

Untersuchungen zur Entwicklung und Bewertung von Counter-RAM Systemen

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg

zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

MARKUS GRASWALD
aus Halle (Saale)

Hamburg 2009

Tag der mündlichen Prüfung: 21. August 2009

Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H.Rothe

Koreferent: Univ.-Prof. a.D. Dr.-Ing. K. Nixdorff

Schriftenreihe Laboratorium Mess- und Informationstechnik

Band 5/2009

Markus Graswald

**Untersuchungen zur Entwicklung und Bewertung
von Counter-RAM Systemen**

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Hamburg, Helmut-Schmidt-Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8526-5

ISSN 1613-4427

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Für die beiden bezauberndsten Frauen der Welt

Ilka und Lili Jeanne

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Mess- und Informationstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg.

Mein Dank gilt an erster Stelle dem Inhaber des Lehrstuhls, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hendrik Rothe. Durch die konstruktiven Gespräche und den Freiraum, den er mir gewährte, trug er maßgeblich zum Gelingen der Arbeit bei. Herrn Univ.-Prof. a.D. Dr.-Ing. Kurt Nixdorff danke ich für die Übernahme des Koreferats und die fachliche Betreuung mit zahlreichen nützlichen Hinweisen und Denkanstößen.

Für die wohlwollende Förderung und viele hilfreiche Diskussionen danke ich Alexander Simon und Joerg Bachmann von der Fa. Krauss-Maffei Wegmann sowie Franz Jüptner vom Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung. Herzlicher Dank gebührt Prof. Ronald E. Brown und Prof. Jose Sinibaldi von der Naval Postgraduate School, Monterey (USA) für die herausragende Unterstützung bei den AUTODYN-Simulationen und aufschlussreiche Diskussionen auf dem Gebiet der Detonik. Ganz besonders danke ich Prof. Reinhart Lunderstädt für die förderlichen Hinweise zur Arbeit.

Lothar Butsch, Dietrich Friemel, Wolfgang Kletz, Reiner Muchow und Wolfgang Schmidt in Labor und Werkstatt danke ich für die hervorragende Unterstützung meiner Arbeit. Stellvertretend für hilfreiche fachliche Diskussionen sei André Brahmman, Uwe Chalupka, Dr. Cornelius Hahlweg, Dr. Alexander Kuhrt und Dr. Ilya Shaydurov gedankt. Mein Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen, die durch die gute Zusammenarbeit und die angenehme Atmosphäre wesentlich zum Erfolg der Arbeit beigetragen haben.

Großer Dank gilt auch Matthias Glawe, Paul Jost, Timo Nolte, Lukas Schoeneberg sowie Rebecca J. Porter, die als wissenschaftliche Hilfskräfte oder im Rahmen von Bachelor-, Studien- und Diplomarbeiten einen wichtigen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

Der Wehrtechnischen Dienststelle für Waffen und Munition in Meppen und insbesondere Winfried Kloppenburg, Hans-Juergen Meister, Bernd Mueller und Heiner Wessels danke ich für die hervorragende Unterstützung des praktischen Teils meiner Arbeit.

Außerdem bedanke ich mich für anregende Diskussionen und wertvolle Literaturhinweise bei Dr. Werner Arnold, Heinrich Dorsch, Prof. Manfred Held, Peder Pedersen, Dr. Ulrich Schleicher, Dr. Johann Pannhorst, Reinhard Günther, Rob van Heijster, Dr. Manfred Salk, Theo L. A. Verhagen sowie Prof. Morris Driels. Axel Schoon danke ich für die Literaturbeschaffung aus den USA.

Bei der Helmut-Schmidt-Universität bedanke ich mich für die überragende Infrastruktur und die zur Verfügung gestellten Ressourcen, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Stellvertretend danke ich hiermit Monika Kienzle (Bibliothek), Gerd Hoffmann (Druckerei), Holger Beneke und Michael Bölke (Zeichenbüro) sowie Dr. Klaus Eggeling (Medienzentrum).

Schließlich möchte ich von ganzem Herzen meiner Frau Ilka, meiner Tochter Lili Jeanne sowie meinen Eltern und meiner Familie danken, die mich auch in den schweren Phasen dieser Arbeit stets unterstützten, mir den notwendigen Rückhalt gaben und für aufmunternde Entspannungsphasen sorgten.

Markus Graswald

Kurzfassung

Untersuchungen zur Entwicklung und Bewertung von Counter-RAM Systemen

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung von Counter-RAM Systemen, die zur aktiven, zeitkritischen Abwehr un gelenkter Raketen, Artillerie- und Mörsergeschosse (RAM) dienen. Dazu werden großkalibrige, bodengestützte Artilleriesysteme betrachtet, die mit Sprenggeschossen als Abfangmunition diese dynamischen Punktziele bekämpfen. Zur Bewertung und Verbesserung des Waffensystems wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, der alle wesentlichen Systeme wie Sensor, Waffe sowie die Munition mit dem Zünder einbezieht und den Munitionsbedarf als zentrale Bewertungsgröße festlegt.

Die Splitterwirkung gegen eine definierte Mörsergeschossbedrohung wird anhand von Wirkungsgrenzen modelliert, die eine detonative Umsetzung der Sprengladung oder eine Penetration der Geschosshülle markieren. Die Detonationsgrenzen zur Schockinitiierung verdämmter energetischer Materialien, hier TNT, werden sowohl mit einem semiempirischen Modell, das die $p^2\tau$ -Beziehung erweitert, als auch numerisch mit ANSYS AUTODYN ermittelt. Im letzteren Fall werden High Order- und Low Order-Reaktionen modelliert und der Einfluss des Auftreffwinkels und von Mehrfachtreffern untersucht. Zur Beschreibung der Penetrationsgrenzen werden die THOR- und JMEM-Gleichungen angewendet.

Die Interaktion der Abfangmunition mit dem zu bekämpfenden Ziel in der letzten Phase des Gefechts, dem Endgame, wird mit deterministischen Modellen beschrieben. Diese umfassen das Rendezvousmodell für beliebige Begegnungssituationen mit den Bewegungsgleichungen für Abfanggeschoss, Splitter und Ziel, das Splittermodell für die statische und dynamische Splittercharakteristik, Zündermodelle zur Prädiktion von Detonationszeit und -winkel sowie das Treffermodell. Als Bewertungsgrößen dienen die Trefferzahlen und die Zahl wirksamer Splitter.

Für das stochastische Bewertungsmodell des Munitionsbedarfs wird das Fehlerbudget des Waffensystems unter Berücksichtigung der Bekämpfung fliegender Punktziele aufgestellt und klassifiziert. Dieses Verwundbarkeits-/Vernichtungskraft-Modell (V/L) berücksichtigt Rendezvous- und Zerstörungswahrscheinlichkeiten zur Berechnung von Einzelschussabschusswahrscheinlichkeiten (SSKP) und des Munitionsbedarfs und bezieht dazu die Wirkungsmodelle und das Endgamemodell ein. Mit diesem Modell wird beispielhaft ein Abfanggeschoss mit vorgeprägten Splintern optimiert und gegenüber natürlichen Splintern der Munitionsbedarf signifikant gesenkt.

Abschließend werden die aufgestellten Modelle mit statischen Sprengversuchen und semidynamischen Beschussversuchen gegen Mörsergeschosse der Kaliber 60 mm, 82 mm und 120 mm verifiziert. Neben 155 mm-Sprenggeschossen mit natürlichen Splintern werden Abfanggeschosse mit vorgeprägten Splintern, die einen größeren Ablagefehler erlauben und zu einer deflagrativen oder detonativen Umsetzung der Sprengladung des Ziels führen sollen, getestet. Dabei zeigen die aufgestellten Modelle eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen für Trefferzahlen und Wirkung im Ziel.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Bedrohung	1
1.2	Counter-RAM Systeme	2
1.3	Forschungsbedarf	4
1.4	Zielsetzung der Arbeit	5
1.5	Gliederung der Arbeit	6
2	Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1	Munitionskonzepte	8
2.1.1	Splittermunition	8
2.1.2	Entwurf von Munition mit vorgeprägten Splintern	9
2.2	Splittermunitionsmodelle	10
2.2.1	Experimentelle Techniken	11
2.2.2	Analytische und empirische Modelle	12
2.2.3	Hydrodynamische Modelle	16
2.3	Wirkungsmodelle	17
2.3.1	Initiierung von Sprengstoffen	18
2.3.2	Penetration von Zielen	23
2.3.3	Besonderheiten	25
2.4	V/L-Modelle	27
2.4.1	Definitionen	28
2.4.2	Modellklassifikation	29
2.4.3	Bewertung relevanter Modelle	29
2.4.4	Bewertung des eigenen Modells	32
2.5	Entwurf und Optimierung von Splittermunition	32
3	Modellierung der Wirkung im Ziel	35
3.1	Semi-empirische Initiierungskriterien	35
3.1.1	Eindimensionale Schockinitiierung	35
3.1.2	Erweiterung für die Verdämmung	39
3.1.3	Initiierungsgrenzen für TNT	39
3.2	Numerisch ermittelte Initiierungskriterien	41
3.2.1	Simulationssetup	41
3.2.2	Definition der Initiierungskriterien	42

3.2.3	Verifikation des Simulationssetups	43
3.2.4	Simulationsergebnisse für TNT	46
3.2.5	Besonderheiten	47
3.3	Semi-empirische Penetrationsberechnung	49
3.4	Wirkungsplot für ein Mörsergeschoss	50
3.4.1	Vergleich der Wirkungsgrenzen	50
3.4.2	Einfluss des Ersatzkörpermodells	51
3.4.3	Einfluss des Auftreffwinkels	52
4	Endgamemodell	55
4.1	Rendezvousmodell	56
4.2	Splittermodell	59
4.2.1	Statisches Splittermodell	59
4.2.2	Dynamisches Splittermodell	61
4.2.3	Dreidimensionale Splitterverteilung	62
4.3	Detonationszeitprädiktionsmodell	63
4.3.1	Optimale Detonationszeit	63
4.3.2	Interaktionszeit mit Hauptsplitterzone	64
4.3.3	Annäherungszünder	64
4.3.4	Zeitzünder	66
4.3.5	Detonationszeitfehler	67
4.4	Treffermodell	67
4.4.1	Tatsächlicher Treffpunkt	67
4.4.2	Verwundbare Fläche des Ziels	68
4.4.3	Trefferdichte und -zahl	68
4.5	Ergebnisse	69
4.5.1	Splitterkarte mit Wirkungsgrenzen für 155 mm-Geschoss	69
4.5.2	Einfluss des Rendezvous	71
4.5.3	Einfluss der Detonationszeit	72
5	Munitionsbedarfsmodell und -optimierung	77
5.1	Klassifiziertes Fehlerbudget	77
5.2	Munitionsbedarfsmodell	80
5.2.1	Rendezvouswahrscheinlichkeit	81
5.2.2	Zerstörungswahrscheinlichkeiten	83
5.2.3	Abschusswahrscheinlichkeit und Munitionsbedarf	84
5.3	Bewertung eines Standardabfanggeschosses	85
5.3.1	Einfluss des Rendezvous	86
5.3.2	Einfluss des Zündertyps	87
5.4	Optimierung des Abfanggeschosses	88
5.4.1	Optimierungsproblem	89
5.4.2	Bestimmung der Geschossparameter	90

5.4.3	Ergebnisse	92
6	Experimentelle Verifikation	97
6.1	Statische Sprengversuche	97
6.1.1	Versuchsaufbau und -durchführung	97
6.1.2	Auswertung	98
6.2	Semidynamische Beschussversuche	103
6.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung	103
6.2.2	Auswertung der experimentellen Daten	104
6.2.3	Vergleich mit Simulationsergebnissen	105
7	Zusammenfassung	107
A	Ersatzkörpermodelle	109
B	Fehlerbudget	111
B.1	Hauptklassen ballistischer Fehler	111
B.2	Ballistische Streuungsmaße	113
B.3	Berechnungsmethoden	113
C	Beschreibung der V/L-Modellklassifikation	115
C.1	Modellarchitektur	115
C.2	Ziele und Zielmodelle	115
C.3	Munition und Waffensysteme	116
C.4	Modelle zur Trajektoriengenerierung	117
C.5	Rendezvousmodelle	117
C.6	Wirksamkeitsmaße	117
C.6.1	Erfassbarkeit	118
C.6.2	Verwundbarkeit und Vernichtungskraft	120
C.6.3	Zerstörbarkeit und Überlebensfähigkeit	121
C.7	Wahrscheinlichkeitsmodelle	122
	Literaturverzeichnis	125