

Der **Radiologe**

Die Fachzeitschrift für bildgebende Verfahren, Radioonkologie und Nuklearmedizin

**Jahrgang 31, 1991**

Schriftleitung P. E. Peters, Münster · G. van Kaick, Heidelberg  
W. Wenz, Freiburg

Herausgegeben von W. A. Fuchs, Zürich · F. Heuck, Stuttgart  
E. Löhr, Essen · E. Moser, Freiburg · U. Piepgras, Homburg  
H. Pokieser, Wien · W. Schuster, Gießen  
M. Wannenmacher, Heidelberg

Wissenschaftlicher Beirat I. P. Arlart, Stuttgart · A. Baert, Leuven · Y. W. Bahk, Seoul  
V. Barth, Esslingen · H. K. Deininger, Darmstadt  
R. Felix, Berlin · H. Frommhold, Freiburg  
H. Ingrisch, München · G. Kauffmann, Heidelberg  
M. Iio, Tokyo · K. Mathias, Dortmund · U. Mödder, Düsseldorf  
A. E. Oestreich, Cincinnati · O. Pohlenz, Hamburg  
G. Rosenbusch, Nijmegen · P. Vock, Bern  
A. Wackenheim, Strasbourg

4 Med · 92 12

31  
1991



Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo HongKong Barcelona Budapest



Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Fotokopien für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus als Einzelkopien hergestellt werden.

Jeder Autor, der Deutscher ist oder ständig in der Bundesrepublik Deutschland lebt oder Bürger Österreichs, der Schweiz oder eines Staates der Europäischen Gemeinschaft ist, kann unter bestimmten Voraussetzungen an der Ausschüttung der Bibliotheks-

und Fotokopietantiemen teilnehmen. Nähere Einzelheiten können direkt von der Verwertungsgesellschaft WORT, Abteilung Wissenschaft, Goethestraße 49, W-8000 München 2, Bundesrepublik Deutschland, eingeholt werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag *keine Gewähr* übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest  
Printed in Germany  
Gesamtherstellung: Appl, Wemding  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1991  
Springer-Verlag GmbH & Co. KG, 1000 Berlin 33, Bundesrepublik Deutschland

# Inhalt der Hefte 1991

## Heft 1: Digitale Radiologie

Redaktion: P. E. Peters

J.-W. Oestmann, S. Reichelt, M. Prokop, C. Schaefer, M. Galanski: Digitale Projektionsradiographie 1

U. Bick, M. Fiebich, H. Lenzen, W. Wiesmann, P. E. Peters: Eine Methode zur Dosisabschätzung bei der digitalen Lumineszenzradiographie 8

M. Wiltgen, G. Gili, G. H. Schneider: PACS: Einsatz im Routinebetrieb 11

U. Jokert, H. Krause, C.-Th. Ehlers: Radiologische Bildproduktion und Kommunikation im Krankenhaus. Mengengerüst und Analyse 16

## Klinik und Praxis

A. K. Wakhloo, M. Schumacher: Neuroradiologische Notfalldiagnostik und -therapie kranialer Erkrankungen 21

M. Eilenberger, W. Ponhold, S. Trattning, F. Kainberger, K. Vergesslich: Pseudotumor der Orbita in der Pädiatrie. Bildgebende Diagnostik 30

J. Gaa, H. K. Deininger: Ambulante transbrachiale arterielle DSA mit 4-F-Kathetern zur Abklärung extrakranieller Gefäßprozesse 33

L. Walk: How long can a gastric erosion persist? 38

## Essay

P. Graßmann: Reflexionen zur Technologie in der Medizin 40

## Röntgenquiz

K. H. Steen, A. Düring: Bildverwechslung? - Derselbe Patient? 47

## Heft 2: Uroradiologie

Redaktion: P. E. Peters

F. Flückiger, M. Ratschek, H. Steiner: Farbkodierte Duplexsonographie von Nierentransplantaten mit Dysfunktion 51

K. Post, Th. Hupp, Th. Roeren, H.-J. Brambs, J. R. Allenberg, G. W. Kauffmann: Nierenarterienaneurysmen 56

L. Vlahos, A. Gouliamos, A. Kalovidouris, S. Colias, X. Papacharalambous, C. Papavasiliou: Control of haematuria with superselective embolization 62

L. V. Christiansen, S. Langfeldt: Multilokuläres zystisches Nephrom 66

Th. Vestring, G. Bongartz, R. Kaiser, P. E. Peters: Stellenwert der bildgebenden Diagnostik bei der xanthogranulomatösen Pyelonephritis 68

## Klinik und Praxis

K.-C. Klose, M. Persigehl, S. Biesterfeld, R. W. Günther: Die Adenomyomatose der Gallenblase im CT 73

D. Spitzer, A. Staudach, E. Döringer, H. Steiner: Die Bedeutung von Computertomographie und Ultraschall in der Diagnostik der puerperalen Ovarialvenenthrombophlebitis (POVT) 82

J. Gaa, S. Saini, P. R. Mueller, J. T. Ferrucci: Kernspintomographische Diagnose eines Myelolipoms der Nebenniere 86

S. T. Hahn, S. H. Park, Y. W. Bahk, S. K. Chung: Struma ovarii simulating a teratodermoid cyst 89

T. Nishimura, T. Morita, G. Kubota, T. Shimizu, M. Kaneko: Unusual mucoid impaction in a case of bronchogenic carcinoma 92

A. Strohmaier, M. Friedrich: Rhabdomyolyse und Plexusläsion nach Heroinintoxikation 95

## Röntgenquiz

K. Mathias, G. Hoffmann: Grand-mal-Anfall 99

## Heft 3: Interventionelle Radiologie

Redaktion: P. E. Peters, G. Nöldge

## Editorial

G. van Kaick, P. E. Peters: Dem Schriftleiter Werner Wenz zum 65. Geburtstag 101

G. Nöldge, M. Rössle, J. M. Perarnau, G. M. Richter, J. C. Palmaz: Die Modellierung des transjugulären intrahepatischen portosystemischen Shunts (TIPSS) mittels Metallprothese: Anforderungen an den Stent 102

R. W. Günther, D. Vorwerk: Indikationen zur Implantation von vaskulären Endoprothesen (Stents) 108

G. M. Richter, G. Nöldge, J. C. Palmaz, F. Tio: Generalisierte Arteriosklerose und Stentimplantation. Ein epikritischer Bericht 114

B. Wimmer, K. H. Hauenstein: CT-gezielte Biopsie. Anmerkungen zur Punktionstechnik 120

W. S. Rau, K. Rauber, B. Weimar, H. Pralle: Die Implantation von Hickman-Kathetern. Eine neue Aufgabe der interventionellen Radiologie 125

K. H. Hauenstein, B. Wimmer, R. Salm, E. H. Farthmann: Perkutane Diagnostik und Therapie an Gallenwegen und Gallenblase. Möglichkeiten und Stellenwert 132

## Klinik und Praxis

E. Nitzsche, G. Grosser, C. Rump, E. Strauß, E. Meyer, E. Keller, E. Moser: Captopril-Nierenfunktionsszintigraphie (C-NFSZ) bei der Abklärung der arteriellen Hypertonie 141

H. Frommhold, Th. Albrecht, K. Glaser, A. Nilles: Individualisierte intraoperative Radiotherapie des Pankreaskarzinoms 147

## Essay

P. E. Peters: Radiologie 2000 153

## Röntgenquiz

G. Weyrich: Auffällige Herzverkleinerung 159

## Laudatio

G. Nöldge: Professor Dr. Werner Wenz zum 65. Geburtstag 161

## Heft 4: Osteosynthese

Redaktion: P. E. Peters

E. Brug, St. Winckler: Zurück zur Kallusheilung durch dynamisierbare Osteosyntheseverfahren 165

K. Wörtler, N. Roos, P. E. Peters: Osteosynthesematerial. Typen - Wirkungsprinzipien - radiologische Beurteilung 172

H. Müller-Miny, R. Erlemann, D. Baranowski, N. Roos, P. E. Peters: Radiologische Beurteilung von Osteosynthesen 179

H. Rosenthal, W. Freier, M. Galanski: Komplikationen der Osteosynthese im Röntgenbild 186

## Aktuelles aus der Forschung

I. P. Arlart, L. Guhl, L. Fauser, R. R. Edelman, D. Kim, G. Laub: MR-Angiographie (MRA) der Abdominalvenen 192

## Klinik und Praxis

G. W. Kauffmann, G. M. Richter, G. Nöldge, Th. Roeren, P. Landwehr, K. Lackner: Vier Jahre Erfahrung mit der ballonexpandierbaren Endoprothese. Experiment und klinische Anwendung 202

St. Bockenheimer, F. Reinhuber, C. Mohs: Intraarterielle Thrombolyse hirnversorgender Gefäße 210

P. Billmann, D. Fleischmann, L. Baumeister: Die Entwicklung und Röntgenmorphologie der Amiodaronpneumopathie 216

**Die Computer-Seite**

M. Vahlensieck: Einfache und schnelle Erstellung von anatomischen Schemazeichnungen mittels moderner Computertechnologie 220

**Röntgenquiz**

R. Schulz-Wendtland, A. Mundinger, M. Bauer, G. Emmerich, K.-W. Henne: Akute Unterbauchschmerzen und Verkalkung im kleinen Becken 223

**Heft 5: Wirkung niedriger Strahlendosen**

*Redaktion: G. van Kaick*

A. Kaul: Kleine Strahlendosen: Risiko und Nutzen 225

A. M. Kellerer: Strahlenrisiken. Ergebnisse der Neubewertung 227

K. Martignoni, J. Nitschke: Ein neuer Strahlenschutz-Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen in der Bundesrepublik Deutschland 235

**Aktuelles aus der Forschung**

M. Schumacher, D. Schmidt, A. K. Wakhloo: Intraarterielle Fibrinolyse bei Zentralarterienverschluß 240

**Klinik und Praxis**

F. Thun, H. Lanfermann: Intrakranielle Riesenaneurysmen verursacht durch Strahleneinwirkung 244

A. Huber, H. Jurkovic, A. Witzmann, J. Fischer: Spontanheilung einer traumatischen Carotis-Sinus-cavernosus-Fistel 247

L. Vlahos, P. Prunzos, E. Kailidou, A. Gouliamos, X. Papacharalamos, C. Papavasiliou: Congenital A-V fistula of the breast 250

P. R. Pedersen, K. Mohr Madsen, A. Næser, P. Thommesen: Post-prandial gastro-oesophageal reflux demonstrated by radiology 253

J. Peiß, K. C. Klose, K.-P. Kriegge: Multiple paraaortale Nebenmilzen. Eine Differentialdiagnose retroperitonealer Lymphome 255

**Essay**

W. Wenz, E. Glatt, J. Plingen, E. Boos: Zur Geschichte der Deutsch-Japanischen Beziehungen in der Radiologie 258

**Röntgenquiz**

A. Just, D. Hammel, P. E. Peters: Ungewöhnliche Herzkonfiguration 263

**Heft 6: Anomalien und Fehlbildungen der zerebralen Gefäßsysteme**

*Redaktion: U. Piepgras, P. E. Peters*

W. Müller-Forell, A. Valavanis: Neuroradiologische Exploration zerebraler arteriovenöser Gefäßmißbildungen 269

G. Huber, U. Piepgras, H. Henkes, C. Faubert: Venenanomalien des Gehirns. Zur klinischen Bedeutung des sogenannten venösen Angioms 274

S. Schefer, A. Valavanis, W. Wichmann: MRT-Morphologie und Klassifikation der zerebralen Kavernome 283

H. Henkes, R. Bittner, G. Huber, J. Sperner, N. Heye, C. Bassir, U. Piepgras: Die Sturge-Weber-Erkrankung. Bildgebende Diagnostik in bezug zur Neuropathologie 289

**Klinik und Praxis**

Ch. Kujat, J. Martin, W. Püschel: Die Erdheim-Chester-Krankheit 297

Ch. Kujat, B. Junk, M. Hermes, J. Martin, W. Dewes: Zerebrale Manifestationen der Erdheim-Chester-Krankheit 307

**Heft 7: Larynx**

*Redaktion: P. E. Peters*

Th. Deitmer: Klinische Aspekte zu bildgebenden Verfahren am Larynx 313

D. Bartelt: Das „Laryngogramm des armen Mannes“ 319

H. Müller-Miny, S. Diederich, G. Bongartz, P. E. Peters: Radiologische Befunde nach supraglottischer und totaler Laryngektomie 324

M. Flentje, M. Wannenmacher: Strahlentherapie des Kehlkopfkarzinoms 332

**Klinik und Praxis**

S. Diederich, K. Wernecke, U. Möller, H. Raidt: Sonographie der Nebenschildrüsen bei Langzeitdialysetherapie 339

S. Spindler, R. Schmitt, Th. Helmberger: Arterielle Kollateralkreisläufe bei Leberzirrhose und Truncus-coeliacus-Verschluß 344

M. Biggemann, C. A. Grosch, D. Hilweg, K. E. Schröder: Aortobronchopulmonale Fisteln nach pulmonal gedeckter Aortenruptur bei thorakalen Aortenaneurysmen und schwerer Aortensklerose 348

R. Dietz, G. Reinheimer: Beitrag zur CT-Diagnostik der Vena-cava-inferior-Anomalien. Die Azygoskontinuation 352

**Röntgenquiz**

A. Just, R. Erlemann, P. E. Peters: Schädeldachatumor links parieto-occipital 355

**Heft 8: Nichtinvasive Herzdiagnostik**

*Redaktion: W. Wenz*

R. Erbel: Die Ultraschalldiagnostik des Herzens 359

R. Rienmüller: Augenblicklicher Stand der MR-Herzdiagnostik 368

P. Stark, M. Agness, B. Holshouser, D. Hinshaw: Kernspintomographie der Fallot-Tetralogie 375

D. Schopp, Th. Krause, J. Hennig: Darstellung der Herzwandbewegung mit der MR-Interferographie 378

Th. Krause, C. Schümichen, A. Joseph, A. Zeiher, E. Moser: Immunszintigraphie mit <sup>111</sup>Indium-markiertem Antimyosin bei Verdacht auf Myokarditis 382

**Klinik und Praxis**

J. Malms, H. Bier: Digitale Luminiszenz und konventionelle Radiographie in der Larynx- und Pharynxdiagnostik 388

**Essay**

W. Dihlmann: Das Plagiat: Abschriftstellerei für Fortgeschrittene 394

**Röntgenquiz**

V. Riebeling, K. v. Wild, Ch. Witting: Akuter Kalottenschmerz 399

**Heft 9: Direktradiographische Vergrößerung**

*Redaktion: P. E. Peters*

G. Reuther, H.-L. Kronholz, K. B. Hüttenbrink: Entwicklung und Perspektiven der medizinischen Vergrößerungsradiographie 403

P. Gebureck, G. Fredow, W. Sperner: Anlagenkonzept eines Mikrofokusröntgensystems für die klinische Anwendung 407

H.-L. Kronholz: Direktradiographische Vergrößerung und Strahlenexposition 413

H. Brüggemeyer: Dosimetrie und technische Qualitätsparameter der medizinischen Direktvergrößerungsradiographieeinrichtung Microfox G-10 418

G. Reuther, H.-L. Kronholz: Direktradiographische Vergrößerung in Kombination mit digitaler Radiographie für die Skelettdiagnostik 424

C. Poulsen Nautrup, D. Berens von Rautenberg: Direktradiographische Vergrößerung in der experimentellen Medizin 430

K. B. Hüttenbrink: Direkte radiographische Vergrößerung in der experimentellen Hals-Nasen-Ohrenheilkunde 435

G. Wahl, K. B. Hüttenbrink: Direktradiographische Vergrößerungen in der experimentellen Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 439

I. Reuter: Direktradiographische Vergrößerung in der zahnärztlichen Radiologie 443

S. Winckler, K.-D. Richter: Direktradiographische Vergrößerung bei Knocheninfektionen 447

T. Bajanowski, K. B. Hüttenbrink, B. Brinkmann: Direktradiographische Vergrößerung in der forensischen Medizin 452

## Heft 10: 3D-Rekonstruktionen

*Redaktion: G. van Kaick*

W. Schlegel: 3D-Rekonstruktionen in der Bestrahlungsplanung 457  
R. Schubert, W.-J. Höltje, U. Tiede, K. H. Höhne: 3D-Darstellungen für die Kiefer- und Gesichtschirurgie 467

G. Aldinger, A. Weipert: 3D-basierte Herstellung von Hüftgelenken: Das Aldinger-System 474

H.-J. Kretschmann, H. Vogt, T. Schütz, M. Gerke, A. Riedel, C. Buhmann, M. Wesemann, D. Müller: Dreidimensionale Rekonstruktionen in der Neuroanatomie 481

H. Henkes, G. Huber, J. Hierholzer, M. Cordes, U. Piegras: Radionuklidzisternographie: SPECT- und 3D-Technik 489

## Klinik und Praxis

W. Dihlmann, S. W. Dihlmann, L. Hering: Alloarthroplastik des Hüftgelenks. Radiologische Diagnostik der Lockerung und Infektion bei zementierten Totalendoprothesen 496

## Essay

W. Wenz, A. Einert: In der Kürze liegt die Würze 506

## In memoriam

U. Piegras, K. Kretschmar: Zum Tode von Professor Dr. Sigurd Wende 509

## Heft 11: Orofaziale Radiographie

*Redaktion: P. E. Peters*

Th. J. Vogl, D. Eberhard, J. Randzio, C. Schmid, J. Lissner: KST-Diagnostik des „internal derangement“ des Temporomandibulargelenkes 537

Th. Vestring, R. Erlemann, W. Wiesmann, G. Bongartz, J. Adolph, U. Claassen, I. Husstedt, P. E. Peters: Die diagnostische Sicherheit der okzipitomentalen Nasennebenhöhlenaufnahme. Korrelation mit der Magnetresonanztomographie 545

S. Diederich, N. Roos, U. Bick, J. Hidding, D. Birke: Bildgebende Diagnostik der Speicheldrüsen bei Kindern und Jugendlichen 550

## Aktuelles aus der Forschung

J. Frahm, H. Bruhn, T. Michaelis, K. D. Merboldt, W. Hänicke, M. L. Gyngell: Lokalisierte Protonen-MR-Spektroskopie. Nichtinvasive Einblicke in den Hirnstoffwechsel 558

## Klinik und Praxis

S. H. Park, Y. W. Bahk: Peripheral upper lobe collapse simulating pleural effusion 567

H. J. Langen, B. Schirp, R. Hofstetter: Verkalktes Koronararterienaneurysma nach Kawasaki-Syndrom 571

C. Oursin, H.-J. Krüger, G. Sigmund, U. Hellerich: MR-Bildgebung bei einem „Solitären Riesentrichoepitheliom“ der Haut 574

## Röntgenquiz

M. Uhl, Th. Roeren, N. Merkle: Unklarer Abdominaltumor 577

Th. Vestring, K. H. Dietl: Blasentumor nach Pankreastransplantation? 581

## Heft 12: Sprunggelenke

*Redaktion: P. E. Peters*

H. Zwipp: Verletzungen des oberen Sprunggelenks aus unfallchirurgischer Sicht 585

R. Gebing, V. Fiedler: Röntgendiagnostik der Bandläsionen des oberen Sprunggelenks 594

R. Erlemann, P. Wuisman, A. Just, P. E. Peters: Mißbildungen und Traumafolgen des kindlichen und jugendlichen Sprunggelenks 601

R. Frahm, B. Wimmer, F. Bonnaire: Computertomographie des oberen Sprunggelenks 609

Th. Vestring, G. Bongartz, R. Erlemann, J. Sciuk, P. Vassallo, W. Wiesmann, C. Adlawan, J. Adolph, P. E. Peters: Magnetresonanztomographie des Sprunggelenks 616

## Essay

A. Einert, W. Wenz: Ethische Fragestellungen in der Radiologie. Eine Patientenbefragung 624

## Röntgenquiz

S. Diederich, M. Nahler, W. Wiesmann: Querschnitt-Syndrom unklarer Ursache 631

**Das Sachregister befindet sich auf den Seiten 633–634 des Bandes**

# Strahlenrisiken

## Ergebnisse der Neubewertung

A. M. Kellerer

Strahlenbiologisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität, München und  
 Institut für Strahlenbiologie der GSF, Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg

### Radiation risks. Results of the new evaluation

**Summary.** The dose revision for the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki and the evaluation of cancer mortality, based on data up to 1985, resulted in new estimates of radiation risks that are substantially larger than the earlier estimates. The new results and reasons for the changes are discussed. The risk estimates are related to the current discussion on dose limits in radiation protection and to the attempts to reduce doses in X-ray diagnostics.

**Key words:** Radiation risks – Cancer mortality – Leukemia – Epidemiological follow-up – Atomic bomb survivors – Dose limits – Radiation protection – Diagnostic X-ray examinations

**Zusammenfassung.** Die Revision der Dosisberechnungen für die Überlebenden der Atombombenangriffe auf Hiroshima und Nagasaki und die Auswertung aller bis heute vorliegenden Daten zur Krebsmortalität führten zu neuen Risikoschätzungen, die deutlich über früher angenommenen Werten liegen. Die neuen Ergebnisse und die Ursachen für die Veränderungen werden erläutert und in Beziehung gesetzt zur Diskussion über Dosisgrenzen im Strahlenschutz und zu Bestrebungen, die Strahlenexpositionen in der Röntgendiagnostik zu reduzieren.

**Schlüsselwörter:** Strahlenrisiko – Krebsmortalität – Leukämien – Epidemiologische Untersuchung – Atombombenüberlebende – Dosisgrenzwerte – Strahlenschutz – Röntgendiagnostik

Für Substanzen, die zu Stoffwechselstörungen, zum Zelluntergang und dadurch zu Gewebsschäden führen, gilt das Motto des Paracelsus, daß nur die Dosis das Gift macht. Geringe Störungen können im Organismus stimulierend und daher auch positiv wirken; erst große Störungen werden nicht mehr kompensiert. Die schwellenartige Wirkung ist so vertraut, daß Risiken fast ausnahmslos als

Gefahren betrachtet werden, die nur oberhalb gewisser kritischer Dosen auftreten.

Auf ionisierende Strahlen jedoch läßt sich die Prämisse des Paracelsus nicht anwenden. Auch ionisierende Strahlen können zwar Zelluntergang und resultierende Gewebsschäden verursachen, die erst oberhalb gewisser Dosen auftreten. Gegenstand des Strahlenschutzes sind jedoch nicht diese *akuten* Effekte, sondern die als *stochastische Wirkungen* bezeichneten Folgen gentoxischer Schäden. Durch Veränderung der DNA in den Keimzellen können Erbschäden in den Nachkommen der bestrahlten Personen hervorgerufen werden. Durch Veränderung der DNA in den somatischen Zellen können Tumorerkrankungen verursacht werden, die Jahre oder Jahrzehnte nach Bestrahlung auftreten. Da die stochastischen Wirkungen das Resultat von Veränderungen an einzelnen DNA-Molekülen sind, die durch einzelne geladene Teilchen hervorgerufen werden, können sie – wenn auch mit entsprechend geringer Wahrscheinlichkeit – selbst durch kleine Strahlendosen ausgelöst werden; es gibt für sie keine Schwellendosis. Allein durch die natürliche Strahlenexposition werden in jeder Sekunde Millionen Zellen des menschlichen Körpers von energiereichen Elektronen durchquert. Da auch das einzelne Elektron genügend Energie auf die Zelle übertragen kann, um unterschiedliche DNA-Schäden zu erzeugen, sind bei kleinen Dosen die Schädigungswahrscheinlichkeiten zwar gering, aber doch der Anzahl der überhaupt getroffenen Zellen und damit der Dosis proportional.

Das Fehlen einer Dosisschwelle ist nicht ein ausschließliches Charakteristikum ionisierender Strahlen; es muß eher als typisch für Noxen mit gentoxischer Wirkung gelten. Auch für chemische Kanzerogene kann meist keine Dosis- oder Konzentrationsschwelle angegeben werden, unterhalb derer eine schädliche Wirkung unmöglich ist und oberhalb derer Gefährdungen beginnen. Schutzziel bei solchen Stoffen, ebenso wie bei ionisierenden Strahlen, kann es deshalb nur sein, die auch bei kleinen Dosen möglichen Risiken auf ein Ausmaß zu beschränken, das gegenüber den ohnehin bestehenden Risiken vernachlässigbar ist. Wenn jedoch ein Risiko vernachlässt

sigbar ist, so ist es meist auch unbeobachtbar. Epidemiologische Daten beziehen sich daher nicht auf die geringen Dosen, die im Strahlenschutz relevant sind, sondern auf höhere Dosen. Risikokoeffizienten erhält man nur durch Extrapolation der bei höheren Dosen beobachteten Daten; sie bleiben daher so hypothetisch wie die Extrapolation.

Streng wissenschaftlich läßt sich die Extrapolation zu kleinen Strahlendosen nicht begründen, aber sie ist dennoch notwendig als Versuch, die Größenordnung der möglichen Risiken zu beurteilen. Angesichts der besonderen Befürchtungen, die sich auf die Risiken auch kleiner Strahlendosen richten, kann auf diesen Versuch nicht verzichtet werden. Die Analyse epidemiologischer Daten zur Wirkung ionisierender Strahlen ist daher – wenn auch mit den erwähnten Einschränkungen – von besonderem Interesse; sie soll hier am Beispiel der neuen Beobachtungen an den Atombombenüberlebenden erläutert werden.

### Die Erkenntnisse aus Hiroshima und Nagasaki

Als Röntgen vor fast 100 Jahren die neue Art von Strahlen entdeckte, löste er weltweite Faszination aus und optimistische Erwartungen, die jahrzehntelang kaum vermindert wurden, obwohl sehr bald schwere Schäden durch den unbedachten Umgang mit Röntgenstrahlen und später auch mit Radioaktivität verursacht wurden. Hautschäden und Hautkarzinome sowie das erste vermehrte Auftreten von Leukämien unter Radiologen wurden nur als Folge langdauernder und im Grund leicht zu vermeidender Überexposition angesehen. Auch die erste große Tragödie des ungeschützten Umgangs mit Radionukliden führte nicht zum Umdenken; hunderte von jungen Frauen bemalten in den USA Ziffernblätter mit Leuchtstoffen, die das langlebige Radium-226 enthielten, und da sie die Pinsel mit dem Mund spitzten, inkorporierten sie hohe Aktivitäten, an denen viele von ihnen Jahre und Jahrzehnte später vor allem durch Knochenkrebs zugrunde gingen (s.z.B. [5, 19]). Man glaubte auch nach dieser schlimmen Erfahrung noch, daß die Schäden allein durch die allzu hohe Dosis hervorgerufen seien. Selbst diejenigen, die die Atombomben gegen Hiroshima und Nagasaki einsetzten, erwarteten neben der fürchterlichen Wirkung der Hitze und des Druckes allenfalls einen gewissen Beitrag akuter Strahlenschäden, aber keine Spätwirkungen.

In den ersten Jahren nach Ende des Krieges waren wissenschaftliche Untersuchungen der Strahlenschäden untersagt. Als dann zu Anfang der 50er Jahre die gehäuft auftretenden Leukämien in Hiroshima und Nagasaki deutlich wurden, begann sich die Erkenntnis durchzusetzen, daß Leukämien, als Resultat einzelner Mutationen in den Stammzellen des Knochenmarks, selbst bei kleinen Dosen, wenn auch mit entsprechend geringer Wahrscheinlichkeit, ausgelöst werden können [8]. Dies war der Beginn der neuen Anschauung, daß man es beim Umgang mit ionisierenden Strahlen nicht mit einem Bereich ungefährlicher und einem Bereich gefährlicher Dosen zu tun habe, sondern daß gewisse Risiken selbst bei kleinen Dosen bestehen und daß das Ziel des Strahlenschutzes nicht

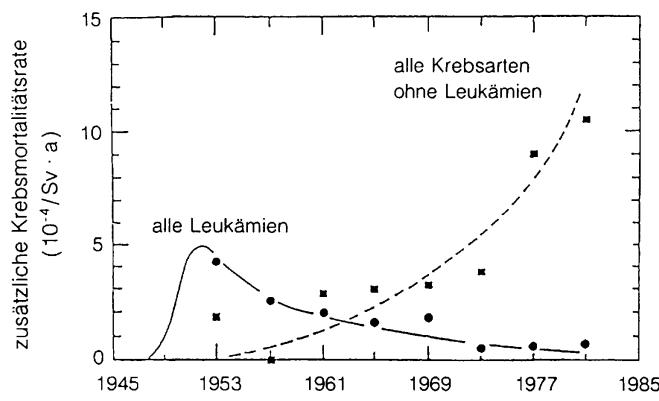
die Elimination aller Schäden, sondern nur eine vernünftige Begrenzung der Risiken sein kann.

Die vermehrt auftretenden Leukämien legten den Gedanken nahe, daß auch solide Tumore durch die Strahlung der Atombomben hervorgerufen würden. Es dauerte jedoch Jahrzehnte, bis sich dieser Verdacht bestätigen und quantifizieren ließ. Der Grund für diese Verzögerung war die ganz unterschiedliche zeitliche Verteilung einerseits der Leukämien und andererseits der soliden Tumoren.

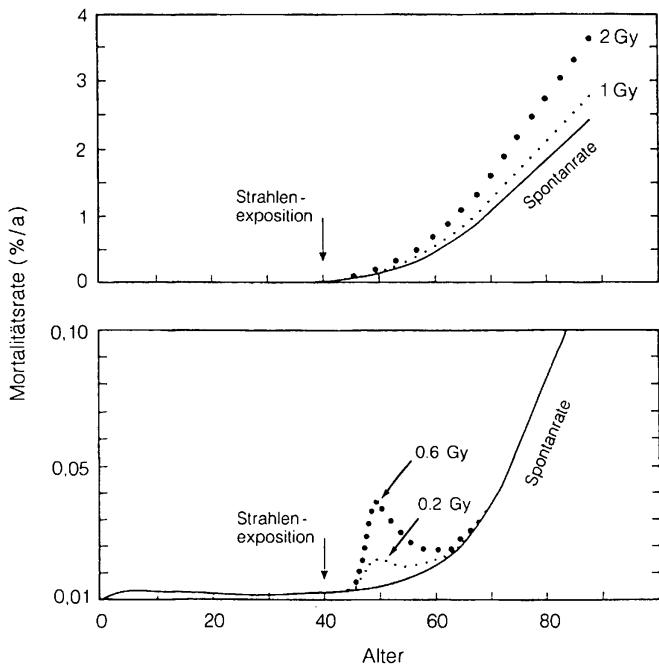
### Das Modell des absoluten und des relativen Risikos für die zeitliche Verteilung der Leukämien und der soliden Tumoren

Die epidemiologische Studie über das Schicksal der Atombombenüberlebenden wurde an etwa 75 000 Personen, dem *life-span study sample* (LSS), durchgeführt. Zunächst benützte man nur sehr ungefähre Dosisschätzungen; seit 1965 stützte man sich auf ein vorläufiges Dosimetriesystem, das im Oak Ridge National Laboratory entwickelt wurde und als TD 65 (Tentative Dosimetry 1965) bezeichnet wird [2]. Nach diesem Dosimetriesystem spielten in Hiroshima neben den  $\gamma$ -Strahlen auch die schnellen Neutronen eine bedeutsame Rolle, während in Nagasaki der Beitrag der Neutronen zu vernachlässigen war. Der Unterschied der Strahlenqualität ergab sich aus der Tatsache, daß die Plutoniumbombe in Nagasaki von Tonnen konventionellen Sprengstoffes umgeben war, der als Material niederer Ordnungszahl die Spaltneutronen abschirmte. Die Uranbombe in Hiroshima dagegen war lediglich von einer massiven, die Neutronen nur wenig abschirmenden Metallhülse umgeben.

In den ersten Auswertungen des LSS wurde die Anzahl der Krebstodesfälle pro Jahr bestimmt und durch die Gesamtzahl der Personen dividiert. Von dieser beobachteten gesamten Krebsmortalitätsrate wurde die *spontane Rate*, d.h. der entsprechende Quotient für nicht exponierte Personen abgezogen. Die so bestimmte *zusätzliche Krebsmortalitätsrate* ist auf die Dosis bezogen, d.h. durch die mittlere Äquivalentdosis dividiert, in Abb. 1 dargestellt. Man kann die an der Ordinate angegebenen Zahlen verstehen als zusätzliche Krebstodesfälle, die in dem betreffenden Jahr in einer Gruppe von 10 000 mit 1 Sievert exponierten Personen auftreten. Allerdings differenziert die Analyse in dieser einfachen Form weder nach Alter, noch nach Geschlecht, noch nach Dosis und sie ist daher in dieser Form nicht zur Abschätzung von Risikokoeffizienten geeignet. Sie zeigt jedoch die ganz unterschiedlichen zeitlichen Verteilungen der strahleninduzierten Leukämiefälle und der erst viel später auftretenden soliden Tumoren. Die wesentliche Beobachtung ist, daß die zusätzlichen Leukämien bereits wenige Jahre nach Strahlenexposition auftraten, z.T. wohl schon bevor die epidemiologische Studie begann. Die statistische Analyse zeigte, daß zu Beginn der 50er Jahre die Rate der strahleninduzierten Leukämien in dem LSS die spontane Rate übertraf. Später näherten sich die Leukämieraten wieder der spontanen Inzidenz. Ganz gegensätzlich war die Abhängigkeit für die soliden Tumoren. 5–10 Jahre nach der Exposition deuteten sich erste, noch unsichere



**Abb. 1.** Durch die Strahlenexposition hervorgerufene Erhöhung der Krebsmortalitätsrate im Kollektiv der Atombombenüberlebenden. Jeder Punkt entspricht den Daten aus 4 Beobachtungsjahren. Die interpolierenden Kurven dienen lediglich der leichteren Lesbarkeit. Die Daten sind beeinflußt durch eine sich zeitlich verändernde Altersverteilung der Atombombenüberlebenden und sind nicht unmittelbar mit Risikoschätzungen zu verknüpfen. (Nach [17])



**Abb. 2.** Diagramm der Krebsmortalität nach dem Modell des relativen (oben) und des absoluten Risikos (unten). Die durchgezogenen Kurven entsprechen der spontanen altersspezifischen Krebsmortalität der männlichen Bevölkerung der USA. Die Erhöhungen durch die angegebenen Strahlendosen entsprechen ungefähr den neuen Risikoabschätzungen, allerdings ohne die Annahme eines Reduktionsfaktors bei der Extrapolation zu kleinen Dosen. Der Pfeil markiert das Alter bei Strahlenexposition

dosisabhängige Erhöhungen an, erst sehr viel später wurden sie signifikant. Nach den neuesten Erkenntnissen findet man parallel zu den mit zunehmendem Alter der Atombombenüberlebenden erhöhten Spontaninzidenzen auch zunehmende Erhöhungen der mit der Dosis korrelierten zusätzlichen Krebstodesfälle. Insgesamt, und im Gegensatz zur Leukämie, machen die der Strahlung zuge-

schriebenen Fälle jedoch weniger als 5% aller Krebstodesfälle in dem LSS aus.

Weit genauere Ergebnisse erhält man durch eine detaillierte Analyse, die nicht nur die Dosis und die Zeit nach Bestrahlung berücksichtigt, sondern auch das Alter bei Bestrahlung und das Geschlecht. Dadurch lassen sich die wesentlichen Ergebnisse der epidemiologischen Studie in verhältnismäßig einfachen Modellen darstellen; Abb. 2 erläutert schematisch den Unterschied zwischen dem *Modell des relativen Risikos* (relative risk model), das für die meisten soliden Tumoren zu gelten scheint, und dem *Modell des absoluten Risikos* (absolute risk model), das sich auf Leukämien bezieht. Im Modell des relativen Risikos (oberer Teil des Diagrammes) wird angenommen, daß eine einmalige Bestrahlung, nach einer gewissen Latenzperiode von etwa 5–10 Jahren, die spontanen und mit dem Alter ansteigenden Tumorraten um einen gewissen Faktor erhöht, der von der Dosis abhängig ist. Die Beobachtungen an den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki sind, von der Leukämie abgesehen, für alle Tumorerkrankungen mit einem Modell des relativen Risikos vereinbar; ein solches Modell wird daher den statistischen Untersuchungen zugrunde gelegt. Es bleibt jedoch ungeklärt, ob die strahleninduzierten Erhöhungen der Mortalitätsraten auch in Zukunft für die in jungem Alter Bestrahlten noch persistieren und entsprechend den altersbedingten Erhöhungen der spontanen Mortalitätsraten zunehmen. Im unteren Teil des Diagrammes ist der Verlauf angedeutet, der dem Modell des absoluten Risikos entspricht, wie es für Leukämien erschlossen wurde. Auch für Leukämien steigt die spontane Häufigkeit erst im Alter. Nach Strahlenexposition jedoch tritt bereits innerhalb weniger Jahre eine ausgeprägte, jedoch zeitlich begrenzte Welle zusätzlicher Erkrankungen auf.

Der Faktor, um den sich die spontanen Mortalitätsraten erhöhen, ist, wie oben erläutert wurde, eine Funktion der Dosis. Er hängt jedoch auch vom Alter bei Bestrahlung ab, und generell ergibt sich ein deutlicher Trend zu erhöhter Empfindlichkeit bei Bestrahlung in jungem Alter. Die als Kinder bestrahlten Atombombenüberlebenden haben auch heute noch nicht das Alter hoher spontaner Krebsraten erreicht. Deshalb sind die statistischen Aussagen noch ungewiß.

## Schätzung der Risikokoeffizienten

Betrachtete man nur diejenigen Überlebenden aus Hiroshima und Nagasaki mit einer Dosis von weniger als 0,5 Sv – und die meisten Personen in dem LSS haben Dosen, die weit kleiner als 0,5 Sv sind – so erhielt man keine oder nur gering signifikante Hinweise auf strahleninduzierte Erhöhungen der Tumorraten. Die Erkenntnisse aus der epidemiologischen Studie stützen sich also vorwiegend auf die wenigen tausend Personen, die höheren Dosen ausgesetzt waren. Gesicherte Aussagen über die Wirkung kleiner Dosen sind daher nicht möglich. Da jedoch die Prinzipien des Strahlenschutzes schon früh auf die vorsichtige Annahme gegründet wurden, daß es für stochastische Schäden keine Dosiswelle gebe, lag es nahe, quantitative Werte für die Risikokoeffizienten bei

niedrigen Dosen abzuleiten. ICRP und andere internationale Gremien haben das schon in den 70er Jahren getan [1, 9, 18].

Die damalige Analyse bediente sich des erwähnten Dosimetriesystems TD 65 und ergab für Nagasaki nichtlineare, fast schwellenartige Dosisabhängigkeiten, während die entsprechenden Abhängigkeiten für Hiroshima eher linear waren. Man verstand das als Ausdruck der Tatsache, daß man es in Nagasaki fast nur mit  $\gamma$ -Strahlung zu tun hatte, die bei kleinen Dosen weit weniger wirksam ist als bei hohen Dosen, daß dagegen in Hiroshima der Einfluß der dicht ionisierenden Neutronenstrahlung vorherrschte, die bereits bei kleinen Dosen sehr wirksam ist [12]. Dieser charakteristische, aus strahlenbiologischen Untersuchungen vertraute Unterschied war die Rechtfertigung dafür, bei der Ableitung der Risikoeffizienten für kleine Dosen von  $\gamma$ -Strahlung einen beträchtlichen Reduktionsfaktor anzunehmen.

Kurz nach Veröffentlichung der Risikoschätzungen durch ICRP wurden die ersten Zweifel an der Gültigkeit des alten Dosimetriesystems laut. Neue Erkenntnisse aus strahlenbiologischen Experimenten deuten auf sehr hohe Werte der relativen biologischen Wirksamkeit von Neutronen bei kleinen Dosen [7, 14]. Die dadurch ausgelöste Diskussion um höhere Qualitätsfaktoren für dicht ionisierende Strahlung [13] führte zu einer kritischen Überprüfung des Einflusses der Neutronen in Hiroshima. Neue Transportrechnungen zeigten, daß im Dosimetriesystem TD 65 ein zu hartes Neutronenspektrum angenommen worden war, daß der Einfluß der Luftfeuchtigkeit ungenügend berücksichtigt war, und daß insgesamt die Neutronendosen in Hiroshima überschätzt wurden. Die Revision der Atombombendosimetrie wurde in amerikanisch-japanischer Kooperation durchgeführt. Sie erforderte nahezu ein Jahrzehnt. Im Jahre 1986 wurde sie abgeschlossen [20].

## Ergebnisse nach der Dosisrevision

Das neue Dosimetriesystem (DS 86) bestätigt die Annahme, daß die Neutronendosen in Hiroshima überschätzt worden waren. Die Berechnungen ergeben nunmehr selbst für Hiroshima sehr geringe Beiträge der Neutronendosis.

Da der überwiegende Teil der Strahleneffekte, der bisher den Neutronen zugeschrieben worden war, jetzt der Wirkung der  $\gamma$ -Strahlung zuzurechnen ist, war von vorneherein zu erwarten, daß die Risikoschätzungen für  $\gamma$ -Strahlung sich deutlich erhöhen müßten. Ganz zutreffend war diese Überlegung jedoch nicht, da sich bei der Neuberechnung zwar verringerte Neutronendosen, aber andererseits erhöhte Dosen von  $\gamma$ -Strahlung ergaben. Nach der revidierten Dosimetrie ist also ein größerer Teil der Effekte der  $\gamma$ -Strahlung zuzuordnen, dafür sind aber auch die errechneten Dosen höher.

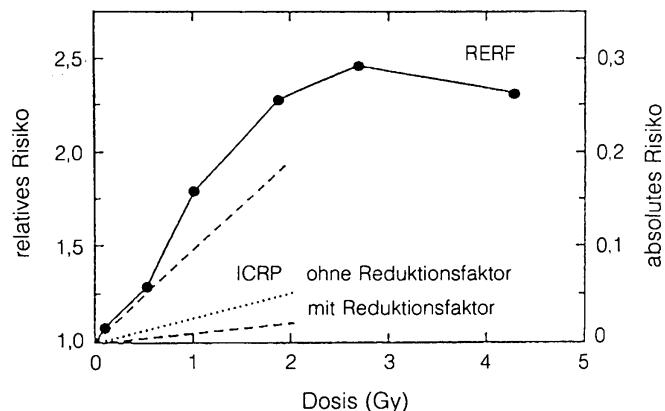
Selbst bei der Dosimetrie der  $\gamma$ -Strahlen kam es zu komplizierten gegenläufigen Veränderungen. Insbesondere ergaben genauere Rechnungen eine stärker abschirmende Wirkung der Häuser als früher angenommen, andererseits fand man eine deutlich höhere *Transparenz* des

Körpers, d. h. weniger Abschirmung der tiefer liegenden Organe durch den eigenen Körper.

Die Dosisrevision war Anlaß für eine de-novo-Analyse aller bisher gewonnenen Daten über die Krebsmortalität in Hiroshima und Nagasaki. Die Analyse wurde mit verbesserten statistischen Methoden durchgeführt, und ihre Resultate sind in einer Reihe wichtiger Berichte der Radiation Effects Research Foundation in Hiroshima (RERF) dokumentiert [11, 15, 16]. Ohne auf komplizierte Details der Dosimetrie und der statistischen Rechenverfahren einzugehen, seien hier die wesentlichen Resultate angegeben.

Für die gesamte Krebsmortalität ohne die Leukämien wurde das Modell des relativen Risikos benutzt (s. Abb. 2). Die Berechnungen basierten also auf dem Postulat, daß die Tumorinzidenzen und damit auch die Mortalitätsraten nach Bestrahlung zunächst für eine gewisse Latenzzeit von etwa 5 Jahren unverändert bleiben, dann aber in einem konstanten Verhältnis zu den altersspezifischen Raten ansteigen. Der Faktor der proportionalen Erhöhung hängt ab von der Dosis, vom Geschlecht und vom Alter bei Bestrahlung. Daß die Faktoren der proportionalen Erhöhung bis ins hohe Alter persistieren, ist eine Annahme, die für die bisherige, mehr als 40jährige Beobachtung in gutem Einklang mit den Daten steht, für die in jungem Alter Bestrahlten jedoch noch hypothetisch bleibt.

Das wesentliche Resultat ist durch die obere Kurve in Abb. 3 dargestellt. Diese Kurve zeigt die Faktoren des relativen Risikos, d. h. der proportionalen Erhöhung der Krebssterblichkeit, für 6 Dosisgruppen. Da diese Daten alle Altersstufen und beide Geschlechter repräsentieren, sind in Tabelle 1 zusätzlich Skalierungsfaktoren angegeben. Es fällt auf, daß die Faktoren für Frauen diejenigen für Männer um mehr als den Faktor 2 übertreffen. Dies bedeutet jedoch nicht, daß Frauen in gleichen Zeiträumen nach Bestrahlung mehr zusätzliche Krebserkrankungen



**Abb. 3.** Dosisabhängigkeit des relativen und des absoluten Risikos der Krebssterblichkeit (ohne Leukämien) nach den neuen Analysen von RERF. Zum Vergleich sind die früheren Risikoabschätzungen von ICRP mit und ohne Reduktionsfaktor angegeben. Die ICRP-Schätzungen basieren auf den Daten bis zum Jahr 1975. Die Ergebnisse von RERF beziehen sich auf das gesamte Kollektiv der Atombombenüberlebenden bis zum Jahr 1985. Skalierungsfaktoren für verschiedene Altersgruppen sind für Männer und Frauen in Tabelle 1 angegeben

**Tabelle 1.** Skalierungsfaktoren

Alter bei Bestrahlung	< 20	20–35	> 35
Frauen	2,16	1,29	0,71
Männer	0,97	0,58	0,32

als Männer erleiden. Bei Frauen ist die altersspezifische Inzidenz spontaner Krebserkrankungen, zumindestens im fortgeschrittenen Alter, etwa nur halb so hoch wie bei Männern. Insgesamt führt eine Bestrahlung bei den beiden Geschlechtern daher ungefähr zu gleichen absoluten Erhöhungen der Krebsraten. Andererseits ergeben sich nach Summation über die gesamte Lebenszeit für Frauen dennoch mehr induzierte Krebstodesfälle, da Frauen wegen ihrer deutlich höheren Lebenserwartung dem Risiko an Krebs zu erkranken länger ausgesetzt sind.

Bei Dosen von mehr als 4 Gy, bei denen nur Wenige überlebten, haben die errechneten Werte für das relative Risiko keine Bedeutung für die Abschätzung von Strahlenrisiken. Bei den hohen geschätzten Dosen muß eine starke Verfälschung dadurch auftreten, daß mit hoher Wahrscheinlichkeit diejenigen überlebten, deren tatsächliche Dosen geringer als geschätzt waren. Eine gewisse Unsicherheit dieser Art besteht selbst noch im Bereich von 2–3 Gy. Bedeutsam ist daher der Anfangsteil der errechneten Kurve. Dieser Anfangsteil entspricht einer Erhöhung der Krebsmortalität um etwa die Hälfte nach einer Dosis von 1 Gy  $\gamma$ -Strahlung: man spricht von einem *relativen Risiko*, das 1,5 beträgt, oder von einem relativen Zusatzrisiko von 0,5. Neueste Resultate von RERF deuten aufgrund genauer berechneter Organdosen auf ein etwas geringeres zusätzliches Risiko. Die Unterschiede aber sind klein im Vergleich zu den statistischen Fehlern, die im Bereich von etwa  $\pm 30\%$  liegen dürften [10].

Von Interesse ist die Übersetzung des relativen Risikos in absolutes Risiko. Das absolute Risiko kann dargestellt werden durch die zusätzliche Wahrscheinlichkeit in einem bestimmten Jahr nach Bestrahlung an Krebs zu sterben, d. h. durch die absolute Erhöhung der Krebsmortalitätsrate. Um das Risiko jedoch nur durch einen einzigen Parameter auszudrücken, summiert man über die noch verbleibende Lebenserwartung und erhält dann die zusätzliche Wahrscheinlichkeit, als Folge der Bestrahlung an Krebs zu sterben. Wenn im Durchschnitt der Bevölkerung Krebs für 20% aller Todesfälle verantwortlich ist – und dieser Wert gibt etwa die heutigen Gegebenheiten in Japan, in Europa und in den USA wieder – so entspricht die Verdoppelungsdosis von 2 Gy einem absoluten Risiko für Krebsmortalität von 0,1 pro Gy. Man spricht dann von einem Risikoeffizienten von 0,1/Gy; wenn ohne Strahlenexposition 2 von 10 Menschen an Krebs sterben, so wären es nach einer Exposition mit 1 Gy 3 von 10 Menschen.

Benutzt man diesen Risikowert konservativ, d. h. ohne Reduktionsfaktor bei der Extrapolation zu kleineren Dosen, und wendet man ihn auf die 30000 relativ spät aus der Umgebung von Tschernobyl evakuierten Personen an, deren Ganzkörperdosis auf etwa 0,3 Gy geschätzt wurde [4], so erhält man rechnerisch eine Erhöhung der in dieser Population normalerweise zu erwartenden etwa 6000 Krebstodesfälle um 15%. Jedoch kann diese Erhö-

hung durchaus eine Überschätzung sein, und internationale wissenschaftliche Gremien nehmen in der Tat einen Reduktionsfaktor an [3, 22], der die geschätzte Zahl der zusätzlichen Fälle auf mindestens die Hälfte verringern würde. Da jede Extrapolation tentativ ist, kann man lediglich sagen, daß in diesem wichtigen Kollektiv der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl relativ hoch exponentierten Personen sich die spontane Krebshäufigkeit um etwa 5–15% erhöhen könnte. Die große Bedeutung der epidemiologischen Studie, die in der Sowjetunion durchgeführt werden müßte, ist offensichtlich. Selbst in einer sehr sorgfältig angelegten Studie ist es jedoch außerordentlich schwierig, Erhöhungen der Krebshäufigkeiten von 5 oder 15% nachzuweisen, und ob es zu einer sorgfältigen Studie in der Sowjetunion kommen wird, ist noch ganz unsicher.

Eine lebhafte Diskussion entzündete sich an den neuen Risikoschätzungen schon bald nach den ersten Berichten von RERF, die eine beträchtliche Erhöhung gegenüber den früheren Schätzungen deutlich machten. Die untere Gerade in Abb. 3 gibt die früher postulierte Abhängigkeit wieder, der ein geschätztes absolutes Risiko von 0,01/Gy entspricht. Man erkennt den überraschend großen Unterschied zu den neuen Resultaten um den Faktor 10.

Der Unterschied reduziert sich jedoch und entspricht nurmehr dem Faktor 4, wenn man zum Vergleich die früheren Schätzungen heranzieht, bevor sie verringert wurden durch den angenommenen Reduktionsfaktor von 2,5, der der Extrapolation zu kleinen Dosen Rechnung tragen sollte. Der Reduktionsfaktor ließ sich früher durch die damals vorliegenden epidemiologischen Resultate selbst, nämlich durch den scheinbaren Unterschied der Dosisbeziehungen in Nagasaki und Hiroshima, rechtfertigen. In der neuen Analyse ergeben sich weder signifikante Unterschiede der Dosisabhängigkeiten in den beiden Städten, noch signifikante Abweichungen von der Linearität im Bereich kleiner und mittlerer Dosen. Ein Reduktionsfaktor für die Extrapolation zu kleinen Dosen läßt sich also weniger leicht und nur durch Hinweise auf tierexperimentelle Studien begründen.

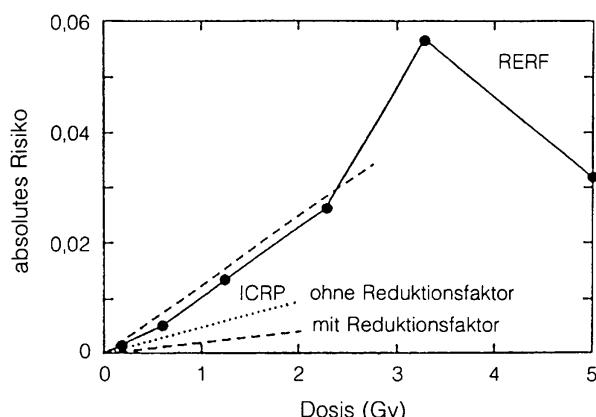
Wodurch erklärt sich der verbleibende Faktor 4 zwischen den neuen und alten Schätzungen? Er ist überraschenderweise keine Folge der Dosisrevision, sondern ergab sich aus der Weiterführung der epidemiologischen Beobachtung der Krebsmortalität. Ein Faktor von nahezu 2 entspricht den zusätzlich der Bestrahlung zuzurechnenden Krebstodesfällen, die seit 1975, dem Enddatum für die bisherigen Risikoabschätzungen, bis zum Jahre 1985 aufgetreten sind. Der beträchtliche Zuwachs beruht darauf, daß ein großer Teil der Überlebenden nunmehr in das Alter gekommen ist, in dem die spontanen Krebsraten steil ansteigen und in dem sich, gemäß dem Modell des relativen Risikos, der Großteil auch der strahleninduzierten Krebsfälle manifestiert.

Der noch verbleibende Faktor von 2 ist hypothetisch. Er kommt dadurch zustande, daß die neuen Risikoschätzungen eine Extrapolation in die verbleibende Lebenszeit aller noch überlebenden Mitglieder des LSS enthalten. Die Extrapolation basiert auf dem Postulat persistierender Risikoerhöhungen, das jedoch für die im jungen Alter Bestrahlten sehr ungewiß ist. Die langsam steigenden und

bisher statistisch noch ungewissen Krebsraten der als Kinder Bestrahlten deuten auf hohe Faktoren der relativen Erhöhung hin. Sollten diese Erhöhungen bis ins hohe Alter persistieren, und das ist durchaus fraglich, so würden sie einen noch ausstehenden Beitrag zur Krebsmortalität darstellen, der die bisher beobachteten Krebstodesfälle verdoppelt. Das Schicksal der im jugendlichen und kindlichen Alter bestrahlten Personen wird also das große Thema der sich noch ins nächste Jahrhundert erstreckenden Studie sein.

Auch für die Leukämien wurden neue Resultate erhalten. Die Situation ist hier einfacher, da seit 1975 nur wenige zusätzliche, der Bestrahlung zuzurechnende Fälle aufgetreten sind. Dennoch ergeben sich auch bezüglich der Leukämien deutliche Erhöhungen der Risikoschätzungen (Abb. 4, Tabelle 2). Vergleicht man die neuen Resultate mit den früheren Daten ohne Reduktionsfaktor, so erhält man einen Unterschied um etwa den Faktor 2. Dieser Faktor ist durch die Dosisrevision begründet. Wegen der verhältnismäßig oberflächennahen Verteilung des Knochenmarks im Körper, spielt für dieses Organ die höhere *Transparenz* des Körpers nach dem neuen Dosimetriesystem keine besondere Rolle. Es fehlt damit die gepläufige Veränderung zu der im DS86 errechneten erhöhten Abschirmung durch Häuser. Die geschätzten Knochenmarkdosen sind daher geringer, als sie es nach dem früheren Dosimetriesystem waren; entsprechend höher sind die Risikoschätzungen. Insgesamt hat sich der relative Beitrag der Leukämierate im Vergleich zur gesamten Krebsmortalität nach den neuen Risikoschätzungen verringert. Die Leukämien tragen zwar nach den in Zukunft extrapolierten Schätzungen nur etwa 10% zur strahleninduzierten Krebsmortalität bei, sind jedoch stärker zu bewerten, da sie schneller nach Bestrahlung auftreten und daher einen größeren Verlust an Lebenserwartung bedingen.

Betrachtet man wiederum das nach dem Unfall von Tschernobyl möglicherweise mit etwa 0,3 Gy exponierte



**Abb. 4.** Dosisabhängigkeit des absoluten Risikos der Leukämiersterblichkeit nach den neuen Analysen von RERF. Zum Vergleich sind die früheren Risikoabschätzungen von ICRP mit und ohne Reduktionsfaktor angegeben. Die ICRP-Schätzungen basieren auf den Daten bis zum Jahr 1975. Die Ergebnisse von RERF beziehen sich auf das gesamte Kollektiv der Atombombenüberlebenden bis zum Jahr 1985. Skalierungsfaktoren für verschiedene Altersgruppen sind für Männer und Frauen in Tabelle 2 angegeben

**Tabelle 2.** Skalierungsfaktoren

Alter bei Bestrahlung	< 20	20–35	> 35
Frauen	0.57	0.63	0.88
Männer	1.01	1.46	1.45

Kollektiv von 30000 Personen, so errechnet man mit einem Risikoeffizienten von 0,01/Gy, d. h. ohne Annahme eines Reduktionsfaktors, eine Zahl von etwa 90 zusätzlichen Leukämieerkrankungen. Bei Annahme eines Reduktionsfaktors, der sich im Falle der Leukämien auch in den Daten andeutet, könnte die Zahl deutlich niedriger sein. Trotz der, mit den soliden Tumoren verglichen, geringeren Absolutzahlen sind Leukämien der kritische Effekt, der am ehesten statistisch nachweisbar sein sollte, da die zusätzlichen Erkrankungen in einer deutlichen Welle schon wenige Jahre nach Exposition auftreten (s. Abb. 2). Insbesondere genügen wegen der geringen spontanen Leukämieraten im kindlichen und jugendlichen Alter schon einige wenige Fälle kindlicher Leukämieerkrankungen für verbesserte Aussagen über die Risikoeffizienten.

## Schlußfolgerungen

Die neue Analyse der Krebsmortalität der Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki führt aus mehreren Gründen zu erhöhten Risikoschätzungen für die Strahlenkanzerogenese. Die Revision der Dosimetrie ist bedeutsam, da sich nun ähnliche, nahezu lineare Abhängigkeiten für Hiroshima und Nagasaki ergeben. Ein Reduktionsfaktor für die Extrapolation aus dem Bereich hoher Dosen zu kleinen Dosen ist daher lediglich durch allgemeine strahlenbiologische Argumente, jedoch nicht mehr durch die epidemiologischen Daten selbst begründbar.

Die maßgeblichen internationalen Gremien [3, 6] schätzen das Risiko für strahleninduzierte Krebsmortalität, gemittelt über alle Altersgruppen und mit einem angenommenen Reduktionsfaktor von 2 für kleine Dosen, auf 0,05/Sv. Setzt man die mittlere Lebenszeitdosis durch natürliche Strahlenexposition – unter Vernachlässigung des relativ hohen und stark schwankenden Beitrags von Radon – auf 100 mSv an, so schließt man auf ein Risiko von 0,005, d. h. unter 200 Menschen würde im Durchschnitt einer wegen der natürlichen Strahlenexposition an Krebs sterben; dies wären etwa 2% aller Krebstodesfälle. Durch den Beitrag des Radon könnte sich der Anteil etwa verdoppeln. Schätzt man die Risiken konservativ ohne Annahme eines Reduktionsfaktors für kleine Dosen, so verdoppeln sich die Zahlen wiederum. Insgesamt ist ionisierende Strahlung also ein bedeutsamer Faktor, aber doch kein so wichtiger Faktor wie das Zigarettenrauchen. Für Leukämien ist der relative Beitrag ionisierender Strahlung zur gesamten Inzidenz allerdings deutlich höher als für die übrigen Krebserkrankungen.

Von besonderer Bedeutung sind die großen relativen Erhöhungen der Tumorraten für bestrahlte Kinder oder Jugendliche. Sollten diese Erhöhungen über das ganze Leben fort dauern – und dies kann nur die weitere Beob-

achtung der Atombombenüberlebenden zeigen – so ergänzen sich hohe absolute Risikofaktoren für die Strahlenexposition im jugendlichen Alter. Die Neubewertung der Risiken für berufliche Strahlenexposition in höherem Alter bleibt von dieser offenen Frage allerdings weitgehend unberührt.

Die angeführten Zahlenwerte sind mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet, da sie trotz des Umfangs der Studie auf relativ wenigen zusätzlichen Todesfällen beruhen. Unter den mehr als 7000 bisher aufgetretenen Krebstodesfällen rechnet die statistische Analyse der japanischen Daten etwa 70 Leukämiefälle und etwa 300 Todesfälle durch andere Krebserkrankungen der Strahlenexposition zu. Es ist also ein Mißverständnis, wenn häufig ein Großteil der Krebserkrankungen der Atombombenüberlebenden der Strahlenexposition zugeschrieben wird; diese Annahme gilt nur für diejenigen, die besonders hohen Dosen ausgesetzt waren.

Die Ergebnisse aus der japanischen Studie bestätigen sich im großen und ganzen in anderen, für sich allein genommen weniger aussagekräftigen, epidemiologischen Untersuchungen. Die meisten dieser Untersuchungen wurden an aus medizinischen Gründen bestrahlten Personen durchgeführt. Die neue Studie der US National Academy of Science [3] enthält eine ausführliche Darstellung der unterschiedlichen Daten.

Weit mehr als die Schätzungen für Krebsmortalität sind die Risikoeffizienten für strahleninduzierte Erbschäden mit Unsicherheiten behaftet. Es ist wenig bekannt, daß solche Schäden am Menschen nie nachgewiesen wurden. Auch an den Kindern und Kindeskindern der Atombombenüberlebenden wurde in den bisherigen, aufwendigen Studien keine signifikante Erhöhung von Erbschäden beobachtet [21]. Dies bedeutet jedoch keineswegs, daß Strahlung keine Erbschäden hervorruft oder weniger als bisher angenommen. Aus Tierstudien erschließt man, daß auch für den Menschen die Verdopplungsdosis für Erbschäden im Bereich von 1 oder 2 Gy liegen dürfte. Da Erbschäden mit Sicherheit auf einzelne Veränderungen der DNA in einzelnen Zellen zurückgehen, bestehen weit weniger als für Tumorerkrankungen Zweifel an der Linearität der Dosiswirkungsbeziehung im Bereich kleiner Dosen.

Die Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP) hat in früheren Empfehlungen darauf hingewiesen, daß die als beruflich strahlenexponiert eingestuften Beschäftigten in der Nuklearindustrie, ebenso wie das Personal in radiologischen Einrichtungen, Risiken derselben Größenordnung wie Beschäftigte in anderen *sicheren Berufszweigen* ausgesetzt sind. Diese Feststellung ergab sich aus dem Vergleich des für die beruflich Strahlenexponierten errechneten Risikos für Spätschäden mit der tatsächlich beobachteten Mortalität durch Unfälle in anderen Berufszweigen. Da die Unfallziffern sich in den letzten Jahren für die meisten Berufszweige deutlich verringert haben, und sich gleichzeitig die Risikoschätzungen für Strahlenexposition erhöhten, hat der Vergleich – der ohnehin ein gewisses Maß an Willkür enthält – seine Gültigkeit verloren. Ob dies eine Verringerung der Dosisgrenzwerte für beruflich Strahlenexponierte erzwingt, ist keine wissenschaftliche, sondern eine gesellschaftspoliti-

sche Frage. Unabhängig von einer endgültigen Entscheidung, die gemeinsam für die Staaten der Europäischen Gemeinschaft zu treffen ist, wurde jedoch deutlich, daß es noch weniger als in der Vergangenheit verantwortbar ist, beruflich strahlenexponierte Personen regelmäßig bis zum jährlichen Dosisgrenzwert von 50 mSv zu exponieren.

Um solche weit über dem Durchschnitt liegende Expositionen selbst für kleinere berufliche Gruppen zu vermeiden, verlangt die kürzlich novellierte deutsche Strahlenschutzverordnung – über die Einhaltung des jährlichen Limits von 50 mSv hinaus – für beruflich strahlenexponierte Personen die Lebenszeitdosis auf 400 mSv zu begrenzen. In Großbritannien und Schweden wurde die nahezu äquivalente Regelung getroffen, daß die Exposition durch berufliche Tätigkeit im Mittel eine Jahresdosis von 15 mSv nicht überschreiten darf. Die neuen Empfehlungen der ICRP verlangen, daß in 5 Jahren keine Dosis von mehr als 100 mSv akkumuliert werden darf [6].

Es wird gelegentlich festgestellt, numerische Risikoabschätzungen seien angesichts bestehender Unsicherheiten nicht gerechtfertigt; sie führen lediglich zu maßstabsloser Angst vor noch so kleinen Dosen ionisierender Strahlen. Ein Maßstab kann aber nur gewonnen werden, wenn man die bekannten Fakten als ungefähre Leitlinie der Extrapolation benutzt. Die erörterten Resultate der epidemiologischen Untersuchungen sind daher von beträchtlicher Bedeutung und sie werden diese Bedeutung auch in Zukunft behalten.

In diesem Zusammenhang sind alarmierende Feststellungen über die Anzahl möglicher Krebserkrankungen zu sehen, die durch Röntgendiagnostik ausgelöst werden könnten. Wenn solche Feststellungen dazu dienen, die Häufigkeit unnötiger Röntgenaufnahmen zu vermindern, sind sie berechtigt im Sinne bewährter Prinzipien des Strahlenschutzes. Wenn sie aber undifferenziert zu Ängsten und Vorbehalten gegenüber der Röntgendiagnostik führen, so richten sie Schaden an statt zu nützen. Numerische Risikoschätzungen können zwar mißbraucht werden wie alle statistischen Zahlen, sie bleiben aber dennoch die Basis, um die Perspektive wieder zurechtzurücken. Multipliziert man eine effektive Dosis für eine Thoraxaufnahme von 0,5 mSv – ein Wert, der bei älteren Röntgengeräten und Aufnahmetechniken auftreten könnte und nicht dem mit heutiger Technik erreichbaren Wert von 0,05 mSv pro Thoraxaufnahme entspricht – mit dem konservativ geschätzten Risiko der Krebsmortalität von 0,0001 pro mSv, so errechnet sich ein Risiko von 0,00005, d.h. von 1 zu 20 000 pro Aufnahme. Für 100 Mio. Aufnahmen erhielte man mit dieser sehr konservativen Schätzung eine Zahl von 5000 Krebstodesfällen, die durchaus alarmierend wirken kann. Entscheidend aber ist das mögliche Risiko pro Aufnahme, das gegenüber dem möglichen Nutzen gering bleibt. Wenn 20 000 Röntgenaufnahmen nicht deutlich mehr als ein Leben bewahren oder verlängern, so sind sie offenbar ungenügend indiziert. Bewährte ärztliche Praxis steht also keineswegs im Widerspruch zu den neuen Risikoschätzungen. Ebenso deutlich aber ist, daß der Strahlenschutz seinen wichtigen Platz in der Radiologie behält, und daß insbesondere in der pränatalen Diagnostik und bei Röntgendiagnostik

im Kindesalter die Indikation kritisch geprüft werden muß.

Wichtigster Gesichtspunkt im Strahlenschutz ist nicht ein errechnetes Risiko oder ein Grenzwert der Dosis, sondern das Prinzip, Strahlenexpositionen auch unterhalb der Grenzwerte im vernünftigen Rahmen zu reduzieren. Dieses Prinzip des ALARA (as low as reasonably achievable) mag als ein besonderer und scheinbar überkonserватiver Ansatz des Strahlenschutzes erscheinen. Man kann jedoch davon ausgehen, daß sich dasselbe Prinzip allgemein für den Umgang mit gentoxischen Substanzen durchsetzen wird, und daß so wenigstens ein Schritt getan wird zu einer ausgewogeneren Bewertung unterschiedlicher Risiken.

## Literatur

1. Annals of the ICRP (1977) Publication 26. Recommendations of the international commission on radiological protection. Pergamon Press, Oxford
2. Auxier JA, Cheka JS, Haywood FF, Jones TD, Thorngate JH (1966) Free-field radiation-dose distributions from the Hiroshima and Nagasaki bombings. *Health Physics* 12: 425–429
3. BEIR V Report (1989) Effects of ionizing radiation. National Academy Press, Washington DC
4. Committee on the Assessment of Health Consequences in Exposed Populations (1987) Health and environmental consequences of the Chernobyl nuclear power plant accident. Report to the US Dept. of Energy
5. Gössner W, Gerber GB, Hagen U, Lutz A (1986) The radiobiology of radium and thorotrast. Urban & Schwarzenberg, München
6. International Commission on Radiological Protection (1991) Recommendations of the Commission. Pergamon Press
7. Kellerer AM, Rossi HH (1972) The theory of dual radiation action. *Curr Top Radiat Res Q* 8: 85–158
8. Lewis EB (1957) Leukemia and ionizing radiation. *Science* 125: 965–972
9. National academy of sciences (1972) National research council: the effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation, Washington, DC
10. Pierce DA, Vaeth M (1989) Cancer risk estimation from the A-bomb survivors: extrapolation to low doses, use of relative risk models and other uncertainties. In: Low dose radiation, biological bases of risk assessment. Taylor & Francis, London, p 54
11. Preston DL, Pierce DA (1988) The effect of changes in dosimetry of cancer mortality risk estimates in the atomic bomb survivors. *Radiat Res* 114: 437–466
12. Rossi HH, Kellerer AM (1974) The validity of risk estimates of leukemia incidence based on Japanese data. *Radiat Res* 58: 131–140
13. Rossi HH, Mays CW (1978) Leukemia risk from neutrons. *Health Phys* 34: 353–360
14. Shellabarger CJ, Chmelevsky D, Kellerer AM (1980) Induction of mammary neoplasms in the Sprague-Dawley rat by 430 keV neutrons and X-rays. *J Natl Cancer Inst* 64: 821–833
15. Shimizu Y, Kato H, Schull WJ (1988) Life span study report 11, part 1. Cancer mortality in the years 1950–1985 based on the recently revised doses (DS86). Technical Report, RERF TR. Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, pp 5–88
16. Shimizu Y, Kato H, Schull WJ, Preston DL, Fujita S, Pierce DA (1989) Studies of the mortality of A-bomb-survivors 9. Mortality, 1950–1985: part 1. Comparison of risk coefficients of site-specific cancer mortality based on the DS86 and T65DR shielded kerma and organ doses. *Radiat Res* 118: 502–524
17. Sinclair WK (1987) Risk, research, and radiation protection. *Radiat Res* 112: 191
18. Sources and effects of ionizing radiation (1977) United nations scientific committee on the effects of ionizing radiation (UNSCEAR), United nations sales publication number E. 77. IX. 1, New York
19. Taylor DM, Mays CW, Gerber GB, Thomas RG (1989) Risks from radium and thorotrast. BIR Report 21, EUR 12088, Brussels, Luxembourg
20. US-Japan joint reassessment of atomic bomb radiation dosimetry in Hiroshima and Nagasaki. Final Report, Vol. 1. Roesch WE (ed). Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima
21. UNSCEAR (1986) Genetic and somatic effects of ionizing radiation. Annex B. Dose response relationships for radiation induces cancer. E. 86. IX. 9, New York
22. UNSCEAR (1988) Sources, effects and risks of ionizing radiation. Annex F. Radiation carcinogenesis in man. E. 88. IX. 7, New York

Eingegangen am 6. Februar 1991

Angenommen am 11. Februar 1991

Prof. Dr. A. M. Kellerer  
Strahlenbiologisches Institut  
der Ludwig-Maximilians-Universität  
Schillerstraße 42  
W-8000 München 2  
Bundesrepublik Deutschland

# Sachregister

- A. carotis; Aneurysma 244  
 Aldinger-System 474  
 Alveolitis 216  
 Amiodaronepneumopathie 216  
 Aneurysma, Koronararterie 571  
 Aneurysmen intrakraniell verursacht durch Strahleineinwirkung 244  
 Angiographie  
 - ADSA 33, 108, 114, 202  
 - arteriovenöse Mißbildungen, zerebral 269  
 - neuroradiologische Notfalldiagnostik und -therapie 21  
 - Niere 56, 62  
 - Pyelonephritis, xanthogranulomatöse 68  
 - Venöses Angiom des Gehirns 274, 283  
 Aortaneurysma 348  
 Aortendissektion 365  
 Aortobronchopulmonale Fistel 348  
 Arteria-carotis-interna-Verschluß 210  
 - cerebri-media-Verschluß 210  
 Arterielle digitale Subtraktionsangiographie mit 4F Kathetern zur ambulanten Abklärung extrakranieller Gefäßprozesse 33  
 - Verschlußkrankheit 108, 114, 202  
 Arteriovenöse Fistel in der Mamma 250  
 - - der Nieren 62  
 - -, zerebral 25, 247, 269  
 Arthographie, oberes Sprunggelenk 598  
 Aspiration von Fremdkörpern 47  
 Ateletkase, Lungenoberlappen 567  
 „Ball and socket joint“ 604  
 Bestrahlungsplanung, 3D-Rekonstruktionen 457  
 Bildkommunikation 16  
 Biopsie, CT-gezielt 120  
 Blasentumor nach Pankreastransplantation 581  
 Bronchialkarzinom 92  
 Burkitt-Lymphom 577  
 Captopril 141  
 Carotis-Sinus-cavernosus-Fistel 25, 247  
 Cholangioskopie, perkutan-transhepatisch 132  
 Computergraphik 220, 481  
 Cordarex 216  
 CT  
 - Adenomyomatose der Gallenblase 73  
 - Bestrahlungsplanung dreidimensional 457  
 - Biopsie 120  
 - dreidimensionale Rekonstruktion 457, 467, 474  
 - Hüftgelenk, 3D-basierte Herstellung 474  
 - Nebenmilzen, paraaortal 255  
 - neuroradiologische Notfalldiagnostik 21  
 - Oberlappenatektase 567  
 - Orbita, Pseudotumor 30  
 - Ovarialvenenthrombose, puerperal 82  
 - Pyelonephritis, xanthogranulomatöse 68  
 - Rhabdomyolyse 95  
 - Speicheldrüsen 550  
 - Sprunggelenk 609  
 - Struma ovarii 89  
 - Sturge-Weber-Erkrankung 289  
 - Vena cava, Anomalien 352
- Deutsch-Japanische Beziehungen in der Radiologie 258  
 Dialyse 339  
 Digitale Luminiszenzradiographie, Pharynxdiagnostik 388  
 - Projektionsradiographie 1  
 Dosimetrie, digitale Lumineszenzradiographie 8  
 - Vergrößerungsradiographie 418  
 Dosisgrenzwert 235  
 Dreidimensionale Darstellungen für die Kiefer- u. Gesichtschirurgie 467  
 Dünndarm, Non-Hodgkin Lymphom vom Burkitt-Typ 577  
 Duplexsonographie, farbkodiert von Nierentransplantaten 51  
 Echokardiographie 359  
 Embolisation, Niere 56, 62  
 Encephalopathie, hepatisch 565  
 Endokarditis 365  
 Epidermisyoste 399  
 Epiphysäre Frakturen des oberen Sprunggelenks 604  
 Epistaxis 27  
 Erdheim-Chester-Krankheit 297, 307  
 Ethische Fragestellungen in der Radiologie 624  
 Fallot-Tetralogie 375  
 Fibrinolyse bei Zentralarterienverschluß 240  
 Fibröse Dysplasie 355  
 Fistel, aortobronchopulmonal 348  
 Fixateur externe 165, 176, 183  
 Forensische Medizin; Vergrößerungsradio-graphie in der 452  
 Frakturbeurteilung 452  
 Frakturheilungsstörungen 181, 188  
 Fremdkörperaspiration 47  
 Fremdkörpernachweis, Vergrößerungsradio-graphie 452  
 Gallenblase, Adenomyomatose 73  
 Gallenwege und Gallenblase, perkutane Diagnostik und Therapie 132  
 Gastroösophagealer Reflux, Röntgendiagnostik 253  
 Gefäßendoprothesen 102, 108, 114, 202  
 Gehörknöchelchen 435  
 Heroinintoxikation, Rhabdomyolyse und Plexusläsion nach 95  
 Herz-Lungen-Transplantation 159  
 Herzdiagnostik, Kernspintomographie 368  
 Herzfunktionsanalyse, Sonographie 360  
 Herztransplantation, heterotop 264  
 Hickman-Katheter-Implantation 125  
 Hirninfarkt 562  
 Hirnstoffwechsel, Magnetresonanzspektroskopie 558  
 Hirnvenenthrombose 21  
 HNO-Heilkunde, Vergrößerungsradio-graphie 435  
 Hüftgelenk, 3D-basierte Herstellung 474  
 - Alloarthroplastik 496  
 Hüftgelenkstotalendoprothese, Lockerungszeichen 496  
 Hydrozephalus 489  
 Hyperparathyreoidismus 339  
 Hypertonie, renovaskulär 56, 141  
 Hypopharynx 313  
 Immunsintigraphie, <sup>111</sup>In-Antimyosin, Myokarditis 382  
 Interventionelle Neuroradiologie 240  
 Intimahyperplasie 202  
 Intrakranielle Aneurysmen, Spätschäden durch Strahlentherapie 244  
 Japanisch-Deutsche Beziehungen in der Radiologie 258  
 Kalkaneonavikuläre Koalition 602  
 Kalkaneusfrakturen 609  
 Kallusheilung 165  
 Kavernom, zerebral 283  
 Kawasaki-Syndrom 571  
 Kehlkopf 313, 319, 324, 332  
 Kernspintomographie siehe MRT  
 Kieferheilkunde, Vergrößerungsradio-graphie 439  
 Koronararterienaneurysma 571  
 Kortikalisschrauben 172, 182  
 Krebsmortalität 227  
 Laryngektomie, radiologische Befunde nach supraglottischer und totaler 324  
 Laryngogramm 319  
 Larynx, klinische Aspekte zu bildgebenden Verfahren 313  
 Laryndiagnostik, digitale Luminiszenzradiographie 388  
 Larynxkarzinom 313, 324, 332  
 Leberlappenagenesie 352  
 Leberzirrhose 102, 344  
 Leukämie, akute myeloische 228  
 Liquordynamik 489  
 Lumineszenzradiographie, Dosisabschätzung 8  
 Lymphangitis carcinomatosa 92  
 Magenschleimhauterosion 38  
 Marknagel 176, 183  
 Medizin und Technologie 40  
 Meningiosis leucaemica  
 MICROFOX G10 407, 418  
 Mikrofokusröntgensystem 407  
 Mikroradiographie 439  
 MR-Interferographie, Darstellung der Herz-wandbewegung mit 378  
 - Spektroskopie  
 --- hepatische Encephalopathie 565  
 --- Hirninfarkt 562  
 --- Hirnstoffwechsel 558  
 --- Hirntumor 564  
 --- Multiple Sklerose 563  
 MRT  
 - Abdominalvenen 192  
 - arteriovenöse Mißbildungen, zerebral 269  
 - Erdheim-Chester-Krankheit, zerebrale Manifestation 307  
 - Fallot-Tetralogie 375  
 - Herz 378  
 - Herzdagnostik 368

- MRT**
  - Heterotopie der grauen Substanz 99
  - Kavernom, zerebral 283
  - Myelolipom der Nebenniere 86
  - neuroradiologische Notfalldiagnostik 21
  - NNH 545
  - Speicheldrüsen 550
  - Sprunggelenk 616
  - Sturge-Weber-Erkrankung 289
  - Temporomandibulargelenk 537
  - Trichoepitheliom 574
  - Venen, Abdomen 192
  - Venöses Angiom des Gehirns 274, 283

**Mukoidimpaction** 92

**Multiple Sklerose** 563

**Myelolipom der Nebenniere** 86

**Myokarditis, Immunsintigraphie mit <sup>111</sup>In-Antimyosin bei Verdacht auf** 382

**Nasennebenhöhlenaufnahme, okzipital** 545

**Nebenniere, Myelolipom** 86

**Nebenschilddrüsen** 339

**Nephrom, multilokuläres, zystisches** 66

**Neuroanatomie, dreidimensionale Rekonstruktionen in der** 481

**Niere, Embolisationstherapie** 56, 62

**Nierenarterienaneurysmen, Embolisation von** 56

**Nierenarterienstenose** 141

**Nierenfunktionsintigraphie** 141

**Nierentransplantate, farbkodierte Duplexsonographie** 51

**Nierentrauma** 62

**Orbita, Pseudotumor** 30

**Osteitis** 447

**Osteochondrosis dissecans des Talus** 606

**Osteomyelitis** 447

**Osteonekrose** 189

**Osteosynthese, Komplikationen** 186

**Osteosynthesematerial** 172, 182

**Osteosynthesen, radiologische Beurteilung von** 179, 190

**Osteosyntheseversfahren** 165, 172

**Ovar, Teratom** 223

**Ovarialvenenthrombose, puerperal** 82

**PACS** 11, 16

**Pankreaskarzinom, intraoperative Radiotherapie** 147

**Pankreatitis** 265
  - nach Pankreastransplantation 581

**Panoramavergrößerungstechnik** 443

**Perikarderguß** 365

**Perkutane transhepatische Cholangiographie** 132

**Personalcomputer** 220

**Pharynxdiagnostik, digitale Luminiszenzradiographie** 388

**Pilonfrakturen** 589

**Plagiat: Abschriftstellerei für Fortgeschritte** 394

**Plexusläsion nach Heroinintoxikation** 95

**Pneumothorax** 567

**Polysplenie** 255, 352

**portale Hypertension** 102

**Portosystemischer Shunt** 102

**Projektionsradiographie, digital** 1

**Protonen-MR-Spektroskopie** 558

**Pseudotumor der Orbita in der Pädiatrie** 30

**Pyelonephritis, xanthogranulomatöse** 68

**Radiographie des Magens** 38
  - , digital 424
  - -, Dosisabschätzung 8
  - , hochauflösend 407

**Radiologie 2000** 153

**Radiologie; ethische Fragestellungen in der** 624

**Radionuklidzisternographie: SPECT- u. 3D-Technik** 489

**Rhabdomyolyse nach Heroinintoxikation** 95

**Röntgenorganisation** 16

**Sialographie** 550

**Sialolithiasis** 554

**Sinusthrombose** 21

**Skelettdiagnostik, Vergrößerungsradiographie** 424

**Sonographie**
  - Aortendissektion 365
  - Endokarditis 365
  - Herzfehler 364
  - Hyperparathyreoidismus 339
  - Nierentransplantate 51
  - Orbita, Pseudotumor 33
  - Ovarialvenenthrombose puerperal 82
  - Perikarderguß 365
  - Pyelonephritis, xanthogranulomatöse 68
  - Speicheldrüsen 550

**Speicheldrüsen, bildgebende Diagnostik bei Kindern und Jugendlichen** 550

**Speicherleuchtstoffe** 1

**Spickdraht** 173

**Splenose** 255, 352

**Spongiosaschrauben** 172, 182

**Sprunggelenk, MRT** 585, 594, 598, 601, 604, 609, 616

- , Röntgendiagnostik der Bandläsionen des oberen 594

**Sprunggelenke; Mißbildungen und Traumafolgen der kindlichen und jugendlichen** 601

**Sprunggelenksverletzungen aus unfallchirurgischer Sicht** 585

**Stent** 102, 108, 114, 202

**Strahlenexposition** 235
  - , Vergrößerungsradiographie 413

**Strahlenrisiken** 227, 235

**Strahlenschutz** 227, 235

**Strahlenschutzverordnung** 225

**Strahlentherapie**
  - Bestrahlungsplanung, dreidimensional 457
  - des Pankreaskarzinoms, intraoperativ 147
  - Larynxkarzinom 332
  - , Spätschaden 244

**Strahlenwirkungen** 225

**Struma ovarii** 89

**Sturge-Weber-Erkrankung** 289

**Subarachnoidalblutung** 25

**Talusfrakturen** 589

**Tarsale Koalitionen** 602

**Technologie in der Medizin** 40

**Temporomandibulargelenk** 537

**Teratom** 223

**Thrombolyse hirnversorgender Gefäße** 210

**Thrombose, Hirnvenen** 21

**TIPSS: transjuguläre intrahepatische portosystemische Shunts mittels Stents** 102

**Trevor-Erkrankung** 604

**Trichoepitheliom** 574

**Truncus coeliacus, Kollateralkreisläufe bei Verschluß des** 344

**Tuberöse Sklerose** 62

**Vaskuläre Endoprothesen, Indikationen zur Implantation** 108

**Vena azygos** 352
  - cava, Anomalien 352

**Venen, abdominal** 192

**Venenanomalien des Gehirns** 274, 283

**Vergrößerungsradiographie** 403, 407, 413, 418, 424, 430, 435, 439, 443, 447, 452

**Verlängerungsosteotomie** 183

**Verriegelungsnagelung** 165, 183

**Vertebrobasilarer Verschluß** 210

**Weichteilverknöcherung** 190

**Xanthogranulomatöse Pyelonephritis; Stellenwert der bildgebenden Diagnostik** 68

**Zahnheilkunde, Vergrößerungsradiographie** 439, 443

**Zentralarterienverschluß, Fibrinolyse bei** 240

**Zerebrale arteriovenöse Mißbildungen** 269

**Zuggurtung** 173

**Zweispektrententechnik** 1

# Autorenregister

- Adlawan, C. 616  
 Adolph, J. 545, 616  
 Agness, M. 375  
 Albrecht, Th. 147  
 Aldinger, G. 474  
 Allenberg, J. R. 56  
 Arlart, I. P. 192  
 Bahk, Y. W. 89, 567  
 Bajanowski, T. 452  
 Baranowski, D. 179  
 Bartelt, D. 319  
 Bassir, C. 289  
 Bauer, M. 223  
 Baumeister, L. 216  
 Berens von Rautenfeld, D. 430  
 Bick, U. 8, 550  
 Bier, H. 388  
 Biesterfeld, S. 73  
 Biggemann, M. 348  
 Billmann, P. 216  
 Birke, D. 550  
 Bittner, R. 289  
 Bockenheimer, St. 210  
 Bongartz, G. 68, 324, 545, 616  
 Bonnaire, F. 609  
 Boos, E. 258  
 Brambs, H.-J. 56  
 Brinkmann, B. 452  
 Brug, E. 165  
 Brüggemeyer, H. 418  
 Bruhn, H. 558  
 Buhmann, C. 481  
 Christiansen, L. V. 66  
 Chung, S. K. 89  
 Claasen, U. 545  
 Colias, S. 62  
 Cordes, M. 489  
 Deininger, H. K. 33  
 Deitmer, Th. 313  
 Dewes, W. 307  
 Diederich, S. 324, 339, 550, 631  
 Dietl, K. H. 581  
 Dietz, R. 352  
 Dihlmann, S. W. 496  
 Dihlmann, W. 394, 496  
 Doringer, E. 82  
 Düring, A. 47  
 Eberhard, D. 537  
 Edelman, R. R. 192  
 Ehlers, C.-Th. 16  
 Eilenberger, M. 30  
 Einert, A. 506, 624  
 Emmerich, G. 223  
 Erbel, R. 359  
 Erlemann, R. 179, 355, 545, 601, 616  
 Farthmann, E. H. 132  
 Faubert, C. 274  
 Fausser, L. 192  
 Ferrucci, J. T. 86  
 Fiebich, M. 8  
 Fiedler, V. 594  
 Fischer, J. 247  
 Fleischmann, D. 216  
 Flentje, M. 332  
 Flückiger, F. 51  
 Frahm, J. 558  
 Frahm, R. 609  
 Fredow, G. 407  
 Freier, W. 186  
 Friedrich, M. 95  
 Frommhold, H. 147  
 Gaa, J. 33, 86  
 Galanski, M. 1, 186  
 Gebing, R. 594  
 Gebureck, P. 407  
 Gell, G. 11  
 Gerke, M. 481  
 Glaser, K. 147  
 Glatt, E. 258  
 Gouliamos, A. 62, 250  
 Graßmann, P. 40  
 Grosch, C. A. 348  
 Grosser, G. 141  
 Guhl, L. 192  
 Günther, R. W. 73, 108  
 Gyngell, M. L. 558  
 Hahn, S. T. 89  
 Hammel, D. 263  
 Hänicke, W. 558  
 Hauenstein, K. H. 120, 132  
 Hellerich, U. 574  
 Helmberger, Th. 344  
 Henkes, H. 274, 289, 489  
 Henne, K.-W. 223  
 Hennig, J. 378  
 Hering, L. 496  
 Hermes, M. 307  
 Heye, N. 289  
 Hidding, J. 550  
 Hierholzer, J. 489  
 Hilweg, D. 348  
 Hinshaw, D. 375  
 Hoffmann, G. 99  
 Hofstetter, R. 571  
 Höhne, K. H. 467  
 Holshouser, B. 375  
 Höltje, W.-J. 467  
 Huber, A. 247  
 Huber, G. 274, 289, 489  
 Hupp, Th. 56  
 Husstedt, I. 545  
 Hüttenbrink, K. B. 403, 435, 439, 452  
 Jokerst, U. 16  
 Joseph, A. 382  
 Junk, B. 307  
 Jurkovic, H. 247  
 Just, A. 263, 355, 601  
 Kaick, G. van 101  
 Kailidou, E. 250  
 Kainberger, F. 30  
 Kaiser, R. 68  
 Kalovidouris, A. 62  
 Kaneko, M. 92  
 Kauffmann, G. W. 56, 202  
 Kaul, A. 225  
 Keller, E. 141  
 Kellerer, A. M. 227  
 Kim, D. 192  
 Klose, K.-C. 73, 255  
 Knigge, K.-P. 255  
 Krause, H. 16  
 Krause, Th. 378, 382  
 Kretschmann, H.-J. 481  
 Kretschmar, K. 509  
 Kronholz, H.-L. 403, 413, 424  
 Krüger, H.-J. 574  
 Kubota, G. 92  
 Kujat, Ch. 297, 307  
 Lackner, K. 202  
 Landwehr, P. 202  
 Lanfermann, H. 244  
 Langen, H. J. 571  
 Langfeldt, S. 66  
 Laub, G. 192  
 Lenzen, H. 8  
 Lissner, J. 537  
 Malms, J. 388  
 Martignoni, K. 235  
 Martin, J. 297, 307  
 Mathias, K. 99  
 Merboldt, K. D. 558  
 Merkle, N. 577  
 Meyer, E. 141  
 Michaelis, T. 558  
 Mohr Madsen, K. 253  
 Mohs, C. 210  
 Möller, U. 339  
 Morita, T. 92  
 Moser, E. 141, 382  
 Mueller, P. R. 86  
 Müller, D. 481  
 Müller-Forell, W. 269  
 Müller-Miny, H. 179, 324  
 Mundinger, A. 223  
 Næser, A. 253  
 Nahler, M. 631  
 Nilles, A. 147  
 Nishimura, T. 92  
 Nitschke, J. 235  
 Nitzsche, E. 141  
 Nöldge, G. 102, 114, 161, 202  
 Oestmann, J. W. 1  
 Oursin, C. 574  
 Palmaz, J. C. 102, 114  
 Papacharalamous, X. 62, 250  
 Papavasiliou, C. 62, 250  
 Park, S. H. 89, 567  
 Pedersen, P. R. 253  
 Peiß, J. 255  
 Perarnau, J. M. 102  
 Persigehl, M. 73  
 Peters, P. E. 8, 68, 101, 153, 172, 179, 263, 324, 355, 545, 601, 616  
 Piegras, U. 274, 289, 489, 509  
 Plingen, J. 258  
 Ponhold, W. 30  
 Post, K. 56  
 Poulsen Nautrup, C. 430  
 Pralle, H. 125  
 Prokop, M. 1  
 Prunzos, P. 250  
 Püschel, W. 297  
 Raidt, H. 339  
 Randzio, J. 537  
 Ratschek, M. 51  
 Rau, W. S. 125  
 Rauber, K. 125  
 Reichelt, S. 1  
 Reinheimer, G. 352  
 Reinhuber F. 210  
 Reuter, I. 443  
 Reuther, G. 403, 424  
 Richter, G. M. 102, 114, 202  
 Richter, K.-D. 447  
 Riebeling, V. 399  
 Riedel, A. 481  
 Rienmüller, R. 368  
 Roeren, Th. 56, 202, 577  
 Roos, N. 172, 179, 550  
 Rosenthal, H. 186  
 Rössle, M. 102  
 Rump, C. 141  
 Saini, S. 86  
 Salm, R. 132  
 Schaefer, C. 1  
 Schefer, S. 283  
 Schirp, B. 571  
 Schlegel, W. 457  
 Schmid, C. 537  
 Schmidt, D. 240  
 Schmitt, R. 344  
 Schneider, G. H. 11  
 Schopp, D. 378  
 Schröder, K. E. 348  
 Schubert, R. 467  
 Schulz-Wendtland, R. 223  
 Schumacher, M. 21, 240  
 Schümichen, C. 382  
 Schütz, T. 481  
 Sciuk, J. 616  
 Shimizu, T. 92  
 Sigmund, G. 574  
 Sperner, J. 289  
 Sperner, W. 407  
 Spindler, S. 344  
 Spitzer, D. 82  
 Stark, P. 375  
 Staudach, A. 82

- Steen, K. H. 47  
 Steiner, H. 51, 82  
 Strauß, E. 141  
 Strohmaier, A. 95  
 Thommesen, P. 253  
 Thun, F. 244  
 Tiede, U. 467  
 Tio, F. 114  
 Trattnig, S. 30  
 Uhl, M. 577
- Vahlensieck, M. 220  
 Valavanis, A. 269, 283  
 Vassallo, P. 616  
 Vergesslich, K. 30  
 Vestring, Th. 68, 545, 581, 616  
 Vlahos, L. 62, 250  
 Vogl, Th. J. 537  
 Vogt, H. 481  
 Vorwerk, D. 108  
 Wahl, G. 439  
 Wakhloo, A. K. 21, 240
- Walk, L. 38  
 Wannenmacher, M. 332  
 Weimar, B. 125  
 Weipert, A. 474  
 Wenz, W. 258, 506, 624  
 Wernecke, K. 339  
 Wesemann, M. 481  
 Weyrich, G. 159  
 Wichmann, W. 283  
 Wiesmann, W. 8, 545, 616, 631  
 Wild, K. v. 399  
 Wiltgen, M. 11
- Wimmer, B. 120, 132, 609  
 Winckler, St. 165, 447  
 Witting, Ch. 399  
 Witzmann, A. 247  
 Wörtler, K. 172  
 Wuisman, P. 601  
 Zeiher, A. 382  
 Zwipp, H. 585