Aus dem
Albers-Schönberg-Institut,
Abteilung für Strahlendiagnostik
Ltd. Arzt: Prof. Dr. H. Vogel
Allgemeines Krankenhaus St. Georg

Strahlenexposition durch Neutronen bei der Containerdurchleuchtungsanlage in Hamburg und bei Röntgenkontrollen an Grenzen

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg vorgelegt von
Peter Carsten Lotz
aus Hamburg

Hamburg, Oktober 2002

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am:

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

Dekan:

Referent:

Korreferent:

Inhalt **Seite**

1 Einleitung und Fragestellung 4

2 Material und Methode

2.1 Containerprüfanlage in Hamburg und erhobenes Bildmaterial 6

2.1.1 Aufbau und Funktion der Containerprüfanlage 6

2.1.2 Bilder 8

2.2 Neutronenmeßsonde LB 6411 9

2.3 Meßorte 12

2.4 Auswahl der untersuchten Fälle 13

2.5 Technische Lösungen verschiedener Containerprüfanlagen 14

2.6 Kontroll-, Aufklärungs- und Verfolgungsmethoden 16

2.7 Verfolgung und Markierung von Personen und Gegenständen 21

3 Ergebnisse

3.1 Neutronendosis 24

3.1.1 Meßorte 24

3.1.2 Vergleich mit der Umgebungsstrahlung 33

3.2 Bilder und Waren 34

3.2.1 Techniken 34

3.2.2 Direkte Zeichen 40

3.2.3 Indirekte Zeichen 43

3.3 Stationäre und mobile Röntgenanlagen 47

3.4 Kampfmittelerkennung: Sonderfall der Röngtenrückstreutechnik 71

4 Diskussion

4.1 Strahlenexposition durch Neutronen in einer Containerprüfanlage 73

4.2 Strahlenexposition bei Röntgenkontrollen an Grenzen 74

4.2.1 Kontrollierte Personen 75

4.2.2 Objekt 80

4.2.3 Bedienungspersonal 82

4.3 Vergleiche 84

5 Zusammenfassung 87

6 Literatur 88

7 Danksagung 98

1 Einleitung und Fragestellung

Röntgenstrahlung macht Verborgenes sichtbar. Die Röntgendiagnostik ist eine Disziplin der Medizin, sie hat das Ziel, Prozesse mit Krankheitswert sichtbar zu machen. Schon früh wurden Röntgenstrahlen aber auch zur Materialprüfung eingesetzt. In den letzten Jahren, insbesondere seit dem Anschlag auf das World Trade Center in New York am 11. September 2001, sind die Möglichkeiten der Röntgentechnik, Gegenstände und ihre Zusammensetzung nachzuweisen, aktuell geworden.

Der Einsatz von Röntgenstrahlen an Menschen, bei der Materialpüfung und beim Nachweis verborgener Substanzen ist mit der Strahlenexposition des Bedienungspersonals, von Unbeteiligten und dem/den Untersuchten verbunden. Man unterscheidet die Direktexposition und die Exposition durch Streustrahlen. Im Vordergrund steht üblicherweise die Photonenstrahlung, die beim Abbremsen von Elektronen frei wird. Werden Strahlen höherer Energie eingesetzt, können durch Kernprozesse Neutronen freigesetzt werden, die zur Strahlenexposition beitragen. Die Auflösungsmöglichkeiten höher energetischer Strahlung unterscheidet sich von der Röntgenstrahlung, die gewöhnlich in der Medizin zum Einsatz kommt.

In Hamburg wird am Hafen eine Anlage zur Containerdurchleuchtung betrieben. Mit ihr soll Schmuggelgut nachgewiesen werden. Insbesondere Zigaretten, Rauschmitteln und Waffen sind von Interesse. Durchleuchtet wird mit zwei Linearbeschleunigern, die üblicherweise mit 10 MeV Beschleunigerspannung arbeiten. Eine Photonenstrahlung mit einer höheren Energie als 6 MeV führt zum Kernphotoeffekt, bei dem Neutronen freigesetzt werden (Mao, 1997). Diese sind meßtechnisch schwer zu fassen. Bei der Hamburger Anlage wurde im Rahmen einer Diplomarbeit (Dominke, 1997) und Prüfungen durch den Technischen Überwachungsverein (Stahl, 1996) der Neutronenfluß gemessen. Die Dosiswerte lagen im unteren Meßbereich der eingesetzten Geräte. Durch die Zusammenarbeit mit dem Kernkraftwerk Krümmel (Vogel, 2001) bot sich die Möglichkeit, die Strahlenexposition durch Neutronen genauer zu messen, und über die Aussage hinauszugehen, daß ein Betrieb der Anlage unter Berücksichtigung der im Gesetz vorgeschriebenen Grenzwerte bedenkenlos möglich war.

Hieraus entwickelten sich die Fragen der vorliegenden Arbeit. Geklärt werden sollte:

1. Läßt sich eine Neutronendosis beim Betrieb der Containerprüfanlage erfassen und wenn ja: wie hoch ist sie?
2. Welche Möglichkeiten Verdächtiges zu finden, bietet die Anlage ?

Während meiner Messungen führte die Diskussion mit dem Betreiber und der Überwachungsbehörde zu Kontakten mit Herstellern von Röntgenanlagen zur Personen- und Gepäckkontrolle an Grenzen. Die technischen Lösungen und die Angaben der Hersteller zur Strahlenexposition der Untersuchten und des Bedienungspersonals wurden erfaßt und zusammengestellt.

2 Material und Methoden

2.1 Containerprüfanlage in Hamburg und erhobenes Bildmaterial

2.1.1 Aufbau und Funktion der Containerprüfanlage

Die Containerprüfanlage des Hamburger Hafens ist mit zwei Linearbeschleunigern vom Typ Vanguard der Firma Siemens Medical Lab. Inc. ausgerüstet (Abb. 2.1.1.1 A und B). Die verwendeten Beschleuniger sind vom Typ her medizinische Beschleuniger, die dem Verwendungszweck angepaßt wurden (Stahl, 1996). Sie bestehen aus fünf wesentlichen Baugruppen: Modulator, Energieversorgung, Beschleunigungseinheit, Strahlerkopf und Bedienungspult (Krieger, 1997). Eine Strahlauslenkung und eine anschließende Strahlführung sind nicht vorhanden. Die feste Positionierung der Beschleunigerröhre erlaubt den Routinebetrieb mit gleichzeitiger vertikaler und horizontaler Bilderstellung.

Abb 2.1.1.1 A: Räumliche Anordnung der beiden Linearbeschleuniger. Containerprüfanlage im Hamburger Hafen (Gestaltung durch Petersen nach den Unterlagen der ZfSR, 2001).

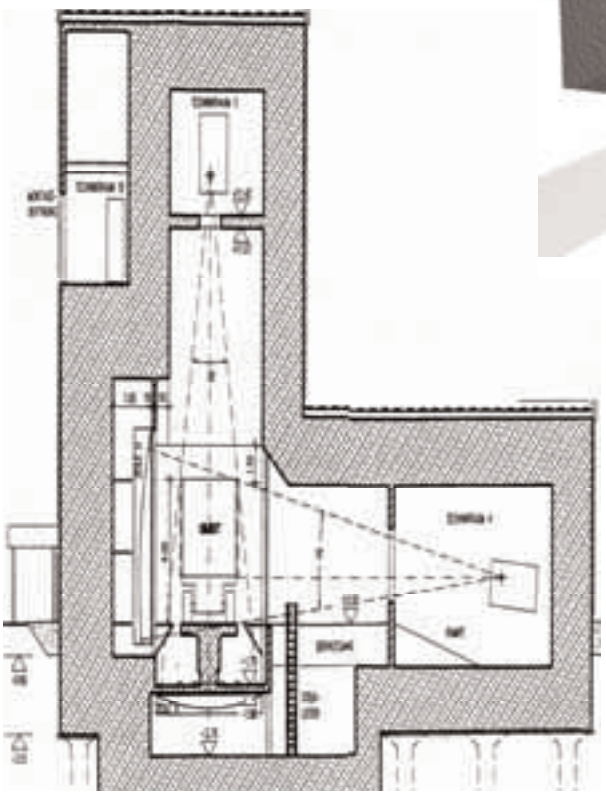


Abb. 2.1.1.1 B: Anordnung der beiden Linearbeschleuniger, der Detektorzeilen und Kollimatoren. Containerprüfanlage im Hamburger Hafen (Zentralstelle für Strahlenschutz und Röntgentechnik der Bundesfinanzverwaltung (=ZfSR), 1995).

Bei einer Länge von 58 m und einer Breite von 25 m lassen sich Fahrzeuge bis zu 19 m Länge, 2,60 m Breite und 4,35 m Höhe kontrollieren. Durch ein spezielles Adaptersystem der Zugmaschine ist auch eine Durchleuchtung von Personenkraftwagen möglich.

Die **Energie** der höchstfrequenten Verstärkereinheit für die Photonenstrahlung beträgt wahlweise 5 MeV oder 10 MeV. Der Hauptbetrieb wird mit Photonen der Energie 10 MeV durchgeführt. Arzneimittelgrundstoffe dürfen jedoch nur mit einer Photonenenergie von 5 MeV durchleuchtet werden (§1 Abs.2 und 3 Lebensmittelbestrahlungsverordnung, 2000). Die Dosisleistung wird über eine Dosismeßkammer kontrolliert.

Zur **Strahlenerzeugung** dient eine mit dem Beschleunigungsrohr fest verbundene Glühkathode, welche Elektronen emittiert. Durch Anlegen einer Hochspannung an die Kathode von 15 kV kommt es zum Einschuß in die Beschleunigerstrecke. Im Beschleunigungsrohr werden die Elektronen durch eine elektromechanische Stehwelle mit einer Frequenz von 3 GHz bis zu einer Maximalenergie von 10 MeV geradlinig beschleunigt (Abb. 2.1.1.2). Der Elektronenstrahl trifft auf ein fest mit dem Beschleunigungsrohr verbundenes Target, in dem die kinetische Energie der Elektronen teilweise in Bremsstrahlung umgesetzt wird. Das radialsymmetrische Strahlenbündel wird durch zwei senkrecht zueinander angebrachte, fokussierte Blendenpaare (Kollimator) auf die gewünschte rechteckige Form und Größe abgeblendet. Für die Durchstrahlungsprüfung ist ein Feld von 362 mm x 46 mm in 1 m Abstand vorgesehen (Zentralstelle für Strahlenschutz und Röntgentechnik der Bundesfinanzverwaltung (=ZfSR), 1995).

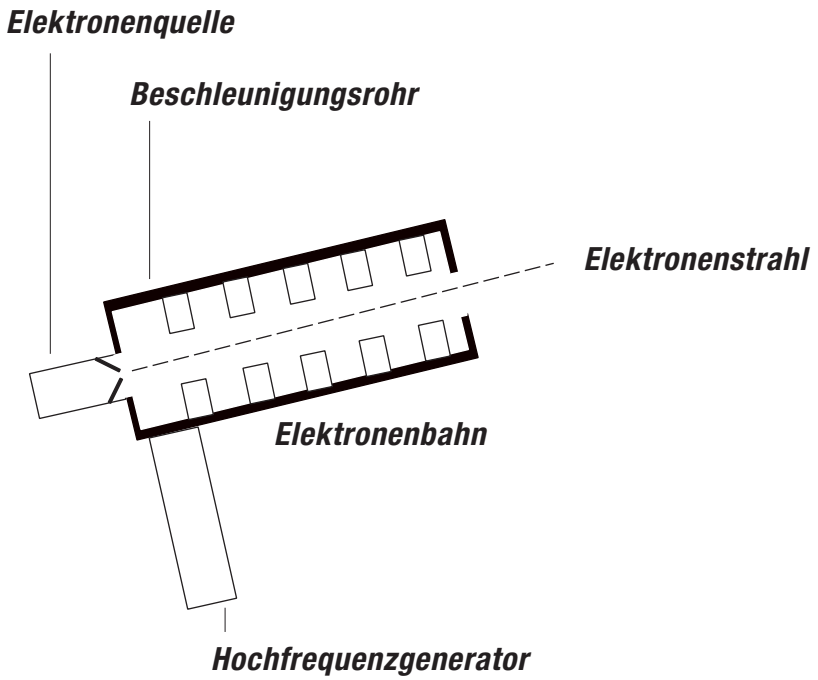


Abb 2.1.1.2: Bestandteile eines Linearbeschleunigers in der Hamburger Containerprüfanlage. (modifiziert nach der Vorlage unter URL: http://www.reaktor.fh-furtwangen.de/beschleuniger/html/allg.html, gesehen am 26.04.01)

2.1.2 Bilder

Bei der **Bilderzeugung** spielt im besonderen Maße die Auffächerung der Strahlen der beiden verwendeten Linearbeschleuniger eine Rolle. Ihre Strahlen treffen zueinander versetzt auf die ebenfalls versetzt angeordneten Detektorzeilen. In der horizontalen beziehungsweise vertikalen Hauptstrahlrichtung erfolgt so keine Beeinflussung auf die jeweils andere Detektorzeile. Aufgrund der Versetzung der beiden Strahlen werden ein aus einzelnen und getrennten Teilen bestehendes horizontales Bild (Ansicht) und ein vertikales Bild (Draufsicht) des Lastwagens inklusive seiner Ladung erzeugt. Bei konstanter Dosisleistung kann über die Detektoren dem Strahlenrelief der Lastwagen- und Containerladung ein Kontrastrelief (Bild) zugeordnet werden. Um bildlich die Zuordnung der beiden Schnittebenen zu dem Lastwagen und seiner Ladung zu erreichen, ist eine konstante Geschwindigkeit des Lastwagens während der Erstellung der Aufnahmen erforderlich. Dies wird durch ein geregeltes Fördersystem erreicht, die Geschwindigkeiten betragen bei 10 MeV 24 m/min und bei 5 MeV 12 m/min.

Die im Prüftunnel **aufgenommenen Bilder** bestehen im allgemeinen aus bis zu 5000 x 1000 Bildpunkten bei einer Auflösung von 16 Bit pro Pixel. Der Pixelwert eines Punktes entspricht dabei der Stärke der Absorption des Röntgenstrahls an dieser Stelle. Niedriger Wert bedeutet hohe Absorption, hoher Wert geringe Absorption. Bildet man die Absorptionswerte auf einer Grauskala ab, erhält man Röntgenbilder für vertikale und horizontale Abtastung. Anhand der Ladepapiere kann der Bildauswerter zunächst feststellen, ob die geladene Fracht korrekt deklariert ist. Für die weitere Untersuchung der Ladung stehen ihm eine Reihe von Bildbearbeitungsoperationen zur Verfügung.

Neben **Funktionen** zum Verschieben oder Vergrößern und Verkleinern des Bildausschnitts sind Operationen zur Analyse der Bilddaten vorhanden. Eine solche Operation ist die **Falschfarbendarstellung** zur Hervorhebung von kritischen Befunden.

Durch **Filter** werden die Kontraste und Konturen im Röntgenbild verstärkt. Neben bekannteren Filtern, wie zum Beispiel dem Kantenfilter nach LaPlace, ist auch eine Reihe von speziell für die Applikation entwickelten Filter integriert.

2.2 Neutronenmeßsonde LB 6411

Um Neutronen nachzuweisen, läßt man sie Kernreaktionen oder Kernspaltungen ausführen. Die dabei erzeugten geladenen Teilchen (Alphateilchen, Trümmerkerne) bewirken dann in einer Gasfüllung **Ionisationen**. Zählrohre zum Nachweis von thermischen Neutronen bestehen beispielsweise aus einem gasgefüllten, verschlossenen Aluminium- oder Messingrohr. Seine Innenseite kann mit Bor, Lithium oder Uran^{235} belegt sein. Schnelle Neutronen können zum Beispiel durch einen Paraffinmantel abgebremst werden, der um das Zählrohr gelegt wird. Durch wachsende Dicken von Kunststoffumhüllungen, die Neutronen abbremsen, läßt sich auch ihre Energie ermitteln.

In dieser vorliegenden Arbeit kam, zur Erfassung der Neutronenstrahlung in der Hamburger Containerprüfanlage, die **Neutronensonde LB 6411** der Firma Berthold (Abb. 2.2.1) zum Einsatz. Sie ist transportabel und Bestandteil des Grundgerätes LB 1230 des universalen Strahlungsmonitors LB123 UMO als Anzeigeeinheit. Diese Sonde mißt die Neutronenäquivalenzdosisleistung in der Umgebung. Das Gerät wurde im Rahmen eines Technologietransferprojektes zusammen mit der Abteilung Dosimetrie des Kernforschungszentrums Karlsruhe und der Firma Berthold entwickelt (Burgkhardt, 1994). Die Sonde weist im Vergleich zu anderen Meßanordnungen für Neutronen ein besonderes Energieansprechvermögen auf, entsprechend den neuen Äquivalenzdosiskonversionsfaktoren nach der internationalen Strahlenschutzkommission "International Commission on Radiological Protection" 60 (ICRP 60, 1991).

Abb. 2.2.1: Neutronensonde LB 6411 als transportables Meßsystem mit dem Grundgerät LB 1230 des universellen Strahlungsmonitors LB 123 UMo als Anzeigeeinheit (Berthold, 1995).

Betrachtet man **Aufbau und Funktion** der Sonde LB 6411 imponiert die Moderatorkugel aus Polyethylen mit einem Durchmesser von 25 cm. Sie hat in ihrem Zentrum ein mit Helium und Methangas gefülltes zylindrisches ^{3}He-Rückstoßprotonen-Zählrohr (LB 6410) aus Edelstahl mit einem Durchmesser von 40 mm und einer Länge von 100 mm. Das Zählrohr optimiert die Erfassung von langsamen (thermischen) und hochenergetischen Neutronen. Die Empfindlichkeit für Neutronen des Energiebereiches von 1 bis 10 MeV beträgt etwa 3 Impulse pro nSv, was etwa fünfmal höher als bei vergleichbaren Detektoren herkömmlicher Bauart ist. Nach einer persönlichen Auskunft durch Klett von der Firma Berthold wird diese Empfindlichkeit durch die Reaktion $^{3}He^{+} + n \longrightarrow {}^{3}T^{-} + p^{+} + 764$ keV erreicht (2002).

Das **Hauptanwendungsgebiet** liegt im kerntechnischen Bereich bei Reaktoren und im Kernbrennstoffkreislauf, im Bereich der Forschung bei Beschleunigern und im industriellen Bereich beim Einsatz von Neutronenquellen.

Die **Kalibrierung** der Meßsonde der Firma Berthold erfolgte mit Quellen, die langsame (thermische), mittelschnelle und schnelle Neutronen, wie sie bei Kernprozessen anfallen, freisetzen. Der Meßbereich liegt zwischen 0,1 µSv/h und 100 mSv/h. Eine Kalibrierung erfolgte vor und während der Messungen in der Containerprüfanlage durch die Abteilung Strahlenschutz des Atomkraftwerkes Krümmel.

Die **Ansprechempfindlichkeit** der LB 6411 von rund 3 Counts pro nSv erlaubt einen Meßbereich von 100 nSv/h bis 100 mSv/h für einen Energiebereich von 50 keV bis 10 MeV Neutronen. Sie liegt bei +/- 40% (Berthold, 1995).

Bei der **Neutronenstrahlung** ist eine Unterscheidung in Hinblick auf die verschiedenen Energiebereiche und die entsprechenden Reaktionsweisen zu beachten:

Thermische Neutronen (E < 0,5 eV) verursachen Einfang- und Austauschreaktionen: ^{1}H (n,γ) 2H, wobei das Photon 2,2 MeV Energie besitzt, sowie $^{14}N(n,p)^{14}C$ mit einer Protonenenergie von 460 keV.

Relativistische Neutronen (E > 20 MeV) können Spallationen hervorrufen. Man spricht von Spallation, wenn Neutronen durch eine Kollision von Protonen mit neutronenreichen Elementen (Uran, Blei) erzeugt werden.

Schnelle Neutronen (100 keV < E < 20 MeV) führen vorwiegend elastische Stöße mit Wasserstoffkernen aus, denen sie pro Stoß im Durchschnitt die Hälfte ihrer kinetischen Energie übertragen.

Intermediäre Neutronen (0,5 eV < E < 100 keV) zeigen keine für sie typische Reaktion. Mit zunehmender Energie nimmt die Wahrscheinlichkeit der Einfang- und Austauschreaktionen ab und die der elastischen Stöße zu (Neutronenstrahlung, gesehen unter URL: http://www.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden/lvradiop/neutron.htm am 21.07.02).

Für die Untersuchung an der Containerprüfanlage von Bedeutung war die Überlegung von Mao (1997) über die Entstehung von Neutronenstrahlung. Bei Energien von 10 MeV können demnach aufgrund des Kernphotoeffektes Neutronen freigesetzt werden (vgl. Abb. 2.2.2 D).

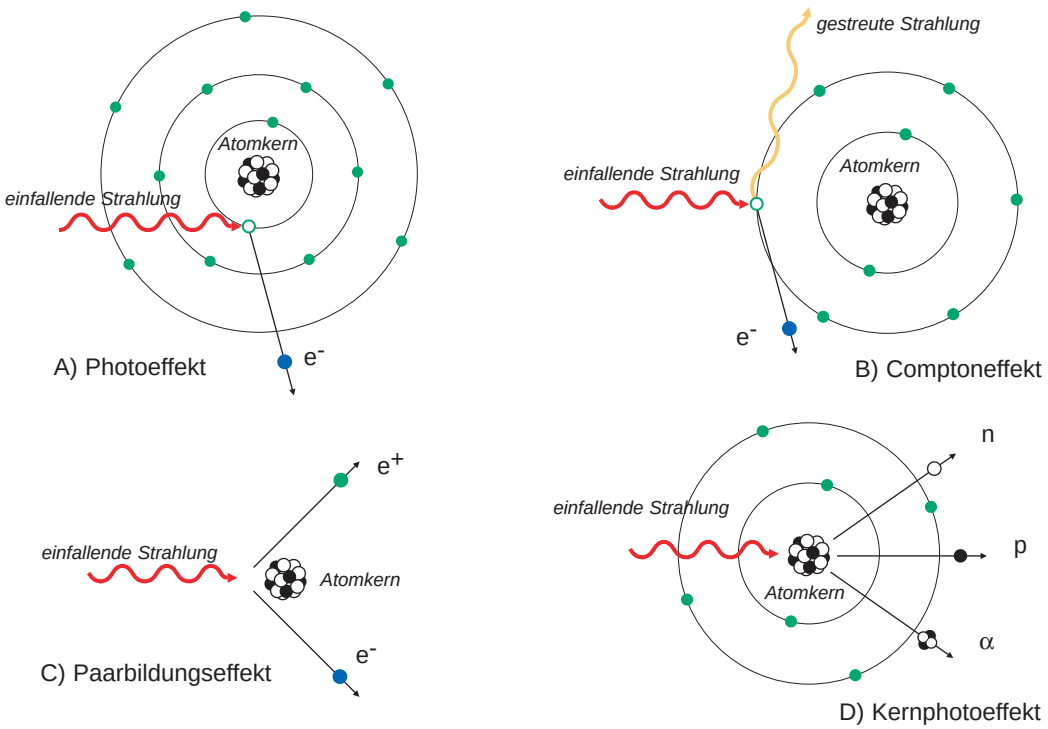


Abb. 2.2.2: Wechselwirkungsprozesse von Photonen mit Materie. Unter D) wird der Kernphotoeffekt dargestellt: Ein einfallendes Photon trifft auf einen Atomkern und trägt so zur Entstehung eines Elektrons, Protons und Neutrons bei. Die Abbildung wurde in Anlehnung an die schematischen Darstellungen von URL: http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/reichweiten.html, gesehen am 21.07.02 modifiziert dargestellt.

2.3 Meßorte

Für die vorliegende Arbeit wurden Meßorte ausgewählt, bei denen die Registrierung einer Neutronenstrahlung zu erwarten war. Diese liegen nahe dem Entstehungsort der ultraharten Röntgenstrahlen. Da während des Betriebes der Beschleunigeranlage der Aufenthalt von Personen in der Anlage untersagt ist, wurde zum einen außerhalb des Gebäudes unmittelbar hinter der Beschleunigerröhre gemessen (Meßort X1), und zum anderen im Tunnelbereich vor der Lastwagenspur (Meßort Y2). Die Neutronenmeßsonde wurde an der Grenze der Strahlenfelder positioniert, der direkte Strahlengang wurde vermieden. Zusätzlich wurde an der gegenüberliegenden Tunnelseite, also hinter der Lastwagenspur, gemessen (Meßort Y1). Die Grundlage dessen war die Überlegung, daß der Neutronenfluß pro Flächeneinheit bei durchstrahltem Objekt geringer ist.

Zusätzlich wurden punktuell auch außerhalb des Tunnels Messungen als Stichproben durchgeführt. Dies geschah an Orten bei denen eine gewisse Wahrscheinlichkeit für den Aufenthalt von Personen besteht, die sind zum einen der Gang der Lastkraftwagenfahrer in der Nachbarschaft der Anlage (Meßort X2) und zum anderen ein Arbeitsraum in unmittelbarer Nähe des Strahlenganges des horizontalen Linearbeschleunigers (Meßort X3). Außerhalb des Tunnels, im sogenannten Wartungsturm, ist der Aufenthalt einer Person erlaubt, zum Beispiel im Rahmen von Reparaturarbeiten, deshalb wurde auch hier gemessen (Meßort Z).
Gemessen wurde über mehrere Stunden und Tage. Protokolliert wurden die Anzahl der durchleuchteten Fahrzeuge und ihre Waren sowie die Betriebszeit der Anlage an den betreffenden Tagen. Es war möglich, bei den verschiedenen Betriebszeiten der Beschleuniger bei 20- und 40-Fuß-Containern die Abschwächung des Neutronenflusses zu erfassen.

2.4 Auswahl der untersuchten Fälle

Analysiert wurden die erfaßten Fälle bei 67.000 Containerdurchleuchtungen, die in der Zeit 30.09.96 bis zum 23.06.01 in Hamburg durchgeführt wurden. Es handelt sich um Summationsaufnahmen beider Ebenen. Im einzelnen wurden dabei 130 Fälle von ungesetzlichem Warentransport erfasst und ausgewertet.

Bei einem Gesamtumschlag von 85,1 Millionen t Güter im Jahr 2000 im Hamburger Hafen, wobei 45,3 Millionen t allein auf die Container abfallen, muß der Zoll in Hinblick auf die Durchleuchtung eine **Auswahl der Container** treffen. Hierbei gilt es, besondere Kriterien zu beachten: Die Betrachtung des Herkunftslandes und des weiteren Transportweges bis hin zum Bestimmungsland, sind in vielerlei Hinsicht von Bedeutung. Dabei spielen aktuelle politische Entwicklungen, wie zum Beispiel kriegerische Auseinandersetzungen ebenso eine Rolle, wie natürliche geographische oder klimatische Besonderheiten, die beispielsweise ein Wachstum von Pflanzen zur Drogengewinnung erst ermöglichen.
Empfänger oder Versender, die aufgrund ihrer Vergangenheit oder ihrer Arbeit potentiell verdächtig erscheinen, werden erfaßt und gegebenenfalls wiederholt überprüft. Widersprüchliche Zollanmeldungen, Verschlußverletzungen, fehlendes oder nicht stimmiges Reedereisiegel und andere offensichtlich nicht korrekt deklarierte Waren erwecken ebenfalls die Aufmerksamkeit des Kontrolleurs. Die Containerprüfanlage dient aber auch der Überprüfung von bestehenden Verboten, Beschränkungen und Ausfuhrkontrollen etwa bei angeordnetem wirtschaftlichen Embargo. Bei schwerer, sperriger oder unübersichtlicher Fracht ist eine Mengenfeststellung oder die komplette Durchsicht der Ware in Hinblick auf die Beschaffenheit leicht in der Containerprüfanlage durchführbar. In der Drogenfahndung haben sich oftmals „Tips aus dem Untergrund“ bewährt. Aber auch ein auffälliges Verhalten des Fahrzeughalters und ein zu langes Parken auf ungewöhnlichen Plätzen, führte in der Vergangenheit zu einer Kontrolluntersuchung mittels Durchleuchtung im Hamburger Hafen.

2.5 Technische Lösungen verschiedener Containerprüfanlagen

Bei einem Vergleich von verschiedenen Containerprüfanlagen werden nachfolgend zwei unterschiedliche Systeme beispielhaft vorgestellt:

1. Die Anlage TC-Scan, entwickelt vom Chinesischen Institut für Kernenergie und Technologie der Universität Tsinghua und im europäischen Raum vertreten durch die Firma International Scanning Systems (ISS) in Stockholm.
2. CargoSearch, eine Containerprüfanlage der Firma American Science & Engineering (AS&E).

2.5.1 TC-Scan

Die chinesische Anlage arbeitet mit einer Cobalt-60 Quelle. Die Bilder werden durch Detektoren mit ionisierendem Gasgemisch, welches die Gammastrahlung der Cobalt-60 Quelle registriert, erzeugt (Abb. 2.5.1.1). Durch eine unterschiedliche Positionierung läßt sich ein Container zwar nicht in zwei Ebenen durchleuchten, verschiedene Winkel des Strahlenganges ermöglichen jedoch verschiedene Projektionen. Durch die Aufarbeitung der erhaltenen digitalen Infomationen wird mit Hilfe von Computern ein Bild erstellt. Eine Bearbeitung mit Zoom, Ausschnittvergrößerung, Falschfarbendarstellung und Verwendung verschiedener Graustufen ist möglich. Als Vorteil der Anlage werden vom Hersteller der hohe Durchsatz und ein geringer Wartungsaufwand genannt (TC-Scan, 2000).

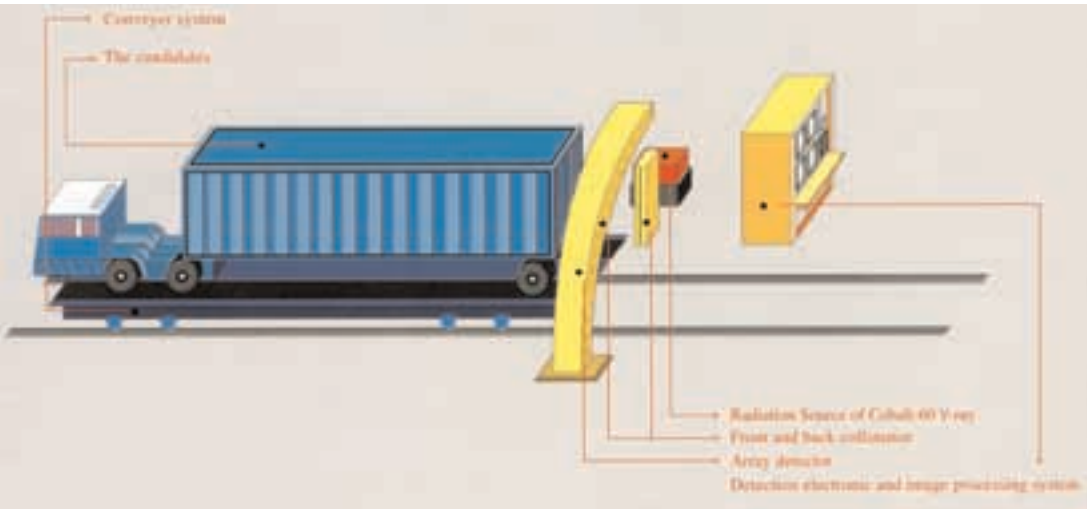


Abb. 2.5.1.1: Im roten Behälter befindet sich eine Cobalt-60 Quelle mit einer Aktivität von 1-11 TBq. Die Abschirmung wiegt etwa 250 kg. Die freigesetzten Röntgenstrahlen werden durch den Kollimator zu einen schmalen Strahl gebündelt und von den Detektoren zu einem Bild verarbeitet.
International scanning systems (TC-Scan, 2000).

2.5.2 CargoSearch

Die amerikanische **Containerprüfanlage der Firma American Science & Engineering** (AS&E) arbeitet mit Streustrahlung (Abb. 2.5.2.1). Die Anlage wird zum Nachweis geschmuggelter Güter eingesetzt. Ähnlich wie in der Hamburger Containerprüfanlage dient als Strahlenquelle ein Beschleuniger. Neben den bekannten Elementen, wie Strahlenquelle, Kollimator und Detektoren, wird zusätzlich noch ein weiterer Detektor für die Streustrahlung und ein sich drehendes Rad zur Intensivierung der Streustrahlung (Abb. 2.5.2.2) verwendet. Das Rad ist mit mehreren strahlendurchlässigen Öffnungen versehen. Durch die Geschwindigkeit der Drehung wird die durchtretende Strahlung definiert. Dieses System ermöglicht es dem Untersucher, Umrisse und Formen zu erkennen, die laut Hersteller mit einer anderen Verfahrenstechnik wahrscheinlich unentdeckt geblieben wären. Der Vorteil der zusätzliche Auswertung der Streustrahlung zum eigentlichen Durchleuchtungsprozess bietet dem Untersucher die zusätzliche Möglichkeit der Differenzierung unterschiedlicher Materialien organischer oder gemischter Art. Eine besondere Eignung wird für den Nachweis von Drogen und Sprengstoff angegeben. Das gleiche technische Prinzip, wird sowohl zum Durchleuchten von Gepäckstücken, als auch zur Kontrolle von Containern eingesetzt. Neben der Verhinderung von Schmuggel liegt der besondere Schwerpunkt beim Einsatz dieser Anlage in der Drogen- und Waffensuche, sowie der Unterbindung terroristischer Aktivitäten (AS&E, 2001).

Abb. 2.5.2.1

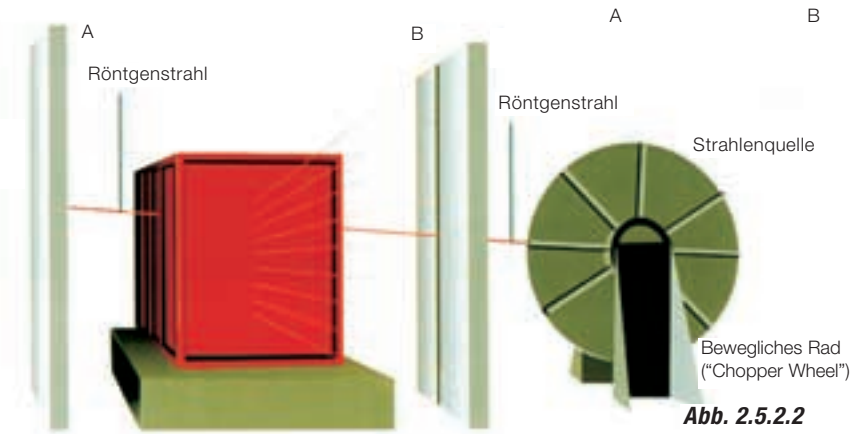


Abb. 2.5.2.2

A. Detektorzeile zur Erstellung des Durchleuchtungbildes.

B. Detektorzeile zur Erstellung der Streustrahlung zu einem Bild.

Abb. 2.5.2.1: Containerprüfanlage CargoSearch der Firma AS&E. URL:http://www.as-e.com/images/pic_cargo01.jpg, gesehen am 21.07.02.

Abb. 2.5.2.2: Strahlenquelle mit beweglichem Rad („Chopper Wheel“) zur Intensivierung der Streustrahlung. Containerprüfanlage CargoSearch der Firma AS&E (AS&E, 2001).

2.6 Kontroll-, Aufklärungs- und Verfolgungsmethoden

Der Aufbau der verschiedenen Geräte unterscheidet sich nicht nur in der Größe, sondern auch in der Leistung. Die Bestandteile hingegen sind überwiegend vergleichbar: Röntgenstrahler (Röntgenröhre und Röhrenschutzgehäuse), Kollimator, fächerförmiger und schmaler Röntgenstrahl, ein Halbleiter-Detektor zur digitalen Datenverarbeitung, Sicherheitsleuchten und Klingel sowie Notausschalter. Eine Monitoranlage zeigt die kontrastierten und detailierten Aufnahmen in Farbtönen. Die Anordnung der Bestandteile variiert. Dargestellt werden **Gepäck-** und **Personenkontrollsysteme** jeweils unter Berücksichtigung der Prinzipien der Durchleuchtung (Transmission), Rück- und Vorwärtsstreuung (Abb. 2.6.1-3).

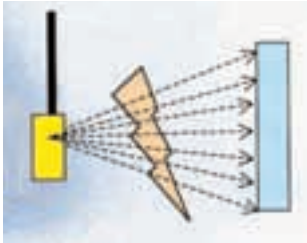


Abb. 2.6.1: Prinzip einer Durchleuchtung / Tomographie. Darstellung des gesamten Objektes in einem kompletten Bild (Niemann, 2002).

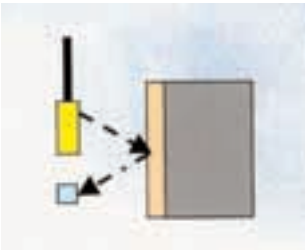


Abb. 2.6.2: Prinzip der Rückstreuung. Darstellung erfolgt Punkt-für-Punkt (Niemann, 2002).

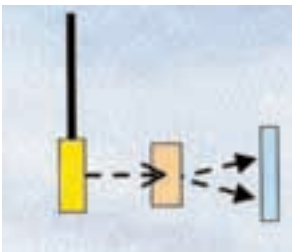


Abb. 2.6.3: Prinzip der Vorwärtsstreuung. Darstellung erfolgt Punkt-für-Punkt (Niemann, 2002).

Gepäckkontrollsysteme

Beispielhaft werden von einigen Firmen Anlagen gezeigt, die die verschiedenen Techniken und Prinzipien unterschiedlich zum Einsatz bringen: Gepäckkontrollanlagen basierend auf dem **Prinzip der Durchleuchtung / Transmission** (Abb. 2.6.1) werden in Deutschland in erster Linie durch die Firma Heimann vertrieben (Abb. 2.6.4 und 2.6.5). Mehrere Geräte mit den unterschiedlichsten Maßen stehen serienmäßig zur Verfügung. Diese Anlagen werden bevorzugt an Flughäfen, von Transportgesellschaften und Gepäckdiensten verwendet. Für kleinere Gegenstände, wie zum Beispiel Postpäckchen oder Pakete, aber auch Briefe oder kleine Taschen gibt es Geräte, die einen angepaßten Tunneldurchmesser von beispielsweise nur 53 cm x 33 cm aufweisen. Außer in Postämtern kommt es mittlerweile auch an Schulen zu einem Einsatz solcher Geräte.

Abb. 2.6.4: Geeignet für Handgepäckkontrollen (Tunnelgröße 620 cm x 418 mm) HI-SCAN 6040i der Firma Heimann. URL: http://www.heimannsystems.com/ALL/graphics/6040ib.gif, gesehen am 21.07.02.

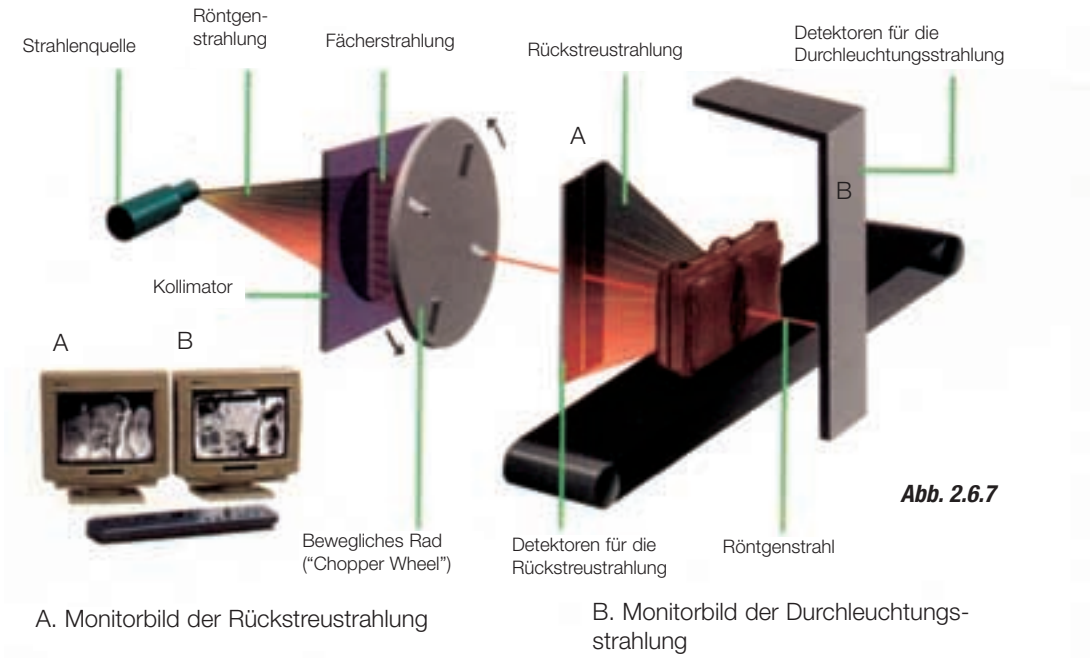
Abb. 2.6.5: Strahlenquelle (blau) durchleuchtet in Richtung auf eine gewinkelte Detektorenleiste (gelb). HI-SCAN 6040i der Firma Heimann. URL: http://www.heimannsystems.com/GERMAN/html/technol_ger.htm, gesehen am 21.07.02.

Kleinere Anlagen, die optisch an ein normales Kopiergerät erinnern, lassen sich zum Beispiel in Banken, Industriegebäuden, Fernseh- und Rundfunkanstalten, Gerichtsgebäuden und anderen Sicherheitsbereichen einsetzen. Sie dienen der täglichen Kontrolle eingelieferter Post und kleineren Gegenständen (Heimann, 2002).

Das **Prinzip der Rückstreuung** (Abb. 2.6.2) kommt zum Beispiel bei der amerikanischen Firma AS&E zum Einsatz. Die Absicht ist hier, eine genauere Differenzierung der verschiedenen organischen und anorganischen Gegenstände anhand der unterschiedlichen Kontrastierung der Inhalte eines Gepäckstückes zu erhalten. Wie auch bei der Containerprüfanlage dieser Firma (Abb. 2.5.2.1 und 2.5.2.2) kommt die Detektion der zurückstrahlenden Röntgenstrahlen zusätzlich zu dem Prinzip der Durchleuchtung zum Einsatz. Auf zwei Monitoren werden zeitgleich beide Abbildungen (Abb. 2.6.6 und 2.6.7) wiedergegeben (AS&E, 2001).

Abb. 2.6.6: Röntgenprüfsystem für den Einsatz an Flughäfen. Die Tunnelgröße beträgt 124 cm x 127 cm. Modell 101ZZ der Firma AS&E. URL: http://www.as-e.com/images/ pic_zz01.jpg, gesehen am 21.07.02.

Abb. 2.6.7: Das Prinzip der doppelten Ausnutzung (Durchleuchtung (=Transmission) und Rückstreuung) der eingesetzten Röntgenstrahlung (AS&E, o.J.).



Basierend auf dem **Prinzip der Vorwärtsstreuung** (Abb. 2.6.3) soll unter anderem eine möglichst empfindliche Detektion von Sprengstoff gewährleistet werden. Die Firma YXLON International (Abb. 2.6.8) nutzt dieses Prinzip für die Gepäckstücküberprüfung. Eine Röntgenröhre mit einem kontinuierlichen Spektrum durchstrahlt, gebündelt durch die Kollimatoren, die zu prüfenden Gegenstände. In dem durchleuchteten Objekt kommt es dann zu einer Streuung. Beim Austreten dieser gestreuten Strahlung aus dem Objekt fangen mehrere nachgeschaltete Kollimatoren (Streukollimatoren) diese Streuung auf und leiten sie auf getrenntliegende energieauflösende Detektoren (Abb. 2.6.9). Als Ergebnis erhält man spezifische Spektren, die sich bestimmten Stoffen zuordnen lassen. Auf diese Art und Weise lassen sich Sprengstoffe, Drogen und andere gefährliche Güter differenzieren. Durch das Gerät XES 3000 der Firma YXLON ist somit indirekt eine chemische Analyse ohne ein Öffnen der Gepäckstücke in wenigen Sekunden möglich (Niemann, 2002).

Abb. 2.6.8: Die Firma YXLON entwickelte eine halbautomatische Gepäckdurchleuchtungsanlage zur Detektion von organischen und anorganischen Substanzen. Eine Analyse der chemischen Zusammensetzung wird dabei realisiert (Niemann, 2002).

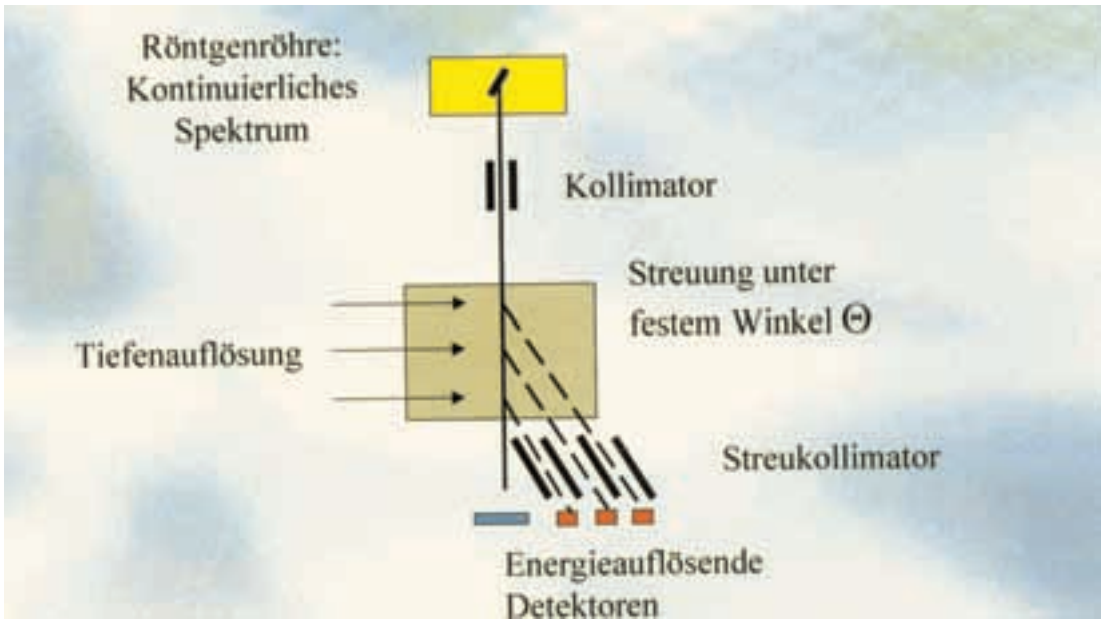


Abb. 2.6.9: Schematischen Aufbau der Gepäckkontrollanlage der Firma YXLON (Niemann, 2002).

Personenkontrollsysteme

Die Anlagen zur Personenkontrolle verfolgen das Ziel, möglichst schnell und sicher alles sichtbar zu machen, was sich in und unter der Kleidung einer Person befindet. Vergleichbar mit Gepäckkontrollsystemen kommen die Prinzipien der Durchleuchtung und der Rückstreuung zum Einsatz. Zunächst sollen zwei Anlagen, die auf dem **Prinzip der Rückstreuung** entwickelt wurden, beispielhaft vorgestellt werden:

Abb. 2.6.10: Der Untersuchte muß sich abwechslend mit der Vorder- bzw. Rückseite für 8 bzw. 10 s an das Untersuchungsgerät stellen. BodySearch der Firma AS&E. URL: http://www.as-e.com/images/ pic_body 01.jpg, gesehen am 21.07.02.

Bei der Anlage **BodySearch** der Firma **AS&E** (Abb. 2.6.10) muß sich der Untersuchte abwechselnd mit der Vorderseite (Brust) beziehungsweise Rückseite (Rücken) für 8-10 s an die Wand des Untersuchungsgerätes stellen. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit einer oder zwei zusätzlicher seitlichen Aufnahmen. In den USA kommt die Anlage an mehreren großen Flughäfen zum Einsatz (Allen, 2000). Die Verkürzung der Untersuchungszeit und Reduktion der Strahlenexposition wird in einer Weiterentwicklung des Systems realisiert (Rothschild, 2002).

Abb. 2.6.11: Das System SECURE 1000 untersucht eine Körperseite in 3 Sekunden. URL: http://www.dspguide.com/secure.htm, gesehen am 21.07.02.

Das System **SECURE 1000** der Firma **RAPISCAN** (Abb. 2.6.11) soll laut Hersteller neben Drogen auch Waffen und Sprengstoffe ausfindig machen, die unter der Kleidung verborgen sein können und durch konventionelle Metalldetektoren nicht erfaßt werden. Es arbeitet schneller als das System BodySearch von AS&E: Drei Sekunden dauert die Untersuchung einer Körperseite, eine komplette Untersuchung nur sechs Sekunden (URL: http://www.dspguide.com/ secure.htm, gesehen am 21.07.02). Eine spezielle Weiterentwicklung ist das System SECURE 2000, welches während eines gemäßigten Schrittes eine Person unbemerkt und in vier verschiedenen Perspektiven abbilden kann (Abb. 2.6.12).

Abb. 2.6.12: Das System SECURE 2000 in der Fertigungshalle. Geplant ist der Einbau des Systems in einen Flur oder einer Eingangshalle eines Palastes. URL: http://www.dspguide.com/xray-sys.htm, gesehen am 21.07.02.

Alternativ zu den beiden vorgestellten Anlagen wird bei dem System **CONPASS-X-1280** (Abb. 2.6.13) der niederländischen Firma **CONPASS** das **Prinzip der Durchleuchtung / Transmission** bei der Personenkontrolle eingesetzt. Der zu Untersuchende steht auf einer beweglichen Plattform und wird mit einer definierten Geschwindigkeit durch ein Strahlenfeld bewegt. Das Gerät kann - mit einem Schwenkarm versehen - auch auf dem Boden stehende oder sitzende Personen (zum Beispiel Rollstuhlfahrer) untersuchen. Das erstellte Bild zeigt die kontrollierte Person in Form eines aufrechten beziehungsweise sitzenden Skeletts, wobei sogar im Körper verborgene Gegenstände nachgewiesen werden können (M.M.C. International B.V., 2002).

Abb. 2.6.13: Alternativ zu der abgebildeten Anordnung mit beweglichem Boden, gibt es die Möglichkeit, daß die untersuchte Person steht und mit eine bewegliche Detektorzeile umfahren wird. Gerät CONPASS x-1280 der Firma M.M.C.International B.V.. URL: http://www.conpass.net/blueconpass.jpg, gesehen am 21.07.02.

Das Röntgensystem **Scannex Lodox** (**LO**w **DO**sage **X**-ray) ist eine Eigenentwicklung der Minenbesitzer des De Beers Konzerns (DEBEX) in Namibia (Jaeckisch, 2001). Dieses Röntgenkontrollsystem setzt ebenfalls das **Prinzip der Durchleuchtung** ein und wird zur Kontrolle der Angestellten des Diamantenabbaugebietes bei Oranjemund eingesetzt. Durch die Anwendung der Anlage soll sichergestellt werden, daß Diamanten nicht illegal aus der Mine entfernt werden. Darüber hinaus wird dieser Anlagentyp auch zur schnellen orientierenden Untersuchung, zum Beispiel von polytraumatisierten Patienten, in Akutkrankenhäusern (z.B. Cape Town`s Groote Schuur Hospital) eingesetzt (Heard, 1999).

2.7 Verfolgung und Markierung von Personen und Gegenständen

Bei der Bearbeitung des Themas, das sich mit Verfahren an Landesgrenzen zur Kontrolle von Gegenständen und Personen befaßt, ergab sich eine interessante Verbindung zu Methoden, die von Geheimdiensten an Grenzen eingesetzt worden sind und noch eingesetzt werden. Die Gauckbehörde in Berlin hat die Unterlagen der zuständigen Stellen in der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik nach dem Fall der Mauer analysiert. Eisenfeld puplizierte die Ergebnisse im Jahre 2000. Auszüge werden hier kurz wiedergegeben:

Röntgenstrahlen wurden seit 1979 zur **Kontrolle des innerdeutschen Grenzverkehrs** ohne Wissen der kontrollierten Personen im Auftrag des Ministeriums für Staatssicherheit eingesetzt. An Grenzübergangsstellen zur Bundesrepublik Deutschland wurden ca. zehn 1 Ci ^{137}Cäsium-Strahler verwendet (Operativ-Technischer Sektor / 32 / 7 vom 4.1.89 (OTS)), mit denen auf der Suche nach Flüchtlingen Personenkraftwagen und Lastwagen durchleuchtet wurden (Abb. 2.7.1 und 2.7.2). Die Überlegungen von Würzberger und Dr. Leuteritz des OTSs der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik basierten auf einer Studie aus dem Jahre 1973, die eine

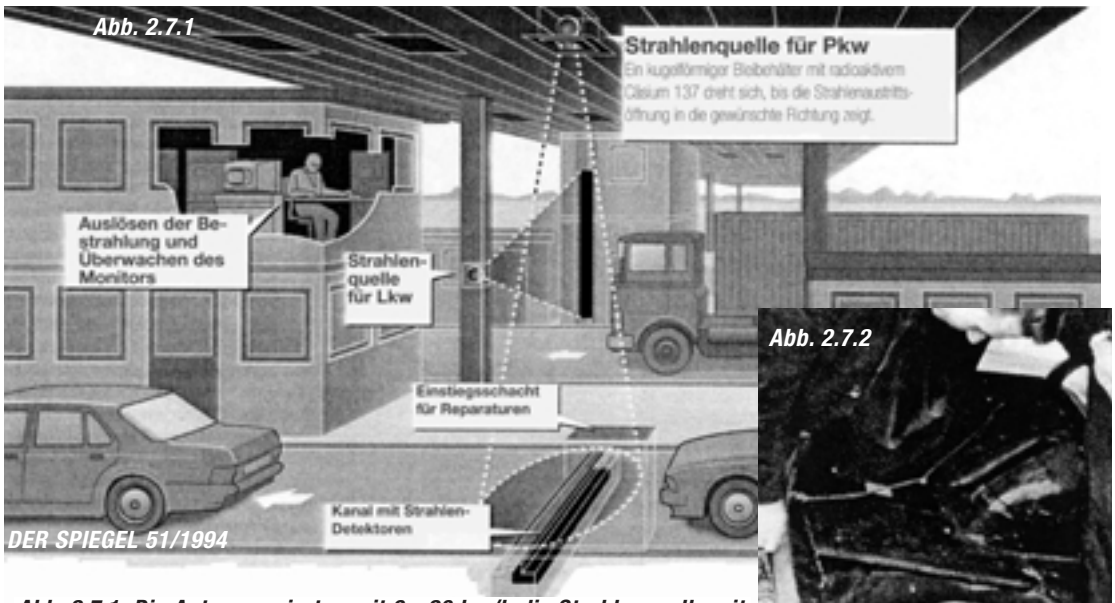


Abb. 2.7.1: Die Autos passierten mit 6 - 20 km/h die Strahlenquelle mit Detektorleiste. Die Blenden blieben zwischen 10-30 Sekunden geöffnet. Die Mechanik des Apparates wurde durch die Offiziere der Staatssicherheit durch einen Knopfdruck ausgelöst (Halter, 1994).

Abb. 2.7.2: Der Mechaniker H. Edelmann demonstriert, wie er seine Frau über die Grenze schmuggelte (Halter, 1994).

"Durchstrahlung von Fahrzeugen mit harten Röntgenstrahlen" vorsah. Der Hersteller der schließlich gebauten Röntgenanlage legte eine 40stündige Einschaltzeit des Strahlers pro Woche und eine maximal "zulässige Personendosis pro Monat (4 Wochen) ohne Anwendung zusätzlicher Strahlenschutzmittel (z.B. Schutzkleidung) von 400 mR zugrunde".

Eine gesundheitsschädigende Wirkung wurde "ausgeschlossen", da die pro Röntgenbildaufnahme empfangene Dosis bei 0,04 mR lag und für einen "derartigen Personenkreis 10 mR pro Woche zulässig" schien. 1980 ging die Anlage in Marienborn in Dauerbetrieb. Der bis dahin favorisierte horizontale Strahlengang bewährte sich im Verlauf jedoch nicht beim Nachweis von Personenschleusungen, daher wurde eine vertikale Technik entwickelt. In fünf Meter Höhe wurde ein Gammastrahler installiert und in der Fahrbahn darunter ca. 100 Strahlendetektoren eingesetzt. Auf diese Weise wurden durch das Ministerium für Staatssicherheit 17 Kontrollpunkte mit gleichartigen Strahlungsquellen versorgt.

Darüber hinaus wurden auch spezielle Röntgeneinrichtungen zur Durchstrahlung von **Mauerwerk** vom OTS betrieben. Für diesen Zweck wurden 3 Ci ^{137}Cäsium-Quellen eingesetzt, zur Durchstrahlung von **Zylinderschlössern** dagegen 30 Ci ^{192}Iridium-Quellen.

Die Bedeutung des OTSs des Ministeriums für Staatssicherheit zeigte sich aber auch beim Einsatz **radioaktiver Substanzen als Markierungstechniken**. Dabei sollten hinsichtlich des Strahlenschutzes unter anderem solche Parameter und Bedingungen beachtet werden wie die Halbwertszeit der Nuklide, Emissionsenergie, Verfügbarkeit, Kosten, chemische Eigenschaft, Radiotoxizität, Markierungstechnologie und Trägermaterial. Als Deckbezeichnungen wurden Kennzahlen und der Begriff "Wolke" verwendet. Träger des Projekts Wolke 005 war das Ministerium für Staatssicherheit und bei ihm Diensteinheiten der Linie 26. Unter radioaktiv gekennzeichneten Objekten verstand das Ministerium markierte Gegenstände, Akten, Geräte, Fahrzeuge und die direkte Kennzeichnung von Personen. Je nach "Trägermaterial" gab es "konfektionierte" oder flüssige radioaktive Markierungsmittel. Zusammengearbeitet wurde mit dem Zentralinstitut für Kernforschung, das die Strahler lieferte. Vorangegangen war eine Abschätzung in einer Studie, die im Auftrag des Ministeriums für Staatssicherheit im Bereich Forensische Chemie der Sektion Kriminalistik an der Humboldt Universität zu Berlin (TOXDAT) zusammengestellt wurde. Die Studie unterstrich die Bedeutung der Radionuklide als Terrorgifte, da sie nicht durch Sinnesorgane wahrnehmbar sind und die Erkrankungssymptome unspezifisch sind.

Im Rossendorfer Forscherreaktor radioaktiv beschichtete handelsübliche **Stecknadeln** erwiesen sich als "Wolke"-Mittel 105-107, Kennzahl 47100-310 bis –330 bei der Spurensuche von sogenannten “Zielpersonen” als hilfreich. Mit radioaktiv markierte **Geldscheine** sollten hauptsächlich die schnelle Überführung von Gelddieben sichern helfen. Neben den bereits erwähnten Möglichkeiten gibt es eine Vielzahl weiterer, wie beispielsweise präparierte Papiere, Farbbänder, Kugelschreiberminen, Magnete (zur Verfolgung von Fahrzeugen) oder Bleidiabolos. Das Bleidiabolo wurde aufgebohrt und mit einem speziell geformten Aluminiumteil verfestigt, das die Markierungssubstanz (ein radioaktiv aktivierter Silberfaden) aufnahm. Mit Hilfe eines handelsüblichen Luftgewehrs konnte dann eine Markierung von Fahrzeugen mittels **Reifenschusses** vorgenommen werden (Abb. 2.7.3).

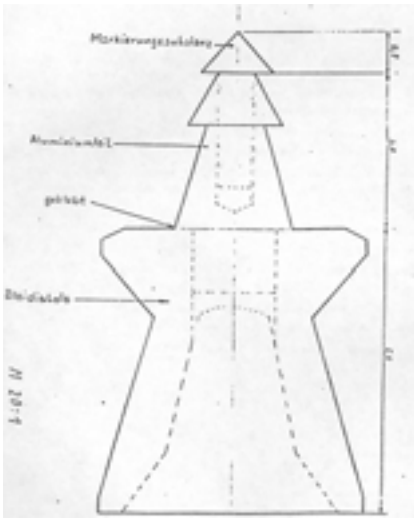


Abb. 2.7.3:
Bleidiabolo mit Markierungssubstanz.
(Eisenfeld, 2000)

3 Ergebnisse

3.1 Neutronendosis

3.1.1 Meßorte

Die Neutronendosis wurde an den Meßorten Y1 und Y2, Z und X1-3 erfaßt (Abb. 3.1.1.1).

Meßort Y1: Am Meßort Y1 (im Tunnel) wurden vom 02. bis 04.05.01 kontinuierlich über insgesamt 53 Stunden Messungen durchgeführt. Der Standort wurde auf der gegenüberliegenden Tunnelseite des horizontalen Beschleunigers nahe der Detektoren zwischen vertikalem und horizontalem Strahlengang gewählt (Abb. 3.1.1.2).

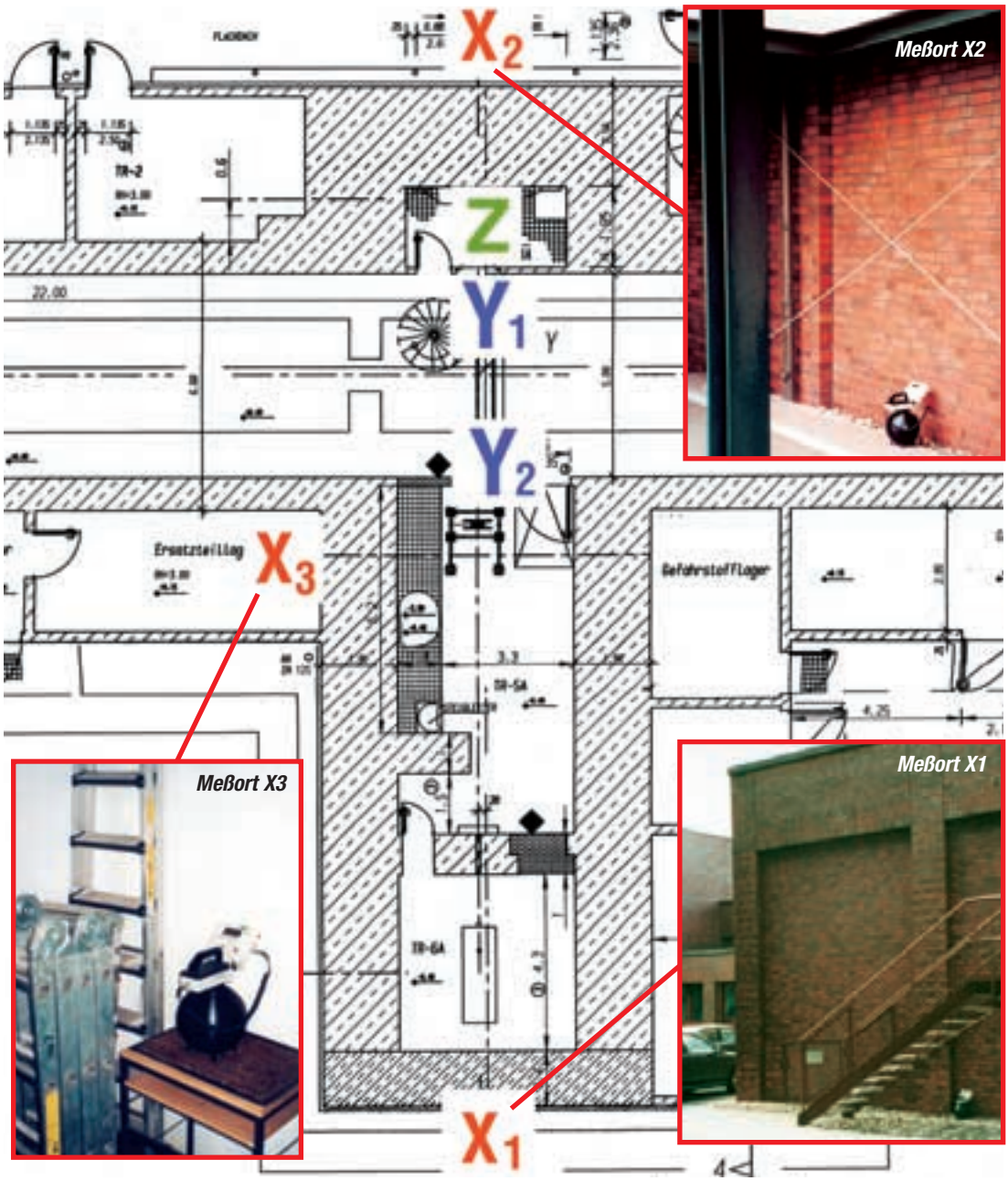


Abb. 3.1.1.1: Standorte der Neutronenmeßsonde: X1 befindet sich hinter dem horizontalen Beschleuniger. An dieser Stelle wurde speziell aus räumlichen Gründen Baryt-Beton verwendet. Die mit X1 und X2 bezeichneten Stellen sind für Personen, die sich auf dem Gelände der Containerprüfanlage befinden, frei zugänglich. X3 ist ein als Werkstatt benutzter Raum. Die Y1- und Y2-Standorte gehören zum Kontroll- bzw. Sperrbereich. Der Meßort Z befindet sich in dem Wartungsturm. Die Abstände zum horizontalen Beschleuniger betragen bei X1=4,30 m, X2=22 m, X3=10,5 m, Y2=12,3 m, Y1=16,75 m und Z=17,5 m nach Angaben der Zentralstelle für Strahlenschutz und Röntgentechnik der Bundesfinanzverwaltung (=ZfSR), 1996).

143 Container wurden in diesem Zeitraum kontrolliert und ihre Güter protokolliert. Die Messung der Neutronenstrahlung und die Mittelung dieser erfaßten Werte erfolgte jeweils über eine Stunde. Die Bestrahlungszeiten wurden ebenfalls festgehalten. Die Neutronenmessungen erfolgte auch in der betriebsfreien Zeit. Das Meßprotokoll zeigt die Tabelle 3.1.1.1 auf der folgenden Seite.

Abb. 3.1.1.2: Die Neutronensonde im Untersuchungstunnel auf der Seite der Detektoren. Die Ausrichtung der Sonde erfolgt in Abhängigkeit zur Strahlenquelle, entsprechend Meßpunkt Y1.

Der Spitzenwert der Dosis betrug am 02.5.01 zwischen 15:30 und 16:30 Uhr einen Wert von 547 nSv bei der längsten Durchleuchtungszeit von 295 Sekunden und am 03.05.01 zwischen 12:30 und 13:30 Uhr mit einer Dosis von 710 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 297 Sekunden. Dabei war die längste Durchleuchtungszeit am 03.05.01 zwischen 11:30 und 12:30 Uhr 343 Sekunden lang. Die Werte am 04.05.01 mit der höchsten Dosis von 590 nSv waren zwischen 9:30 und 10:30 Uhr und der längsten Durchleuchtungszeit zum gleichen Zeitraum mit 267 Sekunden.

Die höchsten Werte der Dosisleistung wurden am 02.05.01 zwischen 18:30 und 19:30 Uhr mit einer Dosis von 268 nSv und einer Durchleuchtungszeit von 90 Sekunden mit 3 nSv/s und am 03.05.01 zwischen 19:30 und 20:30 Uhr mit einer Dosis von 494 nSv und einer Durchleuchtungszeit von 159 Sekunden mit 3,1 nSv/s bestimmt. Am 04.05.01 zwischen 7:30 und 8:30 Uhr mit einer Dosis 502 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 147 Sekunden ergab sich eine Dosisleistung von 3,4 nSv/s.

Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am 02.05.01 zwischen 17:30 und 18:30 Uhr mit einer Dosis von 164 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 140 Sekunden bei 1,2 nSv/s. An diesem Tag betrug der Median 1,95 nSv/s. Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am 03.05.01 zwischen 10:30 und 11:30 Uhr mit einer Dosis von 293 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 270 Sekunden bei 1,1 nSv/s. An diesem Tag betrug der Median 1,7 nSv/s. Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am 04.05.01 zwischen 8:30 und 9:30 Uhr mit einer Dosis von 152 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 190 Sekunden bei 0,8 nSv/s. An diesem Tag betrug der Median 2,05 nSv/s.

Tabelle 3.1.1.1: Neutronenmessung während dreier Arbeitstage (02.05.01-04.05.01) in der Containerprüfanlage (Meßpunkt Y1). Meßsonde im Tunnelbereich nahe der Detektorzeile des horizontalen Linearbeschleunigers.

02.05.2001	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	10:30 - 11:30	507	206	2,5
2	11:30 - 12:30	473	234	2,0
3	12:30 - 13:30	405	243	1,7
4	13:30 - 14:30	236	86	2,7
5	14:30 - 15:30	235	130	1,8
6	15:30 - 16:30	**547**	**295**	1,9
7	16:30 - 17:30	205	79	2,6
8	17:30 - 18:30	*164*	*140*	*1,2*
9	18:30 - 19:30	***268***	***90***	**3,0**
10	19:30 - 20:30	90	45	2,0
11	20:30 - 21:30	329	174	1,9
12	21:30 - 22:30	168	88	1,9
				Median 1,95 nSv/h

03.05.2001	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	7:30 - 8:30	117	84	1,4
2	8:30 - 9:30	393	208	1,9
3	9:30 - 10:30	64	0	0,0
4	10:30 - 11:30	*293*	*270*	*1,1*
5	11:30 - 12:30	570	**343**	1,7
6	12:30 - 13:30	**710**	***297***	2,4
7	13:30 - 14:30	467	245	1,9
8	14:30 - 15:30	375	228	1,6
9	15:30 - 16:30	499	289	1,7
10	16:30 - 17:30	231	180	1,3
11	17:30 - 18:30	467	317	1,5
12	18:30 - 19:30	487	213	2,3
13	19:30 - 20:30	***494***	***159***	**3,1**
14	20:30 - 21:30	91	45	2,0
				Median 1,7 nSv/h

04.05.2001	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	7:30 - 8:30	***502***	***147***	**3,4**
2	8:30 - 9:30	*152*	*190*	*0,8*
3	9:30 - 10:30	**590**	**267**	2,2
4	10:30 - 11:30	541	223	2,4
5	11:30 - 12:30	216	104	2,1
6	12:30 - 13:30	157	79	2,0
7	13:30 - 14:30	194	131	1,5
8	14:30 - 15:30	173	88	2,0
				Median 2,05 nSv/h

Berechnet man den Median der Dosisleistung über die drei Meßtage kommt man auf einen Medianwert von 1,9 nSv/s und einem arithmetischen Mittel von 1,99 nSv/s.

Meßort Y2: Am **Meßort Y2** (im Tunnel) wurden vom 23. bis 25.04.01 kontinuierlich über insgesamt 69 Stunden Messungen durchgeführt. Die über den Zeitraum einer Stunde gemessenen Neutronenstrahlung wurde jeweils gemittelt. Der Standort wurde nahe des horizontalen Beschleunigers zwischen vertikalem und horizontalem Strahlengang gewählt (Abb. 3.1.1.3). Von den insgesamt 174 Containern wurde die Ware und die tatsächliche Durchleuchtungszeit jedes einzelnen Containers protokolliert. Die Neutronenmessungen wurden auch in der betriebsfreien Zeit fortgesetzt. Das Meßprotokoll zeigt die Tabelle 3.1.1.2. auf der folgenden Seite.

Abb. 3.1.1.3: Die Positionierung der Meßsonde erfolgte in unmittelbarer Nähe der beiden Strahlengänge, jedoch nicht direkt im Strahlengang. Das Bild zeigt die Meßsonde auf der Tunnelseite nahe der horizontalen Strahlenquelle entsprechend dem Meßpunkt Y2.

Der Spitzenwert der Dosis fiel am 23.04.01 zwischen 13:30 und 14:30 Uhr mit einem Wert von 1550 nSv bei der längsten Durchleuchtungszeit von 380 Sekunden und am 24.04.01 zwischen 9:30 und 10:30 Uhr mit einer Dosis von 1290 nSv bei der längsten Durchleuchtungszeit von 389 Sekunden an. Die Werte am 25.04.01 lagen mit der höchsten Dosis von 1730 nSv zwischen 16:30 und 17:30 Uhr und der längsten Durchleuchtungszeit zum gleichen Zeitraum mit 442 Sekunden.

Die höchsten Werte der Dosisleistung wurden am 23.04.01 zwischen 18:30 und 19:30 Uhr mit einer Dosis von 423 nSv und einer Durchleuchtungszeit von 88 Sekunden mit 4,8 nSv/s, am 24.04.01 zwischen 14:30 und 15:30 Uhr mit einer Dosis von 600 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 77 Sekunden und einer Dosisleistung mit 7,8 nSv/s bestimmt. Der höchste Dosisleistungswert am 25.04.01 lag zwischen 17:30 und 18:30 Uhr mit einer Dosis von 1040 nSv und einer Durchleuchtungszeit von 185 Sekunden bei einer Dosisleistung von 5,6 nSv/s.

Tabelle 3.1.1.2: Neutronenmessung über drei Arbeitstage (23.-25.4.01) in der Containerprüfanlage (Meßpunkt Y2). Meßsonde im Tunnel nahe dem horizontalen Linearbeschleuniger.

23.04.2001	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	10:30 - 11:30	496	124	4,0
2	11:30 - 12:30	570	135	4,2
3	12:30 - 13:30	*389*	*141*	*2,8*
4	13:30 - 14:30	**1550**	**380**	4,1
5	14:30 - 15:30	740	166	4,5
6	15:30 - 16:30	1150	344	3,3
7	16:30 - 17:30	840	292	2,9
8	17:30 - 18:30	1000	283	3,5
9	18:30 - 19:30	***423***	***88***	**4,8**
				Median 4 nSv/s

24.04.2001	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	8:30 - 9:30	*590*	*270*	*2,2*
2	9:30 - 10:30	**1290**	**389**	3,3
3	10:30 - 11:30	1200	367	3,3
4	11:30 - 12:30	630	148	4,3
5	12:30 - 13:30	1160	226	5,1
6	13:30 - 14:30	326	93	3,5
7	14:30 - 15:30	***600***	***77***	**7,8**
8	15:30 - 16:30	1040	292	3,6
9	16:30 - 17:30	990	242	4,1
10	17:30 - 18:30	1180	285	4,1
11	18:30 - 19:30	950	267	3,6
12	20:30 - 21:30	880	173	5,1
				Median 3,8 nSv/s

25.04.2001	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	8:30 - 9:30	213	44	4,8
2	9:30 - 10:30	680	195	3,5
3	10:30 - 11:30	670	202	3,3
4	11:30 - 12:30	840	255	3,3
5	12:30 - 13:30	930	209	4,4
6	13:30 - 14:30	1170	335	3,5
7	14:30 - 15:30	1000	219	4,6
8	15:30 - 16:30	1020	271	3,8
9	16:30 - 17:30	**1730**	**442**	3,9
10	17:30 - 18:30	***1040***	***185***	**5,6**
11	18:30 - 19:30	600	141	4,3
12	19:30 - 20:30	*141*	*78*	*1,8*
				Median 3,8 nSv/s

Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am 23.04.01 zwischen 12:30 und 13:30 Uhr mit einer Dosis von 389 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 141 Sekunden bei 2,8 nSv/s. An diesem Tag betrug der Median 4 nSv/s. Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am 24.04.01 zwischen 8:30 und 9:30 Uhr mit einer Dosis von 590 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 270 Sekunden bei 2,2 nSv/s. An diesem Tag betrug der Median 3,8 nSv/s. Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am 25.04.01 zwischen 19:30 und 20:30 Uhr mit einer Dosis von 141 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 78 Sekunden bei 1,8 nSv/s. An diesem Tag betrug der Median 3,8 nSv/s. Berechnet man den Median der Dosisleistung über alle drei Meßtage, kommt man auf einen Medianwert von 3,82 nSv/s und einem arithmetischen Mittel von 3,95 nSv/s.

Meßort Z: Am Meßort Z wurden vom 22. bis 23.05.01 kontinuierlich über insgesamt 47 Stunden Messungen durchgeführt. Der Meßort befand sich im Wartungsturm auf der Detektorseite des horizontalen Beschleunigers außerhalb des Tunnels zwischen dem vertikalen und horizontalen Strahlengang. Der Aufenthalt einer Person hier ist möglich, während des Betriebes der Anlage aber untersagt.
Von den insgesamt 123 Containern wurde die Ware und die tatsächliche Durchleuchtungszeit jedes einzelnen Containers protokolliert. Die Neutronenmessungen wurden auch in der betriebsfreien Zeit fortgesetzt. Das Meßprotokoll zeigt die Tabelle 3.1.1.3 auf der folgenden Seite.

Der Spitzenwert der Dosis fiel am 22.05.01 zwischen 9:40 und 10:40 Uhr mit einem Wert von 284 nSv bei der längsten Durchleuchtungszeit von 402 Sekunden und am 23.05.01 zwischen 13:40 und 14:40 Uhr mit einer Dosis von 282 nSv bei der längsten Durchleuchtungszeit zum gleichen Zeitraum mit 367 Sekunden an.

Die höchsten Werte der Dosisleistung wurden am 22.05.01 zwischen 12:40 und 13:40 Uhr mit einer Dosis von 138 nSv und einer Durchleuchtungszeit von 169 Sekunden mit 0,82 nSv/s, am 23.05.01 zwischen 7:40 und 8:40 Uhr mit einer Dosis von 40 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 42 Sekunden und einer Dosisleistung mit 0,95 nSv/s bestimmt.

Tabelle 3.1.1.3: Neutronenmessung während zweier Arbeitstage in der Containerprüfanlage (Meßpunkt Z). Meßsonde außerhalb des Tunnels im Wartungsturm nahe der Detektoren im Verlauf des horizontalen Strahlenganges.

22.05.2001	Uhrzeit	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	6:40 - 7:40	27	44	0,61
2	7:40 - 8:40	131	176	0,74
3	8:40 - 9:40	262	360	0,73
4	9:40 - 10:40	284	402	0,71
5	10:40 - 11:40	214	296	0,72
6	11:40 - 12:40	81	138	0,59
7	12:40 - 13:40	138	169	0,82
8	13:40 - 14:40	96	180	0,53
9	14:40 - 15:40	143	223	0,64
10	15:40 - 16:40	123	178	0,69
11	16:40 - 17:40	145	225	0,64
12	17:40 - 18:40	98	134	0,73
13	18:40 - 19:40	110	180	0,61
14	19:40 - 20:40	94	130	0,72
				Median 0,7 nSv/s

23.05.2001	Uhrzeit	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	6:40 - 7:40	36	44	0,82
2	7:40 - 8:40	40	42	0,95
3	8:40 - 9:40	138	170	0,81
4	9:40 - 10:40	145	174	0,83
5	10:40 - 11:40	33	90	0,37
6	11:40 - 12:40	55	92	0,6
7	12:40 - 13:40	240	361	0,66
8	13:40 - 14:40	282	367	0,77
9	14:40 - 15:40	173	246	0,7
10	15:40 - 16:40	232	277	0,84
11	16:40 - 17:40	173	255	0,68
12	17:40 - 18:40	91	132	0,69
13	18:40 - 19:40	122	170	0,72
				Median 0,7 nSv/s

Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am 22.05.01 zwischen 13:30 und 14:30 Uhr mit einer Dosis von 96 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 180 Sekunden bei 0,53 nSv/s. An diesem Tag betrug der Median 0,7 nSv/s. Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am 23.05.01 zwischen 10:40 und 11:40 Uhr mit einer Dosis von 33 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 90 Sekunden bei 0,37 nSv/s. An diesem Tag betrug der Median 0,7 nSv/s. Berechnet man den Median der Dosisleistung über die beiden Meßtage kommt man auf einen Medianwert von 0,71 nSv/s und einem arithmetischen Mittel von 0,7 nSv/s.

Meßorte X1-3: Die Messungen an den Meßorten X1-3 hatten das Ziel, an Orten an denen ein Aufenthalt von Personen erlaubt ist die Neutronendosis zu bestimmen. Am **Meßort X1** (Rück-/Außenwand des horizontalen Beschleunigers) wurde drei Stunden gemessen. Elf Container wurden während dieser Zeit durchleuchtet. Am **Meßort X2** (von Lastwagenfahrern und Zöllnern genutzter Verbindungsgang) wurde ebenfalls drei Stunden gemessen. Während dieser Zeit wurden 20 Container durchleuchtet. Am **Meßort X3** (Werkstatt nahe dem horizontalen Beschleuniger) wurde über 15 Stunden gemessen. Während dieser Zeit wurden 21 Containern durchleuchtet (Tabelle 3.1.1.4 auf der folgenden Seite).

Der Spitzenwert der Dosis fiel am Meßort X1 am 31.05.01 zwischen 15:00 und 16:00 Uhr mit einen Wert von 11 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 370 Sekunden an. Die längste Durchleuchtungszeit des gleichen Tages betrug zwischen 16:00 und 17:00 Uhr 376 Sekunden. Am Meßort X2 war zwischen 12:00 und 13:00 Uhr der Spitzenwert der Dosis 12 nSv bei der längsten Durchleuchtungszeit zum gleichen Zeitraum mit 176 Sekunden. Am Meßort X3 betrug die höchste Dosis zwischen 20:00 und 21:00 Uhr bei einer Durchleuchtungszeit von 198 Sekunden 9 nSv. Die längste Durchleuchtungszeit an diesem Meßort zwischen 19:00 und 20:00 Uhr betrug 209 Sekunden.
Die höchsten Werte der Dosisleistung wurde am Meßort X1 zwischen 17:00 und 18:00 Uhr mit einer Dosis von 6 nSv und einer Durchleuchtungszeit von 84 Sekunden mit 0,071 nSv/s und am Meßort X2 zwischen 13:00 und 14:00 Uhr mit einer Dosis von 10 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 133 Sekunden mit 0,075 nSv/s bestimmt. Am Meßort X3 fiel die höchste Dosisleistung zwischen 21:00 und 22:00 Uhr mit einer Dosis von 5 nSv und einer Durchleuchtungszeit von 88 Sekunden mit 0,057 nSv/s an.

Die niedrigsten Werte der Dosisleistung lagen am Meßort X1 zwischen 16:00 und 17:00 Uhr mit einer Dosis von 10 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 376 Sekunden bei 0,027 nSv/s, am Meßort X2 zwischen 14:00 und 15:00 Uhr mit einer Dosis von 8 nSv bei einer Durchleuchtungszeit von 168 Sekunden bei 0,048 nSv/s und am Meßort X3 zwischen 19:00 und 20:00 mit einer Dosis von 6 nSv/h bei einer Durchleuchtungszeit von 209 Sekunden bei 0,029 nSv/s.

Tabelle 3.1.1.4: Messungen außerhalb des Kontroll- und Sperrbereiches.

31.05.2001 Meßpunkt X1	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	15:00 - 16:00	**11**	**370**	0,03
2	16:00 - 17:00	10	***376***	0,027
3	17:00 - 18:00	6	84	0,071
		Durchschnitt:	0,04 nSv/s	

31.05.2001 Meßpunkt X2	Uhrzeit (h)	Dosis nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	12:00 - 13:00	**12**	**176**	0,068
2	13:00 - 14:00	10	133	0,075
3	14:00 - 15:00	8	168	0,048
		Durchschnitt:	0,06 nSv/s	

31.05.2001 Meßpunkt X3	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	18:00 - 19:00	7	150	0,047
2	19:00 - 20:00	6	***209***	0,029
3	20:00 - 21:00	**9**	**198**	0,045
4	21:00 - 22:00	5	88	0,057
01.06.2001				
5	7:00 - 8:00	6	139	0,043
6	8:00 - 9:00	7	88	0,08
		Durchschnitt:	0,05 nSv/s	

3.1.2 Vergleich mit der Umgebungsstrahlung

Zum Vergleich wurde die Neutronendosis in einer Mietwohnung bestimmt. Die ermittelten Werte lagen zwischen 4 und 7 nSv/h. Die Meßdauer betrug 5 Stunden. Der Median betrug 6 nSv/h, das arithmetische Mittel 5,4 nSv/h (Tabelle 3.1.2.1).

Tabelle 3.1.2.1: Kontrollmessung in einer Mietwohnung (Altbau).

01.06.2001 Mietwohnung	Uhrzeit (h)	Dosis (nSv)	Durchleuchtungszeit (s)	Dosisleistung (nSv/s)
1	11:30 - 12:30	6	*-Kontrolle-*	*-Kontrolle-*
2	12:30 - 13:30	4	*-Kontrolle-*	*-Kontrolle-*
3	13:30 - 14:30	4	*-Kontrolle-*	*-Kontrolle-*
4	14:30 - 15:30	6	*-Kontrolle-*	*-Kontrolle-*
5	15:30 - 16:30	7	*-Kontrolle-*	*-Kontrolle-*

Es zeigt sich, daß an den Meßorten Y1, Y2 und Z höhere Werte erfaßt wurden, als sie durch die Strahlung aus natürlichen Quellen (sekundär, kosmische Strahlung) vorkommt: Der Spitzenwert der Dosis am Meßort Y1 betrug am 03.05.01 zwischen 12:30 und 13:30 mit 710 nSv/h das 118fache der Umgebungsstrahlung (6 nSv/h). Der Spitzenwert der Dosis am Meßort Y2 betrug am 25.04.01 zwischen 16:30 und 17:30 mit 1730 nSv/h das 288fache der Umgebungsstrahlung. Der Spitzenwert der Dosis am Meßort Z betrug am 22.05.01 zwischen 9:40 und 10:40 mit 284 nSv/h das 47fache der Umgebungsstrahlung.

Nimmt man für die Arbeitszeit in der mit der Anlage durchleuchtet wird den Medianwert für die Stunden für die Neutronendosis/Stunde so kommt man am Meßort Y1 auf das 19,9fache, am Meßort Y2 auf das 38,2fache und am Meßpunkt Z auf das 7,1fache der Umgebungsstrahlung. Entsprechend der Entfernung zum horizontalen Beschleuniger (Y1 = 17,75 m, Y2 = 12,3 m und Z = 17,5 m) kam es bei zunehmender Distanz zu einer Abnahme der Dosis und Dosisleistung.

Fand kein Durchleuchtungsbetrieb in der Anlage statt, so waren die gemessenden Werte die, die auch in einer Mietwohnung ermittelt wurden. Hieraus ergibt sich, daß eine Folgestrahlung durch Neutronen aufgrund von Aktivierungsprozessen durch Neutronen außerhalb des Meßbereiches des Gerätes liegt.

3.2 Bilder und Waren

In der Hamburger Containerprüfanlage wurden in dem Zeitraum vom 25.07.96 bis zum 23.02.01 die in Tabelle 3.2.1 aufgeführten 130 Schmuggelfälle aufgedeckt. Die Auswertung der Bilder, die -soweit nicht anders angegeben- durch die Zentralstelle für Strahlenschutz und Röntgentechnik der Bundesfinanzverwaltung und die Oberfinanzdirektion zur Verfügung gestellt worden sind, erbrachte den Nachweis unterschiedlicher **Erkennungstechniken.** Die erhobenen Befunde lassen sich dabei in direkte und indirekten Zeichen unterschieden: Bei den **direkten Zeichen** lassen sich Objekte im Röntgenbild darstellen, welche nicht mit den Gütern der Frachtpapiere übereinstimmen und somit auf einen Schmuggel unmittelbar hinweisen. Bei **indirekten Zeichen** kommt es dagegen nicht zur Darstellung der geschmuggelten Ware, sondern hier weist lediglich die Umgebung auf ihre Existenz hin.

Tabelle 3.2.1: Schmuggelgüter der Containerprüfanlage (25.07.96 - 23.02.01). Statistik zur Verfügung gestellt von M. Lindloff (Leiter der Containerprüfanlage, Hamburg).

Schmuggelgut	Häufigkeit
• Zigaretten	81 Fälle
• Kokain	11 Fälle
• Gestohlene Pkw oder Pkw-Teile	11 Fälle
• Marihuana (Cannabis sativa, Haschisch)	11 Fälle
• Alkohol	6 Fälle
• Waffen	4 Fälle
• Elefantenstoßzähne (2 Stück), gestohlene Jetski (3 Stück), gestohlenes Faxgerät und ausgestopfte Eulen	jeweils 1 Fall

3.2.1 Techniken

Bei der Deutung der Bilder sind, sowohl die technischen Möglichkeiten der Anlage, als auch die **Bedingungen** unter denen die Bilder erstellt werden zu beachten. Während der Durchleuchtung bewegt sich der Lastwagen mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0,4 m/s durch die senkrecht zueinander stehenden Strahlungsfelder. Jedes der Felder ist 5 mm breit. Durch die Bewegung entsteht bei Flüssigkeiten eine Welle an der Oberfläche, dieser Nachweis erlaubt die Deutung als Flüssigkeit (Abb. 3.2.1.1).

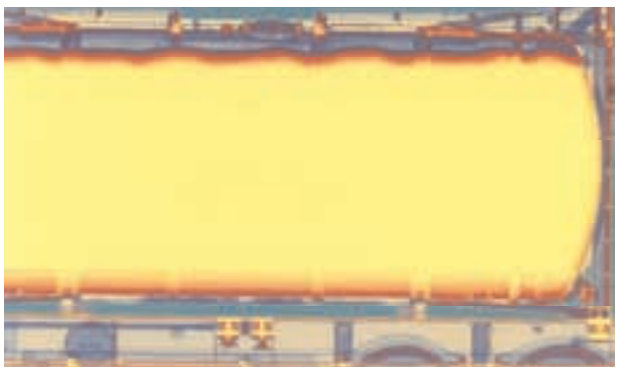


Abb. 3.2.1.1: Nachweis einer Wellenbewegung über einem homogenen Tankwageninhalt, welcher somit als Flüssigkeit interpretiert werden kann. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (2001).

Durch Falschfarbenbilder mit Zuordnung der Farben zu Grautönen lassen sich beispielsweise Räume unter Flüssigkeitsspiegeln so hervorheben, daß auch dem Ungeübten das Erkennen von Inhomogenitäten möglich ist.

Bei der Erstellung der Bilder kann die **Abbildung in einer Ebene** bereits indirekte Zeichen ergeben. Zu diesen Zeichen gehört zum Beispiel die Anordnung der Ladung. Ist der bei der Entladung beziehungsweise Inspektion zu öffnende Teil mit Ware sehr stark verbaut und deren Entfernung

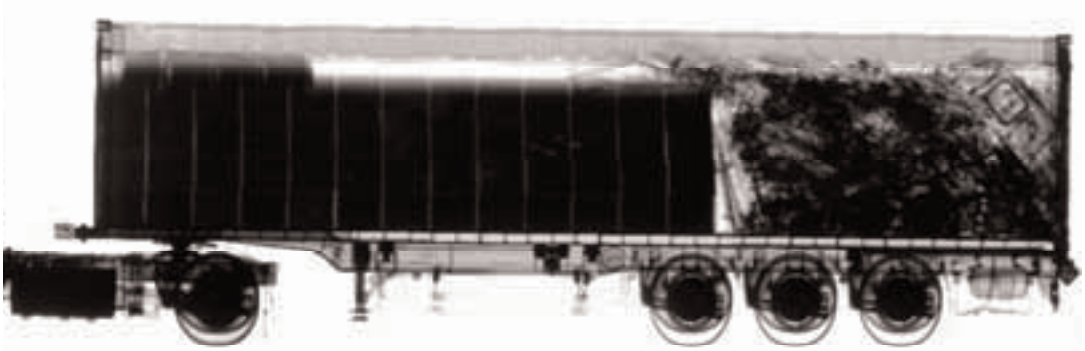


Abb. 3.2.1.2: Hinter einer Tarnladung Metallschrott verbergen sich 25.000 Stangen Zigaretten (Wert ca. 650.000 €). Übersichtsaufnahme. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1997).

nur schwer möglich und ist der Zugang zu den anderen Abschnitten des Containers verwehrt (Tarnladung Schrott), so ist dieses ein Hinweis auf einen möglichen Versuch die übrigen Abschnitte des Containers einer Inspektion vorzuenthalten (Abb. 3.2.1.2). Regulär in den Frachtbriefen deklarierte Ware wird oftmals direkt an der Öffnung des Containers plaziert, um so von einer geschmuggelten Ware tiefer im Inneren abzulenken. Wenige blickdichte Stapel von Orangensaft und Paletten können so auf den ersten Blick diverse Liter Alkohol verbergen (Abb. 3.2.1.3 A und B).

Abb. 3.2.1.3 A

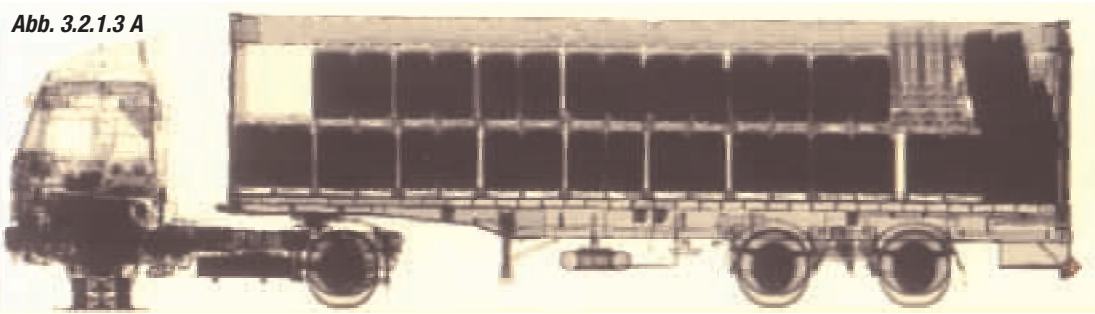


Abb. 3.2.1.3 B

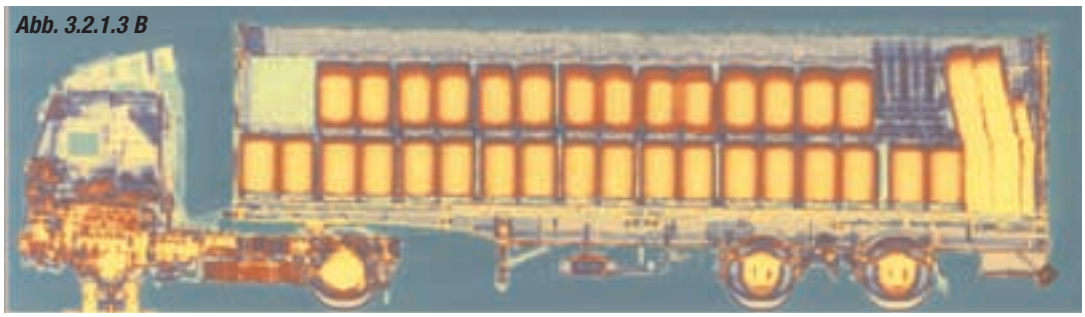


Abb. 3.2.1.3 A und B: Hinter einer Tarnladung von Orangensaft und Paletten verbergen sich 128 Fässer mit jeweils 200 l Alkohol (96% Vol). Horizontaler Strahlengang. Die digitale Verarbeitung ermöglicht eine Darstellung in 250 Graustufen (Abb. 3.2.1.3 A) und eine Darstellung mit Falschfarben (Abb. 3.2.1.3 B). Übersichtsaufnahmen. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1996).

Die **Betrachtung in zwei Ebenen** erweitert die bildliche Darstellung. In einer Firmenpräsentation im Internet (Hemp, 1994) fand sich die Abbildung 3.2.1.4, die nur einen Strahlengang in vertikaler Richtung wiedergibt. Berücksichtigen Schmuggler dieses Bild, so werden sie eine Tarnung wie in Abb. 3.2.1.5 A anwenden. Ein zusätzlicher horizontaler Strahlengang jedoch enttarnt die Täuschung und zeigt beispielsweise einen Containerboden -als ein weiteres zu beachtendes indirektes Zeichen- unter der Ladung mit einer anderen Dichte, als in dem Abschnitt zwischen Ladung und Containertür (Abb. 3.2.1.5 B).

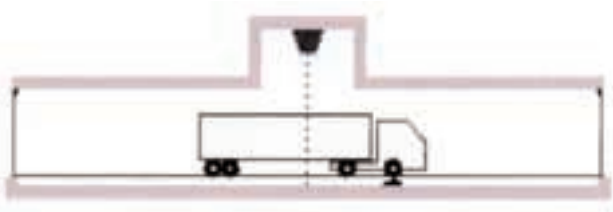


Abb. 3.2.1.4: Abbildung aus dem Internet. Darstellung einer Containerprüfanlage mit nur einem Linearbeschleuniger in vertikaler Ausrichtung. URL: http://www.bredex.de/de/Literatur/PapersVortraege/xray.html, gesehen am 21.07.02.

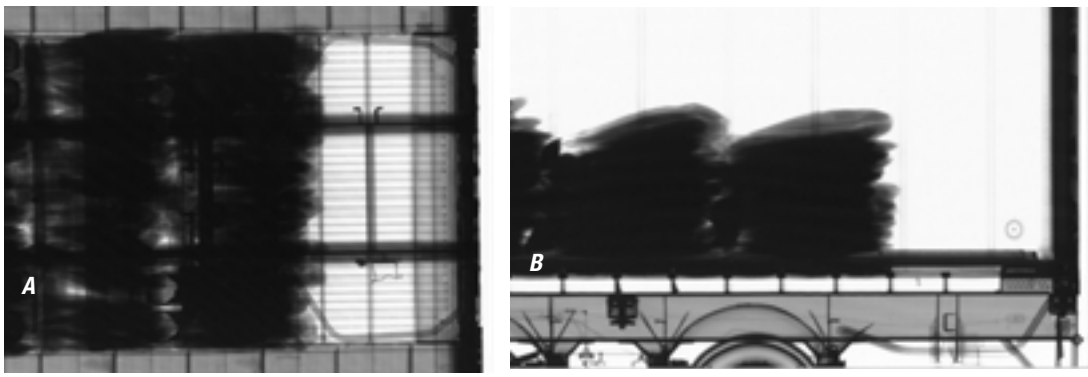


Abb. 3.2.1.5: Darstellung der Ware eines Containers im vertikalen Strahlengang wie sie nach Abb. 3.2.1.4 zu erwarten wäre (A). In dem horizontalen Strahlengang zeigt der Containerboden unter der Ware eine Auffälligkeit in Farbe und Kontrast (B). Ausschnittsvergrößerungen. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1998).

Um eine bessere Darstellung des verdächtigen Containerbodens zu erreichen, erfolgt der Einsatz eines Zooms und eine zusätzliche Umrechnung der Grautöne in Falschfarben (Abb. 3.2.1.6). Die Form der Päckchen sowie die Abstände zwischen jedem einzelnen, legen den Verdacht nahe, daß es sich bei dem Schmuggelgut um Kokainpäckchen handelt.

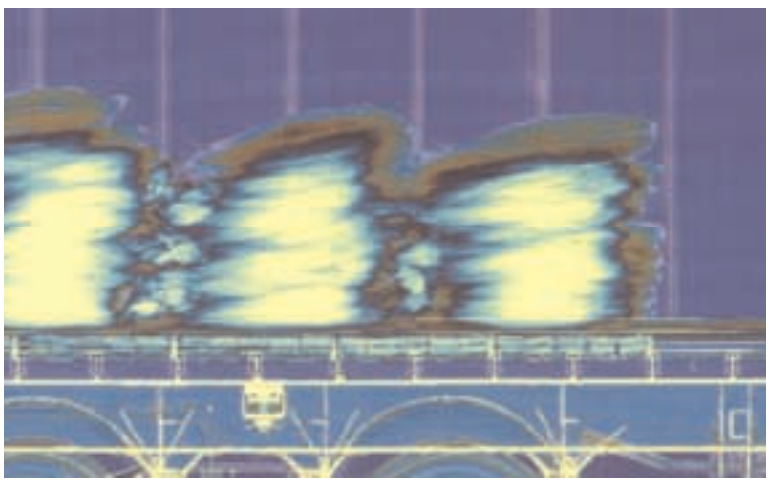


Abb. 3.2.1.6: Nachweis von 380 kg Kokain unter 18 t Fisch in einem doppelwandigen Containerboden. Der Wert beträgt etwa 39 Millionen €. Ausschnittsvergrößerung. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1998).

Durch den **Einsatz des Zooms** läßt sich ein verdächtiger Bereich vergrößern. In der horizontalen Sicht zeigt sich beispielsweise ein unauffälliger Befund des Oldtimers (Abb. 3.2.1.7). Der Zoom vergrößert den Bereich des Chassis,

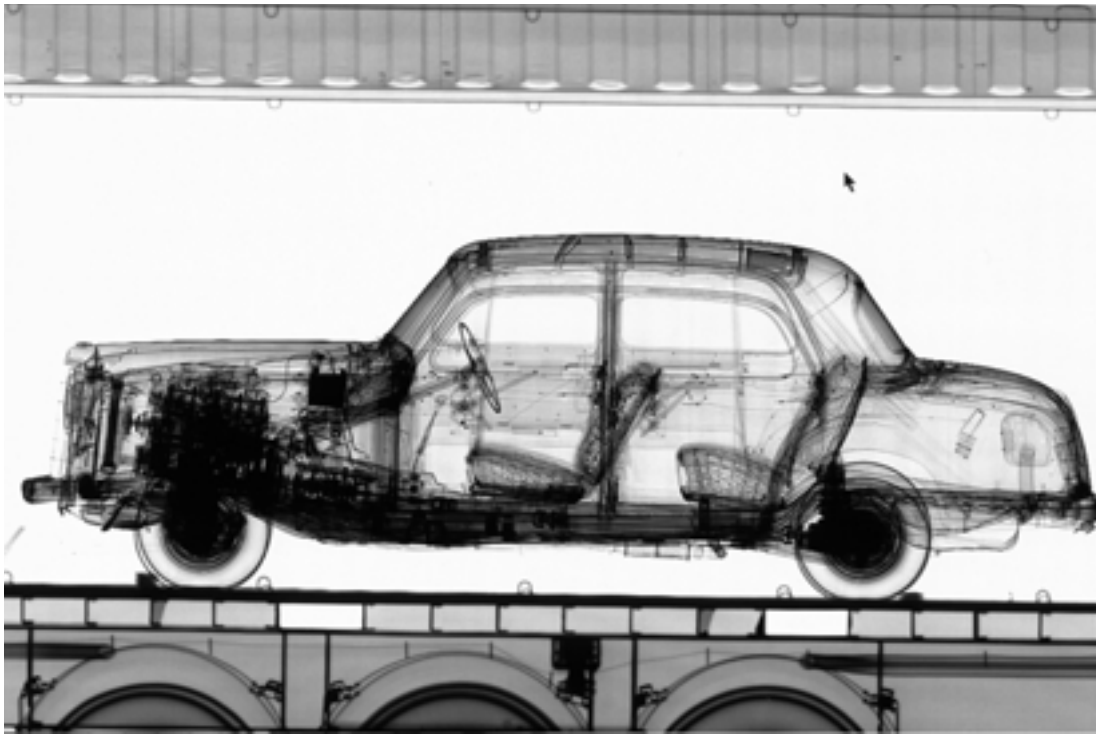


Abb. 3.2.1.7: Oldtimer im horizontalem Strahlengang und zunächst ohne Nachweis von Schmuggelgut. Ausschnittsvergrößerung. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1997).

der sich aus der vertikalen Durchleuchtung nur mit unterschiedlichen Kontrastierungen wiedergeben ließ (Abb. 3.2.1.8 A). Da man immer bei nicht homogenem Bild auch den Verdacht auf eine künstliche Kontrastierung durch Schmuggelgut hat, wurde mit dem Zoom die verdächtige Region herausgearbeitet (Abb. 3.2.1.8 B).

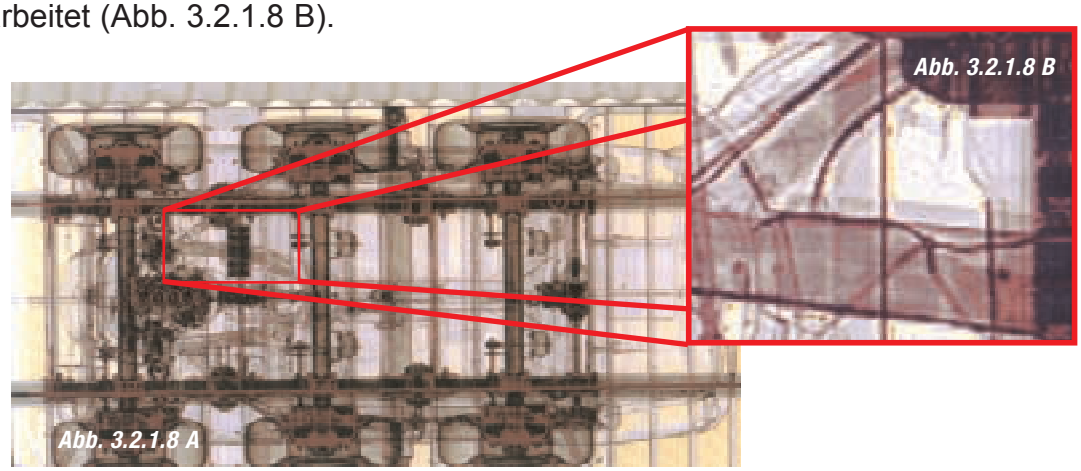


Abb. 3.2.1.8: Nachweis von 19 kg Kokain (Wert ca. 3 Millionen €) in der Karosserie des Oldtimers von Abb. 3.2.1.7. In der vertikalen Sicht (A) und durch Detailvergrößerung (B) zeigen sich die Drogenpäckchen. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1997).

Bei der digitalen Aufarbeitung der Bilder sind durch die Verwendung verschiedener **Kennlinien, Farbtabellen** und **Filter** Verbesserungen in der Darstellung insbesondere im Kontrastbereich zu erzielen. Ein Beispiel soll anhand des Schmuggels von Kokainpäckchen in einem Oldtimer demonstriert werden (Abb. 3.2.1.9). Bei einem Oldtimertransfer von Uruguay nach

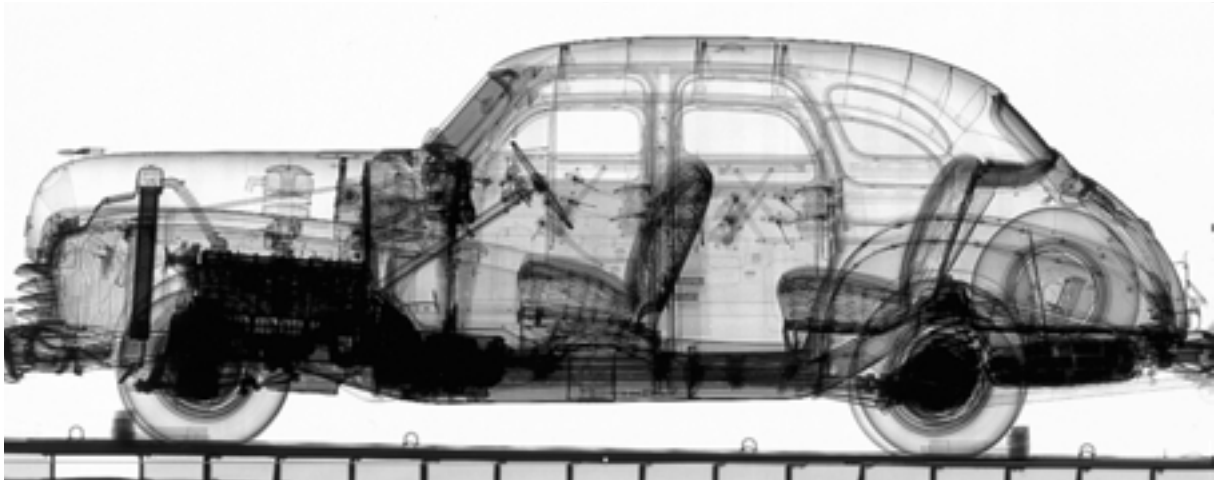


Abb. 3.2.1.9: Nachweis von Kokainpäckchen im Tank eines Oldtimers. Ausschnittsvergrößerung. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1996).

Deutschland fiel beim Betrachten des einen Oldtimers eine unregelmäßige Dichte im Benzintank auf. Direkt in unmittelbarer Nachbarschaft zum Reserverad und der hinteren Radachse zeigt die Vergrößerung in der horizontalen Ebene auffällige Konturen, die zunächst an einen weiteren Reifen erinnern (Abb. 3.2.1.10 A). Zieht der Beobachter dann die vertikale Ebene hinzu, zeigt sich die Anordnung der geschmuggelten Päckchen. Durch den Einsatz einer Farbtabelle kann man eine verbesserte Kontrastrierung versuchen (Abb. 3.2.1.10 B). Während der gerichtlichen Verhandlung gab der Angeklagte eine größere Menge an Schmuggelgut an, als die die zunächst durch die Behörden sichergestellt wurde.

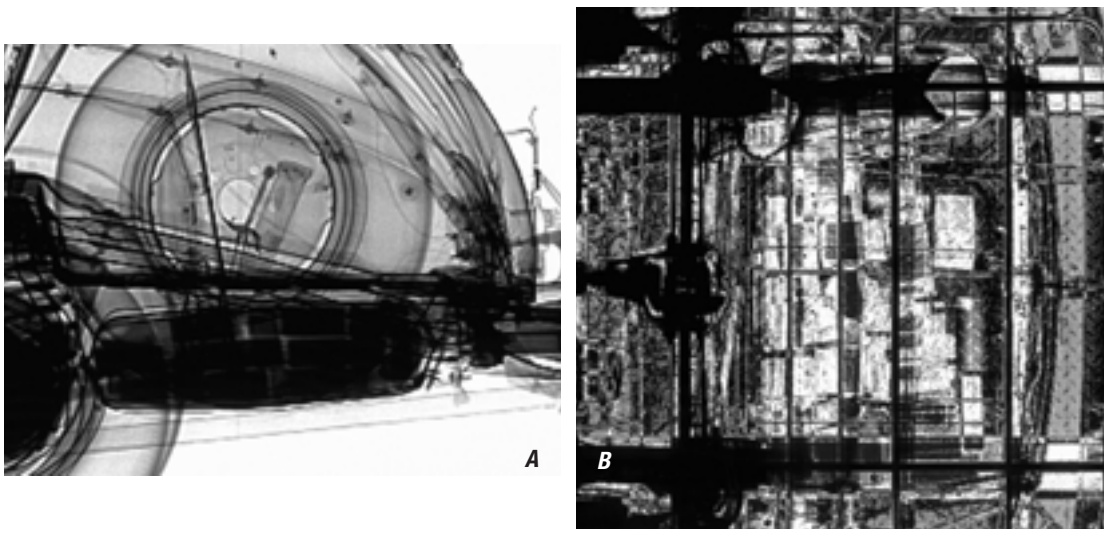


Abb. 3.2.1.10: Ausschnittsvergrößerung des Tanks mit Nachweis von Kokainpäckchen. Horizontaler Strahlengang (A) und vertikaler Strahlengang (B). Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1996).

Das Bildmaterial wurde daraufhin noch einmal betrachtet. Konturen und unterschiedliche Dichten wurden miteinander verglichen. Unter dem Motor zeigte sich eine Ölwanne, die überflüssiges Öl, welches vom Motorblock tropft, auffangen soll (Abb. 3.2.1.11). In der Wanne ließen sich eckige Begrenzungen nachweisen. Eine Abgrenzung zur Umgebung konnte vorgenommen werden und die Vermutung geäußert, daß sich in dieser Ölwanne die übrigen Heroinpäckchen befinden. Die gezielte Demontage des Oldtimers in der Werkstatt bestätigte den Verdacht, so daß die gesamte Menge von insgesamt 68 kg Kokain sichergestellt werden konnte. Anhand einer Darstellung mit einer anderen Farbtabelle, mit Zoom 1:8 und Schärfe wird die typische Kontur der Kokainpäckchen sichtbar gemacht (Abb. 3.2.1.12).

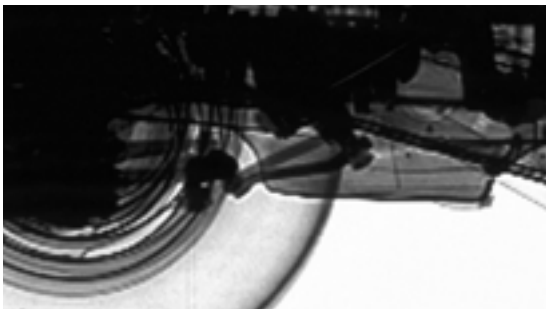


Abb. 3.2.1.11: Nachweis von Kokainpäckchen in der Ölwanne des Oldtimers. Detailvergrößerung im horizontalen Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1996).

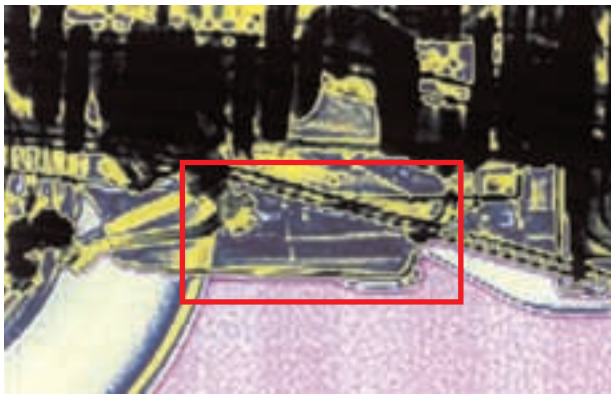


Abb. 3.2.1.12: Darstellung der Konturen der Kokainpäckchen (roter Rahmen) unter Einsatz von Kennlinien, Falschfarben und Detailvergrößerung. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1996).

Die Bilder der Hamburger Containerprüfanlage basieren auf einer **Messung der Dichte**. Eine Stofferkennung die zum Beispiel bei vielen Gepäckröntgenanlagen Standard geworden ist, fehlt bei der Anlage. Es wird jedoch über eine Erweiterung diskutiert.

Das Setzen von **Markierungspunkten** auf den Bildern erleichtert das Auffinden der verdächtigen Güter durch zentimetergenaue Positionsangabe. Nachteilig ist, daß sich Markierungspunkte nicht auf die Führerkabine des Lkw, wo sich gelegentlich ebenfalls Verdächtiges befindet, übertragen lassen.

Die **Erfahrung des Untersuchers** ist ein entscheidender Faktor beim Einsatz eines jeden bildgebenen Verfahrens. Automatisierte Kontrollen sollen fehlende Erfahrung kompensieren. Eine entsprechende Entwicklung zeigt sich bei den Gepäckröntgenanlagen: Nach einer Vorauswahl durch ein vorgeschaltetes erstes Röntgengerät werden bei Gepäckstücken, die verdächtige Inhalte eines auffälligen Koffers durch ein zweites, nachgeschaltetes Röntgengerät gezielt auf Sprengstoff, Drogen und Waffen kontrolliert (Heimann, 2002).

3.2.2 Direkte Zeichen

Zeigen sich in den gewonnenen Röntgenaufnahmen illegale Güter oder eine in den Frachtpapieren falsch deklarierte Ware, so werden die Nachweise dieser Schmuggelgüter oder Objekte als **direkte Zeichen** interpretiert, zum Beispiel der Nachweis eines Gewehres oder eines Elefantenstoßzahnes.

Der Nachweis von **Waffen** ist schwierig. Nicht nur die Perspektive ist von Bedeutung, sondern auch die an der Waffe vorhandenen Materialien spielen eine Rolle. In einem einfachen Beispiel wird das Problem deutlich. In Abbildung 3.2.2.1 A zeigt sich auch der vertikalen Perspektive nichts Verdächtiges. Die hölzernen Anteile sind nur schwach zu erkennen. Besser zeichnen sich das Metall des Gewehrlaufes und die Patronen ab. Die horizontale Ansicht zeigt jedoch ein Gewehr, welches auf dem Lauf steht (Abb. 3.2.2.1 B).

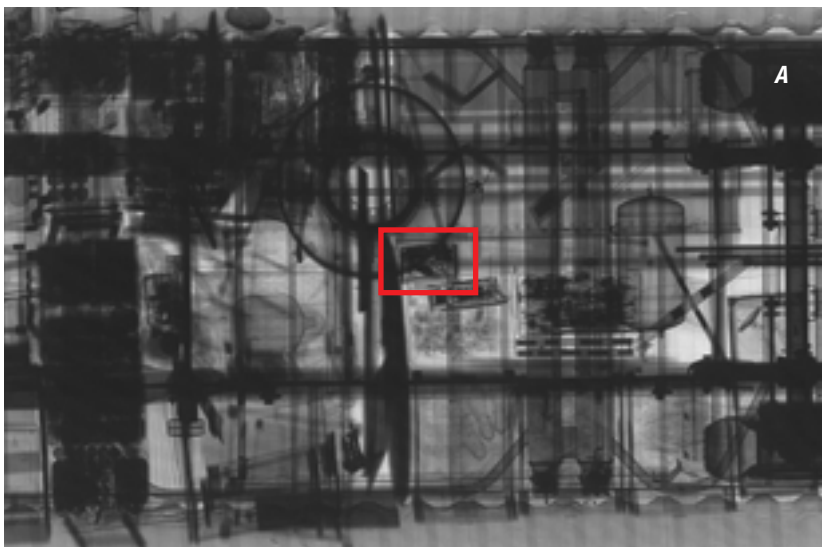


Abb. 3.2.2.1 A: Waffenkoffer mit Gewehr und Munition in der vertikalen Perspektive (rotes Rechteck). Ausschnittsvergrößerung. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1999).

Abb. 3.2.2.1 B: Waffenkoffer im horizontalen Strahlengang mit einem auf dem Lauf stehendem Gewehr und Munition (rotes Rechteck). Ausschnittsvergrößerung. Containerprüfanlage im Hamburger Hafen (1999).

Geschmuggelte **Autos** sind in der Containerprüfanlage ohne weiteres zu erkennen, vorausgesetzt sie wurden vorher nicht demontiert (vgl. Abb. 3.2.2.2). In diesem Fall half ein Tip aus dem Untergrund. Nur andeutungsweise sind in diesem Container einzelne Bestandteile, beispielsweise das Dach, zu erkennen. Wüßte man als Bildbetrachter jedoch nicht, welches Schmuggelgut sich hier in viele Einzelteile zerlegt wiederfindet, wird es schwieriger.

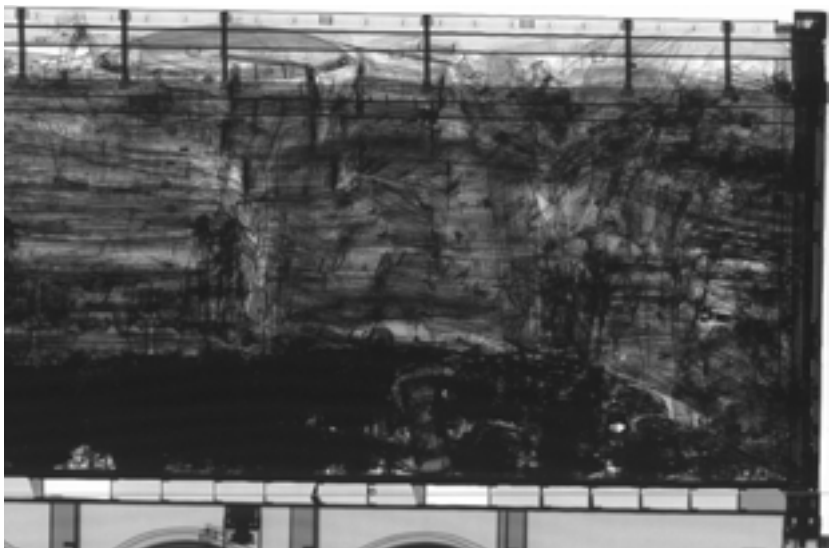


Abb. 3.2.2.2: Nachweis von zehn gestohlenen und demontierten Personenkraftwagen auf dem Weg in den Libanon. Wert ca. 92.0325 €. Ausschnittsvergrößerung. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1998).

Der direkte Nachweis von **Alkohol** ist ebenfalls problematisch. In dem folgenden Beispiel zeigt sich aufgrund der unterschiedlichen Kontraste und einer Inhomogenität der transportierten Ware, welche sich in beiden Betrachtungsebenen wiederfindet, ein Schmuggelverdacht. Deklariert war die Fracht als „Gewürzsoßen“ (Abbildungen 3.2.2.3 A und B). Durch die unterschiedlichen Falschfarbenbelegungen durch den Computer und die Darstellung in zwei Ebenen erkennt der Betrachter, daß sich in den drei Reihen nahe der Containertür ein anderer Inhalt in den Fässern befindet, als in den übrigen Reihen. Eine gezielte Inspektion der in der vierten Reihe gestapelten „Gewürzsoßen” wurde durchgeführt. Es zeigte sich hierbei der Nachweis von 793 Kanistern mit 98prozentigem Alkohol.

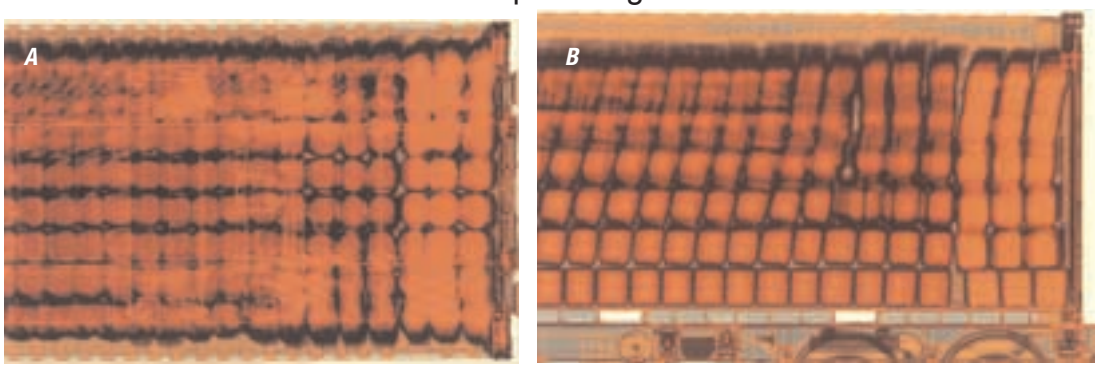


Abb. 3.2.2.3: Hinter drei Reihen mit Gewürzsoßen verbergen sich insgesamt 793 Kanister mit jeweils 20 l Alkohol (98 Vol%). Der Container befand sich auf den Weg von Vietnam nach Tschechien. Wert 202.649 €. Ausschnittsvergrößerung. Darstellung in vertikaler (A) und horizontaler (B) Ebene. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1999).

Beim Nachweis geschmuggelter **Zigaretten** profitieren die Kontrolleure davon, daß der Schmuggel von Tabak und Papier in getrennter Form unrentabel ist. Die Ausnutzung billiger Arbeitskräfte im Ausland zwingt die Schmuggler zum Schmuggel ganzer Zigarettenstangen, die sich in ihrer typischen Form abbilden lassen. Bei den „ziegelstein-artig“ aufgeschichteten Zigarettenstangen hinter einer Zwischenwand an der Stirnseite eines Containers in Abb. 3.2.2.4 zeigt sich deutlich die konstante Größe, Begrenzung und Form der Zigarettenpäckchen.

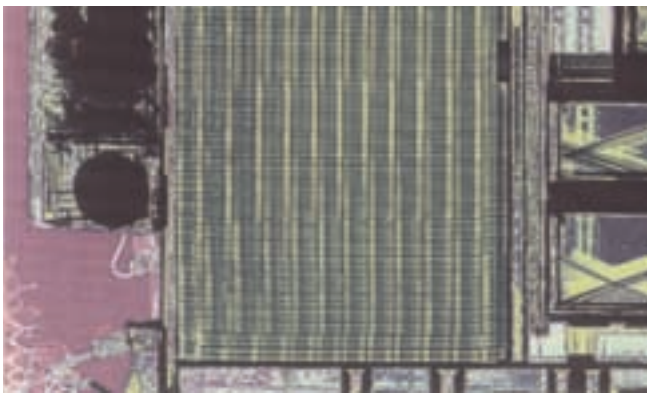


Abb. 3.2.2.4: Nachweis von 5.500 Zigarettenstangen hinter einer künstlichen Zwischenwand an der Stirnseite eines Kühlcontainers. Wert ca. 146.229 €. Detailaufnahme. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1999).

Im Gegensatz zu den eckigen und scharf umrissenen Zigarettenpäckchen, bilden sich **Kokain- und Marihuana-Päckchen** mit weicheren Ecken und unterschiedlichen Päckchengrößen ab. Bei einem direkten Vergleich zweier Kühlaggregate zeigt sich bei einem eine deutliche Verdunkelung (Abb. 3.2.2.6 A), die einem Kontrolleur, der einen “Normalbefund” eines Kühlaggregates (vgl. Abb. 3.2.2.5) verinnerlicht hat eher auffällt als einem Laien. Eine Vergrößerung und Kontrastierung zeigt unterschiedliche Päckchen mit unscharfen Kanten, die Kokainpäckchen mit einem Gewicht von insgesamt 75 kg in den Zwischenräumen um das Aggregat herum verteilt entsprechen (Abb.3.2.2.6 B).

Abb. 3.2.2.5

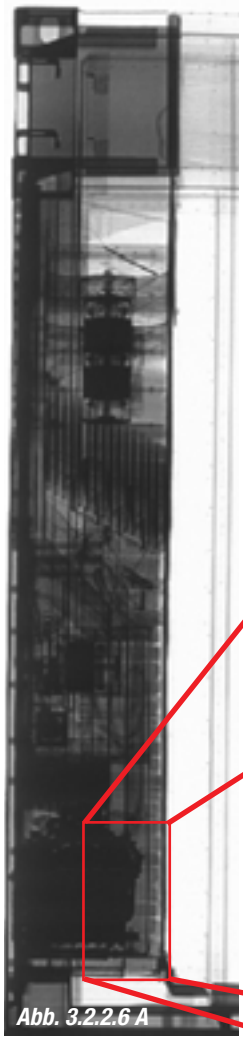


Abb. 3.2.2.6 A

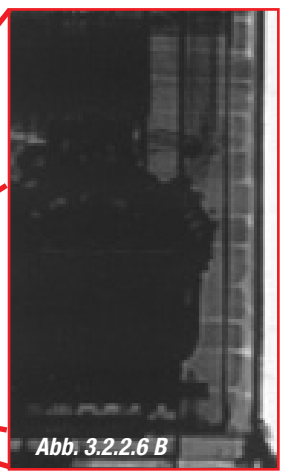


Abb. 3.2.2.6 B

Abb. 3.2.2.5: Normales Kühlaggregat an der Stirnseite eines Containers.

Abb. 3.2.2.6 A und B: Kokainpäckchen versteckt im Kühlaggregat (A). Zoom des rot markierten Bereiches (B).

Abbildungen im horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (2001).

3.2.3 Indirekte Zeichen

Gelingt der Nachweis des Schmuggelguts nicht durch die Darstellung als Objekt, so müssen andere Bewertungskriterien herangezogen werden. Bei den **indirekten Zeichen** deuten die Beobachtungen der Umgebung der geschmuggelten Ware auf den Schmuggel hin.

Schmuggler nutzen beispielsweise **vorhandene Hohlräume** eines Lastwagens, wie den Platz in einem **Reserverad**, welches problemlos an- und abmontiert werden kann. Die deutliche Begrenzung mit sich relativ scharf abzeichnenden Ecken, lassen vermuten, daß es sich um geschmuggelte Zigarettenpäckchen handelt. Doch allein der Nachweis verdächtiger Strukturen im Reifen führt zur Kontrolle.

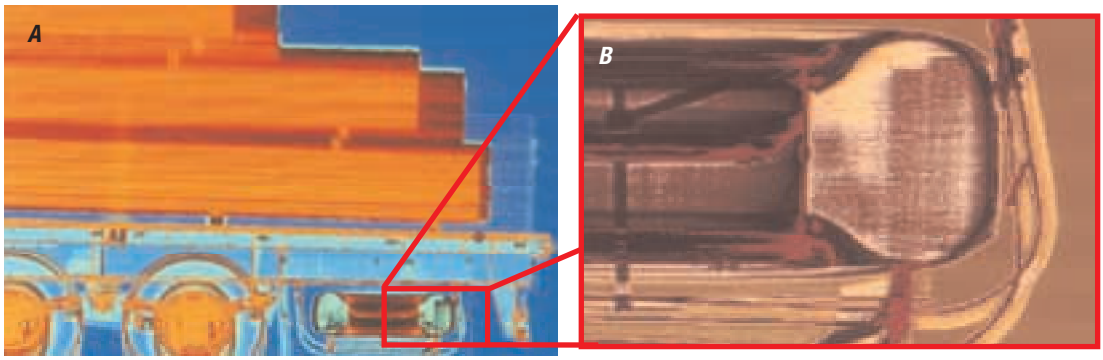


Abb. 3.2.3.1: Zigarettenstangen im Reserverad. Horizontaler Strahlengang (A) und Detailvergrößerung (B). Vorteilhaft für die Schmuggler ist bei dem Reserverad die schnellen Montagen und Demontagen vor bzw. nach dem Grenzübertritt (1998). Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1998).

Ein solches Versteck, das in der Vergangenheit oft genutzt wurde, kann gelegentlich auch als eine offensichtliche und falsche Fährte gelegt werden, um von größeren Schmuggelmengen abzulenken, wie zum Beispiel vom **doppelten Boden** des gleichen Lastwagens (Abb. 3.2.3.2) oder aber auch die **doppelten Wände**, welche entweder neu eingebaut werden oder die aufgrund technischer Anforderungen für den Transport bestimmter Güter notwendig sind, wie etwa bei Kühlaggregaten in einem Kühlcontainer.

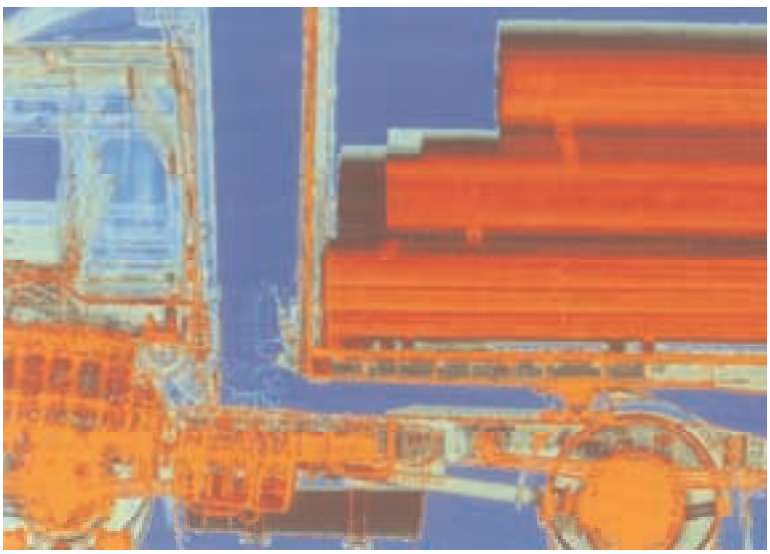


Abb. 3.2.3.2: Nachweis von Zigarettenstangen im doppelten Boden einer Ladefläche. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1998).

Fehlen die Hohlräume in einem Lastwagen oder reicht der vorhandene Platz nicht aus, so werden durch das Einziehen von **künstlichen Zwischenwänden** neue Verstecke geschaffen. Bei einer manuellen Kontrolle im Inneren eines Containers fällt eine auf diese Art verlagerte Wand und der verkleinerte Innenraum nicht unbedingt auf (Abb. 3.2.3.3).

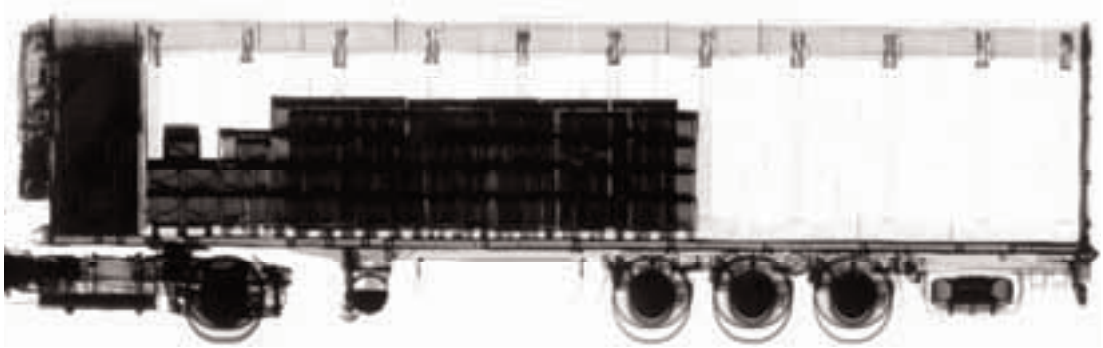


Abb. 3.2.3.3: Nachweis von 5.500 Zigarettenstangen hinter einer künstlichen Zwischenwand an der Stirnseite eines Kühlcontainers (vgl. auch Abb. 3.2.2.4). Der Wert beträgt ca. 146.229 €. Übersichtsaufnahme. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage am Hamburger Hafen (1999).

Durch ein **Anpassen des Schmuggelguts in Form und Dichte** an die legal transferierte Ware wird eine Analyse der Bilder schwierig. Auf diese Weise wird von Schmugglern ein vermeintliches Wiedererkennen von vertrauten **Umrissen** und **Formen** beim Betrachter einkalkuliert.

Folgendes **Beispiel** soll diese Problematik verdeutlichen: Ein Lastwagen mit Limonen (Abb. 3.2.3.4) wird, aufgrund eines Hinweises aus dem Untergrund, auf Drogen hin untersucht. Die Limonen sind für einen Kunden in Spanien bestimmt. Die Übersicht im horizontalen Strahlengang zeigt eine scheinbar homogene Kontrastierung und somit eine einheitliche Fracht. In Übereinstimmung mit den Frachtpapieren könnte man annehmen, daß es sich bei dem Inhalt des Containers lediglich um elf Palettenreihen mit Limonen handelt.

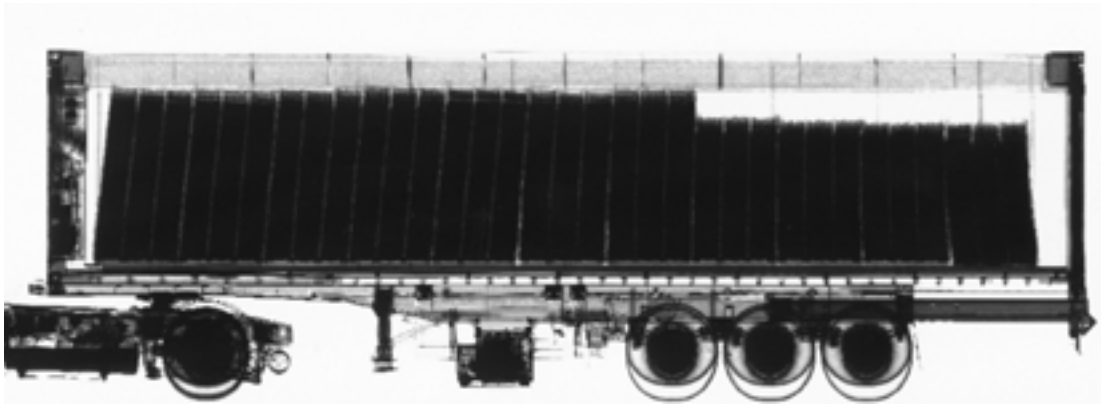


Abb. 3.2.3.4: Container mit elf Paletten Limonen. Bei der horizontalen Durchleuchtung zeigt sich in der Übersichtsaufnahme ein gleichmäßiger Kontrast der Ware. Kühlaggregat, Containerwände und -boden zeigen sich unauffällig. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1998).

Durch den Einsatz des Zooms und auch durch Belegung der Grautöne mit Falschfarben zeigt sich im mittleren Abschnitt des Lastwagens eine Palette etwas heller als die anderen. Eine Verstärkung des Zooms verdeutlicht warum dieser Eindruck entsteht, denn es zeichnet sich bei den helleren „Limonen“ auch eine unregelmäßigere Kontrastierung und Unschärfe in der Kontur ab (Abb. 3.2.3.5).

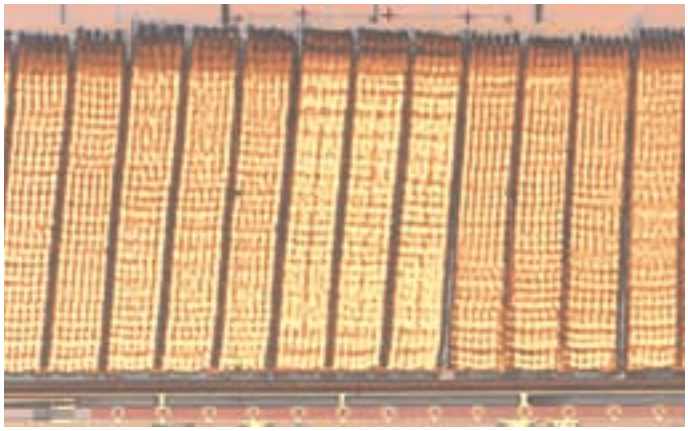


Abb. 3.2.3.5: Durch Verwendung von Falschfarben, Kennlinien und eines Zooms zeigt sich die mittlere der elf Paletten heller als die anderen. Drei rote Kreuze markieren den auffälligen Abschnitt. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1998).

Der Unterschied zeigt sich noch eindrucksvoller bei einem direkten Vergleich der echten Limonen mit dem Schmuggelgut. In Abbildung 3.2.3.6 erkennt man, bei den unechten Limonen die dünneren und weicheren „Schalen“. Dies sorgt für den unschärferen Kontrast und für die unterschiedliche Helligkeit. Die Zöllner markierten den Ausschnitt und konstatierten: Wenn es Schmuggelgut gibt, dann ist es diese Palette im mittleren Bereich. Um die Hintermänner des Schmuggels zu fassen, ließ man den Container passieren und leitete eine internationalen Verfolgung des Lastwagens quer durch Europa ein. Bei Übergabe konnte ein Teil des Drogenringes festgenommen werden und es zeigte sich, daß die „Limonen” in dem markierten Bereich tatsächlich aus Plastik und mit Drogen gefüllt waren.

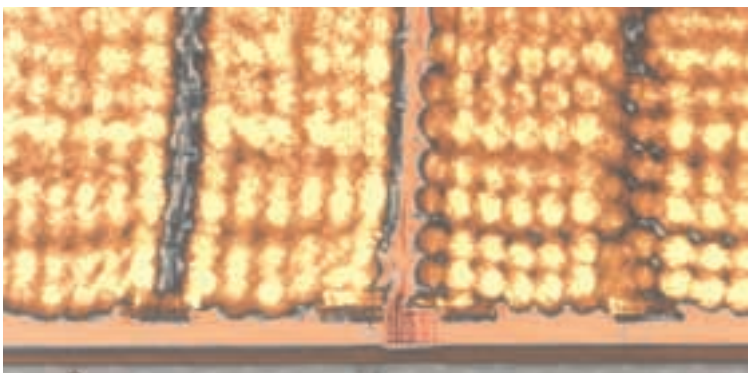


Abb. 3.2.3.6: In der linken Bildhälfte zeigen sich etwas unscharf begrenzt die präparierten „Limonen“. Rechts mit scharfer Kontur finden sich die echten Limonen. Detailaufnahme. Containerprüfanlage Hamburger Hafen (1998).

Andere indirekte Zeichen sind in vielfältiger Form auch im Umfeld des Lastwagens zu finden. Neben auffälligem Verhalten oder verdächtigen Papieren ist das Herkunftsland oft von einem besonderen Interesse. Länder im Drogenanbaugebiet mit hoher Arbeitslosigkeit bieten den Schmugglern

besondere Möglichkeiten. Ähnlich dem oben angeführten Beispiel wurde in einem anderen Schmuggelfall Kinderarbeit zum Mandelknacken eingesetzt. Die Mandeln wurden dann in einem weiteren Arbeitsschritt mit Kokain- und Marihuana-Päckchen gefüllt und abschließend verklebt. Die so sorgfältig präparierten Mandeln kamen aus Afghanistan und wurden zusammen mit echten Mandeln in einen Container verpackt und an einen Teppichhändler in Hamburg geschickt (Abb. 3.2.3.7).

Abb. 3.2.3.7: Mit Heroin und Marihuana gefüllte Mandeln. Menge insgesamt 70,3 kg. Der Container kam aus Afghanistan, wo Kinderarbeit weit verbreitet ist und war an einen Hamburger Teppichhändler adressiert (cd/Ino, 2001).

Einem Vergleich der Hamburger Containerprüfanlage mit Großröntgenanlagen anderer Hersteller lassen sich die Vor- und Nachteile aus dem bisherigen Text zusammenfassen (Tabelle 3.2.2).

Tabelle 3.2.2: Vor- und Nachteile bei der Durchleuchtung und Kontrolle von Containern in der Hamburger Containerprüfanlage.

Vorteile:	Nachteile:
• Kontrolle verschiedener Fahrzeugtypen	• fehlende Stofferkennung (nur Dichte)
• Durchleuchten	• begrenzte Auflösung
• zwei Perspektiven	• Abhängigkeit vom Untersucher (Erfahrung)
• Vergrößerung/Zoom	• Markierungen nur für Container möglich
• unterschiedliche Kennlinien	
• unterschiedliche Farbtabellen (Falschfarben)	
• verschiedene Filter	

Beispielhaft sollen auf den folgenden Seiten charakteristische Formen und Konturen herausgearbeitet werden. Dabei sollen unabhängig von dem eingesetzten Röntgensystem Ähnlichkeiten und Unterschiede beim Waffenschmuggel, Drogenschmuggel (Alkohol, Kokain, Marihuana, Zigaretten), Schmuggel von Kraftfahrzeugen oder gar Menschenschmuggel aufgezeigt werden.

3.3 Stationäre und mobile Röntgenanlagen

Durchleuchtungsgeräte arbeiten mit unterschiedlichen Strahlenquellen. Die angewandten Techniken wirken sich auf die Qualität der Bilder und auf die Strahlenexposition von Personen, die entweder selbst durchleuchtet werden, die Anlage bedienen oder sich in unmittelbarer Nähe der Anlage oder der Geräte aufhalten, aus.

TC-Scan

In der Containerprüfanlage TC-Scan wird Cobalt-60 (Co^{60}) als Strahlenquelle eingesetzt. Sie befindet sich in einem abgeschirmten Gehäuse auf dem Boden der Anlage. Das Feld der Strahlung ist fächerförmig, die Distanz zum untersuchten Objekt kurz. Die Folge sind verzerrte Abbildungen (Abb. 3.3.1 A und B). Die Abbildungsgeometrie erklärt die Überlagerung im Bodenbereich.

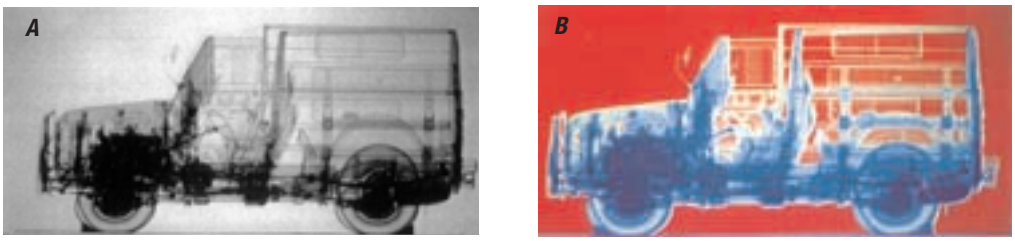


Abb. 3.3.1: Verzerrung durch die geometrische Anordnung der Strahlenquelle und der Detektorenzeile (A). Farbzuordnung zu einzelnen Helligkeitswerten, um den Kontrast zu steigern (B). Containerprüfanlage TC-Scan des Chinesischen Institutes für Kernenergie und Technologie der Universität Tsinghua (TC-Scan, 2001).

Gegenstände, die sich in größerer Entfernung zur Strahlenquelle befinden, sind gut zu erkennen und werden weitgehend überlagerungsfrei wiedergegeben. Die Abbildung in einer Ebene hat Nachteile. Der Hersteller wirbt mit der Möglichkeit, zeitgleich und parallel auf einem zweiten Transportband Kontrolluntersuchungen vorzunehmen, da die Cobaltquelle in alle Richtungen strahlt und eine Ausblendung für einen zweiten Arbeitsplatz möglich ist. Die Dosis für Personen in dem Wagen und für das Bedienungspersonal werden vom Hersteller als „gering“ eingeschätzt. Ein Werbevideo zeigt den Kontrollstand in unmittelbarer Nähe zur Strahlenquelle (Abb. 3.3.2). Lediglich ein Zaun trennt den Bediener vom Detektorbogen und somit von der Strahlenquelle. Eine weitergehende Dosisangabe fehlt.

Abb. 3.3.2: Untersucherstand mit Monitoranlage. Im Hintergrund der orangerote konkave Detektorbogen mit Container. Die Containerprüfanlage TC-Scan des Chinesischen Institutes für Kernenergie und Technologie der Universität Tsinghua. Demonstrationsvideo zur Verfügung gestellt von P. Båge der Firma ISS (Videobild, ohne Jahr).

American Sciences and Engineering

Die Containerprüfanlage **CargoSearch** der Firma American Sciences and Engineering (AS&E) verwendet Linearbeschleuniger als Strahlenquelle und die Technik der Rückstreuung. Bilder des untersuchten Fahrzeugs werden von zwei gegenüberliegenden Seiten gezeigt. Die von der Herstellerfirma zur Verfügung gestellten Unterlagen zeigen die Nachweismöglichkeit von geschmuggelten Kraftfahrzeugen (Abb. 3.3.3) und Drogenpäckchen hinter einer Tarnladung (Abb. 3.3.4) oder in einem Reservereifen (Abb. 3.3.5).

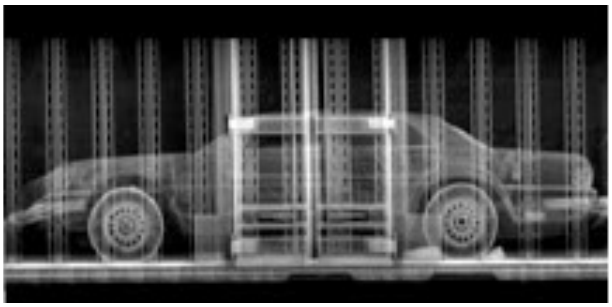


Abb. 3.3.3: In einem Container versteckt wurde hier versucht ein Mercedes zu schmuggeln. Containerprüfanlage CargoSearch der Firma American Science and Engineering (AS&E, 2001).URL: http://www.as-e.com/technology/image-bank/Images/ase_01b.jpg, gesehen 22.07.02.

Die vorgelegten Bilder der Anlage CargoSearch zeigen, daß die Abbildungsqualität bei der Rückstreuung ähnliche Ergebisse erlaubt wie die Durchleuchtungs- oder Transparenztechnik. Nach Herstellerangaben beträgt die Dosis des untersuchten Containers weniger als 5 µGy/scan. Für das Bedienungspersonal wird eine Dosis von weniger als 1 µGy/h angegeben.

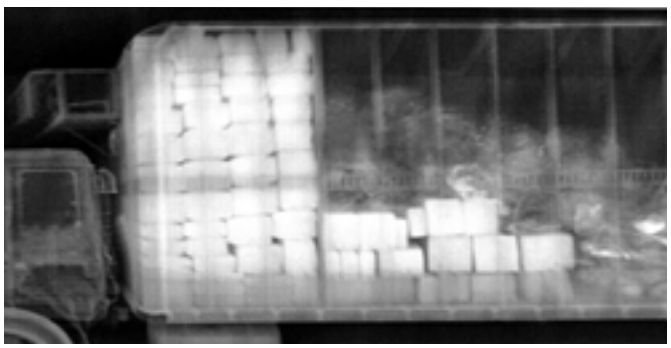


Abb. 3.3.4: Hinter einer Tarnladung Schrott verbergen sich 4,5 t Marihuana. Containerprüfanlage CargoSearch der Firma American Science and Engineering (AS&E, 2001).URL: http://www.as-e.com/technology/imagebank/Images/ase_01b.jpg, gesehen 22.07.02.

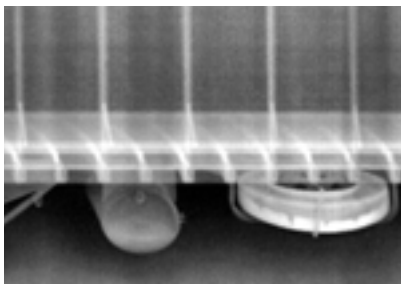


Abb. 3.3.5: Ersatzreifen mit Kokainpäckchen. Horizontaler Strahlengang. Containerprüfanlage CargoSearch der Firma American Science and Engineering URL: http://www.as-e.com/technology/technology.html, gesehen 22.07.02.

Das Fahrzeug **MobileSearch** der Firma AS&E besteht ebenfalls aus einem mobilen Röntgengerät (Abb. 3.3.6). Es arbeitet mit dem Prinzip der Durchleuchtung und dem Prinzip der Rückstreuung. Die verwendete Röntgenröhre hat eine Leistung von 450 keV. Der Untersucher wird einer Strahlenbelastung von weniger als 5 µGy/h ausgesetzt. Unterschiedliche Untersuchungsgeschwindigkeiten sind mit 16,51 cm/s und 8,25 cm/s technisch realisiert. In Abhängigkeit von der Geschwindigkeit beträgt die Dosis des untersuchten Objektes entweder weniger als 1,3 µGy/scan (schnelle Untersuchung) oder weniger als 2,4 µGy/scan (normale Geschwindigkeit). Angaben zur räumlichen Auflösung und zur Penetration durch Stahl werden nicht gemacht. Das zu untersuchende Fahrzeug kann im Höchstfall 2,59 m breit, 19,8 m lang und 4,27 m hoch sein (Abb. 3.3.7). Die Anlage wird auch zur Entdeckung von Personen benutzt, die verborgen in Containern versuchen, in die USA einzuwandern (Abb. 3.3.8 A und B).

Abb. 3.3.6: Das Fahrzeug MobileSearch der Firma American Science and Engineering. URL: http://www.as-e.com/technology/technology.html, gesehen 22.07.02.

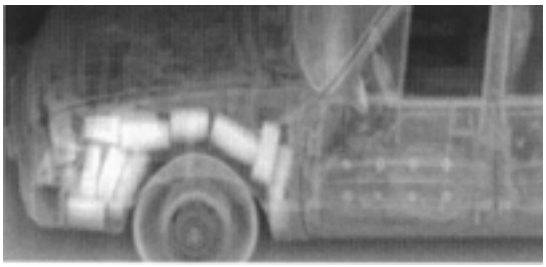


Abb. 3.3.7: Nachweis von Drogenpäckchen bei der horizontalen Durchleuchtung eines Personenwagens. MobileSearch der Firma American Science and Engineering. URL: http://www.as-e.com/technology/technology.html, gesehen 22.07.02.

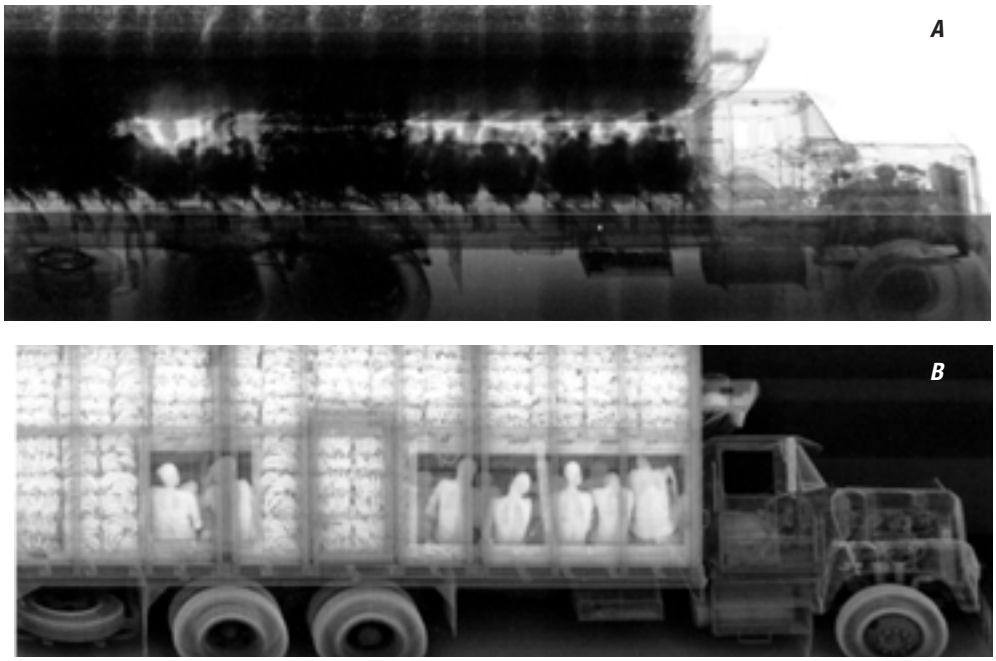


Abb. 3.3.8: Nachweis eines Menschenschmuggels an der mexikanisch-südwestamerikanischen Grenze. Horizontale Transmission (A). Ausnutzung der Rückstreuung (B). Containerprüfanlage CargoSearch der Firma American Science and Engineering.
Beide Abbildungen unter URL: http://www.as-e.com/technology/technology.html, gesehen 22.07.02.

Science Applications International Corporation

Die Röntgensysteme der Science Applications International Corporation (SAIC), einer in über 150 Städten weltweit arbeitenden Firma mit über 40.000 Beschäftigten, werden sowohl mit strahlende Substanzen und mit Beschleunigern betrieben.

Als Vorteil ihres stationären Systems **Relocatable VACIS** (Vehicle and Cargo Inspection System) gibt die Firma an, daß eine Demontage und ein Wiederaufbau in ein bis zwei Tagen möglich ist (Abb. 3.3.9). Zur Anwendung kommen zum einen der Gammastrahler 1,6 Ci Cäsium^{137} mit einer Energie von 662 kV und einer Halbwertszeit von 30,2 Jahren, zum anderen der 0,75 Ci Cobalt^{60} Gammastrahler mit einer Energie von 1,33 MeV beziehungsweise 1,17 MeV und einer Halbwertszeit von 5,26 Jahren. Stahl mit einer Dicke von 102 mm (1,6 Ci Cs^{137}) bis zu 165 mm (0,75 Ci Co^{60}) kann durchleuchtet werden. Die Zeit einen Container zu durchleuchten, beträgt ein bis drei Minuten. Der Hersteller gibt an, daß die verwendeten Quellen der Gammastrahlung nur eine geringe lokale Abschirmung benötigen. Kommt es zu einer Exposition eines im Container verborgenem Menschen beträgt die Dosis 5 µrem. Das System wurde entwickelt, um große Automobile und Lastwagen zu kontrollieren ohne diese zu öffnen. Eingesetzt werden kann es beispielsweise an Grenzübergängen, Containerkontrollen an Seehäfen, Lastwagenkontrollen anderer Art, bei Zollkontrollen und Kontrollen von Militär- und hochexplosiven Transportfahrzeugen. Es fußt auf dem Durchleuchtungsprinzip. Ein enger vertikaler Fächer gebündelter Strahlung (Breite 1,25 cm) durchleuchtet die Objekte, meist Container und Lastwagen. Detektoren registrieren die Schwächung der Strahlung im Objekt. Der Detektorturm hat eine Höhe von 6,40 m und die Schienen eine Länge von 27,43 m. Strahlenquelle und Detektorturm fahren synchron das Fahrzeug ab. Eine Videoüberwachung kontrolliert den Untersuchungsablauf, das Bild wird durch einen Computer errechnet. (Abb. 3.3.10).

Abb. 3.3.9: Aufbau der Relocatable VACIS Inspektionsanlage mit einem Schienensystems mit dem man den stehenden Lastwagen der Länge nach abfahren kann. URL: http://www.saic.com/products/ pdf/saic.pdf, gesehen am 22.07.02 auf Seite 3.

Abb. 3.3.10: Bild eines Lastkraftwagens, der mit der Relocatable VACIS Inspektionsanlage untersucht wurde. URL: http://www.saic.com/products/ pdf/saic.pdf, gesehen am 22.07.02 auf Seite 4.

Das System **Railroad VACIS** dient der Kontrolle von Eisenbahnwaggons. Zum Einsatz kommt ein 2,0 Ci Caesium[137] Gammastrahler. Es kann schnell demontiert und an einem anderen Ort wieder aufgebaut werden. Das untersuchte Objekt fährt durch das Inspektionssystem mit einer Geschwindikeit bis zu 8 km/h (Abb 3.3.11). Künftige Entwicklungen sollen Kontrollen bei Geschwindigkeiten bis 16 km/h ermöglichen. Eine Installation befindet sich an der Grenze zwischen Mexiko und den USA. Angaben zur Dosis beispielsweise von exponierten Personen in einem der kontrollierten Waggons werden vom Hersteller nicht gemacht (Abb. 3.3.12).

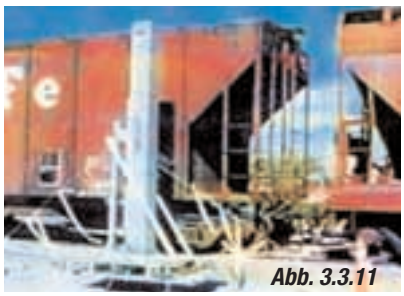


Abb. 3.3.11

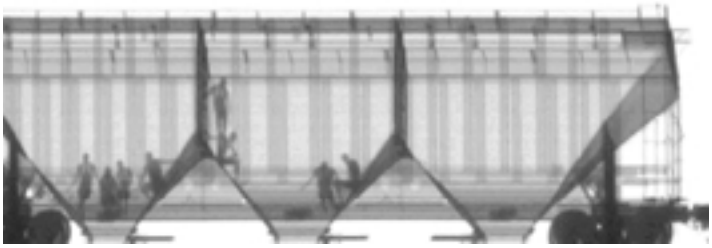


Abb. 3.3.12

Abb. 3.3.11: Eine fest an der Grenze zwischen Mexiko und den USA installierte Röntgenanlage, dient dem Nachweis von Personen. System Railroad VACIS der Firma Science Applications International Corporation. URL: http://www.saic.com/products/pdf/saic.pdf, gesehen am 07.07.02 auf Seite 4.

Abb. 3.3.12: In zwei der drei Stauräume, zeigen sich Menschen. System Railroad VACIS der Firma Science Applications International Corporation. URL: http://www.saic.com/products/security/pdf/pt15-13.pdf, gesehen am 07.07.02 auf Seite 3.

Das System **Portal VACIS** ist ein kleines transportables Kontrollsystem, daß entwickelt wurde zur Kontrolle von Containern, die für den Export bestimmte Fahrzeuge oder andere größere Güter transportieren (Abb. 3.3.13 und 3.3.14). Verwendet werden 0,3 Ci Caesium[137] Gammastrahler, die bis zu 51 mm Stahl durchdringen können. Natriumjodid Detektoren registrieren die Strahlung und erstellen ein Bild. Die Bildqualität läßt die Identifikation des Fahrzeugstyps im Container zu, Personen wären erkennbar. Die Untersuchungsgeschwindigkeit beträgt maximal 213,36 cm/s (URL: http://www.saic.com/products/pdf/saic.pdf auf Seite 5, gesehen am 07.07.02). Angaben zur Dosis werden vom Hersteller hier nicht erwähnt.

Abb. 3.3.13: Nach dem Anhalten an der Wiegestation wurde eine Spur abgetrennt und eine Durchleuchtungsanlage Portal VACIS installiert. URL: http://www.saic.com/products/pdf/saic.pdf auf Seite 5, gesehen am 07.07.02.

Abb. 3.3.14: Das Röntgenbild der Anlage zeigt zwei Automobile im Inneren des Lastwagens. URL: http://www.saic.com/products/pdf/saic.pdf auf Seite 5, gesehen am 07.07.02.

Das **Mobile VACIS** System arbeitet mit Gammastrahlenquellen (Cs^{137} bzw. Co^{60}). Die Energie des Cs^{137} Strahlung beträgt 662 keV bzw. 1,33 und 1,17 MeV. Stahl mit einer Dicke von 102 mm (1,6 Ci Cs^{137}) bis zu 152 mm (0,75 Ci Co^{60}) kann durchleuchtet werden. Die Geschwindigkeit der Inspektion muß dann auf weniger als 30,48 cm/s reduziert werden. Die schnellste Durchleuchtungszeit kann erreicht werden bei einer Geschwindigkeit von 213,36 cm/s. Somit können Personenkraftwagen in 3-10 s und Lastwagen in 10-20 s durchleuchtet werden (Tabelle 3.3.1). Die Dosis, die auf das untersuchte Objekt während des Abtastvorganges freigesetzt wird, beträgt 5 µrem. Strahlenquelle und Detektor sind leicht transportierbar (Abb. 3.3.15). Das System erlaubt die Kontrolle eines stehenden, aber auch eines fahrenden Fahrzeuges. Die Geschwindigkeit des fahrenden Fahrzeuges sollte 2 m/s betragen. Prinzipiell soll die Strahlung erst freigegeben werden, wenn der Fahrer mit dem Fahrerhaus das Strahlenfeld verlassen hat. Eine Dosisangabe für eine irrtümliche Exposition des Fahrers oder einer Person, die sich im untersuchten Bereich aufhält, wird vom Hersteller nicht gemacht. Die Anlage ist mit einem Dopplerradar verbunden, der eine Anpassung des Durchleuchtungsvorgangs an die Geschwindigkeit des Lastwagens und damit der Bilderstellung bzw. Bildberechnung erlaubt. Die automatischen Kollimatoren können den Gammastrahl auf 2,54-34,56 cm eingrenzen. In den Unterlagen wird angegeben, daß die 256 Detektoren der 487,68 cm hohen Detektorzeile aus Natriumjodid bestehen. Sie sind miteinander in Form von Modulen ausgelegt und verbunden. Die maximale Breite des untersuchten Objektes darf 2,44 m, die maximale Höhe 3,96 m betragen (Science Applications International Coporation, 1999).

Abb. 3.3.15: Die Strahlenquelle wird mit einem Hebekran von dem Fahrzeug weggehalten und strahlt auf die Detektorzeile bzw. in Richtung zum Fahrzeug. URL: http://www.xtek.net/catalogue/general/m-vacis.shtml, gesehen am 22.07.02.

Tabelle 3.3.1: Technische Daten (Mobile VACIS)

Räumliche Auflösung:	1,25 cm in der Mitte des Fahrzeuges
Penetration (Gammastrahler):	102 mm Stahl mit 1,6 Ci Cs^{137}
	152 mm Stahl mit 0,75 Ci Co^{60}
Inspektionsgeschwindigkeiten:	30,48 cm/s bis 213,36 cm/s
Fahrzeuggröße (max):	2,44 m Breite und 3,96 m Höhe.

Gammastrahler:
1,6 Ci Cs^{137}; Halbwertszeit 30,2 Jahre; Energie 662 KeV
0,75 Ci Co^{60}; Halbwertszeit 5,3 Jahre; Energie 1,33 MeV bzw. 1,17 MeV

Quelle: URL: http//www.saic.com/products/security/mobile-vacis-tech.html, gesehen am 7.7.02.

PerkinElmer

Neben den genannten Firmen existieren noch eine Vielzahl anderer. Die Firma PerkinElmer beispielsweise betreibt zur Flugfrachtkontrolle die Anlage **Air Cargo**, die mit einem Linearbeschleuniger betrieben wird. Mit einer Energie von 6 MeV wird Stahl bis zu 300 mm Dicke durchdrungen. Die Dosis pro Inspektion beträgt 250 µGy. Die Detektoren bestehen aus Cadmium. Ein Draht mit einer Dicke von 0,5 mm kann erkannt werden. Das Gebäude ist 19 m lang, 18 m breit und 5,5 m hoch. Etwa 15 20-Fuß-Container oder 30 10-Fuß-Container können in einer Stunde untersucht werden. In Hinblick auf die Strahlensicherheit werden laut Hersteller die Richtlinien der World Health Organisation und die Standards nach ICRP eingehalten (ICRP, 1991).

Die Anlage **Pallet X-ray** zur Kontrolle von Palletten und Flugfracht steht am Flughafen Schiphol in den Niederlanden und wird mit zwei Röntgensystemen betrieben, die ein vertikales und horizontales Bild ähnlich wie in der Hamburger Containerprüfanlage liefern. Container von bis zu 7 m Länge, 3,5 m Breite und 3 m Höhe können überprüft werden (Abb. 3.3.16). Das gleiche System kommt in modifizierter Form bei der Kontrolle von Lastkraft- oder Personenwagen zum Einsatz. Dabei darf das Fahrzeug bis zu 20 m lang und bis zu 60 t schwer sein. 25 Lastwagen können innerhalb einer Stunde kontrolliert werden.

Abb. 3.3.16: Pallet X-ray der Firma PerkinElmer am Flughafen Schiphol. URL: http://www.bombdetection.com/pallet_x-ray.shtml, gesehen am 22.07.02.

Das **System CX-2500M** ist ein mobiles Fahrzeug mit einer Energiequelle von 2,5 MeV (Abb. 3.3.17 und Abb. 3.3.18). Das System ist in der Lage an die 20 Container innerhalb einer Stunde zu durchleuchten. Es wird zum Beispiel in Europa beim Niederländischen Zoll zur Kontrolle der Container Terminals in Rotterdam eingesetzt (URL: http://instruments.perkinelmer.com/ds/pdf /2002-0125.pdf, gesehen am 22.07.02).

Abb. 3.3.17: Mobiles Röntgensystem CX-450M der Firma PerkinElmer.
Abb. 3.3.18: Röntgenaufnahme eines leeren Tankwagens mit dem System CX-450M.
Beide Abbildungen unter URL: http://www.perkinelmerxray.com/Cargo.asp?ProductCode=CX-450M, gesehen am 22.07.02.

Gepäckkontrollsysteme

Gepäckkontrollgeräte arbeiten vorwiegend mit dem ***Durchleuchtungsprinzip*** (Abb. 3.3.19). Darüber hinaus verwenden einzelne Geräte auch vorwärts- und rückwärtsgestreute Strahlung. Üblich ist es, die Durchleuchtungsdaten als Bilder wiederzugeben. Organisches und anorganisches Material läßt sich so oft vorab erkennen. Kommt es zu einem Verstoß gegen das Washingtoner Artenschutzabkommen aus dem Jahr 1973, gelingt in der Regel der *direkte Nachweis* (vgl. Abb. 3.3.20). Die Gepäckkontrolle liefert zuverlässige Ergebnisse. Sie kann mit einer Mustererkennung kombiniert werden. Wie die Gepäckkontrolle mit Durchleuchtung in Verbindung mit Metalldetektoren bei der Personenkontrolle die Sicherheit erhöhen kann, zeigt Abbildung 3.3.21. Hier gelingt der *direkte Nachweis* einer Pistole in einer Tasche. Metalldetektoren hätten vermutlich diesen Gegenstand ebenfalls registriert und einen Alarm ausgelöst.

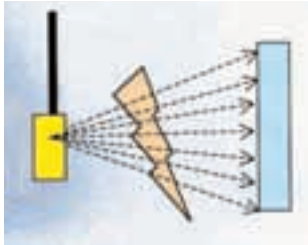


Abb. 3.3.19: Prinzip einer Durchleuchtung / Tomographie. Darstellung des gesamten Objektes in einem kompletten Bild (Niemann, 2001).

Abb. 3.3.20: Neben Schuhen und anderen Reiseutelsilien gelingt der direkte Nachweis zweier Eidechsen (s. Fußnote). Die Falschfarben sollen eine Differenzierung von organischen und anorganischen Material erleichtern. Heimann Röntgenapparat (ZfSR, 2001).

Abb. 3.3.21: Pistole in einem Rucksack. Unbekannter Röntgenapparat (ZfSR, 2001).

Abb. 3.3.22: Reisekoffer mit Kosmetika. In den Kondomen, welche an den Verschlüssen befestigt sind, befinden sich die Kosmetika, umgeben von illegalen Drogen. Unbekanntes Röntgensystem (ZfSR, 2001).

Doch nicht immer lassen sich Schmuggelgüter auf dem ersten Blick durch ihre typische Form direkt nachweisen. Wie bei anderen Röntgenverfahren müssen auch *indirekte Hinweise*, wie beispielsweise uneinheitliche Konturen oder Abgrenzung zweier verschiedenen Dichten in demselben Gefäß (Abb. 3.3.22), von dem Untersucher registriert werden, um das Röntgengerät erfolgreich einsetzen zu können.

Erkennbar sind auch andere Versuche bei der Inspektion die untersuchende Person zu täuschen: Metalldetektoren erkennen am Körper getragene Waffen und auch Sprengsätze, solange diese mit ausreichend Metall versehen sind. Diesen Umstand machte sich Richard Reid (Abb. 3.3.24) zu nutze. Durch Verwendung von präparierten Schuhen, ähnlich wie in der Abbildung 3.3.23, versteckte er Platiksprengstoff in seinen Schuhsohlen. Unbemerkt konnte er die Kontrollen passieren, da der typische Zündmechanismus (Metall) fehlte. Die Katastrophe konnte durch die anderen Passagiere der Fluges der American Airlines von Paris nach Miami verhindert werden, als Richard Reid versuchte mit Feuer den Sprengstoff zur Detonation zu bringen.

Abb. 3.3.23: Präparierte Schuhsohlen. Die Hohlräume waren hier mit Drogen gefüllt (ZfSR, 2001).

Abb. 3.3.24: Richard Reid hatte bei seiner Verhaftung 283,5 g Sprengstoff im Turnschuh (Hamburger Abendblatt vom 27.12.01, 52. Wo., 54. Jahrgang, Nr. 301).

Abb. 3.3.25: Röntgenkontrolle der Schuhe nach dem verhinderten Attentat (Sotscheck, 2001).

Neben den Falschfarben ist eine Vergrößerung verbunden mit einer Kontrastoptimierung technisch realisiert. In Abbildung 3.3.23 kann man neben den für Schuhe üblichen Metallbestandteilen auch eine verstärkte Kontrastrierung im Bereich der Sohle ausmachen, die in diesem Fall kleinen Drogenpäckchen, im Fall von Richard Reid auch kleinen Päckchen mit Sprengstoff entprechen können. Aufgrund des Attentatversuchs mußten Passagiere mit dem Ziel Vereinigte Staaten von Amerika teilweise auf Socken durch die Handgepäckkontrolle gehen (Abb. 3.3.25).

Die ***Transmission*** (Röntgendurchleuchtung) bei Gepäckkontrollen ist bei einzelnen Geräten mit dem Prinzip der ***Rückstreuung*** (Abb. 3.3.26) verbunden. Die Durchleuchtung ermöglicht die Darstellung von Kabeln und elektronischen Bestandteilen (Abb. 3.3.27 A). Die Rückstreuung zeigt weitere Details. Am Beispiel der Gepäckkontrolle eines Koffers mit unterschiedlichen Inhaltsstoffen soll der Vorteil einer Ausnutzung der Rückstreustrahlung veranschaulicht werden (Abb. 3.3.27 B und C). Beide Techniken ergänzen einander. In diesem Fall zeigt das Bild der Rückstreuung eine Pistole, die sonst nur schwer gesehen werden kann. Anahnd des Regenschirms zeigt sich die spiegelverkehrte Abbildung der Abb. 3.3.27 A und B). Es bietet sich an, daß der Kontrolleur die Bilder, die mit beiden Techniken gewonnen worden sind, gemeinsam auswertet. Die Strahlenquellen sind Röntgengeräte mit einer Energie von 120 und 135 KeV. Sie durchdringen Stahl von 24-33 mm Dicke. Der Hersteller gibt an, daß der Bedienende einer Strahlung von weniger als 5 µGy/h ausgesetzt ist. Zum Vergleich: Eine Stunde Flugzeit bei einem Transatlantikflug geht mit einer Exposition von 6-7 µSv/h einher. Die kontrollierten Gepäckstücke erhalten eine Dosis von 0,4 µGy. Eine Sicherheit für Photomaterialien ist gegeben.

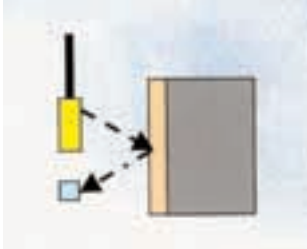
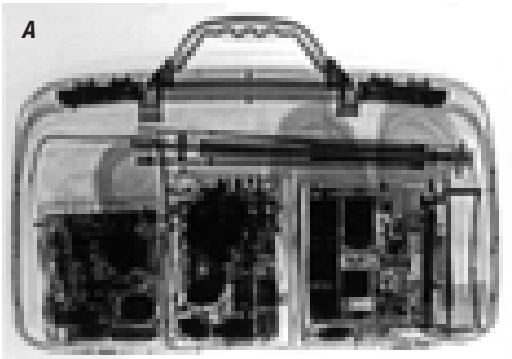
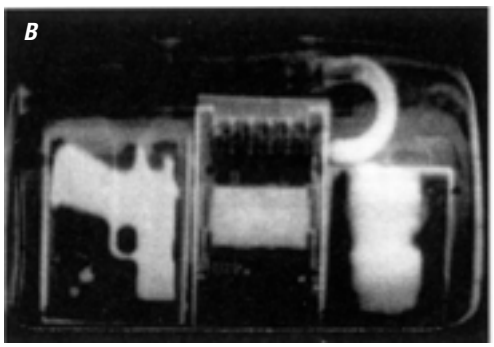


Abb. 3.3.26:
Prinzip der Rückstreuung. Darstellung erfolgt Punkt-für-Punkt (Niemann, 2001).





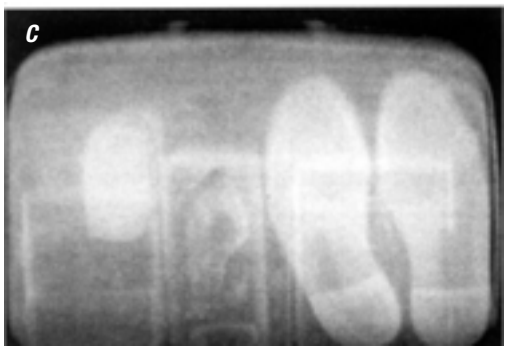


Abb. 3.3.27 zeigt das Bild einer normalen Durchleuchtung (A). Die Ausnutzung der Rückstreuung (B) macht eine Pistole der Marke Glock 17 sichtbar, die in der Durchleuchtung durch die Überlagerung mit elektrischen Komponenten unterging. Der gleiche Koffer ebenfalls mit der Rückstreutechnik, dieses Mal jedoch von der anderen Seite (C). Dabei zeigt jetzt eine starke weißliche Verfärbung den in der doppelten Wand des Koffers verborgenen Plastiksprengstoff (Abbildungen unter URL: http://www.as-e.com/technology/technology.html, gesehen am 22.07.02).

Geräte mit einer Analyse der ***Vorwärtsstreuung*** (Abb. 3.3.28) erlauben, verborgene Fremdstoffe zu erkennen. Eine Detailunterscheidung ähnlich einer chemischen Analyse ist möglich. Während des Inspektionsvorganges fährt eine Röntgenstrahlenquelle mit dem zugehörigen Detektor im rechten Winkel zu dem auf dem Förderband bewegtem Gepäckstück. Der Röntgenstrahl durchdringt das Reisegepäck in vertikaler Richtung. Detektoren registrieren die Transmission (Abb. 3.3.29 A) und die Streustrahlung (Abb. 3.3.29 B). Die erhaltenen Spektren (Abb. 3.3.29 C und D) werden über einen Computer mit den registrierten und bekannten Spektren (Abb. 3.3.30 A-D) abgeglichen. Findet sich eine Übereinstimmung wird ein kontrollbedürftiger Befund festgestellt und das Gepäckstück automatisch aussortiert. Als Strahlenquelle wird ein 160 keV Generator verwendet. In dem Untersuchungstunnel lassen sich Gepäckstücke mit den maximalen Maßen von 900 x 700 x 520 mm und einem Gewicht von maximal 40 kg kontrollieren. Eine Strahlenexposition für das Bedienungspersonal entsteht nicht. Personen sind somit nicht betroffen. Die Grenzwerte, welche für die Lebensmittelbestrahlung gelten, werden nicht überschritten (Niemann, 2001).

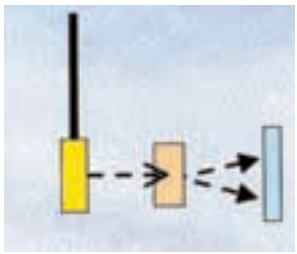


Abb. 3.3.28: Prinzip der Vorwärtsstreuung. Darstellung erfolgt Punkt-für-Punkt (Niemann, 2001).

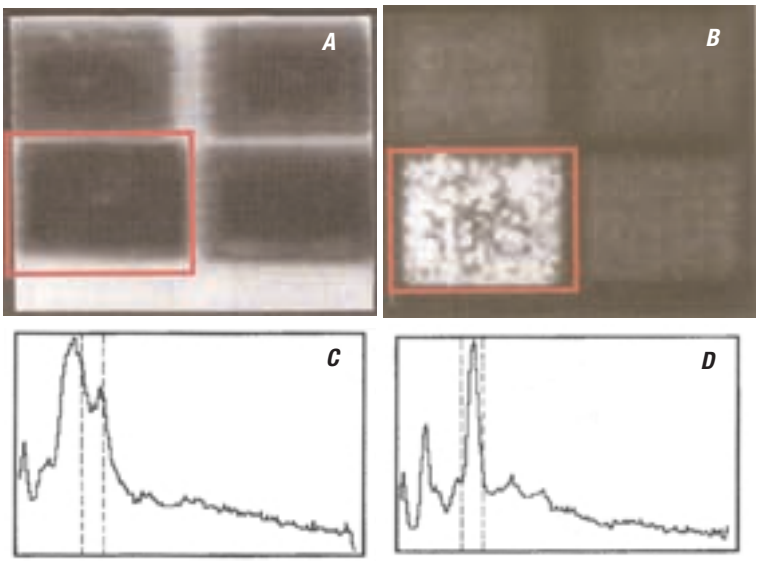


Abb. 3.3.29: Vier Schokoladen in der Durchleuchtung (A). Erst im Röntgenstreubild wird die versteckte TNT-Füllung sichtbar (B). Die spezifischen Spektren für Schokolade (C) oder TNT (D) ermöglichen eine genaue Differenzierung (Niemann, 2001).

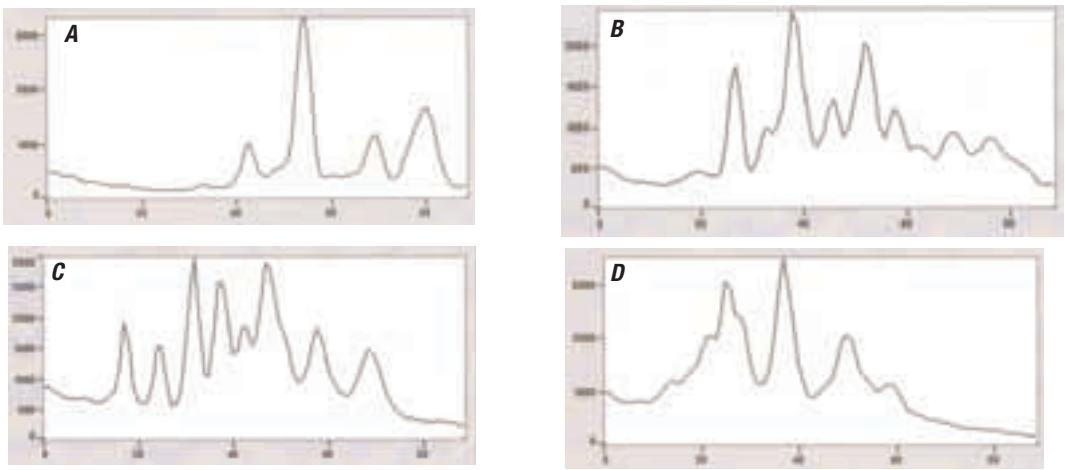


Abb. 3.3.30 A-D: Spezifische Spektren von Schwarzpulver (A), Semtex (B), Kokain (C) und Heroin (D) (Niemann, 2001).

Personenkontrollsysteme

Das System **SECURE 1000** der Firma RAPISCAN arbeitet mit dem Prinzip der *Rückstreuung* (Abb. 3.3.31). Es ist ausgelegt zur Aufdeckung von Waffen-, Sprengstoff- und Drogenschmuggel (Smith, 2002). Eingesetzt wird eine Röntgenstrahlenquelle von mit nicht genannter Energie. Die nur wenige Millimeter in den Körper eindringenden Strahlen werden reflektiert, von Detektoren registriert und zu einem digitalem Bild verarbeitet. Objekte die unter der Kleidung verborgen sind werden sichtbar gemacht, sie zeichnen sich scharf ab. Typisch ist der Nachweis von Knöpfen, Gürtelschnallen, Armbanduhren und Münzen, aber auch der Schienenbeine, bedingt durch ihre Nähe zur Hautoberfläche. Der Untersuchte wird von vorne und von hinten jeweils drei Sekunden abgetastet und auf einem Monitor abgebildet (Abb. 3.3.32). Bei dem Gerät SECURE 1000 ist die Strahlung dünn wie ein Bleistift und tastet den Körper komplett in einer schnellen Geschwindigkeit ab. Die Dosis des Strahls beträgt 20 mRem/s für 150 microsekunden, woraus eine Dosis von 3 mRem resultiert. Der Hersteller vergleicht die Belastung mit einem kommerziellen Flug über 20 Sekunden, welches etwa einer Dosis von 2,2 µSv entspricht. Eine Weiterentwicklung des Systems ermöglicht eine Untersuchung der schreitenden Person (**SECURE 2000**, Abb. 3.3.33 A). Eine unbemerkte Kontrolle aus vier verschiedenen Perspektiven wäre somit realisiert (Abb. 3.3.33 B). Nähere Angaben wurden vom Hersteller nicht veröffentlicht.

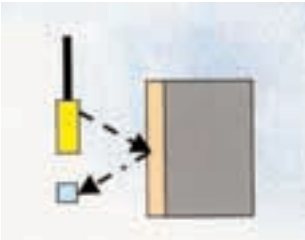


Abb. 3.3.31: Prinzip der Rückstreuung. Die Darstellung erfolgt Punkt-für-Punkt (Niemann, 2001).

Abb. 3.3.32: Pistole auf dem Rücken einer Person. Oberflächenscan durch das System SECURE 1000 von RAPISCAN. URL: http://www.rapiscan.com/secure1000/html, gesehen 02.08.02.

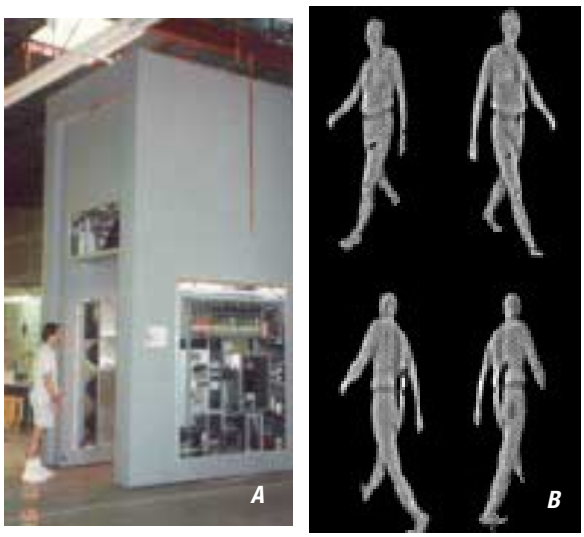


Abb. 3.3.33: SECURE 2000 in der Fertigungshalle (A). Pistole auf dem Rücken einer Person (B). Oberflächenscan aus vier Perspektiven durch das System SECURE 2000 von RAPISCAN. URL: http://www.dspguide. com/xraysys.htm, gesehen am 02.08.02.

Das System **BodySearch** der Firma **American Sciences and Engineering** wird auf verschiedenen amerikanischen Flughäfen, zum Nachweis von Drogen, Waffen, Sprengstoff und anderer Schmuggelware eingesetzt. Das Gerät nutzt ebenfalls das *Prinzip der Rückstreuung*. Grundlage ist ein Röntgengenerator mit einer Energie die vom Hersteller nicht genannt wird. Pro untersuchter Körperseite beträgt die Exposition des Untersuchten nach Herstellerangaben 0,05 µSv und für den Untersucher weniger als 5 µSv/h. Somit erreicht der Kontrolleur eine Exposition die er in der gleichen Zeit bei einem Transatlantikflug (eine Flugstunde entspricht etwa 6,6 µSv/h) ausgesetzt wäre. Die Expostition des Kontrollierten wird dagegen von Seite der Firma mit dem Genuß einer Banane und den darin enthaltenen Kaliumgehalt verglichen (Rothschild, 2002). Die Abtastzeiten einer Seite betragen acht Sekunden bei einer Frequenz von 60 Hz und zehn Sekunden bei 50 Hz. Laut Herstellerangaben soll eine Zuverlässigkeit erreicht werden, daß zusätzliche manuelle Kontrollen durch einen Kontrolleur nur bei einem begründeten Verdacht notwendig wären (Abb. 3.3.34). Seitliche Aufnahmen können zusätzliche Informationen liefern (Abb. 3.3.35 und Abb. 3.3.36).

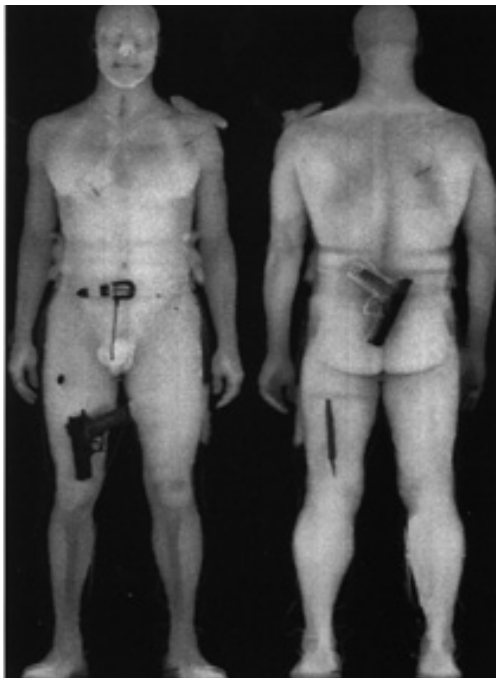


Abb. 3.3.34: Gürtelschnalle, Geldstück, zwei Pistolen, zwei Messer, Drogengürtel und an der linken Schulter ein Päckchen Kokain. Oberflächenscan durch Registrierung der Rückstreuung beim System BodySearch der Firma American Science and Engineering. URL: http://www.as-e.com/images/pic_body02. jpg, gesehen am 02.08.02.

Abb. 3.3.35: Nachweis eines Drogenpäckchens unter einem Kopfhaarersatz. Oberflächenscan durch Registrierung der Rückstreuung beim System BodySearch der Firma American Science and Engineering (Rothschild, 2002).

Abb. 3.3.36: Neben der Pistole sind auch die äußeren Geschlechtsmerkmale zu erkennen. Oberflächenscan durch Registrierung der Rückstreuung beim System BodySearch der Firma American Science and Engineering (Rothschild, 2002).

Das System **CONPASS-X-1280** der niederländischen Firma **M.M.C. International B.V.** arbeitet nach dem Prinzip der Durchleuchtung ähnlich den Anlagen die im Krankenhaus zur medizinischen Diagnostik eingesetzt werden (Abb. 3.3.37). Als Strahlenquelle dient ein 25 kHz Hochfrequenz-generator mit dem es möglich ist die Stromstärke in 10 kV Schritten von 70 auf 150 kV zu steigern (Anode). Die Strahlenbelastung soll die einer Flugstunde (6-7 µSv/h) entsprechen. Untersuchte: 0,5 mrem (0,005 mSv), Untersucher: 0,06 mrem/h (0,0006 mSv/h). Angaben über eine Filterung der weichen Strahlung, zum Beispiel mit Kupfer oder Aluminium, fehlen. Der Anodenstrom ist von 1 bis 3 mA in 0,5 mA Stufen veränderbar. Die Abtastzeit bis zum Aufbau eines 1344 x 550 Pixelbild beträgt 12 Sekunden, bei einem 2000 x 760 Pixelbild 24 Sekunden.

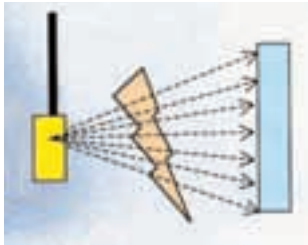


Abb. 3.3.37: Prinzip einer Durchleuchtung / Tomographie. (Niemann, 2001)

Das Bild wird mit einem digitalem Detektor erstellt. Der Untersuchte steht während des Untersuchungsvorganges auf einer Plattform, welche sich in einer seitlichen Bewegung vor dem Gerät bewegt und in etwa 10 Sekunden eine Ganzkörperaufnahme anfertigt (Abb. 3.3.38 A-C). Auf der Aufnahme ist das Skelett erkennbar, individuelle Züge der Person fehlen dagegen. Körperfremde Objekte heben sich deutlich ab, unabhängig davon wo sie sich oberflächlich oder im Körper befinden. Das Bild zeigt dabei zunächst den untersuchten Menschen in seiner ganzen Körpergröße.

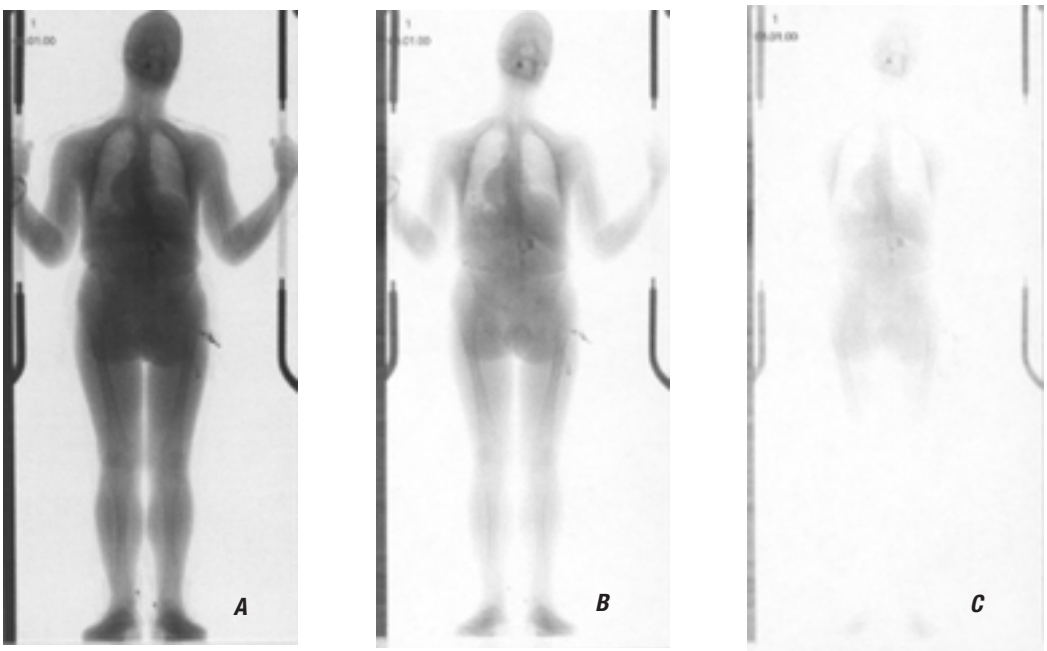


Abb. 3.3.38 A-C: Die Abbildungen zeigen beispielhaft drei bei dem System eingestellte Voreinstellungen der Transparenzregler. Diese Einstellungen können nach Bedarf umprogrammiert werden. Die erste Einstellung (A) untersucht die oberflächlich gelegenen Anteile einer Person, wie zum Beispiel Kleidung und Haare. Die zweite Einstellung (B) zeigt in erster Linie die Anteile eines menschlichen Körpers, die eine relativ gute Strahlendurchlässigkeit aufzeigen, wie Lunge, Hände und Füße. Die dritte Einstellung (C) zeigt am besten die Magen und Darmanteile. URL: http://www.conpass.net/imagegalleryframe.htm, gesehen am 22.07.02.

Verschiedene Transparenzstufen können gewählt werden, sie sind fest ausgelegt (Abb. 3.3.39 A-C). Feinheiten der Kleidung sind zu erkennen. Gegenstände aus Materialien hoher Ordnungszahl, insbesondere Metalle, bilden sich deutlich ab. Dabei sind auch Detailvergrößerungen möglich. Im Niedrigkontrastbereich lassen sich darüber hinaus organische Substanzen abgrenzen (Abb. 3.3.40 auf Seite 62), so daß sich Hinweise auf Plastiksprengstoffe ergeben. Auf der folgenden Seite zeigt Abbildung 3.3.41 unter der Kleidung neben verborgenen Schlüsseln und Münzen, auch eine Handgranate. Verschluckte oder in Körperhöhlen versteckte Schmuggelgüter finden sich in Abb. 3.3.42 ebenfalls auf der folgenden Seite.

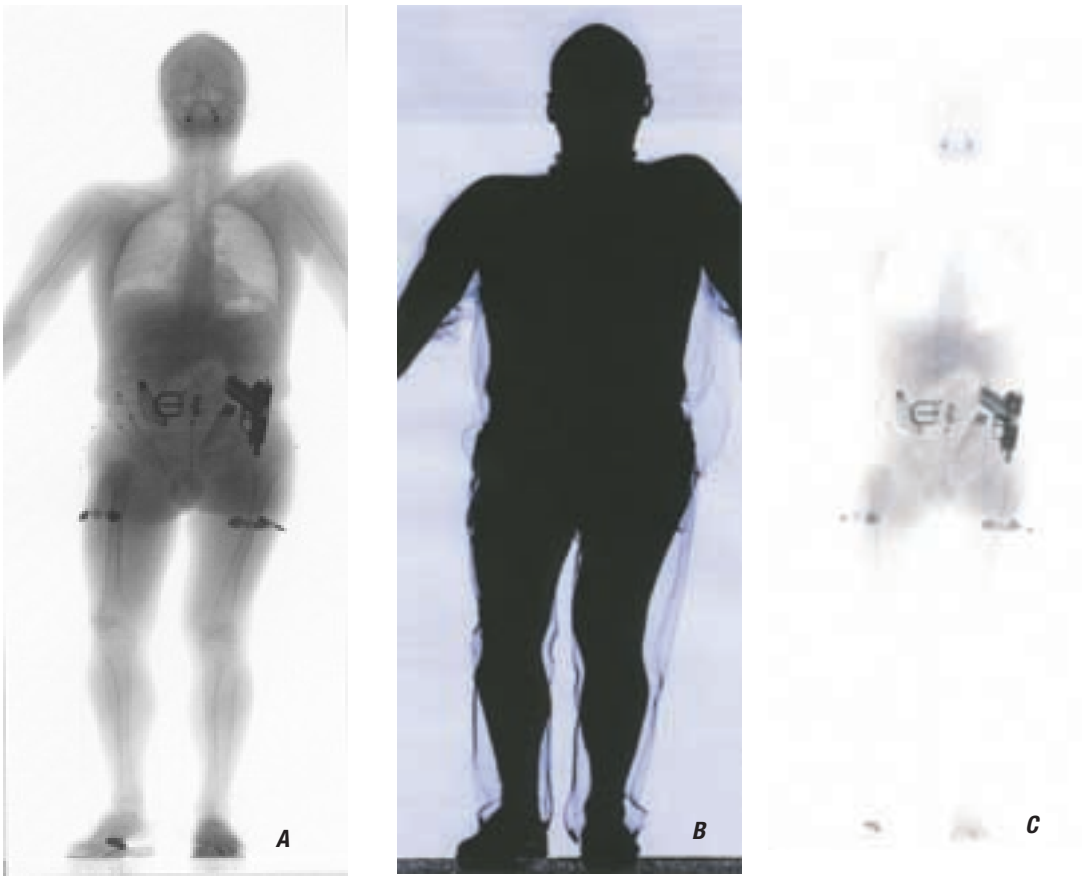


Abb. 3.3.39 A-C: Eine Person, die durch die Technik der Transmission kontrolliert wird, zeigt sich nach einer digitalen Aufarbeitung, wie die Abbildung links (A), als typisches digitales Röntgenbild in voller Größe. Die Möglichkeit der unterschiedlichen Transparenzstufen ermöglicht ein deutliches Sichtbarmachen der Kleidung (B). Im Vergleich hierzu kommt bei Ausnutzung des anderen Extrems eine Waffe und andere metallhaltigen Gegenstände zur Abbildung (C). URL: http://www.conpass.net/imagegalleryframe.htm, gesehen am 22.07.02.

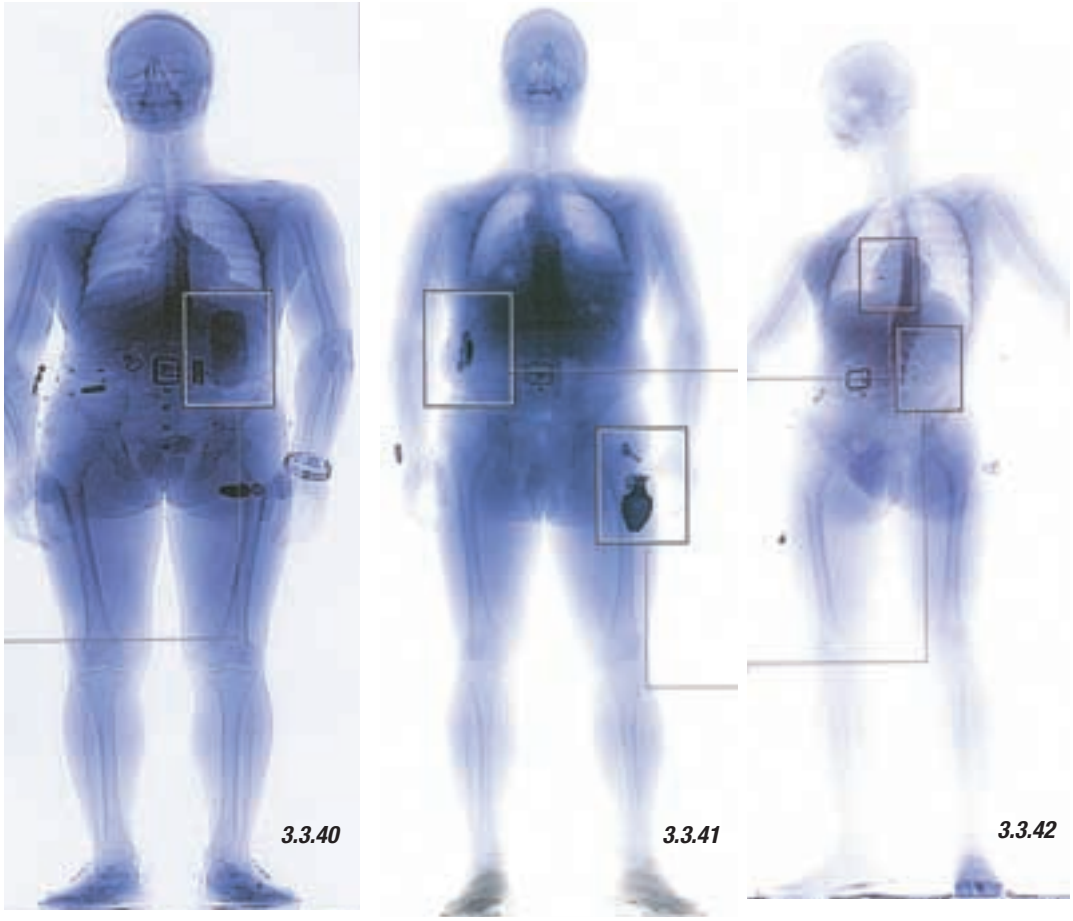


Abb. 3.3.40: Nachweis von Plastiksprengstoff
Abb. 3.3.41: Die Ausschnitte zeigen nebem Münzen und Schlüssel auch eine Handgranate in der Hosentasche.
Abb. 3.3.42: Nachweis eines kleinen 3 mm durchmessenden Diamanten im Bereich des unteren Ösophagus. Im Darm finden sich weitere Edelsteine. URL: http://www.conpass.net/imagegalleryframe.htm, gesehen am 22.07.02.

Das Gerät CONPASS-X-1280 wird zum Beispiel am Flughafen von Amsterdam eingesetzt. Ein Vergleich in der Firmenbroschüre soll bei der Einschätzung der Strahlenbelastung behilflich sein (Abb. 3.3.43).

Abb. 3.3.43: Vergleich der natürlichen Strahlung und die Exposition des Untersuchers bzw. des Untersuchten bei dem Röntgenkontrollsystem der Firma M.M.C. International B.V. mit dem Gerät CONPASS-X-1280 in einer Produktwerbung
(URL: http://www.americansecurity.net/products/conpass/conpass.html, gesehen am 02.08.02).

Die Röntgenanlage **SCANNEX** der Firma **Lodox** wurde zur Personenkontrolle bei der Diamantenfördergesellschaft De Beer in Oranjemund, Namibia entwickelt. Als Strahlenquelle fungiert eine Anodenspannung von 40-135 kV. Zur Anwendung kommt das Prinzip der Transmission. Die Streustrahlung beträgt in einem Meter Entfernung von der Strahlenquelle bei 130 kV und 25 mA etwa 20 µGy/h. Die Abtastzeit von Kopf bis Fuß beträgt zirka 12 Sekunden. Die Angaben zur Strahlendosis bezieht sich auf herkömmliche Röntgenaufnahmen. Sie soll 30 mal niedriger sein. Die Hersteller sind der Meinung, daß für die kontrollierten Arbeiter eine Jahresdosis von 1 µSv nicht überschritten wird. Ein ähnliches Gerät kommt in Akutkrankenhäusern zum Einsatz, zum Beispiel zur orientierenden Untersuchung bei einem Polytrauma (Abb. 3.3.44 A und B). Das digitale Bild (Auflösung 2500 x 6000 und 4000 x 10000 Pixel) erscheint nach 15 Sekunden auf dem Bildschirm. Nachträgliche Bearbeitungen, wie etwa Vergrößerungen, sind möglich (URL: http://www.lodox.co.za/lodoxtechnical.html, gesehen am 02.08.02).

Abb. 3.3.44 A: Die Firma Lodox vertreibt das Personenkontrollsystem LODOX PPM zum Einsatz an Akutkrankenhäuser zur schnellen Diagnostik bei politraumatisierten Patienten. Pro Untersuchung beträgt die maximal resorbierte Dosis 1 mGy.
Abb. 3.4.44 B: Digitales Bild des Lodox PPM Systems.
Beide Abbildungen unter URL: http://www.lodox.co.za/ lodoxtechnical.html, gesehen am 02.08.02.

Konventionelle Röntgendiagnostik (Beispiel)

Bei der Kontrolle am Hamburger Flughafen werden gefaßte Drogenkuriere in ein Akutkrankenhaus überführt, um bei einem intrakorporalen Schmuggel einen Nachweis mittels Röntgenaufnahmen führen zu können. Zeigen sich verdächtige Strukturen wird der Versuch unternommen diese zu bergen, um sie in einem späteren Strafprozeß als Beweis einzusetzen. Im April 2002 wurde ein über die Niederlande kommender 39jähriger Passagier aus Curacao vorgestellt. Drogenhunde des Zolls wurden auf den Reisenden aufmerksam. In der Übersichtsaufnahme des Abdomens finden sich im linken Oberbauch verdächtige Strukturen (Abb. 3.3.45). Alternativ zum Einsatz von Brechmitteln wurde über mehrere Tage mit einer Koloskopielösung der Gastrointestinaltrakt gepült.

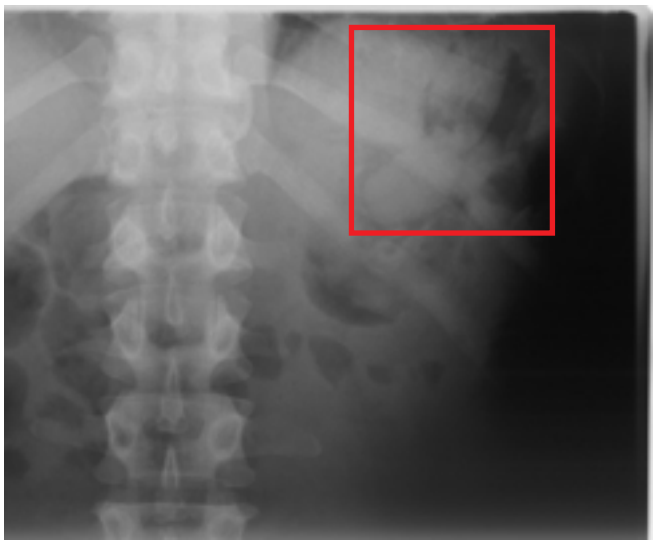


Abb. 3.3.45: Nachweis von zwei suspekten Strukturen im linken Oberbauch. Konventionelle Abdomenübersicht. Ausschnittsvergrößerung (Röntgenarchiv, 2002).

Bei nur zögerlicher Darmpassage wurde zunehmend die Möglichkeit einer Perforation der Drogenpäckchen in Erwägung gezogen. Daher wurde eine Ösophagogastroduodenoskopie veranlaßt. Es zeigten sich dabei acht Päckchen im Magenfundus (Abb. 3.3.46). Das Verpackungsmaterial löste sich bereits teilweise auf, so daß der Versuch unternommen wurde mittels der endoskopischen Technik die Päckchen zu bergen. Bei fünf von acht „Containern“ gelang dieser Ansatz. Bei der Bergung entstand allerdings auch ein tiefer Ösophaguseinriß. Die Tiefe der Verletzung ließ sich nicht sicher abschätzen.

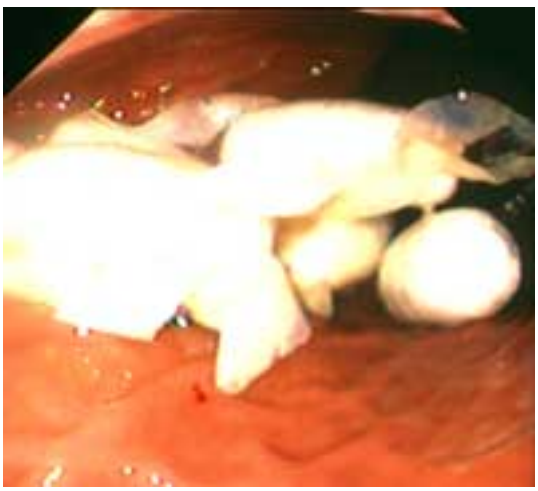


Abb. 3.3.46: Acht Kokainpäckchen mit teilweiser beschädigter Umhüllung im Magen. Endoskopischer Nachweis (Innere Abteilung, 2002).

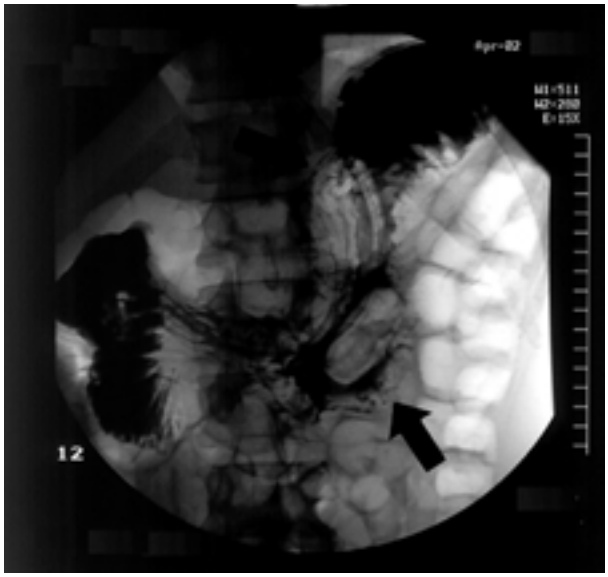


Abb. 3.3.47: Kokainpäckchen im Magenantrum umgeben von Gastrografin (Röntgenarchiv, 2002).

Um wiederum eine Perforation der Ösophagusschleimhaut auszuschließen wurde ein Gastrografinschluck durchgeführt werden (Abb.3.3.47). Dabei kam es zu keinem Übertritt des Kontrastmittels, so daß von einer intakten Muskelschicht ausgegangen werden konnte. Im weiteren wurden die verbliebenen drei Päckchen durch eine beschleunigte Magendarmpassage gesichert (Abb.3.3.48).

Tabelle 3.3.2: Übersicht der gesamten Röntgenuntersuchungen beim Sicherstellen der geschmuggelten Drogenpäckchen (chronologisch).

Abdomen im Liegen	0,7 mSv
Abdomen im Liegen seitlich	0,7 mSv
Abdomen im Liegen	0,7 mSv
Abdomen im Liegen seitlich	0,7 mSv
Zwerchfell Zielaufnahme	0,5 mSv
Thorax in zwei Ebenen	0,02 + 0,07 mSv
Ösophagus Monokontrast	3 mSv
Abdomen im Liegen	0,7 mSv
Abdomen im Liegen seitlich	0,7 mSv
Thorax in zwei Ebenen	0,02 + 0,04 mSv

Aufgrund der in der Literatur (Wall, 1997) beschriebenen Strahlendosen für die einzelnen Untersuchungen kann tabellarisch die Strahlenbelastung der einzelnen Untersuchungen zusammenfassend dargestellt werden (Tabelle 3.3.2).

Abb. 3.3.48: Ein Kokainpäckchen mit sich ablösender Ummantelung. Maße etwa 3 x 1 x 1 cm (Photo mit freundlicher Genehmigung von Keil, 2002).

Anwendung von Radioaktivität durch Staatsorgane der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik

An den Grenzübergängen der ehemaligen Deutsche Demokratische Republik zur Bundesrepublik Deutschland (Marienborn, Dreilinden, Staaken, Stolpe, Hirschberg und Zarentin) wurden zwischen 1978 und 1989 bei Fahrzeugkontrollen **Cs^{137}-Gammaquellen zur Durchleuchtung von Kraftfahrzeugen** eingesetzt. Die Quellen befanden sich bei Pkw-Kontrollen auf Brücken montiert über der Fahrspur, die Detektoreinheit war unterhalb der Brücke in der Fahrbahn eingelassen. Bei Lastwagenkontrollen befand sich die Strahlenquelle in einem Seitenholm der Brücke und die Detektoreinheit am Holm gegenüber der Fahrspur. Die Durchleuchtungszeiten lagen zwischen 8 (Pkw) und 25 Sekunden (Lkw). Spätestens nach 180 Sekunden wurde durch eine Begrenzungsschaltung der Durchleuchtungsvorgang automatisch unterbrochen. Dosisabschätzungen durch das Bundesamt für Strahlenschutz berechneten eine jährliche Strahlenexposistionen von ca. 7 µSv/a bei Pkw- und ca. 26 µSv/a bei Lkw-Kontrollen. Dabei wurden als Berechungsgrundlage 220 Kontrollen pro Jahr bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 5 km/h angenommen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 1995). Für den ungünstigsten Fall, einem Fahrzeughalt und einer Durchleuchtungszeit von 3 Minuten könnte theoretisch eine jährliche Strahlenexposition von ca. 4 mSv/a bei Pkw-Kontrollen und ca. 30 mSv/a bei Lkw-Kontrollen aufgetreten sein (Strahlenschutzkommission, 1995).

Zur Untersuchung von **radioaktiven Substanzen, die der Markierung von Personen und Gegenständen** dienten, führten staatliche Röntgenanlagen, wie die Containerröntgenanlage im Hamburger Hafen, die es mittlerweile weltweit gibt. Über vergleichbare Anlagen an der Grenze zwischen Mexiko und den USA, durch deren Einsatz auch gezielt nach illegalen Einwanderer gefahndet wird, ergab sich eine Verbindung zu staatlichen Initiativen, die unbemerkt Fahrzeuge durchleuchtet haben und die radioaktive Markierungen von Personen und Gegenständen vorgenommen haben, wie unter der ehemaligen Regierung der Deutschen Demokratischen Republik. Zum Teil ausgelöst durch den Tod ehemaliger Oppositioneller der Deutschen Demokratischen Republik, wie Rudolf Bahro, Gerulf Pannach und Jürgen Fuchs, wurde eine Projektgruppe Strahlen beim Bundesbeauftragten für die Unterlagen des Staatssicherheitsdienstes der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik ins Leben gerufen, um die näheren Umstände zu klären (Eisenfeld, 2000).

Dabei ergab sich zum einen in den konkreten Fällen keine eindeutige Beweislage, zum anderen zeigten die Unterlagen, daß es ein organisiertes System im Ministerium für Staatssicherheit (MfS) gab, welches einen Gebrauch von radioaktiven Substanzen zur Markierung, sowohl von Personen, als auch von Sachgegenständen, ermöglichte. Dabei wurden auch in gewisser Weise die in der Deutsche Demokratische Republik geltenden Gesetze beachtet, indem das MfS eigene Kategorien und Grenzwerte niederlegte: "Um strafbare und staatsgefährdende Handlungen nachweisen und aufklären zu können, haben folgende maximale Dosisäquivalente (MZD/E) pro Einsatz und Jahr Gültigkeit: a) Für alle männlichen Personen und Frauen im Alter von >= 35 Jahren, die nicht strahlenexponiert sind, gilt:
Gruppe 1: Gesamtkörper, Gonaden und blutbildendes System MZD/E <= 80 mSv. Gruppe 2: Augenlinsen, Magen-Darm-Kanal, Leber, Milz, Nieren, Lunge, Muskeln, Fettgewebe u.a. Organe des Körpers mit Ausnahme der, die zu den Gruppen I, III und IV gehören MZD/E <= 120 mSv. Gruppe 3: Knochen, Schilddrüse, Haut MZD/E <= 160 mSv. Gruppe 4: Hände, Unterarme, Füße MZD/E <= 400 mSv.
b) Für Frauen (...) bis zu 35 Jahren sollte in der Regel die Hälfte der aufgeführten Werte nicht überschritten werden.
c) Bei (...) Kindern ist zu garantieren, daß deren MZD/E kleiner als 1/10 der unter a) angegebenen Werte ist.
d) Bei (...) Frauen, die sich in einer Schwangerschaft bzw. der Stillzeit befinden, ist zu garantieren, daß die MZD/E-Werte unterhalb 5 mSv liegen. Außerdem ist zu beachten, daß Personen, die vom Einsatz dieser Mittel betroffen werden und o.g. MZD/E-Werte erreicht haben, in der Regel maximal 3 x in 10 Jahren mit diesen Mitteln in Berührung gebracht werden können" (Eisenfeld, 2000).
Wie in dem Gutachten von Pflugbeil et.al. festgestellt wurde, kam es unter Umständen zu einem Überschreiten des Grenzwertes um den Faktor 16, durch die Annahme, daß 80 mSv statt 5 mSv vertretbar wären. Liest man den Text genau, wären drei Einsätze innerhalb eines Jahres mit der zugestandenen Maximaldosis denkbar: 3 x 80 mSv = 240 mSv, dies entspricht einem Faktor von 48. Der Grenzwert in der BRD betrug zum damaligen Zeitpunkt 0,3 mSv/Jahr. Nach den Vorstellungen des MfS hätte dieser Wert 267-fach (bzw. 800-fach) überschritten werden können. Die jährliche Maximaldosis von 0,5 Rem (= 5 mSv) für Normalbürger wurde von Dr. Leuteritz (Mitarbeiter des Operativ-Technischen Sektors (OTS)) durch eigene Berechnungen deutlich überschritten, indem 12 Rem bei Normalbürgern als zulässig erklärt wurde.

Für alle männlichen Personen und Frauen im Alter von mindestens 45 Jahren (gemäß der bereits dargestellten Gruppendifferenzierung) "Gruppe 1 = 8 rem; Gruppe 2 = 12 rem; Gruppe 3 = 16 rem und Gruppe 4 = 40 rem”. Für Frauen unter 45 Jahren und Kinder wurden niedrigere Grenzen festgelegt; Männer unter 45 Jahren sind nicht aufgeführt (Eisenfeld, 2000).

Die Festlegung der zumutbaren Strahlenbelastungen durch Leuteritz einerseits für MfS-Mitarbeiter und andererseits für die sogenannten Zielpersonen zeigt Tabelle 3.3.3. Der Begriff „Einsatz“ ist ungenau gewählt, kann aber

Tabelle 3.3.3: Festlegung der Strahlenbelastung durch Mitarbeiter des Staatssicherheitsdienstes (Eisenfeld, 2000).

Abstand v. Körper	Zulässige Dosisleistung	Handhabungsvariante	
3 cm	<1 mSv / Woche	Hosentasche	MA MfS
3 cm	<3 mSv / Woche	Jackentasche	MA MfS
30 cm	<1 mSv / Woche	Aktentasche	MA MfS
3 cm	< 150 mSv / Einsatz	Hosentasche	Zielperson
3 cm	< 1 mSv / Einsatz	Jackentasche	Zielperson
30 cm	< 1 mSv / Einsatz	Aktentasche	Zielperson

Schlüsselblatt zum Verfahren 47100-680, GVS 218 Ministerium für Staatssicherheit-Nr.B 133/82; BstU, ZA, OTS 2277, Bl 108 - die dort angegebene alte Maßeinheit "Rem" wurde in die neuere Maßeinheit "mSv" umgerechnet.

mehrere Tage betragen. Doch damit wäre man nahe an einer Terminologie der Strahlenschutzverordnung und die hohen Dosen wären eher aufgefallen (Eisenfeld, 2000). Rechtfertigend beruft sich Leuteritz auf die in der DDR und in der Bundesrepublik angeblich "aus medizinischen Befunden" abgeleitete Gefährdungsdosis von 25 Rem, die er um die Feststellung einer "kritischen Dosis" von 100 Rem, einer "mittelletalen Dosis" von 400 und einer "letalen Dosis" von 700 Rem erweitert (Eisenfeld, 2000).
In dem Projekt **Wolke 005** kam es zum Einsatz radioaktiver Substanzen zur Markierung von Personen, Manuskripten und Devisen, aber auch von Fahrzeugen, Fußböden und Kleidungsstücke oder Schuhen.

In Hinblick auf die Durchleuchtungen an den innerdeutschen Grenzübergängen zeigt sich eine konspirative Umgehung von Genehmigungen bis in das MfS hinein. Belegt finden sich zwei 1984 beschlossene Arbeitsvorhaben der Abteilung 31 des OTS. Das eine betrifft die Entwicklung und Einrichtung der sogenannten **Technik V**, die die Personenfahndung mittels Durchleuchtung von Fahrzeugen beim grenzüberschreitenden Verkehr effektiver machen sollte (Eisenfeld, 2000).

Die zweite betrifft die Fertigung einer transportablen Gammaradiographie-Einrichtung. Der Leiter des OTS, Schmidt, bestätigte den Vorschlag des Strahlenschutzbeauftragten, Dr. Leuternitz, auf ein “Genehmigungsverfahren über die Strahlenschutzkommission” des MfS zu verzichten, da es sich um “operative Technik handelt, die in beiden Fällen einer relativ hohen Konspiration unterliegt” (Verzeichnis der Gifte im OTS von 1979; BStU ZA, OTS 2232, Bl. 3ff in Eisenfeld, 2000).

Personen

Personen wurden durch Nadeln, die in ihre Kleidung oder in ihrem Schuhwerk angebracht wurden markiert. Die eingesetzten Substanzen sind in Tabelle 3.3.4 auszugsweise aufgeführt.

Tabelle 3.3.4: Radioaktive Substanzen. Nadeln zur Markierung von Schuhen und Kleidung. Wolke 005 (Eisenfeld, 2000).

Isotop	Halbwertszeit	Gammastrahlung
Fe^{55}	45 Tage	1,10 MeV
Co^{58}	71 Tage	0,81 MeV
Ag^{110m}	250 Tage	0,88 MeV

Die Substanzen haben eine hohe Energie. Dies erlaubt die Verfolgung der markierten Personen aus größerer Entfernung. Entwickelt wurde dazu ein Detektor, der unter der Jacke getragen wurde und die Strahlung für den Verfolger durch Vibrationen anzeigte (Abb. 3.3.46).

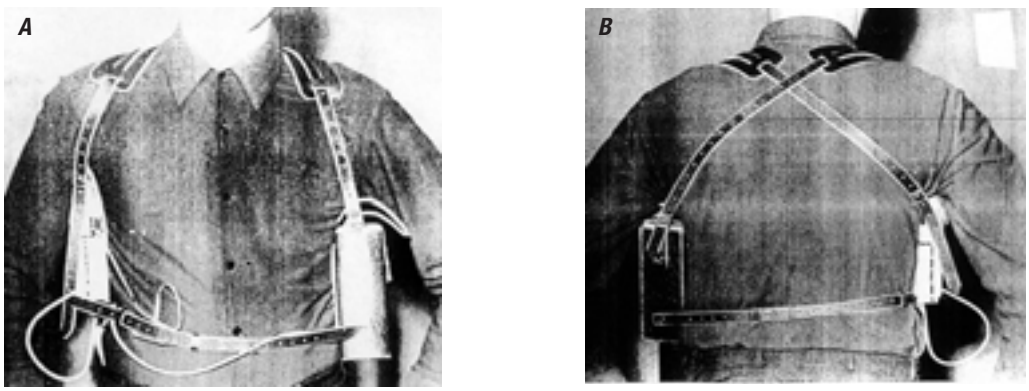


Abb. 3.3.49: Das Gerät “Wolke oo5” wurde entweder direkt am Körper getragen -Ansicht von ventral (A) und dorsal (B)- oder in einer speziell vorbereiteten Aktentasche (Signalmittel, Vibrator im Henkel der Tasche) transportiert (Eisenfeld, 2000).

Papiere, Akten, Manuskripte und Devisen

Die eingesetzten Substanzen zeigt Tabelle 3.3.5. Erkennbar ist, daß Substanzen wie C^{14} und H^3 durch Oberflächenmessungen, zum Beispiel in Poststationen erfaßt wurden, während Natrium^{24} mit einer Halbwertszeit von 15 Stunden kurzzeitig die Überwachung aus der Entfernung zuließ.

Tabelle 3.3.5: Radioaktive Substanzen zur Markierung von Papieren, Dokumenten, Manuskripten und Devisen

Isotop	Halbwertszeit	Gammastrahlung
Na^{24}	15 h	2,76 MeV
H^3	12 a	0,02 MeV
C^{14}	5730 a	0,16 MeV

Ein Beispiel zeigt den Umgang der Behörden mit dieser Technik:

Ein **Diebstahl von Westgeld aus Postsendungen** konnte aufgedeckt und nachgewiesen werden. Dazu präparierten Mitarbeiter der OTS am 4. Mai 1988 zwanzig Fünfmark-Scheine mit dem "Wolke"-Mittel 113 (jeweils markiert mit 60 µCi Scandium^{46} (Sc)) steckten sie in Briefkuverts und schickten sie einen Tag später "operativ in den Postkanal". Tatsächlich konnte ein Mitarbeiter der Post des Diebstahls überführt werden. Die Dosis für Scheinträger wurde berechnet. Unter der Voraussetzung, daß ein markierter Schein kontinuierlich am Körper getragen wurde, beläuft sich die Dosis auf 2 Sv in 3 Monaten (Bericht der OTS über ein Vorkommnis der SA 88/70007 vom 31.5.1988; BstU, ZA, OTS, Bdl. 2655, S. 1-8.). In dem konkreten Fall konnten aber nur acht der 20 präparierten Scheine sichergestellt werden (Eisenfeld, 2000).

Mord mit radioaktiven Substanzen

Nach dem Tod des rumänischen Staatschefs Ceausescu wurden Aktionen des Geheimdienstes Securitate bekannt, bei dem strahlende Substanzen zur Beseitigung von Personen eingesetzt wurden (Pacepa, 1987). Benutzt wurde dabei Thallium 204 (β: 3,8 MeV, γ :1,5 MeV Halbwertszeit 12 Stunden). Opfer waren der Agent Nikolai Khoklov (Muller, 1959), der frühere Außenminister Kiraly und vermutlich mehrere Direktoren eines kritischen Radiosenders (Pacepa, 1987). Das radioaktive Isotop wurde wahrscheinlich mit einer Nadel verborgen in einem Regenschirm dem Opfer in der Öffentlichkeit injiziert. Der Stich wurde als Unfall gedeutet (Eisenfeld, 2000).

3.4 Kampfmittelerkennung: Sonderfall der Röngtenrückstreutechnik

Die Versuche die Röntgenrückstreutechnik zur Kampfmittelerkennung einzusetzen, sind für das Militär von besonderem Interesse. Grund der intensiven Forschung sind die vielfältigen Probleme bei der Entdeckung von Kampfmitteln und Minen:

Eine Metallerkennung mit empfindlichen *Metalldetektoren* in der Natur ist problematisch. Im Boden befinden sich natürliche metallhaltige Mineralien, aber auch verschiedene Metallgegenstände (zum Beispiel Kronkorken). Beim Einsatz von gewöhnlichen Metalldetektoren kommt es daher ca. 100 mal zu positiven Anzeigen, wobei wahrscheinlich nur einmal ein wirklich gesuchter Befund vorliegt.

Die Minensuche mit einer sog. *Pioniernadel* ist gefährlich. Mit feinen und langen Stäben stochern Personen -nach einem über dreijährigen Training- vorsichtig und sensibilisiert im Erdboden, bis sie auf Minen stoßen. Problematisch dabei ist die enorme mentale Belastung. Bereits nach wenigen Stunden muß der Suchende mit der Arbeit aufhören und eine Pause einlegen. Die Gefahr verletzt zu werden ist dabei groß, insbesondere bei Verwendung metallfreier Minen.

Der Einsatz von trainierten Hunden als *"chemische Schnüffler"* zum Beispiel in Südafrika schützt die Menschen bei der Suche. Speziell auf die Suche von Trinitroluol (TNT) spezialisierte Hunde sollen die versteckten Minen aufspüren. Problematisch ist dabei die nach Stunden nachlassende Empfindlichkeit und Konzentration bei den Tieren. Hinzu kommt, daß häufig im Einsatz in den Kriegsgebieten, die gesamte Luft nach TNT oder anderen Sprengstoffen riecht und es von daher häufig zu Fehlalarmen kommt (Niemann und Strecker, 2002).

Prinzip der Röntgenrückstreutechnik (RRT):

Das Verfahren ermöglicht eine Materialunterscheidung. In Abhängigkeit zur Dichte werden die empfangenen Signale proportional aufbereitet. Es gelingt Hohlräume darzustellen, Sprengstoffarten zu differenzieren, Hülle und Zünder zu differenzieren. Die RRT erfaßt die Daten punktweise.

Ein großer Aufwand muß in die Abschirmung bei diesem Verfahren investiert werden, da die empfangenen Signale eine nur geringe Intensität haben. Es ergibt sich ein hoher dynamischer Bereich durch Absorption im Prüfobjekt. Der Prototyp auf einem Testgelände der Bundeswehr arbeitet mit einer Röntgenröhre mit 450 Kv. Dabei wird ein Ablesebereich von 1,35m x 1,30m (Anhängerbreite 2,5m) erzielt (Niemann und Strecker, 2002).

Die Zeit bis zum Erfassen und Interpretieren der Signale beträgt für die Anti- Personen-Minen (APM) 4 Minuten. Panzer-Abwehrminen (ATM) werden in 9 Minuten erkannt. In beiden Fällen wird für einen Raum von ca. 2 m^2 eine Stunde benötigt.
Die Schwierigkeit bei der Aufarbeitung der Daten liegt in der Anzahl der verschiedenen Typen: ATM vom Typ TM 62, „Mineburger“, Schützenabwehrminen oder aber harmlose Attrappen zum Beispiel aus Beständen der Nationalen Volksarmee (NVA).

Ein Vorteil der Röntgentechnik, im Gegensatz zur Radarstrahlung, besteht darin, daß auch Wasser durchdrungen werden kann. Vom Strahlenschutzaspekt ist der brisante Moment das Auftreffen des 1 cm durchmessenden Strahls auf den Boden. Hierbei entsteht eine hohe Streustrahlung, wobei nur ein sehr geringer Teil tatsächlich reflektiert und somit ausgewertet werden kann. Von Bedeutung ist dabei der Abstand Strahler-zum-Boden, der wahlweise 10 cm, 20 cm oder 50 cm Bodenfreiheit betragen kann. Der Streuwinkel ist variabel zwischen 120-180°.
Problematisch bei dem Einsatz im Gelände ist das Gewicht der 450 kV Röntgenröhre von 100 kg, bedingt auch durch die Ölkühlung die einen kontinuierlichen Betrieb ermöglichen soll. Die Eindringtiefe der Strahlung in den Boden kann 15-20 cm betragen und ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit und dem Untersuchungswinkel. Der Tiefenbereich ist begrenzt durch Absorption und Mehrfachstreuung (Niemann, 2002).

4 Diskussion

Der Einsatz von Röntgenstrahlung erfolgt in erster Linie in der Medizin. Hierbei berücksichtigt man den Nutzen für eine Therapie oder Diagnostik gegenüber dem Strahlenrisiko, das mit der Untersuchung für den direkt (Patient) oder indirekt Exponierten (z. B. Untersucher) verbunden ist. Grundsätzlich gilt, daß die Röntgenstrahlen auf Menschen nur in Ausübung der Heilkunde oder Zahnheilkunde angewendet werden dürfen (§ 24, Abs. 1 der Röntgenverordnung von 2002). Darüber hinaus existieren Einsatzgebiete in denen es zur Verwendung von ionisierender Strahlung auch ohne eine medizinische Indikation kommen kann. Dazu gehören Röntgenuntersuchungen bei Kleinkindern bei denen der Verdacht eines Mißbrauchs besteht (Carty, 2002), bei Jugendlichen und Asylbewerbern zur Altersbestimmung (Jung, 2000 und Mora, 2001), bei der Diagnostik von latenten Erkrankungen (zum Beispiel Tuberkulose) für Versicherungen (Verver, 2002 und Breuss, 2002), bei Einstellungsuntersuchungen (Mathiesen, 2002), bei Zivilprozessen zum Nachweis oder Ausschluß von Erkrankungen bei Schadensersatzforderungen und bei speziellen Fragestellungen im Leistungssport. Aussagen in Hinblick auf die Morbidität durch Dosis bei den Expositionen lassen sich dabei nur abschätzen (Edwards und Lloyd, 1998; Edwards und Moiseenko, 1996). Untersuchungen auf chromosomaler Ebene zeigen zwar Brüche und Aberrationen, aber auch zelleigene Reparaturmechanismen (Petzer, 2002; Popp, 2000).

Ein großer Bereich ist der Einsatz von ionisierender Strahlung in zivilen oder militärischen Sicherheitsbereichen und an Grenzen, wobei neben der Exposition der Waren und Güter auch die von Menschen einkalkuliert wird oder gar gezielt beabsichtigt ist. Gepäck-, Personenkontrollsysteme, mobile Röntgenfahrzeuge und stationäre Großanlagen, wie beispielsweise die Containerprüfanlage im Hamburger Hafen, werden hierbei verwendet.

4.1 Strahlenexposition durch Neutronen in einer Containerdurchleuchtungsanlage

Über die schädigende Wirkung von Neutronenstrahlung in geringer Dosis auf den menschlichen Organismus oder eventuell tumorinduzierende Wirkungen ist bislang nur wenig bekannt (Kellerer, 2000 und Sigurdson, 2002). Über Erfolge in der medizinischen Therapie, wie zum Beispiel bei der palliativen Therapie maligner Melanome (Bremer, 1999) oder Karzinome der Speicheldrüsen (Prott, 2000) wird in der Literatur berichtet.

In der Hamburger Containerprüfanlage wurde erstmals eine Neutronendosis oberhalb des Wertes der natürlichen Strahlung nachgewiesen. Aufgrund von Aktivierungsprozessen in der Anlage entsteht eine Folgestrahlung durch die Neutronen, die mit Spitzenwerten von 710 nSv/h (Standort Y1) das 118 fache, mit 1730 nSv/h (Standort Y2) das 288 fache und mit 284 nSv/h (Standort Z) das 47 fache der Umgebungsstrahlung von 6 nSv/h übersteigt (Umwelt und Strahlenbelastung im Jahr 1999, 2000). Außerhalb der Anlage sowie in den angrenzenden Räumlichkeiten konnten keine Werte registriert werden, die höher waren als die der Umgebungsstrahlung. Eine Gefährdung für das Personal des Betreibers und die kontrollierten Fahrzeuginsassen durch Neutronenstrahlung konnte soweit die Bestimmungen und der Sperrbereich eingehalten werden, nicht wahrscheinlich gemacht werden. Eine Exposition von Personen, die sich unachtsamer Weise im Lastwagen –zum Beispiel ein schlafender Beifahrer- oder bewußt mit der Absicht eines illegalen Grenzübertrittes im Container befinden und von Arbeitern, die sich versehentlich im Wartungsturm der Anlage aufhalten könnten, ist durch die Neutronenstrahlung möglich. Auch in Zukunft gilt es bei Bau und Betrieb derartiger Anlagen die Abschirmung der Neutronenstrahlung zu berücksichtigen, zumal bislang nur wenige epidemiologische Informationen vorhanden sind (Kellerer, 2000).

4.2 Strahlenexposition bei Röntgenkontrollen an Grenzen

Bei dem Vergleich mit anderen Röntgensystemen, die ebenfalls an den Grenzen eingesetzt werden, wird deutlich, daß Kontrollen und damit eine Strahlenexposition von Personen auf die unterschiedliche Art und Weise und nicht immer mit dem Einverständnis und Wissen der Exponierten erfolgt (Eisenfeld, 2000). Die Auseinandersetzung in wie weit dieses Vorgehen gerechtfertigt ist verschärfte sich nach dem Terroranschlag auf das World Trade Center in New York am 11. September 2001. Die Umstände die zu diesen Anschlägen führten entfachten eine intensive und weltweite Diskussion über die Sicherheitssysteme an den internationalen Flughäfen. Der Einsatz von Röntgengeräten zur alleinigen Gepäckkontrolle war nicht mehr ausreichend. Als Konsequenz forderten nicht nur die für die Sicherheit Verantwortlichen, sondern auch einige der Reisenden selbst eine strenger Überprüfung aller Reisenden.

Ob eine Kontrolle generell nur mit dem Einverständnis der Untersuchten erfolgen darf, hängt dabei nicht nur von der Dosis ab, sondern auch ethische und moralische Aspekte müssen berücksichtigt werden. Die Belastung eines einzelnen und der Nutzen für das Gemeinwohl müssen dabei gegeneinander abgewogen werden. Die Problematik wurde von der Europäischen Union erkannt, eine Arbeitsgruppe mit Experten bereitet derzeit die Direktiven vor, deren Ergebnisse in einem Symposium im September 2002 in Dublin, Irland, zusammengetragen worden sind (vergleiche URL: http://europa.eu.int/comm/enviroment/radprot).

Der Sonderfall des Einsatzes von Strahlenquellen in der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik ohne Einverständnis und Kenntnis der Exponierten demonstriert eindrucksvoll, daß auf der anderen Seite nicht immer von einem kritischen und wohlüberlegten Handeln der Verantwortlichen ausgegangen werden kann.

4.2.1 Kontrollierte Personen

Zur Kontrolle und somit Strahlenexposition durch Röntgenanlagen kommt es planmäßig beim Einsatz von Personenkontrollsystemen wie BodySearch (AS&E), SECURE 1000 (RAPISCAN), SCANNEX (Lodox) oder CONPASS-X-1280 (M.M.C. International B.V.). Dabei funktioniert ein sinnvoller Betrieb derzeit nur mit einer Mitarbeit und Kooperation des Kontrollierten. Anderenfalls kommt es bei Bewegungsunruhe zu Unschärfen und Verzerrungen. Die von den Herstellern genannten Dosiswerte bewegen sich bei den Oberflächenabtastverfahren zwischen 1 - 5 microRöntgen (BodySearch) und zwischen 3 - 5 mRem (SECURE 1000). Bei den Durchleuchtungsverfahren wird eine Dosis von 1 mGy (SCANNEX) und von 10 mSv (CONPASS-X-1280) angegeben. Die höheren Werte bei den zuletzt genannten Verfahren bringen für den Untersucher den entscheidenden Vorteil mit sich, daß auch Körperhöhlen mit beurteilt werden können. Dies ist hilfreich um Sprengstoff bei möglichen Selbstmordattentätern zu entdecken. Es kommt darüber hinaus auch dem ethisch und moralischem Empfinden vieler Kontrollierten Personen entgegen, die sich -zum Beispiel durch die Aufnahmen der Anlage BodySearch- in ihrer Intimsphäre gestört sehen (Allen, 2000). Durch zusätzliche seitliche Aufnahmen kann es dabei auch zu weiteren Expositionen kommen. Gegenüber einem Metalldetektor wird ein verdächtiger Gegenstand in Größe und Lokalisation abgebildet. Darüber hinaus gelingt der Nachweis von nicht-metallenden Gegenständen (Drogen, Plastiksprengstoff, Keramik oder Diamanten) und von sehr kleinen Materialien.

Die Hersteller schließen eine Gefährdung für Kinder und Schwangere praktisch aus. Die Anzahl der Expositionen und das Alter des Fötus sind dabei zu bedenken, da Untersuchungen daraufhin deuten, daß es in der achten bis fünfzehnten Schwangerschaftswoche zu einem Verlust von 30 Intelligenzquotientpunkten pro Gray Strahlungsenergie kommen kann (Edwards und Lloyd, 1998). Vergleichend sei an dieser Stelle eine retospektive Studie erwähnt bei der eine Belastung zwischen 0,01 µGy bis 117 mGy bei medizinischen Untersuchungen von Schwangeren für das ungeborene Kind berechnet wurden (Osei, 1999).

Durch für jeden nachvollziehbare Vergleiche wollen die Firmen den Ängsten in der Bevölkerung gegenüber der ionisierenden Strahlung entgegentreten. Beispielsweise bemüht sich ein Ingenieur der Firma AS&E um eine Gegenüberstellung mit der zahnärztlichen Panoramaaufnahme.

Eine einzige Aufnahme entspräche etwa 80.000 Inspektionen mit dem System BodySearch (AS&E, 2001). Noch eindrucksvoller ist der jüngste Vergleich mit dem Kalium40-Gehalt in einer einzelnen Banane, die einer Untersuchung mit der Anlage BodySearch entsprechen soll (Rothschild, 2002). Eine regelmäßige Personenkontrolle erfolgt zur Zeit mit der Anlage SCANNEX, wobei nach Schichtende alle Arbeiter einer Diamantenmine sich einer Untersuchung unterziehen müssen. Sehr viel differenzierter ist das Vorgehen derzeit noch an den internationalen Flughäfen. Verdächtige Flugpassagiere werden angesprochen und vor die Wahl gestellt sich entweder manuell oder durch die Röntgenanlage kontrollieren zu lassen.Eine Weiterentwicklung der Systeme könnte allerdings dahin gehen, daß Kontrollen in Bewegung und somit ohne das Wissen und die Mitarbeit der kontrollierten Person möglich sind. Eine solche Alternative wurde bereits im Gerät SECURE 2000 verwirklicht, bei dem eine unbemerkte Untersuchung in einem gemäßigtem Gang möglich ist.

Bei dem Betrieb anderer Röntgenanlagen bei denen die Exposition von Personen primär nicht geplant oder beabsichtigt ist, kann es ebenfalls zu einer Strahlenbelastung von Menschen kommen. Die Herstellerfirma der stationären Containerprüfanlage im Hamburger Hafen nennt eine Personendosis beim Einsatz beider Beschleuniger im Inneren eines Containers von 2 x 18,5 mSv (Sicherheitsbericht, 1996). Baugleiche Containerprüfsysteme derselben Firma ermöglichen auf beiden Seiten des Ärmelkanals in Calais und Folkstone die Güterkontrolle des Eurotunnels. Dabei wurden bereits häufiger illegale Einwanderer in Containern und Lastwagen entdeckt (Abb. 4.2.1.1).

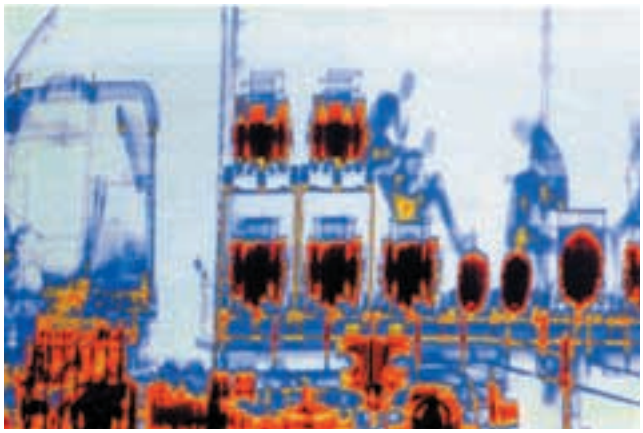


Abb. 4.2.1.1: Nachweis von Flüchtlingen beim Versuch die Grenze zwischen Frankreich und England zu überqueren. Seitliche Sicht. Heimann Containerprüfanlage in Calais. Le Figaro Magazine, 2000.

Seit dem Terroranschlag vom 11. September 2001 will man durch eine Erweiterung der bestehenden Anlage "Euroscan" weiteren terroristischen Anschlägen und einem unkontrollierten Einwanderungsstrom begegnen.

Zur systematischen Eindämmung des Menschenschmuggels wird an der

Grenze zwischen den USA und Mexiko neben mobilen Röntgenfahrzeugen auch stationäre Containerprüfanlagen vom Typ CargoSearch (AS&E) eingesetzt und es gelang so auch 37 Menschen in einem Bananenlaster zu entdecken (Hawn, 1999). Die dort eingesetzte Technik zeigt sich vergleichbar mit der Anlage im Hamburger Hafen. Die Hersteller geben eine Dosis von weniger als 5 mGy (5 mSv) pro Inspektion an. Eine genauere Differenzierung der Exposition für Personen im Inneren eines untersuchten Containers finden sich nicht. Angaben in Hinblick auf eine mögliche Neutronendosis werden ebenfalls nicht gemacht. Dadurch, daß jedoch Beschleuniger eingesetzt werden und die erzielte Penetration durch Stahl mit der Anlage in Hamburg vergleichbar ist, ist von einer vergleichbaren Energie von ebenfalls etwa 10 MeV auszugehen. Theoretisch besteht daher auch bei diesem Typ der Anlage die Möglichkeit einer Neutronenstrahlung.

Die mit einer Cobalt-60 Strahlenquelle betriebene chinesische Containerprüfanlage TC-Scan dient ebenfalls nicht nur einer Kontrolle des Warenschmuggels. Nach Aussage des leitenden Zollinspektors Hui Chiu-chun werden bei abfahrenden Containern gezielt nach Menschen gesucht, die illegal das Land verlassen wollen (Hansen, 2001). Der Hersteller geben die Dosis mit der die Container überprüft werden mit 10 mSv pro Kontrolle an. Die Strahlenbelastung selbst wird zwar als gering angegeben. Dagegen birgt die Strahlenquelle aus der Sicht des Strahlenschutzes ein erhöhtes Risikopotential. Sie hat einen Punkt einer erhöhten Konzentration am unteren Containerrand, der allein schon von der Anordnung von Strahlenquelle und durchleuchteten Objekt sich ableiten läßt. Die durch die Herstellerfirma veröffentlichten Meßergebnisse in Hinblick auf die Strahlenbelastung berücksichtigen diesen Umstand nicht und geben nur einen Meßwert an. Zur Demonstration der Unbedenklichkeit der Strahlenbelastung hat sich ein Wissenschaftler der Firma zwischen zwei Containern in den Strahlengang gesetzt (Abb. 4.2.1.2).

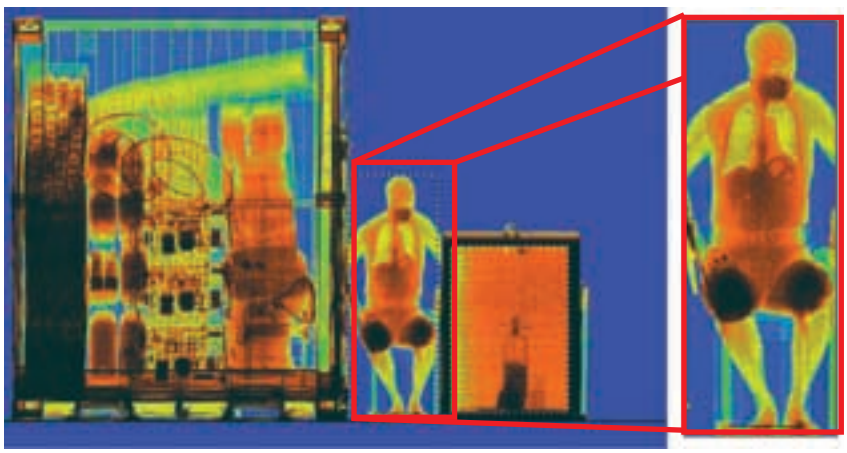


Abb. 4.2.1.2: Selbstexposition zur Demonstration der Unbedenklichkeit der Strahlenbelastung. Seitliche Sicht. TC-Scan Containerprüfanlage. Magnusson, 2002.

Neben den stationären Anlagen werden auch mobile Systeme eingesetzt. Durch ihre flexiblen Einsatzorten erreichen sie eine große Effektivität. In Kauf nehmen muß man dabei jedoch ihre eingeschränkte Strahlungsenergie mit der damit verbundenen geringeren Stahldicke die durchdrungen werden kann. Die Dosis bei der Exposition einer Person, die sich versehentlich in einem untersuchten Container befindet und mit einem mobilen Röntgenfahrzeug kontrolliert wird beträgt zwischen 0,13 bis 0,3 µSv/Inspektion.

Beispielhaft soll jedoch die Schwierigkeit solcher Dosisangaben dargestellt werden: Bei einer Inspektion mit der Heimann "Silhouette Scan 300" Apparatur beträgt die Strahlung weniger als 0,3 µSv/h pro Untersuchungsvorgang. Die Grundannahme der Hersteller ist dabei, daß pro Minute ein Lastwagen untersucht wird und somit die Einschaltzeit des Strahlenganges 6 s/Inspektion beträgt. Kommt es jedoch unvorhergesehen zu einem Stillstand des Ablaufes, kann es bei einem unaufmerksamen Kontrolleur, bedingt durch einen Sicherheitskreis in der Programmierung des Computers, zu einer maximalen Strahlungszeit von bis zu 40 s kommen. Dann erst kommt es zu einer automatischen Unterbrechung. In dieser Zeit wäre somit eine Durchleuchtung mit einer deutlich höheren Dosis denkbar (Heimann,2002).

Einen Sonderfall der Durchleuchtung an Grenzen stellen einige Grenzübergänge der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik zur Bundesrepublik Deutschland zwischen 1978 und 1989 dar. An den Kontrollpunkten Marienborn, Dreilinden, Staaken, Stolpe, Hirschberg und Zarentin wurden zur Fahrzeugkontrolle Gammastrahlenquellen mit ^{137}Cs eingesetzt. Eine Dosisabschätzung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) ergab bei 220 Kontrollen im Jahr und einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 5 km/h eine jährliche Strahlenexposition von ca. 7 µSv/a bei Pkw- und ca. 26 µSv/a bei Lkw-Kontrollen (BfS, 1995). Für den ungünstigsten Fall, Fahrzeughalt und Durchleuchtungszeit von 3 Minuten, könnte theoretisch eine jährliche Strahlenexposition von ca. 4 mSv/a bei Pkw- und ca. 30 mSv/a bei Lkw-Kontrollen aufgetreten sein (Strahlenschutzkommission, 1995).

In diesem Zusammenhang ebenfalls bemerkenswert ist der Einsatz von radioaktiven Substanzen durch staatliche Organisationen der Deutschen Demokratischen Republik zur Markierung von Personen, Manuskripten und anderen Gegenständen. Eine gesundheitliche Gefährdung wurde bei diesen Einsätzen wissentlich in Kauf genommen.

Das Projekt 005 des Ministerium für Staatssicherheit und der Diensteinheiten der Linie 26 wurden in dem Gutachten "TOXDAT" dargestellt (Eisenfeld, 2000). Weitergehende Untersuchungen der Gauckbehörde stellen dabei die Zusammenarbeit mit dem Zentralinstitut für Kernforschung heraus, welches die Strahler der Einsätze lieferte. Es kam zu unbemerkten Kontrollen von Fahrzeugen, die auf Transitstrecken die innerdeutsche Grenze überquerten, zu einer Schädigung durch die Applikation von radioaktiven Substanzen und zur Verfolgung von Personen und Objekten durch radioaktive Markierungen. Schuhe, Papiere, Akten, Manuskripte und Kleidungsstücke wurden mit hoch energetischen Substanzen kontaminiert, um eine Verfolgung auch aus großer Entfernung zu ermöglichen.

Ein Beispiel soll den Umgang der Behörden demonstrieren: Um bei einer Poststelle festzustellen, wer unerlaubter Weise Briefe öffnet und darin enthaltende Deutsche Markscheine entwendet, wurden 1988 zwanzig 5-DM-Scheine mit 60 µCi Sc46 markiert. Unter der Voraussetzung, daß der Schein kontinuierlich am Körper getragen wurde, beläuft sich die Dosis auf 2 Sv in 3 Monaten. Bemerkenswert an diesem Fall ist nicht, daß die Person tatsächlich somit entdeckt werden konnte, sondern daß von den zwanzig Scheinen zwölf verschwunden blieben (Eisenfeld, 2000).

4.2.2 Objekte

Die Objektbelastung wird von den Herstellern der Containerprüfanlage im Hamburger Hafen mit maximal 100 mSv pro Inspektion angegeben. Dominke zeigte eine gemittelte Gammastrahlendosis von 30 mSv pro Durchleuchtung (1997). Aufgrund der Ergebnisse wurden Veränderungen der Fracht oder eine Schädigung des Fahrzeuges (Elektroteile, Mikrochips oder Motorelektronik) ausgeschlossen.

Eine Dosisbegrenzung für das Durchleuchtungsgut existiert nur vereinzelt. Für einige Güter, zum Beispiel Arzneimittel, Arzneimittelgrundstoffe und Lebensmittel bestehen Vorschriften, die im übertragenen Sinne Verwendung finden. Für die meisten Güter gibt es jedoch keine Vorschriften in Bezug auf Energie oder absorbierte Dosis. Eine Behandlung mit ionisierenden Strahlenfür verkaufsfertige Arzneimittel ist allerdings nicht erlaubt (§ 7 Arzneimittelgesetz). Die möglichen Schäden durch eine Bestrahlung bei Einsatz von Linearbeschleunigern mit Neutronenfreisetzung sind bislang noch nicht wissenschaftlich belegt. Durch den Betrieb von Kernkraftwerken weiß man jedoch, daß Metallteile und Beton, die zum Aufbau eines Atomkraftwerkes verwendet werden, durch die Neutronenbestrahlung eben-

falls radioaktiv werden und dann über eine mehr oder weniger lange Zeit Strahlung aussenden. Der Sauerstoff-16, der im Kühlmittel eines Siedewasserreaktors enthalten ist, wandelt sich zum Teil durch Neutroneneinfang in Stickstoff-16 um. Dieser Stickstoff-16 ist radioaktiv mit einer Halbwertszeit von 7,13 Sekunden, so daß Strahlenschutzmaßnahmen getroffen werden müssen (Volkmer, 1991).

Aus forensischer Sicht ist nach §1 Abs. 3 der Lebensmittelbestrahlungsverordnung vom 14.12.00 die Bestrahlung von Lebensmitteln mit Neutronen zu Kontroll- und Meßzwecken zugelassen. Dabei darf die Energie der Strahlung im Falle von Röntgenstrahlung 10 MeV, im Falle von Neutronenstrahlung 14 MeV und bei anderer Strahlung 5 MeV nicht überschreiten. Die absorbierte Dosis darf bei Neutronenstrahlung 0,01 Gray und bei anderer Strahlung 0,5 Gray nicht überschreiten.

In einer Anlage zu §1 finden sich Vorgaben für die Bestrahlung. Demnach dürfen Lebensmittel nur mit

- Gammastrahlen aus Radionukliden ^{60}Co oder ^{137}Cs,
- Elektronen (max. Quantenenergie) von 10 MeV oder darunter oder
- Röntgenstrahlen, die von Geräten erzeugt werden, die mit einer Nenn energie (max. Quantenenergie) von 5 MeV oder darunter betrieben und behandelt werden.

Die Gepäckröntgenanlagen an Flughäfen, öffentlichen Gebäuden oder anderen Orten sind auch zu dem Zweck konzipiert worden, Gegenstände zu durchleuchten und zu untersuchen ohne die jeweiligen Transportbehälter öffnen zu müssen. Die Sensitivität sollte in Hinblick auf Drogen, Waffen, Sprengstoff und Verstößen gegen das Washingtoner Artenschutzabkommen möglichst hoch sein. Die Materialerkennung durch Ausnutzung der Rückstreuung und der Vorwärtsstreuung ist ein Vorteil gegenüber einer einfachen Darstellung mittels Durchleuchtung und ermöglicht zudem eine Automatisierung der Kontrollen. Eine Bestrahlung des Gepäcks wird gemeinhin ohne weiteres von dem kontrollierten Personenkreis akzeptiert. Eine intensivierte Untersuchung von suspekten Gepäckstücken ermöglicht ein Computer Tomograph (CT) Scanner. Befördert werden die Gepäckstücke auf einem Förderband durch einen Untersuchungstunnel, um den eine Strahlenquelle auf der einen und eine Detektorzeile auf der anderen Seite rotieren. Durch diese Technik wird es möglich Schnittbilder von den Gepäckstücken zu erhalten, an denen auch Dichtemessungen vorgenommen werden können. Die Bestimmung der Maße und der Dichte läßt Rückschlüsse

auf den Inhaltsstoff zu. Dieser Untersuchungsvorgang läßt sich automatisieren, so daß nur bei Nachweis eines verdächtigen Inhaltes der Untersucher alarmiert wird. Nachteilig für den Routinebetrieb ist die langsame Untersuchungsgeschwindigkeit. Daher werden zur Zeit nur vorher schon aussortierte Gepäckstücke kontrolliert werden, die bereits die Aufmerksamkeit der Kontrolleure geweckt haben.

Aufgrund der Terrorakte vom 11.09.01 weiß man, daß nicht nur derjenige Verdacht erregt, der eine einfache Flugkarte ohne Rückflug bucht oder der alle Kosten mit einer Barzahlung abwickelt. Die Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika hat ein umfangreiches Programm zur Passagier- und Gepäckkontrolle auf ihren internationalen Flughäfen gesetzlich vorgeschrieben. Im Rahmen dieser Maßnahmen sollen zwei Firmen einen Großauftrag von 1,37 Mrd. US-Dollar umsetzen. Die Firma Boeing kümmert sich um die Integration der verwendeten Systeme und die Projektabwicklung. Siemens baut die Computertomographen, installiert die Geräte und sorgt für den Service. Laut Gesetz sollen die neuen Detektoren bis Ende 2002 an allen internationalen Flughäfen Einsatz bereit sein und 30.000 Beschäftigte dahingehend geschult worden sein (Siemens, 2002). Welche Anforderungen vom Bedienungspersonal erfüllt sein müssen wird aus den Unterlagen nicht ersichtlich. Wird der Erwerb einer "Fachkunde im Strahlenschutz" notwendig sein? Wird eine neue Qualifikation gefordert?

4.2.3 Bedienungspersonal

Eine Strahlenexposition des arbeitenden Personals in der Hamburger Containerprüfanlage findet aufgrund baulicher und organisatorischer Maßnahmen, weder durch eine Gamma- (Dominke, 2002) noch durch eine Neutronenstrahlung statt. Vergleichbares kann aufgrund der zur Verfügung stehenden Dosiswerte auch für die amerikanische stationäre Anlage CargoSearch (AS&E) postuliert werden.

Problematischer erscheint die Einschätzung des Risikos bei der Anlage TC-Scan. Viele offene Fragen lassen sich nach Durchsicht der Unterlagen und des Demonstrationsvideos nur ungenügend erklären oder gar nicht klären:

- Die unmittelbare Nähe der Untersucher zur Strahlenquelle und Positionierung auf der des Untersucherstandes auf der Detektorseite lassen vermuten, daß nicht alle Regeln des Strahlenschutzes berücksichtigt worden sind. Die Anwesenheit im gleichen Raum mit der Strahlenquelle, wie in dem

Demonstrationsvideo dokumentiert (Abb. 3.3.2, Seite 47), ist unnötig und in Hinblick auf mögliche Streustrahlung sogar gefährlich.

- Die Bedrohung durch eine permanente Strahlung beim Einsatz einer Cobalt-60 Strahlenquelle wird durch eine entsprechende Abschirmung aus der Sicht des Strahlenschutzes zwar abgewendet, vergleicht man diesen Mechanismus mit einem Einsatz von Linearbeschleunigern, wo die Strahlung abhängig von der Stromzufuhr ist, so gestaltet sich ein Störfall, zum Beispiel durch Verklemmen des Bleiverschlusses, bei der Anlage TC-Scan sicherlich problematischer.
- Die bildliche Darstellung der gewonnenen Röntgenbilder ermöglicht es dem Betreiber schnell, effizient und ohne Öffnen des Containers Kontrollen durchzuführen. Durch den Einsatz nur einer punktförmigen Strahlenquelle entstehen bei der Anlage TC-Scan verzerrte Bilder aus nur einer Perspektive.
- Ein genereller Nachteil der Anlage TC-Scan liegt darin, daß Erfahrungen bislang nur in China gesammelt werden können, wo die zwei einzigen weltweit installierten Anlagen stehen.

Mobile Röntgenkontrollgeräte, die montiert auf entsprechende Fahrzeuge schnell an verschiedenen Orten einsatzbereit sind, bergen in sich das Risiko, bedingt durch einen Verkehrsunfall, einen Strahlungsunfall von schwer kalkulierbarem Ausmaß zu verursachen. Das Kontrollsystem MobileVACIS (SAIC) zeigt sich hier besonders anfällig, da die Strahlenquelle bei diesem Model sich an einem Hebe- bzw. Schwenkkran befindet und nicht im schützenden Inneren des Fahrzeuges angebracht ist. Diese Form der Installation erfordert einen Strahlengang auf das Fahrzeug und der daran befestigten Detektorzeile. Mögliche Sicherungsmechanismen, wie Dopplerradar sollen eine Gefährdung des untersuchten Objektes und des Personals verhindern, ein potentielles Risiko besteht jedoch. Andere Kontrollfahrzeuge, wie zum Beispiel MobileSearch (AS&E), zu einer vergleichsweisen höheren Sicherheit allein durch die veränderte Anordnung von Strahlenquelle und Detektorzeile, wie Abb. 3.2.6 auf Seite 49 zeigt.

Trennt man Strahlenquelle und Detektorzeile voneinander, wie bei der Anlage RelocatableVACIS Inspektionsanlage, wird der Aufbau der Kontrollstation zeitaufwendiger. Statt weniger Minuten müssen nun Tage veranschlagt werden. Dabei kann die Ausrichtung und Justierarbeit des Schienensystems und des Strahlenganges sich als umständlich erweisen, da man stets mit der verwendeten Gammastrahlenquelle hantieren muß und sich beide Komponenten synchron auf Schienensträngen bewegen müssen.

Anhand der Unterlagen über das mobile System der Firma Heimann Silhoutte Scan 300 wird ersichtlich, daß man versucht die Kontrolleure und die Betreiber des Systems außerhalb des Kontrollbereiches gemäß § 19 Abs. 1 RöV im Überwachungsbereich zu positionieren. Eine Gefährdung des Bedienungspersonals soll so weitgehend ausgeschlossen werden. Messungen ergaben an dem Untersucherfahrzeug immerhin maximale Werte von 10 µSv/h im Rahmen eines regulären Betriebes.

4.3 Vergleiche

Ob man am Tag eine Banane ißt oder sich einmal mit der Personenkontrollanlage BodySearch untersuchen läßt sei laut Rothschild von der Firma AS&E von der Strahlenbelastung kein Unterschied. Weiter erwähnt er, daß im Vergleich dazu eine Röntgenuntersuchung des Thorax mit dem Konsum von etwa 312 Bananen einher. Grundlage sei der Gehalt von etwa 450 mg Kalium-40 mit einer Dosis auf den Organismus von etwa 6 mikroRem (Rothschild, 2002). Durch den Vergleich wird deutlich, wie sensibel Firmen mit der möglichen Belastung von Menschen bei Strahlenexpositionen umgehen müssen. Der Einsatz ionisierender Strahlung außerhalb der Medizin bedarf einer besonderen Rechtfertigung. Um möglichst jedem eine Vergleichsmöglichkeit zu bieten, werden häufiger Parallelen zu Flugzeiten angeführt: Die Dosis bei den Personenkontrollanlagen betragen für den Kontrollierten in Abhängigkeit zum verwendeten Gerät und der Anzahl der Aufnahmen 0,05 - 0,1 µSv, 2,2 µSv und 10 µSv. In Flugzeiten ausgedrückt entspräche dies einer Zeit von etwa 0,5 - 1 Minute, 20 Minuten bzw. 80 Minuten, vorausgesetzt die Flughöhe beträgt zwischen 8 - 12 km bei einer Reiseroute nördlich des 50°Nord (BfUNR, 2000). Berechnungen haben für einen Einwohner Deutschlands eine durchschnittliche Strahlenbelastung durch das Fliegen von 10-13 µSv ergeben (Vogel, 2001). Bei einer zusätzlichen Kontrolle an den internationalen Flughäfen durch Personenkontrollanlagen würde sich die Belastung nur gering erhöhen, es sei denn man findet eine Möglichkeit zur Reduktion der bestehenden natürlichen Strahlenbelastung, zum Beispiel durch spezielle Radonfilteranlagen, wie es bereits in der Arbeit von Vogel (2001) angeregt wurde.

Andere Strahlenquellen der Umwelt und die damit verbundenen Dosis, wie die die sich durch die Wahl eines bestimmten Wohnortes (Höhe zum Meeresspiegel) oder durch die durchschnittliche Radonbelastung (Altbauwohnung oder Neubau) sowie Ernährungs- und Lebensgewohnheiten

(Raucher oder Nichtraucher? Computer oder Bildschirmtätigkeit?) ergeben, werden ebenfalls gerne hinzugezogen. Um die individuelle Belastung zu berechnen gibt es -im Internet abrufbar- Berechnungsprogramme für Passagier und Flugzeugpersonal (vgl. URL: http://newnet.lanl.gov/dose-calc.htm oder URL: www.gsf.de/epcard). Eine Übersicht über einzelne Kontrollvorrichtungen und ihre Dosiswerte sind aus der Grafik in Abb. 4.3.2 auf Seite 86 ersichtlich.

Die mögliche Bedeutung der Strahlung auf den biologischen Organismus einzuschätzen und zu beurteilen ist jedoch schwer. Eine interessante Arbeit untersuchte haematopoetische Stammzellen nach mehreren Passagen durch das Gepäckkontrollsystem HI-Scan 6040 der Firma HEIMANN. Die Anlage arbeitet mit einer Dosis von 1,5 +/- 0,6 µSv/Inspektion. Veränderungen bei den Stammzellen konnten erst nach mehrmaliger Passage bei einer Dosis von 30 mSv festgestellt werden (Petzer, 2002).

Die Wirkung der Strahlung auf den gesamten Menschen beurteilen zu können wird immer schwierig bleiben, da man zwar Schädigungen registrieren kann, aber darüber hinaus Reparaturmechanismen diese auch wieder beheben können.

Eine Einführung von Röntgenkontrollsystemen, die unbemerkt einen Menschen untersuchen können, wie zum Beipiel SECURE 2000, sollte man kritisch gegenüber stehen. Jedem Exponierten sollte das Recht zugestanden werden eine -wenn auch schwierige- individuelle “Kontoführung” (Röntgenpass) über die eigene Strahlenbelastung führen zu können.

Abschließend sei in Hinblick auf die Qualität der Röntgensysteme Scannex und Conpass (Abb. 4.3.1), welche Durchleuchtungsaufnahmen anfertigen können, die Frage erlaubt, ob nicht bei dem Betrieb dieser Anlage aus Verantwortung gegenüber den Exponierten, nicht auch ein Radiologe zur Beurteilung der Bilder hinzugezogen werden sollte. Ein übersehender Tumor der im Rahmen einer Kontrolle hätte frühzeitig diagnostiziert werden können, wird solche Fragen aufwerfen.

Abb: 4.3.1:
Ganzkörperaufnahme (invers) einer Frau. Transmissionsaufnahme durch das Gerät CONPASS x-1280. URL: http://www.americansecurity.net/products/conpass/conpass.html, gesehen am 08.08.02.

Abb. 4.3.2: Durchschnittliche Strahlenbelastungen der Umwelt im Vergleich zu Röntgenkontrollsystemen. Blau unterlegt zeigen sich die Neutronenmeßwerte der Meßorte Y1, Y2, Z und X1-3 der Containerprüfanlage. Die Strahlenschutzverordnung gilt nicht bei Strahlenbelastungen < 1 mSv/a.

5 Zusammenfassung

Röntgenstrahlung wird zur medizinischen Diagnostik und Therapie verwendet. Seit einiger Zeit stellt sich jedoch das Problem der Anwendung ionisierender Strahlung ohne eine medizinische Indikation. Vielfältige Problembereiche sind dabei betroffen. Ein Symposium in Dublin beschäftigte sich ein Jahr nach den Terroranschlägen in den USA mit den Strahlenexpositionen „im Namen des Gesetzes“, dabei spielen auch die Röntgenanlagen an den Grenzen eine Rolle (vergleiche URL: http://europa.eu.int/comm/enviroment/radprot).

Röntgenkontrollsysteme werden zur Kontrolle von Gepäckstücken, Containern, Eisenbahnzügen und Menschen eingesetzt. Durch die Inspektionen soll der Schmuggel kontrollierbarer werden. Terroranschläge sollen durch die Detektion von Sprengstoffen verhindert werden.
Verschiedene Anlagen kommen zum Einsatz. Ein spezielles Augenmerk wird in dieser Arbeit auf die Großröntgenanlage im Hamburger Hafen geworfen. Bislang gelang in dieser Anlage kein Nachweis einer Neutronenstrahlung. Beim Einsatz von Linerabschleunigern mit Energien von 10 MeV ist aufgrund des Kernphotoeffektes mit einer Freisetzung von Neutronenstrahlen zu rechnen (Mao, 1997). Durch Messungen mit der Neutronenmeßsonde LB 2040 gelang der Nachweis von Neutronenstrahlung. Es zeigt sich dabei auch, daß bei Einhaltung der Bestimmungen eine Gefährdung von Personen durch die freiwerdende Neutronenstrahlung ausgeschlossen ist.
Bei Vergleichen mit anderen Röntgensystemen an den Grenzen zeigte sich eine unterschiedliche Strahlenbelastung auf den versehentlich oder wissentlich untersuchten Menschen. Neuere Personenkontrollsysteme sollen die Sicherheit an internationalen Flughäfen erhöhen. Die Strahlenbelastung einer Untersuchung ist zum Teil so gering, daß sie beispielsweise mit der natürlichen Strahlenbelastung durch das Essen einer Banane gleichgesetzt wird (Rothschild, 2002). Nachweisverfahren, die auch Körperhöhlen darstellen, sind dagegen für den Exponierten mit einer höheren Dosis verbunden.
Wie belastend die Röntgenkontrollen für den Einzelnen sind läßt sich schwer ermitteln, da viele individuelle Faktoren dabei eine Rolle spielen. Berechnungsprogramme, die man durch das Internet nutzen kann helfen dabei. Schwierig bleibt jedoch die Erfassung des biologischen Schadens (Kellerer, 2000). Der Sonderfall über den Einsatz von radioaktiven Stoffen in der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik zeigt, daß nicht immer von dem verantwortungsvollen Handeln staatlicher Organisationen ausgegangen werden kann.

6 Literatur

ALLEN M.,
A new X-ray device used by the U.S. Customs Service sees through clothes - and privacy advocates are seeing red.
Wall Street Journal, Ausgabe vom 02.03.2000.

AS&E (American Science and Engineering),
The Leader in X-ray Detection Technology (Firmenprospekt). Billerica, USA, ausgehändigt im Jahr 2001.
URL: http://www.as-e.com/index.html, gesehen am 10.08.02.

BELEITES M.,
Rechercherbericht und Gutachten zur Aufklärung der vermuteten vorsätzlichen Strahlenschädigung von politisch Verfolgten durch den Staatssicherheitsdienst der DDR (verfaßt im Auftrag der Thüringer Landesbeauftragten für die Unterlagen des Staatssicherheitsdienstes der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik). Dresden, 08.02.2000.

BERTHOLD,
Berthold Technologies GmbH & Co.KG (Betriebsanleitung), Wiesbaden, 1. Ausgabe Dezember 1995.

BfUNR (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit): Annahmen zur Abschätzung der Strahlendosis bei ehemaligen Deutsche Demokratische Republik-Grenzkontrollen mittels Cs-137-Strahlung. Bericht vom 14.02.1995.

BfUNR (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1999. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Jährlicher Bericht gemäß Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19.12.86 (BGBI. S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 24. Juni 1994 (BGBI. S. 1416). September 2000.

BREMER M., NEUHOFER C., AUBERGER T., ZIMMERMANN F.,
Palliative Radiotherapy of Malignant Melanoma with Reactor Fission Neutron Therapy (RENT): A Prospective Study.
Radiation Oncology Investigations. Ausgabe 7, Seiten 118-124, 1999.

BREUSS E., HELBLING P., ALTPETER E., ZELLWEGER JP.,
Screening and treatment for latent tuberculosis infection among asylum seekers entering Switzerland.
Swiss Med Wkly. Ausgabe 132, Seiten 197-200. 2002.

BRIESEMEISTER JB.,
MCNP, A General Monte Carlo code for neutron and photon transport, Version 3A, LA-7396 M. Monte Carlo, September 1986.

BURGKHARDT B.,
Optimierung einer Neutronen-Äquivalentdosisleistungsmeßsonde. Strahlenschutz, Physik und Meßtechnik, FS-94-71-T, Koelzer & Maushart (Hrsg.) Verlag TÜV Rheinland. 1994.

CARTY HML.,
Imaging of Suspect Child Abuse - Ethical and Radiation Issues.
Exposures in the Name of the Law. International Symposium on Medico-Legal Exposures. Exposures with ionising radiation without medical indication. Vortrag in Dublin. Irland am 4-6 September 2002.
URL: http://europa.eu.int/comm/environment/radprot, gesehen am 20.09.02.

CD/INO,
Mühevolle “Mandel-Operation“.
Hamburger Abendblatt, Seite 19, Ausgabe vom 07.06.01.

DOMINKE C.,
Dosismessung an einer Containerprüfanlage. Unveröffentliche Diplomarbeit, Berufsakademie Karlsruhe Fachrichtung Umwelttechnik und Strahlenschutz. Münster. 1997.

EDWARDS AA., LLOYD DC.,
Risks from ionising radiation: deterministic effects.
Journal Radiological Protection. Ausgabe 18, Nummer 3, Seiten 175-183, 1998.

EDWARDS AA, MOISEENKO VV., NIKJOO H.,
On the mechanism of the formation of chromosomal aberrations by ionising radiation.
Radiat Environ Biophys. Ausgabe 35, Seiten 25-30, 1996.

EISENFELD B.,
Einsatz von Röntgenstrahlen und radioaktiven Stoffen durch das Ministerium für Staatssicherheit gegen Oppositionelle – Fiktion oder Realität? (Projektbericht). Projektgruppe Strahlen (Leiter B. Eisenfeld). Hrsg. von dem Bundesbeauftragten für die Unterlagen des Staatssicherheitsdienstes der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik. Berlin, 2000.

HALTER H.,
Es gibt kein Entrinnen – über die radioaktiven Grenzkontrollen der DDR. DER SPIEGEL. Ausgabe 51, Seiten 176 ff., 19.12.1994.

HANSEN S.,
Mit Kohlendioxidtester werden in Hongkong geschlossene Container überprüft.
die tageszeitung, Ausgabe vom 22.06.01.

HARRISON D., RICCIARDELLO M., COLLINS L.,
Evaluation of radiation dose and risk to the patient from coronary angiography.
NZ J Med, 28, Seite 597-603, 1998.

HAWN C.,
Yes, We Have No Illegals.
Forbes, Ausgabe vom 29.11.1999.

HEARD J.,
Rays of hope.
Sunday Times, Ausgabe vom 25.07.1999.

HEIMANN
Firmenseite im Internet URL: http://www.heimannsystems.com, gesehen am 04.08.02

HEMP F.,
X-ray cargo inspection.
In 10th Annual Joint Goverment-Industry Security Technology Symposium & Exhibition, Seite 33-40, jun., 20th-23rd, 1994.

HERZIG A.,
Dosimetrie thermischer und schneller Neutronen mittels Blasendetektoren im Strahlungsfeld eines Kernreaktors. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Euskirchen, 1996.

HUSYSKENS CJ.,
Data analysis on patient exposures in cardiac angiography.
Radiat Protect Dosimetry; 57: Seite 475-80, 1995.

ICRP (International Commission on Radiological Protection) 60, Recommendations of the ICRP. ICRP Puplication 60, Pergamon Press, Oxford 1991.

INNERE ABTEILUNG
Photo des endoskopischen Untersuchungsbefundes. AK Barmbek in Hamburg. April 2002.

JAECKISCH H.,
Die Stadt der Diamanten. GEO Reportage; ARTE Deutschland.
TV-Sendung vom 03.10.2001. URL: http://www.arte-tv.com/emission/archive.jsp?node=911&node1=1149&lang=de, gesehen am 10.08.02.

JUNG, J.,
Strahlenrisiken durch Röntgenuntersuchungen zur Altersschätzung im Strafverfahren.
Fortschr. Röntgenstr.; 172: Seite 553-556, 2000.

KARPPINEN J.,
Radiation risk and exposure of radiologists and patients during coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA). Radiat. Protect. Dosimetry; 57: Seite 481-485, 1995.

KELLERER AM.,
Risk estimates for radiation-induced cancer - the epidemiological evidence.
Radiat Environ Biophy. Ausgabe 39, Seiten 17-24, 2000.

KRIEGER H.,
Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz.
Band 2: Strahlungsquellen, Detektoren und klinische Dosimetrie,
2. Auflage. Stuttgart, 1997.

KRONHOLZ HL.,
Blasendetektoren, ein alternatives Verfahren zur Dosimetrie und Spektrometrie in Neutronenfeldern.
Medizinische Physik Nr. 3: Seite 143-150, 1997.

KUON E., LANG E.,
Strahlenbelastung invasiver kardialer Diagnostik: Größenordnung, Einflußfaktoren und Hinweise zur Minimierung der Strahlendosis.
Zeitschrift für Kardiologie 85: 543-552, 1996.

LEUNG KC., MARTIN CJ.,
Effektive doses for coronary angiography.
Br. J. Radiol.; 69: Seite 426-431, 1996.

LEUTHOLD G.,
Calculation of the neutron ambient dose equivalent on the basis of the ICRP revised quality factors.
Rad. Prot. Dos., Vol. 40, Mo. 2, Seite 77-84, o. J.

LUND B.,
Assessment of radiation risk to patients in the cardiac catheterisation room using a dose area product meter. (Abstract).
EPSMH `96 Engineering & Physical Scientists in Medicine Conference, Canberra. 21.-24. Oktober 1996.

MAGNUSSON T.,
The Role of X-ray in Drug Detection,
Exposures in the Name of the Law. International Symposium on Medico-Legal Exposures. Exposures with ionising radiation without medical indication. Vortrag in Dublin, Irland am 4-6 September 2002.
URL: http://europa.eu.int/comm/environment/radprot, gesehen am 20.09.02.

MORA S., BOECHAT MI., PIETKA E., HUANG HK., GILSANZ V.,
Skeletal determinations in children of European and African descent: Applicability of the Greulich and Pyle standards.
Pediatr Res; Nov; 50 (5): 624-8, 2001.

LEBENSMITTELBESTRAHLUNGSVERORDNUNG (LMBestrV) vom 14.12.2000. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen, Neutronen oder ultravioletten Strahlen. URL: http://chemlin.de/cl/recht/vo/20001730lmbestrv.pdf, gesehen 21.07.02.

LE FIGARO MAGAZINE,
A calais, les rayons X de la douane révèlent parfois de tragiques cargaisons de matières périssables Des hommes! Le Figaro Magazine. Ausgabe vom 06.07.2000.

LODER RT., ESTLE DT., MORRISON K., EGGLESTON D., FISH DN.,
Applicability of the Greulich and Pyle skeletal age standards to black and white children to today.
Am J Dis Child. Ausgabe 147 (12), Seite 1329-33, Dezember 1993.

LODOX,
LODOX Firmeninformationen aus dem Internet unter URL: http://www.lodox.com/lodoxtechnical.html, gesehen am 10.08.02.

MAO, XS.,
Neutron sources in the Varian Clinac 2100C/2300C Medical Accelerators calculated by the EGS4 Code.
Health Physiks. Ausgabe 72 (4), Seiten 524-529, 1997.

M.M.C. International B.V.
Firmeninformationen über CONPASS X-1280 aus dem Internet unter URL: http://www.mmcinter.com, gesehen 10.08.02.

MULLER F., KHOKHLOV N.,
In the name of Conscience.
London; 1959.

NIEMANN W.,
Unterlagen und Referat während eines Besuchs bei der Firma YXLON International X-Ray GmbH Hamburg. 2002.
YXLON Firmeninformationen aus dem Internet unter URL: http://www.yxlon.com/index.html, http://www.yxlon.de/security-products.html, http://www.yxlon.de/SECURITY_applications.html, gesehen am 10.08.02.

OSEI E., FAULKNER K.,
Fetal doses from radiological examinations.
The British Journal of Radiology. Ausgabe 72, Seiten 773-780, 1999.

PACEPA IM.,
Red Horizons, Chronicles of a Communist Spy Chiech, Regery Gateway, Washington D.C., Niederländische Staats- und Universitätsbibliothek 90A17387, 1987.

PERKINELMER,
PerkinElmer Firmeninformation aus dem Internet unter URL: http://instruments.perkinelmer.com, gesehen am 10.08.02.

PETZER AL., SPETH HG., HOFLEHNER E., CLAUSEN J., NACHBAUR D.,
Breaking the rules? X-ray examination of hematopoietic stem cell grafts at international airports.
Blood. Ausgabe 99, Nummer 12, Seiten 4632-4633, 2002.

POPP W., PLAPPERT U., MÜLLER WU., REHN B., SCHNEIDER J.,
Biomarkers of genetic damage and inflammation in blood and bronchoalveolar lavage fluid among former German uranium miners: a pilot study.
Radiat Environ Biophys. Ausgabe 39, Seiten 275-282, 2000.

PROTT FJ., MICKE O., HAVERKAMP U., WILLICH N., SCHÜLLER P.,
Results of Fast Neutron Therapy of Adenoid Cystic Carcinoma of the Salivary Glands. Anticancer Research. Ausgabe 20, Seiten 3743-3750, 2000.

RÖNTGENARCHIV,
Abdomenübersichtsaufnahme. AK Barmbek, Hamburg. April 2002.

RÖNTGENVERORDNUNG,
Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18.06.2002, gesehen am 20.08.02 unter URL: http://www.bmu.de/download/dateien/roentgen_aenderungsvo.pdf.

ROTHSCHILD P.,
Backscatter Techniques - An Alternative to Body Search.
Exposures in the Name of the Law. International Symposium on Medico-Legal Exposures. Exposures with ionising radiation without medical indication. Vortrag in Dublin, Irland am 4-6 September 2002.
URL: http://europa.eu.int/comm/environment/radprot, gesehen am 20.09.02.

SAIC,
Science Applications International Coporation; Informationsbriefe vom 26.07.1999, 11.08.1999 und 20.10.1999 über Mobile Vehicle and Cargo Inspection System (VACIS). URL: http://www.saic.com, http://www.saic.com/products/security/rr-vacis/index.html, http://www.saic.com/products/security/portal-vacis/portal-vacis-tech.html, gesehen am 10.08.02.

SÉCHÉ A.,
Das Röntgen-Auge der Zollfahnder.
P.M., P. Moosleitners Magazin. Die moderne Welt des Wissens; Seite 38-43, Mai 2001.

SICHERHEITSBERICHT,
Heimann System GmbH&Co. KG: Sicherheitsbericht für die CPA Hamburg-Waltershof. 1996.
URL: http://www.heimannsystems.com/ALL/html/mar_top.htm, gesehen am 10.08.02.

SIGURDSON AJ., STOVALL M., KLEINERMAN RA., MAOR MH.,
Feasibility of Assessing the Carcinogenicity of Neutrons among Neutron Therapy Patients.
Radiation Research 157, 483-489, 2002.

SIEMENS,
Boeing-Siemens Team Wins Contract to Enhance Security at U.S. Airports. Washington, Juni 2002.
URL: http://www.siemens.com/index.jsp?sdc_rh=null&sdc_flags=null&., gesehen am 24.08.02.

SMITH SW.,
Concealed Weapon Detection System; SECURE 1000.
URL: http://www.rapiscan.com/secure1000.html, gesehen am 10.08.02.
und URL: http://www.rapiscan.com, http://www.osi-system.com, gesehen am 10.08.02.

SNELL MP.,
Gamma-Ray Technology: The Practical Container Inspection Alternative. Science Applications International Corporation, San Diego, CA, USA. (Sonderdrucke). Port Technology International, Seite 83-88, o.J..

SOTSCHECK R.,
Keine Spur von Konspiration-Der Report.
die tageszeitung, Seite 3. Ausgabe vom 27.12.01.

STAHL P.,
Bericht Nr. 01757604560 über eine Strahlenschutzmessung vom 8.7.1996.Erstprüfung nach § 16 StrlSchV. Technischer Überwachungsverein Nord e.V; Abteilung Sicherheitsanalysen und Strahlenschutz (1996).

STRAHLENSCHUTZKOMMISSION:
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission: Strahlenrisiko durch ehemalige DDR-Grenzkontrollen mittels Cs-137-Strahlung. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 39. Verabschiedet in der 129. Sitzung am 17.02.1995.

STRECKER H.,
Unterlagen und Referat während eines Besuchs bei der Firma YXLON International X-Ray GmbH Hamburg. 2002.

TC-SCAN,
Cobalt-60 Container Scanner System von ISS (International Scanning Systems AB). Firmenbroschüre und Video. Stockholm, ausgehändigt im Jahr 2001.

TÜV SÜDDEUTSCHLAND,
Technischer Überwachungsverein Süddeutschland e.V.: Sachverständigenprüfung nach § 4 Abs. 1 der Röntgenverordnung (RöV) an der nichtmedizinischen Röntgeneinrichtung Silhouette Scan 300. Prüfbericht Nr. R 2357/00/255/VN/01/S vom 29.09.2000.

VERVER S., VAN SD., BORGDORFF MW.,
Effect of screening of immigrants on tuberculosis transmission.
Int J Tuberc Lung Dis. Ausgabe 6 (2), Seiten 121-9, 2002 (Feb).

VOGEL B.,
Die Aktinopause-Flugzone der Zukunft.
Junge Wissenschaft, Heft 63, Seite 23-26, August 2001.

WALL BF., HART D.,
Revised radiation doses for typical X-ray examinations.
The British Journal of Radiology, Heft 70, Seite 437-439, Mai 1997.

ZfSR (Zentralstelle für Strahlenschutz und Röntgentechnik der Bundesfinanzverwaltung), Röntgenaufnahmen der Containerprüfanlage und der Gepäckkontrollsystem vom 30.09.96 - 23.06.01, sowie Unterlagen zum technischen Aufbau der Containerprüfanlage von1995.

7 Danksagung

Diese Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung und Hilfe von vielen Menschen, bei denen ich mich auf diesem Wege ausdrücklich bedanken möchte:

Den Mitarbeitern des Atomkraftwerkes Krümmel zur Verfügungstellung der Neutronenmeßsonde.

Herrn M. Lindloff und Herrn Wiedner sowie den Mitarbeitern der Containerprüfanlage des Hauptzollamtes in Hamburg für die freundliche und kompetente Hilfe bei der Erstellung dieser Disserationsarbeit und dem von ihnen entgegengebrachten Vertrauen.

Herrn Dipl.-Ing. O. Grage, Dipl.-Ing. D. Merker und Dipl.-Ing. D. Teegen von der Zentralstelle für Strahlenschutz und Röntgentechnik der Bundesfinanzverwaltung in Hamburg für die fachliche Betreuung und Hilfe bei der Aufarbeitung der Röntgenbilder der Hamburger Containerprüfanlage.

Herrn Dr. W. Niemann und Herrn Dr. H. Strecker der Firma YXLON International X-Ray GmbH, Hamburg, für die persönlichen Erläuterungen, hilfreichen schriftlichen Unterlagen und die Ausführungen über die Röntgenrückstreutechnik und den Schwierigkeiten bei der Suche von Minen.

Herrn Winter von der Firma August Riestelhueber, Hamburg, für die Übermittelung des Informationsmaterials der Firma American Science and Engineering.

Herrn P. Båge der Firma International Scanning Systems AB in Stockholm (Schweden) für das Informationsmaterial über die Containerprüfanlage TC-Scan.

Herrn Dr. Peinsipp vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz und Reaktorsicherheit, danke ich für die Erläuterungen zu den Recherchen der Gaukbehörde.

Herrn Klett (Firma Berthold) für die mündliche Mitteilung auf Seite 10 und die Erläuterungen zur maßgeblichen Reaktion der Neutronenmeßsonde.

Herrn O. Keil des Polizeikommissariat 36, Hamburg danke ich für die Erstellung der Abb. 3.3.48 und seinen spontanen persönlichen Einsatz.

Frau B. Funke möchte ich an dieser Stelle besonders für ihre anregenden Vorschläge bei der schriftlichen Abfassung der Arbeit danken.

Herrn D. Petersen danke ich für die Grafik der Containerprüfanlage Abb. 2.1.1.1 A auf Seite 7.

Durch eine langjährige Freundschaft verbunden und zu einem großen Dank verpflichtet bin ich Herrn V. Winter. Durch die Nutzung der technischen Möglichkeiten seines Designstudios WINTERWIESOMMER war letztlich erst die Erstellung der Arbeit in der jetzt vorliegenden Form möglich.

Lebenslauf

Name	Peter Carsten Lotz
Geboren	13.03.1966
Familienstand	verheiratet, eine Tochter

Ausbildung

1973-78	Grundschule in Hamburg-Sülldorf
1977-86	Gymnasium Blankenese in Hamburg
1986	Allgemeine Hochschulreife
1986-88	Zivildienst am Kreiskrankenhaus Wedel/Holstein
1988-95	Studium Humanmedizin an der Universität Hamburg Praktisches Jahr 1. Tertial: Chirurgie im AK Barmbek; Hamburg Praktisches Jahr 2. Tertial: Innere Medizin im AK Barmbek; Hamburg Praktisches Jahr 3. Tertial: Neurologie im AK St. Georg; Hamburg
1995	Drittes Staatsexamen
1996 - 1997	Arzt im Praktikum 1/96-9/96 Innere Medizin im Kreiskrankenhaus Wedel/Holstein 10/96-6/97 Innere Medizin im AK Barmbek; Hamburg
7/1997 - 4/1999	Assistenzarzt im Zentrum für Schädel-Hirn-Schwerstverletzte im AK Eilbek; Hamburg
Seit 1.5.1999	Assistenzarzt in der I. Medizinische Abteilung (Kardiologie) des AK Barmbek; Hamburg

Hamburg, den 24.10.02

Peter Carsten Lotz

Erklärung Hamburg den 24.10.02

Ich versichere ausdrücklich, daß ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfaßt, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzelnd nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe, und daß ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Peter Carsten Lotz

Für Annette und Hannah.