

# Animation in der Kartographie: dynamische Datenprimitive

Andrea Nass<sup>1</sup> und Stephan van Gassel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin · andrea.nass@dlr.de

<sup>2</sup>Freie Universität Berlin

Full paper double blind review

## Zusammenfassung

Das exponentielle Datenwachstum der vergangenen Jahrzehnte und neue Technologien im Bereich der Hard- und Softwareentwicklung sind zwei wesentliche Grundvoraussetzungen, welche die Entwicklung computergestützter Kartographie und Kartographische Animation (KA) begünstigt haben. In den Geowissenschaften unterstützen KAs die Untersuchung, Analyse, und Validierung komplexer Sachverhalte und ermöglichen es, durch die Kombination von Raum- und Attributinformationen aus mehreren Quellen eine größere Informationstiefe abzubilden. Für all diese Verarbeitungs-, Speicherungs- und Präsentationsschritte werden moderne GIS-Technologien genutzt. Jedoch sind diese Systeme trotz ihres breiten Einsatzes bislang nicht in der Lage, temporale, d. h. dynamische Informationen, ebenso effizient zu verwalten und darzustellen wie den Raumbezug. Es ist häufig aber möglich, die temporalen Informationen, wenn auch mit gewissen Einschränkungen, als Attribute in ein zugrunde liegendes Datenmodell zu implementieren und zu nutzen. Allerdings müssen derartige Modelle immer abhängig von einem bestimmten Fall (neu) entwickelt werden.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, ein strukturelles Basismodell zu entwickeln, das die raumbezogenen Datenprimitive mit zeitbezogenen Informationen verknüpft, speichert und abrufbar macht, um zeitbezogene Animationen von Kartenobjekten möglichst generisch zu erzeugen. Hierfür werden die (karto-)graphischen Variablen zusammengefasst, deren Potenzial bei der Verwendung von Kartenanimationen diskutiert und anhand einfacher und komplexen Animationsbeispielen mit Fokus auf ein- bis mehrdimensionale Punktsignaturen aufgezeigt. Aus diesen Beispielen wurde ein vereinfachtes Datenmodell abgeleitet, in dem temporale Informationen generisch gespeichert werden können. Diese Informationen sind zugreifbar über relationale Abfragen und können als Kartenobjekte animiert werden.

## 1 Einleitung

### 1.1 Hintergrund

Im Rahmen der Mikrocomputerrevolution der späten 1970er-Jahre wurden Computer zugänglich für die breite Allgemeinheit und die schnelle technische Entwicklung unterstützte schon bald multimedial einsetzbare Hard- und Software (z. B. BRYNJOLFSSON 2012). Durch die Einführung derartiger Voraussetzungen zur interaktiven Visualisierung von Informatio-

nen konnten reale und abstrakte Objekte sowie zeitabhängige Phänomene effizient modelliert und dynamisch abgebildet werden (FRIEDHOFF & BENZON, 1989).

Abstrahierte sowie realistische(re) Animationen begleiten seither das alltägliche Leben heutzutage in vielen Bereichen der Unterhaltung, Werbung, sowie in Bildung und Wissenschaft.

In der Forschung dient die Animation üblicherweise der Erfassung und Abbildung komplexer Zusammenhänge. So werden auch raumzeitliche Phänomene in den Geowissenschaften gewöhnlich zur Datenvisualisierung und Exploration, zur Validierung von Modellen sowie zu Demonstrationszwecken verwendet (DRANSCH 1997). Grundlagen zum Thema der Animation im wissenschaftlichen Forschungsprozess werden z. B. in DiBIASES (1990) und WATSON (1990) gegeben.

In der Kartographie, und damit im Bereich der *abstrahierten* Visualisierung und Kommunikation räumlicher Information, wird die Computerkartographie seit den 1960er-Jahren eingesetzt (z. B. HARROWER 2004, 2009; KRAAK & ORMELING 2010). Die Verbesserung der computergestützten Kartographie hinsichtlich *dynamischer* Darstellungen wurde im Wesentlichen durch die erheblichen Weiterentwicklungen und Effizienzsteigerungen im Bereich der Hard- und Software der jüngeren Vergangenheit vorangetrieben (z. B. DRANSCH 1997). Inwieweit animierte Informationen dieser Art durch die visuellen und kognitiven Fähigkeiten des Kartenlesers jedoch wahrgenommen werden, ist z. B. in HARROWER (2007) thematisiert.

Bei der herkömmlichen Variante raumbezogenen Daten als zeitabhängige Sequenz über ein gesamtes Kartenblatt hinweg zu visualisieren werden Einzelbilder der Quasi-Momentaufnahmen zu einem klassischen Film zusammengesetzt. Eine Alternative hierzu bietet die Animation auf Objektebene. Hierbei wird im Rahmen kartographischer Systeme und integrierter GI-Systeme neben der Geometrie und zusätzlicher Objekteigenschaften auch der inhärente Zeitbezug jedes Objekts als Attribute gespeichert. Diese fordert jedoch vielseitige Veränderungen in Hinblick auf das zugrunde liegende Datenmodell; sowohl bzgl. der Speicherung als auch der Abbildung der Daten.

Entwicklungen in proprietären GIS-Umgebungen (bspw. ArcGIS mit dem Zeitregler) beschäftigen sich bereits mit diesem Thema. Allgemein wird der zeitliche Charakter der Daten jedoch noch nicht unzureichend behandelt (ANDRIENKO 2010). Um dies zu erreichen müsste das zugrunde liegende Datenmodell – welches häufig noch auf Entwicklungen der 1980er-Jahre basiert – erheblich um temporale Basistypen ergänzt und das Objekt neu abgebildet werden. Dies erhöht nicht nur die Dimension in Geometrie und Topologie, sondern auch die Komplexität des gesamten Analyseprozesses. Aufgrund dieser Tatsache sind kartographische Animationen bislang zwar als Erweiterung bestehender Systeme implementiert, die *Zeit* wird jedoch nur über das Attribut und nicht über das Datenmodell direkt implementiert.

## 1.2 Zielsetzung

Themenbezogene Animation kartographischer Informationen erfordert nicht nur die geeignete Konzipierung und Implementierung von Visualisierungstechniken, sondern auch die effiziente Speicherung dynamischer Daten in einer zugrunde liegenden Datenstruktur (z. B. DiBIASE et al. 1992, HARROWER & FABRIKANT 2008).

Diese Arbeit setzt sich zum Ziel, eine GIS-gestützte Datenstruktur zu erarbeiten, die es erlaubt, räumliche Datenprimitive (OGC 2011) als zeitabhängige Objekte abzubilden, um auf diese zugreifen und diese statisch auswerten und kartographisch animieren zu können. Thematisch ist die Arbeit auf Objekte und Prozesse beschränkt, die den prägen. Zur Erreichung dieser Ziele werden (1) zunächst die Vorteile animierter Kartenobjekte beleuchtet und deren mögliche Kategorisierung diskutiert, um gemeinsame Regeln für unterschiedliche Animationsklassen zu definieren. Es werden (2) typische Animations-Szenarien und -Merkmale betrachtet. (3) die jeweiligen kartographischen Visualisierungsoptionen sowie die Speicherung und Zugang zu temporalen Geo-Objekte in einem Basisdatenmodell bilden Schlussteil. Der Fokus der Arbeit liegt allgemein auf Animationen die Objektveränderungen visualisieren, die zeitlich diskret durch ein Startereignis und ein Ende definiert sind. Animationen ohne konkreten zeitlichen Informationsbezug werden hier nicht betrachtet. Darüber hinaus liegt die Eingrenzung auf punkthafte Signaturen, da angenommen wird, wenn ein Objekt, trotz der maximal generalisierten Darstellungsdimension, durch eine Punktsignature inhaltlich vollständig und kartographisch korrekt animiert werden kann, können alle mehrdimensionale Geometrien (d. h. Linie, Polygone oder Volumenelemente) ebenso im Datenmodell abgelegt und über das gleiche Verfahren animiert werden.

## 2 Methodischer Ansatz

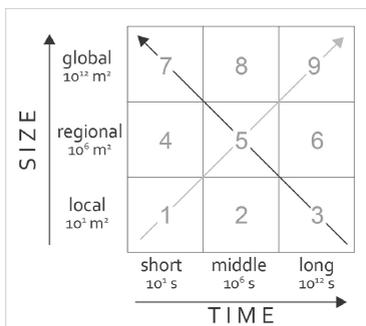
Das Objekt wird durch seine *Geometrie*, seine *Position* sowie topologische Charakteristik und *zusätzliche Attribute* beschrieben und kann über eines oder mehrere dieser Eigenschaften visualisiert werden. Die *Zeit* ist jedem Objekt und damit jedem Prozess der realen Welt zu eigen. Wie KRAAK & ORMELING (2010) betonen, entspricht die Abbildung der zeitlichen Dimension der Abbildung einer Veränderung und damit kann auch auf das Erscheinen und das Verschwinden eines Objektes und auf dessen geometrischer Veränderung Bezug genommen werden. Um diese Veränderungen kartographisch darstellen zu können, unterteilen KRAAK & ORMELING (2010) in drei Arten: 1. einzelne statische Karten, 2. *eine Serie einzelner statischer Karten* und 3. *animierte Karten*. Während 1. und 2. wegen der fehlenden Zeitcharakteristik bzgl. Dauer, Geschwindigkeit etc. stark eingeschränkt sind (HETTNER 1910, DRANSCH 1997), können zeitlichen Veränderungen bislang nur im Rahmen von 3. animierten Karten ausreichend abgebildet werden (KRAAK & ORMELING 2010).

Wie ein räumliches Objekt kartographisch dargestellt wird, hängt von dessen Geometrie (d. h. dessen Ausdehnung) in der Realität, seiner Relevanz im inhaltlichen Kartenkontext sowie von dem individuellen raum- und zeitbezogenen Kartenmaßstab ab. Als Ansatz für die temporale Beschreibung dienen die Definitionen zur Geometrie und deren Beschreibung im Datenmodell durch Koordinatentupel. Wird hierfür das Konzept des *OGC Simple Feature* herangezogen, müssen die drei grundlegenden Geometriotypen abgedeckt werden: der Punkt, die Linie/Kurve und das Polygon/Fläche (OGC 2011). Kartenobjekte, die durch Polygone/Flächen dargestellt werden, bilden die Phänomene in ihrer tatsächlichen, oder kartographisch vereinfachten und maßstabsgetreuen Ausdehnung ab. Bei der Darstellung durch Kurven/Linien wird das Objekt in seiner realgetreuen flächenhaften Ausdehnung abstrahiert, der lineare Charakter des Objekts bleibt jedoch erhalten. Durch einen Punkt werden die Position/Lage und die Beschaffenheit eines Objektes auf einer sehr abstrakten Ebene dargestellt. Alle Informationen über Position, zu Eigenschaften und zum zeitlichen Status werden in dem topologisch 0-dimensionalen Punktmerkmal zusammengefasst. Das

bedeutet, die Topologie eines Punktes ist 0-dimensional, während die Tiefe des zu vermittelnden Informationsgehalts 1-multi-dimensional ist.

Zur Darstellung von Objektattributen stehen in der kartographischen Visualisierung verschiedene grafische Variablen zur Verfügung. Bereits bei BERTIN (1983) wurden *Größe*, *Form*, *Füllung*, *Helligkeit/Sättigung*, *Farbe* und (*Aus-*)*richtung* als die grafische Basisvariationsmöglichkeiten von Zeichen thematisiert und Regeln aufgestellt, die zu einer angemessenen Verwendung dieser Variablen beitragen soll. Im Laufe der Zeit kamen Anregungen auf, dass der zuvor aufgestellte Satz an grafischen Variablen nicht ausreiche, um alle Aspekte der kartographischen Visualisierung hinreichend abzudecken (z. B. MACEACHREN 1995). Diese Tatsache wurde besonders durch die neuen Entwicklungen der computergestützten Kartographie sowie durch die neuen Darstellungsmöglichkeiten bestärkt. Demnach verfügen animierte Karten über drei zusätzliche grundlegende Gestaltungselemente bzw. über *dynamische Variablen*: *Bilddauer* (engl. *scene duration*), *Veränderungsrate zwischen den Bildern* (engl. *rate of change between scenes*, und *Bildreihenfolge* (engl. *scene order*). Diese werden verwendet, um die Position oder die Attribute eines Objektes bzw. Prozesses zu unterstreichen oder um Veränderungen der räumlichen, zeitlichen und sachlichen Objekteigenschaften zu visualisieren (DIBIASE 1992). Bei der Entwicklung eines Basisdatenmodells zur Speicherung der Kartenanimationen müssten zum einen die grundlegenden Objekteigenschaften (grafische Variable) sowie eine zeitbezogene Steuerung (dynamischen Variablen) berücksichtigen. Zum anderen die Daten zur Struktur und Visualisierung streng getrennt voneinander behandeln.

Durch die Animation von raumbezogenen Daten können Veränderungen von Objekteigenschaften im *Raum* (Position) und/oder in der *Zeit* abgebildet werden (KRAAK 2007). Die hier fokussierten klassischen Naturraumobjekte und -prozesse haben meisten mindestens zwei zeitbezogene Attribute, den Entstehungszeitpunkt und Zeitspanne ihres Bestehens bzw. den Endzeitpunkt. Auf dieselbe Weise wie *Lage* und *Ausdehnung* eines Objektes auf der Karte mithilfe des Maßstabs beschrieben wird, können die zeitbezogenen Objektveränderungen in einen „zeitlichen Maßstab“ festgehalten werden. In diesem Zusammenhang erscheint eine Unterscheidung der Prozesse in ihren jeweiligen Ausmaßen und Dauer als sinnvoll (vgl. Abb. 1), um somit (a) die unterschiedlichen Szenarien zu verstehen, die innerhalb eines Datenmodells für animierte Signaturen behandelt werden müssen und (b) um zukünftig ein potenzielles Regelwerk zu generieren, auf welchem eine automationsgestützte Animation basieren könnte.



**Abb. 1:**

Objektorientierte Größe-Zeit-Matrix (grüne Diagonale steht für gängige Ereignisse, rote Diagonale steht für außergewöhnliche Ereignisse)

In Abbildung 1 werden beide Achsen, *Zeit* und *Größe*, in logarithmischer Skalierung abgebildet, wobei die Prozesse in den jeweiligen Ecken der Matrix als Extremereignisse charakterisiert sind. Die gängigen Objekte und Prozesse die den Naturraum prägen sind entweder sehr kurzzeitig ( $10^1$  s, temporal großskaliger Maßstab), haben aber eine großräumige Auswirkung ( $10^{12}$  m, geometrisch kleinskaliger Maßstab), oder sie sind langzeitig ( $10^{12}$  s) und dafür nur von sehr lokaler Bedeutung ( $10^1$  m) (siehe Abb. 1, grüne Diagonale). Die rote Diagonale in Abb. 1 steht für außergewöhnliche Ereignisse und repräsentiert bspw. einen kurzzeitig global wirksamen Meteoriteneinschlag.

Können Extremereignisse maßstabsgetreu abgebildet werden, können alle dazwischenliegenden Prozesse ebenso modelliert werden. In Bezug auf die kartographische Visualisierung hat diese Tatsache wiederum zur Folge, dass durch das Attribut *Zeit* das Verhalten der Objekteigenschaften gesteuert wird. Folgende Eigenschaften können sich bei den Objekten die den Naturraum prägen verändern

1. die Zusammensetzung (qualitativ und quantitativ),
2. die Größe (quantitativ),
3. Orientierung/Ausrichtung (quantitativ).

Wird die temporale Abhängigkeit dieser Objektveränderungen berücksichtigt, so wird aus der Änderung der Zusammensetzung und der Größe die Änderungsrate (Größe als Funktion von  $t$ ) und resultierend aus der Lageänderung die Geschwindigkeit und Rotationsrate. Welche Möglichkeiten es gibt, diese Objekteigenschaften abzubilden, hängt laut BERTIN (1983) von der Komplexität, der Anzahl der Attribute sowie von dem Skalierungsniveau der Attribute ab.

Die animierte Punktsignatur, die eine Objektveränderung repräsentieren und derzeit in GI-Systemen umgesetzt werden kann, kann neben der Geometrie durch die Basisvariablen *Größe*, *Farbe*, *Helligkeit/Sättigung* und *Orientierung/Ausrichtung* abgebildet werden. Die Attributwerte, die diesen Variablen zugrunde liegen, sind wiederum den verschiedenen Skalierungsniveaus wie folgt zugeordnet (siehe Tabelle 1): Da die *Form* für eine qualitative Skalierung steht, diese aber selbst bei einer animierten Karte für die hier behandelten Veränderung in der Objektzusammensetzung nicht geeignet wäre, wird diese Variable nicht weiter berücksichtigt. Auch die *Textur* wird hier beiseitegelassen, da eine geordnete Erstellung von Signaturen im Rahmen von GIS generell nur schwer umzusetzen ist und in einer animierten Karte bedingt durch die Größe der Signaturen und schwer wahrnehmbar wäre.

**Tabelle 1:** Grafische Variablen und Skalierungsniveau für punkthafte Signaturen, in einer animierten Darstellung Objektveränderungen abbilden können

Skalierungsniveau	Grafische Variablen			
	<i>Größe</i>	<i>Farbe</i>	<i>Helligkeit/Sättigung</i>	<i>Orientierung/Ausrichtung</i>
Nominal (qualitativ)				
Ordinal (geordnet)				
Intervall (quantitativ)				
Ratio (quantitativ)				

Nominalskalierung ist in diesem Zusammenhang nicht relevant, da sich die nominalen Veränderungen zwar auf die Zusammensetzung des Objektes beziehen, diese im Rahmen einer Animation jedoch durch eine geordnete Skalierung (*Helligkeit/Sättigung*) dargestellt würde. Unter Berücksichtigung der Zeit ( $t$ ) kann anhand der *Größe* die *Geschwindigkeit* (Länge pro Zeiteinheit) oder das *Wachstum* (Fläche/Volumen pro Zeiteinheit) abgebildet und dargestellt werden. In der *Orientierung/Ausrichtung* können die Signaturen Ordinal-, Intervall- oder Ratioskalierung variieren. Wird hierbei das Attribut Zeit ( $t$ ) mit einbezogen, so können und zusätzlich *Rotation* oder *Drehgeschwindigkeit* abgebildet werden.

Durch die temporale Abhängigkeit der Objektveränderungen ist es möglich, die Signaturen anhand von mindestens einer bis maximal vier grafischen Variablen abzubilden die 1. keine Änderungen erfahren, 2. zeitgleiche Veränderungen von mindestens zwei Attributen aufweisen, oder 3. Änderungen aller Attribute zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Intervallen anzeigen.

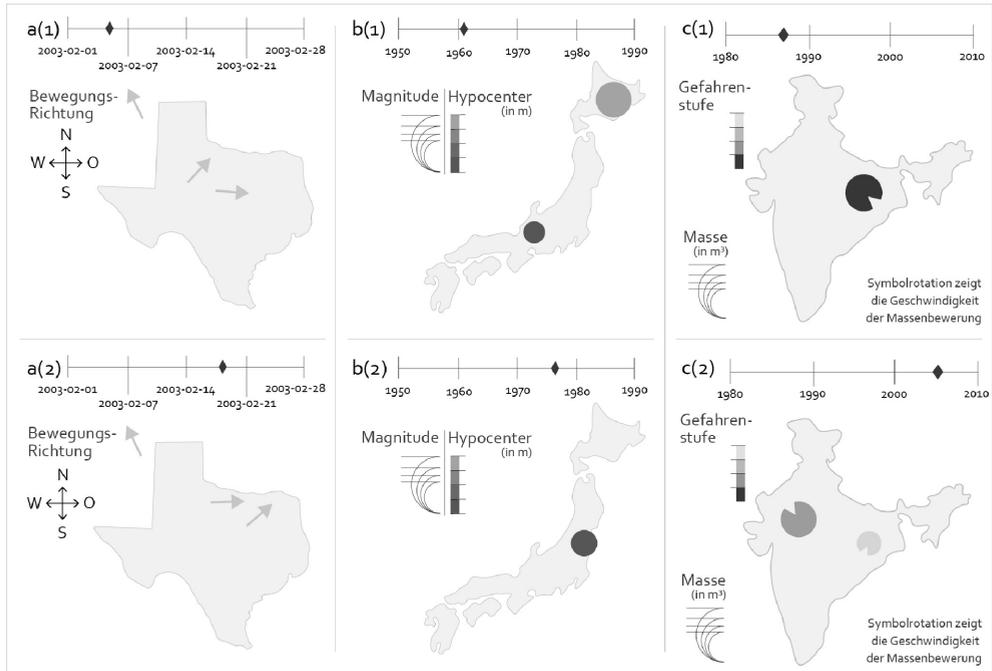
### 3 Konzept und Umsetzung

#### 3.1 Kartographische Visualisierung

Eine besondere Herausforderung in der kartographischen Darstellung von Geo-Objekten liegt in der hohen Komplexität realer Objekte und deren zeitliche Veränderung (Geo-Prozesse) sowie in der Notwendigkeit diese über komplexe kartographische Methoden abzubilden. Der Anspruch an die kartographische Darstellung wird noch verstärkt, wenn reale Objekte ( $3D+t$ ) durch geometrische Generalisierung lediglich anhand eines 0-dimensionalen Punkt Symbols visualisiert werden sollen (z. B. IMHOF 1972). Die Attributwerte, die einem punkthaften Objekt zugeordnet sind, können sehr einfach aber ebenso komplex sein, und stehen entweder in direkter *sachlicher* Verbindung zu einem diskreten lokal verteilten Objekt, wie z. B. eine Erdbebenstörung, oder beziehen sich auf eine regionale Fläche, wie z. B. geomorphologische Oberflächeneinheit (siehe hierzu z. B. HAKE 2002).

Durch die Ergänzung der grafischen Basisvariablen um die dynamischen Variablen können die raumzeitbezogenen physikalischen Prozesse und Objekte modelliert und in ihrer Komplexität auf einer Karte dargestellt werden. In Abbildung 2 sind Kartenbeispiele mit thematisch 1-, 2- und 3-dimensionalen Signaturen abgebildet.

Abb. 2c zeigt beispielsweise eine Gefahrenkarte (engl. *hazard map*), die Hangrutschungen in ihrer Mächtigkeit und in ihrem zeitlichen Ablauf darstellt. Die Mächtigkeit einer Rutschung kann durch die Variable *Größe* (Ordinalskala) abgebildet werden. Massen- und Mächtigkeitsveränderungen können durch eine Änderungsrate geeignet über Größenveränderungen des Punktsymbols gezeigt werden. Der Gefahrengrad einer Rutschung (unterteilt in verschiedene Klassen, Ordinalskala) kann auf der Karte durch eine Variationen in *Farbe* oder *Helligkeit* (z. B. einer Farbskala von grün bis rot) verdeutlicht werden. Wenn die Objektänderung *Bewegung pro Zeit* zusätzlich abgebildet wird, resultiert daraus die physikalische Größe *Geschwindigkeit* (Intervallskala). Im Beispiel c könnte dies die Geschwindigkeit sein, mit der sich eine Rutschung talabwärts bewegt. Dies kann innerhalb einer Punkt-signatur bspw. durch eine Veränderung der *Richtung* (d. h. Rotation) oder der *Farbe/Helligkeit*, jeweils in Abhängigkeit von Zeit ( $t$ ), erzielt werden. Welche Abhängigkeit die Kartenbeispiele aus Abbildung 2 zu der Zeit ( $t$ ) aufweisen, ist in Tabelle 2 dargestellt.



**Abb. 2:** Beispiele von Punktsymbolen (fiktive Daten): a(1+2): *thematisch* 1-dimensionale Signatur zeigen Bewegungsrichtung von Wirbelstürmen; b(1+2) *thematisch* 2-dimensionale Signatur, das Magnitude (Größe) und jeweiliges Hypozentrum (Tiefe in m) eines Erdbebens abbildet; c(1+2) *thematisch* 3-dimensionale Signatur, das Rutschungen abbildet und Informationen zur Masse (Größe), Geschwindigkeit (Rotation) und zum Gefahrenlevel (Farbe) bereitstellt.

**Tabelle 2:** Beispielliste der Signaturen mit *thematisch* 1, 2 und 3 Dimensionen und ihre zeitliche Abhängigkeit

Beispiel	Grafische Variable	Bedeutung
a (Wirbelstürme)	Richtung (i. S. v. Winkel)	Richtungsverlauf /-änderung
b (Erdbeben)	Größe Farbe/Helligkeit	Magnitude Hypocenter des Erdbebens
c (Erdbeben)	Größe Farbe/Helligkeit Richtung (i. S. v. Winkel?)	Masse Gefahrenstufe (nominal) Geschwindigkeit (Funktion von t)

### 3.2 Konzeptionelles Datenmodell

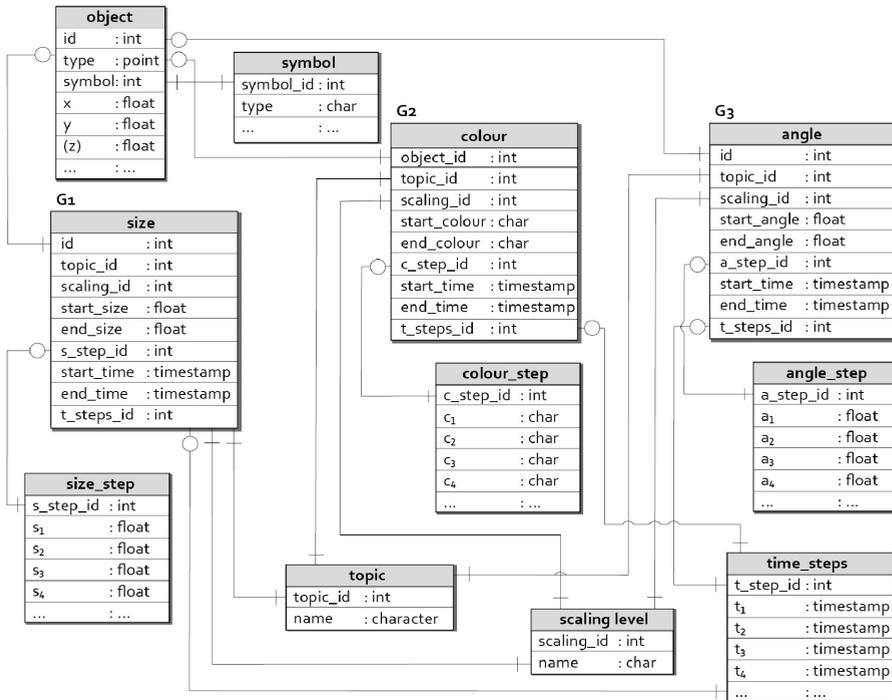
Basierend auf der Tatsache, dass sich raumbezogene Objekteigenschaften über die Zeit verändern (Ausdehnung, Bewegung etc.), sind für die Animation der thematisch 1- bis multidimensionale Punktsignaturen (siehe 3.1) die folgende Punkte essenziell: 1. die raum- und zeitbezogenen Eigenschaften müssen getrennt, aber ebenso aufeinander Bezug neh-

mend gespeichert werden. 2. die objektbezogenen Zeitleisten muss jederzeit modifizierbar und erweiterbar sein, dass neue und aktuellere Daten berücksichtigt werden können.

Die Zeitleiste (Abb. 3) dient als Basis des Datenmodells und unterscheidet die Ereignisse anhand ihrer temporalen Objekteigenschaften in *temporal events*, das sind Ereignisse, die an einem konkreten Zeitpunkt geschehen ( $t_i$ ; hier auch Startpunkt eines Prozesses) *processes* (oder auch *time spans*), steht für einen nicht-diskreten, aber durch Start- und Endpunkt definierten Zeitraum ( $t_{i+j} - t_i$ ;  $j$  = Gesamtdauer des Prozesses), in dem ein Objekt sich verändert/verändert wird. *time range* ist die Zeitspanne zwischen dem zeitlichen Minimum ( $t_i$ ) und Maximum ( $t_n$ ) zu verstehen und beschreibt somit die gesamte Dauer eines Prozesses innerhalb des animierten Zeitraums (siehe auch ISO 19108).



**Abb. 3:** Temporaler Zeitstrahl unterscheidet die einzelnen, zeitbezogenen Ereignisse



**Abb. 4:** Datenmodell zur Verwaltung und Speicherung von temporalen Kartenobjekten, die durch punkthafte Symbole abgebildet werden. Hierbei stehen für die Darstellung drei verschiedene Basisanimationen ( $G_1 - G_3$ ) zur Verfügung.

Auf dieser Basis wird ein Basisdatenmodell abgeleitet (siehe Abb. 4), das es ermöglicht, die für die animierten Punktsymbole relevanten Daten, d. h. die raumbezogene Objektinformationen und zeitliche Objektveränderungen, zu speichern. Das *object* stellt hier die zentrale Relation dar. Sie enthält Informationen zum Geometriotyp und raumbezogene Basisattribute (d. h. zur Position). Der Relation können unbegrenzt non-temporale Attribute hinzugefügt werden. Die Zustandsänderungen des Symbols wird beispielhaft in den Relationen *size* ( $G_1$ ), *colour* ( $G_2$ ) und *angle* ( $G_3$ ) gespeichert. Diese Relationen enthalten alle Objektmodifikationen und Informationen zum gesamten Objekt ereignis die wiederum durch das animierte Symbol dargestellt werden. Durch diese Aufteilung können jedem Objekt 0, 1, 2 oder 3 Zustandsänderungen zugeteilt werden, sodass für jede Änderung ein eigener Zeitstrahl entsteht. Die Verbindung zwischen der Symboländerung, der Veränderungsrate und der thematischen Informationen ist durch die Relation *time\_steps* hergestellt. Somit sind raumbezogene, temporale und thematische Eigenschaften getrennt voneinander gehalten und modifiziert.

## 4 Zusammenfassung

Unabhängig vom Einsatzbereich haben alle Kartographische Animationen (KA) das Ziel, komplexe raumbezogene Informationen und Zusammenhänge, die meist in temporalen Kontext stehen, zu kommunizieren. Für die Analyse und Wiedergabe raumbezogener Daten werden häufig GIS-Technologien verwendet, die räumliche Informationen mit Sachdaten ohne Raumbezug und temporalen Eigenschaften verbinden. Auf dieser Basis können die Raum-Zeit-abhängigen Daten generisch gespeichert, verwaltet und verfügbar gemacht sowie darauf aufbauend visualisiert werden. GI-Systeme speichern Informationen als Attributwerte in verschiedenen Relationen. Solange die zeitbezogenen Informationen jedoch nicht vergleichbar raumbezogener Informationen im Datenmodell gespeichert werden, können ausschließlich Attribute als Modellentität genutzt werden. Eine derartige Modellierung verliert ihre Gültigkeit bei wechselnden Rahmenbedingungen schnell und muss stets neu definiert werden. Ein dazu mehr generischer Lösungsansatz, bei dem temporale raumbezogene Informationen mit dem Zweck webbasierter KAs zu erzeugen, in ein Datenmodell separat voneinander eingebunden werden, wurde hier diskutiert. Als Basis hierfür wurden verschiedenen kartographischen Visualisierungsoptionen für animierte Punktsymbole entworfen, mit deren Hilfe mehrdimensionale Objekteigenschaften abgebildet werden können. Zukünftige Aufgaben bestehen darin, anhand komplexer Beispiele die Darstellung (in Form animierter Signaturen) sowie die Speicherung und Verwaltung (innerhalb des zugrunde liegenden Datenmodells, sodass der temporalen Attribute im eigentlichen Zeitverlauf abgespeichert werden) von temporalen Objekteigenschaften effizient zu behandeln.

## Literatur

- ANDRIENKO, G. ANDRIENKO, N., DEMSAR, U., DRANSCH, D., DYKES, J., FABRIKANT, S., JERN, M., KRAAK, M.-J., SCHUMANN, H. & TOMINSKI, C. (2010), Space, time and visual analytics. *Int. Journal of Geographical Information Science*, 24 (10), 1577-1600.
- BERTIN, J. (1983), *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. University of Wisconsin Press (1967 publiziert auf Franz.; 1983 übersetzt ins Engl. von Berg, W. J.).

- BRYNJOLFSSON, E. & MCAFEE, A. (2012), *Race Against the Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*. 98. Digital Frontier Press.
- DIBIASE, D. (1990), Visualization in the earth sciences. *Earth and Mineral Sciences. Bulletin of the Coll. of Earth and Mineral Sciences, Penn State University*, 59 (2), 13-18.
- DIBIASE, D. MACEACHREN, A. M., KRYGIER, J. B. & REEVES, C. (1992), Animation and the role of map design in scientific visualization. *Cartography and Geographic Info. Systems*, 19 (4), 201-214.
- DRANSCH, D. (1997), *Computer-Animation in der Kartographie – Theorie und Praxis*. Springer, Berlin/Heidelberg.
- FRIEDHOFF, R. M. & BENZON W. (1989), *Visualization: The second computer revolution*. New York.
- HAKE, G., GRÜNREICH, D. & MENG L. (2002), *Kartographie: Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. Walter de Gruyter, Berlin/New York.
- HARROWER, M. (2004), A look at the history and future of animated maps. *Cartographica*, 9 (3), 33-42.
- HARROWER, M. (2007), The Cognitive Limits of Animated Maps. *Cartographica*, 42 (4), 349-357.
- HARROWER, M. (2009), Cartographic Animation. *International Encyclopedia of Human Geography*, Elsevier, 408-413.
- HARROWER, M. & FABRIKANT, S. (2008), The role of map animation in geographic visualization. In: DODGE, M. & TURNER, M. (Eds.), *Geographic visualization: Concepts, tools and applications*. Wiley-Blackwell, New York, 49-62.
- HETTNER, A. (1910), Die Eigenschaften und Methoden der kartographischen Darstellung. *Geographische Zeitschrift*, 16.
- IMHOF, E. (1972), *Thematische Kartographie (Lehrbuch der allgemeinen Geographie)*. Walter de Gruyter, Berlin/New York.
- KRAAK, M.-J. (2007), Cartography and the use of animation. In: CARTWRIGHT, W., PETERSON, M. P. & GARTNER, G. (Eds.), *Multimedia Cartography*. Springer, Berlin/Heidelberg, 317-326.
- KRAAK, M.-J. & ORMELING, F. (2010), *Cartography – Visualization of spatial data*. 3rd Edition. The Guilford press, New York/London.
- MACEACHREN, A. M. (1995), *How maps work: representation, visualization and design*. The Guildford Press, New York.
- OGC – OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (2011), *Implementation Standard for Geographic information – Simple feature access – Part 1, Version 1.2.1, Ref.-No. OGC 06-103r4*.
- WATSON, D. (1990), The state of the art of visualization. In: *Proceedings of the Super Computing Europe Fall Meeting, Aachen*.