

# GEOWARN: Ein Internet-basiertes Multimedia-Atlas-Informationssystem für vulkanologische Anwendungen

Lorenz Hurni<sup>1</sup>, Bernhard Jenny<sup>1</sup>, Andrea Terribilini<sup>1</sup>, Helen Freimark<sup>1</sup>, Florian M. Schwandner<sup>1,2</sup>, Radu C. Gogu<sup>1</sup>, Volker J. Dietrich<sup>2</sup>, Zürich, Schweiz

<sup>1</sup> Institut für Kartographie, ETH Höggerberg, CH-8093 Zürich, Schweiz

<sup>2</sup> Institut für Mineralogie und Petrographie, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich, Schweiz

## Zusammenfassung

Internet-basierte Atlasinformationssysteme (AIS) sind eine logische Erweiterung zu Web-Client-Software zur Visualisierung räumlicher und zeitlicher Geodaten; sie zeichnen sich durch eine entsprechend erhöhte Nutzenanwendung aus. In diesem Beitrag wird ein derartiges, neu entwickeltes Produkt zur Beobachtung und Überwachung schlafender Vulkane, zur Ermittlung von Verhaltensanomalien und zur Entscheidungsunterstützung vorgestellt. Eine zentrale GIS-gestützte Datenbank ist so konzipiert, dass sie eine gute Integration der verschiedenen Datenarten ermöglicht. Auf die Datenbasis kann sowohl mit kommerzieller GIS-Software, als auch mit dem speziell entwickelten Multimedia-AIS zugegriffen werden. Dies erlaubt eine raum-zeitliche Visualisierung der Informationen. Es werden zunächst ein Datenmodell und ein Werkzeugsatz auf kommerzieller GIS-Basis definiert, um ein effizientes System zur Bearbeitung, Vorverarbeitung, und Analyse vulkanischer Daten zu entwickeln. Das Endprodukt ist jedoch, wie bereits erwähnt, ein neuartiges Multimedia-AIS, eine qualitativ hochwertige Analyse- und Visualisierungs-Software mit GIS-ähnlicher Funktionalität, welche jedoch unabhängig von kommerziellen GIS-Produkten betrieben werden kann. Dieser Ansatz hilft bei der Überwachung komplexer Vulkan-Systeme in Gebieten erhöhter Gefährdung durch Naturkatastrophen. Er ist auch in Entwicklungsländern einsetzbar, wo eine standardisierte Internet-basierte Lösung einfacher eingesetzt werden kann als teure und komplizierte Expertensysteme.

Bis hierher 2-spaltig setzen, das Folgende 3-spaltig

## 1. Einführung

Bei vulkanologischen Studien müssen große Datenmengen verarbeitet werden, deren Korrelation die Untersuchung vulkanischer Prozesse signifikant erleichtert und die Vorhersage von wahrscheinlichen Ausbrüchen unterstützt. Aktuell tun dies die Vulkanologen, Geologen, Geochemiker, Geophysiker und Ingenieure auf der Grundlage von Analysen unabhängiger, fachspezifischer Computerdaten (*Newhall and Hoblitt 2002*). Die vorliegende Studie zeigt ein modernes Konzept auf, welches in ein effizientes Internet-basiertes System zur Bearbeitung, Verarbeitung und Analyse komplexer vulkanischer Datensätze umgesetzt wurde.

Das im EU-Projekt GEOWARN (*Geowarn 2003*) entwickelte Multimedia-Atlasinformationssystem (AIS) basiert auf einer wissenschaftlichen Datenbank mit einer Vielzahl transdisziplinärer Datensätze. Diese resultieren aus einer Pilotstudie an zwei aktiven Vulkangebieten Europas: Die Insel *Nisyros (Griechenland)* und die *Phlegräischen Felder* am Fuße des *Vesuv (Italien)*. Die zur vulkanologischen Untersuchung beigezogenen Datensätze aus geologischen, geophysikalischen, geochemischen, kartographischen, geomorphologischen und sozio-ökonomischen Erhebungen und Analysen wurden hierzu in einer gemeinsamen GIS-Datenbank zusammengeführt.

Es ist kaum möglich, ein ideales Datenmodell zu entwickeln, das auf alle Vulkane der Welt angewendet werden kann. Verallgemeinerungen und eine Beschränkung auf wesentliche Daten sind daher unumgänglich. Allerdings muss das resultierende System so weit als möglich den Ansprüchen der Vulkanforschung gerecht werden. Diese beruhen auf klar definierten technischen und wissenschaftlichen Funktionen und Bedürfnissen: (1) eine effizient strukturierte Datenverwaltung, (2) die Möglichkeit, Datenanalysen weiter zu entwickeln, (3) eine Unterstützung bei der Bewältigung vulkanischer Krisen, (4) die Grundlagenforschung und (5) ein vielseitig einsetzbares Werkzeug in Vulkanobservatorien.

Ein einziges Programmsystem zu entwickeln, welches all diesen Bedürfnissen erschöpfend gerecht wird, hat sich ebenso als kaum durchführbar erwiesen. Deshalb wurde ein Konzept bestehend aus zwei Komponenten mit einer interaktiven Verbindung entwickelt. Die erste Komponente ist eine räumliche Datenbank in einer kommerziellen GIS-Umgebung. Die gesammelten Daten werden anhand des vulkanologischen Wissens über die zwei Testgebiete klassifiziert. Die verschiedenen Datensätze und Zeitreihen mit unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Auflösungen sind damit in einer gemeinsamen vierdimensionalen Darstellung in Raum und Zeit vereinigt. Die zweite Komponente ist ein Überwachungs- und Analysewerkzeug für aktive Vulkane. Es unterstützt die Beobachtung schlafender Vulkane, deren Grundüberwachung, die Aufdeckung vulkanischer Verhaltensanomalien und die dabei notwendigen Entscheidungsprozesse. Die Multimedia-Software wurde auf Grundlage von Anforderungen der Vulkanforschung und etablierter Methoden gestaltet. Die GIS-Datenbank wurde so optimiert, dass sie auch die aktuellen und konkreten Bedürfnisse einer Multimedia-Anwendung berücksichtigt. Gleichzeitig wurde auf eine qualitativ hochwertige kartographische Bildschirmdarstellung im AIS geachtet (Hurni et al. 1999).

## 2. Die räumliche Datenbank

### 2.1 Das GIS-Datenbank-Schema

Die Datenbank vereinigt eine Vielzahl transdisziplinärer Datensätze aufgrund eigener und publizierter Kompilationen sowie aufgrund von Expertenerfahrung in der Erforschung und Überwachung schlafender Vulkane. Die Datenbank beinhaltet drei Teile: vektorielle Geometriedaten und Rasterdaten, Attributdaten sowie kartographisch aufbereitete Daten. Zusätzlich werden diese durch weitere, multimediale Daten ergänzt, wie zum Beispiel Metadaten, textliche Beschreibungen, Bilder, audiovisuelles Material, Orientierungsskizzen usw.

Das GIS-Datenbankschema basiert auf den Attributdaten, den vektoriiellen Geometrie-Daten und den Rasterdaten. Die Bearbeitungsplattform ist *ArcGIS 8.1*. Die Datenbearbeitung erfolgte in folgenden Schritten: (1) Analyse der vorliegenden existierenden Rohdaten und der bearbeiteten Daten, (2) Evaluation der Datenquellen, (3) Korrelationen einzelner Parameter und (4) deren vulkanologische Interpretation.

### 2.2 Räumliche GIS-Analysen

Um Abfragen an Attributdatenbanken in der GIS-Umgebung durchzuführen sowie auch für räumliche und zeitliche statistische Analysen wurden graphische Abfragemasken entwickelt und optimiert. Diese Abfragemasken wurden mit Hilfe von *Visual Basic* mit *Arc/Objects* (Zeiler 1999) und unter Verwendung von *SQL*-Statements erstellt. Sie ermöglichen die Abfrage und wissenschaftliche Analyse geologischer (z. B. Strukturinformationen), geophysikalischer (z. B. Seismik), geochemischer (z. B. Gasflüsse und Gaszusammensetzungen) und meteorologischer Daten. Auf Grundlage der Ergebnisse konnten parametrische Schemata entwickelt werden, die es erlauben, Gefährdungen zu quantifizieren. So wurde beispielsweise für die Ortung und Quantifizierung möglicher Hangrutschungen und Steinlawinen eine Hangstabilitätskarte erzeugt, in die unter anderem Daten zur Hangneigung, Geologie und Gesteinsfestigkeit einfließen.

Ein Beispiel für eine andere wissenschaftliche Anwendung zeigt **Abbildung 1**: Räumliche georeferenzierte Daten verschiedener Art können gemeinsam dargestellt werden, in diesem Fall Gasflüsse und Bodentemperaturen im *Stefanos*-Krater (*Nisyros*) sowie ein 3D-Ausschnitt des Digitalen Geländemodells (DTM) mit einem überlagerten Satelliten-Orthophoto. Jeder Punkt der Oberfläche kann auf seinen Datengehalt abgefragt werden. Dieser Schritt lieferte sowohl die Grundlage für die Untersuchung der verschiedenen vulkanologischen Datensätze, er diente aber auch als Gestaltungsgrundlage für die Entwicklung der Abfrageskripte und -Formulare des Multimedia-AIS.

### 3. Die Multimedia-AIS-Software von GEOWARN

#### 3.1 Vorteile der AIS-Lösung

Die in diesem Projekt speziell entwickelte Anwendung ist ein Internet-basiertes Multimedia-Atlas-Informationssystem (*Ormeling 1995*), das auf verteilte Quellen zugreift, um Daten wie Karten, thematische Daten und Zeitreihen abzurufen. Obwohl die Datenbasis in eine kommerzielle GIS-Infrastruktur integriert ist, führten mehrere Anforderungen zur vorliegenden Lösung einer Internet-basierten AIS-Multimedia-Anwendung mit ausgewählten GIS-Funktionalitäten:

- die Bereitstellung qualitativ hochwertiger kartographischer Repräsentationen der gesamten Datenbank,
- eine benutzerfreundliche Analyseplattform für Wissenschaftler und andere Benutzer; dies hat jedoch eine Fokussierung der Funktionalität des AIS gegenüber einer reinen GIS-Lösung zur Folge (*Schneider 2002*),
- ebenso die Vermeidung aufwändiger Manipulationen an kommerzieller GIS-Software. Sie ist verwirrend beim Einsatz als Überwachungssystem, welche eine schnelle Antwort und einfache Bedienung voraussetzen,
- die Schaffung einer Software-Plattform, die unabhängig von kommerziellen GIS-Softwareprodukten ist,
- die Möglichkeit, im Detail alle Software-Komponenten austesten zu können, um später zusätzliche, stabile Anwendungen zu entwickeln,
- einen qualitativ hochwertigen Netzwerkzugang für verschiedene Benutzergruppen zu ermöglichen (Zugriffs-Geschwindigkeit und Datenpräsentation).

Die verschiedenen GIS-basierten Datensätze wurden z. T. noch kartographisch nachbearbeitet, um die Qualität des graphischen Erscheinungsbildes und der Symbolisierung zu verbessern.

#### 3.2 Technische Beschreibung

Das GEOWARN-AIS benutzt eine Client-Server-Architektur, die auf einem modularen *JAVA-Bean*-Konzept basiert. Ein *Bean Manager* kann verschiedene Bean-Anwendungen koordinieren und mit Daten beschicken. Daraus resultiert eine kombinierte Benutzeroberflächen-Anwendung in zwei Segmenten, die aus einem Kartenfenster (*Map Viewer*, verwendet *Scalable Vector Graphics [SVG]* für 2D und *VRML* für 3D) und einer *Bean*-Benutzeroberfläche (Funktionen, Menüs) bestehen (*Jenny et al. 2002*).

Das Produkt besteht serverseitig aus einer Anwendungsserver-Software, wobei auf mehrere verteilte Datensets auf entfernten Servern zugegriffen werden kann. Die Software repräsentiert eine „klassische“ Anwendung auf Grundlage einer hierarchischen Architektur und wurde innerhalb der *Java™ 2 Enterprise Edition* entwickelt. Der gesamte Satz von Server-Operationen, wie auch verschiedene komplexe Werkzeuge zur Datenanalyse und -Visualisierung sind in den Beans implementiert und auf dem Anwendungsserver gespeichert. Ein Benutzer kann auf die Daten und die verschiedenen Werkzeuge durch Web-Komponenten zugreifen (*Servlet* oder *Java Server* Seiten).

Obwohl die Serverarchitektur auf Grundlage der *Java Enterprise Edition* auf eine bestehende Softwarelösung zurückgreift, ist die Gestaltung der Clientanwendung eine neue Entwicklung und wesentliche Verbesserung. Je nach den Bedürfnissen und Berechtigungsstufen (Profile) der einzelnen Benutzergruppen (Forschung und Überwachung, Entscheidungsträger, sonstige interessierte Personen) arbeitet die Clientanwendung lokal mit einer ähnlichen Architektur wie die Servermodule. Die Clientanwendung führt einen Serverzugriff durch und lädt die gewünschte Einzelanwendung vom Server. Dieser Vorgang ist auf das spezielle Client-Profil zugeschnitten und erfolgt durch einen *Deployment Descriptor*. Dieser befindet sich auf dem Server und definiert die Daten und Werkzeuge, auf welche die verschiedenen Benutzergruppen zugreifen dürfen. Das übergreifende Schema der Client-Architektur wird *Component based Framework for Interactive Maps* genannt und ist in **Abbildung 2** schematisch dargestellt. Der Grund zur Wahl dieser Lösung liegt in der erhöhten Effizienz und Flexibilität bei aufwändigen Datenanalysen.

In Abbildung 2 wird zudem deutlich, dass der *Deployment Descriptor* dem *Bean Manager* der Clientanwendung die Berechtigung zum Daten- und Werkzeugzugriff erlauben oder verweigern kann. Die Clientanwendung kann lokal Karten und Daten in verschiedenen Formaten in einer Mikro-Datenbank speichern. Parallel dazu kann die Clientanwendung mehrere *Application Beans* vom Server laden, welche dem Benutzer verschiedene Werkzeuge zur Verfügung stellen. Das graphische Benutzerfenster der Clientanwendung besteht wie erwähnt aus zwei Komponenten: (1) einem *Map Viewer*, der auf Kartendaten über einen *Map Controller* zugreift, und (2) einem *Bean-Benutzerfenster*, in das verschiedene Anwendungswerkzeuge (*Application Beans*) geladen werden können. Der Benutzer kann Datenanalysen und Visualisierungen mittels graphischen Menüs (*User Interface Application*) in 2D, 3D und als Zeitreihendarstellung (Diagramm) auslösen. Komplexere Werkzeuge, wie zum Beispiel die Visualisierung dreidimensionaler tomographischer seismischer Daten und seismischer Mikrohypozentren können direkt vom Server geladen werden und werden von *Server Beans* ausgeführt.

### 3.3 Interaktive Diagramme

Eine wichtige Analysemöglichkeit im AIS ist die Darstellung von Zeitreihen. Der Benutzer wählt eine Datenserie und ein Zeitfenster aus (linker Teil im Hintergrund in Abbildung 3). Die Anwendungskomponente erzeugt dann ein Diagramm: In **Abbildung 3** zeigen die Diagramme die Entwicklung der sich zeitlich ändernden Parameter Temperatur und Leitfähigkeit von drei Wasserquellen. Das dynamisch generierte Benutzerfenster benutzt eine *Extended Markup Language (XML)*-Beschreibung der vorhandenen Datenquellen und der erfragten Art der Datenanalyse. Das Vermittlersystem stellt die Daten der auf der interaktiven Karte ausgewählten Messstationen zur Verfügung und generiert die Diagramme dynamisch. Verschiedene Darstellungsoptionen der Diagramme umfassen Farbwahl, sichtbarer Ausschnitt, Skala usw.

### 3.4 Grid-Analyse

**Abbildung 4** illustriert die Datenanalyse von Werten, die in einem regelmäßigen Gitternetz gespeichert sind (thematische Rasterdaten). Der Benutzer beginnt mit der Auswahl einer Voransicht des Gitters auf der Bildschirmkarte. Das gewählte Beispiel zeigt die Wärmeflussverteilung in einem vulkanischen Explosionskrater. Die Grid-Daten werden sodann vom Server heruntergeladen und in einem separaten Fenster mit optionaler Anpassmöglichkeit der Farbskala dargestellt. Sowohl direkte Abfragen der einzelnen Werte und von statistischen Werten sind auf dem Gitternetz möglich (durch Anklicken oder Auswählen eines Bereiches des Gitters) als auch die Darstellung von Zeitreihen als Animation mehrerer zeitlich aufeinanderfolgender Grid-Datensätze.

### 3.5 Profile durch das geologische 3D-Modell

Die Komponente in **Abbildung 5** extrahiert benutzerdefinierte Profile aus einem dreidimensionalen tomographischen Modell der Untergrundstrukturen im GEOWARN-Testgebiet um die Insel Nisyros. Der Benutzer definiert die Position des gewünschten Profils entweder graphisch oder numerisch. Die Komponente sendet diese Information zum *Servlet*, welches das Profil aus einem tomographischen Voxellmodell extrahiert. Das *Servlet* liefert das resultierende Profil dann als Rasterdatensatz an die aktive Komponente zurück. Der Benutzer kann dieses Gitternetz dann wie oben beschrieben analysieren.

## 4. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Untersuchungen an schlafenden Vulkanen stützen sich außer auf Datenmodellierungen vor allem auf integrierte Überwachungssysteme, die sowohl auf satellitengestützten Erhebungen als auch auf Feldkampagnendaten und terrestrischen Sensordaten basieren. Solche großen Daten- und Informationsmengen müssen analysiert und zusammengeführt werden, um direkte und indirekte vulkanische Gefährdungen besser untersuchen und einschätzen zu können. Die beschriebene, auf einem kommerziellen GIS und einer Eigenentwicklung basierende Anwendung ist auf die Überwachung schlafender Vulkane in Gegenden mit hoher geodynamischer Aktivität ausgerichtet.

Die Erfahrungen aus diesem Projekt beinhalten in einem ersten Teil das Design und die Entwicklung einer räumlichen Geodatenbank sowie die Programmierung und Gestaltung spezifischer Datenbank-Abfrageformulare für räumliche und zeitliche Analysen. Um eine fundierte Grundlage für die Datenanalyse und -korrelation zu schaffen, wurden die verschiedenen, sehr heterogenen vulkanologischen Datensätze analysiert, manipuliert (z. B. Formathomogenisierung) und klassifiziert.

Zum Zweiten wurde ein Internet-basiertes Multimedia-AIS entwickelt, das unabhängig von kommerzieller Software operiert. Diese Software greift auf die gleiche Datenbank zu, die auch von kommerzieller GIS-Software manipuliert werden kann. Das Multimedia-AIS von GEOWARN benutzt eine Client-Server-Architektur, die auf einem (zuweilen sogar räumlich) verteilten Komponenten-Konzept basiert. Die Software ist charakterisiert durch: (1) kartographische und räumliche Dateninteraktivität, (2) Zeitreihenanalysewerkzeuge, (3) die Möglichkeit, Zeitserien-Informationen mit räumlichen Daten zu verknüpfen, (4) dreidimensionale Analyse seismisch-tomographischer Daten, (5) Rasterdatenanalysen, (6) Bildschirminteraktivität mit räumlich verteilten Elementen und (7) die Fähigkeit, mit einer großen Vielfalt an Datenbanksystemen zu kommunizieren.

Das Projekt hat die Machbarkeit eines verteilten, multithematischen Datenverwaltungs-, Analyse- und Visualisierungsystems für vulkanologische Anwendungen und für verschiedene Nutzergruppen bewiesen. Gerade für Vulkanobservatorien, aber auch für Zivilschutzorganisationen und politische Gremien ist ein solches System unabdingbar. Mögliche Erweiterungen und Verbesserungen liegen in der weiteren Automatisierung und Harmonisierung von Datenflüssen und im Einbezug von Echtzeit-Daten.

#### *Dank*

Dieses Teilprojekt innerhalb des GEOWARN-Projektes wurde durch das *Information Society Technologies* (IST)-Programm im 5. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union finanziert. Die Autoren sind allen GEOWARN-Partnern zu großem Dank verpflichtet, da erst mit den durch sie zur Verfügung gestellten Daten und mit den zahlreichen Diskussionen die Gestaltung der räumlichen Datenbank und der Multimedia-Software möglich wurde.

## Literatur

- Hurni, L., Bär H.-R. und R. Sieber (1999): The Atlas of Switzerland as an Interactive Multimedia Atlas Information System. In: Cartwright, W.; Peterson, M.; Gartner, G.: Multimedia Cartography. Berlin Heidelberg: Springer, 99–112.*
- Jenny, B., Freimark, H. und A. Terribilini (2002): Entwicklung eines kartographischen Internet-Mapservers und eine erste Anwendung in der Geophysik. CD-ROM: Proceedings GIS/SIT 2002, Zürich.*
- Newhall, C. und R. Hoblitt (2002): Constructing event trees for volcanic crises. Bull Volcanol, 64, 3–20.*
- Ormeling, F. (1995): Atlas Information Systems. Proceedings of the International Cartographic Conference, ICA, Barcelona 1995, 2, 2127–2133.*
- Schneider, B. (2002): GIS-Funktionen in Atlas-Informationssystemen. Dissertation, ETH Zürich. <http://www.karto.ethz.ch/schneider/Publications/SchneiderDiss02.pdf>.*
- Zeiler, M. (1999): Modeling our world, The ESRI guide to Geodatabase design. Environmental Systems Research Institute, Inc., USA*

## Weblink

*Geowarn (2003). URL: [www.geowarn.org](http://www.geowarn.org)*

## Abbildungen

**Abbildung 1** - Räumliche Datenkorrelation von GEOWARN-Daten in einem kommerziellen GIS: Gasflüsse ( $\text{CO}_2$ ) und Bodentemperaturen aus georeferenzierten Gitterdaten (Höhe = Gasfluss, Farbe = Temperatur) sind gemeinsam mit dem Digitalen Geländemodell und einem überlagerten *IKONOS* Satellitenbild (1 Meter Auflösung) räumlich dargestellt (*Stefanos*-Krater auf der Insel *Nisyros*, *Griechenland*).

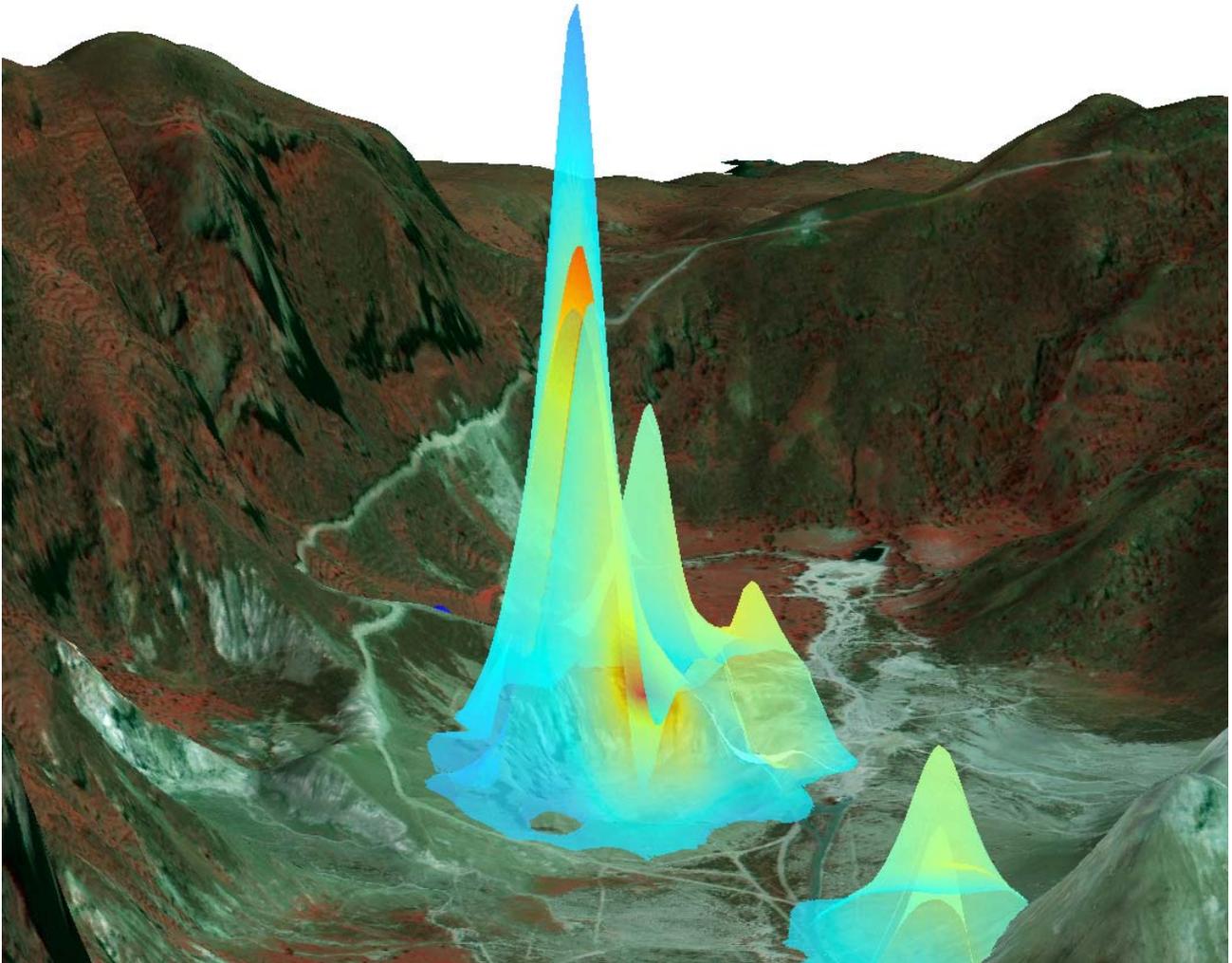


Abbildung 2 - Übersichtsschema des *Component based framework for interactive maps*.

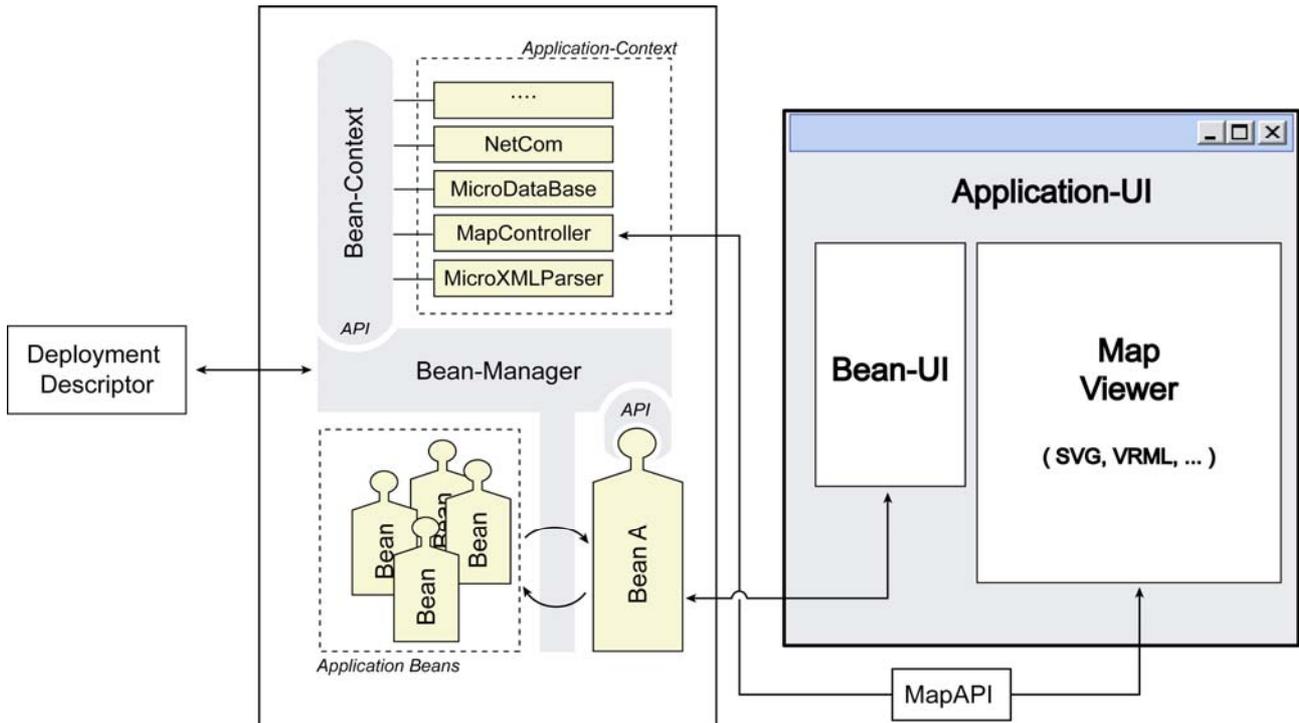
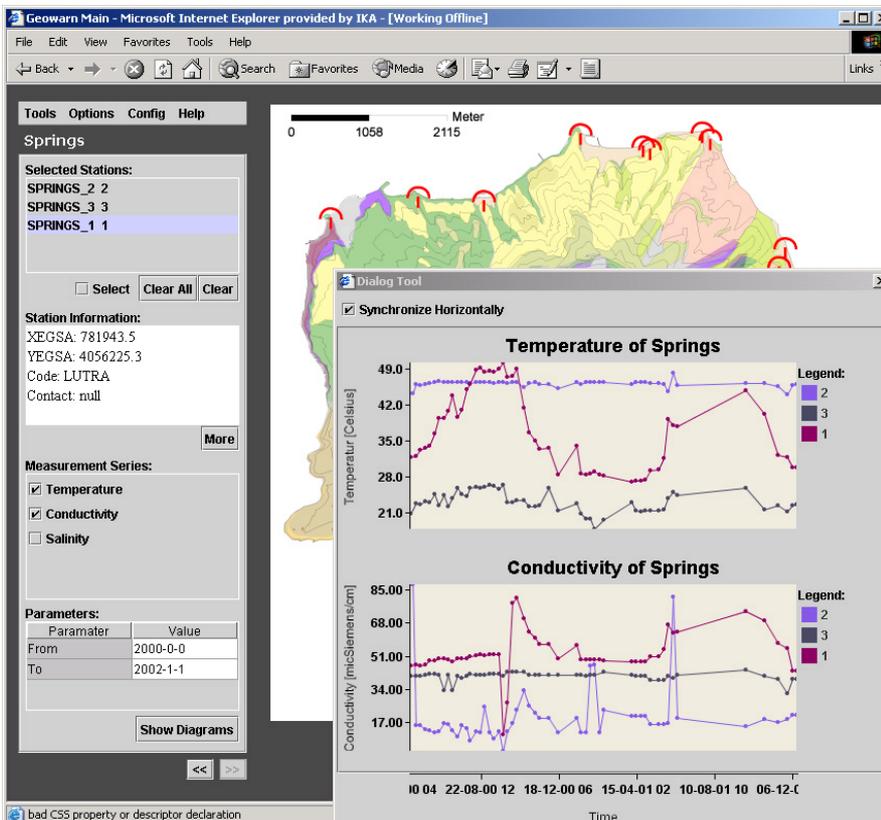
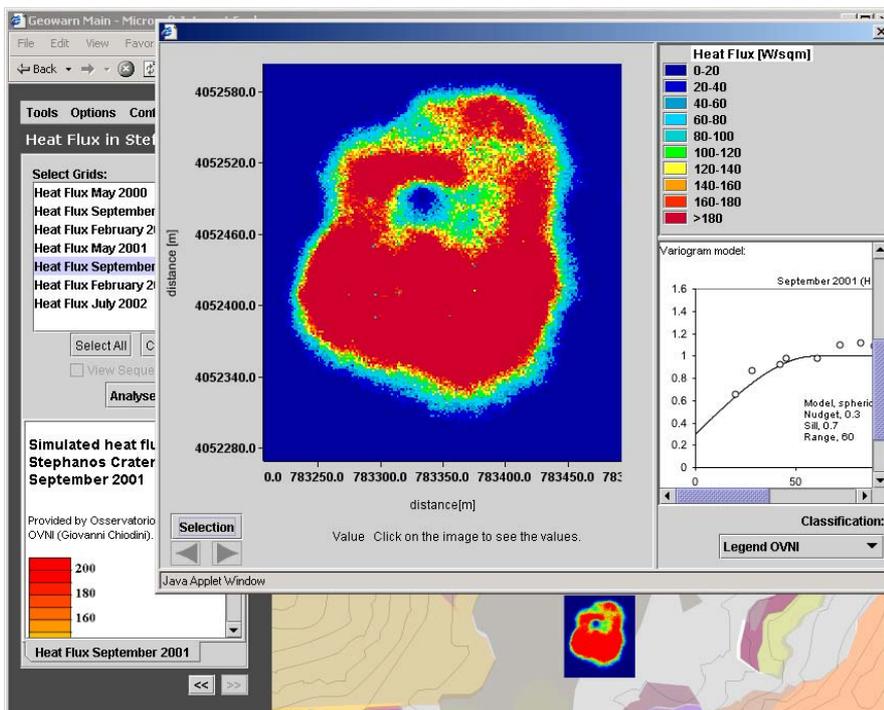


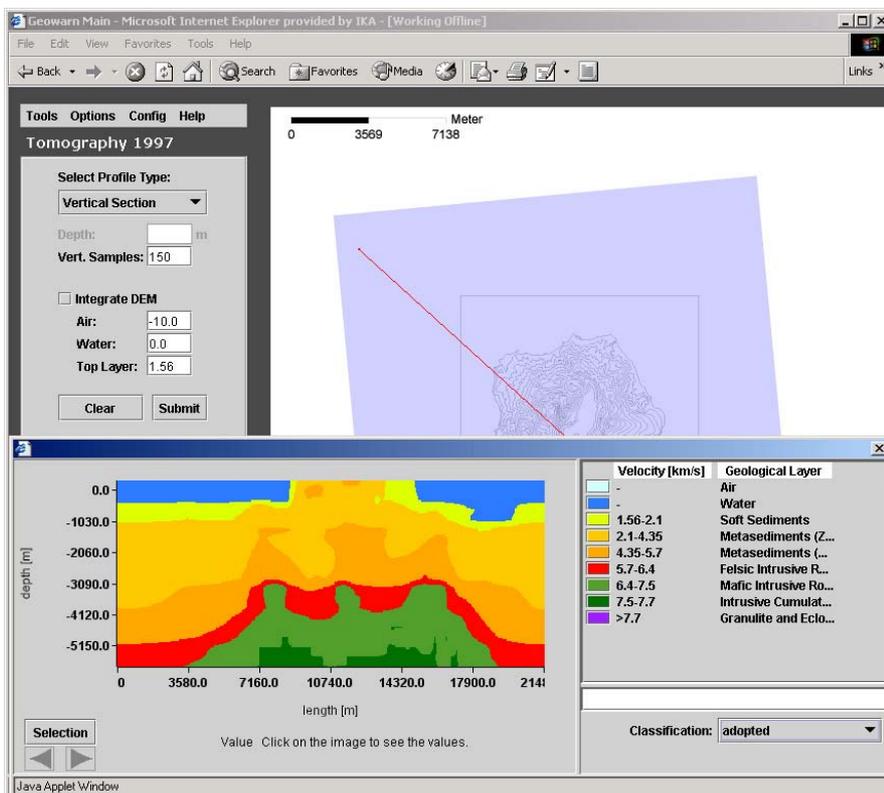
Abbildung 3 - Darstellung von Zeitreihen in Diagrammen, die aus der benutzerdefinierten Abfrage mittels interaktivem Kartenfenster und Anwendungsmenü resultiert (client-basiertes Werkzeug).



**Abbildung 4** - Beispiel einer Analyse von thematischen Rasterdaten: Räumliche Wärmeflussverteilung im *Stefanos-Krater (Nisyros)*.



**Abbildung 5** - Geologische Profile, resultierend aus einer Datenbankabfrage mittels eines Serverbasierten Werkzeugs: Seismische Tomographiedaten der Gegend um *Nisyros* sind in einem Voxelmodell gespeichert, aus dem Profile generiert werden können. Die Farbtöne stellen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen in den unterschiedlichen Materialien dar.



**Titelbild**

