

# Echtzeitvernetzung von Referenzstationen – Ergebnisse des Projekts MULTINAV/MULTIPOS

Dipl.-Ing. Thomas Blumenbach  
Dipl.-Ing. Dirk Stöcker  
*Geodätisches Institut, TU Dresden*

19. März 2003

## 1 Einleitung

Beim Betrieb von Multisensor-Referenzstationen in einem Echtzeitnetzwerk treten Aspekte des Datenmanagements in den Vordergrund. Dieser Beitrag beschreibt die hard- und softwaretechnischen Anforderungen zum Aufbau einer solchen Infrastruktur. Am Geodätischen Institut der TU Dresden wurde im Rahmen des Projekts MULTINAV/MULTIPOS ein Konzept zur automatisierten Steuerung von Einzelsensoren aus den Bereichen GPS, GLONASS, EGNOS und Loran-C, entwickelt. Die darauf aufbauenden Auswertungs- und Integrationsalgorithmen arbeiten zentral oder lokal verteilt mit dem Ziel, neben den eigentlichen Daten auch stations- und netzbezogene Validierungsinformationen sowie Korrekturdaten in Echtzeit bereitzustellen. Das Gesamtsystem ermöglicht es, neue Ansätze in der Fehlermodellierung zu realisieren.

## 2 Entwicklung einer Multisensor-Referenzstation

### 2.1 Anforderungen

Grundlage für die Integration verschiedener Datenströme ist das Vorhandensein entsprechender Hard- und Software zur Ansteuerung der Sensorik sowie zur Prüfung, Weiterleitung, Speicherung und Auswertung der Daten. Deshalb sollen zuerst die Anforderungen an eine Multisensor-Referenzstation bzw. ein Netzwerk aus solchen

Stationen zusammengestellt werden. Das Konzept sieht folgende Eckpunkte vor:

- Echtzeitfähigkeit
- Rechner-Plattformunabhängigkeit
- strenge Trennung der Funktionalität durch Modularisierung
- Dezentralisierung auf verteilte Hardwareressourcen
- einheitliche Zeitreferenz
- flexibles universelles Austauschformat für alle Daten
- Erweiterbarkeit

Die Mehrzahl heute gebräuchlicher Messgeräte besitzt serielle Schnittstellen zur Steuerung und Datenübertragung. Deshalb kann eine Multisensor-Referenzstation im einfachsten Fall aus einem PC mit entsprechender Anzahl Schnittstellen und einer Steuerungssoftware, auch Gerätetreiber genannt, bestehen. Für eine zentrale Datenerfassung ist die Anbindung des Rechners an ein Netzwerk, z.B. an das Internet erforderlich.

Abbildung 1 zeigt das Funktionsprinzip einer einzelnen Referenzstation. Im Mittelpunkt steht dabei ein PC, vorzugsweise mit einem *Linux*-Betriebssystem. Die Software zur Steuerung der Sensorik und zur Datenspeicherung ist auf mehrere Module aufgeteilt. Das Hauptmodul (der sog. Multiplexer) sorgt dafür, dass zentrale Funktionen zur Steuerung, Datenumsetzung, Nutzerverwaltung, Fehlerprotokollierung usw. zur Verfügung stehen.

Die Gerätetreiber sind Programmmodule, die speziell auf jeden einzelnen Sensor angepasst sind.

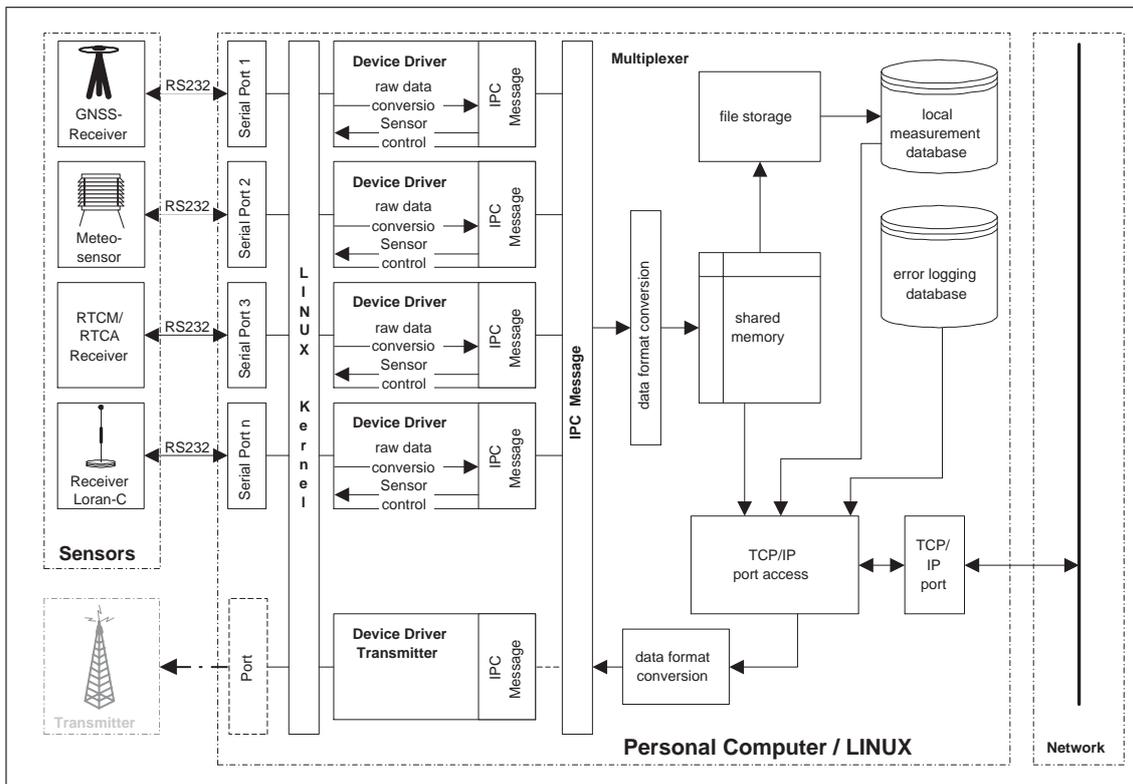


Abbildung 1: Funktionsweise einer Multisensor-Referenzstation

Dadurch ist eine Unabhängigkeit von Fremdsoftware, die sich zumeist als "black box" präsentiert, gewährleistet. Durch eigene Gerätetreiber wird sichergestellt, dass die Sensorfunktionalitäten optimal genutzt werden können. Bei der Sensorauswahl sind deshalb solche Geräte zu bevorzugen, deren Softwareschnittstelle vom Hersteller ausreichend gut beschrieben ist.

Um die Vorteile von *Linux* in Bezug auf Multi-Programmbetrieb zu nutzen, arbeiten die Gerätetreiber als eigene Systemprozesse. Damit ist eine quasi gleichzeitige Bedienung aller Schnittstellen möglich. Die Gerätetreiber kommunizieren über die systemeigenen IPC-Mechanismen mit dem zentralen Multiplexer-Modul. Die Daten werden in einen "shared memory"-Bereich im Hauptspeicher des PCs abgelegt, sodass zentral darauf zugegriffen werden kann. Der Vorteil eines gemeinsam benutzten Speicherbereichs gegenüber der Datenspeicherung direkt in einer Datei ist der deutlich schnellere Zugriff auf Einzelmessungen. Das Multiplexermodul sorgt selbst dafür, dass in Zeiten mit geringer Systemauslastung Daten- und Protokolldateien auf den Datenträger gebracht werden.

## 2.2 Zentrale vs. dezentrale Datenhaltung

Es ist nicht zuletzt eine Kostenfrage, wie Referenzstationsnetze aufgebaut und betrieben werden. Der in Abbildung 1 dargestellte Referenzstationsrechner muss sich nicht notwendigerweise direkt auf der Station befinden. Mit Hilfe von *Serial-Port-Servern* ist es möglich, serielle Verbindungen über TCP/IP zu realisieren. Der Rechner würde sich dann in einer Datenzentrale befinden und über einen Netzwerkanschluss mit dem *Serial-Port-Server* auf der Referenzstation verbunden sein. Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile, wie Tabelle 1 zeigt.

Die entwickelte Referenzstationssoftware ist durch ihr modulares Konzept in der Lage, beiden Philosophien gerecht zu werden. Die Applikationen sind auf die vorhandene Rechenleistung skalierbar. Da sämtliche Module über TCP/IP-Schnittstellen miteinander kommunizieren können, ist es nicht notwendig, logisch zusammengehörige Module auch physikalisch auf ein und derselben Maschine arbeiten zu lassen.

	dezentrale Variante	zentrale Variante
Datensicherheit	Daten lokal gespeichert, nach Ausfall der Internetverbindung abrufbar (Post-Prozessing)	Daten sind bei Ausfall der Internetverbindung verloren
Wartungsaufwand	relativ hoch, da Rechner und USV vor Ort installiert sind	relativ gering, da alles im Rechenzentrum installiert ist
Rechenleistung	gering, da nur wenige Sensoren gesteuert werden müssen. Die Rechenleistung ist auf alle Stationen verteilt.	hoch, da alle Sensoren des Netzes zentral gesteuert werden
Validierung	kann z.T. bereits auf der Einzelstation durchgeführt werden	muss im Rechenzentrum erfolgen (erfordert entsprechende Rechenkapazität)

Tabelle 1: Vergleich von zentraler und dezentraler Datenhaltung für Referenzstationsnetze

### 3 Vernetzung von Einzelstationen

#### 3.1 Netzweise Validierung und Modellierung

Die Datenströme der einzelnen Stationen werden in eine Zentrale gelenkt. Die Ergebnisse der bereits auf der Referenzstation durchgeführten Validierungen liegen vor Ort dann ebenfalls vor. Durch die Vernetzung können nun weitere Validierungsschritte unternommen werden. Für ein Netz aus GPS-Sensoren z.B. werden alle Mehrdeutigkeiten zwischen benachbarten Stationen festgesetzt. Aus den Doppeldifferenzresiduen können dann Phasenmehrwegkorrekturen für die Einzelmessung auf der Einzelstation abgeleitet werden. Weiterhin können durch flächenhafte Interpolation berechnete Korrekturwerte generiert und über geeignete Übertragungskanäle zum Nutzer gesendet werden.

#### 3.2 Der Korrekturdatenfluss

Am Beispiel von GPS soll das prinzipielle Vorgehen auf der Referenzstation erläutert werden. Die Einzelstation mit dem/den GPS-Sensor(en) berechnet kontinuierlich Korrekturdaten. Gleichzeitig werden die vorprozessierten und validier-

ten Messwerte an eine Rechenzentrale übermittelt. Diese ist aufgrund der Vielzahl räumlich verteilter Stationen in der Lage, flächenhafte Korrekturen zu bestimmen, Mehrwegeeffekte zu eliminieren und netzweite Integritätsinformationen zu berechnen. Die so aufbereiteten Daten werden zur Einzelstation zurückgesendet.

In der Bildmitte von Abbildung 3 ist ein Abfrageprozess zu finden, der den Korrekturdatenstrom zum Transmitter in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Netzdaten umschaltet. Hier wird ein Vorteil des Konzepts mit verteilter Rechenintelligenz deutlich. Tritt eine Netzwerkstörung auf, kommt es nicht sofort zum Ausfall der Korrekturdatenaussendung. Nur die Informationen, die vom Netzwerk kommen, sind nicht mehr verfügbar. Die Station kann im Einzelbetriebsmodus stabil weiterarbeiten.

### 4 Das Datenübertragungsformat

Die von verschiedenen Herstellern benutzten Datenformate sind als Format für ein Multisensorsystem nicht geeignet. Die Formate sind meist an die jeweilige Hardware direkt angepasst und ändern sich teilweise sogar, wenn ein neues Gerät des gleichen Herstellers genutzt wird.

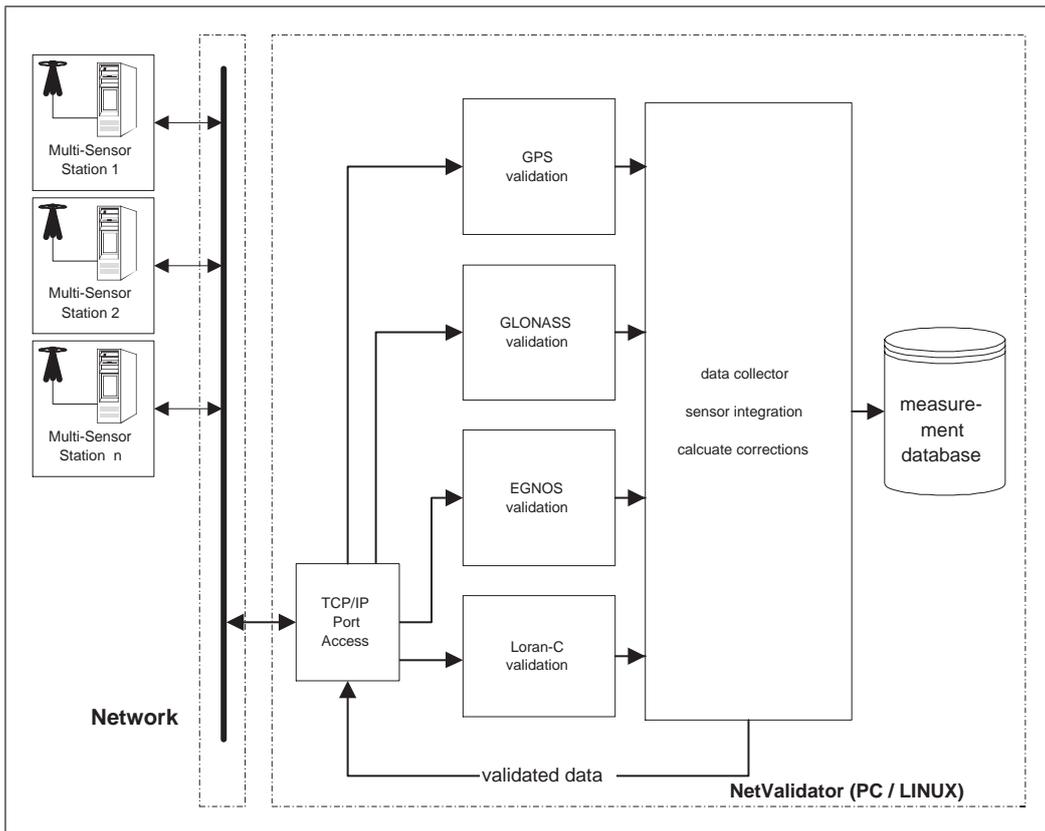


Abbildung 2: Zentrale zur Validierung und Integration von Multisensorstationen

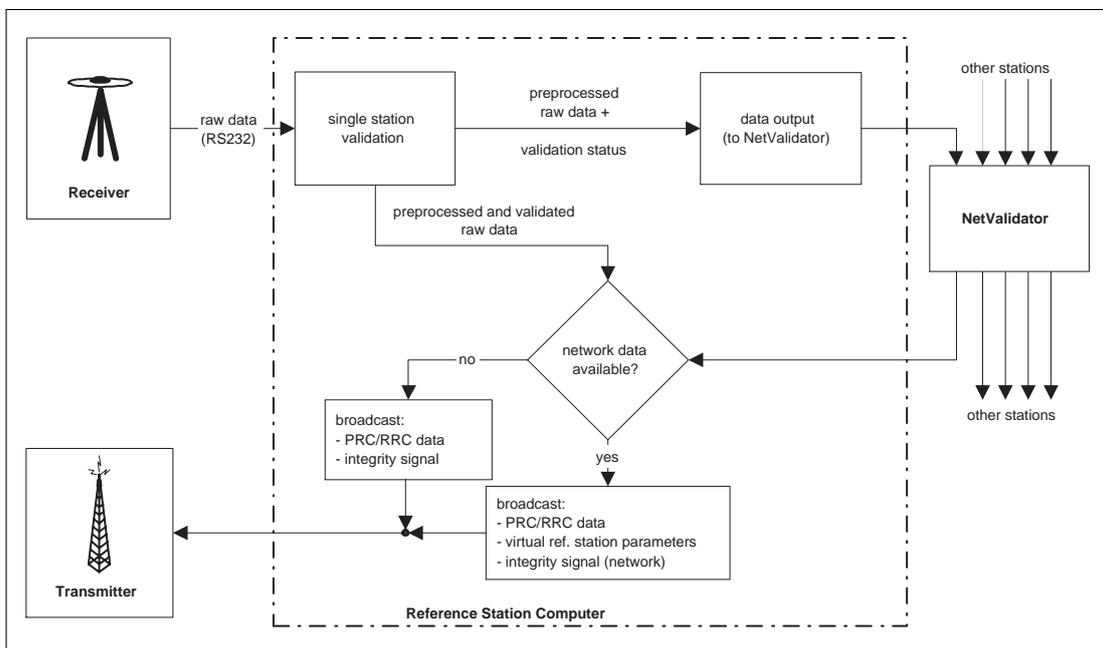


Abbildung 3: Datenfluss auf der Referenzstation unter Berücksichtigung der Vernetzung

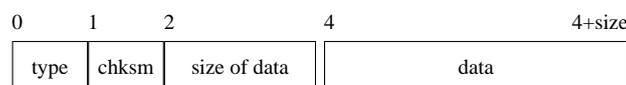


Abbildung 4: Struktur des MULTINAV Binärdatenformats mit Kopf- und Datenteil

Auch die momentan verfügbaren unabhängigen Austauschformate sind nur bedingt geeignet, da sie auf einen Sensor (RINEX-Format z.B. auf GPS/GLONASS) zugeschnitten sind. Folgende Anforderungen sind also an das Datenformat zu stellen:

- Integration aller verwendbaren Sensoren in einem Format,
- Einfache Erweiterbarkeit bei neuen Sensoren,
- Anlehnung an existierende und bewährte Datenformate, um eine einfache Konvertierung zu ermöglichen und die Umsetzung der Algorithmen zu vereinfachen,
- Identische Datenformate für Echtzeitbearbeitung und Post-Prozessing,
- Zeitstempel für jeden Datenblock

Abbildung 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau des gemeinsamen Datenformats. Das Format ist ein Binärdatenformat und erlaubt somit bessere Ausnutzung der Speicher- und Übertragungskapazität als Text-Formate wie z.B. RINEX. Die Daten werden in logische Blöcke gruppiert. Jedem Block sind vier Byte Kopfteil vorangestellt. Das erste Byte dient zur Identifikation des Datentyps, gefolgt von einem Byte für eine 8-Bit Prüfsumme über den gesamten Block. Die nächsten zwei Byte enthalten die Größe des Datenteils. Daran schließen sich die eigentlichen Daten an, die sensorspezifisch codiert sind.

Somit ist ein Datencontainer geschaffen, der bis zu 255 verschiedene Datentypen mit Blocklängen bis maximal 65535 Byte beinhalten kann. Das Format ist beliebig erweiterbar, denn ältere Module, die den Datentyp eines neueren Blocks nicht kennen, überspringen einfach die entsprechend angegebene Anzahl Bytes. Dieser Mechanismus erlaubt eine Selektierung von benötigten und nicht benötigten Datenpaketen schon bei der Datenanforderung von anderen Modulen.

Das Format wird nicht nur zur Echtzeitübertragung verwendet. Alle empfangenen Daten werden ebenfalls in diesem Format gespeichert. Die Eingangsschnittstelle der Prozessiermodule ist so ausgelegt, dass beliebige Datenströme in Echtzeit vom Sensor oder auch im Post-Prozessing aus Dateien verarbeitet werden kön-

nen. Dieses Verfahren ist in Zusammenspiel mit o.a. Zeitstempel die Grundlage für Modellierung und Fehleranalyse von Echtzeitprozessen.

## 4.1 Gemeinsame Zeitbasis, einheitlicher Zeitstempel

Sensoren, wie z.B. GPS und GLONASS nutzen unterschiedliche Zeitsysteme. Für die Sensorintegration ist es deshalb erforderlich, eine gemeinsames Referenzzeitsystem festzulegen. Im Rahmen des Projekts erschien es am sinnvollsten, dafür das GPS-Zeitsystem zu nutzen. Im Datenformat ist für jeden erzeugten Block ein Zeitstempel integriert, der den Moment der Datenerfassung wiedergibt. Das ist z.B. für Post-Prozessing von RTCM-Daten nötig, denn der RTCM-eigene Zeitstempel ist nur innerhalb einer Stunde eindeutig.

Jeder angeschlossene Rechner wird permanent über das NTP-Protokoll mit der von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig bereitgestellten UTC-Zeit synchronisiert. Mit einem Zeitstempel (Rechnersystemzeit) im Datenblock kann die Laufzeit des Blocks über die gesamte Übertragungskette bestimmt werden. Damit ist ein Mechanismus zur experimentellen Bandbreitenbestimmung vorhanden.

Die GPS-Systemzeit ist als Zeitbasis für Berechnungen sinnvoll, da GPS-Zeit der normal genutzten UTC-Zeit entspricht (beide sind von TAI abgeleitet) jedoch nicht die in UTC vorhandenen Schaltsekunden aufweist. Umrechnungen der Zeitsysteme sind bei bekannter Anzahl von Schaltsekunden kein Problem, so dass im Datenformat von MULTINAV auch UTC-Zeitstempel verwendet werden.

## 5 Zusammenfassung

Das vorgestellte Konzept zur Vernetzung von Multisensor-Referenzstationen wurde hard- und softwareseitig umgesetzt. Es entstand eine komfortable UNIX/Linux-fähige Referenzstationssoftware. Dabei kam die dezentrale Variante zur Steuerung der Sensoren zum Einsatz. Neben

dem permanenten Empfang von GPS, GLONASS und EGNOS werden für wissenschaftliche Untersuchungen auch RTCM-Korrekturdatenströme kommerzieller Anbieter aufgezeichnet und auf ihre Qualität und Integrität untersucht. Erfolgreich eingesetzt wurde das System für Experimente zum Thema Differential-Loran-C.

Zur Visualisierung von Datenströmen entstand eine plattformunabhängige graphische Oberfläche. Diese kann über das TCP/IP-Protokoll mit den Stationsrechnern oder der Rechenzentrale Verbindung aufnehmen und sämtliche Daten, Korrekturen, Zustandsinformationen am Bildschirm präsentieren.

Weitere Arbeiten werden in Richtung Modellierung/Modellerweiterung gehen. Hier sollen die bereits im Post-Prozessing erfolgreich durchgeführten Mehrwegekalibrierungen echtzeitfähig implementiert werden.