



# NDT PROJEKTMANAGEMENT

Fakultät für Informatik  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

## Abschlussarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Science (B.Sc.)

vorgelegt von

**Farhad ARIAN**

geboren am 14.02.1983

Matrikelnummer: 11563552

Datum der Abgabe: 31.03.2018

**Prüfer:** Prof. Dr. Hans Jürgen Ohlbach

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben. Sowohl inhaltlich als auch wörtlich entnommene Inhalte wurden als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in dieser oder vergleichbarer Form noch keinem anderem Prüfungsgremium vorgelegen.

Datum: \_\_\_\_\_ Unterschrift: \_\_\_\_\_

## Danksagungen

An erster Stelle möchte ich meinem Betreuer Prof. Dr. Hans Jürgen Ohlbach danken, der mich richtungsweisend und mit viel Engagement während meines Studiums sowie meiner Bachelorarbeit unterstützt und begleitet hat.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei der Firma Parto Nama Tolua bedanken, die es mir ermöglicht hat, meine Umfrage in ihren NDT-Seminaren durchzuführen. Ein herzliches „Dankeschön!“ geht auch an meine Frau Susann Sumadirana für ihre Zeit und Mühe als Korrekturleserin, die konstruktive Kritik und die motivierenden Worte.

Der größte Dank gilt Dr. Reinhold Letz und meinen Professoren der Fakultät Informatik sowie Prof. Dr. Karsten Fischer von der Fakultät Politikwissenschaft. Vielen Dank für Ihre Unterstützung sowie Ihren motivierenden Beistand während meines gesamten Studiums!

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung . . . . .	2
Danksagungen . . . . .	3
<b>1 Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2 Werkstoffprüfung</b>	<b>9</b>
2.1 Non-Destructive Testing auf Deutsch Werkstoffprüfung . . . . .	9
2.2 RT Durchstrahlungsprüfung . . . . .	10
2.2.1 Anwendung . . . . .	10
2.2.2 Eigenschaften . . . . .	11
2.2.3 Erzeugung der Strahlen . . . . .	11
2.2.4 Nachweismöglichkeiten von Fehlern mit RT 2.2 . . . . .	11
2.2.5 Art der durchdringenden Strahlung . . . . .	12
2.2.6 Röntgenstrahlung . . . . .	13
2.2.7 Gammastrahlung . . . . .	15
2.2.8 Aktivität von Radionukliden . . . . .	16
2.2.9 Isotopenabfallrate (Halbwertszeit) . . . . .	17
2.2.10 Halbwertsschicht . . . . .	18
2.2.11 Ionisation . . . . .	20
2.2.12 Newtons umgekehrtes quadratisches Gesetz für die Intensität . . . . .	21
2.2.13 Wechselwirkung zwischen eindringender Strahlung und Materie . . . . .	22
<b>3 Stand der Technik</b>	<b>24</b>
3.1 RT Technik . . . . .	24
3.1.1 Geometrische Unschärfe . . . . .	24
3.2 Sekundäre Strahlung und Unterschnittkontrolle . . . . .	25
3.2.1 Sekundäre Strahlung . . . . .	25
3.2.2 Unterschnitt . . . . .	27
3.3 Filter in der Radiographie . . . . .	28
3.3.1 X-Ray . . . . .	28
3.3.2 Gamma . . . . .	29
3.3.3 RT-Ressourcen . . . . .	29
<b>4 Sicherheit</b>	<b>31</b>
4.1 Halbwertschicht (Abschirmung) . . . . .	31
4.2 Strahlenbelastung kontrollieren . . . . .	32
4.2.1 Zeit . . . . .	32

4.2.2	Entfernung . . . . .	33
4.2.3	Abschirmung . . . . .	35
4.3	Sicherheitskontrollen . . . . .	35
4.3.1	Engineered Kontrollen . . . . .	36
4.3.2	Verwaltungskontrollen . . . . .	37
4.3.3	Strahlenschutzbereiche . . . . .	38
4.4	Verantwortlichkeiten . . . . .	39
4.4.1	Strahlenschutzbeauftragter Radiation Safety Officer (RSO)/ Health Physics Safety (HPS) . . . . .	39
4.4.2	Strahlenschutzausschuss "Radiation Safety Committee"(RSC) . . . . .	41
4.4.3	Systembenutzer . . . . .	41
4.4.4	Verfahren . . . . .	41
4.4.5	Umfragetechnik . . . . .	42
4.4.6	Strahlungsdetektoren . . . . .	45
4.4.7	Messgeräte . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Software</b>	<b>55</b>
5.1	Anforderungen und Programmaufbau . . . . .	55
5.1.1	Kurze Beschreibung . . . . .	55
5.2	Anforderungen und die Spezifikation . . . . .	56
5.2.1	SBT-Server . . . . .	65
5.2.2	Android-Client . . . . .	69
<b>6</b>	<b>Android Bilder</b>	<b>76</b>
6.1	Android Bilder . . . . .	76
<b>7</b>	<b>UML Graphen</b>	<b>80</b>
7.0.1	Model . . . . .	80
<b>8</b>	<b>Diskussion</b>	<b>86</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	86
8.2	Quellen . . . . .	87

# Abbildungsverzeichnis

2.1	NDT . . . . .	9
2.2	ElectromagSpec . . . . .	12
2.3	Bremsstrahlung . . . . .	14
2.4	Alpha-Zerfall . . . . .	15
2.5	Die ionisierende Strahlung . . . . .	17
2.6	Radioaktivität . . . . .	18
2.7	Isotopen Halbwertszeit . . . . .	18
2.8	Half-Value-Layer . . . . .	19
2.9	IntensityEq5 . . . . .	19
2.10	IntensityEq6 . . . . .	20
2.11	Ionisation . . . . .	21
2.12	Intensität . . . . .	22
2.13	wechselwirkungstrahlung1 . . . . .	23
2.14	wechselwirkungstrahlung2 . . . . .	23
3.1	GeometricUnsharpness . . . . .	24
3.2	GeometricUnsharpness2 . . . . .	26
3.3	Penumbra . . . . .	27
3.4	BackScatter . . . . .	28
3.5	Undercut . . . . .	29
3.6	X-Ray . . . . .	29
4.1	Time Dist Shield . . . . .	32
4.2	Camera . . . . .	36
4.3	Strahlenschutzbereiche . . . . .	39
4.4	Radiometer . . . . .	46
4.5	detectorvoltage . . . . .	49
4.6	Pocket-Dosimeter . . . . .	50
4.7	Pocket-Dosimeter . . . . .	51
4.8	Akustische Alarmgeräte . . . . .	52
4.9	FilmBadge . . . . .	53
4.10	TLD . . . . .	54
5.1	Software Logo . . . . .	55
6.1	Android-Client HPS . . . . .	77
6.2	Android-Client Radiographer . . . . .	78

6.3	Android-Client Radiographer . . . . .	79
7.1	Model . . . . .	81
7.2	Server Model . . . . .	82
7.3	dosimeter . . . . .	83
7.4	Processing . . . . .	84
7.5	Materials . . . . .	85

# 1 Einleitung

Bevor ich das Studium der Informatik begann, arbeitete ich im Bereich der RT-Werkstoffprüfung. (Siehe Teil: 2.2) Meine Aufgabe war es, als Beauftragter für den Bereich Strahlenschutz/Health Physics(**HPS**)(Siehe Teil:4.4.1) dafür zu sorgen, dass die Mitarbeiter des Unternehmens, für das ich tätig war, vor Strahlung geschützt werden. Leider ist es in der Praxis nicht selten passiert, dass Mitarbeiter sich nicht an die Bestimmungen u.a. unverzügliche und vollständige Übermittlung von Daten, die der Auswertung zu ihrem persönlichen, physischen Schutz dienen sollen, hielten. Somit setzten sich Mitarbeiter der Strahlenbelastung aus. Das hätte verhindert werden können, wenn Sicherheitsmaßnahmen konsequenter umgesetzt und kontrolliert gewesen wären. Daher entstand bei mir die Idee, eine Software zu entwickeln, die es einzelnen Mitgliedern eines Teams ermöglicht, relevante und angeforderte Daten schnell, einfach und transparent an die zuständigen Beauftragten für Health Physics (HPS) in der Zentrale zu übermitteln. Zwar gibt es bereits Software, die einzelne Aufgaben im Bereich Technik erfüllen, jedoch nicht im Bereich Sicherheit und nicht zusammengeführt in einer benutzungsfreundlichen App. Daher ist es Ziel dieser Arbeit eine App, die verschiedene Funktionen zur Verbesserung der Datenübermittlung zum Schutz der physischen Gesundheit und auch zur Vereinfachung der organisatorischen Abläufe und Materialbeschaffung im Projekt vereint, zu entwickeln.



## 2 Werkstoffprüfung

### 2.1 Non-Destructive Testing auf Deutsch Werkstoffprüfung



Abbildung 2.1: NDT

„Die Werkstoffprüfung umfasst verschiedene Prüfverfahren, mit denen das Verhalten und die Werkstoffkenngrößen von normierten Werkstoffproben (Materialanalytik) oder fertigen Bauteilen (Bauteilprüfung) unter mechanischen, thermischen oder chemischen Beanspruchungen ermittelt werden. Ein Werkstoff wird dabei hinsichtlich seiner Reinheit, Fehlerfreiheit oder Belastbarkeit überprüft. Nach der Art werden die gängigen Prüfverfahren in zwei Hauptbereiche aufgeteilt: zerstörende und zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. Die auf die Abschätzung der Lebensdauer von Produkten und Werkstoffen gerichteten Prüfungen fallen in das Gebiet der Umweltsimulation.“<sup>1</sup>

VT: Vor jeder anderen zerstörungsfreien Prüfung wird eine Sichtprüfung durchgeführt. Dadurch können erste Oberflächenfehler schnell und kostengünstig erkannt werden. Zur genaueren Analyse ist meistens ein weiteres Prüfverfahren nötig.

MT: Das Magnetpulverprüfverfahren dient dem Nachweis von Fehlern wie Rissen an der Oberfläche oder im oberflächennahen Bereich von ferromagnetischen Werkstoffen. Durch das Verfahren wird der, an einer fehlerhaften Stelle der Oberfläche, austretende magnetische Streufluss eines geeignet magnetisierten Werkstücks sichtbar gemacht.

---

<sup>1</sup><https://de.wikipedia.org/wiki/Werkstoffprüfung>

PT: Die (Farb-) Eindringprüfung ermöglicht mit einfachen Hilfsmitteln das Auffinden von Fehlern, die bis zur Oberfläche hin offen sind. Das Verfahren kann bei jedem möglichen Material angewendet werden.

UT: Mit Hilfe der Ultraschallprüfung können flächige Fehler, wie Risse oder Bindefehler besonders gut aufgefunden werden. Die Ultraschallprüfung wird üblicherweise im Impuls-Echoverfahren durchgeführt.

RT: Die Durchstrahlungsprüfung mittels Röntgen- oder Gammastrahlen eignet sich besonders zum Auffinden von Volumenfehlern, wie Poren oder Lunker.

## 2.2 RT Durchstrahlungsprüfung

Die Durchstrahlungsprüfung ist ein bildgebendes Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (ZFP) zur Darstellung von Materialunterschieden.

Mit Röntgen- oder Gammastrahlung aus einer geeigneten Quelle (einer Röntgenröhre, einem Elektronenbeschleuniger mit Röntgentarget oder einem gammastrahlenden Radionuklid) wird die Dichte eines Bauteils auf einem Röntgenfilm abgebildet. Dort erscheint ein Projektionsbild des Bauteils. Am Grad der Schwärzung lässt sich die unterschiedliche Materialdicke oder -dichte erkennen. Je dicker oder dichter ein Bauteil, desto weniger Strahlung kann es durchdringen und desto heller erscheint die Stelle auf dem Röntgenbild.

### 2.2.1 Anwendung

Die Röntgen- und Gammadurchstrahlung ist eine zerstörungsfreie Werkstoffprüfung zur Fehleraufdeckung im Inneren von Bauteilen, insbesondere an Schweißnähten von Blechen, Rohren und Behältern. Zur Prüfung sicherheitsrelevanter Bauteile bspw. von Schweißnähten (DIN EN ISO 10675-1) sowie sicherheitsrelevanter Gussteile (DIN EN 12681:2003-06 und DIN EN ISO 5579:2014-04) z. B. in Kraftwerken ist sie ein Standardverfahren.

Die häufigsten Fehler sind Lunker, Poren, Seigerungen und Risse. Damit diese gut erkennbar sind, müssen Strahlungsintensität, Wellenlänge der Strahlen, Dicke des Bauteils und Belichtungszeit aufeinander abgestimmt sein. Die Durchstrahlungsprüfung (Kürzel RT gem. DIN EN ISO 9712) ist geeignet zum Nachweis volumenhafter Fehler. Durch Unterschiede der Dichte zwischen Fehlstelle und Grundmaterial ist der Fehler nachweisbar. Auch feine Risse lassen sich bei geeignetem Einstrahlwinkel finden. Kontrast und Auflösung beeinflussen das Erkennen solcher Details. Der Kontrast ist abhängig von der Werkstoffdicke, der Dichte, dem Material, der Strahlerqualität/Energieintensität sowie dem Auflösungsvermögen und dem Typus des Films.

Zur Beurteilung der Bildgüte werden Karten (DIN EN ISO 19232-1:2013-12) mit sieben Drahtstegen unterschiedlicher Breite auf das belichtete Bauteil gelegt; die Drahtdurchmesser sind um 1,25 mm abgestuft. Anhand des dünnsten noch zu erkennenden Drahtes kann auf die kleinste erkennbare Fehlergröße geschlossen werden.

### 2.2.2 Eigenschaften

Röntgen- und Gammastrahlen sind elektromagnetische Wellen. Physikalisch gleichen sie dem Licht, haben aber wesentlich kleinere Wellenlängen und dadurch höhere Frequenzen. Auf den kleinen Wellenlängen beruht die Fähigkeit, zwischen den Atomen der Materie einzudringen und mit genügend hoher Energie (Frequenz) auch durchzudringen (Bedingung: Wellenlänge muss kleiner als der Abstand zwischen den Atomen im Kristallgitter sein). Beim Durchdringen werden sie dann verschieden stark durch Fehler abgeschwächt und dadurch zeigt die austretende Strahlung Intensitätsunterschiede. Sie durchdringen Stahl bis etwa 300 mm, Leichtmetall bis 400 mm und Kupfer bis 50 mm. Das Durchdringungsvermögen der Röntgen- und Gammastrahlen ist umso höher, je kleiner die Dichte des Bauteils, die Wellenlänge der Strahlen und je größer die Frequenz ist. Gammastrahlen haben i. A. größere Eindringtiefen, weil sie kurzwelliger sind.

### 2.2.3 Erzeugung der Strahlen

Gammastrahlen: Die wichtigsten Gammastrahler für die Werkstoffprüfung sind natürliche (Radium, Radon, Mesothor) und künstliche (Cobalt, Tantal, Cäsium, Thulium). Die Strahlenquelle ist ein zylinderförmiges und etwa 0,5 – 6 mm großes Präparat, das das jeweilige Radionuklid enthält. Da Gammastrahler nicht „ausgeschaltet“ werden können, sind sie gasdicht in der Strahlerkapsel mit Wolfram-Abschirmung (innen) und Blei- oder Uran-Abschirmung (außen) eingeschlossen, damit die Strahlung nicht allseitig austreten kann. Da die Strahlenquelle wesentlich kleiner als eine Röntgenröhre ist, lässt sie sich dichter an den Prüfling heranbringen, wie z. B. der Isotopenmolch, ein Gerät, das zur Schweißnahtprüfung auf Baustellen durch Rohre gezogen wird.

### 2.2.4 Nachweismöglichkeiten von Fehlern mit RT 2.2

#### Filmaufnahmen

Die aus dem Werkstoff austretenden Strahlen treffen auf eine doppelbeschichtete Filmfolie, die auf der Rückseite mit Bleifolien abgedeckt ist, um Streustrahlen fernzuhalten. Intensitätsunterschiede setzen sich in Schwärzungsunterschiede des Films um. Durch unterschiedlich starke Schwärzungen des Films sieht man die geometrische Form sowie die Lage des Fehlers.

Die Filmaufnahme ist mit Röntgen- und Gammastrahlen möglich. Anwendung: Kontrolle von Schweißnähten und Gussteilen mit Dicken bis zu 100 mm (Stahl) und 400 mm (Al); Revisionsuntersuchungen in Kessel-, Brücken- und Flugzeugbau.

### Durchleuchtung mit Leuchtschirm

Röntgenstrahlen regen bestimmte Kristalle zur Abgabe sichtbarer grün-gelber Strahlen an. Eine mit diesen Kristallen beschichtete Platte bildet den Leuchtschirm. Auf diesem erscheint ein Schattenbild des Prüflings, jedoch mit geringer Lichtstärke. Fehler mit geringer Dichte sind auf dem Schattenbild heller, Fehler mit höherer Dichte dunkler. Der Beobachter muss durch Bleiglas vor der Streustrahlung geschützt werden. Anwendung: Die Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen ist für Stahldicken bis zu 20 mm, für Leichtmetalle und Kunststoffe anwendbar.

### Röntgenbild-Verstärkerröhre

Mit Hilfe von Elektronik kann das Röntgen-Leuchtschirmbild verkleinert und verstärkt werden. Das verstärkte (hellere) Bild kann fernsehtechnisch übertragen werden, so dass der Beobachter in einem strahlengeschützten Raum sitzen kann. Anwendung: Prüfung von längs- und spiralgeschweißten Rohren.

## 2.2.5 Art der durchdringenden Strahlung

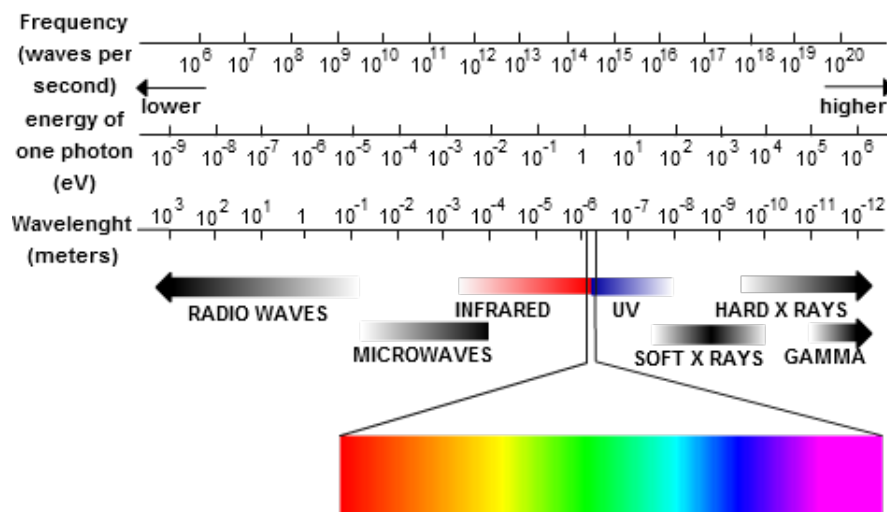


Abbildung 2.2: ElectromagSpec

Ionisierende Strahlung ist ein äußerst wichtiges Instrument der zerstörungsfreien Prüfung, es kann jedoch eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen. Aus diesem Grund

sind besondere Vorsichtsmaßnahmen bei der Verwendung und dem Umgang mit ionisierender Strahlung zu beachten. Der Besitz radioaktiver Materialien und die Verwendung von Strahlung erzeugenden Geräten in den Vereinigten Staaten unterliegen strengen behördlichen Kontrollen. Die wichtigste Regulierungsbehörde für die meisten Arten und Verwendungen von radioaktiven Materialien ist die föderale Nuclear Regulatory Commission (NRC). Mehr als die Hälfte der Staaten in den USA haben jedoch eine "Vereinbarung" mit dem NRC getroffen, um die regulatorische Kontrolle der Verwendung radioaktiver Stoffe innerhalb ihrer Grenzen zu übernehmen. Im Rahmen des Einigungsprozesses müssen die Staaten Regelungen erlassen und durchsetzen, die mit denen in Titel 10 des Code of Federal Regulations vergleichbar sind. Vorschriften für die Kontrolle radioaktiven Materials in Iowa sind in Kapitel 136C des Iowa Code gefunden.<sup>2</sup>

In den meisten Fällen werden die Arten und die Höchstmengen an radioaktivem Material, die Art und Weise, in der sie verwendet werden dürfen, und die zur Verwendung radioaktiver Stoffe berechtigten Personen in Form einer spezifischen "Genehmigung der zuständigen Aufsichtsbehörde festgelegt. In Iowa ist diese Behörde das Iowa Department of Public Health. Bei bestimmten Instituten, die routinemäßig große Mengen zahlreicher Arten radioaktiver Stoffe verwenden, sind die genauen Mengen an Materialien und Einzelheiten der Verwendung in der Lizenz möglicherweise nicht angegeben. Stattdessen räumt die Lizenz dem Organ die Befugnis und Verantwortung ein, die spezifischen Anforderungen für die Verwendung radioaktiver Stoffe in seinen Einrichtungen festzulegen. Diese Lizenznehmer werden "Broadscope" genannt und erfordern ein Strahlensicherheits-Komitee und normalerweise einen Vollzeit-Strahlenschutzbeauftragten.<sup>3</sup>

### 2.2.6 Röntgenstrahlung

“Röntgenstrahlen sind wie jede andere Art von elektromagnetischer Strahlung. Sie können in Energiepaketen erzeugt werden, die Photonen genannt werden, genau wie Licht. Es gibt zwei verschiedene atomare Prozesse, die Röntgenphotonen erzeugen können. Einer wird Bremsstrahlung genannt und ist ein deutscher Begriff, der “bremsende Strahlung” bedeutet.

Die andere wird K-Shell-Emission genannt. Sie können beide in den schweren Wolframatomen vorkommen. Wolfram ist oft das Material, das für das Target oder die Anode der Röntgenröhre gewählt wird. Beide Arten, Röntgenstrahlen zu erzeugen, beinhalten eine Änderung des Zustands von Elektronen. Die Bremsstrahlung ist jedoch leichter zu verstehen, wenn man die klassische Idee verwendet, dass Strahlung emittiert wird, wenn sich die Geschwindigkeit des Elektronenstrahls auf das Wolfram ändert. Das negativ geladene Elektron verlangsamt sich nach dem Schwingen um den Kern eines positiv geladenen Wolframatoms. Dieser Energieverlust erzeugt Röntgenstrahlung. Elektronen werden durch den positiv geladenen Kern elastisch und inelastisch gestreut. Das inelastisch gestreute Elektron verliert Energie, die als Bremsstrahlung erscheint. Elastisch gestreute Elektronen (die rückgestreute Elektronen enthalten) werden im Allgemeinen durch größere Winkel gestreut. Bei der Wech-

---

<sup>2</sup>[https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

<sup>3</sup>[https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

selwirkung werden viele Photonen unterschiedlicher Wellenlängen erzeugt, aber keines der Photonen hat mehr Energie, als das Elektron hätte beginnen müssen. Nach dem Aussenden des Spektrums der Röntgenstrahlung wird das ursprüngliche Elektron abgebremst oder gestoppt.“

4

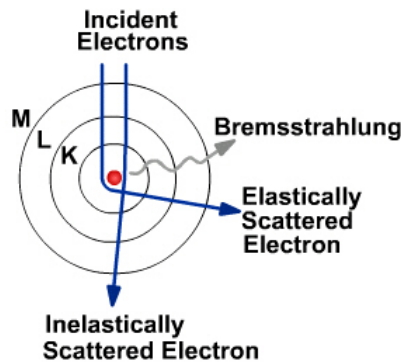


Abbildung 2.3: Bremsstrahlung

## Bremsstrahlung

Röntgenröhren erzeugen Röntgenphotonen, indem sie einen Elektronenstrom auf Energien von mehreren hundert Kilovolt mit Geschwindigkeiten von mehreren hundert Kilometern pro Stunde beschleunigen und zu einem schweren Targetmaterial kollidieren. Die abrupte Beschleunigung der geladenen Teilchen (Elektronen) erzeugt Bremsstrahlungsphotonen. Röntgenstrahlung mit einem kontinuierlichen Spektrum von Energien wird in einem Bereich von einigen keV bis zu einem Maximum der Energie des Elektronenstrahls erzeugt. Targetmaterialien für industrielle Röhren sind typischerweise Wolfram, was bedeutet, dass die Wellenfunktionen der gebundenen Wolframelektronen benötigt werden. Die inhärente Filtration einer Röntgenröhre muss berechnet werden, die durch die Menge kontrolliert wird, mit der das Elektron in die Oberfläche des Targets eindringt, und durch die Art des vorhandenen Vakuumfensters.

Die Bremsstrahlungsphotonen, die innerhalb des Targetmaterials erzeugt werden, werden abgeschwächt, wenn sie typischerweise 50 Mikrometer Targetmaterial passieren. Der Strahl wird durch das Aluminium- oder Beryllium-Vakuumfenster weiter gedämpft. Die Ergebnisse sind eine Eliminierung der Photonen mit niedriger Energie, 1 keV bis 15 keV, und eine signifikante Reduktion des Teils des Spektrums von 15 keV bis 50 keV. Das Spektrum von einer Röntgenröhre wird weiter durch die Filterung modifiziert, die durch die Auswahl von Filtern verursacht wird, die in dem Aufbau verwendet werden.

<sup>4</sup>[https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

### 2.2.7 Gammastrahlung

Gammastrahlung ist eine der drei Arten natürlicher Radioaktivität. Gammastrahlen sind elektromagnetische Strahlung, wie Röntgenstrahlen. Die anderen beiden Arten natürlicher Radioaktivität sind Alpha- und Beta-Strahlung, die in Form von Teilchen vorliegen. Gammastrahlen sind die energiereichste Form elektromagnetischer Strahlung mit einer sehr kurzen Wellenlänge von weniger als einem Zehntel Nanometer.

Gammastrahlung ist das Produkt von radioaktiven Atomen. Abhängig vom Verhältnis von Neutronen zu Protonen in seinem Kern kann ein Isotop eines bestimmten Elements stabil oder instabil sein. Wenn die Bindungsenergie nicht stark genug ist, um den Kern eines Atoms zusammenzuhalten, wird das Atom als instabil bezeichnet. Atome mit instabilen Kernen verändern sich ständig infolge des Ungleichgewichts der Energie im Kern. Mit der Zeit zerfallen die Kerne von instabilen Isotopen spontan oder wandeln sich in einem Prozess, der als radioaktiver Zerfall bekannt ist. Verschiedene Arten von durchdringender Strahlung können von dem Kern und / oder seinen umgebenden Elektronen emittiert werden. Nuklide, die radioaktiv zerfallen, heißen Radionuklide. Jedes Material, das messbare Mengen eines oder mehrerer Radionuklide enthält, ist ein radioaktives Material. Typen Strahlung, die durch radioaktives Zerfallsmaterial erzeugt wird. Wenn ein Atom radioaktiv zerfällt, emittiert es eine oder mehrere Strahlungsformen mit ausreichender Energie, um die Atome zu ionisieren, mit denen es interagiert. Ionisierende Strahlung kann aus subatomaren Teilchen mit hoher Geschwindigkeit bestehen, die aus dem Kern ausgestoßen werden, oder aus elektromagnetischer Strahlung (Gammastrahlen), die entweder vom Kern oder den Orbitalelektronen emittiert wird.

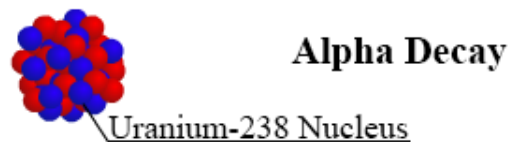


Abbildung 2.4: Alpha-Zerfall

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

### Alpha-Strahlen

“Bestimmte Radionuklide mit hoher Atommasse (Ra226, U238, Pu239) zerfallen durch die Emission von Alphateilchen. Diese sind fest gebundene Einheiten von zwei Neutronen und zwei Protonen (He4-Kern) und haben eine positive Ladung. Die Emission eines Alphateilchens aus dem Kern führt zu einer Abnahme von zwei Einheiten der Ordnungszahl (Z) und vier Einheiten der Massenzahl (A). Alphateilchen werden mit diskreten Energien emittiert, die charakteristisch für die jeweilige Transformation sind, aus der sie stammen. Alle



Alphateilchen aus einer bestimmten Radionuklidtransformation haben identische Energien.“<sup>5</sup>

### Beta-Strahlen

“Ein Kern mit einem instabilen Verhältnis von Neutronen zu Protonen kann durch die Emission eines Hochgeschwindigkeitselektrons, eines Betateilchens, zerfallen. Dies führt zu einer Nettoänderung von einer Einheit der Ordnungszahl ( $Z$ ). Betateilchen haben eine negative Ladung, und die Betateilchen, die von einem spezifischen Radionuklid emittiert werden, liegen in einer Energie von nahe Null bis zu einem maximalen Wert, der für die bestimmte Transformation charakteristisch ist.“<sup>6</sup>

### Gamma-Strahlen

“Ein Kern, der sich in einem angeregten Zustand befindet, kann ein oder mehrere Photonen (Pakete elektromagnetischer Strahlung) diskreter Energien emittieren. Die Emission von Gammastrahlen verändert nicht die Anzahl von Protonen oder Neutronen im Kern, sondern bewirkt stattdessen, dass der Kern von einem höheren in einen niedrigeren Energiezustand (instabil bis stabil) bewegt wird. Die Gammastrahlenemission folgt häufig dem Beta-Zerfall, dem Alpha-Zerfall und anderen Kernzerfallsprozessen.“<sup>7</sup>

## 2.2.8 Aktivität von Radionukliden

Die Menge, die den Grad der Radioaktivität oder das Strahlungserzeugungspotential einer gegebenen Menge an radioaktivem Material ausdrückt, ist Aktivität. Die Curie wurde ursprünglich als diejenige Menge von radioaktivem Material definiert, die mit der gleichen Geschwindigkeit wie ein Gramm reines Radium zerfällt. Die Curie wurde seitdem genauer definiert als eine Menge radioaktiven Materials in  $3.7 \times 10^{10}$  Atome zerfallen pro Sekunde. Die Einheit des Internationalen Systems (SI) für die Aktivität ist das Becquerel (Bq), die Menge an radioaktivem Material, in der ein Atom pro Sekunde umgewandelt wird. Die Radioaktivität einer gegebenen Menge an radioaktivem Material hängt nicht von der Masse des vorhandenen Materials ab. Zum Beispiel könnten zwei Ein-Curie-Quellen von Cs-137 sehr unterschiedliche Massen haben, abhängig von dem relativen Anteil von nicht-radioaktiven Atomen, die in jeder Quelle vorhanden sind. Die Radioaktivität wird als die Anzahl von Curie oder Becquerel pro Massen- oder Volumeneinheit ausgedrückt. Die Konzentration der Radioaktivität oder die Beziehung zwischen der Masse des radioaktiven Materials und der Aktivität wird „spezifische Aktivität“ genannt. Die spezifische Aktivität wird ausgedrückt als die Anzahl der Curie oder Becquerel pro Massen- oder Volumeneinheit. Jedes Gramm Cobalt-60 enthält etwa 50 Curies. Iridium-192 enthält 350 Curies für jedes Gramm Material. Je kürzer

---

<sup>5</sup>[https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

<sup>6</sup>[https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

<sup>7</sup>[https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)





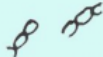
Name	Alpha-Strahlung	Beta-Strahlung	Gamma-Strahlung
<b>Art der Strahlung</b>	Teilchen aus 2 Protonen und 2 Neutronen  Da es identisch mit einem Helium-Atomkern ist, wird es auch als Helium-Ion bezeichnet. Kurz: He <sup>2+</sup> -Ion	Teilchen  Ein einzelnes Elektron, dass den Atomkern mit hoher Geschwindigkeit verlässt.	Elektromagnetische Wellen  Bildlich lässt sich die Gamma-Strahlung als Bruchstücke der gesprengten Kette verstehen, welche den Atomkern zusammen hielt.
<b>Ladung</b>	zweifach positiv	negativ	elektrisch neutral
<b>Reichweite</b>	ca. 10 cm an Luft	ca. 5 - 10 m	unendlich
<b>Abschirmung</b>	1 Blatt Papier	dünnes Aluminiumblech ca. 100 Blatt Papier	nie vollständig möglich, aber durch sehr dicke Blei- oder Betonschichten kann sie eingedämmt werden.

Abbildung 2.5: Die ionisierende Strahlung  
 Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

die Halbwertszeit, desto weniger Material wird benötigt, um eine bestimmte Aktivität zu erzeugen oder zu curieren. Die höhere spezifische Aktivität von Iridium führt zu physikalisch kleineren Quellen. Dies ermöglicht es den Technikern, die Quelle näher an den Film zu legen, während die geometrischen Unschärfeanforderungen auf dem Röntgenbild beibehalten werden. Diese Unschärfebedingungen können möglicherweise nicht erfüllt werden, wenn eine Quelle mit einer geringen spezifischen Aktivität bei ähnlichen Abständen von Quelle zu Film verwendet wird.

### 2.2.9 Isotopenabfallrate (Halbwertszeit)

Jedes Radionuklid zerfällt mit seiner eigenen einzigartigen Geschwindigkeit, die durch keine chemischen oder physikalischen Prozesse verändert werden kann. Ein nützliches Maß für diese Geschwindigkeit ist die Halbwertszeit des Radionuklids. Die Halbwertszeit ist definiert als die Zeit, die erforderlich ist, damit die Aktivität eines bestimmten Radionuklids auf die Hälfte seines Anfangswertes absinkt. Mit anderen Worten, die Hälfte der Atome ist zu einem stabileren Zustand zurückgekehrt. Die Halbwertszeiten von Radionukliden reichen von Mikrosekunden bis Milliarden von Jahren. Die Halbwertszeit von zwei weit verbreiteten industriellen Isotopen beträgt 74 Tage für Iridium-192 und 5,3 Jahre für Kobalt-60. Genauere Berechnungen können für die Halbwertszeit dieser Materialien gemacht werden, jedoch werden diese Zeiten üblicherweise verwendet.

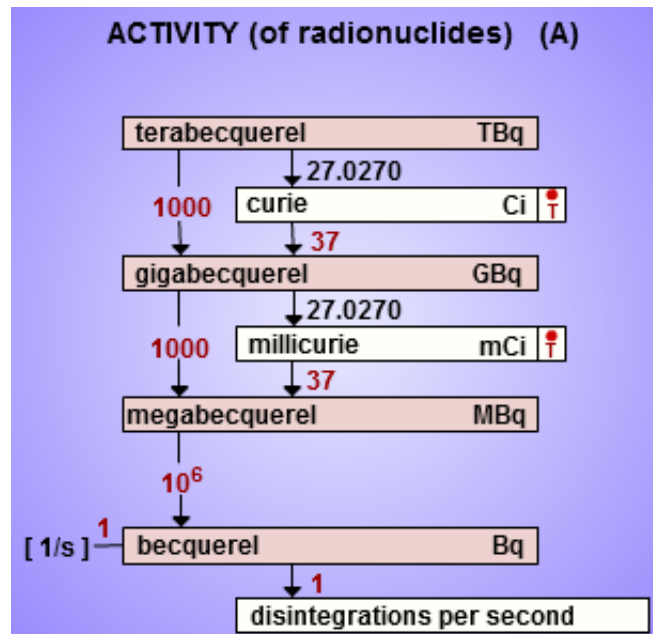


Abbildung 2.6: Radioaktivität

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

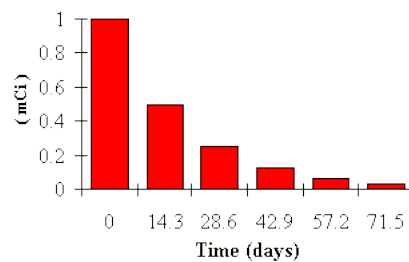


Abbildung 2.7: Isotopen Halbwertszeit

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

Das Applet bietet eine interaktive Darstellung der radioaktiven Zerfallsreihen. Die vier dargestellten Serien sind Th232, Ir192, Co60, Ga75 und C14.

## 2.2.10 Halbwertsschicht

Die Dicke eines gegebenen Materials, bei dem 50% der einfallenden Energie gedämpft wurden, ist als Halbwertschicht (HVL) bekannt. Die HVL wird in Entfernungseinheiten (mm oder cm) ausgedrückt. Wie der Dämpfungskoeffizient ist es abhängig von der Photonenenergie. Die Erhöhung der Durchdringungsenergie eines Photonenstroms führt zu einer Erhöhung der HVL eines Materials.

Die HVL ist umgekehrt proportional zum Dämpfungskoeffizienten. Wenn eine einfallende Energie von 1 und eine übertragene Energie von 0,5 in die auf der vorhergehenden Seite eingeführte Gleichung eingesteckt wird, kann man sehen, dass die HVL mit  $m$  multipliziert

wird.

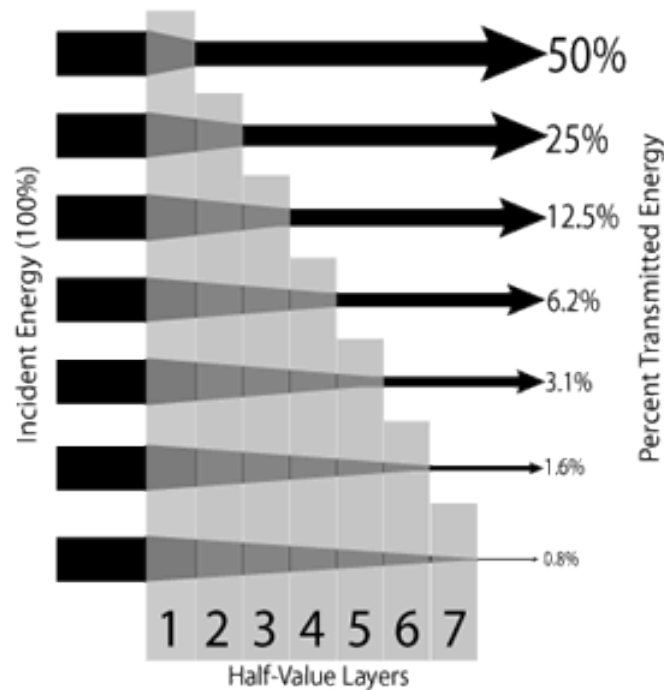


Abbildung 2.8: Half-Value-Layer

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

Wenn  $x$  die HVL ist, dann muss  $m$  HVL gleich 0,693 sein (da die Zahl 0,693 der Exponentenwert ist, der einen Wert von 0,5 ergibt).

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$0.5 = 1.0 e^{-\mu x}$$

Abbildung 2.9: IntensityEq5

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

## Half-Value-Layer

Die HVL wird häufig in der Radiographie verwendet, weil es einfacher ist, sich Werte zu merken und einfache Berechnungen durchzuführen. Bei einer Abschirmungsberechnung, wie sie rechts dargestellt ist, kann gesehen werden, dass, wenn die Dicke einer HVL bekannt ist, schnell bestimmt werden kann, wie viel Material benötigt wird, um die Intensität auf weniger als 1% zu reduzieren.

Daher sind die HVL und  $m$  wie folgt verwandt:

$$HVL = \frac{0.693}{\mu}$$

Abbildung 2.10: IntensityEq6

**Approximate HVL für verschiedene Materialien mit Gamma Quelle**

Half-Value Layer, mm (inch)					
Source	Concrete	Steel	Lead	Tungsten	Uranium
Iridium-192	44.5 (1.75)	12.7 (0.5)	4.8 (0.19)	3.3 (0.13)	2.8 (0.11)
Cobalt-60	60.5 (2.38)	21.6 (0.85)	12.5 (0.49)	7.9 (0.31)	6.9 (0.27)

**Approximate HVL für verschiedene Materialien mit X-ray Quelle**

Half-Value Layer, mm (inch)		
Peak Voltage (kVp)	Lead	Concrete
50	0.06 (0.002)	4.32 (0.170)
100	0.27 (0.010)	15.10 (0.595)
150	0.30 (0.012)	22.32 (0.879)
200	0.52 (0.021)	25.0 (0.984)
250	0.88 (0.035)	28.0 (1.102)
300	1.47 (0.055)	31.21 (1.229)
400	2.5 (0.098)	33.0 (1.299)
1000	7.9 (0.311)	44.45 (1.75)

**2.2.11 Ionisation**

Da sich die durchdringende Strahlung in Materie von Punkt zu Punkt bewegt, verliert sie ihre Energie durch verschiedene Wechselwirkungen mit den Atomen, auf die sie trifft. Die Geschwindigkeit, mit der dieser Energieverlust abhängt, durch welche von der Art und Energie der Strahlung und der Dichte und der atomaren Zusammensetzung der Materie tritt es passiert. Die verschiedenen Arten von durchdringender Strahlung übertragen ihre Energie hauptsächlich durch Anregung und Ionisation von Orbitalelektronen. Der Begriff „Anregung“ wird verwendet, um eine Wechselwirkung zu beschreiben, wo Elektronen Energie von einem vorbeifahrenden geladenen Teilchen zu erwerben, sind jedoch nicht vollständig von ihrem Atom entfernt. Aufgeregte Elektronen können anschließend Energie in Form von Röntgenstrahlen während des Prozesses der Rückkehr in einen niedrigeren Energiezustand emittieren. Der Begriff „Ionisierung“ bezieht sich auf die vollständige Entfernung eines Elektrons von einem Atom nach der Übertragung von Energie von einem passierenden geladenen Teilchen. Bei der Beschreibung der Intensität der Ionisation wird häufig der Begriff „spezifische Ionisation“ verwendet. Dies ist definiert als die Anzahl von Ionenpaaren, die pro Weglängeneinheit für eine gegebene Art von Strahlung gebildet werden.

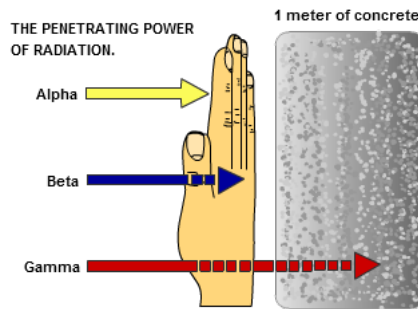


Abbildung 2.11: Ionisation

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

Aufgrund ihrer doppelten Ladung und relativ langsamen Geschwindigkeit haben Alphateilchen eine hohe spezifische Ionisierung und eine relativ kurze Reichweite in der Materie (einige Zentimeter in Luft und nur Bruchteile von einem Millimeter im Gewebe). Betateilchen haben eine viel geringere spezifische Ionisierung als Alphateilchen und im allgemeinen einen größeren Bereich. Zum Beispiel haben die relativ energiereichen Betateilchen von P32 eine maximale Reichweite von sieben Metern in der Luft und acht Millimeter im Gewebe. Die niederenergetischen Betas von H3 werden andererseits nur von sechs Millimetern Luft oder sechs Mikrometern Gewebe gestoppt. Gammastrahlen, Röntgenstrahlen und Neutronen werden als indirekt ionisierende Strahlung bezeichnet, da sie, ohne Ladung, nicht direkt Impulse an die Orbitalelektronen abgeben, wie es Alpha- und Betateilchen tun. Elektromagnetische Strahlung durchläuft Materie, bis eine Wechselwirkung mit einem Teilchen möglich ist. Wenn das Teilchen ein Elektron ist, kann es genug Energie erhalten, um ionisiert zu werden, woraufhin es eine weitere Ionisierung durch direkte Wechselwirkungen mit anderen Elektronen bewirkt. Als Ergebnis kann indirekt ionisierende Strahlung (z. B. Gamma, Röntgenstrahlen und Neutronen) die Freisetzung von direkt ionisierenden Teilchen (Elektronen) tief in einem Medium verursachen. Da diese neutralen Strahlungen nur zufällige Begegnungen mit Materie erfahren, haben sie keine endlichen Bereiche, sondern werden exponentiell abgeschwächt. Mit anderen Worten, ein gegebener Gammastrahl hat eine bestimmte Wahrscheinlichkeit, irgendein Medium irgendeiner Tiefe zu durchqueren.

Neutronen verlieren Energie in Materie durch Kollisionen, die kinetische Energie übertragen. Dieser Vorgang wird Moderation genannt und ist am effektivsten, wenn die Materie, mit der die Neutronen kollidieren, etwa die gleiche Masse wie das Neutron hat. Wenn die Neutronen einmal auf die gleiche durchschnittliche Energie abgebremst sind wie die Materie, mit der sie interagiert (thermische Energien), haben sie eine viel größere Chance, mit einem Kern in Wechselwirkung zu treten. Solche Wechselwirkungen können dazu führen, dass Material radioaktiv wird oder Strahlung abgeben kann.

### 2.2.12 Newtons umgekehrtes quadratisches Gesetz für die Intensität

Jede Punktquelle, die ihren Einfluss gleichmäßig in alle Richtungen ausbreitet, ohne eine Begrenzung ihrer Reichweite zu haben, wird dem Gesetz des umgekehrten Quadrats folgen.

Dies ergibt sich aus streng geometrischen Überlegungen. Die Intensität des Einflusses bei jedem gegebenen Radius ( $r$ ) ist die Quellenstärke dividiert durch die Fläche der Kugel. Das Gesetz des umgekehrten Quadrats, das streng geometrisch ist, gilt für verschiedene Phänomene. Punktquellen der Gravitationskraft, des elektrischen Feldes, des Lichts, des Schalls und der Strahlung folgen dem umgekehrten Quadratgesetz. Als eines der Felder, die dem allgemeinen inversen Quadratgesetz folgen, kann eine Punktstrahlungsquelle durch das obige Diagramm charakterisiert werden, ob Sie von Röntgen, Rad oder Rem sprechen. Alle Belichtungsmaße werden durch das umgekehrte Quadratgesetz fallen. Wenn zum Beispiel die Strahlenbelastung 100 mR / h bei 1 Inch von einer Quelle beträgt, beträgt die Belichtung 0,01 mR / h bei 100 Inch. Das Applet unten zeigt eine radioaktive Quelle. Die Entfernung zur grünen Quelle wird unten angezeigt.

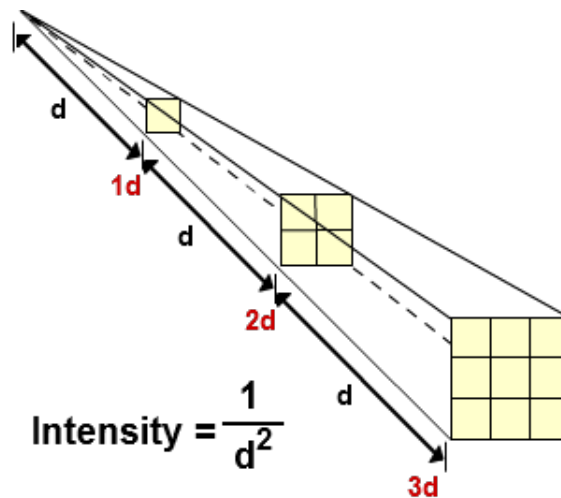


Abbildung 2.12: Intensität

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

### 2.2.13 Wechselwirkung zwischen eindringender Strahlung und Materie

Wenn Röntgenstrahlen oder Gammastrahlen in ein Objekt gerichtet werden, interagieren einige der Photonen mit den Teilchen der Materie und ihre Energie kann absorbiert oder gestreut werden. Diese Absorption und Streuung wird als Dämpfung bezeichnet. Andere Photonen wandern vollständig durch das Objekt, ohne mit einem der Teilchen des Materials in Wechselwirkung zu treten. Die Anzahl der Photonen, die durch ein Material durchgelassen werden, hängt von der Dicke, Dichte und Atomzahl des Materials und der Energie der einzelnen Photonen ab. Selbst wenn sie die gleiche Energie haben, bewegen sich Photonen in einem Material in unterschiedlichen Abständen, einfach aufgrund der Wahrscheinlichkeit ihrer Begegnung mit einem oder mehreren Teilchen der Materie und der Art der Begegnung. Da die Wahrscheinlichkeit einer Begegnung mit der zurückgelegten Entfernung zunimmt, nimmt die Anzahl der Photonen, die einen bestimmten Punkt innerhalb der Materie erreichen, exponentiell mit der zurückgelegten Entfernung ab. Wie in der Grafik gezeigt, wenn

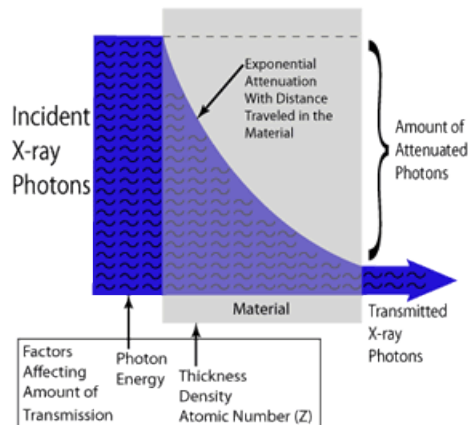


Abbildung 2.13: wechselwirkungstrahlung1

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

1000 Photonen auf zehn 1 cm-Schichten eines Materials gerichtet sind und eine 10% Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Photon in dieser Schicht gedämpft wird, werden 100 Photonen abgeschwächt. Dies lässt 900 Fotos in die nächste Schicht, in denen 10% dieser Fotos abgeschwächt werden. Durch Fortsetzen dieses Verlaufs wird die exponentielle Form der Kurve offensichtlich.

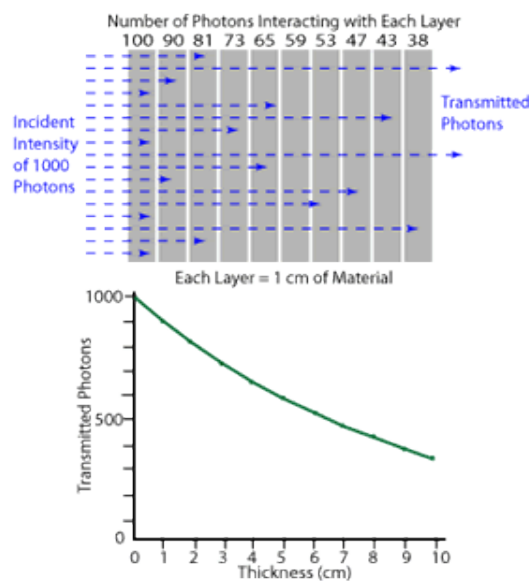


Abbildung 2.14: wechselwirkungstrahlung2

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

## 3 Stand der Technik

### 3.1 RT Technik

#### 3.1.1 Geometrische Unschärfe

Geometrische Unschärfe bezieht sich auf den Verlust der Definition, der das Ergebnis geometrischer Faktoren der radiographischen Ausrüstung und des Aufbaus ist. Es tritt auf, weil die Strahlung nicht von einem einzelnen Punkt, sondern über eine Fläche stammt. Betrachten Sie die Bilder unten, die zwei Quellen unterschiedlicher Größe zeigen, die Strahlengänge von jeder Kante der Quelle zu jeder Kante des Merkmals der Probe, die Stellen, an denen diese Strahlung den Film belichtet, und das Dichteprofil über den Film. Im ersten Bild stammt die Strahlung von einer sehr kleinen Quelle. Da die gesamte Strahlung im wesentlichen aus dem gleichen Punkt stammt, wird im Bild sehr wenig geometrische Unschärfe erzeugt. In dem zweiten Bild ist die Quellengröße größer und die verschiedenen Wege, die die Strahlungsstrahlen von ihrem Ursprungspunkt in der Quelle nehmen können, bewirken, dass die Kanten der Einkerbung weniger definiert sind.

#### Geometric Unsharpness

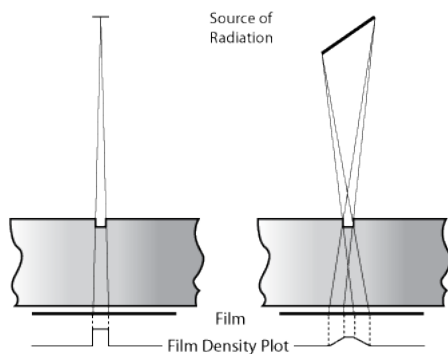


Abbildung 3.1: Geometric Unsharpness

Die drei Faktoren, die die Unschärfe steuern, sind die Quellengröße, die Entfernung von Quelle zu Objekt und die Distanz zwischen Objekt und Detektor. Die Quellengröße wird durch Bezugnahme auf Herstellerspezifikationen für eine gegebene Röntgen- oder Gammastrahlenquelle erhalten. Industrieröntgenröhren haben häufig Brennfleckgrößen von 1,5 mm



im Quadrat, Mikrofokussysteme haben jedoch Fleckgrößen im Bereich von 30 Mikron. Wenn die Quellengröße abnimmt, nimmt auch die geometrische Unschärfe ab. Für eine Quelle mit gegebener Größe kann die Unschärfe ebenfalls durch Erhöhen der Entfernung von der Quelle zum Objekt verringert werden, dies führt jedoch zu einer Verringerung der Strahlungsintensität. Der Abstand zwischen Objekt und Detektor wird normalerweise so klein wie möglich gehalten, um die Unschärfe zu minimieren. Es gibt jedoch Situationen, z. B. bei Verwendung einer geometrischen Vergrößerung, wenn das Objekt vom Detektor getrennt wird, was die Definition verringert. Das unten stehende Applet ermöglicht die Visualisierung der geometrischen Unschärfe, wenn Quellgröße, Entfernung von Quelle zu Objekt und Abstand zwischen Quelle und Detektor variiert werden. Der Bereich mit unterschiedlicher Dichte am Rand eines Features, der sich aufgrund geometrischer Faktoren ergibt, wird als Penumbra bezeichnet. Codes und Standards, die in der industriellen Radiographie verwendet werden, erfordern, dass geometrische Unschärfe begrenzt wird. Im Allgemeinen beträgt die zulässige Menge 1/100 der Materialdicke bis zu einem Maximum von 0,040 Zoll. Diese Werte beziehen sich auf den Grad des Halbschattens in einem Röntgenbild. Da die Penumbra nicht annähernd so gut definiert ist, wie in der Abbildung(3.2)gezeigt, ist es schwierig, sie in einem Röntgenbild zu messen. Daher wird es typischerweise berechnet. Die Quellengröße muss vom Gerätehersteller bezogen oder gemessen werden. Dann kann die Unschärfe anhand von Messungen des Setups berechnet werden. Für den Fall, wie rechts gezeigt, wo eine Probe mit einer signifikanten Dicke in der Nähe des Detektors platziert wird, wird die folgende Formel verwendet, um die maximale Menge an Unschärfe aufgrund der Probendicke zu berechnen:

$$U_g = f * b/a$$

f = Quelle Brennpunktgröße (source focal-spot size)

a = Abstand von der Quelle zur vorderen Oberfläche des Objekts

b = Die Dicke des Objekts

Für den Fall, dass der Detektor nicht neben der Probe platziert wird, etwa wenn eine geometrische Vergrößerung verwendet wird, wird die Berechnung zu:

$$U_g = f * b/a$$

f = Quelle Brennpunktgröße (source focal-spot size)

a = Abstand von der Röntgenquelle(x-ray) zur vorderen Oberfläche des Materials / Objekts

b = Die Dicke des Objekts

## 3.2 Sekundäre Strahlung und Unterschnittkontrolle

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

### 3.2.1 Sekundäre Strahlung

Sekundär- oder Streustrahlung muss oft bei der Erstellung eines Röntgenbildes berücksichtigt werden. Die gestreuten Photonen erzeugen einen Verlust von Kontrast und Definition.

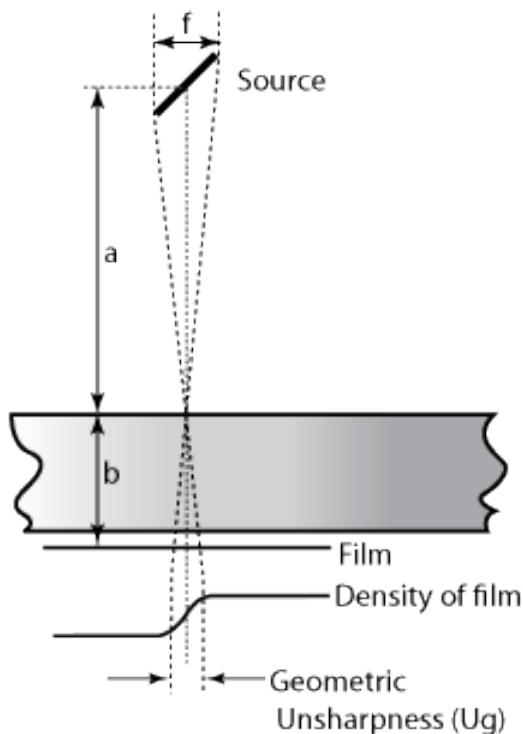


Abbildung 3.2: GeometricUnsharpness2

Häufig wird Sekundärstrahlung als Strahlung angesehen, die auf den Film trifft, der von einem Objekt in der unmittelbaren Umgebung, wie einer Wand, oder von dem Tisch oder Boden, auf dem das Teil ruht, reflektiert wird. Seitliche Streuung entsteht von Wänden oder Objekten auf der Quellseite des Films. Die Steuerung der Seitenstreuung kann erreicht werden, indem Objekte in dem Raum weg von dem Film bewegt werden, die Röntgenröhre in die Mitte des Gewölbes bewegt wird oder ein Kollimator an der Austrittsöffnung platziert wird, wodurch die divergierende Strahlung um den Zentralstrahl reduziert wird. Es wird oft als Rückstreuung bezeichnet, wenn es von Objekten hinter dem Film kommt. Industriestandards und Standards verlangen oft, dass ein Buchstabe B auf der Rückseite der Kassette platziert wird, um die Kontrolle der Rückstreuung zu überprüfen.

Wenn der Buchstabe B als ein Geister-Bild auf dem Film erscheint, erreicht eine signifikante Menge an Rückstreustrahlung den Film. Das Bild des B ist oft sehr unscharf, (BILD 3.4). Der Pfeil zeigt auf das Gebiet der Rückstreustrahlung von der Leitung B, die sich auf der Rückseite des Films befindet. Die Steuerung der Rückstreustrahlung wird erreicht, indem der Film in der Kassette mit einer mindestens 0,010 Zoll dicken Bleifolie hinterlegt wird. Es ist eine übliche Praxis in der Industrie, einen 0,005-Zoll-Führungsschirm vor und einen 0,010-Zoll-Schirm hinter dem Film anzuordnen.

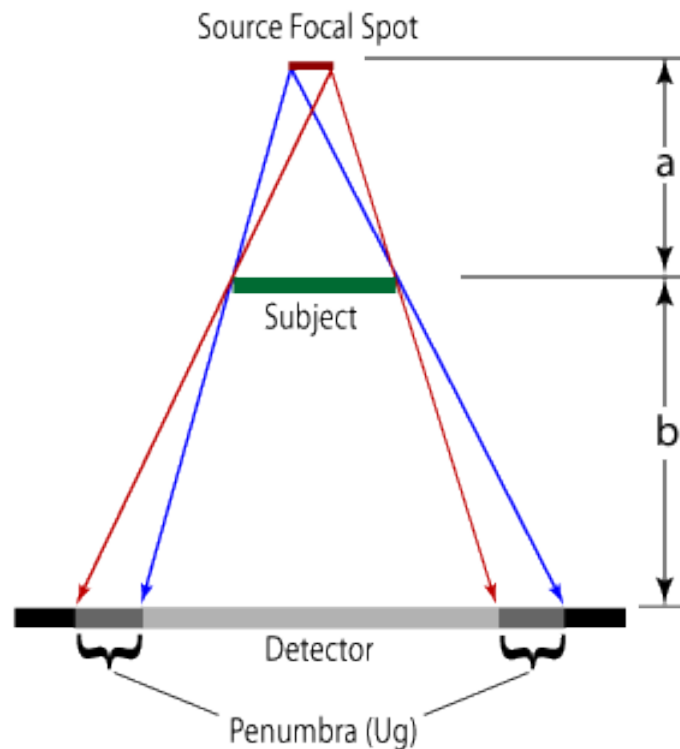


Abbildung 3.3: Penumbra

### 3.2.2 Unterschnitt

Eine weitere Bedingung, die oft bei der Erstellung eines Röntgenbildes kontrolliert werden muss, ist Undercut. Teile mit Löchern, hohlen Bereichen oder abrupten Dickenänderungen werden wahrscheinlich durch Unterschnitte beeinträchtigt, wenn die Bedienelemente nicht eingesetzt werden. Hinterschnitt erscheint als Verdunkelung des Röntgenbildes im Bereich des Dickenübergangs. Dies führt zu einem Verlust der Auflösung oder Unschärfe im Übergangsbereich. Unterschneidung tritt aufgrund von Streuung innerhalb des Films auf.

An den Rändern eines Teils oder der Bereiche, wo der Teil von dick zu dünn übergeht, ist die Intensität der Strahlung, die den Film erreicht, viel größer als in den dickeren Bereichen des Teils. Die hohe Strahlungsintensität, die den Film erreicht, führt zu einer hohen Streuung innerhalb des Films. Es sollte auch beachtet werden, dass, je schneller die Filmgeschwindigkeit ist, desto mehr Unterschneidung wahrscheinlich auftritt. Streuung innerhalb der Wände des Teils trägt ebenfalls zur Unterschneidung bei, aber die Forschung hat gezeigt, dass die Streuung innerhalb des Films die Hauptursache ist. Masken dienen zur Kontrolle der Unterschneidung. Als Masken werden häufig Bleibleche verwendet, die zum Füllen von Löchern oder zum Umschließen des Teils geschnitten werden, und metallische Schrot- und Flüssigkeitsabsorber.

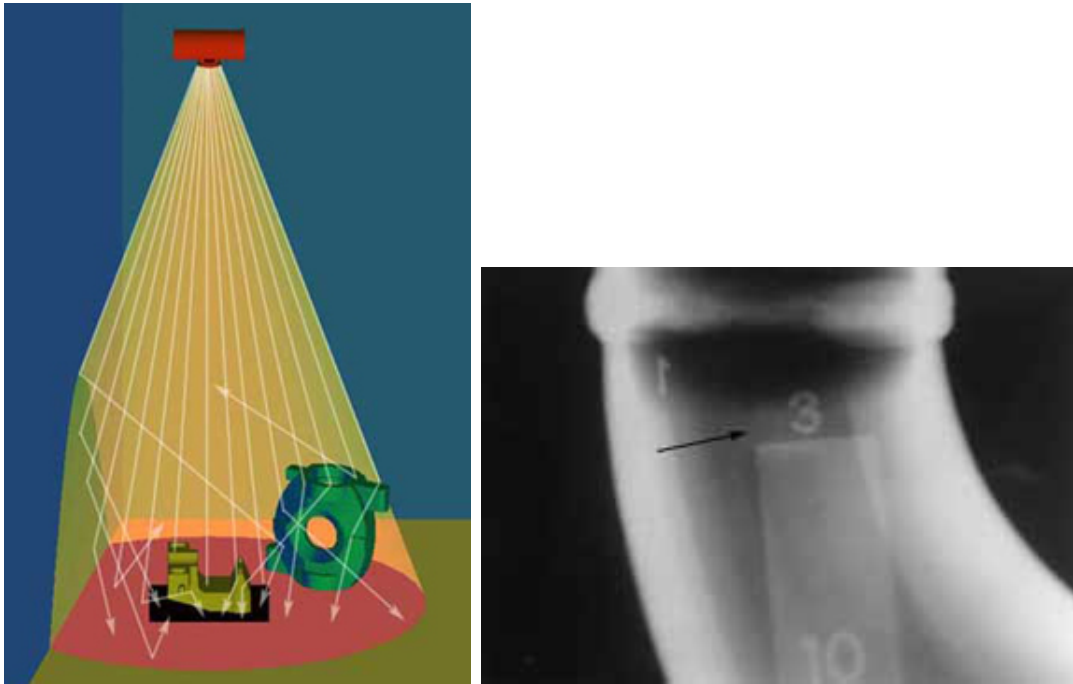


Abbildung 3.4: BackScatter

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

## 3.3 Filter in der Radiographie

### 3.3.1 X-Ray

Bei Röntgenenergien bestehen Filter aus Material, das in dem Nutzstrahl angeordnet ist, um vorzugsweise Strahlung basierend auf dem Energieniveau zu absorbieren oder die räumliche Verteilung des Strahls zu modifizieren. Die Filtration wird benötigt, um die Röntgenstrahlen mit niedrigerer Energie zu absorbieren, die von der Röhre emittiert werden, bevor sie das Ziel erreichen. Die Verwendung von Filtern erzeugt ein saubereres Bild durch Absorbieren der Röntgenstrahlenphotonen mit niedrigerer Energie, die dazu neigen, mehr zu streuen. Die Gesamtfiltration des Strahls umfasst die inhärente Filtration (bestehend aus einem Teil der Röntgenröhre und des Röhrengehäuses) und die hinzugefügte Filterung (dünne Bleche eines Metalls, das in den Röntgenstrahl eingeführt wird). Filter werden typischerweise in der Nähe des Röntgenstrahlkanals im direkten Weg des Röntgenstrahls angeordnet. Auch eine dünne Kupferfolie zwischen dem Teil und der Filmkassette hat sich als eine effektive Filtrationsmethode erwiesen.

Für die industrielle Radiographie werden die Filter, die dem Röntgenstrahl hinzugefügt werden, meistens aus Materialien mit hoher Kernladungszahl wie Blei, Kupfer oder Messing hergestellt. Filter für die medizinische Radiographie bestehen in der Regel aus Aluminium (Al). Die Menge sowohl der inhärenten als auch der zugesetzten Filtration wird in mm Al oder mm Al-Äquivalent angegeben. Die Filtrationsmenge des Röntgenstrahls wird spezifiziert durch und basiert auf dem Spannungspotential (keV), das verwendet wird, um den Strahl zu

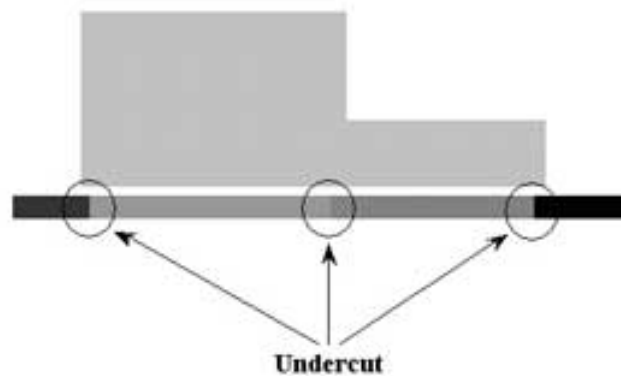


Abbildung 3.5: Undercut

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

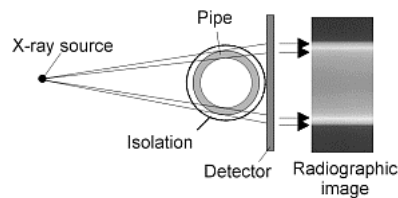


Abbildung 3.6: X-Ray

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

erzeugen. Die Dicke der Filtermaterialien hängt von Ordnungszahlen, Kilovolt-Einstellungen und dem gewünschten Filtrationsfaktor ab.

### 3.3.2 Gamma

Gammaradiographie erzeugt relativ hohe Energieniveaus bei im wesentlichen monochromatischer Strahlung, daher ist die Filtration keine nützliche Technik und wird selten verwendet.

### 3.3.3 RT-Ressourcen

1. Personal: mindestens 2
  - Health Physics Safety(HPS)
  - Radiographer
  - Assistance
2. Haupt-Materialien
  - Materialien

- Radioaktive Isotope z.B. Iridium-192
- Gamma Radiation Projection Devices z.B. [SENTINEL](#)
- Film z.B. [AGFA](#)
- Prozess-Materialien
  - Chemikalien für Filmentwickler und Filmfixierer z.B. [AGFA](#)
  - Dunkelkammer für Entwicklung z.B. [Digitale Dunkelkammer](#)
- Sicherheit-Materialien
  - Personal Dosimetrie z.B.  
[Geiger-Müller-Alarm](#),  
[Thermolumineszenzdosimeter \(TLD\)](#),  
[Film badge dosimeter](#),  
...
  - Strahlungsbereich Dosimetrie z.B. [GAMMA-SCOUT-Radiometer](#)
  - Strahlungszeichen z.B. [Zeichen für Strahlungsbereich](#)
  - Strahlenbelastung-Notfall z.B. [Notfall-Aufbewahrungsbehälter](#)

## 4 Sicherheit

### 4.1 Halbwertschicht (Abschirmung)

Wie im vor Abschnitt über die Strahlungstheorie diskutiert wurde, hängt die Eindringtiefe für eine gegebene Photonenenergie von der Materialdichte (Atomstruktur) ab. Je mehr subatomare Teilchen in einem Material vorliegen (höhere Z-Zahl), desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Wechselwirkungen auftreten und die Strahlung ihre Energie verliert. Je dichter ein Material ist, desto geringer ist daher die Eindringtiefe der Strahlung. Materialien wie angereichertes Uran, Wolfram und Blei haben hohe Z-Zahlen und sind daher sehr wirksam bei der Abschirmung von Strahlung. Beton ist nicht so wirksam in der Abschirmung von Strahlung, aber es ist ein sehr gebräuchliches Baumaterial und wird daher häufig bei der Konstruktion von Strahlungsgewölben verwendet.

Da unterschiedliche Materialien die Strahlung in unterschiedlichem Maße abschwächen, wurde ein praktisches Verfahren zum Vergleichen der Abschirmungsleistung von Materialien benötigt. Die Halbwertschicht (HVL (Sehen das Bild 2.8)) wird üblicherweise für diesen Zweck verwendet und um zu bestimmen, welche Dicke eines gegebenen Materials notwendig ist, um die Belichtungsrate von einer Quelle auf ein bestimmtes Niveau zu reduzieren. Irgendwann im Material gibt es ein Niveau, bei dem die Strahlungsintensität die Hälfte derjenigen an der Oberfläche des Materials wird. Diese Tiefe wird als Halbwertschicht für dieses Material bezeichnet. Eine andere Betrachtungsweise ist, dass die HVL die Menge an Material ist, die notwendig ist, um die Belichtungsrate von einer Quelle auf die Hälfte ihres nicht abgeschirmten Werts zu reduzieren.

Manchmal ist die Abschirmung als eine Anzahl von HVL spezifiziert. Wenn zum Beispiel eine Gammaquelle  $369 \text{ R / h}$  an einem Fuß erzeugt und eine vier HVL-Abschirmung um sie herum angeordnet ist, würde die Intensität auf  $23,0 \text{ R / h}$  reduziert werden.

Jedes Material hat seine eigene spezifische HVL-Dicke. Das HVL-Material ist nicht nur abhängig, sondern auch strahlungsenergieabhängig. Dies bedeutet, dass sich für ein gegebenes Material, wenn sich die Strahlungsenergie ändert, sich auch der Punkt ändert, an dem die Intensität auf die Hälfte ihres ursprünglichen Werts abnimmt. Im Folgenden sind einige HVL-Werte für verschiedene Materialien aufgeführt, die üblicherweise in der industriellen Radiographie verwendet werden. Wie aus der Überprüfung der Werte ersichtlich ist, steigt mit steigender Energie der Strahlung auch der HVL-Wert (Sehen das Bild 2.7).

## 4.2 Strahlenbelastung kontrollieren

Wenn man mit Strahlung arbeitet, gibt es zwei Arten der Exposition: akute und chronische. Eine akute Exposition ist eine einmalige, versehentliche Exposition gegenüber einer hohen Strahlungsdosis während eines kurzen Zeitraums. Eine akute Exposition hat das Potenzial, sowohl nicht-stochastische als auch stochastische Effekte zu erzeugen. Chronische Exposition, die manchmal auch als "kontinuierliche Exposition" bezeichnet wird, ist eine langfristige Überexposition auf niedrigem Niveau. Eine chronische Exposition kann zu stochastischen Auswirkungen auf die Gesundheit führen und ist wahrscheinlich auf unsachgemäße oder unzureichende Schutzmaßnahmen zurückzuführen.

Die drei grundlegenden Möglichkeiten zur Kontrolle der Exposition gegenüber schädlicher Strahlung sind:

- 1) Begrenzung der Zeit in der Nähe einer Strahlungsquelle
- 2) Erhöhung der Entfernung von der Quelle
- 3) Mit einer Abschirmung, um das Strahlungsniveau zu stoppen oder zu reduzieren

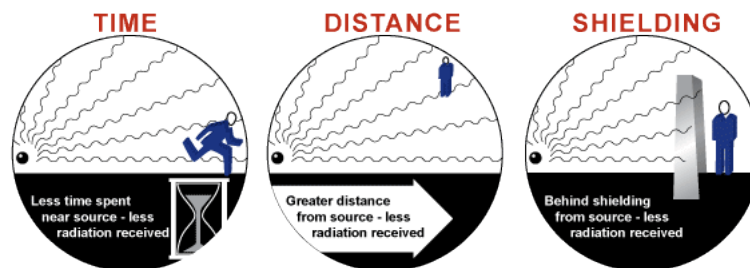


Abbildung 4.1: Time Dist Shield

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

### 4.2.1 Zeit

Die Strahlungsdosis ist direkt proportional zu der Zeit, die in der Strahlung verbracht wird. Daher sollte sich eine Person nicht länger als nötig in der Nähe einer Strahlungsquelle aufhalten. Wenn ein Vermessungsgerät 4 mR / h an einem bestimmten Ort liest, wird eine Gesamtdosis von 4mR erhalten, wenn eine Person für eine Stunde an diesem Ort verbleibt. In einer zweistündigen Zeitspanne würde eine Dosis von 8 mR erhalten werden. Die folgende Gleichung kann verwendet werden, um eine einfache Berechnung durchzuführen, um die Dosis zu bestimmen, die in einem Strahlungsgebiet empfangen wird oder wurde.

$$\text{Dose} = \text{Dose Rate} \times \text{Time}$$





Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

Bei Verwendung einer Gammakamera ist es wichtig, die Quelle von der abgeschirmten Kamera so schnell wie möglich zum Kollimator zu bringen, um die Expositionszeit der ungeschirmten Quelle zu begrenzen. Vorrichtungen, die Strahlung in einigen Richtungen abschirmen, aber in einer oder mehreren anderen Richtungen passieren können, sind als Kollimatoren bekannt. Dies wird in den Bildern am Ende dieser Seite veranschaulicht.

### Beispielrechnungen 1

Ein Techniker befindet sich in einem Bereich für 10 Minuten und der Messwert auf dem Vermessungsmesser beträgt 5 mR / h. Welche Strahlendosis erhält der Techniker?

$$5\text{mR/h} / 60 \text{ min./h} = 0.0833 \text{ mR/min.}$$

$$0.0833 \text{ mR/min.} \times 10 \text{ min} = 0.833 \text{ mR total dose.}$$

### Beispielrechnungen 2

Ein Techniker möchte unter Berücksichtigung der oben genannten Bedingungen nicht mehr als eine Dosis von 1,0 mR erhalten. Wie lange kann der Techniker maximal in der Gegend bleiben?

$$1.0 \text{ mR} / 0.0833 \text{ mR/min.} = 12 \text{ min}$$

Die berechneten Dosierungen wären Annäherungen. Die tatsächlichen Dosierungen können aufgrund von Streuung und anderen Überlegungen variieren. Die TLD oder das Film-Badge sollte verwendet werden, um die von einer Person erhaltene Dosis zu bestimmen.

## 4.2.2 Entfernung

Die zunehmende Entfernung von der Strahlungsquelle verringert die Menge der empfangenen Strahlung. Wenn Strahlung von der Quelle ausgeht, breitet sie sich aus und wird weniger intensiv.



Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

Dies ist vergleichbar mit dem Stehen in der Nähe eines Feuers. Je näher eine Person dem Feuer steht, desto intensiver fühlt sich die Hitze vom Feuer an. Dieses Phänomen kann durch eine Gleichung ausgedrückt werden, die als das umgekehrte quadratische Gesetz bekannt ist, das besagt, dass, wenn sich die Strahlung von der Quelle ausbreitet, die Dosierung umgekehrt zum Quadrat der Entfernung abnimmt.

Berechnung der Intensität mit dem inversen Quadratgesetz:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

$I_1$  = Intensität 1 bei  $D_1$

$I_2$  = Intensität 2 bei  $D_2$

$D_1$  = Entfernung 1 von der Quelle

$D_2$  = Entfernung 2 von der Quelle

### Beispielrechnungen 1

Die Strahlungsintensität beträgt 530 U / h bei 5 Fuß Entfernung von einer Quelle. Wie groß ist die Intensität der Strahlung bei 10 Fuß? Überarbeiten Sie die Gleichung, um die Intensität in Entfernung 2 zu lösen:

$$I_2 = I_1 * \frac{D_1^2}{D_2^2}$$

Stecken Sie die bekannten Werte ein

$$I_2 = 530 \text{ R/h} * \frac{(5 \text{ ft})^2}{(10 \text{ ft})^2}$$

Löse für  $I_2 = 132.5 \text{ R/h}$

In diesem Fall wurde die Entfernung verdoppelt und die Intensität an diesem Punkt hat sich um den Faktor vier verringert.

### Beispielrechnungen 2

Eine Quelle erzeugt eine Intensität von 456 R / h bei einem Fuß von der Quelle. Wie groß wäre der Abstand in Fuß zu den 100, 5 und 2 mR / h Grenzen.

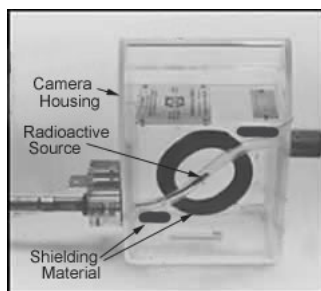
Konvertiere R / Stunde in mR / Stunde

$$456 \text{ R/h} * 1000 = 456,000 \text{ mR/h}$$

$$\left( D2 = \sqrt{\frac{I1 \cdot D1^2}{I2}} \right) \longrightarrow \left( D2 = \sqrt{\frac{456,000 mR/h \cdot (1 ft)^2}{100 mR/h}} \right) \longrightarrow \left( D2 = 67.5 \right)$$

### 4.2.3 Abschirmung

Der dritte Weg, die Strahlenexposition zu reduzieren, besteht darin, etwas zwischen dem Radiographen und der Strahlungsquelle zu platzieren. Im Allgemeinen gilt, je dichter das Material ist, desto mehr Abschirmung wird es bereitstellen. Die wirksamste Abschirmung wird durch Metall aus angereichertem Uran erreicht. Es wird hauptsächlich in Gammastrahlenkameras wie der unten gezeigten verwendet.



Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

Der Kreis aus dunklem Material in der Plastik-Durchsichtskamera (unten rechts) wäre tatsächlich eine Kugel aus angereichertem Uran in einer echten Gammastrahlenkamera. Angereichertes Uran und andere Schwermetalle, wie Wolfram, sind sehr wirksam bei der Abschirmung von Strahlung, da ihre dicht gepackten Atome es der Strahlung schwer machen, sich durch das Material zu bewegen, ohne mit den Atomen in Wechselwirkung zu treten. Blei und Beton sind die am häufigsten verwendeten Strahlenschutzmaterialien, hauptsächlich weil sie einfach zu verarbeiten sind und leicht verfügbar sind. Beton wird häufig bei der Konstruktion von Strahlungsgewölben verwendet. Einige Gewölbe werden auch mit Bleifolien verkleidet, um die Strahlung auf ein akzeptables Maß von außen zu reduzieren.

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

## 4.3 Sicherheitskontrollen

Da Röntgen- und Gammastrahlung von den menschlichen Sinnen nicht wahrgenommen werden können und der daraus resultierende Schaden für den Körper nicht unmittelbar ersichtlich ist, wird eine Vielzahl von Sicherheitskontrollen verwendet, um die Exposition zu begrenzen. Die zwei grundlegenden Arten von Strahlenschutzkontrollen, die für eine sichere

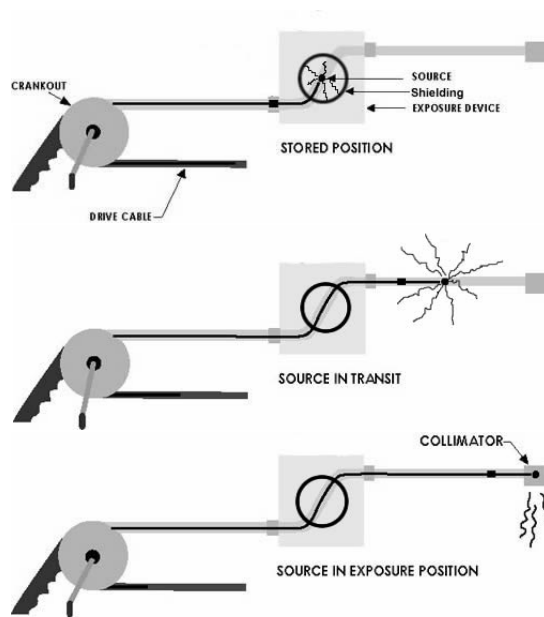


Abbildung 4.2: Camera

Arbeitsumgebung verwendet werden, sind technische und administrative Kontrollen. Engineered Kontrollen umfassen Abschirmung, Verriegelungen, Alarmer, Warnsignale und Materialeinschließung. Administrative Kontrollen umfassen Buchungen, Prozeduren, Dosimetrie und Schulungen.

### 4.3.1 Engineered Kontrollen

Engineered Kontrollen wie Abschirmung und Türverriegelungen werden benutzt, um die Strahlung in einem Kabinett oder in einem SSstrahlungsgewölbeu enthalten. Feste Abschirmungsmaterialien sind üblicherweise Beton und / oder Blei mit hoher Dichte. Türverriegelungen werden verwendet, um den Strom zu Röntgenstrahlen erzeugenden Geräten sofort zu unterbrechen, wenn eine Tür versehentlich geöffnet wird, wenn Röntgenstrahlen erzeugt werden. Warnlichter werden verwendet, um Arbeiter und die Öffentlichkeit darauf aufmerksam zu machen, dass Strahlung verwendet wird. Sensoren und Warnalarmer werden oft verwendet, um zu signalisieren, dass eine vorbestimmte Menge an Strahlung vorhanden ist. Sicherheitskontrollen sollten niemals manipuliert oder umgangen werden.



Wenn eine tragbare Radiographie durchgeführt wird, ist es meistens nicht praktikabel, Alarm- oder Warnlichter im Belichtungsbereich zu platzieren. Seile und Schilder werden verwendet, um den Zugang zu Strahlungsbereichen zu blockieren und die Öffentlichkeit auf das Vorhandensein von Strahlung aufmerksam zu machen. Gelegentlich verwenden Radiografen batteriebetriebene Blitzlichter, um die Öffentlichkeit auf das Vorhandensein von Strahlung aufmerksam zu machen. Tragbare oder temporäre Abschirmvorrichtungen können aus Materialien oder Geräten hergestellt werden, die sich im Bereich der Inspektion befinden. Zur vorübergehenden Abschirmung können Stahlbleche, Stahlträger oder andere Geräte verwendet werden. Es liegt in der Verantwortung des Radiografen, den Absorptionswert verschiedener Materialien zu kennen und zu verstehen. Weitere Informationen zu Absorptionswerten und Materialeigenschaften finden Sie im Röntgenbereich dieser Website.

### 4.3.2 Verwaltungskontrollen

Wie bereits erwähnt, ergänzen administrative Kontrollen die technischen Kontrollen. Diese Steuerelemente umfassen Buchungen, Prozeduren, Dosimetrie und Training. In der Regel ist es erforderlich, dass alle Bereiche, in denen röntgenstrahlerzeugende Geräte oder radioaktive Materialien enthalten sind, mit Schildern versehen sind, auf denen das Strahlungssymbol und ein Hinweis auf die Gefahren der Strahlung angebracht sind. Normale Betriebsverfahren und Notfallverfahren müssen ebenfalls vorbereitet und befolgt werden. In den USA schreibt das Bundesgesetz vor, dass jede Person, die wahrscheinlich mehr als 10% eines jährlichen Arbeitsplatzgrenzwerts erhält, auf Strahlenbelastung überwacht wird. Diese Überwachung wird durch den Einsatz von Dosimetern erreicht, die im Abschnitt Strahlungssicherheitsausrüstung dieses Materials behandelt werden. Eine gute Schulung mit begleitender Dokumentation ist auch eine sehr wichtige administrative Kontrolle.

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

### 4.3.3 Strahlenschutzbereiche

Strahlenschutzgebiete werden bei Tätigkeiten eingerichtet, für die eine Genehmigung nach den nationalen Strahlenschutzgesetzen erforderlich ist. Je nach Strahlenexposition wird zwischen Überwachungsbereichen, Kontrollbereich und Sperrbereich hinsichtlich der externen und internen Strahlenexposition unterschieden. Überall dort, wo EU-Vorschriften gelten, gelten folgende Werte:

Strahlenschutzbereiche		
Isotop Quelle	Sperrbereich	Kontrollbereich
Iridium192	1.6 $\sqrt{\text{Aktivität}}$	14 $\sqrt{\text{Aktivität}}$
Cobalt 60	2.6 $\sqrt{\text{Aktivität}}$	23 $\sqrt{\text{Aktivität}}$
Cesium 137	1.3 $\sqrt{\text{Aktivität}}$	11.5 $\sqrt{\text{Aktivität}}$
Ytterbium169	0.8 $\sqrt{\text{Aktivität}}$	7 $\sqrt{\text{Aktivität}}$

Quelle: Ghiassi-Nejad, M., Katouzi, M. (2004). Hefazat dar barbarez aschaeh (Schutz gegen radioaktive Strahlung). 2. Band. 8. Auflage. Teheran: Iranische Nationalbibliothek.

#### Überwachungsbereich

Überwachungsbereiche sind die Bereiche, in denen Personen eine höhere effektive Dosis als 1 mSv oder höhere Organdosen als 15 mSv für die Augenlinse oder 50 mSv für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel im Kalenderjahr erhalten können. Oft wird das gesamte Betriebsgelände als Überwachungsbereich betrachtet und (zum Beispiel bei Kernkraftwerken) durch einen Zaun oder ähnliche Maßnahmen vom allgemeinen Staatsgebiet abgetrennt.

#### Kontrollbereich

Der Kontrollbereich ist meist vom Überwachungsbereich umschlossen. In ihm können Personen eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv pro Kalenderjahr oder höhere Organdosen als 45 mSv pro Kalenderjahr für die Augenlinse oder 150 mSv pro Kalenderjahr für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten. Kontrollbereiche müssen abgegrenzt und deutlich sichtbar gekennzeichnet sein. Ein Kontrollbereich darf nur zur Durchführung oder Aufrechterhaltung der vorgesehenen Betriebsvorgänge betreten werden. Besucher haben nur mit behördlicher Erlaubnis Zutritt. Bei Personen, die sich im Kontrollbereich aufhalten, müssen die Körperdosen bestimmt werden – üblicherweise mit einem amtlichen Dosimeter. Vor dem erstmaligen Zutritt und dann mindestens jährlich muss eine Unterweisung insbesondere über die anzuwendenden Strahlenschutzmaßnahmen durchgeführt werden.

#### Sperrbereich

Sperrbereiche sind Bereiche innerhalb eines Kontrollbereichs, in denen die Ortsdosisleistung höher als 3 mSv pro Stunde sein kann. Personen darf der Aufenthalt in einem Sperrbereich

nur erlaubt werden, wenn sie unter der Aufsicht einer beauftragten fachkundigen Person zur Durchführung vorgesehener Betriebsvorgänge oder aus zwingendem Grund tätig werden müssen. Sperrbereiche sind abzugrenzen und deutlich sichtbar zu kennzeichnen. Der Zutritt zu Strahlenschutzbereichen ist nicht frei. Einschränkungen finden sich z. B. in der deutschen StrlSchV (§ 37 Zutritt zu Strahlenschutzbereichen) für Überwachungs-, Kontroll- und Sperrbereiche. Für alle übrigen Bereiche eines Betriebes, die nicht Strahlenschutzbereiche sind, gilt der Grenzwert für das allgemeine Staatsgebiet für die Ortsdosisleistung von 1 mSv pro Jahr.

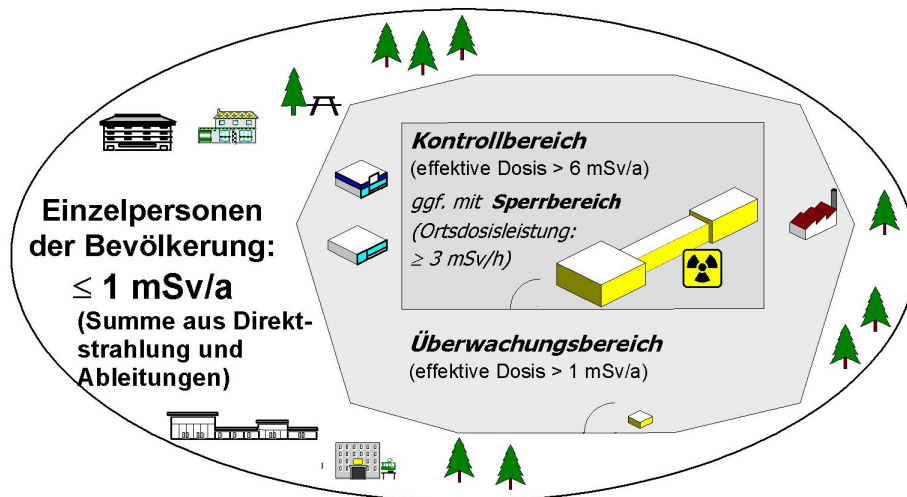


Abbildung 4.3: Strahlenschutzbereiche

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Strahlenschutzbereich>

## 4.4 Verantwortlichkeiten

Der sichere Umgang mit der Strahlung liegt in der Verantwortung aller, die an der Verwendung und Verwaltung von strahlungserzeugenden Geräten und Materialien beteiligt sind. Abhängig von der Größe der Organisation können bestimmte Verantwortlichkeiten verschiedenen Personen und / oder Ausschüssen zugewiesen werden.

### 4.4.1 Strahlenschutzbeauftragter

#### Radiation Safety Officer (RSO)/ Health Physics Safety (HPS)

Alle Organisationen, die zur Verwendung ionisierender Strahlung zugelassen sind, müssen über einen Strahlenschutzbeauftragten (RSO/HPS) verfügen. Der RSO/HPS ist die vom Unternehmen autorisierte Person, die als Ansprechpartner für alle Aktivitäten dient, die im Rahmen der Genehmigung durchgeführt werden. Der RSO/HPS stellt sicher, dass Strahlenschutzaktivitäten in Übereinstimmung mit genehmigten Verfahren und regulatorischen





Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

Anforderungen durchgeführt werden. Einige der gemeinsamen Verantwortlichkeiten für den RSO sind:

1. Sicherstellen, dass alle Personen, die Strahlengeräte verwenden, angemessen geschult und beaufsichtigt werden.
2. Sicherstellen, dass alle Personen, die das Gerät benutzen, formell zur Verwendung des Geräts autorisiert wurden.
3. Sicherstellen, dass alle Regeln, Vorschriften und Verfahren für den sicheren Umgang mit radioaktiven Quellen und Röntgensystemen eingehalten werden.
4. Sicherstellen, dass geeignete Betriebs, Notfall- und ALARA-Verfahren entwickelt wurden und allen Systembenutzern zur Verfügung stehen.
5. Sicherstellen, dass genaue Aufzeichnungen über die Verwendung der Quellen und Geräte erhalten bleiben.
6. Sicherstellen, dass die erforderlichen Strahlungsuntersuchungen und Dichtigkeitsprüfungen durchgeführt und dokumentiert werden.
7. Sicherstellen, dass Systeme und Geräte vor unbefugtem Zugriff oder Entfernung geschützt sind.

Die Mindestqualifikationen, Schulungen und Erfahrungen für RSOs für die industrielle Radiographie sind wie folgt: (1) Abschluss der Trainings- und Testanforderungen von Sec. 34.43 (a) von Teil 10 des Federal Code of Regulations, (2) 2000 Stunden praktische Erfahrung als qualifizierte Radiotechniker in industriellen radiographischen Operationen, und (3) Formale Ausbildung in der Einrichtung und Wartung eines Strahlenschutzprogramms.



#### 4.4.2 Strahlenschutzausschuss "Radiation Safety Committee"(RSC)

Einige Organisationen haben möglicherweise einen Strahlenschutzausschuss (RSC), der den RSO/HPS unterstützt. Das RSC überwacht häufig die Richtlinien, Verfahren und Verantwortlichkeiten eines Strahlenschutzprogramms eines Unternehmens.

#### 4.4.3 Systembenutzer

Die zur Verwendung des röntgenstrahlerzeugenden Systems oder der Gammaquellen autorisierten Personen sind dafür verantwortlich, dass :

1. Alle Regeln, Vorschriften und Verfahren zur sicheren Verwendung des Röntgensystems werden befolgt.
2. Eine genaue Aufzeichnung der Verwendung des Systems wird aufrechterhalten.
3. Alle Sicherheitsprobleme mit dem System werden dem RSO gemeldet und vor der weiteren Verwendung korrigiert.
4. Das System ist vor unbefugtem Zugriff oder Entfernung geschützt.

#### 4.4.4 Verfahren

Schriftliche Arbeitsanweisungen müssen entwickelt und jedem zur Verfügung gestellt werden, der mit Strahlenquellen oder röntgenstrahlenden Geräten arbeitet. Diese Verfahren müssen für die Ausrüstung und ihre Verwendung in einer bestimmten Anwendung spezifisch sein. Den Beschäftigten die Bedienungsanleitung des Geräteherstellers einfach zur Verfügung zu stellen, genügt dieser Anforderung nicht. Das Betriebsverfahren muss jederzeit befolgt werden, es sei denn, es liegt eine schriftliche Genehmigung des Strahlenschutzbeauftragten vor.

#### Standardablauf

Die Betriebsanweisungen müssen mindestens Anweisungen für Folgendes enthalten:

1. Angemessene Handhabung und Verwendung lizenzierter umschlossener Strahlenquellen und radiographischer Expositionsgeräte, so dass keine Person Strahlenexpositionen ausgesetzt ist, die über den festgelegten Expositionsgrenzwerten liegen.
2. Methoden und Anlässe für die Durchführung von Strahlungsuntersuchungen.
3. Methoden zur Kontrolle des Zugangs zu Radiographiebereichen.
4. Methoden und Anlässe zum Sichern und Sichern von Röntengeräten, Transport- und Lagerbehältern und versiegelten Quellen.
5. Personalüberwachung und Einsatz von Personalüberwachungsgeräten.

6. Transport von versiegelten Quellen zu Feldstandorten, einschließlich Verpackung radiographischer Expositionsgeräte und Lagerbehälter in den Fahrzeugen, Plakatierung von Fahrzeugen bei Bedarf und Kontrolle der versiegelten Quellen während des Transports.
7. Überprüfung, Wartung und Funktionsfähigkeitsprüfung von Röntgengeräten, Vermessungsinstrumenten, Transportbehältern und Lagerbehältern.
8. Das Verfahren zur Identifizierung und Meldung von Mängeln und Nichteinhaltung.
9. Wartung von Aufzeichnungen.

### **Notfallmaßnahmen**

Es müssen auch Verfahren entwickelt werden, die die Mitarbeiter im Notfall leiten. Einige der Elemente, die abgedeckt werden könnten, sind:

1. Schritte, die sofort von dem Radiographiepersonal ergriffen werden müssen, wenn festgestellt wird, dass ein Taschendosimeter außerhalb der Skala liegt oder ein Alarmratemesser unerwartet alarmiert.
2. Schritte zur Minimierung der Exposition von Personen im Falle eines Unfalls.
3. Das Verfahren zur Benachrichtigung der richtigen Personen im Falle eines Unfalls.
4. Wiederherstellungsprozedur für radioaktive Quellen, wenn der Lizenznehmer die Wiederherstellung durchführt.

### **4.4.5 Umfragetechnik**

Die Mehrheit der Überbelichtungen in der industriellen Radiographie ist das Ergebnis dessen, dass der Radiograf den Ort eines Gammastrahlers nicht kennt und keine geeignete Strahlungserhebung durchführt. Expositionsgewölbe sind mit Warnleuchten und Sicherheitsverriegelungsschaltern ausgestattet, die eine Sicherheitsmarge für die Arbeiter bieten. Es muss gelegentlich eine Untersuchung durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass in den Tresoren keine Strahlung austritt und dass die Sicherheitsvorrichtungen ordnungsgemäß funktionieren. Wenn jedoch eine Radiographie mit Gammastrahlern im Feld durchgeführt wird, muss sich der Röntgengeräteher stark auf Messungen mit einem Vermessungsmeter verlassen, da andere Sicherheitsvorrichtungen nicht üblich sind. Eine Reihe von Erhebungen muss durchgeführt werden, und einige der Ergebnisse dieser Erhebungen müssen dokumentiert werden, wenn mit Gammastrahlern im Feld transportiert und gearbeitet wird.



### **Annäherung an das Belichtungsgerät**

Ein Techniker sollte sich gründlich mit dem Betrieb eines Vermessungsmessers auskennen, da der bestimmungsgemäße Gebrauch des Geräts unerlässlich ist. Bevor das Belichtungsgerät (Kamera) aus dem Speicher genommen wird, muss die Kalibrierung des Vermessungszählers überprüft und der Batteriestand überprüft werden. Wenn Sie sich dem Belichtungsgerät nähern, um es vom Lagerort zu entfernen, sollte das Vermessungsgerät griffbereit und betriebsbereit sein. Der Vermessungsmesser sollte neben dem Belichtungsgerät platziert werden, um zu überprüfen, ob die Quelle im Projektor enthalten ist, und um sicherzustellen, dass das Vermessungsgerät ordnungsgemäß funktioniert. Vermessungszählerstände sollten mit früheren Messungen verglichen und aufgezeichnet werden.

### **Transport des Belichtungsgeräts**

Wenn das Belichtungsgerät transportiert wird, muss es sicher im Fahrzeug verstaut werden. Eine verschließbare Metallbox ist oft im Heck des Fahrzeugs verschraubt. Ein Überblick über die Überverpackung, die Außenseite des Fahrzeugs und den Fahrerraum wird dann durchgeführt und dokumentiert.

### **Vorbereitung auf eine Exposition**

Auf der Baustelle wird der Expositionsbereich bewertet, Abstandsberechnungen für die Begrenzung der Sperrzonen und Seile und Schilder, die entsprechend platziert werden, durchgeführt. Sobald dies abgeschlossen ist, ist der Röntgentechniker bereit, das Belichtungsgerät aus seinem Ablagefach im Fahrzeug zu entfernen. Der Vermessungszähler sollte überwacht werden, wenn das Aufbewahrungsfach angefahren wird und wenn das Expositionsgerät aus dem Fach entfernt wird. Tägliche Sicherheitskontrollen sollten dann durchgeführt werden.

Sobald diese Überprüfungen abgeschlossen sind, können der Röntgenassistent und der Assistent das Belichtungsgerät zum Expositionsort bewegen. Da die Kurbeln und Führungsrohre zur Vorbereitung der ersten Exposition angebracht sind, sollte das Vermessungsgerät überwacht werden. Bevor die Quelle freigelegt wird, sollte der Assistent den Bereich auf Personen überprüfen, die möglicherweise in den eingeschränkten Bereich eingedrungen sind, und sich dann außerhalb der Seilgrenze bewegen.

### **Eine Belichtung erledigen**

Der Röntgentechniker sollte sich in der maximalen Entfernung von der Belichtungsvorrichtung befinden, die das Führungsrohr erlaubt, wenn er oder sie die Quelle schnell aus der Belichtungsvorrichtung herausritzt und einrastet. Wenn sich die Quelle aus dem Belichtungsgerät bewegt, wird der Vermessungsmesser auf ein sehr hohes Niveau ansteigen und sich dann verringern, sobald sich die Quelle innerhalb des Kollimators befindet. Während der Exposition wird der Assistent die festgelegte Grenze überwachen, um die vorhandenen Strahlungswerte zu bestimmen. Wenn der Vermessungsmesser anzeigt, dass die Werte höher als berechnet sind, muss die Grenze erweitert werden.

### **Die Quelle zurückziehen**

Beim Zurückziehen der Quelle sehen die Röntgenphotographen einen Anstieg der Messwerte, wenn sich die Quelle aus dem Kollimator bewegt und in den Projektor zurückgezogen wird. Wenn sich die Quelle innerhalb des Belichtungsgeräts befindet, sollte sich der Röntgentechniker ihm nähern, während er den Vermessungsmesser überwacht. Wenn die Quelle ordnungsgemäß eingefahren ist, sollte bei Annäherung an das Belichtungsgerät keine Erhöhung des Messgeräts angezeigt werden. Das Belichtungsgerät sollte von allen Seiten beobachtet werden, wobei besonders auf die Vorderseite des Geräts zu achten ist. Die gesamte Länge des Führungsrohrs muss dann vermessen werden.

Dieser Vorgang wird für jede Belichtung wiederholt. Die Ergebnisse der Untersuchung müssen dokumentiert werden, wenn das Expositionsgerät zum Transport an das Fahrzeug zurückgegeben wird und wenn es an seinen Lagerort zurückgebracht wird.



Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)



#### 4.4.6 Strahlungsdetektoren

Instrumente zur Strahlungsmessung fallen in zwei große Kategorien:

- Messgeräte
- Persönliche Dosismessgeräte.

Frequenzmessgeräte messen die Rate, mit der die Belichtung empfangen wird (häufiger als Strahlungsintensität bezeichnet). Vermessungszähler, akustische Alarmer und Bereichsüberwachungsgeräte fallen in diese Kategorie. Diese Instrumente zeigen eine Strahlungsintensitätsablesung relativ zur Zeit, wie etwa  $R / h$  oder  $mR / h$ . Eine Analogie kann zwischen

diesen Instrumenten und dem Tachometer eines Autos hergestellt werden, da beide Messeinheiten relativ zur Zeit sind. Dosismessgeräte sind solche, die den Gesamtbetrag der während eines Messzeitraums erhaltenen Exposition messen. Die Dosimeter oder Dosimeter, die üblicherweise in der industriellen Radiographie verwendet werden, sind kleine Vorrichtungen, die dazu bestimmt sind, von einer Person getragen zu werden, um die von der Person empfangene Exposition zu messen. Eine Analogie kann zwischen diesen Instrumenten und dem Kilometerzähler eines Autos hergestellt werden, da beide akkumulierte Einheiten messen.

#### 4.4.7 Messgeräte

Der Vermessungsmesser ist die wichtigste Ressource, die ein Röntgentechniker benötigt, um die Anwesenheit und Intensität der Strahlung zu bestimmen. Eine Überprüfung der Vorfal- und Überbelichtungsberichte zeigt, dass ein Großteil dieser Art von Ereignissen aufgetreten ist, wenn ein Techniker kein Vermessungsinstrument verwendet hat oder nicht verwendet hat.

Zur Messung der Strahlung im Feld stehen viele verschiedene Modelle von Vermessungszählern zur Verfügung. Sie alle bestehen im Wesentlichen aus einem Detektor und einer Ausleseanzeige. Analoge und digitale Anzeigen sind verfügbar. Die meisten Vermessungsmesser, die für die industrielle Radiographie verwendet werden, verwenden einen gasgefüllten Detektor.

Gasgefüllte Detektoren bestehen aus einem gasgefüllten Zylinder mit zwei Elektroden.

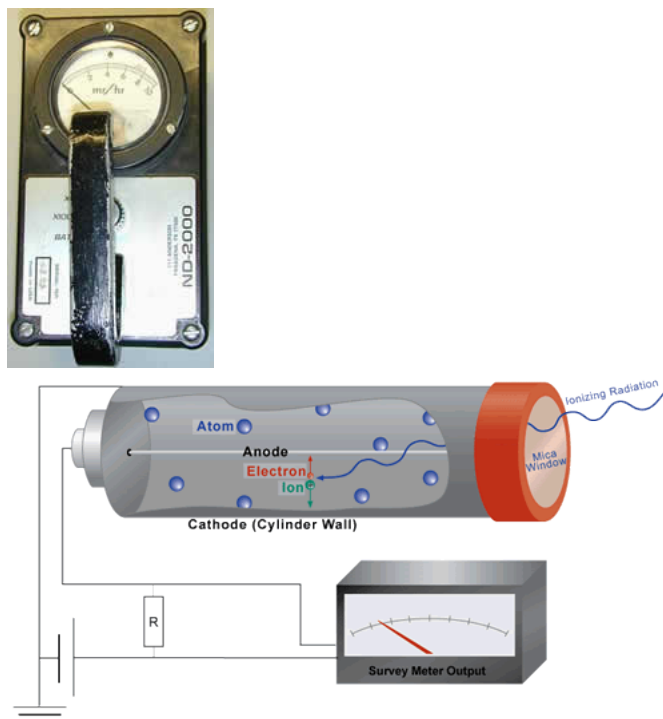


Abbildung 4.4: Radiometer

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)



Manchmal wirkt der Zylinder selbst als eine Elektrode, und eine Nadel oder ein dünner straff gespannter Draht entlang der Achse des Zylinders wirkt als die andere Elektrode. Eine Spannung wird an die Vorrichtung angelegt, so dass die zentrale Nadel oder der Draht eine Anode (+ Ladung) wird und die andere Elektrode oder Zylinderwand die Kathode (- Ladung) wird. Das Gas wird ionisiert, sobald der Zähler in die Nähe von radioaktiven Substanzen gebracht wird. Das elektrische Feld, das durch die Potentialdifferenz zwischen der Anode und der Kathode erzeugt wird, bewirkt, dass sich die Elektronen jedes Ionenpaars zur Anode bewegen, während das positiv geladene Gasatom zur Kathode gezogen wird. Dies führt zu einem elektrischen Signal, das verstärkt wird, mit der Belichtung korreliert und als Wert angezeigt wird.

Abhängig von der zwischen der Anode und der Kathode angelegten Spannung kann der Detektor als eine Ionenkammer, ein Proportionalzähler oder ein Geiger-Müller (GM) -Detektor betrachtet werden. Jeder dieser Detektortypen hat seine Vor- und Nachteile. Eine kurze Zusammenfassung jedes dieser Detektoren folgt.

### **Ionenkammerzähler**

Ionenkammern haben eine relativ niedrige Spannung zwischen der Anode und der Kathode, was zu einer Ansammlung von nur den Ladungen führt, die bei dem anfänglichen Ionisationsereignis erzeugt werden. Diese Art von Detektor erzeugt ein schwaches Ausgangssignal, das der Anzahl der Ionisationsereignisse entspricht. Höhere Energien und Strahlungsintensitäten erzeugen mehr Ionisierung, was zu einer stärkeren Ausgangsspannung führt.

Die Sammlung von nur primären Ionen liefert Informationen über die tatsächliche Strahlenbelastung (Energie und Intensität). Die Messgeräte benötigen jedoch eine empfindliche Elektronik, um das Signal zu verstärken, was sie ziemlich teuer und empfindlich macht. Der zusätzliche Aufwand und die erforderliche Sorgfalt sind gerechtfertigt, wenn genaue Strahlenexpositionsmessungen über einen Bereich von Strahlungsenergien durchgeführt werden müssen. Dies könnte notwendig sein, wenn die von einem Röntgengenerator erzeugte Bremsstrahlungsstrahlung gemessen wird. Ein Ionenkammer-Vermessungsmesser wird manchmal bei der Durchführung von Gammaradiographie im Feld verwendet, da es genaue Expositionsmessungen ungeachtet des verwendeten radioaktiven Isotops liefert.

### **Proportionaler Zähler**

Proportionalzähldetektoren verwenden eine etwas höhere Spannung zwischen der Anode und der Kathode. Aufgrund des starken elektrischen Feldes werden die Ladungen, die bei der anfänglichen Ionisierung erzeugt werden, schnell genug beschleunigt, um andere Elektronen im Gas zu ionisieren. Die Elektronen, die in diesen sekundären Ionenpaaren erzeugt werden, sammeln zusammen mit den Primärelektronen weiterhin Energie, wenn sie sich zur Anode hin bewegen, und erzeugen dabei mehr und mehr Ionisationen. Das Ergebnis ist, dass jedes Elektron von einem primären Ionenpaar eine Kaskade von Ionenpaaren erzeugt. Dieser Effekt wird als Gasvermehrung oder -verstärkung bezeichnet. In diesem Spannungsregime ist die Anzahl der durch sekundäre Wechselwirkungen freigesetzten Teilchen proportional zur

Anzahl der Ionen, die von den vorbeilaufenden ionisierenden Teilchen erzeugt werden. Daher werden diese Gasionisationsdetektoren als Proportionalzähler bezeichnet.

Wie Ionenkammerdetektoren unterscheiden Proportionaldetektoren zwischen den Strahlungsarten. Sie erfordern jedoch eine sehr stabile Elektronik, die teuer und zerbrechlich ist. Proportionaldetektoren werden normalerweise nur in einer Laborumgebung verwendet.

### **Geiger-Müller (GM) Zähler**

Geiger-Müller-Zähler arbeitet unter noch höheren Spannungen zwischen der Anode und der Kathode, üblicherweise im Bereich von 800 bis 1200 Volt. Wie der Proportionalzähler beschleunigt die hohe Spannung die Ladungen, die bei der anfänglichen Ionisierung erzeugt werden, zu der Stelle, an der sie genug Energie haben, um andere Elektronen im Gas zu ionisieren. Diese Kaskadierung von Ionenpaaren tritt jedoch viel stärker auf und setzt sich fort, bis der Zähler mit Ionen gesättigt ist. Dies alles geschieht in einem Bruchteil einer Sekunde und führt zu einem elektrischen Stromimpuls konstanter Spannung. Die Ansammlung der großen Anzahl von Sekundärionen in der GM-Region ist als eine Lawine bekannt und erzeugt einen großen Spannungsimpuls. Mit anderen Worten, die Größe des Stromimpulses ist unabhängig von der Größe des Ionisationsereignisses, das ihn erzeugt hat.

Die elektronische Schaltung eines GM-Zählers zählt und zeichnet die Anzahl der Impulse auf und die Information wird oft in Zählimpulsen pro Minute angezeigt. Wenn das Instrument einen Lautsprecher hat, können die Impulse auch ein hörbares Klicken erzeugen. Wenn das Gasvolumen in der Kammer vollständig ionisiert ist, stoppt die Ionensammlung, bis der elektrische Impuls entlädt. Auch dies dauert nur einen Bruchteil einer Sekunde, aber dieser Prozess begrenzt die Geschwindigkeit, mit der einzelne Ereignisse erkannt werden können.

Da sie individuelle ionisierende Ereignisse anzeigen können, sind GM-Zähler im Allgemeinen empfindlicher gegenüber niedrigen Strahlungswerten als Ionenkammerinstrumente. Mittels Kalibrierung kann die Zählrate als Belichtungsrate über einen bestimmten Energiebereich angezeigt werden. Wenn sie für die Gammadiagnostik verwendet werden, werden GM-Messgeräte typischerweise für die Energie der verwendeten Gammastrahlung kalibriert. Meistens liefert Gammastrahlung von Cs-137 bei 0,662 MeV die Kalibrierung. Nur kleine Fehler treten auf, wenn der Röntgengerät Ir-192 (durchschnittliche Energie etwa 0,34 MeV) oder Co-60 (durchschnittliche Energie etwa 1,25 MeV) verwendet.

Da der Geiger-Müller-Zähler viel mehr Elektronen erzeugt als ein Ionenkammerzähler oder ein Proportionalzähler, erfordert er nicht die gleiche elektronische Perfektion wie andere Vermessungszähler. Dies führt zu einem relativ kostengünstigen und robusten Messgerät. Die Nachteile von GM-Messgeräten bestehen darin, dass sie nicht in der Lage sind, unterschiedliche Mengen an Ionisierung zu berücksichtigen, die durch unterschiedliche Photonen und nicht kontinuierliche Messungen verursacht werden (Entladen erforderlich).

### **Vergleich von gasgefüllten Detektoren**

Die Grafik auf der rechten Seite zeigt die Beziehung der Ionensammlung in einem gasgefüllten Detektor gegenüber der angelegten Spannung. In dem Ionenkammerbereich ist die Spannung zwischen der Anode und der Kathode relativ niedrig und nur Primärionen wer-



den gesammelt. In dem proportionalen Bereich ist die Spannung höher und Primärionen und eine Anzahl von Sekundärionen (proportional zu den ursprünglich gebildeten Primärionen) werden gesammelt. In der GM-Region wird eine maximale Anzahl von Sekundärionen gesammelt, wenn das Gas um die Anode vollständig ionisiert ist. Es sei angemerkt, dass eine Unterscheidung zwischen Strahlungsarten (E1 und E2) in der Ionenkammer und in Proportionalbereichen möglich ist. Strahlung auf verschiedenen Energieniveaus bildet eine unterschiedliche Anzahl von Primärionen im Detektor. In der GM-Region bleibt jedoch die Anzahl der pro Ereignis gesammelten Sekundärionen gleich, unabhängig von der Energie der Strahlung, die das Ereignis ausgelöst hat. Der GM-Zähler gibt die Fähigkeit auf, die Belichtung aufgrund verschiedener Strahlungsenergien im Austausch für einen großen Signalimpuls genau zu messen. Dieser große Signalimpuls vereinfacht die Elektronik, die für Instrumente wie Messgeräte benötigt wird. Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

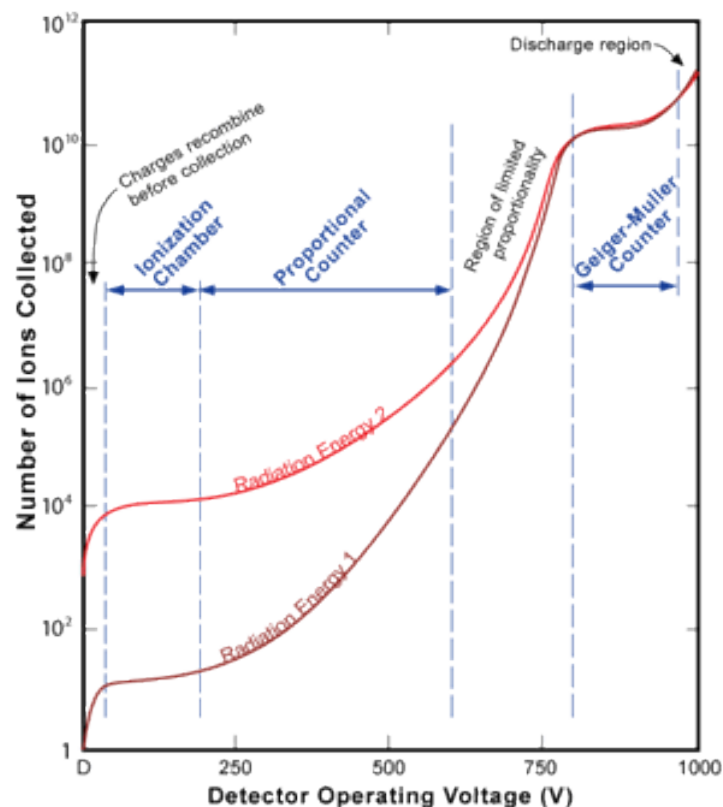


Abbildung 4.5: detectorvoltage

### Taschen-Dosimeter

Pocket-Dosimeter werden verwendet, um dem Träger eine sofortige Ablesung seiner Exposition gegenüber Röntgen- und Gammastrahlen zu ermöglichen. Wie der Name schon sagt, werden sie häufig in der Tasche getragen. Die beiden in der industriellen Radiographie

gebräuchlichen Typen sind das Direct Read Pocket Dosimeter und das Digital Electronic Dosimeter.

### Direct Read Pocket Dosimeter

Ein direkt lesendes Taschenionisationsdosimeter hat im Allgemeinen die Größe und Form eines Füllhalters. Das Dosimeter enthält eine kleine Ionisationskammer mit einem Volumen von ungefähr zwei Millilitern. In der Ionisationskammer befindet sich eine zentrale Drahtanode, und an dieser Drahtanode ist eine metallbeschichtete Quarzfaser befestigt. Wenn die Anode auf ein positives Potential geladen ist, wird die Ladung zwischen der Drahtanode und der Quarzfaser verteilt. Elektrostatische Abstoßung lenkt die Quarzfaser ab, und je größer die Ladung ist, desto größer ist die Ablenkung der Quarzfaser. Strahlung, die auf die Kammer einfällt, erzeugt eine Ionisierung innerhalb des aktiven Volumens der Kammer. Die durch Ionisation erzeugten Elektronen werden von der positiv geladenen zentralen Anode angezogen und gesammelt. Diese Ansammlung von Elektronen reduziert die positive Nettoladung und ermöglicht, dass die Quarzfaser in Richtung der ursprünglichen Position zurückkehrt. Die Menge der Bewegung ist direkt proportional zu der Menge der Ionisation, die auftritt.

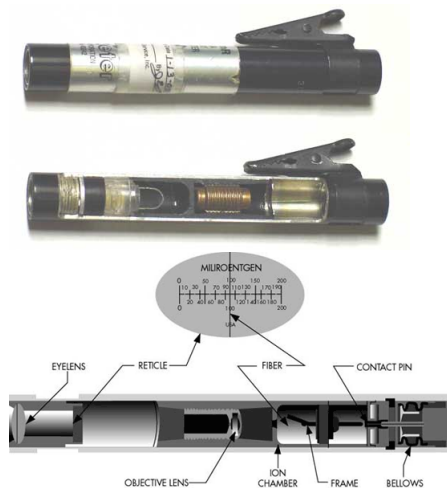


Abbildung 4.6: Pocket-Dosimeter

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

Indem das Instrument auf eine Lichtquelle gerichtet wird, kann die Position der Faser durch ein System von eingebauten Linsen beobachtet werden. Die Faser wird auf einer lichtdurchlässigen Skala betrachtet, die in Belichtungseinheiten abgestuft ist. Typische industrielle Röntgendiagnostik-Taschen-Dosimeter haben eine volle Skala von 200 Milliröntgen, aber es gibt Designs, die höhere Mengen aufzeichnen werden. Während der Schicht sollte der Dosimeterstand häufig überprüft werden. Die gemessene Exposition sollte am Ende jeder Schicht aufgezeichnet werden. Der Hauptvorteil eines Taschendosimeters besteht in seiner Fähigkeit, dem Träger eine sofortige Ablesung seiner Strahlenbelastung zu ermöglichen. Es hat auch den

Vorteil, wiederverwendbar zu sein. Die begrenzte Reichweite, die Unfähigkeit, eine dauerhafte Aufzeichnung zu liefern, und das Potenzial für Entlade- und Leseverluste aufgrund von Stürzen oder Stoßen sind einige der Hauptnachteile eines Taschendosimeters. Die Dosimeter müssen zu Beginn jeder Arbeitsschicht aufgeladen und aufgezeichnet werden. Ladungsverlust oder -drift können ebenfalls das Ablesen eines Dosimeters beeinflussen. Die Leckage sollte in einem Zeitraum von 24 Stunden nicht mehr als 2 Prozent des vollen Skalenwerts betragen.

### **Digitales elektronisches Dosimeter**

Eine andere Art von Dosimeter ist das digitale Dosimeter. Diese Dosimeter zeichnen Dosisinformation und Dosisrate auf. Diese Dosimeter verwenden meistens Geiger-Müller-Zähler. Die Ausgabe des Strahlungsdetektors wird gesammelt, und wenn eine vorbestimmte Belichtung erreicht worden ist, wird die gesammelte Ladung entladen, um einen elektronischen Zähler auszulösen. Der Zähler zeigt dann die akkumulierte Belichtung und Dosisrate in digitaler Form an. Einige digitale elektronische Dosimeter enthalten eine akustische Alarmfunktion, die bei jeder aufgenommenen Belichtungsstufe ein akustisches Signal oder einen Piepton ausgibt. Einige Modelle können auch so eingestellt werden, dass ein kontinuierliches akustisches Signal ertönt, wenn eine voreingestellte Belichtung erreicht wurde. Dieses Format hilft, die Lesefehler zu minimieren, die mit direkt lesenden Taschenionisationskammer-Dosimetern verbunden sind, und ermöglicht es dem Instrument, eine höhere maximale Auslesung zu erreichen, bevor das Rücksetzen notwendig ist.



Abbildung 4.7: Pocket-Dosimeter

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

### **Akustische Alarmgeräte-Meter und digitale elektronische Dosimeter**

Akustische Alarmer sind Geräte, die einen kurzen Piep abgeben, wenn eine vorbestimmte Belichtung empfangen wurde. Es ist erforderlich, dass diese elektronischen Geräte von Personen getragen werden, die mit Gammastrahlern arbeiten. Diese Vorrichtungen verringern die Wahrscheinlichkeit von zufälligen Aussetzungen in der industriellen Radiographie, indem sie den Radiographen auf Strahlendosen oberhalb einer voreingestellten Menge warnen. Typische Alarmratenmessgeräte beginnen in Bereichen von 450-500 mR / h zu erklingen. Es ist wichtig zu beachten, dass akustische Alarmer nicht dazu gedacht sind und nicht als Ersatz für Vermessungsmesser verwendet werden sollten.

Die meisten akustischen Alarmer verwenden einen Geiger-Müller-Detektor. Die Ausgabe des Detektors wird gesammelt, und wenn eine vorbestimmte Belichtung erreicht worden ist, wird

diese gesammelte Ladung durch einen Lautsprecher entladen. Daher wird ein hörbarer Piep abgegeben. Folglich ist die Frequenz oder die Chirp-Rate des Alarms proportional zur Strahlungsintensität. Die Chirp-Rate variiert zwischen verschiedenen Alarmen von einem Chirp pro Milliröntgen bis zu mehr als 100 Chirps pro Milliröntgen.



Abbildung 4.8: Akustische Alarmgeräte

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

## Film Badges

Personendosimetrie-Filmabzeichen werden üblicherweise verwendet, um die Strahlenbelastung aufgrund von Gammastrahlen, Röntgenstrahlen und Betateilchen zu messen und aufzuzeichnen. Der Detektor ist, wie der Name schon sagt, ein Stück strahlungsempfindlichen Film. Die Folie ist in einer lichtdichten, dampfdichten Hülle verpackt, die verhindert, dass Licht, Feuchtigkeit oder chemische Dämpfe auf den Film einwirken. Es wird ein spezieller Film verwendet, der mit zwei verschiedenen Emulsionen beschichtet ist. Eine Seite ist mit einer großkörnigen, schnellen Emulsion beschichtet, die empfindlich auf geringe Expositionen reagiert. Die andere Seite des Films ist mit einer feinkörnigen, langsamen Emulsion beschichtet, die weniger empfindlich gegenüber Belichtung ist. Wenn die Strahlenexposition dazu führt, dass die schnelle Emulsion in dem verarbeiteten Film zu einem Grad verdunkelt wird, der nicht interpretiert werden kann, wird die schnelle Emulsion entfernt und die Dosis wird unter Verwendung der langsamen Emulsion berechnet. Der Film ist in einem Filmhalter oder Abzeichen enthalten. Das Abzeichen enthält eine Reihe von Filtern, um die Qualität der Strahlung zu bestimmen. Die Strahlung einer gegebenen Energie wird in unterschiedlichem Maße durch verschiedene Arten von Absorbern abgeschwächt. Daher wird die gleiche Strahlungsmenge, die auf die Plakette auftrifft, unter jedem Filter einen unterschiedlichen Grad an Dunkelfärbung erzeugen. Durch Vergleich dieser Ergebnisse kann die Energie der Strahlung bestimmt und die Dosis berechnet werden, wobei die Filmantwort für diese Energie bekannt ist. Der Ausweishalter enthält außerdem ein offenes Fenster zur Bestimmung der Strahlenbelastung durch Betateilchen. Betateilchen werden effektiv durch eine geringe Menge an Material abgeschirmt. Die Hauptvorteile eines Filmabzeichens als Personalüberwachungsgerät sind, dass es eine dauerhafte Aufzeichnung bereitstellt, es in der Lage ist, zwischen verschiedenen Energien von Photonen zu unterscheiden, und es Dosen aufgrund verschiedener Arten von Strahlung messen kann. Es ist ziemlich genau für Belichtungen größer als 100 Millirem. Die Hauptnachteile bestehen darin, dass sie von einem



Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

## Thermoluminescent Dosimeter (TLD)



naugigkeit verbessert sich bei hohen Dosen auf etwa 3%. Die Vorteile einer TLD gegenüber anderen Personalmonitoren sind ihre Linearität der Reaktion auf die Dosis, ihre relative Energieunabhängigkeit und ihre Empfindlichkeit gegenüber niedrigen Dosen. Es ist auch wiederverwendbar, was ein Vorteil gegenüber Filmabzeichen ist. Es wird jedoch keine dauerhafte Aufzeichnung oder Wiederlesbarkeit bereitgestellt, und eine sofortige Auslesung am Arbeitsplatz ist nicht möglich.



Abbildung 4.10: TLD

Quelle: [https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)

### Wie es funktioniert

Eine TLD ist ein Phosphor, wie Lithiumfluorid (LiF) oder Calciumfluorid (CaF), in einer festen Kristallstruktur. Wenn eine TLD ionisierende Strahlung bei Umgebungstemperaturen ausgesetzt wird, wechselwirkt die Strahlung mit dem Phosphorkristall und deponiert die gesamte oder einen Teil der einfallenden Energie in diesem Material. Einige der Atome im Material, die diese Energie absorbieren, werden ionisiert und erzeugen freie Elektronen und Bereiche, denen ein oder mehrere Elektronen fehlen, Löcher genannt. Unvollkommenheiten in der Kristallgitterstruktur wirken als Stellen, an denen freie Elektronen eingeschlossen und an Ort und Stelle arretiert werden können. Durch Erhitzen des Kristalls vibriert das Kristallgitter, wodurch die eingefangenen Elektronen freigesetzt werden. Freigesetzte Elektronen kehren in den ursprünglichen Grundzustand zurück und geben die eingefangene Energie aus der Ionisation als Licht frei, daher der Name Thermolumineszenz. Freigesetztes Licht wird unter Verwendung von Photovervielfacherröhren gezählt, und die Anzahl der gezählten Photonen ist proportional zu der Strahlungsmenge, die auf den Phosphor trifft. Anstatt die optische Dichte (Schwärze) eines Films zu lesen, wie es bei Filmabzeichen der Fall ist, wird die Menge an Licht gemessen, die gegenüber dem Erwärmen der einzelnen Stücke des Thermolumineszenzmaterials freigesetzt wird. Die durch diesen Prozess erzeugte TLD-Kurve steht dann in Beziehung zur Strahlenbelastung. Der Prozess kann viele Male wiederholt werden.

## 5 Software



Abbildung 5.1: Software Logo

### 5.1 Anforderungen und Programmaufbau

#### 5.1.1 Kurze Beschreibung

- Auftraggeber und Auftragnehmer vereinbaren ein Werkstoffprüfungsprojekt. Das Prüfverfahren besteht aus verschiedenen Methoden, eine heißt Radiation-Test, die Durchstrahlungsprüfung, ein bildgebendes Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (ZFP) zur Darstellung von Materialunterschieden. Mit Röntgen- oder Gammastrahlung aus einer geeigneten Quelle (einer Röntgenröhre, einem Elektronenbeschleuniger mit Röntgentarget oder einem gammastrahlenden Radionuklid) wird die Dichte eines Bauteils auf einem Röntgenfilm abgebildet. Dort erscheint ein Projektionsbild des Bauteils. Am Grad der Schwärzung lässt sich die unterschiedliche Materialdicke oder -dichte erkennen. Je dicker oder dichter ein Bauteil, desto weniger Strahlung kann es durchdringen und desto heller erscheint die Stelle auf dem Röntgenbild.
- Der Auftragnehmer bildet ein Arbeitsteam für das Projekt.
- Das Arbeitsteam besteht wie folgt aus:
  1. Personal - Radiograph, mindestens zwei Personen
  2. Materialien
  3. Personal - Teamleiter, der gleichzeitig auch Radiograph sein kann

4. Personal health physics Safety (HPS) als Schnittstelle zwischen Atomenergie-Behörde, Radiographen und Auftragnehmer zur Koordinierung der Sicherheitsverfahren.
- Programmaufbau:
    - Model
      - \* Project
        1. Team
          - a) Materialien (Siehe 3.3.3)
          - b) Personal HPS, Radiographen und Assistance
            - i. Sicherheit (Siehe 4)
    - Server (Teil 5.2.1)
      - \* PlayFramework version 2.5.15 mit Java und Scala.
      - \* Datenkommunikation mit dem WebSocket-Protokoll.
    - Android-Client (Teil 5.2.2)
      - \* USER: Health Physics Safety(HPS)  
(Bild: 6.1)
      - \* USER: Radiographer  
(Bild: 6.2)

## 5.2 Anforderungen und die Spezifikation

1. Jedes Projekt kann aus einer Werkstoffprüfung (RT) oder mehreren Werkstoffprüfungen (RT+MT) bestehen.

**in Server package models;**

```

1
2 public enum TYPE {RT, PT, MT, UT, LT,VT;
3     @Override
4     public String toString() {
5         return "TYPE{" + super.toString();
6     }
7
8     public class Team {
9         private TYPE type;
10
11         public Team(List<Personal> personals,TYPE type) {
12             this.personals = personals;

```



```

13     this.setType(type);
14     this.setTeamReport("TEAM START REPORT");
15     this.setLocation(LOCATION.CENTRAL);
16     switch (getType()) {
17         case RT:
18             if (personals.size() < 2) {
19                 log.info("Number of persons is less than 2");
20                 setStatus(false);
21             }
22             break;
23         case MT:
24             //TODO
25             break;
26         case ET:
27             //TODO
28             break;
29         case LT:
30             //TODO
31             break;
32         case PT:
33             //TODO
34             break;
35         case UT:
36             //TODO
37             break;
38         case VT:
39             //TODO
40             break;
41     }
42 }
43
44 this.id = DATA.createId("-" + getType().name().toString());
45 this.setName(getId() + "_TEAM");
46 instanceCounter++;
47 counter = instanceCounter;
48 }
49 }

```

2. Die Durchstrahlungsprüfung kann mit einem Elektronenbeschleuniger mit Röntgentarget X-Ray oder einem gammastrahlenden Radionuklid durchgeführt werden.

```

1 public enum ISOTOPETYPE {
2     IRIDIUM_192, SELENIUM_75, COBALT_60, YTTERBIUM_169, CAESIUM_137,
3     X_Ray100KV, X_Ray200KV, X_Ray220KV, X_Ray120KV, LINAC_8MeV, OTHER;
4     @Override
5     public String toString() {
6         return "ISOTOPETYPE{" + super.toString();
7     }
8 }

```

3. Jedes Prüfungsverfahren in einem Projekt sollte alle nötigen Materialien zur Verfügung haben.

```

1 public class MATERIAL {
2     private String name;
3     private String model;
4     private TYPE type;
5     private String SerialNumber;
6     private ServerLog log = new ServerLog();
7     private boolean isStatus;
8     public MATERIAL(String name, TYPE type) {
9         setName(name);
10        setModel(DATA.creatId("-" + name));
11        setSerialNumber(DATA.generateUniqueId());
12        setType(type);
13        log.info("NEW OBJECT CREATED,NAME: " + getClass() + "");
14
15    }
16 }
17 }

```

4. Die Strahlung des Bunkers muss gemessen werden und im System eingegeben werden.

```

1 public class SafetyActivity extends Activity {
2     private List<Item> items;
3
4     @Override
5     protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
6         super.onCreate(savedInstanceState);
7         setContentView(R.layout.activity_items);
8         items = new ArrayList<>();
9         items.add(new Item("Inside bunker INFO max 7.5 muSv/h"));
10        items.add(new Item("Outside bunker INFO max 2.5 muSv/h"));
11    }
12 }

```

5. Aktuelle Position (Standort) der RT-Kamera sollte der/ dem Verantwortlichen für HPS mitgeteilt werden.

```

1 public enum LOCATION {
2     CENTRAL, PROJECT, ATOMENERGIE_INSTITUT, ONTHEWAY;
3     @Override
4     public String toString() {
5         return "LOCATION{" + super.toString();
6     }
7 }

```

6. Grenze der Gammastrahlung des RT-Bunkers, wo die RT-Kamera gelagert wird, muss nach dem Standard berechnet werden.

```

1 public class SafetyActivity extends Activity {
2     private List<Item> items;
3
4     @Override
5     protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
6         super.onCreate(savedInstanceState);
7         setContentView(R.layout.activity_items);
8         items = new ArrayList<>();
9         items.add(new Item("On camera max 2 mSv/h"));
10        items.add(new Item("1m distance from camera max 20 muSv/h"));
11    }
12 }

```

7. Falls die Sicherheitsmaßnahmen verletzt wurden, sollte sofort die/der HPS-Verantwortliche informiert werden und zusätzliche Sicherheitsmaterialien gelistet sein.

```

1 public class AlarmActivity extends Activity {
2
3     @Override
4     protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
5         super.onCreate(savedInstanceState);
6         setContentView(R.layout.activity_items);
7         //Create model list
8         items = new ArrayList<>();
9         final String EMERGENCY_MESSAGE =
10             "1 : Remote Handling tongs " + "\n" +
11             "2: Shielded container" + "\n" +
12             "3: Hand tools -> wrench,pliers,croppers" + "\n" +
13             "4: Fist aid kit" + "\n" +
14             "5: Radiation warning labels & signs" + "\n" +
15             "6: Barriers/ropes" + "\n" +
16             "7: call HPS";
17
18
19         items.add(new Item("ALARM", "RADIATION EMERGENCY MESSAGE",
20             EMERGENCY_MESSAGE));
21         items.add(new Item("ALARM", "RADIATION EMERGENCY MESSAGE"));
22         //send Alarm Message to HPS
23         client.getWebSocket().send(ToJson.sendObjectWithRoot("ALARM FROM",personal).toString());
24     }
25 }

```

8. Die Warnungsmaßnahmen werden automatisch aktiv, indem die/der HPS-Verantwortliche Warnungsnachrichten erhält.

```

1 //send Alarm Message to HPS
2 client .getWebSocket().send(ToJson.sendObjectWithRoot("ALARM FROM",personal).toString());

```

9. Nach Beendigung der Warnungsmaßnahme wird der/die HPS-Verantwortliche detailliert über die Hintergründe und Ursachen der Verletzung der Sicherheit in Kenntnis gesetzt.

```

1 //Report
2 public class ReportActivity extends AppCompatActivity implements DatePickerDialog.
   OnDateSetListener, View.OnClickListener {
3 }

```

10. Desweiteren erhält der/die HPS-Verantwortliche die aktuellen Daten zur Strahlenbelastung nach dem Ende der Warnungsmaßnahme.

```

1 //Report
2 public class ReportActivity extends AppCompatActivity implements DatePickerDialog.
   OnDateSetListener, View.OnClickListener {
3 }

```

11. Anhand der Eigenschaft der RT-Kamera sowie deren maximalen Kapazität sollte das richtige Isotop darauf geladen werden; bei falschem Isotop sollte die RT-Kamera nicht aktiviert und die/der HPS-Verantwortliche informiert werden.

```

1 public class RT_Camera extends Observable {
2     private ArrayList<ISOTOPETYPE> isotopetypes;
3
4     /**
5      * @param model of RT Camera and here will be check capacity safety!
6      */
7     private void setDevice_Source_Maximum_Capacity(MODEL model, Isotope isotope) {
8         switch (model) {
9             case SIGMA_880:
10                 this.isotopetypes.add(ISOTOPETYPE.SELЕНИUM_75);
11                 this.isotopetypes.add(ISOTOPETYPE.IRIDIUM_192);
12                 this.isotopetypes.add(ISOTOPETYPE.COBAIT_60);
13                 this.isotopetypes.add(ISOTOPETYPE.YTTERBIUM_169);
14                 this.isotopetypes.add(ISOTOPETYPE.CAESIUM_137);
15                 if (isotope.getIsotopetype().equals(ISOTOPETYPE.SELЕНИUM_75) && isotope
16                     .getActivity() <= 150) {
17                     this.setCapacityPermission(true);
18                     this.setIsotopes(isotope);
19                 }
20             //130Ci 4.81TBq

```

```

20         if (isotope.getIsotopetype().equals(ISOTOPETYPE.IRIDIUM_192) && isotope.
getActivity() <= 130) {
21             this.setCapacityPermission(true);
22             this.setIsotopes(isotope);
23         }
24         // 0.025 Ci = 25mCi
25         if (isotope.getIsotopetype().equals(ISOTOPETYPE.COBBALT_60) && isotope.
getActivity() <= 0.025) {
26             this.setCapacityPermission(true);
27             this.setIsotopes(isotope);
28         }
29
30         if (isotope.getIsotopetype().equals(ISOTOPETYPE.YTTERBIUM_169) &&
isotope.getActivity() <= 20) {
31             this.setCapacityPermission(true);
32             this.setIsotopes(isotope);
33         }
34
35         //0.38 Ci = 380mCi
36         if (isotope.getIsotopetype().equals(ISOTOPETYPE.CAESIUM_137) && isotope
.getActivity() <= 0.38) {
37             this.setCapacityPermission(true);
38             this.setIsotopes(isotope);
39         }
40         break;
41         case OMEGA_880:
42             .....
43     }
44 }
45 }

```

12. Eine passive RT-Kamera darf nicht für ein Projekt zur Verfügung stehen.

```

1 public class RT_Camera extends Observable {
2     private boolean capacityPermission;
3     private boolean isotopeTypePermission;
4 }

```

13. Das Projekt muss mit allen jeweiligen Voraussetzungen vorbereitet werden, sodass man täglich genaue Informationen über das Projekt erhält und alle Projekte mit zugehörigen Teilen bekannt bleiben bis das Projekt beendet ist.

```

1 //-----Project-----
2 public class Project {
3     private List<Team> teams = new LinkedList<>();
4     //-----
5     for (Team t:teams){
6         t.getTeamReport();
7     }

```

```

8 }
9 //----- Team-----
10 public class Team {
11     private String teamReport;
12 }

```

14. In das System sollten die Sicherheitsmaßnahmen sowie Sicherheitsdistanzen für Mitarbeiter eingegeben und dokumentiert werden. Area1, Area2 und Area3.

```

1 public class SafetyActivity extends Activity {
2     private List<Item> items;
3
4     @Override
5     protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
6         super.onCreate(savedInstanceState);
7         setContentView(R.layout.activity_items);
8         items = new ArrayList<>();
9         //----- Area-----
10        items.add(new Item("forbidden_area Forbidden area (Aktivity >= 2 mSv/h)"));
11        items.add(new Item("control_area Control area(2 mmuSv/h >Aktivity>25 muSv/h)"));
12        items.add(new Item("free_area Free area (25 muSv/h > Aktivität)"));
13
14    }
15    //----- Safety Warning Message-----
16    if (isWarning) {
17        client.getWebSocket().send(ToJson.message(
18            "Safety Warning", personal.getId(), warning).toString());
19        isWarning = false;
20        setReceiveMessage(client.getReceiveMessage());
21    }
22 }
23 }

```

15. Das Prüfobjekt sollte als Parameter im System eingegeben werden.

```

1 public class TimeActivity extends Activity implements View.OnClickListener {
2     private void updateThickness() {
3         if (getThickness() < 5) {
4             setThickness(5);
5             text_view_Ft_warning.setText("Thickness=5");
6             Toast.makeText(TimeActivity.this, getResources().getString(R.string.value_is_false,
7                 text_view_Ft_warning.getText()), Toast.LENGTH_LONG).show();
8             text_view_Ft_warning.setText("5mm<= t >=74mm");
9         }
10    }
11 }
12
13 //-----TestObject Array-----
14 <string name="material">MATERIAL</string>

```

```

15 <string name="material_prompt">Choose a Material</string>
16 <string-array name="material_arrays">
17     <item>Iron</item>
18     <item>Steel</item>
19     <item>Lead</item>
20     ....
21     ....
22     ....
23 </string-array>

```

16. Das Programm sollte für die Verbesserung des Tests die Zeit des Gammastrahlen-Shootings und die Distanz des Isotops "Strahlungsquelle" zum Prüfobjekt berechnen.

```

1 public class TimeActivity extends Activity implements View.OnClickListener {
2
3     //-----radiation Time-----
4     /**
5      * @param ff Film Factor
6      * @param t Thickness
7      * @param sfd Distance of Film from Source
8      * @param A Source Activity
9      * @return real radiation time
10     */
11     public double radiationTime(double ff, double t, double sfd, double A) {
12         double res = 0;
13         t = metal_Thickness_Factor((int) t);
14         res = ff * t * Math.pow(sfd, 2) / A * Math.pow(100, 2);
15         realTime = res;
16         return res;
17     }
18
19 }

```

17. Falls das Prüfobjekt Rohrrundnähte hat, wird auch die Distanz zum Film berechnet.

```

1 public class TimeActivity extends Activity implements View.OnClickListener {
2
3     //-----radiation Real Time-----
4     /**
5      * @param film_factor
6      * @param half_value_layer
7      * @param distance_film_from_source
8      * @param gamma_Factor_RHM
9      * @param sourceActivity
10     * @return realTime
11     */
12     public double radiationRealTime(double film_factor, int half_value_layer, double
13         distance_film_from_source, double gamma_Factor_RHM, double sourceActivity) {
14         double res = 0;
15         res = ((film_factor * Math.pow(2, 1 / half_value_layer) * Math.pow(

```

```

14     distance_film_from_source, 2) * 60) / (gamma_Factor_RHM * sourceActivity * Math.pow
15     (100, 2)));
16     time = res;
17     return res;
18 }

```

18. Das Programm sollte so realisiert werden, dass die Kommunikation zwischen Zentralniederlassung, HPS und Radiograph erleichtert wird.

### Kommunikation zwischen Radiographer and HPS

- Server: (5.2.1)
  - Client: (5.2.2)
    - Android-Client Health Physics Safety (HPS)
    - Android-Client Radiograph
19. Der/Die HPS sollte die aktuellen Informationen über den Radiographen nach Auswertung von dessen TLD und Film Badge Dosimeter im System dokumentieren.

```

1 public class Personal {
2     private TLD tld;
3     private FilmBadge filmBadge;
4     private GeigerAlarm geiger;
5     private PocketDosimeter dosimeter;
6 }
7 public abstract class DOSIMETER {
8     private String serialNumber;
9     private boolean calibration;
10    private String calibrationDate;
11    private String calibrationExpire;
12    private LOCATION location;
13    private boolean status;
14    private String calibrationMessage;
15    private String value;
16 }
17 public class TLD extends DOSIMETER {}
18 public class FilmBadge extends DOSIMETER {}
19 public class Radiometer extends DOSIMETER {}
20 public class PocketDosimeter extends DOSIMETER {}

```

20. Die Kalibration eines Messgerätes sollte nicht abgelaufen sein.

```

1 public abstract class DOSIMETER {
2     private boolean calibration;
3     private String calibrationMessage;

```



```

4  /**
5  * check calibration expert
6  * @return boolean
7  */
8  public boolean isCalibration() {
9      boolean result = getCalibrationExpire() == DATA.getDate();
10     if (result) {
11         this.setCalibrationMessage("CALIBRATION EXPERT");
12     }
13     return calibration ;
14 }
15 }

```

21. Zwei Wochen vor Ablaufdatum der Kalibration sollte der/die HPS-Verantwortliche informiert werden, an welchem Standort sich das Gerät befindet.

```

1  public abstract class DOSIMETER {
2      private boolean calibration;
3      private String calibrationMessage;
4      /**
5       * send message to HPS for Calibration
6       * in two weeks, the calibration will expire
7       */
8      public void calibrationMessage() {
9
10         if (getCalibrationExpire() == DATA.addNewDayToDate(-14)) {
11             this.setCalibrationMessage("IN TWO WEEKS, THE CALIBRATION WILL BE
12             EXPIRED.");
13         }
14     }
15 }

```

22. Teammitglieder arbeiten nach dem Rotationsprinzip. Das bedeutet, nach einer aktiven Phase geht einer der Mitarbeiter in eine passive Phase, dafür übernimmt ein anderer Mitarbeiter den aktiven Part bis zum nächsten Wechsel.
23. Ein Team besteht aus mindestens zwei Personen, die durch spezielle Schulungen zertifiziert worden sind.
24. Im Team kann auch eine weitere Person als Assistent fungieren, die nicht unbedingt geschult worden ist. Jedoch muss diese Person mit allen Sicherheitsmaßnahmen und entsprechenden Materialien zum Schutz vertraut sein.

### 5.2.1 SBT-Server

Server besteht aus den folgenden Teilen:

- PlayFramework version 2.5.15 mit Java und Scala.  
<https://www.playframework.com>

- Datenkommunikation mit dem WebSocket-Protokoll:  
<https://tools.ietf.org/html/rfc6455>

## Datenkommunikation

Das WebSocket-Protokoll ist ein auf TCP basierendes Netzwerkprotokoll, das entworfen wurde, um eine bidirektionale Verbindung zwischen einer Webanwendung und einem WebSocket-Server bzw. einem Webserver, der auch WebSockets unterstützt, herzustellen.

## Inhaltsverzeichnis

### 1. Vorteile gegenüber reinem HTTP:

Während bei einer reinen HTTP-Verbindung jede Aktion des Servers eine vorhergehende Anfrage des Clients erfordert, reicht es beim WebSocket-Protokoll, wenn der Client die Verbindung öffnet. Der Server kann dann diese offene Verbindung aktiv verwenden und kann neue Informationen an den Client ausliefern, ohne auf eine neue Verbindung des Clients zu warten.

Eine vom Server initiierte Übertragung ist bei einer reinen HTTP-Verbindung nur durch verzögertes Antworten auf eine vom Client initiierte Anfrage möglich (long polling).

Zudem entfallen bei WebSockets die durch den HTTP-Header verursachten zusätzlichen Daten, die bei jeder Anfrage einige Hundert Bytes umfassen können.

Technisch betrachtet startet bei WebSocket, wie bei HTTP, der Client eine Anfrage, mit dem Unterschied, dass nach der Übertragung der Daten zum Verbindungsaufbau die zugrundeliegende TCP-Verbindung bestehen bleibt und Übertragungen in beide Richtungen ermöglicht.

### 2. Der WebSocket-Protokoll-Handshake:

Zu Beginn jeder Verbindung führen Server und Client einen sogenannten Handshake durch. Dieser ähnelt dem HTTP-Header und ist vollständig abwärtskompatibel zu diesem, was die Nutzung des Standard-HTTP-Ports „80“ zugleich für normale HTTP-Kommunikation als auch für die Websocket-Nutzung ermöglicht. Der Handshake beinhaltet außerdem weitere Informationen (z. B. die verwendete Protokollversion).

#### a) Anfrage des Clients:

Die Anfragen landen in Class Interface.java, deren Methode **OnRecive(Object message)**.

```

1
2  @Override
3  public void onReceive(Object message) {

```

```

4      if (message instanceof String) {
5          this.setJsonFactory(this.getMapper().getFactory());
6          JsonFactory factory = mapper.getFactory();
7          try {
8              System.out.println(" Receive Message in OnReceive Server : " +
message);
9              parser = factory.createParser((String) message);
10             this.setParser(jsonFactory.createParser((String) message));
11             this.setJsonNode(this.getMapper().readTree(this.getParser()));
12             if (this.getJsonNode() != null) {
13                 this.messageActor(this.getJsonNode());
14             } else {
15                 this.getLog().info("You have null jsonNode");
16             }
17         } catch (IOException e) {
18             e.printStackTrace();
19         }
20
21     } else {
22
23         System.out.println("Type of your jsonNode is not valid or not Json");
24
25     }
26
27 }
28

```

Hier werden die Nachrichten mit JsonKey in der Methode:  
**messageActor(JsonNode json)** weiter orientiert.

```

1
2
3 package actors.serverInterface ;
4
5 public class Interface extends UntypedActor {
6     * jsonNode Actors management for messages
7     *from Client and answer back to client
8     * @param json
9     */
10    private synchronized void messageActor(JsonNode json)
11        throws JsonProcessingException {
12
13        String jsonKey = json.fields().next().getKey();
14
15
16        //-----Message Type -----
17
18
19        switch (jsonKey) {
20            case "Hello":

```

```

21         this.out. tell (TOJSON.replayMessage("Hey Client , im Server ")
22             .toString() + "\n", self ());
23         this.output(TOJSON.replayMessage("Hey Client , im Server"));
24         break;
25         case "Start":
26             this.out. tell (TOJSON.message("Start", "OK")
27                 .toString() + "\n", self ());
28             this.output(TOJSON.message("Start", "OK"));
29             break;
30
31
32         case "PERSONAL":
33             this.personal = Json.fromJson(json.get("PERSONAL"), Personal.class);
34             lobby.addPersonalInLobby
35                 (this.personal);
36             break;
37
38     }
39 }
40 }

```

- b) Antwort des Servers:  
Die Anfragen werden in **Interface.Props**

```

1
2     public static Props props(ActorRef out, Lobby lobby) {
3         return Props.create((Class<?>) Interface.class, out, lobby);
4     }

```

und in **app.controllers.SocketController**

```

1
2     package controllers ;
3
4     public class SocketController extends Controller {
5         Lobby lobby=new Lobby();
6
7         public LegacyWebSocket<String> getSocket() {
8             return WebSocket.withActor
9                 (out -> Interface.props(out, lobby));
10        }
11
12    }

```

landen. Hier werden die Nachrichten mit der Methode:

**LegacyWebSocket<String> getSocket()** zum Client gesendet.

**Hinweis:** routes path : GET /getsocket controllers.SocketController.getSocket()

- Nachrichtenaustausch mit Jackson:

In Java verwendet Play die Jackson JSON-Bibliothek, um Objekte in und aus JSON zu konvertieren. Die Aktionen von Play arbeitet mit dem `JsonNode`-Typ und das Framework stellt Hilfsmethoden für die Konvertierung in der `play.libs.Json`-API bereit.

### 5.2.2 Android-Client

- Datenkommunikation mit dem WebSocket-Protokoll und Json/Gson Nachrichten.
  - WebSocket für die Kommunikation mit Server.  
[Beispiel: Websocket on Android](#)
  - Json: Externe Inhalte in Nachrichten.  
[Beispiel: Json on Android](#)
  - Gson: Interne Inhalte in Nachrichten.  
[Beispiel: Gson on Android](#)

#### Datenkommunikation

```

1  /**
2     * Structure of the Client and WebSocketListener */
3
4
5  package com.androidjson.firebaseiocom.connection;
6
7  /**
8     * Structure of Client */
9  public class Client {
10     private EchoWebSocketListener listener;
11     private static WebSocket webSocket;
12     private OkHttpClient client;
13
14     public Client() {
15         this.setOkHttpClient(new OkHttpClient());
16         setWebSocketListener(new EchoWebSocketListener(this));
17         start();
18         gson = new Gson();
19     }
20
21     /**
22     * Structure of the Websocket
23     *
24     * 1) Request
25     *   1.1) 192.168.178.50 is SBT-Server IP
26     *   1.2) 9000 SBT-Server Port
27     *   1.3) getsocket is in SBT-Server fix
28     *
29     * 2) OkHttpClient
30     *
31     * 3) WebSocketListener

```

```

30      *
31      * 4) WebSocket(okHttpClient.newWebSocket(request, websocketListener))
32      */
33      public void start() {
34          request = new Request.Builder().url("ws://192.168.178.50:9000/getsocket").build();
35          if (request != null && websocketListener != null) {
36              setWebSocket(okHttpClient.newWebSocket(request, websocketListener));
37          } else {
38              log.e(TAG, "Maybe server is not running");
39              okHttpClient.dispatcher().executorService().shutdown();
40          }
41      }
42  }
43
44      /**
45      * @return websocket for send Message to Server
46      */
47      public synchronized static WebSocket getWebSocket() {
48          return websocket;
49      }
50  }
51
52  }
53
54
55
56
57      /**
58      * Structure of WebSocketListener */
59
60      final class EchoWebSocketListener extends WebSocketListener {
61
62          private Client c;
63
64          public EchoWebSocketListener(Client c) {
65              this.c = c;
66          }
67          @Override
68          public void onOpen(WebSocket websocket, Response response) {
69              websocket.send(ToJson.helloServer().toString() + "\n");
70          }
71          //-----Incoming Message-----
72          @Override
73          public void onMessage(WebSocket websocket, String message) {
74
75              if (message instanceof String) {
76                  this.messageConvector(message);
77              }
78          }
79
80          @Override
81          public void onClosing(WebSocket websocket, int code,

```

```

82 String reason) {
83     websocket.close(NORMAL_CLOSURE_STATUS, null);
84     websocket.close(NORMAL_CLOSURE_STATUS, "Goodbye !");
85 }
86 public void setReplayMsg(String replayMsg) {
87     this.setReplayMsg(replayMsg);
88 }
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99 //----- convert Receive Message-----
100 private void messageConvector(String message) {
101     ObjectMapper mapper = new ObjectMapper();
102     JsonFactory factory = mapper.getJsonFactory();
103     JsonParser jp = null;
104     try {
105         jp = factory.createJsonParser(message);
106         JsonNode jsonNode = mapper.readTree(jp);
107         messageActor(jsonNode);
108     } catch (IOException e) {
109         e.printStackTrace();
110     }
111 }
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126 //-----Receive Json Message-----
127 private synchronized void messageActor(JsonNode json) throws IOException {
128
129     ObjectMapper mapper = new ObjectMapper();
130     String jsonKey = json.fields().next().getKey();
131     //-----Message Type -----
132     switch (jsonKey) {
133     case "Replay message":

```

```

134         c.getWebSocket().send(ToJson.message("Start","I want to start")
135         .toString() + "\n");
136     break;
137     case "Start":
138         c.getWebSocket().send(ToJson.message("Client", "Thanks")
139         .toString() + "\n");
140         c.getWebSocket().send(ToJson.message("PERSONALLIST",
141         "I NEED PERSONAL LIST").toString() + "\n");
142     break;
143     }
144 }
145 }

```

- Authentifizieren mit Google-Anmeldung auf Android mit Firebase.

```

1 public class MainActivity extends AppCompatActivity implements DatePickerDialog.
    OnDateSetListener, View.OnClickListener, GoogleApiClient.ConnectionCallbacks,
    GoogleApiClient.OnConnectionFailedListener {
2     private ImageView user_pic,
3     // Firebase Auth Object.
4     public FirebaseAuth firebaseAuth;
5     private FirebaseAuth.AuthStateListener mAuthListener;
6     // Google API Client object.
7     public GoogleApiClient googleApiClient;
8     // Sing out and next buttons
9     private Button signOut_btn;
10    // Google Sign In button .
11    private com.google.android.gms.common.SignInButton signInButton;
12    @Override
13    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
14        super.onCreate(savedInstanceState);
15        setContentView(R.layout.activity_main);
16        // Getting Firebase Auth Instance into firebaseAuth object.
17        firebaseAuth = FirebaseAuth.getInstance();
18        // Creating and Configuring Google Sign In object.
19        GoogleSignInOptions googleSignInOptions = new GoogleSignInOptions.Builder(
        GoogleSignInOptions.DEFAULT_SIGN_IN)
20            .requestIdToken(getString(R.string.default_web_client_id))
21            .requestEmail()
22            .requestScopes(new Scope("profile"))
23            .build();
24
25        / Creating and Configuring Google Api Client.
26        googleApiClient = new GoogleApiClient.Builder(MainActivity.this)
27            .enableAutoManage(MainActivity.this, new GoogleApiClient.OnConnectionFailedListener()
28            {
29                @Override
30                public void onConnectionFailed(@NonNull ConnectionResult connectionResult) {
31                }
32            } /* OnConnectionFailedListener */)

```



```

32         .addApi(Auth.GOOGLE_SIGN_IN_API, googleSignInOptions)
33         .build();
34     }
35     @Override
36     protected void onActivityResult(int requestCode, int resultCode, Intent data) {
37
38         super.onActivityResult(requestCode, resultCode, data);
39
40         if (requestCode == RequestSignInCode) {
41
42             GoogleSignInResult googleSignInResult = Auth.GoogleSignInApi.
43             getSignInResultFromIntent(data);
44
45             if (googleSignInResult.isSuccess()) {
46
47                 GoogleSignInAccount googleSignInAccount = googleSignInResult.getSignInAccount
48                 ();
49
50                 FirebaseAuth(firebaseAuth).signInWithCredential(authCredential);
51
52             }
53         }
54     }
55 }
56 //-----
57 public void FirebaseAuth(GoogleSignInAccount googleSignInAccount) {
58     AuthCredential authCredential = GoogleAuthProvider.getCredential(googleSignInAccount.
59     getIdToken(), null);
60     Toast.makeText(MainActivity.this, "login with: " + authCredential.getProvider(), Toast.
61     LENGTH_LONG).show();
62     firebaseAuth.signInWithCredential(authCredential)
63     .addOnCompleteListener(MainActivity.this, new OnCompleteListener<AuthResult>() {
64         @Override
65         public void onComplete(@NonNull Task<AuthResult> AuthResultTask) {
66             if (AuthResultTask.isSuccessful()) {
67                 // Getting Current Login user details.
68                 FirebaseUser firebaseUser = firebaseAuth.getCurrentUser();
69                 String email = firebaseUser.getEmail().toString();
70                 setEmail(email);
71                 String name = firebaseUser.getDisplayName();
72                 setFirstName(parsingName(name)[0].toString());
73                 setLastName(parsingName(name)[1].toUpperCase());
74                 pic= firebaseUser.getPhotoUrl().toString();
75                 uri=firebaseUser.getPhotoUrl();
76                 Picasso.with(getApplicationContext()).load(pic).into(user_pic);
77                 client .getWebSocket().send(ToJson.message("USER_EMAIL", email).toString()+"\n");
78
79                 userChecker(client);
80                 // Showing Log out button.
81                 signOut_btn.setVisibility(View.VISIBLE);

```

```

80         // Hiding Login in button.
81         signInButton.setVisibility(View.GONE);
82         // Showing the TextView.
83         LoginUserEmail.setVisibility(View.VISIBLE);
84         LoginUserName.setVisibility(View.VISIBLE);
85
86         // Setting up name into TextView.
87         LoginUserName.setText("Name: " + firebaseUser.getDisplayName().toString());
88         // Setting up Email into TextView.
89         LoginUserEmail.setText("E-Mail: " + firebaseUser.getEmail().toString());
90
91
92         Toast.makeText(MainActivity.this, "Welcome " + getFirstName() + " " + getLastName() + " to NDT
           Software", Toast.LENGTH_SHORT).show();
93     } else {
94         Toast.makeText(MainActivity.this, "Something Went Wrong", Toast.LENGTH_LONG).
           show();
95     }
96 }
97 });
98
99 }
100 }

```

### [Tutorial: Authenticate with Firebase](#)

#### [Beispiel: Login and Registration Authentication](#)

- Android-Client Health Physics Safety (HPS)
  - HPS verwendet ein Google-Benutzerkonto, um sich bei dem System anzumelden. (Bild: 6.1)
  - Projekt-Auswahl:
    - \* Eine Liste von Projekten
  - Teams-Auswahl:
    - \* Eine Liste von Teams.
    - \* Mit dem letzten Item kann der User ein neues Team erzeugen.
 

Dafür müssen erst zwei Personen ausgewählt werden, damit die Material-Activity erscheint.

Hier können die Materialien für das Team erzeugt werden. Danach kann User mit dem letzten Item das Team erzeugen.
  - Personal-Auswahl:
    - \* Eine Liste von Personen, die sich einmal im System registriert haben.
  - Messages-Auswahl:
    - \* Eine Liste von Nachrichten, die von Radiographen gesendet worden sind.
  - Material-Auswahl:

- \* Eine Liste von Materialien, die User erzeugen kann.
- Alarm-Auswahl:
  - \* Hier kann HPS die Alarm-Funktion für Haupt-HPS einschalten.
- Android-Client Radiographer
  - Radiographer verwendet ein Google-Benutzerkonto, um sich bei dem System anzumelden.  
( Bild: 6.2)
  - Safety-Auswahl:
    - \* Eine Liste von den Sicherheitsmaßnahmen, die dokumentiert werden müssen.
  - Report-Auswahl:
    - \* Hier kann der Radiographer die verwendeten Filme dokumentieren und zum HPS senden.
  - Time-Auswahl:
    - \* Für die Verbesserung des Tests wird die Zeit des Gammastrahlen-Shootings und die Distanz des Isotops “Strahlungsquelle“zum Prüfobjekt berechnet.
  - Material-Auswahl:
    - \* Der Radiographer kann die nötigen Materialien nochmal anfordern.
  - Alarm-Auswahl:
    - \* Hier kann der Radiographer den HPS alarmieren.

## **6 Android Bilder**

### **6.1 Android Bilder**

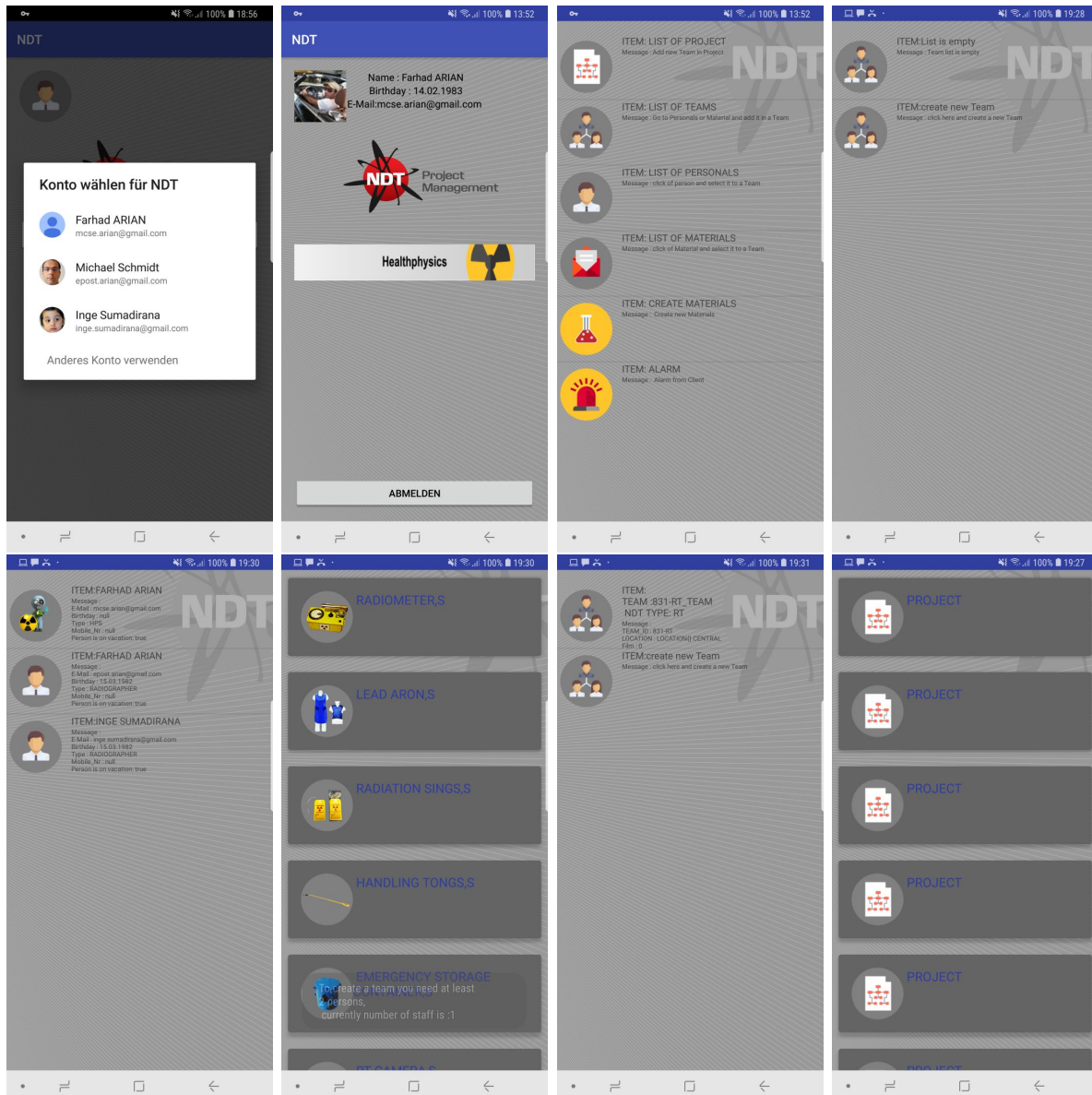


Abbildung 6.1: Android-Client HPS

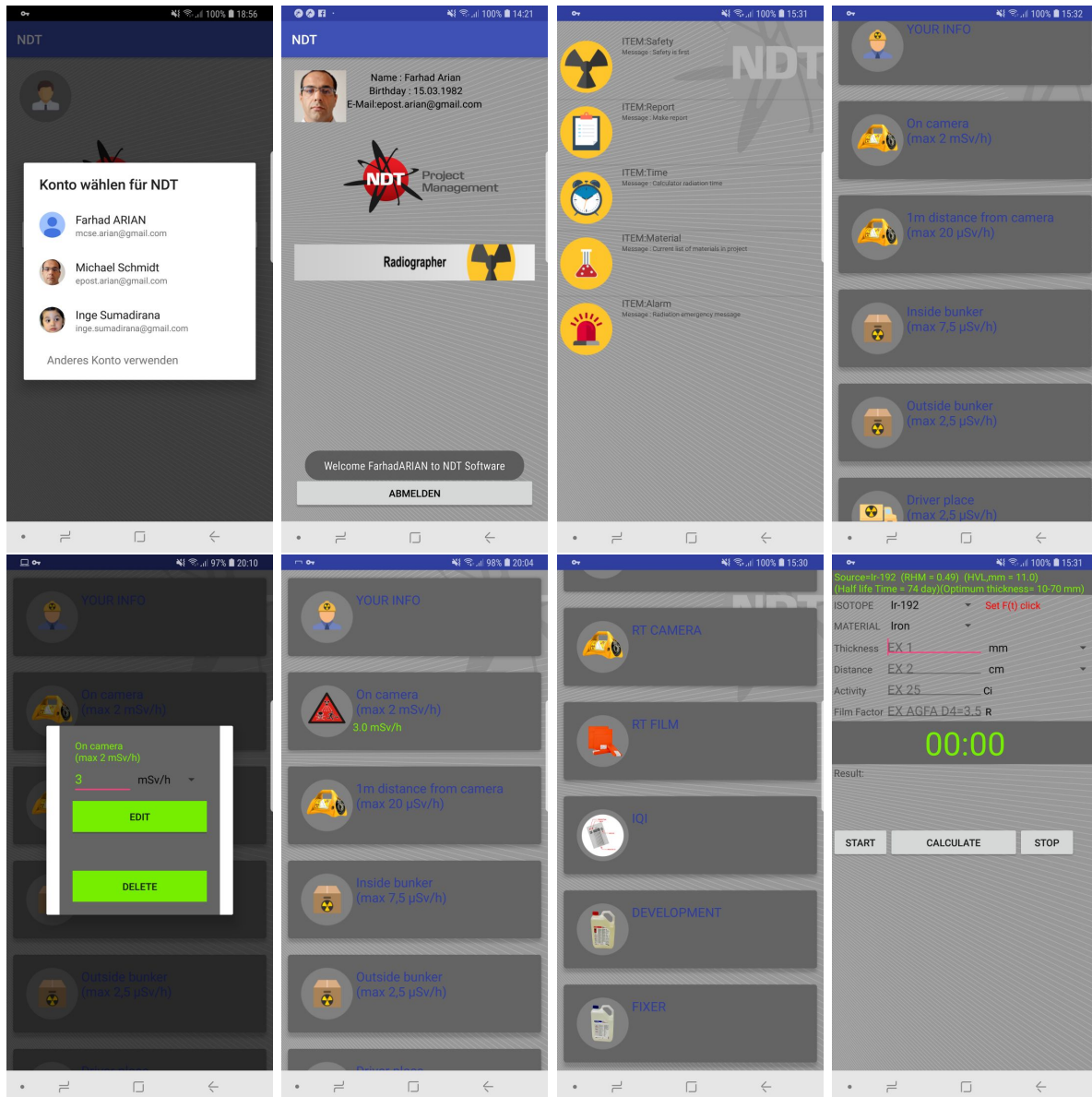


Abbildung 6.2: Android-Client Radiographer

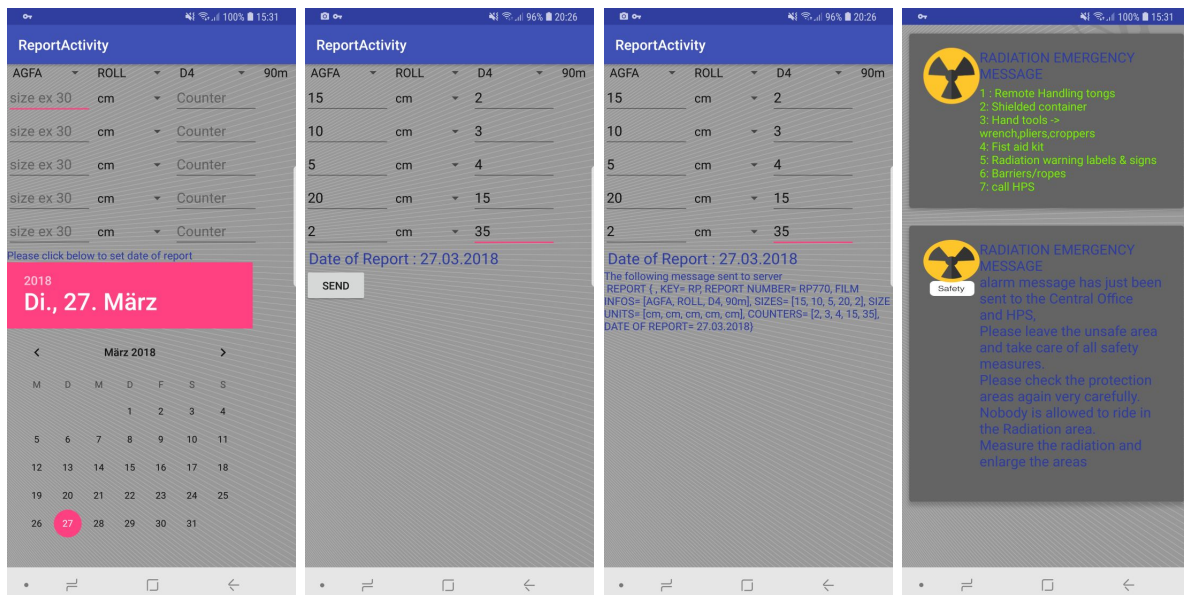


Abbildung 6.3: Android-Client Radiographer

# **7 UML Graphen**

## **7.0.1 Model**



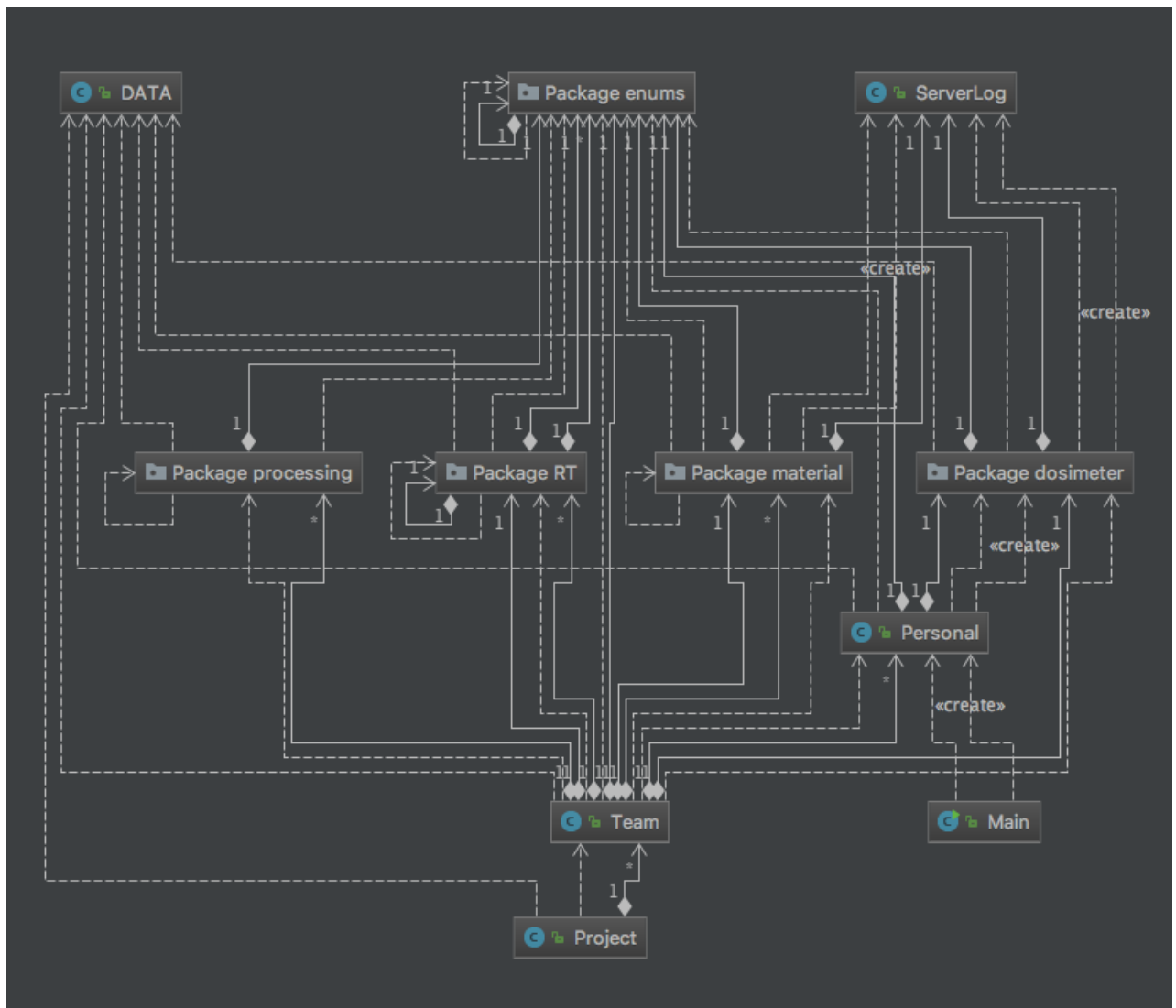


Abbildung 7.1: Model

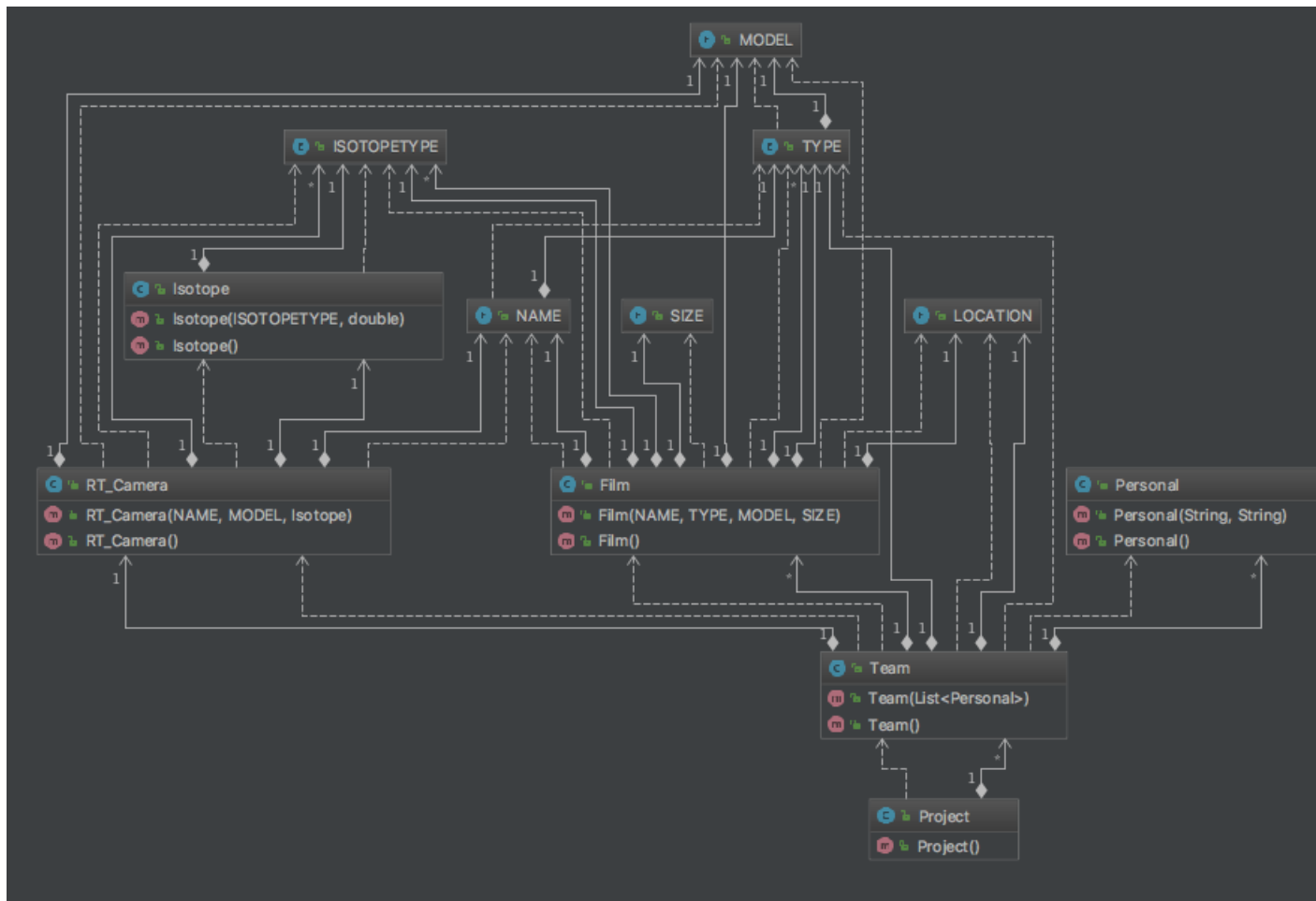


Abbildung 7.2: Server Model

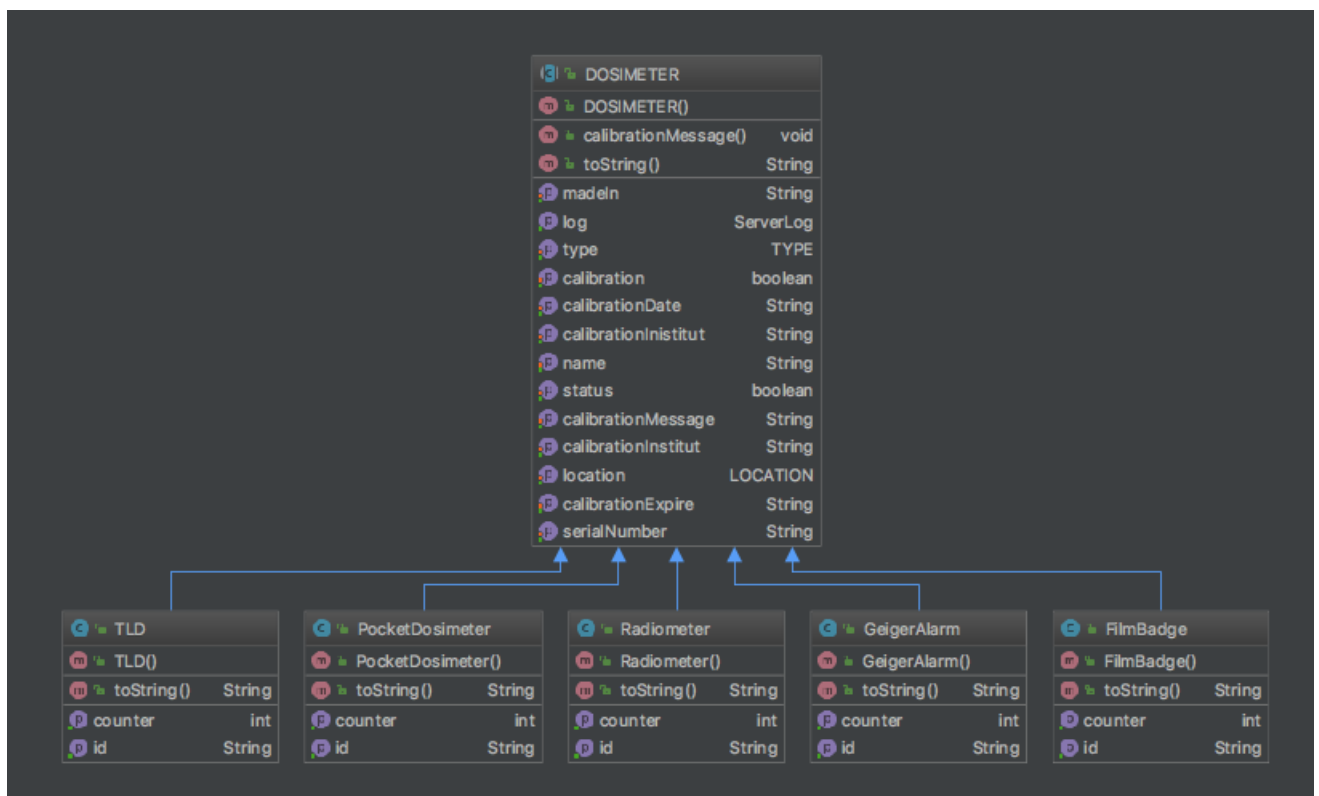


Abbildung 7.3: dosimeter

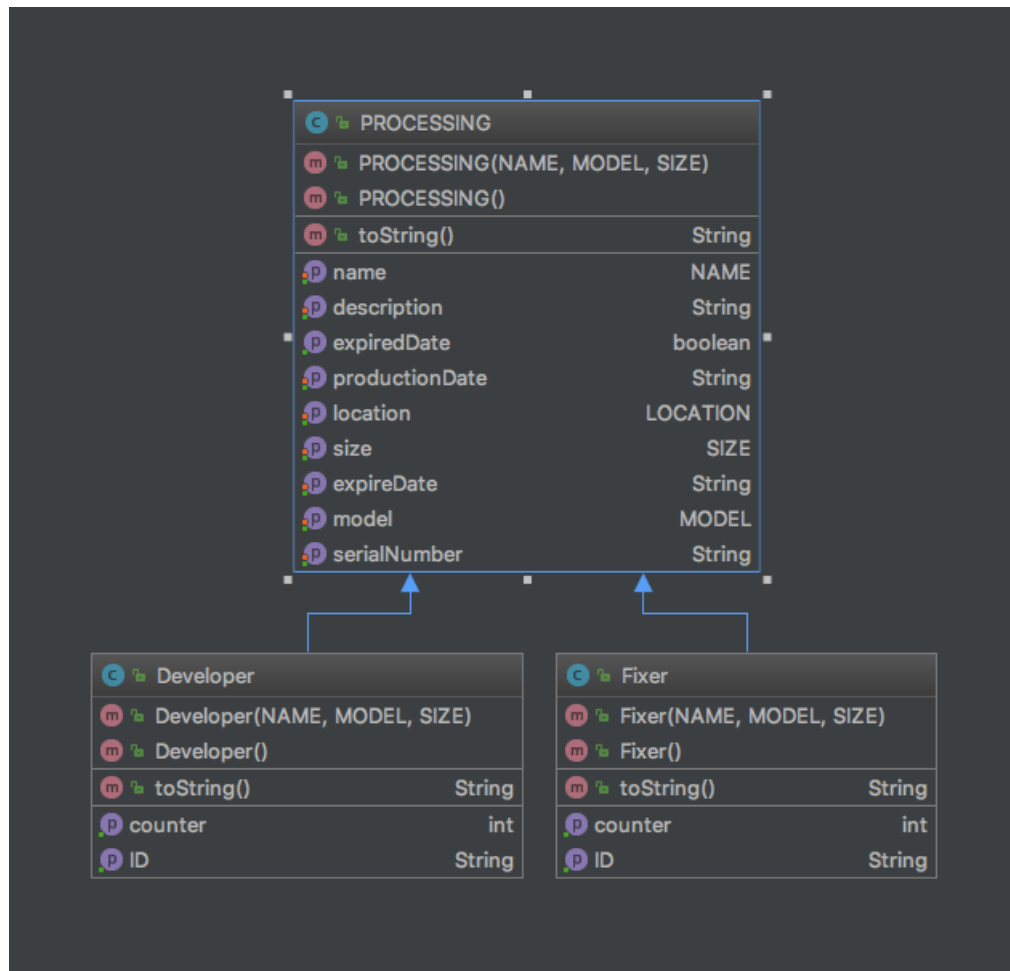


Abbildung 7.4: Processing

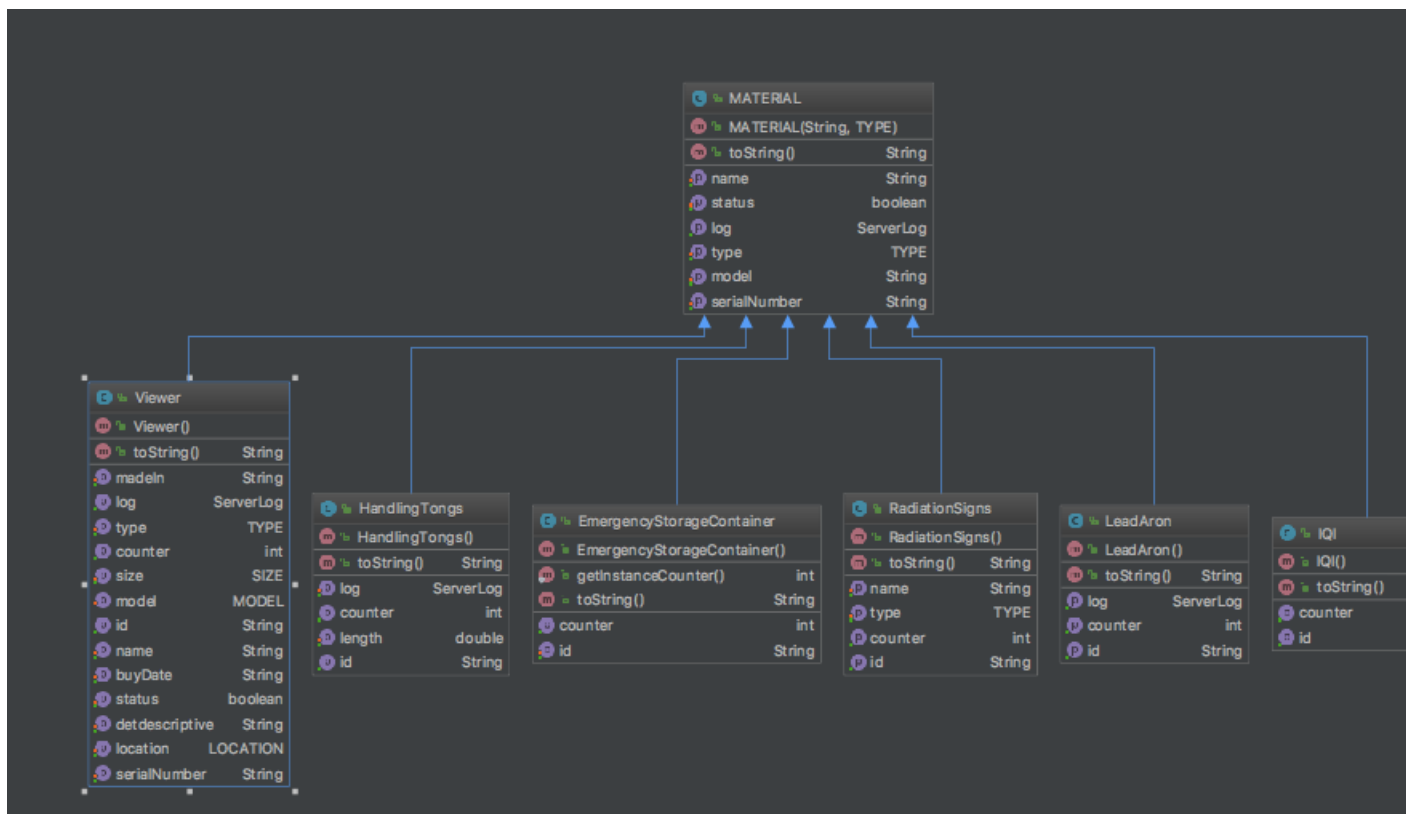


Abbildung 7.5: Materials

# 8 Diskussion

## 8.1 Zusammenfassung

Radioaktive Strahlung führt zu Strahlenschäden in den Körperzellen. Es gibt zwei Arten von Schäden: Frühschäden und Spätschäden. Die Frühschäden treten nur bei hohen Dosen auf, dann aber schnell je nach Dosis innerhalb von Stunden bis Tagen. Spätschäden können hingegen noch Jahrzehnte nach einer weniger starken Strahlenbelastung auftreten. Das Krankheitsbild ist in beiden Fällen unterschiedlich und hängt von der Art der Strahlenbelastung, dem Gesundheitszustand des Patienten, seiner Anfälligkeit für Strahlung, seiner genetischen Disposition für Krebs und eventuellen Gegenmaßnahmen ab. Die Strahlenbelastung wird in Sievert (Sv) gemessen. Diese Einheit gibt die biologische Wirksamkeit radioaktiver Strahlung an. Sie ermittelt sich aus der Art, Stärke und Dauer der Strahlung sowie dem betroffenen Gewebe.

Frühschäden	
Strahlendosis	Auswirkungen und Symptome
1 bis 5 Milli-Sievert (mSv) pro Jahr	Durchschnittliche jährliche radioaktive Belastung.
ab 100 mSv (0,1 Sv)	Leicht erhöhtes Krebsrisiko nachweisbar.
0,5 bis 1 Sv	Kopfschmerzen, Übelkeit, Abgeschlagenheit und erhöhtes Infektionsrisiko.
1 bis 2 Sv	ab 1 Sv: Akute Strahlenkrankheit: 10% Todesfälle nach 30 Tagen, mittlere Übelkeit, Erbrechen, verzögerte Wundheilung, Ermüdung, Verlust von weißen Blutkörperchen, stark gestiegenes Infektionsrisiko.
2 bis 3 Sv	35% Todesfälle nach 30 Tagen: schwere Übelkeit, häufiges Erbrechen, massiver Verlust von weißen Blutkörperchen.
3 bis 4 Sv	50% Todesfälle nach 30 Tagen: zusätzliche Symptome Durchfall, unkontrollierte Blutungen im Mund, unter der Haut und in den Nieren.
4 bis 6 Sv	Bis zu 90% Todesfälle nach 30 Tagen: Symptome wie oben, aber verstärkt. Todesursache nach wenigen Wochen durch Infektionen und Blutungen.
über 6 Sv	100% Todesfälle nach 14 Tagen: Sterbephase mit schnellem Zelltod.

Verschiedene gemeinnützige Unternehmen sowie Atomenergie-Behörden versuchen, den ne-

gativen Auswirkungen der Strahlung der Radioaktivität zu begegnen. Zur Verbesserung der Sicherheit werden Bildung, Schulung und Technologie benötigt. Doch in der heutigen Industrie verringert sich die Zahl der Radiographen, die die Sicherheitsmaßnahmen in Kauf nehmen, wodurch Strahlenschäden entstehen. Auch geringe Dosen an Radioaktivität führen zu Schäden in Zellen. Die körpereigenen Reparaturmechanismen können mit diesen allerdings gut umgehen. Solange keine wesentlich höheren Dosen als die natürliche Strahlenbelastung auftreten, besteht keine nachweisbare Gesundheitsgefährdung. Zwar gibt es nach heutigem wissenschaftlichen Kenntnisstand keine untere Grenze, ab der Radioaktivität gänzlich ungefährlich ist. Um die Strahlenschäden vermeiden zu können, ist es notwendig, dass die Sicherheitsinformationen rechtzeitig und täglich dokumentiert und an den Verantwortlichen für health physics Safety (HPS) mitgeteilt werden. Dies erfolgt häufig nicht rechtzeitig in der Praxis. Aufgrund der Entfernung der radioaktiven Projekte werden oft falsche oder verzögerte Informationen an den health physics Safety (HPS) gesendet. Aufgrund der Erleichterung der Dokumentation und auch des besseren Managements wurde die Software vor allem zur Erhöhung der Sicherheit entwickelt. Weil jeder mindestens ein Android-basiertes Handy besitzt, das Software erst für Android-Betriebssysteme programmiert. Die erste Version der Software bietet viel an, sodass neben der Sicherheit und des besseren Managements weitere Funktionen wie Timing, Report, Sicherheitsdokumentation ermöglicht werden. Eine ähnliche Software habe ich nicht gefunden, jedoch gibt es welche, die nur eine bestimmte Funktion anbieten können. In der von mir erstellten Software werden die verschiedenen für den Strahlenschutz relevanten Funktionen vereint. Diese Software kann aber auch auf andere Typen-Bereiche in der Werkstoffprüfung wie MT, UT etc. angepasst werden. Als Bachelorarbeit lege ich nun die erste Version der Software vor. In der Anwendung im realen Arbeitsprozess wird diese Version erweitert und verbessert werden.

## 8.2 Quellen

- The American Safety For Nondestructive Testing (2018).  
Verfügbar unter: <https://www.asnt.org/Home>
- Werkstoffprüfung (2018).  
Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Werkstoffprüfung>
- Strahlenschutzbereich (2018)  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Strahlenschutzbereich> <http://www.bfs.de/bfs/glossar.html> [14.02.2012]
- Radiographic Testing (2018). Verfügbar unter:  
<https://inspectioneering.com/tag/radiography> [18.02.2018]
- Strahlenschutzbereich(2017).  
Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Strahlenschutzbereich>

- Bundesamt für Strahlenschutz. (2012) Glossar. Verfügbar unter:  
<https://web.archive.org/web/20120502144722>
- Ghiassi-Nejad, M., Katouzi, M. (2004).  
Hefazat dar barbarez aschae (Schutz gegen radioaktive Strahlung). 2. Band. 8. Auflage.  
Teheran: Iranische Nationalbibliothek.
- NDT Resource Center. Verfügbar unter:  
[https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)
- Atommüll.  
Verfügbar unter: <https://scilogs.spektrum.de/atommuell-debatte>