

erschieden in der Fiff-Kommunikation,  
herausgegeben von Fiff e.V. - ISSN 0938-3476  
[www.fiff.de](http://www.fiff.de)

Margit Pohl

## Visualisierung in der Wissenschaft

*Bilder, im Gegensatz zu Text, galten lange Zeit in der Wissenschaft als zweitrangig. Im Schulunterricht waren Bilder ganz besonders verpönt. Es wurde oft argumentiert, dass Bilder komplexe Phänomene unzulässig vereinfachen oder wissenschaftliche Texte einfach nur verschönen. In den letzten Jahrzehnten hat es allerdings ein Umdenken in dieser Frage gegeben. In diesem Zusammenhang sollte auch erwähnt werden, dass es wissenschaftliche Disziplinen gibt, die ohne Abbildungen noch nie auskamen, wie etwa die Medizin oder die technischen Wissenschaften. Mit der Einführung von Informationstechnologien gibt es neue Möglichkeiten der Erstellung und Gestaltung von Abbildungen. Es ist eine offene Frage, inwieweit Visualisierungen, die auf komplexen Algorithmen beruhen und ein hohes Ausmaß an Interaktivität ermöglichen, für die Wissenschaft neue Erkenntnismöglichkeiten schaffen oder aber eher eine kritische Auseinandersetzung behindern. Wird die zunehmende Verwendung digitaler Medien dazu führen, dass sich unsere Wissenschaft grundlegend verändert, da Wissen jetzt in einer anderen Form dargestellt werden kann? Und in welche Richtung kann eine solche Veränderung gehen?*

In diesem Zusammenhang muss man darüber diskutieren, was eigentlich das Neue an den neuen Medien ist und welche Möglichkeiten man jetzt hat, die früheren Generationen nicht zur Verfügung standen. Viele innovative oder andersartige Eigenschaften neuer Medien sind schon in historisch älteren Medien angelegt. Diese Kontinuität wird oft von solchen Medientheorien übersehen, die eher auf allgemeine Schlussfolgerungen abzielen und keine detaillierten historischen Analysen durchführen. So spricht Bolz (1995) von einer Bilderflut, die vom Computer produziert wird und das wahre Sein gleichsam ersetzt. Solche Theorien übersehen, dass Bilder schon in früheren Medien des Lesens und Schreibens eine große Rolle spielten, und dass bildliche Darstellungen für Wissenschaft und Technik immer schon eine große Rolle spielten. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, zu präzisieren, was eigentlich das Neue an digitalen Abbildungen ist und welche Möglichkeiten derartige Darstellungsformen eröffnen, insbesondere auch im wissenschaftlichen Kontext.

### Reproduzierbarkeit von Bild (und Text) als Grundlage der modernen Wissenschaft

Es gab bereits im Mittelalter wissenschaftliche Bücher mit Abbildungen, allerdings war es keine allgemeine Praxis, wissenschaftliche Werke mit fachlich relevanten Bildern zu illustrieren. Das hängt weniger damit zusammen, dass die direkte Beobachtung der Natur im Mittelalter für nicht notwendig erachtet wurde, als damit, dass es im Zeitalter einer handschriftlichen Kultur schwierig war, mehrere exakte Kopien von wissenschaftlichen Abbildungen anzufertigen. Es gibt zwar z. B. sehr schöne und exakte Bilder von Arzneipflanzen. Für Kopisten, die diese Pflanze nie im Original gesehen hatten, war es allerdings schwierig, eine genaue Kopie einer solchen Abbildung anzufertigen.

Dieses Problem konnte im Zeitalter des Buchdrucks gelöst werden. Es ist vermutlich kein Zufall, dass mehr oder weniger gleichzeitig mit dem Buchdruck auch der Holzschnitt und der Kupferstich erfunden wurden. Diese Techniken ermöglichten die

Reproduktion von wissenschaftlichen Werken, die als Grundlage für die Entwicklung der modernen Wissenschaft dienten. Ein wesentlicher Aspekt in diesem Zusammenhang ist die Existenz von zahlreichen exakten Kopien eines wissenschaftlichen Werks, auf die sich die Mitglieder einer *community* von Forschern (selten auch Forscherinnen) beziehen konnte. Dabei spielt nicht nur der Text eine Rolle sondern auch die Abbildung. Eisenstein (1996) weist in diesem Zusammenhang auf die Publikation einheitlicher Land- und Seekarten oder Sterntafeln hin. Sie argumentiert, dass es Kopernikus nur deshalb möglich war, eine neue astronomische Theorie aufzustellen, weil er Zugang zu einer (durch den Buchdruck vermittelten) Fülle an langfristigen Daten über die Position von Sternen hatte, die früheren Gelehrten nicht zur Verfügung stand. Er konnte eine große Menge an Daten vergleichen, Widersprüche aufdecken, und auf dieser Grundlage ein neues Modell der Planetenbewegungen formulieren. Ähnliches gilt auch für die Kartografie oder die Kunde der Arzneimittelpflanzen. In allen diesen Wissenschaften hat es Veränderungen im Umgang mit Bildmaterial als Folge der Einführung der Drucktechnik gegeben.

Eisenstein (1996) argumentiert, dass das Vorliegen zahlreicher identischer Kopien die moderne Wissenschaft erst möglich gemacht hat, und zwar weniger deshalb, weil exakte Darstellungen an sich verfügbar waren, sondern eher deshalb, weil es jetzt zu einem Prozess von Feedback auf vielen Gebieten kommen konnte. Identische Texte und Abbildungen konnten in der wissenschaftlichen Gemeinschaft diskutiert und ständig verbessert werden. Auf diese Weise wurde die Entwicklung der Drucktechnik (nicht nur der Buchdruck, sondern auch Holzschnitt und Kupferstich) zu einem wesentlichen Faktor in der Entwicklung der modernen Wissenschaft. Eisenstein und die VertreterInnen ihrer Denkrichtung würden also argumentieren, dass die Beschaffenheit und die Eigenschaften gedruckter Dokumente den Charakter der modernen Wissenschaft mit geprägt haben. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob es durch die Einführung der digitalen Technologie für die wissenschaftliche Darstellung und Kommunikation zu einem ähnlichen Prozess in der heutigen Zeit kommen wird.

### Digitale visuelle Kultur?

Um zu verstehen, wie Medien der Wissenschaftskommunikation die Entwicklung der Wissenschaft beeinflussen können, muss man sich zunächst darüber Klarheit verschaffen, was die spezifische Eigenart dieser Medien ist. In diesem Zusammenhang möchte ich zunächst nicht zwischen Visualisierung und Text unterscheiden, da beide Darstellungsformen in der Informationstechnologie zusammenwachsen. Während im klassischen Buchdruck die Technik für die Erstellung von Text und Bildern unterschiedlich ist (Buchdruck auf der einen Seite und Holzschnitt bzw. Kupferstich auf der anderen Seite), beruht bei Informationstechnologie sowohl die Darstellung von Texten als auch Bildern auf Pixeln am Bildschirm. Daher ist es auch wesentlich leichter möglich, Text und Bild zu integrieren.

Für digitale Medien, die der Wissenskommunikation dienen, erscheinen mir die folgenden fünf spezifischen Eigenschaften wesentlich (siehe auch Pohl 2003).

### Offenheit

Offenheit bedeutet, dass ein Dokument nie abgeschlossen ist. Bei elektronischen Dokumenten impliziert das, dass es immer wieder neue Versionen gibt und der Bearbeitungsprozess letztlich (zumindest theoretisch) nie abgeschlossen ist. Beim Buch gibt es einen Zeitpunkt – den Druck, zu dem ein Buch seine fertige Form erhält und danach nicht mehr geändert werden kann. Ich habe oben argumentiert, dass das wesentlich für die moderne Wissenschaft ist. Es ist offen, wie die Wissenschaft sich entwickeln wird, wenn es keine *autoritative* Version eines wissenschaftlichen Werks mehr gibt (sondern möglicherweise statt dessen ein gemeinschaftlich erstelltes Wiki, das sich ständig ändert). Es ist heute schon so, dass viele Verweise auf URLs im Internet sehr rasch nicht mehr aktuell sind und daher nicht nachverfolgt werden können. Dadurch wird die Konvention des prinzipiell nachverfolgbaren Zitierens unterlaufen. Andererseits wird heute, z. B. bei elektronischen Journals, zu einem bestimmten Zeitpunkt eine endgültige Version festgesetzt. Das ist nicht den Eigenheiten des Mediums geschuldet wie beim Buchdruck, sondern offenbar Ausdruck gesellschaftlicher Konventionen. Für wissenschaftliche Abbildungen heißt das, dass ihre elektronische Form auch fluid ist und sich letztlich ständig ändert, oder sich zumindest ändern kann. Abbildungen können auch immer neu annotiert werden oder in einen neuen Zusammenhang gestellt werden, wodurch andere Interpretationen entstehen.

### Vernetzte Struktur/Hyperlinks

Digitale Medien ermöglichen explizite Verweise auf anderes Material. Das kann dazu führen, dass, wie etwa im WWW, das gesamte Wissen der Welt nur ein paar Mausklicks entfernt ist (Manchmal funktioniert das allerdings nicht so, wie man es sich wünschen würde). Prinzipiell ermöglicht das eine Wissenschaft, für die Bezüge zwischen Wissenseinheiten eine größere Bedeutung haben als in der traditionellen Wissenschaft. Das Setzen von Hyperlinks ist natürlich auch für Visualisierungen von Bedeutung, da es ermöglicht, Abbildungen zu vernetzen und verschiedene Darstellungsformen in Beziehung zueinander zu setzen. In der Visualisierung ist es besonders von Bedeutung, wenn derselbe Datensatz auf unterschiedliche Art und Weise visualisiert und dann vernetzt wird, sodass man verschiedene „Bilder“ derselben Daten vergleichen kann.

### Interaktivität

In der wissenschaftlichen Literatur wird Interaktivität oft als ein wesentlicher Vorteil digitaler Medien beschrieben. Allerdings ist Interaktivität ein schwer definierbarer Begriff. Im Prinzip interagieren wir auch mit Büchern, wenn wir über sie nachdenken oder auf ihrer Grundlagen neue Ideen und Gedanken entwickeln. Dadurch, dass wir über sie reflektieren, interagieren wir mit den Medien und reinterpreten sie beständig. Im strengen Sinn ist Interaktivität allerdings ein Vorgang, bei dem BenutzerInnen Aktivitäten setzen, die dazu führen, dass der Zustand des Programms, das auf einem Computer läuft, sich wesentlich ändert (wesentlich heißt hier, dass mehr geändert wird, als dass die BenutzerInnen von einer Seite zu einer anderen gehen). In der Regel geschieht das so, dass Parameter eines Programms implizit

oder explizit geändert werden. Grundsätzlich muss Interaktivität nicht immer positiv sein, sondern kann die BenutzerInnen auch irritieren oder ablenken, wenn sie schlecht gestaltet ist. Allerdings kommt sie *natürlichem* menschlichen Verhalten entgegen, weil es in der Natur des Menschen liegt, mit den Gegenständen in seiner/ihrer Umgebung (im weitesten Sinn) zu hantieren und dadurch Wissen über die Welt zu erwerben. Menschen erforschen in der Regel aktiv ihre Umwelt. Dem kommen interaktive Programme entgegen. Allerdings muss ein Programm auch entsprechend gestaltet sein, um diesen Vorgang zu unterstützen. Nicht jede interaktive Software unterstützt tatsächlich das menschliche Explorationsverhalten.

Interaktive „Bilder“ sind z. B. alle Arten der interaktiven Visualisierung. In diesem Bereich ist heute, auch in der Wissenschaft, vieles möglich, was in einer Buchkultur unvorstellbar war. Letztlich gestalten die BenutzerInnen hier ihre *eigenen* Visualisierungen. Auch Videos oder Animationen können heute interaktiv gestaltet werden (durch Annotationen, Suchfunktionen, ...).

### Kombination von mehreren Medien

In IT-Applikationen lassen sich nicht nur Bild/Video und Text integrieren, sondern auch andere Arten des Output, z. B. Audio und Haptik. Grundsätzlich ist dieser ganzheitliche Ansatz sinnvoll, da die Reize des täglichen Lebens ebenfalls alle Sinnesmodalitäten ansprechen. Durch die Verwendung von Audio und Haptik könnte daher ebenfalls Information vermittelt werden. Audio kann man z. B. nicht nur für Warntöne verwenden, sondern auch für die Darstellung von Information (siehe z. B. Flowers 2005). Allerdings ist die Integration von Audio und Haptik noch nicht sehr weit verbreitet, da es für diese Modalitäten noch wenige Gestaltungskonventionen gibt. Bilder werden schon seit langer Zeit für die Vermittlung von Wissen verwendet, daher verfügen wir über die Fähigkeit, informative Abbildungen gut zu interpretieren (visual literacy). Bei Audio ist das z. B. nicht der Fall. Das führt zu Problemen bei der Interpretation von Audio-Material (Kovar & Pohl 2011).

### Verschwimmen der Grenze zwischen LeserIn und AutorIn/social media

Bereits George Landow (1994) wies darauf hin, dass elektronischer Text (im weitesten Sinn) dazu führt, dass die Grenze zwischen LeserIn und AutorIn verschwimmt. Er bezog sich dabei auf Hypertext. In diesem Zusammenhang kam es bereits zu dem Phänomen, dass BenutzerInnen im WWW Material von anderen Leuten für ihre Webseiten verwendeten bzw. Links auf deren Webseiten setzten. Auf diese Weise entstanden damals schon ganze Communities (z. B. Fangemeinschaften im Zusammenhang mit StarTrek oder StarWars), die auf Fanseiten immer wieder aufeinander verwiesen. In Wikipedia wurde dieses Phänomen noch wesentlich besser unterstützt. Zusätzlich gibt es im Web 2.0 noch viele weitere Möglichkeiten der Partizipation und Kommunikation von BenutzerInnen des Internet.

In interaktiver Visualisierung kann man in gewisser Weise auch ein Verschwimmen der Grenze zwischen LeserInnen und AutorInnen beobachten, da durch den interaktiven Charakter die Be-

nutzerInnen immer neue Systemzustände herstellen können, die möglicherweise von den DesignerInnen der Systeme so gar nicht antizipiert worden waren. Die BenutzerInnen produzieren auf diese Weise immer neue Sichtweisen auf das Material. Außerdem spielen kooperative Formen der Visualisierung eine immer größere Rolle (Isenberg et al 2012). Bei dieser Art von Visualisierung arbeiten BenutzerInnen gemeinsam an verschiedenen Visualisierungen und tauschen sich über deren Interpretation aus.

Ich denke, dass digitale Medien nicht grundsätzlich dadurch charakterisiert sind, dass sie eine Bilderflut produzieren, da es Bilder bereits in früheren Medien gab. Es ist allerdings charakteristisch, dass Text, Bilder, Video, Audio und andere mediale Darstellungsformen auf neue Art und Weise integriert werden können. Auch die Interaktivität an sich ist keine besondere Eigenheit digitaler Medien, es handelt sich vielmehr um eine spezifische Art der Interaktivität. Insbesondere erscheint mir auch der veränderliche Charakter von elektronischen medialen Darstellungen wesentlich. Solche Darstellungen sind offen, da es keine endgültige Version gibt. Die BenutzerInnen können eingreifen und die Darstellungsform ändern. Es ist letztlich nicht mehr klar, wer LeserIn und wer AutorIn ist. Manche dieser innovativen Charakterzüge sind vor allem für Hypertext relevant (Offenheit der Darstellung), andere eher für Visualisierungen (Interaktivität).

### Interaktive Informationsvisualisierung

Die menschliche Wahrnehmung ist ihrer Natur nach aktiv. Gibson (1986), einer der bekanntesten Wahrnehmungspsychologen, weist darauf hin, dass Wahrnehmung nur verstanden werden kann, wenn man davon ausgeht, dass sie an den menschlichen Körper gebunden ist, der sich in einer bestimmten Umgebung bewegt. Er wendet sich damit gegen die traditionelle Vorstellung in der Wahrnehmungspsychologie, die besagt, dass Wahrnehmung passiv ist und nur in der Verarbeitung von auf die Sinnesorgane auftreffenden Reizen besteht. In den klassischen Experimenten in der Wahrnehmungspsychologie wurden Versuchspersonen in abgedunkelten Räumen einzelne, sehr kurze Reize dargeboten. Häufig durften die Versuchspersonen nicht einmal ihre Köpfe bewegen. Selbst wenn auf diese Art und Weise gewisse grundlegende Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung erforscht werden können, ist dieser Ansatz für eine realistische Konzeption nicht ausreichend.

In neueren Arbeiten zu wahrnehmungspsychologischen Grundlagen der Informationsvisualisierung wird auf Gibson Bezug genommen (Ware 2008). Wahrnehmung wird als aktive und explorative Suche nach wesentlichen Informationen in der Umgebung verstanden. Diese Konzeption der Wahrnehmung ist auch deshalb notwendig, weil Menschen in der Regel im Zuge eines kurzen Wahrnehmungsakts sehr wenig wahrnehmen. Es fällt Menschen im Alltagsleben in der Regel nicht auf, dass sie nur diejenigen Informationen, die sie fokussieren, wirklich scharf sehen. Alles andere ist nur sehr verschwommen. Trotzdem vermittelt uns das Gehirn den Eindruck, dass wir ein scharfes und präzises Bild unserer Umgebung haben. Dieser Eindruck hängt unter anderem damit zusammen, dass wir unsere Eindrücke aus Bildern zusammensetzen, die wir erst im Zeitablauf gewinnen. Häufig wird argumentiert, dass Sehen, im Gegensatz zu Hören

(das seriell funktioniert), parallel ist. Es ist allerdings nicht ganz so einfach. Offenbar funktioniert das Sehen auch in hohem Ausmaß seriell. Da wir bei einer einzelnen Fixation nur einen sehr kleinen Bereich unserer Umwelt scharf sehen, können wir uns ein umfassendes Bild unserer Umgebung nur durch mehrere, aufeinander folgende Fixationen, erwerben. Außerdem wissen wir, dass Information, die wir vielleicht benötigen könnten, jederzeit verfügbar ist. Wenn wir wissen wollen, ob die Wand im Raum, in dem wir uns befinden, tatsächlich weiß ist, oder doch zart gelb, brauchen wir nur hinzusehen. Wir richten unsere Aufmerksamkeit aktiv auf die Information, die wir benötigen, alles andere wird ausgeblendet. Eine Beleg dafür ist das bekannte Video mit den BallspielerInnen und dem Gorilla (siehe z. B. <http://www.edenjournal.com/1005/the-invisible-gorilla-counter-intuition-and-change-blindness/>), bei dem die Versuchspersonen zählen müssen, wie oft bestimmte SpielerInnen einander einen Ball zuspielen. Während sie das tun, geht ein Gorilla durchs Bild, der von sehr vielen Versuchspersonen nicht wahrgenommen wird, weil sie sich intensiv auf den Ball konzentrieren. Wenn wir allerdings den Gorilla erwarten, zählen wir zu wenige Ballwürfe. Wir konzentrieren uns also immer nur auf die Aspekte der Umgebung, die für uns gerade relevant sind. Dieses Phänomen ist durch viele empirische Untersuchungen gut nachgewiesen. Wahrnehmung muss daher ein aktiver Prozess sein, bei dem gezielt ausgewählt wird, was für uns gerade von Interesse ist. Entsprechend richten wir dann unsere Aufmerksamkeit auf diese Gegenstände.

Interaktive Visualisierungen können diese aktiven und explorativen Wahrnehmungsprozesse gut unterstützen (Ware 2008). Hier geht es um Explorationsprozesse, bei denen komplexe Fragestellungen gelöst werden sollen. Oft ist am Beginn eines solchen Prozesses noch nicht völlig klar, was das genaue Ziel ist und mit welchen Methoden das Ziel erreicht werden kann. Es werden zunächst allgemeine Hypothesen aufgestellt, die überprüft, verfeinert und gegebenenfalls auch wesentlich verändert werden können. Interaktive Visualisierungen stellen oft auch mehrere Ansichten von Daten dar (z. B. Tabelle, Scatterplot und die eigentliche Visualisierung), sodass die Methode, mit der man eine Fragestellung lösen kann, im Verlauf des Explorationsprozesses wechseln kann. Derartige Visualisierungen unterstellen einen Wahrnehmungsprozess, der aktiv nach Informationen sucht und eng verschränkt mit Denken und Problemlösung ist.

Solche Visualisierungen werden bereits in verschiedenen Bereichen der Wissenschaft eingesetzt, insbesondere dort, wo einerseits eine große Menge an Daten anfallen und andererseits komplexe und schwer modellierbare Problemstellungen (*ill-structured problems*) auftreten. Solche Wissenschaftsdisziplinen

sind z. B. die Klimaforschung, Demografie, Pharmazie, Medizin, Biologie oder Informatik. In der Medizin lassen sich auf diese Weise z. B. die Langzeit-Daten von vielen chronisch kranken PatientInnen vergleichen und daraus Folgerungen über den Zusammenhang bestimmter Indikatoren (z. B. Blutwerte) oder über die Effektivität einer bestimmten Medikation ziehen (Pohl et al 2011). Es geht hier um das Erkennen von Mustern in den Daten. Statistische Methoden können solche Muster nicht immer erkennbar machen.

Derartige Verfahren zur Untersuchung wissenschaftlicher Fragestellungen implizieren aber eine methodische Vorgehensweise, die sich von den traditionellen Methoden zum Teil unterscheiden. Bei der Verwendung von Visualisierungen geht es wesentlich um die Formulierung von Hypothesen, die explorative Datenanalyse und die sinnvolle Darstellung der Daten, wobei es in diesem Zusammenhang eine große Vielzahl an sinnvollen Darstellungen geben kann, die den Gewinn von Erkenntnissen unterstützen können. Natürlich ist das keine radikale Abwendung von eingeführten methodischen Vorgehensweisen. Trotzdem könnten durch die Verwendung von interaktiven Informationsvisualisierungen frühe Stadien des Forschungsprozesses besser unterstützt werden. Die Hypothesen-Generierung ist ein Vorgang, der in traditionellen Beschreibungen des Forschungsprozesses oft bereits vorausgesetzt wird. Es wird selten darüber reflektiert, wie WissenschaftlerInnen zu ihren Hypothesen kommen, und es gibt wenige systematische Verfahren, die diesen Prozess unterstützen. In diesem Zusammenhang spricht man manchmal von Abduktion (der Begriff geht auf Peirce zurück), einem Vorgang, bei dem aus einer Beobachtung *b* eine hypothetische Erklärung *a* abgeleitet wird.

## Zusammenfassung

Es wird argumentiert, dass die spezifische Art, wie die moderne Wissenschaft Erkenntnisse generiert, wesentlich mit der Einführung des Buchs zusammen hängt (Eisenstein 1996). Angesichts der Tatsache, dass Informationstechnologie eine immer größere Rolle in der Wissenschaft spielt, stellt sich die Frage, ob das einen Einfluss auf den Wissenschaftsprozess haben wird. Derartige Fragen wurden schon bei der Einführung von Hypertext gestellt. Dabei ging es um die Verbindlichkeit von autoritativen wissenschaftlichen Texten, die durch die Offenheit von Hypertext in Frage gestellt wurde. Eine ähnliche Problematik ergibt sich aus der Tatsache, dass interaktive Visualisierungen zunehmend im Forschungsprozess mancher Disziplinen eine Rolle spielen. Es lässt sich argumentieren, dass dadurch der explorative, Hypothesen generierende Charakter wissenschaftlicher Tä-



**Margit Pohl**

**Margit Pohl** studierte Wirtschaftsinformatik und Psychologie in Wien. Sie ist außerordentliche Universitätsprofessorin an der Technischen Universität Wien. Ihre hauptsächlichen Forschungsgebiete sind Human-Computer Interaction, Informationsvisualisierung und E-Learning. Sie ist derzeit außerdem leitende Mitarbeiterin am CVASt – Centre for Visual Analytics Science and Technology an der TU Wien.

tigkeit betont wird. Allerdings können solche Änderungs-Prozesse oft sehr lange dauern, wie die Ausbildung des spezifischen Charakters gedruckter wissenschaftlicher Publikationen gezeigt hat, der sich letztlich über Jahrhunderte hin gezogen hat. Trotzdem ist es sinnvoll, sich darüber Gedanken zu machen, wie sich die Wissenschaft als Folge der Verwendung von Informationstechnologie ändern könnte, um Änderungsprozesse frühzeitig erkennen zu können.

## Literatur

- Bolz, N. (1995) Das Ende der Gutenberg-Galaxis. Die neuen Kommunikationsverhältnisse. München: Wilhelm Fink Verlag (2.Auflage)
- Eisenstein, E. (1996) Die Druckerpresse. Kulturrevolution im frühen modernen Europa. Wien, New York: Springer
- Flowers, J.H. (2005) Thirteen years of reflection on auditory graphing: promises, pitfalls, and potential new directions. In Proc. ICAD 2005
- Gibson, J.J. (1986) The Ecological Approach to Visual Perception. Hillsdale, N.J., London: Lawrence Erlbaum
- Isenberg, P., Fisher, D., Paul, S.A., Morris, M.R., Inkpen, K., Czerwinski, M. (2012) Co-located Collaborative Visual Analytics around a Tabletop Display. In: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 18 (5), pp. 689-702
- Janzin, M., Güntner, J. (1997) Das Buch vom Buch. 5000 Jahre Buchgeschichte. Hannover: Schlütersche (2.Auflage)
- Kovar, S., Pohl, M. (2011) Interactive Sonification of Medical Data. In: Blashki, K. (ed.) Proceedings of the Interfaces and Human Computer Interaction 2011 (IHCI 2011) conference. pp. 341-344
- Landow, G.P. (1994) Hyper/Text/Theory. Baltimore, London: John Hopkins University Press
- Pohl, M. (2003) Hypertext und analoge Wissensrepräsentation. Frankfurt: Peter Lang
- Pohl, M., Wiltner, S., Rind, A., Aigner, W., Miksch, S., Turic, T., Drexler, F. (2011) Patient Development at a Glance: An Evaluation of a Medical Data Visualization. In: Campos, P., Graham, N., Jorge, J., Nunes, N., Palanque, P., Winckler, M. (eds.) INTERACT 2011, Part IV, LNCS 6949, pp.292-299
- Ware, C. (2008) Visual Thinking for Design. Amsterdam, Boston, Heidelberg: Morgan Kaufmann Publishers.