

# **Konzeptentwicklung für die GIS-basierte raum-zeitliche Visualisierung seismischer Aktivität**

**- Am Beispiel des Sunda Bogen, Indonesien / unter Einsatz von GRASS GIS -**

**Master of Science MSc  
Geo Information Systems & Science**

**Dipl. Geol. Svenja Schueffler**

**Berlin 12.2008**

**Helmholtz Zentrum Potsdam  
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
Telegrafenberg A13  
D-14473 Potsdam  
Dr. Jens Klump  
Dr. Peter Löwe**

**Paris Lodron Universität Salzburg  
Zentrum für Geoinformatik / UNIGIS  
Hellbrunnerstraße 34  
A-5020 Salzburg  
Prof. Dr. Josef Strobl**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Widmung</b> -----	<b>3</b>
<b>1. Kurzpräsentation und Zusammenfassung / Abstract / Resumen</b> -----	<b>4</b>
<b>2. Vorwort zu Methodik und Prämissen</b> -----	<b>9</b>
<b>3. Anforderungen an die Darstellung</b> -----	<b>13</b>
3.1 Eine Perspektive auf die Welt – Erkenntnis durch Darstellung -----	13
3.2 Ziele und Anforderungen an die <i>visuelle wissenschaftliche</i> Darstellung -----	16
<b>4. Sichtbarkeit des Denkens – Begriffliche und visuelle Formen <i>seismischer</i> Daten</b> -----	<b>19</b>
4.1 Charakterisierung seismischer Daten – Messung und Größen -----	19
4.2 Objektive Gültigkeit von Relationen – Zur Begriffsstruktur physikalischer Gesetze und Größen ---	24
4.3 Bildlichkeit und der visuelle Charakter abstrakter Daten -----	26
4.4 Das Medium GIS -----	33
4.4.1 <i>Datenintegration oder Wie kommt die Welt in den Computer?</i> -----	33
4.4.2 <i>Anwendungsumgebung GRASS GIS</i> -----	38
<b>5. Eine systemtheoretische Betrachtung <i>der Erdbebendynamik</i></b> -----	<b>42</b>
5.1 Indeterminierbar aber strukturbildend! -----	42
5.2 Anschauungen von Raum und Zeit – Vorstellungen, Begriffe und Metaphern aus der systemtheoretischen Perspektive -----	51
5.3 Ordnungsbildende Mechanismen des menschlichen kognitiven Systems – Die Gestalttheorie -----	56
<b>6. Entwicklung der Darstellungskonzepte</b> -----	<b>64</b>
6.1 Abduktive Schlüsse / Metaphern als Modelle der Wirklichkeit -----	64
6.2 Darstellungsformen zur Exploration der seismischen Dynamik -----	71
6.3 Teil-Konzeptumsetzung mit GRASS GIS 6.2 -----	91
<b>7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation</b> -----	<b>112</b>
7.1 Implizite Ästhetik und die Freiheit der Form – Dialog zwischen Wissenschaft und Kunst / Visuelle Präsentation -----	112
7.2 Kritische Schlussbetrachtung -----	132
7.3 Fazit -----	136
<b>Anhang</b> -----	<b>137</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> -----	<b>137</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> -----	<b>145</b>
<b>Danksagung</b> -----	<b>148</b>
<b>Urheberrecht</b> -----	<b>149</b>

## Widmung

Diese Arbeit möchte ich *Anneliese Buhle* widmen.

## Kurzpräsentation

Diese wissenschaftliche Arbeit setzt seismische Daten in eine besondere Form der visuellen Darstellung. Hierbei werden Ort (Hypozentrum), Zeitpunkt und Erdbebenstärke (Magnitude) von Erdbeben betrachtet. Die hier vorgestellten Konzepte untersuchen wie diese Daten neu in Beziehung gesetzt werden können. Forschern soll damit ermöglicht werden neue Zusammenhänge über das Raum- und Zeitverhalten von Erdbeben aufzudecken. Die mediale Grundlage der Konzepte ist das Geoinformationssystem, welches die Daten strukturiert und abbildet. Die Art wie die Daten strukturiert werden, orientiert sich an Prinzipien und Vorstellungen komplexer Systeme. Das Verhalten komplexer Systeme steht im Zusammenhang mit der Dynamik von Erdbeben.

Übergeordnet geleitet ist diese Konzeptentwicklung von der generellen Reflektion, wie Wissen über die Außenwelt und im speziellen über Erdbeben in Form visueller wissenschaftlicher Darstellungen erlangt werden kann. Hiernach richtet sich der Aufbau und die Methodik der vorliegenden Arbeit.

## 1. Zusammenfassung

Über Erdbeben zu forschen, also Grundlagenforschung zu betreiben, bedeutet immer auch Position zu beziehen bezüglich wissenschaftlicher und erkenntnistheoretischer Paradigmen. Mit der Entwicklung neuer wissenschaftlicher Darstellungsformen stellt sich die Frage, wie sich Erkenntnis durch Darstellung konstituiert. Diese Frage ist entscheidend, denn erst mit der Art und Weise, wie Erdbeben dargestellt werden, lässt sich der Gehalt bzw. der Inhalt dessen, was erkannt werden wird, bestimmen. Jede Erkenntnistätigkeit durch Darstellung muss daher berücksichtigen, dass der Erkenntnisgegenstand in seiner visuellen Darstellungsform das Resultat eines komplexen Herstellungsprozesses durch Abstraktion physikalisch-mathematischer, visueller, informationstechnischer, theoretischer und kognitiver Bedeutungen ist und somit immer auch Konstrukt, modellhaft und somit neuartig ist. Die visuelle Darstellung dieser Arbeit untersucht die bisher nicht determinierbare zu chaotischen Verhalten neigende Erdbebedynamik. Dabei zielt sie auf das Detektieren visueller Muster und Ordnungen innerhalb raumbezogener seismischer Daten

Die visuelle Evidenz der Darstellung und die GIS-kompatible Umsetzung werden durch die Konservierung des relationalen Charakters seismischer Daten gewährleistet. Die Konservierung wird durch eine graphematische Repräsentation von Knoten und Verbindungen (Punkt-/Linienvektor) realisiert, wodurch logische und deiktische Beziehungen im Raum abgebildet werden können.

Die Graphenstruktur ist die Grundlage für die Entwicklung neuer Verknüpfungsregeln. Die Betrachtung der seismischen Dynamik in Analogie zu komplexen dynamischen Systemen ermöglicht eine neue Perspektive auf die Erdbebedynamik. Komplexe dynamische Systeme zeigen zum einen chaotisches Verhalten, gleichwohl bilden sie selbstorganisierte Strukturen aus. Somit kann die Erdbebedynamik unter neuen Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien der Strukturbildung betrachtet werden. Die Übertragung der Prinzipien erfolgt abduktiv durch Metapherndeutung, unterstützt durch die Entwicklung hypothetischer Fragen aus systemtheoretischer Perspektive. Die auf der Grundlage des relationalen

Graphenmodells entwickelten Darstellungsformen *EreignisGraph* und *VektorRose* drücken visuell systemische Eigenschaften der Zeitdynamik im dreidimensionalen Raum aus. Die *systemische Zeitstruktur* sowie der *Bruch zeitlicher Symmetrie* sind das Ergebnis von Vektorbildungen und Vektorverschiebungen.

Diese Operationen schaffen Voraussetzungen für die Exploration der Erdbebendynamik nach visuellen phänomenologischen Eigenschaften. Gestalttheoretischen Prinzipien entsprechend werden Gestalt und Richtungen der Darstellungen explorierbar, unterstützt durch Längenbeträge, Vektordicken und Farbvariablen der graphischen Primitive. Mit der Dynamisierung der statischen Visualisierungsmodelle durch Variation der Datensätzen in zeitlicher Abfolge, können Änderungen von Richtungen und Gestalt in der Zeit eruiert werden.

Die hier vorgestellten Darstellungskonzepte sind unabhängig von den funktionellen Möglichkeiten zur Darstellung und Abfrage im dreidimensionalen Raum derzeitiger GIS entwickelt worden. Somit beschränkt sich die GIS-basierte Umsetzung mit GRASS/NVIZ auf die Entwicklung des EreignisGraphen. Aus diesem wird manuell mit CAD/3Ds Max beispielhaft die VektorRose konstruiert und gemeinsam mit dem EreignisGraphen gerendert visualisiert. Die implizite Ästhetik wissenschaftlicher Visualisierung wird abschließend bezüglich ihres erkenntnistheoretischen und künstlerischen Status thematisiert. Die Darstellungskonzepte sind die Grundlage für den Aufbau eines interaktiven WebGIS durch das *Deutsche GeoForschungsZentrum GFZ* und dienen der wissenschaftlichen Exploration.

## Abstract

Basic earthquake research, always demands taking a stand towards the scientific and epistemological paradigm. The development of new forms of representation raises the issue of determining how scientific knowledge is constituted by representation. This answer is decisive, because the method for depicting earthquakes directly affects the knowledge inferred from the representation. The selected form of representation and its medial representation determines the way knowledge will be perceived. However, any examination of visual representations of knowledge must take into consideration that these are always the result of a complex process involving the abstraction of physical-mathematical, visual, information technological, theoretical and cognitive interpretations. Thus representations are always a construct, a model and are therefore novel. The representations help to identify principles, coherences and characteristics of the, as yet little understood, dynamics of earthquakes. Visual representation aims to detect visual patterns and orders inside space-oriented seismic data.

The conservation of the relational character of the seismic data guarantees visual evidence and GIS compatible implementation. The conservation is realized by a graphematic representation of nodes and conjunctions (point-line-vectors), whereby logical and deictic correlations are displayed in space. The structure of the graph forms the framework for developing new linkage rules. This includes treating the seismic dynamics in analogy to self-organized constructive complex dynamic systems. This allows the principles and properties of system performance to be projected on the dynamics of earthquakes. In addition to this, the systemic space and time performance is converted into visual forms of representations by abductiv interpretation of metaphors and by formulating hypothetical questions from a systemic perspective.

The representational forms EreignisGraph and VektorRose were developed on the basis of the relational graph model to express visual systemic properties of the time dynamic in three-dimensional space. The systemic evolutive time structure and the disruption of temporal symmetry are the result of vector creation and displacements. These operations produce conditions for investigating earthquake dynamics based on visual phenomenological properties. In accordance with Gestalt-Theory principles, the spatial shape of the graph, the frequency-based directions of the space/time linkage and the corresponding values of length, vector thickness and color variables are visualized for further research. The dynamic sampling of the static visualization models by chronological varying fragment data volumes, enables the investigation of temporal fluctuations and modifications of shape and direction trends of the EreignisGraph and the VektorRose.

The presented concepts of representation have been developed independently from the functional possibilities of representation and query in three-dimensional space of current GIS. Therefore the GIS based implementation with GRASS/NVIZ is restricted to the development of the EreignisGraph. This graph forms the basis for an exemplary manual construction of the VektorRose using CAD/3Ds Max. Both EreignisGraph and VektorRose are then visualized and rendered together. The final part of this work includes a discussion of the implicit aesthetics of scientific visualizations in terms of their epistemological and artistic status. These concepts form the basis for the development and installation of an interactive WebGIS by the *Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ* for scientific exploration and investigation.

## Resúmen

Investigar sobre terremotos, es decir, dedicarse a la investigación básica, significa siempre tomar partido ante los paradigmas científicos y epistemológicos. El desarrollo de nuevas formas de representación científica implica directamente la cuestión siguiente: ¿Cómo se establece el reconocimiento a través de la representación? Esa cuestión es decisiva ya que el tipo y modo de la representación de terremotos determina el nuevo contenido de lo que se pueda descubrir. Cada actividad de reconocimiento mediante representaciones debe considerar que el objeto de reconocimiento en su forma de representación visual es el resultado de un proceso complejo de producción por medio de la abstracción de significados físicos-matemáticos, informáticos, visuales, teóricos y cognitivos y por consiguiente son siempre también una construcción modélica y por tanto novedosa.

Los conceptos de representaciones visuales desarrollados en este trabajo indagan la hasta ahora indeterminable dinámica de terremotos que tienden al comportamiento caótico. Eso implica la detección de estructuras y ordenes visuales dentro de datos espaciales sísmicos.

La evidencia visual de la representación y la transposición compatible con el GIS está garantizada por la conservación del carácter relacional de los datos sísmicos. La conservación se realiza mediante una representación grafomática de nudos y conexiones (vectores de puntos y líneas), en la cual pueden figurar las relaciones lógicas y deícticas en el espacio.

La estructura de la grafía es una base para el desarrollo de nuevas reglas de unión. La observación de la dinámica sísmica en analogía con los complejos sistemas dinámicos ofrece una nueva perspectiva. Complejos sistemas dinámicos tienden al comportamiento caótico, pero también muestran autoorganización y auto estructuración. Esa perspectiva permita la observación de la dinámica sísmica bajo nuevas leyes y principios de estructuración. La transmisión ocurre de forma abductiva a través de interpretaciones de metáforas, apoyado por preguntas desarrolladas hipotéticamente desde la perspectiva del sistema teórico.

Las formas de representación a base del modelo grafomático relacional, el *EreignisGraph* y la *VektorRose*, expresan visualmente propiedades sistémicas de la dinámica del tiempo en el espacio tridimensional. *La sistémica estructura del tiempo* así como *la ruptura de la simetría temporal* son el resultado de formaciones y traslaciones vectoriales. Esas operaciones proponen las condiciones para explorar la dinámica sísmica según propiedades fenomenológicas visuales.

Conforme a los principios de la *Gestalttheorie*, es posible explorar la figura espacial y la orientación, apoyado por los cantidades de longitud, espesura de vectores y variables de color. Con la dinamización de los modelos visuales estáticos por medio de la variación de datos se pueden deducir fluctuaciones, cambios de figura y tendencias de orientación del *EreignisGraph* y de la *VectorRose* en el tiempo.

Los conceptos presentados de representación se desarrollan independientes de las posibilidades funcionales de representación tridimensional en los GIS actuales, de forma que la transposición con GRASS GIS/NVIZ está limitada por el desarrollo del

*EreignisGraph*. Del cual está construido por ejemplo la *VektorRose* manualmente a partir de CAD/3Ds Max la cual también está visualizado junto al *EreignisGraph*. La estética implícita de visualizaciones científicas está tematizada de forma concluyente en lo que concierne a su status epistemológico y artístico. Los conceptos de representación son la base para la construcción de un WebGIS interactivo por el *Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ* para la exploración científica.



## 2. Vorwort zu Methodik und Prämissen

Die Methode der Wissenschaft ist die Methode der kühnen Vermutung und der erfinderischen und ernsthaften Versuche, sie zu widerlegen.<sup>1</sup>

POPPER, KARL R.

In dieser Arbeit werden Konzepte für die GIS-basierte visuelle Darstellung seismischer Aktivität entwickelt, mit dem Ziel die seismische Dynamik explorierbar zu machen um neue Erkenntnisse über das Phänomen Erdbeben zu erringen. Zum Einsatz kommt das Geoinformationssystem GRASS GIS 6.2.

Welche Disziplinen greifen hier ineinander und welche Aspekte stehen zur Disposition? Bei der Formulierung dieser Arbeitsthematik wird augenfällig, dass sich physikalische und geowissenschaftliche Fachspezifika mit der Nutzungsproblematik moderner Medien überschneiden. Erste Fragen ergeben sich: Was ist der Forschungsstand zu Erdbeben, also was weiß man über Erdbeben und wo liegen die Erkenntnisprobleme? Dem gegenüber steht die Frage nach den funktionellen Möglichkeiten, welche die ausgewählten Medien für die Wissensdarstellung bieten. Also was sind die Bedingungen für die praktische softwarebasierte Visualisierungsarbeit?

Diese Arbeit postuliert, dass hier nicht der Schnittpunkt der beteiligten Disziplinen als Ausgangspunkt für die Untersuchung ausreicht, wenn der Schnittpunkt bzw. Berührungspunkt die zum Import bereitgestellten Datengrundlagen der seismischen Messungen in Form von Geodaten darstellen. Es wird die Überlegung angestellt, wie man sich einer Visualisierung nähern kann, die ihre Strategie aus einem inhaltlichen Kontext der Erdbebenproblematik heraus entwickelt und dadurch *das Verhältnis* von Form und Inhalt mit Bedeutung belegt und qualitativ bewertbar macht. Was spricht für diese Überlegung? Nun, dafür gibt es mehrere Gründe, die im folgenden aufgeführt werden.

Wenn sich diese Arbeit darauf einlässt, sich einem der noch größtenteils unverstandenen und bezüglich ihrer raum-zeitlichen Dynamik menschlich unfassbaren terrestrischen Naturphänomene zu nähern, und zwar auf eine Art, die darauf abzielt, bisheriges Wissen nicht nur abzubilden und zu kommunizieren, sondern den Anspruch zumindest hochzuhalten versucht, dieses neu zu evozieren, muss sie im Angesicht der Komplexität der Problematik und der Bedeutung von Erdbeben für die Menschheit, verstärkt nach dem *wie?* seiner Methodik, seiner Objektivierung, seiner Erkenntniserweiterung sowie nach den Erwartungen an die Ergebnisse fragen.

Die reflexive Methode dieser Arbeit, ist die Einnahme einer *moderat* konstruktivistischen Haltung gegenüber wissenschaftlichen und visuellen Darstellungen.<sup>2</sup> D.h., die Möglichkeit der Erkenntnis und ihr Gegenstand werden von der jeweiligen, durch die Darstellungsform

---

<sup>1</sup> Karl. Popper zit. nach: Schmidt, Artur P.: Interface zu einer Theorie des Wissens. (Online. Stand 01.12.08), S.8.

<sup>2</sup> Darstellung verstanden in Form unterschiedlicher Vermittlungsmethoden: z.B. nichtsprachliche visuelle Darstellung (Bild), Schriftsprache (Text, in dem der Wissens- und Erkenntnisinhalt der Arbeit gespeichert wird), physikalisch-mathematische Symbolsprache.

bedingten Perspektive auf das Phänomen<sup>3</sup> abhängig. Dieser Zusammenhang fordert eine intensive Reflexion der Darstellungsentwicklung, und zwar um so deutlicher, wie Resultate, in diesem Fall visuelle Darstellungen, erst als Grundlage für Analysen, für Generierung und Ableitung neuen Wissens fungieren.<sup>4</sup> Und um so nachdrücklicher muss dies reflektiert werden, je anspruchsvoller und umfangreicher Ergebnisse auf Transformationen von Informations- und Wissensmaterial durch Austausch zwischen Fachdisziplinen und Medien aufbauen. Da Transformation Veränderung von Gestalt, Form und Struktur und möglicherweise Verlust oder Erweiterung von Inhalten bedeutet.

Von Reflexion als subjektiver Prozess der Objektivierung sprach schon PLATON, der sie als *Wissens um das Wissen*<sup>5</sup> bezeichnete. ARISTOTELES nannte dies das *Denken des Denkens*.<sup>6</sup> Die Reflexion steht im Mittelpunkt der Tradition kritischer intersubjektiver wissenschaftlicher Arbeit, in der sich Erkenntnis als Vorläufigkeit manifestiert.

Mit Hilfe heuristischer Analogisierung, in diesem Fall einer systemtheoretischen Betrachtung von Erdbeben, wird die Perspektivierung als Erkenntnismethode bewusst genutzt. Diese Analogie hat das Ziel, aus einem verändertem Blickwinkel auf das Phänomen Erdbeben zu schauen, um daraus neue Bedeutungsinhalte über die raum-zeitliche Dynamik seismischer Aktivität abzuleiten. Mittels visueller Strategien werden die neuen Bedeutungen und die raum-zeitlichen physikalischen Daten aufeinander bezogen und in visuelle Darstellungsformen übersetzt. Heuristik als Methode ist zum einen der Versuch, die Komplexität der Thematik zu reduzieren, zum anderen ist sie ein Mittel im Prozess komplexer Problembehandlung, Raum für neue Betrachtungen und Kreativität<sup>7</sup> zuzulassen und bisher so noch nicht Gedachtes hervorzubringen.

Dem Medium GIS kommt in dieser Arbeit die Bedeutung zu, menschliche Sinne zu verlängern, zu erweitern, wie es z.B. das Mikroskop oder das Fernrohr ermöglichen und neue Welteinsichten vermitteln. Seine Rolle ist eine neue, seine Bedeutung im wissenschaftlichen Einsatz wird hoch eingeschätzt, denn es (soll) generiert erst die neuen Zusammenhänge, die der Mensch nicht alleine produzieren kann, nicht unmittelbar einsehen kann. Jedoch ist es letztendlich in der Anwendung ein wissenschaftliches Hilfsmittel, zwar mit großer Macht und Bedeutung, aber ein menschliches Produkt, welches mit Inhalten erst angereichert, welchem das *wie?* und *was?* der visuellen Bedeutung erst durch den Menschen zugeführt werden muss. Mit Sinn und Verstand, mit Entscheidung und Bewusstsein, Interpretation der Ausgangsinformation implizierend. Ohne wesentliche inhaltliche Einbindung wäre eine visuelle Arbeit eine *kunstvolle* gestalterische Entscheidung oder reine unsystematische *Try and Error-Methode*, mit hoher Fehlschlagsmöglichkeit, die mit Zeit und funktionaler Eleganz in der Softwareanwendung

---

<sup>3</sup> „Phänomen, Phänomenon (gr. phainomenon, Erscheinung), heißt ein Objekt oder ein Vorgang, dessen wir uns durch die Sinne bewußt werden. So spricht man von physikalischen, chemischen und psychologischen Phänomenen. Das Phänomen ist also nicht die Sache an sich selbst, sondern die Sache, wie sie uns in den Formen unseres Bewußtseins, von den Sinnen bestimmt, erscheint.“ Kirchner & Michaelis: Wörterbuch der Philosophischen Grundbegriffe. S.1621. Digitale Bibliothek Band 3: Geschichte der Philosophie, S. 12546. In: Geschichte der Philosophie. Darstellungen, Handbücher, Lexika. Bertram, Mathias (2000), 2. Ausgabe, Directmedia Berlin.

<sup>4</sup> - welche nicht mehr Teil dieser Arbeit sind. -

<sup>5</sup> Vgl. Eisler: Wörterbuch der philosophischen Begriffe. S.4493. Digitale Bibliothek Band 3: Geschichte der Philosophie, S. 14450. In: Geschichte der Philosophie. Darstellungen, Handbücher, Lexika. Bertram, Mathias (2000), 2. Ausgabe, Directmedia Berlin.

<sup>6</sup> Vgl. Hegel: Vorlesungen über die Geschichte der Philosophie. S.1036. Digitale Bibliothek Band 3: Geschichte der Philosophie, S. 1051 (vgl. Hegel-W Bd. 19, S. 163). In: Geschichte der Philosophie. Darstellungen, Handbücher, Lexika. Bertram, Mathias (2000), 2. Ausgabe, Directmedia Berlin.

<sup>7</sup> - als eine Fähigkeit zum Problemerkennen und zum Problemlösen. -

nur dem gewünschten Zufall zuarbeitet, aber im Scheitern<sup>8</sup> weder zusammenhängende und neue Einsichten, noch deren Ansätze produziert.

Grundsätzlich ist hier also *erweiternd* zu fragen, wie Erkenntnis überhaupt durch Darstellung erreicht werden kann?

Auf welche Art die Naturwissenschaft, speziell die Physik Erkenntnisarbeit betreibt, wie sind deren Ergebnisse für die Visualisierung zu behandeln. D.h. wie viel Phänomenologie Erdbeben steckt noch in der Datengrundlage der physikalischen Messungen?

Welche Bedeutung hat das Visuelle, wenn abstrakte Daten sichtbar werden. Anders gefragt: Was sind die erkenntnistheoretischen Eigenschaften der visuellen Informationsvermittlung?

Welcher Problematik steht die Erdbebenforschung gegenüber und unter welchen Gesichtspunkten werden Erdbeben in dieser Untersuchung betrachtet?

Gibt es Theorien über die Struktur raum-zeitlicher Dynamik und welche Wahrnehmung liegt diesen zugrunde?

Wie verfahren die Medien in der Umsetzung von Information, welche Kreativitätstechniken stehen zur Verfügung und wie lassen sich Assoziationen medial visuell umsetzen?

Die einzelnen Fragen stehen also zur Diskussion und sollen so behandelt werden, dass sie eine reflektierte Wissensbasis für die am Darstellungsprozess beteiligten Aspekte herstellen, so dass konzeptionelle Entscheidungen bei der Entwicklung der Darstellungsformen getroffen werden können.

Die funktionellen und gestalterischen Möglichkeiten der visuellen Umsetzung innerhalb des Mediums GIS sollen kritisch bewertet werden, auch in Anbetracht der Erweiterbarkeit technischer und funktionaler Möglichkeiten. Die Relevanz der Konzepte bezüglich ihrer Erkenntniserweiterung, lässt sich jedoch erst mit der informationstechnischen Umsetzung und Erforschung der in der Arbeit entwickelten Konzepte in einem WebGIS beurteilen. Dieses wird auf der Grundlage der Darstellungskonzepte vom Deutschen GeoForschungszentrum (GFZ) entwickelt.

Mit der Überschreitung der wissenschaftlichen Disziplinengrenzen (Erkenntnistheorie und Wissenschaftstheorie, Physik, Geo-, System- und Informationswissenschaften, Medien- und Informationstechnische Wissenschaften, Kognitionswissenschaften) entsteht das Problem der Eindeutigkeit in der Nutzung von Begriffen. In der Betrachtung der verschiedenen wissenschaftlichen Fachsprachen werden mitunter gleiche Bedeutungen unterschiedlich benannt oder unterschiedliche Bedeutungen erhalten den gleichen Begriff, oder es existieren Analogien, die zur Sprache kommen, die also eine gewisse Ähnlichkeit ihrer Bedeutung besitzen. Die Anwendung einer systematischen Terminologie und Begriffswahl ist aufgrund der angeführten Disziplinüberschreitung schwierig. Daher wird hier versucht, bei Bedarf in den Anmerkungen (Fußnoten) jeweils Bedeutungsinhalte bei der Begriffsnutzung anzugeben. Ausdrücklich wird darauf hingewiesen, dass mit Hilfe von wörtlichen Zitaten innerhalb des Lesetextes die gefühlte Komplexität der unterschiedlichen Wissensgebiete und ihrer Interdependenz reduziert und die Lesbarkeit dieser Arbeit erleichtert werden soll. Rechtschreibfehler innerhalb wörtlicher Zitate wurden stillschweigend korrigiert!

---

<sup>8</sup> - Ergebnis ohne Relevanz für die Wissenserweiterung -

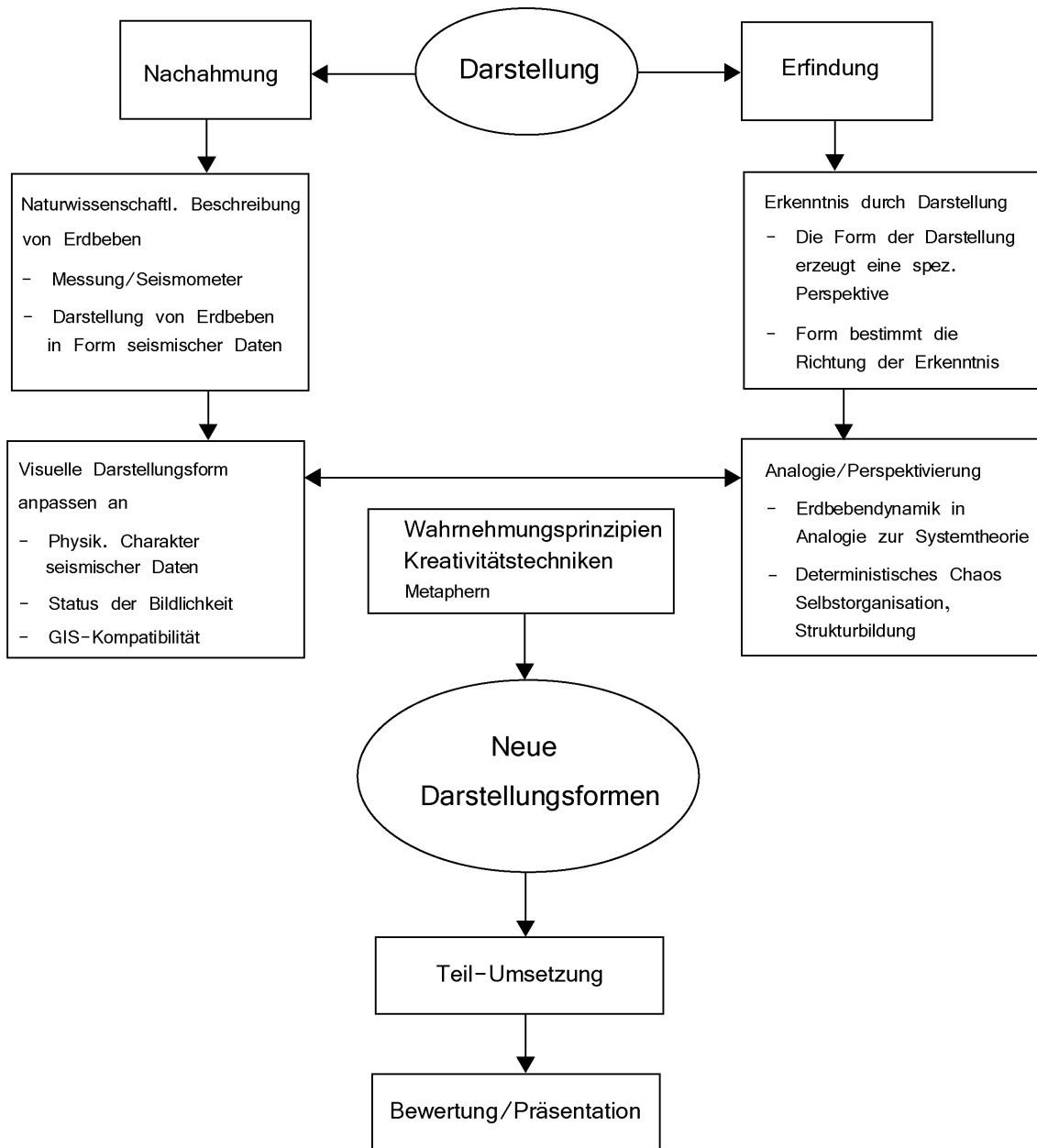


Abb. 1 Überblick: Arbeitsschwerpunkte/Methodik.

### 3. Anforderungen an die Darstellung

#### 3.1 Eine Perspektive auf die Welt – Erkenntnis durch Darstellung

Diese Arbeit untersucht Konzepte für visuelle Darstellungsformen seismischer Aktivität. Darstellung<sup>9</sup> als Vermittlung von Erkenntnis also, als Bindeglied zwischen Wahrnehmung, Beobachtung und deren Deutung und Auswertung hin zu intersubjektiv nachprüfbarem Wissen.

Doch wie konstituiert sich Erkenntnis durch Darstellung? Der Darstellung scheint ein besonderer Dualismus zugrunde zu liegen. Darstellung ist Repräsentation, sie repräsentiert das Dargestellte und ist nicht der Gegenstand<sup>10</sup> der Darstellung selbst. Sie möchte Realität<sup>11</sup> vermitteln, indem sie verdeutlicht, aufzeigt, kennzeichnet oder transportiert. Aber was bedeutet dies für die Erkenntnis von Realität, also der Dinge an sich, wenn verdeutlicht, aufgezeigt, gekennzeichnet oder transportiert wird? Muss dieses Ergebnis nicht notgedrungen von einer „absichtslos zum Ausdruck kommenden Realität abweichen, selbst als scheinbar *getreues* Abbild“?<sup>12</sup>

In seiner Dissertation über *Darstellungsweisen in der Seismologie*, stellt FLORIAN DOMBOIS fest, dass „die Darstellung [...] nicht allein Mimesis, *Nachahmung* sondern per se schon, Poiesis, *Erzeugung*“<sup>13</sup> ist. „Sprache, Bild, Ton jeder Darstellung wohnt neben einer bezeichnenden auch eine gestaltende Kraft inne.“<sup>14</sup> Denn mit der Vermittlung von Eigenschaften und Sachverhalten durch Darstellung entfaltet sich Komplexität von Erscheinung und Bedeutung, ja erschafft und verändert erst die Vorstellung über das Phänomen.<sup>15</sup> „Die Darstellung, die neben das Dargestellte tritt, verändert unsere Wahrnehmung.“<sup>16</sup> Mit der ihr zugrundeliegenden Form wird eine spezifische Perspektive auf die Welt veranschlagt.<sup>17</sup> DOMBOIS betont, dass derjenige, der „über Erdbeben forsch[t], [...] seine Darstellung zu bedenken“<sup>18</sup> hat, denn „wer darstellt, hat eine Form zu wählen, wer formt, verändert und muss sich hierin seiner Verantwortung stellen.“<sup>19</sup> „Jede materielle<sup>20</sup> Ausformulierung und Darstellung besitzt neuartige Anteile und damit

<sup>9</sup> „Darstellen: zum Ausdruck, zur Erscheinung bringen.“ Eisler. In: (Bertram 2000, S. 1034).

<sup>10</sup> „Object (obiectum, antikeimenon, »Gegenwurf«, das Gegen-Stehende): Gegenstand, Sache, Ding (s. d.). Zu unterscheiden sind zunächst Objecte des Handelns, Wollens und Objecte des Erkennens (Denkens, Wahrnehmens). Im allgemeinsten Sinne ist Object oder Gegenstand das Correlat zur subjectiven Tätigkeit, das, worauf sich diese »richtet«, das vom Tun und Wollen in Angriff Genommene, zu Bearbeitende, zu Realisierende.“ Eisler. In: (Bertram 2000, S.3515).

<sup>11</sup> „Realität (realitas): Sachhaftigkeit, Dinglichkeit, selbständige, vom Denken unabhängige Wirklichkeit. *Real* ist, was *in re*, nicht bloß *in intellectu* besteht, *realiter* ist die Seinsweise eines Etwas außerhalb des Gedachtseins.“ Eisler. In: (Bertram 2000, S.4414).

<sup>12</sup> Seite *Darstellung*. In: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie. (Online. Stand 06.06.08).

<sup>13</sup> Dombois, Florian (1998): *Über Erdbeben*. Ein Versuch zur Erweiterung seismologischer Darstellungsweisen. Diss. Phil., Philosophische Fakultät III, Humboldt Universität Berlin, S.10.

<sup>14</sup> Ebd. S.7.

<sup>15</sup> Vgl. ebd. S.7.

<sup>16</sup> Dombois, Florian (2006): „Reflektierte Phantasie. Vom Erfinden und Erkennen, insbesondere in der Seismologie.“ S.104. In: Paragrana. Beiheft 2, S.101–111.

<sup>17</sup> Vgl. ebd. S.102.

<sup>18</sup> (Dombois 1998, S.9).

<sup>19</sup> Ebd. S.8.

<sup>20</sup> „materiell oder material heißt stofflich, körperlich, wesentlich, inhaltlich, sachlich (Ggs. formal und formell), sinnlich (Ggs. ideell, geistig).“ Kirchner & Michaelis. In: (Bertram 2000, S.1322).

### 3. Anforderungen an die Darstellung

neue Bedeutung und muss in den Erkenntnisprozess integriert und mitreflektiert werden, [...] hierin liegt ein Schlüssel des Erkennens.“<sup>21</sup>

Erst mit der Art und Weise, wie Erdbeben dargestellt werden, lässt sich der Gehalt bzw. der Inhalt dessen, was erkannt wird, bestimmen.<sup>22</sup> „Die Form stellt die Leinwand, auf die der Inhalt projiziert wird. [...] Erkenntnis findet auf der Seite der Projektion statt, ist ohne [...] Projektion nicht denkbar.“<sup>23</sup>

DOMBOIS sieht Forschung nicht in einem ethisch neutralen, wertfreien Raum, sondern fordert eine Reflexion der gestaltgebenden Kraft der eigenen Darstellung, auch in Anbetracht der durch die jeweilige Projektion bedingten möglichen Folgen für die gesellschaftliche Praxis (zum Beispiel vor dem Hintergrund von Hiroshima/Nagasaki oder der Vorbereitung technischer Umweltzerstörung).<sup>24</sup>

Die Bedeutung der Form für das Erkennen sah auch ERNST CASSIRER.<sup>25</sup> Seinem erkenntnistheoretischen Ansatz nach geht dem Akt der Darstellung eine Formgebung voraus, die darauf beruht, dass jedem Wahrnehmungsprozess eine anschließende Repräsentation des Wahrgenommenen als geschlossene und in sich beharrende symbolische Form folgt, mit der gleichzeitig eine Sinnggebung bzw. Bedeutungszuweisung einher geht,<sup>26</sup> die die jeweilige Besonderheit des Wahrgenommenen erst entstehen und erkennbar werden lässt.<sup>27</sup> „Erst durch Formen lassen sich Bezüge und Strukturen in der Welt erkennen.“<sup>28</sup> „Das Symbol steht hier nicht für die Präsentation eines Abwesenden, es fungiert nicht als zeichenhaftes Abbild, das auf Differentes verweist, es ist vielmehr der Inbegriff einer sinnbildenden Instanz, als synthetisches Zusammenspiel von einerseits Empfindungsdaten und andererseits von Denkformen [...]. Im symbolischen Inhalt hat die Darstellung aufgehört, ein bloß von außen Empfangenes zu sein; sie ist zu einem von innen her Gebildeten geworden“<sup>29</sup>

„Das poetische Moment jeder Darstellung, mit der man in den Naturwissenschaften die Welt abzubilden versucht, tritt hervor und wird selbst zum Bestandteil der Forschung.“<sup>30</sup>

„Wie wird etwas dargestellt? Warum geschieht dies in dieser Form, und wie wirkt sich die Form aus?“<sup>31</sup>

Dieser Ausführung folgend, stellt sich die Frage, welche Funktion die hier angeführte Phänomenologie von Darstellung in der folgenden Arbeit einnehmen soll?

Betrachtet man diese Ausführung über den Charakter der Darstellung kritisch, scheint sie einem performativen Selbstwiderspruch. (Beispiel: Die Behauptung, dass es keine universale Wahrheit gibt, verhält sich selbst wie eine und ist darum eine *Contradictio in*

---

<sup>21</sup> Vgl. (Dombois 2006, S.102).

<sup>22</sup> Vgl. (Dombois 1998, S.9).

<sup>23</sup> Ebd. S.9

<sup>24</sup> Vgl. ebd. S.8 (Dombois 1998).

<sup>25</sup> Ernst Cassirer: einer der wichtigsten Theoretiker philosophischer und wissenschaftlicher Erkenntnisprobleme.

<sup>26</sup> Vgl. Artikel *Ernst Cassirer*. In: Wikipedia.

<sup>27</sup> Vgl. Bockrath, Franz (1998): „Die Macht der Bilder. Vom sinnlichen Eindruck zum symbolischen Ausdruck.“ S.4. In: Jugend-Sport-Kultur. Zeichen und Codes jugendlicher Sportszenen. Schwier, J. (Hsg.), Hamburg, S.139-148.

<sup>28</sup> Seite *Ernst Cassirer*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. (Online. Stand 06.06.08).

<sup>29</sup> Vgl. (Frank, Manfred 1986, S.121) zit. nach: Groß, Stefan (1995): „Ernst Cassirer: Die Philosophie der symbolischen Formen.“ In: *Tabula Rasa*. Jenenser Zeitschrift für kritisches Denken, Groß, S. (Hsg.), Ausgabe 7, (Online. Stand 25.07.08).

<sup>30</sup> (Dombois 2006, S.102).

<sup>31</sup> Ebd. S.102

adiecto) zu verfallen, denn diese Beschreibung nimmt gleichfalls eine bestimmte Perspektive bezüglich der Erkenntnismöglichkeit des Menschen ein. Die Postulierung des Dualitätscharakters einer Darstellung wendet sich gegen sich selbst und greift ihre eigenen Grundlagen an. Man könnte diese widerspruch-bedingende Kausalität auflösen, indem man den Geltungsanspruch einer Erkenntnistheorie und deren Grundsätze relativiert und sie als eine Möglichkeit der Wissenserweiterung ansieht.

Hier wird die Auffassung unterstützt, wonach es der Erkenntnistheorie primär darum geht, die wissenschaftliche Erfahrung begreifbar zu machen und dass sich diese eben mit dem Fortschritt der Wissenschaften grundlegend ändern kann. Es sollen keine unhintergehbaren Aussagen über die Erkenntnismöglichkeit des Menschen aufgestellt werden, noch das Universalienproblem einer ontologischen Realität oder konstruierten Wirklichkeit zur Diskussion gestellt werden. Vielmehr möchte diese Arbeit den wissenschaftlichen Erfahrungsraum erweitern und aus der Perspektive einer generellen Bipolarität von Darstellung die am Formbildungsprozess beteiligten Medien und wissenschaftlichen Theorien hinsichtlich ihrer Einflussnahme auf das visuelle Ergebnis in die Betrachtung mit einbeziehen und hinterfragen.

Genauer gesagt geht es darum, Zusammenhänge wieder zu verdeutlichen, durch Änderung des Kontextes und der Perspektive neue Bedeutungsebenen zu schaffen und Aufmerksamkeit für die Interdependenzen im Formbildungsprozess zu schärfen, denn vorherrschende Denkmuster und Lehrmeinungen und die Angebote der modernen Medien können ihre eigene Logik und Wirklichkeit entwickeln, die man sonst vielleicht nicht mehr hinterfragt.

Schon ALBERT EINSTEIN wies darauf hin, dass „Begriffe, welche sich bei der Ordnung der Dinge als nützlich erwiesen haben, [...] über uns leicht eine solche Autorität [erlangen], dass wir ihres irdischen Ursprungs vergessen und sie als unabänderliche Gegebenheiten hinnehmen. Sie werden dann zu Denknöwendigkeiten, gegeben a priori usw. gestempelt. Der Weg des wissenschaftlichen Fortschrittes wird durch solche Irrtümer oft für lange Zeit ungangbar gemacht.“<sup>32</sup>

Die *Ordnung der Dinge* zu hinterfragen, neue Medienrepräsentationen und deren Möglichkeiten kritisch zu nutzen und zu fragen „wie die Darstellung eines Naturphänomens erreicht werden kann, in der mimetische Genauigkeit und poetische Eigendynamik des Mediums einander adäquat ergänzen,“<sup>33</sup> ist das Ziel dieser Arbeit. Wie kann austariert, unterschieden, gewichtet werden zwischen scheinhafter Abbildung und neuartiger Gestalt, wie kann Übereinstimmung zwischen Form und Inhalt hergestellt werden.

---

<sup>32</sup> (Einstein, Albert: Nachruf auf Ernst Mach, Ernst Mach. Phys. Z. 18 (1916) S.101-104) zit. nach: Reichenbach, Hans et.al. (1979): *Die philosophische Bedeutung der Relativitätstheorie*. Vieweg & Teubner, S.528, S.353 oder zit. nach: Filk, Thomas (2003): Modelle von Raum und Zeit. Skript zur Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Universität Freiburg, (Online. Stand 25.07.08), S.4.

<sup>33</sup> (Dombois 2006, S.102).

### 3.2 Ziele und Anforderungen an die *visuelle wissenschaftliche* Darstellung

Im vorhergehenden Kapitel wurden aus der Perspektive einer Bipolarität von Darstellung allgemeine Anforderungen für den Umgang mit und der Entwicklung von Darstellungsformen formuliert. Zu fragen ist nun, welche Anforderungen speziell an die *visuelle wissenschaftliche* Darstellung gestellt werden und welche Aspekte diesbezüglich bei der Ausarbeitung einer visuellen Form berücksichtigt werden müssen. Welche Ziele setzt sich diese Arbeit, bzw. welche Ansprüche werden an das Ergebnis der visuellen Darstellung gestellt, und welche neuen Wege möchte diese Arbeit beschreiten, die sich von gängigen Visualisierungspraktiken unterscheiden?

Grundsätzlich besteht die Intention dieser Arbeit darin, die beständig zunehmenden seismischen Datenmengen einer visuellen Analyse zugänglich zu machen, derart dass durch visuelle Strategien eine Darstellungsform im dreidimensionalen Raum entwickelt wird, welche darauf abzielt, neue, bisher verborgene Zusammenhänge durch visuelle, statistische Methoden innerhalb des Datenbestandes aufzudecken, um letztendlich eine Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Dynamik von Erdbeben zu ermöglichen. Hier wird die Strategie verfolgt, mit der visuellen Darstellung ein Instrument für die Exploration des kontinuierlichen seismischen Datenmaterials zu entwickeln. Als Datenbestand wird exemplarisch die Sunda Bogen Region von Indonesien und Thailand herangezogen. Die seismische und geologische Charakteristik dieser Region wird in einem späteren Kapitel behandelt. Die Darstellungskonzepte sollen in Form eines vom Deutschen GeoForschungsZentrum entwickelten interaktiven WebGIS zur Anwendung kommen.

Die gängige Praxis in der Entwicklung von *adäquaten und geeigneten* visuellen Repräsentationen besteht in der Formulierung allgemeiner visueller Qualitätskriterien unter Berücksichtigung der jeweiligen Bearbeitungsziele, wie dies sind: die Herausstellung von Expressivität, Effektivität und Angemessenheit in der wissenschaftlichen Visualisierung.<sup>34</sup> Expressivität kennzeichnet die getreue Wiedergabe der in der Datenmenge enthaltenen Information, in Abhängigkeit von der jeweiligen Struktur und Art der Daten, die präsentiert werden sollen. (Kapitel 4.1) Als Effektivitätskriterium wird die Fähigkeit einer Darstellungsform bezeichnet, die in ihr enthaltene Information unter Erfüllung der übergeordneten Bearbeitungsziele zu veranschaulichen und auf intuitive Weise einem Betrachter zu vermitteln.<sup>35</sup> Sie bewertet insbesondere „die kognitive Belastung und den physischen und psychischen Aufwand zur Interaktion des Anwenders.“<sup>36</sup> (Kapitel 5.3) Die Angemessenheit wird beschrieben als „der Rechen- und Ressourcenaufwand, der zur Generierung der visuellen Darstellung notwendig ist.“<sup>37</sup> Dieses Kriterium beurteilt hier also nicht den Interpretationsaufwand der visuellen Darstellungsform, sondern vielmehr den

---

<sup>34</sup> Auch Schumann & Müller sehen in der Qualitäts- und Effektivitätserfüllung eine hohe und selten erfüllte Bedeutung für den Erfolg einer Visualisierung, da deren Nichtberücksichtigung „zu falschen Interpretationen und falschen Schlüssen führen kann und diese wiederum zu fehlerhaften Entscheidungen.“ Schumann, Heidrun & Müller, Wolfgang (2000): Visualisierung – Grundlagen und Methoden, Springer, Berlin, S.7.

<sup>35</sup> Vgl. ebd. S.9–12.

<sup>36</sup> Ebd. S.12

<sup>37</sup> Ebd. S.12



„Aufwand und die Kosten zur Durchführung des Visualisierungsprozesses.“<sup>38</sup> Die Berücksichtigung der Angemessenheit wird aufgrund der Fokussierung dieser Arbeit auf die Entwicklung einer Darstellungsform vernachlässigt und muss durch weiterführende Studien untersucht und bewertet werden.

Die Entwicklung wissenschaftlicher Visualisierungen durch computergenerierte Bilder führte in der jüngsten Geschichte zu einer Auseinandersetzung über den erkenntnistheoretischen Status und die Rolle des Bildes in Wissenschaft und Gesellschaft und zu Beginn der 90er Jahre zur Ausrufung des *iconic* bzw. *pictorial turn* durch GOTTFRIED BOEHM und WILLIAM T.J. MITCHELL.<sup>39</sup> Danach kann das Verständnis einer computergenerierten wissenschaftlichen Visualisierung nicht allein aus der Analyse des fertigen Endprodukts erfolgen, welches nur darauf konzentriert ist, Forschungsergebnisse innerhalb der Wissenschaften oder der Öffentlichkeit zu kommunizieren, denn die Visualisierung ist das Produkt eines komplexen Herstellungsprozesses mit vielfältigen Transformationen. Demnach reicht es also nicht aus, mit der „wissenschaftlich-technischen Visualisierung, auch als *Scientific Visualization* bezeichnet, [...] geeignete visuelle Repräsentationen einer gegebenen Datenmenge zu erzeugen“,<sup>40</sup> mit deren Hilfe „ihre relevanten Eigenschaften intuitiv erfasst, verstanden und bewertet werden können.“<sup>41</sup> In der Entwicklung und im Umgang mit wissenschaftlich-technischen visuellen Darstellungen ergeben sich neue Untersuchungsfelder, die im Herstellungsprozess von Bildern eine Rolle spielen und offen gelegt und reflektiert werden müssen. Dieses Ziel verfolgt diese Arbeit.

Dazu gehört die Untersuchung der medialen Bedingtheit von Wissen, also inwieweit verschieben die unterschiedlichen medialen Formate wie numerische Daten, Text, Diagramm etc. das jeweilige Wissen? Inwieweit konstituieren Stile, Bildtraditionen, Darstellungs- und Wahrnehmungskonventionen das Bilderwissen? Und inwieweit prägt der instrumentelle Herstellungsprozess das Ergebnis wissenschaftlicher Bilder? Wie gestaltet sich das ästhetische Handeln des wissenschaftlichen Bildproduzenten? Wie wird mit ästhetischen Mitteln Erkenntnis produziert?<sup>42</sup> (Kapitel 4./5.3) „Dabei geht es auch darum, die Übergänge an den Schnittstellen, die Veränderungen in den jeweiligen medialen Formaten und deren Strukturen zu beschreiben und Verschiebungen auszuloten.“<sup>43</sup>

Um die Qualität einer wissenschaftlichen Visualisierung zu verbessern, wird diese Arbeit, neben der Berücksichtigung von Expressivität, Effektivität und der Reflexion und Offenlegung der Herstellungsschritte, um ein weiteres Kriterium ergänzt.

Wie schon im *Vorwort zu Prämissen und Methoden* erwähnt, bildet im Formungs- respektive Visualisierungsprozess eine systemtheoretische Perspektive bzw. Beschreibungsform von Erdbeben die Folie für die Konzeption der Darstellungsform aus der Datengrundlage. Hier wird eine Analogie (Perspektivierung) hergestellt. Eine Gedankenführung und Inspirationsquelle die eine Grundlage für die Gestaltung und

---

<sup>38</sup> (Schumann & Müller 2000, S.12).

<sup>39</sup> Vgl. (Heßler et.al. 2004, S.5).

<sup>40</sup> (Schumann & Müller 2000, S.5).

<sup>41</sup> Schumann, Heidrun (2004): „Konzepte und Methoden der wissenschaftlichen Visualisierung.“ In: Kartographische Bausteine. Band 26, TU Dresden, Juni, S.20-28, S.20.

<sup>42</sup> Vgl. (Heßler et.al. 2004, S.3-4).

<sup>43</sup> Heßler, Martina et.al. (2004): Visualisierungen in der Wissenskommunikation. In: Explorationsstudie im Rahmen der BMBF-Förderinitiative Wissen für Entscheidungsprozesse zum Thema: Visualisierungen in der Wissenskommunikation, (Online. Stand 22.07.08), S.21.

### 3. Anforderungen an die Darstellung

Konstruktion der Darstellungsformen verkörpert („Zauberstab der Analogie“ wie sie Novalis nannte). In der wissenschaftlichen Anwendung kann sie Verwandtschaftsrelationen unter den Ideen zutage fördern und mit dem Herstellen einer Referenz zwischen visueller Form und Erdbeben­theorie möglicherweise Zusammenhänge innerhalb seismischer Daten aufdecken. Die Kreativitätstechniken<sup>44</sup> welche aus neuen Ideen visuelle Darstellungsformen hervorbringen, werden in einem späteren Kapitel (Kapitel 6 Entwicklung der Darstellungskonzepte) ausführlich vorgestellt.

---

<sup>44</sup> Vgl. Schulz, Gerhard (1987): *Novalis Werke*. Verlag C.H. Beck, S.782.

## 4. Sichtbarkeit des Denkens – Begriffliche und visuelle Formen seismischer Daten

### 4.1 Charakterisierung seismischer Daten – Messung und Größen

Um den Anforderungen einer adäquaten und unverfälschten Behandlung der Daten im Visualisierungsprozess zu genügen, wird in diesem Kapitel die Charakteristik der zugrundeliegenden Daten diskutiert.

Umfang und Inhalt sowie die Qualität der Daten bezüglich ihrer Fehlerhaftigkeit sind abhängig von der Art der Datenquelle. Die vorliegenden Daten sind Messergebnisse von Naturvorgängen und drücken in ihrer Gesamtheit die seismische Aktivität der Sunda Bogen Region aus.<sup>45</sup> In der Fachliteratur wird diese Art der Datenquelle der *realen Welt* zugeordnet, eine durch Messgeräte oder Beobachtung gewonnene Informationsquelle, gegenüber Quellen theoretischer oder künstlicher Welten.<sup>46</sup> Die Anzahl der Messungen und der sich dadurch konstituierende Datenumfang ist durch die Anzahl der stattfindenden seismischen Ereignisse festgelegt.

Die seismische Aktivität kann durch folgende physikalische Größen<sup>47</sup> charakterisiert werden: Den Erdbebenereignissen werden Raum- und Zeitkoordinatenwerte sowie die abgeleitete Erdbebenenergie, ausgedrückt als Magnitude, zugeordnet.

Magnitude	= m [Energie in Joule berechenbar]
Position	= x, y, -z (-z Herdtiefe) [km]
Zeitpunkt	= t <sub>x</sub> (Herdzeit) [Datum/Uhrzeit]

Für die adäquate Behandlung der Daten muss der Wirkungskreis des seismischen Ereignisses eruiert und abstrahiert werden, ausgedrückt als der räumliche Bereich, an dem die erhobenen Datenwerte Gültigkeit besitzen.<sup>48</sup> Im Fall der gemessenen seismischen Ereignisse wird eine Punktquelle (Ort)<sup>49</sup> approximiert, das Hypozentrum oder die seismische Quelle (Erdbebenherd), an dem die seismische Schwingungsenergie des Bebens freigesetzt wird, also von dem aus das Erdbeben ausgeht und dessen ermittelte Messwerte nur punktuell gelten sollen. Diese abstrahierten Messwerte können nun vom physischen Raum auf ein metrisches Referenzsystem, das geographische Koordinatensystem übertragen werden. Mit den geographischen Koordinaten – geographische Breite (x) und geographische Länge (y) – wird die Lage eines Punktes auf der Erde beschrieben. Das Gradnetz der Erde ist ein gedachtes Koordinatensystem auf der Erdoberfläche mit sich rechtwinklig schneidenden Längen- und Breitenkreisen. Die Tiefenkoordinate (negativer z-Wert) wird von der Erdoberfläche aus in Richtung Erdmittelpunkt abgetragen. Der punktuelle Raumbezug der Daten wird also durch das

<sup>45</sup> – Der geophysikalisch-geologische Kontext wird im *Kapitel 5.1* behandelt. –

<sup>46</sup> Vgl. (Schumann & Müller 2000, S.27).

<sup>47</sup> „die verschiedenen Größen, die in einem Beobachtungsraum gemessen werden [...], werden als Merkmale bezeichnet.“ Diese werden auch „als abhängige Variablen bezeichnet.“ Ebd. S.35.

<sup>48</sup> Vgl. ebd. S.29.

<sup>49</sup> – beschrieben durch die x,y,-z Koordinaten. –

geographische Koordinatensystem metrisch eindeutig quantifizierbar. Mit der Auswertung der Seismogramme werden so weltweit jedem registrierten Erdbeben ein Zeitpunkt, ein Raumpunkt und eine Magnitude zugeordnet. Diese Werte werden zusammengefasst als Erdbebenkataloge bezeichnet und zur Untersuchung der Erdbebendynamik auf größeren Zeitskalen nutzbar.<sup>50</sup>

Die Betrachtung eines Raumpunktes, stellt jedoch eine sehr starke raum-zeitliche Abstraktion der geologischen Modelle dar. „Earthquakes result from abrupt slip on faults.“<sup>51</sup> Informationen über diese Brüche ergeben sich durch die Wirkung der ausgestrahlten seismischen Wellen. Die durch die seismischen Wellen ausgedrückte Energie, stellt jedoch nur einen kleinen Prozentanteil der Erdbebenenergie dar, der Hauptanteil davon wird durch die Bruchbewegung verbraucht.<sup>52</sup> “To reiterate a fundamental characteristic of earthquakes: they represent the slip of an extended fault surface, not a process that occurs at a point. Although earthquake rupture initiates at a single point that can be identified rather accurately, rupture propagates over an area that reflects the eventual size of the event.”<sup>53</sup> (oder Zitat<sup>54</sup>)

Da Daten und Informationen über Bruchbewegungen oder Energieausbreitung eines Erdbebens für diese Arbeit nicht zur Verfügung stehen, wird mit einem Raumpunkt als Abstraktion für den räumlich, zeitlich und energetischen Ursprung der seismischen Aktivität gearbeitet.

Die Magnitude ist ein Maß für die gesamte beim Beben freigesetzte seismische *Schwingungsenergie*.<sup>55</sup> „[...] a logarithmic scale based on the amplitude of a specified seismic wave measured at a particular frequency, suitably corrected for distance and instrument response.“<sup>56</sup> “Die Magnitude Ms wird aus dem Logarithmus der maximalen Bodenbewegung an der Erdoberfläche berechnet. Anhand einer von den amerikanischen Seismologen GUTENBERG und RICHTER schon 1956 angegebenen Beziehung zwischen der seismischen Schwingungsenergie E und der aus Oberflächenwellen ermittelten Magnitude Ms gilt folgende mathematische Relation:<sup>57</sup>

$$\log(E_s) = 1,5M_s + 4,8 \quad (\text{in Joule})^{58}$$

<sup>50</sup> Vgl. Hainzl, Sebastian (1998): *Erdbeben und selbstorganisierte Kritizität: Modellierung der raumzeitlichen Erdbebendynamik*. Diss. rer. nat., Institut für Physik, Universität Potsdam, S.7.

<sup>51</sup> Hough, Susan Elizabeth (2002): *Earthshaking Science*. What we know (and don't know) about earthquakes, Princeton University Press, S.32.

<sup>52</sup> Vgl. ebd. S.33.

<sup>53</sup> Ebd. S.33.

<sup>54</sup> „Ein reales Erdbeben ist nie eine [...]  $\delta$ -förmige Punktquelle in Raum und Zeit. Der Ablauf des Scherbruchs dauert eine gewisse Zeit und die Bruchfläche hat eine gewisse Ausdehnung im Raum. Der Herdvorgang ist also in Raum und Zeit ausgedehnt und zwar umso mehr, je größer die Magnitude des Erdbebens ist. Das Sumatra-Beben vom 26.12.2004 (Magnitude > 9) hatte beispielsweise eine Bruchfläche, die sich über mehr als 1000 km horizontal in der Erdkruste erstreckt. Es dauerte mehr als 8 Minuten, bis die Erdkruste vom einen Ende der Bruchfläche bis zum anderen gerissen war.“ Forbriger, Thomas (2008): “P3-Versuch: elastische Wellenausbreitung und Erdbebenmodellierung.“ Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe, (Online. Stand 30.07.08), S.4.

<sup>55</sup> Vgl. Bormann, Peter (2002): „Was ist die Magnitude und was ist die Intensität eines Erdbebens?“ GeoForschungsZentrum Potsdam, (Online. Stand 08.08.08), S.1-2.

<sup>56</sup> Scholz, Christopher H. (2002): *Mechanics of earthquakes and faulting*. Second Edition, Cambridge University Press, S.198.

<sup>57</sup> - Verschiedene Varianten zur Magnituden-Bestimmung führen zu etwas unterschiedlichen Werten. -

<sup>58</sup> - Die Relation stellt den Zusammenhang her, zwischen der Oberflächenwellenmagnitude Ms und der bei dem Erdbeben abgestrahlten seismischen Energie. -

Obwohl die Magnitudenskalen nach oben und unten offen sind, setzt die Natur den Erdbeben bei Ms 9 eine faktische obere Grenze. Außerdem können sehr schwache Erdbeben (Ms 0) aus messtechnischen Gründen nicht oder nur unvollständig registriert werden.<sup>59</sup>

Der ermittelte Wert der Magnitude ist an jeder seismologischen Station der Erde für ein bestimmtes Beben theoretisch identisch. Durch den ungleichen geologischen Aufbau der Erde in Abhängigkeit von Art und Temperatur der Gesteine und durch die ungleichmäßige Ausstrahlung der Energie in verschiedene Richtungen von einem Erdbebenherd aus, können sich die von einzelnen Stationen berechneten Magnitudenwerte aber um  $\pm 0,5$  Magnitudeneinheiten unterscheiden.<sup>60</sup>

“Magnitude and Intensity measure different characteristics of earthquakes. Magnitude measures the energy released at the source of the earthquake and [...] is determined from measurements on seismographs. Intensity measures the strength of shaking produced by the earthquake at a certain location. Intensity is determined from effects on people, human structures, and the natural environment.”<sup>61</sup> Die folgende Tabelle des US Geological Survey (USGR) zeigt eine Auflistung der Intensitäten nach MERCALLI, welche in Regionen in der Nähe des Epizentrums von Erdbeben unterschiedlicher Magnituden typischerweise beobachtet werden. “The Mercalli Scale is based on observable earthquake damage. From a scientific standpoint, the magnitude scale is based on seismic records while the Mercalli is based on observable data which can be subjective. Thus, the magnitude scale is considered scientifically more objective and therefore more accurate”<sup>62</sup> Die *Modified Mercalli Intensity Scale* des USGS kann unter diesem Fußnotenlink<sup>63</sup> aufgerufen werden.

<b>Magnitude</b>	<b>Typical Maximum Modified Mercalli Intensity</b>	<b>Interval</b>
7.0 and higher	VIII or higher	>20
6.0 - 6.9	VII - IX	9
5.0 - 5.9	VI - VII	9
4.0 - 4.9	IV - V	9
3.0 - 3.9	II - III	9
1.0 - 3.0	I	20

Tab. 1 Klassifizierung der Magnitudenwerte nach GUTENBERG.

<sup>59</sup> Vgl. (Hainzl 1998, S.7).

<sup>60</sup> Vgl. (Bormann 2002, S.1-2).

<sup>61</sup> USGS: Magnitude/Intensity Comparison. (Online. Stand 20.09.08).

<sup>62</sup> USGS: What is intensity? What is the Modified Mercalli Intensity Scale. (Online. Stand 20.09.08).

<sup>63</sup> USGS: Modified Mercalli Intensity Scale (Online. Stand 20.09.08).

PRESS & SIEVER führen eine Klassifizierung nach B. GUTENBERG an (s. Tab. 1), dem zufolge die Magnitudenwerte entsprechend charakteristischer Effekte in besiedelten Regionen zusammengefasst werden. Die Intervallgrößen sind hier sehr unterschiedlich gegliedert.

#### Earthquake Effectes and Magnitudes

<i>Characteristics of shallow shocks in populated areas</i>	<i>Approximate magnitude</i>	<i>Interval</i>
Damage nearly total	$\geq 8.0$	>10
Great damage	$\geq 7.4$	6
Serious damage, rails bent	7.0 – 7.3	3
Considerable damage to buildings	6.2 – 6.9	7
Slight damage to buildings	5.5 – 6.1	6
Felt by all	4.9 – 5.4	5
Felt by many	4.3 – 4.8	5
Fel by some	3.5 – 4.2	7
Not felt but recorded	2.0 – 3.4	14

Tab. 2 Erdbeben – Effekte und Magnituden.<sup>64</sup>

Der in dieser Arbeit verwendete Datensatz mit den beschriebenen Parametern wird dem seismologischen Datenarchiv des Deutschen GeoForschungsZentrums (GFZ) Potsdam entnommen. Dieses hält die Echtzeit-Daten des *GEOFON* Erdbeben-Beobachtungsnetzwerks und dessen Partner-Netzwerken aus hochwertigen Breitbandseismometern bereit. „(Near) real-time data streams from permanent networks are mostly coming in over Internet. It is immediately accessible on request from the archive or continuously by SeedLink real-time data feeds from the open GEOFON SeedLink server.“<sup>65</sup> (<http://geofon.gfz-potsdam.de/geofon//>). „Als quasi-echtzeitfähiges System ist GEOFON voll automatisiert und meldet aufgetretene Beben innerhalb weniger Minuten auf der öffentlich zugänglichen Web-Seite des GFZ.“<sup>66</sup> Hier besteht die Möglichkeit regionale Daten abzufragen.

Die betrachteten physikalischen Größen, Magnitude (abgeleitete Erdbebenenergie), Raum- und Zeitpunkt –in der Fachsprache der wissenschaftlichen Visualisierung als Merkmale bezeichnet– sind richtungsunabhängige Größen. D.h. sie treten zunächst als skalare Größen (ein Zahlenwert + Einheit) auf, durch Drehungen bzw. Richtungsänderung ändert sich der Betrag bzw. Zahlenwert nicht. Die Größen sind quantitativer Natur, d.h. ihre Werte stellen metrische Informationen dar. Aufgrund dieser Metrik lassen sich neben ihrem Betrag Richtungen und Distanzen sowie Abstände und

<sup>64</sup> Press, Frank & Siever, Raymond (1986): Earth. 4.Auflage, W.H. Freeman and Company, S.453.

<sup>65</sup> GEOFON: Data Access (Online. Stand 30.07.08).

<sup>66</sup> Zschau, Jochen (2005): „Die deutsche Initiative zum Aufbau eines Tsunami-Frühwarnsystems für den Indischen Ozean.“ Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V., (Online. Stand. 21.09.08), S.5.

Intervalle zwischen zwei Merkmalsausprägungen feststellen, und zwar sowohl in räumlicher (z.B. räumliche Distanzen) und zeitlicher Hinsicht.

Der Wertebereich von Zeit und Raum ist betrachtungs- bzw. anschauungsabhängig. Zeit kann sowohl diskret, als auch als Kontinuum bzw. als stetig betrachtet werden. Zeitlich diskret sind hier die stattfindenden seismischen Ereignisse, eingebettet in einem Zeitkontinuum, indem alle Werte (Datum/Uhrzeit) angenommen werden können. Auch der abstrahierte Ursprung eines Erdbebens in Form eines Raumpunktes, ist bezüglich der räumlichen Ausdehnung eine diskrete Betrachtung. Der Einbettungsraum hingegen kann, je nach Raumanschauung, auch als Kontinuum (absolut) angesehen werden oder erst einen durch die Ereignisse selbst erzeugten relativen Raum (Beziehungen) darstellen. Der Raum selber existiert dann grundlegend als Ordnungsmodell, dies aber nur in Relation zu diesen Objekten. Diese Betrachtungen werden interessant bei der Übertragung bzw. Abbildung der Daten auf geometrische graphische Beschreibungsformen (oder bei Entscheidungen für z.B. räumliche Interpolationen von Oberflächen, etc.).

Die Magnitude gibt den dekadischen intervallskalierten Logarithmus der Amplituden der Erdbebenwellen an. Das bedeutet, dass jeder zusätzliche Punkt auf der Skala ein zehnfach stärkeres Beben beschreibt, respektive „die Zunahme der Amplitude einer Bodenbewegung (oder der seismischen Wellen) um den Faktor 10 steigt. Folglich erzeugt ein Erdbeben der Magnitude 6 Bodenbewegungen, die zehnmal größer sind als bei einem Beben der Magnitude 5. Die Energie, die in Form seismischer Wellen freigesetzt wird, nimmt sogar um den Faktor 33 für jede zusätzliche Magnitudeneinheit um den Wert 1 zu.“<sup>67</sup> An „einem konkreten Beispiel erläutert: Ein Beben der Magnitude 7 setzt etwa 1000mal mehr Erschütterungsenergie frei als ein Beben der Magnitude 5.“<sup>68</sup>

---

<sup>67</sup> (Press & Siever 1995, S.414).

<sup>68</sup> (Bormann 2002, S.2).

## 4.2 Objektive Gültigkeit von Relationen – Zur Begriffsstruktur physikalischer Gesetze und Größen

Die seismische Aktivität ist messbar, und zwar für einen definierten Ort (Hypozentrum), für einen bestimmten Zeitpunkt und für eine bestimmte Stärke bzw. Energie (ausgedrückt als Magnitude). Genau *wo*, *wann* und in welcher *Stärke* ein Erdbeben stattfinden wird, kann momentan jedoch nicht prognostiziert werden.

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen physikalischen Größen stehen also in Beziehung, sie besitzen eine Kontingenz. Es existiert jedoch keine bisher erkennbare Gesetzmäßigkeit, keine einfache Kausalität. Keine für den Menschen reproduzierbaren und vorhersagbaren Regeln und Zusammenhänge können abgeleitet werden. Diesem Problem steht nicht nur diese Arbeit, sondern die gesamte Erdbebenforschung gegenüber.

Um Regelmäßigkeiten, Zusammenhänge, gar Gesetzmäßigkeiten aus der Art des in *Beziehung-Setzens* der physikalischen Daten zu ergründen, wäre es interessant zu wissen, auf welche Art und Weise die Naturwissenschaft, speziell die Physik, Erkenntnisarbeit betreibt. Wie formuliert sie mit Hilfe der gemessenen Größen physikalische Gesetze? Wodurch legitimiert sich deren Objektivität? Was bildet sie ab und welche Begriffsstruktur nutzt sie dabei und warum?

Um die Vorstellung ERNST CASSIRERS noch einmal aufzugreifen, so vollzieht sich jede Darstellung mittels der Repräsentationsleistung des Symbols. Indem dieses stellvertretend für komplexe Vorgänge und Dinge steht, schafft es neue Bedeutungszentren und verleiht so dem fließenden Eindruck, der Wahrnehmung Form und Dauer, und das Mannigfaltige der Anschauung wird in bestimmter Weise verknüpft.<sup>69</sup>

Diese Verknüpfung geschieht gerade in der Naturwissenschaft, speziell in der Physik (und Geophysik) auf eine zugespitzte Art, indem sie nicht nur Phänomene und Vorgänge verstehen möchte, sondern sie bezüglich des Aspektes ihrer Wiederkehr thematisiert. „Da sich die sinnlichen Informationen als prozesshafte, verschwindende Momente herausgestellt haben,“<sup>70</sup> interessiert hier nicht der Augenblick, „sondern das Gesetzmäßige, Verallgemeinerbare.“<sup>71</sup> Die Zurückführung von Erscheinungen auf Gesetzesaussagen ist hier die wichtigste Zielstellung der Physik.<sup>72</sup>

Gesetze sind nicht Gegenstände der Wahrnehmung, sondern werden daraus gefolgert. Die Praxis dieses Schlussfolgerns besteht in der Durchführung von Experimenten als objektive Prozesse, in denen sich das Entstehen und Vergehen der sinnlichen Dinge nach bestimmten logischen Mustern zeigt.<sup>73</sup> „Die beobachtende Vernunft der forschenden Naturwissenschaft versucht das Gesetz aus der Empirie herauszufiltern bzw. in der Sphäre der Erfahrung zu verifizieren.“<sup>74</sup> „Naturdingen wird Objektivität zugesprochen, weil

---

<sup>69</sup> Vgl. Schmitz-Rigal, Christiane (2004): „Modi des Symbolischen und plurale Sinnwelten. Zum Verhältnis der Symbolischen Formen Ernst Cassirers.“ In: Allgemeine Zeitschrift für Philosophie 29/3, S.249–261, S.251.

<sup>70</sup> Beuthan, Ralf & Pierini, Tommaso (2006) „Objektive Allgemeinheit – Zur Objektivität der Erfahrung in Hegels Phänomenologie des Geistes.“ Apuntes Filosóficos, Vol.15 No.29, Caracas, (Online. Stand 24.06.08).

<sup>71</sup> (Schmitz-Rigal 2004, S.3).

<sup>72</sup> Schlemm, Anette (2000): Physikalische Gesetze. (Online. Stand 03.08.08).

<sup>73</sup> (Beuthan & Pierini 2006).

<sup>74</sup> (Hegel: PhG S.170/142) zit. nach: (Beuthan & Pierini 2006).



sie in solche objektiven Prozesse eintreten, die als allgemeine Gesetze der Dinge ausgedrückt werden können.“<sup>75</sup> Nicht die prozesshaften, vergänglichen sinnlichen Erscheinungen haben Bestand, vielmehr umgekehrt: sie gewinnen allein dadurch Halt, dass sie nur in den allgemeinen Prozessen durch ihre gegenseitige Bewirktheit und wechselseitige Abhängigkeit existieren.<sup>76</sup> "Im wissenschaftlichen Experiment wird immer vorausgesetzt, dass man unter gleichen wesentlichen Bedingungen gleiche Resultate erzielt. Das bedeutet, dass man an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten unter bestimmten Voraussetzungen gleiche experimentelle Ergebnisse bekommen muss. So etwas ist nur dann möglich, wenn in den steten Veränderungen in der objektiven Realität auch relativ Unveränderliches vorhanden ist."<sup>77</sup>

„Der Sinn eines entdeckten Gesetzes ist aber nicht nur, das Beobachtete in geordneter Weise zusammenzufassen und komplexe Erscheinungen auf einfachere zurückzuführen. Es soll vor allem auch die Möglichkeit schaffen, das physikalische Geschehen quantitativ vorauszusagen.“<sup>78</sup> Um Gesetze genau zu formulieren, müssen daher physikalische Begriffe quantitativ erfasst werden, d.h. durch Einheiten und Zahlen ausgedrückt werden können. Die große Bedeutung der Mathematik für die Physik zeigt sich in der mathematischen Verknüpfung der Größen – messbare Begriffe werden als Größen bezeichnet – und Begriffe, was eine eindeutige und unmissverständliche Definition der Begriffe bedingt und die notwendige Voraussetzung für den Aufbau der physikalischen Wissenschaft darstellt.<sup>79</sup>

Mit der Forderung nach Messung von Eigenschaften und Wechselwirkungen in Form quantitativer physikalischer Größen vollzieht sich ein Verschwinden des sinnlichen Wertes durch Abstraktion in Form von Zahlen und Variablen, durch das vollkommene Aufgehen in *Relationenverhältnissen*, wodurch keine inhaltlichen Dingbegriffe, sondern Beziehungs- und Ordnungsbegriffe, nur noch interne Verknüpfungen zum Ausdruck kommen.<sup>80</sup> CASSIRER bemerkt, „es geht nicht um die Existenz der Dinge, sondern um die objektive Gültigkeit von Relationen.“<sup>81</sup>

Eine Naturerscheinung drückt sich also *in der naturwissenschaftlichen und speziell physikalischen Praxis* in Form abstrakter Beziehungen von Veränderungszusammenhängen aus, formuliert in der Symbolsprache der Mathematik, in der keine anschauliche, sondern eine symbolische, quantitative, verstandesmäßige Darstellung stattfindet. Dementsprechend manifestiert sich die Beschreibung des Erdbebenphänomens in Form seismischer Daten.

---

<sup>75</sup> (Hegel: PhG S.170/142) zit. nach: (Beuthan & Pierini 2006).

<sup>76</sup> Vgl. (Beuthan & Pierini 2006).

<sup>77</sup> (Röseberg 1982, S. 76) zit. nach: (Schlemm, 2000).

<sup>78</sup> Gerthsen, Christian & Vogel, Helmut (1993): Physik. Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen. 17. Auflage, Springer, Berlin, S.2.

<sup>79</sup> Vgl. Ebd. S.1.

<sup>80</sup> Vgl. (Schmitz-Rigal 2004, S.4).

<sup>81</sup> Vgl. (Schlemm, 2000).

### 4.3 Bildlichkeit und der visuelle Charakter abstrakter Daten

Vor dem Hintergrund der Abhängigkeit des Wissens von der Darstellungsweise und der spezifischen Medialität ist zu fragen, welche Möglichkeiten und Konsequenzen für die Erkenntnis resultieren, wenn die in der beschriebenen Symbolsprache festgehaltene Information nicht nur numerisch, als mathematisches Symbol und Relation oder diskursiv in der Sprache thematisiert wird, sondern in Folge einer wissenschaftlichen Visualisierung als Visuelles sichtbar gemacht wird, Daten (physikalischen Größen) wieder sichtbare Form und Gestalt gegeben wird? Wie verhält sich die Visualisierung in Bezug zur sichtbargemachten Information und wie wirkt sich diese Darstellung auf den Betrachter aus? Worin liegen die Potentiale und die Einschränkungen für das Erkennen und Verstehen über die zu untersuchenden Phänomene im jeweiligen Darstellungsmodus. Welche weiteren Transformationen erfährt die Information und wo liegen Schnittstellen?

Etwas sichtbar machen, in ein optisches Bild<sup>82</sup> bringen, eine visuelle Gestalt geben, bedeutet eine Konstitution von Darstellung mit einer speziellen Logik,<sup>83</sup> der ein „eigener erkenntnistheoretischer Status“ zukommt.<sup>84</sup> Die spezielle Eigenschaft der visuellen Darstellung ist, dass, was immer sie auszudrücken oder zu symbolisieren sucht, sie „im Modus eines Zeigens und Sich-Zeigens zu erkennen gibt.“<sup>85</sup> Die bildliche visuelle Darstellung bezeugt nicht allein, sondern bestimmt mit, denn sie ist nicht nur illustrative Oberfläche, sondern ihrerseits konstitutiver Träger von Bedeutungen.<sup>86</sup> In diesem Zusammenhang spricht „SUSANNE K. LANGER [...] von *präsentativer Symbolik* statt von *Repräsentation*.“<sup>87</sup>

Eines der wichtigsten Strukturmerkmale des Bildes ist seine fehlende Negation.<sup>88</sup> Nach W.J.T. MITCHELL ist die bildliche Darstellung eine „Sprache, die unfähig ist, eine Negation auszudrücken.“<sup>89</sup> „Die Negation ist eine Vorstellung, es kann von ihr kein Bild geben“<sup>90</sup> Man kann eine negative Vorstellung haben, aber niemals ein negatives Bild. D.h. bildliche Darstellungen können in ihrer Darstellung das Dargestellte weder

<sup>82</sup> In diesem Zusammenhang wird der Begriff *Bild* folgendermaßen genutzt: Als Projektion eines realen oder abstrakten Untersuchungsgegenstandes auf die 2D-Bildebene, wodurch ein durch Sinnesorgane wahrnehmbares Abbild geschaffen wird. Bilder lassen sich generell nach verschiedenen intellektuellen Disziplinen charakterisieren: „Geistige Bildlichkeit gehört zur Psychologie und zur Erkenntnistheorie, optische Bildlichkeit zur Physik, graphische, plastische, architektonische Bildlichkeit zur Kunstgeschichte, sprachliche Bildlichkeit zur Literaturwissenschaft, perzeptuelle Bilder gehören zu einem Grenzgebiet, auf dem Physiologen, Neurologen, Psychologen, Kunsthistoriker und solche, die sich mit der Optik befassen und mit Philosophen und Literaturwissenschaftlern gemeinsam arbeiten.“ Mitchell, W.J.T. (1990): „Was ist ein Bild?“ S.19–20. In: *Bildlichkeit. Internationale Beiträge zur Poetik*. Bohn, Volker (Hsg.), Suhrkamp, Frankfurt/M.

<sup>83</sup> (Heßler et.al. 2004, S.23).

<sup>84</sup> Vgl. ebd. S.34.

<sup>85</sup> Mersch, Dieter (2005): „Das Bild als Argument. Visualisierungsstrategien in der Naturwissenschaft.“ S.324. In: *Ikonologien des Performativen*. Wulf, Christoph & Zirfas, Jörg (Hsg.), München (Fink), S.322–344.

<sup>86</sup> Vgl. Bredekamp, Horst & Werner, Gabriele (Hsg.) (2003): „Bildwelten des Wissens.“ S.11. In: *Kunsthistorisches Lehrbuch der Bildkritik*. Band 1.1, Bilder in Prozessen, Akademie Verlag, Berlin.

<sup>87</sup> (Mersch 2005, S.326).

<sup>88</sup> Vgl. ebd. S.326.

<sup>89</sup> Edson, Laurie (1990): „Das Durchbrechen der Konvention: Sprachliche und bildliche Darstellung von Alltagsobjekten bei Francis Ponge und René Magritte.“ S.261. In: *Bildlichkeit, Internationale Beiträge zur Poetik*. Bohn, Volker (Hsg.), Suhrkamp, Frankfurt/M.

<sup>90</sup> Ebd. S.261.

verneinen<sup>91</sup> noch Vorbehalte ausdrücken, denn das Zeigen duldet keine Einschränkung, keine Revision oder Zurücknahme, wie es sich sprachlich durch den Konjunktiv oder die Verneinung ausdrücken ließe. Bilder setzen zeigend ein Faktum. Denn selbst bei äußerster Distanziertheit und Zurückhaltung kann die visuelle Darstellung nicht umhin, etwas zur Erscheinung zu bringen und dem Dargestellten eine Präsenz zu verschaffen, wodurch dem Visuellen eine genuin affirmative Struktur zukommt.<sup>92</sup> Zwar lassen sich Widersprüche und Unsicherheiten darstellen, aber lediglich in Form von Vexierbildern, Figur-Hintergrund-Paradoxien, Nebeneinanderstellungen, Überlagerungen, Durchstreichungen oder Auslöschungen etc. Doch erscheint dies lediglich im Modus von Wirklichkeit, nicht von Möglichkeit.<sup>93</sup> Denn es „behält sich stets ein affirmatives Moment ein, bleibt ein unutilisierbarer Rest, ein Zeigen selbst dort, wo das Bild etwas bewusst abzuweisen, zu denunzieren oder zu verstecken trachtet.“<sup>94</sup>

Mann kann sagen, dass „die affirmative Kraft und Präsenz des bildlich Visuellen [...] eine Suggestivkraft bezüglich ihres Inhalts [besitzt]. Indem etwas zu sehen ist, „werden keine Gründe angegeben, sondern sichtbare Einsichten produziert.“<sup>95</sup> Die affirmative Kraft der Bildlichkeit suggeriert Evidenz. Im Format des Zeigens ist nicht die Logik des Begründens, sondern die Struktur der Evidenz,<sup>96</sup> mit der ontologischer Schein erzeugt wird. „Eine *-evidentia-* meint nicht nur das Einleuchtende sondern vor allem auch das, was *-videre-*, sichtbar in die Augen springt und eine Realität verleiht.“<sup>97</sup> Visuelle Medien sind daher „gekennzeichnet durch Evidenzeffekte der Wahrnehmung, „im Gegensatz dazu diskursive [Medien] durch Wahrheitseffekte und numerische durch Richtigkeitseffekte.“<sup>98</sup> Zwar verschaffen sich naturwissenschaftliche Modelle, welche im Unanschaulichen operieren, durch Bilder Visualität und Anschaulichkeit, andererseits verhindert die suggerierte Evidenz des Visuellen die Darstellung von Vagheiten, Unsicherheiten und Approximationen.

Da es nur Bestätigung oder Nichtbestätigung gibt und kein Diskurs und keine Verneinungen ermöglicht werden, welche schlechthin als Rationalitätsparameter gelten, gerät die Visualisierung nach Ansicht von HEßLER in ein prekäres Verhältnis zum diskursiven, auf Begründungen abgestellten Geltungsanspruch in den Naturwissenschaften.<sup>99</sup>

MERSCH betont, dass „der Diskurs<sup>100</sup> [...] der Beglaubigung durch die Evidenz der Bildlichkeit [bedarf], wie diese seine Legitimität durch den Diskurs und seine spezifisch logischen Funktionen erfährt, weshalb beide ebenso aufeinander angewiesen sind wie sie für sich selbst unvollständig bleiben.“<sup>101</sup> „Das Bild mit seiner ihm eigentümlichen Leistung der Evidenz bleibt unverzichtbares Element wissenschaftlicher Argumentation, wie

<sup>91</sup> siehe auch René Magrittes Gemälde „Der Verrat der Bilder“ (Dies ist keine Pfeife), indem er einen klaren Widerspruch zwischen Sprache und Bild thematisiert. In: ebd. S.259-260.

<sup>92</sup> Vgl. (Mersch 2005, S.326).

<sup>93</sup> Vgl. ebd. S.27-28.

<sup>94</sup> Ebd. S.326.

<sup>95</sup> Ebd. S.327.

<sup>96</sup> Vgl. Ebd. S.327.

<sup>97</sup> Ebd. S.327.

<sup>98</sup> (Heßler et.al. 2004, S.28).

<sup>99</sup> Vgl. ebd. S.27.

<sup>100</sup> nicht so die Mathematik !!!

<sup>101</sup> (Mersch 2005, S.328).

umgekehrt die Evidenz durch die diskursive Begründung aller erst legitimiert werden muss.<sup>102</sup>

Wie verhält sich die visuelle Logik mit ihrer affirmativen Kraft und Präsenz, wenn abstrakte, diskrete Daten, die auf Messungen beruhen und bereits auf theoretischen Abstraktionen und Rechnungen fußen, in mathematisch aufbereitete, berechenbare und visualisierbare virtuelle Parameter und Muster verwandelt werden? Zu fragen wäre hier: was visualisieren sie, und was bekommt man durch sie zu sehen?

MERSCH betont, dass visuelle Strategien höchst disparat sind, verschiedene Zwecke erfüllen und speziellen Logiken gehorchen. Es können Darstellungsweisen unterschieden werden, deren wesentliche Funktion darin besteht, das Visuelle als Beleg von genuin Sichtbarem zu verwenden, sowie solche, die Wissen in Bezug auf eine zugrunde liegende Datenmenge in berechenbare Figuren verwandeln.<sup>103</sup> Erstere führen einen Existenzbeweis, markieren eine Spur oder einen Abdruck und verfahren referenziell. Man könnte sie als Repräsentationsverfahren im weitesten Sinne bezeichnen, während letztere diagrammatisch oder graphematisch argumentieren, wobei das Format eine Skriptur ist, welche einen konstruktiven Status einnimmt. Hier kann man von konstruktiven oder modellhaften Visualisierungen sprechen, die zugleich aus Schrift und Zahl bestehen und als Hybride funktionieren. Sie werden nicht modell- und theorienachbildend, sondern modell- und theoriebildend eingesetzt. Sie stellen nicht abbildende sondern bildgebende Verfahren dar.

MERSCH sieht diese Hybride durch Karten, Graphen, Netze und dergleichen repräsentiert,<sup>104</sup> die er Diagrammatiken nennt und in denen er eine beiderseitige Verschränktheit von Skripturalität und Piktoralität erkennt, in denen Logik und Ikonik sowie Visualität und Diskursivität aufeinander verweisen und durch die eine *Sichtbarkeit des Denkens* ausgedrückt wird.<sup>105</sup>

Die Graphen als eine Untermenge diagrammatischer Visualisierungen, lassen sich gemäss der Graphentheorie<sup>106</sup> als mathematische Modelle für netzartige Strukturen verstehen, die im wesentlichen durch zwei Arten von Objekten bestimmt sind, nämlich Orte (Knoten) und Verbindungen (Kanten),<sup>107</sup> wonach allein ihre Strukturalität entscheidend ist und nicht ihre Ikonographie. Trotz der Abstraktion der piktoralen Elemente bleibt die Strukturalität des Graphen erhalten. Er ist isomorph.<sup>108</sup> Isomorphie ist folglich eine Eigenschaft seiner Syntax, nicht seiner Bildlichkeit.<sup>109</sup> In der räumlichen Anordnung *relationaler abstrakter Daten* bewahren graphematische Darstellungen ein Minimum an *visueller Evidenz*.

Der Übergang von visuellen Bildern zur Diagrammatik wird bedingt durch eine Transformation von Figuralität zu Operationalität, indem ein eigener, freier Strukturraum

<sup>102</sup> (Mersch 2005, S.328).

<sup>103</sup> Vgl. Mersch, Dieter (2006): „Visuelle Argumente. Zur Rolle der Bilder in den Naturwissenschaften.“ S.97. In: Bilder als Diskurse, Bilddiskurse. Maasen, Sabine et.al. (Hsg.), Weilerswist, Velbrück.

<sup>104</sup> Ebd. S.104.

<sup>105</sup> Vgl. ebd. S.104.

<sup>106</sup> „Die Graphentheorie ist ein Teilgebiet der Mathematik, das die Eigenschaften von Graphen und ihre Beziehungen zueinander untersucht.“ Seite *Graphentheorie*. In: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie, (Online. Stand 17.12.08).

<sup>107</sup> Vgl. (Mersch 2006, S.107).

<sup>108</sup> Vgl. ebd. S.107.

<sup>109</sup> Vgl. ebd. S.107.

mit einer spatialen Logik entsteht, die MERSCH als operative Performanz bezeichnet. Im Gegensatz zur Schrift mit seiner diskreten Notation verschiebt ein Diagramm die Inhalte seiner Zeichen zu ihrer spatialen Lokalisierung und Ausbreitung und macht dabei neue Ordnungen sichtbar. Er visualisiert Zwischenräumlichkeit –*Interspatialität*– durch das Setzen von Beziehungen im Raum, mit einer piktoralen Matrix. Durch Zuweisung verschiedener Stellen oder Plätze im Raum, die nach MERSCH Idealisierungen darstellen und als *unterscheidbare Marken* funktionieren, wiederholbar sind und deren konkrete Gestalt irrelevant ist, können logische wie deiktische Beziehungen abgebildet werden, die als topologische und geometrische Strukturen sichtbar gemacht werden können.<sup>110</sup>

Als Grundbedingung jeder Diagrammatik fungiert der formatierte Raum, wodurch Metriken und Skalierungen definiert werden und eine Diskretisierung des Raumes stattfindet, was erst die Zuordnung der Daten und ihre Figurierung ermöglicht. „An der Figuralität lässt sich ablesen, was die zugrunde liegenden Daten [und Berechnungen] im Modus der Zahl nicht darzustellen vermögen.“<sup>111</sup> Figuralität und Räumlichkeit besitzen dadurch eine besondere epistemische Rolle, wobei Unterschiede als Unterschiede räumlicher Strukturen, als spatiale Differentialitäten erscheinen, mittels Darstellung von Kontrasten, Lücken, Abständen oder nichtbesetzten Plätzen usw.<sup>112</sup> Der Verbildlichung können auf diese Weise *logische Verhältnisse* eingeschrieben werden, die dem Bild sonst fehlen. Die diagrammatischen Hybride ermöglichen das Treffen von Aussagen, die richtig oder falsch sein können und gleichzeitig operieren sie deiktisch und machen somit auf paradoxe Weise etwas sichtbar ohne optisches Korrelat.<sup>113</sup> Diese Darstellungen kommen jedoch ganz ohne ästhetische und kartographische Funktionen nicht aus, da es sich gleichzeitig um graphische Abkürzungen oder Schemata handelt, deren Basis Ikonizitäten darstellen.<sup>114</sup>

„Bleibt in visuellen Medien die Darstellung der elementaren Aussagenlogik wegen der fehlenden Negation problematisch, werden jedoch, anders als in diskreten Texturen, Proportionalitäten, Richtungen, Pfadabhängigkeiten, Verteilungen oder Isomorphismen direkt sichtbar. D.h., visuelle Darstellungsformen vermögen Wissen mehrdimensional zu verdichten. Solche Verdichtungen im Bild privilegieren sie in dem Sinne, dass sie komplexe Datenmengen leichter aufbereiten, als auch, dass sie diese übersichtlicher gestalten und damit Strukturen erst erkennbar machen, die anders nicht entdeckbar wären.“<sup>115</sup>

Betrachtet man nun nicht nur den visuellen Charakter der abstrakten Daten, sondern fragt nach dem Charakter der modellbildenden Visualisierungsverfahren und deren Einfluss auf das Dargestellte und den Betrachter, so wird vielfach ein Verlust der Referenz bemängelt.

<sup>110</sup> Vgl. (Mersch 2006, S.105).

<sup>111</sup> (Mersch 2006, S.105).

<sup>112</sup> Vgl. ebd. S.106.

<sup>113</sup> Vgl. ebd. S.104–106.

<sup>114</sup> Vgl. ebd. S.106.

<sup>115</sup> „Einen epistemisch besonders interessanten Fall solcher Entdeckungen im Bild bildet die Theorie der Attraktoren. Sie wurde erst dadurch formulierbar, dass Iterationen, die logisch durch eine zeitliche Folge von Hintereinanderausführungen bestimmt sind, durch graphische Überlagerungen im Bild neue mathematische Strukturen offenbarten.“ (Heßler 2004, S.34).

Für Wissenschaftsbilder mit ihrem Anspruch, Aussagen über die Wirklichkeit zu machen, ist dies, so konstatiert HEßLER, im Grunde genommen ein Skandal, da er eine „der zentralen Grundlagen der Naturwissenschaften, nämlich Aussagen über die Wirklichkeit zu machen, erodieren ließe. Eines der zentralen und aus Sicht der Naturwissenschaften unhintergehbaren Prinzipien stellt ihr Anspruch dar, nachprüfbar, exakte und objektive Aussagen über die Wirklichkeit zu machen. Prinzipiell haben Wissenschaftsbilder den Anspruch, auf etwas außerhalb von ihnen Liegendes zu verweisen, oder um mit GOODMAN zu sprechen, etwas zu denotieren.“<sup>116</sup>

Die grundlegenden Probleme bei der Nutzung von modernen Visualisierungsverfahren sehen MERSCH und SCHINZEL zum einen darin, dass das Sichtbare, (die mit Hilfe graphischer Algorithmen in Bildpunkte übersetzten, instrumentell erzeugten physikalischen Datenmengen) dazu tendiert, keinen Rekurs auf sein Ausgangsmaterial zu zulassen, weil es nicht mehr als Spur, sondern als Information fungiert.<sup>117</sup> Hierbei spielt die Formalisierung eine wesentliche Rolle. „Um realweltliche Phänomene so aufzubereiten, zu symbolisieren, dass sie algorithmischer Behandlung zugänglich werden, d.h. sich den computertypischen Signaltransformationsprozessen zuführen lassen,“<sup>118</sup> müssen Begriffe und Symbole des Denkens in computergenerierte Modelle einfließen.<sup>119</sup> Die instrumentell erzeugten Datenmengen, welche mit Hilfe graphischer Algorithmen in Bildpunkte übersetzt werden „[...] bedeuten also nicht die konkrete, uns umgebende Welt oder Teile von ihr, sondern beziehen sich auf ein abstraktes Begriffsuniversum. Sie sind zwar exakte und treue Bilder, doch sind sie nur ihren Programmen treu, nicht ihrer vorgeblichen Bedeutung bzw. ihrem vorgeblich abgebildeten Objekt. Sie bedeuten dieses Objekt nur, insoweit die Begriffe, die ins Programm eingeflossen sind, dieses Objekt bedeuten, und diese Begriffe sind schon eine sehr weitgehende Abstraktion vom konkreten Objekt.“<sup>120</sup> „Software ist symbolischer Code, die Verbindung zwischen Software und Hardware überwindet den Sprung vom Zeichen zum analogen Signal von der menschlichen Interpretation über die diskret-analoge Repräsentation auf E/A-Medien (Electronic Arts).“<sup>121</sup> Diese Simulation so BAUDRILLARD bezeichnet die Liquidierung aller Referentiale und bedingt die Substitution des Realen durch Zeichen des Realen.<sup>122</sup> „Technische Bilder sind schwer zu entziffern, geben sich jedoch den Anschein evident zu sein. Sie sind der Versuch einer Konkretion von Abstraktionen.“<sup>123</sup>

Das Missverhältnis zwischen Medium, welches sichtbar macht, ohne die Art und Weise seiner Sichtbarmachung mit sichtbar zu machen, erzeugt eine Intransparenz und Opazität, die mit dem Grad ihrer Programmierung zunimmt. Mit jeder Erhöhung des Abstraktionsschrittes steigt die Fehleranfälligkeit und gehen Elemente ein, die für das Original nicht konstitutiv sind, die keine physiologische Entsprechung haben, aber in

<sup>116</sup> Heßler, Martina (2006): „Von der doppelten Unsichtbarkeit digitaler Bilder.“ S.6. In: Zeitenblicke. 5/3, Themenheft Digitale Medien und Wissenschaftskulturen, (Online. Stand 01.10.08).

<sup>117</sup> Vgl. (Mersch 2006, S.110).

<sup>118</sup> Vgl. Schinzel, Britta (2003): „Digitale Bilder: Symbolische Repräsentation oder offene Konstruktion.“ Beitrag zum Workshop: Was ist Visuelle Evidenz in Wien, Institut für Informatik und Gesellschaft, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, S.2.

<sup>119</sup> Vgl. ebd. S.5.

<sup>120</sup> Ebd. S.5.

<sup>121</sup> Vgl. ebd. S.5.

<sup>122</sup> Vgl. ebd. S.6.

<sup>123</sup> Vgl. ebd. S.6.

paradoxe Weise dank ihrer affirmativen Kraft suggerieren, nicht nur Reproduktionen zu sein, nämlich Verarbeitung, Interpretation und Erzeugung, sondern objektiven Inhalt zu repräsentieren.<sup>124</sup> „Jeder Medienwechsel, so die These, birgt dabei Verschiebungen des Wissens, die es in Relation zu den jeweils zugrunde liegenden Aufgaben und Funktionen der Darstellungsweisen auszubuchstabieren gilt. Erst auf diese Weise lässt sich beantworten, was an den Schnittstellen unterschiedlicher Medien passiert und wie die Daten und entsprechend die durch sie verkörperten Informationen im Übergang von ihrer linearen oder seriellen Aufbereitung zur räumlich-bildlichen verschoben werden.“<sup>125</sup>

Diese Suggestion wird verstärkt durch die Verfahren des Computerdesigns und seiner digitalen Bildbearbeitung, so MERSCH. Durch die Einschreibung von Bildstilen, Wahrnehmungsgewohnheiten und ästhetischen Regeln sowie durch spezielle Bildbearbeitungsfunktionen wird eine Verdinglichung impliziert, die einen ontologischen Schein erzeugt.<sup>126</sup> Da sich durch Bildbearbeitung aufbereitete Diagrammatiken nicht mehr als topologische Ordnungen zu erkennen geben, sondern mimetischen Evidenzcharakter in Form „von Gegenständen mit eigener Identität und Kontur“ simulieren, als stabile erforschbare Entitäten mit bestimmbareren Eigenschaften erscheinen, ordnet MERSCH ihren epistemischen Status als prekär ein.<sup>127</sup> „Da sie gleichzeitig äußerst eindrucksvoll sind, entsteht eine widersprüchliche Situation von realer Realitätsferne und scheinbarer Realitätsnähe.“<sup>128</sup>

Der Haupteffekt ist dabei die Verwischung der digitalen Zuordnung.<sup>129</sup> „Nicht, dass solche Bilder auf nichts verweisen würden, doch ist der entscheidende Punkt, dass der Betrachter nicht mehr in der Lage ist zu entscheiden, was ein Index, ein Denotat ist und was Konstruktion oder Textur.“<sup>130</sup>

„Digitale Bilder in den Naturwissenschaften visualisieren damit ein zweifach Unsichtbares: die unsichtbaren Phänomene einerseits, die zumeist gemessen werden, sowie die Algorithmen und unsichtbaren Datensätze, die den digitalen Bildern zugrunde liegen, andererseits.“<sup>131</sup> Verweisen die gemessenen Daten noch auf ein reales Phänomen und besitzen sie noch einen indexikalischen Status, so sind die algorithmisch generierten Bilder „Transformationen von Theorien in Programme und von Programmen in Visualisierungen“ ohne Index, in Form einer mathematischen Funktion. „Es handelt sich um Visualisierungen von Modellen und Theorien.“<sup>132</sup> „Die Schlussfolgerung wäre also, dass (zumindest ein Teil der) wissenschaftlichen Visualisierungen keinen indexikalischen Status mehr haben, der einer der grundlegenden Bedingungen für die Glaubwürdigkeit von Wissenschaftsbildern darstelle.“<sup>133</sup>

Entscheidend für die Glaubwürdigkeit der Wissenschaftsbilder ist nach HEßLER das *Verhältnis* von Indexikalischem, von den Bildern vorgängigen Daten und Fiktionalität. Dieses Verhältnis ist im jeweiligen Einzelfall zu prüfen. HEßLER erachtet die Frage nach

<sup>124</sup> (Schinzel 2003, S.5).

<sup>125</sup> (Heßler et.al. 2004, S.34).

<sup>126</sup> Vgl. (Mersch 2006, S.110).

<sup>127</sup> Vgl. ebd. S.111.

<sup>128</sup> (Schinzel 2003, S.1).

<sup>129</sup> Vgl. (Mersch 2006, S.111).

<sup>130</sup> Ebd. S.113.

<sup>131</sup> (Heßler, 2006, S.5).

<sup>132</sup> Vgl. ebd. S.8.

<sup>133</sup> Ebd. S.8.

der Referenz von digitalen Wissenschaftsbildern als hoch kompliziert. Hier ist weder die simple Aussage eines Referenzverlustes, des Verlustes des Indexikalischen, noch umgekehrt die Behauptung eines indexikalischen Status tragfähig.<sup>134</sup> Die neuen Wissenschaftsbilder stellen nach HEßLER hybride Objekte dar, „die auf der Grenze zwischen Wahrheit und Fiktion, Tatsache und Glaube schwanken. [Diese] Bilder sind sowohl autonom als auch konstruiert, sie sind gefunden und gefertigt, Imitate und Produkte.“<sup>135</sup>

Mit der digitalen Erzeugung von Bildern und dem Einsatz der Computergraphik findet nicht nur eine Zäsur in den Darstellungsweisen der Sichtbarmachung statt, sondern auch in Bezug auf das ästhetische Handeln von Wissenschaftlern.<sup>136</sup>

„Die Computergraphik überführt eine Fülle von Daten in die Sichtbarkeit und ist damit visuelles Erkenntnisinstrument. Visuelle Sinnproduktion wiederum bedeutet ein genuin ästhetisches Handeln, insofern mit Farben, Formen, Konturen, Linien etc. Sinn erzeugt wird,“ insofern also letztlich jedes Bild das Resultat ästhetischen Handelns ist.

Der ästhetische Reiz wissenschaftlicher Bilder verweist auf die Frage, welche Rolle diesem bei der Erkenntnisproduktion und -kommunikation zufällt, ganz im Sinne der platonischen Tradition, wonach das Schöne und das Wahre zusammengehören.

Wurde vor 1800 der Künstler unzweifelhaft als Experte des Sehens betrachtet, der mit den Wissenschaftlern bei der Herstellung wissenschaftlicher Illustrationen im direkten Austausch stand, so entwickelte sich nunmehr zunehmend Misstrauen hinsichtlich der Authentizität und Objektivitätsansprüche des Dargestellten. In dem Maße, wie die Kreativität des Blicks den Apparaten überlassen wurde und die Technik an die Stelle des unzulänglichen Subjekts rückte, entstanden neue Abhängigkeiten. Mit der Digitalisierung des Technischen sind diese Abhängigkeiten zugleich an die Programmierer übergegangen.<sup>137</sup> MERSCH betont, dass sich „[...] deren Werk als ebenso opak [erweist], weil die verfügbaren Softwarepakete en bloc erworben werden müssen und keinerlei Kontrolle oder Eingriff mehr dulden, wie ihre Herstellung, Zirkulation und Durchsetzung der Logik einer anonymen ökonomischen Maschinerie gehorcht, die anderen als nur wissenschaftlichen Interessen folgt.“<sup>138</sup>

Nach der Abkehr der modernen Wissenschaft von Anschauungen und bildverhafteten Ideologien hin zu rationalen Methoden, durch Messung physikalischer Größen und des Beschreibens mit mathematischen Mitteln, findet nun, bedingt durch die Möglichkeiten mathematischer bildgebender Verfahren und der wachsenden Partikularisierung und Komplexität der Erkenntnisse und Datenmengen, die nur noch mittels Verbildlichung kongnitiv erfassbar sind, eine Wiederentdeckung der visuellen Dimension in der Wissenschaft statt.<sup>139</sup> Dabei bedeuten diese Methoden nicht eine „Anschauung des Natürlichen, sondern einer visuellen Perzeption von Virtuellem, von kompliziert konstruierten Artefakten, deren Korrespondenz mit Gegebenem erneut kontingenter Konstruktionen bedarf.“<sup>140</sup>

---

<sup>134</sup> Vgl. (Heßler, 2006, S.9).

<sup>135</sup> Ebd. S.8.

<sup>136</sup> Ebd. S.36.

<sup>137</sup> Vgl. (Mersch 2006, S.113-114).

<sup>138</sup> Ebd. S.114.

<sup>139</sup> Vgl. (Schinzel 2003, S.1).

<sup>140</sup> (Schinzel 2003, S.2).



## 4.4 Das Medium GIS

### 4.4.1 Datenintegration *oder* Wie kommt die Welt in den Computer?

Mit der Beschreibung der seismischen Aktivität durch quantitativ bestimmbare physikalische Daten (Größen) *-Invarianten innerhalb Veränderungszusammenhängen-* und mit deren Sichtbarmachung innerhalb des Mediums GIS wird die Erforschung aspekthaft und es entsteht etwas Neues! Neu aufgrund physikalisch-mathematischer Abstraktion, neu aufgrund der Hinzunahme des speziellen Charakters des Visuellen und neu aufgrund der medialen Repräsentation durch computerbasierte Algorithmen und deren visueller Projektion auf ein 2D-Display.

Wie werden die Informationen über das Phänomen und seine Eigenschaften in Datenform und ihre Beziehungen in einem GIS überführt, abgebildet und behandelt? Die Welt ist unendlich komplex, Computersysteme jedoch sind begrenzt. Eine Repräsentation muss die Menge der zu erfassenden Details limitieren.<sup>141</sup> Um Informationen über die Phänomene der Welt medial zu verarbeiten, werden Abstraktionen benötigt, für die die Informatik Methoden entwickelt hat. Diese sollen im folgenden kurz und allgemein beschrieben werden.

Eine Charakteristik digitaler Technologie ist, dass ihre Repräsentation meist nur von einigen wenigen technischen Experten eingesehen werden kann. Was normalerweise gesehen wird, sind Sichten (Views), geschaffen, um die Inhalte der Repräsentationen in verständlicher Form zu präsentieren. In einem Computer (in diesem Fall in einem GIS) werden Phänomene als numerische Information in Form von binary digits repräsentiert. Ein Rechensystem reduziert auf die Kombination von 0 und 1.<sup>142</sup> „Daten lassen sich auffassen als Informationen über die reale Welt. [...]. Sie sind auf Rechnern darstellbare Eigenschaften oder Attributwerte von Objekten der Realität.“<sup>143</sup>

Die im Kapitel 4.1 beschriebenen Daten stellen die originären Geo-Informationen dar. Diese Informationen liegen in einer maschinell verarbeitbaren Form vor, deren Speicherung in der Regel in binärer Form erfolgt (0 und 1) und die auf der Grundlage von Bits als kleinste Speichereinheit dargestellt werden. „[...] Zahlen als numerische Bitfolgen, Zeichen als alphanumerische Bitfolgen.“<sup>144</sup>

Die Integration von Daten bedeutet einerseits, dass diese einheitlich modelliert und beschrieben werden müssen und andererseits, dass sie so zu speichern sind, dass ihre Widerspruchsfreiheit erhalten bleibt, um typübergreifende Operationen und einen schnellen Zugriff zu erlauben und flexible Auswertungen auf der Grundlage dieser Daten durchführen zu können. Um dies zu erreichen, werden die Eigenschaften von Sachverhalten und Prozessen, die in Form von Daten ausgedrückt sind, mit Hilfe von Datenbanksystemen in computertechnischer Form beschrieben und somit effizient,

<sup>141</sup> Vgl. Longley, Paul et.al. (2005): Geographic Information Systems and Science. Wiley, Second Edition, S.70.

<sup>142</sup> Ebd. S.65.

<sup>143</sup> Definition *Daten*. In: Glossar. Kursmaterial des Projekts eL3 (eLearning and eTeaching in Teacher Pre-and In-Service Education). Digitale Bilder bearbeiten und erstellen. Universität-Oldenburg. (Online. Stand 12.08.08).

<sup>144</sup> Ebd.

widerspruchsfrei und dauerhaft gespeichert, so dass der Benutzer über spezielle Anfragen auf sie zugreifen kann.

Die Art und Weise, wie Daten gespeichert und verwaltet werden, wird durch ein Datenbankmodell festgelegt. Die Modellierung geschieht durch Abstraktion, d.h. durch Vereinfachung und Verallgemeinerung der Realität. Ein Datenmodell dient der Beschreibung aller in einer Datenbank gespeicherten Daten und Beziehungen. Im Laufe der Zeit wurden eine Reihe verschiedenartiger Datenbankmodelle entwickelt, die die Grundsätze festlegen, wie in einer Datenbank ein konkretes Datenmodell umgesetzt werden kann. Derzeit vorherrschend sind relationale Datenbanksysteme. Das diesen Systemen zugrunde liegende relationale Datenbankmodell wurde 1970 von EDGAR F. CODD erstmals beschrieben. In relationalen Datenbanksystemen (DBS) werden die Daten tabellarisch in Relationen organisiert.<sup>145</sup> „A data model is a set of constructs for describing and representing selected aspects of the real-world in computer.“<sup>146</sup> „Ein DBS besteht aus zwei Teilen: der Verwaltungssoftware, genannt Datenbankmanagementsystem (DBMS) und der Menge der zu verwaltenden Daten, der eigentlichen Datenbank (DB). Die Verwaltungssoftware organisiert intern die strukturierte Speicherung der Daten und kontrolliert alle lesenden und schreibenden Zugriffe auf die Datenbank. Zur Abfrage und Verwaltung der Daten bietet ein Datenbanksystem eine Datenbanksprache an.“<sup>147</sup>

Als Strukturierungsmittel für die Modellierung wurde 1975 die 3-Schema(Ebenen)-Architektur vom *Standards Planning and Requirements Committee* (SPARC) des *American National Standards Institute* (ANSI) eingeführt. In ihr ist das Prinzip der *Separation of Concerns* für Datenbanken formuliert, um die Sicht der Benutzer auf die Daten von der Art der internen Organisation und der physischen Speicherung zu separieren.<sup>148</sup> Physisch sind die Daten lediglich auf der internen Ebene vorhanden, die anderen Repräsentationsformen werden jeweils bei Bedarf daraus berechnet bzw. abgeleitet.

Da verschiedene Benutzer verschiedene Ansichten derselben Datenmenge besitzen und da die Art, wie ein Benutzer die Daten sieht, sich im Laufe der Zeit ändern kann, wird zunächst mit Hilfe der sogenannten externen Sicht beschrieben, wie die verschiedenen Benutzer die sie interessierende Teilmenge der Daten sehen.<sup>149</sup> Für die gleichen Daten können also in Abhängigkeit von der Fragestellung unterschiedliche Aspekte als Geoinformation bedeutsam sein. Hier kommt eine subjektive d.h. vom jeweiligen fachlichem Interesse oder der jeweiligen Anschauung geprägte Realität zum Ausdruck. Mit der externen Ebene ist somit die fachwissenschaftliche und problemspezifische Sicht der Umwelt festgelegt. Dabei werden nur diejenigen Strukturen und Funktionen betrachtet, die für die Lösung eines fachspezifischen Problems unbedingt erforderlich sind.

Das wichtigste Abstraktionsmittel ist die Bildung von Objekten und die Zusammenfassung (Klassifikation) ähnlicher Objekte zu einem übergeordneten Typ (Klasse) unter Vernachlässigung spezieller Eigenschaften (Generalisierung).<sup>150</sup> Dazu wird für die

<sup>145</sup> Vgl. Brinkhoff, Thomas (2005): *Geodatenbankssysteme in Theorie und Praxis*. Einführung in objektrelationale Geodatenbanken unter besonderer Berücksichtigung von Oracle Spatial. Wichmann, Heidelberg, S.9.

<sup>146</sup> (Longley et.al. 2005, S.178).

<sup>147</sup> Seite *Datenbank*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, (Online. Stand 17.12.08).

<sup>148</sup> Vgl. Kudraß, Thomas (2007): *Taschenbuch Datenbanken*, Hanser Fachbuch, S.28-29.

<sup>149</sup> Vgl. Keller, Stefan (2003): „Modellarten.“ Hochschule für Technik Rapperswil, (Online. Stand 10.07.08), S.3.

<sup>150</sup> Vgl. Streit, Ulrich: „Einführung in die Geoinformatik.“ Vorlesung, Institut für Geoinformatik, Universität Münster, (Online.

Integration in ein GIS auf der externen Abstraktionsebene die Realwelt durch die Bildung von ideellen Geoobjekten (begrifflich begrenzte Einheiten) abstrahiert, die zu Klassen zusammengefasst werden. Dies geschieht indem nur jeweils bestimmte Aspekte und Perspektiven Berücksichtigung finden. Und zwar solche, welche hinsichtlich ihrer Form und ihrer relativen Lage im Raum (Geometrie), der Lagebeziehungen zu anderen Geoobjekten (Topologie), der fachlich relevanten Eigenschaften (Semantik, Thematik) und den zeitlichen Veränderungen (Dynamik) zu anderen Geoobjekten unterschieden werden können. In der Geoinformatik „gilt die Bezeichnung Objekt für alle konkreten Gegenstände und abstrakten Sachverhalte [...], mit mehr oder weniger exaktem Raumbezug“<sup>151</sup> „In der Regel wird der räumliche Bezug einzelner Punkte, Linien oder Flächen über die Einbindung in ein Koordinatensystem vorgenommen, womit auch der Bezug zwischen realer Welt und Metrik hergestellt wird.“<sup>152</sup> Die Geometriedaten können als Raster- (Pixel) oder Vektordaten (Polygone, Linien, Punkte) vorliegen.<sup>153</sup>

Das in dieser Arbeit betrachtete seismische Ereignis ist kein konkreter Gegenstand der physischen Welt, sondern ein messbares Phänomen. Es ist charakterisiert durch physikalische Eigenschaften wie Erdbebenstärke, Herdzeit räumliche Position. Dieses seismische Ereignis wird als Geoobjekt definiert. Das Geoobjekt *Seismisches Ereignis* wird durch seine Position  $x, y, -z$  (Geographische Koordinaten  $x, y$  plus Tiefenangabe  $-z$ ) und durch seine punktförmige diskrete Abstraktion beschrieben.

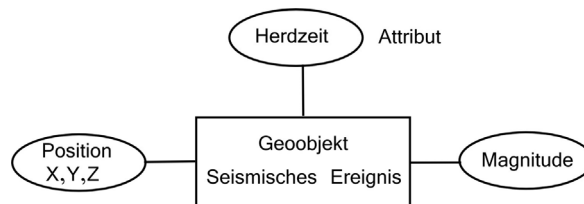


Abb. 2 Geoobjekt Seismisches Ereignis und Attribute.

Bei Anwesenheit von mehr als einem Geoobjekt wird durch eine weitere Abstraktion ein formalisiertes Modell der Realität entwickelt, welches dazu dient, die anfallenden Daten verstärkt zu gliedern und zueinander in Beziehung zu setzen. Dies erfolgt unter Beachtung von Aspekten fachwissenschaftlicher Methoden, die die, den Geoobjekten zugehörigen, geometrischen und thematischen Daten strukturieren, um die mediale Verwaltung und Speicherung der Daten sowie Zugriffsmechanismen und Funktionen für die Daten vorzubereiten.<sup>154 155</sup> Hier spricht man von Modellierung auf konzeptioneller

Stand 10.08.08).

<sup>151</sup> Hake, Günter & Grünreich, Dietmar (1994): Kartographie. 7. Auflage, de Gruyter, Berlin, S.14.

<sup>152</sup> Dassau, Otto et.al. (2005): Eine Einführung in den praktischen Umgang mit dem Freien Geographischen Informationssystem GRASS 6.0 Version 1.2. GDF Hannover bR, (Online. Stand 10.10.08), S.2.

<sup>153</sup> Vgl. ebd. S.2.

<sup>154</sup> Vgl. Stadler, Michael A. & Haynes, John-D. (1999): „Physikalische Komplexität und kognitive Strukturerkennung.“ S.21. In: Komplexe Systeme und nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Mainzer, K. (Hsg.), Springer, Berlin u.a., (Online. Stand. 10.07.08).

Ebene. Da in dieser Arbeit nur ein Geoobjekt (Seismisches Ereignis) betrachtet wird, entfällt eine weitere Strukturierung von Beziehungen zwischen Objekten.

Mit der Ermittlung der semantischen Information wird die begriffliche Grundbedeutung oder auch die auf das Wesen des Objekts bezogene Information betrachtet, wie die Angabe von Art und Beschaffenheit. Weiterhin wird die Objektmenge in Form von Intensitäten oder Größen angegeben. Allgemein werden diese Informationen über eine semantische Modellierung der Realität mit Hilfe der Unified Modeling Language (UML) oder des Entity-Relationship-Modells (ERM) ausgedrückt und graphisch visualisiert, auch um zu entscheiden, welche der Geoobjekte und ihrer Eigenschaften relevant sind und vor allem wie sie zueinander in *Beziehung* stehen.<sup>156</sup> Mittels der graphischen Modellbeschreibungssprache der *Entity-Relationship Modell* Syntax werden die definierten Geoobjekte der Realität in sogenannte Entitäten überführt. Dies sind Begriffe, welche speziell auf die Modellierung von Daten unter dem Aspekt der Implementierung von Datenbanken und Informationssystemen bezogen werden und die mit eindeutigen, meist dem Geoobjekt und seinen Attributen (Eigenschaften) identischen Namen beschrieben werden.<sup>157</sup> Entitätstypen werden durch einen Beziehungstyp miteinander verbunden und durch die Anzahl möglicher Beziehungen (Kardinalitäten) beschrieben. Als Name von Beziehungstypen werden Bezeichnungen (meist Verben) eingesetzt, die die Zuordnung verbal darstellen. Diese Technik wird vor allem dazu verwendet, die reale Welt in Form eines abstrakten Diagramms anschaulich darzustellen. Diese Diagramme können dann in ein Datenbankschema überführt werden. Es gibt Softwarewerkzeuge, die dabei helfen (CASE-Tools).

Im Prozess der Datenmodellierung folgt nach der semantischen die logische Datenmodellierung, denn die semantische reicht zur konkreten Implementierung nicht aus. Es fehlt ein Organisationsschema, in dem die Datenfelder, Datensätze und Dateien mit ihren Beziehungen zueinander abgebildet sind und in dem die Operationen im Datenbestand definiert werden.<sup>158</sup> Die logische Datenmodellierung ist im Gegensatz zur semantischen Datenmodellierung systemnah, d.h. der Modellierer weiß in dieser Phase, welche Art von Datenbanksystem zur Anwendung kommt. Die logische Datenmodellierung beschreibt die logische Struktur der Daten in einer Datenbank unter Verwendung des jeweiligen Datenbankmodells.

In relationalen Datenbanken werden die Daten tabellarisch in Relationen organisiert.<sup>159</sup> Ein Schlüssel ist ein Attribut oder eine Kombination aus mehreren Attributen, der einen Datensatz in einer Tabelle eindeutig identifiziert und die Beziehungstypen zwischen den Entitäten abbildet. In diesem Sinne ist er ein relativer Zeiger, weil er die Verbindung zu anderen Entitäten nicht über eine absolute Adresse von Datenelementen herstellt, sondern über Attributwerte. „Ein Primärschlüssel ist der Schlüssel einer Tabelle, der bei der Tabellendefinition zur Identifizierung der Datensätze ausgewählt wurde.“<sup>160</sup> „Beziehungen zwischen Datensätzen werden im relationalen Datenbankmodell über Fremdschlüssel

---

<sup>155</sup> Vgl. (Hake & Grünreich 1994, S.120).

<sup>156</sup> (Hake & Grünreich 1994, S.122).

<sup>157</sup> Vgl. ebd. S.?.

<sup>158</sup> Vgl. (Streit: Einführung in die Geoinformatik).

<sup>159</sup> (Brinkhoff 2005, S.9).

<sup>160</sup> Ebd. S.12.

realisiert. Ein Fremdschlüssel ist ein Attribut oder eine Attributkombination, die dem Primärschlüssel der einen Tabelle entspricht und in der anderen Tabelle als zusätzliches Attribut aufgenommen wird.“<sup>161</sup> „Die Definition von Tabellen erfolgt über eine Datendefinitionssprache (DDL), SQL ist die standardisierte Datenbanksprache für relationale Datenbanksysteme.“<sup>162</sup>

„Der dritte Schritt der Datenmodellierung wird als physisches Datenmodell bezeichnet. Hierbei wird das logische Datenmodell in der Datenbeschreibungssprache (Data Description Language) des Zielsystems umgesetzt. Unter Zielsystem wird ein DBMS verstanden, in dem die physischen Dateistrukturen, also die Anordnung der Daten auf den peripheren Speichern, und die logischen Zugriffspfade festgelegt werden. Das Modell wird zum Beispiel in einem Datenbankprogramm wie Access implementiert. Hierbei werden Tabellen angelegt, wobei durch die Felddefinition die Datenbeschreibung erfolgt. Ziel des physischen Datenmodells ist die minimale Zugriffszeit bei bester Speicherplatzauslastung.“<sup>163</sup> Das interne Schema beschreibt die Daten aus computernaher Sicht bzw. aus der Sicht des Systems. Es ergänzt das zugehörige logische Schema um datentechnische Aspekte wie Speichermethoden oder Hilfskonstrukte zur Steigerung der Effizienz.

---

<sup>161</sup> (Brinkhoff 2005, S.12).

<sup>162</sup> Ebd. S.9-10.

<sup>163</sup> Donker, Marco & Sattler, Björn (2002): Multidimensional Data Models and Aggregation. Seminararbeit im Rahmen des Seminars Management Support und Wirtschaftsinformatik. Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Universität Osnabrück, (Online. Stand 12.08.08), S.15.

#### 4.4.2 Anwendungsumgebung GRASS GIS

Im Vordergrund dieses Abschnitts steht die Beschreibung der allgemeinen Charakteristik der Datenhaltung und der Befehls- und Programmstruktur von GRASS GIS. Die zur Anwendung kommenden Techniken, Detailfunktionalitäten und Befehle bei der Umsetzung der Darstellungskonzepte werden mittels Code (Kapitel 6.3) dokumentiert. Auf diese Inhalte wird in diesem Abschnitt nicht eingegangen.

GRASS GIS steht als *Freie Software*<sup>164</sup> für die Freiheit der Nutzung, Modifizierung und Verbreitung der Programme und ihrer offenen Quellcodes.<sup>165</sup> Dank dieses freien Gedankenaustauschs zwischen Anwendern und Entwicklern ist die Freie Software mittlerweile ein Synonym für Innovation und Fortschritt geworden. Für die Freie Software wie das Geographische Informationssystem *GRASS GIS* bedeutet dies „eine ständige, weltweit organisierte und bedarfsorientierte qualitative Weiterentwicklung innerhalb kurzer Zeiträume.“<sup>166</sup> Diese Transparenz der Nutzung führt dazu, dass Open Source Software u.a. an Hochschulen und Forschungseinrichtungen in der Entwicklung neuer Methoden im GIS Bereich verstärkt eingesetzt wird.<sup>167</sup> Alle Programmquellen und Dokumentationen sind über die offizielle GRASS Homepage<sup>168</sup> herunterzuladen. GRASS wird sowohl als vorkompilierter Binärcode als auch als Sourcecode zum Selbstkompilieren angeboten.

GRASS ist ein hybrides GIS d.h. es besitzt raster- und vektororientierte Funktionalitäten und eine modular aufgebaute Programmstruktur, wobei jede GIS-Funktionalität mit einem eigenen Modul durchgeführt wird.<sup>169</sup> Mit anderen Worten, für fast jede Operation in GRASS muss ein eigenes Modul aufgerufen werden. Der Modulaufruf kann am zuverlässigsten kommandoorientiert über die Konsole (oder auch Shell genannt),<sup>170</sup> aber auch über die separate graphische Benutzeroberfläche *tcltk* ausgeführt werden. Trotz einer relativ übersichtlichen Modulstruktur ist die Bedienung und die Benutzerführung der verwendeten GRASS Version 6.2 mit der Bedienung kommerzieller Software nicht vergleichbar und erfordert einen erheblichen Einarbeitungsaufwand.

Bei einer Neuinstallation muss ein Hauptordner von GRASS einmalig vom Nutzer im Home-Verzeichnis eingerichtet und beim ersten Programmstart dem GIS mitgeteilt werden. Dieser Ordner wird auch als GRASS Datenbank bezeichnet.<sup>171</sup>

```
cd (Linux wechselt automatisch ins Homeverzeichnis des Users)
mkdir grassdata (Erstellen des Unterverzeichnisses für die GRASS Datenbank)
```

<sup>164</sup> Ausführliche Definition des Begriffs *Freie Software* durch die Free Software Foundation. In: (Dassau et.al. 2005, S.132).

<sup>165</sup> Vgl. ebd. S.1.

<sup>166</sup> Ebd. S.1.

<sup>167</sup> Vgl. Lappe, Klaus (2005): GIS-gestützte Modellierung von Ausstrichflächen geologischer Schichten in topographischen Karten. Abschlussarbeit zum Weiterbildungsstudium Geoinformatik, Institut für raumbezogene Informations- und Messtechnik, Fachhochschule Mainz, S.10.

<sup>168</sup> Offizielle Homepage: <http://grass.itc.it/>, <http://www.grass-gis.de/>

<sup>169</sup> (Dassau et.al. 2005, S.2).

<sup>170</sup> Kommandozeile, Shell, Befehlszeile, command line interface CLI, Eingabebereich für die Steuerung einer Software.

<sup>171</sup> Vgl. (Dassau et.al. 2005, S.5).

In GRASS wird für jedes GIS Projekt automatisch ein Unterverzeichnisbaum angelegt, der alle Projektdaten zu einem geographisch begrenzten Arbeitsgebiet speichert und der in GRASS *Location* genannt wird.<sup>172</sup> Prinzipiell können zwei Typen von Locations eingerichtet werden: die geographische Location (rechnet mit geographischen Koordinaten) und die XY-Location (rechnet mit Bildkoordinaten) als Zwischenschritt für die Geocodierung nicht referenzierter Kartenscans. Zum Aufbau einer geographischen Location sind als wichtigste Parameter die maximale Ausdehnung des rechteckigen Projektgebietes mit den geographischen Koordinaten (Rechts- und Hochwerte der Gebietsgrenzen), das Koordinatensystem, die Raumprojektion, das Referenzellipsoid und die Auflösung einstellbar. Für eine XY-Location wird nur die Gebietsausdehnung, die Pixelanzahl des Rasterbildes in x- und y-Richtung (ausgehend von der linken unteren Bildecke) und die Rasterauflösung benötigt.<sup>173</sup>

Die Gesamtinformationen zur Projektion, Auflösung und Ausdehnung des Projektgebietes werden innerhalb der angelegten Location in einem automatisch von GRASS generierten Teilarbeitsgebiet (Kartenverzeichnis) dem sogenannten Mapset PERMANENT abgelegt, entsprechend der Randkoordinaten der Location. Mit dessen Hilfe wird die Organisation und der Zugriff auf die Daten gesteuert. Hier können auch die Basisdaten eines Projektes abgelegt werden, wobei hier nur der Benutzer Schreibrechte besitzt, der das neue Projekt angelegt hat. Dadurch ist aufgrund der internen Struktur sichergestellt, dass die Daten nicht durch Dritte verändert werden können.<sup>174</sup>

Insbesondere bei Mehrbenutzerprojekten besteht die Möglichkeit, innerhalb einer Location mehrere Teilarbeitsgebiete (Mapsets) zu spezifizieren, in denen dann weitere eigene Daten und Analyseergebnisse auf Grundlage der Basisdaten der PERMANENT Mapset erzeugt, gespeichert und verändert werden können und deren Randkoordinaten nur kleiner oder gleich den Randkoordinaten der Location sein können.

Unterhalb der Mapset-Ebene befinden sich die Verzeichnisse für die Arbeitsdaten sowie die Dateien mit den Projektdaten. Da für Mapsets eigene Projektions- und Auflösungsparameter definiert werden können, enthalten die benutzerdefinierten Mapsets neben der Datei mit den Standard Projektdaten (DEFAULT\_WIND) noch eine Datei mit den mapset-spezifischen Projektionsparametern (WIND).<sup>175</sup>

In GRASS ist es möglich, für jede Arbeitssitzung oder jeden Arbeitsschritt eine Region zu definieren, die ungefähr mit der *area of interest* anderer GIS vergleichbar ist. Die Grenzen der Location und damit die maximal mögliche Ausdehnung eines Teilarbeitsgebietes innerhalb einer Location wird als Default Region ausgegeben. Die meisten Berechnungen, die GRASS durchführt, werden nur innerhalb der Ausdehnung der aktuellen Region ausgeführt. Das spezielle Prinzip in GRASS ist jedoch, dass die Region dynamisch mit jedem Zoom- oder Pan-Vorgang entsprechend der gerade verwendeten Randkoordinaten aktualisiert wird und dass die Bearbeitung einer aktuellen Region beim Verlassen des Programms in der Datei WIND abgelegt wird. Deshalb rät es sich unbedingt an, zu Beginn einer Arbeitssitzung die Parameter für die gewünschte Region entweder von der Default Region oder von den Randkoordinaten eines auszuwählenden

---

<sup>172</sup> Vgl. (Dassau et.al. 2005, S.5).

<sup>173</sup> Vgl. ebd. S.25/29.

<sup>174</sup> Vgl. ebd. S.6.

<sup>175</sup> Vgl. ebd. S.6-7.

Rasterbildes ausgehend zu setzen.<sup>176</sup> (Beispielaufbau einer GRASS 6.0 Datenbank unter Fussnotenlink<sup>177</sup>).

Die von GRASS zur Verfügung gestellten Datentypen bestehen aus den drei Kategorien Geometrie-, Sach- und Graphikdaten. Geometriedaten können als Raster-(Pixel) oder Vektordaten (Polygone/Linien/Punkte) vorliegen. Für das Arbeiten mit GRASS-Vektordaten ist es wichtig, das Datenmodell von GRASS-Vektoren zu kennen.<sup>178</sup> „GRASS nutzt ein topologisches Datenmodell. Das bedeutet, dass Flächen nicht als geschlossene Polygone vorhanden sind, sondern als ein oder mehrere Umrandungen (Boundaries).“<sup>179</sup>

Eine Fläche welche aus einer Umrandung und einem Zentroid besteht und der diese Fläche als ein sog. Labelpunkt mit einer Attributtabelle verknüpft.<sup>180</sup>

In GRASS wird zur Verwaltung von Vektordaten per default das dBase Format verwendet. Attribute können in externen Datenbanktabellen abgelegt werden, beispielsweise über DBF, PostgreSQL, MySQL, SQLITE3, Oracle.<sup>181</sup> Punktdaten sind eine Sonderform der Vektordaten und werden zur Speicherung punktuell im Raum verteilter Informationen eingesetzt. Seit GRASS 6.0 ist dieser Datentyp im Gegensatz zu den Versionen 5.0.x und 5.4 als Vektorpunkte speicherbar und hat entsprechende Eigenschaften von Vektordaten. Sachdaten sind Attribute, die mit Raster- oder Vektordaten verknüpft werden. Die Speicherung erfolgt meist GIS-intern oder kann über ein Database Management Interface an das GIS gekoppelt werden. Graphikdaten sind dafür verantwortlich, wie ein räumliches Objekt unter einer bestimmten Thematik an einem bestimmten Ausgabegerät (Monitor, Plotter usw.) dargestellt wird.<sup>182</sup>

Die GRASS-Befehle sind sehr klar strukturiert. Sie stellen eigenständige Programme dar und werden in GRASS als Module bezeichnet. Die Art des Befehls, ist an dem Kürzel vor dem ersten Punkt (Präfix) zu erkennen. Nachfolgend haben die Befehle beschreibende Namen. Das Modul zum rasterbasierten Digitalisieren heißt z.B. `r.digit`.<sup>183</sup> Zu beachten ist, dass das Management der Projektdaten wie Kopieren, Löschen und Umbenennen in GRASS mit den entsprechenden GRASS-Befehlen durchgeführt werden muss, da die unterschiedlichen Bestandteile (Geometrie-, Sach- und Graphikdaten) der einzelnen Layer in verschiedenen Unterverzeichnissen abgelegt werden.<sup>184</sup>

Neben von GRASS bereitgestellten Modulen, können sämtliche Unix/Linux Programme über die Shell aufgerufen werden. Um Interoperabilität zu gewährleisten, bietet GRASS eine Anzahl von Modulen, mit denen Vektor-, Raster- und Punktdaten anderer Software importiert werden können.<sup>185</sup>

<sup>176</sup> Vgl. (Lappe, Klaus 2005, S.10).

<sup>177</sup> Detaillierter Überblick über die Dateistruktur einer GRASS Location. In: GRASS 6 Programmer's Manual [http://download.osgeo.org/grass/grass6\\_progman/main.html](http://download.osgeo.org/grass/grass6_progman/main.html), (Online. Stand 13.08.08), Main Page.

<sup>178</sup> Vgl. (Dassau et.al. 2005, S.2).

<sup>179</sup> Sherman, Gary E. et.al.: Quantum GIS Benutzerhandbuch Version 0.8.0 Titan. S.54.

<sup>180</sup> Vgl. ebd. S.55.

<sup>181</sup> Vgl. ebd. S.3.

<sup>182</sup> Vgl. ebd. S.3-4.

<sup>183</sup> Vgl. ebd. S.8.

<sup>184</sup> Vgl. ebd. S.6.

<sup>185</sup> Vgl. (Sherman, S.8).



#### 4. Sichtbarkeit des Denkens

GRASS bietet neben der Erstellung von 2D-Karten auch die Möglichkeit, 3D-Visualisierungen und Animationen zu erstellen. Intern gibt es dafür das Modul NVIZ, extern sind Schnittstellen zu den freien Software Programmen Vis5D und Vis5D+ und Paraview vorhanden. NVIZ ist ein Visualisierungswerkzeug, „das von Helena Mitasova, Bill Brown und Lubos Mitas (University of Illinois, GMS-Labs) auf SGI-Plattformen entwickelt wurde. Jaro Hofierka (Bratislava) portierte es plattformunabhängig nach Tcltk für PC/Linux, SUN, usw.“<sup>186</sup> Hiermit können Visualisierungen und einfache 3D-Abfragen von dreidimensionalen Raster- und Vektordaten (Linien und Punktvektor) durchgeführt werden sowie Filmanimationen erstellt werden. „NVIZ allows users to realistically render multiple surfaces in a 3D space, optionally using thematic coloring, draping GRASS vector files over the surfaces, and displaying GRASS site files either draped on the surfaces or as 3D point locations.“<sup>187</sup>

---

<sup>186</sup> Neteler, Markus (2000): GRASS-Handbuch. Leitfaden zum Geographischen Informationssystem GRASS. (Online. Stand 13.08.08).

<sup>187</sup> GRASS GIS 6.4.svn Reference Manual. (Online. Stand 13.08.08).

## 5. Eine systemtheoretische Betrachtung der Erdbebendynamik

### 5.1 Indeterminierbar aber strukturbildend!

An dieser Stelle soll nun der Grund der Darstellung, das zu untersuchende Naturphänomen in den Mittelpunkt der Betrachtung gelangen.

Was muss man sich über Erdbeben klar machen? In welchem Verhältnis steht der Mensch zu ihm? Welche Relevanz besitzt die Erdbebenforschung und welchen Erkenntnisproblemen steht sie gegenüber? Unter welchen wissenschaftlichen Gesichtspunkten können Erdbeben betrachtet werden?

Das Phänomen Erdbeben ist in der empirischen Forschung der Seismologie ein in seinen physikalischen Mechanismen und in seiner raum-zeitlichen Dynamik noch größtenteils unverstandenes Ereignis. Die Unzugänglichkeit der nicht mit natürlichen menschlichen Sinnen beobachtbaren Natur stellt eine der großen Herausforderungen der Seismologie und generell der endogenen Geowissenschaften dar. Physikalische Eigenschaften, Prozesse und Kräfte, die zu Erdbeben führen, finden endogen, in einem für den Menschen nicht direkt zugänglichen Raum statt. Durch technische Methoden und Instrumente wie Reflexionsseismik und Seismographen besteht die Möglichkeit, die menschlichen Sinne zu verlängern und den Raum des Erdinnern zu erkunden und die gewonnenen Informationen zu interpretieren.

Erdbeben haben generell tektonische Ursachen, d.h. „sie sind Ausdruck instabiler Bruch- und Verschiebevorgänge im elastisch-spröden Bereich der Erdkruste als Folge der sich dort anstauenden Spannungen.“<sup>188</sup> Tektonische Erdbeben können durch die Scherbruch-Theorie beschrieben werden, die annimmt, dass auf zwei tektonische Platten Kräfte in entgegengesetzter Richtung wirken. Scherspannungen bauen sich solange auf, bis der Reibungswiderstand, der die Verwerfungsflächen blockiert, schließlich überwunden wird und ein Bruch erfolgt, bei dem die Energie abrupt freigesetzt wird.<sup>189</sup> Der Bruch erfolgt meist ohne erkennbare Vorwarnung, wobei die Erschütterungsdauer von der Stärke des Erdbebens und der Bruchentfernung abhängig ist, jedoch meist kürzer als 10 Sekunden anhält.<sup>190</sup> „Dabei liegen die Schwingungsfrequenzen vorzugsweise zwischen 3 und 20 Hz. Zwei Schwingungstypen mit unterschiedlicher Geschwindigkeitsausbreitung und Zerstörungskraft treten auf: Die schnellere Druckwelle, auch P-Welle (Primärwelle) genannt, breitet sich mit einer Geschwindigkeit von ca. 7 km/s aus, während sich die transversale Schwingung, S-Welle (Sekundärwelle) oder Scherwelle genannt, mit ca. 4 km/s ausbreitet und größere Zerstörungskraft besitzt.“<sup>191</sup> Die Aufzeichnungen der Erdbebenwellen durch Seismographen können über die Lage des Hypozentrums, d.h. den Ort des Bruchbeginns, wie auch über die Orientierung der Bruchfläche Auskunft geben. Das quantitative Maß für die Stärke eines Erdbebens ist, wie schon zu Anfang der Arbeit beschrieben, die Magnitude.<sup>192</sup>

---

<sup>188</sup> (Hainzl 1998, S.7).

<sup>189</sup> Vgl. Press, Frank & Siever, Raymond (1995): Allgemeine Geologie. Spektrum, Heidelberg, S.407-408.

<sup>190</sup> Vgl. (Hainzl 1998, S.7).

<sup>191</sup> Ebd. S.7.

<sup>192</sup> Vgl. ebd. S.7.

Im Sunda Bogen in Indonesischen Gewässern liegt die geologisch kritischste Zone im Indischen Ozean. Der Sunda Bogen breitet sich über 5600 km zwischen den Andaman Inseln im Nordwesten bis zum Banda Bogen im Osten aus. Am Sunda Bogen kollidieren die Eurasische und die Indo-Australische Krustenplatte. Dabei wird die Indo-Australische Platte in nordwestlicher Richtung mit einer Geschwindigkeit von etwa 5 cm pro Jahr unter den indonesischen Archipel subduziert. Bei dieser Bewegung können sich die Platten miteinander verhaken und es bauen sich Spannungen auf, deren Abbau zu Erdbeben führen kann.

Erdbeben zählen zu den verheerendsten Naturkatastrophen, bei denen nicht selten zehntausende Menschenleben gefordert und wirtschaftliche Schäden von mehreren 10 Milliarden Euro angerichtet werden. Dies macht die Erforschung von Erdbeben so bedeutungsvoll und folglich ist mit der Untersuchung von Erdbeben das Fernziel der Erdbebenvorhersage oder zumindest einer Verbesserung der Risikoabschätzung verbunden.<sup>193</sup>

Derzeit sind Langzeit-Vorhersagen eines Erdbebens über Jahrzehnte anhand statistischer Auswertungen, ausgedrückt als Wahrscheinlichkeiten, zwar durchaus möglich. In gefährdeten Gebieten kann auf diese Gefahren mit nachhaltigen Schutzmassnahmen, wie zum Beispiel der erdbebensicheren Bauweise von Häusern reagiert werden, wenn sich das Bauen in solchen Gebieten nicht vermeiden lässt. Doch eine kurzfristige Vorhersage für einen Zeitraum von wenigen Wochen oder gar Tagen, um die Bevölkerung vor einem bevorstehenden Erdbeben warnen und sie gegebenenfalls evakuieren zu können, ist derzeit ausgeschlossen.<sup>194</sup> Entgegen dem Wunsch nach Erkenntnis und Vorhersagbarkeit sieht sich die Forschergemeinschaft dem Problem einer möglicherweise inhärenten Unvorhersagbarkeit von Erdbeben gegenüber.<sup>195</sup> Diese Inhärenz zu klären, ist ein Anliegen der aktuellen Forschungen. Hierbei liegt ein Augenmerk auf dem Verstehen des Raum- und Zeitverhaltens, der Dynamik, als Schlüssel zur Deutung und Vorhersage für sinnvolle Zeitspannen.

Ein Beben erschüttert die Welt: Sumatra, 26. Dezember 2004. Der Katastrophe des vieltausendfachen Todes durch einen Tsunami, ausgelöst durch ein untermeerisches Erdbeben (Magnitude >9) im Indischen Ozean, stand die Weltgesellschaft erschüttert gegenüber und brachte eine aktuelle Diskussion über Risiken und Vorhersagbarkeiten von Erdbeben und die durch diese verursachten Tsunamis in die Öffentlichkeit. Als eine Reaktion auf diese Katastrophe wurde in Deutschland unter Federführung des Deutschen GeoForschungsZentrum in Potsdam, in Zusammenarbeit mit Institutionen in Indonesien, das Forschungsprojekt *GITEWS German Indonesian Tsunami Early Warning System* ins Leben gerufen. Dieses strategische Warnsystem beruht auf neueste technisch-wissenschaftliche Entwicklungen und dient dem Schutz der an Küsten lebenden und gefährdeten Bevölkerung Indonesiens und der Anrainerstaaten. Eine tatsächliche Vorhersagbarkeit von Erdbeben bezweckt dieses System jedoch nicht. In die Entwicklung von GITEWS fließen Erkenntnisse aus der Erdbebenforschung ein, die das GFZ Potsdam

---

<sup>193</sup> Vgl. Zöller, Gert (1998): *Analyse raumzeitlicher Muster in Erdbeben Daten*. Diss. rer. nat., Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Potsdam, S.1.

<sup>194</sup> Vgl. Ulmer, Simone (2005): „Bleibt die Erdbebenvorhersage ein Wunschtraum? Neue Projekte zur Überwachung von Störungszonen gestartet.“ Universität Karlsruhe, (Online. Stand. 11.09.08). S.1.

<sup>195</sup> Vgl. (Hainzl, 1998 S.1).

gemeinsam mit weiteren Institutionen betreibt. GITEWS versucht, die den Tsunamis vorausgehenden Signale eines starken Erdbebens durch ein dichtes Netz von Seismometern innerhalb der Region und den Durchgang von Tsunamis durch Drucksensoren am Meeresboden zu registrieren. Über ein nationales Warnsystem wird anhand dieser Informationen nach etwa zehn Minuten eine Warnmeldung über klar definierte Kommunikationswege ausgegeben, welche auf im Vorfeld berechnete Computersimulationen für denkbare Tsunami-Ereignisse zurückgreift.

Die Grundfeste der durch den Physiker ISAAK NEWTON geprägten Entdeckungen deterministischer, berechenbarer Naturgesetze in Raum und Zeit und der darauf beruhenden Auffassung von der Vorhersagbarkeit der Welt wurden schon durch das Erdbeben in Lissabon 1755 erschüttert. Eine in literarischer Form durch VOLTAIRES *Poem sur le Désastre de Lisabonne* und *Candide* zum Ausdruck gebrachte Desillusionierung um den Verlust der „besten aller möglichen Welten.“<sup>196</sup> So schreibt VOLTAIRE: „Man wird Mühe haben zu erraten, wie die Gesetze der Bewegung so entsetzliche Verwüstungen in der besten aller möglichen Welten anrichten. [...] Welch trauriges Spiel des Zufalls ist doch das Spiel des menschlichen Lebens!“<sup>197</sup>

Um die Jahrhundertwende entdeckte der französische Mathematiker HENRI POINCARÉ, dass innerhalb der klassischen Mechanik<sup>198</sup> völlig verwirrende Trajektorien auftreten können, welche die vorherrschenden Vorstellungen über Determinismus, wie sie beispielsweise der französische Philosoph und Mathematiker PIERRE SIMON LAPLACE entwickelte, erheblich revidierten.<sup>199</sup>

Der durch die Erdbebenkatastrophen bedingte Zweifel an den klassischen Auffassungen von Raum und Zeit und der Determinierbarkeit der Welt fand um die Jahrhundertwende auf der Grundlage der Relativitätstheorien von ALBERT EINSTEIN und der zeitlich darauf folgenden Quantenfeldtheorie auf kleinen Skalen (Standardmodell der Elementarteilchenphysik) eine empirische Bestätigung. Hier werden philosophische Raum-Zeit-Konzepte, wie sie bereits von ARISTOTELES, KANT, NEWTON, LEIBNIZ, MACH und anderen kritisch diskutiert wurden, empirisch nachmessbar bestätigt, welche den Vorstellungen der klassischen Mechanik NEWTONS auf Mikro- und Makromaßstäben widersprachen und ein ganzes Weltbild von Wissenschaftlern in Frage stellten. Dies waren der *relative* Raum-Zeit-Begriff (Relativitätstheorie) als eine durch Materie beeinflusste dynamische Größe und die Einführung des Begriffs des Indeterminismus und der Wahrscheinlichkeit von Observablen und Zuständen sowie der Zustandsabhängigkeit eines Objektes vom Subjekt.<sup>200</sup>

<sup>196</sup> Bott, Tobias (2001): Der Umsturz aller Verhältnisse? Kleists Das Erdbeben in Chili als Beitrag zur Theodizeediskussion nach dem Erdbeben von Lissabon. Abschlussarbeit Lehramt an Gymnasien, (Online. Stand 01.05.08), S.?.

<sup>197</sup> Voltaire zit. nach: Ebd. S.14.

<sup>198</sup> Dreikörperproblem: „Dabei handelt es sich um ein nichtlineares Differentialgleichungssystem mit drei Freiheitsgraden. Poincaré erkannte, dass sich die Störungen des zusätzlichen dritten Körpers durch Rückkopplungen verstärken und so unvorhersagbare Veränderungen in den (weiterhin deterministischen und prinzipiell berechenbaren) Bahnen der beiden anderen Körper hervorrufen können. Poincaré sah also deutlich, dass deterministisches Chaos bei den Planetenbewegungen, also im Falle eines konservativen nichtlinearen dynamischen Systems, möglich ist.“ Kappelhoff, Peter (2003): „Chaos- und Komplexitätstheorie.“ Empirische Wirtschafts- und Sozialforschung, Bergische Universität Wuppertal, (Online. Stand 01.05.08), S.2.

<sup>199</sup> Vgl. Haken, Hermann & Wunderlin, Arne (1991): Die Selbststrukturierung der Materie. Synergetik in der unbelebten Welt. Vieweg, Braunschweig, S.381.

<sup>200</sup> Vgl. Lyre, Holger (1997): „Der Naturbegriff im Lichte der Quantentheorie.“ Philosophy Department, University of Bonn, (Online. Stand 01.05.08), S.5.

In die Folge der Entdeckungen empirisch beobachtbarer nicht-deterministischer Prozesse reiht sich eine weitere Theorie ein, die für die heutige Erdbebenforschung grundlegende Fragestellungen der raum-zeitlichen Dynamik von Erdbebenphänomenen definiert: *die Theorie komplexer dynamischer Systeme*. Da die systemtheoretische bzw. systemische Perspektive von Erdbeben bei der Darstellungsentwicklung dieser Arbeit zur Anwendung kommt, wird die Charakteristik komplexer dynamischer Systeme im folgenden vorgestellt.

### Komplexe dynamische Systeme

Komplexität beschreibt ein Verhalten von Systemen,<sup>201</sup> welches sich an den Grenzen der praktischen Berechenbarkeit bewegt, höchst verwundbar ist gegenüber chaotischem Verhalten, auf dem Weg zum und im Zustand von Chaos Unvorhersagbarkeit birgt und in der Lage ist, spontan Emergenz von Ordnung durch Selbstorganisationsprozesse herzustellen.

Die Nicht-Determinierbarkeit solcher Systeme „macht es erforderlich, den Begriff der Kausalität, der eng mit dem Determinismusbegriff verknüpft ist, differenzierter zu betrachten. Seit dem Zeitalter NEWTONS wurde die Welt als linear begriffen. Unter diesem klassischen deterministischen Kausalitätsprinzip versteht man, dass in unserer Welt jedes Ereignis auf eine Ursache in der Vergangenheit zurückgeführt werden kann und umgekehrt jede Ursache eine genau bestimmte Wirkung in der Zukunft hat. Kennt man den Jetzzustand eines Systems sowie die Kräfte, die in dem System wirksam sind, so lässt sich seine Zukunft vorhersagen – und zwar zu jedem Zeitpunkt.“<sup>202</sup> „Diese zentrale Eigenschaft begründet z.B. die Reproduzierbarkeit von Messungen in den Naturwissenschaften. Ein solches Systemverhalten ist damit jederzeit reproduzierbar, werden nur seine Anfangsbedingungen jedesmal gleich gewählt.“<sup>203</sup>

Die Ursache für die Wege komplexer Systeme ins Chaos liegt in den Eigenschaften ihrer Nichtlinearität begründet. Denn mit der Beschreibung nichtlinearer Prozesse kommt es zur Einschränkung des *starken Kausalitätsprinzips*, demnach ähnliche Ursachen ähnliche Wirkungen haben. Ursache und Wirkung stehen nicht mehr in einem einfachen, linearen Zusammenhang, sondern es besteht eine komplizierte, häufig exponentielle Abhängigkeit. Diese Systeme sind sehr anfällig gegenüber lokalen infinitesimalen Störungen und dadurch sensitiv abhängig von den Anfangs- und Randbedingungen. Eng benachbarte Anfangswerte können nach wenigen Iterationsschritten zu irregulär auseinanderlaufenden Trajektorien führen. Diese wachsen sehr schnell –meistens exponentiell– an und entwickeln sich innerhalb kurzer Zeit zu makroskopisch größten Veränderungen. Es entstehen somit ganz unterschiedliche Wirkungen, trotz ähnlicher Ursachen.<sup>204</sup> <sup>205</sup> „Man kann diese sensible Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen geradezu als Charakteristikum chaotischer Bewegungen bezeichnen.“<sup>206</sup> Kritische Punkte, an denen kleinste Einflüsse durch Iteration so weit verstärkt werden, dass es zu einer

---

<sup>201</sup> System: „eine aufgaben-, sinn- oder zweckgebundene Einheit von in Wechselwirkung stehenden Elementen die sich gegenüber der sie umgebenden Umwelt abgrenzen.“ Seite *System*. In: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie. (Online. Stand 06.06.08).

<sup>202</sup> Vgl. (Haken & Wunderlin 1991, S.381).

<sup>203</sup> Vgl. ebd. S.381.

<sup>204</sup> Vgl. ebd. S.22.

<sup>205</sup> Vgl. (Gerthsen & Vogel 1993, S.857/865).

<sup>206</sup> (Haken & Wunderlin 1991, S.424).

Verzweigung von Lösungen kommt und das gesamte System in eine neue Richtung läuft, nennt man Bifurkation (Verzweigungspunkt).<sup>207</sup> Auch beschrieben als qualitative Zustandsänderungen in nichtlinearen Systemen unter Einfluss eines Parameters. (Beispiel)<sup>208</sup>

Weiterhin bestehen bleibt das schwache Kausalitätsprinzip *Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen*, das heißt, das nichtlineare Gesetz ist mathematisch vollständig determiniert, der jeweils nächste Entwicklungsschritt ist durch den status quo ante determiniert.<sup>209</sup>

Diesen Vorgängen liegen Gleichungen zugrunde, die den künftigen Zeitverlauf eindeutig festlegen –wie aus der Newtonschen Mechanik bekannt– die aber trotzdem einen völlig unregelmäßigen Verlauf besitzen, der auf längere Zeiten unvorhersagbar ist.

Die Dynamik des Systems, d.h. die Änderung der Systemzustände in der Zeit, wird durch deterministische Differentialgleichungen beschrieben, wobei jeder zukünftige Zustand durch den Systemzustand bzw. Gegenwartszustand eindeutig bestimmt ist.<sup>210</sup> „Exakt gleiche Ursachen haben zwar weiterhin exakt gleiche Wirkungen, aber realistisch gesehen gibt es weder exakt gleiche Ursachen, noch können die jeweiligen Anfangsbedingungen genau ermittelt werden.“<sup>211</sup> „Komplexe Systeme sind als determinierte Systeme also zwar weiterhin grundsätzlich berechenbar, aber meist nicht analytisch lösbar und damit praktisch auch nicht prognostizierbar. Denn was nämlich grundsätzlich, etwa für den Laplaceschen Dämon<sup>212</sup> berechenbar ist, braucht praktisch nicht vorhersagbar zu sein.“<sup>213</sup> „Dieses Systemverhalten wird kurz als deterministisches Chaos bezeichnet: Deterministisch meint also dabei die Beibehaltung der schwachen Kausalität, Chaos hingegen die Verletzung der starken Kausalität.“<sup>214</sup>

Eine wesentliche neue Erkenntnis ist, „dass diese Erscheinungen weit verbreitet sind und z.B. eine Wettervorhersage für längere Zeit unmöglich machen. So sagte der amerikanische Meteorologe E.N. LORENZ, der diesen Effekt fand, dass der Schlag eines Schmetterlings in Peking das Wetter an der Westküste der USA beeinflussen könnte.“<sup>215</sup>

Die Ursache des exponentiellen Wachstums von Unterschieden in den Anfangsbedingungen sind Mechanismen von positiver und negativer Selbstverstärkung, die als Rückkoppelungseffekte bezeichnet werden. Mathematisch sind dies Terme, die wiederholt mit sich selbst multipliziert werden.

<sup>207</sup> Vgl. Ratter, Beate M.W. (2006): „Komplexitätstheorie und Geographie. Ein Beitrag zur Begründung einer anderen Sicht auf Systeme.“ S.116. In: Mitteilungen der Österreichischen geographischen Gesellschaft. 148. Jg. (Jahresband), Wien.

<sup>208</sup> „Ein einleuchtendes Beispiel aus der Natur ist der Schmelz- oder der Siedepunkt von Wasser.“ Ebd. S.116.

<sup>209</sup> Vgl. Mainzer, Klaus (2004): „Was sind komplexe Systeme? Komplexitätsforschung als integrative Wissenschaft. Beiträge des 1. Wissenschaftlichen Symposiums.“ Deutsch-Japanische Gesellschaft für integrative Wissenschaft, Institut für Interdisziplinäre Informatik, Universität Augsburg, S.2.

<sup>210</sup> Vgl. (Mainzer 2004, S.4).

<sup>211</sup> Vgl. (Gerthsen & Vogel 1993, S.865).

<sup>212</sup> „Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Universums als Folge eines früheren Zustandes ansehen und als Ursache des Zustandes, der danach kommt. Eine Intelligenz, die in einem gegebenen Augenblick alle Kräfte kannte, mit denen die Welt begabt ist, und die gegenwärtige Lage der Gebilde, die sie zusammensetzen, und die überdies umfassend genug wäre, diese Kenntnisse der Analyse zu unterwerfen, würde in der gleichen Formel die Bewegungen der größten Himmelskörper und die des leichtesten Atoms einbegreifen. Nichts wäre für sie ungewiss, Zukunft und Vergangenheit lägen klar vor ihren Augen.“ Laplace zit. nach: Seite *Laplacescher Dämon*. In: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie. (Online. Stand 06.06.08).

<sup>213</sup> (Kappelhoff 2003, S.3).

<sup>214</sup> Skrirke, Ulf (1998): *Technologie und Selbstorganisation. Zum Problem eines zukunftsfähigen Fortschritts*. Diss. Phil., Fachbereich Philosophie, Universität Hamburg, (Online. Stand 18.11.08).

<sup>215</sup> (Haken & Wunderlin 1991, S.22).

## Selbstorganisation

„Nichtlineare Dynamik führt jedoch nicht nur zu Chaos, sondern ermöglicht auch Selbstorganisation und das Entstehen von Emergenz von Ordnung in komplexen Systemen.“<sup>216</sup> „Selbstorganisation meint die spontane Produktion, Reproduktion und Veränderung prozessualer Muster in einem System bzw. kohärenten Verhaltensmuster aufeinander bezogener Systeme“<sup>217</sup> oder nach MÜLLER „... die spontane Entstehung von makroskopisch geordneten zeitlichen, räumlichen, raumzeitlichen oder funktionalen Strukturen aus mikroskopischer Unordnung.“<sup>218</sup> Seit den 60er Jahren wurde die Theorie der Selbstorganisation in verschiedenen Disziplinen angewandt und weiterentwickelt. Im Bereich der Physik und Chemie sind HERMANN HAKEN und ILYA PRIGOGINE wesentliche Vertreter.<sup>219</sup>

PRIGOGINE, der 1977 mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet wurde, beschäftigte sich mit der Emergenz makroskopischer Strukturen in der Chemie und wies nach, dass auch in der unbelebten Natur spontan geordnete dissipative Strukturen entstehen.<sup>220</sup>

„Der Begriff der dissipativen Struktur drückt ein Paradox aus, da Dissipation auf Zerstreuung, Auseinanderfallen und Chaos hinweist und Struktur das Gegenteil davon darstellt. Es handelt sich hierbei um Systeme, welche, um sich zu entwickeln und ihre Identität zu behalten, Energie und Materie verbrauchen müssen. Sie müssen nach außen offene Systeme sein, die Energie beziehen [...] und Energie in die Umgebung zerstreuen (dissipieren).“<sup>221</sup>

„Selbstorganisationsprozesse sind daher immer Ungleichgewichtsprozesse. Sofern dem System ebenso viel Information zugeführt wird wie zugleich verloren geht, entstehen spontan geordnete Strukturen im Sinne von dynamisch stabilen Zuständen, wobei diese wesentlich von den Anfangsbedingungen des Systems abhängig sind.“<sup>222</sup>

„Selbstorganisation und Emergenz von Ordnung lässt sich in mathematischer Analyse auf eine nichtlineare Zirkelkausalität bzw. Rekursivität der Systemelemente zurückführen.“<sup>223</sup>

Die makroskopischen Ordnungsstrukturen entstehen durch Wechselwirkungen mikroskopischer Elemente innerhalb eines offenen Systems.<sup>224</sup> Durch die Rückkopplungen von Systemelementen, bei denen Wirkungen von Ursachen selbst wieder zu Ursachen werden, um ihre Ursachen zu beeinflussen, können makroskopische Strukturen entstehen. Diese sind nicht durch die Systemelemente vorgegeben, sondern werden durch die Vernetzung von Einzelementen und ihren Wechselwirkungen bei geeigneten Anfangs- und Nebenbedingungen möglich. Diese können jedoch mit Hilfe der einzelnen Teile nicht

<sup>216</sup> (Mainzer 2004, S.2).

<sup>217</sup> Schiepek & Strunk zit. nach: Schallnus, Ricarda (2006): *Mitarbeiterqualifizierung und Wissensnutzung in Konzernen und Unternehmensnetzwerken*. Diss., Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie, Freie Universität Berlin, S.79.

<sup>218</sup> (Müller, F. et.al. 1997) zit. nach: Waruschewski-Segschneider, Gabriele (2002): *Die Bildgenese in der informellen Malerei als Prozess der Selbstorganisation am Beispiel Emil Schumachers*. Eine systemwissenschaftliche Untersuchung. Diss. Phil., Fachbereich Kultur- u. Geowissenschaften, Universität Osnabrück, S.3.

<sup>219</sup> Vgl. Fuchs, Christian & Hofkirchner, Wolfgang (2003): *Studienbuch Informatik und Gesellschaft*. Books on Demand, S.111-112.

<sup>220</sup> Vgl. (Ratter 2006, S.115).

<sup>221</sup> Brunnsteiner, Bernhard et.al. (2006): „Selbstorganisation.“ VU Qualitative Systemwissenschaften, Karl-Franzens Universität Graz, (Online. Stand. 01.12.08), S.5.

<sup>222</sup> (Mainzer 2004, S.4).

<sup>223</sup> Ebd. S.8.

<sup>224</sup> Vgl. ebd. S.4)

erfasst werden oder existieren gar nicht, bzw. sind nicht aus der isolierten Analyse des Verhaltens einzelner Systemkomponenten erklärbar. Die mikroskopischen Zustände der Elemente der aus einer großen Anzahl von Elementen bestehenden komplexen dynamischen Systeme bestimmen den makroskopischen Zustand des Systems.<sup>225</sup>

Emergenz von Ordnung wird in zwei verschiedenen Formen beschrieben. Definiert als „Auftreten einer neuen Eigenschaft auf der Makro-Ebene, welche nicht deterministisch auf den Zustand der Mikro-Ebene reduziert werden kann (*das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile*).“ (Beispiel<sup>226</sup>). Sowie „als Auftreten von Novität oder neuer Qualität, die nicht als deterministische Entwicklung eines vergangenen Zustandes beschrieben werden kann (*das Neue ist mehr als das Alte*).“<sup>227</sup> (Beispiel<sup>228</sup>)

Eine Theorie die 1970 aus der statistischen Physik der Nichtgleichgewichtssysteme hervorgegangen ist, ist die Synergetik nach HERMANN HAKEN. Das Wort entstammt dem Griechischen und bedeutet so viel wie die Lehre vom Zusammenwirken. Eine Frage, die sich HAKEN stellte, war, ob dem Entstehen makroskopischer Strukturen immer die gleichen Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen, unabhängig von der Natur der einzelnen Teile. Die Synergetik hat damit den Anspruch „interdisziplinär zu wirken, insbesondere auch Beziehungen zwischen Natur- und Geisteswissenschaften herzustellen.“<sup>229</sup> Mit Hilfe der mathematisch exakt formulierten Theorie der Synergetik zeigte er Gesetzmäßigkeiten für die Strukturbildung auf, wobei der Fokus auf die Untersuchung der qualitativen Änderungen auf makroskopischer Ebene gelegt wurde. Er zeigte, dass sich die Gesetzmäßigkeiten der makroskopischen Dynamik durch ganz wenige Konzepte wie Instabilität, Ordner bzw. Ordnungsparameter und Versklavung<sup>230</sup> in eine mathematische Form gießen lassen, wodurch eine erhebliche Reduktion von Komplexität gegenüber der Mikroebene stattfand.<sup>231</sup> Nach dem Konzept der Synergetik „trägt jedes Teilsystem bzw. jede elementare Komponente zirkulär-kausal einerseits zur Gesamtdynamik bei, wird aber andererseits durch diese in seiner Dynamik bestimmt, metaphorisch als Versklavung der Mikrozustände bezeichnet.“<sup>232</sup>

„Der Zusammenhang der Mikro- und Makroebene<sup>233</sup> lässt sich folgendermaßen beschreiben. Über das Verhalten einer größeren Anzahl von miteinander verknüpften Subsystemen auf der untergeordneten Ebene (Mikroebene) wird auf der übergeordneten Ebene (Makroebene) eine emergente Ordnung hervorgebracht. Diese Ordnung weist bestimmte Eigenschaften auf, d.h. die Makroebene zwingt das Verhalten der Subsysteme

<sup>225</sup> Vgl. (Mainzer 2004, S.2).

<sup>226</sup> „Zum Beispiel besteht der menschliche Organismus aus relativ autarken Zellen. Dennoch kommen dem ganzen Organismus neue Eigenschaften zu, über die die einzelnen Zellen nicht verfügen (Bewusstsein, Freude, Liebe, Hass, Kommunikation.“ Klauninger, Bert (2003): Kausalität und Emergenz. Voraussetzungen einer allgemeinen System-Ontologie und Epistemologie. Diplom-Arbeit, Institut für Gestaltungs- und Wirkungsforschung, Technische Universität Wien, S.56.

<sup>227</sup> (Klauninger 2003, S.56-57).

<sup>228</sup> Zum Beispiel die biologische Evolution, neue Qualitäten entstehen, die bei Vorfahren nicht beobachtet werden können. Vgl. (Klauninger 2003, S.57).

<sup>229</sup> (Haken & Wunderlin 1991, S.V).

<sup>230</sup> Die Begriffswahl einer *Versklavung* wird von der Autorin als problematisch angesehen!

<sup>231</sup> Vgl. ebd. S.30.

<sup>232</sup> Vgl. (Mainzer 2004, S.9).

<sup>233</sup> „Das übergeordnete System bildet eine Umwelt für das untergeordnete System. Das untergeordnete System ist daher aus Sicht des übergeordneten Systems ein Subsystem. Mehrere Subsysteme bilden ein System und sind selbst in ein übergeordnetes System (Supersystem) eingebunden [...]. Das Subsystem /die Komponente ist die Letzteinheit, wobei es jedoch nur bezüglich seines Systems nicht weiter dekomponierbar ist. In anderer Systemreferenz ist es durchaus in immer weitere Relationen dekomponierbar [...]. Die Betrachtung ist daher immer relativ.“ (Schallnus 2006, S.83).



in gewisse Bahnen, versklavt sie und reduziert damit deren individuelle Freiheitsgrade. Die Makrostruktur wirkt somit rückkoppelnd auf die Mikroprozesse ein und ermöglicht dadurch zugleich die weitere Erzeugung der bestehenden Makrostruktur. Es entsteht ein sich selbst aufrechterhaltender Kreislauf: über das [...] Zusammenwirken der mikroskopischen Komponenten wird die Makroebene erzeugt und aufrecht erhalten, die wiederum den Mikroprozessen ein gemeinsames Verhalten aufzwingt.“<sup>234</sup>

### Selbstorganisierte Kritizität und Seismischer Zyklus

Eine systemische Betrachtung von Erdbeben und plattentektonischen Vorgängen erfolgt in den Geowissenschaften unter der Annahme, dass sich die gesamte Erdkruste in einem Zustand der selbstorganisierten Kritizität befindet oder, nach Ansicht vieler Seismologen in abgeschwächter Form, dass aktive Verwerfungssysteme sich nahe an einem kritischen Punkt aufhalten,<sup>235</sup> an dem jede Störung mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit in ein starkes Erdbeben eskalieren kann. Ob dies geschieht, hängt danach empfindlich von einer Vielzahl von Parametern ab, die sich direkter Messung zumeist entziehen,<sup>236</sup> worin sich die These der Unvorhersagbarkeit von Erdbeben begründet.

Selbstorganisierte Kritizität oder self-organized criticality (SOC) ist eine Theorie, die die Annahme vertritt, dass jedes offene System, welches sich fernab vom thermodynamischen Gleichgewichtszustand befindet, sich durch Selbstorganisation in die Nähe eines kritischen Punktes ausrichtet und hierbei skaleninvariantes<sup>237</sup> Verhalten zeigt. Bezogen auf Erdbeben, sind weder bestimmte Stärken noch charakteristische räumliche Ausdehnungen ausgezeichnet, allerdings lässt sich ein lineares Verhältnis zwischen Erdbebenmagnitude und -häufigkeit feststellen d.h. die Größe des Erdbebens ist umgekehrt proportional zu der Häufigkeit eines Ereignisses (Frequenz-Magnitude-Relation des Gutenberg-Richter-Gesetzes)<sup>238</sup>

BAK, TANG & WIESENFELD illustrieren das Konzept der selbstorganisierten Kritizität anhand eines Sandhaufenmodells. „Beim Erreichen einer bestimmten Größe und damit verbunden eines ziemlich steilen Winkels, treten unterschiedlich große Sandlawinen auf.“<sup>239</sup> „Die Dynamik wird durch einen positiven, nichtlinearen Rückkopplungsmechanismus beschrieben. Der Sandhaufen organisiert sich unter fortlaufendem Auftreten von Sandlawinen selbständig in einen stationären, kritischen Zustand. In diesem Zustand schwankt die Neigung des Sandhaufens um einen konstanten Winkel und die Verteilung der Lawinengrößen ist durch ein Potenzgesetz gekennzeichnet,“<sup>240</sup> dem sog. Gutenberg-

<sup>234</sup> (Schallnus, 2006, S.83-84).

<sup>235</sup> Vgl. (Hainzl 1998, S.3-4).

<sup>236</sup> Vgl. (Zöller 1998 S.1-2).

<sup>237</sup> „Fraktale Strukturen sind räumliche bzw. zeitliche Manifestationen selbstorganisierter Kritizität. „Die Struktureigenschaften sind dabei häufig skaleninvariant, d.h. bei beliebiger Vergrößerung oder Verkleinerung des betrachteten Ausschnitts bleiben die Muster gleich. Zählt man in einem solchen System die Anzahl  $N$  der Objekte (z.B. Wirbel) mit einer bestimmten Ausdehnung  $A$ , so drückt sich die Eigenschaft der Skaleninvarianz durch ein Potenzgesetz  $N(A) \sim A \exp(-D)$  aus. Der Exponent  $D$  gibt dabei die fraktale Dimension des Systems an.“ (Hainzl 1998, S.2).

<sup>238</sup> Vgl. (Skirke, Ulf 1998).

<sup>239</sup> Kurths, Jürgen & Schwarz, Udo (2001): „Nichtlineare Wissenschaften – neue Paradigmen und Konzepte.“ Zentrum für Dynamik komplexer Systeme, Universität Potsdam, S.8-9.

<sup>240</sup> (Hainzl 1998, S.2).

Richter-Gesetz,<sup>241</sup> d.h. große Beben ereignen sich viel seltener als kleine. „Die Größenverteilung von Erdbeben weist ein analoges Verhalten auf und genügt in sehr guter Näherung diesem Potenzgesetz.“<sup>242</sup> Die Beschreibung der Magnitudenverteilung durch das Gutenberg-Richter-Gesetz, stimmt qualitativ mit derjenigen der Lawinengrößen im einfachen Sandhaufenmodell überein.

Das raumzeitliche Auftreten und die Dynamik von Erdbeben weist jedoch trotz der allgemeinen Komplexität einige Zusammenhänge auf, die hier in Ansätzen kurz erläutert werden. Theoretisch wird „das Auftreten großer Erdbeben [...] begleitet von einem Prozess des tektonischen Aufladens vor dem Erdbeben und einem Relaxationsprozess nach dem Erdbeben. Die stark vereinfachte Vorstellung, dass sich diese Prozesse abwechseln, legt den Gedanken nahe, dass das Auftreten großer Erdbeben näherungsweise periodisch erfolgen könnte.“<sup>243</sup> Entsprechend dieser Vorstellung lassen sich raumzeitliche Phänomene, sogenannte Seismizitätsmuster wie Hauptbeben, Vorbeben, Nachbeben, Erdbebenschwärme und seismische Ruhephasen beobachten bzw. definieren.<sup>244</sup> Diese einzelnen Muster bilden die Bestandteile des seismischen Zyklus, der den Verlauf der Seismizität zwischen zwei starken Erdbeben in derselben Region schematisch beschreibt. „Nicht nur im Zusammenhang mit den Hauptbeben einer Verwerfungszone, sondern ganz allgemein wird beobachtet, dass Erdbeben selten als isolierte Ereignisse auftreten. Vielmehr sind sie in der Regel Teil einer Sequenz räumlich und zeitlich benachbarter Erdbeben, wobei zwischen Vorbeben, Nachbeben und Erdbebenschwärmen zu unterscheiden ist.“<sup>245</sup>

SEBASTIAN HAINZL zeigt in seiner Dissertation,<sup>246</sup> dass sich raum-zeitliche erdbebentypische Seismizitätsmuster in das Konzept der selbstorganisierten Kritizität integrieren lassen<sup>247</sup> und die wesentlichen Mechanismen, die in Verwerfungszone eine Rolle spielen, qualitativ richtig beschrieben werden.<sup>248</sup>

<sup>241</sup> „Die Anzahl der Erdbeben  $N$  mit einer Magnitude größer als  $M_s$  folgt der Beziehung  $\log_{10}(N) = a - b \cdot M_s$ ; wobei  $a$  und  $b$  Konstanten sind. Der Wert von  $b$  variiert für verschiedene Verwerfungszone zwischen 0.8 und 1.05.“ (Hainzl 1998, S.7-8).

<sup>242</sup> (Kurths & Schwarz 2001, S.9).

<sup>243</sup> (Zöller 1998, S.8).

<sup>244</sup> „Um das Wissen über Vorläuferphänomene und ihre statistische Signifikanz zusammenzutragen, hat die International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) 1991 eine Liste signifikanter Vorläuferphänomene aufgestellt. Die vorläufige Liste enthält als signifikante Vorläufer: 1. Vorbeben (Stunden bis Tage vor einem starken Erdbeben), 2. Erdbebenschwärme (Monate vor einem starken Erdbeben), 3. seismische Ruhe vor starken Nachbeben, 4. Rückgang des Radon Gehaltes im Grundwasser und 5. den Anstieg des Grundwasser-Pegels. Die Tatsache, dass fünf Vorschläge positiv bewertet wurden, bedeutet keineswegs, dass nur diese Vorläuferphänomene existieren, sondern dass ihre Nützlichkeit für eine Vorhersage als überdurchschnittlich gut eingeschätzt wird.“ Ebd. S.1.

<sup>245</sup> (Hainzl 1998, S.9).

<sup>246</sup> In der Arbeit von Hainzl werden transiente Kriechprozesse als mögliche Ursache von Erdbeben mit Hilfe von linearen visko-elastischen Körpern modelliert, wobei sowohl kritisches Verhalten (Gutenberg-Richter-Gesetz) sowie die raumzeitlichen Charakteristiken der Verwerfungszone erzeugt. Vgl. ebd. S.84.

<sup>247</sup> Vgl. ebd. S.19.

<sup>248</sup> Vgl. ebd. S.84.

## 5.2 Anschauungen von Raum und Zeit – Vorstellungen, Begriffe und Metaphern aus der systemtheoretischen Perspektive

Der Wunsch, verbindende Elemente und diverse Strukturen in der Welt zu erkennen, die auf Gemeinsamkeiten hinter der unendlichen Vielfalt der Erscheinungen hinweisen, ist nicht nur, wie GOETHE'S Faust zum Ausdruck bringt, romantischen Ursprungs sondern Triebkraft und Motivation der Wissenschaft generell.<sup>249</sup> Doch bestehen Zweifel, ob der Mensch überhaupt in der Lage ist, die Dinge zu erkennen wie sie sind. In Analogie zur Aussage des Erdgeistes in GOETHE'S Faust, „Du gleichst dem Geist, den du begreifst / Nicht mir“<sup>250</sup> wird der nach der objektiven Welterkenntnis strebende Naturforscher mit der Frage nach den menschlichen Voraussetzungen, die die Konstitution dieser Erkenntnis ermöglichen, konfrontiert. Gibt es möglicherweise nur eine menschliche Konstruktion wissenschaftlicher Erkenntnisse,<sup>251</sup> geht der Mensch vielleicht nie mit einer Wirklichkeit an sich um, sondern stets mit den ihm eigenen Erfahrungswirklichkeiten?

### Ästhetische Grundfiktionen

Mit diesen Überlegungen wird die Anfangsfrage nach der Konstitution der Erkenntnis durch die Darstellungsform wieder aufgegriffen. Denn mit der Annahme, Erdbebenphänomene als Verhalten komplexer dynamischer Systeme zu betrachten, wird, als ein möglicher Zugang zur Wirklichkeit, bereits eine Projektion, eine spezifische Sicht auf das Phänomen festgelegt. Diesem konstruktivistischen Verständnis von wissenschaftlicher Erkenntnis- und Theoriebildung entsprechend, gebraucht jede Darstellung von Natur, zu aller erst bestimmte Grundanschauungen und Axiome, die heuristischen Ursprungs sind. Auf ihnen beruht jede Theoriebildung.<sup>252</sup> FRANK SCHWEITZER nennt diese Sensibilität für überhaupt Wahrnehmbares und Aufmerksamkeit produzierendes *ästhetische Grundfiktionen*. Jeder Ausdruck von Naturdarstellung muss nach seiner Ansicht in Abhängigkeit dieser ästhetischen Anschauungen betrachtet werden, auf deren Grundlage Wissenschaft aktiv Wirklichkeit mitkonstruiert.<sup>253</sup>

Grundlegende ästhetische Grundfiktionen sind hier die Konzepte und Modelle über die Struktur von Raum und Zeit, schon von IMMANUEL KANT als menschliche *Anschauungsformen* bezeichnet.<sup>254</sup>

Als Beispiel einige interessante grundlegende Fragestellungen über die Raum/Zeit Struktur: Sind Raum und Zeit diskret oder kontinuierlich, dynamisch oder statisch, fundamental oder emergent, ontisch oder epistemisch, endlich oder unendlich, beeinflussen sie sich gegenseitig, gibt es leeren Raum oder nur mit Substanz, gibt es

<sup>249</sup> Vgl. Schweitzer (1997): „Wege und Agenten: Reduktion und Konstruktion in der Selbstorganisationstheorie.“ S.2. In: Evolution und Irreversibilität. Selbstorganisation. Jahrbuch für Komplexität in der Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften, Krug, H.-J. & Pohlmann, L. (Hsg.), Band 8, Duncker & Humblot, Berlin. S.113-135.

<sup>250</sup> Goethe (Faust) zit. nach: ebd. S.2.

<sup>251</sup> Vgl. ebd. S.2.

<sup>252</sup> Vgl. Schweitzer, Frank (1994): „Natur zwischen Ästhetik und Selbstorganisationstheorie.“ S.6. In: Zum Naturbegriff der Gegenwart. Band. 2, Frommann-Holzboog, Stuttgart-Bad Cannstatt, S.93-119.

<sup>253</sup> Vgl. ebd. S.7-8.

<sup>254</sup> Vgl. ebd. S.6.

Zeit ohne Veränderung, ist Raum etwas anderes als die Relationen zwischen Körpern, ist Raum mit nur einem Teilchen denkbar etc.?<sup>255</sup>

Mit der Einnahme einer systemischen Perspektive auf Phänomene der Natur, durch die Konzepte von Komplexität, Nicht-Linearität und Selbstorganisation, ändern sich auch die Grundanschauungen bzw. die wissenschaftliche Wahrnehmung, *oder nach SCHWEITZER die ästhetischen Grundfiktionen*, und somit das Verständnis von Natur.<sup>256</sup> Bestimmte Eigenschaften werden so aus dem Phänomen herausprojiziert und wahrgenommen, welche zuvor gar nicht in den Blick der naturwissenschaftlichen Forschung geraten sind. Das bedingt einen Wechsel der Perspektive, durch den Gegenstände in vollkommen veränderter Gestalt erscheinen können.

### Perspektivwandel

Wurde die Erdbebendynamik<sup>257</sup> zuvor in Analogie zu komplexen und selbstorganisierten Systemen vorgestellt, wäre nun zu überlegen, was denn überhaupt in den Blick gerät, welche Begriffe gebildet und auf welche Aspekte die wissenschaftliche Wahrnehmung fokussiert wird, wenn Phänomene unter dem Gesichtspunkt der Komplexität und Dynamik von selbstorganisierenden Systemen diskutiert werden – und was ausgeblendet wird.<sup>258</sup>

Die Systemtheorie „liefert einen Gewinn bringenden Ansatz, sich der überholten Vorstellungen von linearen, prognostizierbaren Vorstellungen zu entledigen und das Paradigma des Gleichgewichts über Bord zu werfen, demzufolge ein Gleichgewichtszustand das Typische eines Systems ist und die Transienten zwischen den Gleichgewichtszuständen eher eine Anomalität darstellen.“<sup>259</sup> Sonst unverständliche Einzelprozesse können mit Hilfe der Komplexitätstheorie als Formbildungsprozesse verstanden werden.<sup>260</sup> „Die Komplexitätsforschung zielt auf das qualitative Verhalten von Systemen.“<sup>261</sup>

Wie zuvor erläutert, hängen komplexe Systeme stark von den Randbedingungen ab. Kleine Abweichungen in den Konstellationen zum Zeitpunkt t1 können in unterschiedlichen Konstellationen zum Zeitpunkt t2 resultieren.<sup>262</sup> „Damit aber verlangt die Theorie, um die Wirklichkeit zutreffend beschreiben zu können, eine Messgenauigkeit, die nur in konstruierten Welten wie der Informatik, prinzipiell aber nicht in der physikalischen [...] erreicht werden kann. Was aber bleibt dann von ihrer Tauglichkeit? Viel! nämlich: Einsicht in bestimmte Systemeigenschaften,“<sup>263</sup> z.B. das Treffen von Aussagen über die Bedingungen, unter denen Ereignisse stattfinden.<sup>264</sup> „Solche Überlegungen wendet die

---

<sup>255</sup> Vgl. (Filk 2003, S.14–15).

<sup>256</sup> Vgl. (Schweitzer 1994, S.8).

<sup>257</sup> „Für die praktische Untersuchung von Daten, ist die Dynamik von besonderem Interesse da sie einerseits Rückschlüsse auf die zugrundeliegenden Mechanismen zulässt und andererseits für die Frage einer möglichen Vorhersage von Bedeutung ist.“ (Zöller 1998, S.8).

<sup>258</sup> Vgl. (Schweitzer, Frank 1997b, S.4).

<sup>259</sup> (Ratter 2006, S.111).

<sup>260</sup> Vgl. ebd. S.111.

<sup>261</sup> ebd. S.111.

<sup>262</sup> Vgl. ebd. S.113)

<sup>263</sup> Ebd. S.113.

<sup>264</sup> Vgl. ebd. S.113.

Komplexitätstheorie nicht etwa in dem Sinne an, dass man aus formalen Modellen präzise Voraussagen ableiten würde, sondern metaphorische.“<sup>265</sup>

Der Wandel der ästhetischen Grundfiktionen und der davon abhängigen Naturauffassung findet nicht in Form einer Änderung der naturwissenschaftlichen Resultate, sondern bezüglich der Sichtweise auf den Gegenstand und dessen Interpretationskontext statt.<sup>266</sup>

„Im Rahmen der neuen Naturwissenschaft erfolgt der Zugang zur Einheit der Wirklichkeit nicht mehr unter reduktionistischem Gesichtspunkt der Elementarteilchen oder einer alles bestimmenden Weltformel, sondern unter Wahrung der Komplexität der Systeme. Sie wird in den dynamischen Prozessen gesehen, die diese Komplexität in allen Bereichen hervorbringen und auf den verschiedenen Ebenen nach den gleichen Gesetzen ablaufen.“<sup>267</sup> Forschungen in der Systemtheorie zeigen, dass „im Gegensatz zu rein zufälligen oder nur wahrscheinlichen Vorgängen, wie etwa beim Würfeln, universelle Strukturen, Ordnungen und Prinzipien innerhalb nicht-linearer Systeme erkennbar werden.“

„Die auf Reduzierung von Komplexität angewandte Darstellung von Systemzusammenhängen zielt auf das Erkennen von Mustern ab, um Informationen über die interne Organisation komplexer Systeme zu erhalten, als Beobachtungen, die nichtzufällige Strukturen zeigen und deshalb Informationen enthalten über die Mechanismen, aus denen sie entstehen.“<sup>268</sup>

„Das Naturverständnis der Selbstorganisation unterscheidet sich vom kausal-mechanistischen Naturverständnis der neuzeitlichen Naturwissenschaften.“<sup>269</sup> Z.B. stehen im Vordergrund der Konzepte von PRIGOGINE neue Vorstellungen und Bedeutungen über die Zeit. Sie definiert einen durch Bifurkation verursachten irreversiblen qualitativen Wechsel von Zuständen, mit der, gegenüber der klassischen Physik, –*die Newtonschen Gesetze gehen bekanntlich von Reversibilität aus*– eine Art historisches Moment wieder entdeckt wurde.<sup>270</sup> Jedes System ist hierbei das Ergebnis von unzähligen Bifurkationen, wobei es an jeder einzelnen Bifurkationsstelle die Möglichkeit vieler unterschiedlicher Zukünfte gibt. „Komplexe Systeme sind gekennzeichnet durch ihre Irreversibilität, d.h. ihrer Invarianz gegenüber einer Zeitumkehr.“<sup>271</sup> Damit werden sie evolutionär. „Evolution bezeichnet zunächst die Verlaufsbahn einer Systemgeschichte, die Trajektorie. In dieser Geschichte kann das Phänomen der Pfadabhängigkeit auftreten: Eine kleine Veränderung der Trajektorie (der Randbedingungen des Systems) kann zu gewaltigen Wirkungen führen, die nicht mehr rückgängig zu machen sind, sondern von da an die Geschichte des Systems beeinflussen. Und weil feine Veränderungen unterhalb von Mess- oder Wahrnehmungsschwellen liegen können, tritt Überraschung auf.“<sup>272</sup> Generell kann gesagt werden, dass Bifurkationspunkte die Geschichte, die Evolution von Systemen darstellen. „Die Dynamik der Bifurkationen ist somit ein Beispiel für die Irreversibilität der Zeit. An jeder Gabelung wird durch die Verstärkung von winzig kleinen Umständen eine

---

<sup>265</sup> (Ratter 2006, S.113).

<sup>266</sup> (Schweitzer 1994, S.7).

<sup>267</sup> Vgl. (Schweitzer 1997b, S.3-4).

<sup>268</sup> Arnold, Tilo (2005): „Die Welt ist nicht genug. Realistische Modelle agentenbasierter Systeme eröffnen neue Möglichkeiten.“ In: Pressemitteilung vom 11.11.05. UFZ Helmholtz Zentrum für Umweltforschung. (Online. Stand 13.10.08).

<sup>269</sup> (Schweitzer 1997b, S.7).

<sup>270</sup> Vgl. (Schweitzer 1994, S.9).

<sup>271</sup> (Schallnus, 2006 S.82).

<sup>272</sup> (Ratter 2006, S.114).

Entscheidung getroffen. Da Irreversibilität einen Zeitpfeil besitzt, bedeutet dies einen Bruch der zeitlichen Symmetrie zwischen Vergangenheit und Zukunft.“<sup>273</sup>

Mit Hilfe einer systemischen Betrachtung werden feste Begriffe aufgebrochen. Ordnung, zum Beispiel, welche jahrhundertlang das heuristische Leitmotiv naturwissenschaftlicher Forschung war, wird nunmehr in ihrer statischen Begrenztheit wahrgenommen. Die Bedeutung von Chaos hingegen als fruchtbarer Boden für die Entstehung von Neuem. Der Schwerpunkt des naturwissenschaftlichen Interesses verschiebt sich nun auf die Übergänge, auf die Dynamik, die an der Grenze zwischen Chaos und Ordnung ablaufen.<sup>274</sup> „Bestandteil der Grundfiktion einer aktiven Materie ist ihr dynamischer Charakter. Die statische Materie ist zugleich auch die tote Materie. Stabilität muss nun nicht mehr notwendig mit Gleichgewicht gleichgesetzt werden, auch fern vom (thermodynamischen) Gleichgewicht ist Stabilität möglich, wenn die Materie sich selbstorganisiert.“<sup>275</sup> Die Ferne von einem Gleichgewichtszustand kann als die wesentlichste Bedingung für die Entstehung von Neuem angesehen werden. Ordnung ist also nicht ohne weiteres mehr mit Gleichgewicht gleichzusetzen, „denn Gestalt ist nicht nur etwas Festes, Stabiles, sondern es gibt auch prozessuale Gestalten, d.h. auch Prozesse sind Gestalten.“<sup>276</sup>

„Die Produktivität der Materie erweist sich also als eine der zentralen Grundfiktionen der Selbstorganisationstheorien. Materie –ob organisch oder anorganisch– kann zu aktiver Strukturbildung befähigt werden.“<sup>277</sup> „Mit dem Konzept der Selbstorganisation bietet die Systemtheorie einen neuen Ansatz, nicht mehr die isolierte Betrachtung von Einzelphänomenen auszumachen, sondern die Organisationsformen komplexer gegenseitiger Wirkfähigkeit, Wechselwirkungen,<sup>278</sup> Beziehungsnetzwerke und Austauschprozesse zu betrachten, gegen die fixierten Formen eines Systems gerichtet“<sup>279</sup> und jenseits linear darstellbarer Relationen und einfacher Kausalität, nach dem Evolution und Historizität zum Gegenstand der Naturwissenschaften wird.“<sup>280</sup>

Bei der Erforschung der Dynamik von Erdbeben ermöglicht die systemische Betrachtung von Erdbeben die Beschreibung von nicht zufälligen Muster- und Ordnungsbildungen innerhalb scheinbar indeterminierbaren komplexen dynamischen Systemen. Neuste Forschungen auf diesem Gebiet (HAKEN/PRIGOGINE) liefern Belege wie Komplexität von Systemzusammenhängen reduziert werden kann und Informationen über die interne Organisation, Mechanismen und Gesetzmäßigkeiten bei der Bildung von selbstorganisierten

<sup>273</sup> (Brunnsteiner et.al. 2006, S.9).

<sup>274</sup> Vgl. (Schweitzer 1997b, S.8).

<sup>275</sup> (Schweitzer 1997b, S.7).

<sup>276</sup> Ebd. S.174.

<sup>277</sup> (Waruschewski–Segschneider 2002, S.7).

<sup>278</sup> An dieser Stelle sei angemerkt, dass die systemtheoretische Betrachtung der Phänomene der Welt eine begriffliche und erkenntnistheoretische Verwandtschaft mit der heuristischen Denk- und Erkenntnismethode der Dialektik nach HEGEL findet. In der Verwendung der Begriffe wie z.B. Emergenz, Prozesshaftigkeit und Wechselwirkung wird das dialektisch formulierte sprunghafte Umschlagen quantitativer Veränderungen in neue Qualitäten unübersehbar. Auch die *zirkuläre Kausalität*, mit der die Synergetik HAKENS beschreibt, dass das Verhalten der Teile das Ganze hervorbringt und das Ganze wiederum die Teile erzeugt sowie die Nichtlinearität und der Bifurkationspunkt des Selbstorganisationskonzepts von PRIGOGINE manifestieren ebenfalls dialektische Prinzipien. Vgl. Schlemm, Anette (1996): „Dialektik – die Kunst der Gesprächsführung und des Lebens.“ (Online. Stand 17.08.08).

<sup>279</sup> Schlemm, Anette (2003): „Ersetzt Selbstorganisationsdenken die Dialektik.“ Schriftliche Langform eines Vortags für die Ernst Bloch Association in der Stiftung Salecia/Maloja, Schweiz. In: Jahrbuch 2004/2005. Nr. 25/26. Doris Zeilinger (Hsg.), Ernst-Bloch-Assoziation, ANTAGO Verlag, Nürnberg. S. 127–158. (Online. Stand. 03.08.08).

<sup>280</sup> Vgl. (Schlemm 2003).

Strukturen freigelegt werden. Auf der Suche nach regelhaften Strukturen im seismischen Datenmaterial bietet es sich also an, Anschauungen und Vorstellungen über die Natur aus systemischer Sicht bei der Entwicklung der Erdbebendarstellung mit einzubeziehen.

### 5.3 Ordnungsbildende Mechanismen des menschlichen kognitiven Systems – Die Gestalttheorie

Die Entwicklung einer Darstellungsform muss sich auch an den visuellen Fähigkeiten des Menschen zur Strukturerkennung orientieren. Diese Auseinandersetzung soll Aufschluss darüber geben, wie eine effektive Komposition graphischer Elemente in einer wissenschaftlichen Visualisierung ermöglicht werden kann. Eine mangelnde Berücksichtigung wahrnehmungsbasierter Prinzipien kann Ursache für wenig effektive visuelle Darstellungen sein, welche zu Fehlinterpretationen verleiten.<sup>281</sup>

Daher ist zu fragen, inwiefern das visuelle Detektieren von Strukturen, Ordnungen und Mustern nicht ein aktiver Prozess ist, der Regelmäßigkeiten in Signalen nicht nur erkennt und analysiert, sondern auch herstellt? Auch wäre zu fragen ob „das Subjekt mehr Rezipient oder Produzent der Wahrnehmung [ist], inwieweit deckt sich die Wahrnehmung mit ihrem Gegenstand, lässt sich ein Ort der Wahrnehmung ausmachen und welche Rolle spielt die Zeit für die Wahrnehmung?“<sup>282</sup>

Im Spannungsfeld<sup>283</sup> der Vorstellung von der Existenz einer (vom erkennenden Subjekt unabhängigen objektiven) Struktur- und Musterbildung nach der Selbstorganisationstheorie, ja komplementär gegenüber scheinen die Theorien der Wahrnehmungs- und Kognitionsprozesse zu stehen, welche Struktur- bzw. Muster erst erkennen lassen. Dass die Reizverarbeitung durch das menschliche Gehirn nämlich auch ein Bildungsprozess zu sein scheint, wird anhand der gestalttheoretischen Auffassung nach MAX WERTHEIMER diskutiert, wobei hier auf Analogien zur Selbstorganisationstheorie der Synergetik und zur moderat-konstruktivistischen erkenntnistheoretischen Haltung hingewiesen wird.

Die Begriffe *Struktur*,<sup>284</sup> *Muster* (Ordnungen)<sup>285</sup> und *Gestalt*<sup>286</sup> können entsprechend der beigefügten Begriffsdefinitionen in den Fussnoten unterschieden werden. Aufgrund der unterschiedlichen Begriffsnutzung innerhalb der herangezogenen Literatur, wird in der Arbeit aber nicht klar zwischen Struktur und Muster differenziert.

---

<sup>281</sup> Vgl. (Schumann & Müller 2000, S.107).

<sup>282</sup> Preckel, Anne-Kathrin (2004): „Physiologie der Wahrnehmung.“ Seminar für Ästhetik, Humboldt Universität Berlin, (Online. Stand 12.09.08), S.1.

<sup>283</sup> „Die Frage, ob z.B. Emergenz ein Natur- oder ein Wahrnehmungsphänomen ist, entscheidet sich immer dann, wenn entschieden wird, wer diese Frage zu beantworten versucht, das heißt durch eine Entscheidung darüber, ob der Gestaltpsychologe oder der Physiker angefragt ist. In beiden Fällen allerdings ist die Emergenz als Erfindung oder als Konstrukt des menschlichen Geistes bereits vorhanden.“ Bien & Wilke zit. nach: (Waruschewski-Segschneider 2002, S.102).

<sup>284</sup> Struktur: unter Struktur „versteht man den (inneren) Aufbau einer Sache oder eines Systems, also die Art und Weise wie Teile eines Ganzen untereinander und zu diesem Ganzen verbunden sind. In den Naturwissenschaften bedeutet Struktur insbesondere den räumlichen Aufbau von Materie bzw. von materiellen Körpern.“ Artikel *Struktur*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 29.08.08.

<sup>285</sup> Muster: „bezeichnet man [...] im weiteren Sinne [...] als zeitlich sequentielle Strukturen von [...] optischen oder akustischen Signalen, nicht erkennbare Muster nennt man Rauschen. Alle für Lebewesen bedeutsamen Dinge weisen Muster auf, deren wahrnehmbare Eigenschaften durch ein Mindestmaß an Wiederholungen (Periodizität) und Symmetrien gekennzeichnet sind, wobei beide exakt oder ungefähr, also stochastisch sein können.“ Artikel *Muster (Struktur)*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. aufg. 20.08.08.

<sup>286</sup> Gestalt: „Unter einer Gestalt wird das einer Menge von Mustern Gemeinsame verstanden, die durch Transformationen einer durch die Gestalt bestimmten und umgekehrt diese Gestalt bestimmenden Art wechselseitig ineinander überführbar sind.“ Breidbach, Olaf & Jost, Jürgen (2002): „Zum Begriff der Gestalt.“ Max Planck Institute for Mathematics in the Sciences, Leipzig, (Online. Stand 09.10.08).



Zu Fragen ist wie auf der Grundlage der vergleichsweise mangelhaften Sinnesinformationen ein so reichhaltiges Wissen über die Welt erwerbbar wird, zum anderen, wie aus physikalischen Energiemustern, die auf Sinnesrezeptoren treffen, bedeutungsvolle Einheiten bzw. komplexe Bedeutungen entstehen können. Denn was ein Sinnesorgan eines Lebewesens erfasst und was dieses wahrnimmt, darin besteht ein erheblicher Unterschied und ist die Folge eines komplexen Vorganges, der Perzeption genannt wird. Historisch entstand das Interesse an der Wahrnehmung aus der durch die Vorsokratiker erstmals systematisch untersuchten Frage, wie sich ein Wissen über die Welt auf der Basis der durch die Sinne vermittelten Informationen rechtfertigen ließ.<sup>287</sup>

Da die *Funktionsweise der Wahrnehmung* fast vollständig abgeschottet ist vor einer bewussten Erfahrung, ist der Mensch nicht in der Lage, den Eindruck der Einheitlichkeit des Erlebens als Leistung des Gehirns zu erkennen. Also zwischen der Leistung des Wahrnehmungssystems und höheren kognitiven Instanzen zu unterscheiden. Denn nur das Endprodukt des Wahrnehmungssystems wird bewusst. Indem die Einheitlichkeit des Erlebens von der modernen Wissenschaft als eine Leistung des Gehirns erkannt wurde, wurde es notwendig, den als eher rezeptiv angesehenen Sinnen, einen urteilenden Verstand gegenüber zu stellen. Diese Unterscheidung führte zu der Annahme, dass die Sinne nicht irren können und dass nur der Verstand sich in der Interpretation der durch die Sinne gelieferten Informationen irren kann. Diese theoretische Einsicht durchzieht die gesamte abendländische Denkgeschichte und findet sich wieder bei KANT, der bemerkt:<sup>288</sup> „Die Sinne betrügen nicht. [...] weil sie gar nicht urteilen, weshalb der Irrtum immer nur dem Verstande zur Last fällt.“<sup>289</sup> Auch VON HELMHOLTZ betont: „Das Sinnesorgan täuscht uns dabei nicht, es wirkt in keiner Weise regelwidrig, im Gegenteil, es wirkt nach seinen festen, unabänderlichen Gesetzen und es kann gar nicht anders wirken. Aber wir täuschen uns im Verständnis der Sinnesempfindung.“<sup>290</sup> VON HELMHOLTZ beschreibt das Zustandekommen eines Sehbildes als „ein komplexes Zusammenwirken physikalischer, physiologischer und geistiger Vorgänge.“<sup>291</sup> Er vertrat den Standpunkt, dass es keine direkte Übereinstimmung zwischen Sinneserfahrung und ihrem Gegenstand gebe.<sup>292</sup> Danach werden in der Wahrnehmung zwar strukturelle Relationen der Außenwelt erkennbar, nicht jedoch die Trägerelemente dieser Relationen selbst.<sup>293</sup>

### Gestaltheorie, Prägnanz und Gestaltgesetze

Die Gestaltpsychologie war eine Protestbewegung gegen die Elementenpsychologie.<sup>294</sup> Die Berliner Schule der Gestaltpsychologie nannte sich auch Gestalttheorie. „Seit CHRISTIAN VON EHRENFELS' Aufsatz *Über Gestaltqualitäten* (1890) ist die Diskussion um die

---

<sup>287</sup> Mausfeld, Rainer (2005): „Wahrnehmungspsychologie: Geschichte und Ansätze.“ S.1. In: Handwörterbuch Allgemeine Psychologie: Kognition. Funke, J. & French, P. (Hsg.), Hogrefe, Göttingen.

<sup>288</sup> (Mausfeld 2005, Vgl. S.1-2).

<sup>289</sup> Kant zit. nach: ebd. S.2.

<sup>290</sup> Helmholtz zit. nach: ebd. S.2.

<sup>291</sup> (Preckel 2004, S.3).

<sup>292</sup> Vgl. ebd. S.3.

<sup>293</sup> Vgl. (Mausfeld 2005, S.4).

<sup>294</sup> Annahme, dass sich Wahrnehmung aus der Addition einzelner Elemente, den elementaren Empfindungen (Reizen) zusammensetzt. HGKZ (2005): „Gestaltpsychologie, Gestaltgesetze nach Max Wertheimer“. Theoriemodul BDE-BDE-1011, Department Design, Hochschule für Gestaltung und Kunst Zürich. (Online. Stand. 27.08.08), S.1.

Gestalttheorie in die Wege geleitet. Die leitende Hauptidee für die Gestalttheoretiker war, die molekulare Auffassung, wie sie in den Naturwissenschaften des 19. Jahrhunderts gang und gäbe war [...] zu überwinden; denn die anatomisierende Arbeit am Einzelnen bringe wiederum nur dürres *Stückwerk* hervor statt saftiges Ganzes.<sup>295</sup> „Die wahrnehmungspsychologisch-neurologischen Experimente der Berliner Schule MAX WERTHEIMERS, KURT LEWINS, KURT KOFFKAS und WOLFGANG KÖHLERS Anfang des 20. Jahrhunderts ersetzen das mechanistisch-atomistische Paradigma mit einem holistischen Paradigma des psychischen Apparats, in dem nicht Einzelfunktionen modular blind nebeneinander betrieben arbeiten, sondern ein interdependentes Netz von Funktionen Innen und Außen, Strukturen und Wesen, Formen und Inhalten miteinander verschränkt.“<sup>296</sup>

Die Gestalttheorie fragt, wie aus einem kontinuierlichen Strom von Reizen dynamisch stabile Invarianten isoliert werden, die Konstanz in der Wahrnehmung schaffen und so die Voraussetzung für das Erkennen von Objekten bilden. Die gestaltpsychologische Auffassung basiert auf der Beobachtung, dass die Ordnung der Wahrnehmung eine in der Wahrnehmung selbst organisierte ist und die Bildung bedeutungsvoller Einheiten eine aktive Leistung des Wahrnehmungssystems ist und nicht etwas, das aus dem Reiz gewonnen werden kann.<sup>297 298</sup> Die äußeren Reize bilden im Wahrnehmungsprozess lediglich das Ausgangsmaterial für das kognitive System, welches verschiedene, vorübergehend (dynamisch) stabile Ordnungszustände durchläuft, die die Komplexität der Reizkonfiguration auf makroskopischer Ebene reduzieren.<sup>299</sup> Die Reduktion der jeweiligen Reizkonfiguration vollzieht sich hierbei im Sinne einer Verregelmäßigung, Homogenisierung, Komplettierung hin zu einer prägnanten Gestalt.<sup>300</sup>

Eine von KÖHLER formulierte zentrale Aussage dieser Theorie lautet, „das Ganze ist *verschieden* von der Summe seiner Teile.“<sup>301</sup> „Eine Erscheinung weist in der Wahrnehmung als Ganzes andere Qualitäten auf als seine einzelnen Teilelemente. Da die Teilelemente zueinander in Beziehung stehen, beeinflussen diese die Wahrnehmung des Objektes als Ganzes.“<sup>302</sup> Statt des bisher üblichen „Zurückgreifens auf [...] die Analyse und Synthese durch Zusammensetzung von Stücken und Elementen zu größeren Komplexen“ schlug WERTHEIMER vor, einen entscheidenden Punkt der Gestalttheorie zu berücksichtigen: „Es gibt Zusammenhänge, Gegebenheiten anderer [...] Art, bei denen nicht, was im Ganzen geschieht, sich daraus herleitet, wie die einzelnen Stücke sind und sich zusammensetzen, sondern umgekehrt, wo *im prägnanten Fall* sich das, was an einem Teil dieses Ganzen geschieht, bestimmt wird von inneren Strukturgesetzen dieses seines Ganzen“<sup>303</sup>

<sup>295</sup> Beaufort, Jan & Prechtel, Peter (Hsg.) (1998): Rationalität und Prärrationalität. Festschrift für Alfred Schöpf, Königshausen & Neumann, S.382, S.23.

<sup>296</sup> Luetge, Michael: „Gestaltpsychologie der Berliner Schule & Holistische Philosophie.“ (Online. Stand 14.11.09).

<sup>297</sup> Vgl. Heubach, Friedrich Wolfram: „Das Ungefähre oder Die Wahrnehmung der visuellen Welt als Wirklichkeit. Eine Spekulation.“ University of Management and Communication (FH), Potsdam, (Online. Stand 01.10.08), S.7.

<sup>298</sup> Vgl. (Mausfeld 2005, S.5).

<sup>299</sup> Vgl. Jacobshagen, Nina (2001): Die Theorie der Selbstorganisation und ihre Anwendung in der Psychologie. Forschungsberichte der Direktion Sozial- und Gemeindepshychie, Universitäre Psychiatrische Dienste Bern, S.11.

<sup>300</sup> Vgl. (Heubach, S.7)..

<sup>301</sup> Köhler, Wolfgang (1971): *Die Aufgabe der Gestaltpsychologie*, de Gruyter, Berlin – New York, S.8.

<sup>302</sup> Becker, Cristoph (2000/1): „Objektwahrnehmung und Gestaltgesetze nach Wertheimer.“ Vortragseminar: Visuelle Wahrnehmung und 3D-Displays, Fachbereich Informatik, Universität Rostock, S.1.

<sup>303</sup> (Beaufort & Prechtel 1998, S.26).

Der Begriff der Prägnanz greift auf die physiologisch begründete Tendenz der Wahrnehmungsorganisation zur Strukturierung der Reizsituation hin zu dynamisch stabilen Ordnungszuständen entsprechend eigener Gesetzmäßigkeiten zurück, nämlich Phänomene der Wahrnehmung so gut wie möglich zu gestalten.<sup>304</sup> Trotz mehrerer möglicher Strukturierungen derselben Reizkonfiguration folgen diese immer bestimmten Prinzipien wie der Einfachheit, Regelmäßigkeit, innerem Gleichgewicht, Symmetrie, einheitlichem Gesamtcharakter oder kontinuierlichen Linien. „Danach wird die einfachste (mentale), mit den verfügbaren Informationen vereinbare Form bevorzugt.“<sup>305</sup> „Die Gestaltgesetze sind hierbei Regeln der Wahrnehmung, die erklären, wieso und nach welchen Gesetzmäßigkeiten bestimmte Reizelemente innerhalb einer Konfiguration als zusammengehörige Teile innerhalb eines Ganzen wahrgenommen werden.“<sup>306</sup> Die wichtigsten dieser Prinzipien sind das Prinzip der Nähe, das Prinzip der Ähnlichkeit, das Prinzip der stetigen und guten Fortsetzung, das Prinzip der Konvexität und Geschlossenheit und das Prinzip der Symmetrie.<sup>307 308</sup> Reizkonfigurationen gelten umso prägnanter, je mehr diese Prinzipien erfüllt sind. Dies erleichtert insofern den Akt der Wahrnehmung, als die Reizvielfalt schneller zu einer Gestalt kombiniert werden kann.<sup>309</sup> D.h., „die Prägnanz einer Form ist ausschlaggebend für deren Erkennen.“<sup>310</sup> Neben der Wahrnehmung möglichst einfacher Gestalten sind nach Ansicht der Gestalttheoretiker bereits erworbene Erfahrungen für das Erkennen ebenso entscheidend wie die Einordnung des wahrzunehmenden Objektes in einen bedeutungsvollen Zusammenhang.<sup>311</sup> „Das Erkennen von Gestalten wird dadurch erleichtert, dass eine Form in der Regel nicht getrennt von ihrer Bedeutung wahrgenommen wird, sondern immer als Resultat aus einem bedeutungsschöpfenden Prozess hervorgeht.“<sup>312</sup>

„Mit dem Konzept der *Gestalt* –als etwas, das unter bestimmten Transformationen erhalten bleibt– lenkte die Gestaltpsychologie zudem den Blick auf die Bedeutung von Invarianten, deren Rolle für die Wahrnehmungstheorie erstmals durch ERNST CASSIRER explizit untersucht wurde.“<sup>313</sup> CASSIRER hat in den 1920er Jahren das gestalttheoretische Prinzip der Prägnanz (guten Gestalt) in einem symboltheoretischen Sinne neu interpretiert.“ CASSIRER interpretiert die jeweiligen Muster oder Strukturen des Erlebens nicht primär wie in der Gestalttheorie als Produkte physiologischer Synthesen, sondern nach ihm wird der Erfahrungsstrom über Sinnesleistungen zu Gestalten verdichtet. Für CASSIRER waren die Gestaltphänomene der guten Gestalt symbolische Leistungen, welche mehr symbolisieren als das Sinnliche zeigt.<sup>314</sup> (Siehe Kapitel: 3.1 Erkenntnis durch Darstellung)

<sup>304</sup> Vgl. Rill, Ingo (1995): *Symbolische Identität: Dynamik und Stabilität bei Ernst Cassirer und Niklas Luhmann*. Königshausen & Neumann, S.56–57.

<sup>305</sup> (Schumann & Müller 2000, S.109).

<sup>306</sup> (HGKZ 2005).

<sup>307</sup> Vgl. (Schumann & Müller 2000, S.107).

<sup>308</sup> Vgl. (Rill, Ingo 1995, S.56–57).

<sup>309</sup> Vgl. Schubert, Sigrid (2003): „Gestalttheorie.“ Kommunikationsergonomie. BMBF-Verbundprojekt SIMBA (Schlüsselkonzepte der Informatik in multimedialen Bausteinen unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Lerninteressen von Frauen), Teilprojekt Kermie, Universität Siegen, (Online. Stand 27.08.08).

<sup>310</sup> (Schuber 2003).

<sup>311</sup> Vgl. ebd 2003.

<sup>312</sup> Ebd. 2003.

<sup>313</sup> (Mausfeld 2005, S.5)

<sup>314</sup> Vgl. (Rill, Ingo 1995) *Symbolische Identität: Dynamik und Stabilität bei Ernst Cassirer und Niklas Luhmann*,

### Gemeinsamkeiten von Gestalt- und Systemtheorie

Die erkenntnistheoretische Position des moderaten Konstruktivismus, systemtheoretische Ansätze wie die Theorie der Selbstorganisation und die Gestalttheorie der 20er Jahre nähern sich in ihren Prämissen einander an bzw. besitzen in einigen wesentlichen Punkten Parallelen. Sie setzen eine Offenheit zwischen den neuronalen Prozessen des Gehirns und der Umgebung voraus. Infolge der Stimulation der Wahrnehmungsprozesse durch energetische Impulse der äußeren Natur wird so eine fragmentarische Erkenntnis der Natur ermöglicht.<sup>315</sup> Die Gemeinsamkeiten wurden von verschiedenen Autoren hervorgehoben, wobei die Synergetik nach HAKEN als Weiterentwicklung der Gestalttheorie bezeichnet wird.<sup>316</sup> HAKEN beschreibt in seiner Theorie der Synergetik das visuelle Wahrnehmen als einen Selbstorganisationsprozess des Gehirns und der Sinnesorgane.<sup>317</sup> Er sieht die gesamte Entwicklung des Lebens auf der Erkenntnisfähigkeit als Überlebensstrategie beruhend, welche zu einer annähernden Übereinstimmung über die Beschaffenheit der Umgebung führt, zum Beispiel aus dem Bestreben nach Sicherheit der Natur gegenüber.<sup>318</sup> „Es herrscht zwar der Konstruktivismus, aber die Evolution hat dafür gesorgt, dass er sehr gut die Wirklichkeit rekonstruiert.“<sup>319</sup>

### Weitere darstellungsrelevante Prinzipien der Ordnungsbildung

Der gestalttheoretischen Annahme folgend, dass visuell wahrgenommene Strukturen subjektiv-konstruktive Gebilde sind, sollen einige weitere, für die Darstellungsentwicklung relevante ordnungsbildende Mechanismen beschrieben werden. Dazu gehören die Strukturierung durch Nichtlinearisierung, die Struktursensibilität der Sinnesorgane, die Strukturverstärkung durch Prägnanztendenzen und die Strukturbildung durch Lernerfahrungen.

Ein wichtiger Mechanismus der Strukturierung des Wahrnehmungssystems ist die Nichtlinearisierung des sichtbaren Lichts bzw. physikalischen Farbspektrums. Die für das visuelle System bedeutenden Reize der elektromagnetischen Schwingungen als Spektrum sichtbaren Lichts mit Wellenlängen zwischen ca. 400 und 700 nm, stellen aus physikalischer Sicht eine lineare Skala unterschiedlicher Wellenlängen dar, die in keiner Weise abgestuft ist. In der visuellen Wahrnehmung wird dieses kontinuierliche Reizspektrum jedoch in Bänder unterschiedlicher Farbwahrnehmungen zerlegt, was dazu führt, dass die Objekte, je nachdem welche Anteile des Sonnenlichts sie reflektieren oder absorbieren, in unterschiedlichen Farben gesehen werden. Dies ermöglicht eine diskontinuierliche Strukturierung der Umwelt. Die Farben, die im visuellen System erzeugt werden, besitzen eine Reihe von Eigenschaften, für die es im physikalischen Spektrum kein Äquivalent gibt: Manche Farben erscheinen heller (Gelb und Orange), andere dunkler (Blautöne). Farben, die durch kurzwelliges Licht erzeugt werden, erscheinen kalt, Farben die durch langwelliges Licht erzeugt werden erscheinen hingegen warm.<sup>320</sup>

---

Königshausen & Neumann S.56-57.

<sup>315</sup> Vgl. (Waruschewski-Segschneider 2002, S.100).

<sup>316</sup> Vgl. (Jacobshagen 2001, S.13).

<sup>317</sup> Vgl. (Waruschewski-Segschneider 2002, S.101).

<sup>318</sup> Vgl. ebd. S.101.

<sup>319</sup> Ebd. S.101.

<sup>320</sup> Vgl. (Stadler & Haynes 1999, S.194-195).

Ein weiterer als nichtlinear bezeichneter Mechanismus der Strukturzeugung besteht in der Ausbildung von Kategorisierungen und psychischen Bezugssystemen. Objekte werden in der Regel bestimmten Klassen (z.B. nach ihrer Höhe) zugeordnet und sind innerhalb dieser Klassen einer Kategorisierung zugänglich, wobei die kontinuierliche und lineare Skala der Höhe auf nichtlineare diskrete Kategorien abgebildet wird. „Diese Kategorien würden sprachlich etwa durch die Begriffsreihe Hütte, Bungalow, Haus, Hochhaus oder Wolkenkratzer gekennzeichnet.“ Dabei würden verschiedene Wolkenkratzer der gleichen Kategorie zugeordnet werden, obwohl der Größenunterschied mehrere 100 m betragen kann. Durch diese Mechanismen wird ebenso wie durch die Farben die komplexe Umwelt strukturiert.<sup>321</sup>

Ein besonderes Beispiel für die Struktursensibilität des kognitiven Systems ist die Entdeckung von Symmetrien, wobei die Sensibilität der Organismen für symmetrische Strukturen darin liegen könnte, in der unbelebten komplexen Umwelt lebendige Strukturen zu entdecken, um evtl. Fressfeinden zu entfliehen, oder um selbst andere Tiere zu erbeuten. Zu beobachten ist, dass alle Tiere symmetrisch aufgebaut sind, die einfacheren Lebewesen oftmals radialsymmetrisch, die höheren immer in der Längsachse gespiegelt symmetrisch.<sup>322</sup> „Symmetrieeigenschaften können statisch (z.B. geometrisch) oder dynamisch sein. Die klassischen geometrischen Symmetrien erlauben eine Invarianz (und damit Stabilität) des Grundmusters, da es Transformationsgruppen, z.B. der Drehung, Spiegelung, Translation im Raum, Dehnung usw., gibt, die zur Selbstidentität zurück führen.“<sup>323</sup> Bei Transformationen ist die Stabilität ein entscheidendes Selektionskriterium. Sie hängt mit Rekurrenz des Gleichen, des Ähnlichen, mit Konstanz über Zeitfenster zusammen. Stabilität in der Zeit heißt, ein Gegenstand oder Sachverhalt besteht für eine Zeitspanne, die für die Reaktion ausreichend ist oder er kommt wieder vor in Variationen, bei denen etwas gleich (stabil) bleibt.<sup>324</sup>

In gestalttheoretischen Untersuchungen wird darauf hingewiesen, dass der Begriff der Prägnanz doppeldeutig ist, in dem Sinne, dass einerseits ausgezeichnete Strukturen wie Kreis, Quadrat, rechter Winkel, Vertikale u.ä. leichter, schneller und genauer wahrgenommen werden als etwa Ellipsen, Vielecke, schiefe Winkel und schräge Linien, mit der Folge, dass etwa in komplexen Mustern enthaltene einfache Figuren in der visuellen Wahrnehmung sofort herausgehoben und als geordnete Struktur erscheinen. Andererseits meint der Prägnanzbegriff die Wahrnehmungstendenz, nicht-prägnante Figuren in Richtung auf prägnantere Figuren verzerrt zu sehen, indem etwa schiefe Winkel in Richtung auf rechte Winkel verzerrt werden, wodurch sich z.T. starke optische Täuschungen ergeben. Die Prägnanztendenz spielt nun insofern bei der subjektiven Strukturerkennung eine bedeutsame Rolle, da durch sie der Strukturgehalt unprägnanter Muster verstärkt wird, und zwar immer nur ein wenig in Richtung auf die prägnantere Gestalt. Diese kleinen Schritte können durch Iteration aufsummiert werden, so dass tatsächlich nach einer begrenzten Zahl von Iterationsschritten die prägnante Gestalt entsteht.<sup>325</sup>

<sup>321</sup> Vgl. (Stadler & Haynes 1999, S.196).

<sup>322</sup> Vgl. ebd. S.197.

<sup>323</sup> Wildgen, Wolfgang (2004): Symmetrie, Stabilität und Harmonie als Gestalteeigenschaft symbolischer und speziell sprachlicher Formen. Vortrag im Sprachwissenschaftlichen Kolloquium, Universität Bremen, (Online. Stand 10.10.08), S.3.

<sup>324</sup> Vgl. ebd. S.2.

<sup>325</sup> Vgl. (Stadler & Haynes 1999, S.200–202).

In der psychologischen Expertiseforschung ist die Erfahrungsabhängigkeit von Strukturerkennungsprozessen eingehend untersucht worden. Die bisher betrachteten Strukturbildungsmechanismen waren weitgehend erfahrungsunabhängig. Es existieren jedoch kognitive Strukturbildungen, die erst durch Lernerfahrung wesentlich modifiziert und ohne vorherige Lernerfahrung unmöglich sind, insbesondere wenn die Bedeutung eines Reizes erfasst werden soll. Die Untersuchung von Lernkurven bei der Erlernung des Morsecodes zum Beispiel zeigten einen Phasenübergang (vom Lernplateau zum Lernfortschritt), von einfacheren, automatisierten Einheiten zu neuen, komplexeren Einheiten, bezeichnet als asynchrone kognitive Strukturbildung auf unterschiedlichen Organisationsstufen. Lernen verändert Strukturbildungsprozesse jedoch nicht nur derart, dass neue und immer komplexere externe Strukturen wahrgenommen werden können, sondern auch zunächst verfügbare untere Organisationsstufen werden zunehmend aus der bewussten Verarbeitung ausgeblendet. Bewusste Verarbeitung erfolgt auf der Basis bereits weitgehend unbewusst verarbeiteter, komplexitätsreduzierter Information. Wahrgenommene Strukturen stellen stets Interpretationen dar, die quasi durch die Brille des Gedächtnisses gesehen werden.<sup>326</sup>

### Räumliches Sehen

Für das Erkennen von Tiefeninformation in *optischen Bildern*, wie z.B. die 3-dimensionale Form, die Position (Tiefe) und die Neigung von Objekten im Raum können monokulare und binokulare Merkmale unterschieden werden. Das binokulare Tiefensehen basiert auf der Verwendung von Informationen, die mit Hilfe beider Augen gewonnen werden. Aus der Disparität der beiden retinalen Bilder kann die Information als Tiefeninformation interpretiert werden.<sup>327</sup>

Als monokulares Merkmal spielt, neben Schattenwurf und Schattierung, die Perspektive zur Tiefen- und Formwahrnehmung eine entscheidende Rolle, bei der sich im Sehfeld parallel verlaufende Linien in einem Punkt, dem Fluchtpunkt schneiden (Zentralprojektion). Dadurch erscheinen die projizierten dreidimensionalen Objekte vorne größer als hinten liegende.<sup>328</sup> Weiterhin kann mit der Bewegung des Betrachters relativ zu Objekten Information über die Tiefe extrahiert werden. Durch die Bewegungsparallaxe verändern bei seitlicher Bewegung des Beobachters nahe Objekte ihre Position schneller als weiter entfernte Objekte.<sup>329</sup>

### Das visuelle Erkennen von virtuellen zeitlichen Veränderungen und Bewegungen

Werden Dynamiken in einer *Computeranimation* in Form sich ständig oder zeitweise verändernder Darstellungen erzeugt, wird die *Bild zu Bild* Bewegung wichtig, im Gegensatz zu statischen Darstellungen bei der stärker die Komposition im Vordergrund steht.<sup>330</sup> Eine Bewegung in einer Computeranimation ist nicht die wirkliche Bewegung eines realen Objektes, sondern eine scheinbare Bewegung durch Wahrnehmung nicht bewegter Objekte. Dieses Wahrnehmungsphänomen bezeichnete WERTHEIMER als *Phi*-

---

<sup>326</sup> Vgl. ebd. (Stadler & Haynes 1999, S.203-205).

<sup>327</sup> Vgl. (Schumann & Müller 2000, S.109).

<sup>328</sup> Vgl. ebd. S.110.

<sup>329</sup> Vgl. ebd. S.111.

<sup>330</sup> Vgl. Ko Hoang, Youn-Ju (2000): *Vermittlung von "Visual Literacy" durch Computeranimation im Kunstunterricht*. Diss., Erziehungswissenschaft und Psychologie, Freie Universität Berlin, S.93.

*Phänomen*, welches eine fließende Bewegung oder Veränderung mittels einer Sequenz variierender Bilder suggeriert.<sup>331</sup> „Dieses Phänomen beruht auf der Tatsache, dass das Auge eine Sequenz in schneller Folge nicht als einzelne Bilder, sondern nur als ein zusammenhängendes Ganzes, d.h. als kontinuierliche Veränderung, wahrnehmen kann. Diese kontinuierliche Veränderung wird als Scheinbewegung bezeichnet.“<sup>332</sup> Scheinbewegungen werden immer dann identifiziert, wenn Verdeckung und Freigabe, Objektveränderung und relative Positionsänderung (zweier einander ähnlicher Objekte) stattfinden.<sup>333</sup> Neuere Forschungen zeigen, dass ab ca. 45 Bildern pro Sekunde eine ausreichende Bewegungsauflösung stattfindet, so dass Einzelbilder miteinander verschmelzen und die Illusion einer fließenden Bewegung suggeriert wird.<sup>334</sup> „In interaktiven Virtual-Reality Applikationen haben sich 7–8 Bilder pro Sekunde als minimale Bildwiederholungsfrequenz zur Generierung von glatten Bildübergängen bei der Navigation in einfachen 3-dimensionalen Szenen herausgestellt, bei komplexeren Szenen [...] steigen die Anforderungen auf 10–12 Bilder pro Sekunde.“<sup>335</sup> Bewegung kann ebenfalls nur innerhalb eines begrenzten Geschwindigkeitsbereichs wahrgenommen werden. „Wenn ein bewegtes Objekt nicht im erforderlichen Geschwindigkeitsbereich liegt, oder wenn es keine ausreichende Veränderung in einem bestimmten Zeitraum bietet, können die menschlichen Augen die Bewegung schwer oder gar nicht wahrnehmen.“ (z.B. Pflanzenwachstum, Gewitterblitz)<sup>336</sup>

In der Bewegungswahrnehmung spielt auch die Eigenbewegung des Beobachters eine Rolle. Sie kann in der Computeranimation scheinbar durch die Bewegung einer Kamera erzeugt werden.<sup>337</sup> „Computeranimation eröffnet auch die interaktive Möglichkeit, die Bewegungen der Benutzer in die synthetischen Bilder einzuschließen. Die Benutzer bewegen sich als aktiv handelnde Teile einer Scheinwelt im Computer und gleichzeitig auch in ihrer realen Welt.“<sup>338</sup>

Die Mechanismen der menschlichen visuellen Sinneswahrnehmung und Verarbeitung werden bei der Bildung visuell wahrnehmbarer Darstellungsformen berücksichtigt. Gleichwohl sollen die Visualisierungen Vorstellungen zur Erdbebendynamik in Analogie mit komplexen dynamischen Systemen (den Zusammenhang zwischen Indeterminismus, Selbstorganisation und Erdbebenereignissen), neue Anschauungen von Raum und Zeit und deren Metaphern und Begriffe einbeziehen und repräsentieren. Dazu informieren die folgenden Kapitel.

---

<sup>331</sup> Vgl. (Ko Hoang 2000, S.95).

<sup>332</sup> Ebd. S.95.

<sup>333</sup> Vgl. ebd. S.95.

<sup>334</sup> Vgl. (Schumann & Müller 2000, S.113).

<sup>335</sup> Ebd. S.113–114.

<sup>336</sup> (Ko Hoang 2000, S.94).

<sup>337</sup> Vgl. ebd. S.96.

<sup>338</sup> Ebd. S.97.

## 6. Entwicklung der Darstellungskonzepte

### 6.1 Abduktive Schlüsse / Metaphern als Modelle der Wirklichkeit

Um nun die seismischen Daten und die zu entwickelnde visuelle Darstellungsform in einen thematischen Sinnzusammenhang zu bringen, der der Erforschung und der Erkenntniserweiterung dynamischer Aspekte von Erdbeben dient, werden *abduktive* Methoden angewandt, welche systemtheoretische, linguistische und kognitive Perspektiven einflechten, vereinen und erörtern. Als eine Form der wissenschaftlicher Kreativitätstechnik kommen diese Methoden gezielt und kontrolliert zur Anwendung. Grundlage dieser Strategie ist die in dieser Arbeit diskutierte Annahme, nach der „die Darstellung [...] nicht allein Mimesis, *Nachahmung* sondern [...] [auch], Poiesis, *Erzeugung*“<sup>339</sup> ist. Jeder Darstellung neben einer bezeichnenden auch eine gestaltende Kraft innewohnt<sup>340</sup> und Erkenntnis nicht frei von Konstruktion ist.

Die Abduktion ist das erste Stadium der Forschung, in dem eine Vermutung, eine Hypothese, eine mögliche Erklärung über einen fragwürdigen Sachverhalt gebildet wird. Sie wurde 1866 von CHARLES SANDERS PEIRCE als Ergänzung zur Deduktion und Induktion in die Logik eingeführt und ist nach PEIRCE<sup>341</sup> „dasjenige Verfahren, das irgendeine neue Idee einführt und dem jedes einzelne Stück wissenschaftlicher Theorie, das heute festgegründet dasteht seine Existenz verdankt“<sup>342</sup> Um ein Phänomen erklärbar zu machen, wird eine Regel hypothetisch eingeführt, damit das zu untersuchende Phänomen als sinnvoller Fall dieser Regel betrachtet werden kann. Die Abduktion ist der Schluss von der beobachteten Wirkung bzw. dem überraschenden Phänomen auf die Ursache. „Die aus abduktiven Schlüssen folgende Hypothese geschieht in der Gewissheit, dass diese weder wahr noch falsch sein kann, sondern dass sie sich bei ihrer Überprüfung als begründet oder nicht belegbar herausstellen kann.“<sup>343</sup> Nach PEIRCE bringt die Abduktion „das zusammen, welches zusammenzubringen wir uns vorher nicht hätten träumen lassen. Sie ist ein Akt der Einsicht, doch gewährt sie keine Sicherheit, sie ist gar von extrem fehlbarer Einsicht, eine bloße Vermutung ohne Beweiskraft.“ Der Forscher betrachtet sie daher als eine vorläufig geltende Behauptung, die noch überprüft werden muss.<sup>344</sup>

<sup>339</sup> (Dombois 1998, S.10).

<sup>340</sup> Vgl. ebd. S.7.

<sup>341</sup> Vgl. Steiner, Erdmund (2004): *Erkenntnisentwicklung durch Arbeiten am Fall*. Ein Beitrag zur Theorie fallbezogenen Lehrens und Lernens in Professionsausbildungen mit besonderer Berücksichtigung des Semiotischen Pragmatismus von Charles Sanders Peirce. Diss. Phil., Philosophische Fakultät, Universität Zürich, S.98.

<sup>342</sup> Ebd. S.98.

<sup>343</sup> Ebd. S.98.

<sup>344</sup> Vgl. ebd. S.98f-99.



## **Abduktion 1 – Systemisch evozierte Struktur- und Musterbildungen**

Gesetzmäßige Zusammenhänge über das raum-zeitliche Auftreten von Erdbeben sind nicht bekannt. Auswirkungen von Erdbeben jedoch sind messbar, denn sie treten zu einer bestimmten Zeit, an einem bestimmten Ort, mit einer bestimmten Stärke auf.

Die Erdbebendynamik wurde im Kapitel 5.1 in Analogie zur Dynamik komplexer Systeme betrachtet. Komplexe Systeme zeichnen sich durch selbstorganisierte Strukturbildungsprozesse aus, in dem Sinne, dass sie aufgrund ihrer Eigendynamik in der Lage sind, qualitativ neue räumliche und zeitliche Ordnungsstrukturen herzustellen. In Anbetracht dieser eigendynamischen Tendenz komplexer Systeme zur Bildung von Ordnungsmustern wird in dieser Arbeit die Hypothese aufgestellt, dass auch innerhalb der raum-zeitlichen Daten der seismischen Aktivität sich systemisch evozierte Merkmale der Struktur- und Musterbildung identifizieren lassen. Aus ihnen lassen sich maßgebende Mechanismen und Zusammenhänge zur Dynamik und Systementwicklung des plattentektonischen Systems und des seismischen Verhaltens ableiten.

### *Beobachtung*

Erdbeben treten zu einer bestimmten Zeit, an einem bestimmten Ort, mit einer bestimmten Stärke auf.

### *Regel*

Systemische Betrachtung von Erdbeben. Dynamik komplexer Systeme zeichnet sich durch selbstorganisierte Strukturbildungsprozesse aus.

### *Hypothese*

Innerhalb der raum-zeitlichen Daten der seismischen Aktivität lassen sich systemisch evozierte Struktur- und Musterbildungen identifizieren, welche Informationen liefern über die Dynamik von Erdbeben und plattentektonischen Systemen.

Gibt es eine Methodik mit der diese Ordnungsmuster und verborgenen Zusammenhänge sichtbar gemacht werden können? Nach welchen Regeln soll eine visuelle Darstellung erstellt werden? Welche Anhaltspunkte bietet die systemische Betrachtungsweise? Wie kann eine Referenz zwischen visueller Darstellungsform und systemischer Erdbebentheorie hergestellt werden?

Vorgestellt werden zwei sich ergänzende Vorgehensweisen.

Es werden aus der veränderten wissenschaftlichen Perspektive von Dynamik und Ordnungsbildung komplexer Systeme hypothetische Fragen entwickelt. Diese zielen darauf ab, geeignete Anwendungen bzw. Darstellungsformen zu entwickeln, die eine Beantwortung dieser Fragen ermöglichen. Insofern geben sie Richtungen vor und liefern inhaltliche Schwerpunkte bei der Herstellung von Beziehungen zwischen den Daten.

Die zweite Methode befasst sich mit der Ausnutzung des konstruktiven Potentials von Metaphern. Aus metaphorischen Bedeutungen werden Assoziationen für Darstellungsformen extrahiert. Es wird angenommen, dass die Trukturalität der Metapher-Beziehung mit der

Strukturalität der Daten-Beziehung korrespondiert. Als Grundlage dienen die Theorien der Selbstorganisation. Diese sind in ihrer sprachlichen Form metaphorisch angereichert. Demzufolge sind sie in der Lage, insbesondere neue und abstrakte Zusammenhänge zu konstruieren und deren Sachverhalte zu verdeutlichen.

Wieso Metaphern in der Lage sind neue Bedeutungen zu konstruieren, soll anhand einer kurzen Einleitung in das komplexe Thema der Metapherntheorien beschrieben werden.

Was ist eine Metapher? Die wörtliche Bedeutung<sup>345</sup> von Wörtern übermittelt, was bereits bekannt ist. Metaphern jedoch scheinen die Bildung von neuen Verbindungen zu bewirken. ARISTOTELES hat mit seiner Definition einen Grundstein gelegt, wenn er sagt:

„Metapher ist die Übertragung eines [fremden] Wortes (das somit in uneigentlicher Bedeutung verwendet wird), und zwar entweder von der Gattung auf die Art oder von der Art auf die Gattung oder von einer Art auf eine andere, oder nach den Regeln der Analogie. [...] Unter einer Analogie verstehe ich eine Beziehung, in der sich die zweite Größe zur ersten verhält wie die vierte zur dritten. Dann verwendet der Dichter statt der zweiten Größe die vierte oder statt der vierten die zweite. [...] Oder: das Alter verhält sich zum Leben, wie der Abend zum Tag; der Dichter nennt also den Abend *Alter des Tages*, oder, wie Empedokles, das Alter *Abend des Lebens* oder *Sonnenuntergang des Lebens*.“<sup>346</sup>

Der Kern der Aristotelischen Definition ist mithin die *Übertragung* und diese ist der kleinste gemeinsame Nenner für weitere Metapherndiskussionen. „So ist es z.B. üblich, der Übertragung zwei Bereiche zuzuordnen, ein Bereich, von dem, und ein Bereich, zu dem übertragen wird: Bildspender und Bildempfänger, Primär- und Sekundärgegenstand oder Ursprungsbereich und Zielbereich.“<sup>347</sup>

Die bis in die Gegenwart dominierende *Substitutionstheorie* verortete die Metapher in der Rhetorik, als rhetorisches Stilmittel, und sah in ihr ein subversives, Wirklichkeitsverfälschendes Moment.<sup>348</sup> „Eine Metapher ist bloß ein Umweg, umständlich, unklar, also überflüssig.“<sup>349</sup> „Die Substitutionstheorie der Metapher behandelt einen metaphorischen Ausdruck als Substitut für einen anderen, wörtlichen Ausdruck, der, hätte man ihn statt dessen verwendet, dieselbe Bedeutung ausgedrückt hätte. Die

---

<sup>345</sup> „Bei den Ausdrücken wie *Tischbein*, *Zahnwurzel*, oder *Briefkopf* kommen keine anderen Beine, Wurzeln oder Köpfe in den Sinn, denn diese Wörter sind längst eigenständige Bezeichnungen für ganz bestimmte Dinge geworden, die Ausdrücke haben die metaphorische Funktion verloren. Als sie erfunden wurden jedoch beruhten sie auf der postulierten Ähnlichkeit von Struktur und Zweck zweier an und für sich grundverschiedener Dinge. Das heißt sie wurden als Metaphern geschaffen, wurden aber schnell als wörtliche Bedeutungen in den Wortschatz aufgenommen. Metaphern rutschen ins Wörtliche, wenn sie nicht mehr ein Gefühl des Widerspruchs erwecken, wenn zwischen der primären Vorstellung und der von der Metapher hervorgerufenen keine Diskrepanz mehr gespürt wird.“ Glasersfeld, Ernst von (2005): „Metaphern als indirekte Beschreibung.“ S.7. In: Eine Rose ist ein Rose... Fischer, H.-R. (Hsg.), Velbrück Wissenschaft, Weilerswist, S.145-155.

<sup>346</sup> Aristoteles zit. nach: Niedermair, Klaus (2001): „Metapheranalyse.“ S.144. In: Wie kommt Wissenschaft zu Wissen? Einführung in die Forschungsmethodik und Forschungspraxis. Hug, Theo (Hsg.), Band. 2, Baltmannsweiler, Schneider-Verl. Hohengehren.

<sup>347</sup> (Niedermair 2001, S.145).

<sup>348</sup> Vgl. ebd. S.145.

<sup>349</sup> Ebd. S.148.

Substitutionstheorie geht, anders gesagt, davon aus, dass ein metaphorischer Ausdruck anstelle eines äquivalenten wörtlichen Ausdrucks gebraucht wird. Damit scheint sie die Leistung der Metapher in ebenso naiver Weise zu unterschätzen wie sie den Umstand verkennt, dass eine Metapher nicht vollständig paraphrasierbar ist.<sup>350</sup> Die Auffassung der Sprache als bloßes Mittel zur klaren begrifflichen Strukturierung in Referenz zu eindeutigen Gegenständen drückt die erkenntnistheoretische Position eines naiven Realismus aus.<sup>351</sup>

PAUL RICOEUR, einer der wichtigsten Metapherntheoretiker der Gegenwart, sah „am Ursprung des logischen Denkens, an der Wurzel jeder Klassifizierung eine Metaphorik am Werk.“<sup>352</sup> Die sogenannte *Interaktionstheorie* von BLACK, beschreibt entgegen der *Substitutionstheorie* die unentbehrliche Schaffung von neuen Bedeutungen durch Metaphern, wenn das bisherige Sprachrepertoire nicht ausreicht,<sup>353</sup> Die metaphorische Aussage besitzt danach zwei deutlich unterschiedene Gegenstände, die als der Primär- und der Sekundärgegenstand identifizierbar sind, wobei der Sekundärgegenstand nicht als ein einzelnes Ding, sondern als ein System aufzufassen ist. Die Interaktionstheorie sieht in der Metapher mehr als einen Ersatz des eigentlichen Ausdruckes, weil diese zum einen nicht übersetzbar oder paraphrasierbar durch Begriffe und Beschreibungen ist, und zum anderen gesteht sie der Metapher eine wirklichkeitskonstitutive Funktion zu. „Die Metapher ist nicht nur dazu gut, einen an sich existierenden, eindeutig benennbaren Gegenstand dekorierend zu beschreiben, sondern mit der Metapher wird gleichsam aus der Sprache heraus ein neuer Gegenstand in die Welt gesetzt.“<sup>354</sup> Durch metaphorischen Gebrauch der Sprache werden neue Facetten von Wirklichkeiten erzeugt.<sup>355</sup> Mit der Weiterentwicklung der erkenntnistheoretischen Sichtweise auf wissenschaftstheoretischer Ebene wird der realistische Standpunkt sukzessive aufgegeben, „wonach eine gegebene Wirklichkeit an sich erkannt und im Rahmen eines gegebenen Sprachrepertoires beschrieben wird, und zwar zugunsten einer konstruktivistischen Auffassung, wonach Wirklichkeit immer neu geschaffen wird – u.a. auch durch die Metapher.“<sup>356</sup>

Die meisten in den letzten 10 Jahren entstandenen Ansätze der Metaphernanalyse berufen sich explizit auf LAKOFF & JOHNSON. Bezieht sich die *Interaktionstheorie* von BLACK in erster Linie auf kreative und innovative Metaphern, identifizieren LAKOFF & JOHNSON die Metapher als konzeptuelles Instrument,<sup>357</sup> welches kein sprachliche Ausnahmeerscheinung sondern die Regel darstellt, sowohl in der normalen Alltagssprache als auch der wissenschaftlichen Fachsprache.<sup>358</sup> Mit diesem Ansatz wird das Funktionsprinzip der Metapher von der Ebene des Sprachgebrauchs auf die Ebene der Kognition übertragen. Hier wird die Metapher primär zu einem *kognitiven Prinzip*, dann

<sup>350</sup> Rolf, Eckhard (2005): *Metapherntheorien, Typologie, Darstellung, Bibliographie*. de Gruyter, Berlin – New York, S.93.

<sup>351</sup> Vgl. (Niedermaier 2001, S.148).

<sup>352</sup> Ebd. S.146.

<sup>353</sup> Ebd. S.148.

<sup>354</sup> (Niedermaier 2001, S.150).

<sup>355</sup> Vgl. ebd. S.150.

<sup>356</sup> Ebd. S.146.

<sup>357</sup> Vgl. Schnadwinkel, Birte (2002): *Neue Medien – neue Metaphern? Sprachliche Erschließung des neuen Mediums Internet durch Metaphern (deutsch-französisch)*. Magister Artium, Universität Hamburg, S.9–11.

<sup>358</sup> Vgl. Steffen, Kira (2006): *Metaphern in der Informatik*. Staatsexamensarbeit, Institut für Informatik, Humboldt Universität Berlin, S.13.

zu einem handlungstheoretischen und erst nachrangig zu einem sprachlichen.<sup>359</sup> Die Autoren sprechen hier nicht mehr von der Metapher sondern von einem metaphorischen Konzept. „Ein metaphorisches Konzept wird als System, bestehend aus Relationen zwischen den Eigenschaften zweier mentaler Konzepte verstanden.“<sup>360</sup> Der Mensch ist metaphorisch konzeptuell strukturiert und die Metapher Ausdruck eines humanen Konstruktionsprinzips.<sup>361</sup> Die kognitiven Modelle beruhen auf menschlichen Erfahrungen, welche Denken und Handeln bestimmen.<sup>362</sup>

Einen wichtigen Beitrag lieferten LAKOFF & JOHNSON durch die Beschreibung funktioneller und struktureller Eigenschaften der metaphorischen Übertragung. Nach diesen Autoren erzeugt die Metapher eine besondere Ähnlichkeit, ohne dabei eine bestehende einfach abzubilden. Sie stellen fest, dass ein metaphorisches Konzept immer nur partiell durch ein anderes Konzept strukturiert wird, indem Inhalte eines Ursprungsbereiches entweder beleuchtet oder verborgen werden.<sup>363</sup> „Bei der Betrachtung von metaphorischen Konzepten gilt es zu berücksichtigen, dass diese fast immer nur Teilbeziehungen sind. Das bedeutet, nicht alle Eigenschaften des einen Konzeptes können auch auf das andere übertragen werden.“<sup>364</sup>

Die sprachliche Metapher ist untrennbar verbunden mit der Metapher als innerem Bild, wobei visuelle und verbale Assoziationen bei ihrer Produktion zusammenwirken. Die Metapher kann eine erhellende Wirkung haben, birgt aber auch das Risiko der Verdunkelung. Man muss sie „zu lesen wissen, sie sinnlich werden lassen, aber auch ihre Bilder aus kritischer Distanz reflektieren, um sich nicht in fiktive Eindeutigkeitsvorstellungen zu verstricken.“<sup>365</sup> Der bildliche Hintergrund *muss* auf den eigenen, individuellen Erfahrungshintergrund zurückgespiegelt werden. „Denn wie heißt es [...] in den *Philosophischen Untersuchungen* Wittgensteins: Ein *Bild* hielt uns gefangen. Und heraus konnten wir nicht, denn es lag in unserer Sprache [...].“<sup>366</sup> Nur die kritische Reflexion der eigenen Assoziationen ermöglicht ein kreatives Lesen der Metapher.<sup>367</sup> „Die unreflektierte Auslieferung an das Bildliche der Metapher dagegen fixiert und vereinnahmt.“<sup>368</sup>

Die interpretative Offenheit der Metapher verleiht ihr das Potential, die Wirklichkeit in neuer Weise zu beschreiben – indem sie zur kreativen Deutung zwingt. „Metaphorische Ausdrücke deuten also eine Beziehung an, bestimmen aber nicht welche.“<sup>369</sup> Darauf basiert der Effekt, der sie zu einem Werkzeug von Dichtern, Schriftstellern aber auch in der Entwicklung wissenschaftlicher Theorien macht. Es ist die Unbestimmtheit, die Unschärfe der Bedeutung, durch die sie zu schöpferischer Auslegung zwingt und somit in

<sup>359</sup> Vgl. (Niedermaier 2001, S.152).

<sup>360</sup> Fiedler, Henning (2005): Visualisierung mit metaphor-basierten Ikonen. Diplomarbeit, Fachbereich Informatik, Universität Rostock, S.28.

<sup>361</sup> Vgl. (Schnadwinkel 2002, S.9-11).

<sup>362</sup> Vgl. ebd. S.13.

<sup>363</sup> Vgl. ebd. S.153.

<sup>364</sup> (Fiedler 2005, S.29).

<sup>365</sup> Jain, Anil K. (2001): „Theoretische Ver-Dichtungen. Zur imaginativen Methode einer reflexiven Hermeneutik und metaphorischen Heuristik.“ S.5. In: Diskursanalyse – Theorien, Methoden, Anwendungen. Erste Druckveröffentlichung, Angermüller, Johannes et.al. (Hsg.), Argument Verlag, Hamburg, S.49-61.

<sup>366</sup> Ebd. S.5.

<sup>367</sup> Vgl. ebd. S.5.

<sup>368</sup> Ebd. S.5

<sup>369</sup> (Glaserfeld 2005, S.7).

der Dichtkunst eine poetische Wirkung erzeugt oder in der Wissenschaft in Form metaphorischer Vergleiche und Analogien einen theoretischen Brückenkopf in unerforschte Gebiete schafft.<sup>370</sup>

Um Metaphern als Modelle der Wirklichkeit sowohl zu erzeugen, als auch zu verstehen, scheinen der Erzeuger und der Interpret eine kreative Abduktionen vollziehen zu müssen, denn was eine Metapher von einem Zusammenhang in einen anderen trägt, ist wie schon beschrieben, nie die ganze Bedeutung eines Wortes oder Ausdrucks. Das, was metaphorisch gesagt wird, ist nicht immer klar, sondern wählbar aus einem Spektrum möglicher Eigenschaften.<sup>371</sup> ARISTOTELES sprach von einer Kompetenz der Metaphorisierung, die es ermöglicht Ähnlichkeiten zu sehen und Analogien herzustellen, und eine Metakompetenz darstellt, die nicht erlernbar ist, sondern Voraussetzung fürs Lernen überhaupt darstellt.<sup>372</sup> BERNHARD DEBATIN weist in *Rationalität der Metapher* auf den Vergleich von GIAMBATTISTA VICO hin, der die Funktionsweise der Metapher als Muster eines Abduktionsprozesses im Sinne von CHARLES S. PEIRCE ansieht. „Wie die Metapher für VICO das Paradigma für die Erzeugung ist, so ist für PEIRCE die Abduktion das Paradigma für heuristische Wissensgewinnung.“<sup>373</sup>

## Abduktion 2 –Visualisierungsstrategie: Metaphorischer Vergleich

Metaphern aus der Sprache der Selbstorganisationstheorien sind als kreative, assoziative Informationsträger, bzw. als sprachliche Modelle der Wirklichkeit, Träger von Informationen über die Dynamik komplexer Systeme und indirekt über die Funktionsweise der Struktur- und Ordnungsbildung. Sie drücken Konzepte über die Funktionsweise der Selbstorganisation dynamischer komplexer Systeme in verdichteter Form aus.

Es wird daher hypothetisch angenommen, dass die Deutung von Metaphern und die Übertragung dieser Assoziationen in eine Darstellungsform das Finden von Zusammenhängen innerhalb seismischer Daten befördert. Zumal die Metapher Kernzusammenhänge des Selbstorganisationsansatzes präzisiert und erleuchtet, ist es vielversprechend, das Dekodieren ausgewählter Metaphern rational und kontrolliert zu reflektieren und somit visuelle Konzeptionen aus dem Spannungsfeld zwischen begrifflichen und bildlichen Assoziationen herzuleiten.

### *Beobachtung*

Systemische Metaphern sind Träger von Informationen über die Dynamik und Funktionsweise komplexer Systeme.

### *Regel*

Assoziative Deutung der Metapher als Kreativitätstechnik für die Ausarbeitung visueller Darstellungskonzepte.

---

<sup>370</sup> Vgl. (Glaserfeld 2005, S.7).

<sup>371</sup> Vgl. ebd. S.3.

<sup>372</sup> (Niedermair 2001, S.145–146).

<sup>373</sup> Debatin, Bernhard (1995): *Die Rationalität der Metapher*. Eine sprachphilosophische und kommunikationstheoretische Untersuchung. Diss. Phil., Technische Universität Berlin, Walter de Gruyter, Berlin, S. 381, S.38.

*Hypothese*

Es lassen sich wesentliche Zusammenhänge und Ordnungsbildungen innerhalb seismischer Daten aufdecken.

Inwiefern die aus semiotischen Metaphern hergeleiteten visuellen Konzepte Gemeinsamkeiten mit sogenannten visuellen Metaphern aufweisen, kann in dieser Arbeit nur ansatzweise diskutiert werden. Zu betonen wäre dazu, dass die Daten, deren Erforschung auf die Detektierung statistischer Korrelationen und räumlicher Strukturen abzielt, auf abstrakte physikalische und innerhalb des GIS auf virtuelle Informationen verweisen. Durch die Bezugnahme auf Metaphern und systemtheoretische Perspektiven wird ihnen jedoch wieder eine anschauliche referenzielle Natur zugesprochen.

## 6.2 Darstellungsformen zur Exploration der seismischen Dynamik

Die in dieser Arbeit bis dato diskutierten Kriterien und Anforderungen an die visuelle Darstellung sollen nun bei der Entwicklung von Darstellungskonzepten berücksichtigt werden. Die Wahl einer bestimmten Darstellungsform erfolgt unter Beachtung folgender im Vorfeld diskutierter Kriterien: die Art der Datenstruktur, der allgemeine Status der Bildlichkeit und der spezielle visuelle Charakter abstrakter Daten, die systemische Analogie zur Erbedynamik und die Berücksichtigung kognitiver Prinzipien. Gleichwohl sind die Grundlagen der Datenbehandlung in einem GIS zu beachten. Das auf verschiedenste Weise darstellbare Datenmaterial, wird nun in eine signifikante Form gebracht.

Anlässlich der starken Interdisziplinären Ausrichtung dieser Arbeit, distanziert sich jede inhaltliche Auslegung fachfremder Disziplinen, mit Vorbehalt von einer wissenschaftlichen Exaktheit. Insbesondere gegenüber existierenden mathematisch physikalisch fundierten Theorien komplexer dynamischer Systeme.

Die bisherige visuelle Darstellung seismischer Daten (von Ort, Zeitpunkt, Magnitude) beschränkt sich zumeist auf eine zweidimensionale Repräsentation. Gewöhnlich werden auf Karten Epizentren durch kreisförmige graphische Primitive ausgedrückt, auf welche Magnitudenstärken (durch Größen- und Farbvariation) oder auch Herdflächenlösungen projiziert werden. Auch dreidimensionale Darstellungen verbleiben in einer ausschließlich punkt- bzw. kugelförmigen Repräsentation der seismischen Ereignisse. Anhand der sich ergebenden Raumverteilung bzw. -dichte der Hypozentren werden mögliche Verwerfungs- und Störungsflächen detektiert und in den Darstellungsraum projiziert.

Diese wissenschaftliche Arbeit erweitert die bisherige visuelle Darstellung und ermöglicht neue Betrachtungsperspektiven, welche im folgenden vorgestellt werden.

Gemäß der systemtheoretischen Perspektive stellt die Zeit ein besonderes Kriterium für die Charakterisierung der Dynamik von komplexen dynamischen Systemen dar. Nach NEWTON ist Zeit noch eine absolute quantitative Größe, unabhängig vom Ort, die jedem Ereignis zugeordnet werden kann. Die systemische Zeit jedoch ist qualitativ. Sie ist keine Variable mehr, welche den zeitsymmetrischen (spiegelsymmetrischen) Gesetzen der Mechanik folgt, sondern sie bildet eine durch Brüche und Marken charakteristische Zeitstruktur aus, gekennzeichnet durch Perioden und Rhythmen, Spannen und Dynamiken. Signifikante Ereignisse setzen qualitative Zeitmarken (Timestamps). Das Ereignis gibt der Zeit Bedeutung. Sie wird eine charakteristische Zeit.

Sogenannte *Zeitbrüche* markieren Ereignisse, die das Resultat von Instabilitäten und Chaos sind. Das heißt, dass durch kleinste Parametermodifikationen Bedingungen sich so dramatisch ändern können, dass neue Qualitäten im Sinne von zeitlich irreversiblen substanziellen Veränderungen entstehen. Die sich verändernden Randbedingungen beeinflussen wiederum die weitere Trajektorie der Systemzustände. Der jeweilige Systemzustand ist ursächlich abhängig von vorangegangenen Zuständen. Dynamische Systeme haben somit eine Geschichte, die sowohl das aktuelle als auch das zukünftige Verhalten beeinflusst. „Bei der Untersuchung dynamischer Systeme ist daher [...] auch der zeitliche Verlauf von Veränderungen der Zustandsgrößen und [die] Geschwindigkeit

von Veränderungen [...] von großer Bedeutung.“<sup>374</sup> Die Gesamtheit vergangener physischer Veränderungen, im Fall von tektonischen Platten, zu einem Ausgangspunkt für die zukünftige Systementwicklung, auch wenn diese aufgrund der Abhängigkeit gegenüber kleinsten Parametermodifikationen inderterminierbar bleibt. Kontrafaktisch kann man sagen, dass jeder zukünftige Zustand durch den Gegenwartszustand, welcher wiederum das Ergebnis vergangener Prägungen darstellt, nicht vorhersagbar definiert wird. Hier zeigt sich eine Kontingenz im Auftreten von Erdbebenereignisse. Ein Zusammenspiel von Zufall und Notwendigkeit, den der Begriff des *deterministischen Chaos* auszudrücken scheint. Der physikalische Zeitbegriff bedeutet Irreversibilität, Zeit erhält einen *Zeitpfeil*. Systeme sind in einen nicht umkehrbaren Entwicklungsprozess eingebunden.

Welchen Zugang zur Entwicklungsdynamik von Systemen (plattentektonischen Systemen) lässt also die genaue Kenntnis der Vorgeschichte zu?

Bedingt evtl. das Zeitverhalten die räumliche Struktur? Bedingt evtl. die räumliche Struktur die zeitliche Struktur?

Die weitere Vorgehensweise orientiert sich an den soeben formulierten Fragen zur seismischen Dynamik. Aus ihnen lassen sich vertiefende hypothetische Fragen zur Erdbebedynamik ableiten. Ausgehend von diesen Überlegungen werden nun sukzessive Darstellungsformen entwickelt. Diese sollen eine Exploration der Datensätze ermöglichen und Lösungen experimentieren. Die Möglichkeiten zur Exploration werden im Text diskutiert.

Um das Verständnis der Konzepte zu fördern, werden die grundsätzlichen Prinzipien der Darstellungskonzepte durch 2D-Skizzen unterstützt. Den angefertigten Skizzen liegen keine realen Datenwerte zugrunde. Auf die skizzenhafte Darstellung der Projektion von Farben wird aus Gründen des Umfangs verzichtet, da diese Art der Projektion für alle Darstellungsformen anwendbar ist.

### **Ausgangssituation/Konzeptionelle Grundlage**

Welche Ausgangssituation wird nun für die Darstellungsentwicklung zu Grunde gelegt?

Entsprechend dem Potential einer GIS-basierten raumbezogenen Darstellung von Geobjekten, werden die drei Raumachsen  $x$ ,  $y$ ,  $-z$  den Koordinaten der Erdbebenherde vorbehalten. Die Parameter Zeit und Magnitude in Form unabhängiger Variablen darzustellen und auf die Raumachsen zu projizieren wird nicht in Erwägung gezogen.

Werden nun alle Erdbebenereignisse in den dreidimensionalen Darstellungsraum projiziert, erhält man eine räumlich verteilte Seismizität, deren Darstellung sich durch Gleichzeitigkeit auszeichnet. Die Positionen der Erdbebenherde (Hypozentren) werden durch diskrete stationäre kugelförmige Primitive repräsentiert. Diese Darstellungsweise wird als *konzeptionelle Grundlage* bezeichnet.

---

<sup>374</sup> Liening, Andreas (1999): *Komplexe Systeme zwischen Ordnung und Chaos*. Neuere Entwicklungen in der Theorie nicht-linearer dynamischer Systeme und die Bedeutung für die Wirtschaftswissenschaft und ihre Didaktik. Ökonomie und Komplexität. LIT Verlag, Berlin, S.49.



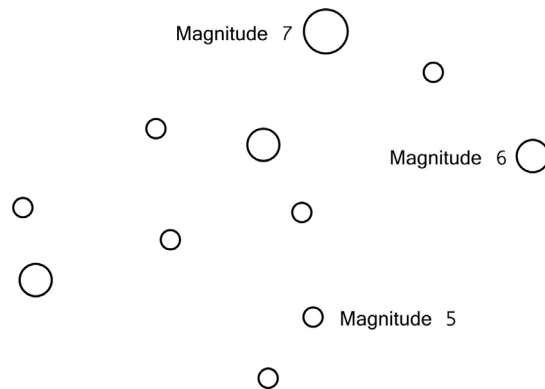


Abb. 3 Konzeptionelle Grundlage; Erdbebenherde unterschiedlicher Magnitudenstärke.

Werden die quantitativ skalierten Magnitudengrößen, deren relevante Stärken zwischen 3 bis >9 schwanken, in wenige Klassen unterteilt, bieten sich diese für eine Projektion auf Farbwerte (retinale Variable)<sup>375</sup> und auf die Größe der kugelförmigen graphischen Primitive an. Bei der Suche nach Zielobjekten in einer visuellen Darstellung erweisen sich Farbkodierungen prinzipiell als effektiver als monochromatische Darstellungen, welche nur durch unterschiedliche Helligkeit differenziert werden können. Eine natürliche Kapazitätsgrenze für die Zahl der verwendeten Farben stellt die Zahl 7 dar, d.h. maximal 5–8 Klassen lassen sich durch Farbe oder Helligkeiten kodieren, wenn die Objektwahrnehmung im Medium der Farbe nicht durch andere Strukturen beeinflusst werden soll.<sup>376</sup>

Bei einer Unterteilung in sechs Klassen gleicher Intervallgrößen entsprechend folgender Klassifizierung 3–3,9; 4–4,9; 5–5,9; 6–6,9; 7–7,9; 8–<9 ad libitum, ist zu berücksichtigen, dass die Magnitudenskala logarithmisch (dekadisch) intervallskaliert ist, dass also jede volle Zahl auf der Skala ein zehnfach stärkeres Beben bedeutet. Somit bergen die ad libitum erstellten Klassen intern eine beträchtliche Differenzierung in der Bedeutung ihrer Werte. Die abgeleiteten Kriterien für die durchgeführte Klassenbildung sind nach diesem Beispiel aber allein die Zahl der Klassen (6) und die arithmetisch gleiche Intervallgröße (bzw. Intervallmächtigkeit der Klasse). Aufgrund der starken qualitativen Unterschiede auf einer logarithmischen Skala, ist eine Klassifizierung der Magnituden in Abhängigkeit von Intensitätsstufen entsprechend der im Kapitel 4.1 dokumentierten Tabellen von GUTENBERG und USGS in Betracht zu ziehen. Zu bedenken sind jedoch die sehr unterschiedlich gewichteten Intervallgrößen der Klassen und die Tatsache: „An earthquake has one magnitude, but many intensities“<sup>377</sup>

Werden bei der Visualisierung der quantitativen Werte auch quantitative Maße von Interesse, soll also eine Metrik mit Hilfe von Farben ausgedrückt werden, so muss auch den Farben eine Metrik zugeordnet werden. Die Betonung der empfundenen Abstände

<sup>375</sup> „Retinale Variablen bezeichnen visuelle Variablen, die von geometrischen Eigenschaften unabhängig sind und somit bei der Visualisierung zusätzlich zu solchen Variablen verwendet werden können, und stellen daher einen zusätzlichen Freiheitsgrad für die Visualisierung der Daten zur Verfügung.“ (Schumann, & Müller 2000, S.125).

<sup>376</sup> Vgl. (Schumann, & Müller 2000, S.149).

<sup>377</sup> Wald, Lisa & Shindle, Wendy (2004): Magnitude vs. Intensity. USGS, (Online. Stand 20.09.08). S.1

zwischen den Farben kann hier nach Bedarf variieren. Um einen Vergleich zu ermöglichen, sollte die Farbkodierung der quantitativen Daten grundsätzlich eine intuitiv erfassbare visuelle Reihenfolge suggerieren. Die Wahl der Farbskala richtet sich nach der Bewertung der Magnitudenskala respektive nach der Art der Klassenbildung. Genau gesagt muss entschieden werden, ob entsprechend einer Klassifizierung gleicher Intervallgrößen eine kontinuierliche Zunahme der Bebenstärke wiedergespiegelt werden soll, oder ob entsprechend dem logarithmischen Charakter der Magnituden eine abgestufte Zunahme impliziert werden soll.

Die Betonung qualitativer Unterscheidungen, wie zum Beispiel subjektiv wahrgenommene Intensitäten, muss über Farbkodierungen verwirklicht werden, welche einen merkbar trennenden Charakter suggerieren,<sup>378</sup> jedoch ohne die ordnende Aussage ganz aufzugeben. Möglich wird dies durch die Verwendung von Farben mit größerem spektralem Unterschied aus einem Farbskalenausschnitt, wie die Regenbogen-Skala, die von den kalten bis warmen Farbtönen der Farbtafel reicht. Jedoch ist die intuitive Ordnung nur für Anwender mit Erfahrung im Bereich der Spektralfarben geeignet, da das Spektrum als ein Bunttonkreis wahrgenommen wird, und die Regenbogen-Farbskala einen fast vollständigen Radius hiervon darstellt, so dass Anfang und Ende nur schwer intuitiv zu zuordnen sind. Das Problem wird durch die Wahl eines Ausschnitts der Farbskala reduziert.<sup>379</sup> Um einen ordnenden Charakter beizubehalten, bieten sich generell Farbskalenausschnitte an, wie die Temperatur-Skala oder die Magenta-Farbskala.<sup>380</sup>

Erhalten die graphischen Kugelobjekte intensive Farben so wird für den Hintergrund schwarz bevorzugt, da dieser bunte Farben stärker zum Leuchten bringt. Generell wird die menschliche Wahrnehmung von Farben und der entstehende Farbeindruck von einer Reihe von Phänomenen beeinflusst, welche in diesem Zusammenhang nicht weiter detailliert werden sollen, da dies den Rahmen der Arbeit überschreiten würde. Grundsätzlich zu nennen sind hier jedoch der Einfluss zeitlich bedingter Farbwahrnehmungen und das Zusammenspiel mehrerer Farben in der Wahrnehmung.

Neben der Farbwahrnehmung sind auch die Parameter der Größe des farbigen Objektes zu berücksichtigen. Die Größe der graphischen Kugelobjekte soll in Korrespondenz zur Magnitudengröße abgestuft werden.

Eine Projektion von Information auf die kugelförmigen graphischen Primitive (wie die klassifizierten Magnituden als Farb- und Größenabstufungen), kann bei Bedarf erweitert werden auf eine Projektion von Herdflächenlösungen (Fault plane solutions oder einfach "Beach Balls"). Mit so genannten Herdflächenlösungen wird für ein konkretes Erdbeben die räumliche Orientierung der Bruchfläche, an der entlang der Scherbruch stattfand, sowie die Bewegungsrichtung der beteiligten Gesteinspakete beschrieben.

### **Zeitstruktur/EreignisGraph**

In Annäherung an die in diesem Kapitel formulierten Eingangsfragen, stellt sich nun das Problem, wie die systemische Zeitstruktur einer Untersuchung zugänglich gemacht werden kann. Wenn das Wissen um die Vergangenheit und damit die Geschichte als maßgebend für das Verständnis der Systementwicklung identifiziert wird, dann wird auch

---

<sup>378</sup> Vgl. (Schumann, & Müller 2000, S.149-150).

<sup>379</sup> Vgl. ebd. S.157-158.

<sup>380</sup> Vgl. ebd. S.157-158.

die Aufeinanderfolge der Erdbebenphänomene, also die zeitlichen Ereignisreihen bedeutsam, da diese den Verlauf der Systemgeschichte bzw. dessen Dynamik nachzeichnen. Der eigentliche Clou für die Darstellung der Zeitstruktur ist aber die Art, wie sie mit ihren räumlichen Beziehungen verknüpft wird.

Wie kann der zeitliche Verlauf räumlich verteilter Ereignisse visualisiert werden?

Aus dieser zuvor beschriebenen eher unpräzisen Darstellungsweise werden die relevanten Ideen entwickelt und zwar mit folgender Begründung.

Von essentieller Bedeutung bei der Untersuchung der seismischen Dynamik wird die Offenlegung des Zeitverhaltens und zwar im Hinblick auf räumliche Veränderung und Magnitudenverteilung. *Gleichzeitigkeit* bzw. *Synchronität* konterkariert hier zwar zunächst dem Begriff der Dynamik, gleichwohl ist das Festsetzen der zeitlichen Invarianz für die Wahrnehmungsfixierung räumlicher Standorte von Vorteil. „Statische Darstellungen [erlauben] [...] wichtige quantitative Aussagen zu Positionen [...] und konkrete Merkmalsausprägungen können exakt und ohne zeitliche Begrenzung analysiert werden.“<sup>381</sup>

Demgemäß lassen sich visuelle Vergleiche anstellen, wie zum Beispiel das Auffinden von Tendenzen in der räumlichen Verteilung und Konzentration etc.

Einer wirklichkeitstreuen, also asynchronen Darstellung entspräche das Simulieren der Frequenz der Erdbebenereignisse durch Aufblinken zum Zeitpunkt ihrer Aktivität auf einer definierten Zeitskala. Der durch eine bewegte und sich verändernde Darstellung ausgelöste Wahrnehmungsreiz und die dadurch bedingte Aufmerksamkeit sind zwar erhöht, indessen wird durch die dynamische Darstellung der Rückblick auf vergangene Ereignisse und Raumpositionen aus der Erinnerung nicht mehr bewältigt, und eine prägnante Objektselektierung bzw. -wahrnehmung und demzufolge eine räumliche Vergleichbarkeit wird verhindert. Gleichwohl wird der Aspekt der zeitlichen Intervalle von Erdbeben durch diese asynchrone Darstellungsmethode berücksichtigt. Entgegen einer statischen Darstellung in der Rhythmen und Frequenzen zeitlicher Intervalle nur visuell quantifizierbar gemacht werden können und daher schwerer intuitiv wahrnehmbar sind. Weitere Methoden, die die Abbildung von Zeitintervallen berücksichtigen, werden nachstehend diskutiert und geprüft.

Mit der Frage nach der dynamischen Vorgeschichte des plattentektonischen geologischen Systems im Sunda Bogen, werden, wie anfangs betont, Ereignisreihen als Darstellungsperspektive interessant. Hier manifestiert sich die Geschichte bzw. die Entwicklung des Systems opportun zu einer räumlich und zeitlich linearen, also chronologischen Aufreihung der Erdbebenereignisse. Eine räumlich und zeitlich lineare Dokumentation wird durchführbar, da Erdbeben univariat auftreten, d.h. nur einen Raum- und Zeitwert besitzen. Sie sind mit verschwindend geringer Wahrscheinlichkeit isochron und treten nicht an exakt gleichen Orten ein. Die zugrundeliegende Zeitreihe ist zusätzlich nicht äquidistant, ihre zeitlichen Abstände sind also nicht konstant.

Die gemessenen dynamischen physikalischen Eigenschaften –zeitlich abhängige Positionen im Raum– der Erdbebenaktivität referenzieren kein genuin Sichtbares, sondern drücken skalare quantifizierbare Größen aus, die auf theoretischen Abstraktionen, zum Teil auf Berechnungen beruhen. Sie nehmen daher keinen repräsentationalen Status ein im Sinne

---

<sup>381</sup> (Schumann, & Müller 2000, S.176).

einer materiellen Referenz, sondern einen diagrammatischen, dessen epistemische Funktion in der Modellierung geometrischer Strukturen besteht, die gänzlich immateriell bleiben, gleichwohl logische Verhältnisse ausdrücken können, was dem reinen Bild versagt bleibt. Die Darstellung, welche sich jeder Verdinglichung bzw. Einschreibung eines konventionellen Bildrealismus entzieht, sondern sich ausschließlich auf die Sichtbarmachung von Relationen beschränkt, ist der *Graph*.

Der Graph, als das in dieser Arbeit bevorzugte diagrammatische Objekt, besteht nur aus Verbindungen (Kanten) und unterscheidbaren Marken (Knoten) ohne konkrete Gestalt und visualisiert primär Strukturalität und Zwischenräumlichkeit. Hierdurch wird der relationale Status des Datenmaterials durch die Sichtbarmachung konserviert, die Darstellung bleibt als Abstraktum, in der nur räumliche Bezüge sichtbar werden, lesbar. Wie kann nun der relationale Charakter abstrakter Daten bei der Ausgestaltung von Ereignisreihen beibehalten werden und durch ein GIS und dessen Datentypen repräsentiert werden?

Der entscheidende Schritt, der eine Projektion der Ereignisreihen in Form eines diagrammatischen Graphen auf die *konzeptionelle Grundlage* im dreidimensionalen Raum ermöglicht, wird durch eine Vektorbildung erzielt, dessen Ursprung jeweils die Position eines Erdbebenereignisses ist und dessen Richtung und Länge im Raum durch die Position des nachfolgenden Ereignisses definiert wird, wonach der Richtungspfeil in Zeitrichtung orientiert ist.

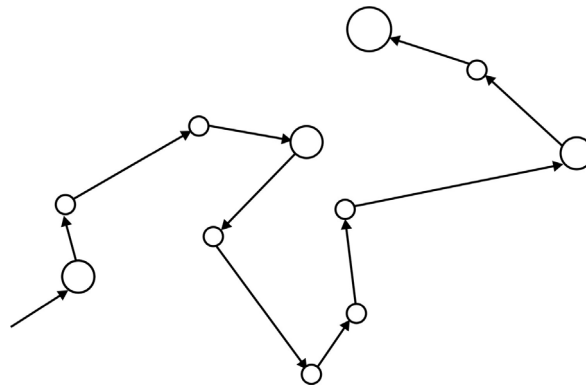


Abb. 4 EreignisGraph, Vektorbildung in chronologischer Abfolge.

Durch Bildung der Vektoren für alle ausgewählten Erdbebenereignisse entsteht eine Kettenstruktur, bestehend aus Knoten (Hypozentren) und Kanten (Vektoren), welche sowohl die zeitliche Struktur als auch die ihr zugrundeliegenden Hypozentren im Raum sichtbar macht.

Durch diese Modulation öffnet sich der Horizont für ein breites Angebot an Untersuchungsverfahren und Möglichkeiten der Darstellungsdifferenzierung, dem aber ein einfaches und aufgrund der begrenzten Anzahl der Objekttypen intuitiv interpretierbares Prinzip der Informationsvermittlung zugrunde liegt.

Inwiefern bei der visuellen Konzeption und Umsetzung ein diagrammatischer abstrakter Charakter beibehalten wird oder verstärkt Bildbearbeitungs- und

Bildeinschreibungsverfahren bedient werden, deren Substanz sich visuellen Metaphern annähert, wird weitergehend zu diskutieren sein.

Welchen Informationsgehalt befördert der Graph, auf welche Wahrnehmungsinhalte und -kriterien fokussiert er und was wird untersuchbar, besser gesagt detektierbar?

Der *Graph der Ereignisreihen* verkörpert eine Struktur im dreidimensionalen Raum, deren vektorbasierte Gestalt vom ausgewählten Datenmaterial abhängig ist. Auf die Eingangsfrage nach der Bedingtheit der räumlichen Struktur durch das Zeitverhalten lässt sich, bezogen auf den *EreignisGraphen* als räumliches Konstrukt, insofern Bezug nehmen, als die Vektoren zwischen räumlichen Positionen konstruiert werden, welche aus der zeitlichen Ordnung, respektive dem Zeitverhalten resultieren und die räumliche Struktur des Graphen mitbestimmen.

Unabhängig vom Datenmaterial zeichnen die Raumvektoren einer Sequenz *-jeweils zweier chronologisch nacheinander sich ereignender Erdbeben-* den Zeitbezug bzw. die zeitliche Ordnung dieser Erdbeben visuell nach. Es entsteht eine erst durch Zeitpunkt und Raumpunkt erzeugte Ausrichtung im dreidimensionalen Raum. Erst der Sachverhalt einer Relation zwischen den physikalischen Größen Raum und Zeit verleiht der Darstellung eine spezifische Form, Orientierung und Gestalt (Strukturierung) und ist in Abhängigkeit vom eingesetzten Datensatz jeweils verschieden.

Die Vektoren projizieren die raum-zeitliche Dynamik in einen statischen Darstellungsraum. Der Graph liefert eine Handhabe, die durch ihn repräsentierte Erdbebendynamik nach phänomenologischen bzw. morphologischen Eigenschaften zu untersuchen. Der Fokus liegt hierbei auf der Wahrnehmung regelmäßiger oder sich periodisch wiederholender Muster.

### **Zyklische Zeitprozesse – Symmetrien, Muster etc.**

Jede Struktur und Ordnung in dynamischen Systemen besteht nur vorübergehend. Durch sich wiederholende Prozesse werden Muster reversibel laufend auf- und abgebaut. Strukturen und Ordnungen sichern ihre Stabilität über die Anpassung an irreversible Entwicklungsprozesse. Es besteht ein zyklischer Zeitprozess. Mit der Vorstellung seismischer Zyklen, die den Verlauf der Seismizität zwischen zwei starken Erdbeben einer Region beschreiben und Prozessen des tektonischen Aufladens vor Erdbeben und Relaxationsprozessen nach Erdbeben, wird ein näherungsweise periodisches Auftreten großer Erdbeben in Erwägung gezogen.

Lassen sich also periodisch wiederkehrende Muster in Ereignisreihen finden?

Durch welche Darstellungsmethode können symmetrische Muster in den Daten identifiziert werden?

Lässt sich eine zeitliche Periodizität zwischen Erdbebenereignissen ausmachen?

Strukturen, denen räumliche Wiederholungen und Regelmäßigkeiten zugrunde liegen, sind symmetrische, geometrische *-und auch fraktale Formen*. Für die Prüfung von Symmetrien bietet sich die Vorstellung seismischer Zyklen an. Nach der Definition ist damit die Sequenz seismischer Aktivität zwischen zwei Hauptbeben gemeint, letztere mit eingeschlossen. Des weiteren bieten sich Vergleiche zwischen Graphen unterschiedlicher seismischer Zyklen an. Zu berücksichtigen und zu überprüfen ist jedoch, ab welcher

Vektordichte, das heißt Datenmenge, die Übersichtlichkeit soweit eingeschränkt wird, dass eine Struktur- und Mustererkennung unmöglich wird. Generell besteht die Möglichkeit, den zu untersuchenden Datenumfang frei zu wählen und zu variieren.

„Im physikalischen Sinne versteht man unter Symmetrie eine Invarianz gegenüber bestimmten Transformationen, [...] anschaulich wird unter Symmetrie die regelmäßige Wiederholung einer von der Struktur getragenen Eigenschaft im Raum verstanden,“<sup>382</sup> oder „eine gesetzmäßige Wiederholung eines Motivs.“<sup>383</sup> Lassen sich zunächst keine regelmäßigen Figuren und Muster in der Graphenstruktur erkennen, bietet es sich an, Wiederholungen und Regelmäßigkeiten durch geometrische Operationen zu prüfen.

„Eine geometrische Operation (Transformation), die diese Wiederholung erzeugt, wird als Symmetrieoperation oder Deckoperation bezeichnet.“ Wegen des Mangels geschlossener Einzelflächen oder geometrischer Volumenkörper reduzieren sich Symmetrieoperationen an 3D-Graphen auf das Detektieren von Tendenzen in der Symmetrieausbildung, da eine exakte Deckungsgleichheit von Kanten und Knoten nicht erwartet wird. Die Ausführung von Symmetrieoperationen im dreidimensionalen Raum erfordert die subjektive Positionierung von Symmetrieelementen,<sup>384</sup> also die räumliche Positionierung von Drehachsen, Spiegelebenen oder Inversionszentren<sup>385</sup> in Bezug zum Graphen.

Eine Reduzierung der Information, aber eine Steigerung der Anwenderfreundlichkeit bei der Prüfung von Symmetrien erfolgt durch die Projektion des Graphen auf eine 2D-Fläche, an der sich zweidimensionale Symmetrieoperationen ausführen lassen. Als Standardverfahren bietet sich hier die Projektion auf die durch das Bezugssystem aufgespannten Achsenflächen an. Durch eine freie und uneingeschränkt veränderbare Rotation und Neigung des Graphen könnte ein zusätzlicher Informationsgewinn ermöglicht werden. Bleibt das Bezugssystem fixiert, verändern sich zwar die geographischen Raumbezüge, die strukturellen Grapheneigenschaften bleiben aber invariant (da der Graph isomorph ist).

---

<sup>382</sup> Kleber, Will (1990): *Einführung in die Kristallographie*, 17. Auflage, Verlag Technik GmbH, Berlin, S.49.

<sup>383</sup> Borchardt-Ott, Walter (1993): *Kristallographie. Eine Einführung für Naturwissenschaftler*. 4. Auflage, Springer, Berlin, S.49.

<sup>384</sup> „Geometrisch anschaulich ist ein Symmetrieelement (als Achse oder als Ebene) ein Unterraum des dreidimensionalen Raumes, der durch die betreffenden Symmetrieoperationen mit sich selbst zur Deckung gebracht wird bzw. invariant bleibt“, (Kleber 1990, S.59).

<sup>385</sup> „Anschaulich kann man die Inversion als eine Projektion durch einen Punkt [...] deuten“ Ebd. S.56.

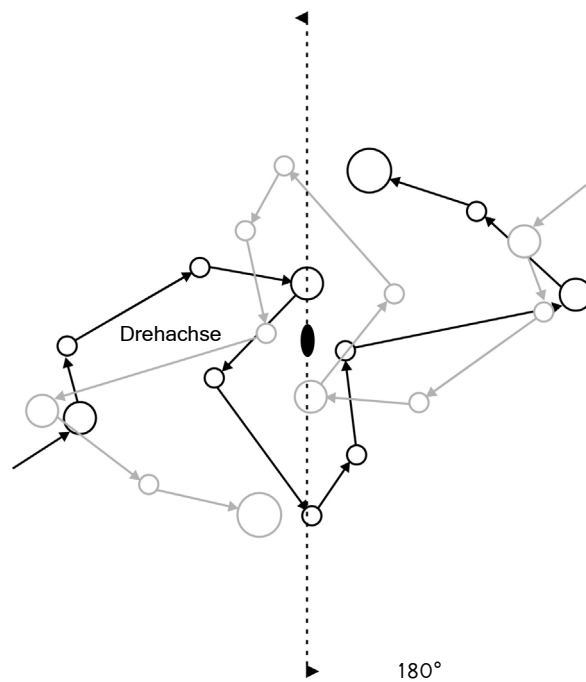


Abb. 5 Symmetrieoperation des EreignisGraphen, 180° Drehung (an frei definierter Drehachse).

### Metaphorik am Werk

#### ZeitPfeil

Wie kann eine intuitive Orientierung nach zeitlichen Kriterien im Raum durch den Betrachter verbessert werden?

Eine Erfassung des Zeitverlaufs und insbesondere die intuitive Identifizierung von historischen und aktuellen Ereignissen in Ereignisreihen, kann –neben Pfeilorientierungen in Zeitrichtung– durch einen sich verdickenden respektive verjüngenden Graphen verkörpert werden. Die Durchmesser der einzelnen Verbindungselemente (Vektoren) werden kontinuierlich vergrößert oder verkleinert (in oder gegen die chronologische Abfolge). Durch diese Modifikation wird die Wahrnehmung stärker auf eine bestimmte Region fokussiert. Der Fokus definiert sich aus der jeweils unterschiedlichen Bewertung von Gegenwart und Vergangenheit.

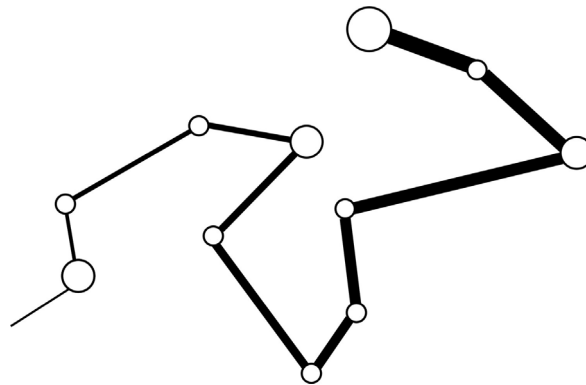


Abb. 6 EreignisGraph als Zeitpfeil; Modifikation der Durchmesser der Vektorsegmente in chronologischer Abfolge.

Durch die unterschiedliche Gewichtung der Verbindungselemente bleibt die ursprüngliche Raumstruktur aufgrund der isomorphen Eigenschaften des EreignisGraphen erhalten und somit auch der graphematische Charakter der Darstellung. Gleichwohl tritt infolge der ikonographischen Akzentuierung gewollt die Metaphorik des *Zeitpfeils* stärker in Erscheinung, was eine intuitive Fokussierung bewirkt.

Nicht nur die Zeitausrichtung lässt sich durch diese Methode hervorheben. Generell lassen sich weitere Attribute wie Zeitabstände und Magnituden auf Segmentdurchmesser projizieren. Ergänzt werden kann dieses Verfahren durch eine Abbildung von Farbwerten auf Vektorsegmente. Zu berücksichtigen ist hier jedoch immer die Übersichtlichkeit bei der Struktur- und Farbwahrnehmung. Gegebenenfalls ist zu überlegen, ob bei Farbprojektionen auf Segmente zugunsten der Deutlichkeit nur einzelne ausgewählte Aspekte farblich hervorgerufen werden.

### VektorRose

Der sequentielle Graph dokumentiert den evolutionären Prozess des plattentektonischen Systems, welcher in seinem Verlauf, metaphorisch ausgedrückt, durchschlagen ist von zeitlichen Bruchstellen, den Erdbebenherden, an denen durch das Entladen von Energie neue Qualitäten materieller physischer Art entstehen.

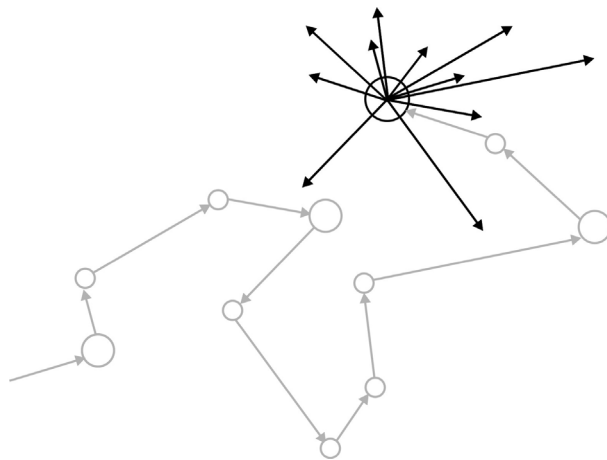
Wie kann eine Projektion der Vergangenheit bzw. der Vorgeschichte auf ein bedeutsames Erdbebenereignis verwirklicht werden?

Wie sieht das Zeit- und Raumverhalten von Erdbeben innerhalb eines seismischen Zyklus aus, bezogen auf vorausgehende und nachfolgende Hauptbeben?

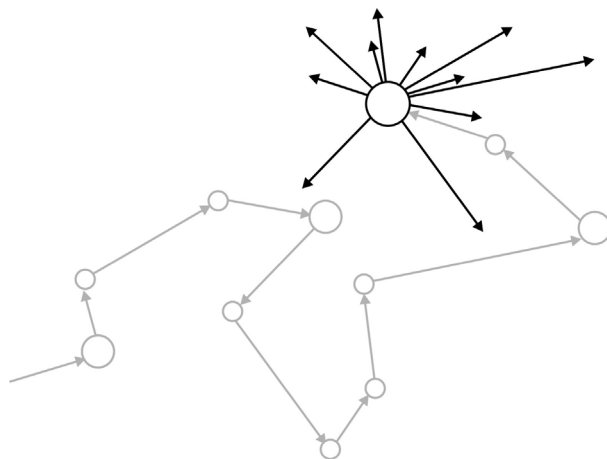
Als Inspirationsquelle und kreatives Medium für die Annäherung an diese Problematik wird das Potential der Metapher in Anspruch genommen, in diesem Fall die metaphorische Deutung oder Abduktion der Metaphern *Symmetriebruch der Zeit* bzw. *Bruch der zeitlichen Symmetrie*. Da Metaphern nur unvollständig paraphrasierbar sind, kann die folgende Beschreibung nur eine Annäherung an die Metapher und ihre Deutung sein.



Die Assoziationen einer *zeitlichen Bruchstelle* korrespondieren mit der Vorstellung von der Unterbrechung oder Eliminierung der zukünftigen Entwicklung des EreignisGraphen an einem Ereignispunkt (Ort, Zeitpunkt). Die Gesamtheit der dynamischen Vorgeschichte lässt sich durch die raum-zeitlich bedingte Strukturalität des EreignisGraphen, genau gesagt durch die Gesamtheit seiner Vektorausrichtungen charakterisieren. Die Strategie besteht nun darin, Vektoren durch eine Vektoroperation an den Ort der zeitlichen Bruchstelle zu verschieben. (Bruchstelle kann zum Beispiel definiert sein durch ein Erdbeben mit einer bestimmten Magnitude). Und zwar diejenigen Vektoren, welche die Geschichte der Bruchstelle repräsentieren. Die Vektorverschiebung greift hier am Ursprung *eines jeden* Vektorsegments an und verschiebt dieses bei unveränderter Raumausrichtung auf den Mittelpunkt des gewünschten zu untersuchenden Erdbebenereignisses.



a)

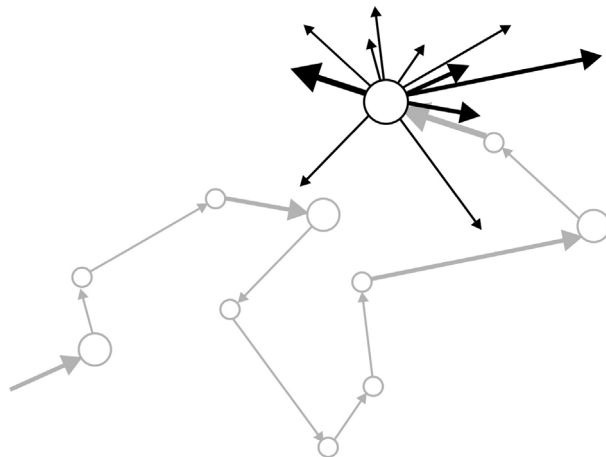


b)

Abb. 7 EreignisGraph und durch Vektorverschiebung von ihm abgeleitete VektorRose, a) Vektoren greifen im Zentrum (Ereignispunkt) an, b) Vektoren durchstoßen graphisches Kugelprimitiv.

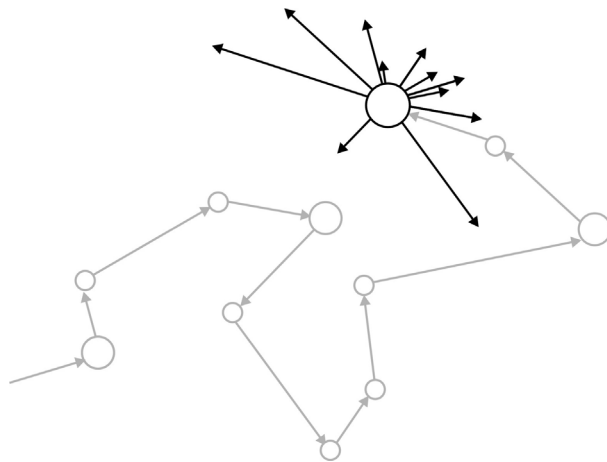
Die resultierende Konzeption bewirkt einen Wahrnehmungswandel und damit einhergehend eine Informationserneuerung. Durch die Bündelung der Vektoren an *einem* Zeit- und Raumpunkt werden die zuvor im Raum verteilten Vektorrichtungen erst vergleichbar. Das Gestaltungsgesetz der Nähe offenbart hier seine ganze Wirkung. Die *VektorRose des EreignisGraphen* ermöglicht, vergleichbar mit der tektonischen Kluffrose in der Geologie, die Identifizierung von Richtungen und Richtungshäufigkeiten und zwar im dreidimensionalen Raum. Darüber hinaus integriert sie, neben der Eruierung des Azimut<sup>386</sup> von 0°–360° Grad, die Identifizierung des Einfallwinkels von 0°/–90°, respektive des Steigungswinkels von 0°/+90°.

Die VektorRose stellt eine neue Qualität in der Erforschung der Raumausrichtungen des Graphen und seiner Strukturalität dar, welche allein aus seiner sequenziellen Struktur nicht ableitbar ist. Erforschbar werden, neben möglichen Richtungshäufigkeiten im dreidimensionalen Raum, die mit ihnen korrespondierenden Beträge, also die Längen der Vektoren der VektorRose sowie Farbwerte und Segmentstärken (Durchmesser). Diese lassen sich nämlich wie beim EreignisGraphen in Abhängigkeit vom Untersuchungsschwerpunkt variieren, respektive mit verschiedenen Merkmalen belegen. Neben den bis dato betrachteten konstruierten räumlichen Distanzen der Graphensegmente, lassen sich die Zeitintervalle der korrespondierenden Sequenzen, die Magnitudenstärken, die chronologische Abfolge, Geschwindigkeiten (z.B. für  $v=s/t$   $s$ =räumliche Länge eines Graphensegments;  $t$ =Zeitintervall) sowie die  $-z$ -Werte (Tiefe der Erdbebenherde unter Meeresspiegel) als Vektorbeträge ausdrücken und bei geringer Klassenanzahl auch auf Farbwerte und Segmentstärken projizieren. Die Konstruktion der VektorRose ermöglicht generell die statistische Auswertung von Richtungen und Häufigkeiten im dreidimensionalen Raum.



a)

<sup>386</sup> nach den Himmelsrichtungen orientierter Horizontalwinkel.



b)

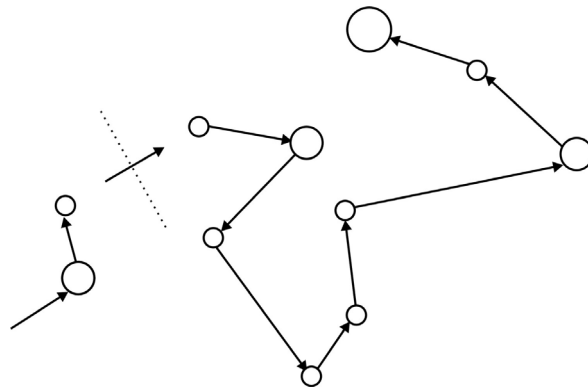
Abb. 8 a) Variation der Vektorsegmentdicken des EreignisGraphen und der VektorRose in Abhängigkeit der Magnitudenstärke, b) Variation der Vektorbeträge der VektorRose entsprechend der zwischen den Erdbebenereignissen auftretenden Zeitintervalle.

### Vektorfeld

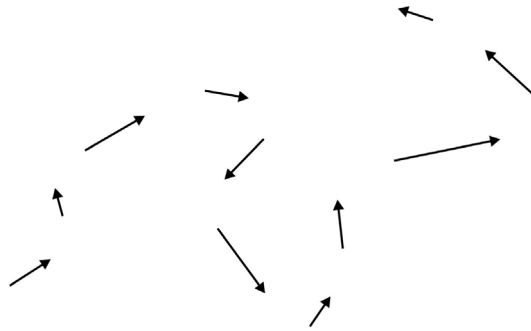
Aus der Vektorisierung des Darstellungsraumes durch den EreignisGraphen lässt sich eine weitere Darstellungsweise ableiten, welche eine neue Perspektive aus der Reduktion von Information ableitet. Dies erfolgt durch die Projektion der Vektorrichtungen auf Flächen (Achsenflächen oder frei definierbar) des Bezugssystems unter Eliminierung der Erdbebenherde und unter proportionaler Verkürzung der Vektorbeträge der räumlichen Distanzen oder Neubesetzung der Vektorbeträge durch die Parameter der entsprechenden Zeitintervalle. Hier können die Vektorsegmente durch die Variation von Farbwerten und Segmentdicken wieder zusätzlich mit Werten belegt werden.

Die sich ergebende Visualisierung vermittelt den Eindruck eines zweidimensionalen Strömungsbildes unter stationären Verhältnissen, da die Vektoren frei im zweidimensionalen Raum stehen und keinen Ursprung und Zielpunkt mehr visualisieren. Es lassen sich Richtungshäufigkeiten und Raumverteilungen in Bezug setzen sowie Distanz- respektive Zeitintervallverhältnisse ablesen.

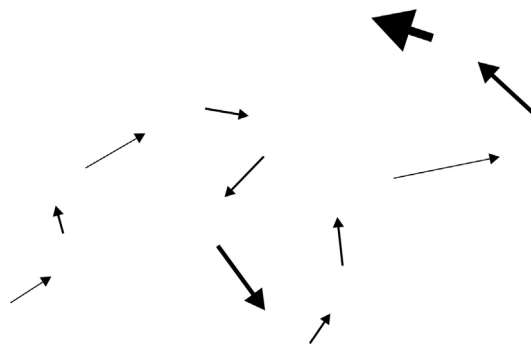
6. Entwicklung der Darstellungskonzepte



a)



b)



c)

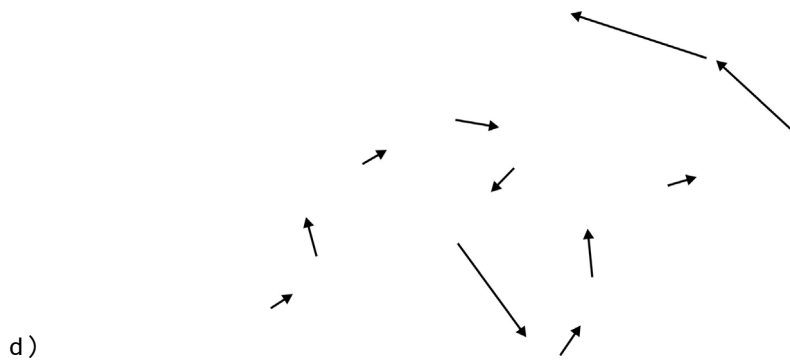


Abb. 9 a) Konstruktion des Vektorfeldes aus dem EreignisGraphen. Neubildung im jeweiligen Schwerpunkt eines Vektors, b) Projektion der Raumdistanzen auf Vektorbeträge c) zusätzlich: Zunahme der Segmentdicken proportional zu den Zeitintervallen, d) Zunahme der Segmentbeträge proportional zu den Zeitintervallen.

### Wegesysteme

Bei der Suche nach regelhaften Strukturen in den seismischen raum-zeitlichen Daten, liegt eine Strategie darin zu analysieren, ob ein System in Anlehnung an die Theorien SCHWEITZERS (Vgl. Fußnote<sup>387</sup>) bevorzugte Wege nutzt, d.h. inwieweit sich räumliche Verläufe wiederholen oder sich lokale Konzentrationen ermitteln lassen und welche raum-zeitlichen Beziehungen diese zueinander aufweisen.

Werden materielle Prägungen in der weiteren Entwicklung des Systems verstärkt, sprich gibt es bevorzugte Wege im Raum oder räumliche Ereignisdichten?

Wie sehen die Ereignisreihen dort aus? Welche Muster zeigen z.B. Ereignisreihen in Regionen räumlicher Ereignisdichten? Wie häufig folgen Ereignisreihen ähnlichen Wegen?

Welchen Einfluss hat der Grad einer Strukturveränderung bzw. die Stärke des Erdbebens auf die zukünftige Systementwicklung? Wie lässt sich dieser Einfluss auf die Systementwicklung visuell nachprüfen?

Haben aktuellere Ereignisse und Prägungen einen stärkeren Einfluss auf zukünftige Ereignisse als ältere?

Da GRASS GIS Topologien nur für 2D-Objekte aufbauen kann, lassen sich keine räumlichen Abfragen für 3D-Objekte durchführen. Möglich ist hier lediglich die Abfrage einer Koordinatenauswahl aus der Attributtabelle des EreignisGraphen.

### Dynamisierung

Dynamische Darstellungen bieten mit einer involvierten Zeitachse zusätzliche Freiheitsgrade zur Kodierung weiterer Information,<sup>388</sup> wie z.B. die Darstellung von Veränderungen in den

<sup>387</sup> siehe im Detail: (Schweitzer 1997).

<sup>388</sup> (Schumann, & Müller 2000, S.?).

Datenwerten. Die bisherigen Darstellungsvorschläge sind statischer Natur. Ihre graphischen Repräsentationen verändern sich nicht über die physische Zeit. Durch die Variation des Datenmaterials *respektive Zeitintervalls* lassen sich vom Benutzer jedoch Veränderungen in der Darstellung registrieren. Das bedeutet, mit der Variation der ausgewählten Teildatenmenge bzw. Zeitintervalle variiert auch die Gestalt des Graphen bzw. die Vektorkonstruktion, da andere Datenwerte in den Raum projiziert werden. Eine Umgestaltung der EreignisGraphen bedingt demzufolge auch eine Änderung der abzubildenden Vektoren einer VektorRose.

Durch die vier dynamischen Variablen oder zeitlichen Primitive *Dauer*, *Wechselrate*, *Reihenfolge* und *Phase* lässt sich ein dynamischer Zeitbezug in unterschiedlicher Ausprägung darstellen. Die *Dauer* bestimmt, wie lange ein bestimmtes Einzelbild einer Animation dargestellt wird. Unter dem Begriff *Wechselrate* wird das Tempo des Bildwechsels verstanden, welcher entweder konstant oder variabel sowie schnell oder langsam sein kann. Die *Reihenfolge* ist die Chronologie der Einzelbilder. Sie kann gegebenenfalls verändert werden, um statt der zeitlichen eine andere Ordnung darzustellen. Die rhythmische Wiederholung bestimmter Folgen von Einzelbildern wird als *Phase* bezeichnet.

Zu überlegen ist nun, wie sich der dynamische Zeitbezug *-zeitliche Veränderungen von Geoobjekten-* auf eine Darstellung übertragen lässt?

Die Daten bestehen zwar nur aus diskreten Zeitpunkten, sie besitzen also einen quasistatischen Zeitbezug. Aus mehreren Gründen lassen sich die Daten jedoch mit einem dynamischen Zeitbezug visualisieren. Und zwar zum einen, wenn räumliche Veränderungen und Schwankungen der Gestalt in der Zeit untersucht werden sollen. Entsprechend dieser Zielstellung werden die diskreten Zeitpunkte, welche ursprünglich eine nichtkontinuierliche quasistatische Zeitachse besitzen, chronologisch kontinuierlich animiert. Eine andere Möglichkeit bietet die Berücksichtigung der Zeitintervalle unter Einsatz einer kontinuierlich skalierten Zeitachse.

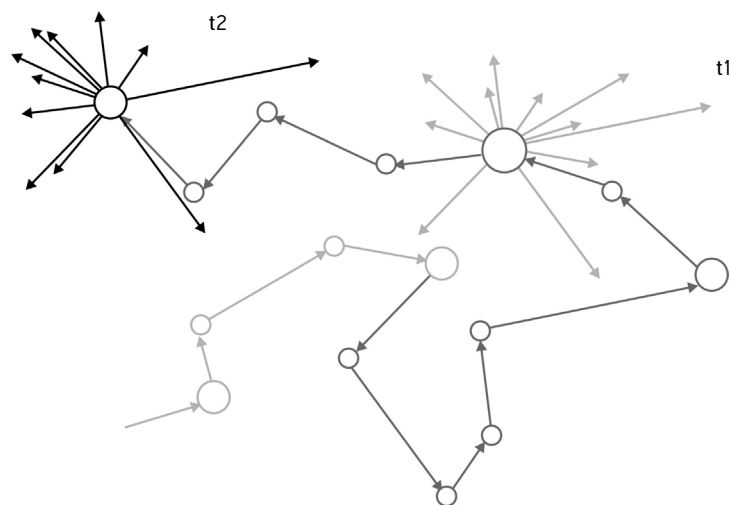
Der durch eine Teildatenmenge *-beispielsweise einen seismischen Zyklus-* repräsentierte EreignisGraph wird nach regelmäßigen räumlichen Mustern untersucht. Wird bei konstant bleibenden Datenumfang (von z.B. 50 oder 100 Daten) die Zeitachse des Graphen chronologisch animiert, dann macht die Dynamik der sich verändernden Dateninhalte eine Modifikation der Struktur des Graphen visuell wahrnehmbar. Die Variation der Wechselrate bzw. Geschwindigkeit der Animation ermöglicht die Identifizierung von charakteristischen *Choreographien* in den Strukturen und Raumpositionen des animierten EreignisGraphen.

Bei einer Mitberücksichtigung der zeitlichen Intervalle zwischen Ereignissen lassen sich zusätzlich rhythmisch-frequenzielle Ausprägungen bei der räumlichen und zeitlichen Umgestaltung untersuchen. Eine Projektion des dreidimensionalen Graphen auf 2-dimensionalen Achsenflächen des Bezugssystems, kann Komplexität in der Wahrnehmung reduzieren. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die chronologisch (mit oder ohne Zeitintervalle) auftretenden Erdbebenereignisse entsprechend ihrer Magnitudenstärke *auditiv zu verstärken*. Es können verschiedenen Magnituden unterschiedliche Tonfrequenzen zugeordnet werden. Dadurch lassen sich akustische Ordnungen untersuchen, evtl. rhythmische und/oder melodische Tendenzen aufspüren. (Differenzierte Informationen zur

Audifikation von Erdbebendaten von Prof. FLORIAN DOMBOIS, Leiter des Instituts für Transdisziplinarität, Hochschule der Künste Bern, vgl. Fußnote<sup>389</sup>)

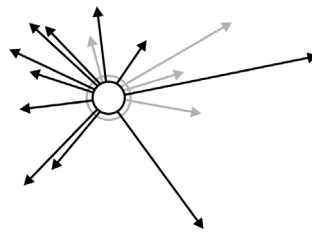
Die Animation der VektorRose erfolgt durch einen Austausch der Projektionszentren in chronologischer Reihenfolge. Entsprechend der Animation des EreignisGraphen können die diskreten Ereignisse entweder direkt hintereinander abgespielt werden oder die in den Daten repräsentierten Zeitintervalle zwischen den Ereignissen mitberücksichtigt werden. Grundsätzlich ermöglicht die Animation der VektorRose über die Zeit eine Einsicht in die Dynamik der Raumvektorausrichtungen von raum-zeitlich aufeinander bezogenen Erdbebenereignissen. Durch die Rotation der Vektorplätze und Vektorbeträge und die sich wandelnde Gestalt der VektorRose, können Veränderungen in den Richtungshäufigkeiten, Vektorbeträgen und Farbkodierungen über die Zeit innerhalb der Daten untersucht werden.

Mit der Veränderung der Teildatenmenge und der Projektionszentren positionieren und konstruieren sich die abgebildeten Vektoren zunehmend um. Die Darstellung der Dynamisierung sollte jedoch, wie in Abbildung 10 b) illustriert, in Form eines fixen Projektionszentrums verwirklicht werden, an dem sich die dynamischen Vektortransformationen ablesen und vergleichen lassen.



a)

<sup>389</sup> <http://www.hkb.bfh.ch/floriandombois.html>



b)

Abb. 10 a) Dynamisierung der VektorRose (funktionell) Zeitpunkte t1 und t2, b) Fixes Projektionszentrum, dynamische Vektortransformationen.

Eine weitere Explorationsmethode, welche durch die Bildung der VektorRose ermöglicht wird, besteht in der Konstruktion einer über die Vektorenden der VektorRose gespannten Hüllkurve. Das sich abzeichnende Volumen fokussiert auf die Ganzheit der Gestaltwahrnehmung. Durch diese Zusammenfassung werden nicht mehr Richtungshäufigkeiten, sondern Morphologie, Habitus, Oberfläche einer äußeren Form wahrgenommen. Ein Problem besteht darin, dass prägnante Oberflächenausprägungen der Hüllkurve, anstatt auf maximale Häufigkeiten zu verweisen, auch durch Ausreißer und Extremwerte verursacht werden. Die Information der Richtungshäufigkeiten, lässt sich jedoch durch eine Farbprojektion der Häufigkeitsverteilung auf die Hüllkurve interpolieren.

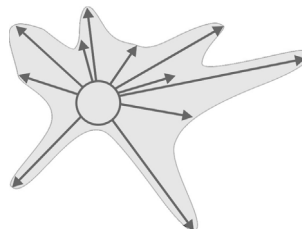


Abb. 11 Skizze einer über die VektorRose gespannten Hüllkurve.

Mit der Animation des Hüllkurvenvolumens über die Zeit wird dessen Gestalt und Gestaltwandel explorierbar. Bei Berücksichtigung der Zeitintervalle wird zusätzlich die Wandlungsrhythmik (Frequenz) wahrnehmbar. Durch zusätzliche *Morphing Effekte* wird es möglich, eine Gestalt übergangslos in eine andere zu verwandeln. Hier lassen sich wiederum Symmetrieoperationen am Volumenkörper erproben.



## 6. Entwicklung der Darstellungskonzepte

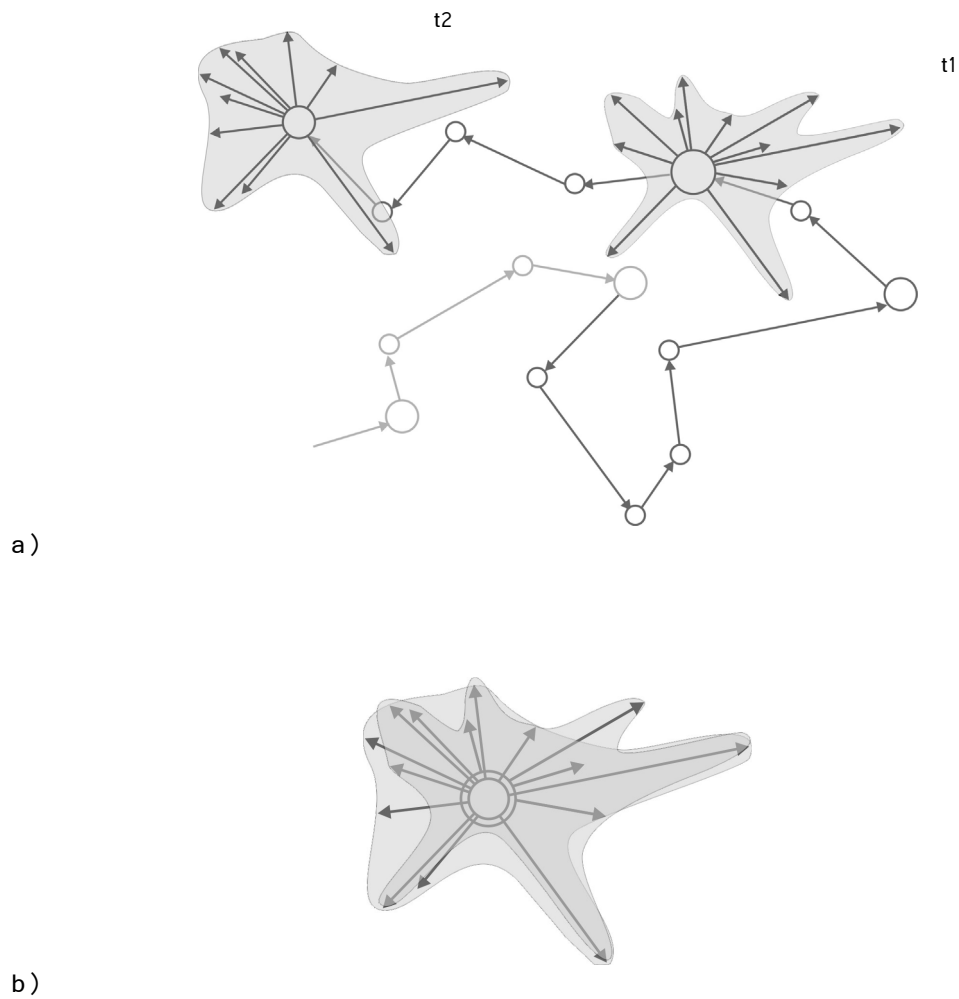


Abb. 12 a) Dynamisierung der Hüllkurven (funktionell), Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  b) Fixes Projektionszentrum, dynamische Hüllkurven. Helle Hüllkurve Zeitpunkt  $t_1$ , dunklere Hüllkurve Zeitpunkt  $t_2$ .

Die Animation der *Strömungsbilder* (Vektorfelder), also die Bildung instationärer Verhältnisse, zeigt kein Strömungsverhalten des Vektorfeldes, also keine gerichtete und zeitgleiche Bewegung aller Vektoren, sondern sie kann das Auftreten und Wegfallen einzelner Vektoren im 2D-Raum visualisieren, bzw. die Veränderung in der Verteilung allgemein untersuchen.

## 6. Entwicklung der Darstellungskonzepte

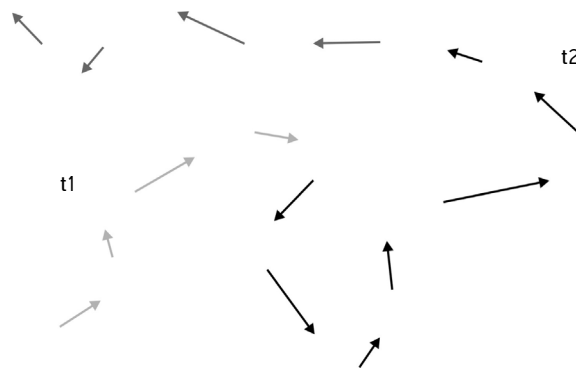


Abb. 13 Dynamisierung des Vektorfeldes, graue Vektoren (Zeitpunkt t1) sind zu Zeitpunkt t2 (schwarze Vektoren) nicht mehr sichtbar.

Durch die Dynamisierung der statischen Darstellungen werden entsprechend ihrer zeitlichen Parameter neue visuelle Betrachtungsweisen der raum-zeitlichen Dynamik von Erdbebenereignissen angeregt. Entgegen einer asynchronen Darstellung der Erdbebedynamik (wie zu Anfang des Kapitels diskutiert), wird die Erdbebedynamik durch eine externe zeitliche Veränderung der statisch dargestellten Raum-Zeitbeziehungen veranschaulicht und der strukturelle Wandel der konstruierten raum-zeitlichen Beziehung des EreignisGraphen und der VektorRose explorierbar gemacht.

Mit einer zusätzlichen Steuerbarkeit der Animation bezüglich Dauer, Geschwindigkeit (Wechselrate), Reihenfolge und Wiederholung von Zeitabschnitten (Phase), lässt sich das zeitliche Lokalisieren, Identifizieren und Explorieren von Häufungen, Ausreißern, Rhythmen, Formen etc. unterstützen.

### 6.3 Teil-Konzeptumsetzung mit GRASS GIS 6.2

Die beschriebenen Konzepte stützen sich auf die grundsätzlichen Fähigkeiten des GIS zur Abbildung geographischer Raumbezüge. Indessen sind sie unabhängig von den funktionellen Möglichkeiten zur Darstellung und Abfrage im dreidimensionalen Raum<sup>390</sup> derzeitiger GIS entwickelt worden. Gerade diese Ungebundenheit gegenüber der Funktionalität bei der Konzeptentwicklung forciert die Weiterentwicklung der Software auf dem Gebiet der dreidimensionalen GIS-Anwendung und zwar in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Wissenschaft an die jeweiligen Darstellungstechniken.

Das Verständnis eines GIS-Einsatzes geht im Fall dieser wissenschaftlichen Visualisierung über eine rein visuelle Dokumentation von Ergebnissen hinaus. Die dreidimensionale Darstellung wird zu einer Handhabe für Analyse und Exploration und das interaktive GIS respektive Web-GIS zu deren Werkzeug.

In Abhängigkeit der funktionellen Möglichkeiten der Software GRASS GIS 6.2 werden im Anschluss Grundlagen des Konzepts des Vektorgraphen (EreignisGraphen) umgesetzt. Die Vorgehensweise wird im folgenden anhand der GRASS Befehle dokumentiert und erläutert und die visuellen Ergebnisse aus verschiedenen Perspektiven im dreidimensionalen Raum in Form statischer Bilder präsentiert.

#### Konzeptionelle Grundlage

Der zur Anwendung kommende Beispieldatensatz wird vom seismologischen Datenarchiv des Deutschen GeoForschungsInstituts (GFZ) Potsdam (<http://geofon.gfz-potsdam.de/db/eqform.php>) entnommen. Hier wurde ein aktueller Datensatz zwischen zwei größeren Erdbebenereignissen (Magnituden 6 und 7, inklusive dieser) im Sunda Bogen ausgewählt und *beispielhaft* als ein seismischer Zyklus betrachtet.

Der Datensatz wurde in einem räumlichen Ausschnitt der geographischen Koordinaten Latitude -30 to +20 und Longitude 80 to 120 ermittelt und umfasst insgesamt 120 Datenwerte. Die genaue Zeitspanne des Zyklus besteht wie folgt: Vom 02.04.2008/08:48:50 Magnitude 6 bis zum 27.06.2008/11:40:14 Magnitude 7. Die Magnitude 7 stellt in diesem seismischen Zyklus dasjenige Ereignis dar, welches zum Zentrum der VektorRose wird und auf welches Vektorbeziehungen *vorausgegangener Erdbebenereignisse* projiziert werden.

---

<sup>390</sup> speziell topologischer und geometrischer Abfragen im dreidimensionalen Raum.

## 6. Entwicklung der Darstellungskonzepte

GFZ Potsdam >> GEOFON >> Global Seismic Monitor

### GFZ Potsdam - Earthquake Bulletin

This real-time bulletin is a product of the GEOFON Extended Virtual Network (GEVN) and credit belongs to all involved institutions!

Disclaimer: Unless revised by a geophysicist, automatically determined earthquake locations may be erroneous!

This bulletin is customizable and also available as [RSS](#) news feed.

Output restricted to time period from 2008-04-01 to 2008-06-27 latitude range from -30° to +20° longitude range from 80° to 120°

Origin Time UTC	Mag	Latitude degrees	Longitude degrees	Depth km	A M	Region Name
2008-06-27 20:57:40	4.7	10.80 N	91.73 E	24	M	Andaman Islands, India Region
2008-06-27 19:19:51	5.0	10.98 N	91.90 E	40	M	Andaman Islands, India Region
2008-06-27 18:05:13	5.2	11.00 N	91.83 E	10	A	Andaman Islands, India Region
2008-06-27 14:16:25	5.1	0.36 N	97.00 E	51	A	Off West Coast of Northern Sumatra
2008-06-27 14:14:11	4.6	10.89 N	91.84 E	10	M	Andaman Islands, India Region
2008-06-27 13:07:10	5.6	11.02 N	91.68 E	10	A	Andaman Islands, India Region
2008-06-27 11:40:14	7.0	11.04 N	91.88 E	15	M	Andaman Islands, India Region
2008-06-25 08:15:27	4.8	0.50 N	98.25 E	20	M	Northern Sumatra, Indonesia
2008-06-25 02:53:27	5.3	1.32 N	97.19 E	26	M	Northern Sumatra, Indonesia
2008-06-25 01:52:37	5.4	1.31 N	97.13 E	24	M	Northern Sumatra, Indonesia
2008-06-24 21:43:19	4.4	4.90 S	103.04 E	32	M	Southern Sumatra, Indonesia
2008-06-24 19:14:46	5.4	3.20 S	101.18 E	57	A	Southern Sumatra, Indonesia
2008-06-23 20:16:12	4.7	0.04 N	96.60 E	10	A	Off West Coast of Northern Sumatra
2008-06-23 14:14:59	4.4	0.05 N	97.06 E	15	M	Northern Sumatra, Indonesia
2008-06-21 12:35:43	4.4	6.44 S	103.24 E	10	M	Southwest of Sumatra, Indonesia
2008-06-21 03:36:41	4.5	2.06 S	98.77 E	23	M	Southwest of Sumatra, Indonesia
2008-06-20 20:47:07	3.9	2.21 S	100.73 E	26	M	Southern Sumatra, Indonesia

Abb. 14 Ausschnitt des Beispieldatensatzes. Online Datenarchiv für seismische Daten des Deutschen GeoForschungsZentrums GEOFON.

Zum Aufbau der konzeptionellen Grundlage, also der Abbildung der Knoten respektive der Magnituden im dreidimensionalen Raum, werden die ausgewählten Informationen des seismologischen Datenarchivs in eine Ascii-Datei SundaBogen\_Knoten.txt per Copy & Paste kopiert. Eine Online-Speicherfunktion der seismischen Informationen wird vom GEOFON nicht zur Verfügung gestellt.

Eine Datenzeile umfasst, wie im Beispiel zu sehen:

das Datum,  
 die Uhrzeit,  
 die Magnitude,  
 Latitude nördliche/südliche Hemisphäre,  
 Longitude östliche Hemisphäre,  
 A/M Automatische Veröffentlichung von Erdbeben, welche nicht durch Geophysiker überprüft wurden, aber durch mindestens 25 Erdbebenstationen registriert wurden, erhalten das Symbol A. Erdbebenwerte, welche überprüft wurden, erhalten das Symbol M.  
 Name der Region

```
2008-06-27 11:40:14 7.0 11.04 N 91.88 E 15 M Andaman Islands, India Region
2008-06-25 08:15:27 4.8 0.50 N 98.25 E -20 M Northern Sumatra, Indonesia
2008-06-25 02:53:27 5.3 1.32 N 97.19 E -26 M Northern Sumatra, Indonesia
2008-06-25 01:52:37 5.4 1.31 N 97.13 E -24 M Northern Sumatra, Indonesia
2008-06-24 21:43:19 4.4 -4.90 S 103.04 E -32 M Southern Sumatra, Indonesia
2008-06-24 19:14:46 5.4 -3.20 S 101.18 E -57 A Southern Sumatra, Indonesia
...
2008-04-02 08:48:50 6.0 -4.43 S 102.46 E -54 A Southern Sumatra, Indonesia
```

Mit dem Befehl

```
$ grass62
```

in der Shell bzw. Konsole wird GRASS GIS gestartet.

Um ein Arbeitsprojekt in GRASS GIS anzulegen, wird über die Einstellung der Projektionseigenschaften, in diesem Fall des EPSG-Codes<sup>391</sup> 4326<sup>392</sup>, eine Location `SundaBogen` eingerichtet. Zur Überprüfung der Projektionseinstellungen in GRASS kann der Befehl `g.proj -p` in die Shell eingegeben werden.

```
$ g.proj -p
```

```
-PROJ_INFO-----
name      : Lat/Lon
proj      : ll
datum     : wgs84
ellps     : wgs84
no_defs   : defined
-PROJ_UNITS-----
unit      : degree
units     : degrees
meters    : 1.0
```

Mit dem Modul `v.in.ascii` werden die Punktvektordaten der zuvor erstellten Datei `SundaBogen_Knoten.txt` in die Location importiert.

```
$ v.in.ascii -z input=home/~.../SundaBogen_Knoten.txt
output=SundaBogen_Knoten format=point fs= skip=0 x=6 y=4 z=8 cat=0 --o
```

`-z` 3D-Datei mit 3D Koordinaten wird erstellt.  
`Fs` Legt die Art der Spaltentrennung (Tab) fest.  
`Format=point` Datei-Format Punktvektor  
`Skip=0` Es wird kein Header in der Ascii-Datei erwartet.  
`x, y, z` Angabe der Spaltennummer für die x, y, z Koordinaten der Ascii-Datei  
`cat=0` Mit dieser Angabe wird eine ID-Spalte `cat` angelegt  
`--o` Gleichnamige Dateien werden überschrieben.

Die positiven Tiefenangaben (z-Werte) müssen in Negativwerte umgerechnet werden. Dazu muss der Spaltenname der z-Werte durch eine Abfrage der Datenbanktabelle `SundaBogen_Knoten` eruiert werden.

---

<sup>391</sup> EPSG-Codes sind von der European Petroleum Survey Group (EPSG) weltweit eindeutige 4-5-stellige Schlüssel für Koordinatenreferenzsysteme.

<sup>392</sup> Einstellung der Geographischen Koordinaten im WGS 84 Bezugssystem (World Geodetic System 1984).

## 6. Entwicklung der Darstellungskonzepte

```
$ db.select table=SundaBogen_Knoten  
database=/home/~.../SundaBogen/PERMANENT/dbf/ driver=dbf
```

**Aufbau der Datenbanktabelle** SundaBogen\_Knoten

**Spaltennamen:**

```
cat|str_1|str_2|dbl_1|dbl_2|str_3|dbl_3|str_4|int_1|str_5|str_6|str_7|str_8  
|str_9|str_10|str_11
```

**Ausschnitt der Spalteninhalte:**

```
2|2008-06-25|08:15:27|4.8|0.5|N|98.25|E|-  
20|M|Northern|Sumatra,|Indonesia|||  
...
```

Der gesuchte Spaltenname lautet `int_1`

Mit dem Modul `db.execute` können Berechnungen der Spaltenwerte durchgeführt werden. Zur Umrechnung in Minuswerte wird die Spalte `int_1` mit dem Wert `-1` multipliziert. Der Befehl wird in der Shell ausgeführt.

```
$ echo 'update SundaBogen_Knoten set int_1=int_1*-1' | db.execute
```

Mit dem Modul

```
$ g.region vect=SundaBogen_Knoten
```

werden die Parameter der Region an die Vektorkarte `SundaBogen_Knoten` angepasst. Überprüfen lassen sich die aktuellen Parameter der Region mit dem Modul:

```
$ g.region -p  
  
projection: 3 (Latitude-Longitude)  
zone: 0  
datum: wgs84  
ellipsoid: wgs84  
north: 14:51:36N  
south: 12:15:36S  
west: 91:41:24E  
east: 119:44:24E  
nsres: 0:07:12  
ewres: 0:16:49.8  
rows: 226  
cols: 100  
cells: 22600
```

Das Modul `v.info` liest die Informationen der 3D Punktvektorkarte aus, die beim Import abgelegt wurde.

```
$ v.info map=SundaBogen_Knoten
```

```

+-----+
| Layer:      SundaBogen_Knoten                Organization:
|
| Mapset:     PERMANENT                        Source Date: Sun Oct  5 17:35:32
| Location:   SundaBogen                       Name of creator: svenja
|
| Database:  /home/~...
| Title:
| Map Scale: 1:1
| Map format: native
+-----+
|
|   Type of Map:  Vector (level: 2)
|   Number of points:      120           Number of areas:      0
|   Number of lines:       0           Number of islands:    0
|   Number of boundaries:  0           Number of faces:     0
|   Number of centroids:   0           Number of kernels:   0
|
|   Map is 3D:             1
|   Number of dblinks:    1
|
|   Projection: Lat/Lon (zone 0)
|               N: 14.860           S: -12.260
|               E: 119.740          W: 91.690
|               B: 3.000            T: 305.000
|
|   Digitize threshold: 0.00000
|   Comments:
+-----+

```

Für einen regionalen Überblick wird zusätzlich eine 2D-Vektorkarte von Indonesien und Thailand im Shape-Format importiert. Dies erfolgt über das Modul `v.in.ogr`.

```
$ v.in.ogr dsn=/home/~.../Indonesien.shp output=Indonesien
```

Die Klassifizierung der Magnituden wird *beispielhaft* entsprechend nachfolgender Klasseneinteilungen durchgeführt:

```

<4
4-<5
5-<6
6-<7
7

```

Zur Umsetzung der Klassifizierung in GRASS wird das Modul `v.extract` angewandt. Hierbei werden Vektorobjekte der existierenden Vektorkarte selektiert und als neue Vektorkarte ausgegeben. Um die Objekte entsprechend ihrer Magnitudengröße auswählen zu können, wird zuvor der Spaltenname der Magnitudenwerte eruiert.

```
$ db.select table=SundaBogen_Knoten
database=/home/~.../SundaBogen/PERMANENT/dbf/ driver=dbf
```

```
Spaltenname: dbl_1
```

2 Werte wurden extrahiert.

```
$ v.extract input=SundaBogen_Knoten output=Magnitude3 type=point layer=1  
new=-1 {where=dbl_1<4} -overwrite
```

72 Werte wurden extrahiert.

```
$ v.extract input=SundaBogen_Knoten output=Magnitude4 type=point layer=1  
new=-1 {where=dbl_1>=4 and dbl_1<5} -overwrite
```

44 Werte wurden extrahiert.

```
$ v.extract input=SundaBogen_Knoten output=Magnitude5 type=point layer=1  
new=-1 {where=dbl_1>=5 and dbl_1<6} -overwrite
```

1 Wert wurde extrahiert.

```
$ v.extract input=SundaBogen_Knoten output=Magnitude6 type=point layer=1  
new=-1 {where=dbl_1>=6 and dbl_1<7} -overwrite
```

1 Wert wurde extrahiert.

```
$ v.extract input=SundaBogen_Knoten output=Magnitude1 type=point layer=1  
new=-1 {where=dbl_1=7} -overwrite
```

Mit dem Befehl

```
$ d.mon x0
```

wird ein neuer Bildschirm aufgerufen.

Mittels

```
$ d.vect map=Indonesien  
$ d.vect map=Magnitude3  
$ d.vect map=Magnitude4  
$ d.vect map=Magnitude5  
$ d.vect map=Magnitude6  
$ d.vect map=Magnitude7
```

werden die Vektorkarten von Indonesien und die Magnitudenlayer als 2D-Karte visualisiert. Die Visualisierung der Magnitudenwerte zusammen mit dem Ereignisgraphen erfolgt in Abb. 15 *EreignisGraph und Magnitudenverteilung in 2D, Hintergrundkarte Indonesien und Anrainerstaaten..*

Grundsätzlich wurden für die Visualisierung der Magnitudenklassen annähernd reine Farben mit einem hohen Sättigungsgrad und damit hoher Kontrastwirkung gewählt, da sie die Wahrnehmung aller Objekte erleichtern. Einzig die Farbwirkung für die Magnitude 3 mit einem grün-stichigen Blau-Ton, besitzt hier einen etwas höheren Anteil der Farbe Schwarz. Durch diese Sättigungsverminderung des Blau-Tons wird die Leuchtkraft und damit die Aufmerksamkeit beim Betrachter entsprechend der verminderten Bedeutung der Erdbeben der Magnitude 3 reduziert.



Die ausgewählten Farben besitzen eine leichte Farbmischung mit den ihnen benachbarten Farbtönen: Orange/Gelb, Gelb/Blau (grünstichig). So werden zwischen den verwendeten Komplementärfarben Orange und Blau, Rot und Grün Farbübergänge geschaffen und eine leichte Farbreihenfolge suggeriert und der Bunt-Ton-Eindruck etwas reduziert.

Das verwendete Farbschema bzw. gewählten Farbtöne gestatten eine visuelle Einordnung der Magnituden entsprechend ihrer Stärke und Bedeutung (mögliche Intensität). Der Fokus der Aufmerksamkeit liegt auf dem Rot- und Orange-Ton, welcher für die größten Magnitudenwerte gewählt wurde. Rot-Töne werden als Signalfarbe für Gefahr erkannt und drücken Bedrohliches aus. Die Farbe Blau hingegen steht für relativ gefahrlos. Vor dem dunklen Hintergrund des dreidimensionalen Darstellungsraumes wird die Farbe Gelb das mittlere Stärkesignal ausdrücken. Da diese Farbe den höchsten Tonwert besitzt, wird sie einen dominanteren visuellen Reiz gegenüber den Blau-Tönen ausüben, aber einen weniger bedrohlichen Farbcharakter ausdrücken als der Rot-Ton. Die kühlen Farben Blau, Blaugrün und Grün werden im Bild und im Raum als weiter hinten liegend, warme Farben wie Rot, Orangerot, Orange und Gelb als nach vorne drängend empfunden, wodurch sie zusätzlich die visuelle Aufmerksamkeit fördern.

Rot soll die Magnitudenklasse der höchsten Energie 9 (oder bei Zusammenfassung die Werte 8/9) des seismischen Katalogs symbolisieren.

Klassifizierung der Magnituden 3–9 für alle Daten des seismischen Katalogs:

- 9 Rot
- 8 Orange
- 7 Gelbgrün
- 6 Grün
- 5 helles Blaugrün
- 4 dunkles Blaugrün
- 3 Dunkelblau

Zusammenfassung der Magnitude 8 und 9 für alle Daten des seismischen Katalogs:

- 8/9 Rot
- 7 Orange
- 6 Gelbgrün
- 5 Grün
- 4 helles Blaugrün
- 3 dunkles Blaugrün

Die Magnituden 8 und 9 sind in dem Beispieldatensatz jedoch nicht vertreten und wurden auch bei der Besetzung der Farbwerte nicht berücksichtigt. Für den betrachteten seismischen Zyklus wurde das Farbspektrum entsprechend verschoben, damit die vorgeschlagenen Farbtöne beispielhaft vorgestellt werden können.

Rot für den größten Magnitudenwert des seismischen Zyklus des Beispieldatensatzes:

- 7 Rot
- 6 Orange
- 5 Gelbgrün
- 4 helles Blaugrün
- 3 dunkles Blaugrün

In Anbetracht einer kohärenten Wahrnehmung insbesondere bei der möglichen dynamischen Untersuchung aller Daten, sollte stets die Farbklassifizierung für den gesamten Magnitudenumfang von 3–9 (–8/9) zur Anwendung kommen.

Die Größenverteilung der Magnitudensymbole (kugelförmige Primitive) korrespondiert mit der Größe der Magnitudenwerte (großen Magnituden entsprechen großen Kugelprimitiven und umgekehrt). Durch die Variation von Wahrnehmungsintensitäten mittels Farben und Größenvariationen graphischer Primitive, werden Erdbebenereignisse hinsichtlich ihrer Bedeutung (Stärke und Energie) intuitiv interpretierbar.

### Konstruktion des EreignisGraphen

Die Vektoren des EreignisGraphen werden mit Hilfe eines speziell erzeugten Scripts konstruiert, welches direkt von der Shell eingelesen wird. Diese Funktion hat jedoch mehrere Nachteile. Einerseits wird aus den 120 Knoten ein einziges Linienvektorobjekt gebildet. Zusätzlich stellt der durch GRASS konstruierte Vektor nur Geometrieinformationen zur Verfügung, es wird generell keine Datenbanktabelle mit zusätzlichen Attributinformationen angelegt. “The 'point' string (or some similar entry) is required to generate a database table. When simply piping the coordinates (and optionally height) without additional column(s) into `v.in.ascii`, only the vector map geometry will be generated.”<sup>393</sup> Da nicht einzelne Vektorsegmente gebildet werden und somit auch keine Attributwerte importiert werden können, lassen sich auch keine Abfragen von Zeitbezügen oder Ortsangaben durchführen. Darum kann auch die Umrechnung in negative z-Werte nicht durchgeführt werden. Um die z-Werte nicht manuell umstellen zu müssen, wird der Layer der korrigierten Vektorpunkte `SundaBogen_Knoten` als `.txt` Datei exportiert bzw. gespeichert. Dies erfolgt durch das Aufrufen der entsprechenden Datenbanktabelle über das Modul `db.select`.

```
$ db.select table=SundaBogen database=/home/~.../SundaBogen/PERMANENT/dbf/
driver=dbf
```

Im Output-Fenster wird die Datentabelle unter `Save / Save as als .txt` gespeichert.

Dieser Datensatz wird in Excel importiert, die Spalten und deren Reihenfolge angepasst, wieder als `.txt` gespeichert und die Tab-Abstände im Editor gegebenenfalls korrigiert. Denn für das korrekte Auslesen der Daten beim Import in GRASS, müssen die Spaltenreihenfolge der Koordinaten sowie die Tab-Einstellung (Spaltenabstände) im Script genau eingestellt sein.

---

<sup>393</sup> GRASS GIS 6.4.svn Reference Manual: `v.in.ascii`. (Online. Stand 01.10.08).  
[http://www.grass.itc.it/grass64/manuals/html64\\_user/v.in.ascii.html](http://www.grass.itc.it/grass64/manuals/html64_user/v.in.ascii.html)

Script für die Konstruktion des Linien-Vektorobjekts Ereignisgraph1.

```
$ echo "L 120 1
    91.88 11.04 -15
    98.25 0.50 -20
    97.19 1.32 -26
    ....
    ....

    102.46 -4.43 -54
    1 321 " | v.in.ascii -zn out=Ereignisgraph1 format=standard --o
```

Der konstruierte Linienvektor wird zur Übersicht mittels

```
$ d.vect map=Ereignisgraph1
```

visualisiert.

In GRASS 6.2 lassen sich Visualisierungen in 2D auch vereinfacht über das Map Display Fenster durchführen. Die zu visualisierenden Kartenlayer werden im GIS Manager aufgerufen, wo ihnen Farb- und Symboleigenschaften zugewiesen werden können. Im GIS Manager aktivierte Layer können nun im Map Display über den Display Button gemeinsam und nutzer-spezifisch visualisiert werden.

Für geographische Koordinatensysteme können in GRASS GIS keine Karteninformationen wie Nordpfeil und Maßstab eingetragen werden: „d.barscale does not work with a latitude-longitude location.“<sup>394</sup> Für eine bessere Kartendarstellung wurden die Vektorlayer in Quantum<sup>395</sup> GIS visualisiert. Die Funktionalität von GIS ermöglicht keine Darstellung der Vektororientierung entsprechend einer Chronologie der Datenwerte, wie dies z.B. durch Pfeilangaben möglich wäre.

---

<sup>394</sup> GRASS output GIS.m

<sup>395</sup> Quantum GIS. GRASS Applikation. <http://www.qgis.org/>

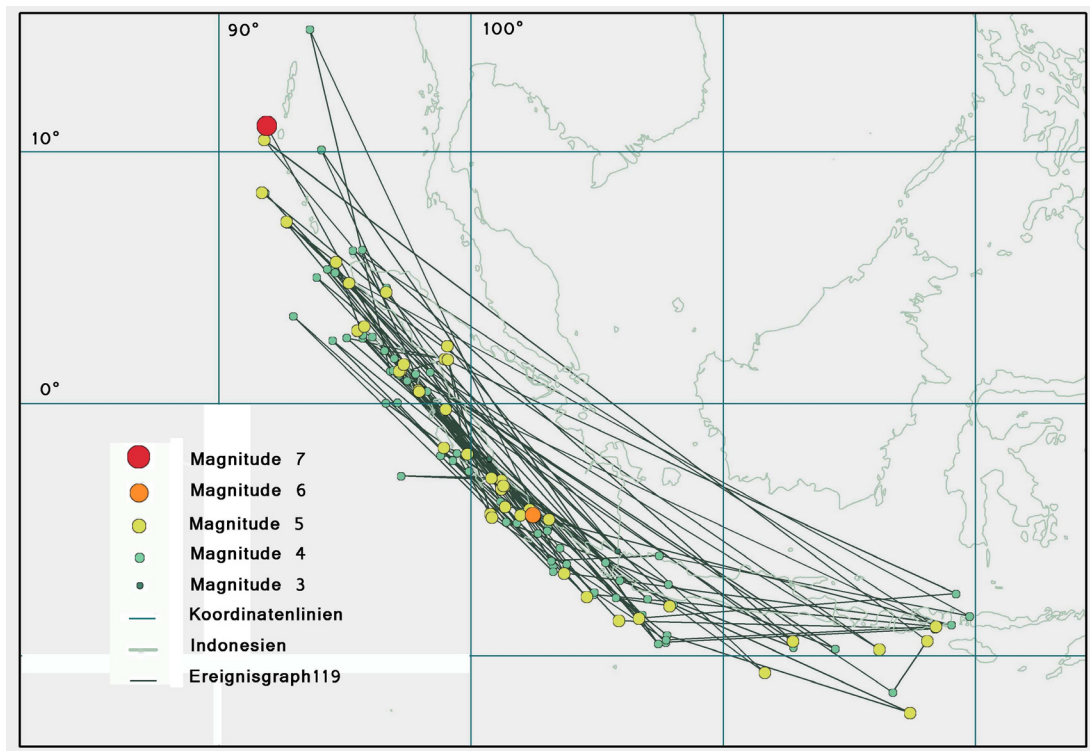


Abb. 15 EreignisGraph und Magnitudenverteilung in 2D, Hintergrundkarte Indonesien und Anrainerstaaten.

Die Projektion von Magnitudenstärken oder chronologischen Abfolgen auf Farbwerte und Durchmesser der Vektorsegmente kann auf der Grundlage des konstruierten Vektorobjekts Ereignisgraph1 nicht erfolgen. Um die Voraussetzungen für diese Operationen zu schaffen, wird der 3D-Vektor wieder in 119 Einzelvektoren aufgelöst. Dies wird unter Zuhilfenahme von AutoCAD durch die Funktion `_explode` realisiert. Auf diesem Weg werden 3D-Polylinien in 3D-Linien konvertiert.

Zur Überführung der 3D-Information nach AutoCAD wird der Ereignisgraph1 in das ESRI-Shape Format exportiert.

```
v.out.ogr          input=Ereignisgraph1          type=point,line
dsn=/home/~../Exp_Ereignisgraph1          olayer=Ereignisgraph1          layer=1
format=ESRI_Shapefile
```

```
The combination of types is not supported by all formats. No attribute
table found -> using only category numbers as attributes. Exporting 1
points/lines...
1 features written
```

Mit Hilfe des Shapefile to DXF/DWG Converter *Arcv3CAD 5.0* wird das Shape File `Exp_Ereignisgraph1.shp` in `.dxf` konvertiert und in AutoCAD 2005 importiert. Im Anschluss an die `_explode` Ausführung wird die `dxf`-Datei der Einzelvektoren wieder mit Hilfe des *CAD2Shape 4.0* AutoCAD DXF/DWG to Shapefile Converter in ein Shape File konvertiert und -wie im Anschluss dokumentiert- in GRASS importiert.

## 6. Entwicklung der Darstellungskonzepte

```
v.in.ogr -z -o dsn=/home/~/.Exp_Ereignisgraph1.shp output=Ereignisgraph119
min_area=0.0001 snap=-1 --overwrite
Importing map 119 features...
-----
Building topology ...
Registering lines:
119 primitives registered
Building areas:

0 areas built
0 isles built
Attaching islands:
Attaching centroids:

Topology was built.
Number of nodes      : 120
Number of primitives: 119
Number of points     : 0
Number of lines      : 119
Number of boundaries: 0
Number of centroids  : 0
Number of areas      : 0
Number of isles      : 0
```

Es wird der Layer EreignisGraph119 mit 119 Linien-Vektorelemente gebildet.

Diesen work-around muss man in Kauf nehmen, da bei einem direkten Export von GRASS nach .dxf nicht die vollständige 3D-Information von Ereignisgraph1 erhalten bleibt. Bei der Durchführung von `_explode` in AutoCAD werden nur 2D-Linienvektoren gebildet.

Um auf die Attributinformationen zugreifen zu können, wird mit dem Modul `v.db.connect` nun ein Join mit der Datenbanktabelle `SundaBogen_Knoten` vorgenommen. Ursprüngliche Parameter müssen hier nach Aufforderung durch GRASS mit `-o` überschrieben werden.

```
$ v.db.connect -o map=Ereignisgraph119 driver=dbf
database=$GISDBASE/$LOCATION_NAME/$MAPSET/dbf/ table=SundaBogen_Knoten
key=cat layer=1
```

The table <SundaBogen\_Knoten> is now part of vector map <Ereignisgraph119> and may be deleted or overwritten by GRASS modules

Ausschnitt der Datenbanktabelle Ereignisgraph119:

```
cat|str_1|str_2|dbl_1|dbl_2|str_3|dbl_3|str_4|int_1|str_5|str_6|str_7|str_8
|str_9|str_10|str_11

1|2008-06-
27|11:40:14|7|11.04|N|91.88|E|15|M|Andaman|Islands,|India|Region||
2|2008-06-25|08:15:27|4.8|0.5|N|98.25|E|20|M|Northern|Sumatra,|Indonesia|||
...
```

Mit `v.extract` lassen sich nun Abfragen an die Datenbanktabelle der 3D-Linienvektoren realisieren. Im Folgenden werden die Linienvektoren nach Magnitudenwerten selektiert und

extrahiert. Den aus jeweils zwei Knoten (point vector) bestehenden 119 Linienvektoren, wird der Magnitudenwert (Attributwert) des jeweils zeitlich nachfolgenden Knotenpunktes zugewiesen. Somit besitzt Magnitude 6 keine Linienvektor-Repräsentation, da dieser Wert als erster Knoten für ein Vektorsegment der Magnitude 5 (nachfolgender Knoten) verwendet wird. (Der Magnitudenwert 6 ist der *einzigste* und zeitlich erste der Attributtabelle). Denn 120 Knoten bilden insgesamt 119 Vektorsegmente. Der Farbwert des eines jeweiligen Linienvektors verweist somit immer auf das Erdbebenereignis des zeitlich nachfolgenden Knotens (Magnitude).

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Magnitude3L type=line layer=1 new=-1 (where=dbl_1<4) --o
```

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Magnitude4L type=line layer=1 new=-1 (where=dbl_1>=4 and dbl_1<5) --o
```

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Magnitude5L type=line layer=1 new=-1 (where=dbl_1>=5 and dbl_1<6) --o
```

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Magnitude6L type=line layer=1 new=-1 (where=dbl_1>=6 and dbl_1<7) --o
```

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Magnitude7L type=line layer=1 new=-1 (where=dbl_1>=7) --o
```

Um die Projektion der Chronologie auf Vektorsegmente durch Farbwerte zu ermöglichen, werden die Punktvektoren in 5 Klassen gleicher Datenmenge (24 Werte pro Klasse 120/5) unterteilt und mittels `v.extract` selektiert. Die Abfrage erfolgt hier über die cat ID-Nummer 1-120. Diese Visualisierung zeigt keine kontinuierlichen Farbveränderungen, sondern diskrete Farbunterscheidungen, welche entsprechend der Chronologie eine zeitliche Reihenfolge suggerieren.

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Zeitraum120_96 type=line layer=1 new=-1 (where=cat<=120 and cat>96) --o
```

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Zeitraum96_72 type=line layer=1 new=-1 (where=cat<=96 and cat>72) --o
```

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Zeitraum72_48 type=line layer=1 new=-1 (where=cat<=72 and cat>48) --o
```

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Zeitraum48-24 type=line layer=1 new=-1 (where=cat<=48 and cat>24) --o
```

```
v.extract input=Ereignisgraph119 output=Zeitraum24_1 type=line layer=1 new=-1 (where=cat<=24 and cat>0) --o
```

Die Standard-DBF-Lösung von GRASS erlaubt nur einfachste Queries. Detaillierte Abfragen wie z.B. Selektionen nach Datum, Uhrzeiten, Zeitintervallen, lassen sich über eine externe Datenbank (Postgres, MySQL, Oracle) ausführen.

Z.B.: Datenbankabfrage eines Datums nach Oracle SQL:

```
SELECT*FROM Ereignisgraph119 WHERE str_1=to_date('2008-06-27','yyyy-mm-dd')
```

### Das 3D Visualisierungsmodul

Die bisher entwickelten Informationen werden mit dem 3D-Visualisierungsmodul NVIZ von GRASS sichtbar gemacht.

NVIZ wird mit

```
$ nviz -q
```

aufgerufen.

Über die Shell werden die konstruierten Vektorlayer durch die im folgenden dokumentierten Befehle direkt beim Aufrufen von NVIZ geladen.

EreignisGraph und Magnitudenklassen.

**Linienvektor:**

```
Indonesien, Ereignisgraph1
```

**Punktvektor:**

```
Magnitude3, Magnitude4, Magnitude5, Magnitude6, Magnitude7
```

```
$ nviz vector=Indonesien,Ereignisgraph1
```

```
points=Magnitude3,Magnitude4,Magnitude5,Magnitude6,Magnitude7
```

Projektion der Magnitudenwerte auf den EreignisGraphen.

**Linienvektor:**

```
Indonesien, Magnitude3L, Magnitude4L, Magnitude5L, Magnitude7L
```

**Punktvektor:**

```
Magnitude3, Magnitude4, Magnitude5, Magnitude6, Magnitude7
```

```
$ nviz vector=Indonesien,Magnitude3L,Magnitude4L,Magnitude5L,Magnitude7L
```

```
points=Magnitude3,Magnitude4,Magnitude5,Magnitude6,Magnitude7
```

Projektion der Chronologie (5 Klassen) auf den EreignisGraphen.

**Linienvektor:**

```
Indonesien, Zeitraum120_96, Zeitraum96_72, Zeitraum72_48, Zeitraum48_24,  
Zeitraum24_1
```

**Punktvektor:**

```
Magnitude3, Magnitude4, Magnitude5, Magnitude6, Magnitude7
```

```
$ nviz
```

```
vector=Indonesien, Zeitraum120_96, Zeitraum96_72, Zeitraum72_48, Zeitraum48_24,  
Zeitraum24_1 points=Magnitude3, Magnitude4, Magnitude5, Magnitude6, Magnitude7
```

Mit dem Start von NVIZ öffnet sich ein Graphik- und ein Kontrollfenster, in dem die angebotenen Funktionen dargestellt sind. Von diesem Kontrollfenster aus lassen sich weitere Menüfenster starten, die zur Einstellung der Farbe, Symbolgrößen oder Hintergrundfarbe dienen.

Für die Darstellung in NVIZ wurde versucht, die vorgeschlagene Farbklassifizierung auf die Magnitudenwerte des Datenmaterials zu übertragen. Die Oberflächen der kugelförmig dargestellten Magnitudenwerte, erhalten in NVIZ ein realistisches Rendering. „NVIZ is a GRASS module-in-progress which allows users to realistically render multiple surfaces in a 3D space, optionally using thematic coloring.“<sup>396</sup> Die durch den Einsatz einer Lichtquelle hervorgerufenen Lichtreflexionen intensivieren den Volumeneindruck der graphischen Primitive und verstärken die dreidimensionale Raumwirkung. Mit der Wahl eines schwarzen Hintergrundes wird die Farbwirkung gesteigert.

Für die Vektorsegmente des EreignisGraphen kann in NVIZ kein Volumeneindruck suggeriert werden. Die Vektorsegmente bleiben Linien. Sie behalten ihren 2-dimensionalen Eindruck. Deutlich erschwert wird daher die Entscheidung für einen geeigneten Wert für den Liniendurchmesser und den Farbwert. Zu helle Farben blenden, zu dunkle erschweren das Erkennen bei der Exploration der Struktur. Ein ähnliches Problem ergibt sich bei der Wahl der Liniendicke. Zu feine Linien sind weniger deutlich, erleichtern aber die Differenzierung der Struktur in Bereichen großer Liniendichte. Für den EreignisGraphen fällt die Wahl auf einen Beige-Ton mittlerer Liniendicke (2).

Aufgrund der schlechten Liniendarstellung und des starken Buntheitseindrucks in NVIZ, wird von einer Farbprojektion auf die Linienvektoren der zuvor ermittelten Klassen abgesehen. Bevorzugt wird die Akzentuierung jeweils einer Klasse, wobei die weiteren Klassen sowohl farblich als auch entsprechend der Liniendicke in der Wahrnehmungsqualität reduziert werden, d.h. sie besitzen einen geringeren Sättigungs- und Helligkeitswert. In diesem Fall wird der Beige-Ton mit Linienstärke 2 für die zu betonende Klasse beibehalten, für die restlichen Klassen wird ein Dunkelgrau-Ton gewählt, welcher nur schemenhafte Strukturmerkmale vermittelt. Bei der Wahl eines dunklen Hintergrundes stehen Farben mit geringerer Sättigung und abnehmender Helligkeit für eine geringere Bedeutung auf der Aufmerksamkeitskala und umgekehrt.

Grundsätzlich sind die Möglichkeiten der Exploration und Analyse von Struktur, Ausmaß und Orientierung durch die Präsentation der Informationen in Form statischer Bilder gegenüber einer freien Navigation mit Zoomfunktionen erheblich verringert.

Nachstehend werden beispielhaft die Ergebnisse der NVIZ Visualisierung –die konstruierten Vektoren– aus verschiedenen Perspektiven in Form statischer Bilder präsentiert. Die Betrachterposition wird mit Hilfe eines nachträglich erstellten Bezugssystems versucht zu simulieren bzw. approximieren (eine Exaktheit wird für das Bezugssystem ausgeschlossen), da in GRASS GIS dafür nur numerische Werte im Menü anbietet. x=Ost; y=Nord; z=positiver z-Wert (Höhe).

---

<sup>396</sup> GRASS GIS 6.2.4cvs Reference Manual: nviz - A GRASS Visualization Program (Tutorial).  
[http://grass.itc.it/grass62/manuals/html62\\_user/nviz/index.html](http://grass.itc.it/grass62/manuals/html62_user/nviz/index.html)



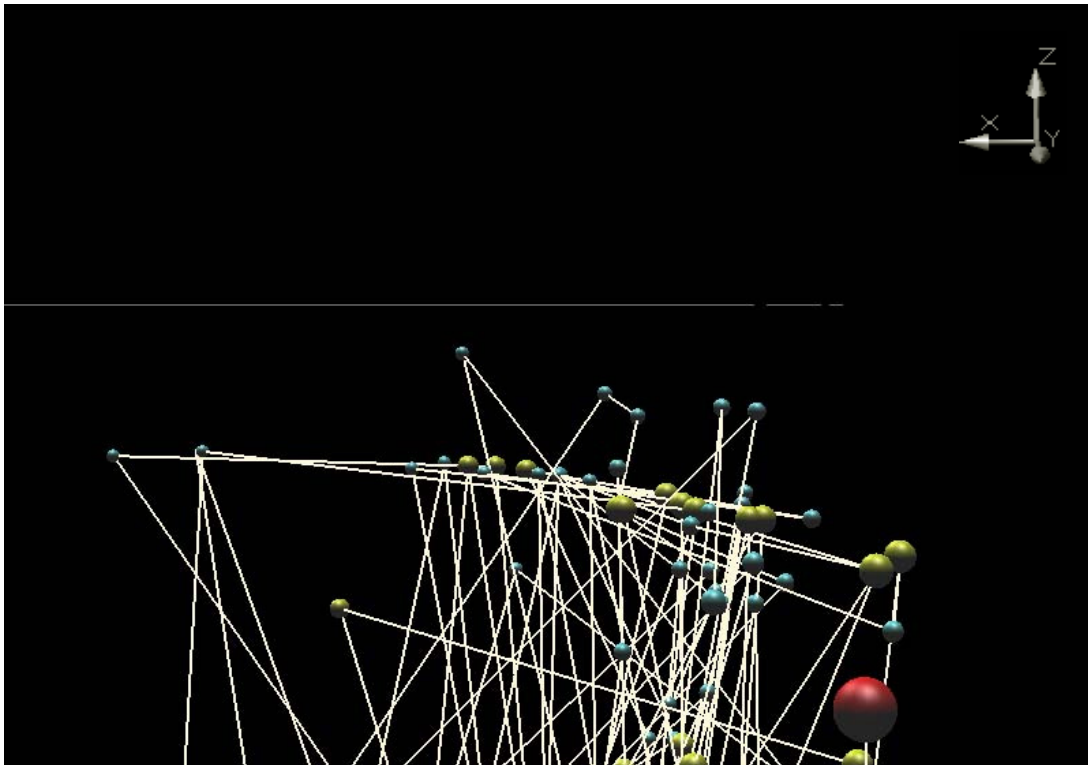


Abb. 16 EreignisGraph und Magnituden (+ Vektorkarte von Indonesien), Profilperspektive.

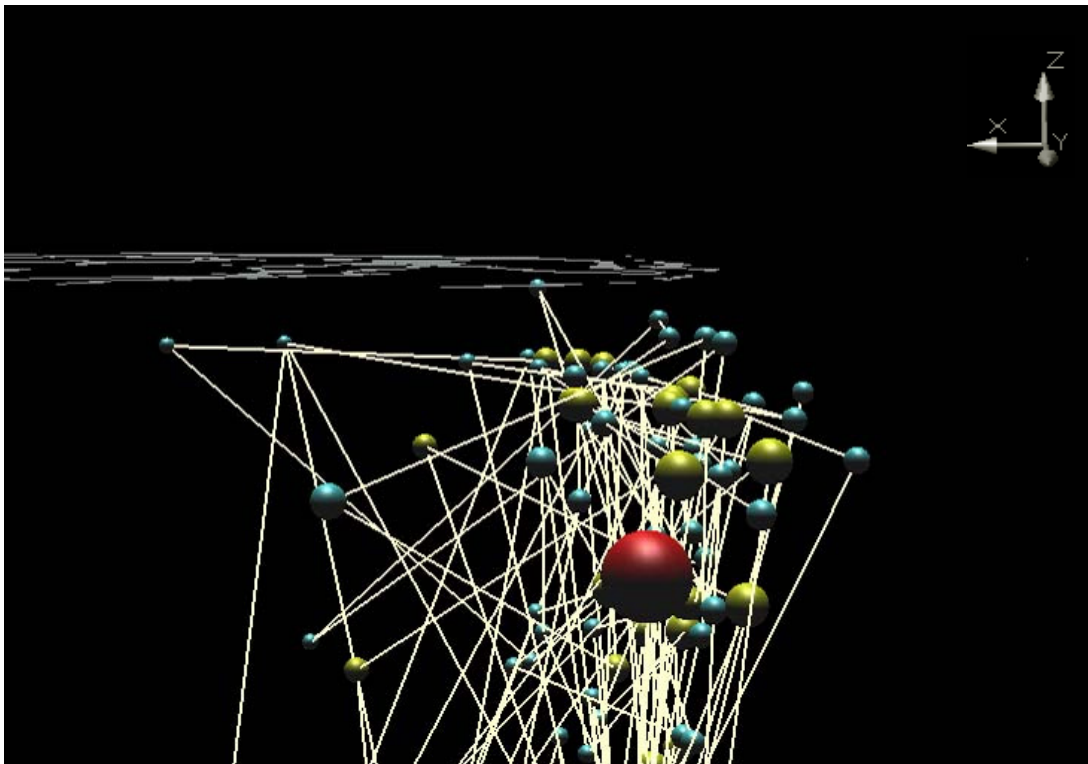


Abb. 17 EreignisGraph und Magnituden (+ Vektorkarte von Indonesien), Profilperspektive.

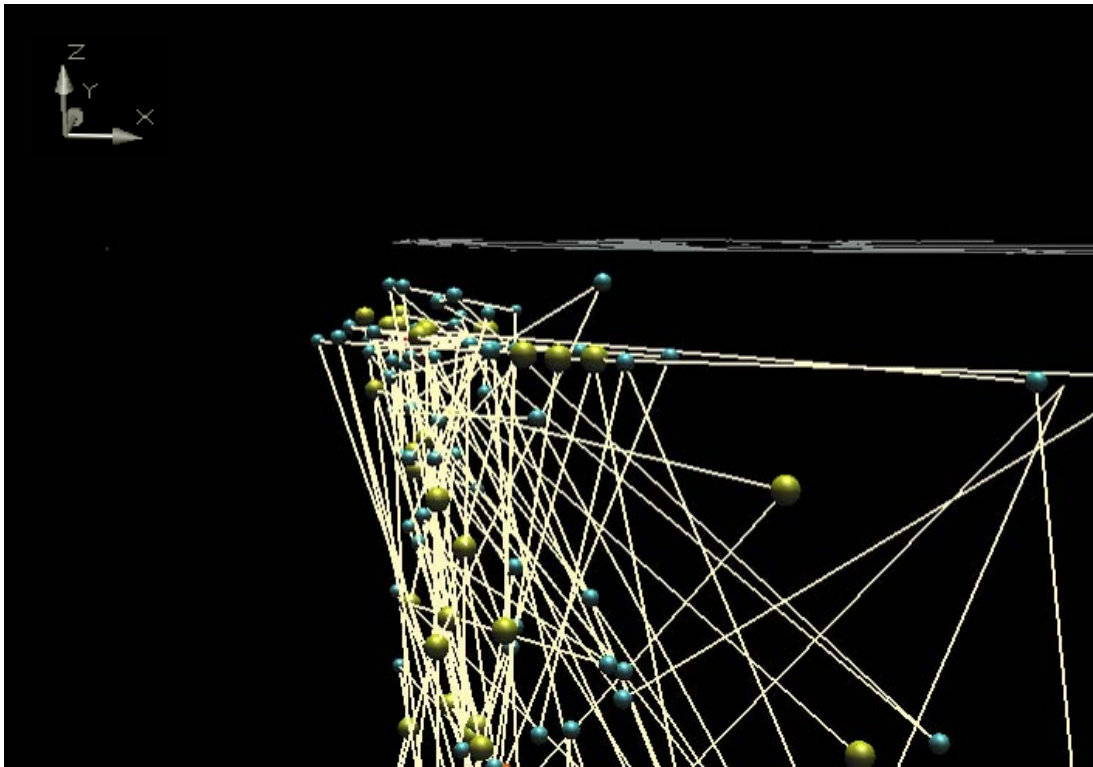


Abb. 18 EreignisGraph und Magnituden (+ Vektorkarte von Indonesien), Profilspektive.

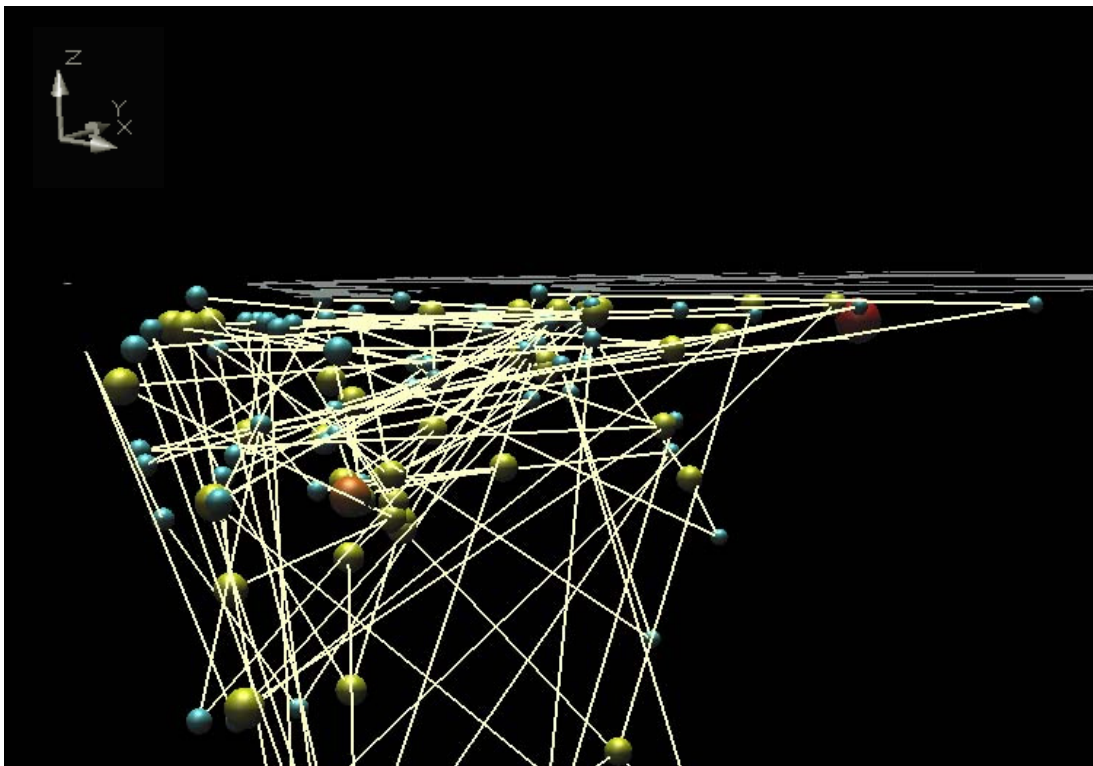


Abb. 19 EreignisGraph und Magnituden (+ Vektorkarte von Indonesien), Profilspektive, < Überhöhung.

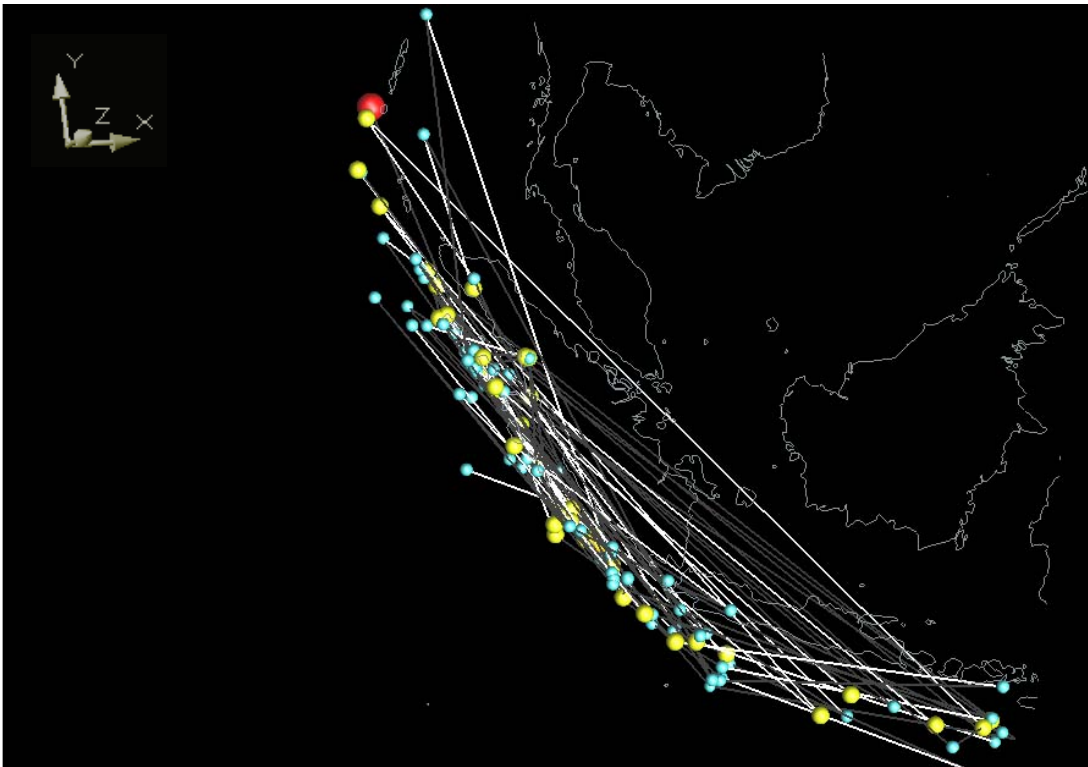


Abb. 20 Aufsicht, EreignisGraph und Magnituden; Magnitude 5 projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), Aufsicht.

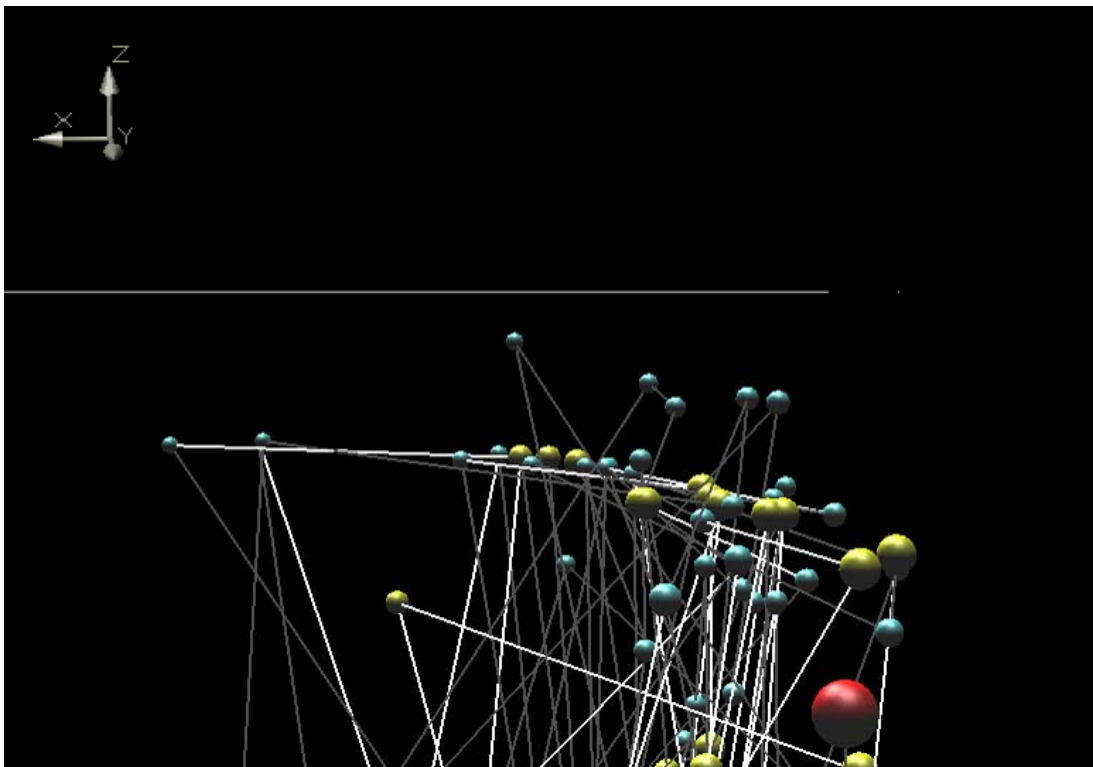


Abb. 21 EreignisGraph und Magnituden; Magnitude 5 projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), Profilperspektive.

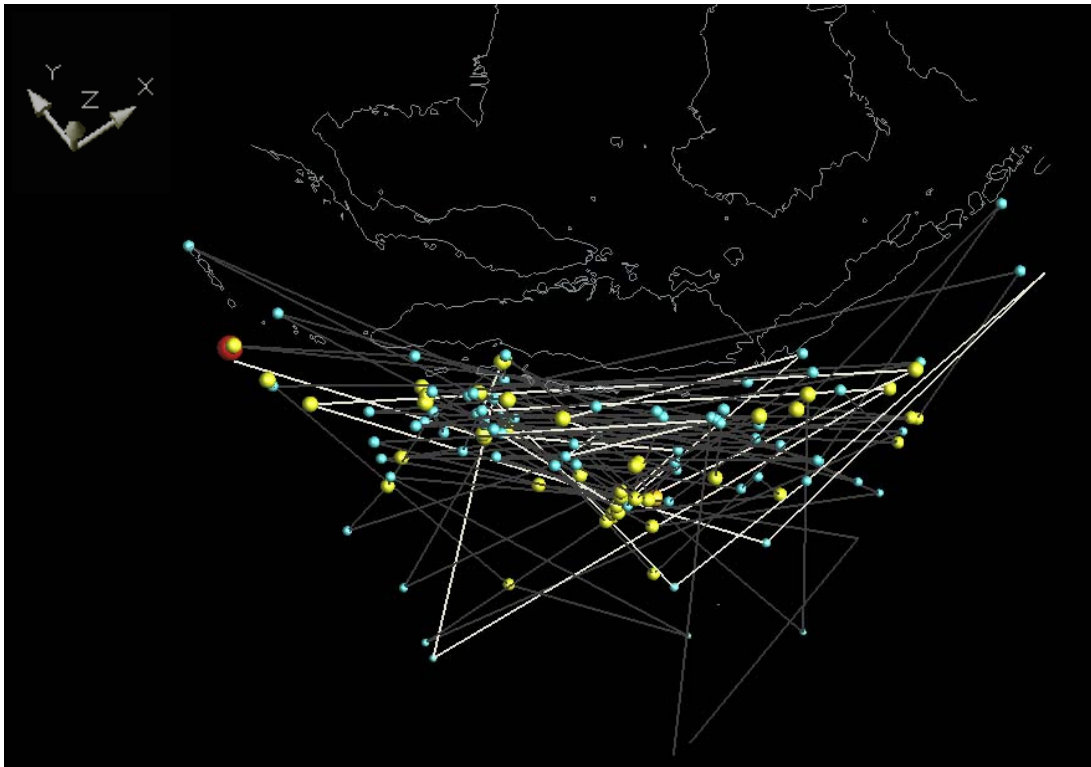


Abb. 22 EreignisGraph und Magnituden; Magnitude 5 projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), geneigte Aufsicht.

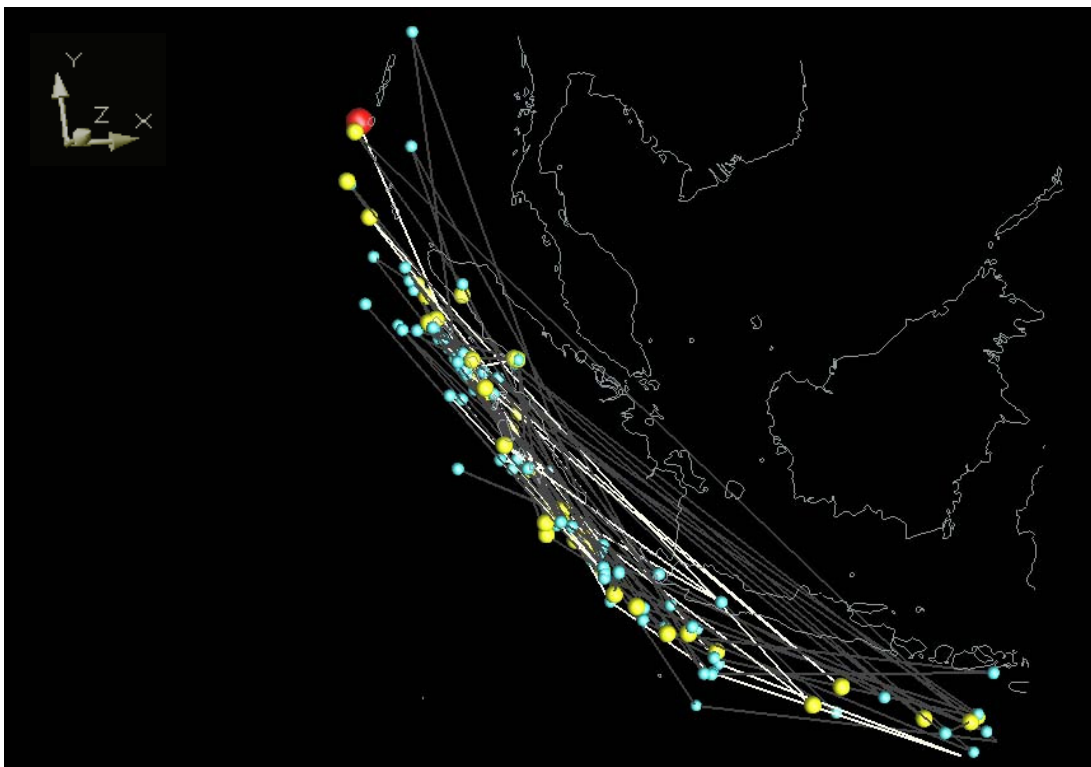


Abb. 23 Aufsicht, EreignisGraph und Magnituden; die 24 aktuellsten Erdbebenereignisse projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), Aufsicht.

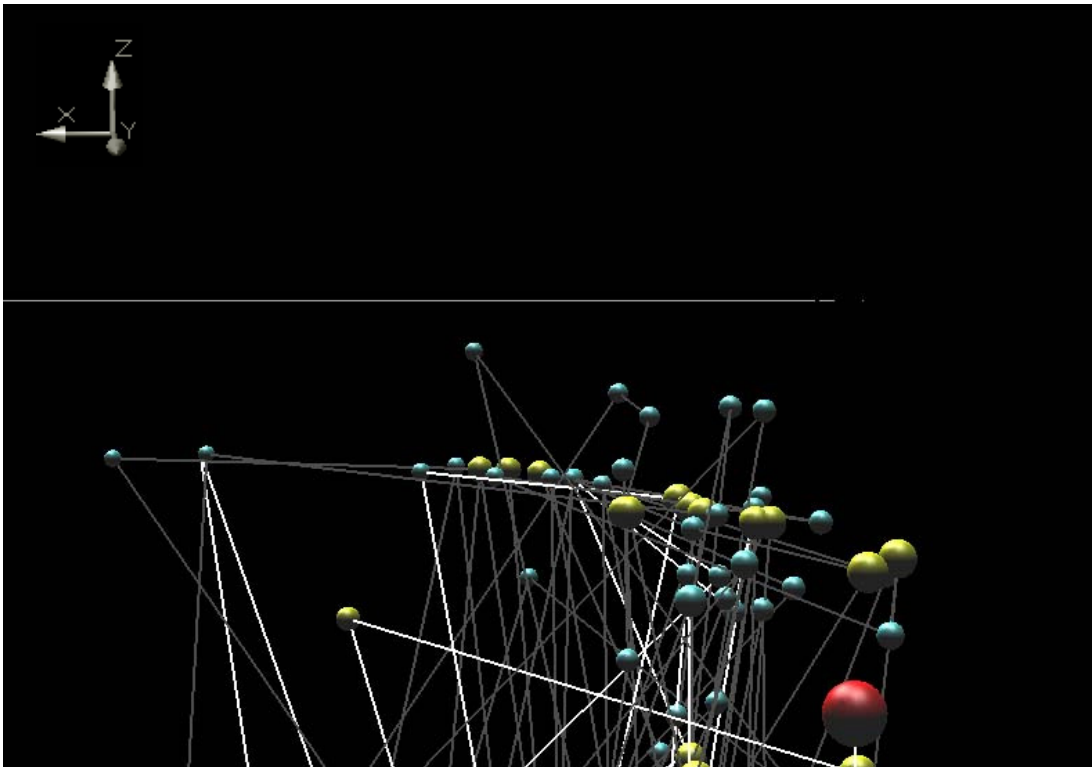


Abb. 24 EreignisGraph und Magnituden; die 24 aktuellsten Erdbebenereignisse projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), Profilperspektive.

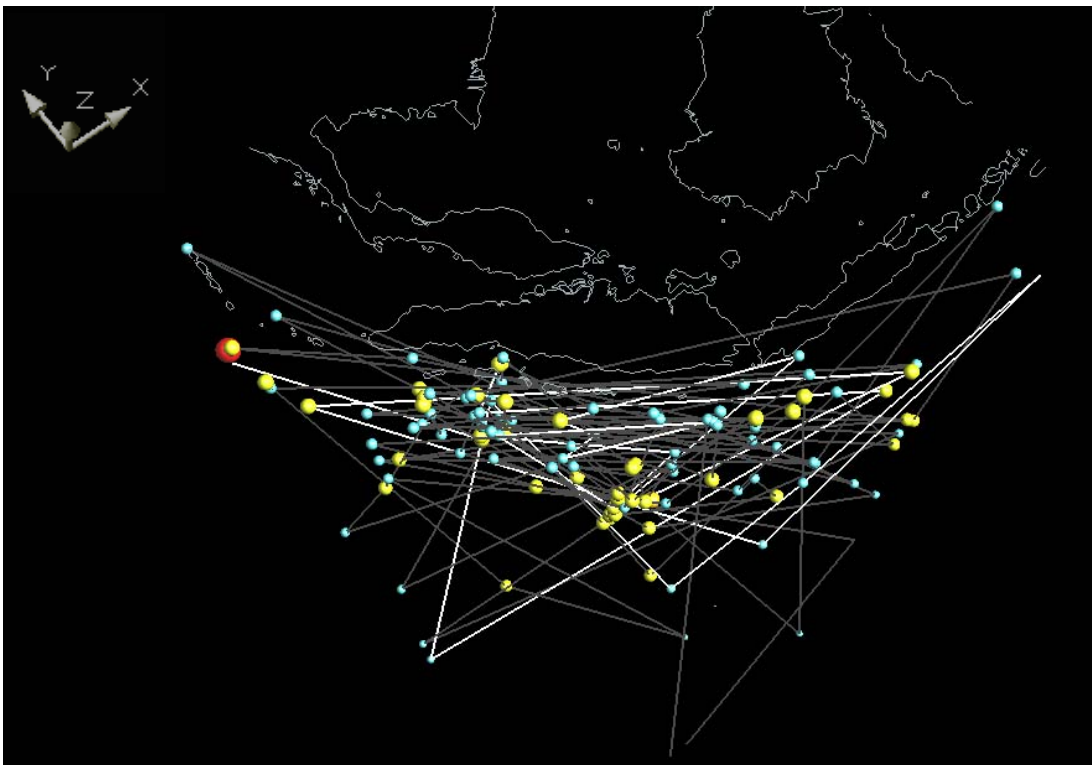


Abb. 25 EreignisGraph und Magnituden; die 24 aktuellsten Erdbebenereignisse projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), geneigte Aufsicht.

Für eine weitere Bearbeitung außerhalb von GRASS GIS werden die Vektorlayer

Ereignisgraph119

Magnitude3, Magnitude4, Magnitude5, Magnitude6, Magnitude7

Magnitude3L, Magnitude4L, Magnitude5L, Magnitude7L

Zeitraum120\_96, Zeitraum96\_72, Zeitraum72\_48, Zeitraum48-24, Zeitraum24\_1

in das Shape-Format exportiert und mit Hilfe des Shapefile to DXF/DWG Converter *Arcv3CAD 5.0* in ein dxf-Format umgewandelt und in AutoCAD importiert.

```
$ v.out.ogr input=Ereignisgraph119 type=point,line
dsn=/home/~...Ereignisgraph119 olayer=Ereignisgraph119 layer=1
format=ESRI_Shapefile
```

```
$ v.out.ogr input=Magnitude3 type=point,line dsn=/home/~...Magnitude3
olayer=Magnitude3 layer=1 format=ESRI_Shapefile
```

...

```
$ v.out.ogr input=Magnitude3L type=point,line dsn=/home/~...Magnitude3L
olayer=Magnitude3L layer=1 format=ESRI_Shapefile
```

...

```
$ v.out.ogr input=Zeitraum120_96 type=point,line dsn=/home/~...Zeitraum120_96
olayer=Zeitraum120_96 layer=1 format=ESRI_Shapefile
```

...

Für eine Konstruktion der VektorRose bietet GRASS GIS keine Funktionalität an. Zur Veranschaulichung wird diese exemplarisch in AutoCAD aus dem EreignisGraphen119 entwickelt. Unter Beibehaltung der jeweiligen Raumorientierung werden die Vektoren in das Projektionszentrum der graphischen Repräsentation der Magnitude 7 verschoben, wobei sich die Zeitrichtung der Vektoren vom Projektionszentrum aus entfaltet.

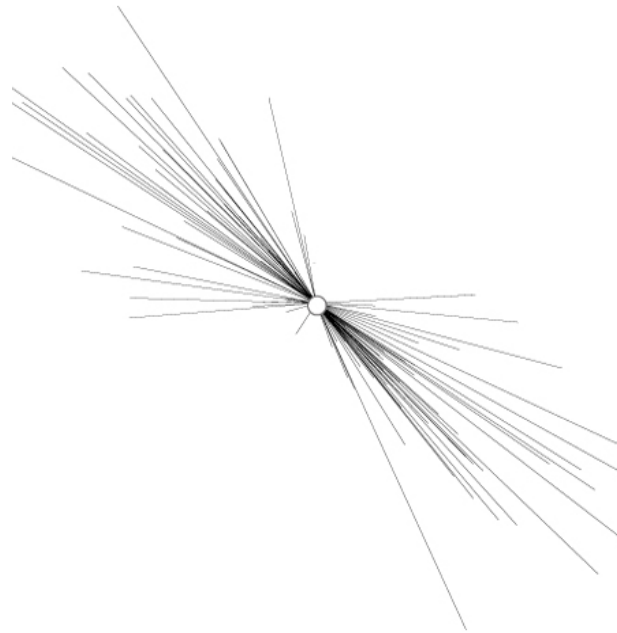


Abb. 26 VektorRose, Aufsicht (AutoCAD 2005)

Für dieses Verfahren liefert AutoCAD mit seiner Kopier-Funktion eine große Genauigkeit bei der Verschiebung und Platzierung der Vektoren im Raum. Da die manuelle Erstellung der VektorRose mit erheblichem Aufwand verbunden ist, wird eine Projektion der Magnitudenklassen oder eine Projektion der Chronologie auf die Vektorsegmente der VektorRose nicht durchgeführt.

## 7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

### 7.1 Implizite Ästhetik und die Freiheit der Form – Dialog zwischen Wissenschaft und Kunst / Visuelle Präsentation

Das Arbeiten an der Form der Darstellung bedeutete, die Beschaffenheit des Ausgangsmaterials und dessen Differenz zum darzustellenden Phänomen zu reflektieren und Entscheidungen für die Art der Beschreibung des Phänomens zu treffen, bewusst Perspektiven einzunehmen, Methoden zu entwickeln um das Neue durch die Form sichtbar zu machen, ja herauszufordern. In dem Bewusstsein, dass eine Erkenntnis nie frei von Einbildung, Konstruktion und Phantasie ist und dass der wissenschaftliche Entwurf, die wissenschaftliche Erfindung der Welt schon die Datennahme und deren Interpretation derart durchwirkt, dass alle weitere Erkenntnis vorgezeichnet wird.<sup>397</sup> Und der Gehalt dessen was erkannt wird, durch diese wissenschaftliche Perspektive bestimmt wird.<sup>398</sup>

Dabei wurde immer versucht, das Verhältnis zwischen mimetischen und poetischen Anteilen auszuloten. Dies geschah mit dem Anspruch, einerseits mit den Mitteln des Darstellungsmediums zu denken, aber gleichzeitig das Verhältnis von Form und Inhalt zu optimieren: den Charakter der Daten streng rational zu behandeln, aber auf dieser Grundlage den mimetischen Kontext zu verlassen und die Darstellungsform aus der Öffnung der Interpretation und der Inspiration durch neue Kontexte zu entwickeln.

Denn „[...] die Naturwissenschaften [haben sich] selbst bei strengster Nachbildung der Natur durch die explizite Kanonisierung ihrer Darstellungsformen längst einer bestimmten Art und Weise der Imagination und Invention verschrieben und [...] mit der Öffnung der Darstellungsformen, also der Variation poetischer Kontexte, [entsteht in] den Naturwissenschaften ein neuer Raum der Imagination und Invention [...], der reflektiert und aktiv bespielt werden kann.“<sup>399</sup>

„Die Form<sup>400</sup> der Darstellung sollte variiert werden, um sich den Erdbeben als Inhalt zu nähern, versus der bisherigen naturwissenschaftlichen Praxis, die Inhalte zu variieren, um eine einzige Form zu bestätigen.“<sup>401</sup> Dabei stellt die jeweilige Form der Darstellung immer die Leinwand, auf die der Inhalt projiziert wird. Jede Erdbebendarstellung ist auf eine Projektion angewiesen, Erkenntnis kann nur auf Seiten der Projektion erfolgen.<sup>402</sup> Diese Illusion kann nicht verhindert werden, aber „verhindern kann man, dass man auf sie hereinfällt und das Spiegelbild mit der Wirklichkeit verwechselt.“<sup>403</sup> Sich also nicht vom Glanz der Darstellung blenden lassen und das Abbild wirklicher nehmen als das

---

<sup>397</sup> Vgl. (Dombois 2006, S.101).

<sup>398</sup> Vgl. (Dombois 1998, S.9).

<sup>399</sup> (Dombois 2006, S.102).

<sup>400</sup> Äußerungen Heiner Müllers in einem Gespräch über Avantgarde und politisches Theater „[...] es geht um die Behandlung des Stoffes, um die Form, nicht um den Inhalt.“ (Müller, Heiner 1990, S.97) zit. nach: Asholt, Wolfgang & Fähnders, Walter (Hsg.) (2000): Der Blick vom Wolkenkratzer. Avantgarde – Avantgardekritik – Avantgardeforschung. Rodopi. S.540.

<sup>401</sup> (Dombois 1998, S.9).

<sup>402</sup> Vgl. ebd. S.11.

<sup>403</sup> (Picht 1990a, S.255) zit. nach: Ebd. S.9.



Abgebildete. Denn gerade die spezielle Eigenschaft der visuellen Darstellung bezeugt nicht allein, sondern bestimmt mit, indem sie sich im „Modus eines Zeigens und Sich-Zeigens zu erkennen gibt,“ dessen Evidenzcharakter<sup>404</sup> ontologischen Schein erzeugt.

„Eine Praxis der Erkenntnis, in der der Schein der eigenen Darstellung thematisiert wird, ist die Kunst.“<sup>405</sup> Sie erforscht ebenfalls über den Umweg der Darstellung und ergründet ganz bewusst die Welt in deren Abbild. Nach DOMBOIS gründen Wissenschaft und Kunst in einer gemeinsamen Wurzel, denn beide Disziplinen betreiben Erkenntnis durch Darstellung, auch wenn sich ihre Darstellungsformen offensichtlich unterscheiden. DOMBOIS stellt die Vermutung an, dass sich im Vergleich der Entscheidungskategorien und Haltungen der Forscher und Künstler Parallelen aufzeigen würden. GEORG PICTH definiert die Wissenschaft sogar als eine Weise der Kunst, indem er formuliert: „Es stellt sich vielmehr heraus, dass die Wissenschaft selbst in ihrem Wesen und ihren Möglichkeiten erst durchsichtig und verständlich wird, wenn wir sie in den sehr viel weiteren Horizont der möglichen Formen von Darstellungen einordnen und aus diesem Horizont her durchsichtig machen können. Der Inbegriff aller möglichen Formen der Darstellung heißt, wie sich gezeigt hat, Kunst. Daraus erklärt sich der zunächst so paradox klingende Satz, Kunst sei für alle möglichen Formen der Erkenntnis von Welt konstitutiv.“<sup>406</sup>

Mit dieser Definition entfaltet sich eine fundamentale Freiheit in der Wahl der Erkenntniswege. Denn vor dem Hintergrund dieser Interpretation gibt es keinen Grund, den Allmachtsanspruch nur einer Form aufrecht zuhalten. DOMBOIS fragt, „warum [...] die Vielfältigkeit der Erkenntnis von Erdbeben, wie sie in der Vielfalt der Darstellungsformen angelegt ist, aufgegeben werden [soll] zugunsten nur einer einzigen Perspektive? Kann der scheinbare Gewinn, dass mit einer wissenschaftlichen Standardisierung Erkenntnis verfügbarer, austauschbarer, handhabbarer wird, den Verlust aufwiegen, den die Beschränktheit solcher Forschung zur Folge hat?“<sup>407</sup> Und dort wo bisher Ungesehenes sichtbar gemacht wird, sind Naturwissenschaftler auf fremdem Terrain, greifen traditionelle wissenschaftliche Argumentationen nicht mehr.<sup>408</sup>

Mit der Erforschung und Darstellung der Natur kann das Ästhetische gleichwohl von der Wissenschaft hervorgebracht werden.<sup>409</sup> Zu beobachten ist dies nach SCHWEITZER<sup>410</sup> daran, dass Muster und Strukturen sichtbar gemacht werden, denen der Betrachter, auch aus dem nichtwissenschaftlichen Bereich, von sich aus das Attribut ästhetisch zuordnet.<sup>411</sup> Nach der Einschätzung von BENNO HESS wird hier wissenschaftliche Information in die Sprache der Kunst projiziert, indem komplizierteste wissenschaftliche Zusammenhänge ästhetisiert werden und der Phantasie und Kreativität neue Welten erschlossen werden.<sup>412</sup>

<sup>404</sup> Vgl. (Mersch 2005, S.5).

<sup>405</sup> (Dombois 1998, S.9).

<sup>406</sup> (Picht 1990b, S.157) zit. nach: Ebd. S.10.

<sup>407</sup> Ebd. S.10.

<sup>408</sup> Vgl. (Dombois 2006, S.108).

<sup>409</sup> Vgl. (Schweitzer 1994, S.16).

<sup>410</sup> Vgl. ebd. S.17.

<sup>411</sup> z.B. die Auszeichnung der Wissenschaftsbilder des Jahres *International Science and Engineering Visualization Challenge* der National Science Foundation (NSF) der USA. [http://www.nsf.gov/news/special\\_reports/scivis/index.jsp?id=challenge](http://www.nsf.gov/news/special_reports/scivis/index.jsp?id=challenge)

<sup>412</sup> Vgl. Hess, Benno 1987, S.38 In: (Schweitzer 1994, S.17).

Die Formen der vorliegenden Darstellungskonzepte wurden aus dieser Offenheit gegenüber dem Spektrum der Darstellungsmöglichkeiten entwickelt.

Die Umsetzung der Konzepte in GRASS sind jedoch nicht nur funktionellen Einschränkungen unterworfen, sondern sie besitzen auch wie in Kapitel 6.3 beschriebenen Mängel in der visuellen Präsentation. In Ergänzung zur NVIZ-Visualisierung wurden Hilfe von 3Ds Max4 (Anmerkung<sup>413</sup>) die Darstellungsform neu visualisiert. Worin liegt die Legitimierung dieser Art der Präsentation und wie ist sie zu bewerten? Die Gefahr eines prekären epistemischen Status wissenschaftlicher Visualisierungen, wie sie MERSCH sieht, versucht diese Arbeit dadurch abzuschwächen, dass sie sich bemüht Form und Inhalt seismischer Daten und visueller Darstellung in Übereinstimmung zu bringen sowie fiktionale und nachbildende Aspekte bei der Konzeptentwicklung kontrolliert und transparent anzuwenden.

Der EreignisGraph und die VektorRose werden nachfolgend durch eine Betonung und Ästhetisierung ihrer Konturen und Darstellungsobjekte inszeniert. Hierbei wurden Licht, Material und Render-Funktionen eingesetzt und die Durchmesser der Vektorsegmente variiert.

Infolge der Verdinglichung (Oberflächenstruktur, Volumen, Lichtreflexe) der Darstellungsobjekte wird die visuelle Wahrnehmung der Objekte erleichtert. Denn eine Zwei-Dimensionalität der Vektorsegmente (wie sie NVIZ anbietet) kann speziell bei großer Vektordichte zu Unübersichtlichkeit und Unklarheit führen. Grundsätzlich wird durch diese Verdinglichung nicht die Morphologie des Graphen zerstört, sondern im Gegenteil, sie unterstützt gerade bei der Erkundung im dreidimensionalen Raum die Identifizierung sich bewegender und Positionen verändernder Objekte, deren Größendimensionen sich durch die Bildtiefe des projizierten Raumes verändern und somit schwerer wahrnehmbar sind.

Ferner steigert der visuell apodiktisch und als ästhetisch wahrgenommene Untersuchungsgegenstand die Aufmerksamkeit und das Interesse des Betrachters bei der Erforschung.

Ein weiterer Aspekt, der berücksichtigt werden soll, ist die Tatsache, dass die entwickelten Darstellungsformen selbst schon durch ihre Strukturalität, ihre Komposition und Wandelbarkeit eine implizite Ästhetik besitzen, die der Betonung bedarf.

Ruft man sich den systemtheoretischen Bezug dieser Darstellungsformen erneut vor Augen, den Aspekt, unter dem Erdbebedynamiken betrachtet wurden, so gelangt nach Ansicht von SCHWEITZER mit der Vorstellung, dass sich die Phänomene der Natur durch ein dynamisches Entstehen und Vergehen von Strukturen ausdrücken, Kreativität, Erschaffung und ein ästhetischer Gehalt<sup>414</sup> in den Blickpunkt der naturwissenschaftlichen

---

<sup>413</sup> Hierzu ist anzumerken, dass der Umgang der Autorin mit der Software 3D Studio Max auf Grundkenntnissen beruht, der Einsatz des vollen Funktionsumfangs konnte hier nicht in die Umsetzung einfließen! „3ds Max ist ein 3D-Computergrafik- und Animationsprogramm, das im Bereich Computerspiele, Film (TV/Kino) [etc.] seinen Einsatz findet. 3ds Max ermöglicht Mehrfachreflexionen, Beleuchtung nach Geokoordinaten, Jahres- und Tageszeit. Durch Veränderung oder Neuschaffung von Materialien hat man weitgehende Gestaltungsfreiheit.“ Seite *3ds Max*. In: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie. (Online. Stand 18.10.08).

<sup>414</sup> „wenn Ästhetik und Schönheit begriffen wird als eine „den Dingen und der Welt inhärente Eigenschaft“ und als das „Ergebnis eines dynamischen Prozesses, [der] irreversibel [ist], das heißt, einmalig, einzigartig, historisch geworden und auch wieder vergänglich, indeterminiert, das heißt, in entscheidenden Punkten unvorhersagbar, überraschend und neu.“ Ebeling, Werner et.al. (1998): Komplexe Strukturen: Entropie und Information. B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, S.227.

Betrachtung. Die Trennung zwischen wissenschaftlicher und künstlerischer Vorstellungskraft scheint sich hierdurch aufzuheben.<sup>415</sup> „How could the aesthetic element come alive other than being integrated into the search for mathematical and scientific knowledge?“<sup>416</sup>

Die Frage, inwieweit diese Darstellungen sowie generell die von der heutigen Naturwissenschaft hervorgebrachten Bilder nicht nur ästhetische Eigenschaften offenbaren sondern bereits der Kunst<sup>417</sup> zugerechnet werden dürfen, ist natürlich offen für die Diskussion.<sup>418</sup>

Nachstehend werden nun die Ergebnisse der 3Ds Max Visualisierung präsentiert. Zur Anwendung kommt der in Kapitel 6.3 eingesetzte Datensatz mit den vorläufigen Ergebnissen aus GRASS GIS und CAD. Die statischen Darstellungen werden aus verschiedenen Perspektiven gezeigt, um so für den Betrachter die nicht ermöglichte Navigation im dreidimensionalen Raum anzudeuten. Die Betrachterposition wird mit Hilfe eines Bezugssystems simuliert (eine Exaktheit des Bezugssystems wird ausgeschlossen). Symbolik des Bezugssystems: x=Ost; y=Nord; z=positiver z-Wert (Höhe). Aufsicht (Draufsicht) = entgegen z-Richtung; Aufblick= in z-Richtung. Hinweis! Eine leichte Positionsveränderung bedingt zum Teil ganz verschiedene Ansichten der gleichen Struktur.

### Abbildungszyklus 1 Strukturalität

Der erste Abbildungszyklus präsentiert den EreignisGraphen mit den dazugehörigen Magnituden und Vektorsegmenten sowie die aus den Vektoren konstruierte VektorRose. Die Vektorsegmente des EreignisGraphen sind nicht mit Variablen wie Farbe, Segmentdicke etc. belegt. Der Fokus dieses Zyklus liegt rein auf der Sichtbarmachung der Strukturalität des Graphen, der räumlichen Verteilung der Magnitudenwerte und der Richtungshäufigkeit der Vektorsegmente des EreignisGraphen, dargestellt durch die VektorRose.

AbbildungenAbb.-Zyklus 1 a *EreignisGraph (Magnituden 3-7) und VektorRose, Aufsicht.*, Abb.-Zyklus 1 d und Abb.-Zyklus 1 k-m ermöglichen eine Aufsicht auf den EreignisGraphen. Mit dem Fokus auf die horizontale räumliche Verteilung unter nicht Beachtung der Tiefendimension und Tiefenstruktur, wird eine räumliche Verteilung der Erdbebenereignisse innerhalb eines schmalen Gebietes sichtbar, entsprechend der Konzentration seismischer Aktivität an tektonischen Plattengrenzen.

Bei kleiner Neigung des EreignisGraphen werden Tiefen-Erdbebenereignisse sichtbar, in Form einer symmetrisch erscheinenden Vektorstruktur (Abb.-Zyklus 1 b).

---

<sup>415</sup> Vgl. (Ebeling et.al 1998, S.227).

<sup>416</sup> (Peitgen & Richter S.21) zit. nach: Ebd. S.22.

<sup>417</sup> „Gerade durch die Entdeckung des Schönen in der Wissenschaft [...] ist es möglich geworden, das neue Naturbild als ein ästhetisches und über den Weg der Ästhetik zu popularisieren. Zudem lässt sich mit dem Hinweis: Siehe, auch hier ist Schönheit“ auch der Kunst gegenüber ein naturwissenschaftliches Mitspracherecht bei der Bestimmung des Schönen weitaus nachhaltiger vertreten.“ Ebd. S.18.

<sup>418</sup> Vgl. ebd. S.18.

Die Abbildungen Abb.-Zyklus 1 *e* und Abb.-Zyklus 1 *g* zeigen mögliche Artefakte. Aus dieser Perspektive sind Magnituden zu sehen die den gleichen  $-z$  Wert besitzen und eine erhebliche (möglicherweise unnatürliche) Exaktheit widerspiegeln.

Die Abbildungen in Profilspektive Abb.-Zyklus 1 *h*, Abb.-Zyklus 1 *i*, Abb.-Zyklus 1 *j*, machen die große Tiefenausdehnung der Erdbebenereignisse deutlich. Anhand dieser Abbildungen wird ein starker Wechsel in der zeitlichen Abfolge der Ereignisse zwischen flachen und tiefen Beben deutlich. Dies kommt in der Struktur des EreignisGraphen dadurch zum Ausdruck, dass hauptsächlich vertikal orientierte Vektoren gebildet werden, welche große Distanzen (d.h. große Vektorbeträge) überwinden. Verdeutlicht wird der starke chronologische Wechsel der Orientierung in der Vertikalen durch die VektorRose, deren Vektoren eine Richtungskonzentration in  $-z$ - und  $z$ -Richtung in Verbindung mit großen Vektorbeträgen besitzen.

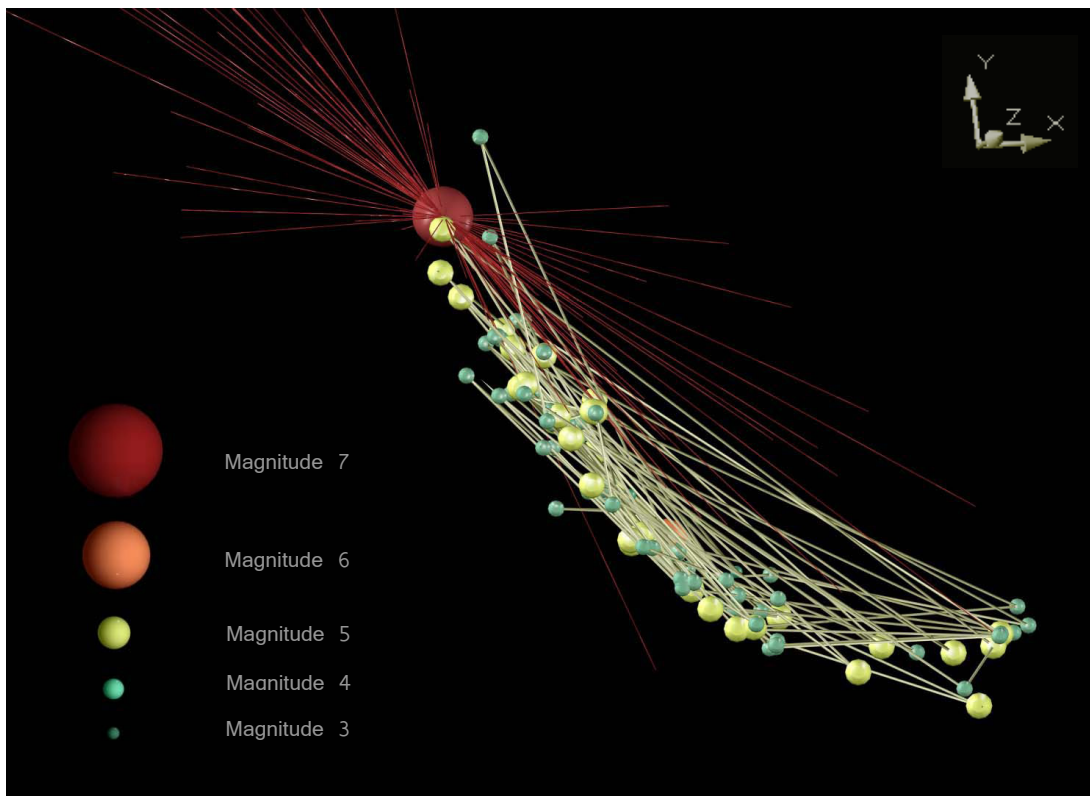


Abb.-Zyklus 1 a EreignisGraph (Magnituden 3-7) und VektorRose, Aufsicht.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

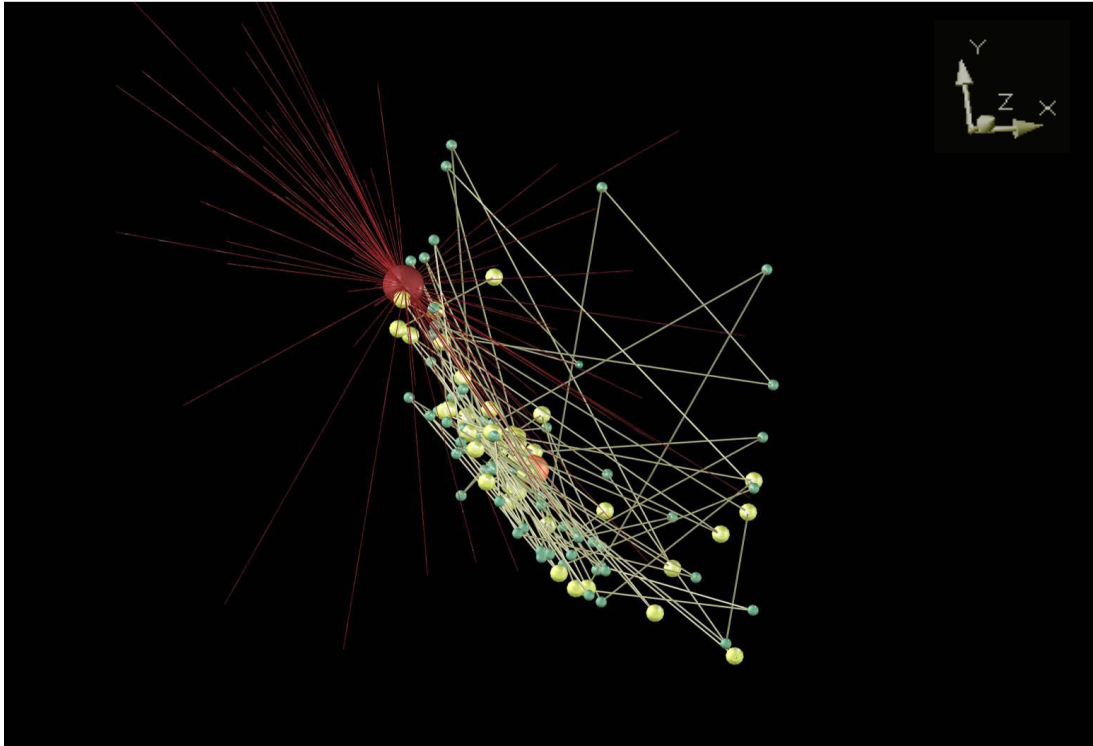


Abb.-Zyklus 1 b EreignisGraph und VektorRose; geneigte Aufsicht.

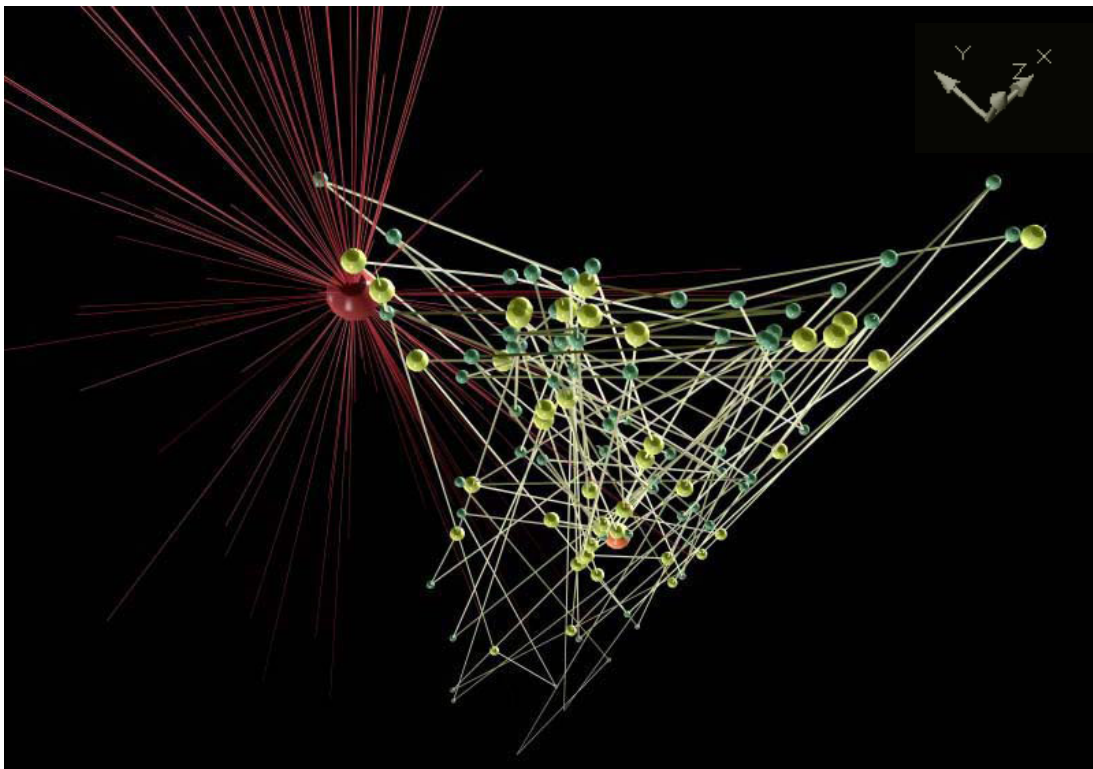


Abb.-Zyklus 1 c EreignisGraph und VektorRose; geneigte Aufsicht.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

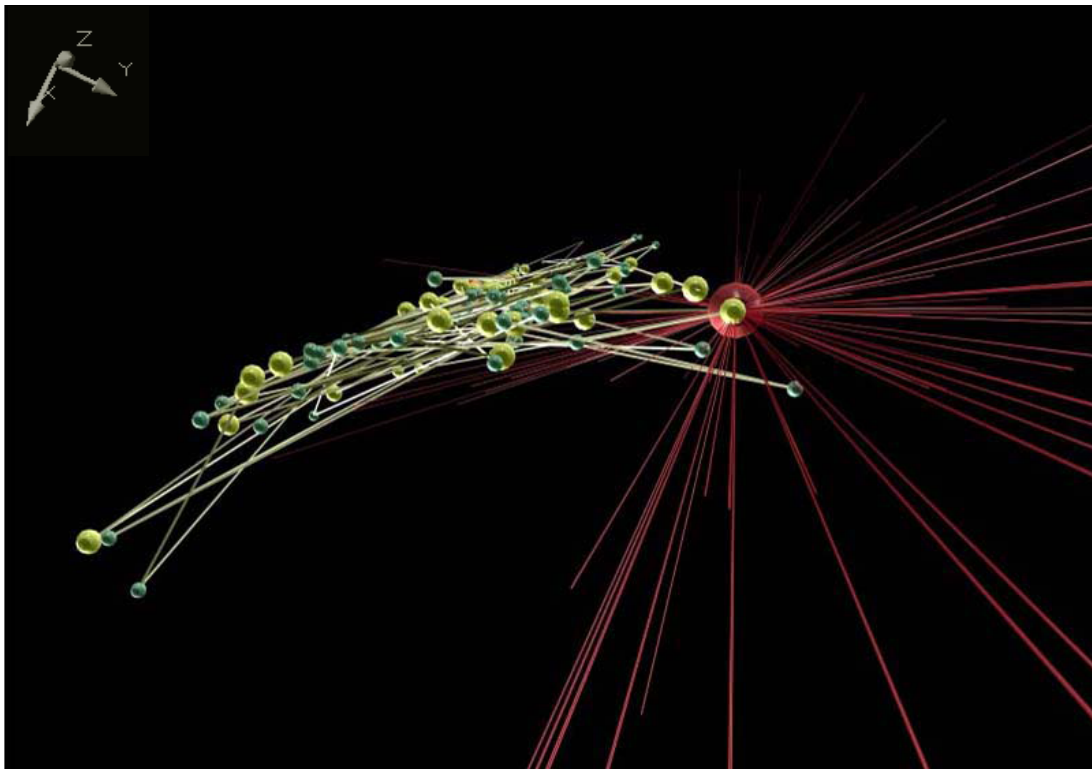


Abb.-Zyklus 1 d EreignisGraph und VektorRose, Aufsicht.

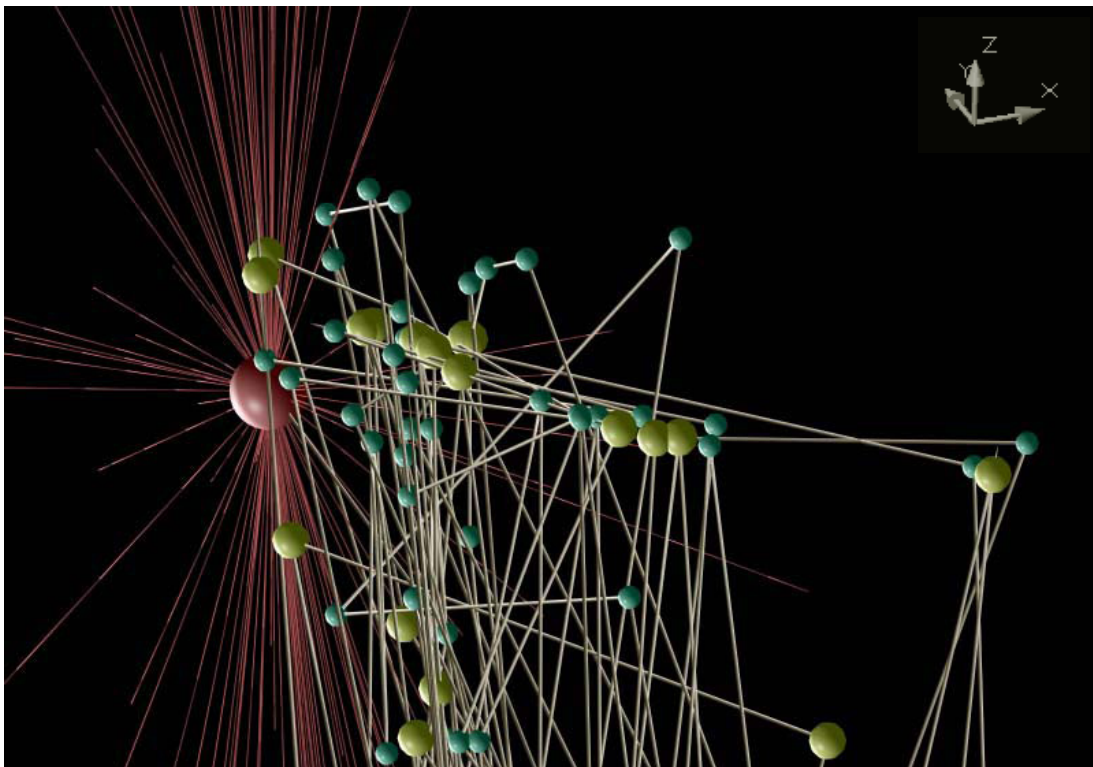


Abb.-Zyklus 1 e EreignisGraph und VektorRose, Profilperspektive.

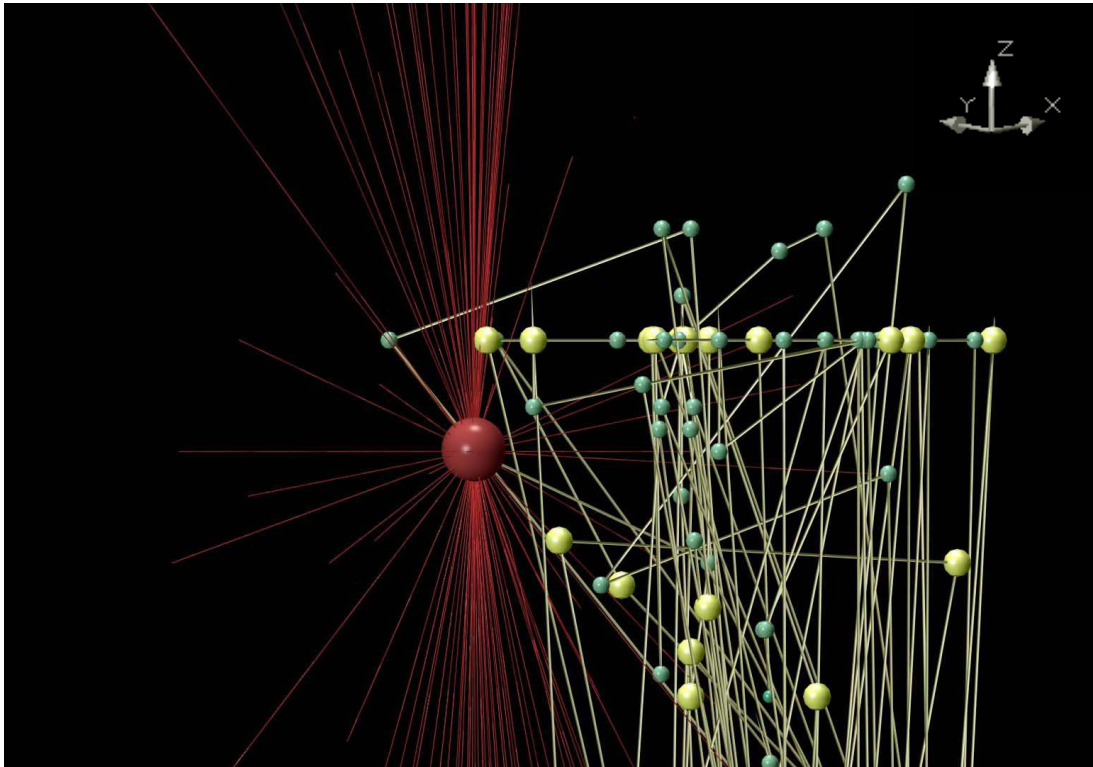


Abb.-Zyklus 1 f EreignisGraph und VektorRose, Profilperspektive.

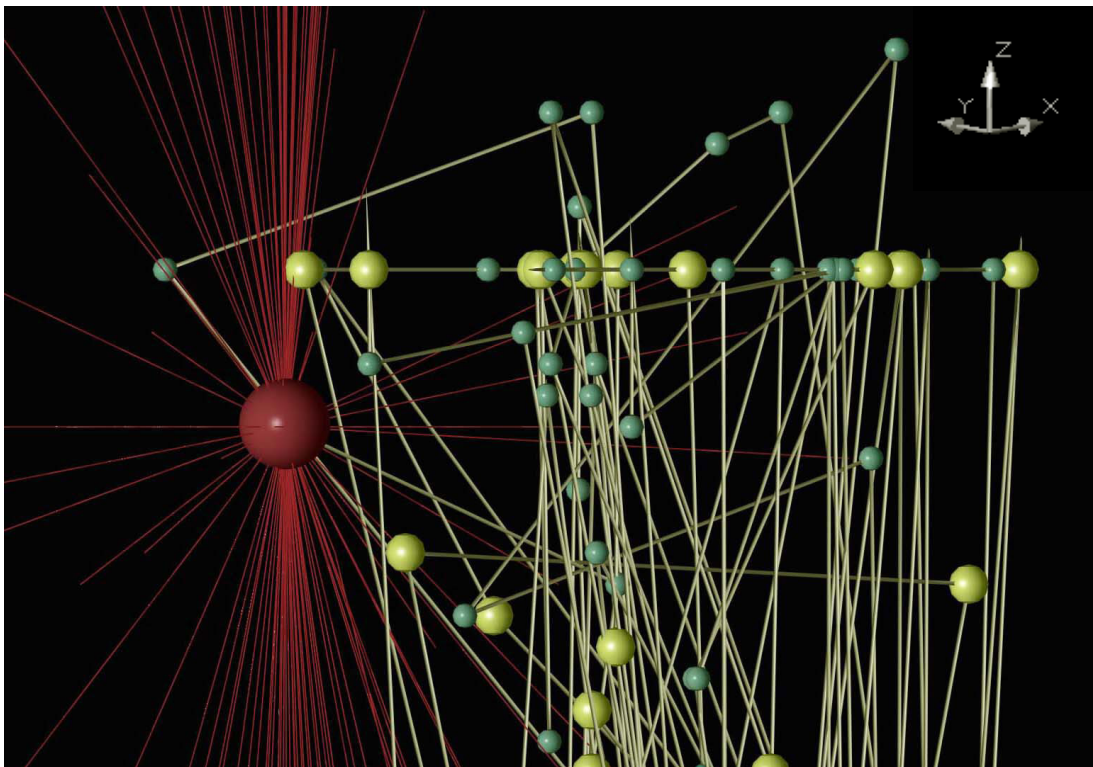


Abb.-Zyklus 1 g EreignisGraph und VektorRose, Profilperspektive.

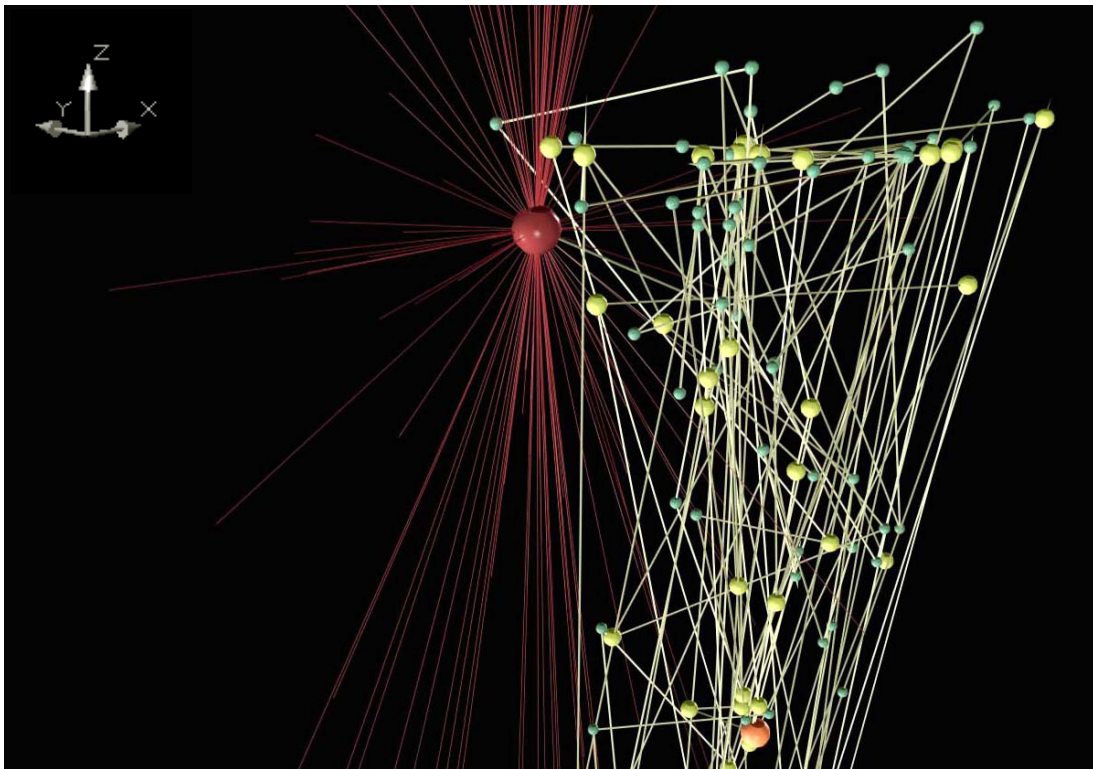


Abb.-Zyklus 1 h EreignisGraph und VektorRose, Profilperspektive.

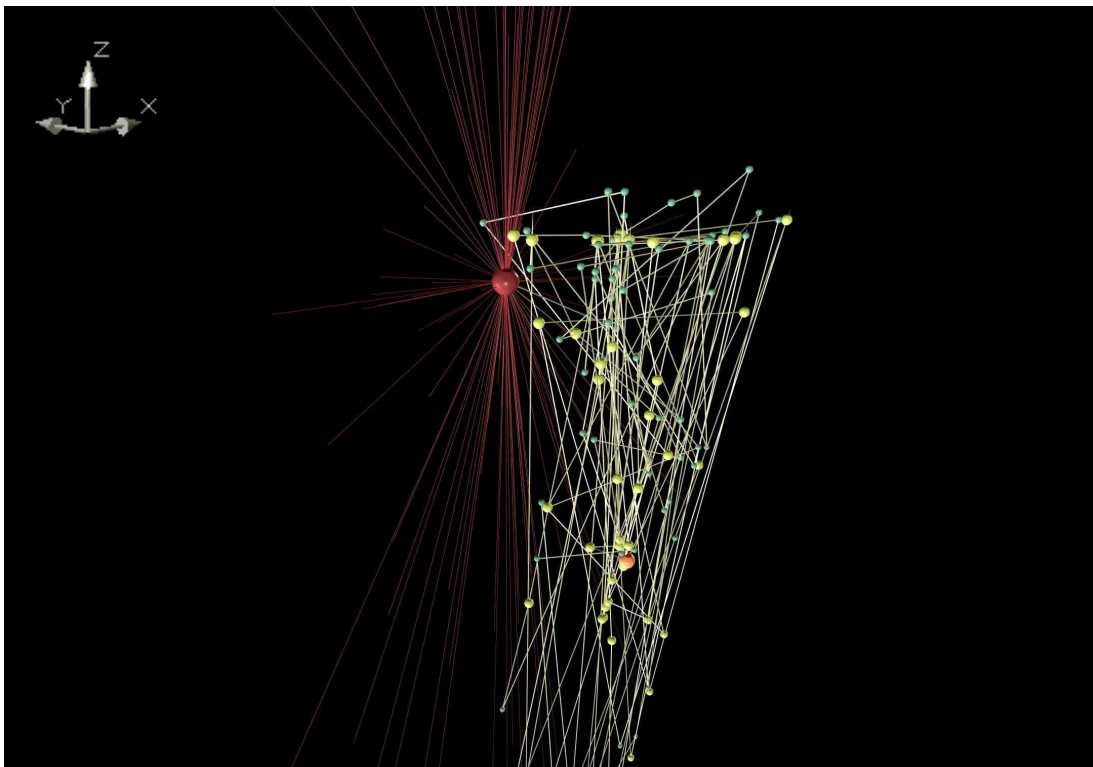


Abb.-Zyklus 1 i EreignisGraph und VektorRose, Profilperspektive.



7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

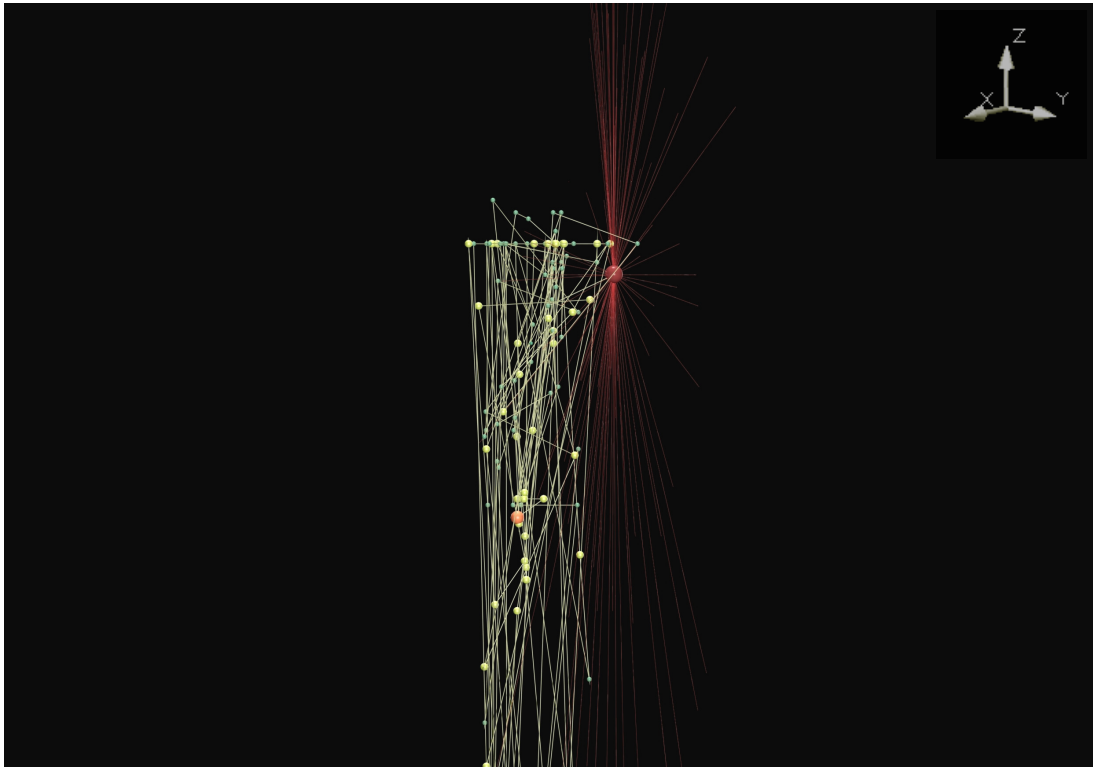


Abb.-Zyklus 1 j EreignisGraph und VektorRose, Profilspektive.

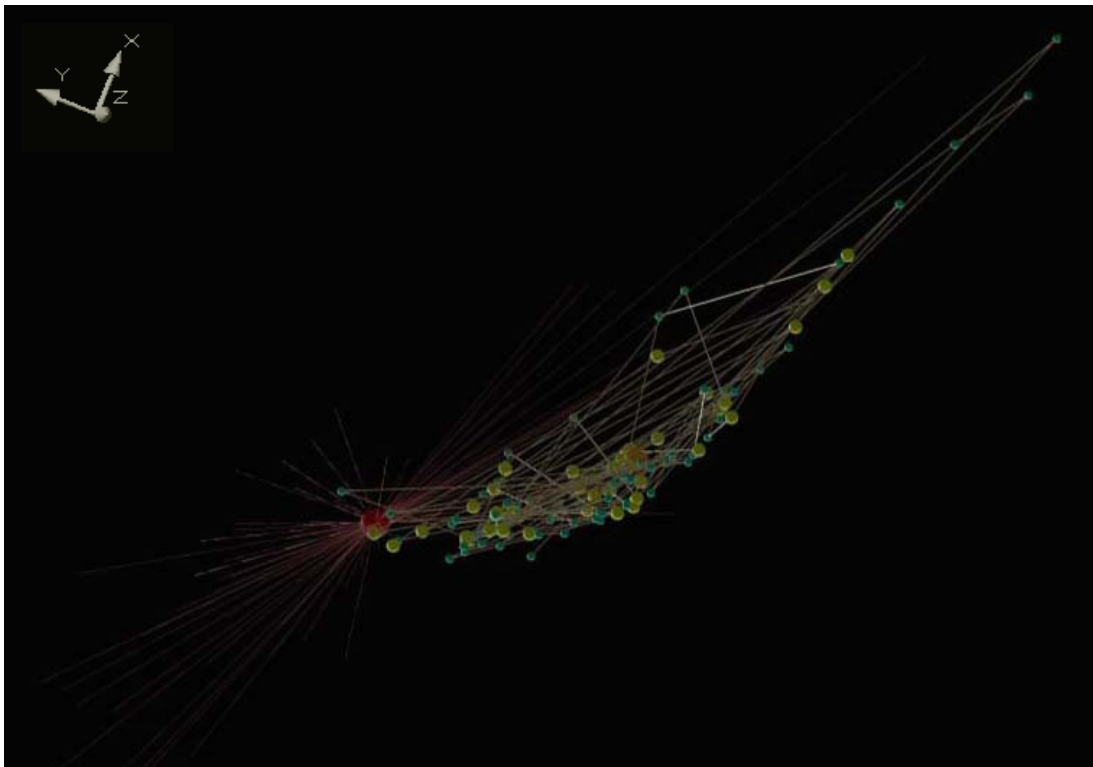


Abb.-Zyklus 1 k EreignisGraph und VektorRose, Aufsicht.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

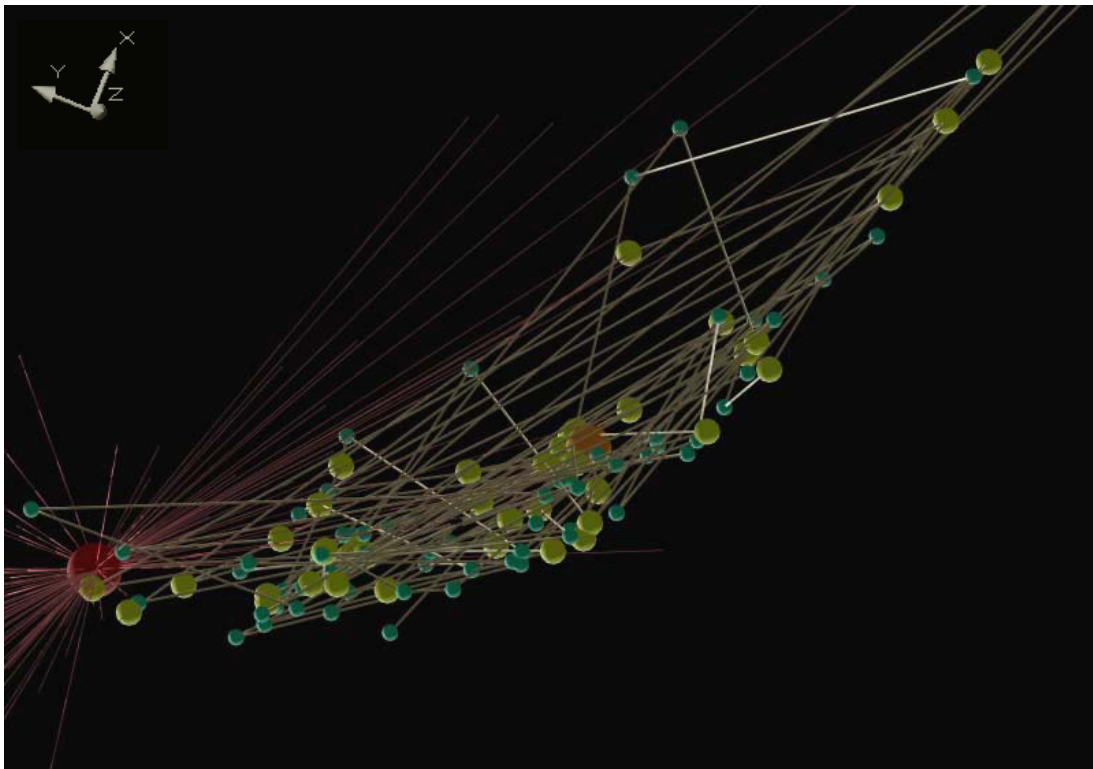


Abb.-Zyklus 1 l EreignisGraph und VektorRose, Aufsicht.

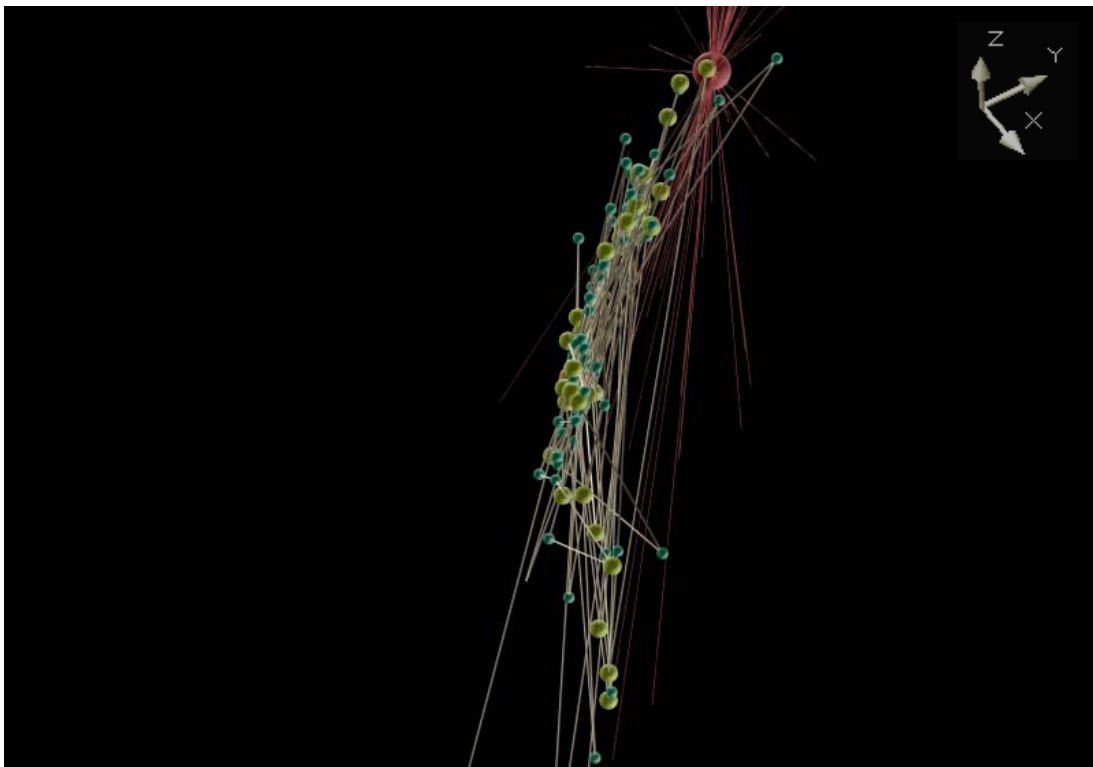


Abb.-Zyklus 1 m EreignisGraph und VektorRose, Aufsicht.

## Abbildungszyklus 2 Magnitudenprojektion

Im zweiten Abbildungszyklus werden nun die Magnitudenstärken auf die Vektorsegmente projiziert. Dies erfolgt in Form von Farbwerten und Segmentdicken entsprechend der für die graphischen Kugelprimitive gewählten Klassifizierung der Magnitudenstärken.

```
<4
>=4 and <5
>=5 and <6
>=6 and <7
=>7
```

Entsprechend der Zunahme der Magnitudenstärke wird die Segmentdicke variiert. Die Farben der Vektorsegmente entsprechen denen der Magnitudenwerte der Kugelprimitive. Die VektorRose wird teilweise entsprechend dem ersten Abbildungszyklus mit visualisiert.

Interessant sind die Abbildungen Abb.-Zyklus 2 e -

Abb.-Zyklus 2 g. Aus dieser Perspektive geht die räumliche Konzentration der Erdbebenereignisse mit einer Konzentrationen vertikaler (-z-Wert) Vektorbildungen einher, was eine Art Strömungsbewegung suggeriert.

In den Abbildungen

Abb.-Zyklus 2 h und Abb.-Zyklus 2 i können verschiedene Vektorsegmente als parallel verlaufend wahrgenommen werden.

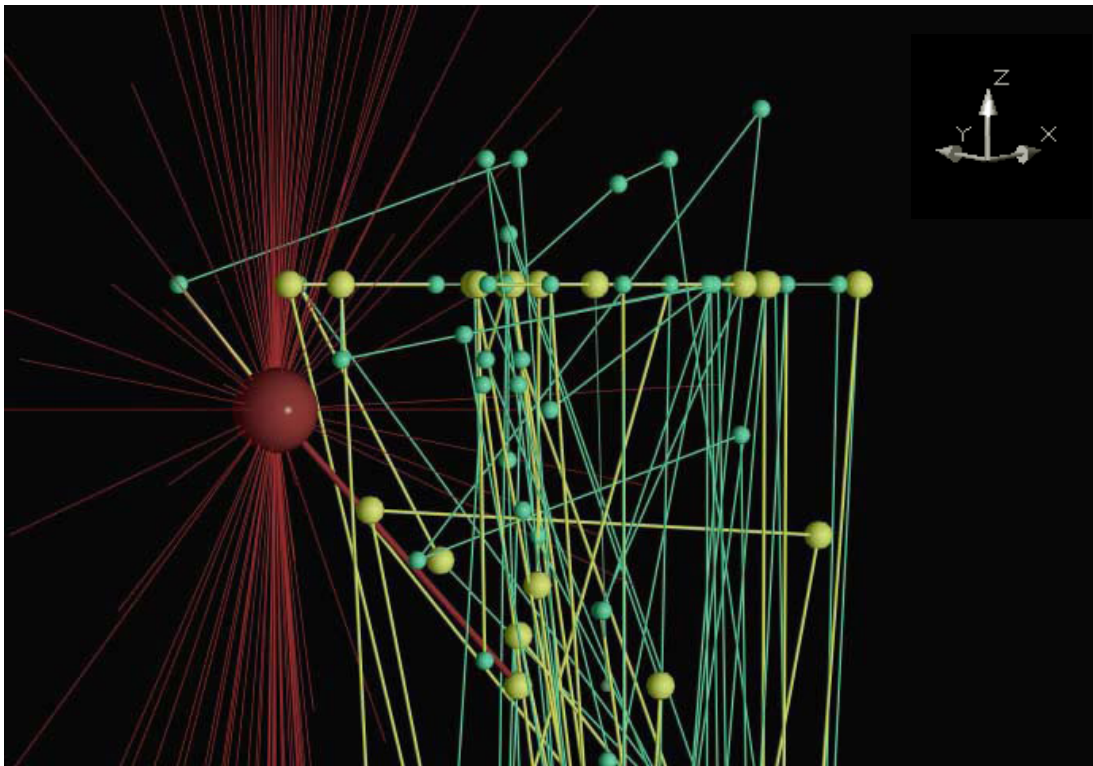


Abb.-Zyklus 2 a EreignisGraph und VektorRose, Profilspektive.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

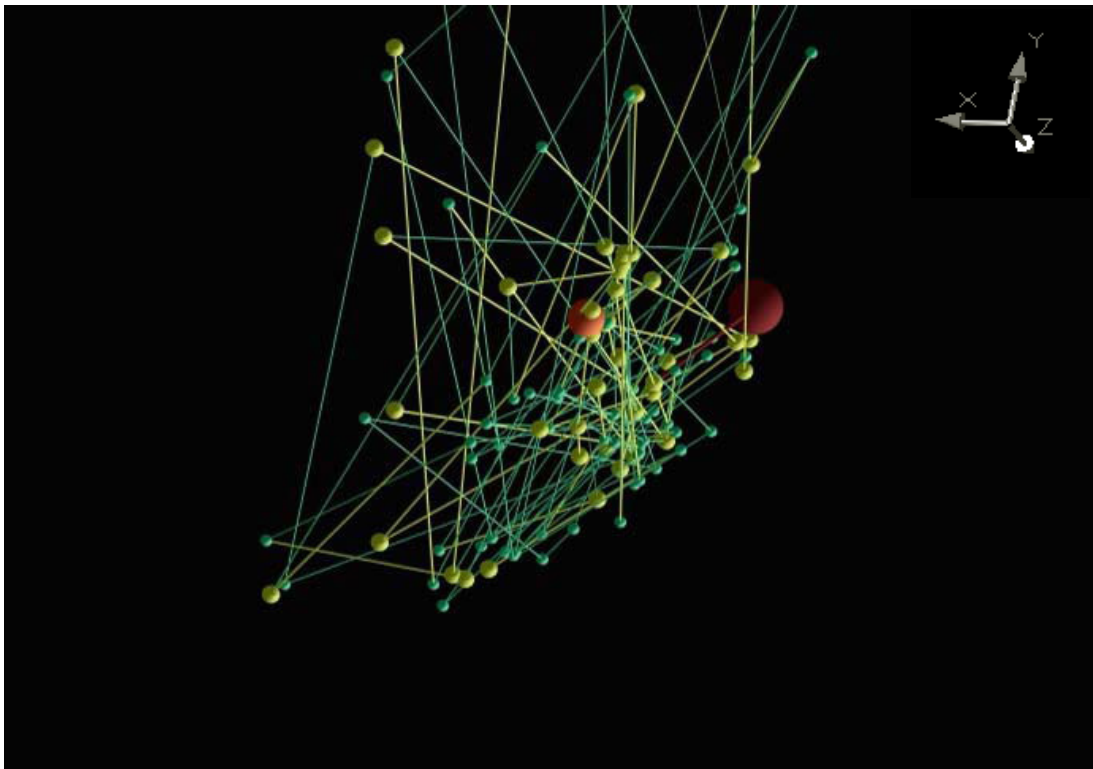


Abb.-Zyklus 2 b EreignisGraph, Profilperspektive.

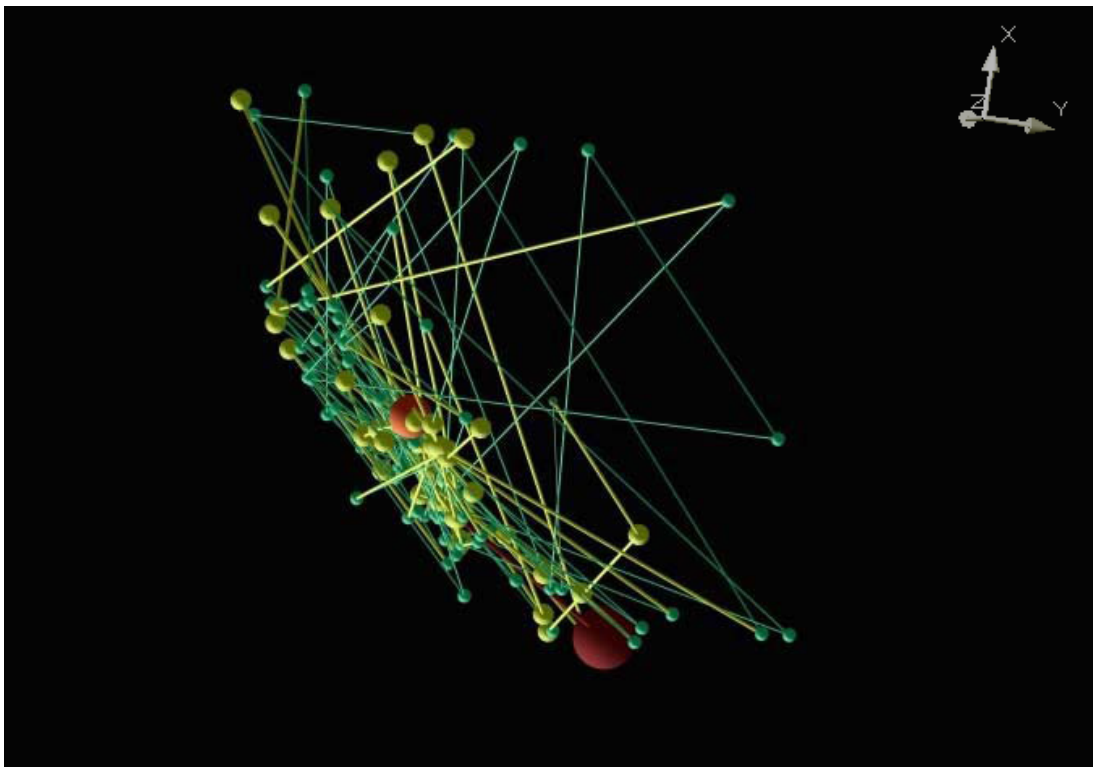


Abb.-Zyklus 2 c EreignisGraph, Aufblick.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

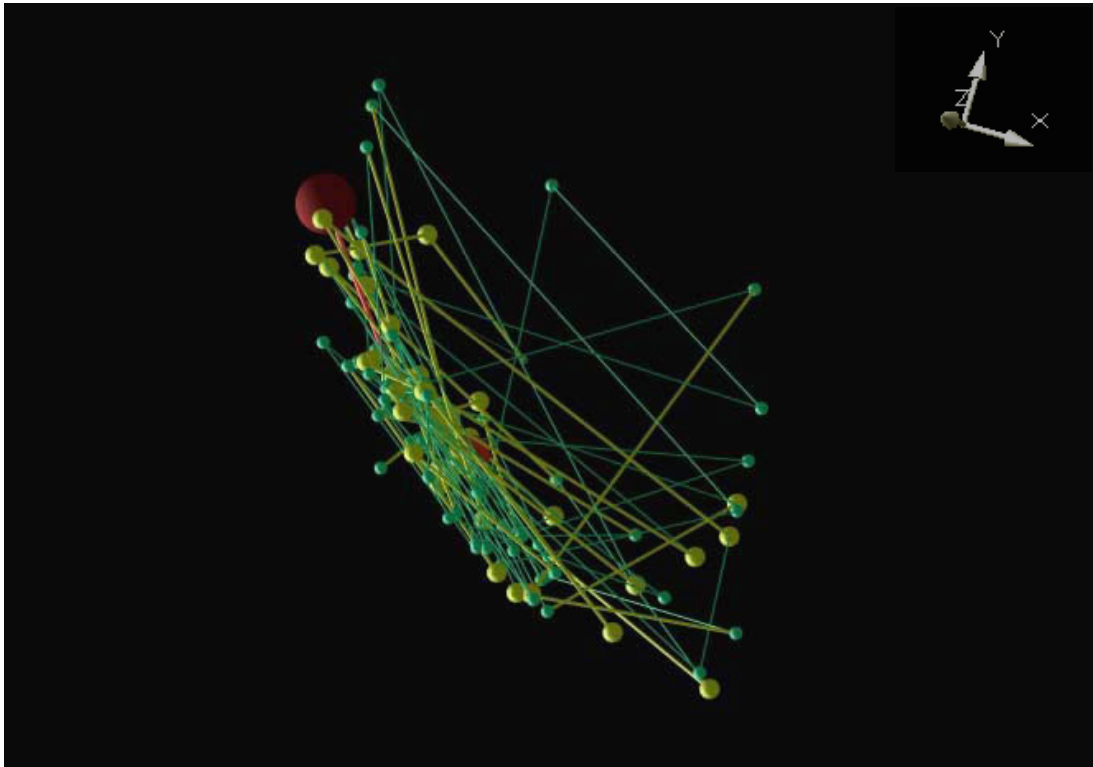


Abb.-Zyklus 2 d EreignisGraph, geneigte Aufsicht.

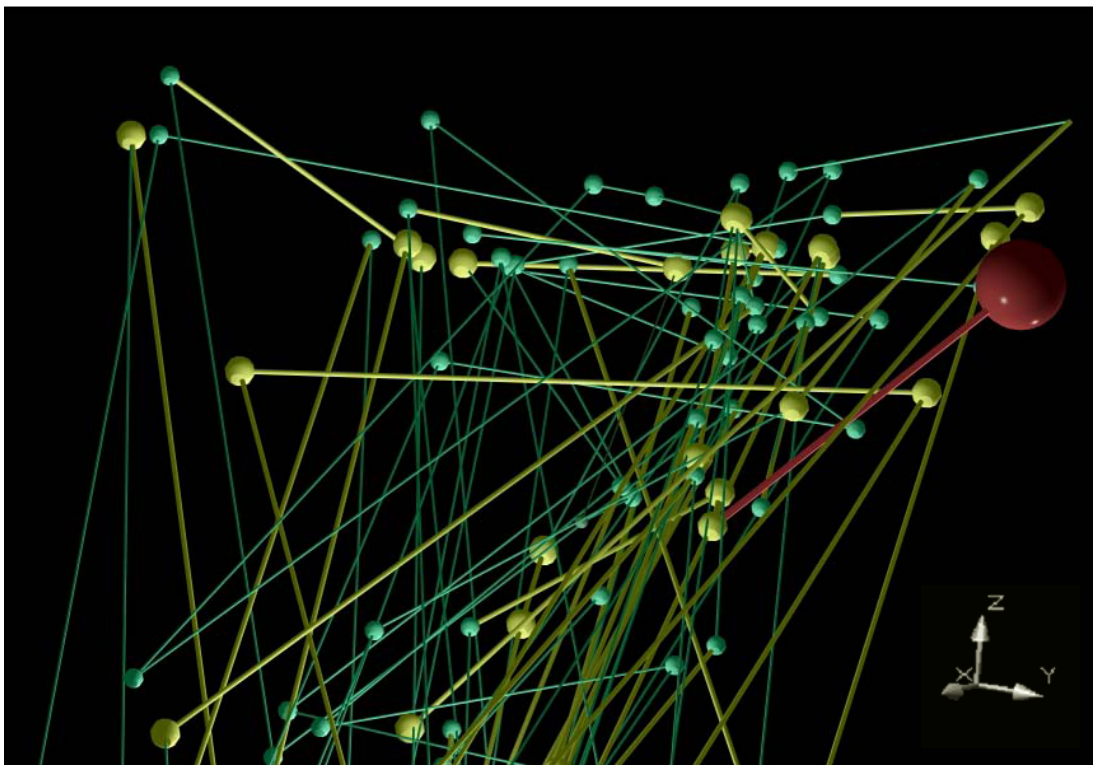


Abb.-Zyklus 2 e EreignisGraph, Profilperspektive.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

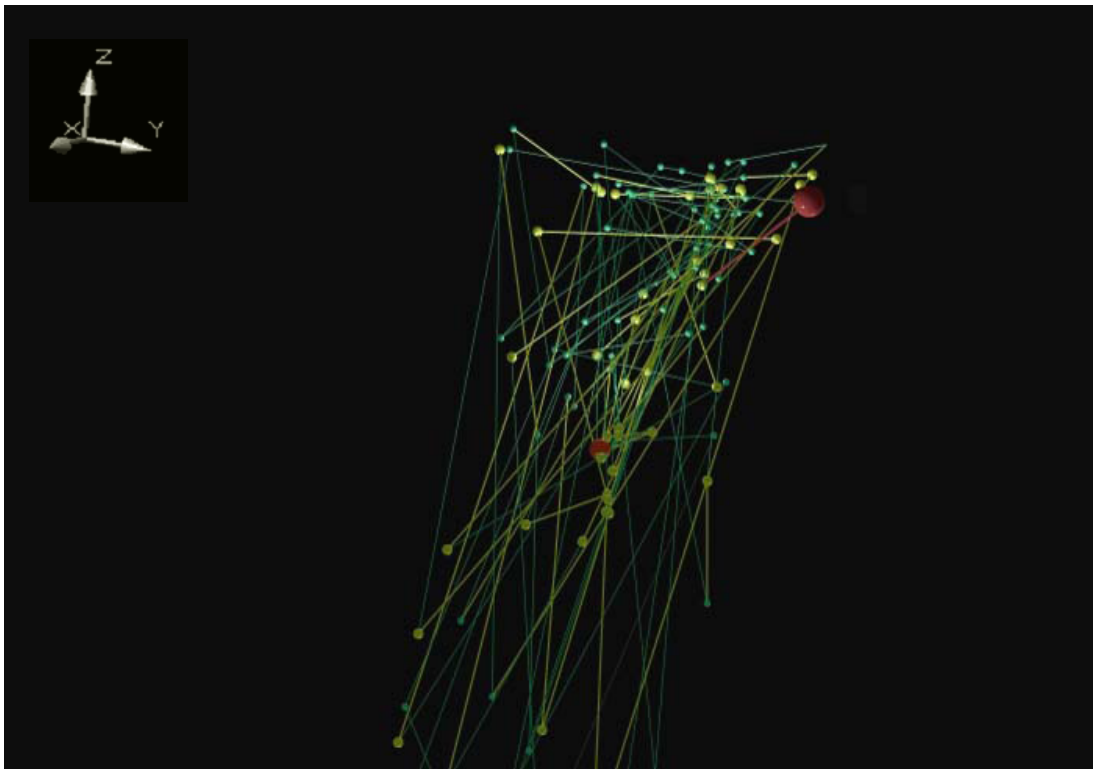


Abb.-Zyklus 2 f EreignisGraph, Profilperspektive.

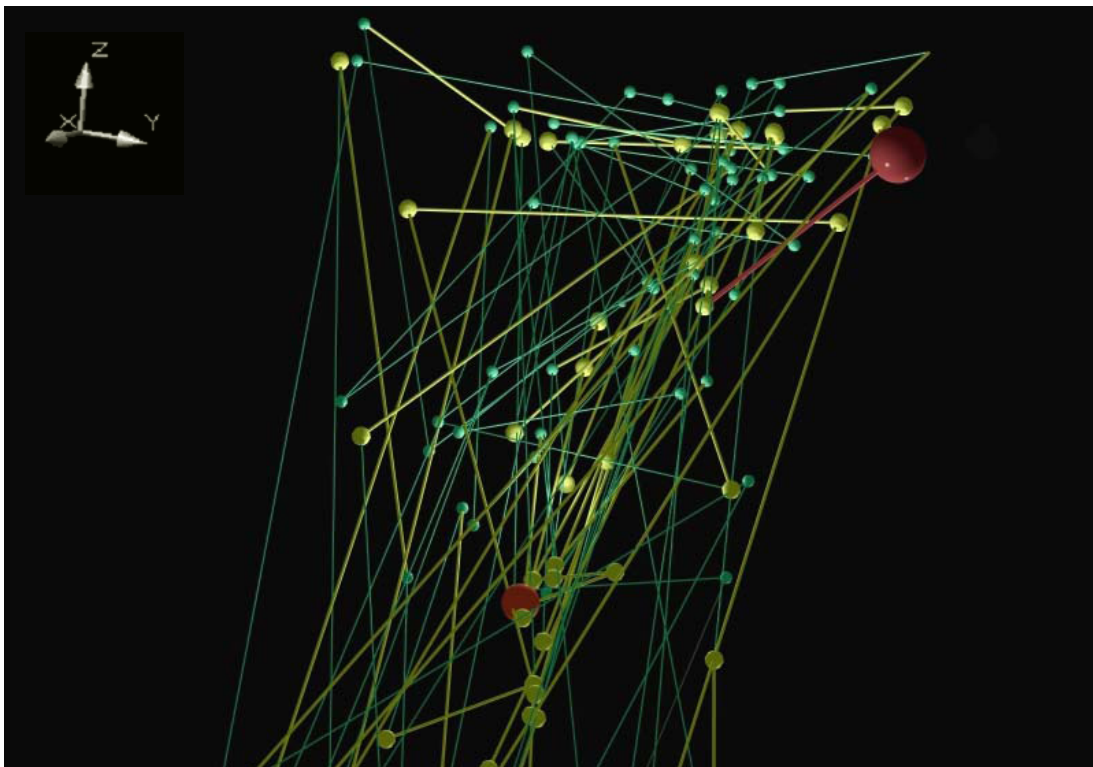


Abb.-Zyklus 2 g EreignisGraph, Profilperspektive.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

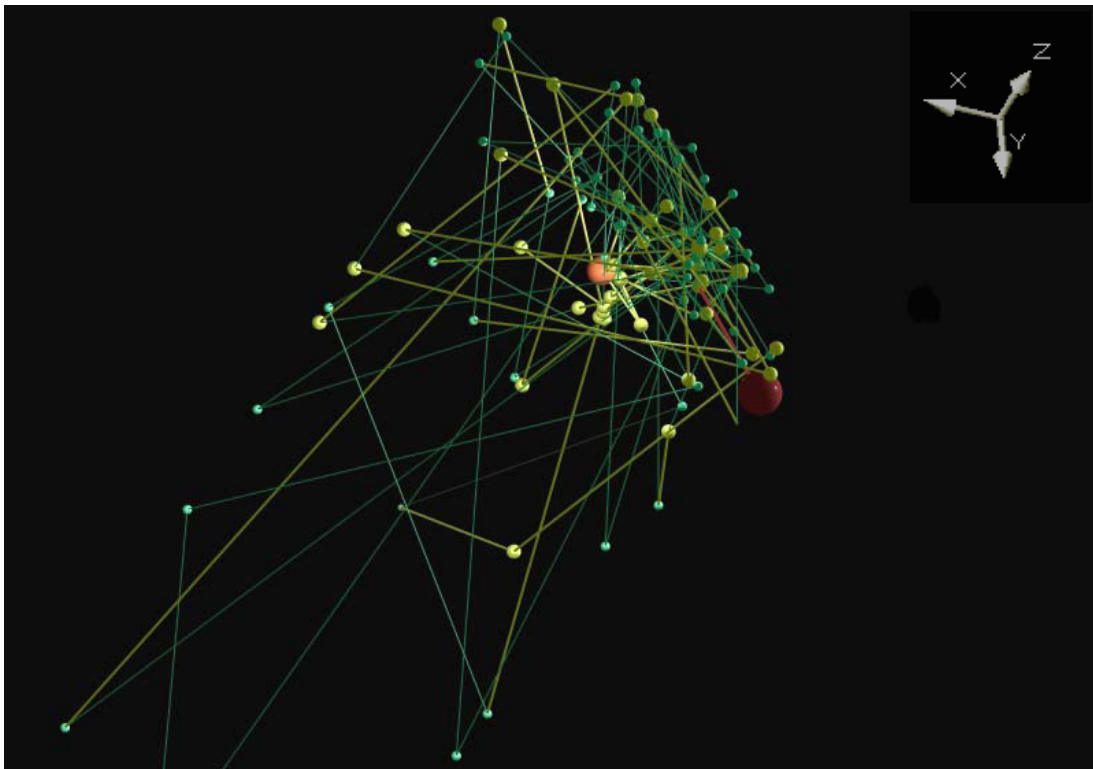


Abb.-Zyklus 2 h EreignisGraph, Aufblick.

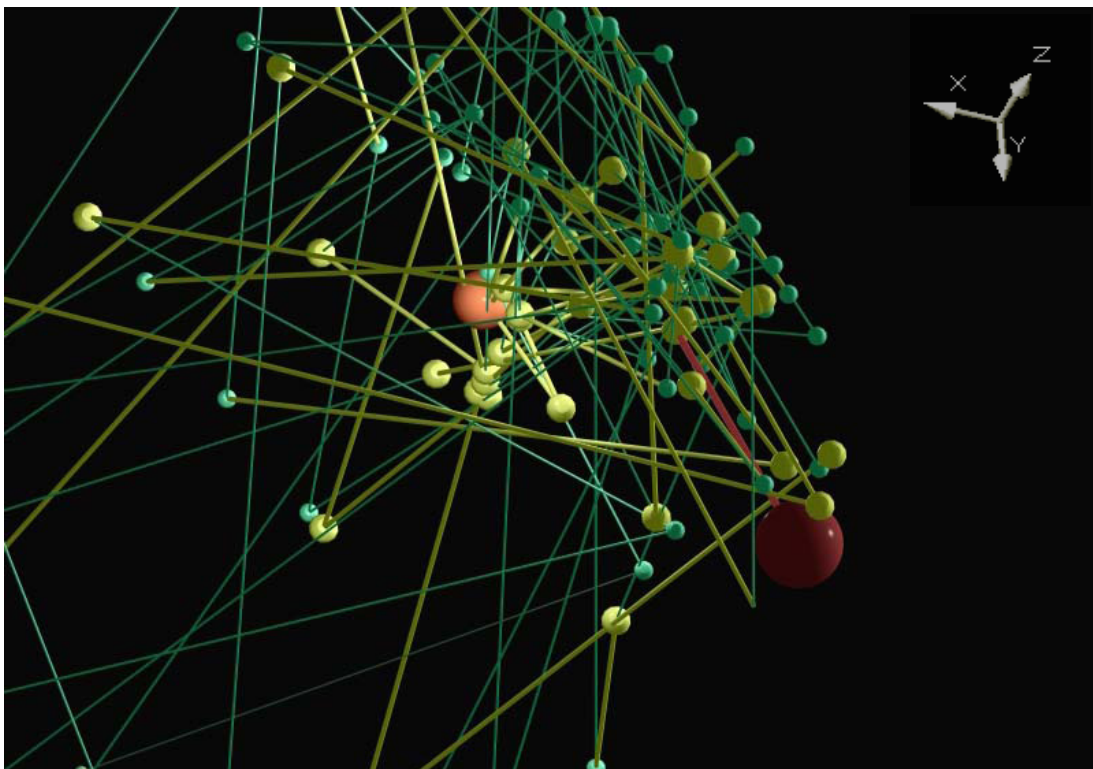


Abb.-Zyklus 2 i EreignisGraph, Aufblick

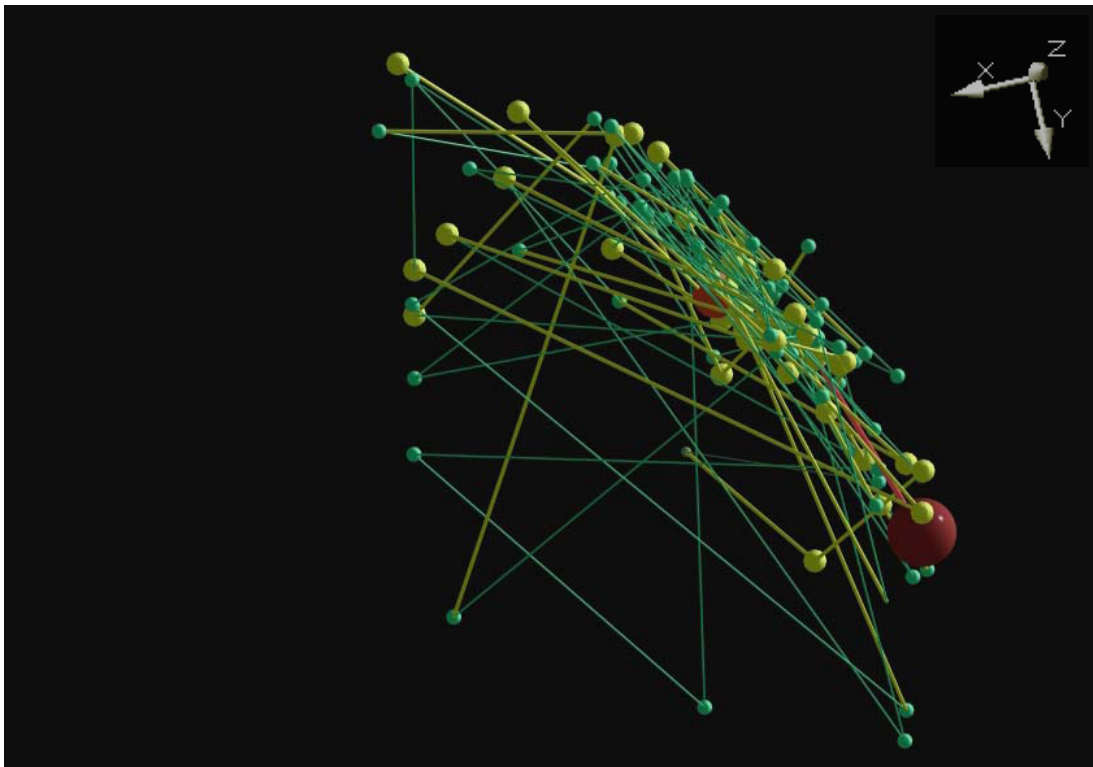


Abb.-Zyklus 2 j EreignisGraph; geneigte Aufsicht.



### Abbildungszyklus 3 Zeitprojektion

Im dritten Abbildungszyklus wird die Chronologie, d.h. die zeitliche Abfolge auf die Segmentdicken der Vektoren des EreignisGraphen projiziert. Dies erfolgt entsprechend einer Klassifizierung der Daten in 5 Zeitklassen. Jeder Zeitklasse wird eine Segmentdicke zugeordnet. Die Zunahme der Segmentdicken korrespondiert mit der zeitlichen Abfolge (Im Zeitverlauf nimmt die Segmentdicke zu). Der Datensatz umfasst, zur Erinnerung, insgesamt 120 Datenwerte. Der betrachtete Zeitraum ist vom 02.04.2008 Magnitude 6 bis 27.06.2008 Magnitude 7. Pro Zeitklasse befinden sich also 24 (120/5) Werte. In einigen Abbildungen wird die VektorRose entsprechend dem ersten und zweiten Abbildungszyklus mit visualisiert.

Abbildung Abb.-Zyklus 3 a hebt die 24 jüngsten Ereignisse im Juni farblich (Rot-Ton) hervor. In den Abbildungen 3 b bis 3 d werden alle Zeitabschnitte farblich über die Segmente visualisiert, wobei eine Zunahme der Bedeutung in Zeitrichtung suggeriert wurde, so dass die Farben entsprechend der Farbwahl für die Magnitudenwerte vom Grün-Blau-Ton (schwach) bis zum Rot-Ton (stark; bedeutend) genutzt werden.

In den Abbildungen Abb.-Zyklus 3 e und

Abb.-Zyklus 3 e EreignisGraph, VektorRose, geneigte Aufsicht. sind die Segmentdicken der Vektoren stark akzentuiert. Es werden aber keine Farbwerte mehr auf die Linienvektoren projiziert.

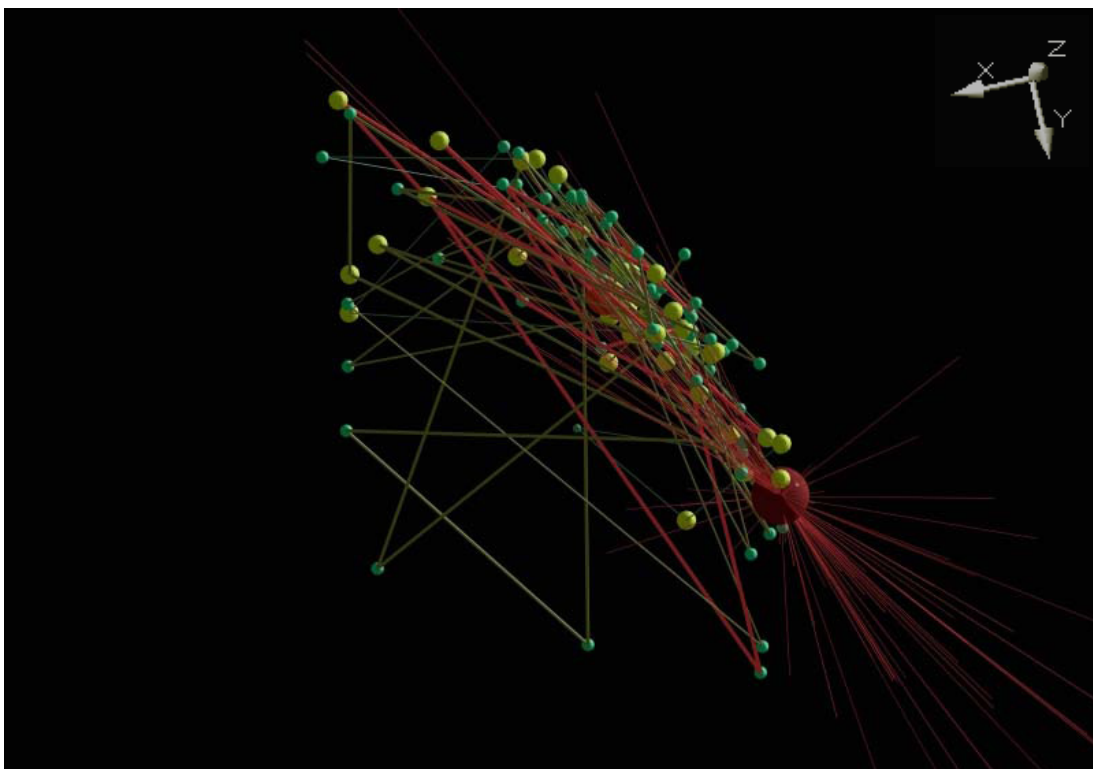


Abb.-Zyklus 3 a EreignisGraph und VektorRose, geneigte Aufsicht.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

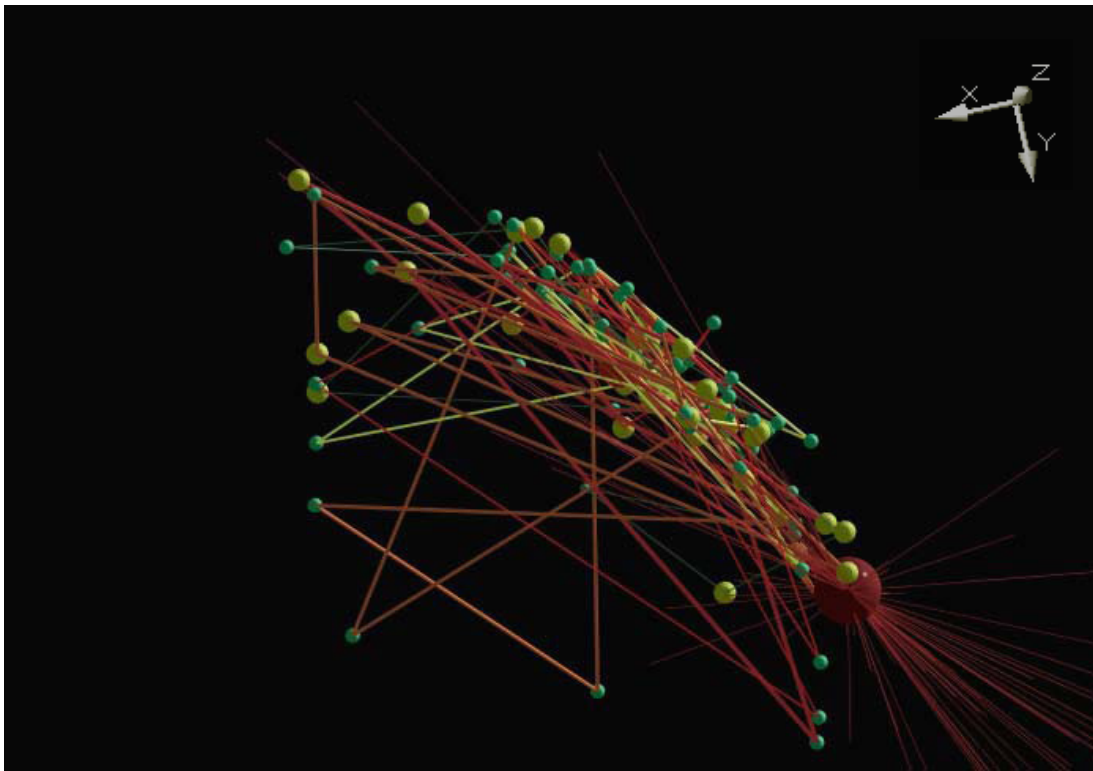


Abb.-Zyklus 3 b EreignisGraph, VektorRose, geneigte Aufsicht.

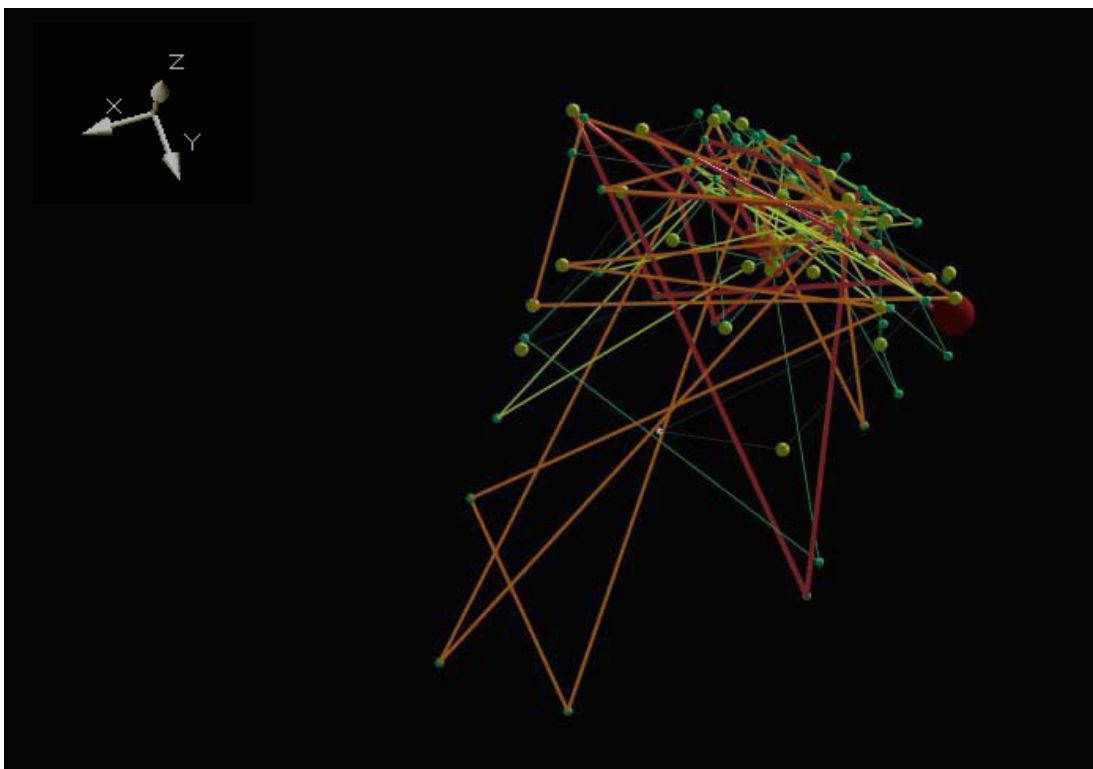


Abb.-Zyklus 3 c EreignisGraph, geneigte Aufsicht.

7. Bewertung der Darstellungskonzepte und visuelle Präsentation

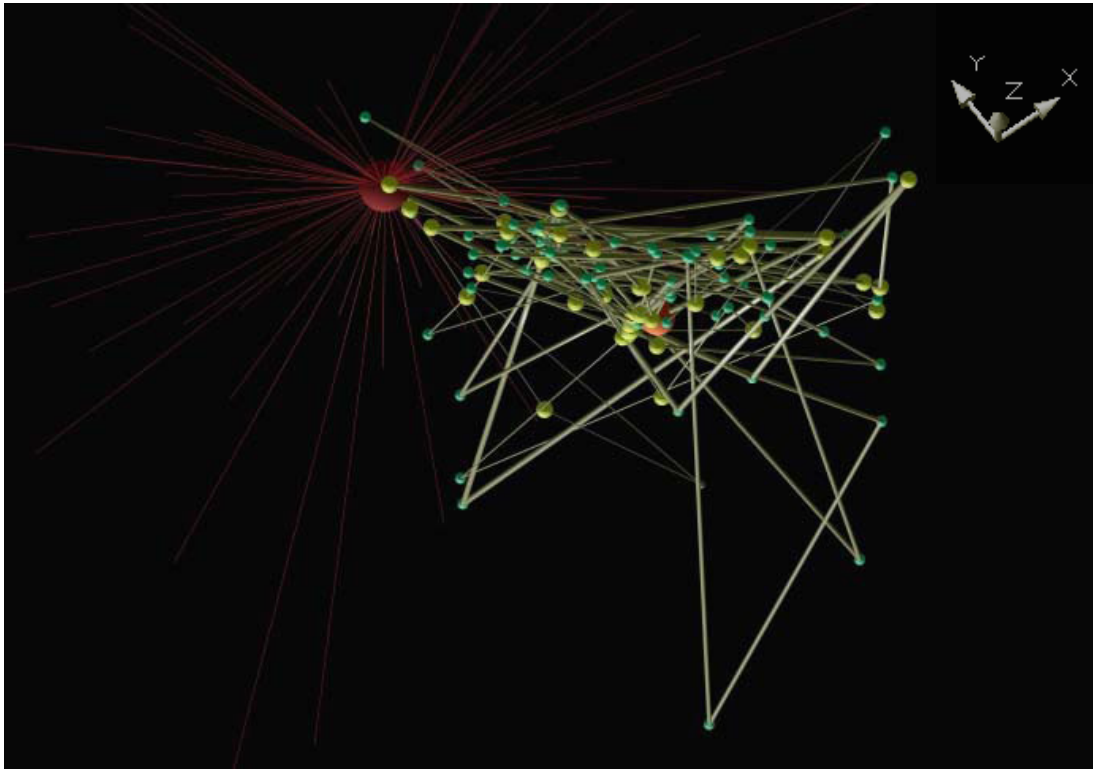


Abb.-Zyklus 3 d EreignisGraph, VektorRose, geneigte Aufsicht.

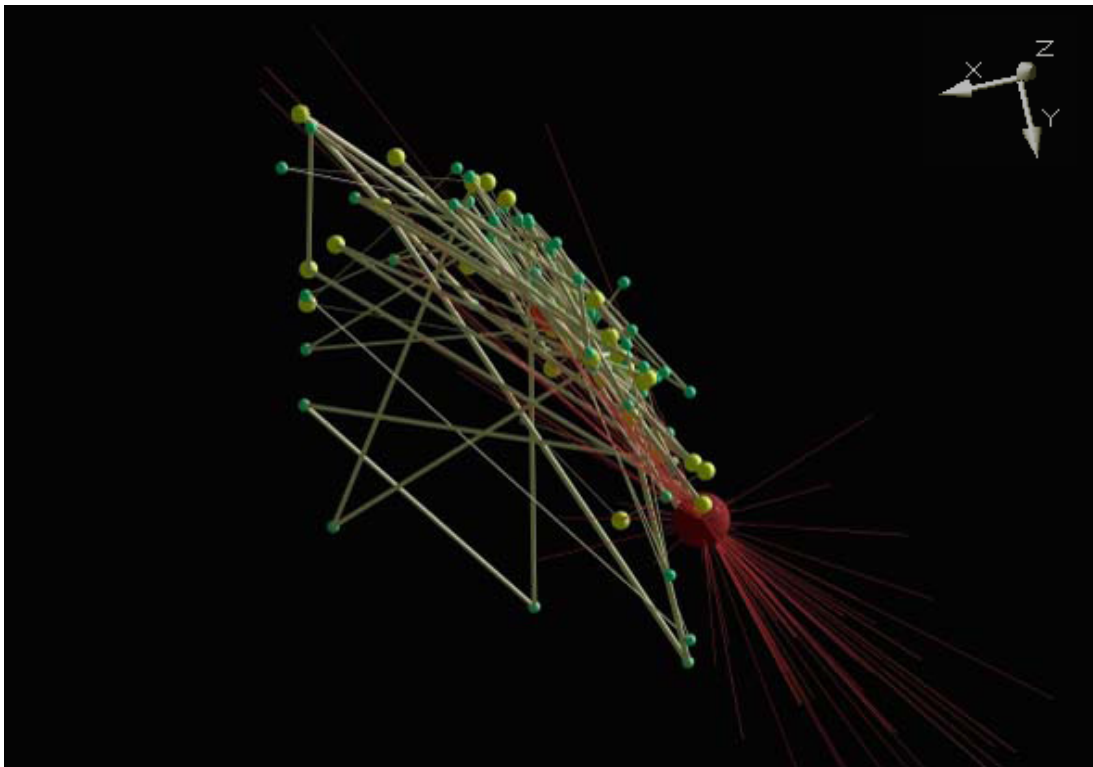


Abb.-Zyklus 3 e EreignisGraph, VektorRose, geneigte Aufsicht.

## 7.2 Kritische Schlussbetrachtung

### Einschränkungen bei der Umsetzung

Aufgrund der begrenzten funktionellen Möglichkeiten von GRASS, reduziert sich die GIS-basierte Umsetzung der Konzepte auf die Konstruktion des EreignisGraphen. Wie schon im Praxisteil der Arbeit dokumentiert, bietet GRASS dem programmierfernen Anwender lediglich eine Funktion zur Konstruktion eines einzigen Vektorobjektes an. Alle relevanten Attributinformationen gehen dabei verloren, räumliche thematische Abfragen sind nicht mehr möglich. Es bleibt nur die Geometrieinformation erhalten.

Nur durch einen uneleganten Workaround über ein CAD Programm kann der EreignisGraph in einzelne Linienvektoren (zwischen Vektorpunkten) zerlegt und im GIS wieder per Join mit Attributwerten belegt werden. Die Attributwerte der Vektorpunkte werden auf die Linienvektoren übertragen und die Geometrie der Einzellinienvektoren lässt sich über Attributabfragen per `v.extract` selektieren. Komplexere Abfragen wie Datum, Uhrzeiten, Zeitintervalle, geographische Koordinaten können nicht über die Standard-DBF-Lösung von GRASS durchgeführt werden, sondern müssen über eine externe Datenbank-Anbindung (Postgres, MySQL, Oracle) ausgeführt werden.

Nicht verwirklicht werden konnte die Darstellung von Pfeilorientierungen entsprechend der Darstellung der Chronologie des EreignisGraphen. Weiterhin ließ sich die Darstellung des metaphorischen Zeitpfeils, als Ausdruck von sich verjüngenden, respektive verdickenden Vektorsegmenten eines EreignisGraphen nur eingeschränkt mit Hilfe der sukzessiven Zunahme der Vektordicken bzw. Segmentdicken realisieren. Die Darstellung des Vektorfeldes und die Konstruktion der VektorRose durch Vektorverschiebung konnten in GRASS GIS nicht umgesetzt werden. Letztere wurde auf Grundlage des GIS-basierten EreignisGraphen beispielhaft mit Hilfe von AutoCAD manuell konstruiert und in 3Ds Max zusammen mit dem EreignisGraphen visualisiert.

Eine Dynamisierung aller statischen Darstellungskonzepte durch Änderung der Datensätze konnte aufgrund der funktionellen Einschränkungen von GRASS GIS in der Computersimulation ebenfalls nicht realisiert werden.

### Neue Größen, neue Informationen

Mit der Vektorbildung entstehen aus den bisher skalaren Größen *Ort*, *Zeitpunkt* und *Magnitude* richtungsabhängige Größen im dreidimensionalen Raum. Zeitlich abgeleitete Raumvektoren mit definierten Längenbeträgen, deren Richtungen im dreidimensionalen Raum auch Fall- und Steigungswinkel implizieren und visuell explorierbar machen. Durch die Entwicklung von vektorbasierten Raumrichtungen wird die Erforschung von geometrischen und visuell-statistischen (Richtungshäufigkeiten) Mustern und Ordnungen im dreidimensionalen Raum erforschbar. Eine weitere neue darstellbare skalare Größe ohne Raumbezug, *das Zeitintervall zwischen Magnitudenereignissen*, kann durch Klassifizierung der Beträge und deren Projektionen (Farbe, Segmentdicke, Längenbeträge der VektorRose etc.) exploriert werden.

## Visuelle Unsicherheiten

Wird etwas sichtbar, in ein Bild gebracht, lassen sich nur schwer Unsicherheiten und Approximationen ausdrücken. Bezüglich der Sichtbarmachung abstrakter Daten lassen sich jedoch auf der Grundlage eines figurativen Graphen neben logischen bzw. geometrischen Mustern auch Unsicherheiten in der visuellen Ausprägung ableiten. Dies können z.B. Anzeichen für eine in der Natur nicht angenommene Exaktheit sein. In den Abbildungen 1 e und 1 g sind z.B. die Hypozentren mit scheinbar exakt gleichem  $-z$  Wert aufgereiht. Diese Übereinstimmung erscheint unnatürlich und *kann* ein Hinweis auf Artefakte, d.h. eine Fehlerhaftigkeit der Messdaten sein (Berechnung der  $-z$  Werte seismischer Daten ist noch relativ ungenau).

## Historizität und Gesetzmäßigkeit

Indem diese Arbeit das Verhältnis mimetischer *-in diesem Fall nutzt sie traditionelle empirische Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung, die seismischen Daten-* und konstruktiver *-systemtheoretische Betrachtung/Metapherndeutung-* Anteile auslotet, aufeinander bezieht und versucht, in ein scheinbares Gleichgewicht zu bringen, schafft sie gleichzeitig einen Widerspruch bzw. eine Paradoxie.

Denn mit der Betrachtung physikalischer Invarianten als Resultate experimenteller Messverfahren *-die seismischen Daten-* wird eine objektive Realität vorausgesetzt, in der relativ Unveränderliches vorhanden ist. Die Suche nach Gesetzen ist in der traditionellen naturwissenschaftlichen Forschung immer die Suche nach statischen, invarianten Gesetzen, welche unter definierten Bedingungen reproduzierbar und regelmäßig sind.

Die systemische Betrachtung von Symmetriebruch, Bifurkationspunkt, Historizität, Evolution und Kontingenz usw., kennzeichnet jedoch Prozesse und Prozessabschnitte, an denen sich die Bedingungen so dramatisch ändern, dass neue Qualitäten entstehen, neue Wesenszüge und auch neue *Gesetzmäßigkeiten*. Wie verhalten sich jedoch Historizität/Kontingenz und Gesetzmäßigkeit? Da statische Gesetze bedingungsgebunden sind und nach der systemischen Theorie Bedingungen sich ändern können, können sich auch die statischen Gesetze ändern. Sind physikalische Invarianten Unveränderliche in Bezug auf bestimmte Transformationen, so sind sie zugleich Veränderliche in Bezug auf andere Transformationen. Gesetzmäßige Zusammenhänge komplexer Systeme müssen daher zeitliche Bedingungsänderungen, Möglichkeitsfelder (Statistik) und qualitative Zustandsänderungen mit einbeziehen und ausdrücken.<sup>419</sup> "Eventuelle Naturgesetze können daher immer nur stückweise als solche identifiziert werden, nämlich zwischen den kritischen Punkten der Evolution – denn an den kritischen Punkten dominieren die strukturbildenden Schwankungen."<sup>420</sup>

Ist es daher möglich, eine Erdbebendynamik, die systemtheoretisch betrachtet wird, auf der Grundlage empirischer physikalischer Invarianten, den seismischen Daten, zu ergründen, eine *systemische dynamische Ordnung durch Strukturierung* und nicht eine *stabile Ordnung einer determinierten Struktur* kausal-deterministischer naturwissenschaftlicher Paradigmen zu erkennen und mögliche Transformationen und Bedingungsänderungen zu registrieren?

<sup>419</sup> Vgl. (Schlemm 2000).

<sup>420</sup> (Zimmermann 1991, S.63) zit. nach: (Schlemm 2000).

### Komplexitätsreduzierung

Eine visuelle oder eine schriftliche Darstellung –mit Hilfe der Sprache– ist eine Komplexitätsreduzierung. Es werden Begriffe und Formen gebildet, geschieden und unterschieden und damit untersuchbar gemacht. Jede Reduktion ist jedoch eine Verringerung des Ausmaßes eines Phänomens und seiner Eigenschaften und geschieht auf Kosten des Nicht-Berücksichtigten, nicht begrifflich Erfassten und demnach nicht Erkannten!

### Die Referenz zu einer Theorie

Nach FIEDLER ist die *visuelle Metapher* „eine graphische Repräsentation von Daten, welche bei der kognitiven Verarbeitung auf jenes mentale Konzept (Schema) weist, auf dem die dargestellten Daten beruhen.“<sup>421</sup> Im Fall der Erdbebenforschung auf der Grundlage seismischer Daten könnte man auch sagen, dass visuelle Metaphern einen Index, einen direkten Bezug zu dem zu untersuchenden Phänomen Erdbeben herstellen. Hier (in dieser Arbeit) wird gesagt, dass die Strukturalität der Metapher-Beziehung mit der Strukturalität der Daten-Beziehung korrespondiert. Somit können Assoziationen Ähnlichkeiten herstellen, und zwar in Referenz zu einer Theorie und ihren Erklärungen *realer* funktioneller, gesetzmäßiger Zusammenhänge. Mit der Methode der Metapherndeutung wird also nicht eine *direkte* Referenz in Bezug auf ein *reales* Phänomen hergestellt, sondern eine indirekte Referenz in Bezug auf eine Theorie eines realen Phänomens.

Diese Methode beseitigt zwar nicht das Problem der Visualisierung des zweifach Unsichtbaren von wissenschaftlichen Bildern –*die unsichtbaren Phänomene einerseits, die zumeist gemessen werden, sowie die Algorithmen und unsichtbaren Datensätze, die den digitalen Bildern zugrunde liegen*–, jedoch wird ein indirekter und ursprünglicher Bezug zum Erdbebenphänomen wieder hergestellt, und zwar einer, mit dem Potential Bedingungen für neue Erkenntnis von Erdbebendynamik zu erzeugen.

Ob wissenschaftliche Visualisierungen, welche derart Theorien referenzieren nun unter den Begriff *visuelle Metaphern* fallen, wird nicht abschließend ausdiskutiert (man müsste die allgemeine Begriffsdefinition und –nutzung in der wissenschaftlichen Praxis detailliert studieren!), jedoch kann gesagt werden, dass die Darstellungsformen dieser Arbeit trotz ihrer erheblichen Abstraktion durch ihre indirekte nachträgliche Referenz zumindest eine Rückführung und Annäherung an den ursprünglichen Untersuchungsgegenstand vollziehen und damit auch entsprechend der obigen Definition sich in der Darstellung einer visuellen Metapher annähern.

### Neue Ansätze und Erweiterungen

Eine zusätzliche Möglichkeit der Erkenntniserweiterung besteht darin, die Auswirkungen der Voreinstellungen auf die visuellen Ergebnisse zu untersuchen. Die Definition eines seismischen Zyklus durch den betrachteten Datensatz, der resultierende Datenumfang und der geographische Ausschnitt sind in dieser Arbeit rein beispielhaft. Zu berücksichtigen ist nämlich, dass eine Variation dieser Werte eine Veränderung der Ergebnisse bedeuten

---

<sup>421</sup> (Fiedler 2005, S.31).

würde. Interessant wäre hierbei herauszufinden, ob es Grenzwerte bei der Wahl der Parameter gibt, die sich zum Beispiel durch sprunghafte visuelle Veränderung äußern, wie z.B. die Übersichtlichkeit in Abhängigkeit des Datenumfangs, die Art der Struktur in Abhängigkeit von der Auswahl der graphischen Parameter etc.

Neben der visuellen Exploration der Daten anhand der in den Konzepten entwickelten Darstellungen, können die durch Vektorbildung neu gewonnenen Informationen auch rein mathematisch-statistisch (Korrelationen, Signifikanzen etc.) ausgewertet werden. D.h., Beträge der ursprünglichen (*Ort, Zeitpunkt und Magnitude*) und neuen Größen (*Richtungen  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ / $\pm$ - $90^{\circ}$ ; Vektorlängen; Zeitintervall etc.*) lassen sich in Bezug zu einander setzen. Auch eine auditive Komponente (Magnituden als unterschiedliche Töne) kann die dynamische visuelle Exploration unterstützen.

Mit der Perspektivierung (z.B. Analogie) der zu untersuchenden Phänomene findet neben einer Komplexitätsreduzierung auch eine Informationserweiterung statt, welche Funktionalitäten und Begrifflichkeiten überträgt und damit neue herstellt. Neben Kreativitätstechniken, wie die systemtheoretische Betrachtung des Phänomens Erdbeben und der Metapherndeutung, bieten sich weitere interdisziplinäre und erkenntnistheoretische Brückenschläge an.

Als Beispiel genannt sei eine *dialektische* Analyse und deren visuelle Übersetzung. Dies könnte eine Betrachtung der Raum-/Zeitbegriffe und -metaphern sein, welche sich aus den klassischen und systemischen Paradigmen ableiten lassen und sich ganz widersprüchlich und gegensätzlich zu einander verhalten. Die Linearität (Gleichgewicht) der Newtonschen Systeme der klassischen Mechanik und die Nichtlinearität (Nichtgleichgewicht) der Selbstorganisation und Chaosforschung unterscheiden sich gewissermaßen in ihrer Begriffsdefinition von *System, Umwelt, Randbedingung, Dynamik, Kausalität, Zeit und Gesetz*. Als Basis bietet sich hier die Gegenüberstellung des klassischen und des Selbstorganisationsansatzes entsprechend der Tabelle nach SKIRKE an. (siehe Fußnotenlink<sup>422</sup>).

## In Zukunft

Auf der Grundlage eines interaktiven WebGIS (freie Navigation im dreidimensionalen Darstellungsraum) sollen die Konzepte nun durch das Deutsche GeoForschungsZentrum in visuelle Darstellungen übersetzt werden. Dieses soll dem Wissenschaftler ermöglichen, die Wahl der Parameter und die Darstellungsform flexibel zu wählen und zu variieren. Als das sind, die Wahl der Vorbedingungen sowie die Wahl der Parameterprojektionen auf graphische Variablen wie Farbe, Größe etc. Die Voraussetzung um eine optimale Ausnutzung bei der Exploration visueller Zusammenhänge zu gewährleisten.

---

<sup>422</sup> (Skirke 1998). [http://www.on-line.de/~u.skirke/2\\_1.html](http://www.on-line.de/~u.skirke/2_1.html)

### 7.3 Fazit

Ob die entwickelten Darstellungskonzepte neue Erkenntnisse über die Dynamik von Erdbeben offerieren, ist zu erforschen. Jedoch kann gesagt werden, dass die Methodik der Darstellungsentwicklung und die mediale Repräsentation, die Bedingungen des Erkennens vorgezeichnet haben. Sie geben nun die Richtung des Erkennens vor, und diese Richtung musste zuvor entwickelt werden!

In einem *Post scriptum* bezieht DOMBOIS Stellung, indem er sagt, dass wir „in jedem Moment des Erkennens [gleichzeitig] erfinden [...]“. Das lässt sich beim besten Willen und bei aller Geistesgegenwart nicht vermeiden, der Irrtum ist unhintergebar. Aber können wir nicht die Bedingungen, d.h. die Richtung des Erfindens ändern, z.B. durch die bewusste Wahl eines Darstellungsmediums? –Ich habe nichts gesagt.“<sup>423</sup>

Die Richtung, welche die Darstellungskonzepte vorgeben, um es abschließend zu sagen, folgt der Vernetzung einer streng mimetischen an der Struktur und Charakteristik der Daten angelegten Strategie und einer kreativen, konstruktiven, spekulativen Strategie. Die Darstellungskonzepte bleiben jedoch rationale Modelle, rationale Schlussfolgerungen, Entscheidungen über visuelle Modelle mit dem Versuch, die Bedingungen des Erkennens zu reflektieren, und eine Grundlage für die empirische visuelle Erforschung zu liefern. Kommt es in der Erkenntnis darauf an, zugleich auch zu erkennen, *wie* man erkennen muss, so kommt es nämlich nicht allein auf das Ergebnis der Erkenntnis an, sondern auf den *Prozess*, in dem sie gewonnen wird.

Was jetzt erkannt wird, bewegt sich immer auf dem schmalen Grad der Unentschiedenheit zwischen subjektivem Konstrukt und objektivem Erkennen der Außenwelt, zwischen der Gleichzeitigkeit von Erfindung und Nachahmung und zwischen ermöglichter und unterbundener Erkenntnis.

Unabhängig von potenziellen Explorationsergebnissen bieten die entwickelten Darstellungskonzepte in summa also eine neue Möglichkeit, das seismische Datenmaterial zu untersuchen, ohne vorab bedeutungsvolle Zusammenhänge ein- oder ausschließen zu können. Sie nehmen das *noch* Nicht-Erkannte, das Unbestimmte in den *Blick* und geben eine *Aussicht* auf Erkenntnis. Die *Aussicht*, die *Richtung* der Erkenntnis ist ab jetzt jedoch schon vorgegeben!

---

<sup>423</sup> (Dombois 2006, S.10).



## Anhang

### Literaturverzeichnis

- Arnold, Tilo (2005): „Die Welt ist nicht genug. Realistische Modelle agentenbasierter Systeme eröffnen neue Möglichkeiten.“ In: Pressemitteilung vom 11.11.05. UFZ Helmholtz Zentrum für Umweltforschung.  
<http://www.ufz.de/index.php?de=6365>
- Asholt, Wolfgang & Fähnders, Walter (Hsg.) (2000): Der Blick vom Wolkenkratzer. Avantgarde – Avantgardekritik – Avantgardeforschung. Rodopi.
- Beaufort, Jan & Prechtel, Peter (Hsg.) (1998): Rationalität und Prärrationalität. Festschrift für Alfred Schöpf, Königshausen & Neumann, S.382.
- Becker, Cristoph (2000/1): „Objektwahrnehmung und Gestaltgesetze nach Wertheimer.“ Vortragseminar: Visuelle Wahrnehmung und 3D-Displays, Fachbereich Informatik, Universität Rostock.  
<http://www.ch-becker.de/extern/vosem/>
- Beuthan, Ralf & Pierini, Tommaso (2006) „Objektive Allgemeinheit – Zur Objektivität der Erfahrung in Hegels Phänomenologie des Geistes.“ Apuntes Filosóficos, Vol.15 No.29, Caracas.  
[http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-75532006000200003&lng=es&nrm=iso](http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-75532006000200003&lng=es&nrm=iso)
- Bockrath, Franz (1998): „Die Macht der Bilder. Vom sinnlichen Eindruck zum symbolischen Ausdruck.“ In: Jugend-Sport-Kultur. Zeichen und Codes jugendlicher Sportszenen. Schwier, J. (Hsg.), Hamburg, S.139-148.
- Borchardt-Ott, Walter (1993): *Kristallographie. Eine Einführung für Naturwissenschaftler*. 4. Auflage, Springer, Berlin.
- Bormann, Peter (2002): „Was ist die Magnitude und was ist die Intensität eines Erdbebens?“ Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam.  
[http://bib.gfz-potsdam.de/pub/schule/magnitude\\_0209.pdf](http://bib.gfz-potsdam.de/pub/schule/magnitude_0209.pdf)
- Bott, Tobias (2001): Der Umsturz aller Verhältnisse? Kleists *Das Erdbeben in Chili* als Beitrag zur Theodizeediskussion nach dem Erdbeben von Lissabon. Abschlussarbeit Lehramt an Gymnasien.  
<http://www.tobias-bott.de> (Stand 20.12.08 nicht aufrufbar).
- Bredenkamp, Horst & Werner, Gabriele (Hsg.) (2003): „Bildwelten des Wissens.“ In: Kunsthistorisches Lehrbuch der Bildkritik. Band 1.1, Bilder in Prozessen, Akademie Verlag, Berlin.
- Breidbach, Olaf & Jost, Jürgen (2002): „Zum Begriff der Gestalt.“ Max Planck Institute for Mathematics in the Sciences, Leipzig.  
<http://www.mis.mpg.de/jjost/interests/gestalt30-10-01.pdf>
- Brinkhoff, Thomas (2005): *Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis*. Einführung in objektrelationale Geodatenbanken unter besonderer Berücksichtigung von Oracle Spatial. Wichmann, Heidelberg.
- Brunnstainer, Bernhard et.al. (2006): „Selbstorganisation.“ VU Qualitative Systemwissenschaften, Karl-Franzens Universität Graz.  
<http://wwwu.uni-klu.ac.at/gossimit/phorum/download.php/68,409,75/Final08.pdf>

## Anhang

- Dassau, Otto et.al. (2005): Eine Einführung in den praktischen Umgang mit dem Freien Geographischen Informationssystem GRASS 6.0 Version 1.2. GDF Hannover bR.  
<http://www.gdf-hannover.de/media.php?id=0&lg=de>
- Debatin, Bernhard (1995): *Die Rationalität der Metapher. Eine sprachphilosophische und kommunikationstheoretische Untersuchung*. Diss. Phil., Technische Universität Berlin, Walter de Gruyter, Berlin, S.381.
- Dombois, Florian (1998): *Über Erdbeben. Ein Versuch zur Erweiterung seismologischer Darstellungsweisen*. Diss. Phil., Philosophische Fakultät III, Humboldt Universität Berlin.  
<http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/geologie/dombois-florian/PDF/Dombois.pdf>
- Dombois, Florian (2006): „Reflektierte Phantasie. Vom Erfinden und Erkennen, insbesondere in der Seismologie.“ In: Paragrana. Beiheft 2, S.101-111.  
[http://www.auditory-seismology.org/Dombois\\_ParagranaBeih2-2006.pdf](http://www.auditory-seismology.org/Dombois_ParagranaBeih2-2006.pdf)
- Donker, Marco & Sattler, Björn (2002): Multidimensional Data Models and Aggregation. Seminararbeit im Rahmen des Seminars Management Support und Wirtschaftsinformatik. Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Universität Osnabrück.  
[http://www.oec.uni-osnabrueck.de/fachgeb/winf2/seminare/wi2\\_02/Seminararbeiten/Thema3.pdf](http://www.oec.uni-osnabrueck.de/fachgeb/winf2/seminare/wi2_02/Seminararbeiten/Thema3.pdf)
- Ebeling, Werner et.al. (1998): Komplexe Strukturen: Entropie und Information. B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, S.227.
- Edson, Laurie (1990): „Das Durchbrechen der Konvention: Sprachliche und bildliche Darstellung von Alltagsobjekten bei Francis Ponge und René Magritte.“ In: Bildlichkeit. Internationale Beiträge zur Poetik. Bohn, Volker (Hsg.), Suhrkamp, Frankfurt/M., S.261.
- Eisler: Wörterbuch der philosophischen Begriffe. Digitale Bibliothek Band 3: Geschichte der Philosophie, S. 14450. In: Geschichte der Philosophie. Darstellungen, Handbücher, Lexika. Bertram, Mathias (2000), 2. Ausgabe, Directmedia Berlin.
- Fiedler, Henning (2005): Visualisierung mit metaphor-basierten Ikonen. Diplomarbeit, Fachbereich Informatik, Universität Rostock.  
[http://vcg.informatik.uni-rostock.de/assets/publications/theses\\_mas/DA\\_Fiedler2005.pdf](http://vcg.informatik.uni-rostock.de/assets/publications/theses_mas/DA_Fiedler2005.pdf)
- Filk, Thomas (2003): Modelle von Raum und Zeit. Skript zur Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Universität Freiburg.  
<http://idifix.physik.uni-freiburg.de/~aufgabe/Skripte/RaumZeit.pdf>
- Forbriger, Thomas (2008): “P3-Versuch: elastische Wellenausbreitung und Erdbebenmodellierung.“ Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe.  
[http://www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de/pub/forbriger/download/paperware/p3gemi\\_Versuchsanleitung.pdf](http://www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de/pub/forbriger/download/paperware/p3gemi_Versuchsanleitung.pdf)
- Fuchs, Christian & Hofkirchner, Wolfgang (2003): Studienbuch Informatik und Gesellschaft. Books on Demand.
- GEOFON: Data Access.  
[http://geofon.gfz-potsdam.de/geofon//new/arc\\_inf.html](http://geofon.gfz-potsdam.de/geofon//new/arc_inf.html)
- Gerthsen, Christian & Vogel, Helmut (1993): Physik. Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen. 17. Auflage, Springer, Berlin.

- Glaserfeld, Ernst von (2005): „Metaphern als indirekte Beschreibung.“ In: Eine Rose ist ein Rose... Fischer, H.-R. (Hsg.), Velbrück Wissenschaft, Weilerswist, S.145-155.
- Glossar. Kursmaterial des Projekts eL3 (eLearning and eTeaching in Teacher Pre-and In-Service Education). Digitale Bilder bearbeiten und erstellen. Universität-Oldenburg.  
[http://curie.informatik.uni-oldenburg.de/~el3/mathematik/el3\\_ol\\_mathematik\\_bildbearbeitung\\_v03.1/html/flow1/page47.html#Ref\\_ID2155](http://curie.informatik.uni-oldenburg.de/~el3/mathematik/el3_ol_mathematik_bildbearbeitung_v03.1/html/flow1/page47.html#Ref_ID2155)
- GRASS GIS 6.4.svn Reference Manual:  
 v.in.ascii. [http://www.grass.itc.it/grass64/manuals/html64\\_user/v.in.ascii.html](http://www.grass.itc.it/grass64/manuals/html64_user/v.in.ascii.html)  
 nviz (Tutorial). [http://grass.itc.it/grass62/manuals/html62\\_user/nviz/index.html](http://grass.itc.it/grass62/manuals/html62_user/nviz/index.html)  
[http://grass.osgeo.org/grass63/manuals/html63\\_user/nviz.html](http://grass.osgeo.org/grass63/manuals/html63_user/nviz.html)
- GRASS 6 Programmer's Manual. Diagram of GRASS file structure  
[http://download.osgeo.org/grass/grass6\\_progman/main.html](http://download.osgeo.org/grass/grass6_progman/main.html)
- Groß, Stefan (1995): „Ernst Cassirer: Die Philosophie der symbolischen Formen.“ In: Tabula Rasa. Jenenser Zeitschrift für kritisches Denken, Groß, S. (Hsg.), Ausgabe 7.  
<http://www.tabularasa.de/7/hogrebe2.php>
- Hainzl, Sebastian (1998): *Erdbeben und selbstorganisierte Kritizität: Modellierung der raumzeitlichen Erdbebendynamik*. Diss. rer. nat., Institut für Physik, Universität Potsdam.  
[http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=958543607&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=958543607.pdf](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=958543607&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=958543607.pdf)
- Hake, Günter & Grünreich, Dietmar (1994): Kartographie. 7. Auflage, de Gruyter, Berlin.
- Haken, Herrmann & Wunderlin, Arne (1991): Die Selbststrukturierung der Materie. Synergetik in der unbelebten Welt. Vieweg, Braunschweig.
- Hegel: Vorlesungen über die Geschichte der Philosophie. Digitale Bibliothek Band 3: Geschichte der Philosophie, S. 1051 (vgl. Hegel-W Bd. 19, S. 163). In: Geschichte der Philosophie. Darstellungen, Handbücher, Lexika. Bertram, Mathias (2000), 2. Ausgabe, Directmedia Berlin.
- Heßler, Martina et.al. (2004): Visualisierungen in der Wissenskommunikation. In: Explorationsstudie im Rahmen der BMBF-Förderinitiative Wissen für Entscheidungsprozesse zum Thema: Visualisierungen in der Wissenskommunikation.  
<http://www.sciencepolicystudies.de/dok/explorationsstudie-hessler.pdf>
- Heßler, Martina (2006): „Von der doppelten Unsichtbarkeit digitaler Bilder.“ In: *Zeitenblicke*. 5/3, Themenheft Digitale Medien und Wissenschaftskulturen.  
<http://www.zeitenblicke.de/2006/3/Hessler>
- Heubach, Friedrich Wolfram: „Das Ungefähre oder Die Wahrnehmung der visuellen Welt als Wirklichkeit. Eine Spekulation.“ University of Management and Communication (FH), Potsdam.  
[http://www.umc-potsdam.de/downloads/wp/HEUBACH\\_Wahrnehmung\\_Wirklichkeit.pdf](http://www.umc-potsdam.de/downloads/wp/HEUBACH_Wahrnehmung_Wirklichkeit.pdf)
- HGKZ (2005): „Gestaltpsychologie, Gestaltgesetze nach Max Wertheimer“. Theoriemodul BDE-BDE-1011, Department Design, Hochschule für Gestaltung und Kunst Zürich.  
[http://www.strg-n.com/edu/hgkz\\_BuK/files/gestalt\\_handout.pdf](http://www.strg-n.com/edu/hgkz_BuK/files/gestalt_handout.pdf)
- Hough, Susan Elizabeth (2002): *Earthshaking Science. What we know (and don't know) about earthquakes*, Princeton University Press.

## Anhang

- Jacobshagen, Nina (2001): Die Theorie der Selbstorganisation und ihre Anwendung in der Psychologie. Forschungsberichte der Direktion Sozial- und Gemeindepsychiatrie, Universitäre Psychiatrische Dienste Bern.  
[http://www.upd.unibe.ch/research/researchpapers/FB00\\_2.pdf](http://www.upd.unibe.ch/research/researchpapers/FB00_2.pdf)
- Jain, Anil K. (2001): „Theoretische Verdichtungen. Zur imaginativen Methode einer reflexiven Hermeneutik und metaphorischen Heuristik.“ In: Diskursanalyse – Theorien, Methoden, Anwendungen. Erste Druckveröffentlichung, Angermüller, Johannes et.al. (Hsg.), Argument Verlag, Hamburg, S.49–61.  
<http://www.power-xs.net/jain/pub/verdichtungen.pdf>
- Kappelhoff, Peter (2003): „Chaos- und Komplexitätstheorie.“ Empirische Wirtschafts- und Sozialforschung, Bergische Universität Wuppertal.  
<http://www.wiwi.uni-wuppertal.de/kappelhoff/papers/cckk.pdf>
- Keller, Stefan (2003): „Modellarten.“ Hochschule für Technik Rapperswil.  
[http://www.integis.ch/documents/MM\\_Modellarten\\_v09de.pdf](http://www.integis.ch/documents/MM_Modellarten_v09de.pdf)
- Kirchner & Michaelis: Wörterbuch der Philosophischen Grundbegriffe. Digitale Bibliothek Band 3: Geschichte der Philosophie, S. 12546. In: Geschichte der Philosophie. Darstellungen, Handbücher, Lexika. Bertram, Mathias (2000), 2. Ausgabe, Directmedia Berlin.
- Klauninger, Bert (2003): Kausalität und Emergenz. Voraussetzungen einer allgemeinen System-Ontologie und Epistemologie. Diplom-Arbeit, Institut für Gestaltungs- und Wirkungsforschung, Technische Universität Wien.  
<http://www.asafoll.com/download/diplomarbeit.pdf>
- Kleber, Will (1990): *Einführung in die Kristallographie*, 17. Auflage, Verlag Technik GmbH, Berlin.
- Ko Hoang, Youn-Ju (2000): *Vermittlung von "Visual Literacy" durch Computeranimation im Kunstunterricht*. Diss., Erziehungswissenschaft und Psychologie, Freie Universität Berlin.  
[http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS\\_thesis\\_000000000331](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000000331)
- Köhler, Wolfgang (1971): *Die Aufgabe der Gestaltpsychologie*, de Gruyter, Berlin – New York.
- Kudraß, Thomas (2007): *Taschenbuch Datenbanken*, Hanser Fachbuch.
- Kurths, Jürgen & Schwarz, Udo (2001): „Nichtlineare Wissenschaften – neue Paradigmen und Konzepte.“ Zentrum für Dynamik komplexer Systeme, Universität Potsdam.  
<http://bkb.eyes2k.net/udk06-07/NichtlineareWissenschaften2001.pdf>
- Lappe, Klaus (2005): GIS-gestützte Modellierung von Ausstrichflächen geologischer Schichten in topographischen Karten. Abschlussarbeit zum Weiterbildungsstudium Geoinformatik, Institut für raumbezogene Informations- und Messtechnik, Fachhochschule Mainz.  
<http://home.arcor.de/klaus.lappe/schichtmodell.PDF>
- Liening, Andreas (1999): *Komplexe Systeme zwischen Ordnung und Chaos*. Neuere Entwicklungen in der Theorie nicht-linearer dynamischer Systeme und die Bedeutung für die Wirtschaftswissenschaft und ihre Didaktik. Ökonomie und Komplexität. LIT Verlag, Berlin.
- Longley, Paul et.al. (2005): *Geographic Information Systems and Science*. Wiley, Second Edition.
- Luetge, Michael: „Gestaltpsychologie der Berliner Schule & Holistische Philosophie.“  
<http://homepage.ruhr-uni-bochum.de/michael.luetge/berliner.htm>

## Anhang

- Lyre, Holger (1997): „Der Naturbegriff im Lichte der Quantentheorie.“ Philosophy Department, University of Bonn.  
<http://www.lyre.de/nlq.pdf>
- Mainzer, Klaus (2004): „Was sind komplexe Systeme? Komplexitätsforschung als integrative Wissenschaft. Beiträge des 1. Wissenschaftlichen Symposiums.“ Deutsch-Japanische Gesellschaft für integrative Wissenschaft, Institut für Interdisziplinäre Informatik, Universität Augsburg.  
[http://www.integrative-wissenschaft.de/Archiv/dokumente/Mainzer-14\\_10\\_04.pdf](http://www.integrative-wissenschaft.de/Archiv/dokumente/Mainzer-14_10_04.pdf)
- Mausfeld, Rainer (2005): „Wahrnehmungspsychologie: Geschichte und Ansätze.“ In: Handwörterbuch Allgemeine Psychologie: Kognition. Funke, J. & French, P. (Hsg.), Hogrefe, Göttingen.
- Mersch, Dieter (2005): „Das Bild als Argument. Visualisierungsstrategien in der Naturwissenschaft.“ In: Ikonologien des Performativen. Wulf, Christoph & Zirfas, Jörg (Hsg.), München (Fink), S.322-344.
- Mersch, Dieter (2006): „Visuelle Argumente. Zur Rolle der Bilder in den Naturwissenschaften.“ In: Bilder als Diskurse, Bilddiskurse. Maasen, Sabine et.al. (Hsg.), Weilerswist, Velbrück.
- Mitchell, W.J.T. (1990): „Was ist ein Bild?“ In: Bildlichkeit. Internationale Beiträge zur Poetik. Bohn, Volker (Hsg.), Suhrkamp, Frankfurt/M.
- Neteler, Markus (2000): GRASS-Handbuch. Leitfaden zum Geographischen Informationssystem GRASS.  
[http://www.gdf-hannover.de/lit\\_html/grasshandbuch\\_v12/node101.html](http://www.gdf-hannover.de/lit_html/grasshandbuch_v12/node101.html)
- Niedermaier, Klaus (2001): „Metapheranalyse.“ In: Wie kommt Wissenschaft zu Wissen? Einführung in die Forschungsmethodik und Forschungspraxis. Hug, Theo (Hsg.), Band. 2, Baltmannsweiler, Schneider-Verl. Hohengehren.
- Preckel, Anne-Kathrin (2004): „Physiologie der Wahrnehmung.“ Seminar für Ästhetik, Humboldt Universität Berlin.  
[http://www.aesthetik.hu-berlin.de/veranstaltungen/WS03\\_04/WS03\\_53279/PhysiologiederWahrnehmungTeil2.pdf](http://www.aesthetik.hu-berlin.de/veranstaltungen/WS03_04/WS03_53279/PhysiologiederWahrnehmungTeil2.pdf)
- Press, Frank & Siever, Raymond (1986): Earth. 4. Auflage, W.H. Freeman and Company.
- Press, Frank & Siever, Raymond (1995): Allgemeine Geologie. Spektrum, Heidelberg.
- Ratter, Beate M.W. (2006): „Komplexitätstheorie und Geographie. Ein Beitrag zur Begründung einer anderen Sicht auf Systeme.“ In: Mitteilungen der Österreichischen geographischen Gesellschaft. 148. Jg. (Jahresband), Wien.
- Reichenbach, Hans et.al. (1979): Die philosophische Bedeutung der Relativitätstheorie. Vieweg & Teubner, S. 528.
- Rill, Ingo (1995): *Symbolische Identität: Dynamik und Stabilität bei Ernst Cassirer und Niklas Luhmann*. Königshausen & Neumann.
- Rolf, Eckhard (2005): *Metaphertheorien, Typologie, Darstellung, Bibliographie*. de Gruyter, Berlin – New York.

## Anhang

- Schallnus, Ricarda (2006): *Mitarbeiterqualifizierung und Wissensnutzung in Konzernen und Unternehmensnetzwerken*. Diss., Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie, Freie Universität Berlin.  
[http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS\\_derivate\\_00000002158/00\\_titel.pdf;jsessionid=D8F2EEAAABB1811964CD4E90D3582D2D?hosts=](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000002158/00_titel.pdf;jsessionid=D8F2EEAAABB1811964CD4E90D3582D2D?hosts=)
- Schlemm, Anette (1996): „Dialektik – die Kunst der Gesprächsführung und des Lebens.“  
<http://philosophicum.de/as141.htm>
- Schlemm, Anette (2000): „Physikalische Gesetze.“  
<http://www.philosophicum.de/physgesetz.htm>
- Schlemm, Anette (2003): „Ersetzt Selbstorganisationsdenken die Dialektik.“ Schriftliche Langform eines Vortrags für die Ernst Bloch Association in der Stiftung Salecia/Maloja, Schweiz. In: Jahrbuch 2004/2005. Nr. 25/26. Doris Zeilinger (Hsg.), Ernst-Bloch-Assoziation, ANTAGO Verlag, Nürnberg. S. 127–158.  
<http://www.philosophicum.de/project/salecina/salecina.htm>
- Schinsel, Britta (2003): „Digitale Bilder: Symbolische Repräsentation oder offene Konstruktion.“ Beitrag zum Workshop: Was ist Visuelle Evidenz in Wien, Institut für Informatik und Gesellschaft, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.  
<http://mod.iig.uni-freiburg.de/cms/fileadmin/publikationen/online-publikationen/visuelle-evidenz.pdf>
- Schmidt, Artur P.: Interface zu einer Theorie des Wissens.  
<http://www.wissensnavigator.com/interface4/management/endo-management/buch/hab31.pdf>
- Schmitz-Rigal, Christiane (2004): „Modi des Symbolischen und plurale Sinnwelten. Zum Verhältnis der Symbolischen Formen Ernst Cassirers.“ In: Allgemeine Zeitschrift für Philosophie 29/3, S.249–261.  
[http://formes-symboliques.org/article.php3?id\\_article=68](http://formes-symboliques.org/article.php3?id_article=68)
- Schnadwinkel, Birte (2002): Neue Medien – neue Metaphern? Sprachliche Erschließung des neuen Mediums Internet durch Metaphern (deutsch-französisch). Magister Artium, Universität Hamburg.  
<http://www.metaphorik.de/aufsaeetze/schnadwinkel.pdf>
- Scholz, Christopher H. (2002): *Mechanics of earthquakes and faulting*. Second Edition, Cambridge University Press.
- Schubert, Sigrid (2003): „Gestalttheorie.“ Kommunikationsergonomie. BMBF-Verbundprojekt SIMBA (Schlüsselkonzepte der Informatik in multimedialen Bausteinen unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Lerninteressen von Frauen), Teilprojekt Kermie, Universität Siegen.  
[http://conrod.uni-paderborn.de/simba/FT\\_Module/FT\\_Wahrnehmung/FT\\_Gestaltbildung/](http://conrod.uni-paderborn.de/simba/FT_Module/FT_Wahrnehmung/FT_Gestaltbildung/)
- Schulz, Gerhard (1987): *Novalis Werke*. Verlag C.H. Beck, S.782.
- Schumann, Heidrun & Müller, Wolfgang (2000): *Visualisierung – Grundlagen und Methoden*, Springer, Berlin.
- Schumann, Heidrun (2004): „Konzepte und Methoden der wissenschaftlichen Visualisierung.“ In: Kartographische Bausteine. Band 26, TU Dresden, Juni, S.20–28.

## Anhang

- Schweitzer, Frank (1994): „Natur zwischen Ästhetik und Selbstorganisationstheorie.“ In: Zum Naturbegriff der Gegenwart. Band. 2, Frommann-Holzboog, Stuttgart-Bad Cannstatt, S.93-119.  
<http://summa.physik.hu-berlin.de/~frank/download/web-stuttg.pdf>
- Schweitzer (1997): „Wege und Agenten: Reduktion und Konstruktion in der Selbstorganisationstheorie.“ In: Evolution und Irreversibilität. Selbstorganisation. Jahrbuch für Komplexität in der Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften, Krug, H.-J. & Pohlmann, L. (Hsg.), Band 8, Duncker & Humblot, Berlin. S.113-135.  
<http://intern.sg.ethz.ch/fschweitzer/until2005/download/web-jaso8.pdf>
- Sherman, Gary E. et.al.: Quantum GIS Benutzerhandbuch Version 0.8.0 Titan.  
[http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-0.8.1\\_user\\_guide\\_de.pdf](http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-0.8.1_user_guide_de.pdf)
- Skirke, Ulf (1998): *Technologie und Selbstorganisation. Zum Problem eines zukunftsfähigen Fortschritts.* Diss. Phil, Fachbereich Philosophie, Universität Hamburg.  
[http://www.on-line.de/~u.skirke/tus\\_titel.html](http://www.on-line.de/~u.skirke/tus_titel.html)
- Stadler, Michael A. & Haynes, John-D. (1999): „Physikalische Komplexität und kognitive Strukturerkennung.“ In: Komplexe Systeme und nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Mainzer, K. (Hsg.), Springer, Berlin u.a.
- Stadler, Alexandra (2004): Verknüpfung korrespondierender Kartenelemente im Hinblick auf automatisierte Fortführung. Diplom-Arbeit, Institut für Geoinformation und Kartographie, Technische Universität Wien.  
[http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo\\_733.pdf](http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo_733.pdf)
- Steffen, Kira (2006): Metaphern in der Informatik. Staatsexamensarbeit, Institut für Informatik, Humboldt Universität Berlin.  
<http://waste.informatik.hu-berlin.de/diplom/staatsexamensarbeiten/steffen.pdf>
- Steiner, Erdmund (2004): Erkenntnisentwicklung durch Arbeiten am Fall. Ein Beitrag zur Theorie fallbezogenen Lehrens und Lernens in Professionsausbildungen mit besonderer Berücksichtigung des Semiotischen Pragmatismus von Charles Sanders Peirce. Diss. Phil., Philosophische Fakultät, Universität Zürich.  
<http://www.dissertationen.unizh.ch/2005/steiner/diss.pdf>
- Streit, Ulrich: „Einführung in die Geoinformatik.“ Vorlesung, Institut für Geoinformatik, Universität Münster.  
<http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/>
- Ulmer, Simone (2005): „Bleibt die Erdbebenvorhersage ein Wunschtraum? Neue Projekte zur Überwachung von Störungszonen gestartet.“ Universität Karlsruhe.  
[http://www-wsm.physik.uni-karlsruhe.de/oliver/news/NZZ\\_20\\_01\\_2005.pdf](http://www-wsm.physik.uni-karlsruhe.de/oliver/news/NZZ_20_01_2005.pdf)
- U.S. Geological Survey USGS:  
Magnitude/Intensity Comparison.  
[http://earthquake.usgs.gov/learning/topics/mag\\_vs\\_int.php](http://earthquake.usgs.gov/learning/topics/mag_vs_int.php)
- What is intensity? What is the Modified Mercalli Intensity Scale.  
<http://earthquake.usgs.gov/learning/faq.php?categoryID=2&faqID=28>
- Modified Mercalli Intensity Scale.  
<http://hvo.wr.usgs.gov/earthquakes/felt/mercalli.html>

## Anhang

Wald, Lisa & Shindle, Wendy (2004): „Magnitude vs. Intensity.“ USGS.  
[http://earthquake.usgs.gov/learning/teachers/Mag\\_vs\\_Int\\_Pkg.pdf](http://earthquake.usgs.gov/learning/teachers/Mag_vs_Int_Pkg.pdf)

Waruschewski-Segschneider, Gabriele (2002): *Die Bildgenese in der informellen Malerei als Prozess der Selbstorganisation am Beispiel Emil Schumachers*. Eine systemwissenschaftliche Untersuchung. Diss. Phil., Fachbereich Kultur- und Geowissenschaften, Universität Osnabrück.  
<http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=970380402>

Wildgen, Wolfgang (2004): Symmetrie, Stabilität und Harmonie als Gestalteigenschaft symbolischer und speziell sprachlicher Formen. Vortrag im Sprachwissenschaftlichen Kolloquium, Universität Bremen.  
<http://www.fb10.uni-bremen.de/homepages/wildgen/pdf/symmetrie.pdf>

Wikipedia. Die freie Enzyklopädie.  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Hauptseite>

Zöller, Gert (1998): *Analyse raumzeitlicher Muster in Erdbeben Daten*. Diss. rer. nat., Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Potsdam. [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=958541787&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=958541787.pdf](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=958541787&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=958541787.pdf)

Zschau, Jochen (2005): „Die deutsche Initiative zum Aufbau eines Tsunami-Frühwarnsystems für den Indischen Ozean.“ Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V.  
[http://www.dgg-online.de/mitteilungen/2005\\_3/DGG-Mitt\\_3-2005.pdf](http://www.dgg-online.de/mitteilungen/2005_3/DGG-Mitt_3-2005.pdf)



## Abbildungsverzeichnis

### Tabellen

Tab. 1 Klassifizierung der Magnitudenwerte nach Gutenberg. -----	21
Tab. 2 Erdbeben – Effekte und Magnituden. -----	22

### Abbildungen

Abb. 1 Überblick: Arbeitsschwerpunkte/Methodik. -----	12
Abb. 2 Geoobjekt Seismisches Ereignis und Attribute. -----	35
Abb. 3 Konzeptionelle Grundlage; Erdbebenherde unterschiedlicher Magnitudenstärke. -----	73
Abb. 4 EreignisGraph, Vektorbildung in chronologischer Abfolge.-----	76
Abb. 5 Symmetrieoperation des EreignisGraphen, 180° Drehung (an frei definierter Drehachse). ---	79
Abb. 6 EreignisGraph als Zeitpfeil; Modifikation der Durchmesser der Vektorsegmente in chronologischer Abfolge. -----	80
Abb. 7 EreignisGraph und durch Vektorverschiebung von ihm abgeleitete VektorRose, a) Vektoren greifen im Zentrum (Ereignispunkt) an, b) Vektoren durchstoßen graphisches Kugelprimitiv. --	81
Abb. 8 a) Variation der Vektorsegmentdicken des EreignisGraphen und der VektorRose in Abhängigkeit der Magnitudenstärke, b) Variation der Vektorbeträge der VektorRose entsprechend der zwischen den Erdbebenereignissen auftretenden Zeitintervalle.-----	83
Abb. 9 a) Konstruktion des Vektorfeldes aus dem EreignisGraphen. Neubildung im jeweiligen Schwerpunkt eines Vektors, b) Projektion der Raumdistanzen auf Vektorbeträge c) zusätzlich: Zunahme der Segmentdicken proportional zu den Zeitintervallen, d) Zunahme der Segmentbeträge proportional zu den Zeitintervallen. -----	85
Abb. 10 a) Dynamisierung der VektorRose (funktionell) Zeitpunkte t1 und t2, b) Fixes Projektionszentrum, dynamische Vektortransformationen. -----	88
Abb. 11 Skizze einer über die VektorRose gespannten Hüllkurve.-----	88
Abb. 12 a) Dynamisierung der Hüllkurven (funktionell), Zeitpunkte t1 und t2 b) Fixes Projektionszentrum, dynamische Hüllkurven. Helle Hüllkurve Zeitpunkt t1, dunklere Hüllkurve Zeitpunkt t2. -----	89
Abb. 13 Dynamisierung des Vektorfeldes, graue Vektoren (Zeitpunkt t1) sind zu Zeitpunkt t2 (schwarze Vektoren) nicht mehr sichtbar. -----	90
Abb. 14 Ausschnitt des Beispieldatensatzes. Online Datenarchiv für seismische Daten des Deutschen GeoForschungszentrums GEOFON. -----	92
Abb. 15 EreignisGraph und Magnitudenverteilung in 2D, Hintergrundkarte Indonesien und Anrainerstaaten. -----	100
Abb. 16 EreignisGraph und Magnituden (+ Vektorkarte von Indonesien), Profilderspektive. -----	105
Abb. 17 EreignisGraph und Magnituden (+ Vektorkarte von Indonesien), Profilderspektive. -----	105
Abb. 18 EreignisGraph und Magnituden (+ Vektorkarte von Indonesien), Profilderspektive. -----	106
Abb. 19 EreignisGraph und Magnituden (+ Vektorkarte von Indonesien), Profilderspektive, < Überhöhung. -----	106
Abb. 20 Aufsicht, EreignisGraph und Magnituden; Magnitude 5 projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), Aufsicht. -----	107
Abb. 21 EreignisGraph und Magnituden; Magnitude 5 projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), Profilderspektive. -----	107

Abb. 22 EreignisGraph und Magnituden; Magnitude 5 projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), geneigte Aufsicht. -----	108
Abb. 23 Aufsicht, EreignisGraph und Magnituden; die 24 aktuellsten Erdbebenereignisse projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), Aufsicht. -----	108
Abb. 24 EreignisGraph und Magnituden; die 24 aktuellsten Erdbebenereignisse projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), Profildperspektive. -----	109
Abb. 25 EreignisGraph und Magnituden; die 24 aktuellsten Erdbebenereignisse projiziert auf Vektorsegmente (weiße Vektorsegmente), geneigte Aufsicht. -----	109
Abb. 26 VektorRose Aufsicht (AutoCAD 2005) -----	111

## Abbildungszyklen

### Abbildungszyklus 1 **Strukturalität** ----- 115

Abb.-Zyklus 1 a EreignisGraph (Magnituden 3-7) und VektorRose, Aufsicht. -----	116
Abb.-Zyklus 1 b EreignisGraph und VektorRose; geneigte Aufsicht. -----	117
Abb.-Zyklus 1 c EreignisGraph und VektorRose; geneigte Aufsicht. -----	117
Abb.-Zyklus 1 d EreignisGraph und VektorRose, Aufsicht. -----	118
Abb.-Zyklus 1 e EreignisGraph und VektorRose, Profildperspektive. -----	118
Abb.-Zyklus 1 f EreignisGraph und VektorRose, Profildperspektive. -----	119
Abb.-Zyklus 1 g EreignisGraph und VektorRose, Profildperspektive. -----	119
Abb.-Zyklus 1 h EreignisGraph und VektorRose, Profildperspektive. -----	120
Abb.-Zyklus 1 i EreignisGraph und VektorRose, Profildperspektive. -----	120
Abb.-Zyklus 1 j EreignisGraph und VektorRose, Profildperspektive. -----	121
Abb.-Zyklus 1 k EreignisGraph und VektorRose, Aufsicht. -----	121
Abb.-Zyklus 1 l EreignisGraph und VektorRose, Aufsicht. -----	122
Abb.-Zyklus 1 m EreignisGraph und VektorRose, Aufsicht -----	122

### Abbildungszyklus 2 **Magnitudenprojektion** ----- 123

Abb.-Zyklus 2 a EreignisGraph und VektorRose, Profildperspektive. -----	123
Abb.-Zyklus 2 b EreignisGraph, Profildperspektive. -----	124
Abb.-Zyklus 2 c EreignisGraph, Aufblick. -----	124
Abb.-Zyklus 2 d EreignisGraph, geneigte Aufsicht. -----	125
Abb.-Zyklus 2 e EreignisGraph, Profildperspektive. -----	125
Abb.-Zyklus 2 f EreignisGraph, Profildperspektive. -----	126
Abb.-Zyklus 2 g EreignisGraph, Profildperspektive. -----	126
Abb.-Zyklus 2 h EreignisGraph, Aufblick. -----	127
Abb.-Zyklus 2 i EreignisGraph, Aufblick -----	127
Abb.-Zyklus 2 j EreignisGraph; geneigte Aufsicht. -----	128

**Abbildungszyklus 3 Zeitprojektion ----- 129**

Abb.-Zyklus 3 a EreignisGraph und VektorRose, geneigte Aufsicht. ----- 129

Abb.-Zyklus 3 b EreignisGraph, VektorRose, geneigte Aufsicht. ----- 130

Abb.-Zyklus 3 c EreignisGraph, geneigte Aufsicht. ----- 130

Abb.-Zyklus 3 d EreignisGraph, VektorRose. geneigte Aufsicht. ----- 131

Abb.-Zyklus 3 e EreignisGraph, VektorRose, geneigte Aufsicht. ----- 131

## Danksagung

In jede hohe Freude mischt sich eine Empfindung der Dankbarkeit.

*Marie von Ebner-Eschenbach*

Keine *wissenschaftliche Arbeit* ist ohne die Mithilfe und Unterstützung anderer möglich! Für meine Masterarbeit möchte ich einigen Menschen einen herzlichen Dank aussprechen.

Für die wissenschaftliche Betreuung am Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Dr. Jens Klump und Herrn Dr. Peter Löwe bedanken. Sie sorgten mit wertvollen Ratschlägen und Interesse an unkonventionellen Methoden für das Gelingen der Arbeit.

Herrn Prof. Strobl und Herrn Mag. Cornelius Roth danke ich für die wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit an der Universität Salzburg.

Eine große Unterstützerin und Freundin war mir bei allem und zu jeder Zeit Mag. Celia Dollhopf. Sie sorgte für die beständige Motivation in 'allen Lebenslagen'. Ebenso danke ich Dipl. Geol. Mike Walker, Dr. Ben Brüggemann und Lic. Maurici Farré für Revision und fachliche Unterstützung.

Ein großer Dank geht an Mag. Martin Heckel, denn die Zusammenarbeit mit ihm war ein Meilenstein bei der Erstellung meiner Arbeit. Ohne sein fachliches Wissen, seine Ideen und seine Kritik wäre meine Forschungsarbeit nicht in dem Maße differenziert geworden.

Der größte und herzlichste Dank gilt meiner Familie.

Danke!

## **Urheberrecht**

Die urheberrechtliche Verwertung der Masterarbeit liegt bei Dipl. Geol. Svenja Schueffler.

Der Inhalt der Masterarbeit ist geistiges Eigentum des Autors von Dipl. Geol. Svenja Schueffler und kann von ihr im Rahmen des Urheberrechtes verwendet werden. Die Masterarbeit mit allen abgegebenen Exemplaren und Anlagen und zur Nutzung für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung. Eine kommerzielle Verwertung bedarf der Zustimmung der Autorin.

### **Selbständigkeitserklärung**

Ich versichere an Eides statt, dass ich die eingereichte Masterarbeit *Konzeptentwicklung für die GIS-basierte raum-zeitliche Visualisierung seismischer Aktivität* selbständig und ohne fremder Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Svenja Schueffler