

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <http://www.researchgate.net/publication/276205166>

# Wissenschaft und Kunst der Modellierung (Science and Art of Modelling) – Kieler Zugang zur Definition, Nutzung und Zukunft

BOOK · MAY 2015

READS

98

34 AUTHORS, INCLUDING:



**Bernhard Thalheim**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

343 PUBLICATIONS 2,272 CITATIONS

SEE PROFILE



**Heidrun Allert**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

52 PUBLICATIONS 147 CITATIONS

SEE PROFILE



**Christoph Richter**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

53 PUBLICATIONS 167 CITATIONS

SEE PROFILE



**Christoph Schranz**

Hamilton Medical

32 PUBLICATIONS 53 CITATIONS

SEE PROFILE

Science and Art of Modelling

# **Wissenschaft & Kunst der Modellierung**

—

Kieler Zugang zur Definition, Nutzung und Zukunft

Herausgegeben von  
Bernhard Thalheim und Ivor Nissen

1. Auflage

**DE GRUYTER**

Models are one of the main instruments in scientific research. Disciplines have developed a different model understanding of the notion, function and purpose. We thus need a systematic approach in order to understand, to build and to use a model. This book gives an insight into the discipline modelling know-how in Kiel and is a first starting point to develop a general model approach that generalizes and combines for an inter disciplinary use.

Modelle sind wichtige Instrumente in der wissenschaftlichen Forschung. Die Disziplinen haben unterschiedliche Modell-Verständnisse vom Begriff, der Funktion und vom Zweck entwickelt. Wir benötigen einen systematischen Ansatz, um zu verstehen, wie Modelle entwickelt und eingesetzt werden. Dieses Buch gibt einen Einblick in das disziplinäre Know-how in Kiel und ist Ausgangspunkt zur Kombination und Verallgemeinerung in interdisziplinären Anwendungen.

ISBN 978-1-5015-1040-3  
e-ISBN (PDF) 978-1-5015-0123-4  
e-ISBN (EPUB) 978-1-5015-0125-8  
ISSN 2198-2066

**Library of Congress Cataloging-in-Publication Data**

A CIP catalog record for this book has been applied for at the Library of Congress.

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

© 2015 Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston  
⊗ Gedruckt auf säurefreiem Papier  
Printed in Germany

[www.degruyter.com](http://www.degruyter.com)

# Inhalt

Vorwort — VII

## Teil I: Bedeutung, Entwicklung und Einsatz

- 1 Einleitung — 3**
  - 1.1 Warum dieses Buch — 3
  - 1.2 Modellierung als ein Fachgebiet — 4
  - 1.3 Charakterisierung des Modellbegriffs — 6
  
- 2 Modelle, Modellieren, Modellierung - eine Kieler Begriffsbestimmung — 29**
  - 2.1 Modell — 29
  - 2.2 Modellieren — 33
  - 2.3 Modellierung — 35
  - 2.4 Modelle, Modellieren und Modellierung als Einheit — 35
  
- 3 Übersicht zu Forschungen zu Modellen, zum Modellieren und zur Modellierung — 37**
  - 3.1 Top-Down-Ansätze — 37
  - 3.2 Bottom-Up-Ansätze — 39
  
- 4 Die Forschungsagenda — 43**
  - 4.1 Überblick zur interdisziplinären Forschung in diesem Buch — 43

## Teil II: Modelle in den Wissenschaften

- 5 Modellierung als sozio-materielle Praktik — 49**
  - 5.1 Kontext und Verortung: Die Disziplin und ihre Besonderheiten — 49
  - 5.2 Modelle als epistemische Artefakte — 52
  - 5.3 Modellierung als sozio-materielle Praktik — 55
  - 5.4 Die Wirksamkeit der Modellierung sozio-technischer Systeme — 58
  - 5.5 Die materiale Qualität von Artefakten in Gestaltungsprozessen — 60

**X — Inhalt**

- 5.6 Ein Modell als Katalysator — 63
- 5.7 Ein Modell als Mittel der Überzeugung — 63
- 5.8 Fazit — 64
  
- 6 Methodenbasierte mathematische Modellierung mit Relationenalgebren — 67**
  - 6.1 Einleitung — 67
  - 6.2 Die mathematische Modellierung — 74
  - 6.3 Relationenalgebra — 81
  - 6.4 Relationales Modellieren und Entwickeln — 86
  - 6.5 Ein Beispiel aus der Praxis — 91
  - 6.6 Einige weitere Anwendungsbeispiele — 97
  - 6.7 Einordnung in eine allgemeine Theorie der Modellierung — 99
  
- 7 Das Modell als Medium. Wissenschaftsphilosophische Überlegungen — 107**
  - 7.1 Instrumental turn — 109
  - 7.2 Modell und Experiment — 112
  - 7.3 Modellieren als technisches Tun, das Modell als technisches Ding — 119
  - 7.4 Simulation: medientheoretisch, differenzphilosophisch, computertechnologisch — 122
  - 7.5 Ansätze einer medialen Epistemologie des Modells — 131
  
- 8 Wissenschaftliches Rechnen: Simulationen mittels mathematischer Modelle — 139**
  - 8.1 Einleitung — 139
  - 8.2 Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit — 140
  - 8.3 Mehrkörpersysteme und numerische Approximation — 142
  - 8.4 Vielkörpersysteme und schnelle Summation — 145
  - 8.5 Grundwasserströmung — 148
  - 8.6 Lineare Gleichungssysteme — 151
  - 8.7 Parallelisierung — 153
  - 8.8 Zusammenfassung — 155
  
- 9 Modelle in der Trainingswissenschaft — 159**
  - 9.1 Einleitung — 159
  - 9.2 Antagonistische Trainings-Wirkungs-Modelle — 160
  - 9.3 Das fitness-fatigue-Modell — 161
  - 9.4 Das Metamodell LeiPot — 162

9.5	Das SimBEA-Modell —	165
9.6	Modellkalibrierung und Modellprüfung —	167
9.7	Anwendungsbereiche —	169
<b>10</b>	<b>Der Blick des Philologen. Modelle ‚Literatur als Text‘ in der Klassischen Philologie —</b>	<b>175</b>
10.1	Einleitung —	175
10.2	Das Modell ‚Literatur als Text‘ und die Gattung der römischen Elegie —	177
10.3	Zusammenfassung —	213
<b>11</b>	<b>Modelle in der Archäologie —</b>	<b>219</b>
11.1	Einleitung und Forschungsgeschichte —	219
11.2	Latente paradigmatische Modelle —	225
11.3	Explizite Modelle von Raumstrukturen in der Archäologie —	235
11.4	Zusammenfassung —	246
<b>12</b>	<b>Astrophysikalische Modellbildung am Beispiel aktiver galaktischer Kerne —</b>	<b>251</b>
12.1	Modellbildung in der Astrophysik —	251
12.2	Die Zentren aktiver Galaxien —	255
12.3	Modellierung von Akkretionsscheiben —	258
<b>13</b>	<b>Modelle in der Weltraumphysik —</b>	<b>265</b>
13.1	Einleitung —	265
13.2	Plasmaphysikalische Modelle —	266
13.3	Numerische Modelle —	270
13.4	Beispiele —	274
<b>14</b>	<b>Klimamodelle —</b>	<b>281</b>
14.1	Einführung —	281
14.2	Von der Klima- zur Erdsystemforschung —	282
14.3	Klimaschwankungen —	286
14.4	Klimavorhersagbarkeit —	287
14.5	Geschichte der Klimamodellierung —	291
14.6	Zirkulationsmodelle —	292
14.7	Schlussbemerkung —	303
<b>15</b>	<b>Die Welt im Modell. Zur Geburt der systematischen Modellierung in der Antike —</b>	<b>307</b>

**XII — Inhalt**

- 15.1 Einleitung — **307**
- 15.2 Ein modelltheoretischer Ansatz — **308**
- 15.3 Aspekte der Modellnutzung in der Antike — **313**
- 15.4 Einige Fragen zur Erschließung der antiken Modellierungstätigkeit — **323**
- 15.5 Fazit — **325**
  
- 16 Modelle in der Kommunikationstechnik — 329**
- 16.1 Darstellung und Abgrenzung des Fachgebiets — **329**
- 16.2 Motivation für die Modellierung — **330**
- 16.3 Klassifizierung und Detailbeschreibung der Modelle — **331**
- 16.4 Fazit — **345**
  
- 17 Küstenmodelle: Stand der Technik und zukünftige Entwicklung — 347**
- 17.1 Einleitung — **347**
- 17.2 Prozessbasierte Modelle im Küstenbereich — **349**
- 17.3 Aufbau von Küstenmodellen — **351**
- 17.4 Naturdaten, Erfordernisse und Defizite — **352**
- 17.5 Qualifizierung der Modellgüte — **355**
- 17.6 Strategien zur Verbesserung der Modellgüte — **357**
- 17.7 Anwendungsbeispiele — **359**
- 17.8 Zukünftige Entwicklungen — **362**
  
- 18 Hierarchische Modellsysteme zur Optimierung der Beatmungstherapie — 369**
- 18.1 Einleitung — **369**
- 18.2 Modellselektion — **381**
- 18.3 Modellkombination — **383**
- 18.4 Zusammenfassung und Ausblick — **384**
  
- 19 Hydroakustische Modellierung — 391**
- 19.1 Einleitung — **391**
- 19.2 Computergestützte Modellierung mittels Numerik — **392**
- 19.3 Modellierung durch Tank-Experimente — **403**
- 19.4 Modellierung durch Seeexperimente — **404**
- 19.5 Hybrid-Modellierung — **404**
- 19.6 Zusammenfassung — **405**
  
- 20 Modellierung von Regeln für die Prüfung von Prozessmodellen — 407**
- 20.1 Einleitung — **407**

20.2	Geschäftsprozessmodellierung mit ARIS —	<b>408</b>
20.3	Regelbasierte Validierung von Geschäftsprozessmodellen —	<b>412</b>
20.4	Business Application Modeler (BAM) – Validierungskonzept —	<b>414</b>
20.5	Wiederverwendung von Regeln durch Abstraktion —	<b>420</b>
20.6	Verwandte Arbeiten —	<b>425</b>
20.7	Zusammenfassung —	<b>427</b>
<b>21</b>	<b>Kohärente Multi-Modell-Entwicklung —</b>	<b>431</b>
21.1	Überblick —	<b>431</b>
21.2	Modell-Suiten —	<b>435</b>
21.3	Spezifikation und Nutzung von Modell-Suiten —	<b>437</b>
21.4	Werkzeugunterstützung —	<b>439</b>
21.5	Zusammenfassung —	<b>453</b>
<b>22</b>	<b>Mehrebenensysteme in der Biomedizin —</b>	<b>455</b>
22.1	Die Suche nach Organisationsprinzipien —	<b>455</b>
22.2	Raum-zeitliche Modellierung —	<b>461</b>
22.3	Diskussion —	<b>469</b>
<b>23</b>	<b>Modellierung von Tierseuchen —</b>	<b>475</b>
23.1	Einleitung —	<b>475</b>
23.2	Epidemiologischer Hintergrund —	<b>475</b>
23.3	Anwendung von Simulationsmodellen —	<b>477</b>
23.4	Grundzüge eines Tierseuchenmodells —	<b>478</b>
23.5	Stochastik in den Tierseuchenmodellen —	<b>480</b>
23.6	Netzwerke zur Modellierung von Kontakten —	<b>480</b>
23.7	Validierung von Tierseuchenmodellen —	<b>482</b>
23.8	Zusammenfassung —	<b>483</b>

### Teil III: **Ausblick auf die Kunst der Modellierung**

<b>24</b>	<b>Ein neuer Modellbegriff —</b>	<b>491</b>
24.1	Der Forschungsauftrag —	<b>493</b>
24.2	Das Modell als Instrument —	<b>496</b>
24.3	Bewertung eines Modells —	<b>532</b>
24.4	Der Cargo eines Modells —	<b>539</b>
24.5	Zusammenfassung —	<b>544</b>



**XIV — Inhalt**

<b>25</b>	<b>Fallstudien zum Modellbegriff — 549</b>
25.1	Modellbegriffe in der Informatik — 549
25.2	Figurative Modelle — 583
<b>26</b>	<b>Bestandsaufnahme und Mehrwert — 603</b>
26.1	Im Anfang war das Wort — 603
26.2	Logos und der Modellbegriff — 604
<b>27</b>	<b>The Notion of a Model — 615</b>
27.1	The Conception of the Model — 615
27.2	Properties of Models — 616
	<b>Synonyme für die Eigenschaften — 619</b>
	<b>Liste der Autoren — 623</b>
	<b>Stichwortverzeichnis — 625</b>

## 27 The Notion of a Model

*Definition:* A model is a well-formed, adequate, and dependable instrument that represents origins. Its criteria of well-formedness, adequacy, and dependability must be commonly accepted by its community of practice within some context and correspond to the functions that a model fulfills in utilisation scenarios and use spectra. As an instrument, a model is grounded in its community's sub-discipline and is based on elements chosen from the sub-discipline.

### 27.1 The Conception of the Model

Science and technology widely uses models in a variety of in utilisation scenarios. Models function as an instrument in some utilization scenarios and a use spectrum. Their function in these scenarios is a combination of functions such as explanation, optimization-variation, validation-verification-testing, reflection-optimization, exploration, hypothetical investigation, documentation-visualization, and description-prescription as a mediator between a reality and an abstract reality that developers of a system intend to build. The model functions determine the *purposes* of the deployment of the model.

Models have several *essential properties* that qualify an instrument as a model (Tha12; Tha14):

- An instrument is *well-formed* if it satisfies a well-formedness criterion.
- A well-formed instrument is *adequate* for a collection of origins if (i) it is analogous to the origins to be represented according to some analogy criterion, (ii) it is more focused (e.g. simpler, truncated, more abstract or reduced) than the origins being modelled, and (iii) it sufficient to satisfy its purpose.
- Well-formedness enables an instrument to be *justified*: (i) by an empirical corroboration according to its objectives, supported by some argument calculus, (ii) by rational coherence and conformity explicitly stated through formulas, (iii) by falsifiability that can be given by an abductive or inductive logic, and (iv) by stability and plasticity explicitly given through formulas.
- The instrument is *sufficient* by a *quality* characterisation for internal quality, external quality and quality in use or through quality characteristics (Tha10) such as correctness, generality, usefulness, comprehensibility, parsimony, robustness, novelty etc. Sufficiency is typically combined with some assurance evaluation (tolerance, modality, confidence, and restrictions).

- A well-formed instrument is called *dependable* if it is sufficient and is justified for some of the justification properties and some of the sufficiency characteristics.
- An instrument is called **model** if it is *adequate* and *dependable*. The adequacy and dependability of an instrument is based on a *judgement* made by the community of practice.
- An instrument has a *background* consisting of an undisputable grounding from one side (paradigms, postulates, restrictions, theories, culture, foundations, conventions, authorities) and of a disputable and adjustable basis from other side (assumptions, concepts, practices, language as carrier, thought community and thought style, methodology, pattern, routines, commonsense).
- A model is used in a *context* such as discipline, a time, an infrastructure, and an application.

Not only should a model faithfully represent a collection of origins by being well-formed, adequate, and dependable, it should also provide facilities or methods for its use. A model is *functional* if there are methods for utilization of the instrument to achieve the objectives for which an instrument might serve. Typical task objectives include defining, constructing, exploring, communicating, understanding, replacing, substituting, documenting, negotiating, replacing, optimizing, validating, verifying, testing, reporting, and accounting. We call a model *effective* if it can be deployed according to its objectives.

## 27.2 Properties of Models

Models satisfy several properties that make them functional and effective (Mah08; Mah15; Sta73; Tha10; Tha11; Tha12; Tha14):

- (1) *Mapping* property: the model has an origin and can be based on a mapping from the origin to the instrument.
- (1') *Analogy* property: the model is analogous to the origins based on some analogy criterion.
- (2) *Truncation (reduction)* property: the model lacks some of the ascriptions made to the origin and thus functions as an Aristotelian model by abstraction by disregarding the irrelevant.
- (3) *Pragmatic* property: the model use is only justified for particular model users, the tools of investigation, and the period of time.
- (4) *Amplification* property: models use specific extensions which are not observed in the original.

- (5) *Idealisation* property: modelling abstracts from reality by scoping the model to the ideal state of affairs.
- (6) *Carrier (cargo)* property: models reflect a conception on origins based on the capacity of a language and are filled with anticipation. They carry a cargo (Mah08).
- (6') *Utilisation* property: the model functions well within its intended scenarios of usage according to its capacity and potential.
- (7) *Divergence* property: models (e.g. Galilean models) are developed for improving divergence, deviation, discrepancy the physical world or for inclusion of visions of better reality, e.g. for construction via transformation.
- (8) *Added value* property: models provide a value or benefit based on their utility, capability and quality characteristics.
- (9) *Purpose* property: models are governed by the purpose. The model preserves the purpose.

## Literatur

- [Mah08] B. Mahr. Cargo. Zum Verhältnis von Bild und Modell. In I. Reichle, S. Siegel, and A. Spelten, editors, *Die Wirklichkeit visueller Modelle*, pages 17–40. Wilhelm Fink Verlag, München, 2008.
- [Mah15] B. Mahr. Modelle und ihre Befragbarkeit - Grundlagen einer allgemeinen Modelltheorie. *Erwägen-Wissen-Ethik*, forthcoming, 2015.
- [Sta73] H. Stachowiak. *Allgemeine Modelltheorie*. Springer, 1973.
- [Tha10] B. Thalheim. Towards a theory of conceptual modelling. *Journal of Universal Computer Science*, 16(20):3102–3137, 2010.  
[http://www.jucs.org/jucs\\_16\\_20/towards\\_a\\_theory\\_of](http://www.jucs.org/jucs_16_20/towards_a_theory_of).
- [Tha11] B. Thalheim. The theory of conceptual models, the theory of conceptual modelling and foundations of conceptual modelling. In *The Handbook of Conceptual Modeling: Its Usage and Its Challenges*, chapter 17, pages 547–580. Springer, Berlin, 2011.
- [Tha12] B. Thalheim. The science and art of conceptual modelling. In A. Hameurlain et al., editor, *TLDKS VI*, number 7600 in LNCS, pages 76–105. Springer, Heidelberg, 2012.
- [Tha14] B. Thalheim. The conceptual model  $\equiv$  an adequate and dependable artifact enhanced by concepts. In *Information Modelling and Knowledge Bases*, volume XXV of *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, 260, pages 241–254. IOS Press, 2014.

## Liste der Autoren

**Heidrun Allert**, Kapitel 5, *Institut für Pädagogik, Abteilung Medienpädagogik/Bildungsinformatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Rudolf Berghammer**, Kapitel 6, *Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Christine Blättler**, Kapitel 7, *Philosophisches Seminar, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Steffen Börm**, Kapitel 8, *Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Jan-Peter Brückner**, Kapitel 9, *Institut für Sportwissenschaft, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Gerd Brass**, Kapitel 17, *Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Thorsten Burkard**, Kapitel 10, *Institut für Klassische Altertumskunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Sven Feja**, Kapitel 20, *Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Martin Hinz**, Kapitel 11, *Graduiertenschule „Entwicklung menschlicher Gesellschaften in Landschaften“, Institut für Ur- und Frühgeschichte, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Peter Adam Höher**, Kapitel 16, *Institut für Elektrotechnik und Informationstechnik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Tobias F. Illenseer**, Kapitel 12, *Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Andreas Kopp**, Kapitel 13, *Heliosphärische Astroteilchenphysik, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Jörn Kretschmer**, Kapitel 18, *Institut für Technische Medizin (ITeM), Hochschule Furtwangen, VS-Schwenningen, Deutschland; Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel*

**Mojib Latif**, Kapitel 14, *GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und Universität Kiel*

**Claas Lattmann**, Kapitel 15, *Institut für Klassische Altertumskunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel / Department of Classics, Emory University, Atlanta*

**Jochen Leibrich**, Kapitel 16, *Institut für Elektrotechnik und Informationstechnik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Roberto Mayerle**, Kapitel 17, *Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Knut Möller**, Kapitel 18, *Institut für Technische Medizin (ITeM), Hochschule Furtwangen, VS-Schwenningen, Deutschland; Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel*

**Oliver Nakoinz**, Kapitel 11, *Institut für Ur- und Frühgeschichte, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

**Sven Niemand**, Kapitel 20, *Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

- Ivor Nissen**, Abschnitt I, Kapitel 19, Abschnitt III, *Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD71), Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik, (FWG), Kiel*
- Elke Pulvermüller**, Kapitel 20 *Institut für Informatik, Universität Osnabrück*
- Christoph Richter**, Kapitel 5, *Institut für Pädagogik, Abteilung Medienpädagogik/Bildungsinformatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*
- Axel Riedlinger**, Kapitel 18, *Institut für Technische Medizin (ITeM), Hochschule Furtwangen, VS-Schwenningen, Deutschland; Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel*
- Dirk Schädler**, Kapitel 18, *Institut für Technische Medizin (ITeM), Hochschule Furtwangen, VS-Schwenningen, Deutschland; Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel*
- Christoph Schranz**, Kapitel 18, *Institut für Technische Medizin (ITeM), Hochschule Furtwangen, VS-Schwenningen, Deutschland; Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel*
- Michael Skusa**, Kapitel 21, *Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*
- Andreas Speck**, Kapitel 20, *Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*
- Bernhard Thalheim**, Abschnitt I, Kapitel 6, 21, Abschnitt III, *Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*
- Tom Theile**, Kapitel 22, *Institut für Informatik, Lehrstuhl für Systembiologie & Bioinformatik, Universität Rostock*
- Imke Traulsen**, Kapitel 23, *Institut für Tierzucht und Tierhaltung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*
- Norbert Weiler**, Kapitel 18, *Institut für Technische Medizin (ITeM), Hochschule Furtwangen, VS-Schwenningen, Deutschland; Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel*
- Sören Witt**, Kapitel 20, *Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*
- Olaf Wolkenhauer**, Kapitel 22, *Institut für Informatik, Lehrstuhl für Systembiologie & Bioinformatik, Universität Rostock und Stellenbosch Institute for Advanced Study (STIAS), Wallenberg Research Centre, Stellenbosch University, Südafrika*