

Theorie und Praxis der archäologischen Modellierung

Chiara G. M. Girotto , Oliver Nakoinz

Zusammenfassung Die Bedeutung des Modellbegriffs in der Archäologie nimmt stetig zu, während sich ein gemeinsames Verständnis des Modellbegriffs bislang nicht einstellt und Missverständnisse und Fehlinterpretationen von Modellen noch an der Tagesordnung sind. Dieser Beitrag soll ein wenig mehr Klarheit schaffen und hin zu einem gemeinsamen Modellverständnis in der Archäologie führen. Zunächst wird die große Bandbreite unterschiedlicher Modelle in der Archäologie aufgezeigt und David L. Clarkes Modellkonzept als Ausgangspunkt einer allgemeinen Auseinandersetzung mit Modellen in der Archäologie beschrieben. Vor diesem Hintergrund werden die drei allgemeinen Modellkonzepte von Alfred Tarski, Herbert Stachowiak und Bernhard Thalheim vorgestellt, Modelltypen und Modellzwecke besprochen sowie vier Paradigmen der Modellnutzung präsentiert. Nach dieser Einführung in den Modellbegriff wird die Modellbewertung thematisiert. Schließlich wird die Praxis der Modellnutzung am Beispiel der Modellierung komplexer Systeme besprochen. Leitlinien der Nutzung quantitativer Systemmodelle und Perspektiven der archäologischen Modellierung schließen diesen Beitrag ab.

Schlüsselbegriffe Theorie; Modellevaluation; Modellentwicklung; Komplexität; Chaos

Abstract The importance of the concept of the model in archaeology is steadily increasing, while a common understanding of this concept has not yet emerged, and misunderstandings and misinterpretations of models remain commonplace. This article aims to provide more clarity, and leads toward a common understanding of models in archaeology. First, the wide range of different models in archaeology is pointed out, and David L. Clarke's conception of models is described as a starting point for a general discussion of models in archaeology. Against this background, the three main model concepts of Alfred Tarski, Herbert Stachowiak and Bernhard Thalheim are introduced, model types and model purposes are discussed, and four paradigms

of model use are presented. Following this introduction to the concept of models, model evaluation is addressed. Finally, the practice of model use is discussed, using the example of modelling complex systems. Guidelines for the use of quantitative-system models and perspectives on archaeological modelling conclude this contribution.

Keywords Theory; Model Evaluation; Model Generation; Complexity; Chaos

Einleitung

Der interdisziplinäre Modellbegriff zählt zu den komplexesten Themen und Diskursen der Gegenwart. Viele Disziplinen und subdisziplinäre Gruppen und einige metadisziplinäre Gemeinschaften verwenden spezifische oder gar mehrere Modellbegriffe. Dieses vermeintliche Chaos enthält eine durchaus berechtigte Vielfalt an Varianten des Modellbegriffs, die ein komplexes Ganzes bilden. Hierin enthalten sind vage, allgemeine Modelle, die alle oder viele der anderen Modellbegriffe subsumieren, sowie sehr spezielle Modellbegriffe, die in bestimmten Zusammenhängen nutzbar und produktiv sind. Das Problem der Unüberschaubarkeit dieser Vielfalt und eine gewisse disziplinäre Arroganz führen dazu, dass mitunter nur die eigenen Ansätze akzeptiert und alle anderen per se abgelehnt werden. Hiermit wird die integrative Kraft des Modellbegriffs unterminiert und seine Anwendbarkeit stark eingeschränkt.

Dieser Beitrag versucht zunächst, die genannte Vielfalt aufzuzeigen, um dann einzelne Ansätze aus der Archäologie sowie aus anderen Disziplinen näher zu beleuchten. Natürlich kann der vorliegende Artikel nur einen Einblick bieten und keine umfassende Darstellung auch nur der archäologisch relevanten Modellbegriffe vorlegen. Im zweiten Teil des Beitrags steht die Gruppe quantitativer Modelle und Modellbegriffe im Mittelpunkt, da sich hier bestimmte Aspekte der Modellnutzung einfacher und konkreter darstellen lassen. Die dahinterstehenden Ideen sind jedoch allgemeingültig.

Modelle spielen gegenwärtig in der Archäologie eine große Rolle, wobei sehr unterschiedliche Positionen gegenüber dem Modellbegriff beobachtet werden können: Ablehnung, Befürwortung und stillschweigende Nutzung. Zudem müssen wir bei der Diskussion des Modellbegriffs und seiner Anwendung die große Bandbreite unterschiedlicher Modellbegriffe im Blick haben, die sich innerhalb und außerhalb der Archäologie finden lässt. Innerhalb der Archäologie besteht kaum Einigkeit darüber, was Modelle sind und wie diese genutzt werden können. Anders als in anderen Wissenschaften, die ebenfalls

häufig zu statistischen Methoden greifen, ist es in der Archäologie unüblich, diese Annahmen und ihre theoretischen Grundlagen darzulegen, zu diskutieren und die intrinsischen Annahmen des Algorithmus in die Interpretation mit einzubeziehen.

Dieser Beitrag verfolgt das Ziel, aufbauend auf einer metadisziplinären Modelltheorie und der archäologischen Verwendung von Modellen, etwas Klarheit bezüglich des Modellbegriffs und der Modellnutzung zu schaffen. In diesem Rahmen ist es notwendig, Definitionen, Nutzungsszenarien und Modellzwecke sowie Aspekte der richtigen und zweckmäßigen Modellnutzung anzusprechen.

Im Fokus dieses Beitrags stehen einerseits eine allgemeine Modelltheorie und andererseits die Nutzung quantitativer Modelle. Während ersteres den Rahmen für eine archäologische Modellnutzung schafft, weisen die quantitativen Modelle oft die größten Probleme und Missverständnisse in der Praxis auf. Ihre Anwendung lässt sich leichter formalisieren, als das für Theorie-Modelle möglich wäre. Manche Überlegungen zu quantitativen Modellen lassen sich jedoch auf andere Modelltypen übertragen. Wir glauben, mit diesen beiden Schwerpunkten einen relativ eingängigen Weg in das komplexe Themenfeld der Modelle und Modellierung gefunden zu haben. Dieser Beitrag soll für eine systematische und sachgemäße Anwendung von Modellen in der Archäologie sensibilisieren und ein grundlegendes Verständnis der unterschiedlichen Arten von Modellen ermöglichen, kann aber kein Handbuch der archäologischen Modellierung sein. Beispiele hierfür finden sich in der zitierten Literatur.

Das weite Feld archäologischer Modelle

In der Archäologie werden unterschiedlichste Modelltypen genutzt. Einige Beispiele sollen die Breite dieses Feldes aufzeigen und eine Vorstellung von deren Heterogenität geben. Zunächst können wir Objektmodelle als archäologische Funde nennen. Diese kommen vielfach vor, seien es nun beispielsweise Terrakotta-Modelle (Günel 2011) oder Schiffmodelle (Reisner 1913). Objektmodelle, die in der Archäologie erstellt werden, sind in Ausstellungen oder im Gelände zu finden. Ein Modell der Mauer von Preist kann als Beispiel angeführt werden (Nortmann 1993). Diesen stehen 3D-Modellen und virtuellen Modellen nahe, die Gleiches im digitalen Raum ermöglichen (Bocchi u. a. 2013; Zotti u. a. 2018). Konzeptuelle Modelle beschäftigen sich hingegen nur mit inhaltlichen Zusammenhängen unterschiedlicher Entitäten. Sie befassen sich beispielsweise mit der Gesellschaftsstruktur (z. B. Osterwalder-Maier 1990; Nortmann 2002). Quantitative und mathematische Modelle

stellen darüber hinaus quantitative Zusammenhänge dar und reichen von Gravitationsmodellen (Diachenko – Menotti 2012) und Demographiemodellen (Weiss 1973) über Neolithisierungsmodelle (Lemmen u. a. 2011) und Netzwerkmodelle (Valente 1995) bis hin zu Klimamodellen (Herterich 1991) sowie Identitätsmodellen (Popa 2018). Im geographischen Bereich dominieren Landschaftsmodelle, wirtschaftsgeographische Modelle wie die *Carrying Capacity* (Zubrow 1975) und Archäoprognose-Modelle (Kvamme 2011).

Clarke und der Modellbegriff in der Archäologie

In der Archäologie werden Modelle seit der *New Archaeology* explizit verwendet und gewinnen zunehmend an Bedeutung, wie die Verwendung des Begriffs Modell im Zusammenhang mit archäologischen Publikationen zeigt (Nakoinz – Knitter 2016, Abb. 1.1). Die große Bandbreite von Modelltypen in der Archäologie und eine eher schwach ausgeprägte ‚Modellkultur‘ fördern jedoch Missverständnisse und unzulängliche Anwendungen des Modellkonzeptes im Allgemeinen und konkreter Modelle im Besonderen. David L. Clarke (1972) war der Erste, der sich in der Archäologie explizit mit Modelltheorie auseinandergesetzt hat. Dies geschah insbesondere in einem Tagungsband, den er 1972 mit dem Titel *Models in Archaeology* herausgab, in Anlehnung an das als Vorbild dienende und einige Jahre zuvor von Peter Haggett zusammen mit Richard Chorley herausgegebene *Models in Geography* (Chorley – Haggett 1967). Clarkes Konzept soll an dieser Stelle etwas detaillierter vorgestellt werden, da es nachhaltig das Verständnis von Modellen in der Archäologie geprägt hat.

Clarke sah Modelle als Gerüst zur Simplifizierung und Strukturierung von Daten mit dem Ziel, darauf Vorhersagen treffen zu können. Durch die Simplifizierung wird der Fokus auf den Teil der Daten gelenkt, von dem angenommen wird, dass er Informationen enthält und themenrelevant ist. Das Rauschen in den Daten, also die nicht informationshaltigen Daten, werden damit ausgeblendet. Die Einordnung in diese Kategorien ist vom Modell selbst abhängig und kann variieren. Er geht davon aus, dass innerhalb einer jeden Disziplin zu Beginn ikonische Erkenntnismodelle (*‘iconic models’*) stehen. Sie veranschaulichen isomorphe, beobachtete Attribute und können in der Archäologie beispielsweise als Verteilungskarten und Histogramme auftreten. Ihr Nutzen besteht in ihrer Generalisierung und prägnanten Dokumentation von Beobachtungen. Auf sie folgen Entsprechungsmodelle (*‘analogue models’*), die die gleichartigen Beobachtungen der ikonischen Modelle in Kontext zu als deckungsgleich wahrgenommenen Erkenntnissen, Funden oder Ereignissen stellen. Beispiele hierfür sind historische, ethnologische

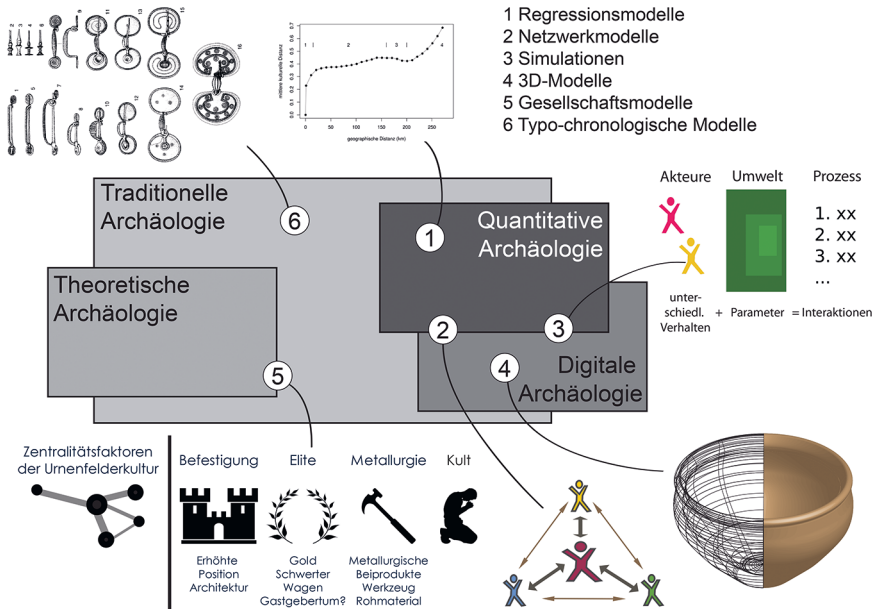


Abb. 1: Modelle in unterschiedlichen Feldern der Archäologie.

oder andere Simulationen. Er nennt sie als die häufigste Form der archäologischen Modellbildung, hält sie jedoch auch für die gefährlichste von allen. Als letzte Kategorie nennt er symbolische Modelle (*'symbolic models'*), bei denen die Beobachtungen in Kontext von berechneten Simulationen stehen. Die Berechnungen können hierbei deterministisch, statistisch, stochastisch oder kanonisch sein und führen zu logischen, mathematischen Annäherungen an die Realität. Letztere Modelle hält er für besonders mächtig, da sie die größten Generalisierungsmöglichkeiten bieten (Clarke 1978, 31–33). Weiterhin beschreibt er basierend auf einem geographischen ein generalisiertes Modell. Es bietet eine Leitlinie, um von einem archäologischen Ausschnitt der realen Welt, der uns aus Grabungen und Datensammlungen bekannt ist, über kontextuelle sowie naturwissenschaftliche, spezifische Objektanalysen zu einer Modellhypothese zu gelangen. Daraufhin können allgemeinere Theorien evaluiert werden, die eine mögliche Interpretation der Daten durch einen Vergleich und eine Prüfung der Anpassungsgüte (*'goodness of fit'*) des Modells mit den neuesten Erkenntnissen erlauben. Schlussendlich kann eine Theorie entwickelt werden, die es erlaubt, Annahmen über die reale Welt zu synthetisieren (Clarke 1978, 32).

Clarkes Modellbegriff ist stark den Konzepten der *New Archaeology* beziehungsweise *Processual Archaeology* verpflichtet und konzentriert sich damit

auf ein bestimmtes Anwendungsfeld, in dem Vorhersagen und statistische Analysen eine große Rolle spielen. Ein zentraler Gedanke insbesondere der frühen *New Archaeology*, und hier hauptsächlich der amerikanischen Variante um Lewis R. Binford (vgl. Binford 1964), war es, Gesetze menschlichen Verhaltens zu ermitteln. Hierzu wurden Modelle erarbeitet, die zu Vorhersagen beziehungsweise zu Hypothesen führten, die ihrerseits anhand archäologischer Beobachtungen verifiziert oder falsifiziert wurden. Dieses Konzept ist den Naturwissenschaften entlehnt und hat sich als einseitig erwiesen, da menschliches Handeln oft zu komplex ist, um anhand einiger Gesetzmäßigkeiten beschrieben zu werden. Wenngleich wir heute zwar von Mustern statt von Gesetzen sprechen und eine etwas andere theoretische Einbettung bevorzugen würden, ist dieses Vorgehen in der Praxis noch immer von Bedeutung. Dieses Modellverständnis deckt aber, wie wir anhand der oben gegebenen knappen Übersicht über Modelle in der Archäologie gesehen haben, lediglich einen Teil archäologischer Modelle ab. Wir wenden uns also im nächsten Abschnitt einem allgemeineren und interdisziplinären Modellkonzept zu, in dem die Modellvarianten, die Clarke bedenkt, als spezielle Varianten erscheinen. Dieses interdisziplinäre Modellkonzept erlaubt darüber hinaus konsistentere Anknüpfungspunkte im Rahmen metadisziplinärer Forschungen.

Der Modellbegriff

Drei Modellkonzepte

Nach der Annäherung an das Thema durch das Aufzeigen der großen Bandbreite des Modellbegriffs und der Beschreibung des forschungsgeschichtlich wichtigen Ansatzes von Clarke im vorangehenden Abschnitt wenden wir uns nun drei Modellkonzepten zu, die im Diskurs der Modelldefinitionen und der allgemeinen Modelltheorie eine wichtige Rolle spielen. Sie stehen für eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze, von denen sich gemeinschafts- oder gar fachübergreifend bislang keiner durchsetzen konnte. Die ausgewählten Konzepte besitzen jedoch alle drei das Potenzial, ein solches übergreifendes Konzept zu sein. Die drei Varianten sind nicht völlig unterschiedlich, sondern haben im Kern ein gemeinsames Verständnis von Modellen. Die Unterschiede bestehen vor allem in den Bezugsrahmen. Der modelltheoretische Modellbegriff geht auf den polnischen Logiker Alfred Tarski (1933; s. a. Hodges 2018) zurück. Nach Tarski ist ein Modell die Realisierung einer Theorie. Diese Definition ist eingebettet in Arbeiten zur Wahrheitstheorie und zu formalen Sprachen. Erst in den 1950er Jahren erlangte dieser Ansatz aufgrund

von zwei Faktoren Bedeutung: Tarski veröffentlichte seine Gedanken erst in dieser Zeit in Englisch, während die Arbeit von 1933 auf Polnisch erschienen war. Hiermit erschloss sich ihm ein wesentlich größerer Kreis Lesender. Wichtiger war jedoch vermutlich, dass in den 1950er Jahren die quantitativen Revolutionen begannen, da nun Computer zur Verfügung standen, die Berechnungen erheblich vereinfachten. Der Bedarf an einer Modelltheorie stieg durch die quantitativen Arbeiten und an einer Theorie formaler Sprachen, wie es Programmiersprachen sind, durch die junge, aber stark expandierende Informatik (vgl. Hellige 2004). Der genannte zeitliche Versatz lässt sich anhand der Schlagworte in der amerikanischen Kongressbibliothek sehr gut verfolgen (Abb. 2).

Für viele spezifische Forschungsfragen war Tarskis Modelldefinition nicht sehr anwender*innenfreundlich, so dass sich vor allem in den 1960er und 1970er Jahren zahlreiche Ansätze entwickelten, um Modelle konkreter zu fassen und breiter nutzbar zu machen. Hierzu zählt unter anderem Clarkes oben besprochener Ansatz. Aber auch der in der Systemtheorie verankerte Ansatz Herbert Stachowiaks (1973) soll hier erwähnt werden. Seine über zwei Seiten gehende formale Definition von Modellen (Stachowiak 1973, 322–323) wird selten zitiert und ist sehr stark mit dem spezifisch systemtheoretischen Forschungsansatz verwoben. Allgemeiner ist und häufig zitiert wird hingegen seine eingängige Charakterisierung von Modellen, die er nutzt, um sich dem Modellbegriff zu nähern. Demzufolge sind Modelle abbildend, vereinfachend und pragmatisch. Diese Charakterisierung steht nicht im Widerspruch zu Tarskis Definition, ist aber wesentlich einfacher in unterschiedlichen Forschungskontexten zu operationalisieren.

Zwar war Stachowiaks systemtheoretischer Ansatz als allgemeine Theorie gedacht, aber als solche wurde sie kaum rezipiert und heute sehen wir in der Systemtheorie eher einen speziellen Forschungsbereich. Gegenwärtig ist also eine andere, umfassendere theoretische Einbettung des Modellbegriffs erforderlich, die nicht derart spezielle Theorien voraussetzt. Hierbei sollte insbesondere die metadisziplinäre Wirkung des Modellbegriffs im Zentrum stehen. Eine fächer- und fakultätsübergreifende Gruppe um den Informatiker Bernhard Thalheim diskutierte den Modellbegriff um 2010 über mehrere Jahre hinweg unter Berücksichtigung der jeweils disziplinären Erfordernisse und einem metadisziplinären Interesse. Auf dieser Grundlage gelang es Thalheim und Ivor Nissen (2015), ein entsprechendes Modellkonzept vorzulegen. Modelle werden hier als Instrumente aufgefasst, die etwas anderes in einem bestimmten Kontext und für einen bestimmten Zweck repräsentieren. Diese Modelle sind in einer bestimmten *Community of Practice* gültig, bauen auf bestimmte Annahmen und Grundlagen auf, sind mit bestimmten Entwicklungs-, Anwendungs- und Validierungsmethoden assoziiert und

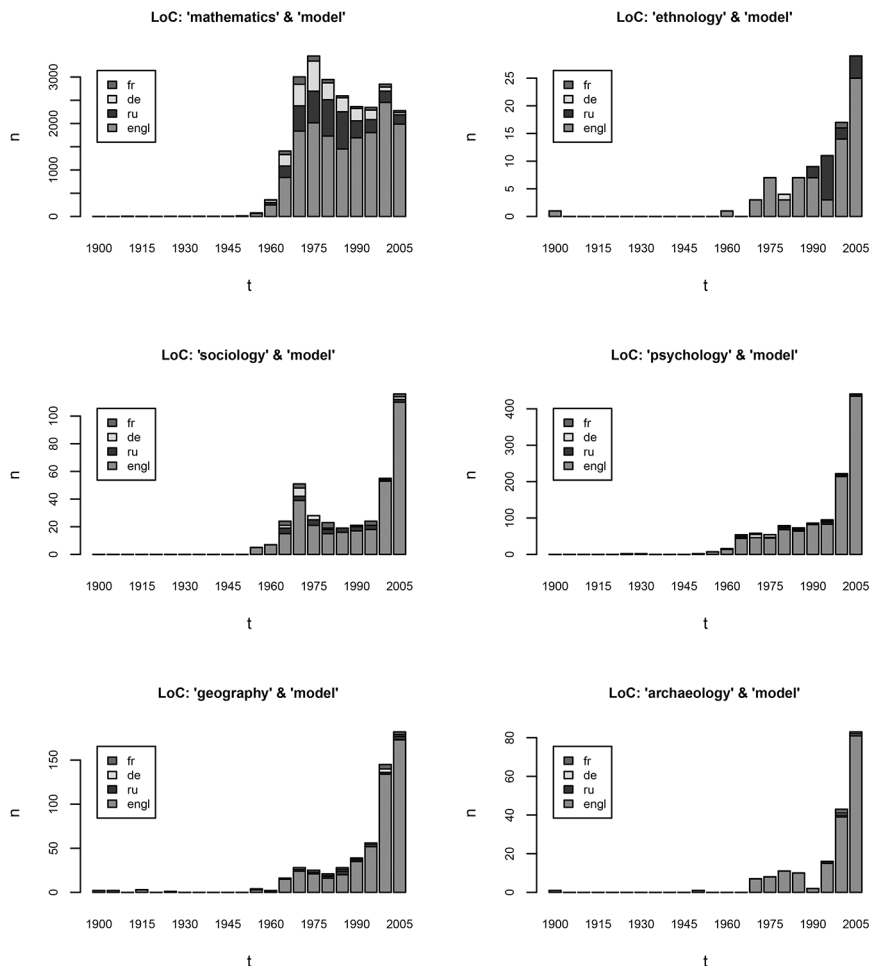


Abb. 2: Das Vorkommen von Schlagworten in der *Library of Congress* (Nakoinz – Knitter 2016, Abb. 1.1).

enthalten Anwendungsszenarien (Abb. 3). Mit diesem Konzept geht das Interesse der Modelltheoretiker*innen von den Modellobjekten über auf die Gemeinschaft der Personen, die Modelle nutzen, die Bedingungen der Modellnutzung und die Praxis des Modellierens. Hiermit wird unter anderem postmoderne Kritik am Modellbegriff, die während der 1970er bis in die 1990er Jahre die Nutzung des vor allem durch Clarke quantitativ geprägten Modellbegriffs eindämmte (Abb. 3), konstruktiv umgesetzt. Zu nennen wäre hier etwa die beschränkte Gültigkeit von Annahmen in bestimmten Gemeinschaften und Nutzungsszenarien.

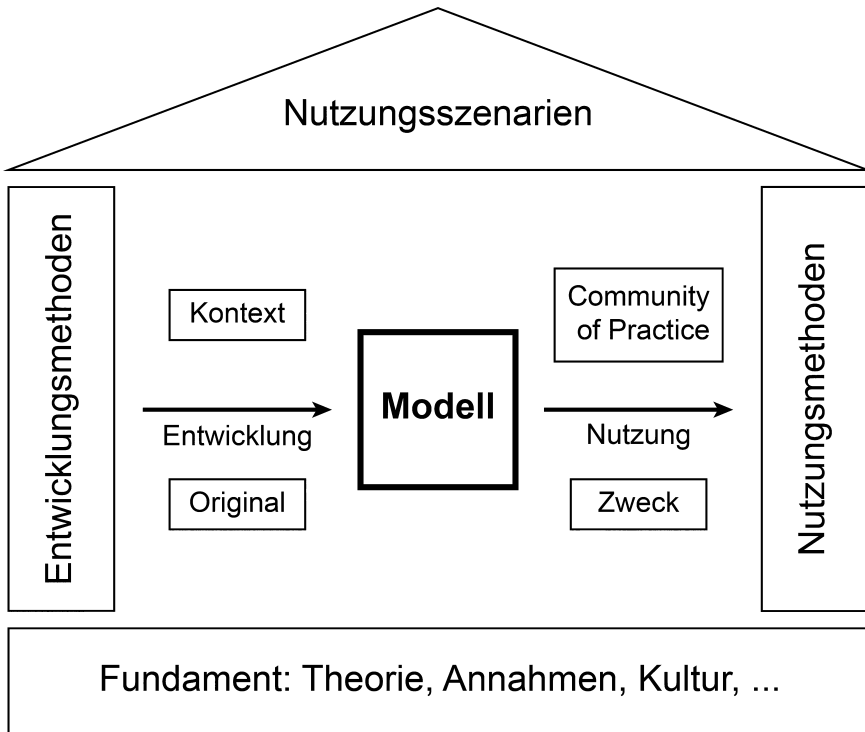


Abb. 3: Das Hausmodell des Modells (überarbeitet n. Thalheim – Nissen 2015).

Modelltypen

Modelle lassen sich in viele unterschiedliche Modelltypen einteilen. Diese Unterteilungen sind relevant, da die unterschiedlichen Modelltypen in unterschiedlicher Weise genutzt werden und verschiedenen Nutzungskonzepten unterliegen. Die ganze Bandbreite wird deutlich, wenn wir uns wie schon oben getan nur einige Modellarten vor Augen halten: digitale und analoge 3D-Modelle von Objekten und Landschaften, Nachbauten prähistorischer Gebäude, agent*innenbasierte Simulationen sozialen Verhaltens, Regressionsmodelle von Siedlungsparametern, Netzwerkmodelle von Regionen, Siedlungen und Individuen, und schließlich konzeptuelle Modelle von *Workflows*, prähistorischen Gesellschaften und methodischen Zusammenhängen. Die Gemeinschaften, die sich mit derartigen Modellen beschäftigen, sind vielfach nur leicht überlappend und das jeweilige Modellverständnis unterscheidet sich gravierend. Hierdurch ist das Verständnis des Zusammenhangs dieser unterschiedlichen Modellbegriffe und damit eines allgemeinen,

umfassenden Modellbegriffs deutlich behindert. Wenn wir nun vom Sammelsurium der Modellbegriffe zu einer Klassifikation übergehen, müssen wir uns der forschungsgeschichtlichen Bedingtheit der einzelnen Modellbegriffe und der daraus resultierenden terminologischen Probleme immer bewusst sein. Gegenüber den einfachen Auflistungen unterschiedlicher Kategorien, wie der eben begonnenen, heben sich einige Modellklassifikationen mit einem besonderen Fokus hervor, die wir im Folgenden kurz skizzieren, da sie für das Verständnis von Modellen und ihrer Nutzung besonders wichtig sind.

Während Modelle von vielen Menschen nur mit rein theoretischen Konstrukten in Verbindung gebracht werden, sind es doch gerade empirische Elemente, die das Arbeiten mit Modellen auszeichnen. Wir können also zwischen theoretischen und empirischen Modellen unterscheiden (Nakoinz – Knitter 2017, 34–35; Abb. 4). Theoretische Modelle konstruieren ihr Modellobjekt auf der Grundlage theoretischer Prinzipien und Überlegungen. Hierdurch ist insbesondere klar, warum das Modellobjekt genau diese Ausprägung hat, die es aufweist – wir kennen die Mechanismen, die zu seiner Entstehung führten. Bei empirischen Modellen hingegen ist die genaue Ausprägung klar, nicht aber die Entstehung und die inneren Zusammenhänge. Bernd Mahr (2008) spricht auch von Modellen *von* (empirische Modelle) und Modellen *für* (theoretische Modelle), um den Abbildungscharakter der ersten und den Vorlagencharakter der zweiten hervorzuheben. Er verbindet theoretische Modelle mit dem Prinzip der Deduktion und empirische Modelle mit dem der Induktion. Für die Forschung ist wichtig, dass beide Modelltypen alleine keine neuen Erkenntnisse im Sinne der empirischen Forschung ermöglichen. Sie können aber Kenntnisse vergegenwärtigen, visualisieren und kommunizieren. Erst die Kombination ermöglicht neue Kenntnisse, indem theoretische Modelle anhand empirischer Daten validiert oder kalibriert werden. Diese Integration theoretischer und empirischer Modelle können wir ganz allgemein als Ab- und Vergleich bezeichnen, bei dem die Prinzipien des theoretischen Modells auf das empirische Modell dann übertragen werden können, wenn beide sich entsprechen. Es muss berücksichtigt werden, dass Modellobjekte nicht *per se* empirisch oder theoretisch sind. Die meisten Modelle enthalten sowohl theoretische als auch empirische Komponenten. Liegt der Nutzungsschwerpunkt auf den theoretischen Elementen, also bestimmen diese die für den Zweck relevanten Teile des Modells, dann handelt es sich um ein theoretisches Modell. Entsprechendes gilt für empirische Modelle. Es ist die Nutzung, die darüber entscheidet, ob ein Modell theoretisch oder empirisch ist. Ein Voronoi-Modell etwa kann empirisch genutzt werden, um die räumliche Verteilung von Siedlungszentren zu repräsentieren. Voronoi-Modelle können aber ebenso verwendet werden, um Grenzen anhand

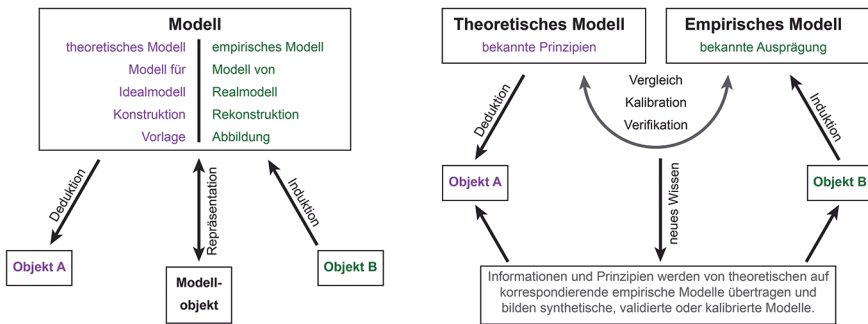


Abb. 4: Empirische und theoretische Modelle (Nakoinz – Knitter 2016, Abb. 2.5).

eines Optimierungsprinzips vorherzusagen oder festzulegen, womit wir es mit einem theoretischen Modell zu tun haben.

Es ist nicht immer einfach, empirische und theoretische Modelle zu unterscheiden und viel schwieriger ist es, die Verwendung eines Modellobjekts als empirisches und/oder theoretisches Modell zu verstehen. Oft wird man aufgrund eigener verdeckter Annahmen nur eine Variante akzeptieren wollen. Am nachvollziehbarsten ist dies vielleicht bei einer Modelltransformation. Nehmen wir als Beispiel ein Regressionsmodell zweier Variablen. Die graphische Darstellung der Beobachtungen als Punkte in einem mathematischen Koordinatensystem ist hier offensichtlich ein empirisches Modell. Die möglichen Regressionskurven stellen zunächst einmal theoretische Modelle dar. Wird die Kurve ausgewählt, die die empirischen Punkte am besten repräsentiert, wird hieraus ein verifiziertes theoretisches Modell. Diese Kurve kann jetzt in einem anderen Kontext ebenso als vereinfachte Repräsentation der empirischen Daten, also als empirisches Modell, verwendet werden, etwa für den Vergleich mit einer weiteren Variablen.

Mitunter werden Modelle im Sprachgebrauch inhaltlich auf Simulationen reduziert, was oft zu Missverständnissen führt, denn Simulationen sind eine Sonderform von Modellen. Simulationen sind pseudoempirische Modelle: Modelle, die auf einem theoretischen Modell beruhen und mit dessen Hilfe sowie anhand von Zufallsdaten oder willkürlichen Elementen das Ergebnis der Simulation in der Form empirischer Daten dargestellt wird. Die Simulationen stehen damit zwischen den theoretischen und empirischen Modellen, sind aber durch das Fehlen einer dominanten wirklich empirischen Komponente klar auf der theoretischen Seite angesiedelt.

Eine gänzlich andere Kategorisierung von Modellen bezieht sich auf deren terminologischen Rahmen. Latente, implizite und explizite Modelle werden in unterschiedlicher Weise mit dem Begriff ‚Modell‘ in Verbindung

gebracht. Explizite Modelle werden ausdrücklich Modelle genannt und im Rahmen einer Modelltheorie genutzt. Regressionsmodelle sind hier ein offensichtliches Beispiel. Implizite Modelle werden nicht Modelle genannt, aber praktisch so genutzt. Oft liegen explizite Modelle zugrunde, die lediglich als Prämisse aufgefasst werden. Hier kann eine Gesellschaftspyramide, die nicht als Modell angesprochen wird, als Beispiel dienen. Latente Modelle hingegen sind Dinge, die sich als Modelle darstellen lassen, nicht oder nur unzureichend als solche angesprochen werden, aber regelhaft zur Anwendung kommen. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn alle Wissenschaftler*innen einer Gemeinschaft bestimmte Voraussetzungen annehmen, ohne diese auszusprechen, sei es, dass diese zu trivial erscheinen oder zu schwierig zu formulieren sind. Der Typochronologie liegt ein entsprechendes Modell zugrunde. Diese Kategorisierung macht deutlich, dass materielle und nicht materielle Gegenstände als Modelle verwendet werden können und dass es letztlich die Praxis der Modellnutzung ist, die etwas zu einem Modell macht. Der terminologische Rahmen der Modelltheorie kann hierbei später unterlegt werden.

Weiterhin können Modelle hinsichtlich ihrer Komplexität (Nakoinz – Knitter 2016, 36–37) beurteilt werden. Einfache Abbildungen stehen hier am Anfang, während Modelle komplexer Systeme das Ende der Skala markieren. Dieser Aspekt ist eng mit der Frage verbunden, wie einfach ein Modell sein darf, um seinen Zweck im Kontext der Forschungsfrage zu erfüllen. Einfache Modelle sind natürlich wünschenswerter, da sie meistens einfacher zu handhaben und leichter zu verstehen sind als komplexe Modelle. Komplexe Modelle können eine komplexe Realität jedoch besser abbilden als Modelle geringer Komplexität. Unglücklicherweise ist es schwer abzuschätzen, wann ein Modell den erforderlichen Komplexitätsgrad besitzt. Oft wird man das erst beurteilen können, wenn ein Modell mit einem zu hohen Komplexitätsgrad für den Forschungszweck entwickelt wurde und man dann erkennt, dass seine Aussagekraft die des einfacheren Modells nicht übersteigt. Wir können erst erkennen, dass die erforderliche Komplexitätsstufe erreicht ist, wenn wir das Modell mit der nächsten Komplexitätsstufe vergleichen. Erst dann wissen wir, ob der Modellzweck hinreichend erfüllt wird. Da beispielsweise die Fördermittel selten dazu ausreichen, deutlich komplexere Modelle zu entwickeln als sie erforderlich wären beziehungsweise dies zumindest nicht im Projektkonzept so dargestellt werden kann, muss die Frage nach der Adäquatheit eines Modells tatsächlich oft faktisch unbeantwortet bleiben. In der Regel begnügt man sich dann mit der Annahme, dass ein Modell mit einer plausiblen Antwort wohl adäquat ist.

Eine weitere Klassifikation von Modellen und zwar mit Fokus auf mathematische Modelle wurde von Kai Velten vorgelegt (Velten 2009). Die

SQM-Modellklassifikation unterscheidet die Facetten oder Dimensionen, Systeme, Zwecke und mathematische Strukturen. Diese Modellklassifikation ist vor allem aus technischer Perspektive gestaltet worden und aus dieser Sicht überaus aussagekräftig und nützlich.

Der Prozess des Modellierens

Die Bedeutung des Modellierungsprozesses ist schon oben hervorgehoben worden und die Strukturierung von Modellen in der Archäologie wurde bereits detailliert in anderen Texten beschrieben (vgl. Nakoinz – Hinz 2015; Nakoinz – Knitter 2016; Nakoinz 2018), so dass in diesem Rahmen ein stärkerer Fokus auf zwei Arbeitsweisen gelegt wird.

Zu Beginn der Erstellung eines jeden Modells steht gewissermaßen eine Reduktion der realen Welt. Jede Form der Reduzierung bringt unweigerlich Detailverlust mit sich. Eine gelungene Verschlinkung der Faktoren führt jedoch zu einem besseren, unverschleierte Blick auf die grundsätzlichen Prozesse, die zum jeweiligen Phänomen führen. Die Vereinfachung fokussiert auf die relevanten Aspekte im Gegensatz zum Rauschen, das als irrelevant angesehen wird und keine Information darstellt.

Ebenso relevant ist der Maßstab des Modells. Die Physik etwa verwendet auf der Skala zwischen Mikro- und Makrokosmos unterschiedliche Modelle, die jeweils auf unterschiedliche Phänomene fokussieren und unterschiedlichen Regeln folgen. Jede Ebene kann hierbei ihre eigene, neue konzeptionelle Struktur verlangen (vgl. Anderson 1972).

Im Prozess der Modellierung sind deshalb zwei Komponenten zu unterscheiden, die sehr unterschiedlich ausgeprägt und gewichtet sein können. Es handelt sich um die Wissenschaft beziehungsweise die Technik und um die Kunst des Modellierens. Ersteres ist ein erlernbares Vorgehen, das bewährten Prozeduren folgt. Die Kunst des Modellierens betrifft Bereiche, in denen Entscheidungen ohne angemessene Entscheidungsgrundlage getroffen werden müssen. Welchen Abstraktionsgrad soll das Modell für einen bestimmten Zweck aufweisen und welche Details sollen der Vereinfachung zum Opfer fallen? Diese Dinge ließen sich erst dann sachgemäß beurteilen, wenn man das entsprechende Thema vollständig erforscht und intellektuell durchdrungen hat. Modelle werden aber oft genutzt, um genau dies zu erreichen. Wie erfolgreich ein Modell ist, hängt also von Faktoren ab, die sich zur Zeit der Modellerarbeitung noch nicht vollständig beurteilen lassen. Die fehlenden objektiven Beurteilungen müssen durch subjektive Einschätzungen auf Basis der Erfahrung der Modellierenden ausgeglichen werden und bei Bedarf ungewöhnliche oder seltsame Möglichkeiten mit einbeziehen.

Modellzweck

Sowohl bei Stachowiak als auch bei Thalheim ist der Modellzweck Teil der Modellcharakterisierung, womit seine zentrale Rolle betont wird. Es lassen sich verschiedene Modellzwecke unterscheiden. Zunächst werden Modelle in der Forschung verwendet. Hier sind unterschiedliche Szenarien möglich. Modelle können etwa durch den Vergleich empirischer und theoretischer Modelle zur Hypothesenprüfung genutzt werden. Ein weiteres wichtiges Einsatzfeld ist die Nutzung von Modellen als Heuristiken, die helfen, ein Forschungsfeld oder eine Thematik zu erschließen. Modelle dienen ebenso der Reflexion, da sie die Fokussierung auf bestimmte Aspekte unterstützen. Neben der Forschung finden Modelle in der Kommunikation Anwendung. Sie können hierbei genutzt werden, um bestimmte Inhalte kompakt, anschaulich und übersichtlich zu lehren oder an intra- beziehungsweise interdisziplinäre Kolleg*innen weiterzugeben. Darüber hinaus stecken sie einen metadisziplinären terminologischen Rahmen ab, in dem bestimmte Themen diskutiert werden. Modelle bieten sich an, um mit komplexen Daten umzugehen. Schließlich müssen wir noch erwähnen, dass Modelle häufig genutzt werden, weil der Modellbegriff in bestimmten Kontexten attraktiv ist, sei es, dass das Schlagwort ‚Modell‘ in Anträgen fallen soll, oder dass es einfach schöner ist, auf einer Party sagen zu können, man arbeitet an Modellen oder modelliert, da dies anspruchsvolle Aufgaben zu sein scheinen. Wenngleich diese Motivation zur Verwendung von Modellen wissenschaftlich wenig legitim erscheint, so dürfte dieser Aspekt in der Praxis doch nicht zu unterschätzen sein. Bei der Verwendung von Modellen mit dem Ziel der Nutzung des Modellbegriffs kommt es ebenso wie bei der Verwendung als Heuristik nicht auf das Modell an, sondern auf einen Nebeneffekt der Modellierung.

Paradigmen der Modellnutzung

Modelle können auf vielfältige Weise genutzt werden, es kristallisieren sich jedoch einige grundlegend unterschiedliche Herangehensweisen heraus. Es lassen sich vier Paradigmen der Modellnutzung unterscheiden (Nakoinz 2018):

- 1) Modelle als ontische Objekte: Bei diesem Ansatz stehen die Modellobjekte im Mittelpunkt. Modelle werden als reale Objekte aufgefasst, die etwas nach- oder abbilden. Hierbei liegt der Fokus auf der Analogie zwischen Original und Modell. Dieser Modelltyp dient hauptsächlich der Visualisierung und Kommunikation. Der Nachbau eines bronzezeitlichen Hauses mag als Beispiel dienen.

- 2) Modell als epistemisches Objekt: Auch hier stehen die Modellobjekte im Mittelpunkt. Modelle werden als epistemische Objekte aufgefasst, die die wesentlichen Aspekte eines Sachverhalts bündeln. Hierbei liegt der Fokus auf Schlüsseleigenschaften, die sich als signifikante Ausprägung einer Vereinfachung darstellen. Der Vergleich von theoretischen und empirischen Rollen ist hier zentral. Dieser Modelltyp dient hauptsächlich dem Forschungsprozess und zeigt sich beispielsweise in Regressionsmodellen.
- 3) Modellierungspraxis als Heuristik: Bei diesem Ansatz spielen die Modellobjekte eine untergeordnete Rolle, da es vielmehr um den Modellierungsprozess als Heuristik geht. Die Modellierung hilft, Zusammenhänge zu erkunden und definiert einen Möglichkeitsraum. Der Modellierungszweck und das Modell als Instrument im Rahmen einer Modellierungspraxis stehen im Vordergrund. Das Erkunden von Parametern mit Hilfe einer Simulation wäre hier als Beispiel anzuführen.
- 4) Modell als Forschungskontext (*frame work*): Schließlich können Modelle als Forschungskontext dienen und hierfür einen terminologischen und konzeptuellen Rahmen bereitstellen. Das gleiche Verständnis in einer *Community of Practice* steht im Vordergrund und die Kommunikation und die *Workflow*-Gestaltung sind die dominanten Zwecke.

Modellbewertung

Modelle in Lehre und Forschung

Modelle werden in Lehre und Forschung auf unterschiedliche Weise bewertet. Latente und explizite Modelle sind für die Lehre von großer Bedeutung, da sie historische und moderne Erkenntnisse zusammenführen und so, im Sinne Kuhns (1962), allgemein anerkannte Analogien und Ontologien für die Kommunikation innerhalb des Faches liefern. Es zeigt sich eine deutliche Ausdifferenzierung der einzelnen archäologischen Denkschulen, die als „Nachahmung des scheinbar Bewährten“ (Eggert 2012, 6) beschrieben werden kann. Andererseits erlaubt es diese Konzeptualisierung, sowohl die fachlichen Hintergründe zu lehren, als auch die Grundlagen für neue Ideen weiterzugeben (Mahr 2004). Die Bewertung solcher Modelle erfolgt oft unterbewusst, da spezifische Themen, Ansichten, Paradigmen und Überzeugungen vom Lehrkörper wiedergegeben werden, währenddessen andere unerwähnt bleiben.

In der Forschung bieten Modelle die Möglichkeit, neue Theorien und Ideen zu erkunden und Hypothesen im Kontext eines terminologischen Rahmens zu beurteilen. Die Modelle werden hier vorrangig anhand des Kommunikationserfolgs, des Erkenntnisgewinns oder des Grades der Optimierung der Forschungspraxis bewertet.

Allgemeine Modellevaluation

Modelle können hinsichtlich eines Gesichtspunktes gut oder schlecht sein, womit gemeint ist, dass die Validierung der Modelle positiv ausfällt beziehungsweise das theoretische Modell gut an die empirischen Daten angepasst ist. Weiterhin können Modelle nützlich sein. Das ist dann der Fall, wenn sie dazu beitragen, eine Forschungsfrage zu beantworten. Es ist möglich, dass Modelle, wenn sie gut angepasst sind, aber nicht zur Lösung der Forschungsfrage beitragen, gleichzeitig gut und nutzlos sind. Andererseits können schlechte Modelle ebenso nützlich sein. Das ist vor allem im Rahmen der heuristischen Modellnutzung der Fall. Es zeigt sich, dass die beiden Dimensionen der Modellbewertung, also die Güte oder Validität und die Nützlichkeit voneinander unabhängig sind. Die Güte wird lediglich anhand der Modellobjekte, beispielsweise der Daten der theoretischen und empirischen Modelle, beurteilt, während die Nützlichkeit im weiteren Rahmen des Forschungskontextes zu beurteilen ist.

Modelle können nicht wahr oder falsch sein, da sie keine Aussagen, sondern Instrumente sind. Das Diktum von Box (1976), dass alle Modelle falsch seien, ist dementsprechend sinnlos, obwohl die Intention dieser Aussage, der Verweis auf die Vereinfachungseigenschaft und die Nützlichkeit von Modellen, durchaus gerechtfertigt ist und er letztlich darauf hinweist, dass wahr/falsch keine angemessenen Beurteilungskategorien für Modelle sind. Aussagen, Theorien oder Hypothesen können aber wahr oder falsch sein und diese lassen sich im Forschungsprozess durch Modelle darstellen. Ist ein Modell valide, so kann damit etwa eine Hypothese als wahr erscheinen oder im Sinne des kritischen Rationalismus eine Hypothese verworfen werden, wenn ein korrespondierendes Modell invalide ist. Praktisch spielt dabei die Bewertung alternativer Hypothesen und Modelle ebenso eine Rolle, wie die Beurteilung des Forschungskonzeptes und der theoretischen Grundlagen.

Die entscheidende Frage für die Modellvalidierung und den Modellvergleich ist, wann sich zwei Modelle entsprechen, beziehungsweise, wann sie valide sind. Hierfür muss beurteilt werden, wie groß die Abweichungen sein dürfen, um von einer Entsprechung ausgehen zu können. Dies ist bei einem fehlenden Bezugsrahmen oft schwierig. Da ein Modell per Definition

niemals einen Sachverhalt vollständig abbildet, denn dann wäre es mit dem Sachverhalt identisch, kann man nicht von absoluten Maßen für den Vergleich ausgehen. Anstatt einer absoluten Bewertung eines theoretischen Modells in Bezug auf ein empirisches Modell wird man eher unterschiedliche theoretische Modelle in Bezug auf ein empirisches Modell relativ zueinander bewerten. Das theoretische Modell, das dem empirischen Modell am besten entspricht, kann nun als bester verfügbarer Erklärungsansatz aufgefasst werden. Wie weit der Kontingenzraum hiervon abgedeckt wird, entscheidet letztlich darüber, als wie signifikant das Ergebnis eingeschätzt wird. Oft wird es schwierig sein, das optimale theoretische Modell zu finden. Eine Unterscheidung von besseren und schlechteren Modellen in Bezug auf einen Gesichtspunkt kann aber auch schon einen substantiellen Erkenntnisgewinn darstellen.

Die Praxis der Modellnutzung

Theoretische Grundlagen

Nun kommen wir zur Praxis und konzentrieren uns hierbei auf die Nutzung von quantitativen Systemmodellen, die sehr anschaulich Möglichkeiten und Grenzen sowie Chancen und Erfordernisse der Modellnutzung zeigen. Der Nutzen und die Aussagekraft eines Modells für die Forschung hängt maßgeblich von seiner Konzipierung ab, wobei es selten von Belang ist, inwieweit die reale Welt simplifiziert wurde, um abbildbar zu sein. Relevanter ist, inwieweit die Hypothese zu einem Modell basierend auf dessen Struktur, Mechanik und Datengrundlage überprüfbar ist. In der Modelltheorie stehen Komplexität und Effektivität nicht in einem asymptotischen Verhältnis zueinander und eine hohe Anzahl von Variablen ist nicht gleichbedeutend mit dem Komplexitätsgrad. Gleichfalls beruht ein nach außen komplex wirkender Prozess nicht zwingend auf komplexen Regeln und Mechanismen. Beispielsweise beschrieb Albert Einstein 1917 die Regeln der generellen Relativität anhand von zehn Formeln, die zusammengefasst als eine einzige abgebildet werden können (Einstein 1917). Stark vereinfachte Modelle verfolgen häufig einen linearen Ansatz, bei dem die Gesamtheit des Systems die Summe seiner Elemente beziehungsweise Aspekte darstellt (Lam 1998). Den Kern dieser Modelle bilden häufig Ideen des Newton'schen Weltbildes. Gründe und Ursachen führen demnach zu einer Wirkung, erstere sind mathematischer Natur und können daher nicht nur verstanden, sondern auch für Vorhersagen genutzt werden. Diese Prognosen werden zumeist im euklidischen Raum, der vergleichsweise anschaulichen ‚Basis der Geometrie‘

durchgeführt. Die Modelle bestehen aus einer Reihe von linearen Funktionen und führen somit zu verhältnismäßig einfachen Dynamiken, die eine gegenseitige Wechselwirkung letztlich ausschließen (Feldman 2014).

Grundlagen nicht-linearer Systeme

Während das beschriebene Vorgehen in der Physik und vielen anderen Wissenschaften eine akzeptierte Herangehensweise ist, wird in diesem Kontext häufig die Menschheitsgeschichte als Beispiel für die Abwesenheit realistischer, erklärender, mathematischer Modelle zur Vorhersage des Gesamtverhaltens genannt. Weiterhin wird die vollständige Synthese komplexer kultureller oder biologischer Systeme als unmöglich verstanden (Anderson 1972), da sie zur Gruppe der nicht-linearen Systeme gehören, die sich durch die nicht quantifizierbare, für jeden Parameter unterschiedliche Rolle von Gelegenheit und Notwendigkeit auszeichnen (Lam 1998) und in ihnen mehr Möglichkeiten als tatsächlich verwirklichte Optionen zur Verfügung stehen (Luhmann 1985). Vorwiegend werden diese Systeme durch Interaktion der einzelnen, oft in großer Zahl auftretenden Parameter untereinander und einer starken Sensibilität in minimalen Änderungen ihrer Anfangsbedingungen (*butterfly effect*) charakterisiert, so dass sich aus ihren zerlegten Teilelementen das Ergebnis nicht stabil vorhersagen lässt, da sich kleine Abweichungen mit fortschreitender Zeit amplifizieren und trotz zugrunde liegender Regeln zu unvorhersehbarem, deterministisch chaotischem Verhalten führen (Feldman 2014). Diese Feststellung ist fundamental, da sie impliziert, dass selbst bei einer perfekten Messung aller involvierten Parameter und denkbaren assoziierten Daten dieses ‚zufällige‘ Verhalten nicht aufgelöst werden kann, denn die Entstehung dieses deterministischen Chaos beinhaltet keine Zufallskomponente. Während dies selbstverständlich die Aussagekraft vieler Modelle einschränkt, entstehen daraus neue Möglichkeiten. Unter der Annahme von Chaos können Ereignisse, die in keinem Kausalitätsverhältnis zueinander stehen, durch Fraktale, d. h. selbstähnliche Objekte, die in verkleinerte Kopien ihrer selbst zerkleinert werden können, angenähert werden (Crutchfield u. a. 1986, 46). Dieser Fokus auf Interaktion und die starke Bindung komplexer Systeme an die Interaktion ihrer Einzelelemente erlaubt es jedoch, sie anhand der qualitativen Charakteristika ihrer Dynamiken zu analysieren und darauf aufbauend Vorhersagen zu treffen. Hierbei wird darauf verzichtet, den grundlegenden Mechanismus zu erklären, sondern lediglich angenähert, wie ein System von seinem Anfangs- in seinen Endzustand gelangte (Sugihara – May 1990). Diese Generalisierung findet sich in modellbildenden Wissenschaften und erlaubt, Modelle ähnlicher Phänomene auf ähnliche

Charakteristika zurückzuführen. In der Archäologie wurde sie in geringem Maße seit den 1980er Jahren und zuerst von Ezra B. W. Zubrow (1984) angewandt. Im Rahmen eines archäologischen oder humangeografischen Modells kann dies beispielsweise bedeuten, dass Migration als Prozess innerhalb eines Modells auftritt. Das Modell selbst muss hierbei weder erklären, warum Lebewesen oder Objekte wandern, noch die dafür relevanten verhaltensbiologischen Grundlagen implementiert haben (vgl. Tobler 1970, 234).

Interpretationsgrundlagen komplexer Systeme in der Archäologie

Abstrakter bedeutet dies, baut man auf dem Kulturmodell von Edward Hall (1976) auf, dass bewusste oder unbewusste Basisannahmen, die kulturelle zentrale Werte ausmachen, ebenso wie die daraus resultierenden verschiedenen Haltungen und Annahmen dem nur annäherbaren Prozess eines komplexen Systems entsprechen, wohingegen das observierte Verhalten und die Traditionen innerhalb einer Kultur dem Anfangs- bzw. Endzustand entsprechen. Überträgt man die Idee in die Systemtheorie, so führen Muster, Strukturen und mentale Modelle zu Ereignissen. Diese Ereignisse wiederum entsprechen der Datengrundlage der Archäologie, die im Allgemeinen versucht, die menschlichen Verhaltensmuster zu rekonstruieren. Clarke beschrieb dieses Verhalten in der Archäologie als „the theory and practice for the recovery of unobservable hominid behaviour patterns from indirect traces in bad samples“ (Clarke 1973, 17). Moderne Herangehensweisen an die Modellbildung und Anwendung mathematischer Formeln darf nicht mit einer Rückkehr zum Prozessualismus verbunden sein, denn bereits 1984 merkten Daniel Miller und Christopher Tilley an, dass „[a] belief by some in mathematisation as the goal of archaeology; the attempt to reduce past social systems to a suitable equation“ (Miller – Tilley 1984, 3) nicht zielführend ist. Entscheidend an diesem kritischen Modellverständnis ist jedoch, die Einschränkungen in der archäologischen Anwendung der mathematischen Formalisierung nicht als Beleg für die gänzliche Untauglichkeit derselben zu sehen. Vielmehr muss es darum gehen, sie als vereinfachte Darstellungen aufzufassen, die helfen, bestimmte Zusammenhänge zu verstehen oder zu erkunden, ohne die entsprechenden Phänomene vollständig abzudecken. Sowohl die Unzulänglichkeiten der mathematischen Gleichungen, als auch ihre Stärken unterstützen dieses Verständnis. Es geht also um eine nicht naive Anwendung der mathematischen Modelle in einem expliziten und kritischen modelltheoretischen Rahmen.

Ebenso sollten in diesem Kontext die kritischen Diskussionen zur Anwendbarkeit statistischer Methodik in der Archäologie genannt werden (vgl. Whitley 2016; Buccellati 2017). Ebenso wie im Bereich der bereits

angesprochenen notwendigen Simplifikation bzw. ‚grundsätzlichen‘ Falschheit von Modellen handelt es sich hierbei in den meisten Fällen um ein theoretisches Problem. Selbstverständlich ist die statistische Unabhängigkeit archäologischer Daten diskutabel, da es nicht prüfbar ist, ob es sich um eine repräsentative Auswahl der ‚Ursprungspopulation‘ handelt. Das Auffinden von Fundstellen wird diese Annahme in den wenigsten Fällen erfüllen (Buccellati 2017). Vielmehr sollte in der interpretativen Phase der Modellevaluierung damit das Eingeständnis dieses teilhaften Studiums einhergehen. Einerseits, dass es mit den vorhandenen Daten nicht immer möglich ist, zu alles erklärenden Narrativen zu gelangen und andererseits dem Wissen, dass die studierten Aspekte nur Teile des Ganzen darstellen und so der allgemeinen Reduzierung der Wissenslücken dienen.

So niederschmetternd die sehr naturwissenschaftliche Betrachtung des Nutzens von Modellen sein kann, so eröffnet sie gleichermaßen neue Standpunkte. Obwohl die tatsächliche Modellierung der Vergangenheit als komplexes System mit dem aktuellen Wissensstand nicht möglich ist und die Aufteilung in stark situations- und hypothesengebundene Modelle vorherrscht, erlaubt die Anerkennung dieses Umstands weitere Schlussfolgerungen, die ohne die explizite Einbindung eines Modells diskutiert werden können, aber unter Anwendung expliziter Modelle viel einfacher zu handhaben sind. Innerhalb eines komplexen Systems treten maßgeblich lokale Interaktionen auf. Globaler Einfluss wird durch viele kleinere Ereignisse erzeugt und moduliert, so dass beispielsweise Suppressionen, Verstärkungen oder Alterationen des ursprünglichen Verhaltens generiert werden. Dies schließt mit ein, dass Interaktionen sich selbst, direkt oder infolge anderer Interaktionen beeinflussen können und sich dadurch verstärken oder behindern. Weiterhin wird das aktuelle Verhalten des Systems durch seine Vergangenheit beeinflusst, es verändert sich mit der Zeit. Weiterhin besitzt keines der enthaltenen Elemente vollumfängliches Wissen über das Gesamtsystem, es agiert aufgrund der lokal vorhandenen Informationen. Um die innere Organisation und das Fortbestehen des Systems aufrechterhalten zu können, wird stets Energie benötigt, so dass es niemals im Gleichgewicht ist (Cilliers 1998). Insbesondere adaptive komplexe Systeme, d.h. jene, die sich an ihre Umwelt anpassen, operieren bevorzugt an der Grenze zwischen Gleichgewicht und Chaos, denn innerhalb dieser Region (*‘edge of chaos’*) entstehen bevorzugt kleine Veränderungen, die innerhalb des Systems im Kontext seiner Umgebung tragbar sind und sich über lange Zeit amplifizieren können. Neben Selbstorganisation ist dies eine Regulierung, denn zu große Veränderungen sind meistens untragbar. Dieser konstante Wandel ist typisch für die meisten evolutionären, ökologischen und ökonomischen Systeme (Heylighen 2002).

Begreift man Komplexitätstheorie als Teil der Modellbildung, können viele Annahmen bereits aus den grundlegenden Eigenschaften des komplexen Systems ‚Vergangenheit‘ gewonnen werden. Viele, wie die Veränderung im Laufe der Zeit, sind bereits seit langem Teil der archäologischen Forschung. Häufig wird nach großen Ereignissen, die Wendepunkte darstellen sollen, gesucht. Zielführender ist es jedoch, nach kleinen Veränderungen Ausschau zu halten. Diese verursachen zumeist den graduellen Wandel, dessen archäologischer Abdruck sich als plötzliches Auftreten eines bestimmten Phänomens darstellt, weil die Qualität der Daten meist keine adäquate zeitliche oder räumliche Auflösung erlaubt. Das Fehlen der Daten stellt zusammen mit subjektiven a priori Interpretationsannahmen über die erhaltenen Daten, sowie sich widersprechenden Datengrundlagen, linguistischen Uneindeutigkeiten und einer nicht synthetisierbaren Flut von Informationen den größten Unsicherheitsfaktor in der archäologischen Modellierung dar. Im Kontext eines Bayes’schen Statistikverständnisses ist die Unsicherheit nicht den Daten selbst zuzuordnen, sondern der modellerstellenden Person. Bei der Suche nach Variablen und Parametern zur Beobachtung kleiner Veränderungen innerhalb des Systems ist es essenziell, dass „whatever exists at all, exists in some amount“ (Thorndike 1918, 16) und „anything that exists in amount can be measured“ (McCall 1939, 15). Dies legt nahe, dass Muster aufgrund von messbaren Variablen entstehen, selbst wenn die Forschung sie zum aktuellen Stand noch nicht gefunden haben mag. Dementsprechend sollte jedes Ergebnis im Geiste der Informationstheorie als Reduzierung einer oder mehrerer Aspekte von Unsicherheit und dem Ausschluss extrem unwahrscheinlicher Ereignisse gesehen werden. Statistische oder modellierte Ergebnisse und Szenarien sind eine Wahrscheinlichkeitsaussage, inwieweit die genutzten Daten der Hypothese entsprechen. Da diese niemals verifiziert werden kann, denn „[...] eine wissenschaftliche Hypothese [lässt sich] zwar niemals erweisen, wohl aber, wenn sie falsch ist, widerlegen“ (Weismann 1868, 14) und sich oftmals aus ihrer Ablehnung keine kausale Erklärung des Phänomens herleiten lässt, ist die Wahl der Fragestellung und eine daran angepasste Strukturierung, Methoden- und Variablenauswahl der Schlüssel zu aussagekräftigen Modellen, die die entsprechenden Prozesse annähern können. Ein eklektischer Ansatz, der für die jeweilige Fragestellung die effizientesten Werkzeuge nutzt, ist unabdingbar (vgl. Pearce 2011).

Leitlinien und *Good Practice*

Schließlich wenden wir uns der Frage zu, was für eine adäquate Nutzung quantitativer Systemmodelle zu berücksichtigen ist. Erschafft man ein

Modell, muss man stets im Hinterkopf behalten, dass „it is the archaeologist in the present, who develops the plot, the narrative“ (Shanks – Tilley 1987, 134). Dementsprechend ist es umso wichtiger, die einzelnen Schritte der Modellerstellung und -bewertung zu dokumentieren. Insbesondere im Bereich der agent*innenbasierten Modelle hat sich das ODD-Protokoll zu diesem Zwecke durchgesetzt (Grimm 2006; 2010). Es erfordert neben einer allgemeinen Übersicht des Modells, seines Designkonzeptes und Details bezüglich seiner Initialisierung, Daten und verwendeten Teilmodellen, ein detailliertes Auseinandersetzen mit der Fragestellung. Diese Art der Dokumentation ist für komplexere Modelle bereits üblich, jedoch müssen weniger aufwendige, oftmals nur aus einer Reihe von statistischen Analysen und Vorhersagen gestaltete Modelle ebenso detailliert und nachvollziehbar dokumentiert werden (vgl. Girotto 2020). Die Forderung nach einer nachvollziehbaren Dokumentation und einer Darlegung der Annahmen, der verwendeten Theorien und Methoden sowie aller weiteren relevanten Überlegungen gilt natürlich in gleicher Weise für nicht quantitative Modelle.

Im Rahmen der Dokumentation sollte in jedem Fall zuerst eine Forschungsfrage und ein Anwendungsszenario klar definiert werden. Für Modelle und andere quantitative Verfahren ist hierbei die Formulierung einer statistisch überprüfbaren Null-Hypothese essenziell. Ist es zum gegebenen Zeitpunkt nicht möglich, eine präzise und fokussierte Fragestellung zu erarbeiten, müssen die Daten weiter untersucht werden. Neben visuellen Inspektionen sollten hierbei deskriptive und explanatorische Analyseverfahren an erster Stelle stehen. Einerseits dient dies einem besseren Verständnis der Daten selbst, andererseits erlaubt es die Prüfung, ob die Daten für die angedachte Modellierung geeignet sind. Statistische Anforderungen, wie die Unabhängigkeit der Observierungen, Homogenität und Stationarität der Daten sollten grundsätzlich erfüllt werden. Neben ihrem Maßstab müssen insbesondere die relevanten Attribute bei einer genügend großen Datenmenge verfügbar sein (Nakoinz 2013). Wurde ein besseres Grundverständnis der Daten gefunden, kann eine Forschungsvision (vgl. Abb. 5) formuliert werden, die entweder eine Frage oder einen Komplex von Fragen repräsentiert. Oft existiert diese Vision zu Beginn, teilweise noch vor der Datenbeschaffung. Zumeist entsteht sie aus einem vorherigen Grundverständnis des allgemeinen Forschungsfeldes oder Interpretationshorizontes, oft geprägt von (un)bewussten Annahmen, Theorien und Paradigmen. Einzelne Forschungsfragen innerhalb der Forschungsvision entstehen durch eine Rationalisierung und Vereinfachung des bereits Bekannten, um daraus eine neue, innovative Idee entwickeln zu können.

Im Rahmen dieser Entwicklung sollte insbesondere darauf eingegangen werden, warum bestimmte Attribute und Methoden im Kontext der

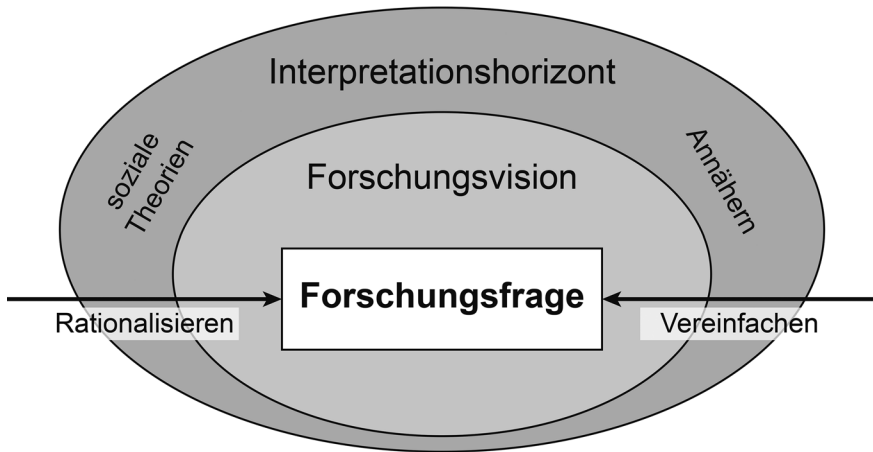


Abb. 5: Entwicklung und Einbettung von Forschungsfragen.

Fragestellung gewählt wurden. Innerhalb der Archäologie bezieht sich dies häufig auf Annahmen und Parameter, die aus vorherigem Wissen gewonnen wurden. Innerhalb eines gut dokumentierten Modells stellt dies kein Problem dar, da ihre Auswahl klar nachvollziehbar und somit nicht nur die Reproduzierbarkeit, sondern eine detaillierte Diskussion und mögliche Veränderung durch andere Forschende möglich ist. In diesem Kontext ist es ebenso relevant, nicht nur den theoretischen Hintergrund der Methoden und Variablen, sondern der Daten und durchzuführenden Forschenden darzulegen, da sie unmittelbaren Einfluss auf die Fragestellung und die Methodik nehmen. Ebenso sollten die eigentlichen Anforderungen der Algorithmen innerhalb des Modells angesprochen werden, selbst wenn plausibel dargelegt werden kann, dass ihre Nicht-Erfüllung das Ergebnis nicht verzerrt. Relevant sind in diesem Falle ebenfalls die Annahmen, die das Modell selbst über die eingegebenen Daten macht, da sie das Ergebnis stark verzerren können. Zuletzt sollte nach einer erfolgreichen Modellerstellung dieses getestet werden, um seine statistische Signifikanz und Verlässlichkeit zu bestimmen und so die Unwissenheit über die Vergangenheit zu reduzieren und besonders unwahrscheinliche Szenarien auszuschließen.

Perspektiven

Dieser Artikel hat die Geschichte des Modellbegriffs skizziert, die große Bandbreite der Modellkonzepte dargestellt und die Praxis der Modellierung beleuchtet. Hieraus ergeben sich einige Schlussfolgerungen für die

nutzbringende Anwendung von Modellen in der Archäologie (vgl. auch Nakoinz 2018). Zunächst bieten Modelle Chancen für die Kommunikation. Modelle erlauben, komplexe Zusammenhänge kompakt über Fach- und Gemeinschaftsgrenzen hinaus zu kommunizieren. Diese Möglichkeit sollte stärker genutzt werden als dies bisher geschehen ist. Hierzu bietet sich eine enge Zusammenarbeit mit einer metadisziplinären Modellierungsgemeinschaft und die Entwicklung einer eigenen, konzeptübergreifenden archäologischen Modellierungsgemeinschaft an. Eine konsistente modelltheoretische Terminologie trägt erheblich zum Gelingen der Kommunikation bei und sollte sowohl quantitative und nicht quantitative Modelle abdecken. Sowohl die Möglichkeiten der Kommunikation als auch jene der Forschung erfordern ein Modellverständnis, das weniger von Vorurteilen, Missverständnissen und Konzepten disziplinärer Nischen getragen ist als von einem konsistenten metadisziplinären Rahmenkonzept. Dieser Beitrag deutet einige dieser Aspekte an, kann aber eine grundlegende modellorientierte Ausbildung nicht ersetzen. Da Modelle didaktisch äußerst nützlich sind, sollte es eigentlich leicht sein, Grundlagen der Modelltheorie intensiv in die Lehre einzubinden. Auf dieser Grundlage und unter Beachtung der *Good Practice* der Modellierung könnte der Modellbegriff seine Wirkkraft wesentlich besser entfalten, als es gegenwärtig möglich ist. Ein Forschungsumfeld, in dem Modelle weniger vorurteilsbehaftet und naiv angegangen werden, kann nur dazu beitragen, die Interpretationsmöglichkeiten archäologischer Forschungen für die Zukunft stark zu verbessern.

Danksagung

Die Arbeit an diesem Artikel wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert (DFG, Projektnummer 2901391021 – SFB 1266, Projektnummer 222256586 NA 687/1-2, Projektnummer 252470382 NA 687/3-2 und Deutsche Exzellenz Strategie – EXC-2150 –390870439). Weiterhin danken wir Alexandr Diachenko, Ray Rivers, Martin Hinz, Daniel Knitter und Henry Price für interessante Diskussionen zu einigen der hier dargestellten Zusammenhänge.

Bibliografie

- Anderson 1972: Philip W. Anderson, More is Different. Broken Symmetry and the Nature of the Hierarchical Structure of Science, *Science* 177,4047, 1972, 393–396

- Binford 1964: Lewis R. Binford, A Consideration of Archaeological Research Design, *American Antiquity* 29, 1964, 425–441
- Bocchi u. a. 2013: Laura Bocchi – Hoger Mahmud – Katharina Rebay-Salisbury – Emilio Tuosto, Virtual Models for Archaeology, *Archeologia e calcolatori* 24, 2013, 305–324
- Box 1976: George E. P. Box, Science and Statistics, *Journal of the American Statistical Association* 71, 1976, 791–799
- Buccellati 2017: Giorgio Buccellati, A Critique of Archaeological Reason. Structural, Digital and Philosophical Aspects of the Excavated Record (Cambridge 2017)
- Cilliers 1998: Paul Cilliers, Complexity and Postmodernism. Understanding Complex Systems (London 1998)
- Chorley – Haggett 1967: Richard J. Chorley – Peter Haggett, Models in Geography, *Madingley Lectures* 2 (London 1967)
- Clarke 1972: David L. Clarke, Models in Archaeology (London 1972)
- Clarke 1973: David L. Clarke, Archaeology. The Loss of Innocence, *Antiquity* 47, 1973, 6–18
- Clarke 1978: David L. Clarke, *Analytical Archaeology* ²(London 1978)
- Crutchfield u. a. 1986: James P. Crutchfield – J. Doyne Farmer – Norman H. Packard – Robert S. Shaw, Chaos, *Scientific American* 254, 1986, 46–57
- Diachenko – Menotti 2012: Aleksandr Diachenko – Francesco Menotti, The Gravity Model. Monitoring the Formation and Development of the Tripolye Culture Giant-settlements in Ukraine, *Journal of Archaeological Science* 39, 2012, 2810–2817
- Eggert 2012: Manfred K. H. Eggert, *Prähistorische Archäologie. Konzepte und Methoden*. Mit Beiträgen von Nils Müller-Schaeff und Stefanie Samida ⁴ (Tübingen 2012)
- Einstein 1917: Albert Einstein, Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften* 1, 1917, 142–152
- Feldman 2014: David P. Feldman, *Chaos and Fractals. An Elementary Introduction* ²(Oxford 2014)
- Giroto 2020: Chiara G. M. Giroto, Are We Creating Our Past? Exploring Theory Building, Geospatial Statistics, and the Reconstruction of the Function of Fortified Urnfield Culture Settlements, *Documenta Praehistorica* 47, 2020, 508–521, DOI: <https://www.doi.org/10.4312/dp.47.29>
- Grimm u. a. 2006: Volker Grimm – Uta Berger – Finn Bastiansen – Sigrunn Eliasen – Vincent Ginot – Jarl Giske – John Goss-Custard – Tamara Grand – Simone K. Heinz – Geir Huse – Andreas Huth – Jane U. Jepsen – Christian Jørgensen – Wolf M. Mooij – Birgit Müller – Guy Pe’er – Cyril Piou – Steven F. Railsback – Andrew M. Robbins – Martha M. Robbins – Eva Rossmanith – Nadja Rüger – Espen Strand – Sami Souissi – Richard A. Stillman – Rune Vabø – Ute Visser – Donald L. DeAngelis, A Standard Protocol for Describing Individual-based and Agent-based Models, *Ecological Modelling* 198, 2006, 115–126

- Grimm u. a. 2010: Volker Grimm – Uta Berger – Donald L. DeAngelis – J. Gary Polhill – Jarl Giske – Steven F. Railsback, *The ODD Protocol. A Review and First Update*, *Ecological Modelling*, 221,23/24, 2010, 2760–2768
- Günel 2011: Sevinç Günel, *Ein Terrakotta-Modell aus Çine-Tepecik, Istanbul*, *Mitteilungen* 61, 2011, 7–20
- Hall 1976: Edward T. Hall, *Beyond Culture* (Garden City, NY 1976)
- Hellige 2004: Hans Dieter Hellige (Hrsg.), *Geschichten der Informatik. Visionen, Paradigmen und Leitmotive* (Berlin 2004)
- Herterich 1991: Klaus Herterich, *Modelling the Palaeo-climate*, in: Burkhard Frenzel (Hrsg.), *Klimageschichtliche Probleme der letzten 130000 Jahre, Paläoklimaforschung* 1 (Stuttgart 1991) 153–164
- Heylighen 2002: Francis Heylighen, *The Science of Self-organization and Adaptivity*, *The Encyclopedia of Life Support Systems* 5,3, 2002, 253–280
- Hodges 2018: Wilfrid Hodges, *Model Theory*, in: Edward N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2018 Edition), <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/model-theory/>> (29.8.2024)
- Kuhn 1962: Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago 1962)
- Kvamme 2011: Kenneth L. Kvamme, *Archaeological Predictive Modeling in the USA*, in: Sauro Gelichi – Claudio Negrèlli (Hrsg.), *A Piccoli Passi. Archeologia predittiva e preventiva nell'esperienza cesenate*. Cesena, Pinacoteca Cassa di Risparmio, 28 novembre 2008 (Borgo S. Lorenzo 2011) 19–25
- Lam 1998: Lui Lam, *Nonlinear Physics for Beginners. Fractals, Chaos, Solitons, Pattern Formation, Cellular Automata and Complex Systems* (Singapur 1998)
- Lemmen u. a. 2011: Carsten Lemmen – Detlef Gronenborn – Kai W. Wirtz, *A Simulation of the Neolithic Transition in Western Eurasia*, *Journal of Archaeological Science* 38,12, 2011, 3459–3470
- Luhmann 1985: Niklas Luhmann (Hrsg.), *Soziale Differenzierung. Zur Geschichte einer Idee* (Wiesbaden 1985)
- McCall 1939: William A. McCall, *Measurement. A Revision of 'How to Measure Education'* (New York 1939)
- Mahr 2004: Bernd Mahr, *Wissen in Modellen* (Berlin 2004)
- Mahr 2008: Bernd Mahr, *Ein Modell des Modellseins. Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs*, in: Ulrich Dirks – Eberhard Knobloch (Hrsg.), *Modelle* (Frankfurt a. M. 2008) 187–218
- Miller – Tilley 1984: Daniel Miller – Christopher Y. Tilley, *Ideology, Power, and Prehistory. An Introduction*, in: Daniel Miller – Christopher Y. Tilley (Hrsg.), *Ideology, Power, and Prehistory* (Cambridge 1984) 1–15
- Nakoinz 2013: Oliver Nakoinz, *Archäologische Kulturgeographie der ältereisenzeitlichen Zentralorte Südwestdeutschlands*, *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 224 (Bonn 2013)
- Nakoinz 2018: Oliver Nakoinz, *Models and Modelling in Archaeology*, *Historical Social Research Supplement* 31, 101–112, DOI: <https://doi.org/10.12759/hsr.suppl.31.2018.101-112>

- Nakoinz – Hinz 2015: Oliver Nakoinz – Martin Hinz, Modelle in der Archäologie, in: Bernhard Thalheim – Ivor Nissen (Hrsg.), Wissenschaft und Kunst der Modellierung – Kieler Zugang zur Definition, Nutzung und Zukunft, Philosophische Analyse 64 (Berlin 2015) 119–249
- Nakoinz – Knitter 2016: Oliver Nakoinz – Daniel Knitter, Modelling Human Behaviour in Landscapes – Basic Concepts and Modelling Elements, Quantitative Archaeology and Archaeological Modelling 1 (New York 2016)
- Nortmann 1993: Hans Nortmann, Ein Modell der keltischen Mauer von Preist, Funde und Ausgrabungen im Bezirk Trier 25, 1993, 10–19
- Nortmann 2002: Hans Nortmann, Modell eines Herrschaftssystems. Frühkeltische Prunkgräber der Hunsrück-Eifel-Kultur, in: Holger Baitinger – Bernhard Pinsker (Hrsg.), Das Rätsel der Kelten vom Glauberg. Glaube – Mythos – Wirklichkeit. Ausstellungskatalog Frankfurt (Stuttgart 2002) 33–46
- Osterwalder-Maier 1990: Christin Osterwalder-Maier, Bronzezeitliche Gesellschaft. Ein homerisches Modell, in: Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte (Hrsg.), Gesellschaft und Bevölkerung. Einführungskurs in die ur- und frühgeschichtliche Archäologie der Schweiz, Einführungskurse in die ur- und frühgeschichtliche Archäologie der Schweiz 6 (Bern) 1990, 85–92
- Pearce 2011: Mark Pearce, Have Rumours of the ‚Death of Theory‘ been Exaggerated?, in: John L. Bintliff – Mark Pearce (Hrsg.), The Death of Archaeological Theory? Twelfth Annual Meeting of the European Association of Archaeologists in Krakow 2006 (Oxford 2011) 80–89
- Popa 2018: Cătălin N. Popa, Modelling Identities. A Case Study from the Iron Age of South-East Europe, Quantitative Archaeology and Archaeological Modelling 2 (New York 2018)
- Reisner 1913: George A. Reisner, Models of Ships and Boats, Service des antiquités de l'Égypte. Catalogue général des antiquités égyptiennes du Musée du Caire 50 (Le Caire 1913)
- Shanks – Tilley 1987: Michael Shanks – Christopher Y. Tilley, Social Theory and Archaeology (Cambridge 1987)
- Sugihara – May 1990: George Sugihara – Robert M. May, Nonlinear Forecasting as a Way of Distinguishing Chaos from Measurement Error in Time Series, Nature 344, 6268, 1990, 734–741
- Stachowiak 1973: Herbert Stachowiak, Allgemeine Modelltheorie (Wien 1973)
- Tarski 1933: Alfred Tarski, Pojęcie prawdy w językach nauk dedukcyjnych, Prace Towarzystwa Naukowego Warszawskiego, Wydział III Nauk Matematyczno-Fizycznych 34 (Warschau 1933)
- Thalheim – Nissen 2015: Bernhard Thalheim – Ivor Nissen, Ein neuer Modellbegriff, in: Bernhard Thalheim – Ivor Nissen (Hrsg.), Wissenschaft und Kunst der Modellierung – Kieler Zugang zur Definition, Nutzung und Zukunft, Philosophische Analyse 64 (Berlin 2015) 491–547
- Thorndike 1918: Edward L. Thorndike, The Nature, Purposes, and General Methods of Measurement of Educational Products, Yearbook of the National Society for the Study of Education 17, 1918, 16–24

- Tobler 1970: Waldo R. Tobler, A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region, *Economic Geography* 46,1, 1970, 234–240
- Valente 1995: Thomas W. Valente, Network Models of the Diffusion of Innovations, *Quantitative Methods in Communication* 1 (Cresskill 1995)
- Velten 2009: Kai Velten, *Mathematical Modeling and Simulation. Introduction for Scientists and Engineers* (Weinheim 2009)
- Weismann 1868: August Weismann, Über die Berechtigung der Darwin'schen Theorie. Ein akademischer Vortrag, gehalten am 8. Juli 1868 in der Aula der Universität zu Freiburg im Breisgau (Leipzig 1868)
- Weiss 1973: Kenneth M. Weiss, Demographic Models for Anthropology, *Memoirs of the Society for American Archaeology* 27 (Salt Lake City 1973)
- Whitley 2016: Thomas G. Whitley, Archaeological Simulation and the Testing Paradigm, in: Marieka Brouwer Burg – Hans Peeters – William A. Lovis (Hrsg.), *Uncertainty and Sensitivity Analysis in Archaeological Computational Modeling* (New York 2016) 131–156
- Zotti u. a. 2018: Georg Zotti – Florian Schaukowitsch – Michael Wimmer, Beyond 3D Models. Simulation of Temporally Evolving Models in Stellarium, *Mediterranean Archaeology & Archaeometry* 18,4, 2018, 501–506
- Zubrow 1975: Ezra B. W. Zubrow, Prehistoric Carrying Capacity. A Model (Menlo Park 1975)
- Zubrow 1984: Ezra B. W. Zubrow, Fractals, Cultural Behavior, and Prehistory, *American Archeology* 5,1, 1984, 63–77

Kontakt

Chiara G. M. Girotto | Ludwig-Maximilians-Universität München | Institut für Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie und Provinzialrömische Archäologie | Geschwister-Scholl-Platz 1 | 80539 München | research@anthro-lab.de |
 <https://orcid.org/0000-0001-6412-342X>

Oliver Nakoinz | Christian-Albrechts-Universität zu Kiel | Institut für Ur- und Frühgeschichte | Johanna-Mestorf-Straße 2-6 | 24118 Kiel |
oliver.nakoinz@ufg.uni-kiel.de