

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

## **Gönnert, Gabriele; Dube, Shishir K.; Murty, Tad; Siefert, Winfried Global Storm Surges: Theory, Observations and Applications - Preface and Contents**

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101440>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Gönnert, Gabriele; Dube, Shishir K.; Murty, Tad; Siefert, Winfried (2001): Global Storm Surges: Theory, Observations and Applications - Preface and Contents. In: Die Küste 63 Sonderheft. Heide, Holstein: Boyens.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Global Storm Surges: Theory, Observations and Applications

GÖNNERT, G. M. / DUBE, S. K. / MURTY, T. S. / SIEFERT, W.

## Vorwort

Im Mai 1979 bat die World Meteorological Organization (WMO) den Meteorologen Dr. TAD MURTY, Wissenschaftler bei der Bundesregierung von Kanada, den meteorologischen Dienst von Bangladesh (BMD) bei der Entwicklung von Sturmflutvorhersagemodellen für Bangladesh zu unterstützen. Bei der Literaturrecherche stellte er fest, dass es kein umfassendes Lehrbuch über Sturmfluten gab. Mit Unterstützung der Bundesregierung von Kanada schrieb er deshalb das Buch „Storm Surges – Meteorological Ocean Tides“, das 1984 als Monographie veröffentlicht wurde. Die dem Buch zugrunde liegenden Literaturrecherchen reichten bis in das Jahr 1982.

Wegen der starken Entwicklung in der Sturmflutforschung in den Jahren 1985 bis 1995 schlugen viele Kollegen TAD MURTY vor, das Buch zu überarbeiten und die neuesten Forschungsergebnisse einzubeziehen. Während einer Diskussion mit dem verstorbenen Prof. Dr.-Ing. WINFRIED SIEFERT, Leiter der Hydrologie in der Wirtschaftsbehörde Strom- und Hafenausbau Hamburg und Experte in den Bereichen Sturmfluten und Vorhersage, einigte man sich auf eine gemeinsame Überarbeitung und Neuauflage dieses Buches. In den Kreis der Mitautoren wurden Prof. Dr. SHISHIR K. DUBE aus Indien, der zu den wichtigsten Sturmflutmodellierern der Welt gehört, und Dr. GABRIELE GÖNNERT, wissenschaftliche Mitarbeiterin von Prof. SIEFERT bei der Wirtschaftsbehörde Strom- und Hafenausbau Hamburg, einbezogen. Frau GÖNNERT hat zudem die Veröffentlichung des neuen Buches mit dem Titel „Global Storm Surges: Theory, Observations and Applications“ geplant und organisiert. Es war die Absicht der Autoren, die wichtigen und grundlegenden Abschnitte der Monographie „Storm Surges – Meteorological Ocean Tides“ von Dr. MURTY in einer überarbeiteten Version zu übernehmen.

Zwei Treffen von je einer Woche in Hamburg 1996 und 1998 dienten der Koordination der Buchinhalte, die von den vier Autoren geschrieben wurden. Das Abschlusstreffen über zwei Wochen fand im Centre of Atmospheric Sciences, Indian Institute of Technology, Delhi, Indien, statt. Hier wurde das gesamte Manuskript fertiggestellt.

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMBF) stellte Fördermittel für die Arbeit am Buch, die Arbeitstreffen und den Druck zur Verfügung. Darüber hinaus entschied das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI), dass das Buch als Sonderheft des *Archivs für Forschung und Technik an Nord- und Ostsee* „Die Küste“ erscheinen soll. Für Beantragung von Geldmitteln für den Druck, Organisation und Revision des Buches danken die Autoren Dr.-Ing. V. BARTHEL.

Dr. GÖNNERT möchte den Mitgliedern der Projektgruppe des Forschungsprojektes „Windstauanalysen in Nord- und Ostsee“ mit LBD P. PETERSEN, Dr.-Ing. G. FLÜGGE, RD H. SCHMIDT, Dr.-Ing. E. RENGER, Prof. Dr.-Ing. H. KUNZ und Dipl.-Ing. D. SCHALLER für die Diskussionen und Ideen während der Forschungsarbeit zu Sturmfluten und der Neubearbeitung des Buches danken. RD R. ANNUTSCH gilt besonderer Dank für die Unterstützung bei der Diskussion wesentlicher Fragen im Forschungsbereich Sturmfluten. Er investierte viel Zeit in die Gespräche zum Thema Tide und Sturmfluten.

Keine Worte können den tiefen Dank von Dr. GÖNNERT gegenüber Prof. Dr.-Ing. WINFRIED SIEFERT realistisch beschreiben. Er war ihr Lehrer im Küsteningenieurwesen, Doktorvater und ihr Vorgesetzter in der Hydrologie bei Strom- und Hafengebäude Hamburg.

Prof. DUBE dankt dem Indian Institute of Technology, Delhi, und hier besonders Direktor Prof. V. S. RAJU dafür, dass er alle Einrichtungen des Instituts zur Verfügung stellte sowie für die moralische Unterstützung bei der Fertigstellung des Buches. Großer Dank geht an Prof. SINHA, Dr. A. D. RAO, Dr. P. CHITTIBABU, Dr. BHASKARAN, Ms. RUCHI KALRA und Mr. DEBASIS MAHAPATRA vom Centre for Atmospheric Sciences, IIT Delhi für ihre Beiträge.

Dr. MURTY dankt der Regierung von Kanada, die das erste Buch ermöglicht hat, und dem Ingenieurbüro Baird and Associates Coastal Engineers, Ottawa, Kanada, für die Möglichkeit, das zweite, hier vorliegende Buch, zu erstellen. Dank und Anerkennung gilt weiterhin den Beiträgen von Prof. GEORGE W. PLATZMAN von der Universität von Chicago und den Kollegen Dr. D. RAO, Dr. R. F. HENRY sowie den verstorbenen Dr. T. J. SIMONS und Dr. M. I. EL SABH bei der Weiterentwicklung des Verständnisses des Sturmflutphänomens. Dr. M. B. DANRD und Dr. JOHN LUICK und dem verstorbenen Dr. N. G. FREEMAN sei ebenfalls für ihre Beiträge gedankt.

## Preface

In May 1979 the World Meteorological Organization (WMO) invited Dr. TAD MURTY, a senior Research Scientist working for the Federal Government of Canada, to help the Bangladesh Meteorological Department (BMD) with the development of storm surge prediction models for the Bay of Bengal. Dr. MURTY looked for lecture material on storm surges for talks in Bangladesh and elsewhere and found that as yet there was no textbook on storm surges. Using the resources of the Canadian Government, he wrote a book titled "Storm Surges – Meteorological Ocean Tides" which was published as a monograph by the Canadian Government. This book was published in October 1984, and the references that were cited were up to date till the end of 1982.

During the years 1985 to 1995, several colleagues of MURTY around the world suggested to him that in view of the tremendous advances made in storm surge research during those years, it will be very useful for the global research community to have an updated version of the book which includes a synthesis of the new material and this should be the goal of an updated version. In 1995 during discussions with the late Dr. WINFRIED SIEFERT, head of hydrology at the Department of Port and River Engineering of Free and Hanseatic City of Hamburg and specialist in storm surges and protection, Drs. MURTY and SIEFERT realised that the book by Dr. MURTY should be updated. Subsequently Prof. SHISHIR K. DUBE, an eminent storm surge modeler from India, who is among the top surge modelers in the world was recruited to be a co-author in this effort. Also Dr. GABI GÖNNERT, scientist for climatology, tides, storm surges and protection at the Department of Port and River Engineering of Free and Hanseatic City of Hamburg was recruited to be a co-author and she took the lead in organizing, planning and publication of the new book, which is titled "Global Storm Surges: Theory, Observations and Applications". It is the intention in this new book to use necessary and basic parts from the monograph of Dr. MURTY "Storm Surges – Meteorological Ocean Tides". Therefore revised repetitions from the book of MURTY (1984) were included in the new book.

Two meetings (each one week long) were held in Hamburg during 1996 and 1998 to coordinate the parts written by the four authors. A final meeting, two weeks long was held at

the Centre for Atmospheric Sciences, Indian Institute of Technology, Delhi, India, to put together the full manuscript.

The Federal Government of Germany (BMBF) provided funding for work on the book, for the necessary meetings and for printing. Moreover, the Coastal Engineering Research Council (KFKI) decided to have the book printed as a special issue of "Die Küste". For providing funding for printing, organization and for reviewing the book the authors express their gratitude to Dr. V. BARTHEL.

Dr. GÖNNERT would like to recognize the contributions of the members of the working group for the research project "Storm Surges in the German Bight" with LBD PETERSEN, Dr. G. FLÜGGE, RD H. SCHMIDT, Dr. E. RENGER, Prof. Dr. H. KUNZ and Dipl.-Ing. D. SCHALLER for discussion and productive ideas enabling her research in storm surges and revising this book. RD RALF ANNUTSCH's help is greatly acknowledged. He assisted in developing her understanding in storm surges and took always time for discussions on tides and storm surges.

No words can describe realistically Dr. GÖNNERT's acknowledgement of and deep gratitude towards the late Prof. Dr. W. SIEFERT. He was her teacher in coastal engineering, supervisor and head at the Department of Port and River engineering.

Professor DUBE is grateful to the Indian Institute of Technology Delhi in general and Professor V. S. RAJU, Director in particular for extending all facilities and providing moral support for the completion of the book. Contributions made by Professor P. C. SINHA, Dr. A. D. RAO, Dr. P. CHITTIBABU, Dr. P. K. BHASKARAN, Ms. RUCHI KALRA and Mr. DEBASIS MAHAPATRA of the Centre for Atmospheric Sciences, IIT Delhi is greatly acknowledged.

Dr. MURTY expresses his gratitude to the Government of Canada to make the first book possible and to Baird and Associates Coastal Engineers of Ottawa, Canada, to make the second book possible. He also would like to recognize the contributions from Prof. GEORGE W. PLATZMAN of the University of Chicago, and his professional colleagues Dr. D. B. RAO, Dr. R. F. HENRY and the late Drs. T. J. SIMONS and M. I. EL-SABH, in developing his understanding of the storm surge phenomena. Contributions made by Dr. M. B. DANARD and Dr. JOHN LUICK and the late Dr. N. G. FREEMAN are also greatly acknowledged.

## Contents

1. Introduction and General Considerations	1
1.1 Introduction to Oceanographical Aspects of Storm Surges	1
1.2 Global Weather Systems	8
1.3 Air Masses, Fronts, Cyclones, and Anticyclones	16
1.4 Regional Weather Systems	21
1.4.1 Weather Systems of North America	21
1.4.2 Weather Systems of Mexico and Central America	22
1.4.3 Weather Systems of South America	25
1.4.4 Weather Systems of Europe	26
1.4.5 Weather Systems of Asia	30
1.4.6 Weather Systems of Africa	36
1.4.7 Weather Systems of Australia and New Zealand	37
1.4.8 Weather Systems of the Oceanic Regions	39
2. Basic Storm Surge Equations and Standard Methods of Solutions	40
2.1 Formulation of the Storm Surge Equations	40
2.2 Numerical Finite Difference Solutions	44
2.3 Staggered and Nonstaggered Grid Schemes	44
2.4 Treatment of Open Boundaries	45

2.5	Numerical Treatment of the Nonlinear Advective Terms	46
2.6	Moving Boundary Models and Inclusion of Tidal Flats	48
2.7	Nested Grids and Multiple Grids	51
3.	Finite-Element Models	52
3.1	Introduction	52
3.2	Finite-Element Models for Tides and Storm Surges	55
3.3	Development in the late 1970s and early 1980s	64
3.4	The Corps of Engineers Models	69
3.5	Other f-e Models	74
3.6	A robust f-e Model	79
4.	Special Hydrodynamic Problems	82
4.1	Tides	82
4.2	Resonance, Edge and Waves	85
4.3	Interaction between Storm Surges and Tides	95
4.3.1	Numerical Models of Tide-Surge Interaction in the Bay of Bengal	95
4.3.2	Arabian Sea and Adjacent Persian Gulf	105
4.3.3	Gulf of Suez-Red Sea System	106
4.3.4	South Indian Ocean	112
4.3.5	European Seas	113
4.3.6	Canada and United States	114
4.3.7	China and Japan	117
4.4	Surge-Wind wave Interaction	119
4.5	Storm Surges and River Flow Interaction	126
4.5.1	Elbe Estuary (Germany) as case study	128
4.6	Rissaga Phenomenon	133
4.6.1	Theoretical Explanation	133
4.6.2	The Work of Monserrat and Colleagues	138
5.	Meteorological Aspects	146
5.1	Extratropical Cyclones	146
5.1.1	Development Theory	146
5.1.2	Regions of occurrence	153
5.1.3	Prediction of Movement and Intensity	188
5.2	Subtropical Cyclones	193
5.3	Tropical Cyclones	193
5.3.1	Development Theory	194
5.3.2	Pediction of Movement and Intensity	208
5.3.3	Meteorological Forcing Terms for Enclosed Lakes and other Smaller Scale Water Bodies	220
5.4	Cyclones of the Pacific Ocean	223
5.4.1	Characteristics of Tropical Cyclones in the Eastern North Pacific	224
5.4.2	Tropical Cyclones of the Central North Pacific	226
5.4.3	Typhoons of the Western North Pacific	228
5.4.4	Explosively Developing Tropical Cyclones and Supertyphoons in the Pacific	240
5.5	Tropical Cyclones of the Atlantic Ocean	245
5.5.1	Hurricanes Affecting the United States	245
5.6	Tropical Cyclones of the Indian Ocean	253
5.6.1	Tropical Cyclones of the South Indian Ocean	254
5.6.2	Tropical Cyclones of the North Indian Ocean	264
5.7	Mesoscale Weather Systems	285
5.7.1	Regions Where Squall Lines Occur	285
5.7.2	Meteorological Aspects	285
5.7.3	Squall Line Forcing Terms for Storm Surge Calculation	287
6.	Storm Surges generated by Tropical Cyclones – Case Studies	291
6.1	North America	291
6.1.1	East Coast of U.S.A	291
6.1.2	Gulf of Mexico Coast (Excluding Florida Coast)	304
6.1.3	Storm Surges along the Coast of Florida	310
6.1.4	Lake Okeechobee	312

6.1.5	Galveston Bay	324
6.1.6	Pamlico Sound and Cape Fear Estuary	328
6.1.7	Chesapeake Bay	329
6.1.8	Coast of New Jersey	334
6.1.9	Storm Surges in the New York Bight	336
6.1.10	Storm Surges in New York Bay	338
6.1.11	Narragansett Bay	339
6.1.12	Hawaii	341
6.1.13	Mexico	343
6.2	Central and South America Including the Caribbean	334
6.2.1	Caribbean Sea Region	334
6.2.2	Barbados	334
6.3	North Indian Ocean	347
6.3.1	Bay of Bengal	347
6.3.2	Arabian Sea	380
6.4	South West Indian Ocean	387
6.4.1	Storm Surges in Malagasy Republic (Madagascar)	387
6.5	South East Indian Ocean	390
6.5.1	Numerical Models and Results	390
6.6	South West Pacific Ocean	393
6.6.1	New Zealand	393
6.6.2	Australia	393
6.7	Western Tropical Pacific	400
6.7.1	Marianas, American Samoa, Solomon Islands, and Tonga	400
6.8	Western Pacific Ocean	411
6.8.1	China	411
6.8.2	Japan	422
6.8.3	South Korea	432
6.8.4	Philippines	437
6.8.5	Vietnam	443
6.8.6	Thailand	448
7.	Storm Surges Generated by Extra-Tropical Cyclones - Case Studies	455
7.1	North America	455
7.1.1	Errors in the Specification of Wind Fields	456
7.1.2	Great Lakes	457
7.1.3	East Coast of Canada	457
7.2	South America	462
7.3	Storm Surges in Europe	463
7.3.1	North Sea	463
7.3.2	Baltic Sea	488
7.3.3	Irish Sea	493
7.3.4	Mediterranean Sea	499
7.3.5	European Part of the Atlantic Ocean	503
7.3.6	Adriatic Sea	503
7.3.7	Aegean Sea	506
7.3.8	Black Sea, the Okhotsk Sea and the Pacific	508
7.3.9	Storm Surge Forecasting	510
7.3.10	Modelling	520
7.4	Asia	538
7.5	Australia	542
7.6	Oceanic Regions	546
8.	Impact of Climate Change and Sea Level Rise on Storm Surges	547
8.1	The Greenhouse Gases	547
8.2	Global Change	550
8.2.1	Effects	552
8.2.2	Ocean circulation	553
8.2.3	Temperature	553
8.2.4	Hydrology	553

8.2.5	Mid-latitude storms	553
8.2.6	Hurricanes/Tropical cyclones	553
8.2.7	El Nino-Southern Oscillation	553
8.3	Sea-Level Rise	554
8.3.1	Reasons of Sea-Level Rise	554
8.3.2	Has Sea Level-Risen?	554
8.3.3	Global mean Sea-Level Projections	555
8.4	Possible Impact on the Intensity and Frequency of Cyclones	556
8.5	ENSO and Tropical Cyclone Activity	559
8.5.1	Impact on Tropical Cyclone Frequency	559
8.5.2	Impact on Tropical Cyclone Tracks	561
8.6	Possible Implications of Sea-Level Rise on Storm Surges	566
8.6.1	Bay of Bengal	567
8.6.2	Arabian Sea and Maldives	573
8.6.3	Persian Gulf, Red Sea and the Mediterranean Sea	573
8.6.4	European Seas	574
8.6.5	The Americas	576
8.6.6	Australia	576
8.6.7	China	578
9.	References	581