

**Numerische Bestimmung der Spezifischen  
Absorptionsrate bei Ganzkörperexposition von  
Kindern  
2. Zwischenbericht**

**Andreas Christ, Gernot Schmid, Marcel Zefferer, Richard Überbacher,  
Marco Lichtsteiner, Esra Neufeld, Stefan Cecil, Niels Kuster**

Zürich, August 2008

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muß nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einführung</b>	<b>3</b>
<b>2 CAD-Modelle der Kinder</b>	<b>3</b>
2.1 Anatomische Eigenschaften der Modelle . . . . .	3
2.2 Rekonstruierte Organe und Gewebe . . . . .	3
<b>3 Schlußfolgerungen und weiterer Verlauf des Projektes</b>	<b>4</b>

## 1 Einführung

Zur Bestimmung der unter Einhaltung der Grenzwerte für elektromagnetische Felder [1] maximal zulässigen Feldstärke bei Minderjährigen wurden sechs detailgetreue anatomische Modelle von Kindern entwickelt. Dazu wurden Ganzkörperaufnahmen von sechs Freiwilligen in einem Magnetresonanztomographen durchgeführt. Diese Aufnahmen wurden in aufwendiger Arbeit segmentiert, um dreidimensionale anatomische Modelle zu rekonstruieren, mit denen sich die spezifische Absorptionsrate (SAR) durch Computersimulation bestimmen läßt. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise findet sich in [2].

Name	Alter	Geschlecht	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Quelle
Roberta	5	weiblich	1,09	16	13,5	[2]
Thelonious	6	männlich	1,07	17	14,8	[3]
Eartha	8	weiblich	1,34	29	16,2	[2]
Dizzie	8	männlich	1,36	25	13,5	[2]
Billie	11	weiblich	1,48	34	15,5	[3]
Louis	14	männlich	1,65	50	18,4	[2]

Tabelle 1: Eigenschaften der CAD Modelle der Kinder

## 2 CAD-Modelle der Kinder

### 2.1 Anatomische Eigenschaften der Modelle

Bei der Auswahl der Freiwilligen wurde Wert darauf gelegt, daß deren Körpergröße und Body Mass Index (BMI) den Durchschnittswerten in Deutschland möglichst nahe kommen [4]. Zwei geeignete Kindermodelle wurden im Rahmen des Virtual-Family-Projektes [3] entwickelt und stehen für diese Studie zur Verfügung. Vier weitere Modelle wurden eigens für diese Studie entwickelt. Tabelle 1 faßt die Eigenschaften aller sechs Kindermodelle zusammen. Sie sind in Abbildung 1 dargestellt.

### 2.2 Rekonstruierte Organe und Gewebe

Die Gewebe und Organe der sechs Modelle wurden als dreidimensionale CAD-Objekte rekonstruiert. Details zur Segmentierung und Rekonstruktion der Gewebe finden sich in [2]. Jedes der sechs Modelle besteht aus etwa 80 verschiedenen Gewebetypen, die in Tabelle 2 zusammengefaßt sind. Abbildung 2 zeigt die innere Struktur der Modelle.

Während die meisten anatomischen Modelle des menschlichen Körpers als diskretisierte Dateien mit einer festen Voxelgröße vorliegen [5, 6], erlaubt die Rekonstruktion der Gewebe und Organe als CAD-Objekte die Darstellung geometrisch kleiner Details ohne vorgegebene Rasterung sowie beliebiges Verschieben und Rotieren im Rechenraum. Die Voxelgröße kann nach der Positionierung des Modells im Rechenraum an Hand der notwendigen Detailtreue und Rechengenauigkeit bestimmt werden. Müssen hingegen Voxelmodelle für Simulationen mit einer anderen Auflösung erneut diskretisiert werden, kann es durch das wiederholte Sampling der Organe zum Verlust feiner anatomischer Details kommen. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt: Die mittlere Abbildung zeigt eine zweimal mit unterschiedlicher Auflösung diskretisierte Version eines CAD-Modells, bei der Fehlstellen in der Haut auftreten.<sup>1</sup> Diese treten besonders deutlich unterhalb

<sup>1</sup>Die zweimalige Diskretisierung entspricht einer Rediskretisierung eines als Voxel vorliegenden Modells mit einer anderen Auflösung.

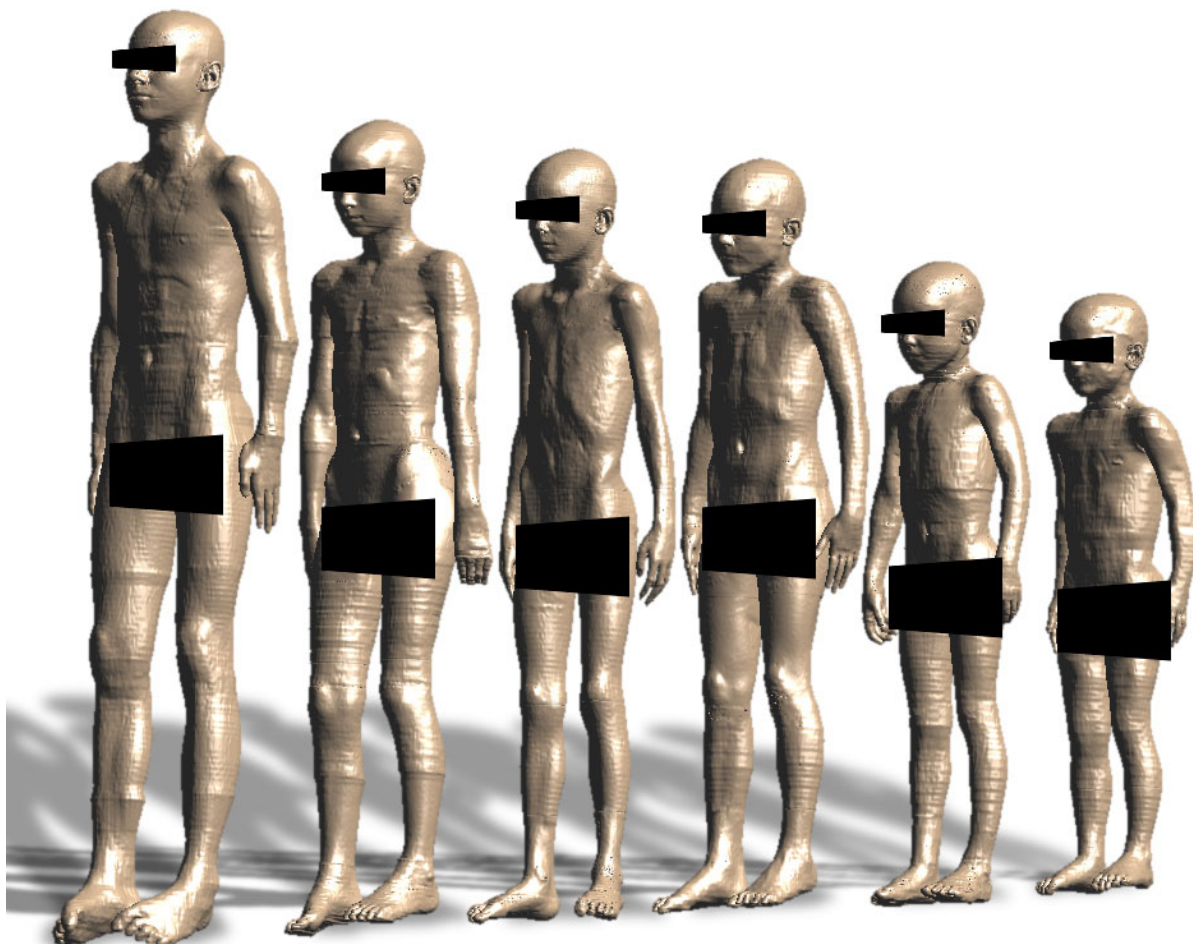


Abbildung 1: Rekonstruierte CAD-Modelle der Kinder (von links nach rechts: Louis, Billie, Dizzie, Eartha, Thelonious und Roberta)

des linken Arms hervor. Durch die Modellierung der Organe als CAD-Objekte werden solche Probleme vermieden. Dadurch ist ebenfalls die Verwendung konformer Simulationstechniken [7] möglich (Abbildung 3, rechts).

### 3 Schlußfolgerungen und weiterer Verlauf des Projektes

Es stehen sechs hochgenaue anatomische Modelle von Kindern zwischen fünf und 14 Jahren für diese Studie zur Verfügung. Diese übertreffen sämtliche bisher existierenden numerischen Kindermodelle im Hinblick auf ihre Detailtreue und Genauigkeit. Die Modelle wurden bereits erfolgreich für einen Großteil der für diese Studie durchzuführenden Simulationen eingesetzt [8].

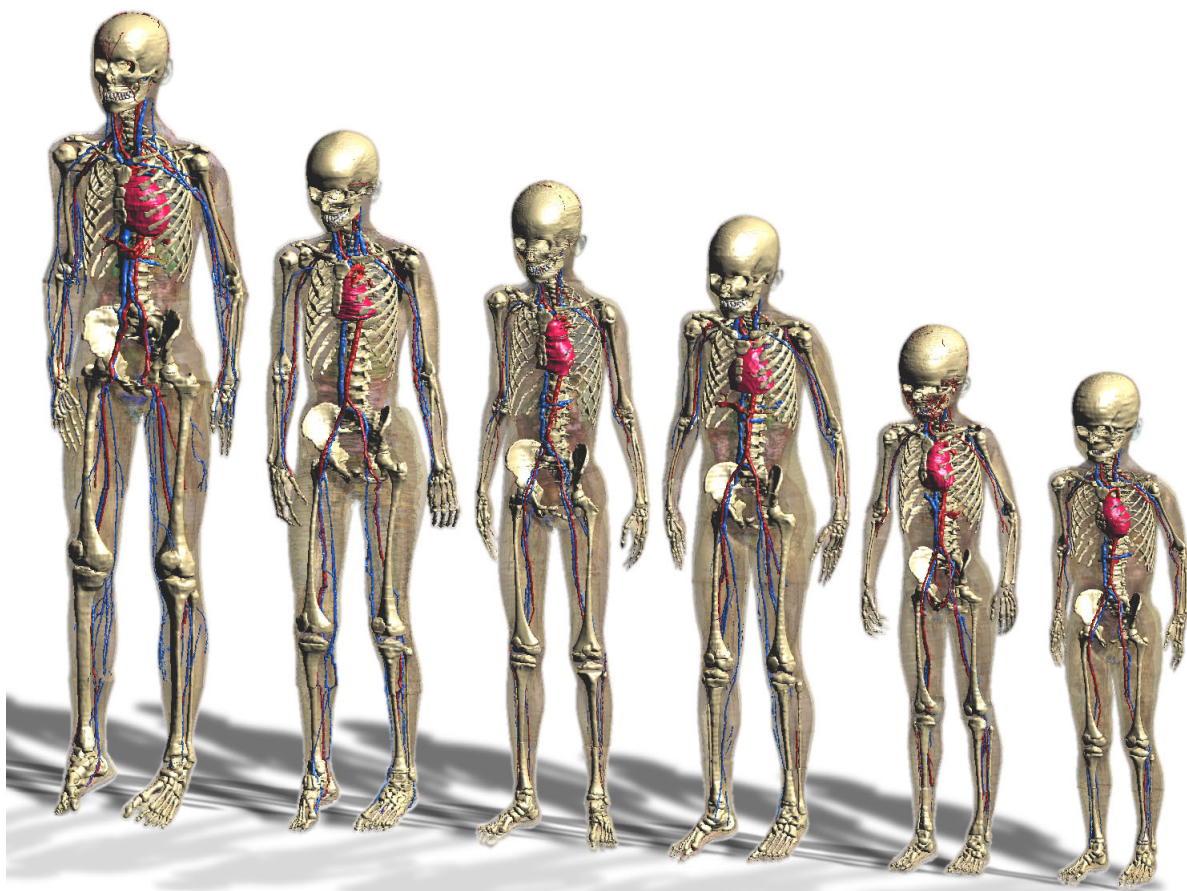


Abbildung 2: Innere Struktur der Modelle (von links nach rechts: Louis, Billie, Dizzie, Eartha, Thelonious und Roberta)

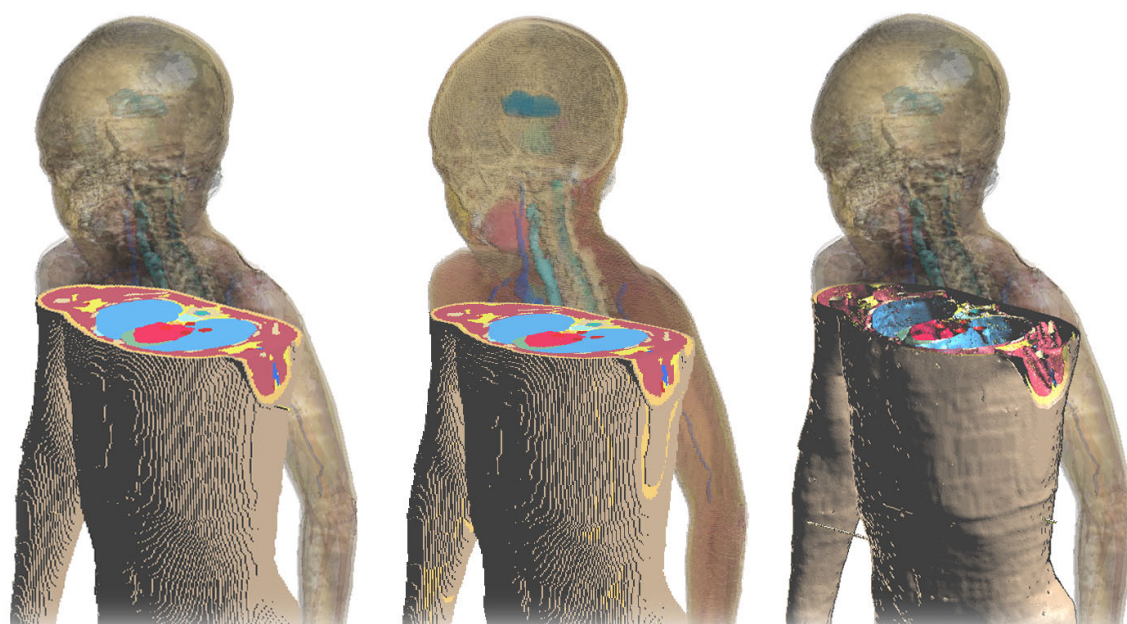


Abbildung 3: Diskretisierung des Modells Thelonious mit 1,6 mm Voxelgröße: diskretisiertes CAD-Modell (links), rediskretisiertes Voxelmodell (Mitte), aus dem CAD-Modell berechnete konforme Voxel

Gewebe	männlich	weiblich
Arterien	x	x
Bauchspeicheldrüse	x	x
Bandscheiben	x	x
Bindegewebe	x	x
Blase	x	x
Blutgefäße	x	x
Bindegewebe	x	x
Bronchen	x	x
Commissura anterior	x	x
Commissura posterior	x	x
Dickdarm	x	x
Dünndarm	x	x
Eierstöcke	x	x
Fett	x	x
Gallenblase	x	x
Gebärmutter	x	x
Gehirn (graue Substanz)	x	x
Gehirn (weiße Substanz)	x	x
Glaskörper	x	x
Harnleiter	x	x
Haut	x	x
Herz (Lumen)	x	x
Herz (Muskel)	x	x
Hippocampus	x	x
Hoden	x	x
Hornhaut	x	x
Hypophyse	x	x
Hypothalamus	x	x
Kehlkopf	x	x
Kiefer	x	x
Kleinhirn	x	x
Kniescheibe	x	x
Knochen	x	x
Knochenmark	x	x
Knorpel	x	x
Leber	x	x
Linse	x	x
Liquor	x	x
Luft	x	x
Luftröhre	x	x
Lunge	x	x
Magen	x	x
Meniskus	x	x
Mesenzephalon	x	x
Milz	x	x
Muskel	x	x
Nachhirn	x	x
Nebenhoden	x	x
Nebenniere	x	x
Nerven	x	x
Niere (Kortex)	x	x
Niere (Medulla)	x	x
Ohrmuschel (Haut)	x	x
Ohrmuschel (Knorpel)	x	x
Penis	x	x
Pinealdrüse	x	x
Pons	x	x
Prostata	x	x
Rachen	x	x
Rückenmark	x	x
Schädel	x	x
Schleimhaut	x	x
Scheide	x	x
Schilddrüse	x	x
Sehnen	x	x
Sklera	x	x
Speiseröhre	x	x
Thalamus	x	x
Thymusdrüse	x	x
Venen	x	x
Wirbel	x	x
Zähne	x	x
Zunge	x	x
Zwerchfell	x	x

Tabelle 2: Gewebe und Organe der sechs Modelle

## Literatur

- [1] ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, *Health Physics*, vol. 74, pp. 494–522, 1998.
- [2] Andreas Christ, Gernot Schmid, Katharina Honegger, Marcel Zefferer, Richard Überbacher, Esra Neufeld, and Niels Kuster, “Numerische Bestimmung der Spezifischen Absorptionsrate bei Ganzkörperexposition von Kindern: 1. Zwischenbericht”, Technical report, IT’IS Foundation, ETH Zürich, Zeughausstrasse 43, 8004 Zurich, Switzerland, November 2007.
- [3] Andreas Christ, Wolfgang Kainz, Eckhart Hahn, Katharina Honegger, Jianxiang Shen, Wolfgang Rascher, Rolf Janka, Werner Bautz, Berthold Kiefer, Peter Schmitt, Hans-Peter Hollenbach, Ji Chen, Anthony Kam, Esra Neufeld, Michael Oberle, and Niels Kuster, “The “Virtual Family” Project - Development of anatomical whole-body models of two adults and two children”, in *Proceedings of the 23rd Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES) 2007*, Verona, Italy, March 2007, Session 16: Modeling of Biomedical Problems - 1 (March 21).
- [4] K. Kromeyer-Hauschild, M. Wabitsch, D. Kunze, F. Geller, H. C. Geiß, V. Hesse, A. von Hippel, U. Jaeger, D. Johnsen, W. Korte, K. Menner, G. Müller, J. M. Müller, A. Niemann-Pilatus, T. Remer, F. Schaefer, H.-U. Wittchen, S. Zabransky, K. Zellner, A. Ziegler, and J. Hebebrand, “Perzentile für den Body-Mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben”, *Monatsschrift Kinderheilkunde*, vol. 149, pp. 807–818, 2001.
- [5] Martin Caon, “Voxel-based computational models of real human anatomy: A review”, *Radiation and Environmental Biophysics*, vol. 42, no. 4, pp. 229–235, Feb. 2004.
- [6] Habib Zaidi and Xie George Xu, “Computational anthropomorphic models of the human anatomy: The path to realistic monte carlo modeling in radiological sciences”, *Annual Review of Biomedical Engineering*, vol. 9, pp. 471–500, 2007.
- [7] Stefan Benkler, *Robust Conformal Subcell Modeling for Electromagnetic Simulations in Time Domain*, Phd-thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, Hartung-Gorre Verlag Konstanz, May 2007, Diss. ETH Nr. 16969.
- [8] Andreas Christ, Gernot Schmid, Malika Bouterfas, Marcel Zefferer, Stefan Benkler, Richard Überbacher, Esra Neufeld, and Niels Kuster, “Development of anatomical CAD models of children for the assessment of EM field exposure”, in *Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS 2008)*, San Diego, CA, USA, June 2008.