

Jens Gallenbacher

Abenteuer Informatik

IT zum Anfassen
für alle von 9 bis 99 –
vom Navi bis Social Media

5. Auflage

 Springer

Abenteuer Informatik

Jens Gallenbacher

Abenteuer Informatik

IT zum Anfassen für alle von 9 bis 99 –
vom Navi bis Social Media

5. Auflage

Prof. Dr.-Ing. Jens Gallenbacher
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Didaktik der Informatik
Mainz
Deutschland
abenteurer@gallenbacher.de

8 Kapitel wurden unter der CC BY-NC-ND 4.0 International Lizenz veröffentlicht (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>). 1. Sag mir wohin 2. Ordnung muss sein 3. Ich packe meinen Koffer und ... 8. Erkennungsdienst 9. Paketpost 11. Ordnung im Chaos 12. Mit Sicherheit 15. Allmächtiger Computer

Ergänzendes Material zu diesem Buch finden Sie auf
www.abenteurer-informatik.de sowie
www.inspiration-informatik.de

ISBN 978-3-662-63738-8

ISBN 978-3-662-63739-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-63739-5

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

Springer

1. und 2. Aufl.: © Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2006, 2008

3. und 4. Aufl.: © Springer-Verlag GmbH Deutschland 2012, 2017

5. Aufl.: © Springer-Verlag GmbH Deutschland 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Dr. Andreas Rüdinger

Einbandabbildung: © getty-images, wsp design Werbeagentur GmbH, Heidelberg

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Inhalt

Einleitung VIII

Kapitel 1 – Sag mir wohin ... 1

Lösen Sie das Problem des kürzesten Weges: Welchen Weg muss ich nehmen, um mit der kürzesten Strecke bzw. am schnellsten von Ort A nach Ort B zu kommen? Kleine Krabbeltiere werden Ihnen dabei behilflich sein, auch den Geheimnissen der Navi-Profis im Internet auf die Spur zu kommen.

Kapitel 2 – Ordnung muss sein! 49

Einstein und Freud bevorzugten einhellig das Chaos auf ihrem privaten Schreibtisch. Damit ein Computer aber für uns schnell Informationen auffindet, müssen diese sortiert werden. Lernen Sie, wie der Computer vom Menschen gelernt hat.

Kapitel 3 – Ich packe meinen Koffer und ... 85

Wenn ein Informatiker einen Rucksack füllt, dann sollte der zur Verfügung stehende Platz bestens ausgenutzt sein! Vollziehen Sie die Kunst des Packens und dabei auch noch die der dynamischen Programmierung nach.

Kapitel 4 – Der Trick mit dem Binären 111

Wie rechnet ein Computer? Auf diese Frage lautet eine – nur fast korrekte – Standardantwort „mit Nullen und Einsen“. Was es mit den Nullen und Einsen auf sich hat, erfahren Sie hier und jetzt!

Kapitel 5 – 10000000000 Jahre Informatik? 119

Eine solche Geschichte kann nur diese Wissenschaft bieten. Lassen Sie sich überraschen und erfahren Sie auch noch das „Warum“ hinter Kapitel 4.

Kapitel 6 – Von Kamelen und dem Nadelöhr 137

Wie lassen sich Texte und Bilder schrumpfen, ohne dass Informationen verloren gehen? Was hat es mit der Information – Namensgeber für das „Info“ in „Informatik“ – überhaupt auf sich? Kann man Information messen, so wie Längen, Gewichte oder die Zuckerkonzentration im Kaffee eines Informatikers?

Kapitel 7 – Verluste gibt es doch immer! **173**

Warum können manche Digitalkameras mit dem gleichen Speicherchip mehr Bilder machen als andere und wie funktioniert MP3 eigentlich? Datenkomprimierung ist ein sehr wichtiges Thema für die heutige Gesellschaft, in der immer mehr und immer größere Informationsmengen versendet und gespeichert werden müssen. Nur so viel: Alles hat seinen Preis ...

Kapitel 8 – Erkennungsdienst **187**

Spiel oder Ernst? Identifizieren Sie mit Spürsinn anhand einfacher Fragen Ihr Gegenüber. Können Sie sich besser tarnen, wenn Sie dann im Fokus der Enthüllungen stehen? Auf jeden Fall ermitteln Sie dabei ganz automatisch ein paar wesentliche Grundlagen der Informatik.

Kapitel 9 – Paketpost **205**

Bücher, Schuhe oder auch einfach die Pizza für den kleinen Hunger zwischendurch – kaum eine Lieferung würde bei uns ankommen, wenn nicht vorher ganz andere Pakete sicher ihren Weg durch den Dschungel des Internets gefunden hätten. Erfahren Sie hier, wie das auch in chaotischen Verhältnissen immer wieder gelingt.

Kapitel 10 – Alles im Fluss **229**

Die Cloaca Maxima der alten Römer bestand aus riesigen Abwasserleitungen und -systemen. Moderne Leitungsnetze kommen mit wesentlich weniger Platz aus, weil ein einfaches Verfahren aus der Informatik genau bestimmen kann, wie viel durch welche Leitungen von wo nach wo fließen kann. Aber was um alles in der Welt hat das mit einer Partnervermittlungsagentur zu tun?

Kapitel 11 – Ordnung im Chaos **263**

Hatte Einstein doch recht und Chaos ist besser als Ordnung? Informatiker nutzen seit Langem ein Verfahren, das Informationen scheinbar chaotisch anordnet, sie jedoch trotzdem auf Anhieb auffindbar macht. Vielleicht eine neue Möglichkeit, die Wohnung zu organisieren? Achtung: Ärger mit dem Partner ist vorprogrammiert...

Kapitel 12 – Mit Sicherheit **287**

Safeknacker sind unmodern geworden. Ihre Kollegen des IT-Zeitalters bedienen sich nur noch eines Computers und des Internets. Nur wer die Prinzipien hinter modernen Sicherheitsmechanismen begreift, kann diese so einsetzen, dass die Diebe kaum noch eine Chance haben! Aber hinter was sind sie eigentlich her – in den sozialen Netzwerken hinterlassen wir doch kein Geld, nur Daten ... genau!

Kapitel 13 – Rechnen mit Strom **333**

Mit Fingern rechnen – das können sich die meisten noch vorstellen. Ein Computer arbeitet auf Basis elektrischer Ströme und Spannungen. Lernen Sie in diesem Kapitel, wie das funktioniert.

Kapitel 14 – Besser rechnen mit Strom **367**

Addieren und subtrahieren – schön und gut. Der Computer kann aber so viel mehr als einfache Rechenwerke. Kommen Sie dem Geheimnis der „denkenden Maschine“ auf die Spur.

Kapitel 15 – Allmächtiger Computer!? **391**

Computer ohne Grenzen? Wohl kaum! Auch für die schlauen Kisten gibt es weiße Flecken auf der Landkarte: Nicht alles ist von ihnen berechenbar. Erfahren Sie anhand spannender Puzzlespiele, welche Dinge niemals per Computer ermittelbar sein werden.

Kapitel 16 – Spielchen gefällig? **413**

Computer sind die besseren Glücksspieler – das müssen sie auch sein, wenn es darum geht, Bestellungen vorauszuahnen und die Produktion der entsprechenden Waren schon einmal anzuregen oder auch Polizeistreifen zum Tatort zu schicken, bevor das Verbrechen dort passiert. Spielen Sie mit in der Welt der Online-Algorithmen.

Kapitel 17 – Schnelle Antworten **439**

Nicht alles ist fauler Zauber: Lernen Sie die Magie der Fehlerkorrekturmechanismen kennen, die zum Beispiel dafür sorgen, dass sich auch verstaubte und verkratzte DVDs noch einwandfrei abspielen lassen und QR-Codes erkennbar bleiben.

Kapitel 18 – Computer auf der Schulbank **461**

Heißt nun Machine Learning, dass in unseren Klassenzimmern in Zukunft immer mehr Computer ausgebildet werden? Wer lernt hier von wem und was? Gibt es so etwas wie künstliche Intelligenz? Blicken Sie hinter die Kulissen dieser spannenden Disziplin!

Glossar **491**

Bildnachweis **499**

Einleitung

Informationstechnik ist unzweifelhaft ein dominierender Faktor unserer Zivilisation: Sie steckt in normalen Haushaltsgeräten so selbstverständlich wie in Kleidung und Spielen. Technische Geräte wie Autos und Telefone kommen schon lange nicht mehr ohne IT aus. Vernetzung bestimmt bereits heute den alltäglichen Umgang, in dem wir überall und jederzeit Zugriff auf Informationen haben. Auch wenn es nicht möglich scheint: Die Zukunft wird davon noch viel stärker geprägt sein, wenn elektronische Komponenten ganz selbstverständlich untereinander interagieren – solche, die als Geräte sichtbar sind, wie Mobiltelefone, Fernseher oder Autoschlüssel, aber auch solche, von denen wir diese Funktionalität heute noch nicht im Blick haben, wie Schuhe oder Briefumschläge.

Der Fortschritt von Informationstechnik ist paradoxerweise vor allem an ihrer „Unsichtbarkeit“ messbar – ermöglicht durch Miniaturisierung und höhere Leistungsfähigkeit, aber insbesondere auch durch die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen, die eine sehr „natürliche“ Bedienung ermöglichen. Gesten wie „Wischen“ oder Sprachbefehle an das Mobiltelefon sind uns nicht mehr fremd. Ist das Informationstechnik? Aber die Systeme agieren zunehmend auch völlig autonom, indem sie unsere Bedürfnisse anhand bestimmter Messwerte erkennen – oder zumindest das, was die Schöpfer dieser Geräte als unsere Bedürfnisse identifizieren.

Genau aus diesem Grund sollte insbesondere immer unsichtbarer werdende Technik zum Wohle von uns allen gestaltet werden, was nur durch Mitwirkung bzw. zumindest informierte Meinungsbildung dazu gelingen kann. Die Entscheidung für oder gegen die Nutzung einer neuen App, eines coolen Rückerstattungsangebots oder des Sportarmbands für einen günstigeren Krankenkassentarif muss auf Basis der Kenntnis um die Wirkprinzipien und damit der Möglichkeit eines kritischen Umgangs mit der Technologie gefällt werden.

Informatik ist der Schlüssel zum Verständnis der Informationstechnik und damit der Schlüssel zum Verstehen unserer modernen Umwelt!

Die gute Nachricht: Informatik ist nicht nur cool, sondern auch eine Disziplin, die von Menschen nach menschlichen Prinzipien gestaltet ist! Überraschend viele Prinzipien sind Ihnen also schon bekannt. Schemata großer Datenbanksysteme beruhen auf den gleichen Vorgehensweisen, wie sie auch Grundschülerinnen und Grundschüler beim Sortieren von Spielkarten ganz implizit entwickeln, andere Ideen können wir uns aus der Natur abschauen. Für das Verständnis komplexer Zusammenhänge haben wir eigene Anschauungen entwickelt, wovon die Sprache der Mathematik nur eine ist.

Dieses Buch hilft Ihnen dabei, diese Potentiale zu erkennen und die Informatikerin bzw. den Informatiker in sich zu entdecken. Dabei werden einerseits alltägliche Geräte wie das Navi im Auto beleuchtet, andererseits bewusst spielerische Herangehensweisen gewählt.

Ein Prinzip durchzieht dabei allerdings alle Kapitel: Das wörtliche „Begreifen“ steht nicht nur am Anfang, sondern ist das zentrale Element. Das geht am besten ohne Computer: mit Papier, Bleistift, einer Schere und den Vorlagen aus dem Buch. Die „komplizierten“ Dinge brauchen dann noch ein Stück Holz, Nägel, Faden und einen Hammer ...

Das Prinzip hat sich seit der ersten Auflage, die 2006 erschienen ist, bewährt und ich habe es daher noch konsequenter in allen Kapiteln umgesetzt. Überhaupt ist diese vierte Auflage nun zum ersten Mal nicht nur ergänzt, sondern komplett überarbeitet. An dieser Stelle möchte ich auch den vielen Leserinnen und Lesern danken, die einerseits Fehler, andererseits auch Missverständnisse bei bestimmten Formulierungen zurückgemeldet und damit geholfen haben, das Buch zu verbessern.

Im spielerischen Teil, bei dem es vor allem um den Spaß, das Experiment und die Aha-Effekte geht, werden Sie nicht im Detail lernen, wie man einen Computer programmiert, aber Sie werden verstehen, was hinter vielen Standardprogrammen steckt.

Der Experimentierteil ist sehr einfach aufgebaut, erfordert praktisch kein Vorwissen und ist daher auch für Kinder (etwa ab der 3. Klasse) geeignet, wenn er mit den Eltern zusammen durchgearbeitet wird. Der Weg zur Lösung ist hier das Ziel: Wie geht ein Informatiker vor, um ein Problem zu knacken?

Auch die Begründung ist meist noch recht einfach zu verstehen: Warum funktioniert das Verfahren?

Wer dann (hoffentlich) ganz versessen darauf ist, noch mehr zu erfahren, kann am Ende jedes Kapitels eine mehr wissenschaftlich gehaltene Zusammenfassung und Vertiefung lesen. Dieser Teil ist mit „Was steckt dahinter?“ übertitelt. Im Mittelpunkt stehen hier die Fragen, warum das Verfahren immer funktioniert (also der Beweis), wo weitere Anwendungen liegen und wie in der Praxis das Verfahren noch verbessert wird. Hier sind zum Verständnis oft Mathematikkenntnisse vonnöten, wie sie in der gymnasialen Oberstufe vermittelt werden.

Dieses Buch kann also auf ganz verschiedene Weise gelesen bzw. – wie ich lieber sagen möchte – erlebt werden. Um das zu unterstützen, sind ein paar kleine Details eingebaut, die ich hier beschreiben möchte:

Beim Lesen von „Abenteuer Informatik“ können Sie eine mehr passive oder mehr aktive Rolle wählen. Selbstverständlich ist es spannend und auch lehrreich, auf wichtige Erkenntnisse der Informatik selbst zu kommen – zum Beispiel nach einem eigenhändig durchgeführten Experiment.

Sehr oft finden Sie daher eine Frage, einen Denkanstoß oder einen Arbeitsauftrag in blauer Schrift. Direkt dahinter steht das „Denk-Köpfchen“.



Es soll Sie kurz daran hindern, hier schon weiterzulesen. Sie können sich nun entscheiden, ob Sie selbst versuchen, zu einer Lösung zu kommen, oder diese einfach im nächsten Abschnitt lesen. Lassen Sie sich davon leiten, wie spannend das Thema für Sie ist.

Eine Quelle zusätzlicher Information ist die kleine linke bzw. rechte Spalte des Buches. Hier finden Sie kurze Lebensläufe wichtiger Persönlichkeiten, Anekdoten und anderes Wissenswerte im Zusammenhang mit dem Haupttext. Das Verständnis des Kapitels

ist allerdings auch ohne diese Spalte gewährleistet. Sie können sich daher diesen Teil für ein zweites Durchlesen aufsparen oder ihn als willkommene Ablenkung ansehen.

Den Anfang neuer Kapitel finden Sie im Buch übrigens recht einfach, wenn Sie es von der Seite betrachten: Das große Bild auf der linken Seite ist auch hier zu erkennen und lässt sich auf diese Weise als eine Art Index nutzen.

Wichtige Begriffe

Im Text sind immer wieder grundlegende Begriffe und Methoden der Informatik kurz erklärt. Um sie leichter wiederzufinden, stehen sie in blauen Kästchen. Wenn Sie möchten, legen Sie sich doch ein eigenes Merkblatt mit den Inhalten dieser Kästchen an. Ganz hinten im Buch sind allerdings ein paar wichtige Schlagwörter in einem Glossar zusammengefasst auch übersichtlich nachzuschlagen.



Die Reihenfolge der Kapitel ist übrigens recht lose. Auch wenn Sie das Buch nicht von vorne nach hinten durchlesen, sondern sich von Ihrer „Abenteuerlust“ leiten lassen, kann man die meisten Texte verstehen! Manchmal ist allerdings ein Hinweis auf eines der vorhergehenden Kapitel gegeben, das dann eine wichtige Grundlage beinhaltet. Mein Tipp ist, auf jeden Fall das erste Kapitel, vielleicht auch noch das zweite zu Beginn zu lesen. Danach können Sie unbeschwert stöbern.

Eine weitere Ausnahme sind Kapitel 13 und 14, die eine Art Einheit bilden. Kapitel 13 ist auch alleine verständlich, aber vor 14 sollten Sie die Experimente aus Kapitel 13 durchführen. Außerdem ist es zwar nicht unbedingt nötig, aber empfehlenswert, vor Kapitel 18 zumindest Kapitel 13 durcharbeiten, da man auf diese Weise leichter auf bestimmte Ideen kommen kann.

Kommen wir zu einem sehr wichtigen Teil, der dieses Buch auch von den allermeisten anderen Informatik-Büchern unterscheidet: der Bastelbogen! Er ermöglicht das wörtliche „Begreifen“ ohne zu viel Aufwand in der Herstellung eigener Materialien. Es genügt meistens, diese auszuschneiden.

Abbildung
Gedruckte Bastelbögen



Jedes Kapitel enthält daher am Ende entsprechende Kopiervorlagen. Manche Spielmaterialien – wie die Karten der binären Magie – brauchen zwingend Vorder- und Rückseite. Da selbst Kopierer und Drucker mit Duplex-Einheit oft nicht schaffen, die beiden Seiten wirklich deckungsgleich zu Papier zu bringen, habe ich diese Vorlagen so angelegt, dass man sie nach dem Ausschneiden an der durchgezogenen Linie noch an der gestrichelten Linie faltet und entweder zusammenklebt oder gefaltet laminiert.

Noch einfacher ist selbstverständlich, die fertigen Bastelbögen zu benutzen. Um noch mehr Inhalt in das Buch zu bringen und die elektronische Ausgabe zu ermöglichen, sind diese nicht mehr integraler Bestandteil, sondern gesondert zu beziehen. Das erleichtert auch Lehrerinnen und Lehrern, gleich einen ganzen Klassensatz zu bekommen. Leserinnen und Leser, die dieses Buch in einer Bücherei ausgeliehen haben, können so ebenfalls unbeschwert schneiden und kleben. Die Bedingungen für den Bezug sind zum Zeitpunkt des Drucks noch nicht ganz geklärt, bitte informieren Sie sich über die Webseite

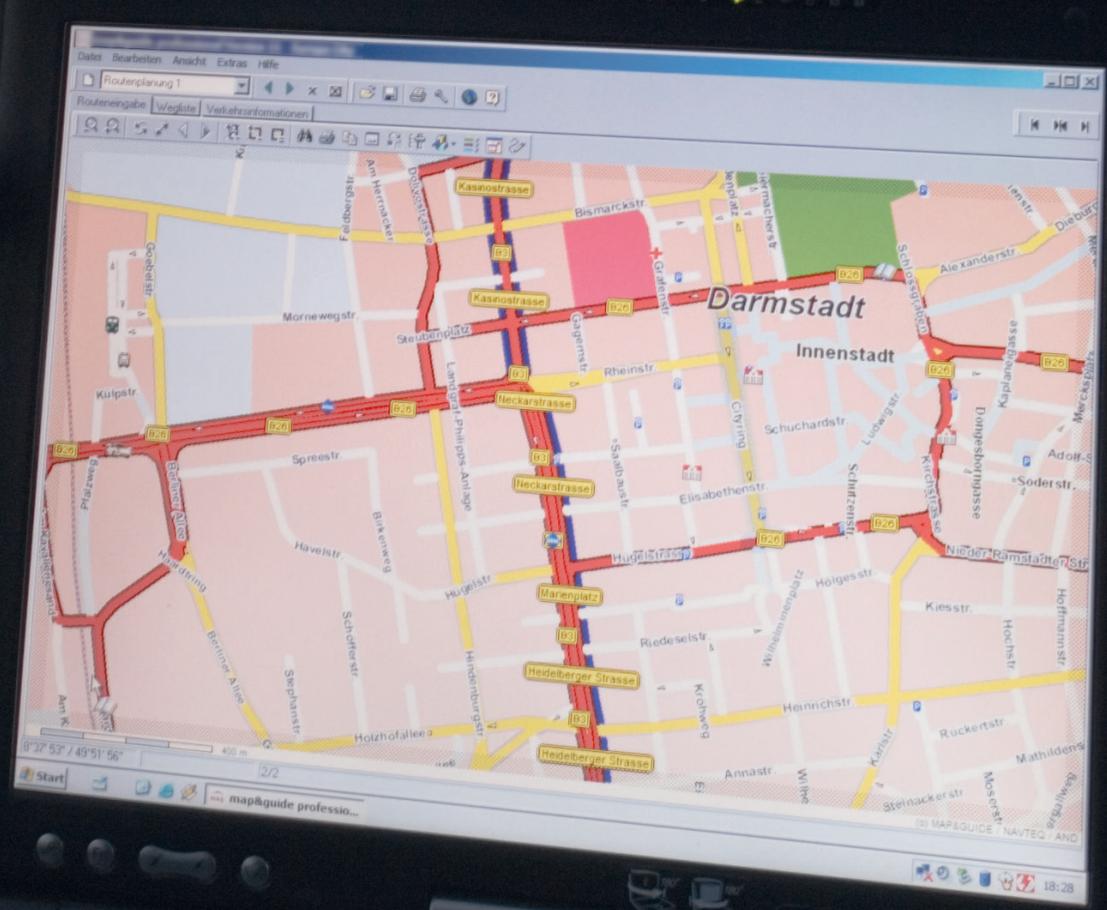
www.abenteuer-informatik.de

Diese ist auch die zentrale Seite für Korrekturen und zusätzliche Informationen zum Buch sowie der gleichnamigen Ausstellung, die inzwischen auf Wanderschaft in Universitäten, Schulen und auch Häusern wie dem Heinz Nixdorf Forum in Paderborn oder dem Ars Electronica Center in Linz ist. An der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, an der TU Wien sowie im Science-Center Experimenta in Frankfurt am Main ist sie darüber hinaus dauerhaft zu sehen.

Damit genug der Nutzungshinweise – ich wünsche Ihnen viel Spaß bei Ihrem ganz persönlichen Abenteuer Informatik!



Jens Gallenbacher



1. Sag mir wohin ...

Einführung

Routenplaner gehören heute schon fast zum Alltag: Viele Autos haben sie bereits eingebaut, und auch wer keinen im Fahrzeug hat, lässt sich den günstigsten Weg zu seinem Ziel vom Smartphone weisen.

Versuchen wir doch gleich einmal das nachzuvollziehen: Nehmen Sie einen großen Straßenatlas und ermitteln Sie die günstigste Strecke von Stockheim nach Weilheim!

Zu viel Arbeit? Kein Atlas? Also gut – ich hatte in der Einleitung ja versprochen, dass alle notwendigen Materialien hier im Buch zu finden sind. Daher arbeiten wir erst einmal mit der folgenden kleinen Welt nach Abbildung 1.1.

Die Karte zeigt Orte, zwei Autobahnen, größere und kleinere Landstraßen. Die roten und blauen Zahlen geben dabei immer die Länge der Straße an, wenn man sie mit dem Auto fährt. Man kann sehen, dass kleine Straßen meistens viel länger sind, als sie scheinen, weil die zahlreichen Kurven und Berge nicht eingezeichnet sind.

Welches ist denn nun der günstigste Weg von Imstadt nach Oppenheim?

Erster Ansatz wäre, zur nächsten Autobahn zu fahren. Aber geht das am besten über Pappstadt oder die Auffahrt Buding? Außerdem führt ja von Pappstadt aus auch eine direkte Landstraße zum Ziel. Die ist aber wohl gewunden und ziemlich lang. Oder doch lieber die gelbe Straße zum Flughafen und von dort die Autobahn nach Oppenheim nehmen?

Versuchen Sie die Lösung selbst herauszufinden. Hinweis: Sie müssen 24,6 km zurücklegen.

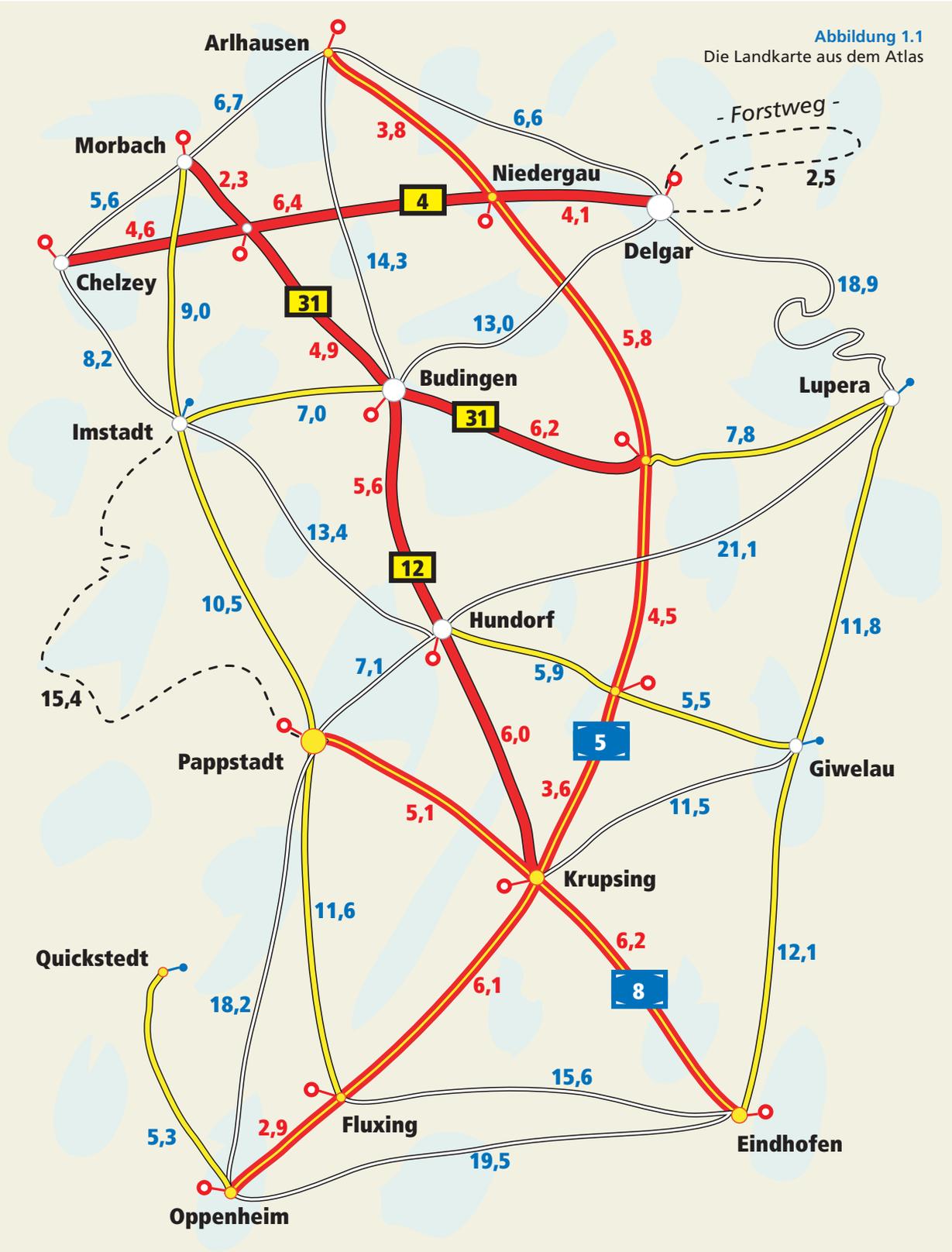
Geschafft? Gut! Dann lehnen Sie sich zurück und genießen Sie den Erfolg.

Wie sind Sie vorgegangen? Sie haben wahrscheinlich alle möglichen Wege durchprobiert und die Entfernung zum Ziel ermittelt. Dann haben Sie sich für den günstigsten Weg entschieden.

Dieses Verfahren gibt es auch bei Computern – es hat sogar einen Namen: die Brute-Force-Methode, also etwa „Brutale Macht“. Warum? Weil auf diese Weise etwas umfangreichere Aufgaben nur mit extrem großer Rechenkraft gelöst werden können. Überlegen Sie einmal, wie viele verschiedene Wege Sie schon bei der gegebenen, sehr übersichtlichen Karte durchspielen mussten. Stellen Sie sich nun vor, wie das mit 1000 und mehr Städten wäre – hier wären normale Rechner gar nicht mehr zur Lösung fähig.

Außerdem besitzt ein Rechner keine Intelligenz: Während Sie beim Durchprobieren unbewusst alle absurden und unwahrscheinlichen Möglichkeiten verwerfen, muss er diese durchrechnen.

Abbildung 1.1
Die Landkarte aus dem Atlas



Vorüberlegungen

Wie kommt ein Informatiker nun zu einer besseren Lösung?

Zunächst sollte man mit der Methode der Abstraktion arbeiten!

Methoden der Abstraktion

In zur Verfügung stehender Information stecken sowohl relevante als auch unwesentliche Anteile. Durch Abstraktion reduzieren Sie die Information auf das für die aktuelle Problemlösung Wesentliche; Dadurch können Sie sich besser auf Ihre Aufgabe konzentrieren.



Man könnte auch sagen: Werfen Sie alles Überflüssige über Bord und konzentrieren Sie sich auf das Wesentliche. Was aber ist bei der gestellten Aufgabe wesentlich?

Alle gegebenen Informationen stecken in der Karte. Welche Typen von Informationen kann man erkennen? Erstellen Sie eine Liste, bevor Sie weiterlesen.



Auch **abstrakte Malerei** ist die Konzentration auf das Wesentliche. Der Künstler stellt die Aspekte in den Mittelpunkt, die ihn bewegen, zum Beispiel ein Gefühl oder ein Ereignis. Details wie die realistische Darstellung treten dadurch in den Hintergrund. Hier abgebildet ist das „Blaue Pferd“ von Franz Marc (1911).

Die Informationen der Karte sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

	wichtig?
Namen der Städte	<input type="checkbox"/>
Position der Städte	<input type="checkbox"/>
Größe der Städte	<input type="checkbox"/>
Verlauf der Straßen	<input type="checkbox"/>
Länge der Straßen	<input type="checkbox"/>
Namen und Nummern der Straßen	<input type="checkbox"/>
Straßentyp	<input type="checkbox"/>
Straße führt von ... nach ...	<input type="checkbox"/>
Landschaftliche Information	<input type="checkbox"/>

An dieser Stelle fällt Ihnen eventuell auch bereits auf, dass unsere bisherige Formulierung der Aufgabe, den „günstigsten“ Weg zu finden, nicht präzise genug ist. Genau genommen suchen wir den (Strecken-)kürzesten Weg!

Überlegen Sie weiter, welche dieser Informationen wir benötigen, um den kürzesten Weg zwischen zwei Städten zu suchen. Markieren Sie für jede Information, ob diese Ihrer Meinung nach für die Aufgabenstellung wichtig oder nicht wichtig ist. Der kürzeste Weg soll sich hierbei auf die zu fahrende Strecke beziehen, nicht auf die gefahrene Zeit.



Linie 1



Abstraktion begegnet uns ständig! Wegweiser, Straßenschilder, Fahrpläne, Infobroschüren und viele andere Dinge des Alltags sind so aufbereitet, dass die nötigen Informationen möglichst offen und gut erkennbar dargestellt sind.

Mein Ergebnis ist folgendes:

	wichtig?
Namen der Städte	<input checked="" type="checkbox"/> Wenn man nicht weiß, welche Stadt wie heißt, kann auch nicht der kürzeste Weg zwischen Imstadt und Oppenheim bestimmt werden.
Position der Städte	<input type="checkbox"/> Es ist uns egal, wo sich die Städte genau befinden. Relevant sind nur die Straßen zwischen den Städten.
Größe der Städte	<input type="checkbox"/> Kommt in unserer Aufgabenstellung nirgendwo vor.
Verlauf der Straßen	<input type="checkbox"/> Es kommt nur auf die Streckenlänge an, nicht auf den Verlauf.
Länge der Straßen	<input checked="" type="checkbox"/> Um die Reisedistanz zu summieren, benötigen wir die einzelnen Strecken zwischen den Orten.
Namen und Nummern der Straßen	<input type="checkbox"/> Zumindest zur Bestimmung der kürzesten Strecke irrelevant.
Straßentyp	<input type="checkbox"/> Da es nur auf die Entfernungen, nicht auf Zeit ankommt, ist egal, ob Autobahn oder Feldweg gefahren wird.
Straße führt von ... nach ...	<input checked="" type="checkbox"/> Wir benötigen die Information, von welcher Stadt zu welcher anderen eine Straße führt.
Landschaftliche Information	<input type="checkbox"/> Offensichtlich ...

Nun kann die Karte neu gezeichnet werden, und zwar so, dass möglichst alle irrelevanten und damit störenden Informationen fehlen. Versuchen Sie es einmal selbst, bevor Sie weiterlesen!

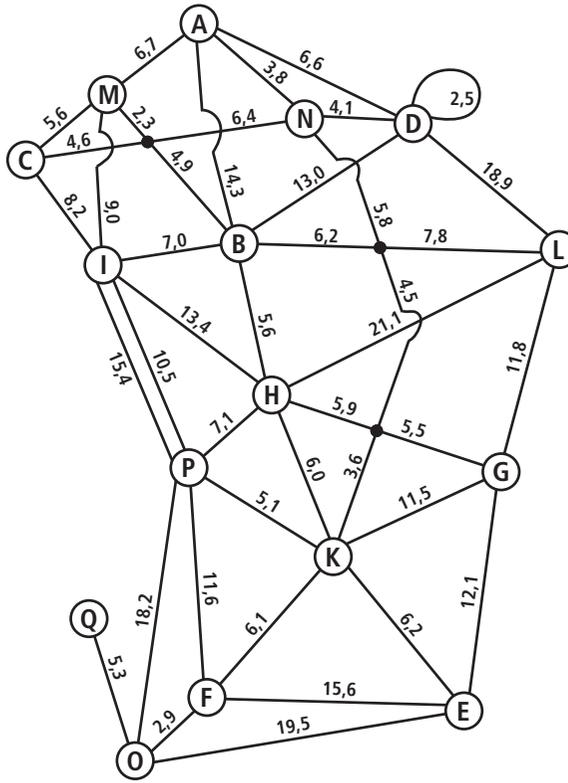


Aus Gründen der Übersichtlichkeit habe ich hier in Abbildung 1.2 die Städte auf ihren ersten Buchstaben reduziert. Das ist jedoch nicht unbedingt notwendig. Wenn Ihre Lösung die ausgeschriebenen Namen enthält, können Sie auch damit weiterarbeiten.

Man sieht, dass es noch ein paar Besonderheiten gibt: An vier Stellen kreuzen sich zwei Straßen, ohne dass es Auf- oder Abfahrten von einer zur anderen gäbe (z. B. eine Autobahnbrücke über einer Landstraße). Dies ist mit einem Bogen dargestellt. Darüber hinaus gibt es weitere drei Stellen, an denen sich zwei Straßen schneiden und es Auf- und Abfahrten gibt – gekennzeichnet mit einem Punkt. Außerdem ist unklar, welches nun die „Straße zwischen I und P“ ist, denn hierfür gibt es zwei Kandidaten.

Informatiker wollen sich jedoch prinzipiell nicht mit Sonderfällen beschäftigen und lieben es daher übersichtlich: Zu viele spezielle Fälle und Unterscheidungen machen das Denken schwierig. Wie bei Mathematikern, die einen Bruch erst einmal auf den gleichen Nenner bringen, wird auch hier versucht, ein Problem möglichst gleichförmig darzustellen.

Abbildung 1.2
Abstraktere Form der Landkarte



Methode der Gleichformung

Versuchen Sie die verschiedenen Facetten eines Problems auf die gleichen Grundelemente zurückzuführen. Dadurch wird einerseits das Problem übersichtlicher und andererseits benötigt man weniger Lösungsansätze: Für gleichförmige Teilprobleme kann der gleiche Lösungsansatz verwendet werden.

Können Sie die Karte auf diese Weise noch einfacher gestalten?

Überlegen Sie, welches die Eigenschaften der „normalen“ Elemente sind und ob man die speziellen Elemente nicht auch als normale Elemente darstellen kann.



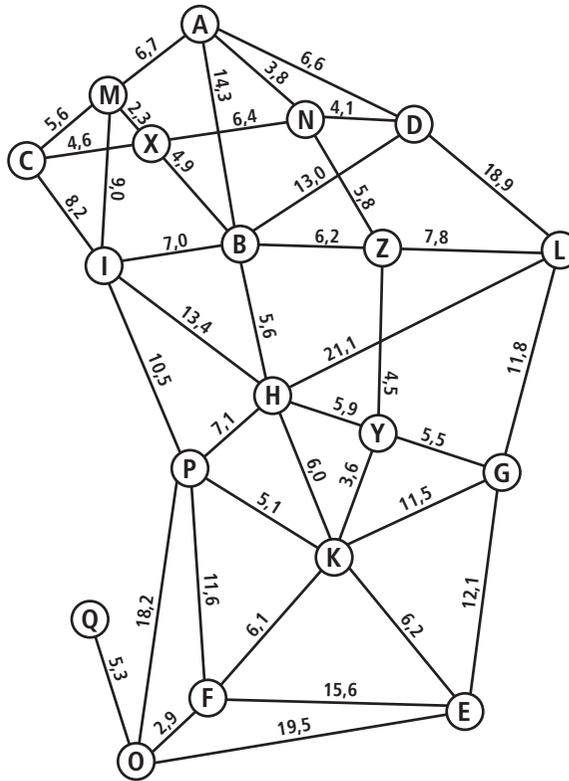
Auf der Karte sind Städte als Kreise eingezeichnet. Ohne dass dies speziell vermerkt ist, kann man offenbar bei Städten problemlos von einer Straße auf eine angrenzende Straße wechseln.

Genau das soll auch an den mit Punkt gekennzeichneten Stellen möglich sein. Also tun wir einfach so, als ob sich dort Städte befinden. Um sie nicht mit den anderen Städten zu verwechseln, nennen wir sie \textcircled{X} , \textcircled{Y} und \textcircled{Z} .

An allen weiteren Kreuzungspunkten zwischen zwei Straßen ist jetzt kein Wechsel mehr möglich. Es ist daher auch keine Unterscheidung, also auch keine Kennzeichnung durch Bögen mehr notwendig.

Für die Bestimmung des kürzesten Weges kommt von zwei möglichen Strecken nur die kürzeste in Frage. Rundfahrten wie von Delgar aus und zurück spielen hier keine Rolle. Beides kann daher in unserer Arbeitskarte berücksichtigt werden. Den fertigen Plan zeigt Abbildung 1.3.

Abbildung 1.3
Landkarte mit durch virtuelle
Orte ersetzten Knotenpunk-
ten



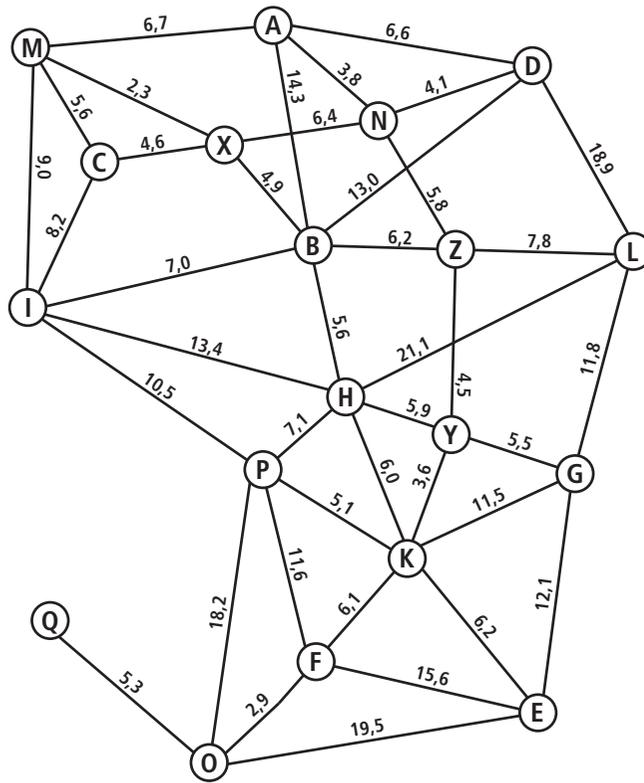
Leonhard Euler (1707–1783)

Euler hat schon 1736 als Erster Wegeprobleme durch abstrakte Darstellung vereinfacht, als er das Königsberger Brückenproblem löste: „Gibt es einen Rundweg, der alle sieben Brücken über den Fluss Pregel genau einmal überquert und wieder zum Ausgangspunkt führt?“ Euler bewies, dass es keinen solchen Weg geben kann.

Die Städte sind immer noch auf ihrer geographischen Position eingezeichnet. Dadurch ergeben sich an manchen Stellen Ballungszentren. Die Straßenführung wird unübersichtlich. Die geographische Position der Städte haben wir jedoch weiter vorne als irrelevant deklariert. Um es Ihnen so einfach wie möglich zu machen, habe ich die Karte in Abbildung 1.4 etwas entzerrt.

Bitte überprüfen Sie, dass die Inhalte immer noch übereinstimmen, also die Verbindungen zwischen den Städten gleich sind und die gleiche Längenangabe aufweisen. Lediglich die Darstellung hat sich geändert. Sie können auch erkennen, dass es sich noch um die gleiche Karte handelt wie am Anfang des Kapitels – lediglich mit weniger Detailinformationen.

Mit dieser Karte werden wir ab jetzt weiterarbeiten, daher ist sie am Ende des Kapitels als Abbildung 1.K1 nochmals besonders groß abgedruckt – zum Beispiel als Kopiervorlage. Sie können sich vorstellen, dass wir zur Bestimmung des kürzesten Weges auch viel rechnen müssen, daher habe ich es uns zur Übung auch noch etwas einfacher gemacht und die einzelnen Wegstrecken gerundet.



Dijkstra und die Ameisen

Wie ermitteln wir denn aber nun den kürzesten Weg von Imstadt nach Oppenheim?

Der direkte Ansatz, immer ganze Wege zu betrachten, ist ja bereits aufgrund des hohen Aufwands gescheitert. Versuchen wir etwas anderes – vielleicht können wir ja hier von der Natur lernen:

Ein Stamm Ameisen hat auf der Suche nach Futter ein ähnliches Problem: Eine Kundschafterin findet ein großes Stück Fleisch. Welchen Weg sollen die Arbeiterinnen nehmen, um die Beute am schnellsten zu sichern?

Setzen wir also den Stamm Ameisen auf unseren Ausgangspunkt Imstadt bzw. ①. Fünf Wege führen von dort weg, also teilen sich unzählige Ameisen auf, um diese zu erkunden. Wir nehmen jetzt einmal an, dass alle Ameisen gleich schnell sind, zum Beispiel 1 km pro Minute (okay, für unser Problem setzen wir offenbar Turbo-Ameisen ein ...).

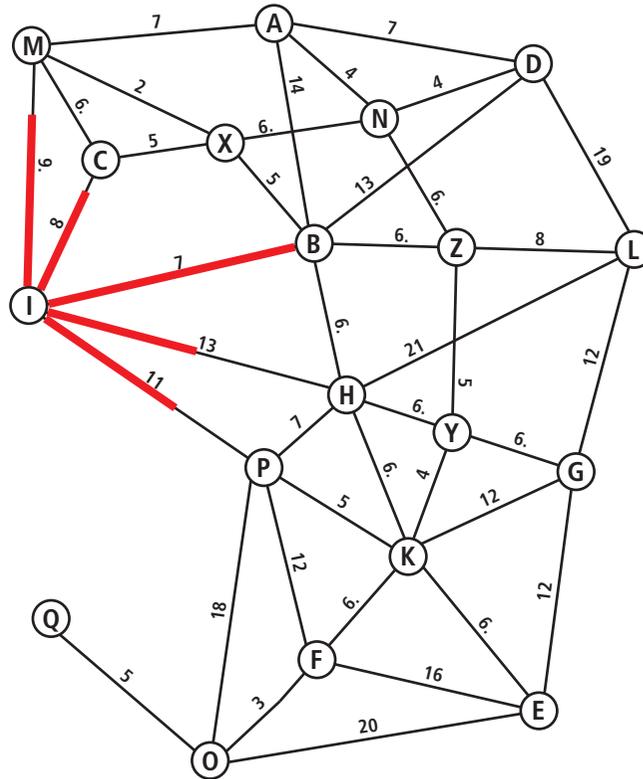
Mit dem Finger auf der Landkarte verfolgen wir den Weg der Ameisen. Abbildung 1.5 zeigt in Rot ihren Fortschritt nach 7 Minuten.

Die Ameisen haben ② erreicht. Auf den anderen Strecken sind sie noch auf dem Weg. Bitte lassen Sie sich nicht davon täuschen, dass die Strecke mit 7 km am längsten aussieht: Wir verwenden ja explizit keinen maßstabsgetreuen Plan!

Was haben wir dadurch bisher von den Ameisen gelernt?



Abbildung 1.5
Die Ameisen auf dem Weg
von Imstadt aus



Genau! Um von ① nach ② zu kommen, gibt es garantiert keinen günstigeren Weg als den mit 7 km. Die Ameisen haben ja sämtliche bisher für sie möglichen Wege ausprobiert und sind nach 7 km zuerst bei ② angekommen.

Wie geht es jetzt weiter? Die Ameisen, die bisher nirgendwo angekommen sind, setzen ihren Weg einfach fort. Die Ameisen bei ② teilen sich erneut auf: Wieder sind fünf Wege möglich. Den bisherigen Erfolg dokumentieren sie, indem sie die bisher zurückgelegte Strecke bei ② vermerken. Abbildung 1.6 zeigt den Plan der Ameisen.

Nach insgesamt 8 Minuten kommt der nächste Ameisentrupp bei ③ an. Die Insekten sehen, dass sie die Ersten sind, markieren die Strecke, verzeichnen die Anzahl der bisher gelaufenen Kilometer und teilen sich auf die zwei bei ③ weitergehenden Wege auf.

Am Ende der 9. Minute kommt dann auch der Trupp bei ④ als Erster an. Auch dieser Weg wird vermerkt (siehe Abbildung 1.7). Von hier aus sind drei weitere Strecken zu erkunden.

So weit verlief alles nach dem gleichen Schema. Die kürzesten Strecken zu den Städten ②, ③ und ④ stehen nun fest.

Vielleicht haben Sie bemerkt, dass nun Ameisentrupps sowohl von ④ als auch von ③ ausgehend unterwegs sind – zwischen beiden Städten auf Kollisionskurs.

Was passiert jetzt, wenn sie sich irgendwo auf der Strecke dazwischen begegnen? Welche Informationen können sie austauschen? Bringt ihnen das etwas für ihr Ziel, das Gelände zu erkunden?



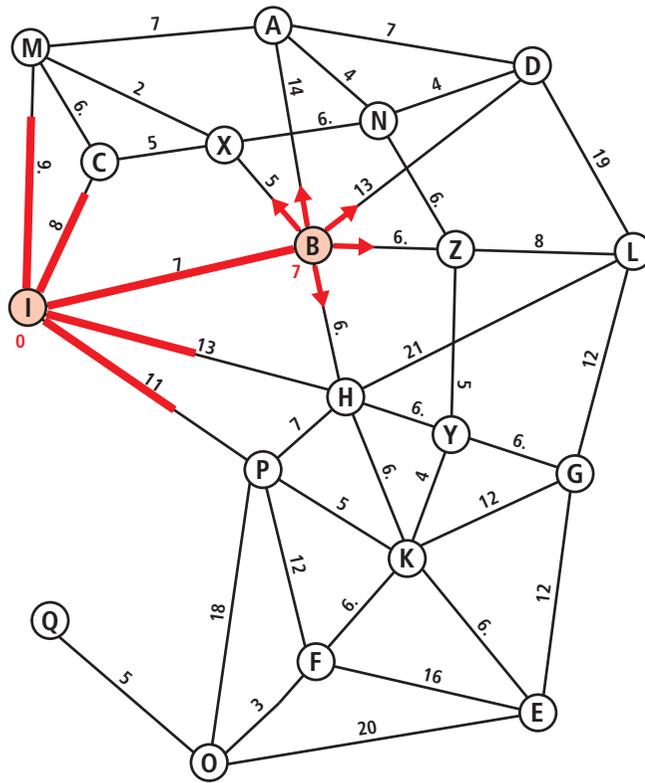


Abbildung 1.6
Die Ameisen bewegen sich von Budingen aus in alle Richtungen.

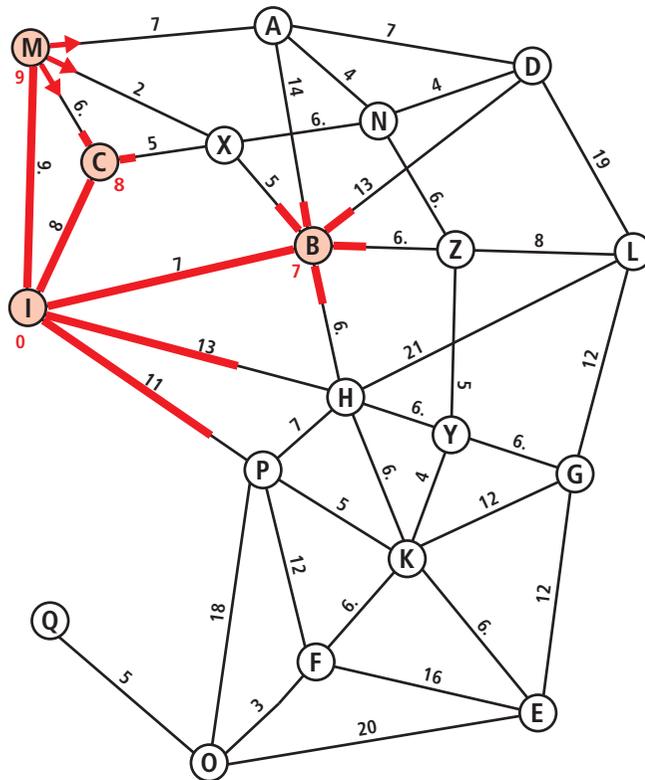


Abbildung 1.7
Drei weitere Wege werden von Morbach aus erkundet.

Richtig! Der Trupp von ③ weiß, dass dieses Ziel bereits erreicht ist, die kürzeste Strecke dorthin also feststeht. Der Trupp, der von ④ kommt, kann das Gleiche von seinem Ausgangspunkt berichten. Es ist also sinnlos, weiterzumarschieren. Die Strecke wird als „unbrauchbar“ markiert, die Ameisen können wieder zu ihrem Stamm zurück, sie sind sozusagen aus dem Rennen. Abbildung 1.8 zeigt das gleich mit einem dicken roten Kreuz.

Als Nächstes kommen zwei Erkundungstrupps gleichzeitig an: In der 11. Minute erreichen die Ameisen ⑤ und ⑥. ⑤ erreichen sie auf direktem Wege von ① aus. Bei ⑥ kommt der Trupp an, der über ④ unterwegs ist (9 km bis ④ plus 2 bis ⑥).

Wieder teilen sich die Ameisen auf. Von ⑥ gibt es nur noch einen erfolgversprechenden Weg, bei den anderen treffen sie recht schnell auf Kameraden und geben die Strecke auf. Die von ⑤ ausgehenden Touren sind alle noch offen. Abbildung 1.9 zeigt den aktuellen Stand.

Haben Sie das Prinzip verstanden?

Statt immer nur einen Weg auszuprobieren und wieder zu verwerfen, wenn sich ein besserer gefunden hat, erkunden die Ameisen gleichzeitig alle sich bietenden Möglichkeiten.

Kommen sie als Erste bei einer Stadt an, wissen sie, dass der genommene Weg der kürzeste ist, denn sonst wäre ja ein anderer Erkundungstrupp bereits da. (Zur Erinnerung: Alle bewegen sich mit der gleichen Geschwindigkeit.)

Treffen die Ameisen irgendwo auf Artgenossen, dann wissen sie, dass ihre Reise zu Ende ist, weil sie sich gegenseitig ein „Ich bin schon da“ berichten können. Andere haben also das anvisierte Ziel früher erreicht.

Führen Sie zur Übung das Verfahren noch zu Ende und zeichnen Sie den Weg der Ameisen, die gefundenen Strecken sowie verworfene Wege in die Landkarte ein!

Können Sie sich vielleicht gleichzeitig auch schon vorstellen, wie ein Computer das Ameisenprinzip adaptiert?



Die Lösung wird in Abbildung 1.10 dargestellt. Haben Sie ein anderes Ergebnis? Kein Problem: Die Beispielaufgabe ist bewusst so gestellt, dass es zu manchen Orten unterschiedliche Wege mit gleicher kürzester Strecke gibt. So kommt man etwa zu ⑧ sowohl über ①②⑧ als auch direkt über ①⑧ in jeweils 13 km. Falls Ihre Lösung jedoch Abweichungen in den rot eingetragenen Entfernungen aufweist, sollten Sie diese nochmal kontrollieren.

Welche Informationen haben wir dadurch jetzt eigentlich gewonnen?

Um von Imstadt zu einem beliebigen anderen Ort zu kommen, folgen Sie dem Pfad der Ameisen:

Von Imstadt nach Oppenheim kommt man so am günstigsten über Pappstadt, Krupsing und Flughafen. Die Gesamtstrecke beträgt 25 km. Ein günstigerer Weg existiert nicht!

Sie haben aber nicht nur die ursprüngliche Aufgabe gelöst, sondern sozusagen als Abfallprodukt noch die kürzesten Wege von Imstadt zu allen weiteren Städten ermittelt.

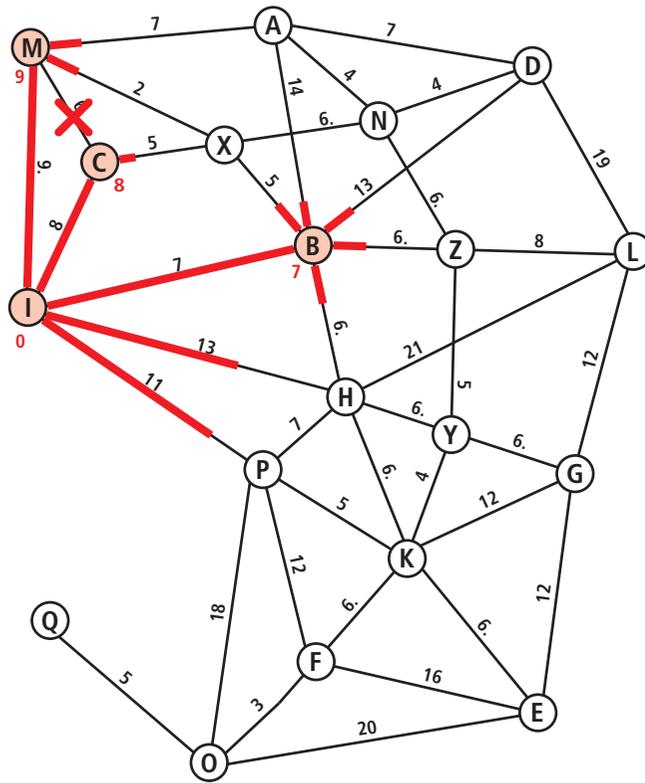


Abbildung 1.8
Der Weg zwischen Morbach und Chelzey wird als unbrauchbar markiert.

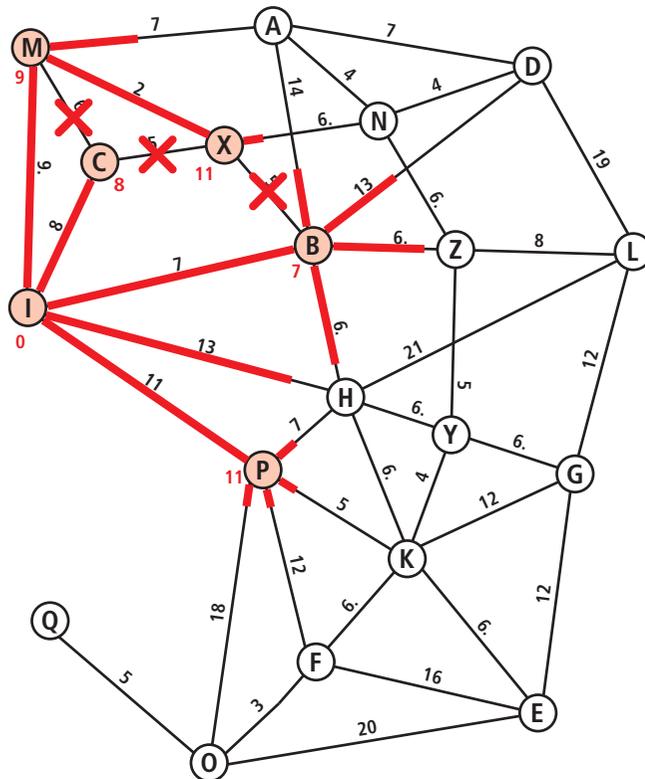


Abbildung 1.9
Weiterer Fortschritt der Ameisen

Algorithmus

Ein Algorithmus ist eine Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems bzw. einer Kategorie von Problemen. Diese Handlungsvorschriften lassen sich im Allgemeinen in ein Computerprogramm umsetzen. Hierfür müssen sie hinreichend genau formuliert sein.

Wie lösen also unsere Routenplaner im Auto das Problem des kürzesten Weges? Enthalten sie einen Ameisen-Simulator und spielen die genaue Vorgehensweise nach?

Sicherlich wäre das vorteilhafter als die ganz zu Anfang beschriebene „Brute-Force-Methode“. Trotzdem ist der Informatiker hier erneut gefragt, das gefundene Verfahren für den Computer zu optimieren.

Können Sie sich vorstellen, wie?

Das Ameisen-Prinzip liegt uns Menschen sehr, weil wir uns gut vorstellen können, wie die kleinen Krabbeltiere die Pfade erkunden. Dadurch erschließt sich auch recht deutlich, warum das Verfahren wirklich die günstigsten Wege hervorbringt.

Wann immer wir so ein „aus dem Leben gegriffenes“ Verfahren im Computer benötigen und es daher in Bits und Bytes umsetzen, hilft wieder das Prinzip der Abstraktion:

Was ist vom Ameisen-Prinzip für die Problemlösung relevant? Bedenken Sie: Computer benötigen keine Anschauung, diese Anteile sind also zu eliminieren.

Ob Edsger W. Dijkstra, zuletzt Professor in Texas, 1959 über eine Ameisenstraße lief, ist unbekannt. Er hat jedoch bereits zu diesem Zeitpunkt ein Verfahren vorgestellt, das unser Ameisen-Prinzip im Computer zur Berechnung eines kürzesten Weges nutzt. Es ist bis heute nach ihm benannt.

Doch versuchen Sie zunächst einmal selbst, ein solches Verfahren zu entwickeln. Vielleicht kommen Sie ja sogar auf eine bessere Methode, die dann nach Ihnen benannt wird.



Der Dijkstra-Algorithmus

Fangen wir noch einmal ganz von vorne an: Sie sitzen in Imstadt und wollen nach Oppenheim.

Die Ameisen unseres letzten Experiments liefen nun einfach in alle anderen direkt erreichbaren Städte, um zu ermitteln, wie lange sie dorthin unterwegs sind. Die hierfür notwendigen Zeiten braucht ein Computer jedoch gar nicht zu ermitteln, er liest einfach die Strecken ab. Wie aus Abbildung 1.11 ersichtlich, sind dies ja einfach die verzeichneten Längen der Verbindungslinien zwischen den Städten.

In der Graphik ist außerdem bei allen Zielpunkten markiert, woher diese kommen, damit die beschriebene Entfernung zutrifft.

Algorithmus

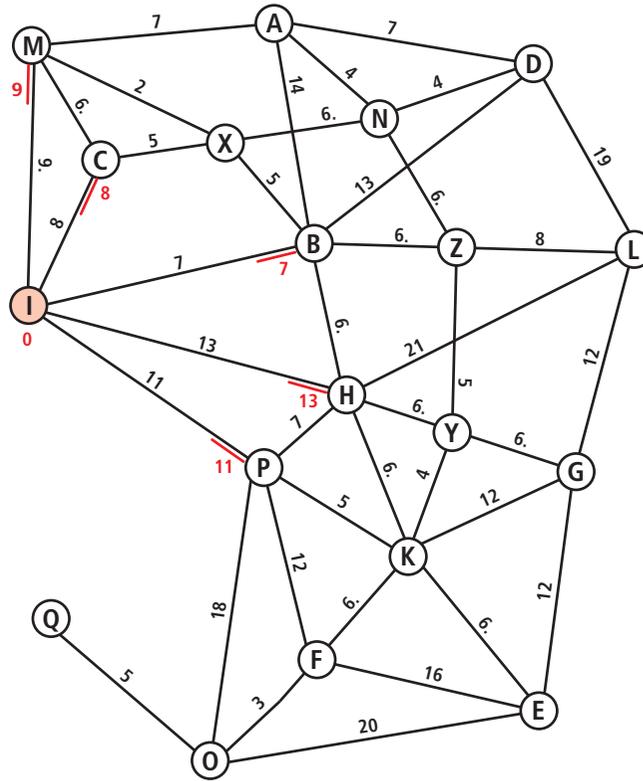
Wussten Sie, dass die Herkunft dieses Begriffes nie richtig geklärt wurde? Entweder kommt er vom griechischen „arithmos“, was Zahl bedeutet, oder er ist der veränderte Name des persisch-arabischen Mathematikers „Al-Charismi“, der – englisch ausgesprochen – in etwa wie „algorithm“ klingt. Erste Algorithmen wurden übrigens bereits lange vor der Zeitenwende hauptsächlich von griechischen Mathematikern entwickelt: etwa im 4. Jahrhundert v. Chr. das euklidische Verfahren zur Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers zweier Zahlen oder im 3. Jahrhundert v. Chr. das Sieb des Eratosthenes zur Ermittlung von Primzahlen. Beide Algorithmen werden heute noch in Computern eingesetzt!



Al-Charismi

(8. und 9. Jahrhundert) war ein arabischer Mathematiker. Von ihm sind unter anderem genau definierte Rechenverfahren überliefert. Daher leitet sich aus seinem Namen eventuell der heutige Begriff „Algorithmus“ ab.

Abbildung 1.11
Potentiell vom Start in
Imstadt erreichbare Städte
und die Weglängen dorthin



Wie ging es mit den Ameisen weiter? Der Trupp, der zuerst bei einer Stadt ankam, markierte die genomene Strecke als „günstig“ und verteilte sich auf die umliegenden Strecken.

Für den Computer ist nun gar kein Problem, diese Stadt zu bestimmen: Es ist diejenige, die mit der kleinsten Zahl bezeichnet ist, also **B** mit der Zahl 7. Abbildung 1.12 zeigt das, der Knoten ist mit roter Farbe als „besucht“ markiert.

Von dieser Stadt aus werden wiederum die Entfernungen zu allen Nachbarn bestimmt. Da die Ameisen jedoch bis nach **B** bereits 7 km unterwegs waren, müssen diese addiert werden. Versuchen Sie es! Stoßen Sie auf ein Problem?

Genau! Für **X**, **A**, **D** und **Z** können wir die Methodik einfach durchführen, aber was ist mit **H**? Hier steht bereits ein Wert! Wie ist hier zu verfahren?

Ziehen wir die Ameisen zurate: Der Weg von **I** über **B** nach **H** ist 13 km lang, der direkte Weg von **I** nach **H** ebenfalls 13 km. Die mögliche neue Strecke ist zwar nicht schlechter, aber auch nicht besser – wir können die alte Markierung behalten.

Daher gilt für das Dijkstra-Verfahren die folgende Regel für den Fall, dass an einer Nachbarstadt bereits eine Zahl steht:

- Wenn die Zahl, die neu hingeschrieben werden soll, kleiner ist, dann wird die alte durch die neue Zahl ersetzt und dementsprechend auch die Marke, woher die Ameisen kommen.
- Wenn die neue Zahl größer oder gleich ist, passiert gar nichts.

Ergebnis ist daher die Karte aus Abbildung 1.13.

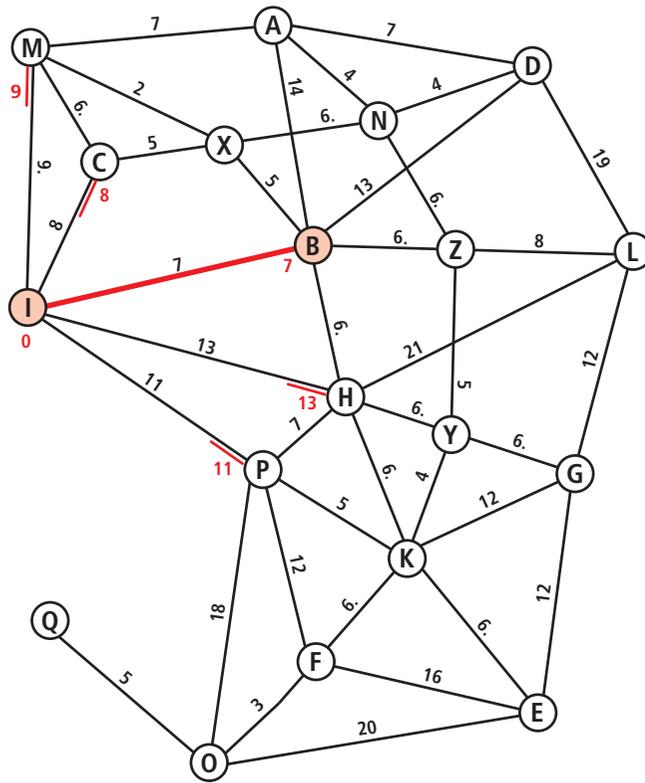


Abbildung 1.12
Der erste kürzeste Weg von
Imstadt aus wurde ermittelt.

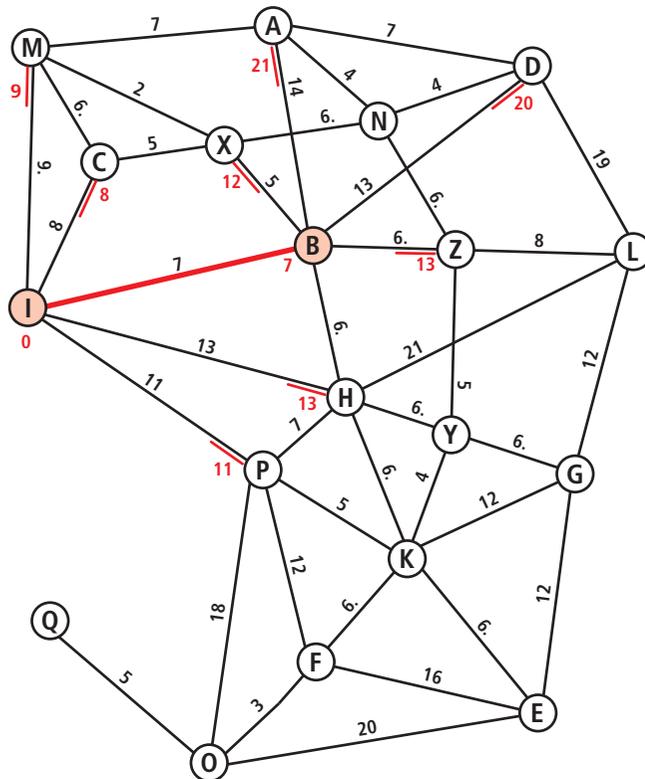


Abbildung 1.13
Erreichbare Städte sind durch
eine rote Zahl mit der gefundenen
Weglänge markiert.

Wie geht es nun weiter?

Prinzipiell wie am Anfang: Aus allen mit Zahlen markierten Städten, die noch nicht von Ameisen besucht wurden (noch nicht rot gefärbt), wird die mit der kleinsten Zahl herausgesucht. Dort kommen die Ameisen als Nächstes an. In diesem Fall ist das **C**.

Von **C** aus werden wieder alle benachbarten Städte betrachtet. Nach **M** käme man in 14 km, nach **X** nach 13 km. Beides wird jedoch von der bereits vorhandenen Zahl unterboten, also passiert gar nichts weiter, die nächste nichtmarkierte Stadt mit der kleinsten Zahl wird gesucht. Das Ergebnis sehen Sie in Abbildung 1.14.

Lassen Sie uns noch einen weiteren Schritt detailliert zusammen unternehmen: Der noch nicht rot markierte Knoten mit der kleinsten roten Zahl ist **M**. Diesen erreichen wir also als Nächstes. In der Karte wird er zusammen mit der Straße zu ihm rot eingefärbt, die Entfernung von 9 km ist damit fest ermittelt.

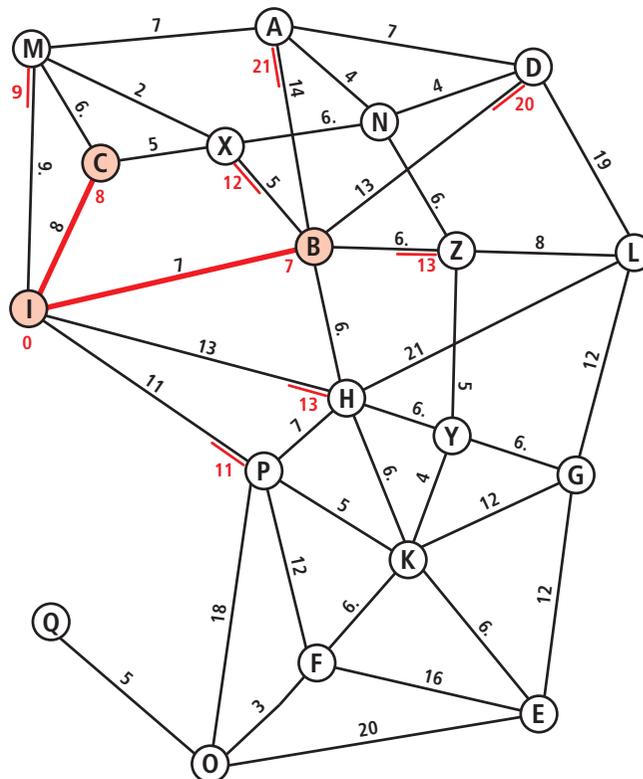
Nun betrachten wir die Städte, die von **M** aus erreichbar sind. **C** und **I** sind bereits markiert – hier waren wir also schon. Kandidaten sind demnach **A** und **X**. Tatsächlich lassen sich die Wegstrecken gegenüber den bereits angenommenen verbessern, indem wir über **M** gehen.

Abbildung 1.15 zeigt das – die alten Wegmarkierungen sind hier einfach ausgestrichen.

Bevor Sie nun weitermachen versuchen Sie doch einmal, den Algorithmus zur Bestimmung kürzester Wege aufzuschreiben.

Algorithmen spielen in der Informatik eine sehr große Rolle: Ein Großteil der vorkommenden Aufgaben aus Wirtschaft und Wissenschaft lässt sich mit Algorithmen

Abbildung 1.14
Erneut wurde ein kürzester Weg gefunden.



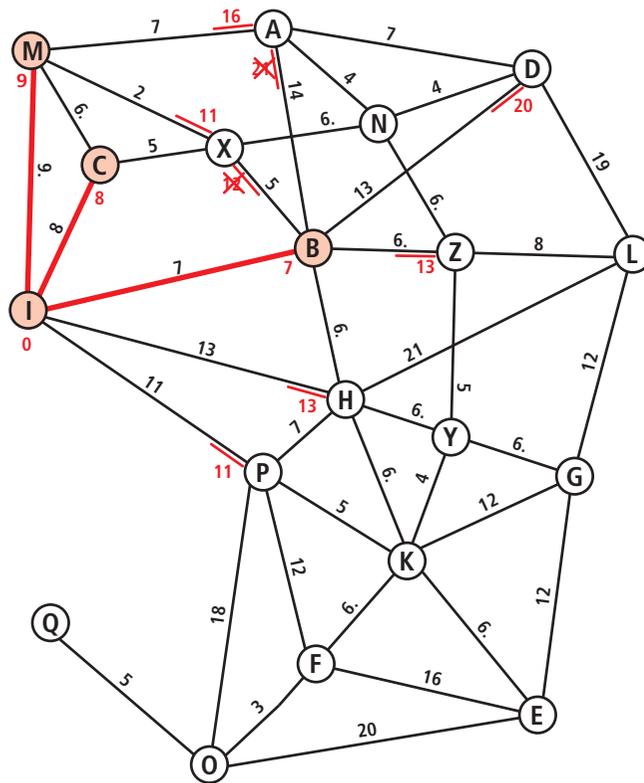


Abbildung 1.15
 Im Verlauf werden alle günstigeren Wege gefunden, bevor eine Stadt rot markiert wird.

lösen, die schon vor längerer Zeit entwickelt wurden (dazu mehr am Ende des Kapitels).

Es gibt auch diverse formale Methoden, die Algorithmen zu Papier zu bringen. Eigentlich geht es jedoch darum, die Beschreibung so genau zu machen, dass jemand anderes den Algorithmus danach durchführen kann.

Behalten Sie das im Hinterkopf, wenn Sie jetzt versuchen, den beschriebenen Dijkstra-Algorithmus insgesamt zu formulieren.



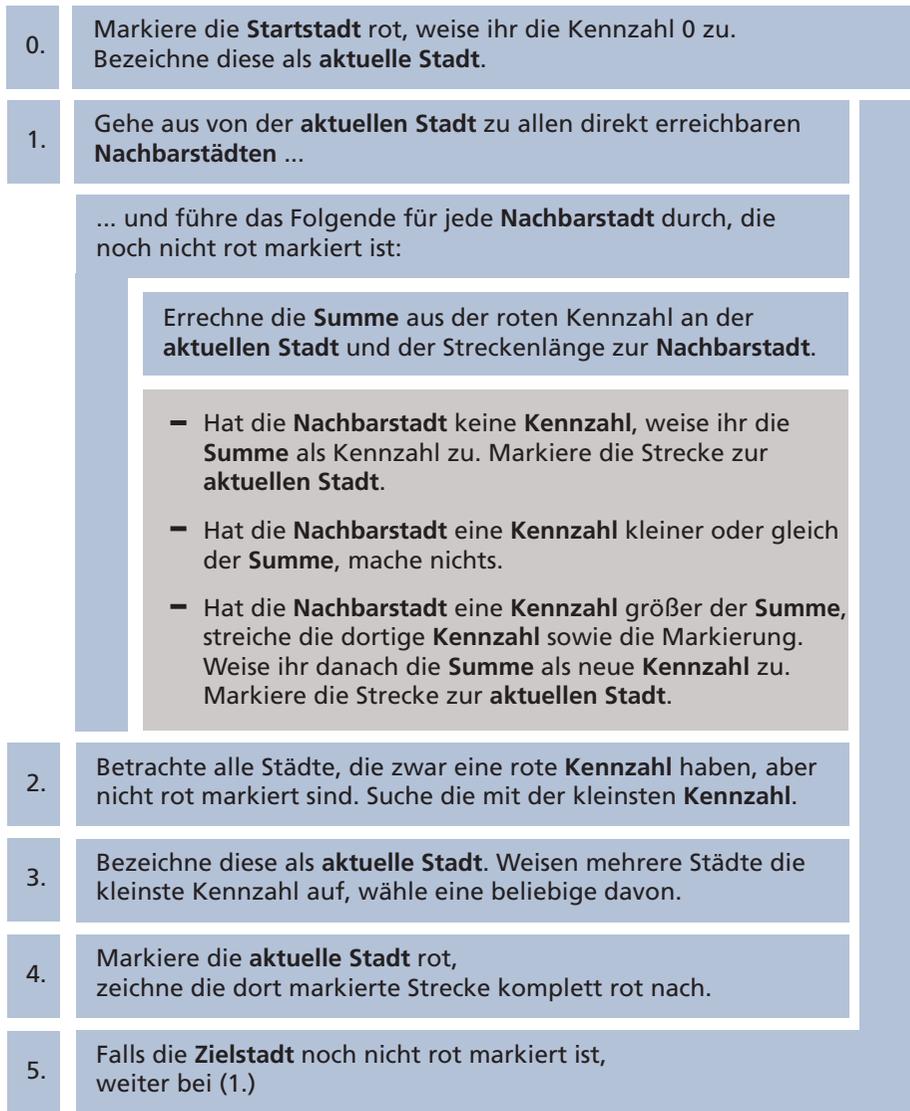
Es gibt natürlich unzählige korrekte Lösungen. Ihre sollte im Kern mit Abbildung 1.16 übereinstimmen.

An einem Blockdiagramm wie diesem erkennt man besonders gut Wiederholungen von Anweisungsfolgen. Es ist aber genauso gut, einfach Text zu schreiben oder verschiedene Anweisungen mit Pfeilen zu verbinden. Alles ist erlaubt, was Ihnen ermöglicht, sich strukturiert Gedanken über den Ablauf zu machen. Wenn das Ergebnis dann auch noch für andere lesbar und verständlich ist – umso besser!

Führen Sie nun den Algorithmus für das gegebene Beispiel fort.



Abbildung 1.16
Algorithmus als
Blockdiagramm



Edsger Wybe Dijkstra (1930–2002) arbeitete nach der Ausbildung zunächst als Professor an der Universität in Eindhoven und wechselte 1984 nach Texas. Neben seinen Arbeiten zur Berechnung des kürzesten Weges hat er auch einen wesentlichen Beitrag zur Einführung der strukturierten Programmierung geleistet. Dafür erhielt er 1972 auch den Turing-Preis, der das Pendant des Nobelpreises für Informatiker ist.

Das Ergebnis der Weiterführung sehen Sie in Abbildung 1.17. Erkennen Sie die Gemeinsamkeiten mit dem Ergebnis bei Nutzung des Ameisen-Prinzips?

Bemerken Sie, dass alle Städte bis auf ☉ rot markiert sind? In unserer Algorithmusbeschreibung haben wir festgelegt, dass wir aufhören dürfen, wenn die Zielstadt erreicht ist. Auf diese Weise sparen wir uns eventuell, einige Städte zu betrachten. Und auch wenn trotzdem fast alle Städte rot markiert sind, hat die Durchführung nicht allzu viel Zeit in Anspruch genommen.

Üben Sie nun mit dem neuen Algorithmus und bestimmen Sie den kürzesten Weg von Lupera nach Eindhoven. Wie wäre es, wenn Sie dafür die genaueren Wegstreckenangaben nutzen, die am Ende des Kapitels in Abbildung 1.K2 als Kopiervorlage zu finden sind?

