

Von Sensordaten zu raumzeitlicher Umweltinformation als Web-Service – Konzeption, Implementierung und Validierung eines vollautomatisierten Workflows

Günther SAGL, Caroline ATZL, Manfred MITTLBÖCK,
Sabine ADLER, Bernd RESCH, Simo LUKIC und Michael LIPPAUTZ

Zusammenfassung

Die Bereitstellung von aktuellen Umweltdaten, insbesondere echtzeitnahe Sensormessdaten und deren raumzeitliche Analyseergebnisse, bilden die Basis für ein breites Spektrum von Anwendungsbereichen. Dieser Artikel beschreibt einen vollständig automatisierten Workflow der die gesamte Wertschöpfungskette von proprietären Sensormessungen hin zu raumzeitlichen Umweltinformationen mit einer modularen service-orientierten Infrastruktur abbildet. Ziel ist es die raumzeitliche Dynamik von Umweltparametern wie der z. B. Lufttemperatur in Form von „time-enabled“ Web-Service an personalisierte Web-Clients und kontext-spezifische Anwendungen effektiv zu kommunizieren. Die Ergebnisse zeigen, dass der vorgestellte Workflow ein zeitnahes Monitoring der raumzeitlichen Entwicklung von Umweltparametern auf verschiedenen Web-Clients ermöglicht. Die Anwendungsbereiche reichen von der zeitkritischen Entscheidungsunterstützung im Notfallmanagement bis hin zur Darstellung aktueller wetterbestimmenden Umweltparameter auf mobilen Endgeräten.

1 Einleitung

Eine Vielzahl von Sensoren messen kontinuierlich verschiedenste Umweltparameter wie z. B. Lufttemperatur und stellen daher große Mengen von räumlichen und zeitlichen Messdaten in unterschiedlichster Weise und zum Teil in Echtzeit zur Verfügung. Die Bereitstellung von aktuellen Umweltdaten, insbesondere echtzeitnahe Sensormessdaten, sowie deren raumzeitliche Analyseergebnisse bilden die Basis für ein breites Spektrum von Anwendungsbereichen. Diese reichen von der zeitkritischen Entscheidungsfindung im Notfall- und Sicherheitsmanagement bis hin zu ortsbezogenen und maßgeschneiderten Wetterinformationen via Web 2.0 und Smartphone/Pads für mobile Benutzer. Um die benötigte Geoinformation stets aktuell und kontextspezifisch für solche Anwendungsbereiche zur Verfügung stellen zu können, ist es allerdings notwendig die dafür notwendigen Prozessabläufe vollständig zu automatisieren.

Sensoren und Sensor-Netzwerke, welche immanente Bestandteile des Sensor Webs sind werden in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt um aktuelle Messinformationen für die Entscheidungsfindung bereitzustellen (LIANG et al. 2005, ZYL et al. 2009). Im Bereich des modernen Umweltmonitorings haben HART & MARTINEZ (2006) darauf hingewiesen, dass

aktuelle Sensordaten aus Sensor-Netzwerken in Kombination mit anderen Umweltdaten ein verbessertes und nachhaltiges Prozessverständnis ermöglichen.

Aktuelle Sensormessungen werden, um nur einige Beispiele zu nennen, in Notfallmanagementsysteme integriert um die zeitkritische Entscheidungsfindung in einem Überflutungsszenario zu unterstützen (z. B. TOSTI & SMARI 2010), um die Auswirkungen von Schadstoffemissionen auf den menschlichen Gesundheitszustand zu beobachten (RESCH et al. 2012), um die Qualität der verfügbaren Wasserressourcen zu bewerten (NINSAWAT et al. 2008) etc. Bei sämtlichen solcher kontext-spezifischen Anwendungen ist die Erfassung der räumlichen und der zeitlichen Dynamik der gemessenen Umweltparameter von essenzieller Bedeutung um Aussagen über deren raumzeitliche Entwicklungen zu unterstützen. Dabei gilt es das Analysepotenzial von aktuellen Sensordaten in Kombination mit bestehender Umweltinformation voll auszuschöpfen. Eine erhebliche Verbesserung bestehender Lösungsansätze bieten vollautomatisierte Analyseprozesse basierend auf vordefinierten Fragestellungen. Dabei ist insbesondere darauf zu achten, dass die zuvor erwähnte raumzeitliche Dynamik in den Analyseergebnissen erhalten bleibt um auf potenzielle zugrunde liegende Prozesse rückschließen zu können. Ziel des hier vorgestellten Ansatzes ist daher die voll automatisierte Generierung von raumzeitlicher Umweltinformation auf Basis aktueller Sensormessdaten sowie deren zeitnahe Bereitstellung als Web-Service welche wiederum kontext-spezifisch in personalisierte Web-Clients integriert werden können.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich einige komplexe technische und methodische Herausforderungen: aus technischer Sicht zählen hierzu die zeitnahe Integration von Sensormessdaten aus heterogenen Systemen in gemeinsame Analyseprozesse (z. B. BRÖRING et al. 2011), die effiziente Abspeicherung der Analyseergebnisse in dafür optimierte Datenbankstrukturen, sowie die Bereitstellung der Analyseergebnisse in Form von Web-Services. Aus methodischer Sicht sind die richtige Auswahl von geeigneten geo-räumlichen Analysemethoden sowie die Präsentation (kartographisch korrekte Visualisierung) von Zeitreihen in modernen, teils mobilen, Web-Clients entscheidend um die raumzeitliche Dynamik von Umweltphänomenen einfach aber effektiv zu kommunizieren.

Im Folgenden werden die Konzeption, die Implementierung und die Validierung eines vollständig automatisierten Workflows für die serviceorientierte Bereitstellung von raumzeitlichen Umweltinformationen beschrieben. In Erweiterung der bestehenden Funktionalitäten einer web-basierten Implementierung (SAGL et al. 2011b) wird besonderes Augenmerk auf eine erweiterte kartographische Aufbereitung und Bereitstellung der räumlichen Analyseergebnisse als „time-enabled“ Web-Services gerichtet.

2 Konzeption des automatisierten Workflows

Um von Sensordaten zu raumzeitlichen Umweltinformationen als Web-Service zu gelangen wurde der im RSA iSPACE entwickelte Workflow (SAGL et al. 2011b, SAGL et al. 2011a) erweitert und vollständig automatisiert. Der bereits bestehende Workflow fokussierte auf die echtzeitnahe, sogenannte „live“ Geo-Analyse von gemessenen Umweltparametern und der Ad-hoc-Bereitstellung der Analyseergebnisse (für die Definition von "live" siehe RESCH in press).

In den Erweiterungen des Workflows wurde, zusätzlich zu den live Geo-Analysen, besonders darauf geachtet die raumzeitliche Entwicklung von räumlichen Phänomenen über Web-Map-Services auf unterschiedlichen Client-Plattformen wie z. B. Silverlight HTML5/JavaScript oder auch auf mobilen Endgeräten live mitverfolgen zu können. Das Konzept des Workflows besteht aus den drei Hauptkomponenten Sensordaten, Sensor Observation Service (SOS) Instanz und GIS-Plattform (Abb. 1).

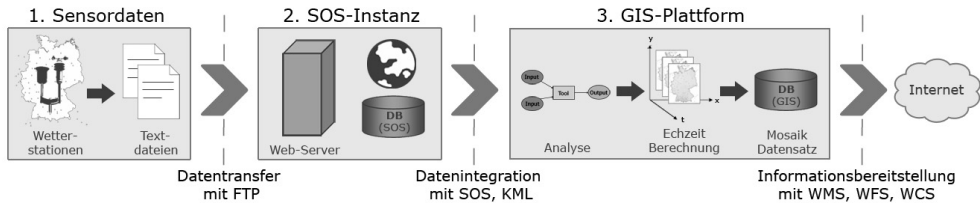


Abb. 1: Konzept des vollautomatisierten Workflows

Drei aufeinanderfolgende Prozessschritte erhöhen und präzisieren sukzessive die den Sensordaten innewohnenden Informationsgehalt und bilden den gesamten Workflows auf methodischer und technischer Ebene ab: 1) (proprietäre) Sensordaten werden aus (teils) geschlossenen Systemen in das strukturierte Format des Open Geospatial Consortium (OGC) Sensor Observation Service (SOS) überführt. Der dadurch erzielte Mehrwert liegt in der einheitlichen Strukturierung und Bereitstellung der Daten als standardisiertes Web-Service. Dadurch werden weitere Analysen innerhalb Service Orientierter Architekturen (SOA) erst ermöglicht. 2) die SOS Daten werden in naher Echtzeit in eine GIS-Plattform integriert und stehen für weitere Analysen zur Verfügung. Der Schritt ermöglicht die Generierung von neuen raumzeitlichen Informationen: aktuelle Sensordaten, welche üblicherweise als Punktmessungen vorliegen, werden mittels räumlicher Interpolationsmethoden in neue raumzeitliche Umweltinformationen überführt und können in dafür optimierten Datenstrukturen verwaltet werden. 3) diese neuen Umweltinformationen werden als standardisiertes „time-enabled“ Web-Services bereitgestellt. Die raumzeitliche Entwicklung eines Umweltparameters (wie z. B. Lufttemperatur) ist somit in einem Web-Service gebündelt welches in Web-Clients zur Entscheidungsunterstützung eingebunden und visualisiert werden kann.

3 Implementierung der Workflow-Komponenten

Die Implementierung des gesamten Workflows erfolgt in einer modularen Service-Infrastruktur und basiert auf dem im RSA iSPACE entwickelten „Live Geography Approach“ (RESCH in press).

3.1 Von proprietären Sensordaten zur Sensor Observation Service Instanz

Proprietäre Sensordaten werden aus meist heterogenen Systemen in eine SOS-Instanz überführt. Hierzu kommt eine vorwiegend Python Skripte zum Einsatz welche an die Daten-

schnittstelle des jeweiligen Systems angepasst wurden. In dem hier vorgestellten Anwendungsfall werden frei verfügbare METAR¹ Daten in Form von Textdateien bereitgestellt und via File Transfer Protokoll (FTP) im 30 min Intervallen zur SOS Instanz übertragen. Die in den Textdateien enthaltenen Umweltmessdaten wie z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Windrichtung etc. werden extrahiert und in das Framework der SOS-Instanz überführt. Die ursprünglich dateibasierten Sensordaten stehen nun als standardisiertes OGC SOS zur Verfügung.

3.2 Datenintegration in GIS-Plattform für raumzeitliche Analysen

Der Ablauf der raumzeitlichen Analyse innerhalb der GIS-Plattform ist schematisch in Abb. 2 dargestellt. Im ersten Schritt werden von den echtzeitnahen SOS-Daten die aktuellen Messwerte abgefragt (in diesem Beispiel die Daten der letzten zwei Stunden) und mittels einer speziell entwickelten Datenschnittstelle in die GIS-Plattform (ESRI ArcGIS Server 10) integriert. Somit stehen diese SOS-Daten als live Datenlayer für die weitere Analyse zur Verfügung. Danach erfolgt die Aufbereitung der Sensordaten. Da innerhalb dieses Zeitraums stationsabhängig unterschiedlich viele Werte vorliegen, werden im nächsten Schritt jeweils nur die aktuellsten Daten selektiert und in ein metrisches Referenzsystem projiziert (z. B. die Mercatorprojektion). Als nächster Schritt wird eine höhenkorrigierte Interpolation durchgeführt. Dazu werden die punktuellen Temperaturwerte mithilfe eines vertikalen Temperaturgradienten von $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (BLÜTHGEN et al. 1980:163) zuerst auf ein vordefiniertes Referenzniveau (in diesem Fall 0 m) heruntergerechnet. Die flächendeckende Temperaturabschätzung erfolgt mittels Durchführung der Kriging-Interpolationsmethode, da diese sowohl die Distanz zwischen den Messstandorten als auch die Varianz der Messwerte berücksichtigt. Da, in erster Näherung, von einer linearen Beziehung zwischen Höhe und Temperatur ausgegangen wird, werden nach der Interpolation flächendeckend die Temperaturwerte auf Basis von Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Höhendaten mit einer Auflösung von 90×90 Meter auf die ursprüngliche Höhe mit dem oben erwähnten Temperaturgradienten zurückgerechnet.



Abb. 2: Ablauf der raumzeitlichen Analyse innerhalb der GIS-Plattform

Im vierten Schritt wird das Analyseergebnis kartographisch aufbereitet und als Rasterdatensatz in einer räumlichen Datenbank gespeichert. Ein Verweis auf diesen Rasterdatensatz inklusive Zeitstempel wird in die ESRI-spezifische Mosaikdatenstruktur hinzugefügt. Bei jedem Durchlauf der Analyse wird somit der Mosaikdatensatz lediglich um einen Verweis zu dem neu generierten Rasterdatensatz erweitert und nicht mit dem Rasterdatensatz selbst. Durch den Zeitstempel wird die eindeutige Identifizierung des jeweiligen Rasterdatensatzes sichergestellt um die raumzeitlichen Umweltinformationen korrekt am jeweiligen Client

¹ Meteorological Aviation Routine Weather Report: Wetterbeobachtungen an einzelnen Flughäfen in Kurzform

darzustellen. Der gesamte Mosaikdatensatz wird als Web-Service bereitgestellt wodurch ein gezielter chronologischer Zugriff auf sämtliche Analyseergebnisse ermöglicht wird.

3.3 Sensordaten und raumzeitliche Information als Web-Service

Die Sensordaten sowie die Analyseergebnisse werden mittels ESRI ArcGIS Server 10.1 PreRelease als „time-enabled“ Web-Service bereitgestellt. Dieses kann in verschiedenste Web-Clients wie z. B. Standard Web-Browser oder maßgeschneiderte Web-Applikationen eingebunden werden. Die nahzeitlichen Analyseergebnisse werden als Web Map Service (WMS) und die punktuellen Sensordaten der einzelnen Wetterstationen als Web Feature Service (WFS) bereitgestellt.

4 Validierung und Ergebnisse

Die Validierung des hier vorgestellten Workflows erfolgte am Beispiel von Lufttemperaturmessdaten welche in Form von METAR Daten von 96 Flughäfen in Deutschland abgefragt wurden. Die Analyseergebnisse wurden als raumzeitliche Umweltinformation in Form einer Zeitreihe von Temperaturkarten zusammengefasst (Abb. 3). Die Temperaturkarte zum Zeitpunkt t steht für das aktuellste Analyseergebnis, zuvor berechnete Ergebnisse werden um eine Zeiteinheit versetzt (z. B. $t-1$, $t-2$, $t-3$...). Diese Zeiteinheit, d. h. die Intervalldauer zwischen den Analyseergebnissen, ist variabel und sollte an die räumliche bzw. zeitliche Variabilität des Umweltparameters angepasst werden. Im konkreten Beispiel Fall wurde ein Intervall von zwei Stunden als ausreichend angesehen um die raumzeitliche Dynamik der Lufttemperatur über das deutsche Bundesgebiet zu beobachten.

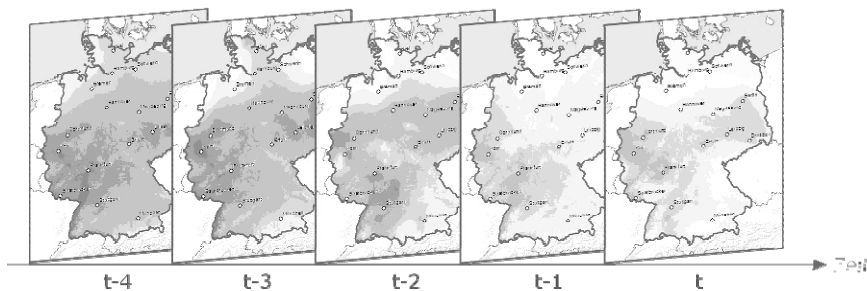


Abb. 3: Räumliche Interpolationsergebnisse von Temperaturmesswerten als Zeitreihe

Durch die Archivierung der Analyseergebnisse in dafür optimierten Datenstrukturen kann neben dem aktuellen Ergebnis auch auf zurückliegende Ergebnisse zugegriffen werden, womit weitere visuelle Analysen wie z. B. Change Detection sehr einfach durchgeführt werden können.

5 Diskussion und Schlussfolgerung

Der hier vorgestellte vollautomatisierte Workflow zur Generierung neuer raumzeitlicher Umweltinformationen auf Basis von proprietären Sensordaten wurde am Beispiel Lufttemperatur im Bundesgebiet Deutschland validiert. Hierfür wurden METAR-Daten zyklisch abgefragt und in eine gemeinsame SOS-Instanz überführt. Diese SOS-Daten wurden in eine GIS Plattform integriert und analysiert. Die neu generierten raumzeitlichen Umweltinformationen, in diesem Fall eine Zeitreihe von Temperaturkarten, wurden wiederum als „time-enabled“ Web-Service für die kontext-spezifische Präsentation aufbereitet und für die Anwendung in personalisierten Web-Clients bereitgestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass aktuellste Sensordaten und deren Analyseergebnisse als raumzeitliche Umweltinformationen in Form von standardisierten „time-enabled“ Web-Services bereitgestellt werden können (siehe Abb. 3). Dadurch wird gewährleistet, dass auch die raumzeitliche Dynamik des jeweiligen Umweltparameters ein impliziter Bestandteil in der Bereitstellung der Analyseergebnisse ist. Die Integration solcher Services in moderne, auch mobile, Web-Clients ermöglicht daher auch eine kontext-spezifische Darstellung der raumzeitlichen Entwicklung von Umweltparametern.

Der hier vorgestellte vollautomatisierte und service-orientierte Workflow bietet einen vielversprechenden Ansatz um auf Basis proprietärer Sensordaten und räumlicher Analysemethoden neue raumzeitliche Umweltinformationen zu generieren und diese kontext-spezifisch und effektiv an verschiedenen Web-Clients zu kommunizieren. Entlang dieser Wertschöpfungskette wird die raumzeitliche Dynamik verschiedenster Umweltparameter verständlich. Die daraus folgende Möglichkeit der zeitnahen Beobachtung und auch Einschätzung wie sich Umweltparameter raumzeitlich entwickeln, kann die Entscheidungsfindung in vielen Bereichen wie z. B. Notfallmanagement nachhaltig verbessern.

Die Autoren danken Frau Beatrice Oberascher und Herrn Richard Bauer für die hervorragende technische Unterstützung. Die gezeigten Forschungstätigkeiten wurden durch Mittel aus dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung gefördert.

Literatur

- BLÜTGHEN, J. & WEISCHET, W. (1980), Allgemeine Klimageographie – Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. W. de Gruyter, Berlin.
- BRÖRING, A., ECHTERHOFF, J., JIRKA, S., SIMONIS, I., EVERDING, T., STASCH, C., LIANG, S. & LEMMENS, R. (2011), New Generation Sensor Web Enablement. In: *Sensors*, 11, 2652-2699.
- HART, J. K. & MARTINEZ, K. (2006), Environmental Sensor Networks: A Revolution in the Earth System Science? In: *Earth-Science Reviews*, 78, 177-191.
- LIANG, S. H. L., CROITORU, A. & TAO, C. V. (2005), A Distributed Geospatial Infrastructure for Sensor Web. In: *Computers & Geosciences*, 31, 221-231.
- NINSAWAT, S., RAGHAVAN, V. & MASUMOTO, S. (2008), Integration of Web Processing Service and Sensor Observation Service for Distributed Geoprocessing Using Real-Time Data. In: *Geoinformatics*, 13.

- RESCH, B. (in press), *Live Geography – Standardised Geo-Sensor Webs for Real-Time Monitoring in Urban Environments*. Dissertation in Geographic Information Science, Heidelberg, Germany. Akademische Verlagsgesellschaft AKA GmbH.
- RESCH, B., BRITTER, R. & RATTI, C. (2012), *Live Urbanism – Towards the Senseable City and Beyond*. In: PARDALOS (Ed.), *Sustainable Architectural Design: Impacts on Health*.
- SAGL, G., LIPPAUTZ, M., MITTLBÖCK, M., RESCH, B. & BLASCHKE, T. (2011a), *Near Real-Time Geo-Analyses for Emergency Support: A Radiation Safety Exercise* 14th AGILE International Conference on Geographic Information Science, April 18 – 21, Utrecht, The Netherlands.
- SAGL, G., LIPPAUTZ, M., MITTLBÖCK, M., RESCH, B. & BLASCHKE, T. (2011b), *Web-Based near Real-Time Geo-Analyses of Environmental Sensor Measurements*. Geoinformatik 2011 June 15 – 17, Muenster, Germany.
- TOSTI, E. & SMARI, W. W. (2010), *Sensors Integration in a Grid-Based Architecture for Emergency Management Systems*. Digital Ecosystems and Technologies (DEST), 2010 4th IEEE International Conference on, 13-16 April 2010, 435-442.
- ZYL, T. L. V., SIMONIS, I. & MCFERREN, G. (2009), *The Sensor Web: Systems of Sensor Systems*. In: *International Journal of Digital Earth*, 2, 16-30.