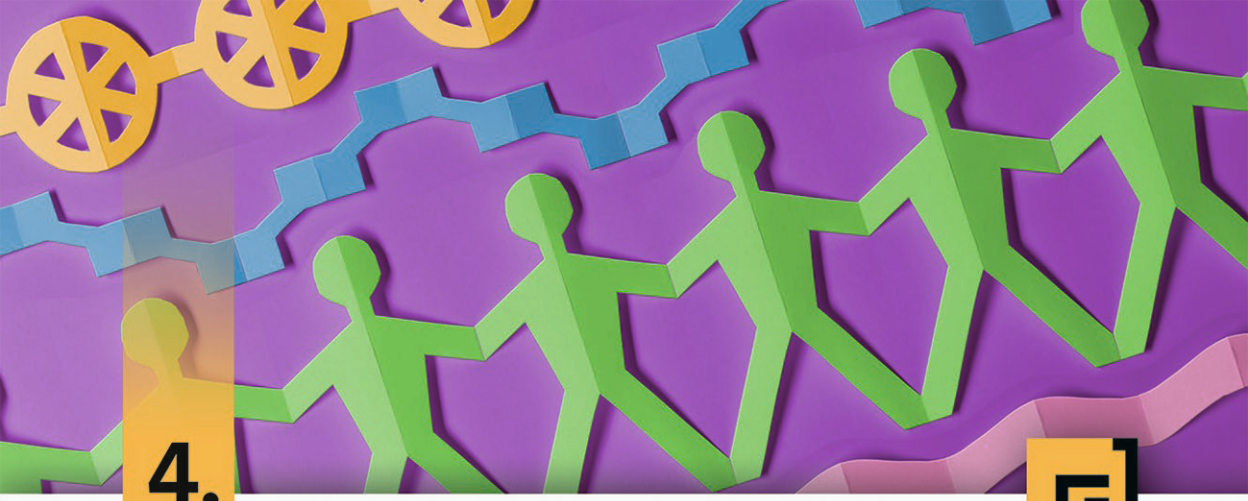


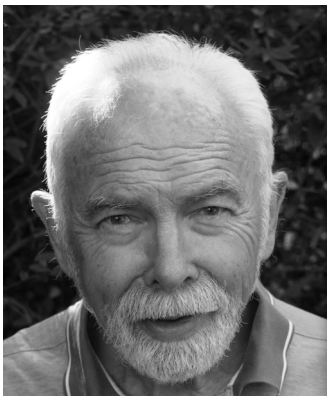
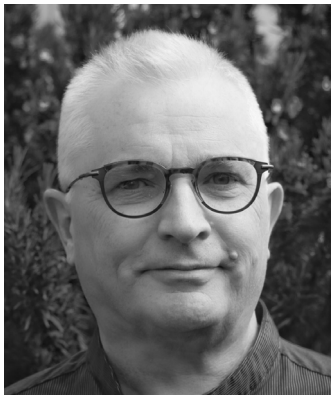
4. Auflage

Jochen Ludewig · Horst Lichter

Software Engineering

Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken

dpunkt.verlag

Jochen Ludewig und Horst Lichter, Oktober 2022

Prof. Dr. rer. nat. Jochen Ludewig geboren 1947 in Hannover. Studium der Elektrotechnik (TU Hannover) und Informatik (TU München); Promotion 1981. 1975 bis 1980 Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe, dann Brown Boveri Forschungszentrum in Baden/Schweiz. 1986 Assistenzprofessor an der ETH Zürich, 1988 Ruf auf den neuen Lehrstuhl Software Engineering an der Universität Stuttgart. Arbeitsgebiete: Softwareprojekt-Management, Software-Prüfung und Software-Qualität, Software-Wartung. Ab 1996 Konzeption und Aufbau des Diplomstudiengangs Softwaretechnik, der inzwischen in einen Bachelor- und einen Masterstudiengang umgewandelt wurde. Seit 2009 Fellow der Gesellschaft für Informatik.

Verheiratet, zwei erwachsene Töchter, zwei Enkel.

Prof. Dr. rer. nat. Horst Lichter geboren 1960 in Trier. Studium der Informatik und Betriebswirtschaftslehre (TU Kaiserslautern). Wissenschaftlicher Mitarbeiter (ETH Zürich und Universität Stuttgart), Promotion 1993. Anschließend Schweizerische Bankgesellschaft Zürich und ABB Forschungszentrum Heidelberg. 1998 Ruf an die RWTH Aachen University, Leiter des Lehr- und Forschungsgebiets Software-Konstruktion. Arbeitsgebiete: Software-Architektur, Qualitätssicherung, Software-Evolution. Seit 2005 Lecturer an der Thai German Graduate School of Engineering (TGGS) in Bangkok. Von 2018-2021 Adjunct Lecturer an der Universiti Teknologi Petronas (UTP) Malaysia.

Verheiratet, drei Söhne.

Jochen Ludewig · Horst Lichter

Software Engineering

Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

dpunkt.verlag

Jochen Ludewig
mail@jludewig.de

Horst Lichter
horst.lichter@rwth-aachen.de

Lektorat: Christa Preisendanz
Lektoratsassistenz: Julia Griebel
Copy-Editing: Ursula Zimpfer, Herrenberg
Satz: Horst Lichter, Aachen
Herstellung: Stefanie Weidner, Frank Heidt
Umschlagmotiv: Jochen Ludewig, Stuttgart
Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, *www.exclam.de*
Druck: Schleunungdruck GmbH, Marktheidenfeld
Bindung: Hubert & Co. GmbH & Co. KG. BuchPartner, Göttingen

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

ISBN:
Print 978-3-86490-598-8
PDF 978-3-96088-546-7
ePub 978-3-96088-547-4
mobi 978-3-96088-548-1

4., überarbeitete und erweiterte Auflage 2023

Wieblinger Weg 17
69123 Heidelberg

Schreiben Sie uns:
Falls Sie Anregungen, Wünsche und Kommentare haben, lassen Sie es uns wissen: *hallo@dpunkt.de*.

5 4 3 2 1 0

Unseren Frauen und Kindern gewidmet:

Jutta · Gabi · Linda · Nora · Bastian · Jannis · Moritz

Vorwort

Entstehungsgeschichte

Dieses Buch hat seine allerersten Anfänge in einer Vorlesungsreihe »Software Engineering« am Neu-Technikum in Buchs, St. Gallen, Schweiz (Ludewig, 1985). Das Material wurde durch viele weitere Vorlesungen beider Autoren an der ETH Zürich, der Universität Stuttgart und der RWTH Aachen University immer wieder bearbeitet, ergänzt und erweitert.

2006 endlich ging unser Buch in Druck. 2010 erschien die zweite, 2013 die dritte Auflage. Nun, 2022, war es an der Zeit, die vierte Auflage fertigzustellen. Nachdem in den Auflagen 2 und 3 Korrekturen und kleine Ergänzungen im Vordergrund standen, gibt es nun einige substanzielle Erweiterungen, vor allem bei den Software-Prozessen und im Software-Entwurf.

Die lange Geschichte des Buches steht scheinbar im Widerspruch zum raschen Verderb des Informatik-Wissens. Wir sehen das weniger ängstlich und halten das Gerede von der »kurzen Halbwertzeit des Wissens« für modisches Geschwätz. Da wir uns nicht mit dem Leistungsstand von Mikroprozessoren befassen, sondern die Leserinnen und Leser, soweit es in unseren Kräften steht, mit dem Grundwissen für ein hoffentlich langes und befriedigendes Berufsleben ausrüsten, sollte das hier präsentierte Material viele Jahre brauchbar bleiben. Dazu trägt ohne Zweifel bei, dass sich Software Engineering vor allem mit den Menschen befasst, die Software in Auftrag geben, entwickeln und ändern oder benutzen. Was die Philosophen vor mehr als zweitausend Jahren über Menschen gesagt haben, gilt zum größten Teil noch heute, und so wird es wohl noch ein paar weitere Jahre gültig bleiben.

Rollenbezeichnungen

Auch in diesem Buch bleibt das Problem ungelöst, eine befriedigende Form der Rollenbezeichnungen zu finden, die nicht suggeriert, dass die Person in dieser Rolle ein männliches, ein weibliches oder ein diverses Wesen ist. Wir haben uns an anderer Stelle mit diesem Problem näher befasst (Deininger et al., 2017), freilich ohne eine gute, allgemein akzeptierte Lösung zu finden.

Darum gehen wir den üblichen Weg, alle Rollenbezeichnungen in ihrer männlichen Grundform, dem generischen Maskulinum, zu verwenden. Es dürfte überflüssig sein, darauf hinzuweisen, dass es keine einzige Rolle auf dem Gebiet des Software Engineerings gibt, die vorzugsweise oder ausschließlich mit Personen eines bestimmten Geschlechts besetzt sein sollte. Nach unserer Erfahrung sind gemischte Teams immer den ungemischten vorzuziehen.

Sprachstil

Vor drei, vier Jahrzehnten wäre eine Vorbemerkung zum Sprachstil nur töricht gewesen. Bis auf wenige bekannte Riffe im »Wörtersee« war allgemein klar und anerkannt, was als Deutsch gilt.

Das ist heute nicht mehr so. Ursache ist anscheinend nicht die Rechtschreibreform, sondern ein dramatischer Verfall der sprachlichen Disziplin. Viele Texte, die von Studierenden abgeliefert werden, können kaum mehr als Deutsch bezeichnet werden, und viele derer, die eigentlich Vorbild sein sollten, also Journalisten, Politiker und natürlich auch Hochschullehrer, verstärken das Problem, statt es zu bekämpfen.

Wir bekennen uns ausdrücklich zum Ziel, unsere Gedanken in einer akzeptablen Sprache zu formulieren. Wir sind dabei vor Fehlern nicht sicher, und wir werden keine literarische Qualität erreichen, aber wir bemühen uns. Den Leserinnen und Lesern wird darum auch an einigen Stellen ein Sprachgebrauch auffallen, der unmodern erscheint, aber – wenigstens in unseren Ohren oder Augen – richtig ist.

Anglizismen lassen sich gerade in Informatik-Büchern nicht vermeiden; das beginnt schon mit unserem Fachgebiet und mit dem Titel dieses Buches. Wo es eine gute deutsche Übersetzung gibt, ziehen wir sie vor. Gerade beim »Software Engineering« ist das zweifelhaft, denn »Softwaretechnik« ist ein sprachlicher Zwitter. Leider wurde versäumt, das Wort »Software« in unsere Sprache zu übertragen, wie es den Franzosen mit »Logiciel« glänzend gelungen ist. Dass solche Wortschöpfungen auch im Deutschen möglich sind, zeigt sich an künstlichen, aber heute geläufigen Wörtern wie »Rechner« oder »Datei«.

Dank

»Wir sind Zwerge, die auf den Schultern von Riesen sitzen.« So hat es laut Wikipedia Bernhard von Chartres um 1120 formuliert. Das gilt natürlich vor allem für die Verfasser wissenschaftlicher Arbeiten. Wo wir bewusst auf Material Bezug nehmen, das von anderen Autoren stammt, haben wir (hoffentlich vollständig und korrekt) zitiert. Das ist in besonders hohem Maße bei zwei Büchern der Fall, an denen einer von uns beteiligt ist (Frühauf, Ludewig, Sandmayr, 2002 und 2007). Vor allem unsere Kapitel 13 (*Software-Qualitätssicherung und -Prüfung*), 18 (*Programmtest*), 20 (*Konfigurationsverwaltung*) und 21 (*Software-Wartung*)

enthalten Anleihen aus diesen Büchern. Herzlichen Dank an die beiden Kollegen in Baden/Schweiz, die mit ihrer INFOGEM AG gutes Software Engineering erfolgreich vermitteln und praktizieren!

Einige Koryphäen des Software Engineerings haben uns fast ein halbes Jahrhundert lang geprägt: Das waren vor allem David L. Parnas (Jahrgang 1941), Barry W. Boehm (1935–2022), Fred Brooks (1931–2022) und Michael Jackson (1936), auch heute kaum noch bekannte Pioniere wie Daniel Teichroew (1925–2003), der das erste Spezifikationssystem geschaffen hat (PSL/PSA). In Deutschland ist vor allem Friedrich L. Bauer (1924–2015) zu nennen, der den Begriff »Software Engineering« 1968 wenn nicht erfunden so doch populär gemacht hat. Ohne diese (und viele andere) Leute wäre das Fachgebiet deutlich ärmer und ein Lehrbuch darüber ein »Leerbuch«.

Wenn es Unklarheiten über Begriffe oder Quellen gibt, schaut man ins Internet – und findet dort sehr viel Müll. Umso erfreulicher sind die Ausnahmen; Martin Glinz (bis zur Emeritierung 2017 an der Universität Zürich) sei stellvertretend für alle genannt, die Qualitätssicherung nicht nur lehren, sondern auch leben und (z.B. durch ihre Webseiten) demonstrieren.

Kornelia Kuhle hat (bis zur dritten Auflage) mit scharfem Blick auch kleinste Unregelmäßigkeiten des Textes erkannt und markiert. Einzelne Kapitel wurden von unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern kommentiert. Ihnen allen herzlichen Dank! Und allen, die uns zugehört und auch widersprochen haben, sind wir zu großem Dank verpflichtet.

Die Zusammenarbeit mit dem dpunkt.verlag, stets bestens vertreten durch Christa Preisendanz, war über die vielen Jahre reibungslos und immer erfreulich. Ursula Zimpfer hat wieder einmal mit bewunderungswürdiger Präzision die Endkontrolle des Buches vorgenommen; was jetzt noch falsch ist, geht auf unsere Kappe.

Unseren Familien danken wir dafür, dass sie uns immer den nötigen Freiraum und die Zeit gewährt haben, um an diesem Buch zu arbeiten.

Natürlich freuen wir uns auch in Zukunft über Ihre Kritik, positiv oder negativ, und Ihre Hinweise auf Lücken und Mängel. Dafür schon heute vielen Dank!

Jochen Ludewig, Horst Lichter
Stuttgart und Aachen, Dezember 2022

Inhalt und Aufbau, Zielgruppen

Inhalt

Vier Kriterien entscheiden darüber, welche Themen in einem Lehrbuch behandelt werden:

- Welches Wissen bringen die Autoren mit?
- Welche Themen sind für die Leser wichtig und attraktiv?
- Welche Aussagen und Erkenntnisse sind mutmaßlich für einige Jahre stabil, nicht den kurzfristigen Moden unterworfen?
- Was kann und sollte in einer Vorlesung über Software Engineering behandelt werden?

Jedes der Kriterien definiert, mehr oder minder scharf, eine Menge; die Schnittmenge liefert den Themenkatalog, der dem Buch zugrunde liegt.

Dabei müssen auch – wie immer im Software Engineering – Kompromisse gefunden, also Einschränkungen beim einen oder anderen Kriterium in Kauf genommen werden. Für die Leserinnen und Leser sollte aber in allen Teilen deutlich werden, welches Verständnis wir von unserem Fach haben: Software Engineering ist eine auf der Informatik beruhende Ingenieurdisziplin, die wie alle Ingenieurfächer darauf abzielt, die Praxis zu verbessern.

Software Engineering stellt sich für uns wie ein weitgehend unerforschter Kontinent dar. Wir sind weit davon entfernt, eine vollständige und präzise Beschreibung anbieten zu können. Wenigstens aber die Konturen, die bisherige Entwicklung (in groben Zügen) und die als gesichert geltenden Einsichten soll dieses Buch abdecken. Wer es in der Lehre einsetzt, wird eigene Erfahrungen und spezielle Literatur hinzufügen.

Aufbau

Für den Aufbau eines Lehrbuches gibt es einige sinnvolle Prinzipien:

- vom Allgemeinen zum Speziellen
- vom Leichten zum Schwierigen
- von den Grundlagen zu den Anwendungen

Im Software Engineering kommt noch hinzu:

- dem Gang des Software-Projekts folgend

Leider lässt sich daraus keine konkrete Reihenfolge ableiten, denn diese Prinzipien haben unterschiedliche Konsequenzen. Zudem sind viele Themen zyklisch verbunden. Ein typisches Beispiel ist die Software-Wartung: Im Projektablauf steht sie ganz am Ende. Da aber die Schwierigkeiten der Wartung sehr stark von den Entscheidungen bei der Konstruktion der Software beeinflusst sind, sollten Überlegungen zur Wartung nicht erst angestellt werden, wenn die Entwicklung abgeschlossen ist, sondern bereits in der Projektplanung. Die Wartung wirkt sich also auf den Entwurf aus, weil sich der Entwurf auf die Wartung auswirkt.

Wir können dieses Dilemma nicht auflösen. Wir haben darum einen anderen Aufbau gewählt: In sechs Teilen wird das Thema aus verschiedenen Perspektiven betrachtet.

- Teil I: *Grundlagen*
  Die Inhalte dieses Teils sind fundamental und damit nicht von einer speziellen Technologie geprägt. Hier geht es um das Basiswissen des Software-Ingenieurs. Am Anfang steht ein Kapitel über Modelle, weil dieses Thema für das Software Engineering wirklich grundlegend ist und damit das Fundament aller weiteren Kapitel darstellt.
- Teil II: *Menschen und Prozesse*
  Software ist enger als andere technische Artefakte mit dem Denken der Menschen verknüpft, die die Software herstellen oder benutzen. Die organisatorischen Rahmenbedingungen haben großen Einfluss auf den Erfolg der Projekte. Diese Punkte werden im Teil II behandelt.
- Teil III: *Daueraufgaben im Software-Projekt*
  Viele Tätigkeiten wie Dokumentation oder Prüfung können nicht einzelnen Schritten der Entwicklung oder speziellen Dokumenten zugeordnet werden, sie finden laufend statt. Teil III behandelt diese Daueraufgaben.
- Teil IV: *Techniken der Software-Bearbeitung*
  Die einzelnen Schritte der Entwicklung, von der Analyse bis zur Integration, werden im Teil IV erläutert.
- Teil V: *Verwaltung und Erhaltung von Software*
  Die Wartung ist eng verknüpft mit der Konfigurationsverwaltung, dem Reengineering und der Wiederverwendung. Darum werden alle diese Themen im Teil V des Buches behandelt. Untereinander ist die Abgrenzung unklar; beispielsweise wird die Änderungsverwaltung im Kapitel über die Wartung besprochen, sie könnte ebenso gut im Kontext der Konfigurationsverwaltung behandelt werden.

Die Themen dieses Teils könnten auch dem Teil III, den Daueraufgaben, zugeordnet werden. Hier handelt es sich aber um Aufgaben und Arbeiten, die ganz oder vorwiegend anfallen, nachdem die Software an den Kunden ausgeliefert ist.

- Teil VI: *Software Engineering lehren*
  Am Ende des Buches befassen wir uns mit der Frage, wie sein Inhalt in Studiengängen und in anderen Formen vermittelt werden kann. Dazu wird ein konkreter Studiengang kurz vorgestellt, und es werden einige Zahlen zur Verbreitung solcher Studiengänge angegeben. Auf Kurse und Seminare zu Teilgebieten des Software Engineerings wird kurz hingewiesen.
- Teil VII: *Literatur und Index*
  Die im Buch zitierte Literatur haben wir nach Verfassern, die zitierten Normen nach Normenreihen geordnet; wir haben uns sehr nachdrücklich bemüht, alle Quellen richtig und vollständig anzugeben. Das Stichwortverzeichnis steht ganz am Schluss des Buches.

Wer dieses Buch im Unterricht einsetzt, sollte das Inhaltsverzeichnis nicht als Vorgabe für die Gliederung seiner Lehrveranstaltung betrachten. Wir hoffen, unsere Kolleginnen und Kollegen durch eine klare und nachvollziehbare Struktur bei der individuellen Auswahl der Themen und bei der Gestaltung ihrer Lehre zu unterstützen. Und natürlich gibt es Bedarf und Raum für Ergänzungen durch andere Themen, die in diesem Buch fehlen oder nur kurz besprochen werden. Die formale Spezifikation und eine ganze Reihe moderner Entwicklungstechnologien sind naheliegende Beispiele solcher Gebiete.

Zielgruppen

Da wir regelmäßig Lehrveranstaltungen über Software Engineering an zwei deutschen Universitäten durchführen bzw. durchgeführt haben, sind Studierende die Adressaten dieses Buches. Unsere Erfahrungen in anderen Ländern und in anderen Lehranstalten legen die Vermutung nahe, dass das Buch für alle deutschsprachigen Länder und auch für andere Hochschulen geeignet ist. Dazu zählen wir auch Schulungseinrichtungen in der Industrie, wo wir selbst immer gern unterrichtet haben und unterrichten.

Aus dieser Erfahrung und den Erfahrungen aus vielen Kooperationen mit Industrieunternehmen wissen wir, dass es in der Industrie sehr viele Menschen gibt, die an Software arbeiten, ohne eine einschlägige Ausbildung zu haben. Die meisten von ihnen sind gelernte Ingenieure, Naturwissenschaftler, Mathematiker oder Kaufleute; sie bringen durch ihren ursprünglichen Beruf wichtige Voraussetzungen für das Software Engineering mit und haben Studierenden sehr viel praktische Erfahrung voraus. Dieses Buch gibt ihnen die Möglichkeit, einige Grundlagen und spezielle Themen im Selbststudium zu erarbeiten. Wir haben uns besonders für diese Gruppe darum bemüht, die Ideen und Gedanken nicht nur

aufzulisten, sondern durch einen hoffentlich gut strukturierten und formulierten Text auch verständlich und angenehm lesbar zu machen, also quasi eine Vorlesung in Buchform anzubieten.

Wir haben zu diesem Buch eine Webseite (*se-buch.de*) erstellt. Dort finden Sie unter anderem Materialien, beispielsweise alle im Buch enthaltenen Abbildungen, und auch Korrekturen zu gemeldeten Fehlern.

Inhaltsverzeichnis

Teil I

Grundlagen

1 Modelle und Modellierung

Modelle sind ein fundamentales Konzept unseres Umgangs mit der Welt. Alle Naturwissenschaftler und Ingenieure verwenden und schaffen Modelle, um allgemeingültige Aussagen zu treffen und um ihre Vermutungen zu konkretisieren. Oft markieren die Modelle Zwischenschritte auf dem Weg zu neuen Artefakten, also zu Brücken, Autos oder Funktelefonen. Im Software Engineering ist die Bedeutung der Modelle noch größer, weil sie nicht Zwischenschritte, sondern Endpunkte unserer Arbeit darstellen: Eine Spezifikation, aber auch ein Programm ist ein Modell. Natürlich gehören auch die Prozessmodelle dazu, nach denen die Projekte organisiert werden. Wir legen also mit diesem Kapitel, das auf Ludewig (2003) basiert, den Grundstein für unser Buch. Das gilt auch für die beiden letzten Abschnitte, die sich mit Skalen und Skalentypen befassen.

1.1 Modelle, die uns umgeben

1.1.1 Die Bedeutung der Modelle

Lebenswichtig für uns sind die Modelle, die wir als *Begriffe* kennen und verwenden, um uns ein Bild (d. h. ein Modell) der Realität zu machen. Ohne die Begriffe wäre für uns jeder Gegenstand ganz neu; weil wir aber zur Abstraktion fähig sind, können wir die Identität eines Gegenstands, seinen Ort, seinen Zustand und u. U. viele andere individuelle Merkmale ausblenden, um ihn einer Klasse von Gegenständen, eben dem *Begriff*, zuzuordnen. Auf diese Weise erkennen wir auch einen Gegenstand, den wir noch nie gesehen haben, als Bleistift, Stuhl, Auto oder was immer in unserer Vorstellung am besten passt.

Diese Fähigkeit ist uns bereits von Natur aus gegeben; sie ist weder bewusst steuerbar, noch lässt sie sich unterdrücken. Darum sind wir auch nicht davor geschützt, falsche (d. h. ungeeignete) Modelle zu wählen. Wir erleben das erheitert bei optischen Täuschungen, wir erleiden es, wenn wir direkt oder indirekt Opfer von Vorurteilen werden: Auch das sind Modelle.

Dagegen steht es uns frei, Modelle bewusst einzusetzen, um auf diese Weise Phänomene zu erklären oder Entscheidungen zu überprüfen, bevor sie wirksam

werden. Beispielsweise können wir ein geplantes Bauwerk durch eine Zeichnung oder ein Papiermodell darstellen und dann den Entwurf anhand des Modells überprüfen.

Wo Modelle offensichtliche Schwächen zeigen, neigen wir dazu, sie zu belächeln. Das gilt etwa für die Puppe, die ein spielendes Kind in einem länglichen Stück Holz sieht. Wo Modelle dagegen sehr überzeugend wirken, besteht die Gefahr, dass sie mit der Realität verwechselt werden. Darum ist zunächst festzuhalten: Ein Modell ist ein Modell, es ist nicht die Realität. Die Schwierigkeit, die wir haben, wenn wir von Modellen auf die Realität zu schließen versuchen, hat bereits der griechische Philosoph Platon (428/427–348/347 v. Chr.) in seinem berühmten *Höhlengleichnis* angesprochen. Darin beschreibt er die Situation eines Menschen, der, seit seiner Kindheit in einer Höhle mit dem Gesicht zur Wand gefesselt, nur die Schatten der Menschen sieht, die an der Höhle vorbeilaufen. Der Gefangene muss die Schatten als Realität nehmen, da ihm die *wirkliche* Realität nicht zugänglich ist. Die Botschaft dieses Gleichnisses ist, dass wir alle in dieser Situation sind, also nicht die Realität sehen können, sondern nur die Schatten.

1.1.2 Beispiele für Modelle

Alle Begriffe sind Modelle; diese sehr allgemeine Betrachtungsweise spielt hier weiter keine Rolle mehr, wir konzentrieren uns auf »richtige« Modelle. Auch diese sind uns so geläufig, dass wir sie in der Regel nicht mehr als Modelle wahrnehmen: Jedes Bild, jedes Schema ist ein Modell. Beispielsweise sind Modelle eines bestimmten oder unbestimmten Menschen

- ein Personenfoto,
- die anatomische Darstellung der Blutbahnen,
- Strichmännchen und Piktogramme, die einen Menschen zeigen,
- ein Fingerabdruck,
- ein Gemälde, das einen Menschen zeigt,
- ein Steckbrief (mit oder ohne Bild),
- eine Matrikelnummer.

Unmittelbar leuchtet das für solche Modelle ein, die (wie das Foto oder die anatomische Darstellung) eine optische oder strukturelle Ähnlichkeit mit dem Original aufweisen. Aber auch die übrigen Beispiele sind, wie unten gezeigt wird, korrekt.

Im Software Engineering treffen wir Modelle auf verschiedenen Ebenen an:

- Software wird auf unterschiedliche Arten repräsentiert, typischerweise durch eine Spezifikation, einen Entwurf, durch Diagramme und Quellcode, Kennzahlen (Metriken) und Prospekte. Offenkundig haben wir hier Modelle vor uns; dabei bleibt zunächst noch unklar, welcher Gegenstand denn eigentlich das Original darstellt. Wenn man bedenkt, dass man (nach dem Lehrbuch) den Code auf der Grundlage einer Spezifikation entwickelt, dass andererseits

in der Praxis sehr oft versucht wird, den Sinn eines Programms (d. h. seine Spezifikation) aus dem Code abzuleiten, dann sieht man, dass die Frage nicht eindeutig zu beantworten ist.

- Die Abläufe bei der Arbeit an Software werden durch Prozessmodelle beschrieben. Gutes Software Engineering ist weitgehend gleichbedeutend mit der Wahl eines geeigneten Prozessmodells und seiner Umsetzung in die Praxis.

Allgemeiner gesagt ist jede Theorie ein Modell. Im Software Engineering steckt die Theoriebildung noch in den Kinderschuhen, wir müssen uns gerade darum mit ihr befassen (siehe Abschnitt 1.6).

1.2 Modelltheorie

Herbert Stachowiak (1921–2004) hat das Standardwerk zur Modelltheorie verfasst. Die folgenden Aussagen zur Modelltheorie geben Gedanken aus diesem Buch wieder (Stachowiak, 1973).

1.2.1 Deskriptive und präskriptive Modelle

Modelle, wie wir sie aus dem Alltag kennen, sind entweder Abbilder von etwas oder Vorbilder für etwas; sie werden auch als *deskriptive* (d. h. beschreibende) bzw. *präskriptive* (d. h. vorschreibende) Modelle bezeichnet. Eine Modelleisenbahn ist ein Abbild; eine technische Zeichnung, nach der ein Mechaniker arbeitet, ist ein Vorbild. Wenn ein Gegenstand fotografiert wird und dann Änderungen im Foto skizziert werden, geht das eine in das andere über. Den Modellen kann man im Allgemeinen nicht ansehen, ob sie deskriptiv oder präskriptiv sind; eine Modelleisenbahn kann auch der Entwurf für eine erst zu bauende reale Bahn sein, eine Zeichnung kann nach einem realen Gegenstand entstanden sein.

1.2.2 Die Modellmerkmale

Jedem Modell (wie in Abb. 1–1 schematisch dargestellt) sind drei Merkmale zu eigen (sonst ist es kein Modell):

- Das *Abbildungsmerkmal*
  Zum Modell gibt es das Original, ein Gegenstück, das wirklich vorhanden, geplant oder fiktiv sein kann. (Beispiel: Zu einem Foto gibt es das fotografierte Motiv, zum Rauschgoldengel gibt es den – wenn auch fiktiven – Engel der Fantasie.)
- Das *Verkürzungsmerkmal*
  Ein Modell erfasst nicht alle Attribute des Originals, sondern nur einen Ausschnitt (der vor allem durch den Zweck des Modells bestimmt ist, siehe pragmatisches Merkmal).

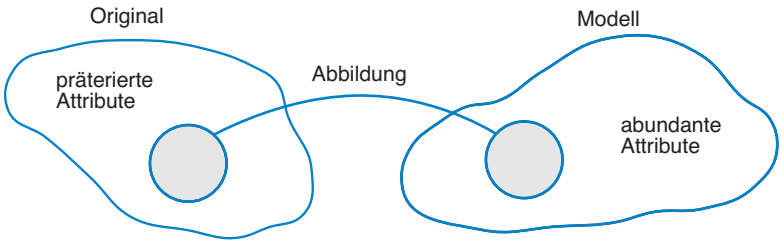


Abb. 1–1 *Original und Modell nach Stachowiak*

Damit fallen die *präterierten Attribute* weg (von lat. praeter: außer, ausgenommen). Das sind alle Attribute des Originals, die im Modell nicht repräsentiert sind. Das Modell weist stattdessen *abundante Attribute* auf (von lat. abundans: übervoll, überreich), die nichts mit dem Original zu tun haben. So sind auf dem Foto einer Person die meisten ihrer Attribute präteriert (ihr Gewicht, ihr Name, ihre Blutgruppe usw.). Andererseits sind Attribute des Modells abundant, sie haben nichts mit der Person zu tun (die Qualität des Fotopapiers, das Format). Der Fingerabdruck gibt nur einen winzigen Ausschnitt der Merkmale eines Menschen wieder, alle anderen Merkmale sind präteriert; die Farbe des Abdrucks ist dagegen ein abundantes Attribut.

- Das *pragmatische Merkmal*
  Modelle können unter bestimmten Bedingungen und bezüglich bestimmter Fragestellungen das Original ersetzen. (Beispiel: Ein Foto erlaubt die Beurteilung eines Unfalls, der sonst nur durch Anwesenheit am Unfallort zu beurteilen gewesen wäre. Der Fingerabdruck gestattet es eventuell, die Identität einer Person festzustellen, auch wenn die Person selbst nicht zur Verfügung steht.)

1.3 Ziele beim Einsatz von Modellen

Modelle werden mit unterschiedlichen Zielen (Zwecken) eingesetzt. Diese Ziele sind nicht präzise unterscheidbar, sie gehen ineinander über.

1.3.1 Modelle für den Einsatz in der Lehre und zum Spielen

Modelle werden vielfach in der Ausbildung, in der Werbung, für Spiele usw. eingesetzt, wo die Originale aus ethischen oder praktischen Gründen nicht zur Verfügung stehen. Dies ist wohl die bekannteste Art von Modellen. Charakteristisch für ein solches Modell ist die Nachahmung eines existierenden oder fiktiven Originals, d. h., das Modell ist deskriptiv und dem Original ähnlich. Beispiele sind

- Modelleisenbahnen,
- Modelle der menschlichen Anatomie,
- die meisten Computerspiele.

1.3.2 Formale (mathematische) Modelle

Formale Modelle sind ebenfalls deskriptiv, den Originalen aber äußerlich gar nicht ähnlich; ihr wesentliches Kennzeichen ist, dass sie die Möglichkeit eröffnen, reale Situationen und Vorgänge formal darzustellen und damit Hypothesen über eine vergangene, zukünftige oder denkbare Realität zu begründen. In anderen, komplexeren Modellen sind solche mathematischen Modelle meist enthalten. Typische Beispiele sind

- die Formeln der Physik und der Chemie,
- die Formeln der Statistik (soweit sie empirisch begründet sind),
- das Modell der Regelschleife.

1.3.3 Modelle für die Dokumentation

Eine weitere in der Praxis ständig angewandte Form von Modellen ist die Dokumentation. Wir fertigen Modelle an, damit wir uns besser und genauer an bestimmte Situationen, Abläufe, Personen und Gegenstände erinnern und die Erinnerungen austauschen und überliefern können. Beispiele dafür sind

- Fotos und Fotoalben, Aufzeichnungen einer Überwachungskamera,
- Geschichtsbücher, Gerichtsprotokolle,
- Buchungsbelege, Tagebücher,
- Logbücher, Fehlerreports.

1.3.4 Explorative Modelle

Explorative Modelle (Abb. 1–2) werden eingesetzt, wenn die Folgen einer vorgeschlagenen, noch nicht beschlossenen Änderung der Realität beurteilt werden sollen.

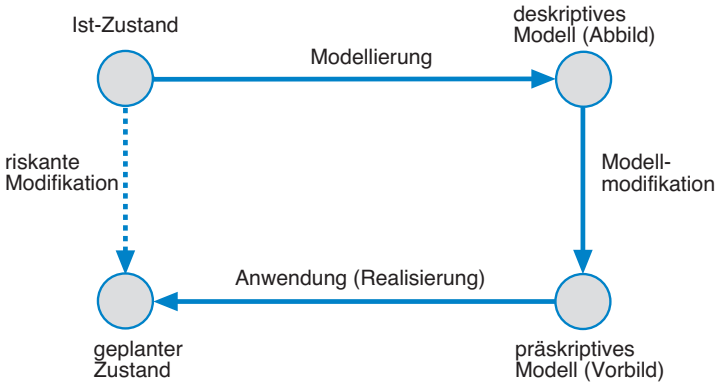


Abb. 1–2 *Anwendung des Modells als Experiment für eine geplante Änderung*

Beispielsweise ist die Erstellung eines Gebäudes heute zwar technisch in der Regel nicht besonders schwierig, doch besteht das Risiko, dass es dem Kunden dann nicht gefällt oder dass es die Landschaft verschandelt. Darum wird ein Modell angefertigt, das es gestattet, diese Risiken zu vermindern. Wir gehen also nicht direkt vom Ist-Zustand in den geplanten Zustand über, sondern zunächst in das deskriptive Modell (im Fall des Gebäudes ein Modell der Umgebung, also der Landschaft) und von dort zum präskriptiven Modell (Landschaft mit dem geplanten Gebäude). Erscheint dieses – u. U. nach mehreren Versuchen – akzeptabel, so wird der Schritt zurück in die Realität vollzogen (das Haus wird gebaut).

Stachowiak (1973, S. 139 f.) beschreibt die wesentliche Funktion solcher Modelle wie folgt (verkürztes Zitat):

> *... Dabei ist bei allen Modellierungen, die zum Informationsgewinn über das Original führen sollen, die folgende Vorgehensweise zu beobachten. Das Original wird in sein Modell abgebildet [a], wobei zumeist zahlreiche Originalattribute fortgelassen [b] und oft Modellattribute neu eingeführt werden [c]. (...) Mittels zielgerichteter Modelloperationen wird dann das ursprüngliche Modell in ein verändertes übergeführt [d]. Ist die attributenmäßige Original-Modell-Zuordnung umkehrbar eindeutig [e], so sind den modellseitigen Operationen bestimmte originalseitige zugeordnet, und die faktisch-operative Überführung des ursprünglichen in das veränderte Modell zieht eine wohlbestimmte hypothetisch-operative Überführung des ursprünglichen Originals in ein verändertes [f] nach sich. (...)*

Zwei Beispiele (aus der Medizin und aus dem Finanzwesen) sollen den Ablauf anschaulich machen. Dabei wird auf die in den Text von Stachowiak eingefügten Buchstaben Bezug genommen.

[a]	Das gebrochene Bein (Original) wird geröntgt.	Die Steuereinnahmen der kommenden Jahre (Original) werden geschätzt.
[b]	Die Beschaffenheit der Haut ist im Röntgenbild nicht sichtbar.	Die individuellen Quellen der Steuer, die exakten Zahlungstermine usw. spielen keine Rolle.
[c]	Die physikalisch-chemische Beschaffenheit des Röntgenfilms ist nicht vom Patienten beeinflusst.	Die konkrete mathematische Darstellung des Modells ist nicht durch die Realität bestimmt.
[d]	Das Bild der Bruchstelle wird im Hinblick auf eine Therapie untersucht.	Die Folgen einer Änderung der Steuergesetze werden im Modell ermittelt.
[e]	Wenn das Bild den Bruch richtig zeigt und nichts Wesentliches ausblendet (beispielsweise eine andere Erkrankung des Patienten),	Wenn die Zusammenhänge im Modell, z. B. über die Auswirkungen vermehrter Kaufkraft auf den Konsum, der Realität entsprechen,
[f]	können die realen Bruchstücke so zusammengefügt werden, wie es auf dem Bild durchgespielt wurde.	kann auf das Steueraufkommen geschlossen werden, das nach der Änderung der Steuergesetze entsteht.

Stachowiak wertet wie folgt:

> *Der Gewinn dieser Vorgehensweise liegt auf der Hand: Modellseitig gewonnene Einsichten und Fertigkeiten lassen sich – bei Erfülltsein gewisser Transferierungskriterien – auf das Original übertragen, der Modellbildner gewinnt neue Kenntnisse über das modellierte Original, er bekommt dieses besser als bisher in den Griff, kann es auf neue Weise zweckdienlich umgestalten oder als verbessertes Hilfsmittel für neue Aktionen verwenden.*

Darin stecken auch bereits die Gefahren, die von Modellen ausgehen: Die Transferierungskriterien, von denen Stachowiak spricht, sind in der Praxis oft unklar. Auf diese Weise kommt es oft vor, dass die Aussagekraft eines Modells überschätzt wird und falsche Schlüsse gezogen werden. Ein (auch bei Politikern) sehr populäres Beispiel ist das folgende: Aus Erfahrungsdaten wird abgeleitet (»bewiesen«), dass das Wachstum (einer bestimmten Industrie, des Energiebedarfs, der Erdbevölkerung, des Mülls) exponentiell verläuft. Das kann, da alle Ressourcen unserer Erde endlich sind, nicht lange richtig sein. Trotzdem wird gern damit argumentiert.

1.4 Entwicklung und Validierung von Modellen

Die Entwicklung von Modellen ist der Zweck jeder Forschung. Unabhängig vom Fachgebiet und von der Art des Modells geht man dabei so vor, dass man ein Modell entwirft und es anschließend zu validieren versucht. »Validieren« bedeutet nicht »beweisen«; Modelle sind nicht richtig oder falsch, sondern zweckmäßig oder unzweckmäßig.

1.4.1 Die Entwicklung eines Modells

Modelle entstehen durch Beobachtungen, Analogieschlüsse und Intuition. Beobachtungen geben meist den Anstoß: Wer beobachtet, dass Programme in der Programmiersprache A typischerweise weit weniger syntaktische Fehler enthalten als solche in B, hat schon eine Theorie entwickelt. Er könnte nun ein Modell schaffen, indem er behauptet, dass es (unter bestimmten Bedingungen) in der Sprache A im Mittel F_A Fehler pro 1000 Zeilen gibt, bei Sprache B im Mittel F_B.

1.4.2 Die Validierung eines Modells

Wie die Naturwissenschaftler können wir auch im Software Engineering nur durch die Resultate von Experimenten und Beobachtungen seriös validieren. Leider stehen Experimenten mindestens drei große Hindernisse im Wege:

- Die individuellen Eigenschaften der Probanden, also der Personen, die bei einem Experiment mitwirken, streuen in einem sehr weiten Bereich (siehe dazu Abschnitt 6.3.2); selbst wenn die niedrigsten in der Literatur genannten Zahlen stimmen, geht es um eine volle Größenordnung. Darum müssen für ein Experiment entweder sehr spezielle Gruppen gebildet werden (was die Allgemeingültigkeit der Resultate stark einschränkt) oder sehr viele Probanden herangezogen werden (was inakzeptable Kosten verursacht). Im Beispiel oben müsste zudem sichergestellt werden, dass die Hilfsmittel (z. B. die Editoren) und die Vorkenntnisse der Probanden bezüglich Programmiersprachen und Hilfsmitteln gleich sind.
- Experimente im Bereich des Software Engineerings sind selbst bei wenigen Probanden schon extrem kostspielig und darum im Allgemeinen unmöglich; wo sie durchgeführt werden, handelt es sich bei den Probanden in der Regel um Studierende, die aber kaum repräsentativ für diejenigen sind, über die Aussagen gemacht werden sollen (meist die Software-Entwickler im Allgemeinen).
- Die durch ein Experiment zu beantwortenden Fragen müssen sehr präzise gestellt werden, um das Experiment reproduzierbar zu machen, denn Reproduzierbarkeit ist ein fundamentales Prinzip der wissenschaftlichen Arbeit. Es reicht also nicht aus, danach zu fragen, wie viele Zeilen Code ein Entwickler pro Tag schreibt, sondern es muss exakt definiert sein, welche Art von Code, in welcher Programmiersprache, aufgrund welcher Vorgaben, unter welchen Arbeitsbedingungen, mit welcher Vorbildung und bei welchen weiteren persönlichen Voraussetzungen. Die Erfüllung dieser Forderungen bedeutet aber, dass die Ergebnisse nur für einen winzigen Ausschnitt der Welt gültig sind.

Bei Beobachtungen (Feldstudien) untersucht man aktuelle oder dokumentierte Abläufe, meist Software-Projekte oder Teilprojekte. Gegenüber den Experimenten fallen dabei einige Probleme weg, vor allem das der extrem hohen Kosten. Dafür gibt es andere Probleme: In aller Regel sind Daten weder im erforderlichen Umfang noch in der gewünschten Qualität vorhanden und zugänglich, und die untersuchten Abläufe unterliegen oder unterlagen sehr vielen Einflüssen, sodass es unmöglich ist, die Wirkung eines bestimmten Parameters zu analysieren.

1.4.3 Beispiel: Wie wirkt sich die Methode der Entwicklung aus?

Betrachten wir als Beispiel den Versuch, die Effekte einer bestimmten Methode bei der Software-Entwicklung festzustellen.

Im Experiment bildet man n Entwicklergruppen; n/2 Gruppen entwickeln nach Methode A, n/2 nach Methode B. Die Probanden werden den Gruppen durch Los zugeordnet. Es muss sichergestellt sein, dass die Vorkenntnisse der Probanden hinsichtlich A und B gleich sind. (Das ist kaum zu schaffen.) Über einen solchen (mit einigen Mängeln behafteten) Versuch berichten Boehm, Gray und Seewaldt (1984).