

Peter Fischer–Stabel

Daten- visualisierung

Vom Diagramm zur Virtual Reality

2. Auflage



Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage

Brill | Schöningh – Fink · Paderborn

Brill | Vandenhoeck & Ruprecht · Göttingen – Böhlau · Wien · Köln

Verlag Barbara Budrich · Opladen · Toronto

facultas · Wien

Haupt Verlag · Bern

Verlag Julius Klinkhardt · Bad Heilbrunn

Mohr Siebeck · Tübingen

Narr Francke Attempto Verlag – expert verlag · Tübingen

Psychiatrie Verlag · Köln

Ernst Reinhardt Verlag · München

transcript Verlag · Bielefeld

Verlag Eugen Ulmer · Stuttgart

UVK Verlag · München

Waxmann · Münster · New York

wbv Publikation · Bielefeld

Wochenschau Verlag · Frankfurt am Main

Prof. Dr. Peter Fischer-Stabel ist Professor im Fachbereich Umweltplanung und -technik am Umwelt-Campus der Hochschule Trier und Direktor des Instituts für Softwaresysteme. Lehr- und Forschungsschwerpunkt sind Themen der Umwelt- und Geo-Informatik sowie im Bereich der Visualisierung.

Peter Fischer-Stabel

Datenvisualisierung

Vom Diagramm zur Virtual Reality

Unter Mitarbeit von Jens Schneider

2., überarbeitete und erweiterte Auflage

UVK Verlag · München

Umschlagmotiv: © iStockphoto · Vladimir Cetinski

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Auflage 2018

2., überarbeitete und erweiterte Auflage 2024

DOI: <https://doi.org/10.36198/9783838561677>

© UVK Verlag 2024

– Ein Unternehmen der Narr Francke Attempto Verlag GmbH + Co. KG
Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle Informationen in diesem Buch wurden mit großer Sorgfalt erstellt. Fehler können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder Verlag noch Autor:innen oder Herausgeber:innen übernehmen deshalb eine Gewährleistung für die Korrektheit des Inhaltes und haften nicht für fehlerhafte Angaben und deren Folgen. Diese Publikation enthält gegebenenfalls Links zu externen Inhalten Dritter, auf die weder Verlag noch Autor:innen oder Herausgeber:innen Einfluss haben. Für die Inhalte der verlinkten Seiten sind stets die jeweiligen Anbieter oder Betreibenden der Seiten verantwortlich.

Internet: www.narr.de

eMail: info@narr.de

Einbandgestaltung: siegel konzeption | gestaltung
CPI books GmbH, Leck

utb-Nr. 5028

ISBN 978-3-8252-6167-2 (Print)

ISBN 978-3-8385-6167-7 (ePDF)

ISBN 978-3-8463-6167-2 (ePub)



Vorwort

Datenvisualisierungen sind aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken: In allen Wissenschaftsdisziplinen, aber auch im Alltag treffen wir ständig auf grafische Darstellungen in Form von Diagrammen, Kartenwerken, Bildern, 3D-Modellen etc. die zu lesen und zu verstehen sind. Häufig sind wir auch selbst gefordert, die in umfassenden Datenreihen enthaltenen Sachverhalte grafisch aufzubereiten, um komplexe Informationen in ein visuelles Umfeld zu transportieren und so Informationen angemessen und effektiv kommunizieren zu können.

Die vorliegende Publikation will in ihrer 2. Auflage demzufolge wichtige Felder der Computervisualistik vorstellen, die sich mit der grafischen Aufbereitung von Daten auseinandersetzen. Das Spektrum reicht von elementaren Methoden zur Erstellung von Diagrammen, Infografiken und Kartenwerken über die geometrische Modellierung und Bildbearbeitung bis hin zum Immersive Computing sowie dem Einsatz von Chat Bot's in der Visualisierung.

Der Schwerpunkt des Buches liegt dabei nicht auf der algorithmischen Beschreibung und Erläuterung von grundlegenden Techniken der grafischen Datenverarbeitung, sondern auf deren Anwendung in der Datenvisualisierung mittels entsprechender Softwaresysteme.

Da der Focus auf einer praxisorientierten Vermittlung des Stoffs liegt, ist das Werk geeignet für Studierende aller Studiengänge, aber auch für Praktiker, die sich in das hochdynamische Feld der grafischen Datenverarbeitung einarbeiten und praxisrelevante Visualisierungstechniken kennenlernen möchten. Weiterführende Literaturhinweise am Ende eines jeden Kapitels ermöglichen, bei Bedarf tiefer in das jeweilige Themenfeld einzutauchen. Begleitende Unterlagen, Übungsaufgaben und Beispieldaten finden sich zudem auf der Web-Seite zu diesem Buch.

Mein Dank gilt an dieser Stelle den Herren Jens Schneider (Beitrag Immersive Computing), Levin Zais und Christian Jiga sowie Frau Sabrina Abler, die über ihre Zuarbeit maßgeblich an der Entstehung dieser Publikation mitgewirkt haben.

Ich wünsche allen Lesern viel Erfolg bei der Beschäftigung mit dem spannenden Thema Datenvisualisierung.

Trier, im Mai 2024

Peter Fischer-Stabel

Hinweise zum Buch

- Visualisierung ist ein kommunikativer Prozess: Die Eignung der gewählten Lösung kann am besten ein neutraler Betrachter liefern. Legen Sie Ihr Produkt einem Bekannten vor, der die Lesbarkeit beurteilen soll.
- Durch die aufmerksame Lektüre von Grafiken in Tagespresse, von Web-Präsentationen, aber auch durch das Studium von Computerspielen sowie von AR- und VR-Anwendungen gewinnen Sie neue Ideen, die Sie ggf. später für eigene Visualisierungen nutzen können. Lassen sie sich inspirieren.
- Mittels selbstständiger Anfertigung von Visualisierungen gleich welcher Sachverhalte und durch das Experimentieren mit alternativen Darstellungsmethoden lernen Sie sukzessive die Gestaltungsmöglichkeiten kennen, die Ihre Visualisierungssoftware bietet.
- Die Übungsaufgaben sollten ohne vorherigen Blick in die Musterlösung bearbeitet werden.
- Die zitierten Internetquellen wurden – falls nicht gesondert erwähnt – letztmalig am 4.4.2024 aufgerufen. Auf eine individuelle Datumsangabe wurde bei den Quellenangaben demzufolge verzichtet.



Zu diesem Buch gibt es einen ergänzenden eLearning-Kurs aus 100 Fragen.

Mithilfe des Kurses können Sie online überprüfen, inwieweit Sie die Themen des Buches verinnerlicht haben. Gleichzeitig festigt die Wiederholung in Quiz-Form den Lernstoff.

Der eLearning-Kurs kann Ihnen dabei helfen, sich gezielt auf Prüfungssituationen vorzubereiten.

Der eLearning-Kurs ist eng mit vorliegendem Buch verknüpft. Sie finden im Folgenden zu den wichtigen Kapiteln QR-Codes, die Sie direkt zum dazugehörigen Fragenkomplex bringen. Andersherum erhalten Sie innerhalb des eLearning-Kurses am Ende eines Fragedurchlaufs neben der Auswertung der Lernstandskontrolle auch konkrete Hinweise, wo Sie das Thema bei Bedarf genauer nachlesen bzw. vertiefen können. Diese enge Verzahnung von Buch und eLearning-Kurs soll Ihnen dabei helfen, unkompliziert zwischen den Medien zu wechseln, und unterstützt so einen gezielten Lernfortschritt.

Zusatzmaterial.

Begleitend zum Buch stellt der Autor unter

<https://files.narr.digital/97825261672/Zusatzmaterial.zip>

zusätzliche Materialien zur Verfügung.

Inhalt

Vorwort.....	5
Hinweise zum Buch	7
Abbildungsverzeichnis	13
1 Einführung.....	17
1.1 Raster- und Vektorgrafik.....	20
1.1.1 Rastergrafik.....	22
1.1.2 Vektorgrafik.....	25
1.2 Anwendungsfelder der Visualisierung.....	27
1.3 Literatur.....	29
2 Computervisualistik.....	31
2.1 Qualität einer Visualisierung.....	33
2.2 Wahrnehmungskapazitäten des Menschen.....	35
2.2.1 Visuelle Wahrnehmung und grafische Mindestgrößen.....	37
2.2.2 Barrierefreiheit.....	39
2.3 Der Visualisierungsprozess.....	40
2.4 Datenorganisation.....	43
2.5 Hinweise zum Visualisierungsdesign.....	46
2.6 Storytelling mit Daten.....	47
2.7 Literatur.....	48
3 Diagrammtechniken.....	49
3.1 Business-Charts	50
3.2 Heatmaps	55
3.3 Piktogramme	55
3.4 Infografiken	57
3.5 Nützliche Anmerkungen	58
3.5.1 Farbwahl.....	58
3.5.2 Koordinatensysteme und Achsen.....	59
3.6 Literatur.....	60
4 Geovisualisierung und Kartografie.....	61

4.1	Geodaten	62
4.2	Kartografische Grundlagen.....	64
4.2.1	Grundsätze guter Kartengrafik	65
4.3	Orts- und Gebietsdiagramm-Karten	66
4.4	Kartogramme	68
4.4.1	Nicht-zusammenhängende Kartogramme	69
4.4.2	Zusammenhängende Kartogramme.....	69
4.4.3	Dorling-Kartogramm.....	70
4.5	Extrudierte Karten	70
4.6	Partizipatorisches Mapping	72
4.7	Literatur	72
5	Generative Computergrafik.....	73
5.1	Geometrische Modellierung	74
5.1.1	Objekte in der Szene.....	75
5.2	Modellierungsmethoden.....	75
5.2.1	Kantenmodelle	76
5.2.2	Flächenmodelle	76
5.2.3	Volumenmodelle.....	78
5.3	Oberflächeneigenschaften.....	79
5.4	Bildsynthese (Rendering)	79
5.5	Anwendungsbeispiel: 3D-Stadtmodelle	81
5.5.1	Airborne Laser Scanning (ALS).....	81
5.5.2	Ableitung eines 3D-Stadtmodells aus ALS-Daten.....	86
5.6	Photogrammetrie	88
5.6.1	Stereophotogrammetrie	89
5.6.2	Multiview-Photogrammetrie	90
5.7	Haptischer Ausdruck / 3D-Druck	92
5.8	Literatur	94
6	Bildbearbeitung.....	95
6.1	Datenerfassung Rasterdaten.....	96
6.2	Workflow der Bildbearbeitung	100
6.2.1	Punktoperatoren.....	102

6.2.2	Lokale Operatoren / Filterung im Ortsbereich.....	105
6.2.3	Globale Operatoren.....	107
6.3	Bildanalyse und Mustererkennung.....	107
6.4	Bildanalyse am Beispiel von Daten der Fernerkundung.....	109
6.4.1	Pixelbasierte Klassifikation multispektraler Daten.....	112
6.4.2	Grundprinzip der Klassifikationsverfahren.....	113
6.4.3	Überwachte Klassifikation.....	115
6.4.4	Anwendungsbeispiel: Gletscherschwund im Alpenraum.....	116
6.5	Weitere ausgewählte Operationen mit Bildern.....	120
6.5.1	Stitching.....	120
6.5.2	Mosaicing.....	122
6.5.3	High Dynamic Range (HDR)-Fotografie.....	122
6.5.4	Morphing.....	124
6.6	Weiterführende Literatur.....	124
7	Immersive Computing.....	125
7.1	Begriffsklärung.....	125
7.2	Historische Entwicklung.....	127
7.3	Anwendungsbeispiele.....	130
7.4	Erstellung von Anwendungen.....	135
7.4.1	Technische Aspekte und Entwicklungsframeworks.....	135
7.4.2	Tracking und Erfassung der Umgebung.....	137
7.4.3	Gestaltung der Benutzererfahrung.....	138
7.4.4	Performance-Optimierung.....	140
7.4.5	Beispiel: Interaktive VR-Historytainment-Anwendung.....	141
7.4.6	Beispiel: Visualisierung von Flut-Ereignissen mittels VR.....	143
7.5	Aktuelle Marktübersicht.....	146
7.5.1	Virtual Reality.....	146
7.5.2	Augmented Reality.....	147
7.5.3	Mixed Reality.....	147
7.5.4	Spatial Computing.....	147
7.6	Was bringt die Zukunft?.....	148
7.7	Literatur.....	151

8	Visualisierung und Manipulation	153
8.1	Stichproben mit systematischem Fehler	154
8.2	Auswirkungen der Wahl des Lokationsmaßes.....	155
8.3	Manipulation mit Diagrammen	156
8.4	Manipulation mittels Piktogramme	159
8.5	Manipulation mit Karten.....	161
8.6	Manipulation mittels Bildbearbeitung	162
8.7	Anmerkungen.....	163
8.8	Weiterführende Literatur.....	165
9	Chatbots in der Datenvisualisierung	167
9.1	KI-gesteuerte virtuelle Assistenten.....	167
9.2	Bildgeneratoren (Text-to-Image-Generatoren).....	169
9.3	Weiterführende Literatur	171
Index	173

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Teilgebiete der Grafischen Datenverarbeitung	18
Abb. 2	Schalenmodell zur Grafischen Datenverarbeitung.....	19
Abb. 3	Verlust von Strukturinformation bei der Abbildung von Anwendungsdaten auf die grafische Peripherie.....	21
Abb. 4	Beispiel einer 300 (horizontal) x 600 (vertikal) dpi-Bildauflösung.....	22
Abb. 5	Beispiel eines Binärbildes	23
Abb. 6	Beispiel einer Rastergrafik, bei der Höheninformation in den Bildpunkten codiert ist (digitales Geländemodell / Heightmap)	24
Abb. 7	Histogramm zur Verteilung der Bildpunktausprägung.....	25
Abb. 8	SVG-Code zur nachfolgenden Vektorgrafik.....	27
Abb. 9	SVG-Vektorgrafik, aufgebaut ausschließlich aus Kreiselementen.....	27
Abb. 10	Beispiel zur Datenexploration durch Visualisierung	32
Abb. 11	Plot der Abweichungen vom langjährigen Mittel mit geglätteter Trendlinie.....	33
Abb. 12	Effektive und ausdrucksstarke Grafik, die ihr kommunikatives Ziel direkt erreicht	34
Abb. 13	Elektromagnetisches Spektrum und visuelle Adaption.....	35
Abb. 14	Form- und Tiefenwahrnehmung bei unterschiedlicher Beleuchtung.....	37
Abb. 15	Die Visualisierungspipeline	41
Abb. 16	Klimadiagramm für Saarbrücken nach Walter & Lieth.....	43
Abb. 17	Beispieltabelle, wie die Datenhaltung nicht gemacht werden sollte.	44
Abb. 18	Optimierte Tabelle aus obigem Beispiel.....	45
Abb. 19	Bevölkerungsgröße ausgewählter Länder, dargestellt mittels Blasendiagramm	51
Abb. 20	Jahreszeitliche Niederschlagsverteilung ausgewählter Städte	52
Abb. 21	Verteilung der vorherrschenden Windrichtungen am Umwelt-Campus im Jahre 2022.....	52
Abb. 22	Box- & Whiskerplot zur deskriptiven Darstellung der Variabilität von Temperaturverläufen (Monatsmittel).....	53
Abb. 23	Flächengröße und Bevölkerungsdichte der Bundesländer dargestellt als Treemap	54
Abb. 24	Beispiel eines Gantt-Charts.....	54

Abb. 25	Beispiel einer Heatmap. Diskrete Darstellung monatlicher Durchschnittstemperaturen ausgewählter Städte.....	55
Abb. 26	Beispiel eines Piktogramms zur Höhe des Stromverbrauchs eines Haushaltes im jahreszeitlichen Verlauf.....	56
Abb. 27	Verteilungsdiagramm zur Flächennutzung im Landkreis Birkenfeld.....	56
Abb. 28	Beispiel einer einfachen Infografik.....	57
Abb. 29	Infografik zu Wasser-Extremereignissen gemessen am Pegel Trier.....	58
Abb. 30	Verwendung von Akzentfarben und einer Sortierung nach Größe der Werteausprägung.....	59
Abb. 31	Verwendung eines logarithmischen Achsensystems.....	60
Abb. 32	Verknüpfung von geometrischer und fachbezogener Information bei Geo-Daten.....	63
Abb. 33	Formale und inhaltliche Bestandteile von Karten nach Hake.....	65
Abb. 34	Beispiel einer einfachen thematischen Karte.....	66
Abb. 35	Beispiel einer Gebietsdiagramm-Karte.....	67
Abb. 36	Flächenproportionale (links) bzw. bevölkerungsproportionale Darstellung der Arbeitslosenquote in den verschiedenen Bundesländern.....	69
Abb. 37	Kartendarstellung mit extrudierten Geometrien der Landkreise bzw. kreisfreien Städte in Deutschland.....	71
Abb. 38	Konstruktion komplexer Objekte aus grafischen Primitiven.....	75
Abb. 39	Mögliche Interpretation eines Würfels im Kantenmodell.....	76
Abb. 40	Beschreibung eines Würfels im Flächenmodell.....	77
Abb. 41	Objektaufbau als Baumstruktur.....	77
Abb. 42	Verwaltung des Objektaufbaus in Tabellen.....	78
Abb. 43	Voxel-Modell.....	78
Abb. 44	Zusammensetzung der Rendering-Pipeline.....	80
Abb. 45	Fernerkundungsbasierte Ableitung eines 3D-Geländemodells des Vesuvs.....	82
Abb. 46	Funktionsprinzip Airborne Laser Scanning (ALS).....	82
Abb. 47	Signal-Laufzeit in Abhängigkeit von der Oberflächenbedeckung.....	83
Abb. 48	Vergleich der Detailstufen im LoD-Konzept (LoD1 – LoD3).....	84
Abb. 49	LoD-2-Modell kombiniert mit LAS-Dachpunktdaten.....	87
Abb. 50	Finales Stadtmodell mit Textur und Gebäudeöffnungen.....	88

Abb. 51	Zentralperspektivische Abbildung im Luftbild und Parallelprojektion bei der Kartenerstellung.....	89
Abb. 52	Smartphone-generiertes Modell der Merten-Säule.....	91
Abb. 53	Haptischer Ausdruck der modellierten Reichsburg Trifels	93
Abb. 54	Nachtaufnahme unter Verwendung einer für das menschliche Auge kaum wahrnehmbaren IR-LED-Ausleuchtung.....	97
Abb. 55	Thermografie-Aufnahme zur Visualisierung der Temperaturverteilung an einem Grundofen.....	97
Abb. 56	Röntgenaufnahmen einer Pferdezehe.....	98
Abb. 57	Ultraschallaufnahme der Blase eines Hundes.....	99
Abb. 58	Beispielaufnahme Computertomografie	99
Abb. 59	Pollen der Ringelblume, Aufnahme durch Rasterelektronenmikroskop	100
Abb. 60	Zusammenhang zwischen Variation der Tonwertmuster und der Bildinformation.....	101
Abb. 61	Bildoperatoren und Umgebungsinformation	102
Abb. 62	Häufigkeitsverteilung der Grauwerte eines Bildes.....	102
Abb. 63	Übliche Nachbarschaften lokaler Operatoren.....	105
Abb. 64	Beispiel zur Berechnung eines neuen Pixelwertes durch den Mittelwertoperator.....	106
Abb. 65	Bsp. Filteranwendung zur Kantendetektion; links: Ausgangsbild, rechts Ergebnis nach Anwendung des Sobel-Operators	107
Abb. 66	Prinzipielle Vorgehensweise bei der Mustererkennung.....	109
Abb. 67	Historische und rezente Aufnahmen der Stadt Rom.....	110
Abb. 68	Workflow der Klassifikation von Fernerkundungsdaten.....	112
Abb. 69	Reflexionsverhalten verschiedener Substrate	113
Abb. 70	Zweidimensionaler (multispektraler) Merkmalsraum	114
Abb. 71	Zusammenhang zwischen angestrebter Klassenhomogenität, bestmöglicher Klassentrennung und der vollständigen Zuordnung aller Pixel eines Bildes.....	115
Abb. 72	Spektrale Antwort ausgewählter Trainingsgebiete im Untersuchungsgebiet	118
Abb. 73	Ausdehnung Laaser Ferner mittels NDGI	119
Abb. 74	Dokumentation der Raum-Zeit-Dynamik des Laaser Ferner 1986-2023 als Ergebnis der Bildanalyse von Fernerkundungsdaten.....	120
Abb. 75	Landschaftspanorama als (vorläufiges) Ergebnis eines Stitching-Prozesses	121

Abb. 76	Beispiel Kontrastumfang 10 : 1	122
Abb. 77	Prinzip der Erzeugung von HDR-Bildern mittels einer LDR-Kamera	123
Abb. 78	Das Spektrum des Immersive Computings	127
Abb. 79	The Sword of Damocles VR (1968)	129
Abb. 80	Augmented Reality Sandbox zur spielerischen Sensibilisierung für Gefahren durch Hochwasserereignisse	133
Abb. 81	Optisches Tracking am Beispiel des Lighthouse Tracking Systems der HTC Vive	137
Abb. 82	Teil der Flowgraph-Logik der VR-Historytainment-Anwendung.....	142
Abb. 83	Screenshot der VR-Anwendung Moselhochwasser in Trier	144
Abb. 84	Der Cyberith Virtualizer ELITE 2 als Beispiel für ein omnidirektionales Laufband.....	149
Abb. 85	Zugelassene PKW pro 1000 Einwohner in den Landkreisen und kreisfreien Städten Deutschlands im Jahre 2016. Lage von arithmetischem Mittel, Median und Modalwert.....	156
Abb. 86	Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Saarbrücken Variante 1	157
Abb. 87	Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Saarbrücken Variante 2	157
Abb. 88	Beispiel einer unterschiedlichen Darstellung des Temperaturanstiegs in Abhängigkeit von der Wahl des Referenzzeitraums.....	158
Abb. 89	Unterschiedliche Wahrnehmung von Kreisdiagrammen in Abhängigkeit von der Perspektive.....	159
Abb. 90	Nicht-flächenproportionale Darstellung der Entwicklung der Studierendenzahlen am Umwelt-Campus.....	160
Abb. 91	Leicht verständliche und flächenproportionale, realistische Darstellung der Entwicklung der Studierendenzahlen am Umwelt-Campus mittels Mengensymbolen.....	161
Abb. 92	Bedeutung der Klassenwahl auch bei kartographischen Darstellungen: Zweitstimmenanteil der Partei DIE LINKE bei der Bundestagswahl 2021	162
Abb. 93	Mittelalterliches Flutereignis in Trier im Stil von Johannes Vermeer.....	163
Abb. 94	Monatsbezogene Mittelwerte und extreme Tagesmittel der Lufttemperatur in Saarbrücken-Ensheim.....	164
Abb. 95	Infografik als Ergebnis folgender DALL-E Anfrage: „Erzeuge eine Infografik zum Thema Klimawandel“	170