
Themenheft Nr. 55:

Bilder und Bildpraxen im Kontext digital-vernetzter Kulturen

Herausgegeben von Alessandro Barberi, Katrin Wilde, Stefan Iske und Johannes Fromme

Visualization Literacy

Über das Entziffern visueller Botschaften

Margit Pohl¹ 

¹ Technische Universität Wien

Zusammenfassung

Visualisierung von abstrakten Daten (z. B. Daten zu COVID-19) spielt in den Massenmedien eine immer grössere Rolle. Allerdings sind komplexe Visualisierungen für viele Personen nicht leicht zu interpretieren. Die Fähigkeit, solche Darstellungen zu verstehen, wird als Visualization Literacy bezeichnet. Diese neue Forschungsrichtung beruht auf Untersuchungen in anderen Bereichen, wie etwa Visual Literacy, Graph Comprehension oder Studien zu Cognitive Biases oder Onboarding für Visualisierungen. Im folgenden Artikel werden diese Forschungsbereiche dargestellt und ihre Bedeutung für Visualization Literacy diskutiert. Es gibt zwei wesentliche Aspekte bei Visualization Literacy, einerseits die Frage, wie man Wissen über Visualisierungen am besten vermitteln kann, andererseits auch, wie Visualisierungen gestaltet sein müssen, dass sie von Menschen ohne Vorwissen über dieses Gebiet angemessen verstanden werden können. Visualization Literacy ist eng mit Data Literacy verwandt, da grosse, komplexe Datensätze durch Visualisierungen oft leichter interpretiert werden können. Zusammenhänge in den Daten oder Extremwerte können wesentlich problemloser erkannt werden. Daher ist es wichtig, dass Kenntnisse über Visualisierungen im schulischen Unterricht vermittelt werden, damit Betrachtende keine fehlerhaften Schlüsse aus Visualisierungen ziehen.

Visualization Literacy. Decoding Visual Messages

Abstract

Visualization of abstract data (e.g., data on COVID-19) plays an increasingly important role in the mass media. However, complex visualizations cannot be understood easily by many people. The ability to understand such representations is called visualization literacy. This new direction of research is based on investigations in other areas, such as visual literacy, graph comprehension, or research on cognitive biases or onboarding for visualizations. The following article presents these research areas and discusses their importance for visualization literacy. There are two essential aspects of visualization literacy, on the one hand the question of how knowledge about visualizations can best be taught, and on the



other hand how visualizations must be designed so that they can be understood by people who have no prior knowledge of this area. Visualization literacy is closely related to data literacy, as large, complex data sets can often be made easier to understand through visualizations. Relationships in the data or extreme values can be recognized much more easily. It is therefore important that knowledge about visualizations is taught in school so that viewers do not draw incorrect conclusions from the visualizations.

1. Einleitung

Visualisierung von Daten spielt in den Medien eine immer wichtigere Rolle. Die Visualisierung von Infektionsdaten von Covid-19 ist ein gutes Beispiel dafür. Diese Visualisierungen sollten der Bevölkerung Informationen darüber vermitteln, wie hoch die Ansteckungsgefahr war, welche Bevölkerungsgruppen besonders betroffen waren und wie die Auslastung der Krankenhäuser war. Ein Ziel dieser Visualisierungen war auch, die Bevölkerung zu verantwortungsvollem Handeln zu motivieren und Verschwörungstheorien entgegenzuwirken. Diese Strategie kann aber nur erfolgreich sein, wenn die Visualisierungen von den Menschen auch wirklich verstanden werden. Es ist allerdings eine offene Frage, ob das der Fall ist, und neuere Forschung deutet darauf hin, dass nur einfache Visualisierungen wirklich von den meisten Personen leicht interpretiert werden können.

Unter Visualisierung verstehen wir hier die visuelle Darstellung von abstrakten Daten, z. B. die Anzahl der Corona-Patient:innen in Spitalsbehandlung über die Zeit hinweg. Es geht hier nicht um Fotografien oder sonstige bildliche Darstellungen, die noch eine gewisse Analogie zum dargestellten Gegenstand haben. Auch die Interpretation von Bildern ist nicht ganz so trivial, wie man annehmen könnte, aber das Verstehen von Visualisierungen ist noch anspruchsvoller, da auch das «mapping» verstanden werden muss. Bei abstrakten Daten können Designer:innen willkürlich entscheiden, wie Daten dargestellt werden, z. B. als Liniendiagramm oder als Balkendiagramm. Das wird als «mapping» bezeichnet. Diese Entscheidung ist nicht von vornherein gegeben, und die Betrachtenden müssen verstehen, wie Datenwerte dargestellt werden (z. B. durch die Höhe eines Balkens in einem Balkendiagramm). Es kann natürlich passieren, dass das «mapping» ungeeignet gewählt worden ist, sodass die Betrachtenden keine korrekten Informationen aus der Visualisierung ableiten können. Im Gegensatz dazu gibt es bei Fotografien eine Analogie des Bildes mit dem Gegenstand, wodurch die Fotograf:innen in ihrer Gestaltungsmöglichkeit eingeschränkt sind.

Eine der Herausforderungen, die sich im Zusammenhang mit dem Einsatz von Visualisierungen stellt, ist also das geeignete Design der Visualisierungen. Eine andere Fragestellung, die in den letzten Jahrzehnten untersucht wurde, betrifft den Einsatz von Visualisierungen im Unterricht. Es geht darum, in welchen Zusammenhängen

der Einsatz von Visualisierungen einen Sinn macht, und wie diese Visualisierungen gestaltet sein müssen. Der Einsatz von Visualisierungen im Unterricht hat den Nebeneffekt, dass die Lernenden auch den Umgang mit derartigen Darstellungsformen lernen. Eine neue Forschungsrichtung im Bereich Visualisierung betrifft dann auch die Frage, wie man Lernenden den Umgang mit Visualisierungen beibringen kann.

Ziel dieses Artikels ist es, einen Überblick darüber zu geben, welche Theorieansätze für die Beschreibung und Erklärung eines medienkompetenten Umgangs mit Visualisierungen (visualization literacy), insbesondere in Massenmedien, relevant sein könnten. Diese Ansätze stammen aus unterschiedlichen Forschungsdisziplinen und sind oft selbst interdisziplinär. Es gibt zwar schon längere Zeit Forschung in diesem Bereich, aber es gibt noch viele offene Fragen. Es gibt relativ viel Forschung zur Verwendung von grafischen Darstellungen im Unterricht (Graph Comprehension). Diese Forschung beschränkt sich aber in den meisten Fällen auf die Untersuchung von einfachen Graphiken. Komplexere Graphiken und interaktive Visualisierungen sind in diesem Zusammenhang noch nicht so gut untersucht.

Bei der Forschung zu Graph Comprehension und Visualization Literacy gibt es sicherlich Überschneidungen, der Schwerpunkt ist aber doch ein anderer. In der traditionellen Forschung zum Einsatz von Diagrammen im Unterricht geht es um die Verwendung von visuellem Material im weitesten Sinn, bei Visualization Literacy geht es um das spezifische Erlernen der Fähigkeit, Visualisierungen zu interpretieren. Im traditionellen Schulunterricht wird zwar den Kindern Lesen und Schreiben beigebracht, aber der Umgang mit und das «Lesen» von grafischem Material wird wenig berücksichtigt. Hier besteht auch ein Zusammenhang mit Data Literacy. Computertechnologie ermöglicht es, eine Fülle von Daten zu erheben, die in modernen demokratischen Gesellschaften der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden sollten. Es ist oft schwierig, diese Daten in Zahlenform zu vermitteln, daher verwendet man gerade für diese grossen Datenmengen Visualisierungen, die es leichter machen, in den Daten Muster zu erkennen. Visualization Literacy und Data Literacy sind also Bereiche, die eng zusammenhängen. Der Gegenstand der Forschung zu Visualization Literacy ist also das Erlernen der Fähigkeit, Visualisierungen angemessen zu verstehen und zu interpretieren, während Graph Comprehension sich mit dem Einsatz von Diagrammen im Unterricht beschäftigt. Allerdings sind die Grenzen zwischen beiden Ansätzen unscharf.

Eine Grundlage für die Forschung zu Visualization Literacy ist Visual Literacy, ein Forschungsgebiet, das sich schon in den 1960er-Jahren herausbildete. Allerdings ist diese Forschungsrichtung wesentlich breiter angelegt als Visualization Literacy. Visual Literacy geht explizit davon aus, dass die Fähigkeit zum Dekodieren von Bildern erlernt werden muss. Diese Forschungsrichtung bezieht sich dabei auf die Fähigkeit zu lesen und zu schreiben, die ja auch gelernt werden muss. Beim Lesen und Schreiben ist es offensichtlich, dass wir diese Fähigkeit nicht automatisch beherrschen.

Bei der Interpretation von Bildmaterial ist das nicht so offensichtlich, insbesondere bei realistischen Bildern. Es gibt allerdings inzwischen empirische Untersuchungen, die darauf hindeuten, dass selbst das Verständnis für Fotografien nicht automatisch gegeben ist, sondern in gewissem Ausmass gelernt werden muss (Moore 1994).

Natürlich kann es bei der Interpretation von Visualisierungen auch zu Problemen kommen. Wie schon oben erwähnt, kann eine der Ursachen dafür ein schlechtes Design von Visualisierungen sein. Andererseits gibt es aber auch kognitive Beschränkungen der menschlichen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung. Die Forschung zu Cognitive Biases, also kognitiven Verzerrungen, beschäftigt sich mit diesem Problem (Kahnemann 2012). Diese Forschungsrichtung wurde in den letzten Jahren in der Visualisierungs-Community ausführlich diskutiert, und mehrere Untersuchungen wurden dazu durchgeführt (z. B. Dimara 2020, Ellis 2018). Die Forschung zu Cognitive Biases weist auf ein wesentliches Problem bei der Verwendung von Visualisierungen hin, da diese so gestaltet sein müssen, dass Cognitive Biases verhindert werden. Andererseits wurde das Vorhandensein von Cognitive Biases in der Literatur sehr kontrovers diskutiert.

Eine Möglichkeit, wie Beobachtende bei der Interpretation von Visualisierungen unterstützt werden können, ist Onboarding. Das Konzept des Onboardings stammt ursprünglich aus dem Bereich des Personalmanagements und bezeichnet Massnahmen, die es erleichtern, neue Mitarbeitende in eine Organisation zu integrieren. Ein analoger Prozess soll im Zusammenhang mit Visualisierungen gestaltet werden. Die Forschung geht davon aus, dass sich vor allem bei komplexen Darstellungen die Möglichkeiten der Visualisierung den Benutzenden nicht sofort erschliessen. Onboarding kann hier helfen, z. B. durch Tutorials oder integrierte Hilfesysteme, die den Benutzenden just-in-time Unterstützung anbieten.

Visualization Literacy ist eine noch junge Disziplin, für die es noch kein geschlossenes Framework für die Forschung gibt, das sowohl die Theorie als auch die empirischen Untersuchungen leiten und inspirieren kann. Allerdings gibt es ähnliche Forschungsbereiche, die herangezogen werden können, um erste Ansätze eines solchen Frameworks zu entwickeln. Im Folgenden sollen Theorien diskutiert werden, die in diesem Zusammenhang relevant sein könnten. Die Auswahl dieser Theorien ist sicher nicht erschöpfend, aber es handelt sich um Ansätze, die bereits jetzt in diesem Forschungsgebiet rezipiert werden. Die Ansätze werden im Einzelnen vorgestellt, und ihre mögliche Bedeutung für Visualization Literacy wird im Anschluss diskutiert. Es geht hier insbesondere auch darum, zu beschreiben, welche Probleme beim Verstehen und Interpretieren von Visualisierungen durch Nicht-Expert:innen auftreten und wie diese Probleme gelöst werden könnten. Die unterschiedlichen Ansätze bieten unterschiedliche Lösungsvorschläge an, die zum Teil auch praktische Relevanz für das Design von Visualisierungen haben können. Abschliessend wird die existierende Forschung zu Visualization Literacy vorgestellt.

2. Graph Comprehension

Graph Comprehension untersucht die Faktoren, die beeinflussen, wie grafische Darstellungen wahrgenommen und interpretiert werden. Es gibt in diesem Bereich Wissenschaftler:innen, die der Meinung sind, dass auch das Erstellen von Visualisierungen Teil von Graph Comprehension ist. Ausgangspunkt dieser Art von Forschung ist die Untersuchung, wie Visualisierungen im Unterricht eingesetzt werden sollten und so gestaltet werden können, dass sie bei den Lernenden zu einem vertieften Verständnis des Lehrstoffs führen. Graph Comprehension beschäftigt sich insbesondere mit dem Einfluss von verschiedenen Darstellungsformen auf die Art der Interpretation der Visualisierungen (Shah et al. 2005). Es konnte z. B. gezeigt werden, dass die Darstellung von kategorialer Information als Liniendiagramm dazu führt, dass die Betrachtenden dazu neigen, diese Information als kontinuierlich anzusehen. Ähnliches gilt für Streudiagramme. In kleinen Streudiagrammen werden Cluster eher gefunden als in grossen, da in kleinen Diagrammen die Datenpunkte enger beieinander liegen (Shah et al. 2005).

Untersuchungsergebnisse dieser Art helfen dabei, Visualisierungen so zu gestalten, dass angemessene Erkenntnisse daraus abgeleitet werden können. Sie können aber auch Teil eines Unterrichts sein, der Visualization Literacy vermittelt. Wenn Lernende den Zusammenhang zwischen Darstellungsform und Interpretation kennen, können sie z. B. leichter unangemessene Darstellungsformen identifizieren und davon abgehalten werden, falsche Schlussfolgerungen aus Visualisierungen abzuleiten.

Kosslyn (2006) hat sich ausführlich damit beschäftigt, wie Visualisierungen gestaltet sein sollten, und insbesondere, welche Visualisierungen wann eingesetzt werden sollten. Er empfiehlt z. B., Tortendiagramme bei Proportionaldaten einzusetzen und Darstellungen von Tortendiagrammen nur für den Vergleich von einzelnen Segmenten des Tortendiagramms zu verwenden. Er formuliert auch sehr klare Guidelines, wie einfache Visualisierungen gestaltet sein sollen (z. B. Liniendiagramme, Balkendiagramme, Tortendiagramme). Kosslyn ist kognitiver Psychologe, und seine Empfehlungen basieren im Wesentlichen auf empirischer psychologischer Forschung.

Ein einflussreiches Modell, das im Rahmen dieses Forschungsansatzes entwickelt wurde, ist das Modell von Friel et al. (2001). Friel et al. (2001) gehen von der Erkenntnis aus, dass Lernende aus grafischen Darstellungen Erkenntnisse auf unterschiedlichen Ebenen gewinnen können. Diese unterschiedlichen Ebenen definieren sie wie folgt:

2.1 «*Extract information from the data*»

Bei dieser Art der Erkenntnisgewinnung geht es um die Identifikation von relativ offensichtlichen Einzelinformationen in grafischen Darstellungen. Diese Art der Erkenntnisgewinnung hat natürlich einen bestimmten Wert, in manchen Fällen ist sie allerdings ein Anzeichen dafür, dass Lernende keine komplexeren Erkenntnisse gewinnen können und nur oberflächliche Informationen aus der Visualisierung ableiten. Diese Art der Erkenntnisgewinnung ist typisch für Noviz:innen, die noch kein detailliertes Wissen über die Zusammenhänge im Gegenstand besitzen, den sie studieren.

2.2 «*Find relationships in the data*»

Hier vergleichen Lernende Daten aus verschiedenen Bereichen einer grafischen Darstellung oder kombinieren Informationen aus verschiedenen Bereichen einer grafischen Darstellung.

2.3 «*Move beyond the data*»

Diese Art der Erkenntnisgewinnung ist typisch für Expert:innen. Lernende sind in der Lage Schlussfolgerungen aus den Daten zu ziehen oder Trends in die Zukunft zu extrapolieren. Personen, die zu dieser Art der Erkenntnisgewinnung in der Lage sind, haben in der Regel ein umfassendes Wissen über den Gegenstand, den sie studieren.

Es ist das Ziel jedes Lernprozesses, die Lernenden zu befähigen, dass sie Schlussfolgerungen ziehen können, die über die gegebenen Daten hinausgehen. Dazu müssen die Lernenden ein umfassendes Wissen über den zu lernenden Gegenstand erwerben. Andererseits müssen grafische Darstellungen auch so gestaltet sein, dass das Ziehen von Schlussfolgerungen oder die Extrapolation von Trends spezifisch unterstützt wird.

Friel et al. (2001) diskutieren in ihrem Artikel auch Möglichkeiten, wie Graph Comprehension gelehrt werden kann. Sie weisen darauf hin, dass kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Darstellungsform und Verständlichkeit einer Visualisierung besteht. Dieser Zusammenhang hängt auch von der Aufgabenstellung ab, durch die die Interpretation mancher Visualisierungen leichter werden kann oder nicht. Für den Unterrichtsprozess in Grundschulen empfehlen sie die Benutzung konkreter Objekte (z. B. Würfel), bevor sie zu abstrakteren Darstellungsformen übergehen. Sowohl die verwendeten Datensätze als auch die verwendeten Visualisierungen sollen stetig komplexer werden. Fortgeschrittenere Lernende sollten auch dazu

motiviert werden, selbst geeignete Darstellungsformen zu entwickeln. Friel et al. (2001) argumentieren, dass Lernende auf diese Weise mehr Einsichten sowohl über die Datensätze als auch über die möglichen Darstellungsformen gewinnen können.

Es ist auch möglich, komplexe Einsichten aus dem Bereich «Going beyond the data» durch interaktive Visualisierungen zu unterstützen, die z. B. ermöglichen können, die Daten zu filtern oder andere Visualisierungsformen zu erforschen. Dadurch kann man unterschiedliche Hypothesen über die Daten untersuchen oder komplexere Einsichten gewinnen. Allerdings wurden im Bereich Graph Comprehension interaktive Visualisierungen selten untersucht, daher gibt es wenige empirische Erkenntnisse in diesem Bereich.

Grundsätzlich beschäftigt sich Graph Comprehension eher mit einfachen Diagrammen. Shah et al (2005) geben aber einen Überblick über Forschung in diesem Bereich, der zeigt, dass es auch Untersuchungen zu komplexeren Diagrammen gibt und dass unterschiedliche Aspekte in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden. Die ältere Forschung im Bereich Graph Comprehension betrifft die Eigenschaften der visuellen Darstellung von Diagrammen. Dadurch, dass die Datenmengen, die IT-Systeme generieren können, immer grösser werden, gewinnen Untersuchungen zur Datenkomplexität eine zunehmende Bedeutung. Einen wesentlichen Einfluss üben auch die Eigenschaften der Aufgaben, die erfüllt werden müssen, aus. Ausserdem muss man auch individuelle Unterschiede berücksichtigen. Die Benutzenden haben unterschiedliche Fähigkeiten, sowohl was den Gegenstandsbereich betrifft, der abgebildet wird, als auch, was Visualisierungen betrifft. Shah et al (2005) diskutieren in diesem Zusammenhang ausführlich, wie Personen, die wenig Wissen über Diagramme haben, die Information interpretieren, mit der sie konfrontiert sind. Wenn Benutzende keine umfassenden Vorstellungen darüber entwickelt haben, wie Diagramme zu interpretieren sind, müssen sie Informationen eher mühsam ableiten und kommen oft zu oberflächlichen Schlussfolgerungen.

Auch wenn die Forschung zu Graph Comprehension sich oft auf eher einfache Visualisierungen beschränkt, ist sie wesentlich für Visualization Literacy, da im Rahmen dieses Forschungsbereichs eine Fülle an empirischen Untersuchungen durchgeführt wurde, die relevant sowohl für die Gestaltung von Visualisierungen als auch für das Lehren und Lernen im Bereich Visualization Literacy sind. Es gibt viele Gestaltungsrichtlinien, die zeigen, wie verständliche Visualisierungen erstellt werden können, die auch angemessen für bestimmte Datensätze sind. Die Forschung zu Graph Comprehension hat sich insbesondere mit dem Einsatz von (einfachen) Diagrammen im Unterricht beschäftigt. Daher ist sie ganz besonders für die Vermittlung von Kenntnissen über Visualisierungen bedeutsam. Ein wichtiges Ziel bei der Vermittlung von Kenntnissen unter der Verwendung von Diagrammen ist «going beyond the data», also das Ziehen von Schlüssen aus den Daten, die nicht unmittelbar offensichtlich sind. Interaktive Visualisierungen eignen sich besonders gut für

einen derartigen Prozess, da das Erstellen und Überprüfen von Hypothesen durch solche Visualisierungen spezifisch unterstützt werden. Die Forschung zu Graph Comprehension weist auch darauf hin, dass diese Prozesse sehr komplex sind, und dass es eine Reihe von Faktoren (Charakteristiken der Darstellung, der Aufgaben, des Datensatzes und individuelle Unterschiede) gibt, die in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden müssen.

3. Visual Literacy

Visual Literacy ist einer der ältesten Ansätze im Zusammenhang mit der Fragestellung dieses Artikels. Der Ansatz beschäftigt sich nicht ausschliesslich mit Visualisierungen, sondern generell mit der Verarbeitung von visuellen Daten (Messaris 1994, Moore 1994). Schwerpunktmässig geht es um die Verwendung von Bildern in Massenmedien, um Filme oder auch um die Wahrnehmung und Interpretation von Gemälden. Einer der Ausgangspunkte dieser Forschungsrichtung war auch die Tatsache, dass in den 1950er- und 1960er-Jahren die Fotografie zu einem Massenphänomen wurde (Moore 1994). Immer mehr Menschen fotografierten ihre Umgebung. In diesem Zusammenhang stellte sich die Frage, was eine gute oder eine schlechte Fotografie ausmachte und wie man Personen Fotografieren beibringen sollte. Bei Visual Literacy geht also nicht nur um die Interpretation von Bildern, sondern auch um das angemessene Gestalten von Bildern.

Visual Literacy beruht auf einer Analogie zur Fähigkeit des Lesens und Schreibens. Ebenso, wie Menschen lesen und schreiben lernen, müssen sie auch lernen, wie Bilder gestaltet und decodiert werden können. Visual Literacy geht davon aus, dass die Fähigkeit, bildliche Darstellungen zu verstehen, nicht ausschliesslich angeboren ist, sondern zu einem wesentlichen Teil auch erlernt werden muss. Die Konventionen bildlicher Darstellung, insbesondere in Massenmedien, müssen erlernt werden, damit man sie tatsächlich verstehen kann. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Fähigkeit, über visuelle Darstellungen in Massenmedien reflektieren zu können und mögliche Manipulationen erkennen zu können (Messaris 1994). Die Forschung in diesem Bereich analysiert im Einzelnen, wie visuelle Botschaften wirken und welche Missverständnisse entstehen können. Analoge Forschung im Bereich der Visualization Literacy beschäftigt sich mit der Frage, wie in diesem Bereich irreführende Botschaften vermittelt werden können, z. B. dadurch, dass man die Achsen verkürzt und dadurch Unterschiede in den Werten übermässig betont (siehe z. B. Yu-Ho Lo et al 2022).

Ein wesentlicher Bereich in der Forschung zu Visual Literacy beschäftigt sich damit, wie bildliche Unterrichtsmaterialien gestaltet werden müssen, damit sie leicht verständlich sind, und wie mit bildlichem Material gut gelernt werden kann. Visual Literacy berücksichtigt explizit die Verwendung von Computern im Unterricht.

Dadurch wird visuelles Material interaktiv und animiert. Die Visual-Literacy-Forschung bezieht sich daher eher auf die Ergebnisse der Forschung zu E-Learning und weniger auf das Gebiet der Graph Comprehension (Moore 1994). Die Forschung zu Visual Literacy ist generell interdisziplinär angelegt und berücksichtigt Disziplinen wie etwa Linguistik, Psychologie, Philosophie oder Kunstgeschichte.

Die Forschung zu Visual Literacy hat historisch eine grosse Bedeutung für Visualization Literacy, weil sie die Grundlage für die Vorstellung gelegt hat, dass visuelles Material ein wesentlicher Bestandteil des Unterrichts sein sollte. Bis in die 1960er-Jahre hinein herrschte die Vorstellung vor, dass Text die hauptsächliche Form der Vermittlung von Inhalten im Unterricht sein sollte. Bilder sollten nur in ausgewählten Bereichen eine Hilfsfunktion haben. Ab den 1970er-Jahren begann ein Umdenken, das dazu führte, dass Bilder eine grössere Rolle beim Lehren und Lernen spielen (pictorial turn). Dieses Umdenken ist zumindest zum Teil auf die stärkere Verbreitung von Computern zurückzuführen, die die Weiterverbreitung von visuellem Material wesentlich vereinfachten. Visual Literacy hat einerseits betont, dass auch die Interpretation von visuellem Material in gewissem Ausmass erlernt werden muss. Man hat bewusst den Begriff Literacy gewählt, um diesen Lernprozess zu betonen. Andererseits hat es auch die Forschung zu Formen des Umgangs mit visuellem Material befruchtet. Die Forschungsrichtung Visualization Literacy ist in bewusster Anlehnung an Visual Literacy entstanden und teilt die Grundannahmen mit dieser Forschungsrichtung, auch wenn das untersuchte Material wesentlich eingeschränkter ist als bei Visual Literacy.

4. Cognitive Biases – Pro und Contra

Die Forschung zu Cognitive Biases oder kognitiven Verzerrungen beruht wesentlich auf der Forschung von Daniel Kahnemann (insbesondere Kahnemann 2012). In seinem Buch «Thinking, Fast and Slow» (Schnelles Denken, langsames Denken) unterscheidet Kahnemann zwischen zwei Systemen des Schlussfolgerns – dem System 1 und dem System 2. Das System 1 ist nach Kahnemann rasch und fehleranfällig, das System 2 ist langsam und eher korrekt. System 1 umfasst intuitive Entscheidungen und Heuristiken, die vereinfachte und schnelle Entscheidungen möglich machen sollen. Das System 2 ist dagegen durch ausführliche Erwägung aller möglichen Alternativen gekennzeichnet. System 2 beruht auf wohlüberlegten und vernunftmässigen Entscheidungen und nicht auf «Bauchgefühl» wie System 1. Da System 1 rasch und nicht basierend auf sorgfältiger Abwägung aller wesentlichen Faktoren stattfindet, kann es leicht zu Cognitive Biases kommen – im Gegensatz zu System 2, das durch den ausführlichen Entscheidungsprozess wesentlich leichter Cognitive Biases vermeiden kann.

Ein Beispiel für Cognitive Biases ist der Availability Bias, der auftritt, wenn man Phänomene überschätzt, weil sie im Gedächtnis überrepräsentiert sind. Gewaltsame Todesursachen werden z. B. oft überschätzt, weil sie in den Medien häufig beschrieben werden, im Gegensatz zu alltäglichen, krankheitsbedingten Todesursachen. Ein weiterer häufig erwähnter kognitiver Bias ist der Confirmation Bias. Damit ist gemeint, dass wir dazu neigen, nur Belege für unsere eigene, vorgefasste Meinung zu suchen, und nicht zu Meinungen, die von unserer eigenen abweichen. Am Confirmation Bias lässt sich besonders gut zeigen, dass eine sorgfältige und systematische Untersuchung aller möglichen Alternativen zu besseren Ergebnissen führen sollte als eine spontane Entscheidung, die auf dem «Bauchgefühl» beruht.

In den vergangenen Jahren wurde ausführlich über die negativen Auswirkungen von Cognitive Biases auf die Interpretation von Visualisierungen geforscht (z. B. Dimara 2020; Ellis 2018). Es wurde z. B. vorgeschlagen, dem Confirmation Bias durch geeignete Methoden der Visualisierung entgegenzuwirken. Man kann beispielsweise den Benutzenden mehrere unterschiedliche Sichtweisen der Daten zeigen, die unterschiedliche Hypothesen unterstützen. Man kann auch Widersprüche in den Daten in der Visualisierung hervorheben und die Benutzenden motivieren, sie zu reflektieren.

Die Forschung zu Cognitive Biases zeigt mögliche Probleme bei der Interpretation von Visualisierungen auf. Die Fülle an Untersuchungen, die auf die Existenz von Cognitive Biases hindeutet, muss in der Forschung zu Visualization Literacy berücksichtigt werden, da Cognitive Biases auf systematische Weise Visualization Literacy einschränken können. Wenn Cognitive Biases auftreten, kann man versuchen, mit Vermeidungsstrategien die Wirkung dieser Biases zu minimieren. Die Forschung in diesem Bereich kann helfen, Cognitive Biases zu identifizieren, die für die Arbeit mit Visualisierungen relevant sein könnten. Ausserdem können Gestaltungsmöglichkeiten entwickelt werden, die helfen, diesen Biases entgegenzuwirken.

Andererseits wurde die Cognitive Bias Forschung auch heftig kritisiert (Pohl 2018). Es gibt unterschiedliche Argumente gegen diese Forschung, die in der Literatur diskutiert wurden. Einige Forschende kritisieren den «puzzle problem approach», der hier vorherrscht (Woll 2001). In der Cognitive-Bias-Forschung werden hauptsächlich generische Probleme als Gegenstand der Untersuchung verwendet. Bei generischen Problemen geht man davon aus, dass alle Untersuchungsteilnehmenden dasselbe Vorwissen haben. Bei Sachproblemen dagegen kann man nie sicher sein, ob Unterschiede in den Ergebnissen nicht doch auf leichte Unterschiede im Vorwissen zurückzuführen sind. Das Problem dabei ist, dass generische Probleme meistens wenig relevant für realistische Situationen sind. Ausserdem berücksichtigen sie die Erkenntnisse aus der Forschung zu Expert:innenwissen nicht. Es lässt sich z. B. zeigen, dass die meisten Fehler in der medizinischen Diagnostik nicht auf Cognitive Biases zurückzuführen sind, sondern auf mangelndes Wissen der Expert:innen

(Norman 2014). Ein weiterer Kritikpunkt betrifft das Fehlen einer umfassenden Theorie, die die Wirkungsweise von Cognitive Biases erklären könnte. Es gibt zwar eine Fülle von empirischen Ergebnissen, aber kaum konsistente Theorieansätze in diesem Zusammenhang. Das hängt unter anderem mit der oft vagen Formulierung der Annahmen zu den in der Literatur beschriebenen Experimenten zusammen (Fiedler und von Sydow 2015). In dem Experiment zur Identifizierung des Availability Bias wird z. B. nicht zwischen der Behandlung von gewaltsamen Todesfällen in den Medien und der tatsächlichen Repräsentation dieser Berichte im Gedächtnis der Untersuchungsteilnehmenden unterschieden. Es wird implizit davon ausgegangen, dass eine intensive Behandlung in den Medien automatisch zu einer stärkeren Präsenz von Inhalten im Gedächtnis führt. Diese Annahme wird aber nirgendwo belegt. Ein weiteres Argument gegen die Cognitive-Bias-Forschung betrifft die Annahme, dass Probleme immer solche sein müssen, die mit irgendeiner Art von Logik gelöst werden müssen. In der Praxis lösen die meisten Menschen aber viele Probleme eher auf pragmatische Art und Weise und verwenden im Alltagsleben kaum logische Verfahren (Evans 2007).

Trotz dieser Kritik deutet die Fülle an empirischen Untersuchungen zu Cognitive Biases darauf hin, dass derartige Phänomene berücksichtigt werden müssen. In der Visualisierungsforschung gibt es bereits existierende Ansätze, die verwendet werden können, um die Wirkung von Cognitive Biases zu verringern.

Empirische Forschung deutet darauf hin, dass in der Praxis häufig keine Problemlösungsstrategien verwendet werden, die auf irgendeiner Art von Logik beruhen. Heuristiken gehören zu solchen Strategien, die für das Alltagsleben von Relevanz sind. Aus der Sicht des 2-Ebenen-Modells von Kahnemann (2012) gehören Heuristiken zum System 1 und sind fehleranfällig. Gigerenzer (2015) konnte hingegen zeigen, dass es Fälle gibt, wo Heuristiken zu sehr guten Ergebnissen führen können. In einer Untersuchung fragten Gigerenzer und seine Mitarbeitenden deutsche und amerikanische Studierende, welche Stadt grösser ist – Detroit oder Milwaukee. Erstaunlicherweise waren die deutschen Studierenden bei dieser Aufgabe besser, weil die meisten Milwaukee vorher nicht gekannt hatten und daher annahmen, dass Detroit grösser sein müsste (Rekognitionsheuristik). Das deutet darauf hin, dass es manchmal von Vorteil sein kann, weniger zu wissen («less is sometimes more»). In eine ähnliche Richtung geht auch die Strategie des «satisficing». Damit bezeichnet man eine Situation, in der eine Person nicht die optimale Entscheidung trifft, sondern eine Alternative wählt, die einen bestimmten Grenzwert überschreitet. Die meisten Leute werden z. B., wenn sie ein Kleidungsstück kaufen, nicht alle für sie verfügbaren Kleidungsstücke probieren, sondern an einem bestimmten Punkt ein Kleidungsstück kaufen, das bestimmte Kriterien erfüllt, ohne dass sie sicher sein können, dass sie die optimale Wahl getroffen haben. Es ist schon aus Zeitgründen in den meisten Fällen nicht möglich, eine optimale Entscheidung zu treffen. Für Visualisierungen

ergibt sich daraus die Gestaltungsrichtlinie, dass es in vielen Fällen besser ist, den Benutzenden nicht zu viel Information zu zeigen und die Anzahl der Alternativen, die gezeigt werden, eher klein zu halten.

Die empirische Forschung in diesem Bereich erscheint widersprüchlich, trotzdem lassen sich daraus für den Bereich Visualization Literacy konkrete Empfehlungen sowohl für das Design von Systemen als auch für das Lehren und Lernen ableiten. Es gibt inzwischen Vorschläge für die Vermeidung von Cognitive Biases durch ein geeignetes Design von Visualisierungen. Die Problematik von Cognitive Biases sollte auch bei der Vermittlung von Wissen über Visualisierungen berücksichtigt werden. Die Forschung zur Verwendung von Heuristiken legt nahe, dass man Benutzende nicht mit Information überfrachten sollte und dass Entscheidungen nicht qualitativ besser werden, wenn man zu viele Alternativen anbietet. Es gibt in diesem Bereich Forschung zu weiteren Heuristiken, die in ähnlicher Weise Gestaltungsrichtlinien für Visualisierungen nahelegen.

5. Onboarding

Onboarding bei Visualisierungen geht davon aus, dass aktuelle Visualisierungssysteme inzwischen relativ komplex in der Bedienung sind, und die Visualisierungen oft auch nicht auf den ersten Blick verständlich sind. Die Daten, die durch IT-Systeme generiert werden, werden immer komplexer und schwerer verständlich, daher müssen auch die Visualisierungen komplexer werden, um die Daten angemessen abzubilden. Durch die Möglichkeit der Interaktion mit der Visualisierung (z. B. dadurch, dass man Daten filtern kann, oder andere visuelle Darstellungsformen für dieselben Daten wählen kann) wird das Generieren von Erkenntnissen auf der Basis von Visualisierungen noch schwieriger. Benutzende wollen sich nicht intensiv in die Visualisierungen einarbeiten, vor allem, wenn sie nur Teile davon wirklich brauchen. Onboarding-Systeme können helfen, dieses Problem zu lösen (Stoiber et al. 2021, Stoiber et al. 2022). Ein klassisches Onboarding-System wäre ein Tutorial. Es ist aber bekannt, dass Benutzende Tutorials oft nicht durcharbeiten. Daher bieten sich eher Systeme an, die in die Visualisierung integrierte Hilfe anbieten, z. B. über Pop-Up-Felder, die bei Bedarf aktiviert werden können, wenn ein Aspekt der Visualisierung nicht verstanden wurde.

Onboarding beruht auf unterschiedlichen Lerntheorien, insbesondere auf Teilaspekten des Konstruktivismus. Die Idee des Scaffoldings (Shoab 2017) ist relevant für Onboarding, da die oben beschriebenen integrierten Hilfesysteme als eine Art Gerüst dienen können, das sukzessive weggenommen wird, wie das im Scaffolding vorgesehen ist. Eine weitere Lerntheorie, die für Onboarding von Relevanz ist, ist Microlearning (Hug 2007). Microlearning zielt auf das Lernen am Arbeitsplatz ab,

wo Lernende sich kleine Einheiten für sie wichtiger Information integriert in den Arbeitsprozess aneignen wollen. Eine sehr ähnliche Situation findet auch im Onboarding statt.

Onboarding ist eine Möglichkeit, Visualization Literacy zu unterstützen. Visualization Literacy wird hier nicht explizit gelehrt, sondern in der Arbeit mit den Systemen kontinuierlich erworben. Man könnte das als Cognitive Apprenticeship sehen, wie das auch in konstruktivistischen Lerntheorien gefordert wird.

6. Visualization Literacy

Visualization Literacy befasst sich mit dem Verstehen von Visualisierungen im engeren Sinn. Damit ist auch gemeint, dass Betrachtende die Fähigkeit besitzen, Visualisierungen angemessen zu interpretieren und Erkenntnisse auch aus komplexeren Visualisierungen abzuleiten (Firat et al. 2022). Manchmal wird auch die Fähigkeit, Visualisierungen zu erstellen dazu gezählt (Boy et al. 2014). Es geht insbesondere um Personen, die keine Visualisierungs-Expert:innen sind und um den Einsatz von Visualisierungen in Massenmedien, Museen oder sonstigen öffentlichen Bereichen. Ein zusätzliches Anliegen ist auch die Entwicklung von Tests, die Visualization Literacy überprüfen oder um Unterrichtskonzepte für das Lehren und Lernen von Visualization Literacy. Forschende wollen auch wissen, welche Visualisierungen für Nicht-Expert:innen leicht verständlich sind, und welche nicht.

Boy et al. (2014) und Lee et al. (2017) schrieben einflussreiche Papers zu methodischen Aspekten der Beurteilung von Visualization Literacy. Lee et al (2017) beschäftigten sich in diesem Zusammenhang mit der Erstellung eines Tests (VLAT: Visualization Literacy Assessment Test). Grundlage für die Erstellung des Tests waren einerseits klassische Visualisierungstypen (Liniendiagramm, Balkendiagramme, Tortendiagramme etc.), andererseits klassische Aufgaben, die man mit diesen Diagrammen erfüllen kann (Identifikation eines Werts, Finden eines Extremwerts, Feststellen eines Wertebereichs, Charakterisierung einer Verteilung, Finden von Clustern, Identifikation von Trends, Vergleiche). In einer empirischen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass es einen Zusammenhang zwischen Visualization Literacy und Testscores gibt. Allerdings ist der Test nur eine erste Annäherung, und eine weitere Präzisierung des Konstrukts «Visualization Literacy» ist notwendig.

Börner et al (2016) untersuchten die Visualization Literacy der Besuchenden von Museen. Die Autor:innen beschäftigten sich mit der Frage, welche Visualisierungen Museumsbesuchende kennen und verstehen. Im Allgemeinen hatten die Museumsbesuchenden Schwierigkeiten, komplexere Visualisierungen zu verstehen und zu interpretieren. Sie konnten nur oberflächliche Informationen aus den Visualisierungen ableiten. Insbesondere Netzwerkdarstellungen waren wenig bekannt und bereiteten Schwierigkeiten. Die Autor:innen weisen auch auf ein Problem hin,

das öfter thematisiert wird: Es gibt für manche Visualisierungen unterschiedliche Namen (z. B. Streudiagramm oder Punktwolke, Säulendiagramm oder Balkendiagramm). Dadurch wird die Vermittlung von Wissen über Visualisierungen besonders schwierig.

Aufbauend unter anderem auf der Untersuchung von 2016 entwickelten Börner et al. (2019) ein Framework für Data Visualization Literacy, das als Grundlage für den schulischen Unterricht in diesem Bereich dienen kann. Sie weisen darauf hin, dass das für andere Arten der Literalität (literacy) bereits geschehen ist, und dass es dadurch wesentlich einfacher ist, diese Themen als Gegenstände in Schulen zu unterrichten. Das trifft z. B. sowohl für Schreiben und Lesen als auch für Mathematik zu. Der Umgang mit Visualisierung wird allerdings noch nicht in Schulen gelernt, was dazu führt, dass Nicht-Expert:innen oft Schwierigkeiten mit der Interpretation von Visualisierungen haben.

Firat et al. (2022) geben einen breiten Überblick über die existierende Literatur zu Visualization Literacy. Auf der Basis dieses Überblicks kommen sie auch zum Schluss, dass komplexere Visualisierungen von Nicht-Expert:innen oft nicht verstanden werden. Sie beschreiben einige Tools, die entwickelt wurden, um Visualization Literacy zu steigern. In der Regel haben solche Tools positive Effekte. Sie diskutieren auch Studien, die Barrieren für Visualization Literacy identifizieren. Darüber hinaus beschreiben sie auch Untersuchungen, die sich mit dem Lehren von Visualization Literacy beschäftigen.

Ich möchte beispielhaft zwei Artikel zum Thema «Lehren von Visualization Literacy» diskutieren. Alper et al. (2017) beschäftigten sich mit der Vermittlung von Wissen über Visualisierungen in Grundschulen. Sie entwickelten «C`est la Vis», eine Plattform für Lehrpersonen und Schüler:innen, die das Lehren und Lernen von verschiedenen Visualisierungen erleichtern sollte, insbesondere von Balkendiagrammen. Ihr pädagogischer Ansatz geht davon aus, dass man zuerst eher konkrete Beispiele zeigt, und dann immer abstrakteres Material verwendet wird. Dieser Ansatz wird manchmal kritisiert, da das Ausgehen von konkretem Material der Verallgemeinerung von Wissen entgegensteht, und die Lernenden dann nicht in der Lage sind, konkretes Wissen auf andere Anwendungsgebiete zu übertragen. Alper et al. (2017) weisen allerdings darauf hin, dass es in diesem Zusammenhang auch auf das Alter der Kinder und das Anwendungsgebiet ankommt.

Roberts et al. (2018) beschreiben einen didaktischen Ansatz, der im Unterricht auf universitärer Ebene eingesetzt wurde. Dieser Ansatz betont weniger das Rezeptionslernen als kreative Methoden, mit denen sich Studierende Wissen über Visualisierungen aneignen können. Studierende sollen dazu motiviert werden, selbst Visualisierungen zu erstellen. Roberts et al. weisen darauf hin, dass das zum Teil Probleme bereitet, weil die Studierenden mit Lernformen, die stark auf Eigenaktivität abzielen, nicht vertraut sind. Trotzdem konnten sie mit diesem Ansatz gute Erfolge erzielen.

Visualization Literacy ist ein neuerer Ansatz im Bereich der Visualisierungs-Forschung. In diesem Zusammenhang wird in mehrere Richtungen geforscht. Einerseits gibt es Forschung zum Problem, in welcher Weise man Visualization Literacy geeignet messen kann. Andererseits gibt es Forschung dazu, wie verbreitet Visualization Literacy ist und welche Visualisierungen gut verstanden werden und welche nicht verstanden werden. Eine dritte Forschungsrichtung beschäftigt sich damit, wie Unterricht im Bereich Visualisierung aussehen kann.

7. Zusammenfassung

Moderne IT-Systeme erzeugen grosse Datenmengen. Diese Daten werden zunehmend in Massenmedien verbreitet. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass die Konsument:innen dieser Massenmedien Data Literacy erwerben, um diese Informationen korrekt interpretieren zu können. Häufig werden grosse Datenmengen auch als Visualisierungen dargestellt, da Visualisierungen den Vorteil haben, dass man gewisse Informationen, die in einer Tabelle oft versteckt sind, auf einen Blick erkennen kann (z. B. Extremwerte). Der Umgang mit Visualisierungen muss aber gelernt werden, so wie Lesen und Schreiben gelernt werden muss. Die Disziplin, die sich mit der Fähigkeit, Visualisierungen zu verstehen und gegebenenfalls auch zu produzieren beschäftigt, ist Visualization Literacy.

Visualization Literacy ist ein interdisziplinärer Forschungsbereich, der auf Untersuchungen in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen beruht. In diesem Artikel sind einige dieser Disziplinen und die Art und Weise, wie sie für Visualization Literacy relevant sein könnten, dargestellt. Um die Erkenntnisse aus den anderen Disziplinen produktiv anwenden zu können, muss Visualization Literacy kritisch über die Forschungsergebnisse aus den oben dargestellten Ansätzen reflektieren und versuchen, ein konsistentes Forschungsframework zu erstellen. Es gibt gewisse Ähnlichkeiten in den dargestellten Forschungsansätzen, z. B. die Betonung der Bedeutung konstruktivistischer Ansätze für das Erlernen von Visualization Literacy. Die hier vorgestellte Forschung geht auch generell davon aus, dass die Fähigkeit zur Interpretation von Visualisierungen erlernt werden muss. Darüber hinaus gibt es eine Fülle von Forschung zu Gestaltungsrichtlinien von Visualisierungen, die einerseits zur Gestaltung verwendet werden können, aber andererseits auch in den Unterricht im Bereich Visualization Literacy einfließen können. Eine wichtige Rolle spielt auch die Unterstützung der Fähigkeit zur Identifikation von manipulativer Gestaltung. Trotzdem sollte die hier vorgestellte Forschung auch kritisch betrachtet werden und ihre Grenzen berücksichtigt werden. Die Forschung zu Cognitive Biases ist im Zusammenhang mit Visualization Literacy sicher wertvoll, sollte aber auch nicht überbewertet werden. Jedenfalls sind aber erste Ansätze eines Forschungsframeworks erkennbar.

Literatur

- Alper, Basak, Nathalie Henry Riche, Fanny Chevalier, Jeremy Boy, und Metin Sezgin. 2017. «Visualization Literacy at Elementary School». In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 5485–97. Denver Colorado USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025877>.
- Börner, Katy, Andreas Bueckle, und Michael Ginda. 2019. «Data Visualization Literacy: Definitions, Conceptual Frameworks, Exercises, and Assessments». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (6): 1857–64. <https://doi.org/10.1073/pnas.1807180116>.
- Börner, Katy, Adam Maltese, Russell Nelson Balliet, und Joe Heimlich. 2016. «Investigating Aspects of Data Visualization Literacy Using 20 Information Visualizations and 273 Science Museum Visitors». *Information Visualization* 15 (3): 198–213. <https://doi.org/10.1177/1473871615594652>.
- Boy, Jeremy, Ronald A. Rensink, Enrico Bertini, und Jean-Daniel Fekete. 2014. «A Principled Way of Assessing Visualization Literacy». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 20 (12): 1963–72. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.2346984>.
- Dimara, Evanthia, Steven Franconeri, Catherine Plaisant, Anastasia Bezerianos, und Pierre Dragicevic. 2020. «A Task-Based Taxonomy of Cognitive Biases for Information Visualization». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 26 (2): 1413–32. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2872577>.
- Ellis, Geoffrey. 2018. *Cognitive biases in visualizations*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-95831-6>.
- Evans, Jonathan St BT. 2007. *Hypothetical thinking: Dual processes in reasoning and judgement*. Psychology Press.
- Fiedler, Klaus, und Momme von Sydow. 2015. «Heuristics and biases: Beyond Tversky and Kahneman's (1974) judgement under uncertainty». In *Cognitive psychology: Revisiting the classical studies*, 146-161. Sage: London, Thousand Oaks, California, New Delhi, Singapore.
- Firat, Elif E, Alark Joshi, und Robert S. Laramée. 2022. «Interactive Visualization Literacy: The State-of-the-Art». *Information Visualization* 21 (3): 285–310. <https://doi.org/10.1177/14738716221081831>.
- Friel, Susan N., Frances R. Curcio, und George W. Bright. 2001. «Making Sense of Graphs: Critical Factors Influencing Comprehension and Instructional Implications». *Journal for Research in Mathematics Education* 32 (2): 124–58. <https://doi.org/10.2307/749671>.
- Gigerenzer, Gerd. 2015. *Bauchentscheidungen: die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition*. C. Bertelsmann.
- Hug, Theo. 2007. *Didactics of microlearning*. Waxmann.
- Kahneman, Daniel. 2012. *Schnelles Denken, langsames Denken*. München: Siedler.
- Kosslyn, Stephen M. 2006. *Graph design for the eye and mind*. OUP USA.

- Lee, Sukwon, Sung-Hee Kim, und Bum Chul Kwon. 2017. «VLAT: Development of a Visualization Literacy Assessment Test». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 23 (1): 551–60. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2598920>.
- Lo, Leo Yu-Ho, Ayush Gupta, Kento Shigyo, Aoyu Wu, Enrico Bertini, und Huamin Qu. 2022. «Misinformed by Visualization: What Do We Learn From Misinformative Visualizations?». *Computer Graphics Forum* 41 (3): 515–25. <https://doi.org/10.1111/cgf.14559>.
- Malik, Shoaib Ahmed. 2017. «Revisiting and Re-Representing Scaffolding: The Two Gradient Model». Herausgegeben von Alexander W. Wiseman. *Cogent Education* 4 (1): 1331533. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2017.1331533>.
- Messaris, Paul. 1994. *Visual «Literacy» – Image, Mind, and Reality*. Boulder, San Francisco: Oxford: Westview Press.
- Moore, David Mike. 1994. *Visual literacy: A spectrum of visual learning*. Educational Technology. Englewood Cliffs, New Jersey: Educational Technology Publications.
- Norman, Geoff. 2014. «The bias in researching cognitive bias». *Advances in Health Sciences Education*. Wien/NewYork: Springer. <https://doi.org/10.1007/s10459-014-9517-5>.
- Pohl, Margit. 2018. «Cognitive biases in visual analytics—A critical reflection». In *Cognitive Biases in Visualizations*, 177–84. Springer. <https://doi.org/10.1109/JISIC.2014.68>.
- Roberts, Jonathan C., Panagiotis D. Ritsos, James R. Jackson, und Christopher Headland. 2018. «The Explanatory Visualization Framework: An Active Learning Framework for Teaching Creative Computing Using Explanatory Visualizations». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24 (1): 791–801. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2745878>.
- Shah, Priti, Eric G Freedman, und Ioanna Vekiri. 2005. *The Comprehension of Quantitative Information in Graphical Displays*. Cambridge University Press.
- Stoiber, Christina, Conny Walchshofer, Florian Grassinger, Holger Stitz, Marc Streit, und Wolfgang Aigner. 2021. «Design and comparative evaluation of visualization onboarding methods». In *The 14th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction*, 1–5.
- Stoiber, Christina, Conny Walchshofer, Margit Pohl, Benjamin Potzmann, Florian Grassinger, Holger Stitz, Marc Streit, und Wolfgang Aigner. 2022. «Comparative Evaluations of Visualization Onboarding Methods». *Visual Informatics*, Juli, S2468502X2200064X. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2022.07.001>.
- Woll, Stanley. 2001. *Everyday thinking: Memory, reasoning, and judgment in the real world*. Psychology Press.