

DR. SASCHA SCHNEID, VMT-GMBH BRUCHSAL

TUNIS – Geosensornetzwerke für Großbaustellen

Einleitung

Seit mittlerweile über 15 Jahren bietet die VMT GmbH aus Bruchsal, Baden-Württemberg, Hardwarelösungen und Softwareentwicklungen im Bereich des maschinellen Tunnelbaus zur automatisierten Erfassung und Weiterverarbeitung von Messdaten. Im Sog der weltweit stattfindenden rasanten Weiterentwicklung moderner Informationstechnologien verlagert sich auch der Schwerpunkt der hauseigenen Entwicklungen. Im Mittelpunkt stehen dabei, neben den bewährten Steuerleitsystemen für Tunnelbohrmaschinen, zunehmend auch maßgeschneiderte Informationssysteme zur Datenspeicherung, Datenaufbereitung und Datenweiterverarbeitung sowie mehr und mehr auch zum Zwecke der Überwachung von Prozessen und Objekten, auch außerhalb des Tunnelbaus.

Zur Integration all dieser Aufgaben findet derzeit die Entwicklung der neuen Produktlinie „Tunnel and Underground integrated Software Structure“ kurz TUnIS, statt.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der automatischen Erfassung und Übertragung von Sensordaten innerhalb von Geosensornetzwerken, wie sie im Zuge der Projektbearbeitung mit TUnIS von den Ingenieuren der VMT GmbH eingerichtet werden. Hierbei wird der Begriff des Geosensornetzwerkes, auch im Hinblick auf ingenieurgeodätische Anwendungen, erläutert. Anhand von Beispielen werden dabei die steigende Interdisziplinarität und die enorme Reichweite der modernen Geomatik untermauert.

Von Geosensornetzwerken und Sensorknoten

Der Begriff bzw. das Einsatzgebiet des Sensornetzwerkes, im englischen *wireless sensor network* (WSN) wurde in den vergangenen Jahren im Zuge der technischen Entwicklung in der Informations- und Kommunikationstechnologie geprägt. Ein Sensornetz ist eine Netzwerkstruktur, bestehend aus einer Anzahl von Sensorknoten (*Abbildung 1*). Diese Sensorknoten sind (Kleinst-)Rechner, die in einem Netzwerk mit fest strukturierten Kommunikationswegen, oder in einem sich selbst findenden ad-hoc Netzwerk miteinander kommunizieren und arbeiten. An jeden dieser Sensorknoten können mehrere Sensoren angeschlossen werden, die in ihrer Umgebung Messdaten erfassen (Heunecke, 2008; Pink, 2007).

Der Zusatz „Geo“ deutet darauf hin, dass die Position, bzw. die Georeferenzierung der Sensoren oder der Objekte an denen diese installiert sind, von gewisser Bedeutung ist, aber nicht zwingend im Vordergrund steht. In einigen Spezialfällen ist dies auch die Position des Sensorknotens.

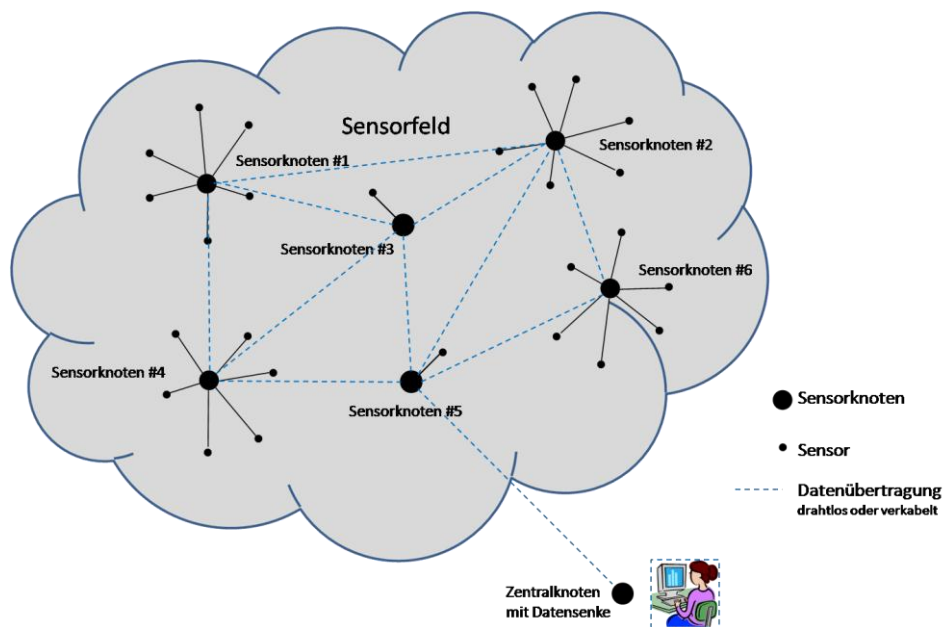


Abb. 1: Prinzip eines Geosensornetzwerkes. Die Kommunikation erfolgt hier „mesh based“

Ein Sensorknoten besteht grundsätzlich aus mehreren Komponenten. Neben der erforderlichen Kontrol- bzw. Prozessoreinheit, der Kommunikationseinrichtung, den angeschlossenen Sensoren und einer geeigneten Stromversorgung können optional auch ein Datenspeicher sowie besondere zusätzliche Sensoren zur Lokalisierung des Knotens integriert sein (Abbildung 2).

In der Regel reicht ein einmaliges Aufmaß eines statischen Sensorknotens zu Beginn eines Projektes aus, um diesen zum Beispiel in grafischen Systemen darstellen zu können. Handelt es sich um bewegliche Sensorknoten, etwa solche, die in Fahrzeugen installiert werden, können zusätzliche Sensoren zur Lokalisierung des Knotens integriert werden. Dies können Sensoriken sein, die eine direkte Georeferenzierung des Knotens durchführen, zum Beispiel mittels GNSS Empfänger (Global Navigation Satellite System) oder solche Sensoren die eine Positionsbestimmung in Mobilfunknetzen, wie GSM

(Global System for Mobile Communications) durchführen. Diese Art von Knoten wird auch als „Beacon“ bezeichnet (Born et. al, 2008).

Moderne Systeme verwenden auch die ohnehin vorhandene Kommunikationseinrichtung des Sensorknotens, welche die gesammelten Sensordaten versendet, um ihre relative Position im Geosensornetzwerk zu bestimmen. Diese Verfahren werden in drahtlosen Netzwerken eingesetzt und basieren in der Regel auf der Auswertung des Signalcharakters. Zum Beispiel auf der Auswertung der gemessenen Signalstärke (RSS – Received Signal Strength), der Signallaufzeit (ToA – Time of Arrival, TDoA – Time Difference of Arrival, RTT – Round Trip Time) oder einfach auf der Zählung der Anzahl der „Hüpfen“ von Knoten zu Beacon (Hop-basierte Verfahren). Eine umfassende Beschreibung dieser Methoden ist publiziert in (Bill et. al. 2004).

Sensorknoten, welche allein die Aufgabe haben Daten zu sammeln und weiterzuleiten werden auch „Relais-Stationen“ genannt. Zur Optimierung dieser Aufgabe und zur Vereinfachung der Datenkommunikation dienen sogenannte „Aggregationsknoten“, oder „Repeater-Rechner“. Dort werden die gesammelten Daten vorverarbeitet, zum Beispiel durch einfache Filter, um Ausreißer in den Messwerten zu eliminieren, oder durch geeignete Mittelwertbildungen, um die zu übertragende Datenmenge zu reduzieren.

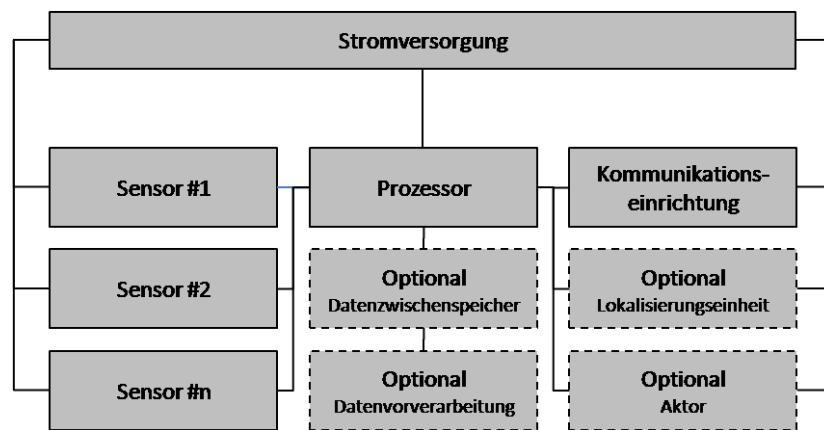


Abb. 2: Prinzipielles Design eines Sensorknotens

Sensorknoten können sich aber auch schon allein durch die angeschlossenen Sensoren wesentlich von anderen Sensorknoten unterscheiden. Bei ingenieurgeodätischen Projekten, etwa bei Deformationsmonitoring oder bei Leit- und Navigationssystemen, ist oftmals die Georeferenzierung selbst die eigentliche Aufgabe der eingesetzten Sensorknoten.

Eine weitere Sonderstellung nimmt der Sensortyp „Tachymeter“ ein. Dieser „Sensor“ kann prinzipiell Sensordaten von beliebig vielen passiven Punkten, den Reflektorprismen sammeln. Diese Messungen können auch dazu geeignet sein, eine präzise Georeferenzierung der Prismen und des Tachymeters selbst zu gewährleisten.

Eine kleine Zusammenstellung der wesentlichen Einsatzgebiete von Geosensornetzwerken, mit dem Schwerpunkt auf geodätische Anwendungen, folgt im nächsten Abschnitt.

Einsatzgebiete für Geosensornetzwerke

Wie im vorangehend deutlich gemacht wurde, liegt die zentrale Aufgabe eines Geosensornetzwerkes in der Datenerfassung und in der Datenkommunikation mit Hilfe der Sensorknoten, bzw. der daran angeschlossenen Sensoren. Die üblichen Anwendungen liegen damit grundsätzlich in dem breit gefassten Bereich des Monitoring. Dem Monitoring werden üblicherweise die folgenden Aufgaben zugeordnet (Pink, 2007):

- *Monitoring zum Zwecke der Steuerung* von Prozessen um einen Nutzer von bestimmten Aufgaben zu entlasten.
- *Monitoring zum Zwecke der Modellbildung*, um den Anwender von bestimmten Vorgängen in Kenntnis zu setzen.
- *Monitoring zum Zwecke der Überwachung* von Prozessen bzw. Objekten, um den Nutzer vor dem Erreichen von kritischen Zuständen zu warnen.

Es ist ganz offensichtlich, dass die meisten Anwendungen von Geosensorsystemen mehrere bzw. alle der aufgezählten Aufgaben erfüllen müssen.

Es gibt in unserer unmittelbaren Umgebung heutzutage zahlreiche Beispiele für Geosensornetzwerke, bzw. ganz allgemein für Sensornetze. Ein sehr umfassendes Beispiel sind die Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes. Meteorologische Daten werden an georeferenzierten Stationen erfasst, an eine zentrale Stelle übertragen und dort einer Modellbildung unterzogen, um beispielsweise Klimaforschung zu betreiben. Besteht Gefahr für die Bevölkerung, so wird über ausgewählte Medien, wie Rundfunk und Fernsehen, vor Unwettern gewarnt.

Ein aktuelles Beispiel, welches sich derzeit in der Entwicklung befindet, ist das TUnIS System – „Tunnel and Underground integrated Software Structure“ - der VMT GmbH in Bruchsal. Die wesentlichen Einsatzgebiete und einige ausgewählte Module bzw. Hardwareentwicklungen werden im Folgenden beschrieben.

Geosensornetzwerke der VMT GmbH

Zur Bearbeitung und Realisierung von Projekten im Bereich des baubegleitenden Monitoring wird bei der VMT GmbH das System TUnIS entwickelt. Das Akronym „TUnIS“ steht für „Tunnel and Underground integrated Software-Structure“. Diese Softwarestruktur bietet dem Anwender die Plattform, in der

- *Geosensornetzwerke*, zur Erfassung und Übertragung von relevanten Messdaten, sowie
- *Datenbanken*, als Senke für die im Netz gesammelten Messwerte, und
- *Applikationen* zur Analyse, Visualisierung und Dokumentation

realisiert werden können. Im Zuge eines Baustellenprojektes wird von den VMT Ingenieuren ein Geosensornetzwerk mit der notwendigen Anzahl von Sensorknoten entwickelt und eingerichtet. Die an die Knoten angeschlossenen Sensoren erfassen die relevanten Daten über und unter Tage.

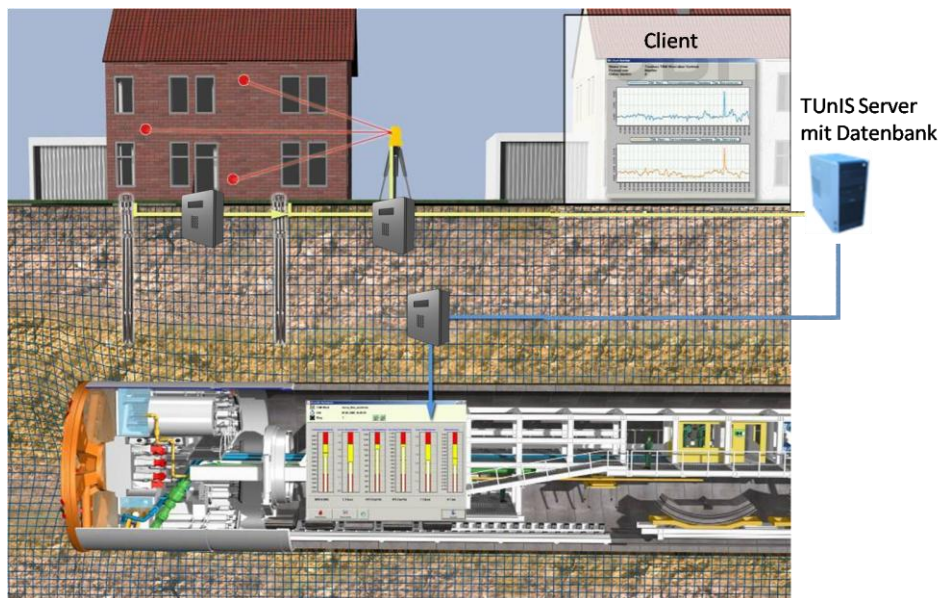


Abb. 3: Typisches Design eines TUnIS – Geosensornetzwerkes

Die Sensoriken, die dabei verwendet werden, bilden in der Regel gemeinsam mit dem jeweiligen Sensorknoten zur Erfassung und Kommunikation, ein geschlossenes Sensorsystem, welches ebenso auch autark, d.h. ohne Netzwerk funktioniert. Die gemessenen Daten werden dann nicht zu einem Datenserver übertragen, sondern auf einem im Sensorknoten installierten, nicht flüchtigen Speicher abgelegt. Dies kann etwa ein USB-Stick oder eine SD-Karte sein. Diese Variante bietet sich an, wenn die Daten nicht zwingend in Echtzeit ausgewertet werden müssen, oder eine automatische Datenkommunikation erheblich Mehrkosten verursachen würde.

Ein Beispiel für eine solche Sensorik, die sowohl in einem Geosensornetzwerk als auch als autarkes System installiert werden kann ist das RCMS – Ring Convergence Measurement System (Clarke-Hackston et.al. 2008).

Die erfassten Messwerte werden von den Sensorknoten auf den TUnIS Datenserver übertragen (Abbildung 3). Dieser ist in der Regel baustellennah installiert und in das Baustellen-LAN integriert, um den verantwortlichen Personen einen Zugriff auf die Daten zu ermöglichen. Üblicherweise wird auf dem Server-Rechner zusätzlich ein VPN-Zugang (Virtual Private Network) eingerichtet, damit das System von den VMT Ingenieuren administriert werden kann.

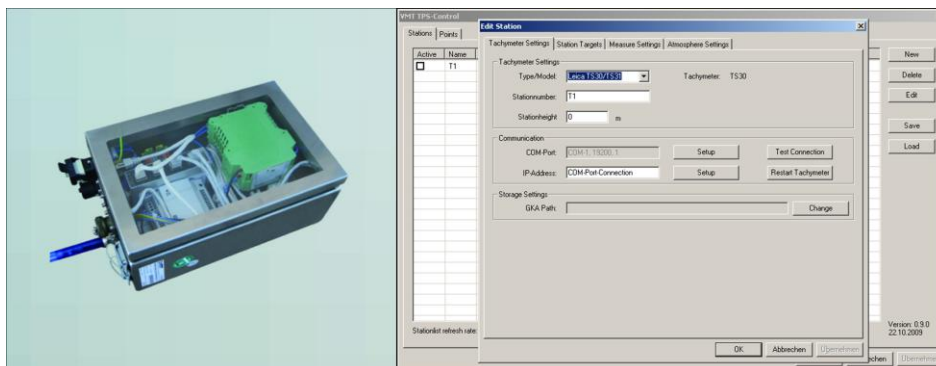


Abb. 4: Links: Control Box Geomonitoring zur Kommunikation mit automatischen Tachymeterstationen. Rechts: Screenshot der Software TPSControl zur Umsetzung eines terrestrischen geodätischen Messprogrammes

Die Sensorknoten der VMT GmbH werden in einem stabilen IP-67-Edelstahlgehäuse gefertigt und speziell an die örtlichen Gegebenheiten angepasst. So kann die Datenkommunikation für jede Anwendung auf unterschiedliche Weise erfolgen. Kurze Übertragungswege, etwa die Strecke vom Sensor zum Sensorknoten werden in der Regel verkabelt, weil durch dieses Kabel auch die Stromversorgung des Sensors erfolgt.

Ein Beispiel ist die Control Box Geomonitoring (*Abbildung 4, links*). Dieser Sensorknoten dient zur Kommunikation mit einer motorisierten Totalstation. Ein integrierter COM Server erlaubt auch den Anschluss zusätzlicher Sensoren. Üblicherweise ist dies ein integrierter Hygrobarograph, der Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte zur Berechnung der atmosphärischen Korrekturen der Streckenmessungen erfasst. Dieser COM-Server ist innerhalb des Sensornetzwerkes über seine IP-Adresse eindeutig adressierbar und ermöglicht die Datenübertragung zum TUnIS - Datenserver.

Von dort aus erfolgt auch die zentrale Ansteuerung der Totalstationen durch das TUnIS Softwaremodul TPSControl (*Abbildung 4, rechts*). TPSControl verwaltet alle automatischen Totalstationen eines Projektes und setzt ein geodätisches Messprogramm, zum Beispiel im Rahmen eines Deformationsmonitoring, um.

Die Messwerte werden zentral in einer SQL-Datenbank abgelegt und stehen für weitere Verarbeitungen zur Verfügung. Dies kann dann in Echtzeit erfolgen, beispielsweise mit dem GNSS/LPS/LS basierten Online Control and Alarm System – GOCA (www.goca.info), wenn das Monitoring dem Zwecke der Überwachung dient.

Die Weiterverarbeitung kann auch in definierten Zeitintervallen, zum Beispiel durch grafisch aufbereiteten Tages- oder Wochenberichte erfolgen. Dazu stehen verschiedene TUnIS –Applikationen zur Verfügung oder werden gemeinsam mit den Auftraggebern, bzw. dem verantwortlichen Baustellenpersonal, entwickelt. Auf diese Weise entstehen für jedes Projekt maßgeschneiderte Hardware- und Softwarelösungen, die den Wünschen des Kunden und den Anforderungen des Projektes gleichermaßen gerecht werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge der rasanten technischen Weiterentwicklung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien werden zur Datenerfassung und Datenkommunikation auf Baustellen immer öfter intelligente Sensornetzwerke installiert.

Die Geosensornetzwerke, die von der VMT GmbH eingerichtet und baubegleitend betreut werden, bestehen aus einer Anzahl von Sensorknoten, die strukturiert oder ad-hoc miteinander kommunizieren und die von den angeschlossenen Sensoren erfassten Daten an eine zentrale Stelle, dem TUnIS Datenserver (Tunnel and Underground Integrated Software Structure) übertragen. Die jeweiligen Sensorknoten mit den angeschlossenen Sensoren können auch allein, als autarkes System installiert werden.

Die Sensorknoten, in Einzelfällen auch die Sensoren, werden von den VMT Ingenieuren in robusten IP 67 Edelstahlgehäusen gefertigt, um die moderne Elektronik an die Baustellenumgebung anzupassen. Die Datenkommunikation kann sowohl über Funk, als auch über Kabelverbindungen oder kombiniert erfolgen, in Abhängigkeit von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten.

Zusätzlich zu den Hardwarekomponenten stellt die TUnIS Plattform eine Reihe modular aufgebauter Software-Applikationen zur Analyse, Dokumentation und Visualisierung bereit. Ein automatisches Reporting-System versendet in definierten Zeitintervallen grafisch aufbereitete Berichte. Ebenso steht ein Alarmmanagement-System zur Verfügung, welches die erfassten Sensordaten in Echtzeit mit hinterlegten Grenzwerten vergleicht. Werden dabei kritische Zustände erkannt, so können Meldungen, als Email, SMS oder innerhalb anderer Messagingsysteme, an verantwortliche Personen gesendet werden.

Als vollständiges Alarm- oder Frühwarnsystem kann TUnIS jedoch nur dann funktionieren, wenn ein Alarmplan existiert, der für jeden kritischen Fall Maßnahmen vorsieht, die der Krisenbewältigung dienen. Im Zuge der Projektbearbeitung stehen die VMT Ingenieure mit dem gesammelten Fachwissen aus 15-jähriger Projekterfahrung auch für derartige Consulting Aufgaben zur Verfügung.

Literaturverzeichnis

- BILL, R., NIEMEYER, F. und K. WALTER (2008): Konzeption einer Geodaten- und Geodiensteinfrastruktur als Frühwarnsystem für Hangrutschungen unter Einbeziehung von Echtzeit-Sensorik. In: GIS - Zeitschrift für Geoinformatik. 2008, Nr. 1, S. 26 - 35.
- BILL, R.; CAP, C.; KOFAHL, M.; MUNDT, T. (2004): Indoor and outdoor positioning in mobile environments – a review and some investigations on WLAN positioning. In: Geographic Information Sciences. Volume 10 2004, Nr. No. 2, S. 91 - 98.
- BORN, A., REICHENBACH, F., BILL R., TIMMERMANN D. (2008): Lokalisierung in Ad Hoc Geosensornetzwerken mittels geodätischer Ausgleichsrechnung. In: GIS, Zeitschrift für Geoinformatik. 2008, Nr. 1, S. 4 - 16.
- CLARKE-HACKSTON, N.; MESSING, M. and E. ULLRICH (2008): Geodetic Instrumentation for use on Machine Bored Tunnels; in: Ingensand, H. and W. Stempfhuber: Proceedings of the 1st International Conference on Machine Control and Guidance, June 24-26, 2008, ETH Zürich, Switzerland. ISBN: 978-3-906467-75-7
- HEUNECKE, O. (2008): Geosensornetze in der Ingenieurvermessung. Forum, Zeitschrift des Bundes der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure e. V., Heft 2, 34. Jahrgang, 2008, S. 357-364, ISSN 0342-6165 (nachgefragter Beitrag)
- PINK, S. (2007): Entwicklung und Erprobung eines multifunktionalen Geosensornetzwerkes für ingenieurtechnische Überwachungsmessungen. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr, Heft 8.