

4. Diskussion

In der Angiographie wird das Personal im Gegensatz zum Patienten bei vorsichtigem Arbeiten (z.B. Vermeidung von Nutzstrahlenexpositionen der Hände) zwar nur durch Streustrahlung exponiert, dafür aber arbeitstätig und das über mehrere oder sogar viele Jahre. Um das Personal möglichst weitgehend vor strahlenbiologischen Wirkungen zu schützen, sind in der RöV Dosisgrenzwerte eingeführt worden. Die Erkenntnis, dass zur Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung nahezu alle exponierten Organe, wenn auch mit unterschiedlicher Gewichtung, beitragen, führte dazu, die Dosisgrenzwerte für stochastische Strahlenwirkungen auf der Basis der effektiven Dosis festzulegen (ICRP60). Das ICRP-Konzept der effektiven Dosis wurde von der Europäischen Gemeinschaft übernommen und von der Bundesrepublik in den Texten der neuen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) umgesetzt. So sind mit der Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung, die aus der Umsetzung der Grundnormen-Richtlinie und der Patientenschutz-Richtlinie der europäischen Gemeinschaften (10, 11) aus dem Jahre 1996 bzw. 1997 resultiert, unter anderem der Grenzwert für die effektive Dosis von 50 auf 20 mSv und der Grenzwert für die Uterusdosis der gebärfähigen Frau von 5 auf 2 mSv reduziert worden. Außerdem wurde ein Grenzwert für die Leibesfrucht von 1 mSv für die Zeit ab Mitteilung bis zum Schwangerschaftsende eingeführt. Die Grenzwerte für die Dosis in den einzelnen Geweben und Organen sind ansonsten im Wesentlichen unverändert, wobei lediglich die Teilkörperdosis der Haut generell auf 500 mSv festgelegt wurde (38). In der Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung ist der Begriff „Teilkörperdosis„ durch „Organdosis„ ersetzt worden. In dieser Arbeit wird aber aus Gründen der besseren Verständlichkeit weiterhin dann von Teilkörperdosis gesprochen, wenn die Dosis an einem Punkt des Organs oder des Körperteils gemeint ist. Denn als Organdosis wird in der Literatur im Allgemeinen die über das gesamte Organ gemittelte Dosis verstanden.

Der TIPS gehört auch in den größeren interventionellen Zentren in der Regel nicht zu den ganz häufigen oder täglich stattfindenden angiographischen Interventionen. In den meisten Krankenhäusern finden weniger als 50 TIPS pro Jahr statt, während größere Frequenzen von 50 bis 250 pro Jahr, d.h. bis zu einmal arbeitstätig in Universitätskliniken mit hepatologischen Schwerpunkten angetroffen werden können. Sehr große Frequenzen

von 250 bis 750 pro Jahr können allenfalls in einzelnen Kliniken gefunden werden. Mehr als 750 TIPS pro Jahr, d.h. 3 pro Arbeitstag sind schon aus zeitlichen Gründen praktisch nicht möglich, da jeder TIPS bereits etwa 2 Stunden in Anspruch nimmt. Da jede einzelne TIPS-Intervention mit nicht unerheblichen Strahlenexpositionen verbunden ist (18, 26, 27, 28), ist es trotz geringerer Interventionszahlen möglich, dass hohe kumulative Strahlendosen am Personal entstehen, die eine Überschreitung der Grenzwerte für Teilkörperdosen und ein beachtliches Risiko für stochastische und deterministische Strahlenschäden bedingen könnten.

Bei den Interventionen ohne die Anwendung eines Unterkörperschutzes erhält der nicht durch die Bleischürze gedeckte Unterschenkel die höchste Teilkörperdosis. Dies liegt daran, daß die von dorsal auf den Patienten auftreffende Nutzstrahlung teilweise in Richtung Unterschenkel gestreut wird und den Unterschenkel ohne vorherige Schwächung durch den Patientenkörper exponiert, während die Streustrahlung in Richtung Linse, Schilddrüse und Hand des in der Nähe des Patienten stehenden Personals zunächst vom Patientenkörper geschwächt wird. Die am höchsten gelegene und vom Streukörper Patient am weitesten entfernte Meßstelle ist die Augenlinse, so dass diese von allen ungeschützten Körperteilen die niedrigste Teilkörperdosis erhalten hat. Da am Unterschenkel auch das rote Knochenmark anzutreffen ist und für dieses aufgrund der als hoch eingestuften Strahlenempfindlichkeit ein geringer Dosisgrenzwert gefordert wird, ergibt sich für den Interventionalisten eine maximal zulässige Zahl von nur 12 pro Jahr. Auch bei der Assistentin und dem Sonographeur war die Teilkörperdosis am roten Knochenmark im Hinblick auf die maximal zulässige Zahl an TIPS am stärksten limitierend. Bei der Assistentin und dem an der rechten Patientenseite stehenden Sonographeur ist durch eine geringe Frequenz an TIPS von 18 bzw. 32 pro Jahr der Dosisgrenzwert erreichbar, während der an der linken Patientenseite stehende Sonographeur erst ab einer größeren Frequenz an TIPS von 62 pro Jahr an den Grenzwert stoßen kann.

Die Tatsache, dass die Dosis des roten Knochenmarkes beim Sonographeur im Vergleich zu der des Interventionalisten und der Assistentin deutlich geringer ausgefallen ist, liegt daran, dass der Sonographeur nicht während der gesamten Intervention, sondern nur bis zur erfolgreichen Punktion und Katheterisierung der Pfortader an der Intervention mitgewirkt hat. Der nach der Katheterisierung anschließende Teil der Pfortader besteht

aus Aufnahmeserien des portalvenösen Systems, der Dilatation und Stentimplantation unter Durchleuchtung und Dokumentation durch weitere Aufnahmeserien und ist sehr dosisintensiv, trägt jedoch nicht zur Dosis des Sonographeurs bei. Auffallend ist, dass die Teilkörperdosen des Sonographeurs höher war, wenn er an der rechten Patientenseite stand, als wenn er von der linken Patientenseite aus sonographierte. Dies ist erklärbar durch die Position der Röntgenröhre an der rechten Patientenseite (Leber) und der damit geringeren Entfernung der Röhre zur rechten als zur linken Patientenseite. Eine Ausnahme bildete die Teilkörperdosis der Hand, die ganz ähnliche Werte aufwies, was damit erklärt werden kann, dass die linke Hand des an der linken Patientenseite und die rechte Hand des an der rechten Patientenseite stehenden Sonographeurs an der gleichen Position gehalten wurden.

Für den Interventionalisten, die Assistentin und den an der rechten Patientenseite stehenden Sonographeur ist die Teilkörperdosis des roten Knochenmarks, für den Interventionalisten auch die des Muskels diejenige Dosis, die bei geringeren Interventionsfrequenzen unter 50 pro Jahr bereits zu Überschreitungen des Dosisgrenzwertes führen können. Besonders für den Interventionalisten und die Assistentin können die aufgrund der Knochenmarksteilkörperdosis abzuleitenden maximal zulässigen Zahlen in vielen Krankenhäusern als sehr limitierend angesehen werden.

Für den Interventionalisten und die Assistentin sind die Teilkörperdosen der Knochenoberfläche, der Haut, der Füße, der Knöchel und die effektive Dosis, für den Interventionalisten außerdem die Teilkörperdosis der Linse und für die Assistentin die des Muskels, für den an der linken Patientenseite stehenden Sonographeur die Teilkörperdosis des roten Knochenmarkes und des Muskels, für den an der rechten Patientenseite stehenden Sonographeur die Teilkörperdosis der Knochenoberfläche, des Muskels und die effektive Dosis diejenigen Dosen, die bei größeren Interventionsfrequenzen zwischen 50 und 250 pro Jahr zu Überschreitungen des Dosisgrenzwertes führen können.

Die von der Bleischürze geschützten Teilkörper einschließlich des Uterus der gebärfähigen Frau haben Dosen erfahren, die eine Überschreitung der Grenzwerte praktisch nicht zulassen. Eine Ausnahme bildet die Teilkörperdosis des Uterus oder die mit der

Uterusdosis gleich gesetzte Dosis des ungeborenen Kindes der schwangeren am TIPS beteiligten Frau. Für die schwangere Interventionalisten und Assistentin ist eine maximal zulässige Zahl an TIPS von 16 bzw. 20 ab Mitteilung bis Ende der Schwangerschaft durchaus erreichbar, wenn sie einmal pro Woche am TIPS mitwirkt. Für die an der rechten Patientenseite stehende schwangere Sonographeurin kann die maximal zulässige Zahl von 50 bei größeren Interventionsfrequenzen von 2 pro Woche nach 6 Monaten erreicht werden, während die an der linken Patientenseite stehende schwangere Sonographeurin kaum über 100 TIPS mitmachen kann. In der klinischen Praxis wird man eine schwangere Person ab der Mitteilung der Schwangerschaft möglichst nicht zur Mitwirkung an einer TIPS-Anlage einsetzen. Bei der heutigen Personalknappheit in den Kliniken kann eine solche Beschäftigung aber nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Zur Betrachtung des Krebsrisikos wurden bewusst solche Organe explizit dargestellt, deren Organdosen leicht meßbar sind. Die Schilddrüse und die Brust sind oberflächlich liegende Organe ohne größere Tiefenausdehnung, so dass deren Organdosis annähernd mit der Oberflächendosis gleichgesetzt werden können. Dennoch tragen die anderen Organe zum Gesamtrisiko bei, so dass Abschätzungen der effektiven Dosis unabdingbar waren.

Das Risiko, einen strahleninduzierten Krebs zu erleiden, der dann tödlich endet, mag für den Interventionalisten, die Assistentin und den Sonographeur nach einer einzelnen Intervention, die außer mit der Bleischürze ohne weitere Schutzmaßnahmen erfolgt ist, sehr klein sein. Etwa 1 bis 9 Personen von 1.000.000 würden diesen Schaden erleiden. Bei einer Interventionsfrequenz von 50 pro Jahr und über 10 Jahre kann sich das Risiko um den Faktor 500 erhöhen und damit im gut vorstellbaren Bereich von 5:10.000 bis 4,5:1000 liegen. Das Risiko, einen letalen Schilddrüsenkrebs zu erleiden, liegt etwa um den Faktor 10 niedriger und dürfte damit auch noch im vorstellbaren Bereich liegen. Das Risiko, einen letalen Brustkrebs zu erleiden, ist um eine Größenordnung niedriger und damit wesentlich kleiner.

Das Risiko des Interventionalisten und der Assistentin für einen genetischen Defekt ist bei 6 bzw. 5 Personen von 10.000.000 im vernachlässigbaren Bereich. Rechnet man wie oben mit 500 Interventionen im Verlauf der beruflichen Tätigkeit, dann beläuft sich das

Risiko jedoch auf 3 bzw. 2,5 von 10.000 und ist damit durchaus zu beachten. Beim rechts stehenden Sonographeur kann das Risiko als halb so groß angesehen werden und beim links stehenden Sonographeur ist das Risiko wesentlich geringer (Dosen unterhalb der Nachweisgrenze).

Deterministische Strahlenschäden könnten sich bei größeren Frequenzen und jahrelanger Tätigkeit des Interventionalisten und der Assistentin unter den hier beschriebenen Bedingungen und wenn überhaupt am Knochenmark und an der Linse manifestieren. Die Depression der Blutbildung würde als deterministischer Strahlenschaden sicher nur lokal auftreten, da das Knochenmark nicht überall stark exponiert war. An der Linse sollte sich wenn überhaupt nur eine Trübung manifestieren. Katarakt wäre nur bei täglicher Intervention denkbar. Eine Sterilität ist nicht zu befürchten, wenn vorschriftsgemäß die Bleischürze getragen wird. Beim Sonographeur könnte sich ohne Unterkörperschutz und bei sehr großer Interventionsfrequenz mehr als einmal täglich und über viele Jahre eine lokale Depression des Knochenmarkes manifestieren, und wenn er an der rechten Patientenseite steht, auch eine klinisch erfaßbare Linsentrübung.

Als allgemein anerkannte physikalische Größe zur Beschreibung der insgesamt während der Intervention auftretenden Strahlenexposition hat sich das Dosisflächenprodukt (DFP) durchgesetzt (14, 15, 25, 30). Das DFP ist das Integral der Dosis über eine Querschnittsfläche durch das Nutzstrahlenbündel (31). Es berücksichtigt die Dosis, die von der Durchleuchtungszeit, der Röhrenspannung, dem Röhrenstrom, bei den Aufnahmen auch von den Belichtungszeiten und der Anzahl abhängig ist, und das Bildverstärkerformat und die Einblendung, die sich als Fläche manifestieren. Die oftmals als Maß für die Strahlenexposition angegebene Durchleuchtungszeit hingegen korreliert bei angiographischen Prozeduren in DSA (digitale Subtraktionsangiographie)-Technik wenig mit der Gesamtstrahlenexposition, da diese Größe weder die Expositionsparameter bei Durchleuchtung und Aufnahmen noch die Anzahl der Aufnahmen und Aufnahmeserien berücksichtigen kann (15).

Beim Vergleich der am Personal meßbaren Strahlendosen ohne und mit Schutzmaßnahmen und Vergleich der Dosen des Sonographeurs bei den verschiedenen Positionen muß

man berücksichtigen, dass die Strahlenexpositionen nicht exakt reproduzierbar sind. Unterschiedlich kann beispielsweise das DFP sein.

Das DFP bei den 15 Interventionen ohne Schutzmaßnahmen unterscheidet sich nicht wesentlich von dem DFP bei den 15 Interventionen mit Bleiglasscheibe und Schilddrüsenschutz (461 versus 418 Gy cm^2). Man erkennt beim Interventionalisten und der Assistentin keinen größeren Unterschied zwischen den Dosen des Unterschenkels, da kein Unterkörperschutz angewendet wurde. Die Unterschiede in den geschützten Körperregionen Linse und vor allem Schilddrüse können also im wesentlichen auf die Bleiglasscheibe und den Schilddrüsenschutz zurückgeführt werden.

Dass beim Interventionalisten und der Assistentin der Schilddrüsenschutz zu einer wesentlich stärkeren Dosisreduktion an der Schilddrüse (etwa 90%) führt als die Bleiglasscheibe an der Augenlinse (etwa 40%), liegt daran, dass der Schilddrüsenschutz eng an der Schilddrüse positioniert war, während die Bleiglasscheibe die im Körper des Patienten gestreute und zwischen der Bleiglasscheibe und dem Interventionalisten bzw. der Assistentin wieder austretende Strahlung nicht an der Exposition der Augenlinse hindern kann.

Interessant ist, dass die Bleiglasscheibe die Dosis des Interventionalisten und der Assistentin unterhalb der Bleischürze nicht mehr wesentlich reduziert hat. Es ist anzunehmen, dass die Bleischürze ohnehin nur die harten Strahlenanteile durchläßt und dass diese harten Strahlenanteile durch die Bleiglasscheibe keine wesentliche weitere Abschwächung mehr erfährt.

Das DFP bei den 8 Interventionen mit dem Sonographeur an der linken Patientenseite und ohne Schutzmaßnahmen war deutlich höher als das bei den 8 Interventionen mit Schilddrüsenschutz, Unterschenkelschutz und Handschuh (465 versus 346 Gy cm^2). Eine Relation zwischen der Schilddrüsendosis ohne und mit Schutz ist eingeschränkt möglich, da die mit Schutz unterhalb der Nachweisgrenze lag. Gleicht man die beiden DFP an und korrigiert die Dosen des links stehenden Sonographeurs bei den Interventionen mit Schutz mit dem Faktor $465 / 346 (=1,34)$ hoch, so sind die mit Unterschenkelschutz erhaltenen Dosen des Unterschenkels dennoch weit unterhalb der

ohne Unterschenkelschutz gemessenen Dosen und wird eine erhebliche Dosisreduktion erkennbar (etwa 89%). Die Dosis der Handschuh tragenden linken Hand ist ebenfalls reduziert im Vergleich zur Dosis der linken Hand ohne Handschuh (etwa 39%). Die Dosis der Linse und der nicht Handschuh tragenden rechten Hand ist bei den Interventionen mit Schutzmaßnahmen etwas höher als die ohne Schutzmaßnahmen. Das zeigt, dass die Strahlungsanteile, die vom Patientenkörper nach unten streuen und vom Boden wieder nach oben in Richtung der Hand gestreut werden, kaum eine Rolle zur Gesamtexposition der Hand spielen dürften.

Das DFP bei den 7 Interventionen mit dem Sonographeur an der rechten Patientenseite und ohne Schutzmaßnahmen war nur geringfügig niedriger als das bei den 7 Interventionen mit Schilddrüsenschutz, Unterschenkelschutz und Handschuh (456 versus 496 Gy cm^2). An der Schilddrüse wurde eine deutliche Dosisreduktion durch den Schilddrüsenschutz erreicht (etwa 85%), am Unterschenkel durch den Unterschenkelschutz (etwa 90%) und an der rechten Hand durch den Handschuh. Gleicht man die beiden DFP an und korrigiert die Dosen des rechts stehenden Sonographeurs bei den Interventionen ohne Schutz mit dem Faktor $496 / 456 (=1,09)$ hoch, so sind die mit Unterschenkelschutz erhaltenen Dosen des Unterschenkels dennoch weit unterhalb der ohne Unterschenkelschutz gemessenen Dosen und wird eine erhebliche Dosisreduktion erkennbar (etwa 89%). Die Dosis der Handschuh tragenden rechten Hand ist ebenfalls reduziert im Vergleich zur Dosis der rechten Hand ohne Handschuh (etwa 56%). Die Dosis der Linse und der nicht Handschuh tragenden linken Hand ist bei den Interventionen mit Schutzmaßnahmen ähnlich der ohne Schutzmaßnahmen. Auch für den rechts stehenden Sonographeur gilt damit, dass die Strahlungsanteile, die vom Patientenkörper nach unten streuen und vom Boden wieder nach oben in Richtung der Hand gestreut werden, kaum eine Rolle zur Gesamtexposition der Hand spielen dürften.

Die Dosisreduktion am Unterschenkel des Sonographeurs durch den Unterschenkelschutz (etwa 90%) war geringer als im DIN 6813 für eine Strahlung mit 75 bis 100 kV angegeben (97 bis 99,3%) (5) oder von Kicken und Bos experimentell für eine Bleischürze mit einem Bleiäquivalent von 0,5 mm festgestellt (98,6 bis 99,6%) (24). Es ist zu vermuten, dass die oberhalb des Unterkörperschutzes aus dem Streukörper Patient austretende Streustrahlung den Unterschenkel des Sonographeurs mit exponiert hat. Auch der Schilddrüsenschutz

könnte bei einem Bleiäquivalent von 0,5 mm mehr Strahlung abschirmen (97 bis 99,3%) (5). Jedoch wird der Schilddrüsenschutz aus Bequemlichkeitsgründen nicht ganz am Hals anliegend getragen, so dass ein geringer Teil der Strahlung am Schutz vorbei den Hals exponieren kann. Entsprechend war die Dosisreduktion geringer (etwa 85%). Der Handschuh bietet im Gegensatz zum Schilddrüsenschutz und Unterkörperschutz einen wirklichen Rundumschutz. Allerdings kann das Blei nicht so dick gewählt werden wie die anderen. Entsprechend war die Dosisreduktion (etwa 55%) wesentlich geringer als beim Unterschenkelschutz und Schilddrüsenschutz.

Die das Personal exponierende Strahlung ist reine Streustrahlung. Diese ist in der Regel härter als die Nutzstrahlung, da im Patientenkörper die weichen Strahlenanteile der Nutzstrahlung bereits absorbiert wurden. Die für die bleienthaltenden Strahlenabschirmungen angegebenen Werte für die durchgelassene Strahlung in % der auffallenden Strahlung berücksichtigt jedoch allein die Röhrenspannung. Da die härtere Streustrahlung eine höhere Durchdringungsfähigkeit hat, ist zu erwarten, dass die Dosisreduktion durch die Strahlenabschirmung geringer ausfällt. Dies könnte ebenfalls dazu beitragen, dass die Dosisreduktion schwächer ausgefallen ist als vom DIN angegeben.

Das DFP bei den 8 Interventionen mit dem Sonographeur an der linken Patientenseite und ohne Schutzmaßnahmen unterscheidet sich wenig von dem DFP bei den 7 Interventionen, bei denen der Sonographeur an der rechten Patientenseite stand (465 versus 456 Gy cm^2), so dass die Unterschiede in den Dosen nicht auf das DFP zurückzuführen sein sollten, sondern auf die unterschiedlichen Expositionsbedingungen, zum Beispiel auf die unterschiedlichen Positionen des Sonographeurs (Tab. 9 und 13). Dabei liegen die Dosen des rechts stehenden Sonographeurs an der Linse, Schilddrüse und am Unterschenkel um den Faktor 2 bis 3 höher als die des links stehenden Sonographeurs. Der Unterschied zwischen den Dosen der Hände ist insgesamt deutlich geringer, da zumindest die Schallkopf haltende Hand unabhängig von der Stehposition des Sonographeurs an der gleichen Position gehalten wurde.

Das DFP bei den 8 Interventionen mit dem Sonographeur an der linken Patientenseite und mit Schutzmaßnahmen unterscheidet sich deutlicher von dem DFP bei den 7

Interventionen, bei denen der Sonographeur an der rechten Patientenseite stand (346 versus 496 Gy cm^2). Gleicht man die beiden DFP an und korrigiert die Dosen des links stehenden Sonographeurs mit dem Faktor $496/346 (=1,4)$ hoch, so sind die Dosen für den links stehenden Sonographeur dennoch deutlich unter denen des rechts stehenden Sonographeurs. Zum Beispiel erhalten die rechte und linke (röhrennahe) Linse des links stehenden Sonographeurs 0,04 bzw. 0,07 mSv im Vergleich zu den Dosen der rechten (röhrennahen) und linken Linse des rechts stehenden Sonographeurs von 0,20 bzw. 0,12 mSv. Der rechte und linke (röhrennahe) Unterschenkel des links stehenden Sonographeurs würde eine Dosis von 0,04 bzw. 0,07 mSv erhalten im Vergleich zu den Dosen des rechten (röhrennahen) und linken Unterschenkels des rechts stehenden Sonographeurs von 0,16 bzw. 0,09 mSv (Tab. 25 und 29). Für die Linse und den Unterschenkel würde sich somit, wie auch für die Dosen ohne Schutzmaßnahmen im letzten Absatz beschrieben, ein Unterschied um einen Faktor von 2 bis 3 errechnen. Analog sind die Unterschiede zwischen den Dosen der Hände insgesamt geringer, da die Schallkopf haltende Hand unabhängig von der Stehposition des Sonographeurs an der gleichen Position gehalten wurde. Die Dosen der Schilddrüse und der von der Bleischürze geschützten Körperteile sind schwieriger in Relation zu bringen, da diese beim links stehenden nicht im Nachweisbereich waren.

Die Unsymmetrie der Dosiswerte bei Linse, Schilddrüse, Hand und Unterschenkel des Interventionalisten ist erklärbar durch seine entsprechende Position zum Röntgenstrahler und zum Patienten. Da er während der Katheterführung und -platzierung oberhalb des Patientenkopfes stand und den Kopf in Richtung des Monitors leicht nach links drehen musste, waren die Abstände der rechten Linse und Schilddrüse zur Röntgenröhre kleiner als diejenigen für die linke Linse und Schilddrüse. Bei der Katheterführung befand sich die linke Hand des Interventionalisten an der Punktionsstelle am Hals bei einer Strahlerposition in Höhe der Leber des Patienten, während die rechte Hand am Anfang des Katheters mit einer Spritze Kontrastmittel injizierte und somit vom Röntgenstrahler weiter entfernt war als die linke. Dass die Dosis des Unterschenkels rechts viel höher war als links, mag einmal daran liegen, dass der rechte Unterschenkel näher zur Röntgenröhre stand. Ein weiterer Grund könnte darin bestehen, dass der Interventionalist häufig mit dem rechten Bein nach vorn schritt, um die auf dem Boden liegende Durchleuchtungs- und Aufnahmetaste zu bedienen. Die rechte Körperseite der Assistentin war strahler- und

patientennah angeordnet und dementsprechend verhielten sich die Dosiswerte an der Linse, Schilddrüse, an der Hand und am Unterschenkel.

Die beschriebenen Strahlenschutzmaßnahmen reichen für den Interventionalisten und die Assistentin im Falle einer regelmäßigen Intervention, zum Beispiel mehr als 15 bis 20 TIPS pro Jahr, nicht aus, da die Teilkörperdosis des roten Knochenmarks den Grenzwert erreichen würde. Zur Zeit der Studie stand kein Unterkörperschutz zur Verfügung, der an der Patientenkopffseite des Tisches hätte angebracht werden können. Das Risiko des Interventionalisten und der Assistentin für einen letalen Krebs kann durch das Tragen eines Schilddrüsenschutzes allein bereits um etwa 40% reduziert werden. Es ist zu erwarten, dass ein Unterkörperschutz zu einer erheblichen Erhöhung der maximal zulässigen Anzahl an TIPS führen würde und das Krebsrisiko senken könnte, da das Knochenmark am Unterschenkel eine wesentlich geringere Dosis erfahren würde. Die Schutzmaßnahmen beim Interventionalisten und der Assistentin haben zur Folge, dass nur bei großer Interventionsfrequenz über viele Jahre eine Linsentrübung erwartet werden kann. Die mögliche Depression der Blutbildung würde nur lokal auftreten und sich klinisch kaum manifestieren, so dass im Hinblick auf diesen deterministischen Schaden der Unterkörperschutz nur eine untergeordnete Rolle spielen dürfte.

Die entscheidende Bedeutung des Unterkörperschutzes für die maximal zulässige Interventionszahl zeigt sich beim Sonographen, dessen Tätigkeit quantitativ durch die Exposition des Unterschenkels limitiert ist. Bei Verwendung des Unterkörperschutzes kann er, wenn er an der rechten Patientenseite sonographiert, allenfalls nur bei sehr großer Interventionsfrequenz den Grenzwert erreichen. Die Position an der linken Seite läßt eine Überschreitung des Dosisgrenzwertes bei Verwendung der hier beschriebenen Strahlenschutzmaßnahmen praktisch nicht möglich erscheinen. Das Krebsrisiko ist durch die Schutzmaßnahmen beim Sonographen mit etwa 65% stärker gesenkt als beim Interventionalisten oder der Assistentin. Dies kann daran liegen, dass die mittlere Organdosis des roten Knochenmarks beim Sonographen durch den Unterkörperschutz reduziert wird. Die lokale Depression der Blutbildung ist beim Sonographen durch die Anwendung des Unterkörperschutzes praktisch nicht mehr möglich. Die Linsentrübung kann, da keine Bleiglasscheibe für den Sonographen vorlag, bei sehr großer Interventionsfrequenz über viele Jahre möglich sein.

Neben dem Unterkörperschutz an der Patientenkopfseite des Tisches könnte eine Übertischblende die Gonaden, die etwa die gleiche Höhe haben wie der Patientenkopf, schützen. Damit könnte das Risiko des genetischen Defektes reduziert werden. Allerdings waren die Dosen an der Brust unterhalb der Bleischürze durch die Anwendung der Bleiglasscheibe nicht wesentlich reduziert.

Ob eine Bleiglasbrille zusätzlich zur Bleiglasscheibe einen weiteren Nutzen bringen kann, ist fraglich, da die Linsendosis im Hinblick auf den Dosisgrenzwert nicht die limitierende Größe ist, die Linse keinen Tumor entwickelt und der Schwellenwert für Linsentrübung im Falle eines Einsatzes der Bleiglasscheibe allenfalls nur bei extrem häufiger Interventionsfrequenz überschritten werden könnte. Fehlt allerdings die Bleiglasscheibe, kann die Brille für den Interventionalisten und die Assistentin bei großer Interventionsfrequenz über viele Jahre sinnvoll sein. Es sollte erwähnt werden, dass die Bleiglasbrille nur die Augenlinse schützt, während die Bleiglasscheibe den gesamten Schädel einschließlich des Knochenmarkes schützt und daher nicht durch eine Brille zu ersetzen ist. Für den Sonographen sollte eine Bleiglasscheibe installiert werden, die dann zwischen den Bildverstärker und ihn platziert wird. Dadurch sollte erreicht werden, dass auch bei sehr großer Interventionsfrequenz eine radiogene Linsentrübung praktisch nicht möglich erscheint.

Der Handschuh hat die Handdosis des Sonographen deutlich reduziert. Jedoch ist die Handdosis des Sonographen gering und nicht die limitierende Größe auf die maximal zulässige Interventionszahl. Allein der Interventionalist könnte bei sehr großer Interventionsfrequenz von der Reduktion der Handdosis durch den Handschuh profitieren.

Der Schilddrüsenschutz sollte im Hinblick auf die maximal zulässige Zahl bei sehr großer Interventionsfrequenz vom Interventionalisten und der Assistentin getragen werden. Insbesondere aber ist der Schilddrüsenschutz dringend auch für den Sonographen zu empfehlen, da dieser die Wahrscheinlichkeit für einen Schilddrüsenkrebs erheblich senken kann.

Die Strahlenexposition des Personals bei der TIPS-Anlage war Gegenstand einiger anderer Studien. In der Studie von Hidajat et al. wurden ähnliche Oberflächendosen gemessen. Allerdings fand der Unterschenkel bei den Messungen keine Berücksichtigung. Auch wurden die Assistentin und der Sonographeur bei den Messungen nicht betrachtet. Desweiteren wurden kein Schilddrüsenschutz, keine Bleiglasscheibe und kein Unterkörperschutz verwendet (18). Damals wurde die effektive Dosis mittels der Methode von Webster (40) abgeschätzt, da die Dosis des Unterschenkels nicht gemessen wurde und somit keine Abschätzung der Knochenmarksdosis vorlag. In der vorliegenden Studie wurde der zweifache Wert für die effektive Dosis im Vergleich zur ersten Studie ermittelt, was daran liegt, dass die Knochenmarksdosis des Unterschenkels, die erheblich zur Gesamtdosis des als strahlenempfindlich eingestuftes Knochenmarks beiträgt, nun berücksichtigt worden ist.

Die einzige mir bekannte Studie, die auch den Sonographeur berücksichtigt hat, war die von Zweers et al. (44), allerdings wurde nur die Position an der rechten Patientenseite betrachtet. Sowohl Interventionalist als auch Sonographeur trugen wohl einen Schilddrüsenschutz. Es wurde hier keine vergleichende Messung mit und ohne Schilddrüsenschutz, Unterkörperschutz und Handschuh durchgeführt. Interessanterweise fanden die Autoren eine höhere effektive Dosis für den Sonographeur mit 0,03 mSv als für den Interventionalisten mit 0,026 mSv. Dies kann nur damit erklärt werden, dass der Sonographeur in der Studie von Zweers et al. sich wesentlich länger in der Nähe des Patienten aufgehalten hat als in der vorliegenden Studie.

Auch Whitby und Martin wiesen auf die hohe Unterschenkeldosis des Interventionalisten von etwa 2 bis 3 mSv hin, die in ihrer Studie 2 bis 3 mal so hoch war wie die Handdosis (42). Diese Ergebnisse stimmen mit unseren Ergebnissen ohne Schutzmaßnahmen überein.

Die von Hidajat et al. bei der interventionellen Angiographie immer wieder festgestellte Unsymmetrie der Oberflächendosen beim Interventionalisten (16, 17, 18) und die in dieser Studie nachgewiesene Unsymmetrie beim Interventionalisten, der Assistentin und dem Sonographeur macht deutlich, dass im Falle einer Messung beide Seiten separat zu berücksichtigen sind. Dies trifft vor allem für die Unterschenkel und die Hände, da

diese Körperteile deutliche Abstandsunterschiede zur Strahlenquelle aufweisen können. Whitby und Martin und Damilakis et al. zeigten auch seitendifferente Handdosen des Angiographen (3, 42).

Die Aussagekraft der Ergebnisse leidet darunter, dass Dosiswerte in ausgedehnten Organen und im Körperinneren am Patienten messtechnisch nicht zugänglich sind und daher konservativ den gemessenen Werten der Oberflächendosis gleichgesetzt wurden. Dieses Verfahren ist für oberflächlich gelegene Organe und Körperteile relativ unproblematisch. Bei der Dosisabschätzung der inneren Organe des Rumpfes kann berücksichtigt werden, dass, erstens, hauptsächlich die weichen Strahlenanteile des primären Bremsstrahlungsspektrums im Patientenkörper absorbiert werden und, zweitens, die von der Schutzkleidung durchgelassene, also auch dadurch aufgehärtete, das Personal exponierende Streustrahlung auf ihrem Weg zu tiefer liegenden Körperteilen dann nur noch relativ geringfügig geschwächt wird. Aufhärtungseffekte dieser Art bewirken, dass die Dosisdifferenzen zwischen oberflächennahen und –fernen Körperbereichen klein sind. Vor allem bei den Interventionen mit Schutzmaßnahmen wird die Strahlung zusätzlich durch den Bleischutz aufgehärtet, so dass diese Dosisdifferenzen weiter reduziert sein dürften. Desweiteren kann davon ausgegangen werden, dass die größeren Differenzen zwischen den Oberflächendosen und den Dosen tiefer liegender Organe die Thorax- und Bauchorgane betrafen. Aber genau diese Organe wiesen nur eine geringe Dosis auf, so dass ihre Dosiswerte wenig zur effektiven Dosis beigetragen haben.

Die Oberflächendosen waren nicht in jedem Falle obere Schätzwerte für die Teilkörperdosen. Die Handdosis wurde am Grundgelenk des Mittelfingers gemessen. Tatsächlich ist die Dosisverteilung an der Hand inhomogen, wobei nach einer Studie von Whitby und Martin die höchsten Dosen am kleinen Finger und Ringfinger zu erwarten sind (42).

Die Vergleiche der Dosen des links und rechts stehenden Sonographen und des Personals ohne und mit Schutz wurden mit Berücksichtigung der unterschiedlichen DFP diskutiert. Tatsächlich kann die Verteilung der Strahlenexposition schwanken, da die Röntgenröhre nicht gleich in Höhe der Leber platziert wird, sondern zunächst am

Thorax, dann am oberen Leberrand bzw. an der Lebervene, bevor die Sondierung der weiter kaudal verlaufenden Pfortader erfolgt. Die Situation kann damit unterschiedlich sein. Allerdings wurden nur solche Interventionen in dieser Studie berücksichtigt, bei denen keine Besonderheiten vorlagen. Auch solche, die mit Embolisation von Varizen oder selektiver Sondierung von rektalen Venen einhergingen, wurden nicht in die Studie eingeschlossen. Um exaktere Vergleichsdaten zu liefern, müßten Messungen an menschenähnlichen Phantomen, z.B. dem Rando-Phantom, mit definierten Bedingungen erfolgen.

Alle Studien haben gezeigt, dass die Personendosismessung mit einer Filmplakette an der Vorderseite des Rumpfes nicht ausreicht, um die Strahlenexposition des Personals bei der interventionellen Angiographie zu erfassen. Erstens kann die Exposition der Hände, Linsen und Unterschenkel durch die Filmplakette nicht erfaßt werden. Daher wurde von Fischer et al. die Dosismessung außerhalb der Bleischürze empfohlen (12). Zweitens hat die Erfahrung gezeigt, dass die Filmplakette wesentlich niedrigere Dosis registriert als die Messungen an gleicher Stelle ergeben (27). Ein wichtiger Aspekt beim TIPS ist, dass innerhalb der Klinik wenig Rotation zu verzeichnen ist, da die TIPS-Anlage eine der schwierigsten Interventionen ist und somit nur von wenigen beherrscht wird. So kann der Interventionalist, der hauptsächlich für diese Intervention zuständig ist, in einem großen Zentrum bei hoher TIPS-Frequenz einer hohen Strahlenexposition ausgesetzt sein. Um so mehr sollte eine entsprechende Überwachung der Dosen des für den TIPS eingesetzten Personals erfolgen. Nach der britischen Gesetzgebung würden alle Personen überwacht werden, die 1/3 des Dosisgrenzwertes erfahren können (21, 43).

Zusätzlich zu den im Rahmen dieser Studie eingesetzten Strahlenschutzmaßnahmen und den selbstverständlichen Verhaltensweisen, z.B. Vermeidung von direkter Strahlenexposition, sollte die gepulste Durchleuchtung nicht unerwähnt bleiben. Die gepulste Durchleuchtung mit 12 Bildern pro Sekunde wurde auch in schwierigen Situationen in keinsten Weise als störend empfunden. Die Bildschärfe war aufgrund der Kürze der Pulse sogar erhöht und die subjektiv empfundene Bildqualität gesteigert. Nach den Erfahrungen von Waggerhauser et al. kann zur Katheterplatzierung auch eine niedrigere Pulsrate gewählt werden, die bis zu 90% der Durchleuchtungsdosis spart (39). Aufrichtig et al. fanden im Experiment kaum Unterschiede bezüglich der Wahrnehmung

für kontinuierliche (30 Pulse/Sekunde) und gepulste Durchleuchtung (15 Pulse/Sekunde, 10 Pulse/Sekunde, 7,5 Pulse/Sekunde), jedoch eine Dosisrektion von 22%, 38% bzw. 49% (1). Eine interessante Studie von Zweers et al. hat gezeigt, dass durch die Wahl einer hohen Röhrenspannung und eines niedrigen Röhrenstromes beim TIPS eine erhebliche Dosisreduktion an Patient und Personal erreicht werden kann (44). Schließlich wurde die Benutzung eines hybriden Systems aus Radiographie und MRT vorgestellt, wonach die MRT die transvenöse Punktion des Pfortadergefäßes erleichtert und so an Strahlenexposition gespart werden kann (23).