beeinflusst entscheidend das Untersuchungsergebnis, da Stuhlreste für die virtuelle Koloskopie ein Hindernis darstellen [Macari et al 32]. Bei sämtlichen Patienten wurde für die nötige Distension des Colons mit Hilfe einer rektalen Sonde per Luftinsufflation (Raumluft) gesorgt. Vor dem Legen der Sonde wurde jeder Patient einer ausführlichen rektalen Untersuchung unterzogen, um pathologische Prozesse zu erkennen und ein schmerzfreies Einführen der Sonde zu gewährleisten.

Wurde die rektale Untersuchung als ohne pathologischen Befund eingestuft, begann man mit der Legung der Sonde und der vorsichtigen Luftinsufflation. Es bieten sich zur Luftinsufflation einfache Handpumpen oder auch Blasenspritzen an. Nach zahlreichen Untersuchungen benutzten wir fast ausschließlich die Blasenspritze, da sie sich praktikabler darstellte und man die Menge der insufflierten Luft genau messen konnte. Im Durchschnitt benötigten wir eine Menge von 350 ml zur regelrechten Distension des Colons. Der Patient befand sich seitlich liegend, mit angezogenen Beinen, auf der Untersuchungsliege des Computertomographen. Die rektale Sonde wurde ca. fünf bis sieben cm tief eingeführt und der Patient wurde aufgefordert, aktiv gegen das steigende Völlegefühl und das Gefühl des Luftabgehens entgegenzuwirken. Dies stellt die größte Herausforderung und Anstrengung für den Patienten dar, da von seiner Compliance, „keine Luft abgehen zu lassen“ und somit eine ausreichende Distension zu gewährleisten, nachhaltig das Untersuchungsergebnis beeinflusst wird. Nahezu allen unseren Patienten fiel dies nicht schwer. Nach wenigen vorsichtigen Hüben wurde der Patient aufgefordert, zu räuspern und die Bauchdecke aktiv anzuspannen, um so eine gleichmäßige Verteilung der Luft und Schmerzfreiheit zu erreichen. Diese Prozedur wurde

wiederholt, bis man davon ausgehen konnte, dass ein weitgehend distendiertes Colon zu erwarten war. Des Weiteren wurde der Patient aufgefordert sich auf die gegenüberliegende Seite, sowie kurz vor Untersuchungsbeginn, auf den Rücken zu legen, um eine homogene Verteilung der Luft im Colon zu ermöglichen. Sämtliche Patienten, die von uns untersucht wurden, attestierten uns eine völlige Schmerzfreiheit der Untersuchung. Wie auch in der Literatur berichtet, wurde sie nicht einmal als besonders unangenehm eingestuft [Svensson et al 56, Thomeer et al 57]. Die Sonde wurde belassen und es wurde vor Beginn der Untersuchung eine Abdomen-Übersichtsaufnahme aufgenommen um die Distension des Kolons zu überprüfen. Falls primär keine ausreichende Distension erreicht wurde, konnte nun etwas Luft nachinsuffliert und anschließend wieder das Ergebnis kontrolliert werden. Stellte sich die Distension des Colons als zufriedenstellend dar, so verabreichten wir den Patienten jeweils i.v. 20 - 40 mg Butylskopolamin. Bei einer Unverträglichkeit gegenüber dieser Substanz wurde auf Glukagon (z. B.: Glukagon, Lilly) ausgewichen. Die Substanzen bewirken eine kurzfristige Ruhigstellung des Darms. Relevante Unterschiede zwischen den beiden Medikamenten konnten wir nicht feststellen [Fletcher 16].

2.7 Auswertungsprotokolle

Die Patienten wurden in Kombination verschiedener Techniken untersucht.

- Endoluminal als „virtuelle Koloskopie“
- In Volume-Rendering-Technik, mit „Clip Planes“ von:
 - Cranial
 - Caudal
 - Ventral
 - Dorsal
 - Lateral links
 - Lateral rechts
- Als MPR-Untersuchung
- Sowie in axialen Schichten
- Sämtliche Rekonstruktionen wurden in einer maximalen Auflösung von 512 x 512 Matrix rekonstruiert

Zur Bildbearbeitung dienten uns zwei Systeme:

- Virtuoso, Firma Siemens, Forchheim, Deutschland
- Vitrea, Firma Vital Images, Mineapolis, USA

2.7.1 „Goldstandard“ konventionelle Koloskopie

Die Untersuchung erfolgte mit einem Standard-Koloskop in der Chirurgischen und Internistischen Klinik im Universitätsklinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Von allen Patienten lag ein schriftlicher Koloskopiebefund vor. Polypen und tumoröse Raumforderungen wurden mit Millimeterangabe ausgemessen. Weiterhin wurden auch Divertikel befundet.

Die schriftlichen Ergebnisse der konventionellen Koloskopie dienten als „Goldstandard“ im Vergleich mit den computertomographisch gewonnenen Daten.

2.7.2 Axiale Schichtung

Die axialen Bilder wurden mit einer Schichtdicke und Schichtabstand von jeweils 5 mm rekonstruiert und wie konventionelle computertomographische Bilder betrachtet.

Die Polypen wurden in drei Gruppen unterteilt.

1. $\geq 10\text{mm}$
2. $5 - < 10\text{mm}$
3. $< 5\text{mm}$

2.7.3 MPR

Die rekonstruierten MPR-Bilder konnten in den drei orthogonalen Ebenen betrachtet werden, die coronare, sagittale und axiale Ansicht .

Dabei wurden die MPR-Bilder in Abhängigkeit Ihrer Schichtdicke 5 mm, 3mm, und 1mm in den drei orthogonalen Ebenen untersucht.

2.7.4 Endoluminaler Blick

Der endoluminale Blick, der als eigentliches Synonym für die virtuelle Koloskopie angesehen wird, simuliert den Blick durch ein konventionelles Koloskop.

Die rekonstruierten Patientendaten wurden sowohl interaktiv betrachtet, als auch nach Anfertigung eines „Fly through Movie“ nach Bestimmung eines Pfades durch das Colon. Dabei wurden Befunde in anterograder und retrograder Richtung erhoben.

2.7.5 Volume Rendering, Prinzip der extraluminalen Darstellung

Die extraluminale Darstellung wurde mit Hilfe der Untersuchungssoftware Virtuoso in Volume Rendering Technik, mit „Clip Planes“ von:

- Cranial
- Caudal
- Ventral
- Dorsal
- Lateral links
- Lateral rechts

durchgeführt. Polypen und Karzinome wurden interaktiv markiert und deren Größe ausgemessen.

2.7.6 Vergleich der virtuellen Koloskopie mit dem Goldstandard

Die Ergebnisse der virtuellen Koloskopie, bestehend aus axialer Untersuchung, MPR-Untersuchung, endoluminaler Untersuchung und extraluminaler Untersuchung wurden mit den Ergebnissen der konventionellen Koloskopie, die als Goldstandard diente, verglichen.

Dabei wurden die Anzahl der detektierten Polypen und Raumforderung, deren Lokalisation und Größe verglichen und statistisch ausgewertet.

2.7.7 Vergleich der virtuellen Koloskopie mit dem Operationsbericht

Die Ergebnisse der virtuellen Koloskopie, bestehend aus axialer Untersuchung, MPR-Untersuchung, endoluminaler Untersuchung und extraluminaler Untersuchung wurden ebenfalls mit den Ergebnissen der operativen Therapie verglichen. Dabei wurde die Anzahl der detektierten Raumforderung und deren Lokalisation verglichen und statistisch ausgewertet.

2.8 Statistik

Die Ergebnisse der Untersuchungen der axialen Schichtung, der MPR Untersuchung als auch der dreidimensionalen Untersuchungen wurden mit dem Statistikprogramm Sigmastat ausgewertet. Hierbei wurden mit Hilfe der Vierfeldertafel Sensitivität und Spezifität der einzelnen Untersuchungsverfahren in Abhängigkeit der Größe der Raumforderungen ermittelt.

3. Resultate

Insgesamt wurden 47 Patienten, nach Luftfüllung des Colons, einer „virtuellen koloskopischen Untersuchung“, unterzogen. Alle Untersuchungen auch der Untergruppen der 47 Patienten waren von diagnostischer Qualität.

Als Referenz diente der derzeitige Goldstandard, die konventionelle Koloskopie, die sich aufteilen lässt in eine vollständige hohe Koloskopie und eine nicht vollständig nicht hohe Koloskopie. Ursachen für eine nicht hohe Koloskopie liegen in anatomischen Varianten, Pathologien, Schmerzen der untersuchten Person und sind abhängig von der Erfahrung des Untersuchers [Greene 19]. Sofern vorliegend wurde auch der Operationsbericht als Referenz hinzugezogen.

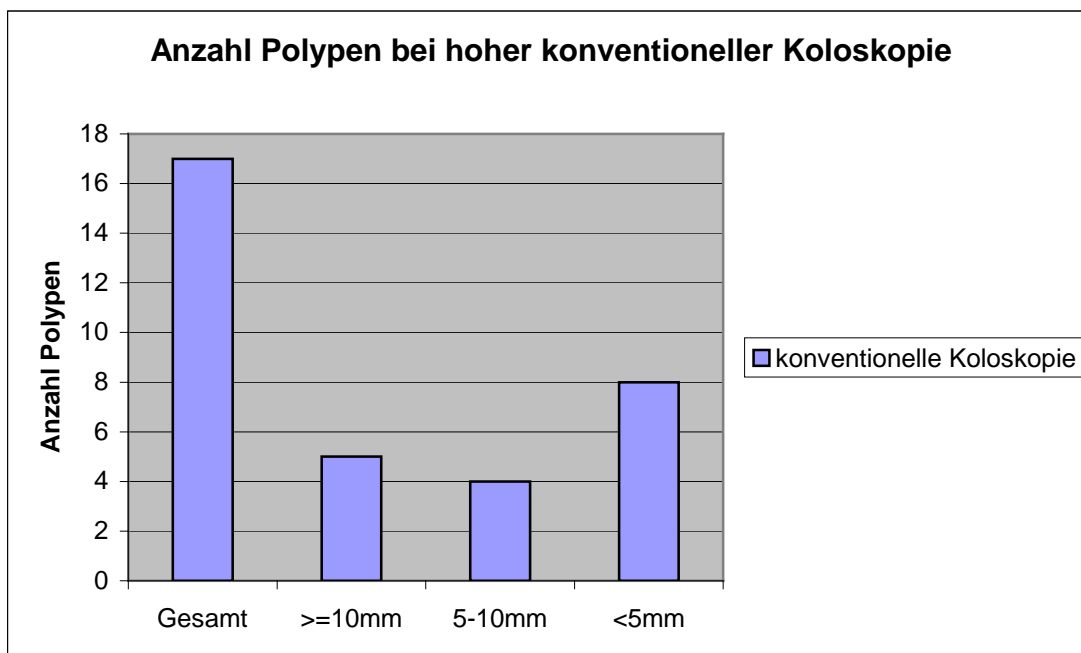
Bei der Auswertung wurden aus jedem einzelnen Datensatz eines Patienten, jeweils unterschiedliche Nachbearbeitungen durchgeführt und mit der Referenz, der konventionellen Koloskopie verglichen.

Es wurden eine reine axiale Betrachtungsweise, MPR-Untersuchungen mit einer Schichtdicke vom 5mm, 3mm und 1mm, als auch eine endoluminale und zuletzt extraluminale „Clip Plane“ Darstellung mit der konventionellen Koloskopie verglichen.

Anzahl von Karzinomen, Polypen und Divertikeln bei hoher Koloskopie:

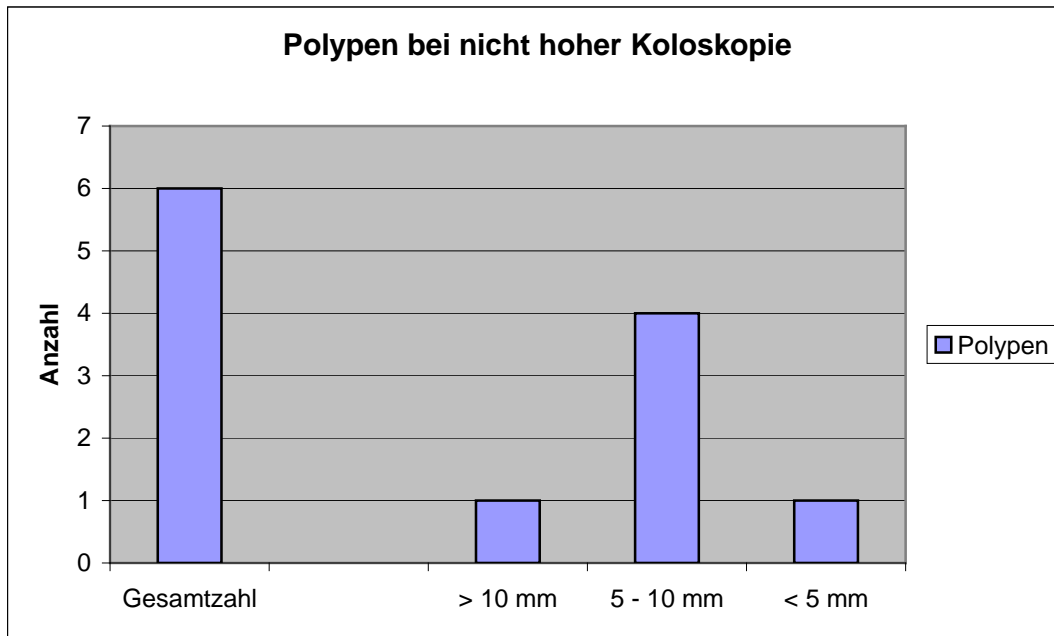
Die in der konventionellen Koloskopie gefundenen Polypen werden nach Größe in drei Gruppen aufgeteilt. In Polypen größer oder gleich 10 mm, in Polypen größer, gleich 5 mm, aber kleiner als 10 mm, und in Polypen, die kleiner als 5 mm sind. Karzinome und Divertikel wurden extra aufgeführt.

Insgesamt zeigten sich bei der hohen Koloskopie 17 Polypen, mit einer Aufteilung von 5 Polypen größer 10 mm, 4 Polypen eine Größe von 5 bis 10 mm und 8 Polypen einer Größe von weniger als 5 mm, nachfolgend in der Graphik dargestellt:



Weiterhin zeigte sich eine Häufigkeit von drei Karzinomen als auch acht, in der konventionellen Koloskopie beschriebenen Divertikel.

Wie bereits oben erwähnt war es nicht immer möglich eine vollständige konventionelle Koloskopie durchzuführen. Im Vergleich zeigte sich bei nicht hoher, nicht vollständiger Koloskopie eine Anzahl von 8 Karzinomen, einem Polyp der Größe mehr als 10 mm, 4 Polypen der Größe 5 bis 10 mm und einem Polypen der Größe kleiner als 5 mm. Nachfolgend in der Graphik dargestellt.



Im Falle des Polypennachweises und des Karzinomnachweises lag eine Doppelblinduntersuchung vor.

Die Ergebnisse der virtuellen „koloskopischen Untersuchung“, aufgliedert in axiale Untersuchung, MPR-Untersuchungen der Schichtdicke 5mm, 3mm und 1mm als auch endmoluminale und extraluminale „Clip Plane“ Untersuchung wurden mit der hohen Koloskopie, sowie mit der nicht hohen nicht vollständigen Koloskopie, streng übereinstimmend mit der Weite der nicht vollständigen konventionellen Koloskopie, verglichen.

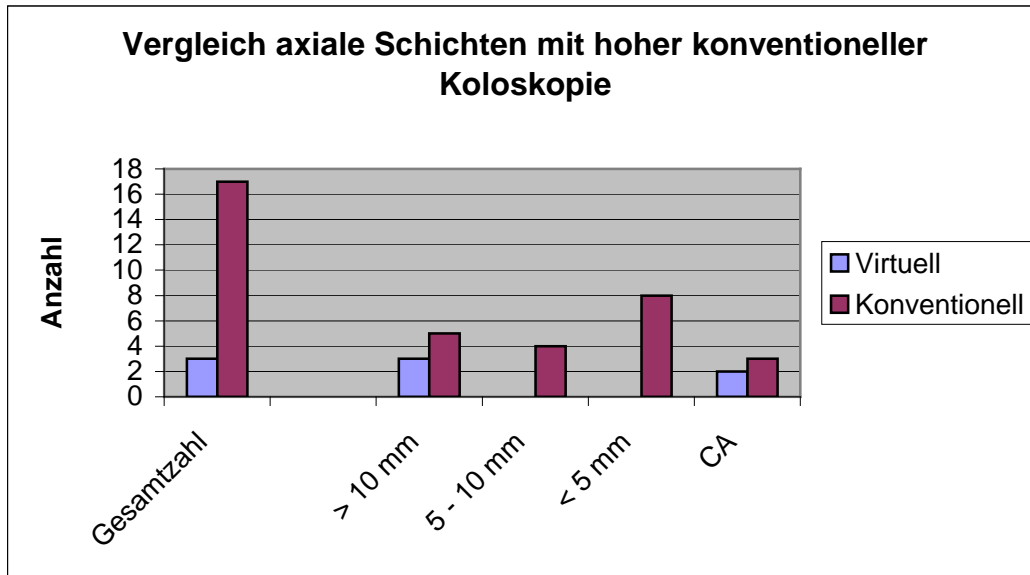
Auch hier wurde die gleiche Einteilung wie bei der konventionellen Koloskopie vorgenommen. Polypen größer oder gleich 10 mm, Polypen größer, gleich 5 mm, aber kleiner als 10 mm, und in Polypen, die kleiner als 5 mm sind. Karzinome und Divertikel wurden ebenfalls extra aufgeführt.

Im weiteren Teil der vorliegenden Arbeit sind die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungstechniken im Vergleich zur konventionellen Koloskopie aufgeführt.

3.1 Resultate der axialen Schnitte

Nachfolgend aufgeführt sind die Resultate der Untersuchungen der virtuelle Koloskopie im Vergleich zur vollständigen, hohen Koloskopie.

Vergleich der axialen Schichten mit der hohen konventionellen Koloskopie



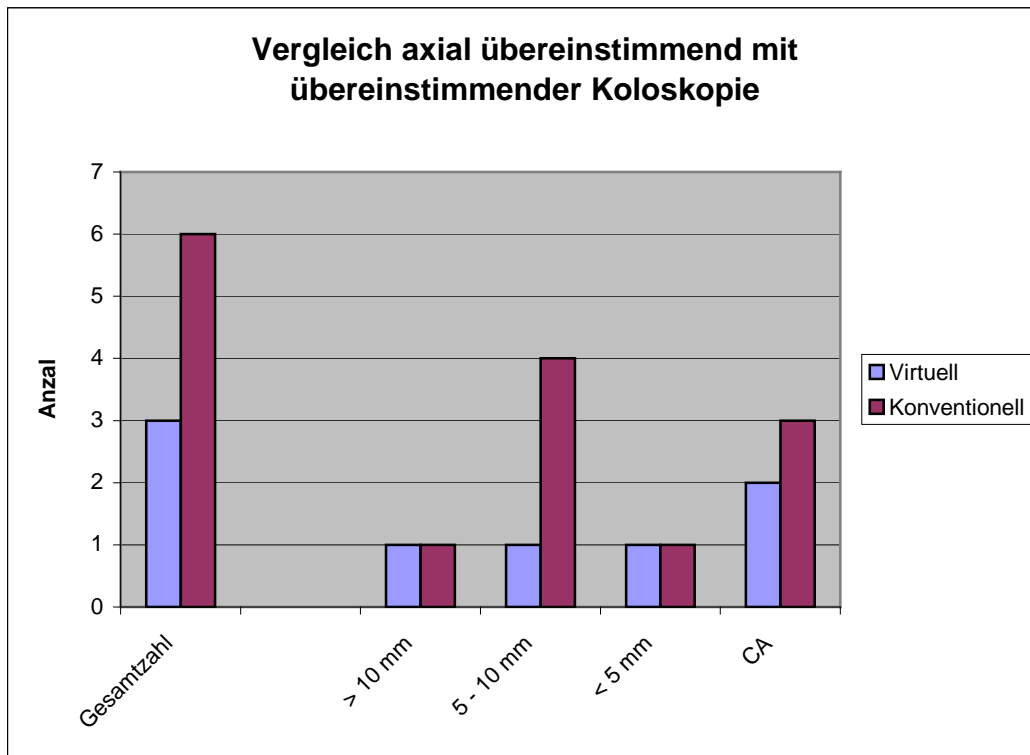
Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	0,67	1
Polypen >= 10mm:	0,6	1
Polypen 5-<10mm:	0	1
Polypen < 5mm:	0	1

Im Vergleich der axialen Schichten mit der hohen vollständigen Koloskopie zeigte sich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr für die virtuelle Koloskopie unter Berücksichtigung der axialen Auswertung eine Sensitivität von 60 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 67 Prozent. Polypen der Größe kleiner als 10 mm wurden nicht erkannt.

Nachfolgend aufgeführt sind die Resultate der Untersuchungen der virtuelle Koloskopie im Vergleich zur nicht vollständigen, nicht hohen Koloskopie.

Vergleich der axialen Schichten mit der nicht hohen Koloskopie, übereinstimmend mit der Weite der konventionellen Koloskopie



Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	0,67	1
Polypen ≥ 10mm:	1	1
Polypen 5-<10mm:	0,25	1
Polypen < 5mm:	1	1

Im Vergleich der axialen Schichten mit der nicht hohen, nicht vollständigen Koloskopie zeigte sich für Raumforderungen einer Größe von 5 bis 10 mm, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der axialen Auswertung eine Sensitivität von 25 Prozent, bei Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr eine Sensitivität von 100 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 67 Prozent, bei einer jeweiligen Spezifität von 100 Prozent.

Nachfolgend ein Beispiel eines axialen computertomographischen Bildes mit dem Nachweis eines Polypen, sowie das korrespondierende virtuell endoskopische Bild.

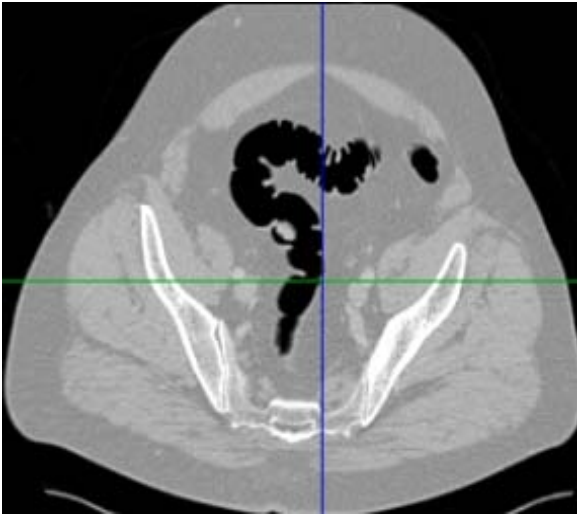


Abb.: Axiale computertomographische Darstellung eines Polypen



Abb.: Korrespondierende virtuell endoluminale Darstellung

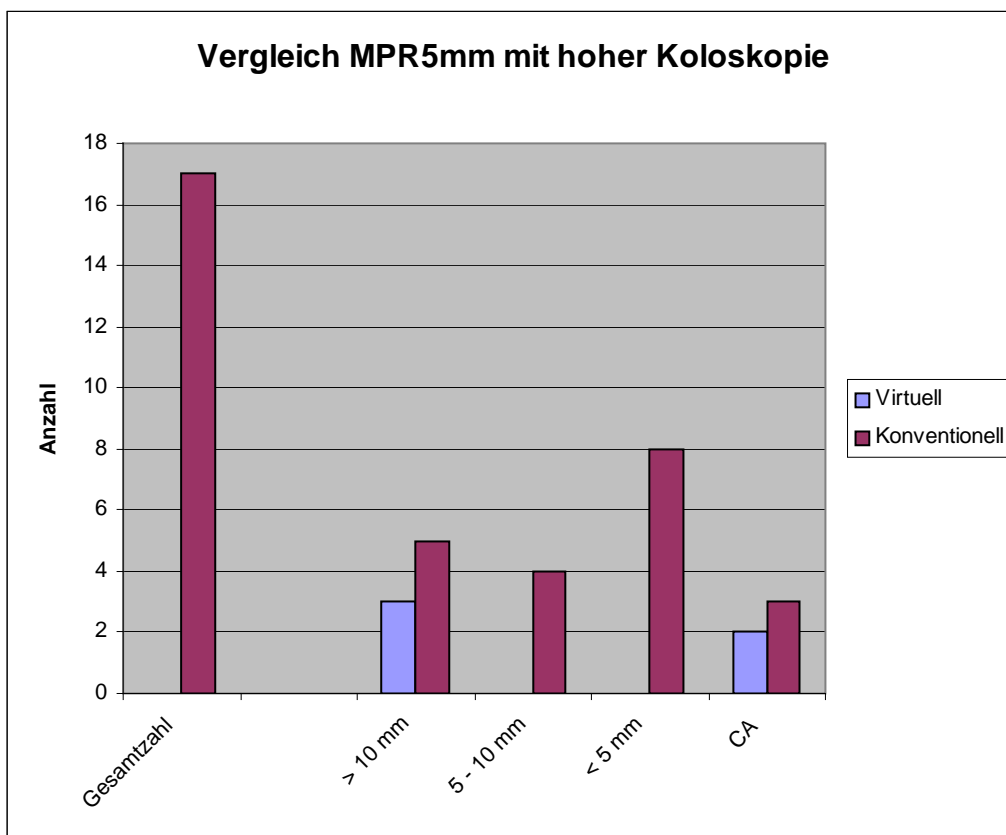
3.2 Resultate der MPR-Betrachtung

Die rekonstruierten MPR-Bilder konnten in den drei orthogonalen Ebenen betrachtet werden, die coronare, sagittale und axiale Ansicht .

Dabei wurden die MPR-Bilder in Abhängigkeit Ihrer Schichtdicke 5 mm, 3mm, und 1mm in den drei orthogonalen Ebenen untersucht und jeweils mit der vollständigen als auch nachfolgend mit der nicht hohen, nicht vollständigen konventionellen Koloskopie verglichen.

Vergleich der Multiplanaren Rekonstruktion (MPR) mit der hohen konventionellen Koloskopie

Multiplanare Rekonstruktion mit einer Schichtdicke von 5mm:



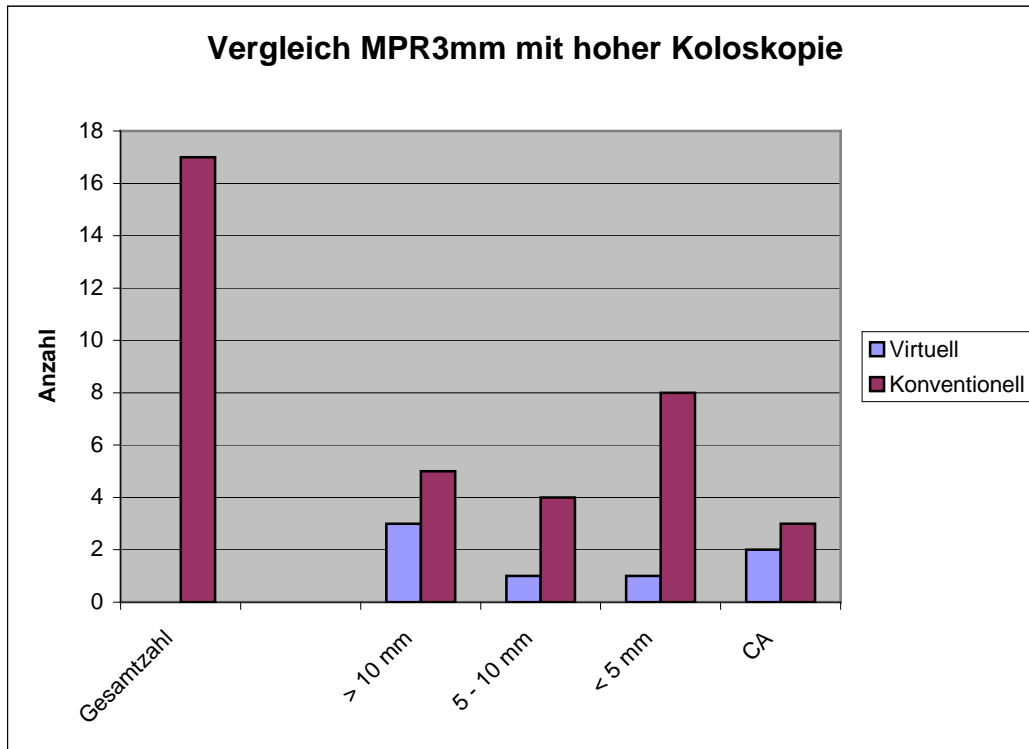
Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	0,67	1
Polypen >= 10mm:	0,6	1
Polypen 5-<10mm:	0	1
Polypen < 5mm:	0	1

Im Vergleich der MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5 mm und Betrachtung in den drei orthogonalen Ebenen zeigte sich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der 5mm MPR-Auswertung eine Sensitivität von 60 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 67 Prozent, jeweils mit

einer Spezifität von 100 Prozent. Raumforderungen der Größe kleiner als 10 mm wurden nicht erkannt.

Multiplanare Rekonstruktion mit einer Schichtdicke von 3mm:

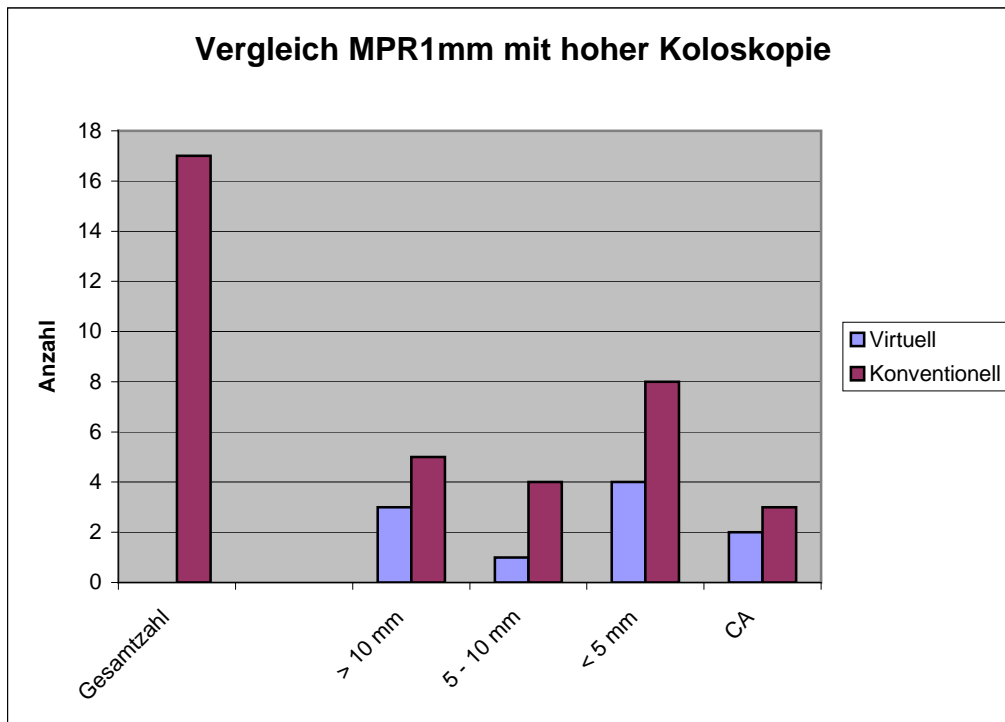


Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	0,67	1
Polypen >= 10mm:	0,6	1
Polypen 5-<10mm:	0,25	1
Polypen < 5mm:	0,125	1

Im Vergleich der MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 3 mm und Betrachtung in den drei orthogonalen Ebenen zeigte sich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der 3mm MPR-Auswertung eine Sensitivität von 60 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 67 Prozent. Bezüglich Raumforderungen einer Größe zwischen 5 und 10 mm zeigte sich eine Sensitivität von 25 Prozent, bezüglich Polypen kleiner als 5 mm eine Sensitivität von 12,5 Prozent, jeweils mit einer Spezifität von 100 Prozent.

Multiplanare Rekonstruktion mit einer Schichtdicke von 1mm:



Sensitivität: Spezifität:

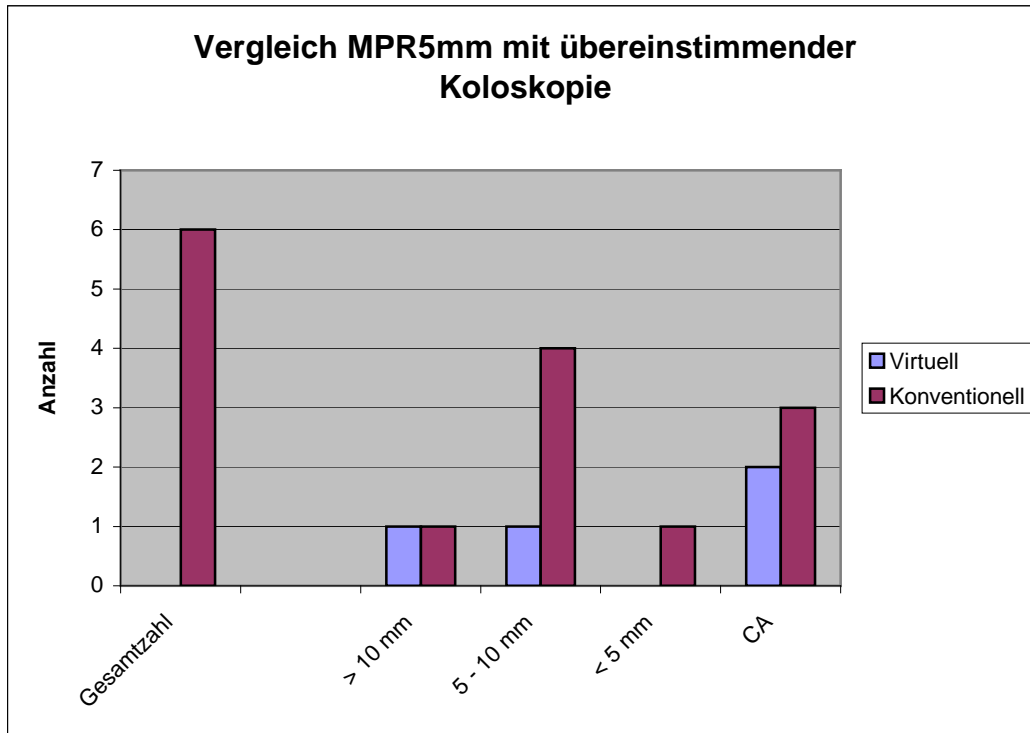
Karzinome:	0,67	1
Polypen ≥ 10mm:	0,6	1
Polypen 5-<10mm:	0,25	1
Polypen < 5mm:	0,5	1

Im Vergleich der MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 1 mm und Betrachtung in den drei orthogonalen Ebenen zeigte sich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der 1mm MPR-Auswertung eine Sensitivität von 60 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 67 Prozent. Bezüglich von Polypen einer Größe zwischen 5 und 10 mm eine Sensitivität von 25 Prozent, bezüglich Polypen einer Größe von weniger als 5 mm eine Sensitivität von 50 Prozent, jeweils mit einer Spezifität von 100 Prozent.

Nachfolgend aufgeführt sind die Resultate der Untersuchungen der virtuelle Koloskopie im Vergleich zur nicht vollständigen, nicht hohen Koloskopie.

Virtuelle Koloskopie im Vergleich zur nicht hohen Koloskopie, übereinstimmend mit der Weite der konventionellen Koloskopie.

Multiplanare Rekonstruktion mit einer Schichtdicke von 5mm:

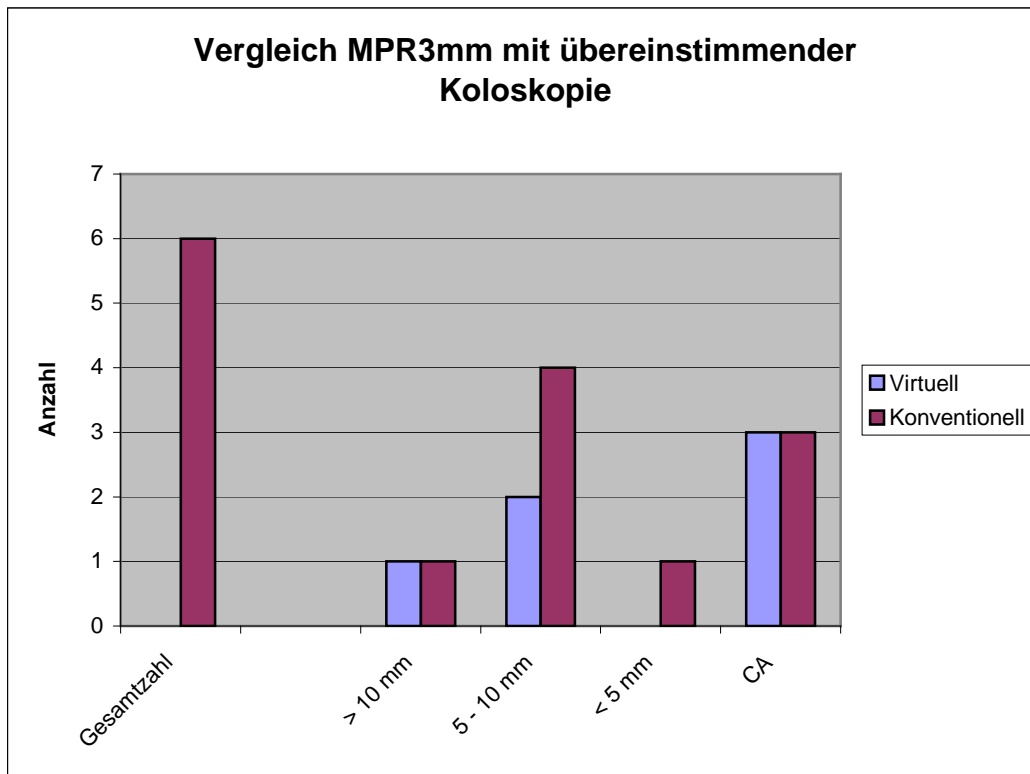


Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	0,67	1
Polypen >= 10mm:	1	1
Polypen 5-<10mm:	0,25	1
Polypen < 5mm:	0	1

Im Vergleich der MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5 mm und Betrachtung in den drei orthogonalen Ebenen zeigte sich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der 5mm MPR-Auswertung eine Sensitivität von 100 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 67 Prozent. Bezüglich der Raumforderungen zwischen 5 und 10 mm zeigte sich eine Sensitivität von 25 Prozent, jeweils mit einer Spezifität von 100 Prozent. Raumforderungen der Größe kleiner als 5 mm wurden nicht erkannt.

Multiplanare Rekonstruktion mit einer Schichtdicke von 3mm:

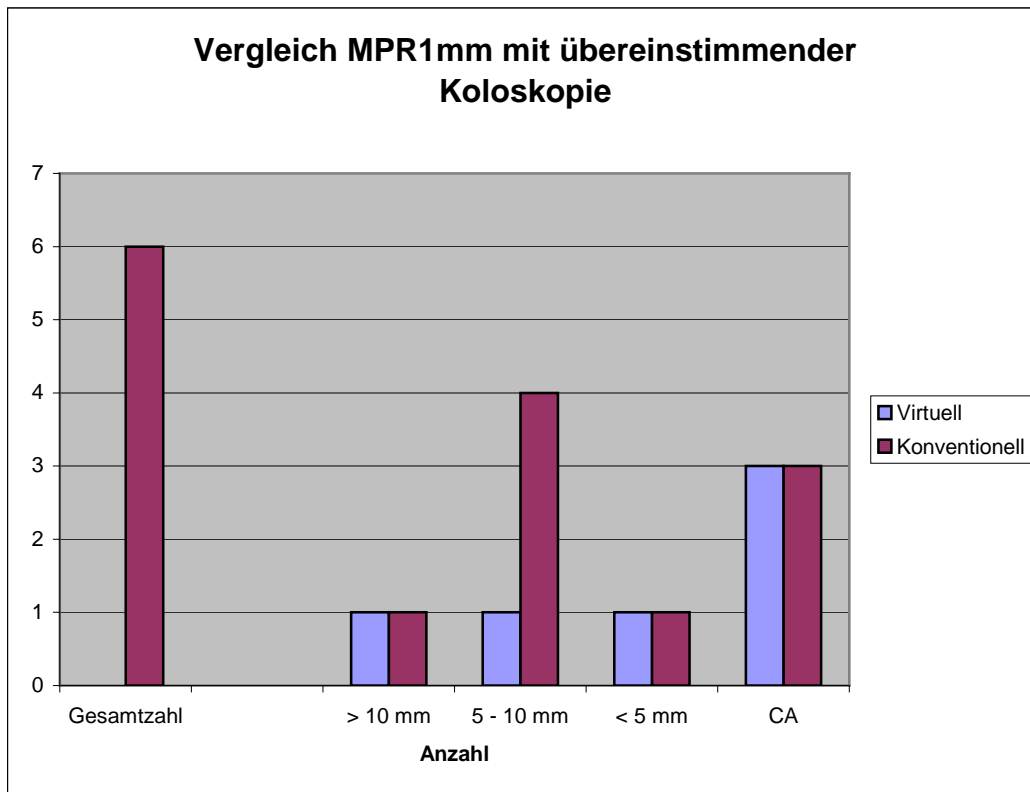


Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	1	1
Polypen ≥ 10mm:	1	1
Polypen 5-<10mm:	0,5	1
Polypen < 5mm:	0	1

Im Vergleich der MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 3 mm und Betrachtung in den drei orthogonalen Ebenen zeigte sich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der 3mm MPR-Auswertung eine Sensitivität von 100 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 100 Prozent. Bezüglich Polypen einer Größe zwischen 5 und 10 mm zeigte sich eine Sensitivität von 50 Prozent mit jeweils einer Spezifität von 100 Prozent. Raumforderungen der Größe kleiner als 5 mm wurden nicht erkannt.

Multiplanare Rekonstruktion mit einer Schichtdicke von 1mm:



Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	1	1
Polypen ≥ 10mm:	1	1
Polypen 5-<10mm:	0,25	1
Polypen < 5mm:	1	1

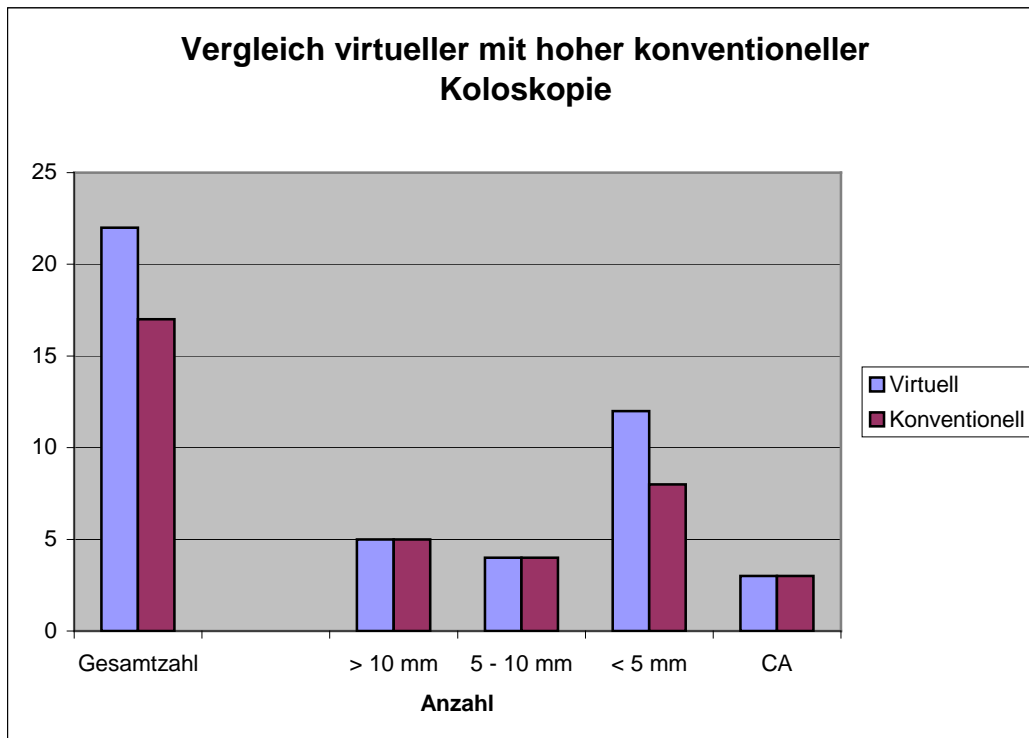
Im Vergleich der MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 1 mm und Betrachtung in den drei orthogonalen Ebenen zeigte sich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der 1mm MPR-Auswertung eine Sensitivität von 60 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 100 Prozent.

Bezüglich Polypen einer Größe von zwischen 5 und 10 mm zeigte sich eine Sensitivität von 25 Prozent, Bezüglich Polypen der Größe kleiner als 5 mm eine Sensitivität von 100 Prozent, bei jeweils einer Spezifität von 100 Prozent.

3.3 Resultate der endoluminalen Betrachtung

Nachfolgend aufgeführt erscheinen die Vergleiche der dreidimensionalen, endoluminalen Untersuchung, im Vergleich zur konventionellen hohen, als auch nicht hohen Koloskopie.

Virtuelle Koloskopie im Vergleich zur hohen Koloskopie.

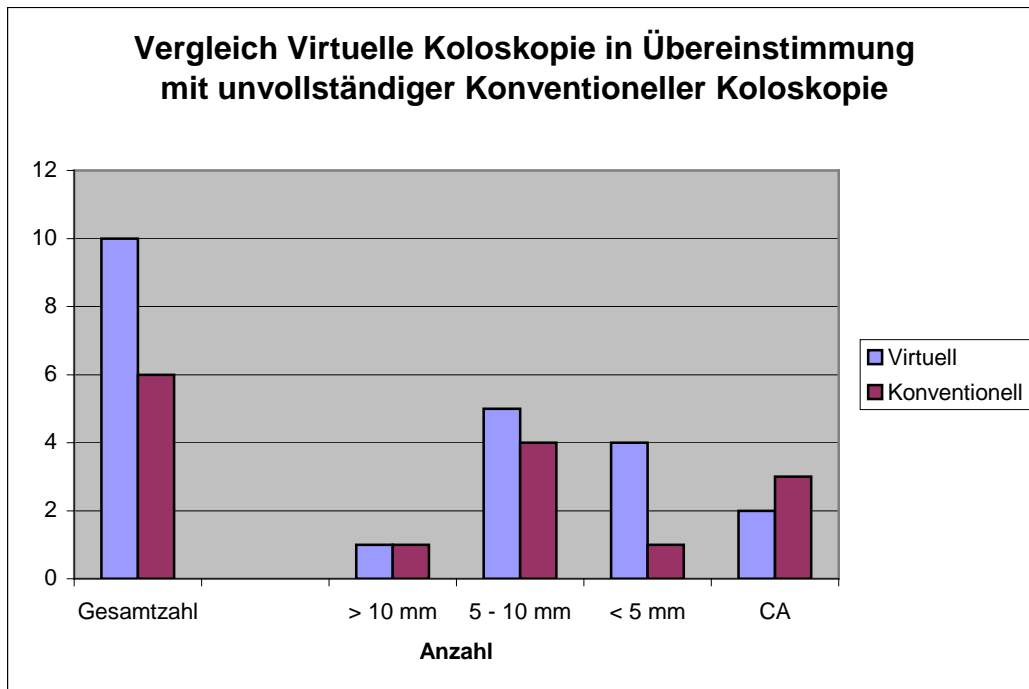


Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	1	1
Polypen $\geq 10\text{mm}$:	1	1
Polypen 5-$<10\text{mm}$:	1	1
Polypen $< 5\text{mm}$:	0,78	0,77

Bei Betrachtung der endoluminalen Darstellung ergibt sich im Vergleich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der endoluminalen Auswertung eine Sensitivität von 100 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 100 Prozent, jeweils mit einer Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen zwischen 5 und 10 mm Größe ergab sich eine Sensitivität von 100 Prozent mit einer Spezifität von 100 Prozent. Für Polypen einer Größe weniger als 5 mm ergab sich eine Sensitivität von 78 Prozent bei einer Spezifität von 77 Prozent.

Virtuelle Koloskopie im Vergleich zur nicht hohen Koloskopie, übereinstimmend mit der Weite der konventionellen Koloskopie.



Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	0,67	1
Polypen >= 10mm:	1	1
Polypen 5-<10mm:	1	0,93
Polypen < 5mm:	1	0,84

Bei Betrachtung der endoluminalen Darstellung ergibt sich im Vergleich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, sich bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der endoluminalen Auswertung eine Sensitivität von 100 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 67 Prozent, bei einer jeweiligen Spezifität von 100 Prozent. Polypen einer Größe zwischen 5 und 100 wiesen eine Sensitivität von 100 Prozent, mit einer Spezifität von 93 Prozent auf. Raumforderungen einer Größe von weniger als 5 mm zeigten eine Sensitivität von 100 Prozent, bei einer Spezifität von 84 Prozent.

Nachfolgend zwei virtuell endoskopische Abbildungen eines Polypen. In der ersten Abbildung ist der Polyp hinter einer Haustre verborgen. Erst nach Wendung des virtuellen Endoskopes erscheint der Polyp sichtbar.

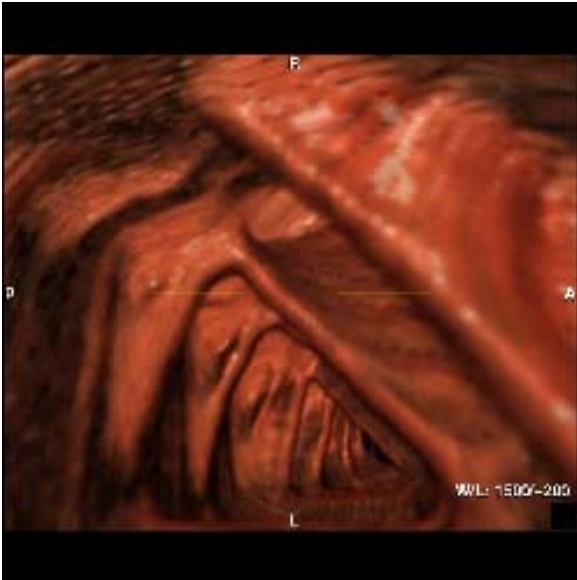


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung

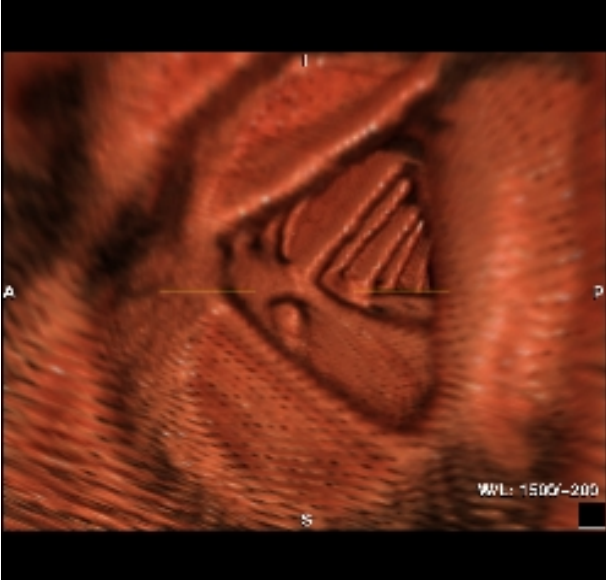
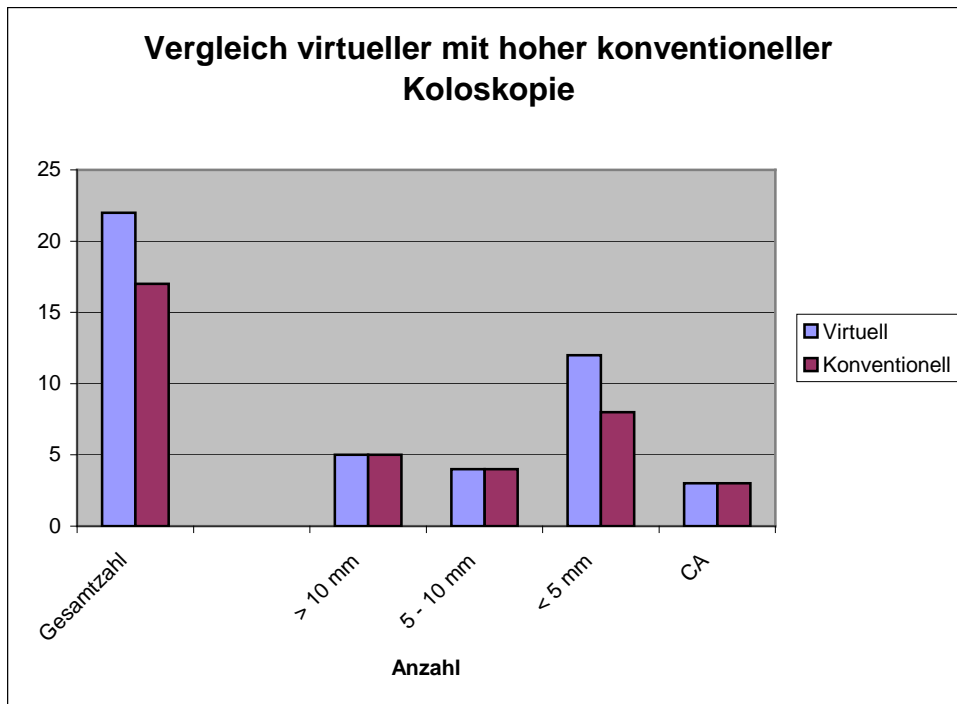


Abb.: virtuell endoluminale Darstellung eines Polypen

3.4 Resultate des Volume Renderings in Durchschnitttechnik

Abschließend aufgeführt erscheinen die Vergleiche der dreidimensionalen, extraluminalen „Clip Plane“ Untersuchung, im Vergleich zur konventionellen hohen, als auch nicht hohen Koloskopie.

Virtuelle Koloskopie im Vergleich zur hohen Koloskopie.

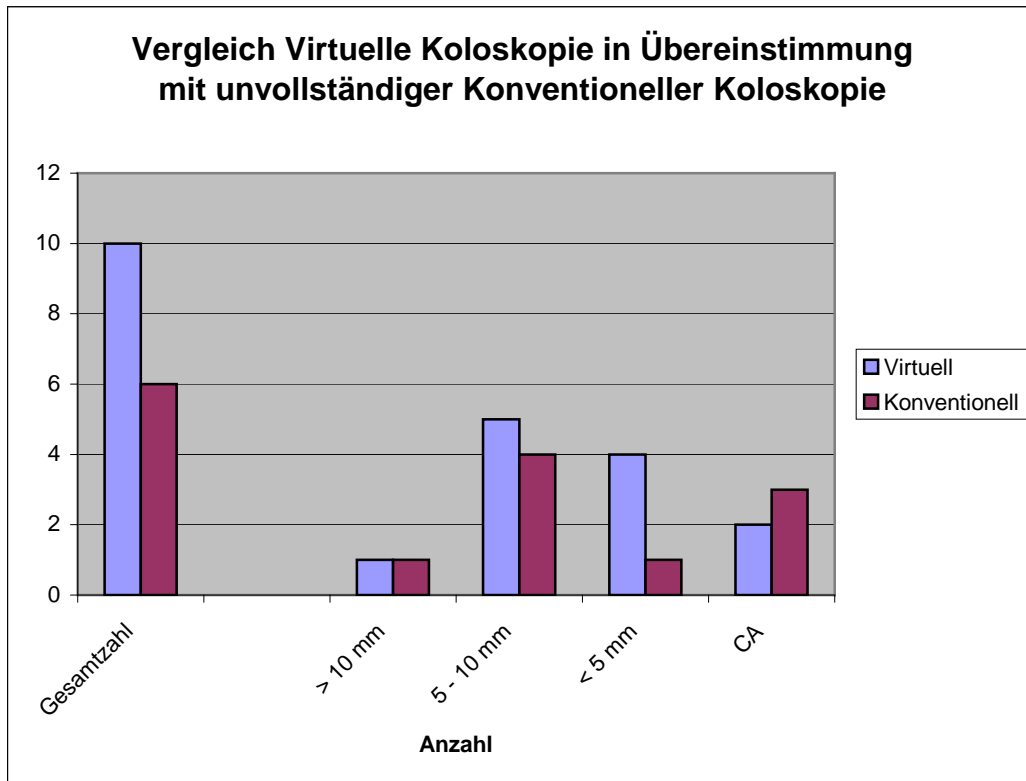


Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	1	1
Polypen ≥ 10mm:	1	1
Polypen 5-<10mm:	0,8	0,95
Polypen < 5mm:	0,89	0,81

Bei Betrachtung der extraluminalen „Clip Plane“ Darstellung ergibt sich im Vergleich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der Durchschnitttechnik Auswertung eine Sensitivität von 100 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 100 Prozent, bei jeweiliger Spezifität von 100 Prozent. Raumforderungen einer Größe zwischen 5 und 10 mm zeigten eine Sensitivität von 80 Prozent bei Spezifität von 95 Prozent. Kleiner Raumforderungen einer Größe von weniger als 5 mm ergaben eine Sensitivität von 89 Prozent bei einer Spezifität von 81 Prozent.

Virtuelle Koloskopie im Vergleich zur nicht hohen Koloskopie, übereinstimmend mit der Weite der konventionellen Koloskopie



Sensitivität: Spezifität:

Karzinome:	0,67	1
Polypen >= 10mm:	1	1
Polypen 5-<10mm:	1	0,93
Polypen < 5mm:	1	0,84

Bei Betrachtung der extraluminale „Clip Plane“ Darstellung ergibt sich im Vergleich für Raumforderungen einer Größe von 10 mm oder mehr, bei der virtuellen Koloskopie unter Berücksichtigung der Durchschnitttechnik Auswertung eine Sensitivität von 100 Prozent, bei Karzinomen eine Sensitivität von 67 Prozent, bei jeweils einer Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen einer Größe von zwischen 5 und 10 mm ergab sich einen Sensitivität von 100 Prozent bei einer Spezifität von 93 Prozent. Bei kleineren Polypen einer Größe von weniger als 5 mm ergab sich eine Sensitivität von 100 Prozent bei einer Spezifität von 84 Prozent.

Nachfolgend Abbildungen der Untersuchung mittels „Clip Planes“. Die ersten beiden Bilder zeigen den Einsatz der „Clip Plane“ von ventral. Die nachfolgenden beiden Bilder den Einsatz der „Clip Plane“ von cranial:

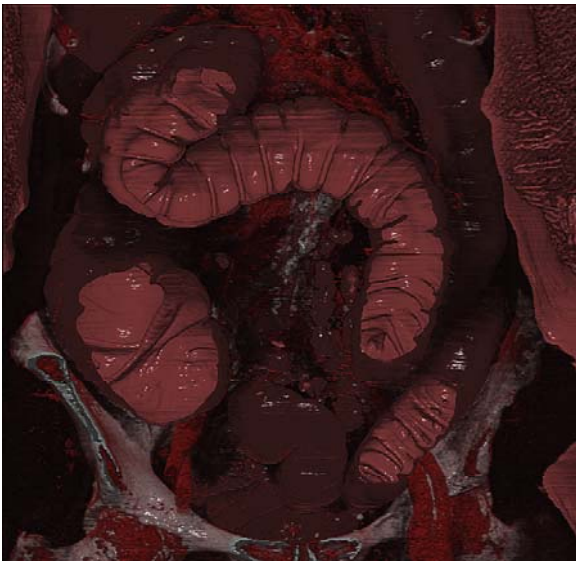


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung von ventral

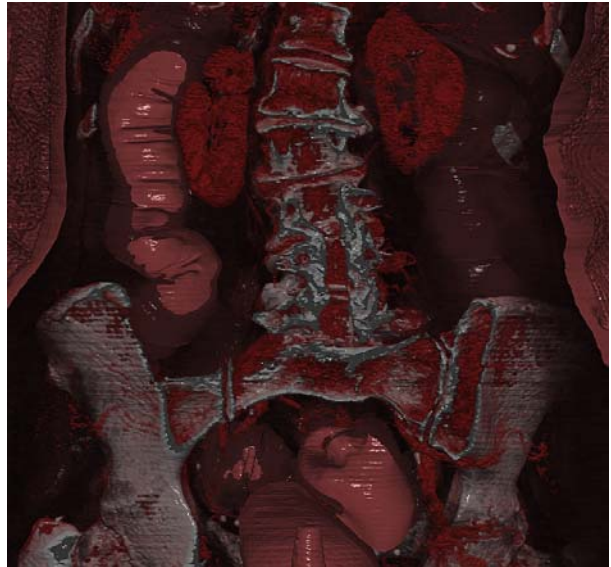


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung von ventral

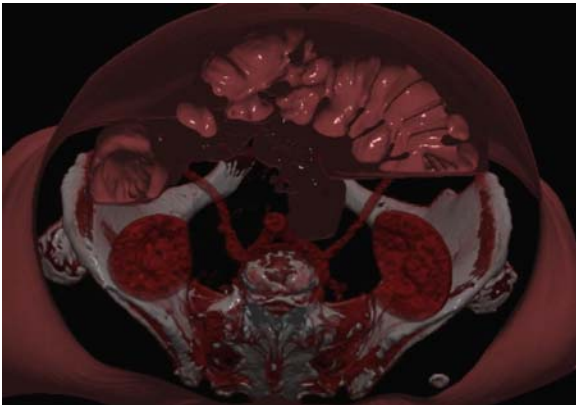


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung von cranial

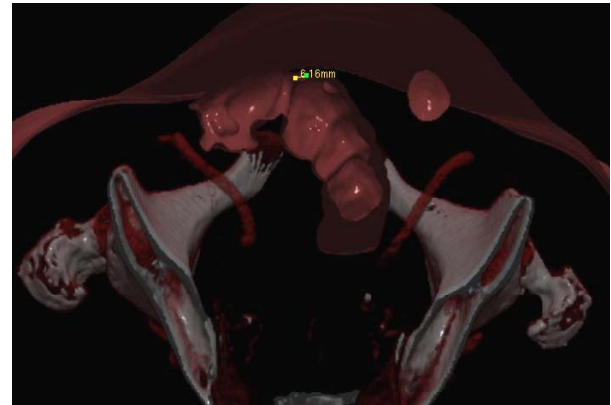


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung von cranial

Karzinome im Vergleich der virtuellen und konventionellen Koloskopie.

Insgesamt zeigten sich in der konventionellen Koloskopie 8 Karzinome. Die virtuelle Koloskopie erkannte 7 von 8 Karzinomen. Ein Karzinom wurde aufgrund mangelnder Compliance der Patientin in sämtlichen Untersuchungsarten nicht entdeckt. Die Patientin bewegte sich während der gesamten Untersuchungsdauer stark und führte somit zu zahlreichen Artefakten.

Nachfolgend einige virtuell endoskopische Abbildung eines Karzinomes:

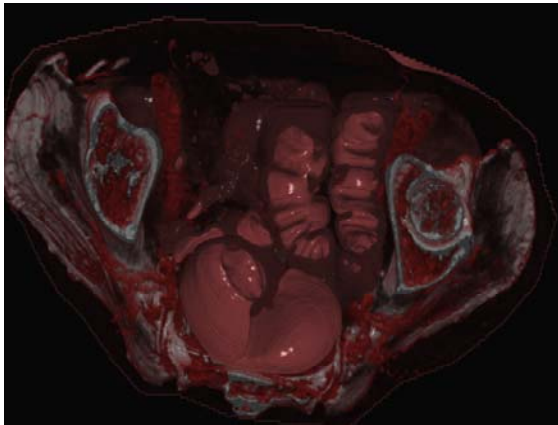


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung eines Karzinoms

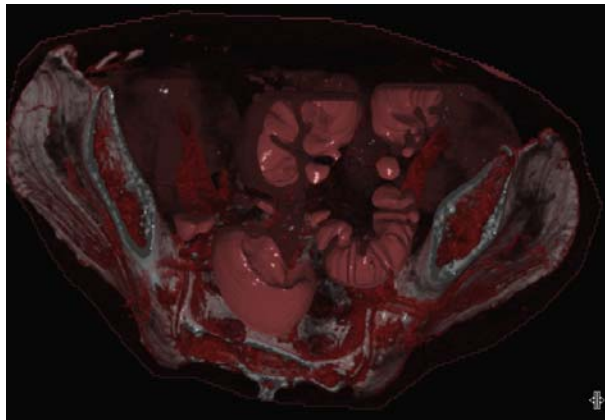


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung eines Karzinoms

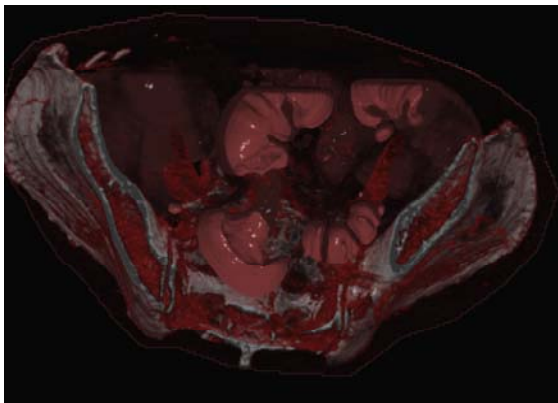


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung eines Karzinoms

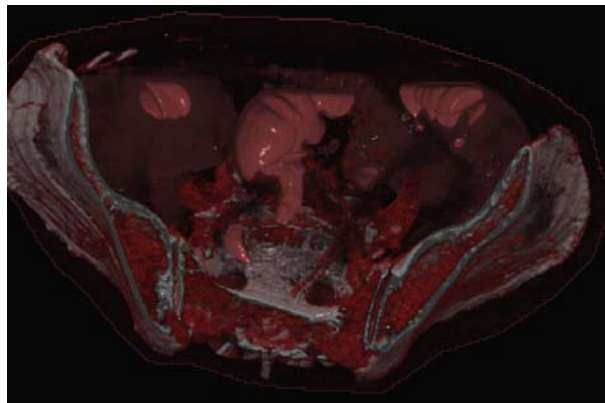


Abb.: „Clip Plane“ Darstellung eines Karzinoms

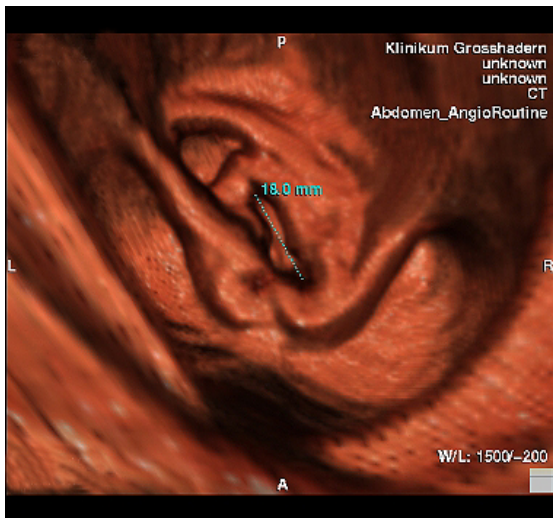


Abb.: Korrespondierende virtuell endoskopische Darstellung des Tumors

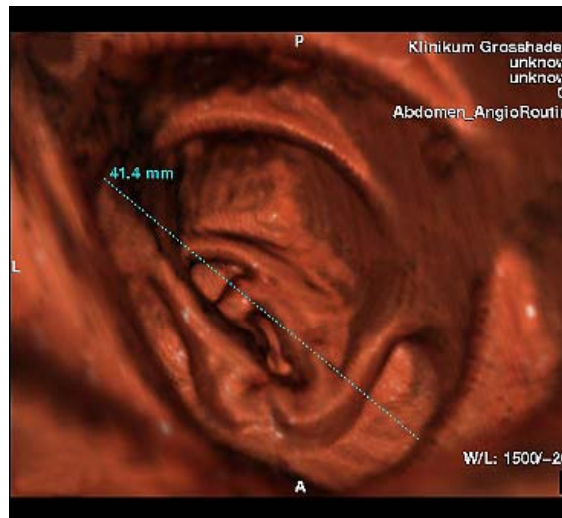


Abb.: Korrespondierende virtuell endoskopische Darstellung des Tumors

4. Diskussion

4.1 Einschlusskriterien

Eingeschlossen in die Untersuchung wurden Patienten, die auf einer internistischen oder chirurgischen Station des Universitätsklinikum Großhadern behandelt und zur Koloskopie angemeldet waren. Weiterhin wurden Patienten, die zu einer ambulanten koloskopischen Untersuchung angemeldet waren, eingeschlossen. Voraussetzung war die schriftliche Einverständniserklärung des Patienten, nach ausführlicher Aufklärung über den Ablauf der computertomographischen Koloskopie.

Als Ausschlusskriterium für die Untersuchung galten Kinder oder Personen unter 20 Jahren sowie wesentlich schwangere Frauen, außer bei bereits bestehender Indikation für eine abdominelle Computertomographie.

4.2 Strahlenbelastung des Patienten

Die effektive Dosis für eine computertomographische Untersuchung des Abdomens entspricht ungefähr einem Wert zwischen 12.4 mSv und 16.1 mSv, mit dem Somatom Plus 4 Volume Zoom MSCT (Siemens, Erlangen, Germany) [Cohnen 10].

In ersten Untersuchungen und Versuchen, unter anderem bei detaillierten Untersuchungen an einem Schweine Colon in einem Körper-Modell mit eingebrachten Polypen unterschiedlicher, definierter Größe, gelang es uns, mit Hilfe von mathematischen Algorithmen, die Strahlenbelastung des Patienten signifikant zu reduzieren. Weitere Studien werden hier zeigen, ob eine so genannte „Low Dose“ virtuelle Koloskopie ähnlich gute Ergebnisse liefert, wie die hier untersuchte Koloskopie.

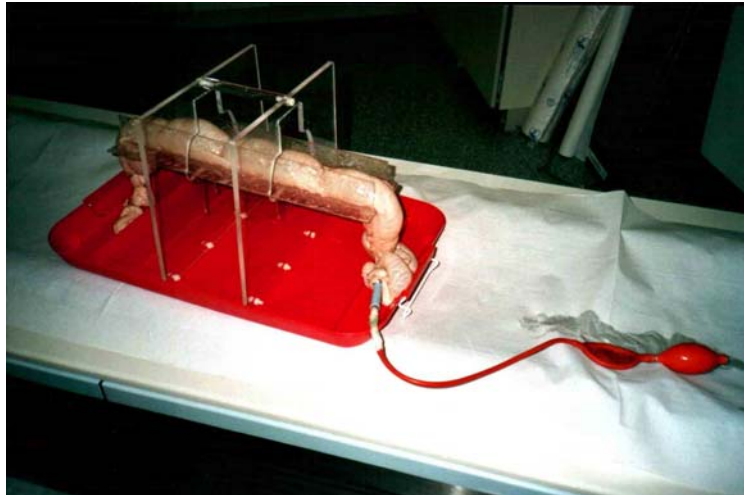


Abb.: Versuchsmodell Schweine Colon zur Dosisreduktion

4.3 Nachbearbeitungssoftware

Bei der virtuellen Koloskopie werden höchste Anforderungen an die Nachbearbeitungssoftware gestellt. Wir verwendeten zwei Nachbearbeitungssysteme. Einmal Virtuoso, Firma Siemens, Forchheim, Deutschland, sowie die Software Vitrea, Firma Vital Images, Mineapolis, USA. Beide Systeme zeigten deutliche Stärken und auch Schwächen bei der Durchführung der virtuellen Koloskopie, hinsichtlich der Polypendarstellung, Polypenfindung und Navigation, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

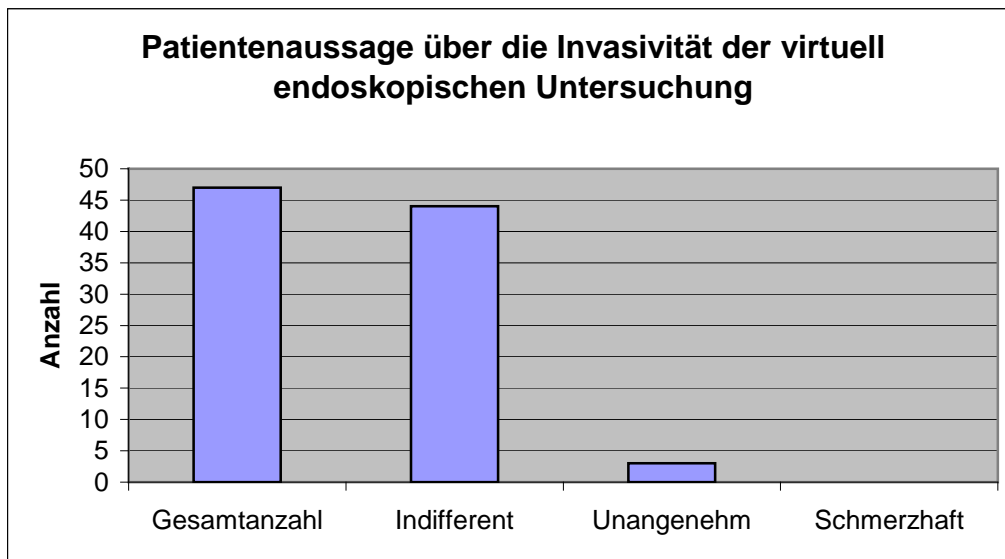
Die Entwicklung neuer Systeme, sowie die Weiterentwicklung und Verbesserung der bestehenden Systeme wird die „Virtuelle Koloskopie“ in Zukunft für den Untersucher deutlich vereinfachen. Ein wichtiges Ziel wird es sein, die Untersuchungszeit, die bei unserer Studie im Mittel 35 Minuten betrug, zu reduzieren, um die virtuelle Koloskopie somit in den klinischen Alltag integrieren zu können. Ein weiteres noch ferneres Ziel stellt die automatische Navigation und Polypendetektion dar.

4.4 Patientencompliance und Invasivität der Untersuchung

Die virtuelle Koloskopie stellt im Vergleich zu anderen diagnostischen Möglichkeiten, wie der konventionellen Koloskopie oder der Doppelkontrast-Untersuchung ein wenig invasives Screening Tool zur Früherkennung von Raumforderungen im Colon dar. Mehrere Studien haben gezeigt, dass die Patientencompliance bei der virtuellen Koloskopie deutlich höher ist als bei den anderen oben genannten Untersuchungen. Die Patienten empfinden die virtuelle Koloskopie aufgrund der kurzen Untersuchungsdauer als weniger invasiv. Auch wird im Vergleich dazu die konventionelle Koloskopie oftmals als schmerzhaft und stark unangenehm empfunden [Hara et al 23, Johnson 30]. Es liegen uns zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorliegenden Dissertation keine Berichte über Komplikationen bei der virtuellen Koloskopie vor.

Eine Befragung in unserem Patientengut zeigte, dass die virtuelle Koloskopie als nicht schmerzhaft und minimalinvasive Untersuchungsmethode empfunden wird. Unsere Patienten wurden direkt nach der computertomographischen Untersuchung über die

subjektive Invasivität der Untersuchung befragt. Nachfolgende Tabelle zeigt eindrucksvoll das Empfinden der Patienten.



4.5 Schwächen des Goldstandards und der Vergleichsmöglichkeit

Bisher stellt die konventionelle Koloskopie den Goldstandard der Screening-Untersuchung des Colons dar. Jedoch birgt diese Untersuchungsmethode neben ihren Stärken, die zum Beispiel die sofortige Therapiemöglichkeit wäre, auch Schwächen. So birgt die konventionelle Koloskopie ein Risiko einer Darmperforation von 14 bis 25 Prozent [Lent 31] und bedeutet für einen großen Teil der Patienten eine belastende und schmerzhaft Untersuchung. Die konventionelle Koloskopie muss mit den gleichen oder sogar noch mehr Problemen als die virtuelle Koloskopie kämpfen.

Engstellen, zum Beispiel anatomisch bedingt oder durch Karzinome, behindern die Passage und können sie unmöglich machen. Polypen oder Karzinome können sich hinter Falten verstecken. Die Literatur zeigt, dass fünf bis sieben Prozent der Karzinome, sowie der Polypen einer Größe von 10 mm bei einer Untersuchung übersehen werden [Gorski et al 18, Haseman et al 24]. Bei Polypen mit abnehmender Größe ist dieser Anteil noch viel höher [Bensen et al 2, Rex 47].

Studien zeigen, dass bei Polypen mit einer Größe von unterhalb 6mm bis zu 27 Prozent der Adenome übersehen werden, bei Polypen einer Größe zwischen 6 mm und 9 mm bis zu 13 Prozent und bei einer Größe von 10 mm oder mehr bis zu 7 Prozent der Adenome übersehen werden [Hooi 26]. So stellte sich vorliegend die Frage, ob eine hundertprozentige Vergleichsmöglichkeit der virtuellen Koloskopie mit der konventionellen Koloskopie möglich ist.

4.6 Nachteile bei der virtuellen Darstellung

Trotz aller Vorteile, die die virtuelle Koloskopie mit sich bringt, birgt auch sie Nachteile. So führen technische Schwierigkeiten während der Untersuchung zu schlechten Ergebnissen. Aufgrund von mangelnder Distension, bei zu geringer Luftinsufflation oder zu früher

Buscopan- / Glucagon- Gabe kann es zu „blinden“ Stellen in der virtuellen Koloskopie kommen [Hung et al 27]. Auch eine mangelnde Darmreinigung kann aufgrund von Stuhlresten zu falsch negativen oder falsch positiven Befunden führen [Fletcher et al 16, Neri et al 37]. Oft lässt sich ein Stuhlrest daran erkennen, dass kleinste Lufteinschlüsse in den axialen oder MPR-Bilder zu sehen sind.

Eine optimale Einstellung der „Weite“ und des „Centers“, also der Schwellenwerte, beeinflusst ebenfalls das Ergebnis nachhaltig. So kann es bei mangelhafter Einstellung zu Artefakten kommen. Das Lumen wird kleiner oder in der Darmwand entstehen Löcher.

Auch mangelnde Patientcompliance kann zur Artefaktbildung führen. Durch Bewegung erscheint die Oberfläche einem Polypenrasen entsprechend.

Nachfolgend eine Abbildung von durch Stuhlreste vorgetäuschten Polypen:

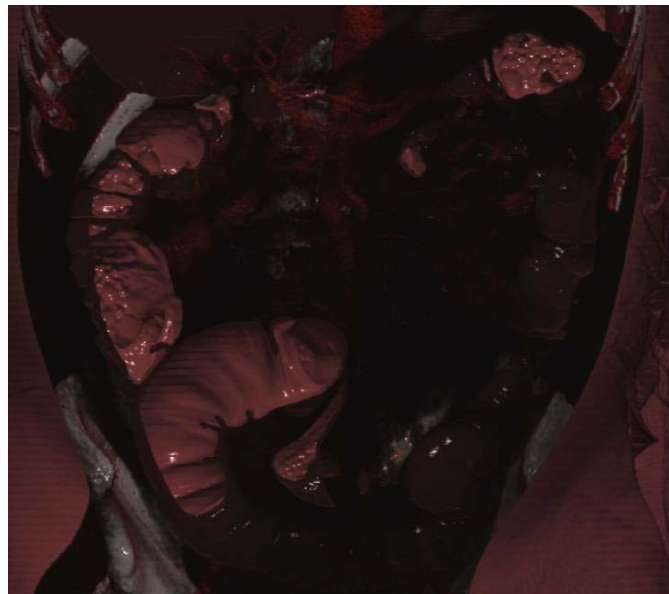


Abb.: Durch Stuhlreste vorgetäuschte Polypen

4.7 Resümee

Nach Auswertung der einzelnen Untersuchungstechniken zeigten sich folgende gravierende Unterschiede in der Sensitivität und Spezifität:

Axiale Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der axialen Untersuchung eine Sensitivität von 67 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr, ergab sich für die axiale Untersuchung eine Sensitivität von 60 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm reduzierte sich die Spezifität für die axiale Untersuchung auf 0 Prozent. Für Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die axiale Untersuchung ebenfalls eine Sensitivität von 0 Prozent.

Im Vergleich mit den nachfolgend aufgeführten Verfahren, speziell den dreidimensionalen fällt auf, dass die axiale Untersuchung zur Früherkennung von Polypen ungeeignet erscheint.

MPR 5mm Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm eine Sensitivität von 67 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm eine Sensitivität von 60 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm zeigte sich für die MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm eine Sensitivität von 0 Prozent. Auch für Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm eine Sensitivität von 0 Prozent.

MPR 3 mm Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 3mm eine Sensitivität von 67 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr, ergab sich für die MPR-Untersuchung, mit einer Schichtdicke von 3mm eine Sensitivität von 60 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm ergab sich für die MPR-Untersuchung, mit einer Schichtdicke von 3mm eine Sensitivität von 0 Prozent. Auch für noch kleinere Raumforderungen von weniger als 3 mm ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm eine Sensitivität von 0 Prozent .

MPR 1 mm Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der MPR-Untersuchung, mit einer Schichtdicke von 1mm eine Sensitivität von 67 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die MPR-Untersuchung, mit einer Schichtdicke von 1mm eine Sensitivität von 60 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm zeigte sich für die MPR-Untersuchung, mit einer Schichtdicke von 1mm eine Sensitivität von 0 Prozent. Auch für Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 1mm eine Sensitivität von 0 Prozent.

Zusammenfassend muss man auch hier bemerken, dass die MPR-Untersuchung nicht das gewünschte Maß an Sensitivität zur Erkennung von Polypen bietet. Eine Reduktion der Schichtdicke bietet ebenfalls kaum Vorteile.

Endoluminale virtuell endoskopische Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der Endoluminalen Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr, ergab sich für die Endoluminale Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent.

Auch für Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm ergab sich für die Endoluminale Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Lediglich bei Raumforderungen mit einer geringeren Größe als 5 mm ergab sich für die Endoluminale Untersuchung eine Sensitivität von 78 Prozent und eine Spezifität von 77 Prozent.

Virtuell endoskopische Untersuchung mittels „Clip Planes“:

Für Karzinome ergab sich bei der „Durchschnitt-Untersuchung“ eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die Durchschnitt Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent.

Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm ergab sich für die „Durchschnitt-Untersuchung“ eine Sensitivität von 80 Prozent und eine Spezifität von 95 Prozent. Bei noch kleineren Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die „Durchschnitt-Untersuchung“ eine Sensitivität von 89 Prozent und eine Spezifität von 81 Prozent.

Hier wird, gerade im Vergleich zu den axialen und den MPR-Untersuchungen deutlich, welchen Vorteil die dreidimensionalen Verfahren für die Detektion und sichere Erkennung der Raumforderungen im Colon bringen.

Für die virtuelle Koloskopie übereinstimmend mit der nicht hohen Koloskopie galt:

Axiale Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der axialen Untersuchung eine Sensitivität von 67 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die axiale Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm reduzierte sich für die axiale Untersuchung eine Sensitivität von 25 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich hier für die axiale Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent.

MPR 5 mm Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm eine Sensitivität von 67 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm reduzierte sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm die Sensitivität auf 25 Prozent und zeigte eine Spezifität von 100 Prozent. Bei noch kleineren Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die MPR Untersuchung mit einer Schichtdicke von 5mm eine Sensitivität von 0 Prozent.

MPR 3 mm Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 3mm eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 3mm eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 3mm eine Sensitivität von 50 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei noch

kleineren Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 3mm eine Sensitivität von 0 Prozent.

MPR 1 mm Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 1mm eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 1mm eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 1mm eine Sensitivität von 25 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für noch kleineren Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die MPR-Untersuchung mit einer Schichtdicke von 1mm eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent.

Endoluminal virtuell endoskopische Untersuchung:

Für Karzinome ergab sich bei der Endoluminalen Untersuchung eine Sensitivität von 67 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die Endoluminale Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent.

Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm zeigte sich für die Endoluminale Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 93 Prozent. Für noch kleinere Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die Endoluminale Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 84 Prozent.

Virtuell endoskopische Untersuchung mittels „Clip Planes“:

Für Karzinome ergab sich bei der Durchschnitt-Untersuchung eine Sensitivität von 67 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent. Für Raumforderungen von 10 mm oder mehr ergab sich für die Durchschnitt-Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 100 Prozent.

Bei Raumforderungen von kleiner 10 mm bis 5mm zeigte sich für die Durchschnitt Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 93 Prozent. Bei noch kleineren Raumforderungen von weniger als 5 mm ergab sich für die Durchschnitt-Untersuchung eine Sensitivität von 100 Prozent und eine Spezifität von 84 Prozent.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die dreidimensionalen Untersuchungstechniken den zweidimensionalen überlegen erscheinen.

Die von uns favorisierte „Durchschnitt-Untersuchung“ zeigt bei kleineren Raumforderungen die besten Ergebnisse hinsichtlich Sensitivität und Spezifität.

Studien anderer Forschungsgruppen kamen zu ähnlichen Werten für Spezifität und Sensitivität. In einer Studie an 117 Patienten konnte bei Polypen über 10 mm eine Sensitivität von 93 Prozent und eine Spezifität von 99 Prozent erreicht werden [Luboldt et al. 2000].

Bei einer weiteren Studie an 70 Patienten wurde für Polypen über 10 mm eine Sensitivität von 96 Prozent und eine Spezifität von 93 Prozent erreicht [Pappalardo et al. 2000].

Die virtuelle Koloskopie entdeckt in der Gesamtzahl mehr Polypen als die konventionelle, hohe Koloskopie. Dies lässt sich wiederum anhand der Polypengröße unterscheiden.

Bei Polypen mit einer Größe von 10 mm oder mehr stimmen die Ergebnisse der dreidimensionalen virtuellen und der konventionellen Koloskopie überein. Auch bei den Polypen von 5 bis 10 mm Größe werden annähernd gleich viele Polypen gefunden.

Bei den Polypen mit einer Größe von unter 5mm entdeckt die virtuelle Koloskopie mehr Polypen als die konventionelle Koloskopie.

Die Differenz in der Anzahl der Polypen unterhalb 5mm kann verschiedene Ursachen haben. Es besteht die Möglichkeit eines falsch positiven Befundes, aufgrund von mangelnder Distension oder Stuhlresten im Lumen, kann aber auch in der Fähigkeit der virtuellen Koloskopie begründet sein, selbst kleinste Läsionen darzustellen [Fletcher et al 16, Neri et al 37, Yee et al 62].

Die Fähigkeit der virtuellen Koloskopie hängt deutlich von der Größe des zu untersuchenden, bzw. aufzufindenden Polypen ab [Ferruci 15]. Zahlreiche Studien belegen, dass bei Polypen einer Größe von 10 mm und mehr, die virtuelle Koloskopie eine Sensitivität von 100 Prozent erreicht [Ferruci 15, Royster et al 49]. Aufgrund der Adenom Karzinom Sequenz und der Wahrscheinlichkeit einer Malignität eines Polypen, die entscheidend von der Größe abhängig ist, sind besonders diese Polypen mit einer Größe von 10 mm und mehr wichtig erkannt zu werden. Nur ein Prozent der Polypen kleiner als 10 mm sind in der Regel maligne entartet [Ferruci 15, Muto 36].

Auch bei Polypen einer Größe von 5 bis 10 mm gibt es wieder die gleichen Ursachen für die unterschiedliche Häufigkeit von Polypen in der konventionellen und virtuellen Koloskopie. Es besteht die Möglichkeit eines falsch positiven Befundes, zum Beispiel aufgrund mangelnder Distension oder Stuhlresten [Fletcher et al 16, Hung et al 27, Neri et al 37].

Des Weiteren ist es auch möglich, dass die konventionelle Koloskopie Polypen, auch hier vor allem kleinere Polypen, übersieht. Wie bereits erwähnt, hat sie mit den gleichen oder sogar noch mehr Schwierigkeiten wie die virtuelle Koloskopie zu kämpfen. Stuhlreste behindern die Erkennbarkeit. Engstellen, zum Beispiel Karzinome, behindern die Passage und Polypen oder Karzinome können sich hinter Falten verstecken. Fünf bis sieben Prozent der Karzinome, sowie der Polypen einer Größe von 10 mm können bei einer Untersuchung übersehen werden [Gorski et al 18, Haseman et al 24]. Bei Polypen mit abnehmender Größe ist dieser Anteil noch viel höher [Bensen et al 2, Rex 47]. Die Literatur beschreibt, dass bei Polypen mit einer Größe von weniger als 6 mm bis zu 27 Prozent der Adenome übersehen werden, bei Polypen einer Größe zwischen 6 mm und 9 mm bis zu 13 Prozent und bei einer Größe von 10 mm oder mehr bis zu 7 Prozent der Adenome übersehen werden [Hooi et al 26].

Zur selbstkritischen Untersuchung der virtuellen Koloskopie lässt sich folgendes aufführen: Polypen mit einer Größe von 10 mm und mehr, die in der bei uns durchgeführten virtuellen Koloskopie gesehen wurden und in der konventionellen Koloskopie nicht, entsprechen eher Polypen, solange der Bereich, in dem sich der fragliche Polyp befindet, gut distendiert und von Stuhlresten befreit erscheint.

Die beiden Polypen mit einer Größe von 10 mm oder mehr, die in der virtuellen Koloskopie aufgefallen sind, in der konventionellen jedoch nicht, befanden sich beide in einem gut distendierten und stuhlfreien Areal, das von der Koloskopie nicht eingesehen wurde, da es bei diesen Patienten nicht möglich war, eine hohe Koloskopie durchzuführen. Beide Patienten klagten während der konventionellen Koloskopie über starke Schmerzen, deswegen wurde diese Untersuchung abgebrochen. Es fehlt zwar der konventionell koloskopische Nachweis, jedoch muss man davon ausgehen, dass es sich hier um Polypen und nicht um Stuhlreste handelt.

Auch bei den Polypen einer Größe zwischen 5mm und 10 mm ist eher von einem Polyp als einem verkannten Stuhlrest auszugehen, da diese Areale stuhlfrei und weit distendiert erschienen. Bei den Polypen unter 5mm ist in den meisten Fällen auch von Polypen auszugehen, da hier ebenfalls stuhlfreie Areale und genügend große Distension vorhanden war. Jedoch sehen wir hier die Diagnosestellung kritischer.

Insgesamt blieben nur 4 Polypen der Größe 2 mm und kleiner fraglich und es konnte hier nicht ausgeschlossen werden, dass es sich um einen falsch positiven Befund handeln könnte.

Diese Zahlen entsprechen auch denen aus zahlreichen Studien über falsch negative Untersuchung der konventionellen Koloskopie [Bensen et al 2, Gorski et al 18, Hung et al 27, Rex 47].

Abschließend lässt sich sagen, dass die virtuelle Koloskopie eine der konventionellen Koloskopie mindestens ebenbürtige, wenn nicht sogar überlegene Untersuchung darstellt. Sie vereint eine geringe Invasivität mit hohem Patientenkomfort und einer hohen Sensitivität der relevanten Strukturen. Die konventionelle Koloskopie hat mit denselben Schwierigkeiten wie die virtuelle Koloskopie zu kämpfen und übersieht einen Teil der relevanten Raumforderungen. Falsch positive Ergebnisse finden sich bei der virtuellen Koloskopie vornehmlich bei kleinsten Strukturen und hier erschien eine hundertprozentige Vergleichbarkeit mit der konventionellen Koloskopie fraglich.

Im Zusammenhang mit der Optimierung der „Low Dose“ virtuellen Koloskopie durch neue Studien stellt die virtuelle Koloskopie ein gut geeignetes Screening Tool dar. Auch die Entwicklung von noch höher auflösenden Computertomographen wird dieses Feld der diagnostischen Medizin in Zukunft positiv beeinflussen.

Nach erstmaliger Initiierung der virtuell koloskopischen Untersuchung am Universitätsklinikum Großhadern durch diese Studie, ist diese Art der Diagnostik nun fester Bestandteil der radiologischen Abteilung und im Klinikum etabliert.

5. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Maximilian Reiser und Herrn Dr. med. Anno Graser für ihre intensive Betreuung und Unterstützung in allen Phasen der Arbeit. Auch bei Herrn Dr. med. Friedemann Rust möchte ich mich bedanken, der mich in der Anfangsphase der Arbeit begleitet hat. Ich freue mich, dass mir die Möglichkeit gegeben wurde, dieses innovative Forschungsgebiet an der Schnittstelle zwischen Medizin und Informatik zu erlernen.

Der Firma Siemens danke ich ebenfalls für die Unterstützung und ihre Bemühungen auch in Form von Lehrgängen.

Herrn Professor Dr. med. Sackmann danke ich für die zur Verfügung gestellten Befunde und Aufzeichnungen der konventionellen Koloskopie, die in der Studie als Korrelat dienten. Meinen Eltern danke ich, dass sie mir das Studium der Medizin ermöglicht und mich mit großem Verständnis unterstützt haben.

Schließlich bedanke ich mich bei meiner Frau Antonija für ihr Verständnis für meine häufige Abwesenheit während dieser Zeit.

6. Literaturverzeichnis

1. **Alberts, D. S. et al.:** Lack of effect of a high-fiber cereal supplement on the recurrence of colorectal adenomas. Phoenix Colon Cancer Prevention Physicians' Network. *N Engl J Med*, 342(16): 1156-62, 2000.
2. **Bensen, S.; Mott, L. A.; Dain, B.; Rothstein, R.; and Baron, J.:** The colonoscopic miss rate and true one-year recurrence of colorectal neoplastic polyps. Polyp Prevention Study Group. *Am J Gastroenterol*, 94(1): 194-9, 1999.
3. **Berchthold:** Pathologie. Edited.
4. **Berg JW, B. R., Winawer SJ et al:** Basic and clinical perspectives of colorectal polyps and cancer. Proceedings of a meeting. Boston, Massachusetts, November 20-21, 1986. *Prog Clin Biol Res*, 279: 1-409, 1988.
5. **Bernstein, C. N.; Blanchard, J. F.; Kliever, E.; and Wajda, A.:** Cancer risk in patients with inflammatory bowel disease: a population-based study. *Cancer*, 91(4): 854-62, 2001.
6. **Bethge:** Histologische Einteilung der kolorektalen Karzinome. *WHO 1976, nach Remmele 1984*, 1984.
7. **Bjork, J.; Akerbrant, H.; Iselius, L.; Bergman, A.; Engwall, Y.; Wahlstrom, J.; Martinsson, T.; Nordling, M.; and Hulcrantz, R.:** Periapillary adenomas and adenocarcinomas in familial adenomatous polyposis: cumulative risks and APC gene mutations. *Gastroenterology*, 121(5): 1127-35, 2001.
8. **Bond, J. H.:** Screening guidelines for colorectal cancer. *Am J Med*, 106(1A): 7S-10S, 1999.
9. **Calhoun, P. S.; Kuszyk, B. S.; Heath, D. G.; Carley, J. C.; and Fishman, E. K.:** Three-dimensional volume rendering of spiral CT data: theory and method. *Radiographics*, 19(3): 745-64, 1999.
10. **Cohnen, M.; Poll, L. J.; Puettmann, C.; Ewen, K.; Saleh, A.; and Modder, U.:** Effective doses in standard protocols for multi-slice CT scanning. *Eur Radiol*, 13(5): 1148-53, 2003.
11. **Day, D. W., and Morson, B. C.:** The adenoma-carcinoma sequence. *Major Probl Pathol*, 10: 58-71, 1978.
12. **Eckardt, V. F.; Fuchs, M.; Kanzler, G.; Remmele, W.; and Stienen, U.:** Follow-up of patients with colonic polyps containing severe atypia and invasive carcinoma. Compliance, recurrence, and survival. *Cancer*, 61(12): 2552-7, 1988.
13. **Eddy, D. M.:** Screening for colorectal cancer. *Ann Intern Med*, 113(5): 373-84, 1990.
14. **Elke, M.:** Kontrastmittel in der Röntgendiagnostik. Edited, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.

15. **Ferrucci, J. T.:** Colon cancer screening with virtual colonoscopy: promise, polyps, politics. *AJR Am J Roentgenol*, 177(5): 975-88, 2001.
16. **Fletcher, J. G.; Johnson, C. D.; Welch, T. J.; MacCarty, R. L.; Ahlquist, D. A.; Reed, J. E.; Harmsen, W. S.; and Wilson, L. A.:** Optimization of CT colonography technique: prospective trial in 180 patients. *Radiology*, 216(3): 704-11, 2000.
17. **Galanski Michael, P. M.:** Ganzkörper-Computertomographie. Edited, Georg Thieme Verlag Stuttgart; New York, 1998.
18. **Gorski, T. F.; Rosen, L.; Riether, R.; Stasik, J.; and Khubchandani, I.:** Colorectal cancer after surveillance colonoscopy: false-negative examination or fast growth? *Dis Colon Rectum*, 42(7): 877-80, 1999.
19. **Greene, F., Page, DL, Fleming, ID, et al:** AJCC (American Joint Committee on Cancer) Cancer Staging Manual, 6th ed. Edited, Springer-Verlag, New York, 2002.
20. **Greenson, J. K.:** Dysplasia in inflammatory bowel disease. *Semin Diagn Pathol*, 19(1): 31-7, 2002.
21. **Hall PTR, U. S. R., New Jersey, Schroeder W, Martin K Lorensen B:** The visulaization toolkit: an object-oriented approach to 3D graphics,. *2nd edn.Prentice*, 1998.
22. **Hara, A. K.; Johnson, C. D.; Reed, J. E.; Ehman, R. L.; and Ilstrup, D. M.:** Colorectal polyp detection with CT colography: two- versus three-dimensional techniques. Work in progress. *Radiology*, 200(1): 49-54, 1996.
23. **Hara, A. K.; Johnson, C. D.; Reed, J. E.; Ahlquist, D. A.; Nelson, H.; MacCarty, R. L.; Harmsen, W. S.; and Ilstrup, D. M.:** Detection of colorectal polyps with CT colography: initial assessment of sensitivity and specificity. *Radiology*, 205(1): 59-65, 1997.
24. **Haseman, J. H.; Lemmel, G. T.; Rahmani, E. Y.; and Rex, D. K.:** Failure of colonoscopy to detect colorectal cancer: evaluation of 47 cases in 20 hospitals. *Gastrointest Endosc*, 45(6): 451-5, 1997.
25. **Henne-Bruns Doris, D. M., Kremer Bernd:** Chirurgie. Edited, Thieme, 2001.
26. **Hooi Ee, H. C.; Semmens, J. B.; and Hoffman, N. E.:** Complete colonoscopy rarely misses cancer. *Gastrointest Endosc*, 55(2): 167-71, 2002.
27. **Hung, P. W.; Paik, D. S.; Napel, S.; Yee, J.; Jeffrey, R. B., Jr.; Steinauer-Gebauer, A.; Min, J.; Jathavedam, A.; and Beaulieu, C. F.:** Quantification of distention in CT colonography: development and validation of three computer algorithms. *Radiology*, 222(2): 543-54, 2002.
28. **Jackman, R. J., and Mayo, C. W.:** The adenoma-carcinoma sequence in cancer of the colon. *Surg Gynecol Obstet*, 93(3): 327-30, 1951.

29. **Ji, B. T.; Dai, Q.; Gao, Y. T.; Hsing, A. W.; McLaughlin, J. K.; Fraumeni, J. F., Jr.; and Chow, W. H.:** Cigarette and alcohol consumption and the risk of colorectal cancer in Shanghai, China. *Eur J Cancer Prev*, 11(3): 237-44, 2002.
30. **Johnson, C. D., and Dachman, A. H.:** CT colonography: the next colon screening examination? *Radiology*, 216(2): 331-41, 2000.
31. **Lent, H.:** Erfahrungen der Gutachterkommission bei der Ärztekammer Nordrhein mit „Zwischenfällen“ in der Endoskopie. Edited, Hamburg, Gutachterkommission der Ärztekammer Nordrhein, 1992.
32. **Macari, M.; Lavelle, M.; Pedrosa, I.; Milano, A.; Dicker, M.; Megibow, A. J.; and Xue, X.:** Effect of different bowel preparations on residual fluid at CT colonography. *Radiology*, 218(1): 274-7, 2001.
33. **Moll K.J., M. M.:** Vgl. Anatomie. Edited, Gustav Fischer Verlag, 1997.
34. **Morrin, M. M.; Farrell, R. J.; Keogan, M. T.; Kruskal, J. B.; Yam, C. S.; and Raptopoulos, V.:** CT colonography: colonic distention improved by dual positioning but not intravenous glucagon. *Eur Radiol*, 12(3): 525-30, 2002.
35. **Morson, B.:** President's address. The polyp-cancer sequence in the large bowel. *Proc R Soc Med*, 67(6): 451-7, 1974.
36. **Muto, T.; Bussey, H. J.; and Morson, B. C.:** The evolution of cancer of the colon and rectum. *Cancer*, 36(6): 2251-70, 1975.
37. **Neri, E.; Giusti, P.; Battolla, L.; Vagli, P.; Boraschi, P.; Lencioni, R.; Caramella, D.; and Bartolozzi, C.:** Colorectal cancer: role of CT colonography in preoperative evaluation after incomplete colonoscopy. *Radiology*, 223(3): 615-9, 2002.
38. **Nikias, G.; Eisner, T.; Katz, S.; Levin, L.; Eskries, D.; Urmacher, C.; and McKinley, M.:** Crohn's disease and colorectal carcinoma: rectal cancer complicating longstanding active perianal disease. *Am J Gastroenterol*, 90(2): 216-9, 1995.
39. **Onken, J. E.; Friedman, J. Y.; Subramanian, S.; Weinfurt, K. P.; Reed, S. D.; Malenbaum, J. H.; Schmidt, T.; and Schulman, K. A.:** Treatment patterns and costs associated with sessile colorectal polyps. *Am J Gastroenterol*, 97(11): 2896-901, 2002.
40. **Orsoni, P.; Berdah, S.; Verrier, C.; Caamano, A.; Sastre, B.; Boutboul, R.; Grimaud, J. C.; and Picaud, R.:** Colonic perforation due to colonoscopy: a retrospective study of 48 cases. *Endoscopy*, 29(3): 160-4, 1997.
41. **Paik, D. S.; Beaulieu, C. F.; Jeffrey, R. B., Jr.; Karadi, C. A.; and Napel, S.:** Visualization modes for CT colonography using cylindrical and planar map projections. *J Comput Assist Tomogr*, 24(2): 179-88, 2000.
42. **Pignone, M., and Levin, B.:** Recent developments in colorectal cancer screening and prevention. *Am Fam Physician*, 66(2): 297-302, 2002.

43. **Podolsky, D. K.:** Going the distance--the case for true colorectal-cancer screening. *N Engl J Med*, 343(3): 207-8, 2000.
44. **Power, N. P.; Pryor, M. D.; Martin, A.; Horrocks, J.; McLean, A. M.; and Reznek, R. H.:** Optimization of scanning parameters for CT colonography. *Br J Radiol*, 75(893): 401-8, 2002.
45. **Prati, M.; Quadri, F.; Botti, F.; Carrara, A.; De Simone, M.; Cioffi, U.; and Contessini Avesani, E.:** [Intestinal carcinoma in Crohn's disease. Report of four cases and review of the literature]. *Minerva Chir*, 57(1): 29-33, 2002.
46. **Rex, D. K.; Cutler, C. S.; Lemmel, G. T.; Rahmani, E. Y.; Clark, D. W.; Helper, D. J.; Lehman, G. A.; and Mark, D. G.:** Colonoscopic miss rates of adenomas determined by back-to-back colonoscopies. *Gastroenterology*, 112(1): 24-8, 1997.
47. **Rex, D. K.:** Virtual colonoscopy: time for some tough questions for radiologists and gastroenterologists. *Endoscopy*, 32(3): 260-3, 2000.
48. **Rosenbusch Gerd, R. J. W. A. J.:** Vgl. Kolon. Edited, Thieme Verlag, 1993.
49. **Royster, A. P.; Fenlon, H. M.; Clarke, P. D.; Nunes, D. P.; and Ferrucci, J. T.:** CT colonoscopy of colorectal neoplasms: two-dimensional and three-dimensional virtual-reality techniques with colonoscopic correlation. *AJR Am J Roentgenol*, 169(5): 1237-42, 1997.
50. **Schatzkin, A. et al.:** Lack of effect of a low-fat, high-fiber diet on the recurrence of colorectal adenomas. Polyp Prevention Trial Study Group. *N Engl J Med*, 342(16): 1149-55, 2000.
51. **Schatzkin, A. et al.:** Lack of effect of a low-fat, high-fiber diet on the recurrence of colorectal adenomas. Polyp Prevention Trial Study Group. *N Engl J Med*, 342(16): 1149-55, 2000.
52. **Schoepf, U. J. et al.:** [Computed tomography of the abdomen with multidetector-array CT]. *Radiologe*, 39(8): 652-61, 1999.
53. **Silverberg, E.; Boring, C. C.; and Squires, T. S.:** Cancer statistics, 1990. *CA Cancer J Clin*, 40(1): 9-26, 1990.
54. **Statistisches Bundesamt, G. d. B.:** Rektum-/Karzinom 1995. Edited, Gesundheitsbericht für Deutschland 1998, 1998.
55. **Statistisches Bundesamt, G. d. B.:** Colon-/Rektumkarzinom. Edited, Gesundheitsbericht für Deutschland 1998, 1998.
56. **Svensson, M. H.; Svensson, E.; Lason, A.; and Hellstrom, M.:** Patient acceptance of CT colonography and conventional colonoscopy: prospective comparative study in patients with or suspected of having colorectal disease. *Radiology*, 222(2): 337-45, 2002.

57. **Thomeer, M.; Bielen, D.; Vanbeckevoort, D.; Dymarkowski, S.; Gevers, A.; Rutgeerts, P.; Hiele, M.; Van Cutsem, E.; and Marchal, G.:** Patient acceptance for CT colonography: what is the real issue? *Eur Radiol*, 12(6): 1410-5, 2002.
58. **Tine, J.; Winther, K. V.; Munkholm, P.; Langholz, E.; and Binder, V.:** Mortality and causes of death in Crohn's disease: follow-up of a population-based cohort in Copenhagen County, Denmark. *Gastroenterology*, 122(7): 1808-14, 2002.
59. **Valerie, D. L.; Palesch, Y. Y.; Pineau, B. C.; Vining, D. J.; and Cotton, P. B.:** The virtual colonoscopy study: a large multicenter clinical trial designed to compare two diagnostic screening procedures. *Control Clin Trials*, 23(5): 570-83, 2002.
60. **Winawer, S. J. et al.:** Prevention of colorectal cancer by colonoscopic polypectomy. The National Polyp Study Workgroup. *N Engl J Med*, 329(27): 1977-81, 1993.
61. **Wolf, S. H.:** The best screening test for colorectal cancer--a personal choice. *N Engl J Med*, 343(22): 1641-3, 2000.
62. **Yee, J.; Akerkar, G. A.; Hung, R. K.; Steinauer-Gebauer, A. M.; Wall, S. D.; and McQuaid, K. R.:** Colorectal neoplasia: performance characteristics of CT colonography for detection in 300 patients. *Radiology*, 219(3): 685-9

Persönliche Daten:

Vor-, Nachname:	Oliver Hans, Eisele
Geburtsdatum:	09.01.1976
Geburtsort:	Wolfratshausen
Konfession:	Römisch katholisch
Familienstand:	Verheiratet

Medizinische Tätigkeit:

01/2007 – dato	Assistenzarzt der Orthopädie am Orthozentrum München. Prof. Dr. Mayer. Abteilung Wirbelsäulenchirurgie
08/2005 – 11/2006	Assistenzarzt an der Chirurgischen Klinik Dr. Rinecker Traumatologie, Viszeralchirurgie, Tätigkeit als Notarzt
01/2004 – 07/2005	Arzt im Praktikum und Assistenzarzt an der Chirurgischen Klinik und Poliklinik der Ludwig Maximilians Universität München. Prof. Dr. Mutschler: Schulterchirurgie, Extremitätenverlängerung, Intensivmedizin

Praktisches Jahr:

06/2003 – 09/2003	Chirurgie: Chirurgische Klinik und Poliklinik der LMU München: Traumatologie, Viszeralchirurgie
02/2003 – 06/2003	Innere Medizin: Klinikum Großhadern der LMU München: Kardiologie, Nothilfe
10/2002 – 02/2003	Radiologie: Klinikum Großhadern der LMU München: Schnittbilddiagnostik

Famulaturen:

09/2001 – 10/2001	Universitäts-Kantonsspital Basel: Herz - und Thorax – Chirurgie
03/2001 – 04/2001	Chirurgische Klinik und Poliklinik der Ludwig Maximilians Universität München: Traumatologie
09/1999 – 10/1999	Universitätsklinikum Großhadern: Radiologie Schnittbilddiagnostik, konventionelles Röntgen

Studium der Medizin:

09/1996 – 09/2003	Studium der Humanmedizin an der Ludwig Maximilians Universität München, Note 1,83
-------------------	---

Zivildienst:

08/1995 – 08/1996	Kreiskrankenhaus Wolfratshausen. OP-Helfer
09/1986 – 07/1995	Allgemeine Hochschulreife, Gymnasium Geretsried, Note 2,0
09/1982 – 07/1986	Grundschule Geretsried

Wissenschaftliche Tätigkeit:

01/2007 – dato	Arbeitsgruppe Spinalkanalstenose; Orthozentrum München
2005	Arbeitsgruppe Radiusfrakturen; Chirurgische Klinik und Poliklinik der LMU München
2004	Bayrischer Chirurgenkongress; Die distale Radiusfraktur, dorsale und volare Plattenosteosynthese
2001	Virtual large intestine imaging with multi-level CT. MMW Fortschr. Med. 2001
2000	Virtual coloscopy with multi-slice computerized tomography. Radiologe. 2000 Mar;
1999	Promotionsarbeit Radiologie Klinikum Großhadern der Ludwig Maximilians Universität München: Virtuelle Koloskopie

Fort- und Weiterbildung:

2007	Internationaler Schulterkurs. Prof. Imhoff
2007	Fachkunde Strahlenschutz
2006	Interdisziplinäre Ultraschallkurswoche
2005	Fachkunde Rettungsdienst
2004/2005	Akupunktur Kurs der DÄGFA
2004	Notfallsonographie des Abdomens

Oliver Hans Eisele
Netzegastraße 11 A, 81377 München
Tel.: 089/41131376, E-Mail: oeisele@web.de

Weiteres zu meiner Person:

Fremdsprachen:	Englisch in Wort und Schrift, Französisch Grundkenntnisse
EDV:	Sehr gute Kenntnisse in Word, Excel, Power Point Adobe Photo Shop, Siemens Virtuoso, Internet
Hobbys:	Modellbau, Fahrzeugtechnik, Klassische und Moderne Musik, Tennis, Handball, Orgel, Piano
Eisele Oliver Hans	München 09.11.2007