Quantitative Untersuchung der Streubeiträge in Hochenergie-Röntgencomputertomografie

Carina Stritt, Philipp Schuetz, Mathieu Plamondon, Alexander Flisch, Jürgen Hofmann und Urs Sennhauser, Dübendorf, Schweiz

Informationen zum Beitrag

Korrespondenzadresse

Carina Stritt
Empa Reliability Science and
Technology Laboratory
Empa, Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf, Switzerland
E-Mail: Carina.Stritt@empa.ch

Alexander Flisch
Empa Center for X-ray Analytics
Empa, Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf, Switzerland
E-Mail: Alexander.Flisch@empa.ch

Schlüsselwörter

Computertomografie, Hochenergieanwendung, Streustrahlung, Monte-Carlo-Simulation; computed tomography, high-energy application, scattered radiation, Monte Carlo simulation

Computertomografie (CT) ist eine bewährte Methode in den Bereichen Fehleranalyse und Qualitätskontrolle. Die Energie der hierbei benutzten Röntgenstrahlung bestimmt die Eindringtiefe der Strahlung und schränkt damit die Grösse und das Material des zu untersuchenden Objektes ein. Für grosse, dichte und schwere Objekte sind Photonenenergien von mehr als einem Megaelektronenvolt (MeV) nötig, um nutzbare Transmissionswerte zu erreichen. Ein wichtiger Faktor für die Qualität hochenergetischer Röntgentomografien ist der Anteil der Streustrahlung auf den CT-Bildern. Röntgenstrahlung kann sowohl im zu untersuchenden Objekt, als auch vom Messinstrument und -umfeld streuen und führt zu einem verfälschten Transmissionsbild. Neben Streueffekten kommt für MeV-Photonen zusätzlich der physikalische Prozess der Paarbildung ins Spiel. Die Auswirkung der einzelnen Streuprozesse auf das Transmissionsbild soll hier untersucht werden. Dafür wird mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen der Einfluss der verschiedenen Streubeiträge untersucht. Im Gegensatz zu früheren Studien, wird hier nicht nur ein Satz von einfachen geometrischen Objekten aus unterschiedlichen Materialien untersucht, sondern es werden auch vereinfachte Modelle der Komponenten eines CT-Scanners benutzt, um den Beitrag der Streuung verschiedener Systemkomponenten abzuschätzen.

Röntgencomputertomografie (CT) ist eine beliebte Methode im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung. Sie ist in der Fehleranalyse oder Metrologie als bildgebendes Verfahren weit verbreitet [1]. Das Ergebnis und die Qualität einer computertomographischen Messung hängen dabei von vielen verschiedenen Faktoren ab. Nebst Messparametern wie Integrationszeit und der Grösse des gewählten Winkelschrittes, beeinflussen vor allem gestreute Röntgenstrahlen die Qualität der Messung. Dabei stammt die Streustrahlung nicht nur aus dem zu messenden Objekt selbst, sondern kann vor allem auch in den Komponenten der CT-Anlage entstehen. Insbesondere für CT-Anlagen, welche im Bereich einiger hundert keV betrieben werden, hat sich der Einfluss der Streustrahlung als einer der Hauptfaktoren herausgestellt, welche Auswirkungen auf die Qualität einer CT-

Messung haben [2, 3]. Für die Untersuchung von Objekten, welche eine besonders hohe Röntgenabsorption aufweisen, werden aufgrund des Signals-zu-Rausch-Verhältnisses allerdings noch höhere Energien im Bereich mehrerer MeV benötigt. Bei diesen Energien beeinflussen vor allem Photo-Absorption, Compton-Streuung, Rayleigh-Streuung und die Paarbildung die Ausbreitung der Röntgenstrahlung. Das heisst für die verlässliche Untersuchung grosser Objekte aus stark absorbierenden Materialien, wie zum Beispiel Stahlgussteilen oder Turbinenschaufeln aus Nickel-Basis-Legierungen, muss der Einfluss der Streustrahlung auf das Transmissionsbild verstanden und vermindert werden.

Um die Beiträge der Streustrahlung auf das Transmissionsbild quantifizieren zu können, wird hier das Monte-Carlo-Simulationspaket GEANT4 verwendet [4]. Es er-

laubt die Simulation der Propagation der Röntgenstrahlung, sowie die gezielte Untersuchung der Einflüsse der verschiedenen physikalischen Prozesse. Darüber hinaus kann der Einfluss der Komponenten der CT-Anlage auf die Streubeiträge im Detektor untersucht werden. Auf diese Art und Weise kann kostengünstig ein grosser Parameterbereich zur Optimierung einer CT-Anlage abgetastet werden.

Methoden

Simulationspaket. Die Monte-Carlo-Simulationen wurden mit dem Simulationspaket GEANT4 (Version 4.9.6) durchgeführt. Als Datenbank der Wirkungsquerschnitte für die physikalischen Prozesse wurde die niederenergetische Erweiterung des Penelope-Datensatzes verwendet. Simuliert wurden Photonen, Elektronen und Positronen. Die

Photonen werden während der Propagation durch die Materie durch die physikalischen Prozesse der Rayleigh-Streuung, des Compton-Effektes, des photoelektrischen Effektes und der Paarproduktion beeinflusst. Die Elektronen interagieren durch die Prozesse der Ionisation, Bremsstrahlung und Mehrfachstreuung. Positronen können darüber hinaus an einer Paarvernichtung, auch Anihilation genannt, teilhaben. Alle Komponenten des Systems wurden aus geometrischen Primitiven geformt, welchen die jeweiligen Materialien und Materialeigenschaften zugewiesen wurden.

Insbesondere wurde in den Simulationen Wert darauf gelegt, die wesentlichen Streuzentren in der CT-Anlage zu finden und ihren Einfluss auf die Streubeiträge in der Radiographie zu quantifizieren. Darüber hinaus erlauben Simulationen die Überprüfung eines großen Parameterbereichs in Bezug auf Form und Größe der Kollimatoren und Objekte. Ziel ist es eine optimale Konfiguration für die Aufnahmegeometrie zu finden.

Simulationsmodell. Abbildung 1 zeigt eine Skizze des Simulationsaufbaus. Das Simulationsmodell besteht im Kern aus dem Flachbilddetektor mit einer 60 mm dicken Blei-Abschirmung. Verschiedene periphere Komponenten des Systems, sowie eine Wand im Hintergrund werden in die Simulation mit einbezogen, um ihre Auswirkung auf die Streustrahlung zu ermitteln. Als periphere Komponenten wurden in diesem Fall ein Manipulator, eine vereinfachte Repräsentation der Detektorhalterung, sowie zwei Säulen eines weiteren CT-Detektors im Hintergrund modelliert. Die Wand besteht aus Beton und wurde, da das System zu den Seiten offen gestaltet ist, nur im hinteren Bereich der CT-Anlage berücksichtigt. Zu guter Letzt können verschiedene Objekte auf dem Manipulator platziert werden. Hier wurden Boxen verschiedener Größen, sowie ein Stufenzylinder aus Stahl verwendet. Die Distanz zwischen Quelle und Wand bleibt bei 6600 mm fixiert, während die Distanz zwischen Quelle und Detektor sowie die Distanz zwischen Objekt und Detektor verändert werden können. Es wird eine Röntgenquelle mit Kegelstrahl und einem Austrittswinkel von 5° simuliert. Das Röntgenspektrum des 6 MeV Linearbeschleunigers wird in einer separaten Simulation bestimmt und in diesen Simulationen als Eingabe verwendet. Der Brennfleck der Röntgenquelle wird als Kreisfläche mit einem Durchmesser von 2 mm festgelegt.

Simulation und Analyse. Pro Konfiguration wurden 10 Durchläufe mit jeweils 10^7

Photonentrajektorien und unterschiedlichen seeds (Anfangswerten) für den Zufallsgenerator simuliert. Zur Berechnung der Fehlerwerte der gemessenen Größen wurde die Standardabweichung der 10 unabhängigen Ergebnisse ermittelt. Während der Propagation der Teilchen durch die Simulation werden jeweils diejenigen physikalischen Interaktionen aufgezeichnet, an denen sie teilhaben. Darüber hinaus wurde

ein Prinzip der Vererbung implementiert, welches Sekundärteilchen die Information über die Prozesse ihrer Elternteilchen übermittelt. Schließlich wird registriert, in welchen Komponenten des Systems die Prozesse stattgefunden haben. Dieser Vorgang wird, mit Ausnahme des Szintillators, in der ganzen Simulation durchgeführt. Prozesse, die im Szintillator stattfinden, werden nicht ausgewertet. Der Detektor

Abbildung 1: Das Simulationsmodell besteht aus dem Flachbilddetektor mit einer 60 mm dicken Blei-Abschirmung; verschiedene periphere Komponenten des Systems sowie eine Wand im Hintergrund werden in die Simulation mit einbezogen, um ihre Auswirkung auf die Streustrahlung zu ermitteln

Figure 1: The model of simulation consists of a flat-panel detector with a lead shielding of a thickness of 60 mm; different peripheral components of the system as well as a wall in the background were incorporated into the simulations in order to measure their impact on scattered radiation

Abbildung 2: Verteilung der Streustrahlung im Detektor hervorgerufen durch die verschiedenen Komponenten des Systems

Figure 2: Distribution of scattered radiation at the flat-panel detector caused by the various system components

Abbildung 3: Graustufenprofile gemittelt über 10 Pixel durch die Mitte des Stufenzylinders mit Objektstreuung und der Streuung der Abschirmung

Figure 3: Gray scale profile averaged over the range of 10 pixel on a line through the middle of the step cylinder; object scattering as well as the scattering caused by shielding and peripheral equipment are shown

besteht aus einem Aluminiumgehäuse mit 0.75 mm dickem Eintrittsfenster und einer 0.208 mm dicken Gadox-Schicht als Szintillator. Das Signal im Detektor entsteht durch Energiedepositionen der Teilchen in der Szintillationsschicht.

Ergebnisse

Streustrahlungszusammensetzung des nicht-optimierten Detektoraufbaus. Unsere Simulationen zeigen, dass im Fall eines Stufenzylinders $16.5 \pm 0.6\%$ der gesamten im Detektor deponierten Energie durch Photonen erzeugt wird, welche bereits ein oder mehr Streuprozesse durchlaufen haben (siehe Tabelle 2). Der Hauptanteil der Streuergebnisse wird dabei durch das Eintrittsfenster des De-

tektors hervorgerufen. Da dieser Anteil der Streuergebnisse nur zu einer leichten Verbreiterung des Signals führt, kann er durch die Integration des Eintrittsfensters in die Punktwort des Detektors mit der Detektionsgeometrie entfaltet werden.

Weitere Systemkomponenten, welche einen Einfluss auf die Streustrahlung im Detektor haben, sind die Abschirmung, das Messobjekt, das Detektor-Gehäuse und die Wand hinter dem Detektor. Diese vier Komponenten liefern unterschiedliche Beiträge in Bezug auf die Verteilung im Flachbild-detektor. Während die vom Objekt ausgehende Streustrahlung vor allem von Durchmesser und Form des Objektes beeinflusst wird, sind die Signale der Streustrahlung von Wand und Gehäuse eher isotrop und

können als Offset behandelt werden, wie es in Abbildung 2 visualisiert wurde. Die Abschirmung spielt, gegeben durch ihre Form, vor allem am Rand des Detektors eine Rolle. Untersucht man daher ein Objekt, wie hier abgebildet, welches in der Radiographie nicht bis an den Rand des Detektors heranreicht, spielt die Streustrahlung, welche von der Abschirmung verursacht wird, nur eine nebensächliche Rolle.

Die unterschiedlichen Anteile der Streustrahlung der Komponenten kann vor allem auch im Profil beobachtet werden. Abbildung 3 zeigt exemplarisch ein Profil des Röntgenbildes mit der Objektstreuung und der Streuung der Abschirmung. Es ist deutlich zu sehen, dass sich die Objektstreuung vor allem am Rand des Objektes abzeichnet, während die Streuung der Abschirmung vom Rand aus abfallend ausfällt.

Abgesehen von der Untersuchung der Anteile, welche die Systemkomponenten an der Streustrahlung haben, ist es insbesondere interessant, die physikalischen Effekte sämtlicher Teilchen zu analysieren, welche den Detektor erreichen. Hier ist es vor allem von Interesse, den Einfluss der Paarproduktion und Annihilation auf das Röntgenbild zu quantifizieren. Da diese Effekte erst ab einer Energie von über 1.022 MeV vorkommen, wurde dieser Effekt für Anlagen mit niedrigerer Energie nicht berücksichtigt. Abbildung 4 zeigt, dass unter den Streuprozessen die inkohärente Compton-Streuung dominiert und formgebend ist, ganz im Gegensatz zu den anderen physikalischen Prozessen Rayleigh-Streuung und Paarproduktion (siehe Tabelle 1).

Vergleicht man den Anteil der gestreuten Prozesse erster Ordnung und der Mehrfachstreuung (siehe Abbildung 5), sieht man, dass sich die Mehrfachstreuung zwar weniger dominant als die Einfachstreuung auf das Ergebnis auswirkt, sie jedoch immerhin einen Anteil von etwa 38 % an der gesamten gestreuten Strahlung ausmacht.

Variation der Distanzen im System. In einem ersten Optimierungsversuch wird die Distanz zwischen Quelle und Detektor verändert. In Abbildung 6 fällt zuerst auf, dass die deponierte Energie durch gestreute Photonen mit verringernder Distanz zwischen Quelle und Detektor abnimmt. Außerdem ist zu sehen, dass sich vor allem der Anteil der total gestreuten Strahlung der Abschirmung verändert. Dies liegt vor allem daran, dass mit der geringeren Distanz ein geringerer Anteil der Abschirmung vom Primärstrahl getroffen wird. Dieser Effekt ist in Abbildung 7 illustriert. Darüber hinaus landet auch weniger

Streustrahlung total $16.49 \pm 0.57\%$	Compton	Rayleigh	Photoel. Absorption	Paarbildung und Annihilation
Prozent in Bezug auf Signal	11.9 %	0.2 %	3.9 %	0.5 %
Prozent in Bezug auf das reine Streusignal	72.1 %	1.2 %	23.5 %	3.1 %

Tabelle 1: Prozentualer Vergleich der Gesamtanteile der physikalischen Prozesse an der Streustrahlung

Table 1: Comparison of the contribution of the physical processes on scattered radiation

	Primärstrahlung	Einfach gestreute Photonen	Mehrfach gestreute Photonen
Prozent in Bezug auf Signal	83 %	10.4 %	6.6 %
Prozent in Bezug auf das reine Streusignal	-	61.2 %	38.8 %

Tabelle 2: Prozentualer Vergleich von Einfach- und Mehrfachstreuung

Table 2: Comparison of single and multiple scattered radiation

Abbildung 4: Anteile der verschiedenen physikalischen Prozesse an der Streustrahlung

Figure 4: Impact of the various physical processes on the scattered radiation

Streustrahlung aus dem Objekt in der Abschirmung. Allerdings schlägt sich dieser Effekt nicht merkbar positiv im Gesamtanteil der Objektstreuung nieder. Dies rührt vor allem daher, dass die Position des Objektes fix gehalten wurde und daher mit abnehmender Distanz das Objekt näher an den Detektor rückt. Das heißt, dass ein größerer Teil der Streustrahlung des Objektes direkt in den Detektor gelangt. Der Anteil der Streustrahlung ausgehend von Gehäuse und Peripherie ändert sich mit der Veränderung der Distanz zwischen Quelle und Detektor ebenfalls nicht merklich. Dies unterstützt die Annahme, dass diese Komponenten als konstanter Offset zur Streustrahlung beitragen und von verschiedenen Aufnahmegeometrien nicht signifikant verändert werden. Das heißt, in diesem Fall ist hauptsächlich der Anteil der Abschirmung an der Streustrahlung optimiert worden. Denselben Effekt kann man durch eine genauere Kollimation an der Quelle erreichen. Insgesamt führt eine Änderung der Distanz um 150 mm in diesem Fall zu einer Verringerung der total deponierten Energie der Streustrahlung um 13,5 %.

Ein zweites Optimierungsverfahren konzentriert sich nun vor allem auf die Objektstreuung. Dazu wird das Objekt zuerst in einer geringen Distanz von 100 mm vor dem Detektor platziert. Dann wird die Distanz zwischen Objekt und Detektor vergrößert und die Auswirkung auf die im Detektor deponierte Energie der Objektstreuung beobachtet. Die Distanz zwischen Quelle und Detektor wird währenddessen konstant gehalten. In Abbildung 8 ist zu sehen, dass zuerst keine große Veränderung der gesamt deponierten Energie der Objektstreuung erkennbar ist. Erst ab einer Distanzänderung von über 700 mm, also einer Gesamtdistanz zwischen Detektor und Objekt von 800 mm, nimmt die aufgenommene Objektstreuung deutlich ab. Das liegt vor allem daran, dass die Compton-Streuung in diesem Energiebereich sehr nach vorne gerichtet ausfällt. Bei einer Distanz von über einem Meter zwischen Detektor und Objekt lässt sich eine Reduktion der total deponierten Energie durch Streustrahlung um 37 % feststellen. Allerdings erlauben die Größe des Objektes und auch die Größe des Detektors oftmals keine Distanzen zwischen Objekt und Detektor dieser Größenordnung.

Schlussfolgerung

Mit dem MC-Simulationsprogram GEANT4 wurde die Auswirkung der Streuung in einer CT-Anlage mit MeV-Röntgenquelle und

Abbildung 5: Vergleich von Einfach- und Mehrfachstreuung

Figure 5: Comparison of single and multiple scattered radiation

Abbildung 6: Einfluss der Variation der Distanz zwischen Quelle und Detektor auf die Streustrahlung

Figure 6: Impact of the variation of the distance between source and detector on scattered radiation

Abbildung 7: Skizze der Abstandsänderung zwischen Quelle und Detektor

Figure 7: Sketch of the change in distance between source and detector

Abbildung 8: Einfluss der Variation der Distanz zwischen Objekt und Detektor auf die Streustrahlung

Figure 8: Impact of the variation of the distance between object and detector on scattered radiation

einem Flachbilddetektor untersucht. Vor allem wurde Wert darauf gelegt, die Systemkomponenten und ihre Auswirkung auf die durch Streustrahlung deponierte Energie im Detektor zu untersuchen. Es wurde gezeigt, dass sich die verschiedenen Komponenten des Systems auf ganz unterschiedliche Weise im Streusignal zeigen. Eine optimale Wahl der Distanzen zwischen Detektor, Objekt und Quelle kann zu einer Reduktion der Streustrahlung von bis zu 37 % führen. Darüber hinaus wurde der Einfluss der verschiedenen physikalischen Prozesse quantifiziert und der Anteil an Einfachstreuungsprozessen an der Streustrahlung untersucht. Obwohl die Einfachstreuung den Hauptanteil an der Streustrahlung ausmacht, ist doch der Anteil der Mehrfachstreuung mit etwa 38 % signifikant genug, sodass einfache analytische Modelle der Streustrahlung diese nicht mehr adäquat modellieren können. Unter den physikalischen Prozessen ist, wie bereits aus den Wirkungsquerschnitten vorauszusehen war, der Effekt der Compton-Streuung der dominante Anteil. Der neu hinzugekommene Effekt der Paarproduktion macht mit einem Anteil von 3,1 % am Streusignal einen vernachlässigbaren Anteil der Streustrahlung aus.

Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des Projektes "X-ray 3D Computed Tomography with Mega Electronvolt Source" (CTOMES). Die Autoren danken dem Schweizerischen Nationalfond (SNF) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung.

Referenzen

- 1 M. Bartscher, U. Hilpert, J. Goebbels, G. Weidmann: Enhancement and proof of accuracy of industrial computed tomography (CT) measurements, *CIRP Annals, Manufacturing Technology* 56 (2007), pp. 495-498
DOI:10.1016/j.cirp.2007.05.118
- 2 A. Miceli, R. Thierry, A. Flisch, U. Sennhauser, F. Casali, M. Simon: Monte Carlo simulations of a high-resolution X-ray CT system for industrial applications, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 583 (2007), pp. 313-323
DOI:10.1016/j.nima.2007.09.012
- 3 P. Schuetz, A. Miceli, I. Jerjen, A. Flisch, J. Hofmann, R. Broennimann, U. Sennhauser: Reducing environmental scattering in industrial computed tomography by system redesign, *NDT & E International* 58 (2013), pp. 36-42
DOI:10.1016/j.ndteint.2013.04.005
- 4 Geant4: A toolkit for the simulation of the passage of particles through matter, Geant4 Collaboration, <http://geant4.cern.ch>, October 2013

Bibliografie

DOI 10.3139/120.110824
Materials Testing
58 (2016) 2, page 122-126
© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 0025-5300

Die Autoren dieses Beitrags

Carina Stritt studierte Physik an der ETH Zürich. Im Jahr 2013 schloss sie ihren Studiengang in Form eines Joint-Masters der École Polytechnique Paris und der ETH Zürich mit Spezialisierung Hochenergiephysik ab. Im Herbst 2013 begann sie ihr Doktorat an der Empa im Bereich Hochenergie-Röntgencomputertomografie im Rahmen des SNF Projektes CTOMES (X-ray 3D Computed Tomography with Mega Electronvolt Source).

Philipp Schütz studierte Physik an der ETH Zürich und promovierte in Theoretischer Biophysik an der Universität Zürich. In seiner Tätigkeit an der Empa entwickelte er neue Messverfahren und Auswertalgorithmen für die zerstörungsfreie Prüfung und Zuverlässigkeitsanalyse von Industrieprodukten. 2014 wechselte Philipp Schütz an die Hochschule Luzern, Schweiz, als Dozent für Physik.

Mathieu Flamondon promovierte im Jahr 2008 am Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (Paris) im Bereich Hochenergiephysik. Auf einen Postdoc am LHC am CERN folgte eine zweite Postdoc-Position im Bereich der biomedizinischen Bildverarbeitung und Dosisberechnung. Im Frühjahr 2013 kam er zur Empa, wo er insbesondere an der Entwicklung neuer Algorithmen zur Artefakt-Reduktion im Bereich der hochauflösenden, sowie der Hochenergie-Computertomografie arbeitet.

Alexander Flisch studierte Maschinenbau an der Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz, und diplomierte im Jahr 1981. Er war Berechnungsingenieur und Auftragsleiter für thermische Kraftwerke bei der Firma Sulzer AG in Winterthur, Schweiz. Seit 1991 arbeitet Herr Flisch an der Empa als Prüflingenieur für zerstörungsfreie Materialprüfung und Projektleiter für internationale und nationale Forschungsprojekte im Bereich Röntgenverfahren. Seit 1997 ist er Vorsitzender der Fachkommission Durchstrahlungsprüfung der Schweizerischen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung SGZP.

Jürgen Hofmann studierte an der Universität Karlsruhe, Deutschland, Physik mit Schwerpunkt Festkörperphysik. Nach einem Nachdiploma-Studium in Informatik an der HTL in Muttenz bei Basel, arbeitete er 4 Jahre als Softwareingenieur für geographische Informationssysteme (Leica Geosystems AG, Unterentfelden). Es folgten 2 Jahre als Softwareingenieur bei Siemens AG Schweiz (Softwareentwicklung Netzwerkmanagementsysteme und Datenbanken). Seit 2000 arbeitet er an der Empa als Senior Computing Engineer mit Fokus auf CT-Rekonstruktion/Algorithmen und Monte Carlo Simulationen.

Urs Sennhauser studierte Physik an der ETH Zürich und promovierte in Hochenergiephysik. Als Postdoc war er am Los Alamos National Laboratory, USA, und als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Schweizerischen Institut für Nuklearforschung sowie am CERN tätig. Seit 1989 leitet er die Abteilung Reliability Science and Technology und das Zentrum für Zuverlässigkeit der Empa. Seit 1997 unterrichtet er zudem an der ETH Zürich Zuverlässigkeit und Physik der Ausfälle elektronischer Systeme.

Abstract

Quantitative assessment of scattering contributions in high energy cone-beam computed tomography. X-ray computed tomography (CT) is an established method in the fields of failure analysis and quality control. The energy of the X-ray beam determines the penetration length of the radiation and hereby limits the size and the density of the object that is investigated. For the case of large, dense and heavy objects, X-ray energies exceeding one mega electronvolt (MeV) are needed to achieve measureable transmission values. An important factor for the quality of X-ray CT is the contribution of scattered radiation in the radiographies. X-ray photons can be scattered from the object as well as the instrumentation and the environment which leads to a distorted transmission image. Besides scattered radiation, the physical effect of pair production has to be taken into account for radiation in the range of MeV. This work investigates the impact of each of the scattering processes on the radiography. Detailed Monte Carlo simulations help to distinguish the physical interactions as well as scattered radiation from system components. In contrast to previous studies, not only a set of simple geometric objects made of different materials is examined, but also models of the components of a CT scanner are used to estimate the contribution of scattering of various system components.