



Dosisbewusstsein und Dosisreduktion in der Computertomographie

Michael Galanski, Hannover
Hans-Dieter Nagel, Hamburg

Computertomographische Untersuchungen sind ein wesentlicher, unverzichtbarer Bestandteil moderner bildgebender Diagnostik. Technische Weiterentwicklungen wie die Spiral-CT zu Beginn und die Mehrschicht-CT zum Ende des letzten Jahrzehnts haben die Leistungsfähigkeit moderner CT-Geräte enorm gesteigert. Die Modalität CT hat – trotz konkurrierender Schnittbildtechniken wie MR und Ultraschall – ihren Stellenwert nicht nur bewahrt, sondern weiter ausgebaut. Abzulesen ist dies an der stetig steigenden Anzahl installierter Geräte und vorgenommener CT-Untersuchungen. Dass CT auch Nebenwirkungen aufweist und – ähnlich wie in anderen industrialisierten Ländern – für rund ein Drittel der medizinisch bedingten Strahlenexposition der bundesdeutschen Bevölkerung verantwortlich ist, wurde erst zu Beginn der neunziger Jahre einem größeren Personenkreis bewusst. In der Folgezeit entwickelte sich hierzu innerhalb der radiologischen Gemeinde eine zunehmend intensiv geführte Diskussion, bei der zumeist Hersteller und Anwender von CT-Geräten im Kreuzfeuer der Kritik standen.²

Wie konnte es zu dieser Entwicklung kommen? Zwar war bereits seit längerem bekannt, dass der Vorteil einer überlagerungsfreien Darstellung, wie sie die Schnittbildtechnik bietet, ihren Preis in Form einer erhöhten Dosis pro Untersuchung hat. Durch den verhältnismäßig geringen Anteil der CT am Spektrum röntgendiagnostischer Maßnahmen von nur wenigem Prozent wurde dies jedoch lange Zeit nur als individuelles Problem, das durch den erzielten diagnostischen Nutzen mehr als gerechtfertigt erschien, wahrgenommen. Hinzu kam, dass in der CT als digitaler Modalität eine zu hohe Dosis nicht so offensichtlich wird, wie dies beispielsweise in der traditionellen Röntgenaufnahme-technik durch eine zu hohe Schwärzung der Aufnahme der Fall ist. Das Fehlen eines Konsenses, welche Dosis für welche Fragestellung erforderlich ist, gepaart mit dem Wunsch nach einer guten „Bildqualität“ und Lücken in der Ausbildung des Anwenders, haben schließlich dazu geführt, dass das ohnehin erhöhte Dosisniveau im Laufe der Zeit mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Geräte weiter anstieg.

Maßnahmen wie die 1992 veröffentlichte CT-Leitlinie der Bundeärztekammer (BÄK)³ oder die Multicenter-CT-Studie der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG)⁴ im Jahre 1996 waren erste Schritte zur Dosisreduzierung. Ein umfassendes Konzept zur nachhaltigen Verbesserung der beschriebenen Situation war damit jedoch nicht verbunden. Die entscheidende Erkenntnis einer vom ZVEI Ende 1997 vorgenommenen Bestandsaufnahme war, dass das Problem nur in einer Gemeinschaftsaktion unter Einbeziehung aller beteiligten Kreise und aller infrage kommenden Aspekte zu lösen sei. Dies führte zur Gründung der Konzierten Aktion Dosisreduktion CT unter Federführung der Deutschen Röntgengesellschaft im Mai 1998. Dringender Handlungsbedarf wurde insbesondere auf den Gebieten Aus- und Weiterbildung, Ermittlung der klinischen Anforderungen an Dosis und Bildqualität und Anwendungsempfehlungen gesehen.

Was war also zu tun, um die Strahlenexposition pro Untersuchung auf das diagnostisch erforderliche Maß zu reduzieren? Idealerweise würde diese Aufgabe von der Technik übernommen, und in der Folgezeit wurden von



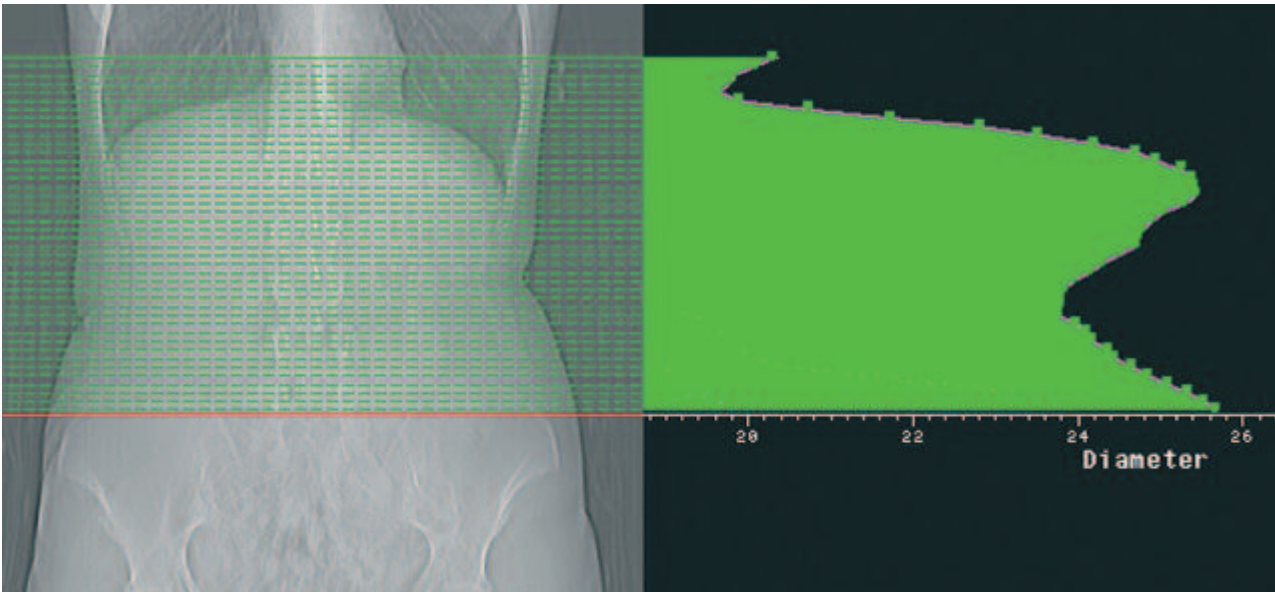
1929

M. Swick und A. von Lichtenberg testen erfolgreich in Berlin das Uroselectan an Patienten.



1930

20. Präsident der DRG
Hermann Holthusen



01 Verwendung des Übersichtsradiogramms zur Bestimmung des effektiven Patientendurchmessers, mit dem sich die individuelle Anpassung der Expositionsparameter an die Patientenanatomie vornehmen lässt

Herstellerseite auch eine Reihe vielversprechender Lösungen entwickelt. Beispielsweise automatische Dosisregelungen, die eine Anpassung des Dosisniveaus an die individuelle Anatomie des Patienten ermöglichen. Dazu wird anhand der Übersichtsaufnahme, die ohnehin zu Planungszwecken erstellt wird, ermittelt, wie stark die Strahlung je nach Körperregion geschwächt wird.

→ **01** Zusätzlich besteht die Möglichkeit, diese Anpassung gezielt vorzunehmen, indem je nach Winkelposition der Röntgenröhre und ihrer Lage zur Patientenlängsachse die Strahlenemission (und damit die Patientendosis) so moduliert wird, dass das Detektorsystem stets dieselbe Strahlenmenge erhält. Auf diese Weise muss die Exposition nicht mehr auf den jeweils ungünstigsten Fall abgestimmt werden (z.B. Schulter oder Becken im lateralen Strahlengang). Vielmehr kann überall, wo günstigere Schwächungsverhältnisse vorliegen, mit verringerter Intensität und entsprechend reduzierter Dosis für den Patienten gearbeitet werden.

Ein weiterer Lösungsansatz sind spezielle Algorithmen zur Bildrekonstruktion und -nachverarbeitung. Sie ermöglichen eine Rauschreduktion, d.h. eine Glättung des Bildes, ohne merkliche Verschlechterung der räumlichen Auflösung. Dies kann entweder zur Verbesserung der Bildqualität oder zur Dosisreduktion genutzt werden. Außerdem wurden verbesserte Darstellungsmöglichkeiten entwickelt, die es beispielsweise erlauben, die Dicke der dargestellten Schicht nachträglich und in Echtzeit zu verändern. Damit kann speziell bei Mehrschicht-CT-Untersuchungen in Dünnschichttechnik zwischen den beiden Extremen „kontrastreich, aber verrauscht“ und ’rauscharm, aber kontrastreduziert’ quasi stufenlos variiert und eine sichere Diagnose erzielt werden, ohne dass – wie anfänglich üblich – das Rauschen durch erhöhte Dosis kompensiert werden muss.

Doch ähnlich wie in der Automobiltechnik, wo ABS, Airbag und andere technische Hilfen Unfallrisiko und -folgen zwar mindern, aber nicht ausschließen können, spielt auch in der CT-Anwendung der Faktor Mensch die entscheidende Rolle. Dies beginnt mit der Indikationsstellung und der Festlegung der erforderlichen Bildqualität je nach Fragestellung, setzt sich über die Länge des zu scannenden Körperabschnitts und die Anzahl der Scan-serien (z.B. Kontrastmittelphasen) fort und endet bei der bevorzugten Art der Bild Darstellung. Wie Umfragen gezeigt haben, resultiert daraus eine Schwankungsbreite der applizierten Patientendosis, die weitaus größer ist als das Reduktionspotential der apparativen Maßnahmen. Die Technik ist damit zwar eine wichtige Voraussetzung, aber keine Garantie für eine indikationsgerechte und dosisoptimierte Arbeitsweise. Die im Rahmen der „Konzertierten Aktion“ ergriffenen Maßnahmen haben sich deshalb vorrangig auf den Aspekt Anwendung konzentriert.



1931

21. Präsident der DRG
Hans Holfelder

1931

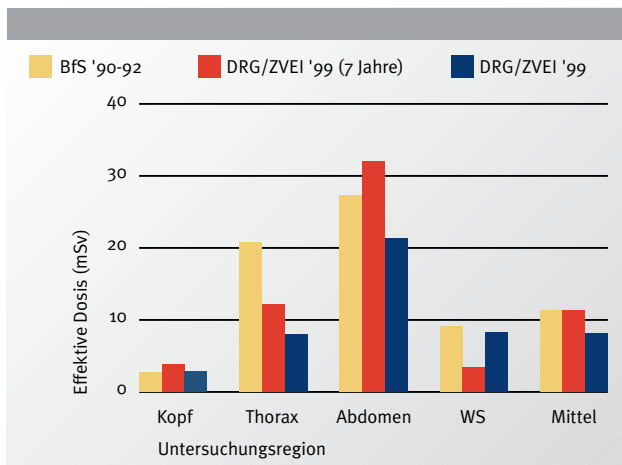
R. Janker, J. Jakobi, W. Schmitz führen in Tierexperimenten erste Untersuchungen mit gleichzeitig aufgenommenem Elektrokardiogramm, Ionogramm und Röntgenkinematogramm durch.

Eines der Hauptprojekte war die Definition der klinischen Anforderungen an Dosis und Bildqualität. Um den Status quo zu ermitteln, wurde 1999 zunächst eine bundesweite Umfrage zur CT-Expositionspraxis vorgenommen⁵, die auf überraschend große Resonanz in der CT-Anwenderschaft stieß (rund 50% Beteiligung). Wichtigstes Ergebnis der Umfrage im Vergleich zur Situation Anfang der 90er Jahre war, dass die durchschnittliche Dosis pro CT-Untersuchung um 30% gesunken war, **02a** in erster Linie durch die Einführung des Spiral-CT und die damit verbundenen Leistungsbegrenzung erzwungen. Zugleich war jedoch ein Anstieg der jährlich vorgenommenen Untersuchungen um 60% zu verzeichnen, **02b** der die Dosisreduktion pro Untersuchung praktisch kompensierte, so dass daraus insgesamt eine leichte Erhöhung des CT-Anteils an der Kollektivdosis resultierte.

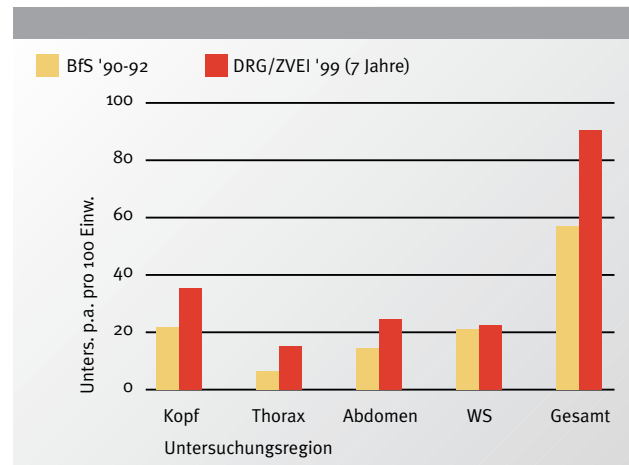
Aus dem umfangreichen Datenbestand wurden Vorschläge zur Aufstellung diagnostischer Referenzwerte erarbeitet, die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BFS) weitgehend übernommen wurden.⁶ Sämtlichen Umfrageteilnehmern wurden ihre Ergebnisse im Rahmen einer „Feedbackaktion“ übermittelt. Dies erfolgte in einer Form, die ihnen nicht nur eine Einschätzung des aus ihrer Arbeitsweise resultierenden Dosisniveaus lieferte, sondern auch Hinweise darauf, aus welchen Gründen ihre Dosiswerte vom bundesweiten Durchschnitt abweichen. Gewissermaßen als „Abfallprodukt“ dieser Aktivitäten entstand mit CT-Expo eine Software zur Dosisevaluierung in der CT, mit der Dosisberechnungen vorgenommen und die mit Umfrage und Feedbackaktion eingeleiteten Maßnahmen in Eigenregie weitergeführt werden können.⁷

Auf gleiche Weise und mit ähnlich guter Beteiligung wurde 2002 die Expositionspraxis in der Mehrschicht-CT (MSCT) mit einer Zusatzumfrage erfasst.

Wie die Umfrageergebnisse zeigten, bewegte sich das durchschnittliche Dosisniveau entgegen ersten Publikationen, die von einem überproportionalen Anstieg der Strahlenexposition durch MSCT berichteten, im üblichen Rahmen⁸. Allerdings erwies sich das Dosisniveau der neueren Vierschichtgeräte im Vergleich zu modernen Einzelschichtgeräten (Spiralscanner mit Festkörperdetektor) und den bereits seit längerem verwendeten Zweischichtgeräten als um knapp einen Faktor 2 überhöht. Hauptgrund war, dass sich die Mehrzahl der Anwender zum damaligen Zeitpunkt in der Umstiegsphase auf die neue Technologie befand und die damit einhergehenden Vor- und Nachteile noch nicht richtig zu werten wusste.



02 Vergleich der Ergebnisse der bundesweiten CT-Umfrage 1999 von DRG und ZVEI mit den im Zeitraum 1990-92 ermittelten Werte für die effektive Dosis (02a, links) und die Untersuchungsfrequenzen (02b, rechts)



1932

22. Präsident der DRG
Leonhard Grebe

1932

Der Münchener Arzt R. Schindler entwickelt das flexible Gastroskop.

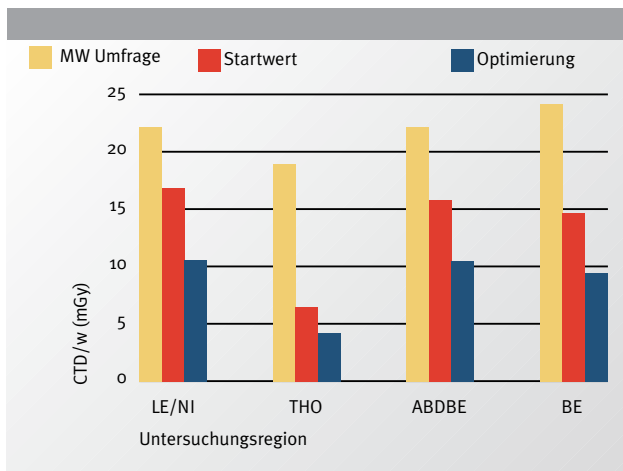
Die eigentliche Frage der adäquaten Dosis wurde in einer Multicenterstudie angegangen.⁹ Dazu wurden insgesamt 32 Radiologen in 12 bundesweit verteilten radiologischen Einrichtungen klinisches Bildmaterial, das mit unterschiedlich hoher Dosis erzeugt wurde, in geblinder Form zur Bewertung vorgelegt. Die Ergebnisse **03** zeigten, dass eine Dosisreduktion auf 40 bis 50%, bezogen auf den Mittelwert der CT-Umfrage, auch für Niedrigkontrastfragestellungen als vertretbar und die diagnostische Aussage nicht limitierend akzeptiert wurde. Im Hochkontrastbereich wie Thorax und Skelett erwiesen sich sogar Dosiseinsparungen von mehr als 50% gegenüber dem Mittelwert der CT-Umfrage als möglich.

Wie lassen sich die Erkenntnisse, die in den Umfragen und in der Multicenterstudie gewonnen wurden, praktisch umsetzen? Zu diesem Zweck wurde zunächst ein ‚Leitfaden zur Bewertung und Optimierung der Strahlenexposition bei CT-Untersuchungen‘ erstellt.¹⁰ Darin finden sich Anwendungsempfehlungen, die sich primär an den Mittelwerten der CT-Umfrage orientieren und je nach Fragestellung und gerätetechnischer Voraussetzung zusätzlich abgestuft sind. Mindestanforderung ist die Einhaltung der diagnostischen Referenzwerte, die um rund 30% oberhalb der Mittelwerte der Umfrage liegen. Damit haben Gerätehersteller, Anwender und ärztliche Stellen eine Orientierungshilfe zur Verfügung, mit der sich die Voreinstellung der Standard-Scanprotokolle ab Werk bzw. eine nachträgliche Optimierung vornehmen lässt. Eigentliches Ziel ist jedoch die Verankerung dieser Empfehlungen in der CT-Leitlinie der Bundesärztekammer, deren Überarbeitung derzeit im Gange ist. Der dritte, als besonders vordringlich angesehene Aktionspunkt betrifft die Aus- und Weiterbildung. Das Thema „Computertomographie“ war in den bisherigen Strahlenschutzkursen zum Erwerb der Fachkunde in Anbetracht der

Komplexität und der Dosisrelevanz dieser Technik nicht adäquat berücksichtigt. Entsprechend gering sind zumeist die Kenntnisse über die strahlenschutzrelevanten Aspekte der CT-Anwendung. Das erste Projekt im Rahmen der Konzentrierten Aktion war daher ein 1999 erschienenes Lehrbuch.¹¹ Es führt in die Grundlagen der CT-spezifischen Dosimetrie ein und zeichnet die Abhängigkeiten von Dosis und Bildqualität auf.

Darüber hinaus wurde ein spezielles Kursangebot erarbeitet, mit dem die wesentlichen Inhalte vermittelt werden. Ein erster Pilotkurs wurde Anfang 2002 von der GSF Neuherberg im Auftrag der Bayerischen Landesärztekammer veranstaltet. Aufgrund der Vorgaben der Euratom-Patientenrichtlinie ist mit Neufassung der Fachkunde-Richtlinie ein sechsständiger „Spezialkurs Computertomographie“ geplant, der für Radiologen, welche die Fachkunde im Strahlenschutz neu erwerben, bindend sein soll.

Rückblickend betrachtet, hat es sich als sinnvoll erwiesen, die Lösung der Problematik in Eigenverantwortung von Anwendern und Geräteindustrie zu suchen. Durch diese Selbstverpflichtung haben die bisher erarbeiteten Ergebnisse eine wesentlich höhere Akzeptanz erfahren, als dies bei rein administrativem Vorgehen üblicherweise der Fall ist, ohne damit die wichtige Rolle des Gesetzgebers in Frage zu stellen. Angesichts der zu erwartenden Zunahme computertomographischer Untersuchungen, die Ausdruck der Leistungsfähigkeit der Methode sind, sollte es zumindest gelingen, den CT-Anteil an der medizinisch bedingten Kollektivdosis stabil zu halten. Die wesentlichen Voraussetzungen hierfür sind in den letzten Jahren geschaffen worden. Nun kommt es darauf an, diese Ergebnisse in der Praxis auf breiter Basis erfolgreich umzusetzen.



03 Ergebnis der Multicenterstudie zur Bestimmung der indikationsgerechten Dosis für die Untersuchungsregionen Leber/Niere (LE/NI), Thorax (THO), Gesamt-Abdomen (ABDBE) und Becken (BE) im Vergleich zu den Mittelwerten der CT-Umfrage 1999 und den Startwerten des Ausgangs-Bildmaterials

1932

W. Vogel, Berlin, berichtet über die radiologische Visualisierung von Mammatumoren.



1932

A. Brasch und F. Lange entwickelt bei AEG, Berlin, einen Stoßgenerator mit 1 Million Volt.