swisstopo

Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'

Bericht 19
2006

Urs Wild
Simon Grünig
René Hug

2006

Teil 11:
Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Stationsnetz und Positionierungsdienste

© 2006 **swisstopo**
Bundesamt für Landestopographie
Office fédéral de topographie
Ufficio federale di topografia
Uffizi federal da topografia
Federal Office of Topography
Seftigenstrasse 264
3084 Wabern

Redaktion: A. Wiget
Postfach, CH-3084 Wabern
Tel: +41 31 963 22 80
Fax: +41 31 963 24 59
E-mail: adrian.wiget@swisstopo.ch
Auflage: 300 Exemplare

ISBN alt: 3-302-10003-5
ISBN neu: 978-3-302-10003-6

---

swisstopo Doku ist die Nachfolgeserie der Reihe "Berichte aus der L+T" in welcher über die wichtigen Arbeiten aus den Bereichen von swisstopo berichtet wird.
swisstopo Doku est la suite de la série "Berichte aus der L+T", qui décrivent les projets et activités les plus importants de swisstopo.
swisstopo Doku is the follow-up of the series "Berichte aus der L+T" in which important projects and activities of swisstopo are described.

Inhaltsverzeichnis:

Vorwort **1**

1 Einleitung **3**

2 Projekt "Automatisches GPS-Netz Schweiz" (AGNES) **5**

2.1 Vorgeschichte 5
2.2 Bedarfsanalyse und Zielkatalog 6
2.3 Organisation des Projekts und Zeitplan 9
2.4 Ablauf und Ergebnisse 10
2.4.1 Projektantrag 10
2.4.2 Vorstudie 10
2.4.3 Hauptstudie 11
2.4.4 Realisierung 12
2.4.5 Dokumentation und Überführung in operationellen Betrieb 13
2.4.6 Abschluss 13
2.5 Betrieb und Unterhalt 13
2.6 Finanzen 13

3 Technische Beschreibung von AGNES **15**

3.1 AGNES-Stationen 15
3.1.1 Standorte und Klassierung 15
3.1.2 AGNES-Netzoptimierung 17
3.1.3 Beschreibung Hard- und Software 17
3.1.4 Koordinaten der AGNES-Stationen 22
3.1.5 Rückversicherung und Anschluss der AGNES-Stationen an die Landesvermessung 24
3.2 Datenfluss und Datenformate 26
3.3 AGNES/swipos-Zentrale 27
3.3.1 Kommunikationsserver 28
3.3.2 RTK-Server 28
3.3.3 Access-Server 32
3.3.4 Web-Server 33

4 Swiss Positioning Service (swipos) **35**

4.1 Einleitung 35
4.2 Datenübermittlung 36
4.2.1 Datenformat 36
4.2.2 Datenübertragung 37
4.3 Erweiterung D-A-CH 39
4.4 Dienste und Anwendungen 40
4.4.1 swipos-NAV 40
4.4.2 swipos-GIS/GEO 40
4.5 Performance 42

5 Spezialanwendungen **45**

5.1 Photogrammetrie 45
5.2 Topografie 46

6 Ausblick **49**

6.1 Netzoptimierung und -erweiterung 49
6.2 Zukünftige Entwicklung 49

Abkürzungsverzeichnis und Glossar **51**

Literaturverzeichnis **55**

Anhänge

Anhang A1: Verzeichnis der AGNES-Stationen
Anhang A2: Dokumentation der AGNES-Stationen

Vorwort

Die neue Landesvermessung (LV95) wurde in den letzten Jahren zu einem sehr umfassenden Werk, welches mit dem strategischen Entscheid des Bundes, eine neue Nationale Geodateninfrastruktur (NGDI) aufzubauen, zusätzlich an Bedeutung gewonnen hat. Aus der ursprünglichen, zeitlich befristeten Projektarbeit "LV95" wurde eine kontinuierliche Weiterentwicklung mit einer Vielzahl von Zielsetzungen. Ausser dem ursprünglich im Vordergrund stehenden GPS-Landesnetz (LV95), welches zwischen 1989 und 1995 rasch vollendet werden konnte, wurden weitere Arbeiten für den Aufbau eines Landeshöhennetzes (LHN95) und eines neuen Geoidmodells aufgenommen.

Visionen für ein aktives Netz von Permanentstationen, welches die cm-genaue Positionierung in Echtzeit im ganzen Land ermöglichen sollte, entstanden schon in den Anfängen der GPS-Positionierung. Den Durchbruch für die Realisierung dieser Konzepte ermöglichte aber erst die boomende Kommunikationstechnologie, welche in absehbarer Zeit einen landesweit fast flächendeckenden Empfang der Referenzdaten in Aussicht stellte. Als Basis für die Realisierung eines solchen präzisen Positionierungsdienstes sollte das Automatische GPS-Netz Schweiz (AGNES) dienen, dessen Aufbau von der schon seit Jahren bestehenden Permanentstation Zimmerwald aus gehen sollte. AGNES wurde als "Multi-purpose Network" konzipiert und sollte neben der Echtzeit-Positionierung auch der Landesvermessung und verschiedenen wissenschaftlichen Zwecken (z.B. der Bestimmung von Bewegungen der Erdkruste) dienen. Damit wurde AGNES von Anfang an als wichtiger Bestandteil der neuen Landesvermessung (LV95) betrachtet und aus den ordentlichen Krediten der Landesvermessung finanziert. Dass diese Sichtweise richtig war, erkennt man daraus, dass AGNES und die darauf basierenden Positionierungsdienste (swipos) heute als nationale Infrastruktur für die Realisierung der einheitlichen Bezugsrahmen der Landesvermessung (CHTRS95 und CH1903+) und damit als Basis zum Aufbau der NGDI dienen. Mit der Erweiterung nach Deutschland und Österreich (D-A-CH) wird auch der cm-genaue Bezug über die Landesgrenze hinaus realisiert.

swipos wurde in den Anfängen eher als kommerziell ausgerichtetes Produkt des 'Service Public' ausserhalb der Produktgruppe der Landesvermessung angesehen. Auf Grund der neuen gesetzlichen Grundlagen der Landesvermessung (BV Art. 75a und Entwurf zum GeoIG) wird dieser Dienst inzwischen als Geobasisdienst der Landesvermessung betrachtet. Damit wird auch dieser zu einem Teil des umfassenden neuen "Landesvermessungswerkes 1995 (LVW'95)". Für eine umfassende Darstellung des LVW'95 und eine detaillierte Beschreibung seiner Bestandteile sei auf den Teil 14 der vorliegenden Publikationsreihe 'Aufbau der neuen Landesvermessung (LV95)' verwiesen.

Dem Team 'Positionierungsdienste und Information' von swisstopo und seinem Leiter Dr. Urs Wild danke ich für die beispielhafte Pionierarbeit beim Aufbau von AGNES und bei der Realisierung des in Hinsicht auf seine Performance hervorragenden Positionierungsdienstes und nicht zuletzt für die vorliegende, gelungene Dokumentationsarbeit.

Wabern, 8. März 2006

Bereich Geodäsie

Dr. Dieter Schneider

Leiter

1 Einleitung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Entwicklungsarbeiten für den Aufbau des Automatischen GPS-Netzes Schweiz (AGNES). Er umfasst einen Zeitraum von beinahe 10 Jahren. Die Vermittlung eines einheitlichen Bildes von AGNES ist daher nicht ganz einfach, da sich die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen laufend verändert haben.

Im Kapitel 2 wird AGNES im Sinne des Projekts beschrieben, wobei die Vorgeschichte und die einzelnen Phasen des Projekts dargestellt werden. Zeitlich wird damit der Zeitraum zwischen 1996 und 2001 abgedeckt. Das Kapitel gibt einen Überblick über die wichtigsten Etappen und Resultate beim Aufbau von AGNES. Zudem werden auch die finanzielle Seite des Projekts, sowie der Betrieb und Unterhalt von AGNES kurz gestreift.

Das Kapitel 3 richtet sich an den technisch interessierten Leser, welcher Näheres über die Details der AGNES-Stationen und der AGNES/swipos–Zentrale erfahren möchte. Beschrieben wird der aktuelle technische Stand von AGNES (Stand Ende 2005), wodurch sämtliche neueren technischen Entwicklungen (z.B. Positionierungsdienste über Internet) seit dem Projektabschluss im Jahre 2001 ebenfalls noch berücksichtigt werden konnten.

AGNES wurde von Beginn an als multi-funktionales Referenznetz konzipiert, welches für Anwendungen in der Landesvermessung, Wissenschaft (Atmosphäre und Geodynamik) und als Basis für Echtzeit-Positionierungsdienste verwendet werden kann. Im vorliegenden Bericht werden im Kapitel 4 die Positionierungsdienste, welche unter dem Namen Swiss Positioning Service (swipos) angeboten werden, näher beschrieben. Die Anwendungen von AGNES in der Landesvermessung und in der Wissenschaft werden im Bericht Nr. 23 der Reihe swisstopo-Doku beschrieben.

Im Kapitel 5 werden kurz zwei swisstopo-interne Spezialanwendungen von AGNES beschrieben. Die Daten der AGNES-Stationen werden einerseits für die präzise Positionierung des Vermessungsflugzeugs für photogrammetrische Luftaufnahmen zur Kartennachführung, andererseits aber auch für die Korrektur der Koordinaten der von den Topographen im Feld mittels GPS erfassten Kartenelemente verwendet.

Der Ausblick im Kapitel 6 zeigt mögliche Weiterentwicklungen von AGNES auf, wobei Entwicklungstendenzen bei den Satellitensystemen, bei der Hard- und Software der Stationen und der Zentrale, sowie bei den Positionierungsdiensten dargestellt werden.

2 Projekt "Automatisches GPS-Netz Schweiz" (AGNES)

2.1 Vorgeschichte

Die modernen Methoden der Satellitengeodäsie erlauben seit den frühen 90er-Jahren in der Landesvermessung die rationelle Messung geodätischer Referenznetze bei gleichzeitiger Einbindung in weltweite Bezugssysteme.

Das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) hat die Zeichen der Zeit früh erkannt und bereits 1989 mit der Erstellung einer neuen satellitengestützten Landesvermessung LV95 begonnen [Gubler et al., 1996]. Nach der Fertigstellung von LV95 steht nun erstmals für die Schweiz ein geodätisches Grundlagennetz von ca. 200 Punkten mit einer homogenen Genauigkeit (1 Sigma) von ca. 1 cm in der Lage und 2-3 cm in der Höhe zur Verfügung. LV95 stellt den idealen einheitlichen Bezugsrahmen für sämtliche modernen Navigations- und Vermessungsanwendungen dar. Swisstopo ist bestrebt, die Anwendung von LV95 für alle Vermessungen in der Schweiz zu fördern.

Abgesehen davon, dass das GPS-Landesnetz mit modernen Methoden der Satellitengeodäsie gemessen worden ist, stellt es nach wie vor ein konventionelles geodätisches Grundlagennetz dar. Dem Benutzer wird ein dreidimensionales Punktfeld mit gut zugänglichen, stabil und dauerhaft versicherten Referenzpunkten zur Verfügung gestellt. Neben der Punktdokumentation stehen für jeden Punkt genaue und zuverlässige 3D-Koordinaten und zugehörige stochastische Informationen (Kovarianzen) sowie in Zukunft kinematische Parameter (Geschwindigkeitsfeld), welche die zeitlichen Veränderungen dieser Koordinaten beschreiben, zur Verfügung.

Mit dem Aufkommen moderner GPS-Auswertetechniken und Telekommunikationsmittel wurden aber auch andere Wege der Bereitstellung von geodätischen Bezugsrahmen denk- und machbar. Ein Netz von permanent betriebenen GPS-Stationen, deren Daten entweder off-line (klassische GPS-Auswertung) oder on-line (Differential GPS [DGPS] bzw. Real-time Kinematic [RTK]) angeboten werden, bildet ebenfalls einen Weg, den geodätischen Bezugsrahmen dem Benutzer zur Verfügung zu stellen. Die permanenten GPS-Stationen können dabei als 'aktive Kontrollpunkte' angesehen werden.

Das Konzept eines permanenten GPS-Betriebs wurde im grossen Massstab seit 1992 durch den International GPS Service for Geodynamics (IGS) angewendet [IGS, 1995]. Durch den permanenten Betrieb konnte die Genauigkeit und die Wiederholbarkeit der Lösungen im Vergleich zu den früheren Jahren, in denen vereinzelte, zeitlich begrenzte GPS-Kampagnen durchgeführt worden waren, erheblich gesteigert werden. Der IGS hat damit auch wesentlich zur Verbesserung der globalen Bezugsrahmen (ITRFyy) beigetragen. Im globalen und europäischen Rahmen sind heute tägliche Wiederholbarkeiten der Basislinienlängen über mehrere tausend Kilometer im Bereich weniger Millimeter an der Tagesordnung.

Auch in der Landesvermessung wurde überall auf der Welt die Bedeutung permanenter GPS-Netze in zunehmender Weise erkannt. Zu den Pionieren gehörten:

- AGRS-NL (Niederlande)
  Aktives GPS Reference System für die Niederlande [http://www.agrs.nl]
- Canadian Active Control System (CACS)
  Netz von 12 sog. ACP's (Active Control Points), die aus permanenten GPS-Stationen bestehen, welche ihre Daten für die unterschiedlichsten Anwendungen zur Verfügung stellen (on-line und off-line) [http://www.geod.nrcan.gc.ca/network_p/index_e.php]
- SAPOS (Deutschland)
  Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (AdV = Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland) [Hankemeier, 1995]
- SWEPOS (Schweden)
  Netz von 20 GPS-Permanentstationen, die für die Landesvermessung und als Referenzstationen für einen landesweiten DGPS-Dienst verwendet werden [Hedling und Jonson, 1995]

Die modernen GPS-Messverfahren, wie z.B. RTK, erlauben es dem Vermessungsfachmann, auch in Zukunft der steigenden Nachfrage nach raumbezogenen Daten in wirtschaftlicher Art und Weise nachzukommen. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass durch den Einsatz der modernen Messmethoden viele Vermessungsarbeiten auch von branchenfremden Berufsleuten realisiert werden können. Gerade deshalb aber ist es wichtig, dass sich die Vermessungsfachleute den neuen Technologien stellen, kompetent auftreten und durch die Bereitstellung des Bezugsrahmens (Referenzpunkte mit Koordinaten) in

einer modernen Art und Weise mithelfen, dass sämtliche Datenerfassungsarbeiten in einem einheitlichen Bezugssystem durchgeführt werden können.

Einen ersten Schritt in diese Richtung hat swisstopo bereits 1996 mit dem Pilotprojekt eines DGPS-Dienstes [Bühlmann, 1998] unternommen. Dabei wurden die auf der Geostation Zimmerwald berechneten Korrekturdaten über UKW/RDS zum DGPS-Benutzer übertragen, welcher mit diesem Verfahren Genauigkeiten von wenigen Metern erreichen konnte. Hauptanwendungsgebiete dieses DGPS-Dienstes waren Navigationsanwendungen aller Art sowie die Datenerfassung im GIS-Bereich.

Um diese modernen Messverfahren auch in der Vermessung gesamtschweizerisch wirtschaftlich einsetzen zu können, entstand die Idee für das Projekt "Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES)" [Wild und Wiget, 1995 und Wild et al., 1998].

2.2 Bedarfsanalyse und Zielkatalog

Als Grundlage für die Erstellung des Projektantrags wurde 1995/96 für die folgenden Bereiche eine Bedarfsanalyse durchgeführt:

- Landesvermessung
- Umstellung der AV auf LV95
- Wirtschaftlichkeit im Vermessungswesen
- Steigender Bedarf nach raumbezogenen Daten / Datenerfassung GIS
- Navigation / Flottenmanagement / Sicherheitsaufgaben
- Grundlagenvermessung für grosse Ingenieurprojekte (BAHN2000, AlpTransit etc.)
- Monitoring (z.B. automatische Überwachung von Rutschhängen)
- Forschung

Landesvermessung:
Mit LV95 liegt die Genauigkeit der Landesvermessung heute in einem Bereich, in dem die Koordinaten der einzelnen Punkte langfristig nicht mehr als statisch angenommen werden können, sondern als Funktion der Zeit betrachtet werden müssen. Aus diesem Grund wurde in der Definition des Referenzsystems CHTRS95 [Schneider et al., 2001] auch ein kinematisches Modell (CHKM95) vorgesehen. Die Bestimmung dieses kinematischen Modells, bei dem in erster Näherung sämtliche Individualgeschwindigkeiten der Punkte gleich Null zu setzen sind, ist eine Aufgabe, die nur mit einem Permanentnetz kontinuierlich und mit der nötigen Genauigkeit erfüllt werden kann. Durch langfristige permanente Messungen lassen sich die kleinsten Verschiebungen zwischen den AGNES-Stationen signifikant feststellen.

Ein Permanentnetz wird in absehbarer Zeit nicht die Dichte des aus ca. 200 Punkten bestehenden LV95-Netzes erreichen. Für eine detailreichere Analyse der rezenten Krustenbewegungen in der Schweiz wird daher das LV95-Netz in periodischen Abständen von einigen Jahren bis zu einem Jahrzehnt nachzumessen sein, wodurch Zeitreihen von Koordinatensätzen (CHTRFyy) entstehen werden. Dank den Permanentstationen werden diese Wiederholungsmessungen jedoch wesentlich wirtschaftlicher realisiert werden können [Brockmann et al., 2004]. Schliesslich wird dadurch die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des (aus beiden Netzen) geschätzten kinematischen Modells erhöht.

Umstellung der AV auf LV95:
Im Vorschlag der Arbeitsgruppe AV/LV95 der V+D und von swisstopo zur Anwendung von LV95 in der AV [Ammann et al., 1995] wird eine Verdichtung des GPS-Netzes LV95 durch 100 Verdichtungspunkte sowie die Bestimmung (einiger hundert) zusätzlicher Transformationsstützpunkte (TSP) zur Verdichtung der Dreiecksvermaschung vorgeschlagen. Dank dem so entstehenden Netz von Punkten, welche sowohl im alten Bezugsrahmen (LV03) wie auch im neuen (LV95) bestimmt sind, kann eine Transformation nach der Methode der finiten Elemente (Programm FINELTRA) für den Übergang zwischen den beiden Bezugsrahmen angesetzt werden. Mit AGNES kann die Verdichtung von LV95 wesentlich rationeller durchgeführt werden.

Wirtschaftlichkeit im Vermessungswesen:
Der Druck auf das Vermessungswesen, effizientere und kostengünstigere Verfahren und Messmethoden einzusetzen, kommt sowohl von Seiten der öffentlichen Verwaltung wie auch von privaten Auftraggebern. Im Bereich der AV wurde 1996 die Situation durch die Expertenkommission "Effizienz, Kosten und Termine der Amtlichen Vermessung" neu beurteilt, welche in den "althergebrachten Abläufen und Strukturen erhebliche

Einsparungsmöglichkeiten erkannt" hat [Bieri et al., 1996]. Im Ingenieurvermessungsbereich, insbesondere in den weniger anspruchsvollen Sparten der reinen Datenerhebung im dm- und m-Bereich, wird den eigentlichen Vermessungsbüros vermehrt auch die Konkurrenz durch branchenfremden Berufsleute zu schaffen machen. Benutzer von Geografischen Informationssystemen (GIS) gehen oft dazu über, ihre Grundlagen selber zu erheben, was ihnen dank der neuen technologischen Methoden, welche effizient und benutzerfreundlich sind, leichter möglich ist. Denn die "Kunst des Vermessens" verliert gegenüber der Innovations- und Investitionsfreude in vielen Anwendungen an Bedeutung. Damit steigt allerdings auch die Gefahr von Insellösungen mangelhafter Qualität.

Steigender Bedarf an raumbezogenen Daten:
Die Bedürfnisse (rasch, flächendeckend und kostengünstig) an die Verfügbarkeit von Grundlagedaten (Georeferenzdaten) haben stark zugenommen [Ammann et al., 1995]. Mit den modernen Möglichkeiten der Verarbeitung und Verwaltung statistischer und grafischer raumbezogener Daten sowie deren Visualisierung nimmt die Bedeutung des geographischen Bezugs zu. Im Gemeindewesen (Leitungskataster, Verkehrs- und Infrastrukturplanung, Rettungswesen etc.) werden zunehmend grosse Mengen raumbezogener Daten mit GIS auf EDV-Systemen erfasst. Zudem werden für Überwachungsaufgaben (z.B. im Rettungswesen) immer mehr on-line und Echtzeitverfahren gefordert. Da die (oft im Feld noch zu erhebende) Datenmenge für solche Anwendungen meist sehr gross ist, sind effiziente Arbeitsmethoden bei deren Erfassung für den Anbieter entscheidend, um konkurrenzfähig offerieren zu können. Und nicht zuletzt besteht in Anbetracht des Gesamtvolumens dieser Arbeiten auch ein volkswirtschaftliches Interesse (im Sinne der wirkungsorientierten Verwaltung) für kostengünstige Lösungen.

Navigation / Flottenmanagement / Sicherheitsaufgaben:
Im Bereich der Navigation werden die Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des DGPS-Dienstes von swisstopo zunehmen. Diesen Aspekten wird in vielen Einsatzgebieten, z.B. im Flottenmanagement, Sicherheits- und Rettungswesen, wohl sogar die höchste Priorität zukommen. Indem die Korrekturdaten (Pseudorange-Korrektionen) verschiedener GPS-Stationen kombiniert werden, kann ein sog. Wide Area DGPS (WADGPS) aufgebaut werden, welches genauer, insbesondere aber auch zuverlässiger funktioniert. Die kürzeren Distanzen vom Benutzer zur nächstgelegenen GPS-Referenzstation werden zudem den direkten Einsatz neuer 'real-time kinematic' (RTK)-Anwendungen ermöglichen, bei denen (in Echtzeit) Genauigkeiten im cm-Bereich möglich sind. In diesem Genauigkeitsbereich findet somit eine Verwischung der Grenzen zwischen Navigation und Vermessung statt.

Beim RTK-Verfahren werden von einer GPS-Referenzstation GPS-Rohdaten (Phase und Code) in einem standardisierten Format (RTCM) zum mobilen GPS-Empfänger über einen Kommunikationslink übertragen. Im mobilen Empfänger wird in Echtzeit (real-time) eine Phasenlösung der Basislinie zur GPS-Referenzstation berechnet. Im Rahmen einer Diplomarbeit der EPFL [Hagin, 1996] wurde bei swisstopo eine Machbarkeitsstudie für einen öffentlichen RTK-Dienst durchgeführt. Insbesondere wurde untersucht, mittels welcher Kommunikationsmittel die GPS-Messungen verbreitet werden sollen. Die maximale Distanz zwischen der GPS-Referenzstation und mobilem Empfänger war ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen. Die ersten Resultate waren damals viel versprechend (Genauigkeiten im cm-Bereich auf Basislinien von 20 – 30 km).

Im Bereich der off-line Navigation sei auch auf den Einsatz von AGNES-Stationen für die Bestimmung der Flugbahn des Vermessungsflugzeuges von swisstopo bei Photogrammetrieflügen hingewiesen. Durch den Einbezug der Daten der jeweils nächstgelegenen AGNES-Station bei der nachträglichen Auswertung kann die Genauigkeit der Bestimmung der Projektionszentren erheblich gesteigert werden. Die Auswertung der Photogrammetrieflüge für die Aerotriangulation erfolgt mir spezieller Software, welche die Auflösung der Phasenmehrdeutigkeiten 'on the fly' ermöglicht.

Forschung:
Neben der oben erwähnten Tektonik ergeben sich aus AGNES auch für die Atmosphärenforschung ergeben sich interessante Anwendungen. Der Wasserdampfgehalt der unteren Schichten der Atmosphäre beeinflusst die Laufzeit der GPS-Signale (sog. 'path delays'). Aus den Laufzeitverzögerungen können umgekehrt Rückschlüsse auf die atmosphärischen Bedingungen gezogen werden. Eine Studie zum Einfluss der Troposphäre auf einer Basislinie mit grosser Höhendifferenz wurde anlässlich des zweimonatigen Dauerbetriebs eines GPS-Empfängers auf dem Jungfraujoch durchgeführt [Wild et al., 1995].

Die aus den permanenten GPS-Beobachtungen berechneten 'zenith path delays' sind stark abhängig vom Wassergehalt der Troposphäre. Sie können ihrerseits mit entsprechenden Werten, die mittels anderer Messmethoden (z.B. aus den Daten der ANETZ-Stationen von MeteoSchweiz oder mittels Wasserdampf-

Radiometer [WVR]) bestimmt worden sind, verglichen werden. AGNES könnte hier in Zukunft eine interessante unabhängige Kalibriermethode darstellen. Zudem könnten die 'path delays' auch als Input für die Wettervorhersage dienen.

Die mit differentiellen Auswertemethoden erreichbaren Genauigkeiten erlauben auch den Zeittransfer im Subnanosekundenbereich. Der Zeittransfer in Echtzeit ist für Synchronisationsaufgaben z.B. im Bereich der Telekommunikation von grosser Bedeutung. Das Astronomische Institut der Universität Bern (AIUB) arbeitet im Bereich des hochgenauen GPS-Zeittransfers (Subnanosekundenbereich) mit dem Eidg. Amt für Messwesen (der heutigen Metrologie und Akkreditierung Schweiz, metas) zusammen. Für dieses Projekt werden geodätische GPS-Empfänger eingesetzt, die durch die Herstellerfirma speziell für die Bedürfnisse des Zeittransfers angepasst worden sind.

Ausgehend von der obigen Bedarfsanalyse in verschiedenen Anwendungsgebieten wurde für das Projekt AGNES der folgende Zielkatalog erstellt, wobei eine Unterteilung in allgemeine und spezifische Ziele vorgenommen wurde:

Allgemeine Ziele:

- AGNES bietet die Infrastruktur für eine zeitgerechte, wirtschaftliche und effiziente Navigation und Vermessung basierend auf satellitengestützten Methoden.
- AGNES wird als multifunktionales Referenznetz aufgebaut und ermöglicht flächendeckend in der gesamten Schweiz Navigations- und Vermessungsanwendungen in Echtzeit (Positionierungsdienste) in einem einheitlichen Bezugsrahmen.
- AGNES besteht aus der bezüglich Genauigkeit und Zuverlässigkeit optimalen Anzahl permanent betriebener Satelliten-Empfangsstationen, mindestens einer Kontrollstation zur Überwachung und Prozesssteuerung, der notwendigen Software und den erforderlichen Telekommunikationseinrichtungen.
- AGNES stützt sich auf GPS, GLONASS und allfällige zukünftige globale Satelliten Navigationssysteme wie z.B. Galileo (GNSS).
- Bei der Realisierung werden allgemein gültige Methoden und Standards (z.B. RTCM oder RINEX) soweit sinnvoll berücksichtigt.
- Den Benutzern von AGNES wird somit ein herstellerunabhängiger Zugang zu den Dienstleistungen gewährt.
- AGNES soll von swisstopo in enger Zusammenarbeit mit weiteren Partnern aus der Verwaltung, Forschung und Industrie aufgebaut und betrieben werden.
- Durch Abgeltung der Leistungen mit hoheitlichem Charakter über den Leistungsauftrag sowie der Erhebung von kostendeckenden Gebühren bei kommerziellen Dienstleistungen soll AGNES möglichst bald wirtschaftlich selbsttragend sein (Vollkostenrechnung).

Spezifische Ziele:

Geodäsie/Landesvermessung (LV)

- Durch Anschlüsse an Punkte der Landesvermessung LV95 wird mit AGNES eine effiziente Kontrolle des LV95-Bezugsrahmens einerseits und der leichte Zugang zu diesem Rahmen für den Benützer andererseits möglich.
- Die kontinuierlichen Beobachtungen erlauben langfristig einen grundlegenden Beitrag zur Bestimmung des kinematischen Modells CHKM95 für das schweizerische geodätische Referenzsystem CHTRS95.
- Integration von AGNES in internationale Netze (IGS, EUREF)

Amtliche Vermessung (AV)

- Die Verfügbarkeit mehrerer Referenzstationen trägt wesentlich zur rationellen Verdichtung von LV95 und zur Bestimmung zusätzlicher Transformationsstützpunkte (TSP) für die Verdichtung der Dreiecksvermaschung bei.
- Mit Hilfe von AGNES können regionale und lokale Vermessungen, insbesondere im Bereich der AV, rascher und kostengünstiger als bisher ausgeführt werden. Die Dienstleistungen umfassen verschiedene Stufen, von Echtzeit-Positionierungen mit cm-Genauigkeit bis zu hochpräzisen geodätischen off-line Anwendungen im Millimeterbereich. Dank dem einheitlichen Bezugsrahmen werden Insellösungen vermieden und der Austausch und die Kombination der Daten erleichtert.
- Dank AGNES wird die Umstellung der AV auf den Bezugsrahmen LV95 gefördert.

Ingenieurvermessung (IngV)

- AGNES bildet auch die Grundlage für Anwendungen höchster Präzision bei Grundlagevermessung für grosse Bauprojekte (z.B. AlpTransit, NEAT)

Navigation

- Durch die breite Abstützung auf mehrere Referenzstationen wird die Genauigkeit, Zuverlässigkeit sowie Verfügbarkeit von DGPS für die Navigation erhöht.

Forschung

- Der permanente Betrieb der AGNES-Stationen sowie deren regelmässige Verbindungsmessungen zu den LV95-Punkten ermöglicht langfristig die signifikante Bestimmung tektonischer Verschiebungen und unterstützt damit tektonische und geodynamische Untersuchungen in der Schweiz.
- Atmosphärenforschung / Meteorologie.
- Zeittransfer im (Sub)-Nanosekundenbereich.

2.3 Organisation des Projekts und Zeitplan

Zu Beginn (1996 - 1998) stand das Projekt unter der Leitung von Adrian Wiget, dem damaligen Leiter der Gruppe Satellitengeodäsie in der Sektion Nivellement und geodätische Spezialarbeiten. Einziger Projektmitarbeiter war Urs Wild, welcher ab 1998 mit der Projektleitung betraut wurde. Gleichzeitig wurde eine Arbeitsgruppe AGNES ins Leben gerufen, in der die folgenden Personen Einsitz nahmen:

Name	Ressort / Themen
Elmar Brockmann (ab 1999)	Rechenzentrum / Auswertung (post-processing) Datentransfer Wissenschaftliche Anwendungen
Thomas Signer / Patrick Kummer / Christian Just	Landesvermessung Amtliche Vermessung (RD/LV95) Versuche und Testmessungen
René Hug / Simon Grünig (ab 2000)	Technik allg. Stationen Kommunikation swipos-Positionierungsdienste
Urs Wild	Projektleitung Produktentwicklung Marketing

Tab. 2-1: Zusammensetzung der Arbeitsgruppe AGNES

Der von der Arbeitsgruppe AGNES erarbeitete Zeitplan hatte folgendes Aussehen:

Arbeiten	1996				1997				1998				1999				2000				2001				2002			
Antrag	■	■	■																									
Vorstudie				■	■	■	■	■	■																			
Aufbau eines Pilotnetzes							■	■	■	■	■	■	■															
Hauptstudie														■	■	■	■	■										
Aufbau des Stationsnetzes																			■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Dokumentation und Schulung																											■	■

Tab. 2-2: Zeitplan AGNES (Stand 1997)

Der Zeitplan sah die sequentielle Abarbeitung sämtlicher Aufgaben vor. Insbesondere sollten vor dem Endausbau des Stationsnetzes sämtliche technischen Problembereiche (Höhenverteilung der Stationen, Kombination von Antennen, Technik der Berechnung der Virtuellen Referenzstationen etc.) in einer Hauptstudie untersucht werden. Aufgrund der Erkenntnisse aus dieser Hauptstudie sollte anschliessend der Aufbau des Stationsnetzes erfolgen.

Ende 1999 wurde swisstopo durch die Firma GeoAstor AG (Rümlang) darüber informiert, dass eine neue Firma Swissat AG gegründet worden sei, welche die Einführung eines cm-genauen Positionierungsdienstes (basierend auf einem Netz von 21 Stationen) per Ende 2000 plane. Bemühungen zu einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit mit dieser Firma führten zu keiner Lösung. Aufgrund dieser neuen Situation wurde im Januar 2000 von der Geschäftsleitung swisstopo beschlossen, den Zeitplan für AGNES zu revidieren und den Stationsaufbau rascher voranzutreiben. Die neue Planung unter der Bezeichnung "AGNES subito" hatte folgendes Aussehen:

Arbeiten	**1996**				**1997**				**1998**				**1999**				**2000**				**2001**				**2002**			
Antrag																												
Vorstudie																												
Aufbau eines Pilotnetzes																												
Hauptstudie																												
Aufbau des Stationsnetzes																												
Dokumentation und Schulung																												

Tab. 2-3: Zeitplan AGNES (Stand Ende 1999)

Die für den raschen Aufbau erforderlichen personellen Mittel wurden von der GL ebenfalls zur Verfügung gestellt. Durch die vorausschauende Personalplanung konnte einerseits der erhöhte Personalbedarf für den beschleunigten Aufbau abgedeckt werden, andererseits konnte aber auch die Kontinuität für den Übergang in den Routinebetrieb ab Frühjahr 2002 sichergestellt werden.

2.4 Ablauf und Ergebnisse

2.4.1 Projektantrag

Ein erster Vorschlag für das Projekt AGNES wurde im März 1996 publiziert [Wild und Wiget, 1995] und der erste offizielle Projektantrag für AGNES wurde im Oktober 1997 eingereicht. Der von der GL genehmigte Projektantrag bildete die Grundlage für die weiteren Untersuchungen und den Aufbau des AGNES-Pilotnetzes.

Der Projektantrag sah die Schaffung eines aus 5 Stationen (Zimmerwald, Jungfraujoch, Muttenz, ETHZ, Pfänder) bestehenden Pilotnetzes vor, das der weiteren Klärung von offenen Fragen für den Endausbau von AGNES dienen sollte. Dieses Pilotnetz sollte in den Jahren 1997 und 1998 in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule beider Basel (FHBB) im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts (FEP) aufgebaut werden.

2.4.2 Vorstudie

Die Vorstudie [Wild et al., 1998] stellt im Wesentlichen eine konkretisierte Form des Projektantrags vom Oktober 1997 dar. Insbesondere die Aspekte der Kommunikation zwischen den AGNES-Stationen und der Zentrale wurden erstmals näher untersucht (Nutzung des Kommunikationsnetzes der Bundesverwaltung [KOMBV], Möglichkeiten des Zugriffs über Internet etc.). Diese Fragen wurden in einer intensiven Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Informatik und Telekommunikation (BIT) und dem Softwarehersteller (Trimble Terrasat GmbH) erarbeitet.

Ausserdem stellte sich die Frage, ob die AGNES-Stationen zu vernetzen seien (Wide Area DGPS / RTK) oder ob sie als einzelne GPS-Referenzstationen betrieben werden sollten. Damals befand sich die Methode der Virtuellen Referenzstationen (VRS) noch in der Entwicklungsphase, ihr Durchbruch zeichnete sich aber im Verlaufe des Projekts AGNES immer deutlicher ab.

Nebst den Konzeptarbeiten wurde der Ausbau des AGNES-Pilotnetzes laufend vorangetrieben, u.a. auch aufgrund von aktuellen Bedürfnissen wie z.B. der ersten Nachmessung des LV95-Netzes im Jahre 1998 (CHTRF98). Bis Ende 1999 stand ein Netz von 10 Stationen zur Verfügung (vgl. Abb. 2-1).

Parallel zum Aufbau der Stationen wurde auch der Aufbau der Zentrale vorangetrieben. In den Jahren 1997 – 1999 bestand die Zentrale aus einem Server bei swisstopo, auf welchem die Berner GPS-Software für die routinemässige Auswertung der AGNES-Daten installiert war. Mit der Bereitstellung von zusätzlichen personellen Ressourcen im Jahre 1999 wurde der Grundstein für das heutige PNAC (Permanent Network Analysis Center) gelegt.

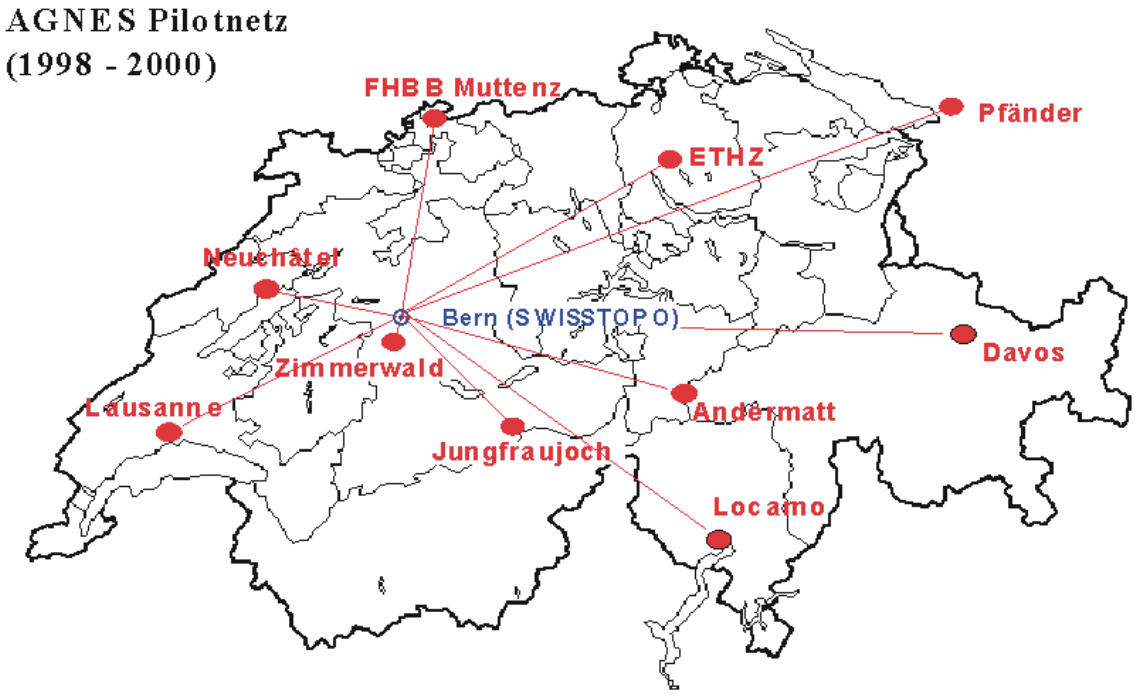


Abb. 2-1: AGNES-Pilotnetz (Stand Ende 1999)

2.4.3 Hauptstudie

Der ursprünglich geplante Umfang der Hauptstudie [Hug et al., 2003] wurde im Rahmen von "AGNES subito" stark gekürzt und beschränkte sich auf die folgenden Punkte:

- Vernetzung KOMBV
- WADGPS-Konzept (Vernetzung von Referenzstationen)
- GLONASS ja/nein?
- Anzahl Stationen
- Testmessungen

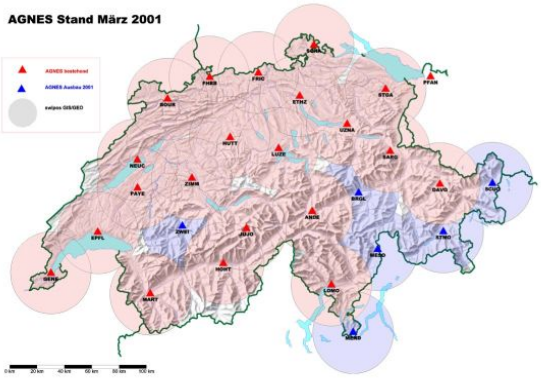
Im Vordergrund stand der Nachweis der technischen Machbarkeit des Betriebs und der Vernetzung der AGNES-Stationen über das Kommunikationsnetz der Bundesverwaltung (KOMBV). Im Frühjahr 2000 wurde eine erste Testinstallation der Vernetzungssoftware GPSNet (Firma Trimble Terrasat GmbH, München) vorgenommen, mit der erstmals der gesamte Datenfluss von den AGNES-Stationen in die Zentrale und zum Endbenutzer im Feld erfolgreich gestestet werden konnte [Wild et al., 2000].

Der Entscheid GLONASS ja/nein wurde mittels einer "Papierstudie" gefällt. Aufgrund von Publikationen und Expertenmeinungen wurde die Zukunft von GLONASS als eher unsicher eingestuft. Zudem zeigte sich, dass aufgrund der Marktanteile der verschiedenen GNSS-Empfängerhersteller in der Schweiz praktisch nur reine GPS-Empfänger eingesetzt werden. Aus diesen Überlegungen wurde auf den Einsatz von GLONASS-Empfängern auf den AGNES-Stationen verzichtet.

Die Zahl der erforderlichen AGNES-Stationen wurde pragmatisch ermittelt: Auf der Generalkarte 1:300'000 wurden Kreise mit einem Radius von 30km (max. Einsatzdistanz für RTK-Messungen) derart ausgelegt, dass möglichst die gesamte Schweiz abgedeckt war. Die Mittelpunkte der Kreise ergaben die ungefähre Lage der zukünftigen AGNES-Stationen und dienten als Grundlage für deren Rekognoszierung.

2.4.4 Realisierung

Die Realisierung im Sinne des "roll-out" fand in den Jahren 2000 und 2001 statt. Die folgenden Abbildungen zeigen dabei den Ausbaustand von AGNES in den beiden Jahren:



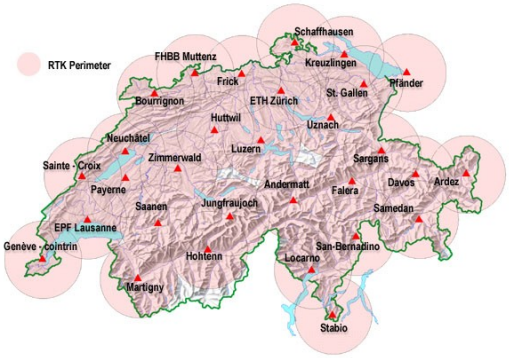


Abb. 2-2: Ausbaustand Ende 2000

Abb. 2-3: Ausbaustand Ende 2001

Bei der Rekognoszierung der AGNES-Standorte zeigte sich sehr rasch, dass es aufgrund der unterschiedlichen Infrastruktur vor Ort nicht möglich (und nicht sinnvoll) sein würde, einen einheitlichen Qualitätsstandard für sämtliche AGNES-Stationen einzuhalten. Dies führte schliesslich zur Klassierung der AGNES-Stationen in die Kategorien A, B und C (vgl. Kapitel 3.1.1). Falls immer möglich wurde versucht, einen stabilen Standort (Typ A) für die GPS-Antenne zu finden (Fels oder massives Gebäude, z.B. Wasserreservoir). Wo dies nicht möglich war, wurden die Stationen auf bestehenden Gebäuden gebaut (Typ B und C).

Für die einzelnen AGNES-Stationen wurden Mietverträge abgeschlossen, welche teilweise auch eine Stationsmiete beinhalten. Die Stationsmiete stellt im wesentlichen eine Entschädigung für den Stromverbrauch und allfällige Einsätze der Kontaktperson vor Ort (z.B. Reset des Stationscomputers) dar.

Der Anschluss der AGNES-Stationen an das KOMBV wurde vom BIT organisiert und realisiert. Von Seiten swisstopo genügte jeweils die Angabe des gewünschten Standortes und des gewünschten Einschalttermins. Sämtliche weiteren Schritte wie die Installation von Telefonmodems, Ausmessen der Leitung, Installation des Netzwerkrouters etc. wurden vom BIT übernommen.

Nebst der Rekognoszierung der Standorte für die AGNES-Stationen stand die Evaluation des GNSS-Empfängertyps für die aufzubauenden Stationen im Vordergrund. Für die Beschaffung von 14 GNSS-Empfängern wurden Offerten von allen auf dem Markt präsenten Herstellern eingeholt. Mit den Empfängern dieser Hersteller wurden im Mai 2000 in Thun auf der Antennenteststrecke von swisstopo Testmessungen durchgeführt. Aufgrund der Resultate dieser Testmessungen wurde schliesslich der Firma Trimble (Vertretung CH: allnav GmbH, Zürich) der Zuschlag erteilt.

Während des Aufbaus des Stationsnetzes wurden jeweils die Daten der neuen Stationen in die automatische Auswertung mit der Bernese Processing Engine übernommen. Damit konnten nach wenigen Tagen präzise Stationskoordinaten berechnet werden, welche auf den AGNES-Stationen als Referenzkoordinaten für den Positionierungsdienst swipos-GIS/GEO übernommen werden konnten.

Ab Frühling 2001 wurde für den Positionierungsdienst swipos-GIS/GEO ein Pilotbetrieb aufgenommen [Wild et al., 2001].

2.4.5 Dokumentation und Überführung in operationellen Betrieb

Die technische Dokumentation wurde während des Projekts laufend nachgeführt. Sie umfasst pro AGNES-Station einen Ordner, in dem sämtliche technische Unterlagen von der Rekognoszierung über den Bau bis hin zur Inbetriebnahme der Station abgelegt sind. Die AGNES-Stationsverträge sind zentral im Service Center Geodäsie (SCG) abgelegt.

Die organisatorischen Abläufe wurden nach dem Ausbau des Stationsnetzes und der Aufnahme des Pilotbetriebs von swipos-GIS/GEO in Form von ersten Checklisten festgelegt. Diese Checklisten wurden später in das MS-swisstopo übernommen und stehen dort als Handbuch für das Operating von AGNES und swipos zur Verfügung.

Bei der Festlegung der organisatorischen Abläufe wurde insbesondere auch die Aufgabenverteilung zwischen dem Betrieb/Unterhalt von AGNES, dem Betrieb der swipos-Positionierungsdienste und der geodätischen Auswertung von AGNES-Daten im Rahmen des Permanent Network Analysis Center (PNAC) festgelegt.

2.4.6 Abschluss

Das Projekt AGNES wurde per Ende 2001 termingerecht abgeschlossen. Der "offizielle" Projektabschluss erfolgte im Rahmen eines öffentlichen swisstopo-Kolloquiums am 14. Dezember 2001. Die wichtigsten Etappen und Ergebnisse des Projekts wurden zudem im einem Projektschlussbericht publiziert [Wild, 2004].

2.5 Betrieb und Unterhalt

Der Betrieb und Unterhalt von AGNES betrifft drei der vier Prozesse des Bereichs Geodäsie und umfasst die folgenden Aufgaben:

- **Prozess "Geodätische Grundlagen (GG)":**
  Zuständig für den Betrieb des Permanent Network Analysis Center (PNAC), welches die automatische zentrale Datenauswertung sämtlicher AGNES-Stationen durchführt. Weitere Aufgaben sind die Definition der geodätischen Bezugssysteme und die Mitarbeit in internationalen Forschungsprojekten.
- **Prozess "Positionierungsdienste und Information (GP)":**
  Betrieb und Unterhalt im engeren Sinne, umfassend den Betrieb der AGNES-Zentrale, Tages- und Jahreskontrolle, Ersatz und Reparaturen von defekten Geräten, Stationsverlegungen und technische Weiterentwicklung. Zusätzlich ist der Prozess GP zuständig für den Betrieb der swipos-Positionierungsdienste (vgl. Kapitel 4).
- **Prozess "Geodätische Fixpunkte (GF)":**
  Einmessung der AGNES-Stationen, Bereitstellen der Koordinaten in den lokalen Bezugsrahmen (LV95 und LV03) und Nachführung der Fixpunkt-Dokumentation.

Die organisatorischen Abläufe für diese Aufgaben sind im Managementsystem swisstopo (MS-swisstopo) dokumentiert. Für den Betrieb im engeren Sinne (d.h. ohne automatische Auswertung der Daten für das Monitoring der AGNES-Stationen und für wissenschaftliche Anwendungen im PNAC) stehen im Prozess GP 1.5 Stellen zur Verfügung.

Die Qualitätsstandards für den Betrieb von AGNES und swipos wurden in [Schneider et al., 2005] zusammengestellt und enthalten z.B. Standards für die Antennenkalibrierung, die Datenverfügbarkeit, die Konsistenz der 3D-Koordinaten von AGNES mit den CHTRF-Realisierungen sowie die Performance der swipos-Positionierungsdienste.

2.6 Finanzen

Die **Investitionskosten** (Sach- und Personalkosten) für das Projekt AGNES beliefen sich insgesamt auf CHF 2.3 Mio.

Die **jährlichen Betriebskosten** von AGNES belaufen sich auf CHF 600'000 pro Jahr (30% Personalkosten, 10% Sachkosten und 60% Abschreibungen), wobei auch hier die Kosten für das PNAC nicht enthalten sind.

3 Technische Beschreibung von AGNES

AGNES bildet ein Gesamtsystem, das aus den folgenden Komponenten besteht:

- den AGNES-Stationen und weiteren integrierten GPS-Permanentstationen im benachbarten Ausland
- diversen Kommunikationseinrichtungen für den Datentransfer von den Stationen in die Zentrale und zu den Benutzern
- der AGNES/swipos-Zentrale, welche für die Steuerung der einzelnen AGNES-Stationen, sowie für den gesamten real-time Datenverkehr und die Berechnung der Korrekturdaten für die swipos-Positionierungsdienste zuständig ist
- dem Permanent Network Analysis Center (PNAC), wo einerseits die automatische geodätische Auswertung sämtlicher AGNES-Daten und der Daten weiterer europäischer GPS-Permanentstationen erfolgt, andererseits auch die AGNES-Daten an internationale Auswertezentren im Rahmen von IGS und EUREF weitergeleitet werden.

Im Folgenden werden die AGNES-Stationen, die Kommunikationsmittel und die verschiedenen Datenflüsse sowie die AGNES/swipos-Zentrale näher beschrieben. Die Beschreibung des Permanent Network Analysis Center (PNAC) bildet nicht Gegenstand dieses Berichts, sondern wird in einer späteren Ausgabe dieser Berichtereihe (Bericht Nr. 23) behandelt.

3.1 AGNES-Stationen

Im Folgenden werden die AGNES-Station hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften beschrieben. Eine Übersicht über sämtliche Stationen findet sich in den Anhängen A1 - A2.

3.1.1 Standorte und Klassierung

Da es sich bei AGNES um ein multi-funktionales Referenznetz handelt, mussten auch bei der Auswahl der Standorte für die AGNES-Stationen die unterschiedlichsten Kriterien berücksichtigt werden.

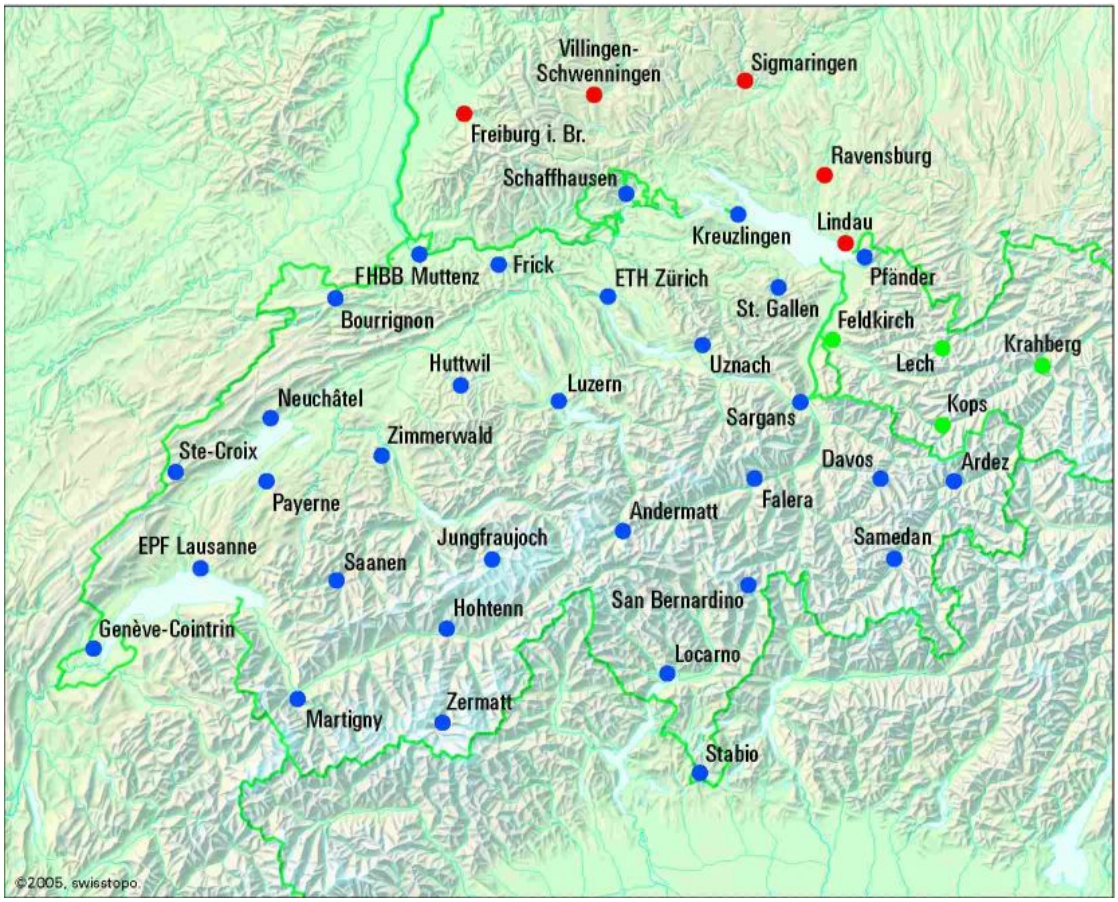


Abb. 3-1: Stationskarte AGNES (Stand Dezember 2005)

Grundsätzlich wurden möglichst stabile Standorte (idealerweise im Fels) gesucht, wobei berücksichtigt werden musste, dass eine AGNES-Station Voraussetzungen an die Infrastruktur stellt (Computerschrank, Strom, Telefonanschluss). Die räumliche Verteilung der Stationen musste flächendeckend für die ganze Schweiz den Einsatz von RTK mit cm-Genauigkeit ermöglichen. Aus dieser Forderung ergab sich schliesslich ein mittlerer Stationsabstand von 50 - 60 km, bzw. eine maximale RTK-Einsatzdistanz von 25 - 30 km bezüglich eines beliebigen Standorts eines Benutzers.

Abb. 3-1 zeigt die aktuelle Verteilung (Stand 2005) der 31 AGNES-Stationen in der Schweiz. Die Stationen im benachbarten Ausland gehören zu den entsprechenden Netzen der Landesvermessungen und werden in der Auswertung (Permanent Network Analysis Center) und für die Positionierungsdienste (vgl. Kapitel 4) miteinbezogen.

Bei der Wahl der Standorte musste darauf geachtet werden, dass für den GPS-Empfang ein möglichst freier Horizont (360°) vorhanden war. Für die Planung stand das Programm SKYPLOT von swisstopo zur Verfügung, welches für einen bestimmten Punkt ausgehend vom digitalen Geländemodell DHM25 eine Darstellung des Horizontes liefert.

Im Mittelland und Jura war die Suche nach Stationsstandorten mit freiem Horizont wesentlich einfacher als im Alpenraum. Dort mussten oft Kompromisse eingegangen werden, wobei nach Möglichkeit darauf geachtet wurde, dass die Station an einem Südhang gebaut wurde, so dass die Abschattung aufgrund der Topographie im Norden liegt, wo ohnehin keine GPS-Satelliten sichtbar sind. Dies war aber z.B. bei der neuen Station Zermatt, die im Sommer 2005 gebaut wurde, nicht möglich, da die Abschattungen durch die Topographie im Mattertal vor allem im Süden liegen.

Bei der Rekognoszierung der Stationen wurden jeweils Testmessungen durchgeführt, welche darüber Auskunft geben sollten, ob irgendwelche lokale Störungen (z.B. Funkantennen) oder übermässiger Multipath (Mehrwegausbreitung) vorhanden sind.

Falls möglich wurden beim Aufbau der Stationen Synergien mit anderen Bundesstellen gesucht (vgl. Anhang A1). So wurden die AGNES-Stationen Genève-Cointrin, Payerne, Locarno und Samedan z.B. mit Stationen des ANETZ [MeteoSchweiz, 2005] der MeteoSchweiz zusammengelegt oder wenigstens in der Nähe solcher Stationen aufgebaut. Durch die Zusammenlegung von AGNES- und ANETZ-Stationen konnten Synergien bezüglich Infrastruktur (Strom / Netzwerke) genutzt werden.

Ähnliche Synergien konnten für die AGNES-Stationen Bourrignon und Frick mit dem Schweizerischen Erdbebendienst (SED) [SED, 2005], welcher dem Institut für Geophysik der ETHZ angegliedert ist, gefunden werden.

Weitere Randbedingungen ergaben sich auch aus der Finanzierung der einzelnen AGNES-Stationen. So konnten z.B. 3 AGNES-Stationen (Bourrignon / Huttwil / Frick) im Rahmen des Projekts URGENT (Upper Rhine Graben Evolution and Neotectonics) beschafft und installiert werden. Bedingung war, dass die Standorte für geodynamische Untersuchungen im Bereich des Oberen Rheingrabens und Jura geeignet sein mussten.

Dabei beteiligten sich auch Hochschulen (ETHZ und EPFL) sowie die Fachhochschule beider Basel (FHBB) aktiv am Projekt AGNES und stellten Empfänger und Manpower zur Verfügung. Diese Institutionen profitieren noch heute davon, dass sie kostenlos AGNES-Daten beziehen und die swipos-Positionierungsdienste nutzen können.

Bei der Höhenverteilung der AGNES-Stationen wurde darauf geachtet, dass die Stationen nach Möglichkeit etwa gleich hoch zu liegen kamen, wie das Haupteinsatzgebiet für RTK-Messungen in der Umgebung der betreffenden AGNES-Station. Im Mittelland konnte diese Bedingung meistens leicht erfüllt werden, im Alpenraum galt es zwischen Horizontfreiheit und zulässiger Höhendifferenz abzuwägen. Grosse Höhenunterschiede (wie z.B. im Falle der AGNES-Station Jungfraujoch) sind für GPS-Meteoanwendungen hingegen sehr wünschenswert.

Die AGNES-Stationen wurden nach den Kriterien Stabilität, Rückversicherung und Anschluss an LV/LN (vgl. Tabelle) in die Klassen A, B und C eingeteilt.

Klasse	Beschreibung	AGNES-Stationen
A	Antenne im Fels (auf massivem Objekt); exz. Rück-versicherung analog HP LV95 (jedoch keine unterirdischen Bodenplatten) => für tektonische Untersuchungen geeignet	Andermatt, Ardez, Bourrignon, Davos, Frick, Martigny, Saanen, San Bernardino, Sargans, Zermatt
B	Antenne nicht stabil (z.B. massiv fundierter Stahlgittermast auf nicht felsigem Untergrund oder auf Gebäude); periodische Kontrolle über Einmessung auf umliegende Punkte des GPS-Netzes LV95 oder lokale Rückversicherungen (falls möglich) => für tektonische Untersuchungen bedingt geeignet	Luzern, Pfänder, Zimmerwald
C	Antenne nicht stabil (z.B. auf Gebäude); keine zusätzliche Einmessung zur Stabilitätskontrolle (Kontrolle durch AGNES vorhanden) => für tektonische Untersuchungen nicht geeignet.	EPF Lausanne, ETH Zürich, Falera, FHBB Muttenz, Genève-Cointrin, Hohtenn, Huttwil, Jungfraujoch, Kreuzlingen, Locarno, Neuchâtel, Payerne, Samedan, Schaffhausen, Stabio, Ste-Croix, St.Gallen, Uznach

Tab. 3-1: Klassierung der AGNES-Stationen

3.1.2 AGNES-Netzoptimierung

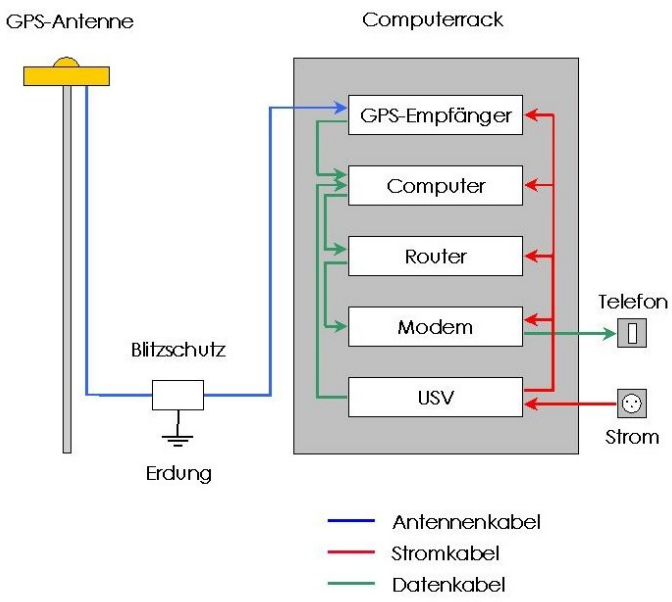
Obwohl das Projekt AGNES auf Ende 2001 abgeschlossen wurde, bestanden noch einige Unzulänglichkeiten im Stationsnetz. Aus dieser Überlegung heraus wurde 2005 ein AGNES-Netzoptimierungskonzept vorgelegt [Grünig, 2005]. Der wichtigste Punkt dieses Konzepts ist der Bau einer zusätzlichen Station im südlichen Wallis, um die bestehenden Abdeckungslücken zu schliessen. Die Station Zermatt wurde im August 2005 gebaut und wird in den folgenden Kapiteln mitberücksichtigt. Des weitern schlägt das Konzept den Bau einer zusätzlichen Station für den Positionierungsdienst swipos im Osten des Berner Oberlandes vor, um die grossen Höhendifferenzen zwischen der Station Jungfraujoch und den umliegenden Stationen sowie den Benutzer zu eliminieren. Auch ist eine Verlegung der geologisch instabilen Station Sargans vorgesehen. Die zusätzliche Station im Berner Oberland Ost sowie die Verlegung der Station Sargans sind für 2006 geplant und werden im Rahmen dieses Berichts nicht berücksichtigt.

Auch in Zukunft werden kleinere Anpassungen und Optimierungen nötig sein, vor allem aufgrund von Hard- und Softwareanpassungen oder allfälligen vereinzelten "Upgrades" von Stationen des Typs B/C zu Stationen des Typs A. Grössere Umstellungen im Netzdesign werden erst mit der Verfügbarkeit von Galileo erwartet.

3.1.3 Beschreibung Hard- und Software

Wie der Abb. 3-2 entnommen werden kann, umfasst die Hardware einer AGNES-Station die folgenden Komponenten:

- GPS-Antenne und -Empfänger
- Computer
- Modem, Router und Mini-Hub
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)
- Telefon- und Stromanschluss
- Überspannungsschutz



Für die **Antennenbefestigungen** gibt es auf den AGNES-Stationen verschiedene technische Lösungen: Stationen vom Typ A und Typ B sind meistens mit einem Gittermasten oder Messpfeiler aus Stahl ausgerüstet, während bei Stationen vom Typ C die GPS-Antenne meistens auf einem Stahlrohr befestigt ist (vgl. Abb. 3-3).

Abb. 3-2: Schema einer AGNES-Station

Abb. 3-3: Typen von Antennenmontierungen auf AGNES-Stationen

Abb. 3-4: Installation des Antennenmasts auf der AGNES-Station Zermatt

Die Stahlmasten auf den AGNES-Stationen wurden mittels Heli montiert, Abb. 3-4 gibt einen Eindruck der Installationsarbeiten auf der Station Zermatt (ZERM).

Die **GPS-Antennen** sind von verschiedenem Typ: auf 7 Stationen werden Trimble Choke Ring-Antennen, auf 21 Stationen Trimble Microcentered L1/L2, auf 2 Stationen Trimble Zephyr Antennen und auf einer Station eine Ashtech-Antenne verwendet (vgl. Abb. 3-5). Auf der Station Jungfraujoch wird eine Spezialkonstruktion, welche von MeteoSchweiz (Station Payerne) hergestellt wurde, verwendet: Der Empfangsteil der Antenne stammt von einer Trimble Choke Ring-Antenne, der Choke Ring wurde danach entfernt und durch eine Kugelkalotte ersetzt. Mittels eines eingebauten Föhns wird warme Luft durch einen Schlitz zwischen Kugelkalotte und Empfangselement geblasen, wodurch das Festsetzen von Schnee und Eis verhindert wird.

Abb. 3-5: Antennentypen im AGNES-Netz (Choke Ring, Microcentered, Zephyr)

Bei der gleichzeitigen Verwendung von verschiedenen Antennentypen ist es unumgänglich, die Antennen zu kalibrieren. Diese Kalibrierung wurde ebenfalls auf der Antennenteststrecke in Thun durchgeführt. Sämtliche GPS-Antennen des AGNES-Netzes wurden auf dieser Teststrecke kalibriert, d.h. die Lage der Phasenzentren für L1 und L2 bezüglich des sog. ARP (antenna reference point) wurden aus dem Vergleich mit den bekannten Sollpositionen der Messpfeiler auf der Teststrecke bestimmt. Die Differenzen zu den Nominalwerten der Hersteller lagen im Bereich von 1 mm in der Lage [Brockmann, 2002]. Für die Höhe ergaben sich grössere Abweichungen, die je nach gewählter Linearkombination der beiden Frequenzen bei der Auswertung Höhendifferenzen von 1.5 cm verursachen können. Bei der in Thun durchgeführten Kalibrierung handelt es sich um eine Relativ- und nicht um eine Absolutkalibrierung.

Die Phasenzentren der Antennen müssen für sämtliche Anwendungen (geodätische Auswertung und Positionierungsdienste) berücksichtigt werden. Für die hochpräzisen geodätischen Auswertungen werden für die einzelnen GPS-Antennen die individuellen Kalibrierwerte verwendet, während bei den Positionierungsdiensten (vgl. Kapitel 4) in der Software GPSNet Standardkalibrierwerte eingeführt werden.

In naher Zukunft (ab 2006) wird die schon jetzt komplizierte Situation mit der Einführung von absoluten Antennenphasenzentren bei den IGS/EUREF-Auswertungen um eine weitere mögliche Quelle von Inkonsistenzen zwischen PNAC und den Positionierungsdiensten erweitert.

Wichtig ist der Hinweis, dass sich die Stationskoordinaten auf den ARP beziehen, die Phasenzentren der Antennen müssen zusätzlich berücksichtigt werden.

Auf den Einsatz von Radomes wurde bei AGNES verzichtet, da das Anbringen solcher Schutzhüllen je nach Material und Geometrie zu Problemen bei der Höhenbestimmung führen kann. Der damit erkaufte Nachteil ist eine verfälschte Koordinatenbestimmung bei starken Schneefällen. Eine Ausnahme bildet die Station Pfänder, welche in Zusammenarbeit mit dem Institut für Weltraumforschung (Abteilung Satellitengeodäsie, Graz) und dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, Frankfurt) aufgebaut wurde.

Für die Verbindung zwischen der GPS-Antenne und dem GPS-Empfänger werden je nach Kabellänge verschiedene Typen von **Antennenkabeln** verwendet. Für Distanzen bis 30 m konnten die vom Hersteller mitgelieferten Antennenkabel eingesetzt werden. Auf den Stationen Andermatt und Davos konnten mit Spezialkabeln Distanzen von rund 100 m problemlos überbrückt werden.

Abb. 3-6: GPS-Empfänger Trimble 4700

Auf sämtlichen AGNES-Stationen werden **GPS-Empfänger** vom Typ Trimble 4700 eingesetzt. Diese Empfänger wurden im Jahr 2000 aufgrund von Testmessungen auf der Teststrecke Thun evaluiert. Für die neue Station in Zermatt wurde ein Trimble NetRS-Empfänger beschafft.

Die Empfänger sind sehr robust, einfach gebaut und haben sich im Betrieb als äusserst stabil erwiesen. In all den Jahren waren keine GPS-Empfängerausfälle zu verzeichnen.

Abb. 3-7: Computerrack

Die Hauptaufgabe des **Stationscomputers** besteht in der Steuerung des GPS-Empfängers, dem Abspeichern der Messdaten und der Kommunikation mit der AGNES-Zentrale. Die AGNES-Stationscomputer laufen unter dem Betriebssystem Windows XP. Während in anderen Permanentnetzen oftmals auf einen Stations-PC verzichtet wird, wurde bei AGNES explizit an einem PC auf jeder Stationen festgehalten. Damit wird gewährleistet, dass bei Unterbrüchen der Datenkommunikation zwischen AGNES-Station und Zentrale keine Daten verloren gehen. Daten können so lokal auf der Station abgespeichert und nachträglich heruntergeladen werden.

Die Komponenten für die **Kommunikation mit der AGNES-Zentrale** bestehen aus einem Mietleitungs-Modem, einem Router und einem Mini-Hub. Das Mietleitungsmodem wird an das normale Telefonnetz angeschlossen und ermöglicht zusammen mit dem Router über die Mietleitung (= fest zugeteilte Telefonleitung) den Zugang auf das Kommunikationsnetz der Bundesverwaltung (KOMBV). Der Mini-Hub wird zwischen Router und Rechner geschaltet und verhindert dadurch, dass bei einem Neustart des Stationsrechners in der KOMBV-Zentrale beim Bundesamt für Informatik und Telekommunikation (BIT) ein Alarm ausgelöst wird. Zudem ermöglicht der Mini-Hub den Aufbau eines "Mini-LAN" auf der AGNES-Station, d.h. den Anschluss weiterer Komponenten an das KOMBV.

Die Installation der Kommunikationskomponenten auf den AGNES-Stationen wurden durch das BIT (bzw. eine Privatfirma im Auftrag des BIT) vorgenommen, da es sich um Endpunkte von KOMBV-Verbindungen handelt.

Die **unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)** ermöglicht die Überbrückung von kurzen Stromunterbrüchen (max. ca. 60 Minuten). Die USV ist zudem über eine serielle Schnittstelle mit dem Stationsrechner verbunden, wo eine spezielle Software zur Steuerung der USV läuft. Sobald die USV auf Batterie schaltet, wird eine entsprechende Meldung per E-mail abgesetzt. Dauert der Stromunterbruch länger und lässt die Batteriespannung der USV nach, wird eine Meldung an die USV-Software geschickt und der Stationsrechner wird kontrolliert heruntergefahren.

Jede AGNES-Station verfügt über einen normalen **Telefon- und einen 220V-Stromanschluss.** Der Stromanschluss wird dabei über einen Wandschalter / 5000-Schlüssel realisiert. Dadurch ist sichergestellt, dass man bei Stromarbeiten auf der Station mit einem einheitlichen Schlüssel die Speisung bequem an- oder abschalten kann.

Beim **Blitz- und Überspannungsschutz** der AGNES-Stationen muss unterschieden werden zwischen dem Schutz der eigentlichen Antenneninstallation und dem Schutz der elektronischen Geräte im Innern der AGNES-Station.

Der Antennenmast bzw. -rohr wird mit einer Erdung an das Fundament bzw. Gebäude angeschlossen. Auf den hohen, freistehenden Stahlmasten (6 - 10m) wurde zudem ein Blitzstab angebracht.

Die elektronischen Geräte im Computerrack im Innern der AGNES-Station werden durch eine spezielle Einrichtung gegen Überspannungen nach einem Blitzschlag geschützt. Sämtliche Eingänge (Strom / Telefon / GPS-Antennenkabel) in das Computerrack werden zentral über einen Überspannungsschutz geführt, wodurch bei einem Blitzschlag das Auftreten von Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Geräten verhindert wird.

Mittels eines sog. **'power switch'**, welcher über das Computernetzwerk bedient wird, kann auf den AGNES-Stationen durch kurzzeitigen Unterbruch der Stromversorgung beim GPS-Empfänger bzw. Stationscomputer ein 'reset' durchgeführt werden. Diese Möglichkeit der Fernwartung hat sich im Routinebetrieb bewährt, da dadurch die Alarmierung einer Kontaktperson vor Ort bzw. lange Anfahrten auf AGNES-Stationen vermieden werden konnten.

Die **Stationssoftware der AGNES-Stationen** besteht aus dem Programm GPSBase der Firma Trimble Terrasat GmbH (München) [Trimble, 2005a] und diversen Hilfsprogrammen wie z.B. Programmen für die direkte Kontrolle und Konfiguration der GPS-Empfänger, Steuerung der USV, Konfiguration des ‚power switch' und Remote Access.

GPSBase (Version 2.4) steuert den GPS-Empfänger, analysiert die Rohdaten und speichert die Daten im RINEX-Format ab. Die Rohdaten werden über einen Splitter in GPSBase im Sekundentakt an die AGNES-Zentrale für den real-time Positionierungsdienst weitergeleitet. Mittels eines eingebauten FTP-Mirrors werden die RINEX-Daten stündlich auf den AGNES-Webserver in der AGNES-Zentrale überspielt (vgl. 3.2 und 3.3).

GPSBase weist im weiteren Alarmfunktionen auf, welche z.B. beim Ausfall des GPS-Empfängers automatisch einen Alarm erzeugen, wobei gewählt werden kann, ob der Alarm per E-mail oder SMS verschickt werden soll. Ausserdem ist eine sog. Disk watch Funktion eingebaut, welche laufend den freien Diskplatz des Stationsrechners überprüft und nach vordefinierten Regeln die Messdaten der Station verwaltet (z.B. Löschen aller Files älter als 365 Tage).

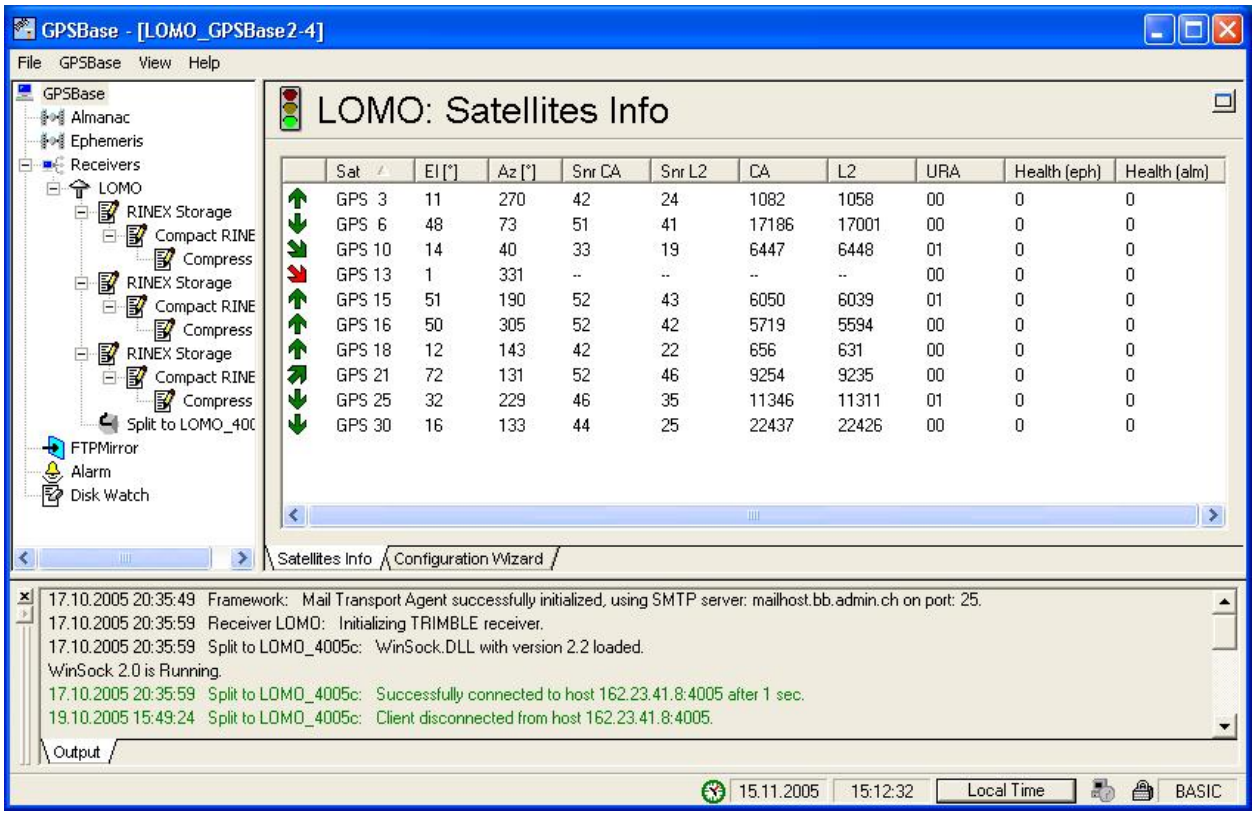


Abb. 3-8: Screenshot Stationssoftware GPSBase (Version 2.40)

3.1.4 Koordinaten der AGNES-Stationen

Die Koordinaten der AGNES-Stationen wurden direkt durch die Auswertung der GPS-Messungen der betreffenden Stationen im Permanent Network Analysis Center (PNAC) bei swisstopo bestimmt. Sämtliche Auswertungen erfolgten mit der Bernese GPS Software (Version 4.2 und ab 2005 Version 5.0) [Hugentobler et al., 2001].

Aufgrund der Tatsache, dass sich der Aufbau von AGNES über mehrere Jahre erstreckte, gilt es gemäss [Brockmann, 2001] die folgenden Phasen zu unterscheiden:

- Im Sommer 1998 wurde die erste vollständige Nachmessung des LV95-Netzes durchgeführt. Die Messkampagne und der resultierende Koordinatensatz wurden als CHTRF98 bezeichnet, womit angedeutet werden sollte, dass ein neuer 'frame' (im Sinne einer konkreten Realisierung des Systems CHTRS95 für das Jahr 1998) gemessen wurde. Erstmals wurde bei CHTRF98 die Verknüpfung der einzelnen GPS-Sessionen über die permanenten GPS-Stationen des AGNES-Pilotnetzes (vgl. Kap. 2.4.2) vorgenommen. Die CHTRF98-Kampagne bildet damit den eigentlichen Ursprung der AGNES-Koordinatenbestimmung. Die Koordinaten der zu diesem Zeitpunkt bestehenden AGNES-Stationen wurden aus den Daten der CHTRF98-Kampagne bestimmt [Brockmann, 2003a], wobei keine zusätzlichen ausländischen Stationen (EUREF) miteinbezogen wurden. Die Lagerung erfolgte durch Festhalten der Lagekoordinaten sämtlicher LV95-Punkte im System ETRS89/CHTRS95 (ETRF-Epoche 1993.0) sowie der Höhe von Zimmerwald. Die mm-Koordinaten der AGNES-Stationen wurden im Bezugssystem CH-1903+ (Bezugsrahmen LV95) auf cm gerundet und dann mit den korrekten Transformationsformeln in die globalen Bezugssysteme zurückgerechnet (CHTRS95, ETRS89, ITRS), womit sie zwar auf mm angegeben sind, faktisch jedoch nur einer cm-Genauigkeit entsprechen. Mit dieser Vorgehensweise wurde der Bedeutung des Bezugsrahmens LV95 als statischem Bezugsrahmen für die Amtliche Vermessung (AV) und der grossen Mehrzahl der übrigen Vermessungsarbeiten Rechnung getragen. Damit sollte ein zeitlich möglichst langer Bestand der Koordinatenwerte gewährleistet werden, ohne sich um mm-Koordinatenänderungen kümmern zu müssen.
- Die Stationen Neuchâtel, Payerne und Andermatt, welche in den Jahren 1999 - 2000 installiert worden waren, wurden in die seit 1998 bestehende tägliche Auswertung der Stationen zusammen mit weiteren

EUREF-Stationen integriert. Die Koordinaten dieser Stationen hat man zu dem jeweiligen Zeitpunkt aus einer Tages- oder Wochenlösung extrahiert, ohne dabei auf das Runden und exakte Einpassen in CHTRF98 zu achten.

- Mit dem Weiterausbau des Permanentnetzes war im März 2001 ein Zwischenstand erreicht, bei dem nunmehr 21 Stationen permanent Daten lieferten. Alle neuen Stationen wurden ebenfalls in die tägliche Auswertung integriert, so dass jede Woche ein sog. Koordinatenwochenmittel generiert wird. Aus den Daten von mindestens 3 Wochen wurde zur Epoche "Mitte der Beobachtungen" ein Koordinatensatz bestimmt, der dann allerdings nicht mit den bestimmten Geschwindigkeiten in die Epoche 1993.0 transformiert wurde, sondern mit einer Helmert-Transformation (nur 3 Translationen) bezüglich des mm-Koordinatensatzes CHTRF98 (nicht der offizielle cm-Koordinatensatz) unter Verwendung der Stationen ZIMM, ANDE, EPFL, FHBB, ETHZ, LOMO und PFAN B in das System CHTRS95 eingerechnet wurde. Damit ist sichergestellt, dass die Koordinaten bestens zu den schon festgelegten Koordinaten der ersten AGNES-Stationen passen. Der so festgelegte Koordinatensatz wurde im Bezugsrahmen LV95 auf cm gerundet und dann mit mm Genauigkeit in die anderen Bezugssysteme (CHTRS95, ETRS89, ITRS) zurücktransformiert.
- Für die AGNES-Stationen, welche nach 2001 installiert wurden, wurde für die Bestimmung der Stationskoordinaten ebenfalls das im vorangehenden Abschnitt beschriebene Verfahren angewendet. Mit der Veröffentlichung von CHTRF04 wurden zudem die bis anhin verwendeten provisorischen orthometrischen Höhen für alle AGNES-Stationen durch definitive Höhen ersetzt [Brockmann und Ineichen, 2004]. Aufgrund der hohen erzielten Genauigkeiten werden Koordinaten von neuen LV95-Punkten bzw. AGNES-Stationen künftig sowohl in der Lage als auch der in der Höhe mit mm-Auflösung (3 Nachkommastellen) angegeben.

Aus den automatischen Auswertungen werden täglich Stationskoordinaten geschätzt, welche (akkumuliert zu Wochenlösungen) als Zeitreihen dargestellt werden können. Dabei können die Wiederholbarkeiten sowohl der Stationskoordinaten als auch der Länge der Basislinien dargestellt werden.

Abb. 3-9 zeigt die typischen Wiederholbarkeiten der Stationskoordinaten für die AGNES-Station Zimmerwald (ZIMM) über einen Zeitraum von 7 Jahren. Die Wiederholbarkeiten der Wochenlösungen liegen im Bereich von ca. 2-3 mm in der Lage und max. 10 mm in der Höhe.

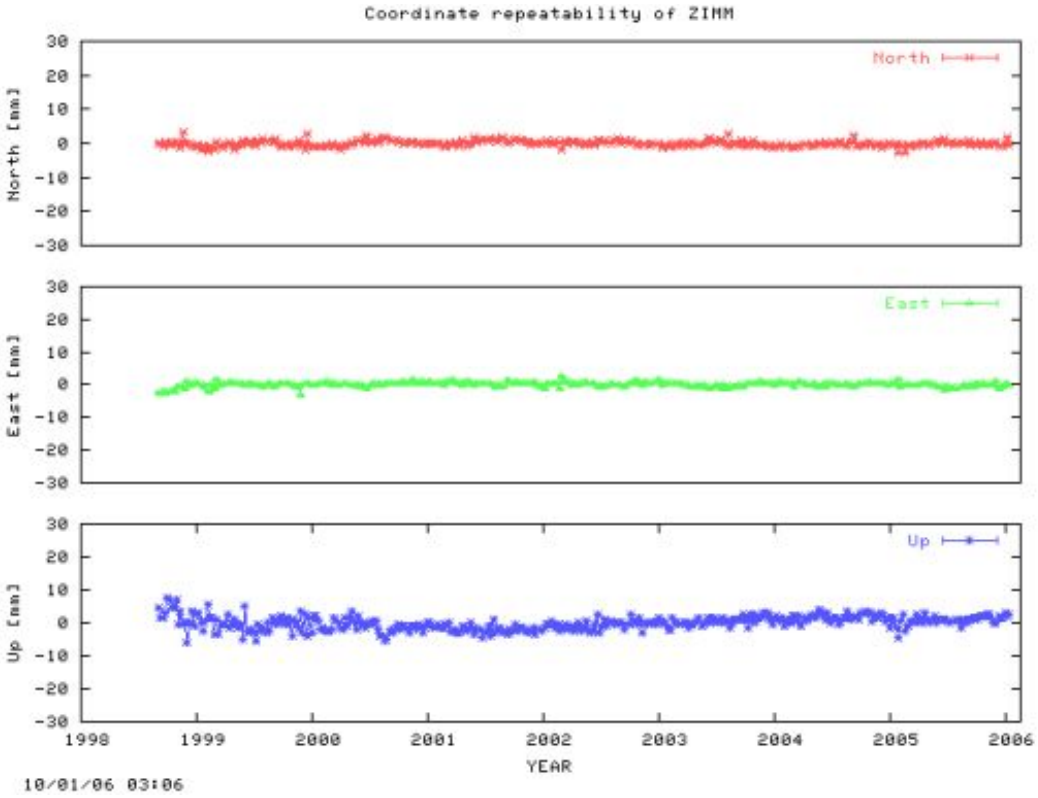


Abb. 3-9: Station ZIMM: Wiederholbarkeit der Stationskoordinaten

Die Auswertungen des PNAC liefern damit die perfekte Langzeitüberwachung von AGNES, indem kleinste Veränderungen der Stationskoordinaten erkannt werden. Das Potential dieses Monitorings wurde anlässlich eines Antennenschadens aufgrund von Vandalismus auf der AGNES-Station Ardez (ARDE) im Dezember 2003 eindrücklich aufgezeigt. Die Schieflage der abgebrochenen GPS-Antenne (vgl. Abb. 3-10) zeigte sich in den Auswertungen deutlich in einer Verschiebung der Lagekomponenten von 15 - 20 mm und einer etwas weniger deutlichen Höhenverschiebung von ca. 10 mm. Die Weiterentwicklungen des PNAC für die Zwecke der Wettervorhersage macht es möglich, Koordinatenänderungen im 1 cm-Bereich schon nach 1-2 Stunden sicher zu detektieren (Stand 2005). Dank dieser Überwachung war es möglich, kurzfristig Massnahmen zu treffen und Fehlereinflüsse auf die swipos-Resultate zu vermeiden.

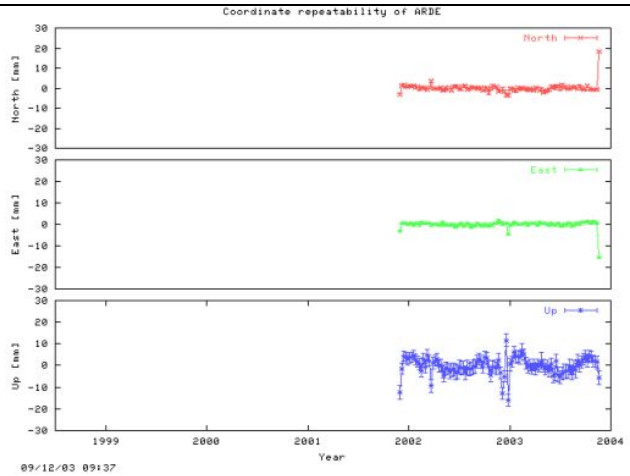


Abb. 3-10: AGNES-Station Ardez (ARDE): Antennenschaden durch Vandalismus und Sprünge in den Stationskoordinaten

3.1.5 Rückversicherung und Anschluss der AGNES-Stationen an die Landesvermessung

Da es sich bei den AGNES-Stationen um offizielle Vermessungsfixpunkte der Landes- und Amtlichen Vermessung (AV) handelt, müssen die Koordinaten der AGNES-Stationen sowohl im Bezugsrahmen LV95 als auch im offiziellen Rahmen LV03 der Amtlichen Vermessung (AV) vorliegen. Zudem wurden die Stationen nach Möglichkeit auch an das Landesnivellement angeschlossen. Die folgende Darstellung stützt sich auf [Vogel, 2004] und gibt einen Überblick über Grundsätze, Messung und Auswertung der Anschlüsse der AGNES-Stationen an die Netze der Landesvermessung.

In der Tabelle 3-2 sind die Grundsätze für die Rückversicherung und die Anschlussmessungen an LV95, LHN95 und LV03 festgehalten. Dabei wird nach den Stationsklassen gemäss Tab. 3-1 unterschieden. Stationen der Klasse C verfügen über keine exzentrischen Rückversicherungen.

Klasse	Grundsätze
A / B	Erstellung von exzentrischen Zeichen (3-4 lokale oder 2-3 Zeichen im Umkreis von 1-3 km im anstehenden Fels) Anschluss an 2 Nachbarpunkte des GPS-Netzes LV95 (soweit nicht bereits mit CHTRF98) erfolgt Anschluss an Landesnivellement/LHN95: - klassisch, soweit der Aufwand von 1 Arbeitstag nicht überschritten wird - in den übrigen Fällen indirekt mit GPS Anschluss an umgebende LFP1/2 zur Bestimmung der Koordinaten in LV03
C	Anschluss an 2 Nachbarpunkte des GPS-Netzes LV95 (soweit nicht bereits mit CHTRF98) erfolgt Anschluss an Landesnivellement/LHN95: - klassisch, soweit der Aufwand von 1 Arbeitstag nicht überschritten wird - in den übrigen Fällen indirekt mit GPS Anschluss an umgebende LFP1/2 zur Bestimmung der Koordinaten in LV03

Tab. 3-2: Grundsätze für die Rückversicherung und Einmessung der AGNES-Stationen

Die **Bestimmung der LV95-Koordinaten** der AGNES-Stationen wurde im Kapitel 3.1.4 ausführlich beschrieben. Die berechneten Gesamtlösungen haben den Nachteil, dass der direkte Bezug zu den nächstgelegenen LV95-Punkten fehlt. Um diesem Umstand und dem Nachbarschaftsprinzip gerecht zu werden, wurde beschlossen, gleichzeitig mit der lokalen Punkteinmessung auch den Anschluss an mindestens zwei benachbarte LV95-Punkte zu messen. Für die nach CHTRF04 erstellten AGNES-Stationen hat man auf diesen Anschluss an LV95 verzichtet. Jede andere AGNES-Station bildet sozusagen die Rückversicherung.

Als offizielle Vermessungspunkte müssen die AGNES-Stationen auch repräsentative, toleranzstufengerecht genaue und zuverlässige **LV03-Koordinaten und Gebrauchshöhen (LN02)** aufweisen. Als Anschlusspunkte wurden die nächstgelegenen LFP1 und LFP2 benutzt, es konnten aber auch im Sinne der Nachbarbeziehung LFP3 zur Kontrolle miteinbezogen werden. Wichtig ist dabei die Beurteilung der Anschlusspunkte. Bevor auf einem Anschlusspunkt gemessen wurde, musste er auf seine Qualität hin untersucht werden (Stein unversehrt, horizontal, Kontrollmasse, aktuelles Kroki, etc.). Allfällige Besonderheiten wurden entsprechend protokolliert.

Grundsätzlich ergeben sich zwei verschiedene Methoden für die Anschlussmessungen:

- Klassisch trigonometrische Messungen bei Anschlusspunkten in unmittelbarer Umgebung mit genügenden Sichtverbindungen; GPS-RTK-Messungen (swipos-GIS/GEO) als Kontrolle von zusätzlichen Anschlusspunkten
- GPS-RTK-Messungen (swipos-GIS/GEO) auf einer optimalen Auswahl von benachbarten LFP1/2

Die **Messkampagnen** der Anschlussmessungen erstreckten sich über die drei Jahre 2001 bis 2003. In der Regel war eine Zweierequipe während einer Woche im Einsatz und führte die Messungen durch. Da für die trigonometrischen Messungen die GPS-Antenne der AGNES-Stationen entfernt werden musste, war eine sorgfältige Planung und Absprache mit den Prozessen GP (Betrieb und Unterhalt AGNES) und GG (Betrieb PNAC) notwendig, damit die Ausfallzeiten für die swipos-Positionierungsdienste so kurz wie möglich gehalten werden konnten.

Die **Berechnungen der LV95-Anschlüsse** sind für die Jahre 2002/2003 in [Brockmann, 2003b] detailliert beschrieben. Für einige Stationen wurden die lokalen LV95-Anschlüsse im Rahmen der Messkampagne CHTRF04 (2. Nachmessung des LV95-Netzes im Jahre 2004) durchgeführt und sind in [Brockmann und Ineichen, 2004] dokumentiert. In den Auswertungen wurden keine grossen Ausreisser (> 1cm) zu den vormaligen Bestimmungen der LV95-Koordinaten festgestellt, so dass alle AGNES-Stationen ihre bisherigen Koordinaten beibehalten konnten. Man hat dadurch aber die Gewähr, dass die AGNES-Stationen homogen an die direkt benachbarten LV95-Punkte angeschlossen sind.

Die **Auswertung der LV03-Anschlüsse** der AGNES-Stationen an den offiziellen Bezugsrahmen LV03 erfolgte pro Messkampagne. Die Messungen und Berechnungen sind also punktweise in Kurzberichten dokumentiert. Sämtliche Berechnungen wurden mit der swisstopo-eigenen Software LTOP und/oder TRANSINT ausgeführt. Mit der gleichen Berechnung ist in den meisten Fällen auch die lokale Einmessung der AGNES-Station zu den exzentrischen Zeichen, exzentrischen Rückversicherungen und Ablotung der Antenne auf den Bodenpunkt dokumentiert.

Der Anschluss der AGNES-Stationen an das Landeshöhennetz (LHN) [Schlatter et al., 2003] erfolgte entweder

- zentrisch, d.h. durch direkte terrestrische Messungen zu nahe liegenden Höhenfixpunkten (HFP1). In der Regel handelte es sich dabei um Nivellementmessungen, in Ausnahmefällen auch um trigonometrische Anschlüsse.
- exzentrisch, d.h. der Anschluss an das LHN erfolgte mittels GPS-Höhenübertragung

Ein Anschluss an LHN ist immer gleichbedeutend mit der Festlegung sowohl einer sog. Gebrauchshöhe (LN02), wie auch mit der Bestimmung einer orthometrischen Höhe (LHN95).

Die Tabelle 3-3 gibt einen Überblick über die Anschlüsse der einzelnen AGNES-Stationen an die entsprechenden Koordinatenrahmen der Landesvermessung.

AGNES-Station	Kürzel	Klasse	LV95	LV03	LHN	Bemerkungen
Andermatt	ANDE	A	X	X	e	
Ardez	ARDE	A	X	X	z	
Bourrignon	BOUR	A	X	X	e	
Davos	DAVO	A	X	X	z	
Lausanne	EPFL	C	X	X	z	
Zürich	ETHZ	C	X	X	---	
Falera	FALE	C	X	X	e	
Muttenz	FHBB	C	X	X	z	
Frick	FRIC	A	X	X	e	
Genève	GENE	C	X	X	e	ev. Verlegung 2006
Hohtenn	HOHT	C	X	X	---	
Huttwil	HUTT	C	X	X	---	
Jungfraujoch	JUJO	C	X	X	---	
Kreuzlingen	KREU	C	X	X	z	
Locarno	LOMO	C	X	X	---	
Luzern	LUZE	B	X	X	z	
Martigny	MART	A	X	X	---	
Neuchâtel	NEUC	C	X	X	z	ev. Verlegung 2006
Payerne	PAYE	C	X	X	---	
Pfänder	PFAN	B	X	X	---	
Saanen	SAAN	A	X	X	---	
Sargans	SARG	A	X	X	e	Verlegung 2006 (instabil)
Samedan	SAME	C	X	X	---	
San Bernardino	SANB	A	X	X	z	
Schaffhausen	SCHA	C	X	X	e	
Stabio	STAB	C	X	X	---	
Ste-Croix	STCX	C	X	X	---	
St. Gallen	STGA	C	X	X	---	
Uznach	UZNA	C	X	X	e	
Zimmerwald	ZIMM	B	X	X	z	
Zermatt	ZERM	A	X	---	---	Lokale Einmessung 2006

z: zentrischer Anschluss
e: exzentrischer Anschluss

Tab. 3-3: AGNES-Stationen und ihre Anschlüsse an die Netze der Landesvermessung

3.2 Datenfluss und Datenformate

Wie der Abb. 3-11 entnommen werden kann, sind die einzelnen AGNES-Stationen über das Kommunikationsnetz der Bundesverwaltung (KOMBV, oft auch als BV Netz bezeichnet) mit der AGNES/swipos-Zentrale (vgl. Kapitel 3.3) verbunden. Das KOMBV stellt dabei ein Intranet dar, d.h. es ist vom öffentlichen Internet getrennt.

Die Möglichkeit der Nutzung des KOMBV stellt für AGNES einen Glücksfall dar. Das Netz zeichnet sich durch einen stabilen Durchsatz und eine hohe Zuverlässigkeit aus, was gerade für den Betrieb von Positionierungsdiensten, wo ein permanenter Datenfluss zwischen den Stationen und der Zentrale gefordert ist, von grosser Bedeutung ist. Zudem erlaubt es, von allen Arbeitsplätzen bei swisstopo direkt auf sämtliche AGNES-Stationen zuzugreifen, was für den Betrieb des Netzes einen grossen Vorteil darstellt.

Je nach Verwendungsart der Daten der einzelnen Stationen gilt es bei AGNES zwischen zwei verschiedenen Datenflüssen zu unterscheiden:

- Für die **real-time Anwendungen** im Rahmen der swipos-Positionierungsdienste (vgl. Kapitel 4) werden die Daten jede Sekunde von den Stationen in die AGNES/swipos-Zentrale übertragen. Die Übertragung erfolgt im Falle der AGNES-Stationen über das Kommunikationsnetz der Bundesverwaltung (KOMBV). Die ausländischen Stationen, die in den swipos-Positionierungsdienst integriert sind, werden über das Internet (über eine VPN-Verbindung) übertragen. Als Datenformat wird das jeweilige herstellerspezifische Rohdatenformat verwendet (Trimble für AGNES-Stationen, Leica für ausländische Stationen). Das Übertragungsprotokoll ist TCP/IP, wobei zwischen dem Stationsrechner und dem Rechner in der Zentrale eine Socket-Verbindung aufgebaut wird.
- Für **post-processing Anwendungen** werden die Daten der AGNES-Stationen stündlich von den einzelnen AGNES-Stationen in die AGNES/swipos-Zentrale bzw. das PNAC heruntergeladen. Der Download erfolgt im Falle der AGNES-Stationen über das Kommunikationsnetz der Bundesverwaltung (KOMBV) bzw. über Internet im Falle der ausländischen Stationen. Als Datenformat wird das empfängerunabhängige Austauschformat RINEX Version 2.0 [Gurtner und Mader, 1990] verwendet, wobei die Daten für den Datentransfer und die Speicherung auf den Servern im PNAC und in der AGNES/swipos-Zentrale zusätzlich komprimiert werden.
  Für die post-processing Anwendungen im PNAC wird eine Datenrate von 30 Sekunden verwendet, welche für statische geodätische Auswertungen ausreichend ist. Die RINEX-Daten werden dabei von den Linux-Servern des PNAC per FTP direkt von den AGNS-Stationen heruntergeladen. Einzig auf der Station Zimmerwald läuft ein Programm, welches die Tages- und Stundenfiles innerhalb 1 Minute an mehrere internationale Datenzentren verschickt, da Zimmerwald eine wichtige "Core-Station" in den Netzen von EUREF und IGS ist.
  Parallel dazu werden die Daten aber auch noch mit einer Datenrate von 1 Sekunde auf dem AGNES-Webserver (vgl. Kapitel 3.3.4) abgespeichert, wo sie den swipos-Kunden für post-processing Anwendungen zur Verfügung gestellt werden. Dabei kann der Kunde eine für seine konkrete Anwendung ideale Datenrate (≥ 1 Sekunde) wählen, wobei die Daten automatisch "ausgedünnt" werden.

3.3 AGNES/swipos-Zentrale

Wie im vorangehenden Kapitel dargestellt, sind die AGNES-Stationen über ein Intranet mit der Zentrale verbunden (vgl. Abb. 3-11). Neben den erwähnten Vorteilen hat dies aber den Nachteil, dass die Daten der AGNES-Stationen a priori aus dem Internet nicht zugänglich sind. Aus diesem Grunde wurde die AGNES/swipos-Zentrale nicht bei swisstopo sondern beim Bundesamt für Informatik und Telekommunikation (BIT) installiert, da dort der Netzübergang vom KOMBV (Intranet) zum Internet erfolgt. Das BIT ist für den Betrieb und Unterhalt der Server verantwortlich, swisstopo bleibt hingegen für die Applikationen zuständig [Grünig, 2004].

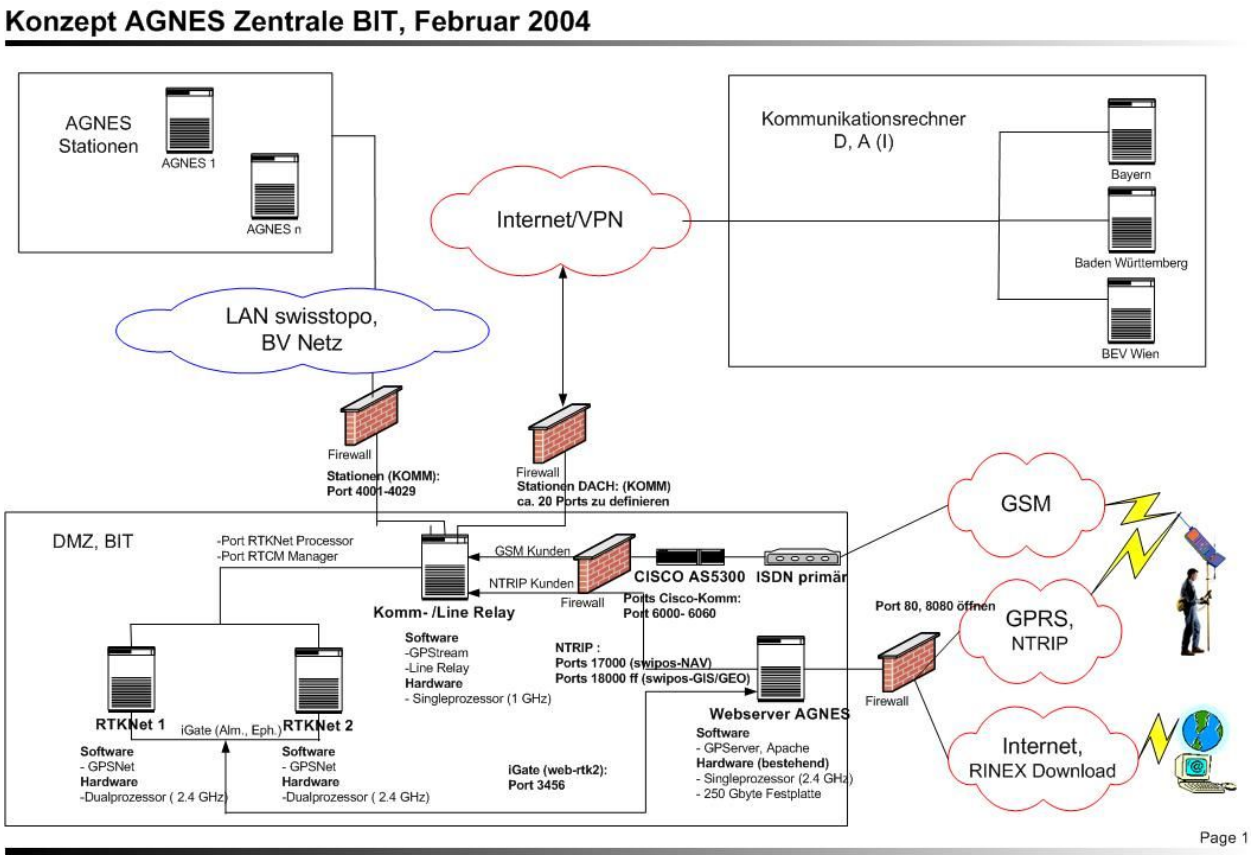


Abb. 3-11: Schema AGNES/swipos-Zentrale

Die Server der AGNES/swipos-Zentrale befinden sich in einer sog. 'demilitarized zone', d.h. sie sind gegen Angriffe aus dem Internet geschützt, da nur die effektiv benötigten TCP-Ports geöffnet sind.

Im Einzelnen besteht die AGNES/swipos-Zentrale aus den folgenden Servern:

- Kommunikationsserver
- RTK-Server (RTK1 und RTK2, redundant ausgelegt)
- Web-Server
- Access-Server

Im Folgenden werden diese Komponenten detaillierter beschrieben.

3.3.1 Kommunikationsserver

Der Kommunikationsserver (in Abb. 3-11 als Komm-/LineRelay bezeichnet) regelt den real-time Datenfluss von den einzelnen AGNES-Stationen zu den RTK-Rechnern, wo die AGNES-Daten in Echtzeit verarbeitet werden. Ausserdem steuert er mittels eines sog. 'Line Relays' die Verteilung der Benutzer der Positionierungsdienste auf die beiden RTK-Rechner.

3.3.2 RTK-Server

Die beiden redundant ausgelegten RTK-Server (in Abb. 3-11 als RTKNet1 und RTKNet2 bezeichnet) bilden das Herzstück der AGNES/swipos-Zentrale. Auf den beiden Servern ist die Software GPSNet der Firma Trimble Terrasat GmbH (München) [Trimble, 2005a] installiert, welche der Berechnung einer real-time Netzwerklösung von AGNES und der Bereitstellung der Daten als virtuelle Referenzstationen für die Positionierungsdienste dient. Die Abbildung 3-12 zeigt einen 'screenshot' der Software GPSNet.

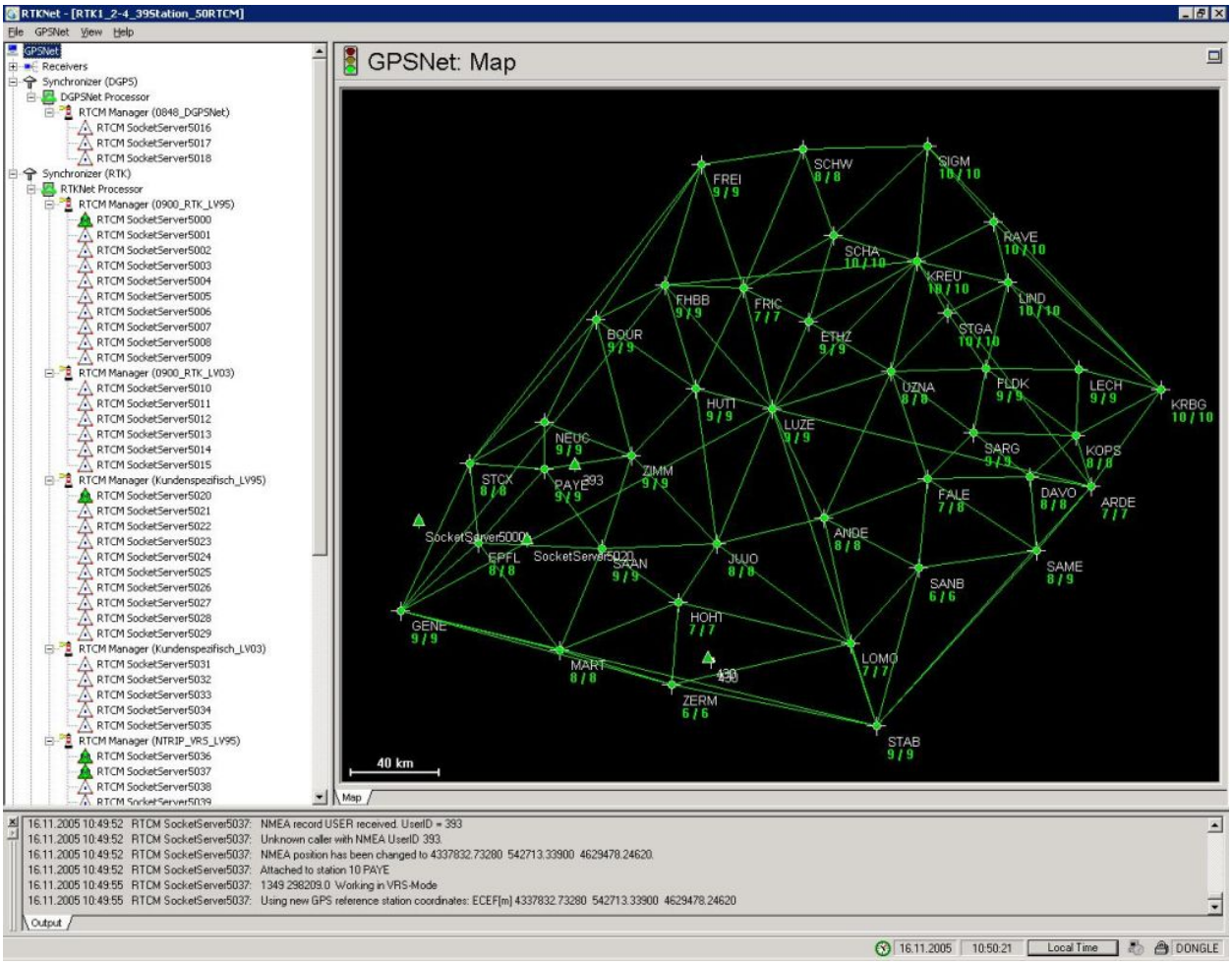


Abb. 3-12: Software GPSNet (Version 2.40): Übersichtsfenster

Die Software gliedert sich in verschiedene Module, welche im Folgenden näher beschrieben werden.

Der **Almanach-Server** dient dazu, automatisch die aktuellen Almanach-Daten der einzelnen Satelliten abzuspeichern und zu erneuern. Die Almanach-Daten werden für die Berechnung der elevationsabhängigen Offsets der Phasenzentren der GPS-Antennen verwendet.

Im **Ephemeriden-Server** werden die aktuellen Bahnparameter der GPS-Satelliten (broadcast orbits) verwaltet, welche von den einzelnen Stationsempfängern heruntergeladen werden. Die Verwendung der Ephemeriden im RTCM-Manager (vgl. unten) wird dabei verzögert, damit bei der real-time Positionierung nicht in der Zentrale neuere Ephemeriden verwendet werden als beim Rover. Der Ephemeriden-Server verwaltet ausserdem sog. ‚predicted orbits', welche von den Datenzentren des International GNSS Geodynamics Service (IGS) automatisiert per FTP heruntergeladen werden können. Diese predicted orbits zeichnen sich durch eine höhere Genauigkeit aus und werden im VRS-Porzessor (vgl. unten) verwendet.

Die **Receiver-Module** dienen dem Einlesen der Daten der einzelnen AGNES-Stationsempfänger. In diesem Modul müssen die Phasenzentren der GPS-Antennen und die Koordinatenwerte für den "Antenna Reference Point (ARP)" spezifiziert werden. Im Falle von AGNES werden hier die Standardkalibrationswerte und die Stationskoordinaten im System CHTRS95 (vgl. Kap. 3.1.4) eingegeben.

Im **Synchronizer** werden die Daten der einzelnen Receiver-Module auf eine gemeinsame Messepoche synchronisiert, indem der Delay der einzelnen Datenströme bezüglich der zuerst eintreffenden Station bestimmt wird. Aufgrund der Messepoche der zuerst eintreffenden Station und des ermittelten Delays wird eine gemeinsame Epoche für die Auswertung der Daten bestimmt. In der Regel beträgt der Delay auf dem KOMBV ca. 200 ms, d.h. die Daten sämtlicher AGNES-Stationen werden mit einem Delay von 1 Sekunde in der Zentrale in der Software GPS-Net ausgewertet.

Die synchronisierten Daten werden dem **VRS-Prozessor** zugeführt, welcher eine Netzwerklösung berechnet. Im Falle von AGNES werden im Hinblick auf die swipos-Dienste unterschiedlicher Genauigkeit (vgl. Kap. 4) zwei verschiedene Prozessoren verwendet: ein Prozessor für Differential GPS (DGPSNet Processor) Anwendungen mit m-Genauigkeit unter Verwendung von Code-Messungen und ein RTKNet Processor für Anwendungen mit cm-Genauigkeit unter Verwendung der Phasen-Messungen. Im Falle des ‚DGPSNet Processor' werden lediglich 6 AGNES-Stationen (Ardez, FHBB Muttenz, Genève, Kreuzlingen, Luzern und Stabio) verwendet. Diese Stationen sind über die ganze Schweiz verteilt und reichen für die Interpolation von Code-Messungen aus. Für den 'RTKNet Processor' hingegen müssen sämtliche AGNES-Stationen (30 aus der Schweiz und 9 aus dem benachbarten Ausland, vgl. dazu ach Kapitel 4.3) verwendet werden. In Abb. 3-13 ist ein Ausschnitt aus der Statusanzeige des 'RTKNet Processors' der Software GPSNet dargestellt. Die Liste zeigt bei jeder Station die Anzahl und Nummern der aktuell getrackten Satelliten, die Anzahl der verarbeiteten Satelliten und die Anzahl der Satelliten mit erfolgreich gelösten Phasenmehrdeutigkeiten. Ausserdem wird für jede Station eine Statistik der Performance der letzten Stunde bzw. der letzten 24 Stunden angezeigt. Die Prozentzahlen bedeuten dabei den prozentualen Anteil der Zeit, während der mehr als 5 Satelliten mit gelösten Phasenmehrdeutigkeiten zur Verfügung standen.

RTKNet Processor: Status

Network performance last 24 hours: 98.4%

	ID	Station	Tracked	Processed	Solved	Performance (last 1 h / last 24 h)	Satellites
	8	ANDE	8	8	8	99.5% / 98.6%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	23	ARDE	7	7	7	99.2% / 97.7%	G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	13	BOUR	8	8	8	99.3% / 98.3%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	6	DAVO	7	7	7	99.2% / 97.8%	G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	7	EPFL	8	8	8	96.1% / 98.8%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	2	ETHZ	8	8	8	99.9% / 99.3%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	25	FALE	8	8	8	99.5% / 98.3%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	3	FHBB	8	8	8	99.8% / 99.2%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	35	FLDK	8	8	8	99.1% / 95.8%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	39	FREI	8	8	8	98.6% / 93.7%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	14	FRIC	8	8	8	99.7% / 98.3%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	11	GENE	8	8	8	99.4% / 98.9%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	15	HOHT	6	6	6	99.5% / 98.0%	G02(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	16	HUTT	8	8	8	100.0% / 99.6%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	4	JUJO	8	8	8	99.4% / 99.0%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	36	KOPS	8	8	8	99.0% / 97.5%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	37	KRBG	8	8	8	99.8% / 98.5%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	24	KREU	8	8	8	99.9% / 99.4%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	34	LECH	8	8	8	99.8% / 97.7%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	38	LIND	8	8	8	100.0% / 98.6%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	5	LOMO	7	7	7	99.6% / 98.2%	G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	17	LUZE	8	8	8	99.7% / 99.5%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	12	MART	8	8	8	99.1% / 97.9%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	9	NEUC	8	8	8	99.5% / 98.9%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	10	PAYE	8	8	8	99.8% / 99.4%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	33	RAVE	8	8	8	99.3% / 98.2%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	27	SAAN	8	8	8	99.4% / 98.4%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	22	SAME	8	8	8	98.9% / 97.7%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	28	SANB	8	8	8	98.4% / 97.0%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	18	SARG	8	8	8	99.6% / 98.4%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	19	SCHA	8	8	8	99.9% / 99.4%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	32	SCHW	7	7	7	98.5% / 97.1%	G01(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	31	SIGM	8	8	8	99.8% / 98.4%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	29	STAB	8	8	8	99.4% / 99.2%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	26	STCX	8	8	8	99.6% / 98.7%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	20	STGA	8	8	8	100.0% / 99.5%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	21	UZNA	8	8	8	100.0% / 99.2%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	30	ZERM	7	7	7	98.9% / 96.9%	G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)
	1	ZIMM	8	8	8	99.9% / 99.2%	G01(S) G02(S) G04(S) G05(S) G06(S) G09(S) G14(S) G30(S)

Abb. 3-13: Statusanzeige des 'RTKNet Processors' (GPSNet, Version 2.40)

Da es sich bei GPSNet um eine kommerzielle Software handelt, sind über die Modellierung in den VRS-Prozessoren ausser den Angaben in den Software-Manuals keine Details bekannt. Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich demnach auf das Benutzerhandbuch der Software GPSNet.

Ausgehend von den bekannten Stationskoordinaten und den präzisen Bahndaten (predicted orbits) werden die Phasenmehrdeutigkeiten gelöst und aus den Residuen werden Fehlermodelle und Parameter für die Ionosphäre, die Troposphäre und die Bahnen geschätzt. Der Einfluss der Troposphäre und der Bahnen wird zusammenfassend auch als "geometrischer Anteil" bezeichnet. Gemäss den Angaben im Manual werden dabei für die Ionosphäre ein single layer Modell, für die Troposphäre ein Modified Hopefield Model verwendet. Die Troposphärenparameter der einzelnen Stationen können abgespeichert werden. Das Fehlermodell für die Bahnen wird aus dem Vergleich mit den 'ultra rapid orbits' berechnet.

Das Hauptresultat der Auswertung ist die Schätzung der systematischen geometrischen (Bahnen/Troposphäre) und ionosphärischen Fehlereinflüsse. Diese Modelle und Parameter werden anschliessend in den Positionierungsdiensten (vgl. Kapitel 4) zur Reduktion der distanzabhängigen systematischen Fehlereinflüsse in der Methode der Virtuellen Referenzstation (VRS) verwendet.

Die Korrekturmodelle (Geometrie / Ionosphäre) werden dabei in ppm-Werte für die Nord-Süd bzw. Ost-West Richtung umgerechnet. Abb. 3-14 zeigt als Beispiel die Darstellung der Fehleranteile in der Software GPSNet für die AGNES-Station Schaffhausen (SCHA).

RTKNet Processor: PPM Result

G01 SCHA

Sat	El [°]	Az [°]	GeoN [ppm]	GeoE [ppm]	IonoN [ppm]	IonoE [ppm]	Issue of Fix
G01	20	320	-0.4	-0.1	-0.7	0.6	1
G02	26	102	-0.3	-0.0	-1.2	0.0	1
G04	21	59	-0.3	-0.2	-0.5	0.2	1
G05	80	35	0.0	0.0	0.0	0.0	1
G06	24	210	-0.3	-0.1	-1.1	0.4	1
G09	43	138	-0.1	-0.0	0.0	-0.2	1
G14	40	284	-0.1	-0.0	-0.1	0.5	1
G30	60	279	-0.0	-0.0	-0.1	0.4	1

Abb. 3-14: ppm-Werte GPSNet (Version 2.40) für die Station Schaffhausen (SCHA)

Die ppm-Werte werden zudem in einem VRS Residuenfile abgespeichert. Dieses File wird z.B. für die Berechnung von VRS-Stationen für post-processing Anwendungen im AGNES Web-Interface (vgl. Kapitel 3.3.4) verwendet.
Seit der Version 2.2 (2003) werden zudem bei swisstopo die von GPSNet geschätzten Troposphärenparameter abgespeichert. Diese werden vom PNAC heruntergeladen, kontrolliert und nach Konvertierung in ein bei den Meteorologen gebräuchliches Format an Datenbanken von MeteoSchweiz und an das europäische Meteo-Datenzentrum beim UK-MetOffice (MetO) geschickt. Die Daten werden für die Berechnung von numerischen Wettermodellen (→ Wettervorhersage) verwendet.

Der **RTCM-Manager** dient der automatischen Behandlung der Benutzeranfragen für die swipos-Positionierungsdienste und bildet eine Zusammenfassung von einzelnen RTCM-Generatoren, welche letztlich den Kunden die Korrekturdaten zur Verfügung stellen. Im Falle von AGNES/swipos wurden verschiedene RTCM-Manager definiert, welche den unterschiedlichen swipos-Dienstklassen entsprechen (vgl. Kapitel 4). Die einzelnen Kundenanfragen werden in den sog. RTCM-Generators behandelt. Aufgrund der Näherungsposition des Benutzers wird ein RTCM-Datenstrom erzeugt, der im Wesentlichen die Daten der nächstgelegenen AGNES-Station, korrigiert um die Fehleranteile, enthält. Dieses Verfahren wird als Methode der "Virtual Reference Station (VRS)" bezeichnet.

Im **Coordinate Monitor** wird eine unabhängige Koordinatenlösung (gelagert auf der AGNES-Station Zimmerwald) berechnet und mit den Sollwerten der Stationskoordinaten verglichen. Die Abweichungen von den Sollwerten werden zusammen mit ihren mittleren Fehlern ausgewiesen und, falls sie bezüglich eines vom Benutzer definierten Grenzwertes signifikant sind, wird ein Alarm per e-Mail erzeugt. Abb. 3-15 zeigt die Übersichtskarte des Monitoring-Moduls sowie den Verlauf der Koordinatenschätzungen für die Station Kreuzlingen über den Zeitraum einer Woche.

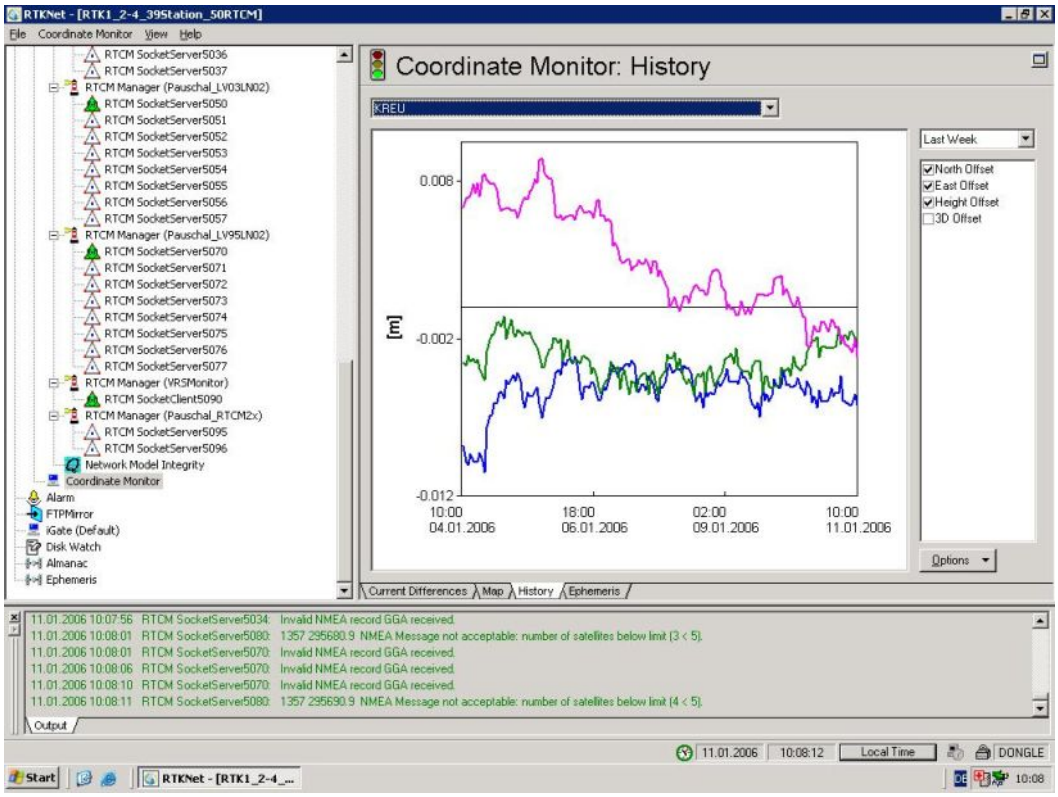


Abb. 3-15: Coordinate Monitoring (Übersichtskarte und Zeitreihe der Koordinaten)

Da die Koordinaten mit einem recht hohen Gewicht gefiltert werden, sind kleine Koordinatenänderungen (≤ 1 - 2 cm) erst mit einer zeitlichen Verzögerung von 3 - 4 Tagen ersichtlich. Als Ergänzung dieser Information werden daher vom PNAC "freie" Koordinaten basierend auf Stundenlösungen geliefert.

Das Modul **"Network Model Integrity"** erlaubt es Aussagen über mögliche Restfehler in der Netzwerklösung zu machen. Diese Restfehler stammen daher, dass die Fehlermodelle nur die linearen Anteile der Fehler eliminieren und damit z.B. die kurzperiodischen Störungen der Ionosphäre nicht erfasst werden. Die möglichen Restfehler für eine bestimmte Station werden dadurch bestimmt, dass die Daten dieser Station nicht für die Modellierung verwendet werden und danach die ohne diese Station berechneten Fehlermodelle mit den effektiven Beobachtungen der weggelassenen Station verglichen werden ('cross validation'). Dieses Vorgehen erfolgt automatisch für alle Stationen innerhalb des Netzes (ohne Randstationen).

Die Software GPS-Net verfügt über ein zentrales **Alarmmodul**, mit welchem bei vordefinierten Systemzuständen an den AGNES/swipos-Operateur ein Alarm per E-Mail oder SMS erzeugt werden kann. Momentan sind die folgenden Alarme aktiviert:

- Datenausfall GPS-Empfänger auf einer AGNES-Station
- Schlechte Datenqualität eines GPS-Empfängers auf einer AGNES-Station (z.B. fehlendes L2)
- Koordinatenmonitoring: beim Überschreiten einer 3D-Abweichung von den Sollkoordinaten von 5 cm wird ein Alarm ausgelöst
- Network Model Integrity: beim Überschreiten der Grenzwerte von 3 cm (geometrischer Restfehler) und 5 cm (ionosphärischer Restfehler) wird ein Alarm ausgelöst

3.3.3 Access-Server

Der Zugang für die Benutzer der swipos-Positionierungsdienste erfolgt je nach Art der Kommunikation. Falls swipos über GSM/CSD genutzt wird, wird der Benutzer über einen ISDN-Primäranschluss auf einen sog. Access-Server verbunden, welcher den Übergang zwischen den in der Telefonie (ISDN) und bei Computernetzwerken (Internet, TCP/IP) üblichen Protokollen bewerkstelligt. Der Benutzer wird danach über den Kommunikations- auf einen der beiden RTK-Server verbunden, von wo er die gewünschten Korrekturdaten (vgl. Kapitel 4) erhält.

3.3.4 Web-Server

Der Web Server (in Abb. 3-11 als WebserverAGNES bezeichnet) erfüllt im Wesentlichen zwei Aufgaben:

- Datenhaltung
- Interface zum Internet für AGNES- und swipos-Kunden

Die **Datenhaltung** der RINEX-Daten sämtlicher AGNES-Stationen (inkl. ausländischer Stationen) erfolgt auf dem Web-Server. Die Daten werden mittels eines FTP-Mirrors stündlich von den AGNES-Stationen auf den Web-Server heruntergeladen und dort komprimiert in den entsprechenden Verzeichnissen abgelegt. Nebst den eigentlichen Messdaten der AGNES-Stationen werden auch die VRS-Residuenfiles (vgl. oben), welche in der Software GPS-Net erzeugt werden, auf dem Webserver abgelegt. Diese Files werden für die Berechnung von Virtuellen Referenzstationen (VRS) für post-processing Anwendungen benötigt.

Aktuell stehen die Daten sämtlicher AGNES-Stationen mit einer Datenrate von 1 Sekunde während 100 Tagen auf dem Web-Server zur Verfügung. Daneben werden die Daten auch in ein Archivierungssystem bei swisstopo ausgelagert (ab 2006).

Der Web-Server bildet aber auch das **Interface zum Internet** für AGNES- und swipos-Kunden. Daher ist der Web-Server als einziger Server in der AGNES/swipos-Zentrale über die Ports 80 (WWW) und 8080 (NTRIP, vgl. Kapitel 4) zum Internet geöffnet. Als Softwareplattform werden GPServer und GPSWeb von Trimble eingesetzt [Trimble, 2005b]. Die Plattform besteht aus einer WWW-Benutzeroberfläche, diversen Programmen und Scripts (sog. Services) und einer Datenbank für die Kundenverwaltung.

Über die Benutzeroberfläche (vgl. Abb. 3-16) können Informationen zu AGNES abgerufen werden. So können z.B. eine Stationskarte angezeigt, der Status der aktuell auf einer AGNES-Station getrackten Satelliten oder Informationen zur ionosphärischen Aktivität abgefragt werden. Die entsprechenden Informationen werden bei Client-Anfragen über das proprietäre Trimble iGate-Protokoll von den RTK-Servern heruntergeladen, d.h. diese Information ist immer aktuell.

Für post-processing Anwendungen können im sog. 'RINEX-Shop' Daten von einzelnen AGNES-Stationen bzw. Daten für eine Virtuelle Referenzstation (VRS) bezogen werden (vgl. Abb. 3-16). Der Benutzer muss dazu die gewünschte Position (als globale, geographische Koordinaten), das gewünschte Beobachtungsintervall und die gewünschte Datenrate angeben. Aufgrund dieser Angaben wird auf dem Web-Server im sog. Virtual Reference File Generator aus den Daten der nächstgelegenen AGNES-Station und des VRS-Residuenfiles ein RINEX-File mit den ausgewählten Daten erzeugt. Selbstverständlich können auch direkt die Daten einer bestimmten AGNES-Station im RINEX-Format heruntergeladen werden.

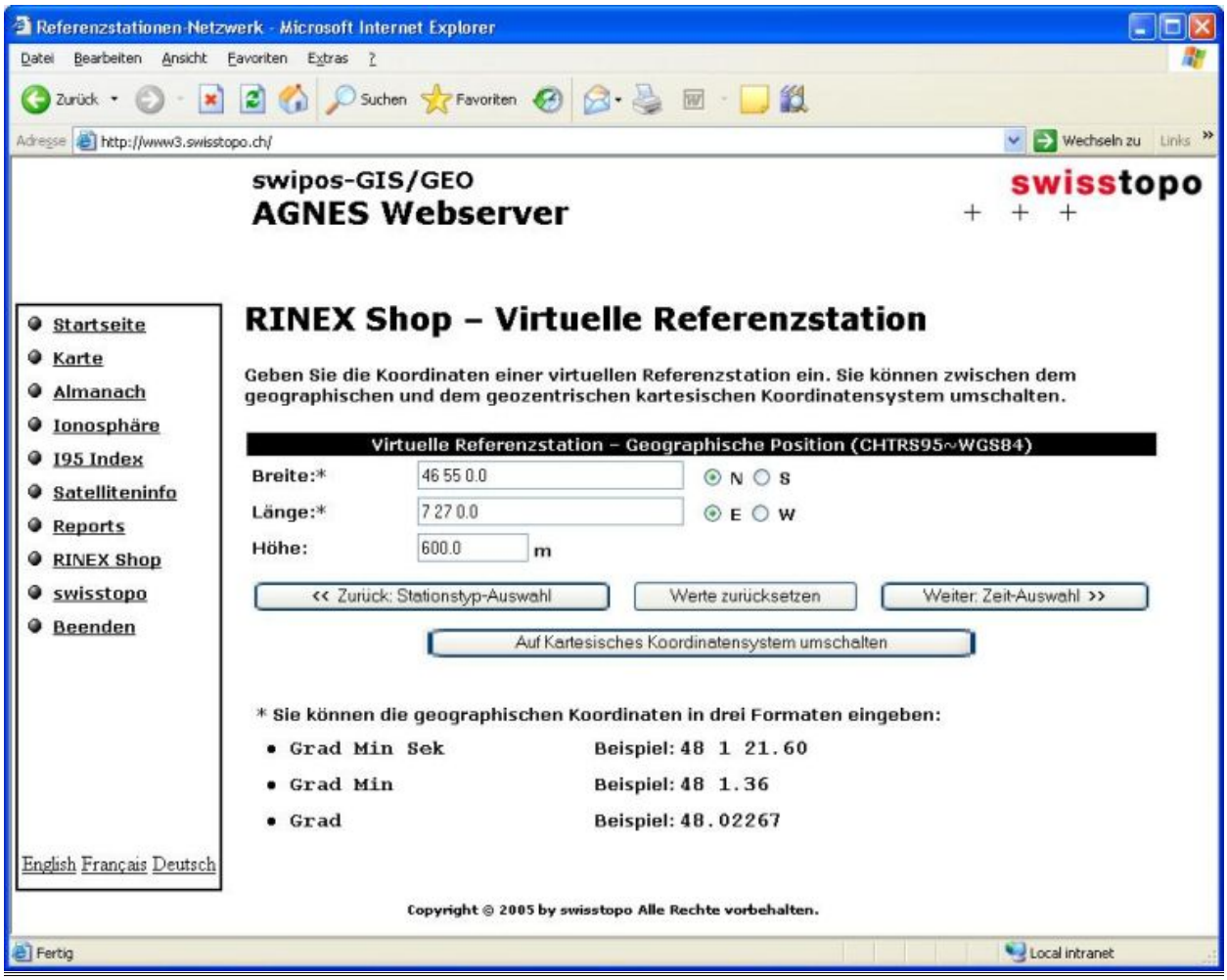


Abb. 3-16: AGNES Web-Server: VRS-Berechnung für post-processing Anwendungen (GPSWeb 2.40)

Im Rahmen der swipos-Positionierungsdienste (vgl. Kapitel 4) ist der Web-Server für die Verbreitung der RTCM-Korrekurdaten über Internet zuständig. Die Benutzer, welche swipos über Internet nutzen, greifen über den AGNES-Server (www3.swisstopo.ch, Port 8080) auf den Dienst zu. Die Anfrage wird anschliessend mittels eines öffentlichen Protokolls (NTRIP) auf den Kommunikationsserver und das entsprechende Line Relay (vgl. oben) weitergeleitet. Von dort aus wird der Benutzer auf den RTK-Server verbunden, wo er schliesslich die RTCM-Daten erhält.

4 Swiss Positioning Service (swipos)

4.1 Einleitung

Die Grundidee der swipos-Positionierungsdienste besteht darin, den neuen GPS-gestützten Bezugsrahmen LV95 in der Schweiz auch für real-time Anwendungen zur Verfügung zu stellen. Die Daten der AGNES-Permanentstationen werden dabei über verschiedene Kommunikationsverbindungen in Echtzeit zum Benutzer übertragen, wo sie zur raschen und genauen Positionsbestimmung verwendet werden können. Im Rahmen der "Nationalen Geodateninfrastruktur" (NGDI) bilden die swipos-Positionierungsdienste sog. Geobasisdienste, da sie wichtige raumbezogene Informationen auf einfache Art und Weise dem Benutzer zur Verfügung stellen. Die Hauptvorteile der Verwendung der swipos-Positionierungsdienste sind:

- Benutzer arbeiten automatisch in einem einheitlichen Koordinatenrahmen
- Das Aufstellen einer eigenen, lokalen Referenzstation entfällt. Die Vermessungsarbeiten können daher rascher und wirtschaftlicher durchgeführt werden.

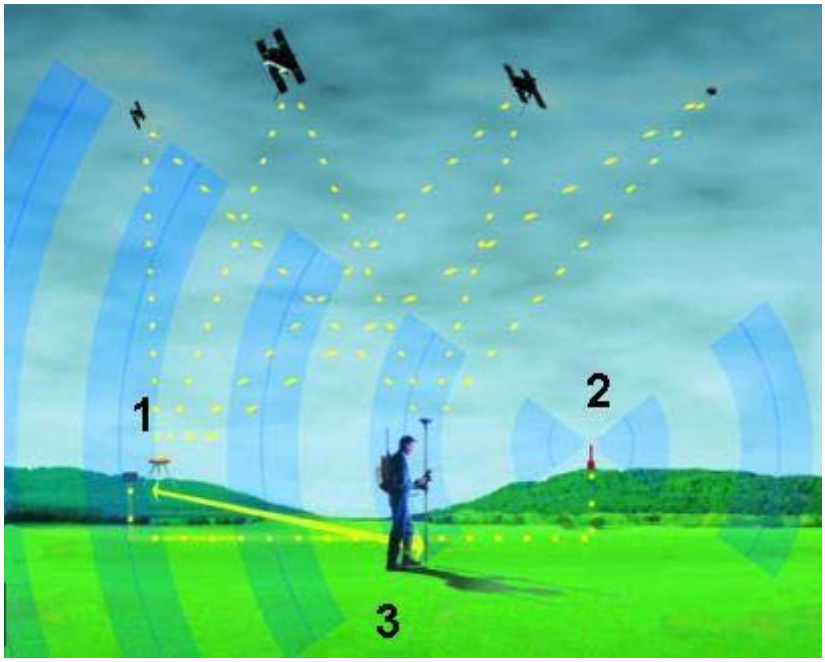


Abb. 4-1: Schema/Prinzip swipos

Gemäss Abb. 4-1 besteht ein real-time Positionierungssystem also immer aus den 3 folgenden Segmenten:

- Referenzstation bzw. ein Netz von Referenzstationen (1)
- Datenübermittlung (2)
- Mobiler GPS-Empfänger mit entsprechender Empfangseinrichtung für die Korrekturdaten (3)

Je nach Art der verwendeten GPS-Empfänger bzw. der übertragenen Daten lassen sich zwei verschiedene Messverfahren unterscheiden:

Als **Differential GPS (DGPS)** bezeichnet man das Verfahren der Positionsbestimmung unter Verwendung von Code-Messungen. Dabei werden ausgehend von der bekannten Sollposition der GPS-Referenzstation und den ebenfalls bekannten Satellitenpositionen die Solldistanzen zu allen sichtbaren Satelliten berechnet. Durch den Vergleich der Solldistanzen mit den effektiv gemessenen Distanzen erhält man für jeden Satelliten einen Korrekturwert (Differenz Soll - Ist). Diese Korrekturwerte gelten nun in gleichem Masse auch für einen GPS-Benutzer, der sich in der Nähe der GPS-Referenzstation befindet, d.h. dieser kann durch die Verwendung dieser Navigationskorrekturdaten seine Positionierungsgenauigkeit erheblich steigern.

Die Distanz des DGPS-Benutzers von der GPS-Referenzstation spielt für die Genauigkeit ebenfalls eine wichtige Rolle. Untersuchungen haben gezeigt, dass in der Schweiz ein DGPS-Dienst für Genauigkeiten im Meter-Bereich mit einer einzigen Referenzstation betrieben werden kann. Das Alter der Korrekturdaten wirkt sich ebenfalls auf die DGPS-Positionsgenauigkeit aus. Für DGPS-Anwendungen kann das Alter 20 - 40 Sekunden betragen, ohne dass eine spürbare Verschlechterung der Positionsgenauigkeit eintritt.

Die **Real Time Kinematic (RTK)-**Methode beruht auf der Messung der Trägerphasen des GPS-Signals auf den beiden Frequenzen L1 und L2 und deren differentiellen Auswertung in Echtzeit bezüglich einer Referenzstation. Das Hauptproblem stellt hier die Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten (d.h. die ganze Anzahl Wellenlängen zwischen GPS-Satellit und Empfangsantenne) dar. Hierzu wurden in den letzten Jahren ausgeklügelte Rechenverfahren entwickelt, welche die Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten immer rascher und zuverlässiger ermöglichen. Die Genauigkeit der RTK-Methode wird wesentlich durch die Distanz D zwischen Rover und Referenzstation beeinflusst und liegt bei ca. 1cm ± 2ppm (D) für die Lage und ca. 2 cm ± 2ppm (D) für die Höhe. Daraus wird ersichtlich, dass die Distanz D zwischen Rover und Referenzstation nicht mehr als 20 - 30 km betragen sollte. Das Alter der Korrekturdaten ist für RTK-Anwendungen kritischer als für DGPS und sollte max. 2 Sekunden betragen.

Die Methode der **Virtuellen Referenzstationen (VRS)** ermöglicht es nun, die beiden Messverfahren DGPS und RTK auf ein Netzwerk von GPS-Referenzstationen auszudehnen. Die Grundidee besteht darin, systematische distanzabhängige Fehleranteile zwischen den Referenzstationen aus den Messungen dieser Referenzstationen zu interpolieren und dem Benutzer für seinen aktuellen Standort "korrigierte" Messdaten zur Verfügung zu stellen, mit dem Ziel, die distanzabhängigen Fehleranteile zu eliminieren. Voraussetzung dazu ist, dass die Position des Benutzers näherungsweise bekannt ist. Der Benutzer sendet dazu seine Näherungsposition in die Zentrale, wo aufgrund der aktuellen Benutzerposition die Interpolation der Messdaten berechnet wird. Die Interpolation erfolg dabei unter Verwendung der in der Zentrale berechneten Korrekturmodelle (vgl. Kapitel 3.3.2), indem die Messungen der nächstgelegenen AGNES-Station unter Berücksichtigung der ppm-Werte für den geometrischen (Troposphäre und Bahnen) und den ionosphärischen Fehleranteil auf den aktuellen Standort des Benutzers umgerechnet werden.

4.2 Datenübermittlung

Der Datenübermittlung zwischen der Zentrale und dem Benutzer kommt bei Positionierungsdiensten eine zentrale Rolle zu, weshalb ihr hier ein eigenes Unterkapitel gewidmet wird.

4.2.1 Datenformat

Das Standard-Korrekturdatenformat für differentielle GNSS-Anwendungen wird von der amerikanischen "Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Commitee No. 104" (RTCM-SC 104) definiert [RTCM, 2005]. Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Formatversionen publiziert. Jede Formatversion enthält diverse Message-Typen. Eine RTCM-Nachricht für die differentielle Positionsbestimmung besteht immer aus verschiedenen solchen Message-Typen, welche die Referenzposition, die dazugehörigen Code- oder Phasendaten, sowie im Falle der Verwendung virtueller Referenzstationen (VRS) zusätzliche Informationen (vgl. unten) enthalten.

Die wichtigsten Message-Typen der Version 2.3 sind in Tabelle 4-1 zusammengestellt. Die Message-Typen 1 und 2 werden ausschliesslich für DGPS verwendet, die übrigen Message-Typen für RTK. Die Typen 18 und 19 beinhalten die eigentlichen Code- und Phasenmessungen für die virtuelle Referenzstation (VRS) enthalten. Diese Messungen entsprechen den Rohmessungen der nächstgelegenen AGNES-Station, welche für den aktuellen Standort des Benutzers um die in der Software GPSNet (vgl. Kapitel 3.3.2) geschätzten systematischen Fehleranteile korrigiert wurden. In den Message-Typen 23 und 24 werden der Antennentyp und die Referenzkoordinaten (ARP) übermittelt. Für gewisse Empfängertypen wird zusätzlich der Message-Typ 59 benötigt, welcher die Referenzstationsparameter der eigentlichen physischen Referenz, d.h. der nächstgelegenen AGNES-Station, enthält. Da der Rover die Distanz zur Referenzstation aufgrund der empfangenen Referenzkoordinaten (Message Typen 23/24) bestimmt und diese im Falle von VRS nur einige Meter beträgt, besteht die Gefahr, dass für die Berechnung der Roverposition z.B. bei der Modelierung von Troposphäre und Ionosphäre ungeeignete Auswerteparameter gewählt werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass der Typ 59 mitgeschickt wird. In RTCM-Version 3.0 wurde Typ 59 durch die "Physical Base Info" ersetzt (vgl. Tabelle 4-2).

Message-Typ	Beschreibung
1	Differentielle GPS-Korrektur (Code)
2	Delta Differentielle GPS-Korrektur (Code)
18	Unkorrigierte RTK-Phase
19	Unkorrigierte Pseudorange
23	Antennentyp Definition
24	Antennen Referenzpunkt Parameter (ARP)
59	Proprietäre Message

Tab. 4-1: Beschreibung der für swipos relevanten RTCM 2.3 Message-Typen

Im September 2003 wurde die komplett neu entworfene Version 3.0 des RTCM Formats veröffentlicht. Diese Version wird die GPS-Modernisierungen (L2C und L5) wie auch zukünftige Systeme (Galileo) unterstützen. RTCM 3.0 baut auf einer Schichtarchitektur auf und ist viel kompakter und sicherer bei der Datenübertragung als seine Vorgängerversion 2.3. Ausserdem ist RTCM 3.0 für die Anwendung in RTK-Netzen optimiert worden.

Message-Typ	Beschreibung
1004	Erweiterte L1 & L2 GPS-RTK Beobachtungen
1005	Antennen Referenzpunkt Parameter (ARP)
1007	Antennenbeschreibung
4094	Physical Base Info

Tab. 4-2: Beschreibung der für swipos relevanten RTCM 3.0 Message-Typen

4.2.2 Datenübertragung

Grundsätzlich kann zwischen Broadcasting und "Punkt-zu-Punkt"-Kommunikation unterschieden werden. Beim Broadcasting werden die zu übertragenden Informationen von einem Sender an eine unbestimmte Anzahl Empfänger übertragen, während bei der "Punkt-zu-Punkt"-Kommunikation zwischen Sender und Empfänger eine Verbindung aufgebaut wird. Diese Verbindung kann entweder leitungsvermittelt (d.h. es steht ein durchgeschalteter Übertragungskanal mit fester Bandbreite und exklusiver Nutzung zur Verfügung), oder aber wie z.B. im Falle des Internets paketvermittelt sein (d.h. die zu übertragende Information wird in einzelne Datenpakete unterteilt, über verschiedene Verbindungen übertragen und beim Empfänger wieder zusammengefügt).

Zu Beginn der swipos-Positionierungsdienste (ab 1996) wurden die Korrekturdaten der Geostation Zimmerwald im Sinne eines Broadcastings über UKW/RDS in Zusammenarbeit mit der 'SRG SSR idée suisse' landesweit verteilt [Wild et al., 2003]. UKW/RDS ermöglichte aber nur die Übertragung von geringen Datenmengen und war lediglich für DGPS (Code-Korrekturdaten) geeignet. Die Genauigkeit dieser Dienste war auf 1 - 2 Meter beschränkt. Ausserdem ist über UKW/RDS keine bi-direktionale Kommunikation möglich, wie sie für den Einsatz der VRS-Methode (Senden der Näherungsposition in die Zentrale) notwendig ist. Da sich UKW/RDS nicht als Standard für die Übertragung von RTCM-Korrekturdaten durchsetzen konnte, wurde der Betrieb dieses DGPS-Dienstes über UKW/RDS von swisstopo per Ende 2004 eingestellt.

Mit dem Aufbau von AGNES und den swipos-Positionierungsdiensten wurde klar, dass insbesondere wegen der VRS-Methode, welche eine bi-direktionale Kommunikation benötigt, neue Wege für die Übertragung der Korrekturdaten von der Zentrale zum Benutzer gefunden werden mussten.

In erster Linie bot sich der Mobilfunkstandard GSM/CSD (CSD = circuit switched data, d.h. leitungsvermittelte Verbindung) als Kommunikationslink an, welcher in der Schweiz besser unter dem Produktenamen "Natel" bekannt ist. Die maximale Datenrate für die Datenübertragung beträgt 9'600 bit/s und ist damit für RTK-Anwendungen ausreichend. Der Hauptnachteil beim Einsatz von GSM sind die relativ hohen Kommunikationskosten, welche unabhängig von der übertragenen Datenmenge in Funktion der Verbindungszeit anfallen.

Mit der Verbreitung des Internets eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten der Verbreitung von Korrekturdaten. Das Internet bietet dabei zahlreiche Vorteile [Grünig und Wild, 2005]:

- Internet ist global verfügbar und gewinnt weiter an Bedeutung. Die Protokolle sind standardisiert (TCP/IP). Der Bezug von Korrekturdaten über Internet ist somit weltweit und ohne Protokollanpassungen möglich.
- Bei mobilen Internetverbindungen (GSM/GPRS) (GPRS = General Packet Radio Service, d.h. eine paketvermittelte Verbindung) wird nicht mehr nach der Zeitdauer wie bei GSM/CSD sondern nach der bezogenen Datenmenge abgerechnet. Wenn man in Betracht zieht, dass die benötigten Datenmengen für GPS verglichen mit Fernseh- oder Radioprogrammen verschwindend gering sind, scheint es nahe liegend, dass das Internet auch für die kostengünstige Echtzeitübertragung von GPS-Daten nutzbar ist.
- Die Verbindung in einen Positionierungsdienst direkt über Internet ist deutlich schneller, da die Konvertierung von GSM/CSD in die Internetwelt (TCP/IP) entfällt. Die Benutzer sind also bei der Nutzung über Internet nach wenigen Sekunden direkt mit dem Dienst verbunden und erhalten Korrekturdaten.
- Grundsätzlich ist der Bezug von Korrekturdaten aufgrund der verwendeten Protokolle (TCP/IP) über GPRS zuverlässiger und weniger störungsanfällig. Dies kann insbesondere in Gebieten, wo der GSM Empfang schlecht ist, von Bedeutung sein.

Die technischen Möglichkeiten der Verbreitung von GPS-Korrekturdaten über das öffentliche Internet wurden im Rahmen des Pilotprojekts EUREF-IP [EUREF-IP, 2005] untersucht und die Machbarkeit solcher Dienste nachgewiesen. Dazu wurde eigens ein neues Datenformat entwickelt, welches als NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) bezeichnet wird [NTRIP, 2005]. Das primäre Ziel ist der Aufbau von Diensten zur präzisen Positionierung und Navigation, es zeichnen sich aber bereits heute weitere Anwendungen wie z.B. Bahnbestimmung und Bestimmung von atmosphärischen Parametern (Troposphäre und Ionosphäre) in Echtzeit ab. NTRIP wurde Ende 2004 innerhalb des RTCM-Komitees als neuer Standard für die Übermittlung von RTCM über Internet akzeptiert. Damit ist auch garantiert, dass die GPS-Empfängerhersteller dieses Format unterstützen.

Die Verteilung der Daten über Internet erfolgt nach einem dreistufigen Konzept (vgl. Abb. 4-2).

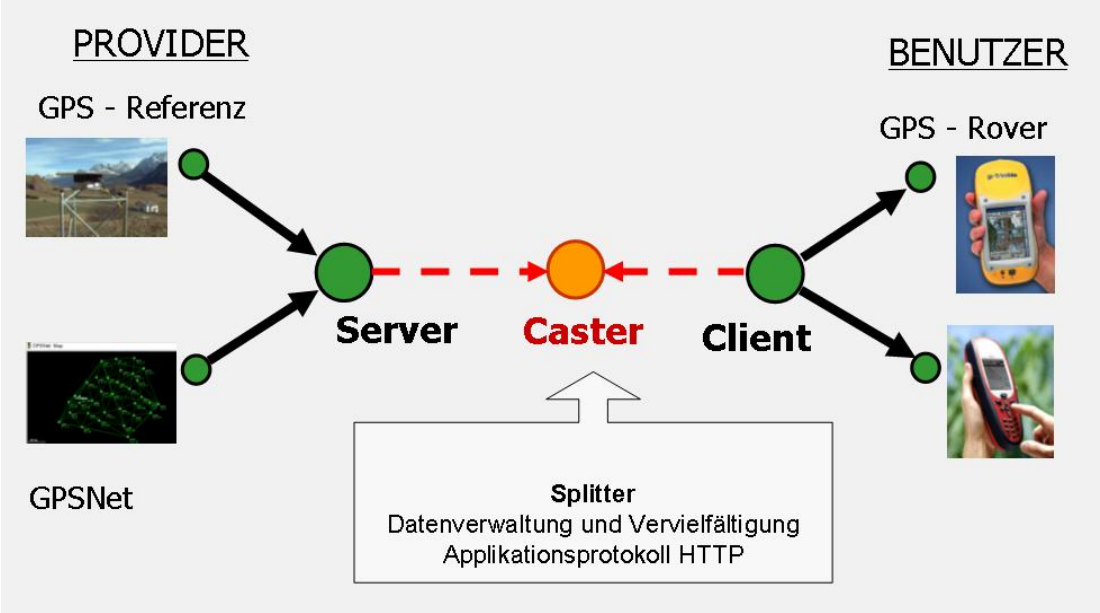


Abb. 4-2: NTRIP-Systemarchitektur

Die einzelnen Komponenten erfüllen die folgenden Aufgaben:

- **NTRIP-Server:**
  Einem NTRIP-Server wird eine beliebige GPS-Datenquelle zugeordnet, seien es Daten einer einzelnen Referenzstation oder einer Vernetzung von Beobachtungen mehrerer Referenzstationen, wie das bei swipos in der Software GPSNet der Fall ist. Der NTRIP-Server leitet die Daten an den NTRIP-Caster weiter.

- **NTRIP-Caster:**
  Die Datenströme beim Caster werden vervielfältigt, so dass mehrere Benutzer parallel arbeiten können. Der NTRIP-Caster stellt eine ständig aktualisierte Übersicht aller in Echtzeit verfügbarer Datenströme in Form einer Source-Table zur Verfügung. Zwei Beispiele von solcehn Source Tables finden sich in Abb. 4-3 am praktischen Beispiel der Dienste swipos-NAV und swipos-GIS/GEO (vgl. Kapitel 4.4). Mit diesen Informationen kann der NTRIP-Client den passenden GPS-Datenstrom über eine Source-ID auswählen und empfangen. Mit der Source-Table erhält der NTRIP-Client auch Informationen über die ungefähre Position, das Datenformat, das System, das zugehörige Netzwerk und die benötigte Bitrate etc. des Datenstroms.
- **NTRIP-Client:**
  Alle am NTRIP-Caster anliegenden Datenströme können nun von den NTRIP-Clients (Benutzern) abgerufen werden. Ist ein Datenstrom kostenpflichtig, so müssen sich die Benutzer mit Username und Passwort beim Caster authentifizieren.

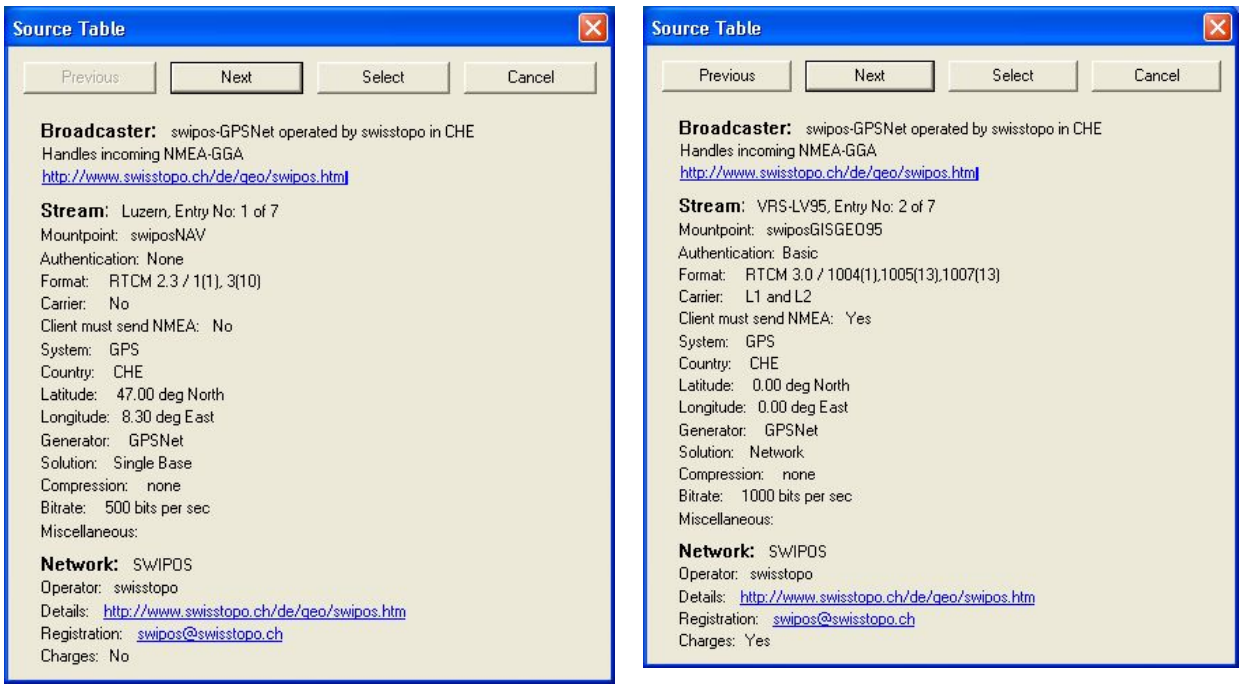


Abb. 4-3: Source Table für swipos-NAV und swipos GIS/GEO

Mit dieser Architektur ist sichergestellt, dass nur der NTRIP-Caster den Anfragen von NTRIP-Clients und damit möglichen Angriffen aus dem Internet ausgesetzt ist. Der NTRIP-Server ist von aussen gar nicht sichtbar und kann somit auch nicht angegriffen werden.

4.3 Erweiterung D-A-CH

Um den Betrieb von swipos-GIS/GEO auch im Gebiet der Landesgrenze sicherzustellen, wurden GPS-Referenzstationen aus dem benachbarten Ausland (Baden-Württemberg, Bayern und Österreich) miteinbezogen [Wild und Grünig, 2005] Die Daten dieser Stationen werden über Internet in die AGNES/swipos-Zentrale übertragen und dort zentral den Benutzern von swipos-GIS/GEO zur Verfügung gestellt. Durch die Einbindung dieser zusätzlichen Stationen können die Dienste auch im Grenzbereich ohne Genauigkeitsverlust verwendet werden. Im Gegenzug gibt swisstopo ihrerseits die grenznahen Stationen an die Nachbarländer ab, wo diese auch wieder in die entsprechenden Positionierungsdienste integriert werden. Der Austausch hat auch einen praktischen Nutzen: durch den gegenseitigen Austausch müssen die Stationen nicht doppelt gebaut und nur einmal lizenziert werden.

Leider stehen in den Nachbarländern Frankreich und Italien im Moment noch keine entsprechenden flächendeckenden Dienste zur Verfügung (vgl. Kapitel 6).

4.4 Dienste und Anwendungen

Die swipos-Positionierungsdienste werden in 2 Genauigkeitsklassen angeboten:

- swipos-NAV für Benutzer mit Genauigkeitsanforderungen im Bereich von 0.5 - 1.0 Meter
- swipos-GIS/GEO für Benutzer mit Genauigkeitsanforderungen im cm-Bereich

4.4.1 swipos-NAV

Erste Versuche für einen Differential GPS (DGPS)-Dienst über UKW/RDS (RDS = Radio Data System) in der Schweiz wurden bereits ca. 1994 in Zusammenarbeit mit den damaligen PTT (Gruppe Sender und Antennen) durchgeführt. Nach einem mehrjährigen Pilotbetrieb [Bühlmann, 1998] konnte 2000 ein flächendeckender Betrieb aufgenommen werden.

Während des Pilotbetriebs konnte ein Kundenstamm von ca. 300 Kunden aufgebaut werden. Die Anwendungen waren sehr breit gestreut und reichten von Freizeitanwendungen, über die Datenerfassung für Geographische Informationssysteme (GIS), die Aufnahme von Landschaftsinventaren, die Positionierung von Kiesbaggern oder Tauchbooten auf Seen bis zum Geomarketing. Der swipos-Betrieb ermöglichte es auch, Erfahrungen im Marketing und bei der Kundenbetreuung zu sammeln. Diese Erfahrungen sollten später auch den Kunden der hochpräzisen Positionierungsdienstes swipos-GIS/GEO (vgl. Kap. 4.4.2) zugute kommen.

Als am 1. Mai 2000 die künstliche Verschlechterung der GPS-Satellitensignale durch die amerikanische Armee (DoD) aufgehoben wurde, verbesserte sich die Positionsgenauigkeit von GPS auf einen Schlag um einen Faktor 10 (von 50-100m auf 5-10m) und machte damit swipos-NAV für zahlreiche Anwendungen (vor allem im Freizeitbereich) überflüssig.

Da aber swipos-NAV in Kombination mit hochwertigen GPS-Empfängern immer noch einen Genauigkeitsgewinn bringt (Genauigkeiten im Submeter-Bereich), wird swipos-NAV als Dienst weiterhin angeboten und auch technisch weiterentwickelt. Heute steht der Dienst sowohl über GSM/CSD als auch über Internet/ GPRS zur Verfügung.

Abb. 4-4: GPS-Empfänger für die GIS-Datenerfassung (Leica GS20 / Trimble GeoExplorer)

Die Anwendungen von swipos-NAV haben sich im Verlaufe der Jahre immer stärker in den professionellen Bereich verlagert. Heute wird swipos-NAV vor allem im Bereich der GIS-Datenerfassung, bei Arbeiten in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft oder im Umweltschutz eingesetzt.

Seit Januar 2004 wird swipos-NAV von swisstopo als Geobasisdatendienst kostenlos angeboten.

4.4.2 swipos-GIS/GEO

Der Dienst swipos-GIS/GEO ermöglicht die cm-genaue Positionierung in Echtzeit mittels GPS-Trägerphase und der Methode der Virtuellen Referenzstationen (VRS). Benötigt wird dazu ein geodätischer 2-Frequenz GPS-Empfänger mit entsprechender Firmware, sowie ein integriertes (oder externes) GSM-Modul für den Datenempfang der Korrekturdaten.

Abb. 4-5: Geodätische GPS-Empfänger für swipos-GIS/GEO

swipos-GIS/GEO kann über GSM/CSD (Datenkanal) oder aber auch über GSM/GPRS genutzt werden. Im ersten Fall wählt sich der Benutzer über eine Telefonnummer in den Dienst ein, im zweiten Fall wird eine direkte Verbindung ins Internet hergestellt. Die heutigen Rover unterstützen in ihrer Firmware beide Arten der Kommunikation und erlauben die Konfiguration der Kommunikationsparameter über benutzerfreundliche Menus.

Da die Referenzkoordinaten der AGNES-Stationen im Bezugssystem CHTRS95 gegeben sind, arbeiten die Benutzer von swipos-GIS/GEO im Bezugsrahmen LV95, wobei natürlich auf dem GPS-Empfänger die entsprechenden Transformationsparameter eingestellt sein müssen. Die mit swipos-GIS/GEO bestimmten Höhen sind primär ellipsoidische LV95-Höhen, wobei auf den meisten Rovern heute direkt das Geoidmodell CHGeo2004 von swisstopo implementiert ist, so dass direkt orthometrische Höhen im System LHN95 bestimmt werden können.

Da in der Schweiz im Moment in der Amtlichen Vermessung (AV) als offizielle Bezugsrahmen immer noch LV03 (Lage) und LN02 (Höhe) verwendet werden, musste nach Lösungen für die Anpassung der Resultate aus swipos-GIS/GEO an die Rahmen der Amtlichen Vermessung (AV) gesucht werden. Die einfachste Lösung besteht in der sog. lokalen Einpassung, d.h. es wird dem Benutzer überlassen, durch die Messung von Passpunkten lokale Transformationsparameter zu bestimmen und die swipos-GIS/GEO Messungen damit ins lokale System zu transformieren.

Im Sinne der Dienstleistung am Kunden wurde bei swipos-GIS/GEO eine weitere Lösung realisiert. Die Verzerrungen zwischen der alten Landesvermessung LV03 und der neuen Landesvermessung LV95 sind grob bekannt und wurden mit dem Programm FINELTRA für die ganze Schweiz mathematisch modelliert. Damit ist es möglich, für einen beliebigen Punkt in der Schweiz den genauen Unterschied zwischen den beiden Koordinatenrahmen zu berechnen. Diese Transformation wurde nun auch in der Software GPS-Net (vgl. Kapitel 3.3.2) in der AGNES/swipos-Zentrale eingebaut [Grünig und Wägli, 2005]. Aufgrund der bekannten Benutzerposition, welche vom swipos-Benutzer in die Zentrale gesendet wird, wird die zusammen mit den Korrekturdaten ausgesendete Referenzposition für die RTK-Lösung entsprechend der lokalen Verzerrung korrigiert. Im Moment ist die FINELTRA-Interpolation lediglich auf Stufe Landesvermessung, d.h. mit einer Interpolationsgenauigkeit von ca. 1 dm, vorhanden. Die der FINELTRA-Interpolation zugrunde liegende Dreiecksvermaschung wird momentan weiter verdichtet. Diese Verdichtung, welche bis Ende 2006 abgeschlossen sein soll, wird eine Steigerung der Interpolationsgenauigkeit auf wenige cm bringen. Ab diesem Zeitpunkt wird man mit swipos-GIS/GEO nahezu ohne Genauigkeitsverlust in beiden Koordinatenrahmen arbeiten können. Lokal werden wohl aber dennoch gewisse Verzerrungen bestehen bleiben.

Ein analoges Vorgehen für die direkte Transformation der aus swipos-GIS/GEO resultierenden ellipsoidischen bzw. nach Berücksichtigung des Geoidmodells orthometrischen Höhen in den LN02-Gebrauchshöhenrahmen (Programm HTRANS) wurde 2005 technisch realisiert und wird ab 2006 ebenfalls zur Verfügung stehen.

Abb. 4-6: swipos-GIS/GEO im praktischen Einsatz

Das Businessmodell von swipos-GIS/GEO sieht zwei Arten der Nutzung vor: für sporadische Benutzer, welche swipos-GIS/GEO für die Messung von Einzelpunkten nutzen wollen, steht der Dienst über 0900-Businessnummern zur Verfügung. Eine Grundgebühr entfällt, der Benutzer zahlt die Benutzung über einen Minutenpreis ("pay per use"). Regelmässige Benutzer können den Dienst über eine "normale" Telefonnummer bzw. über einen Internetzugang nutzen. Diese Telefonnummern bzw. Internetzugänge werden den Kunden im Rahmen eines sog. Pauschalvertrages zur Verfügung gestellt.

Das Hauptanwendungsgebiet von swipos-GIS/GEO liegt in der Amtlichen Vermessung (AV) und bei der Datenerfassung für Netzinformationssysteme (NIS).

4.5 Performance

Die Performance der swipos-Positionierungsdienste wird von swisstopo laufend mit dem sog. VRS-Monitor [Grünig und Wägli, 2004] überwacht.

Abb. 4-7: Testmessungen mit dem VRS-Monitor auf dem LV95-Punkt Brienz

Hauptkomponenten des VRS-Monitors sind Steuerungs-PC, GPS-Empfänger, GSM-Modul, Batterien und Solarpanel für den autonomen Betrieb. Normalerweise steht der VRS-Monitor bei swisstopo in Wabern (stationärer Einsatz) , er kann aber bei Bedarf zur Überprüfung der Genauigkeit der Positionierungsdienste an einem beliebigen Ort in der Schweiz eingesetzt werden (vgl. Abb. 4-7).

Die Steuerungssoftware nimmt alle n Minuten (benutzerdefiniert, momentan 60 Minuten) Verbindung mit dem swipos-Positionierungsdienst auf, wobei die erforderliche Benutzerposition in der Zentrale fix eingestellt ist. Danach erfolgt im GPS-Empfänger eine normale RTK-Positionsbestimmung, wobei laufend die berechnete Position aus dem GPS-Empfänger ausgelesen wird (NMEA-String). Sobald die Qualität der berechneten Position im cm-Bereich liegt ('fixed solution'), wird die Position mit der bekannten Sollposition verglichen. Die festgestellten Differenzen werden zusammen mit der Initialisierungszeit graphisch dargestellt (Lage und Höhe) und in einem Logfile abgespeichert. Sobald die Differenzen einen vorgegeben Wert (aktuelle Alarmwerte: 3 cm Lage, 6 cm Höhe) übersteigen, wird ein Alarm ausgelöst (Mail an Operator).

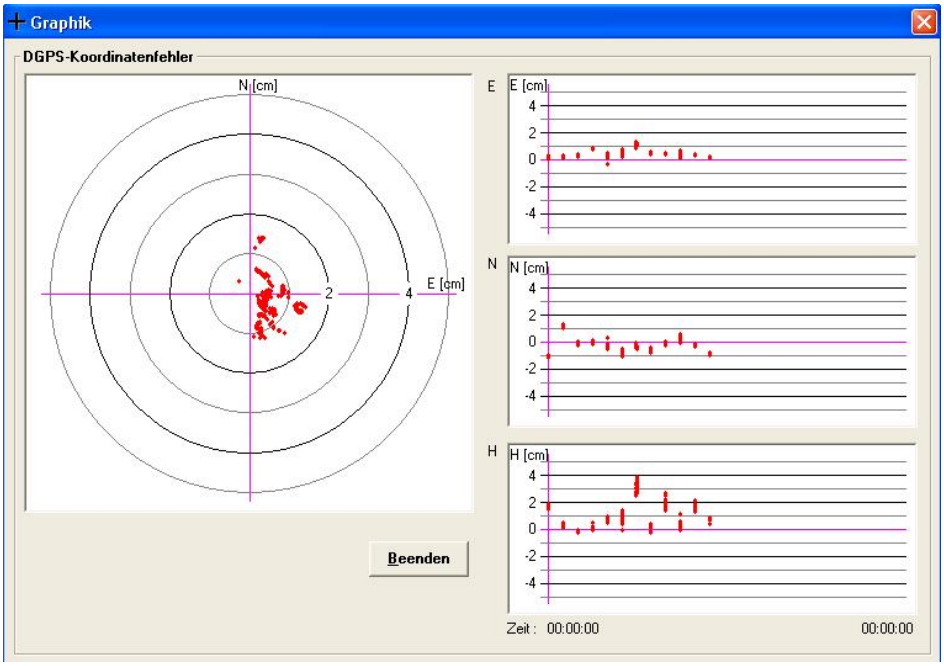


Abb. 4-8: Steuerungs- und Messsoftware des VRS-Monitors

In den Jahren 2004 und 2005 wurden mit dem VRS-Monitor Testmessungen [Grünig und Tschanz, 2005] durchgeführt, welche unterschiedliche mögliche reelle Situationen von swipos-Benutzern simulieren sollten:

- **Messungen auf dem Dach von swisstopo:**
  Der VRS-Monitor wurde mit kurzen Unterbrüchen für Testmessungen im Feld (vgl. unten) von Januar - Dezember 2005 auf dem Dach von swisstopo betrieben. Bezüglich der Messanlage herrschen hier optimale Verhältnisse, da der Messpunkt innerhalb des AGNES-Netzes liegt (Interpolation), zudem beträgt die Distanz zur nächsten AGNES-Station Zimmerwald nur 5km und zwischen dem Messpunkt und den umliegenden AGNES-Stationen gibt es keine grossen Höhendifferenzen.

- **Messungen auf dem LV95-Punkt Grenchen:**
  Im März 2005 wurden auf dem LV95-Punkt Grenchen während 5 Tagen Testmessungen durchgeführt. Der Punkt Grenchen liegt in der Mitte des AGNES-Stationsdreieckes Zimmerwald-Huttwil-Bourrignon(JU), wobei die Distanz zu den AGNES-Stationen ca. 25 - 30 km beträgt. Die Höhendifferenzen zwischen den AGNES-Stationen sind auch hier vernachlässigbar.

- **Messungen auf dem LV95-Punkt Brienz:**
  Im Dezember 2004 wurden während einer Woche auf dem LV95-Punkt Brienz Testmessungen durchgeführt. Der Messpunkt liegt im AGNES-Stationsdreieck Jungfraujoch-Andermatt-Luzern. Die Höhendifferenz zur AGNES-Station Jungfraujoch beträgt fast 3'000 Meter, die Distanzen zu den AGNES-Stationen Andermatt und Luzern liegen in der Grössenordnung von 40 km.

- **Messungen auf dem LV95-Punkt Zermatt:**
  Im März 2005 wurden während 4 Tagen auf dem LV95-Punkt Zermatt Testmessungen mit dem VRS-Monitor durchgeführt. Es gilt zu beachten, dass zu diesem Zeitpunkt die AGNES-Station Zermatt noch nicht in Betrieb war und die Testmessungen daher den Fall darstellten, in dem ein swipos-Benutzer sich am Rande des AGNES-Netzes aufhält und die Berechnung der VRS-Daten im Sinne einer Extrapolation erfolgt. Zudem sind die Höhendifferenzen und Distanzen zu den nächstgelegenen AGNES-Stationen nicht

zu vernachlässigen. Die Messungen sollten nicht zuletzt auch Hinweise dafür liefern, ob der Bau einer AGNES-Station in Zermatt nötig sei.

Die Tabelle 4-3 gibt eine Übersicht über die erreichten Resultate bezüglich Initialisierungszeit (Mittelwert), Genauigkeit und Ausreissern.

Messpunkt	**Anzahl Messungen**	**Initialisierungszeit (Mittelwert) [sec]**	**Genauigkeit (1 Sigma) [mm]**	**Ausreisser [%]**
Dach swisstopo	7371	20	Lage: 8.9 Höhe: 16.1	1
Grenchen	156	21	Lage: 9.8 Höhe: 16.1	3
Brienz	108	46	Lage: 20.1 Höhe: 40.2	24
Zermatt	96	84	Lage: 12.9 Höhe: 26.6	19

Tab. 4-3: Testmessungen mit dem VRS-Monitor 2004/2005

Die Testmessungen zeigen deutlich den Unterschied zwischen dem Betrieb von swipos-GIS/GEO im Mittelland und im Alpenraum. Während im Mittelland die Produktespezifikation von swipos-GIS/GEO (10 mm Lage, 20 mm Höhe, 1 Sigma) erreicht werden, wurden diese Werte bei den Testmessungen im Alpenraum vor allem für die Höhenkomponente deutlich verfehlt. Im Fall von Zermatt wurde mit dem Bau der AGNES-Station im Herbst 2005 eine konkrete Massnahme zur Verbesserung ergriffen. Im Jahr 2006 (vgl. auch Kapitel 6) soll zudem im östlichen Berner Oberland eine zusätzliche AGNES-Station gebaut werden, welche die Station Jungfraujoch für die Positionierungsdienste ersetzen soll. Doch auch diese Massnahmen werden nicht alle Probleme lösen, da die reduzierte Höhengenauigkeit auch davon herrührt, dass im Mittel im Alpenraum wegen Abschattungen durch die Topographie weniger Satelliten zur Verfügung stehen, da bei der Wahl der Standorte für die AGNES-Stationen ein Kompromiss zwischen Horizontfreiheit und Höhendifferenzen zum Einsatzgebiet der swipos-Kunden gefunden werden musste. Die Situation wird sich wohl erst mit der Einführung zusätzlicher Satellitensysteme (GLONASS und Galileo, vgl. dazu Kapitel 6) verbessern. Bis zu diesem Zeitpunkt werden die Benutzer mit einer eingeschränkten Höhengenauigkeit leben müssen, wobei den Benutzern in Zukunft aufgrund der Testmessungen eine Karte der mit swipos-GIS/GEO erreichbaren Höhengenauigkeit zur Verfügung gestellt werden soll.

5 Spezialanwendungen

5.1 Photogrammetrie

Positionierung kann nicht nur in Echtzeit, sondern auch im sog. post-processing Modus erfolgen. Dabei werden die Daten des Rovers gespeichert und nachträglich mit den Daten einer GPS-Referenzstation zusammengeführt.

Bei swisstopo werden die Daten der AGNES-Stationen für die Positionierung der beiden Vermessungsflugzeuge Super King Air 350C und Twin Otter DHC-6-300 (vgl. Abb. 5-1) verwendet. Jedes Vermessungsflugzeug von swisstopo ist mit jeweils 3 GPS-Empfängern ausgerüstet. Neben einem reinen Navigationsempfänger zur Steuerung des Flugzeugs sind in den Aufnahmesystemen Leica RC30 (analoge Luftbildkamera) und Leica ADS40 (digitaler Sensor) je ein geodätischer GPS-Empfänger integriert, welche während des Fluges GPS-Phasenmessungen aufzeichnen. Nach der Landung des Vermessungsflugzeuges werden diese GPS-Phasenmessungen heruntergeladen und zusammen mit den Daten der im Einsatzgebiet liegenden AGNES-Stationen differentiell ausgewertet.

Abb. 5-1: Super King Air 350C (vorne) und Twin Otter DHC-6-300 im Einsatz (© Schweizer Luftwaffe)

Die Auswertung erfolgt mit dem Programm POSPac der Firma Applanix [Applanix, 2005]. Die Software gliedert sich in verschiedene Module. In einem Modul wird aus den GPS-Daten des Flugzeugs unter Berücksichtigung mehrerer AGNES-Stationen der Track des Flugzeugs berechnet, wobei in einem Filteralgorithmus eine Trägerphasenlösung berechnet wird. Zur Kontrolle kann die Berechnung "vorwärts" und "rückwärts" durchgeführt werden. Die Differenzen der beiden Auswertungen geben einen ersten Eindruck von der Qualität der Messdaten und von der zu erwartenden Genauigkeit. Üblicherweise liegen die Differenzen zwischen Hin- und Rückrechnung im dm-Bereich.

Anschliessend werden die GPS-Daten mit den Daten der Inertial Measurement Unit (IMU) der digitalen Luftbildkamera ADS 40 kombiniert. Da die IMU-Daten mit einer Datenrate von 200 Hz zur Verfügung stehen, kann der kombinierte Track mit sehr hoher Genauigkeit berechnet werden.

Abb. 5-2 zeigt die Resultate einer solchen kombinierten Auswertung (GPS und IMU). Im obern Teil ist der Plot des Flugweges des Flugzeugs dargestellt, die untere Grafik zeigt die Differenzen zwischen Hin- und Rückrechnung. Die maximalen Abweichungen liegen im Bereich von 2 dm im Kurvenbereich, die mittleren Abweichungen auf der Linie liegen im Bereich weniger Zentimeter.

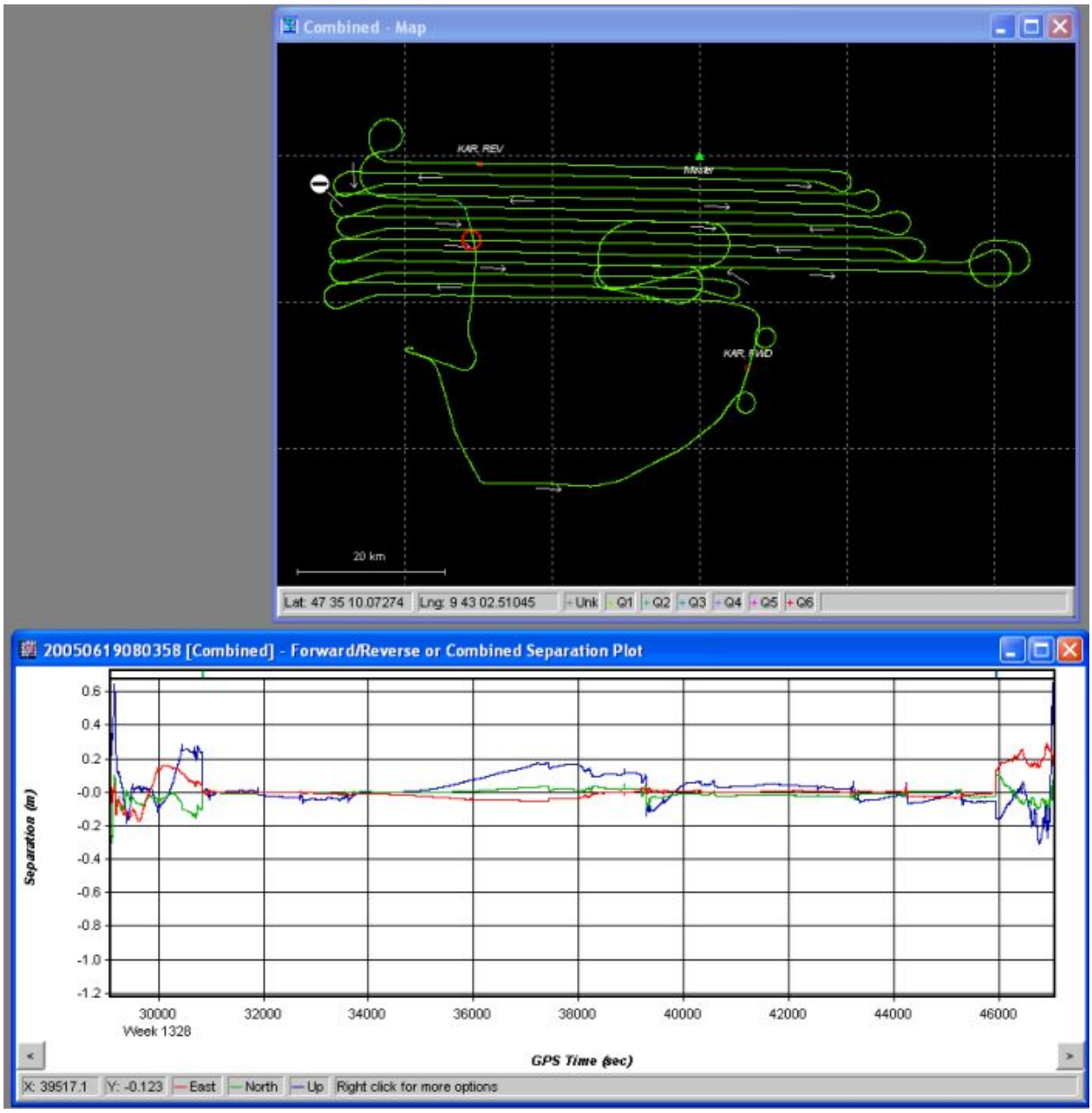


Abb. 5-2: Software POSPac

Die genauen Positionen der Projektionszentren der Luftbilder, respektive der Bildstreifen, ermöglichen es, bei der nachfolgenden photogrammetrischen Auswertung (Aerotriangulation) die Anzahl der terrestrischen Passpunkte stark zu reduzieren. Dadurch ergeben sich grosse Einsparungen bei der Messung von Passpunkten am Boden, sowie bei der Rechenzeit der Aerotriangulation.

5.2 Topografie

Doch auch bei der terrestrischen Nachführung der Landeskarten kommen die Daten der AGNES-Stationen zur Anwendung. Bei der Feldbegehung werden seit dem Jahre 2003 GPS-Empfänger vom Typ Trimble GeoExplorer eingesetzt, wobei diese Geräte intern als TopoPad bezeichnet werden.

Abb. 5-3: Topographin mit TopoPad im Feldeinsatz

Bei der Feldbegehung werden die Positionen von aufzunehmenden topografischen Elementen (z.B. Wege, Strassen, Einzelgebäude, Brücken etc.) mit dem GPS-Empfänger erfasst und auf dem TopoPad in der GIS-Software ArcPad abgespeichert. Durch den Vergleich mit der auf dem TopoPad verfügbaren aktuellen Kartengrundlage hat der Topograph bereits im Feld eine Kontrolle über die Lagerichtigkeit der erfassten Elemente. Die Genauigkeit der GPS-Messungen im absoluten Modus liegt heute bei ca. 2 - 5 Metern, d.h. die Positionsgenauigkeit der erfassten Elemente liegt heute zwar im Bereich der Kartengenauigkeit, ist aber für zukünftige Anwendungen im Rahmen des Topografischen Landschaftsmodells (TLM), in welchem eine Lagegenauigkeit von 1 Meter angestrebt wird, sicher zu ungenau. Daher wurde beschlossen, bereits heute sämtliche mit GPS bestimmten Elemente nach der Feldbegehung einem nachträglichen post-processing zu unterziehen. Als Referenzdaten werden dabei die Daten der nächstgelegenen AGNES-Stationen verwendet.

6 Ausblick

6.1 Netzoptimierung und -erweiterung

Die heutige AGNES-Stationsverteilung weist gewisse Defizite auf. So sind z.B. die Grenzregionen zu Frankreich und Italien nicht abgedeckt, ausserdem ist die AGNES-Station Jungfraujoch für den Einsatz in den Positionierungsdiensten ungeeignet, da die Höhendifferenz zwischen den Benutzern im Tal und der AGNES-Station sehr gross ist. Durch diese grosse Höhendifferenz sind die Messungen mit systematischen Restfehlern (vor allem in der Höhenkomponente) behaftet. Generell gesehen ist zudem der Anteil an Stationen der Klasse A mit ca. 30% eher gering, vor allem in Hinblick auf geodynamische Untersuchungen.

Um die Defizite in der Stationsverteilung zu beheben, wurde ein Konzept zur Netzoptimierung von AGNES erstellt [Grünig, 2005a]. Gemäss diesem Konzept wird im Jahr 2006 eine zusätzliche AGNES-Station im östlichen Berner Oberland (Raum Brienz / Meiringen) gebaut, welche die Station Jungfraujoch für den Einsatz in den Positionierungsdiensten ablösen wird. Die Station Jungfraujoch wird jedoch weiter betrieben, da die Daten für wissenschaftliche Untersuchungen (vor allem GPS-Meteorologie) verwendet werden. Zudem sind in den nächsten Jahren weitere Verlegungen oder "Upgrades" von Stationen der Klassen B und C zu Stationen der Klasse A geplant.

In der Lombardei (Italien) befindet sich ebenfalls ein GNSS-Permanentnetz im Aufbau. Erste Kontakte mit den Betreibern [GPS Lombardia, 2005] haben stattgefunden. Sobald die Stationen operationell sind, soll geprüft werden, ob einzelne Stationen im Grenzgebiet zur Schweiz (Graubünden und Tessin) in das AGNES-Netz integriert werden sollen. Im Gegenzug würde swisstopo die Daten der AGNES-Stationen im Tessin und Graubünden zur Verfügung stellen. Die Integration der Stationen ist für den Zeitraum 2006/2007 geplant.

In Frankreich präsentiert sich die Situation im Zusammenhang mit GNSS-Permanentnetzen und -Positionierungsdiensten relativ unübersichtlich. Das Institut Géographique National (IGN) hat sich explizit auf den Aufbau eines übergeordneten GNSS-Referenznetzes beschränkt, dessen Dichte für den Betrieb eines flächendeckenden RTK-Positionierungsdienstes nicht ausreicht. Daneben bestehen aber verschiedene Initiativen von Regionalbehörden und Privaten, lokale oder landesweite Netze aufzubauen, so z.B. das Projekt TERIA [TERIA, 2005], welches auf eine Initiative der französischen Vereinigung der privaten Geometer zurückgeht und ein Netz von ca. 100 Permanentstationen vorsieht. Auch hier wurden die ersten Kontakte hergestellt. Sobald sich das Projekt konkretisiert, wird swisstopo auch hier versuchen Synergien zu nutzen.

Nebst der Optimierung der Verteilung der AGNES-Stationen besteht natürlich auch bei den Stationen Verbesserungspotential. Die permanente automatische Auswertung der AGNES-Daten im PNAC hat gezeigt, dass Neuschneefälle mit grossen Schneeablagerungen auf den Antennen Sprünge von mehreren Zentimetern in den berechneten Stationshöhen erzeugen. Im Winter 2005/2006 wird deshalb in einem Feldversuch in San Bernardino (GR) untersucht, wie stark sich diese Schwankungen auch auf die swipos-Positionierungsdienste auswirken. Ganz generell stellt sich aber die Frage, mit welchen technischen Massnahmen diese Probleme behoben werden könnten. Auf die Installation von Radomes (Schutzhaube aus Kunststoff) wurde bis anhin bewusst verzichtet, da diese Radomes die Empfangseigenschaften der GPS-Antennen verändern und speziell kalibriert werden müssen. Die einfachste Lösung besteht wohl in der manuellen Entfernung des Schnees durch eine Kontaktperson vor Ort (bzw. Mitarbeiter von swisstopo). Allenfalls ist aber auch der Einsatz von geheizten Antennen zu prüfen. Hierzu läuft im Moment bei der ETH Zürich im Rahmen des Projekts TECVAL eine Untersuchung, deren Ergebnisse später für AGNES genutzt werden könnten.

6.2 Zukünftige Entwicklung

Mittelfristig werden die AGNES-Stationen für den Empfang der Signale der Satelliten des europäischen Systems Galileo und allenfalls auch des russischen GLONASS-Systems aufgerüstet werden müssen. Der genaue Zeitplan für diese Umstellungen ist im Moment noch etwas in der Schwebe. Mit dem erfolgreichen Start des ersten Testsatelliten für Galileo im Dezember 2005 beginnt der Zeitplan für den Aufbau des Systems Konturen anzunehmen. Gemäss realistischer (nicht offizieller) Zeitplanung kann mit der Verfügbarkeit von Galileo ab ca. 2011 gerechnet werden, vorausgesetzt, dass während der nun folgenden Validations- und Aufbauphase keine unerwarteten technischen Probleme auftreten. Das russische GLONASS-System wird im Moment ebenfalls stark gefördert. Ende 2005 wurden wieder 3 GLONASS-Satelliten gestartet, so dass nun ca. 13-15 Satelliten zur Verfügung stehen. Gemäss russischen Pressemitteilungen ist der Ausbau auf ca. 18 Satelliten bis Ende 2008 geplant. Für swisstopo bedeutet dies, dass die Entwicklung von Galileo

und GLONASS eng zu verfolgen ist und dass eine Strategie für den Umstieg auf Galileo und evtl. GLONASS erarbeitet werden muss.

Bei den Positionierungsdiensten besteht der Wunsch nach verbesserter Höhengenauigkeit. Das Problem liegt dabei hauptsächlich bei der ungenügenden Interpolation der Troposphärenverhältnisse für den Standort des swipos-Benutzers aus den Daten der umliegenden AGNES-Stationen. In den nächsten Jahren soll hier untersucht werden, wie weit durch Einbezug von internen Informationen (PNAC Auswertungen) oder externen Informationen über den aktuellen Zustand der Troposphäre (z.B. aus den numerischen Wettermodellen von MeteoSchweiz) eine Verbesserung erzielt werden kann. Die Verfügbarkeit zusätzlicher Satelliten dank Galileo oder GLONASS sowie neue Verfahren wie Tomografie werden hier sicher auch noch zusätzliche Verbesserungen bringen.

Ein weiteres Problem bei den Positionierungsdiensten betrifft die Information der Benutzer über den aktuellen Zustand des Systems. In der Zentrale sind in der Software GPSNet und im VRS-Monitor zahlreiche Informationen über den aktuellen Zustand der Positionierungsdienste (systematische Restfehler, ionosphärische Aktivität, aktuelle Positionsgenauigkeit etc.) vorhanden, welche aber nur dem Operateur bei swisstopo zugänglich sind. Die Benachrichtigung der Benutzer erfolgt bis anhin manuell, d.h. der Operateur muss entscheiden, ob bei Problemen die Benutzer mittels E-mail oder SMS zu benachrichtigen sind. In Zukunft sollen die Benutzer eine Möglichkeit erhalten, sich selber direkt (z.B. über Internet oder über SMS-Abfrage) über den Status der swipos-Positionierungsdienste zu informieren. Ausserdem ist zu prüfen, wie weit die Alarmierung der Benutzer bei Systempannen automatisiert werden kann.

Bei den Kommunikationstechnologien geht der Trend eindeutig in Richtung kostengünstigere Systeme mit höheren Datenkapazitäten (z.B. UMTS). Dies wird dazu führen, dass die Benutzer bei der Feldarbeit permanent on-line mit den Servern im Büro verbunden sein werden und sich nebst swipos-Korrekturdaten auch gerade die aktuellen Fixpunktprotokolle oder Pläne aus dem Netzinformationssystem (NIS) herunterladen werden.

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

AGNES	**Automatisches GPS-Netz Schweiz** Netz von 31 permanenten GPS-Stationen für Anwendungen in der Landesvermessung, Wissenschaft und Positionierungsdiensten
AIUB	**Astronomisches Institut der Universität Bern** Entwicklung der Bernese GPS Software und Betreiber des → CODE
ANETZ	**Automatisches Messnetz** Messnetz der MeteoSchweiz zur automatischen Erfassung (alle 10 Minuten) von Druck, Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit
ARP	**Antenna Reference Point** Bezugspunkt der GPS-Antenne für Stationskoordinaten und Phasenexzentrizitäten
AV	**Amtliche Vermessung** Vermessung der Schweiz zur Erstellung von Plänen aller Art (Grundbuchpläne / Übersichtsplan etc.); Verbundaufgabe von Bund, Kantonen und Gemeinden
BIT	**Bundesamt für Informatik und Telekommunikation** Leistungserbringer für Informatik- und Telekommunikationsdienstleistungen innerhalb der Bundesverwaltung; insbesondere Betreiber des → KOMBV
CHGeo2004	**Geoidmodell 2004** Neues Geoidmodell für die Schweiz
CHTRF2004	**Swiss Terrestrial Reference Frame 2004** Realisierung des → CHTRS95 zur Epoche 2004
CHTRF95	**Swiss Terrestrial Reference Frame 1995** Realisierung des → CHTRS95 zur Epoche 1995
CHTRF98	**Swiss Terrestrial Reference Frame 1998** Realisierung des → CHTRS95 zur Epoche 1998
CHTRS95	**Swiss Terrestrial Reference System 1995** Neues, global gelagertes Bezugssystem der Schweizerischen Landesvermessung LV95; stimmt zum Zeitpunkt 1993.0 mit ETRS89 überein
CH1903+	
CODE	**Center for Orbit Determination in Europe** Europäisches GNSS-Auswertezentrum zur Bestimmung hochpräziser GNSS-Bahnen und Erdrotations-parameter
CSD	**Circuit Switched Data** Leitungsvermittelte Übertragung mit Geschwindigkeiten von 9.6 kbps bis 14.4 kbps
DGPS	**Differential GPS** Verfahren zur genauen GPS-Positionierung auf der Basis von differentiellen Codemessungen bezüglich einer bekannten GPS-Referenzstation
DMZ	**Demilitarized zone** Bezeichnung für ein geschütztes Computernetz für einen oder mehrere Computer, das sich zwischen zwei Computernetzen befindet; typischerweise beim Netzübergang vom Intranet auf das Internet
DoD	**U.S. Department of Defence** Amerikanisches Verteidigungsministerium; ist zusammen mit dem Departement of Transport (DoT) für den Betrieb von GPS verantwortlich
EPFL	**Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne** Im Rahmen von AGNES Projektpartner und Standort einer AGNES-Station
ETHZ	**Eidgenössische Technische Hochschule Zürich** Im Rahmen von AGNES Projektpartner und Standort einer AGNES-Station
ETRS89	**European Terrestrial Reference System 1989** Geodätisches Referenzsystem für Europa; stimmt zum Zeitpunkt 1989.0 mit dem International Terrestrial Reference System (ITRS) überein
EUREF	**European Reference Frame** Subkommission der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) zur Definition und Unterhalt eines einheitlichen europäischen Bezugsrahmens (Realisierung von ETRS89)

EUREF-IP	**EUREF-Internet-Protocol** Pilotprojekt innerhalb des European Permanent Network (EPN) zur Verbreitung von GPS-Daten über Internet
FHBB	**Fachhochschule beider Basel** Im Rahmen von AGNES Projektpartner und Standort der AGNES-Station Muttenz
FINELTRA	**Finite Elemente Transformation** Affintransformation von Punktkoordinaten mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente in Dreiecksmaschen; verwendet für die Umrechnung zwischen → LV03 und → LV95
FTP	**File Transfer Protocol** Standard für den Filetransfer über Internet; bei AGNES teilweise in Anwendungssoftware als sog. „FTP Mirror“ integriert, d.h. Programm zum automatischen Filetransfer zwischen zwei Rechnern
Galileo	**Galileo** Geplantes europäische Satellitennavigationssystem; im Moment (2005) im Aufbau begriffen, wird im Endausbau aus 30 Satelliten bestehen
GLONASS	**Global Navigation Satellite System** Russisches Pendant zu GPS. Das Funktionsprinzip ist mit GPS vergleichbar, wobei im Moment (2005) nur etwa 13 Satelliten zur Verfügung stehen; Endausbau geplant für 2008
GNSS	**Global Navigation Satellite Systems** Sammelbegriff für die existierenden (GPS / GLONASS) und zukünftigen (z.B. Galileo) Radionavigationssysteme
GPRS	**General Packet Radio Service** Standard der Datenübermittlung in GSM-Mobilfunknetzen, paketorientiert, Bandbreiten bis 100kbps
GPS	**Global Positioning System** Amerikanisches Satellitennavigationssystem bestehend aus 24 Satelliten
GSM	**Global System for Mobile Communication** Standard für mobile, digitale Telefonie
HTRANS	**HTRANS** Methode zur Höhentransformation zwischen →LHN95 und →LN02; synonym auch für die entsprechende Software von swisstopo verwendet
IGS	**International GNSS Service** Globaler Daten- und Auswertedienst für GNSS-Produkte wie z.B. Bahnen, Stationskoordinaten und Erdrotationsparameter zur wissenschaftlichen Weiterverwendung
IMU	**Inertial Measurement Unit** Trägheitsmesssystem; aus den gemessenen Beschleunigungen entlang der Achsen eines kartesischen Systems kann durch zweifache Integration der Ort bestimmt werden
ISDN	**Integrated Services Digital Network** Internationaler Standard für dienste-integrierende digitale Netze (Sprache und Daten)
ITRF93	**International Terrestrial Reference Frame 1993** Realisierung des ITRS zur Epoche 1993.0
KOMBV	**Kommunikationsnetz der Bundesverwaltung** Intranet der allgemeinen Bundesverwaltung
LHN95	**Landeshöhennetz 1995** Neuer Höhenbezugsrahmen der Schweiz basierend auf streng orthometrischen Höhen, welche sich unter Zuhilfenahme des neuen Geoidmodells der Schweiz (CHGeo2004) mit einer Genauigkeit von 1-3 cm in ellipsoidische GPS-Höhen umwandeln lassen. Ausgangspunkt von LHN95 ist der Fundamentalpunkt der neuen Landesvermessung in Zimmerwald.
LN02	**Landesnivellement 1902** Das Schweizerische Landesnivellementsnetz LN02 wurde zwischen 1903 und 1933 erstmals und seit 1943 zum zweiten Mal gemessen. Als Ausgangspunkt der Höhenmessung dient der "Repère Pierre du Niton" in Genf mit einer Höhe von 373.60 m. Bezugsrahmen des offiziellen Gebrauchshöhensystems der → AV.
LV03	**Landesvermessung 1903** Alte Landesvermessung basierend auf der Triangulation 1. bis 3. Ordnung; bildet seit 1903 den noch heute rechtsgültigen Bezugsrahmen für die → AV
LV95	**Landesvermessung 1995** Neue satellitengestützte Landesvermessung. Bezugsrahmen zum Bezugssystem CH1903+; wird mittelfristig ebenfalls zu einem rechtsgültigen Bezugsrahmen und wird LV03 ablösen

NIS	**Netz-Informationssystem** Geografisches Informationssystem (GIS) bei Netzbetreibern (Wasser, Gas, Elektrizität), früher oft auch als Leitungskataster bezeichnet
NMEA	
NTRIP	**Networked Transport of RTCM via Internet Protocol** Innerhalb des RTCM-Komitees standardisiertes Format für die Übertragung von GPS-Daten über Internet
PNAC	**Permanent Network Analysis Center** Auswertezentrum bei swisstopo für AGNES und Stationen des European Permanent Network (EPN)
Port	**Schnittstelle** Bezeichnet ursprünglich einen hardwaremässigen Anschuss von Netzwerk-Komponenten; wird daneben auch als logische Repräsentierung bei der Adressierung dieser Schnittstellen verwendet. Diese Ports können offen oder geschlossen sein.
RINEX	**Receiver Independent Exchange Format** Standardformat für den Austausch von GNSS-Daten zwischen GNSS-Empfängern verschiedener Hersteller
RTCM	**Radio Technical Commission for Maritime Services** Amerikanisches Komitee zur Standardisierung von Datenformaten für GNSS - Echtzeitanwendungen in den Bereichen Navigation und Vermessung
RTK	**Real Time Kinematic** GNSS - Messverfahren auf der Basis der differentiellen Auswertung von Trägerphasenmessungen in Echtzeit mit cm - Genauigkeit
SA	**Selective availability** Künstliche Verschlechterung der GPS-Signale; wurde am 1. Mai 2000 ausgeschaltet
SAPOS	**Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung** Positionierungsdienst in Deutschland auf der Basis der Permanentnetze der Landesvermessungsämter; Pendant zu swipos
SMS	**Short Message Service** Telekommunikationsdienst zur Übertragung von Textnachrichten, der zuerst für den GSM-Mobilfunk entwickelt wurde und nun auch im Festnetz verfügbar ist.
Socket	**Socket** Bi-direktionale Softwareschnittstelle zur Interprozess- oder Netzwerkkommunikation
Swipos	**Swiss Positioning Service** Positionierungsdienste auf der Basis von AGNES; in zwei verschiedenen Genauigkeitsklassen verfügbar (swipos-NAV für Metergenauigkeit und swipos-GIS/GEO für cm-Genauigkeit)
TCP/IP	**Transmission Control Protocol / Internet Protocol** Das TCP/IP-Referenzmodell ist auf die Internet-Protokolle zugeschnitten, die den Datenaustausch über die Grenzen lokaler Netzwerke hinaus ermöglichen ("*Internetworking*"). TCP ist ein verbindungsorientiertes Protokolle der Transportschicht, IP ist ein verbindungsloses Protokoll zur Übertragung von Datenpaketen
TLM	**Topographisches Landschaftsmodell** Digitales Landschaftsmodell der Schweiz basierend auf Vektor- und Rasterdaten
UKW / RDS	**Ultrakurzwellen / Radio Data System** Broadcasting von Audio-Radioprogrammen und Daten über Kurzwellen; sehr geringe Bandbreite von 2.4 kbps
UMTS	**Universal Mobile Telecommunications System** Mobilfunk-Standard der dritten Generation (3G) mit Übertragungsraten von - theoretisch - bis zu 2 MBit/s.
USV	**Unterbruchsfreie Stromversorgung** Batteriegepuffertes Modul auf den AGNES-Stationen zur Überbrückung von kurzen Stromausfällen (< 10 Minuten); bei längeren Stromausfällen wird die Station kontrolliert ausgeschaltet
V+D	**Eidgenössische Vermessungsdirektion** Bereich von swisstopo; zuständig für die Oberleitung und Oberaufsicht über die → AV der Schweiz (strategische Führung)
VRS	**Virtual Reference Station** Verfahren zu Interpolation von Messdaten aus den Daten eines GNSS-Referenzstationsnetzes für den aktuellen Standort des Benutzers

Literaturverzeichnis

Ammann R., A. Carosio, H. Dupraz, R. Durussel, A. Jolidon, Ch. Just, D. Schneider, W. Ulrich und B. Vogel (1995): Konsequenzen der neuen Landesvermessung 95 für die Amtliche Vermessung. Schlussbericht der Arbeitsgruppe "Amtliche Vermessung - Landesvermessung 95". V+D und L+T, Oktober 1995 (Version August 1996).

Applanix (2005): www.applanix.com

Bieri M., M. Leupin, P. von Däniken, P.A. Trachsel, A. Bichsel, R. Held, Ch. Schmid (1996): Überprüfung der Amtlichen Vermessung. Schlussbericht der Expertenkommission 'Effizienz, Kosten und Termine der Amtlichen Vermessung' zuhanden des Bundesamtes für Raumplanung. Juli 1996.

Brockman E. (2001): Die Koordinaten der AGNES-Stationen, TB 01-05, Wabern.

Brockmann E. (2002): PNAC: Antennenkalibrierung 2000/2001. TB 00-19, Wabern.

Brockmann E. (2003a): LV95-CHTRF98: GPS-Messungen 1998. Auswertung der Messungen und Beurteilung der Resultate. TB 98-16, Wabern.

Brockmann E. (2003b): LV95 / LHN95: GPS-Auswertung der Messkampagnen der Jahre 2001 und 2002. Report 02-11, Wabern.

Brockmann E. und D. Ineichen (2004): LV95 / CHTRF2004 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2004) Teil 3: Auswertung der GPS-Messungen 2004 und Resultate der Gesamtausgleichung CHTRF04, Report 04-07, Wabern.

Bühlmann M. (1998): Pilotprojekt DGPS: Schlussbericht zum Pilotbetrieb 1996 - 97. TB 97-41, swisstopo, Wabern 1998.

EUREF-IP (2005): http://www.epncb.oma.be/euref_IP

GPS Lombardia (2005): http://www.gpslombardia.it

Grünig S. (2004): Konzept AGNES Zentrale BIT: Beschreibung der neuen AGNES Serverarchitektur im BIT (Redundanz, Sicherheit, Archivierung). Report 04-12, Wabern

Grünig S. und A. Wägli (2004): VRS-Monitor: Integrity Monitoring für swipos-GIS/GEO. Technischer Schlussbericht des Projekts P0026. Report 04-45, Wabern

Grünig S. (2005): AGNES-Netzoptimierung 2005 / 2006: Evaluation der Stationen, Konzept, Massnahmenplan, Ausblick Galileo. Report 05-04, Wabern

Grünig S. und A. Wägli (2005): Entwicklung einer Transformations-Routine für FINELTRA und HTRANS und deren Integration in GPSNet: Spezifikation, Realisierung, Tests. Report 05-24, Wabern.

Grünig S. und St. Tschanz (2005): VRS-Monitor 2005 Testmessungen: Resultate, Analyse, Ausblick, report 05-21, swisstopo, Wabern

Grünig S. und U. Wild (2005): swipos über Internet: Neue Entwicklungen bei der Echtzeitpositionierung, Geomatik Schweiz, 03/2005.

Gubler E., D. Gutknecht, U. Marti, D. Schneider, Th. Signer, B. Vogel und A. Wiget (1996): "Die neue Landesvermessung der Schweiz LV95". Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 2/96, Februar 1996.

Gurtner W. und G. Mader (1990): Receiver Independent Exchange Format Version 2. CSTG GPS Bulletin Vol. 3 No. 3, Sept/Oct 1990, National Geodetic Survey, Rockville.

Hagin Ch. (1996): Faisabilité d'un service public GPS 'real-time kinematic (RTK)'. Diplomarbeit ETH Lausanne, Wintersemester 1995/1996. Lausanne 1996.

Hankemeier P. (1995): DGPS-Dienste der Vermessungsverwaltungen. Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation, 3/95, September 1995.

Hedling G. and B. Jonson (1995): SWEPOS – A Swedish Network of Reference Stations for GPS. National Land Survey of Sweden, Vortrag am DSNS95, Bergen (N), Proceedings Vol. I, Nordic Institute of Navigation, Oslo, Norway, April 1995.

Hug R., U. Wild und P. Kummer (2003): Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES) Hauptstudie. TB 00-43, Wabern.

Hugentobler U., S. Schaer and P. Fridez (Eds.) (2001): Bernese GPS Software Version 4.2 documentation. Astronomical Institute of the University of Berne, 2001.

IGS, International GPS Service for Geodynamics, 1995 Annual Report, Edited by J.F: Zumberge, M.P. Urban, R Liu, R.E. Neilan, September 1996.

MeteoSchweiz (2005): http://www.meteoschweiz.ch/web/de/services/datenportal/messnetze.html

NTRIP (2005): http://igs.ifag.de/index_ntrip.htm

RTCM (2005): Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM), Subcommittee SC-104, www.rtcm.org

Schlatter A., B. Mattli und B. Vogel (2003): Landeshöhennetz LHN95: Die Anschlüsse des GPS-Netzes LV95 und der AGNES-Stationen an das Landeshöhennetz (LHN95 und LN02). Report 02-33, Wabern.

Schneider D., E. Gubler, U. Marti und W. Gurtner (2001): Aufbau der neuen Landesvermessung ‚LV95': Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen, Teil 3, Nr. 8, Doku, Wabern

Schneider D., E. Brockmann, A. Wiget, B. Vogel und U. Wild (2005): Qualitätsstandards der Landesvermessung: Indikatoren, Standards und Messgrössen für die Produkte der Landesvermessung. Report 03-06, Wabern.

SED (2005): http://www.seismo.ethz.ch/

TERIA (2005): http://www.reseau-teria.com/modulos/documentos

Trimble (2005a): GPSNet™ VRS™ Software, User Guide, Version 2.40, Trimble Navigation Limited, Geomatics and Engineering Division, Dayton, Ohio USA, www.trimble.com

Trimble (2005b): GPServer, Data Publication Using the Internet, User Guide, Version 2.40, Trimble Navigation Limited, Geomatics and Engineering Division, Dayton, Ohio USA, www.trimble.com

Troller M. und E. Brockmann (2001): COMEDIE Modellierung für die Kampagne GRTI00: Vergleiche verschiedener Atmosphärenmodellierungen. TB01-20, Wabern.

Vogel B. (2004): AGNES-Stationen: Einmessung in LV03 und Anschluss an LV95. Report 02-32, Wabern.

Wild U., Th. Ueltschi und E. Brockmann (1995): Zimmerwald – Jungfraujoch 1995; Versuch eines permanenten GPS-Betriebs auf einer Basislinie mit grosser Höhendifferenz. TB 95-27, Wabern.

Wild U. und A. Wiget (1995): Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Projektvorschlag. TB 95-25, Wabern.

Wild U., A. Wiget, Th. Signer und R. Hug (1998): Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Vorstudie. TB 97-01, Wabern.

Wild U., E. Brockmann, R. Hug, Chr. Just, P. Kummer, Th. Signer und A. Wiget (2000): Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Ein multifunktionales Referenznetz für Navigation und Vermessung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 6/2000.

Wild U., S. Grünig, R. Hug, P. Kummer, I. Pfammatter und U. Bruderer (2001): swipos-GIS/GEO: real-time Positionierung in der ganzen Schweiz mit cm-Genauigkeit. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 3/2001.

Wild U., R. Hug und St. Tschanz (2003): swipos-NAV: Technisches Konzept, TB97-22, swisstopo, Wabern

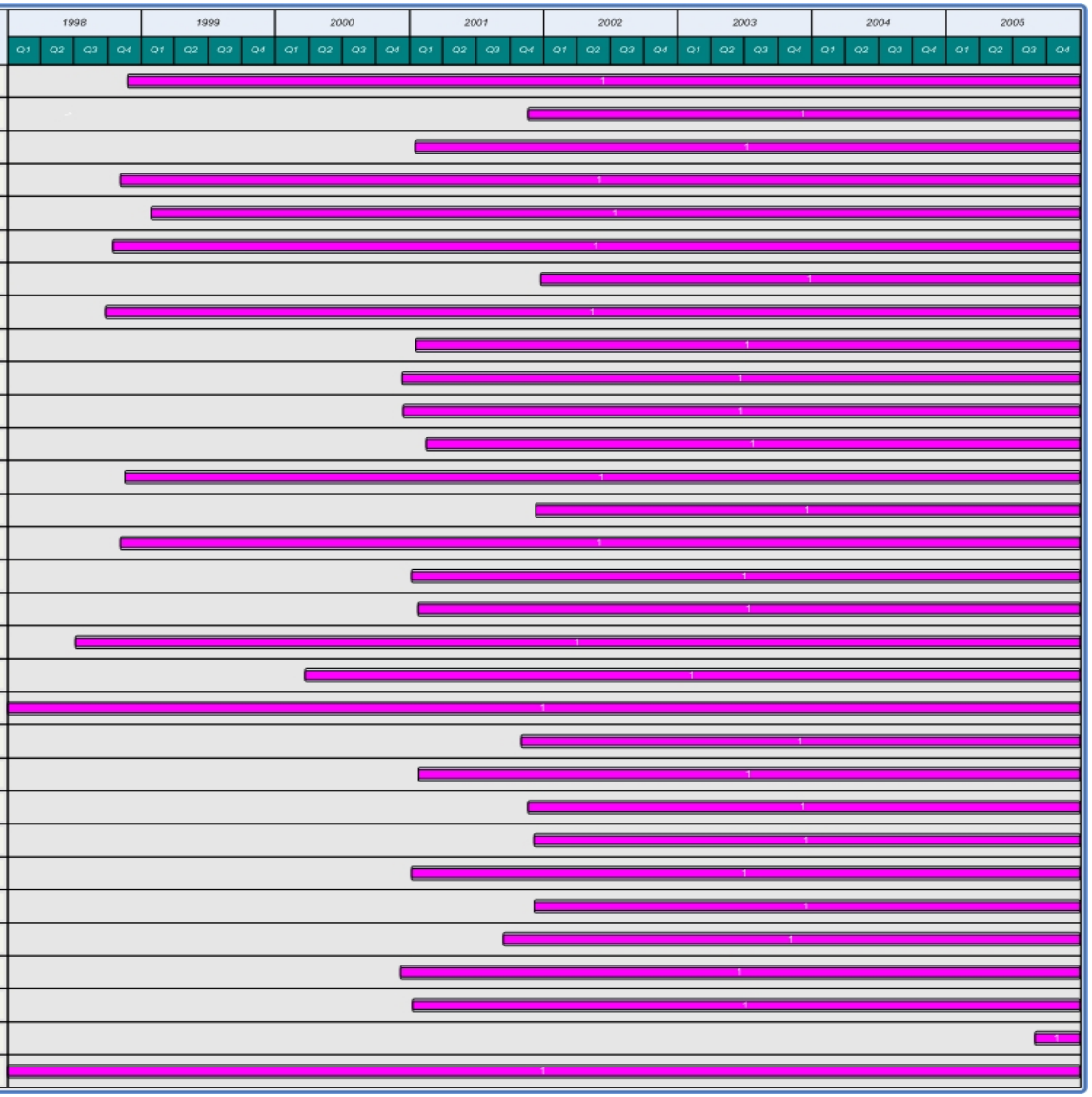
Wild U. (2004): Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Schlussbericht Projekt 8101, Report 04-22. Wabern.

Wild U. und S. Grünig (2005): Vernetzung SAPOS, APOS und swipos®: Schlussbericht D-A-CH, Report 04-24, swisstopo, Wabern

swisstopo Doku 19
Anhang A1

Stationsverzeichnis AGNES

ID	Abkürzung	Station	Klasse	Kollokation	Installation
1	ANDE	Andermatt	A	Meteo Schweiz	24.11.1998
2	ARDE	Ardez	A		19.11.2001
3	BOUR	Bourrignon	A	Schweiz. Erdbebendienst (SED)	16.01.2001
4	DAVO	Davos	A		05.11.1998
5	EPFL	Lausanne	C		27.01.1999
6	ETHZ	Zürich	C		16.10.1998
7	FALE	Falera	C		24.12.2001
8	FHBB	Muttenz	C		25.09.1998
9	FRIC	Frick	A	Schweiz. Erdbebendienst (SED)	18.01.2001
10	GENE	Genève	C	Meteo Schweiz	11.12.2000
11	HOHT	Hohtenn	C		14.12.2000
12	HUTT	Huttwil	C		15.02.2001
13	JUJO	Jungfraujoch	C		17.11.1998
14	KREU	Kreuzlingen	C		10.12.2001
15	LOMO	Locarno	C	Meteo Schweiz	05.11.1998
16	LUZE	Luzern	B	Amt für Umweltschutz (Kt. LU)	05.01.2001
17	MART	Martigny	A		24.01.2001
18	NEUC	Neuchâtel	C		06.07.1998
19	PAYE	Payerne	C	Meteo Schweiz	22.03.2000
20	PFAN	Pfänder	B		01.01.1998
21	SAAN	Saanen	A		01.11.2001
22	SARG	Sargans	A		25.01.2001
23	SAME	Samedan	C	Meteo Schweiz	19.11.2001
24	SANB	San Bernardino	A	Meteo Schweiz	05.12.2001
25	SCHA	Schaffhausen	C		05.01.2001
26	STAB	Stabio	C		06.12.2001
27	STCX	Ste-Croix	C		13.09.2001
28	STGA	St. Gallen	C		07.12.2000
29	UZNA	Uznach	C		08.01.2001
30	ZERM	Zermatt	A		31.08.2005
31	ZIMM	Zimmerwald	B	SLR (AIUB) Gezeitengravimeter (ETHZ)	01.01.1998



swisstopo Doku 19
Anhang A2

Dokumentation der AGNES-Stationen

Stand: Dezember 2005
Alle Angaben ohne Gewähr

Andermatt (ANDE)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

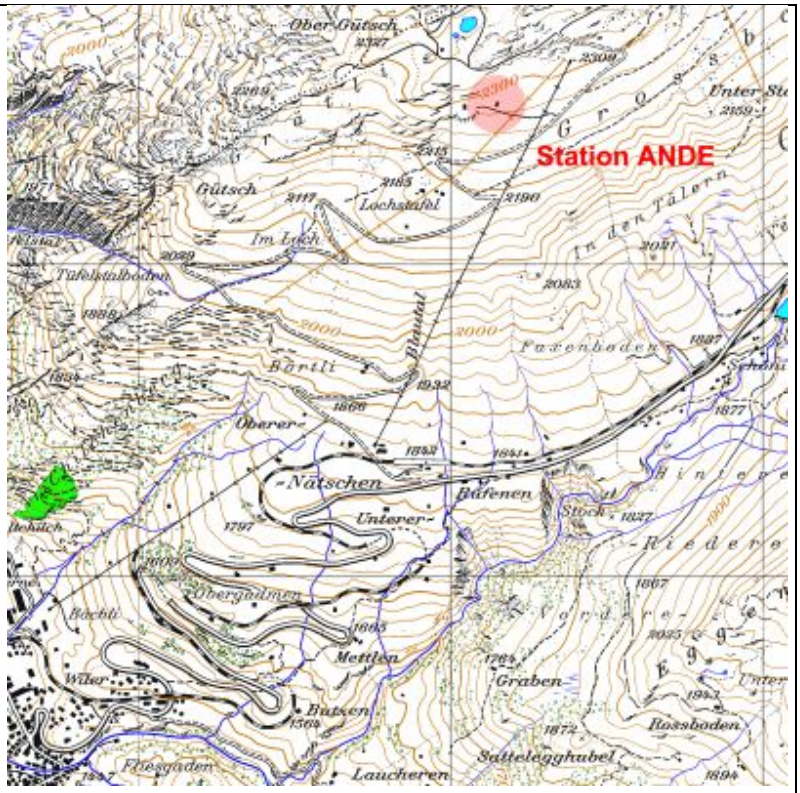
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4337908.920 / 657277.132 / 4617115.583

LV95 (E / N / h ell):
2690112.620 / 1167570.640 / 2318.475

LV03 (Y / X / H):
690112.230 / 167571.010 / 2316.170



LK 1:25'000, Blatt 1232

Ardez (ARDE)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

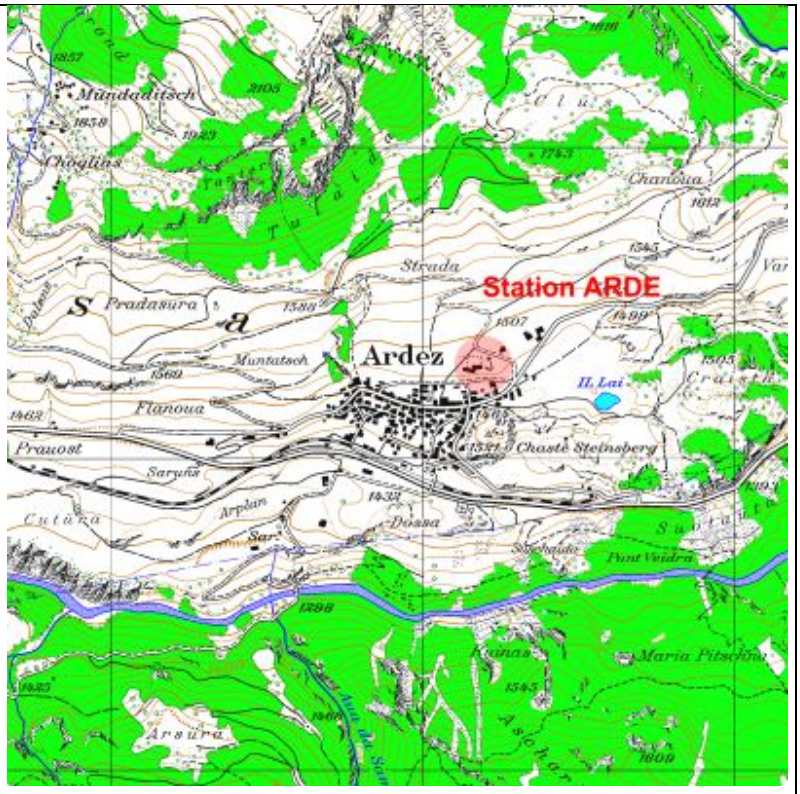
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4307656.791 / 775433.618 / 4625902.678

LV95 (E / N / h ell):
2811209.620 / 1184302.360 / 1499.479

LV03 (Y / X / H):
811208.670 / 184302.340 / 1495.279



LK 1:25'000, Blatt 1198

Bourrignon (BOUR)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

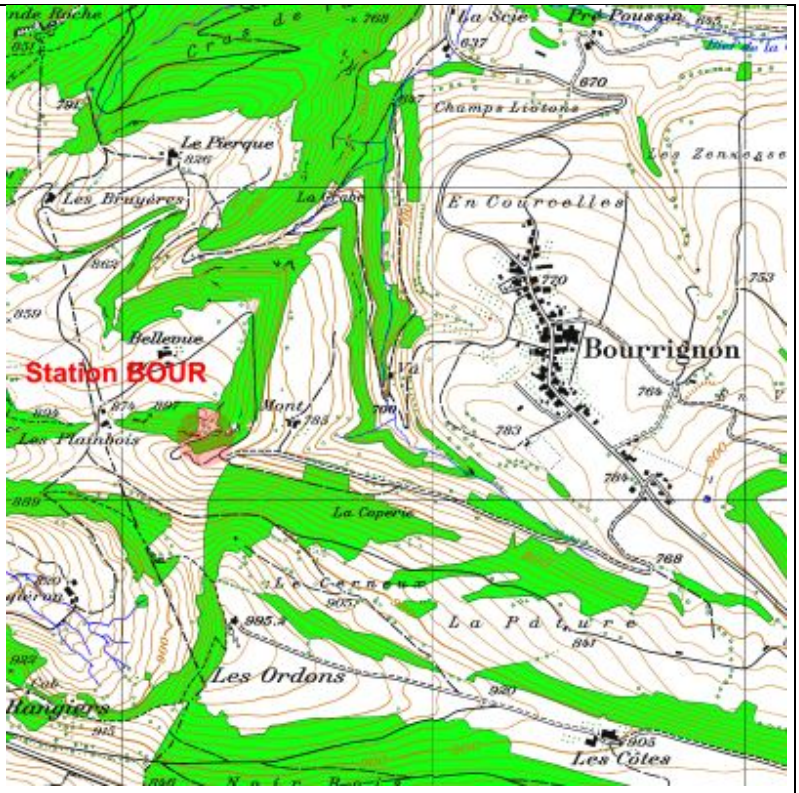
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4291772.007 / 544504.835 / 4672230.050

LV95 (E / N / h ell):
2584293.740 / 1249277.900 / 891.547

LV03 (Y / X / H):
584293.290 / 249277.330 / 890.930



LK 1:25'000, Blatt 1085

Davos (DAVO)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Choke Ring

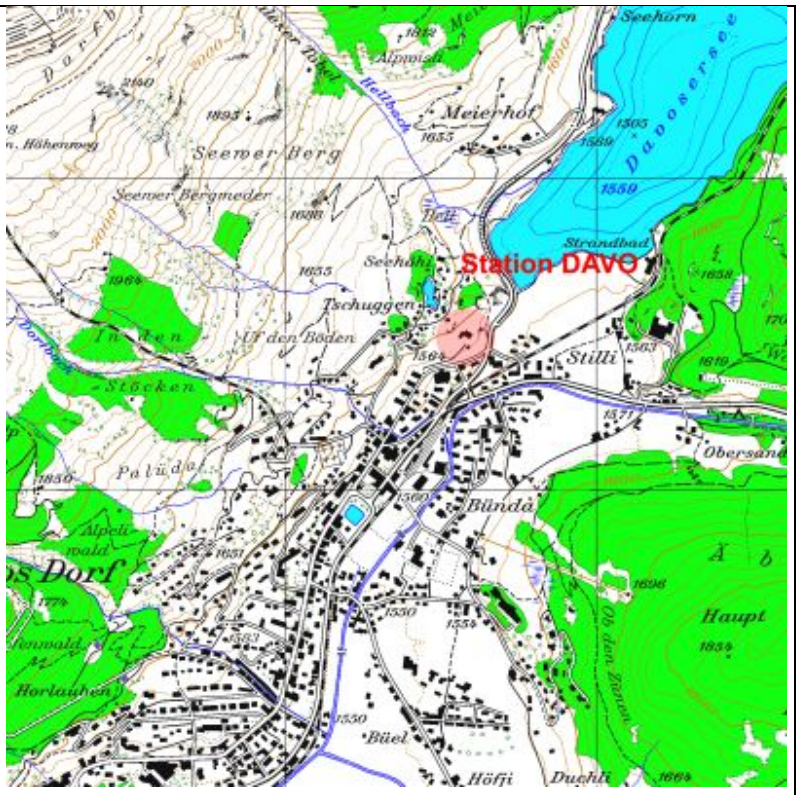
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 0.128 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4309608.969 / 747769.767 / 4628755.552

LV95 (E / N / h ell):
2783516.020 / 1187452.230 / 1598.095

LV03 (Y / X / H):
783515.164 / 187452.333 / 1595.183



LK 1:25'000, Blatt 1197

Lausanne (EPFL)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Choke Ring

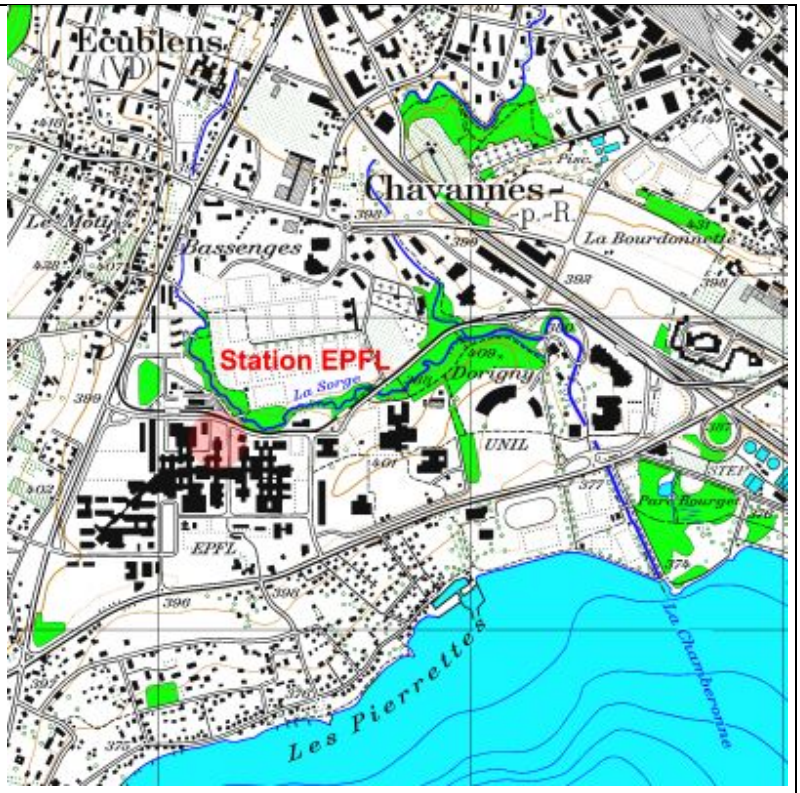
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 0.128 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4367902.528 / 502903.353 / 4605656.670

LV95 (E / N / h ell):
2533184.540 / 1152612.220 / 409.084

LV03 (Y / X / H):
533184.980 / 152611.740 / 410.638



LK 1:25'000, Blatt 1243

Zürich (ETHZ)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Choke Ring

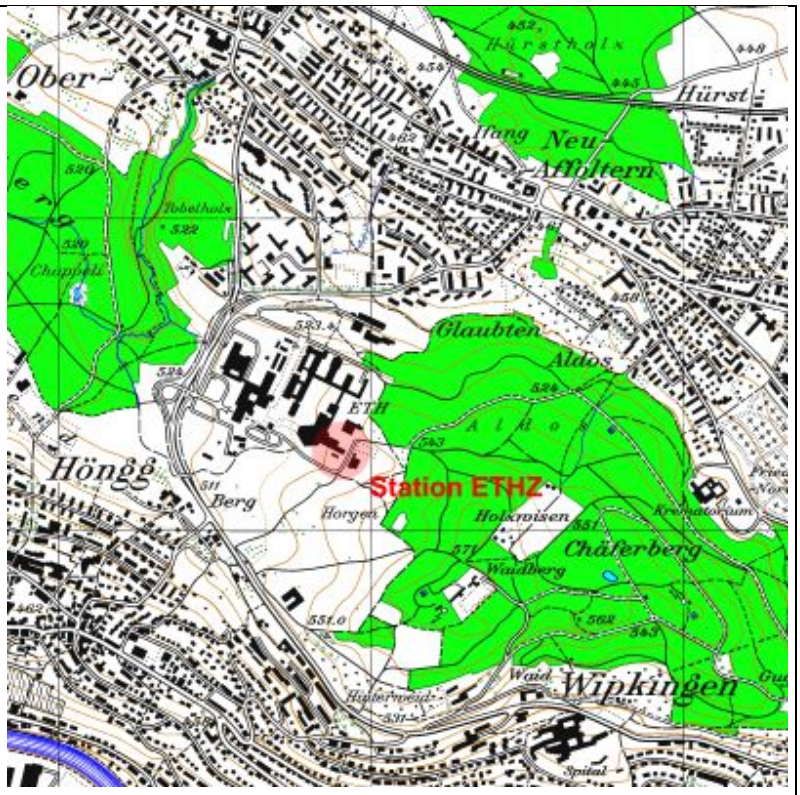
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 0.128 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4277260.373 / 640044.472 / 4672949.148

LV95 (E / N / h ell):
2680904.230 / 1251246.790 / 547.407

LV03 (Y / X / H):
680903.299 / 251246.933 / 547.566



LK 1:25'000, Blatt 1091

Falera (FALE)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

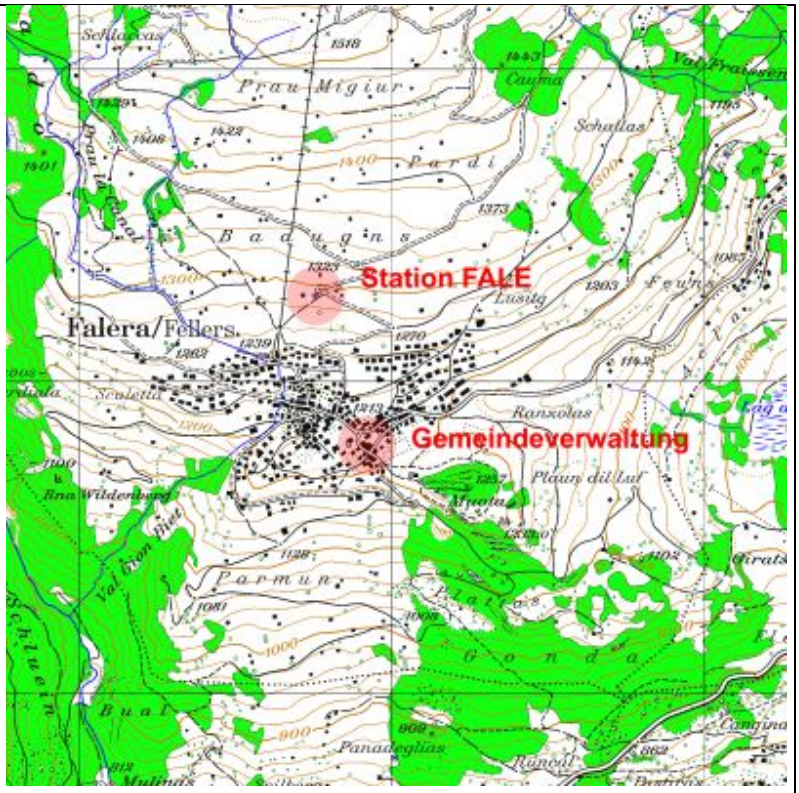
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4317835.702 / 701679.764 / 4627894.596

LV95 (E / N / h ell):
2736752.180 / 1185264.160 / 1295.947

LV03 (Y / X / H):
736751.490 / 185264.480 / 1294.720



LK 1:25'000, Blatt 1194

Muttenz (FHBB)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Choke Ring

GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 0.128 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4276062.108 / 573481.114 / 4682319.269

LV95 (E / N / h ell):
2615058.530 / 1264811.780 / 329.817

LV03 (Y / X / H):
615057.980 / 264811.230 / 328.942

LK 1:25'000, Blatt 1067

Frick (FRIC)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

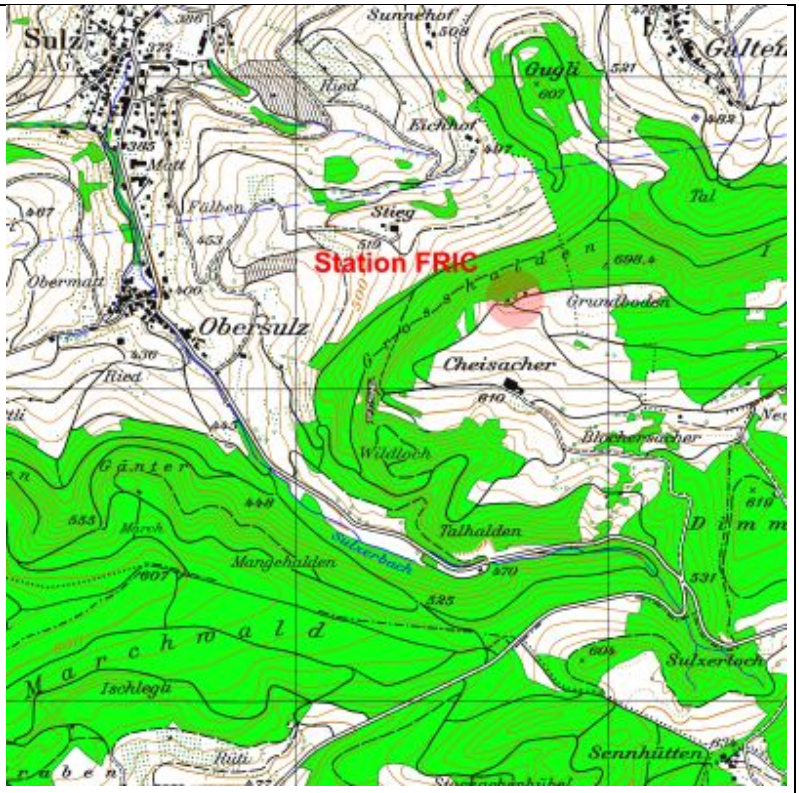
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4271934.843 / 608891.891 / 4682092.196

LV95 (E / N / h ell):
2650703.330 / 1264293.330 / 678.270

LV03 (Y / X / H):
650702.520 / 264293.140 / 677.470



LK 1:25'000, Blatt 1069

Genève (GENE)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

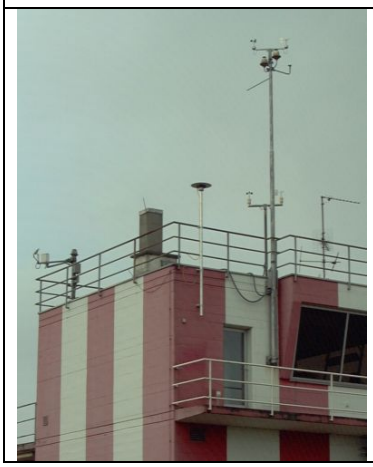
GPS-Empfänger: Trimble 4700

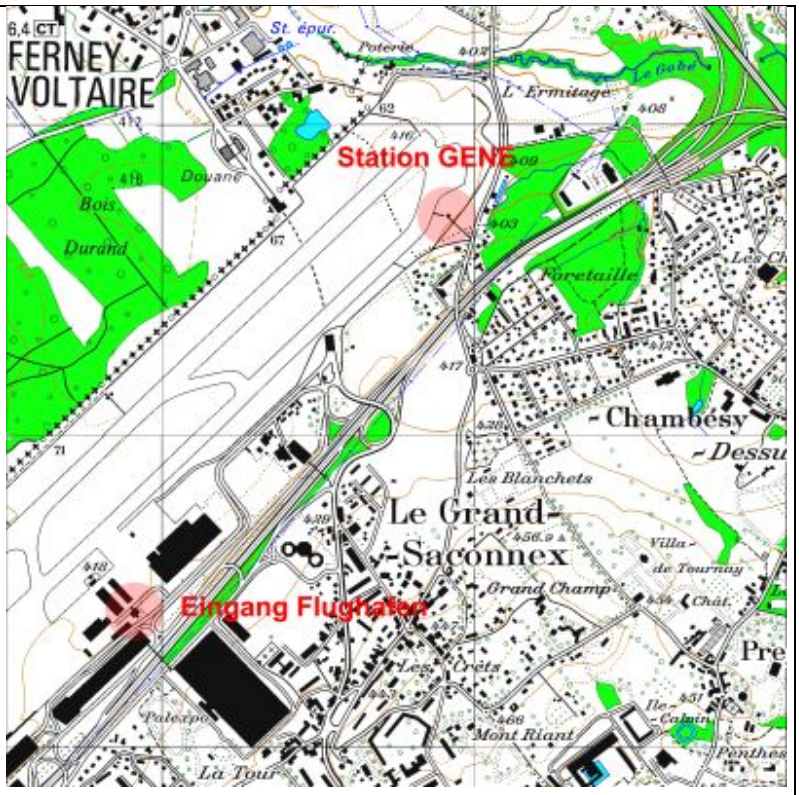
Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4393506.008 / 471707.765 / 4584713.645

LV95 (E / N / h ell):
2498930.190 / 1122714.160 / 419.660

LV03 (Y / X / H):
498930.740 / 122713.950 / 422.150





LK 1:25'000, Blatt 1281

Hohtenn (HOHT)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

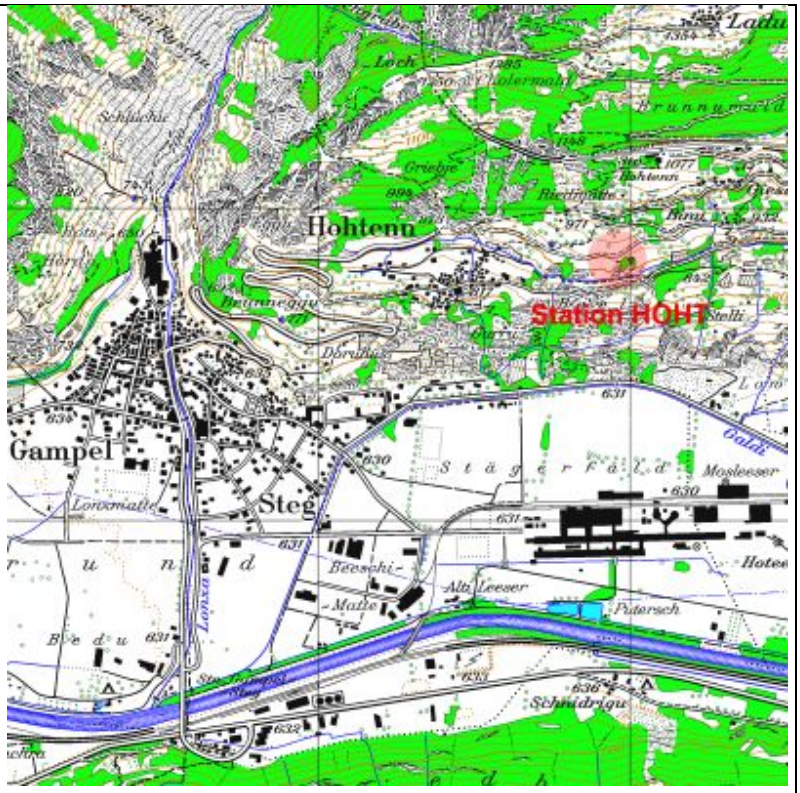
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 0.128 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4372948.878 / 596119.643 / 4590551.833

LV95 (E / N / h ell):
2624959.430 / 1129829.720 / 934.847

LV03 (Y / X / H):
624959.830 / 129829.800 / 933.260



LK 1:25'000, Blatt 1288

Huttwil (HUTT)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

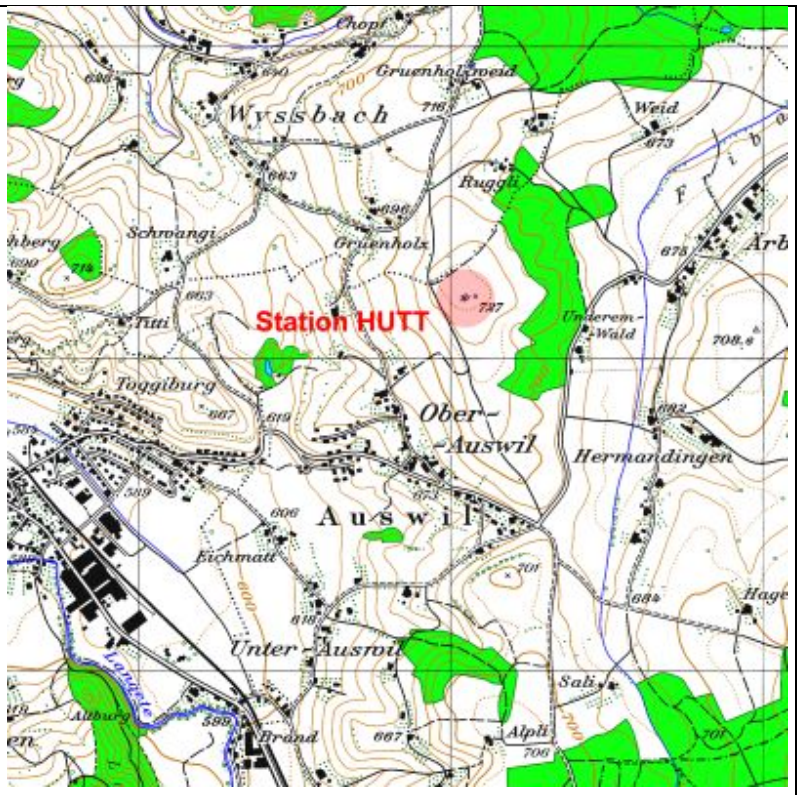
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4306157.763 / 592541.181 / 4653017.835

LV95 (E / N / h ell):
2630058.170 / 1221197.340 / 730.333

LV03 (Y / X / H):
630057.680 / 221197.200 / 730.650



LK 1:25'000, Blatt 1128

Jungfraujoch (JUJO)

Klasse: C

GPS-Antenne: Dorne Margolin J

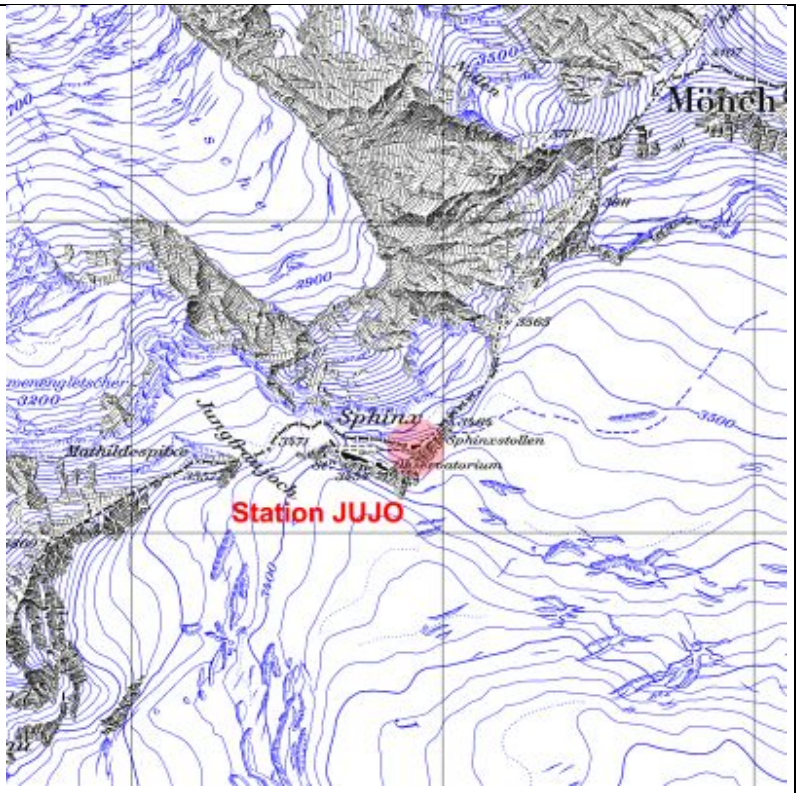
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 0.128 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4354213.267 / 610774.738 / 4609950.797

LV95 (E / N / h ell):
2641896.960 / 1155278.310 / 3584.449

LV03 (Y / X / H):
641896.980 / 155278.540 / 3581.690



LK 1:25'000, Blatt 1249

Kreuzlingen (KREU)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

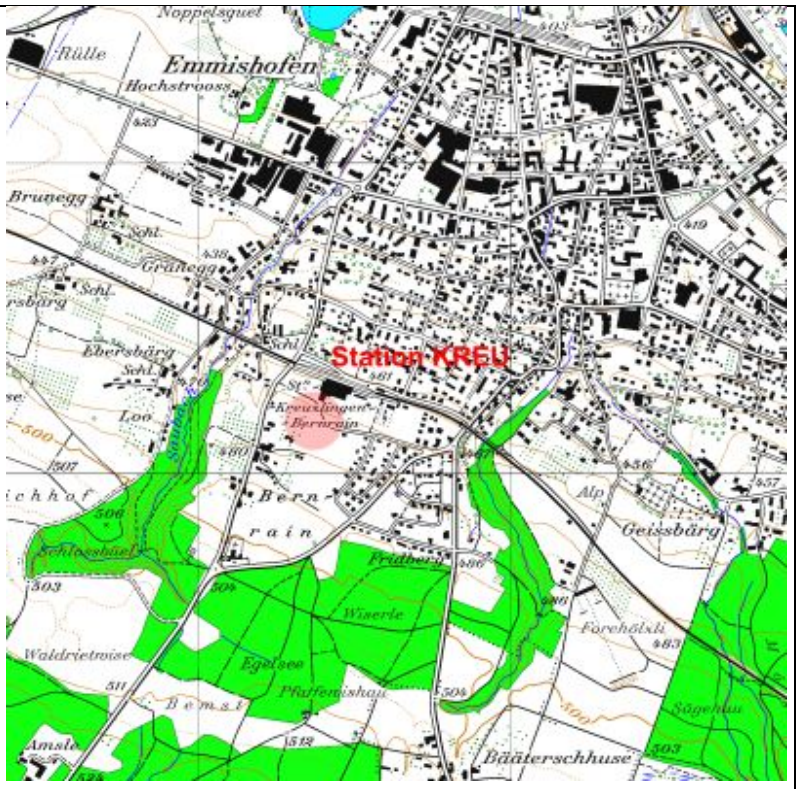
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4250723.070 / 685424.650 / 4690488.012

LV95 (E / N / h ell):
2729349.370 / 1278156.060 / 483.855

LV03 (Y / X / H):
729348.530 / 278156.590 / 483.377



LK 1:25'000, Blatt 1034

Locarno (LOMO)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Choke Ring

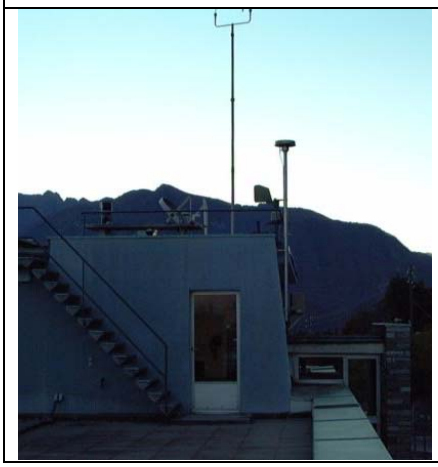
GPS-Empfänger: Trimble 4700

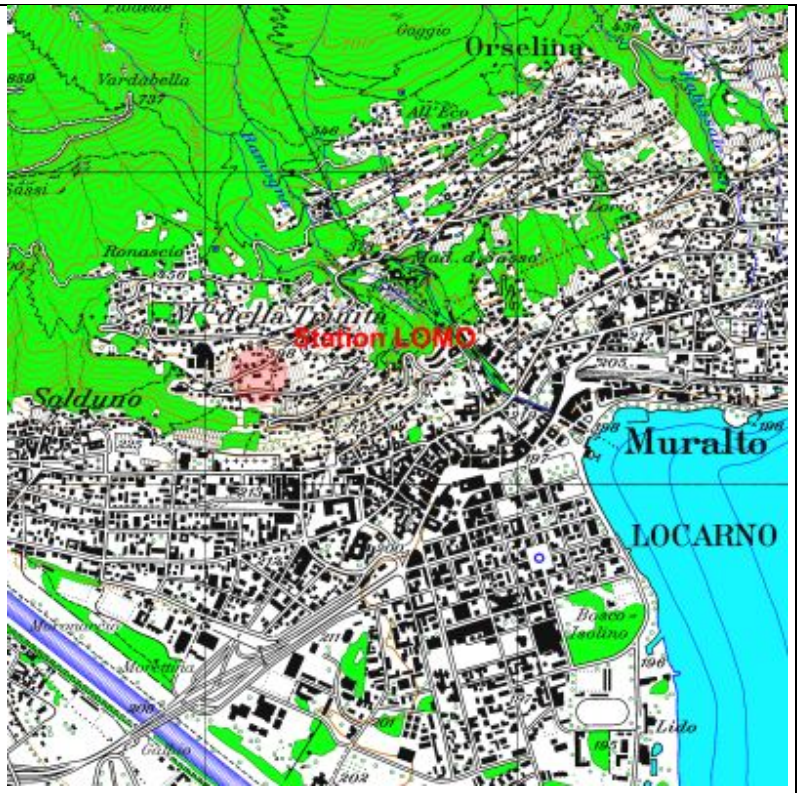
Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 01.28 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4372867.153 / 675972.949 / 4578866.882

LV95 (E / N / h ell):
2704160.870 / 1114349.380 / 387.769

LV03 (Y / X / H):
704160.810 / 114350.220 / 387.330





LK 1:25'000, Blatt 1312

Luzern (LUZE)

Klasse: B

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

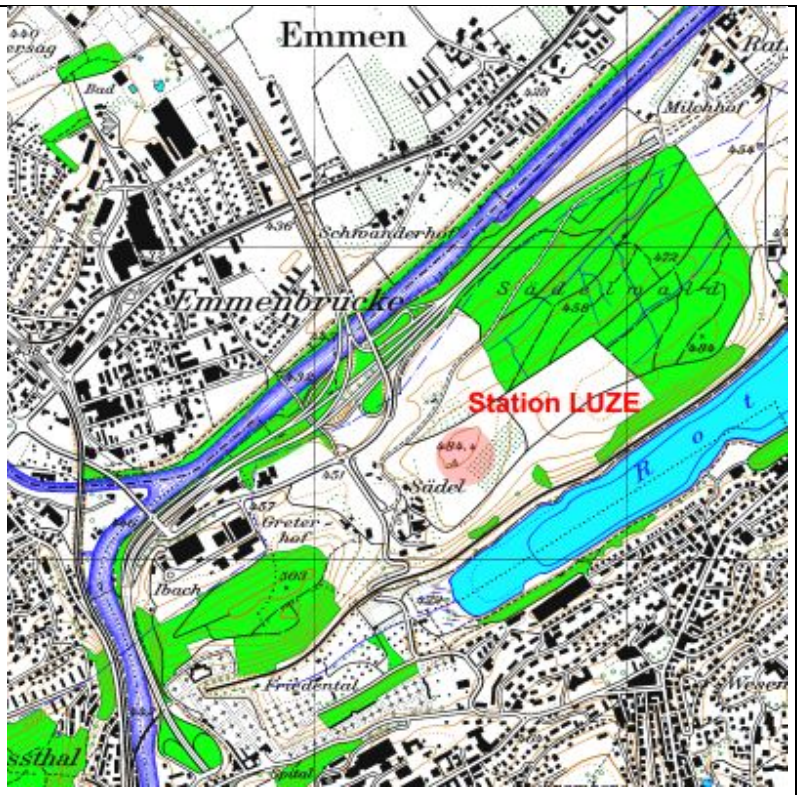
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4306912.645 / 628359.696 / 4647329.480

LV95 (E / N / h ell):
2665476.810 / 1213379.510 / 493.704

LV03 (Y / X / H):
665476.000 / 213379.610 / 494.241



LK 1:25'000, Blatt 1150

Martigny (MART)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

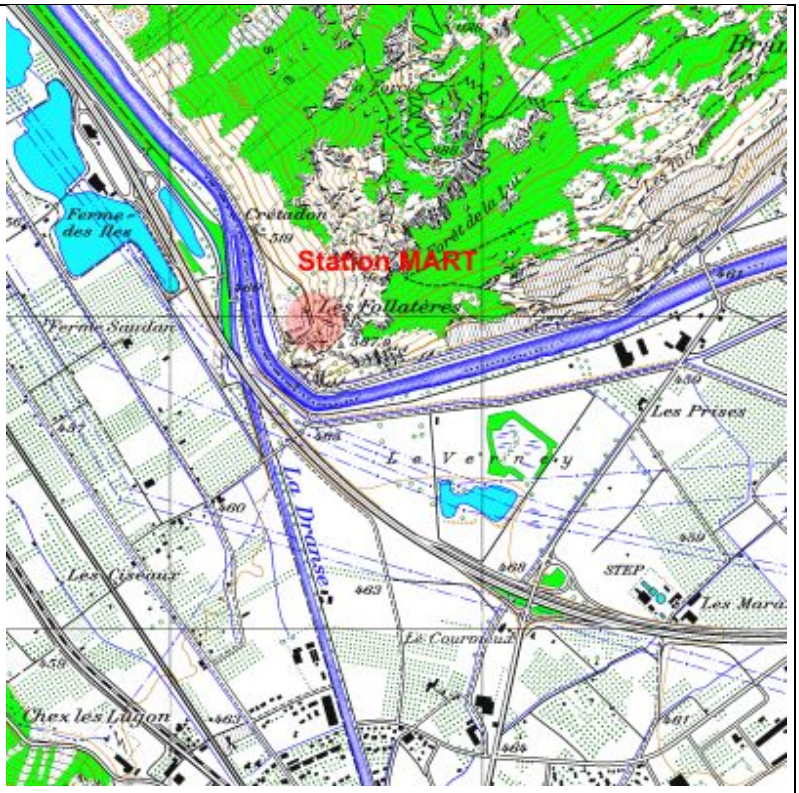
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4395302.520 / 545180.680 / 4575138.612

LV95 (E / N / h ell):
2571556.570 / 1107925.020 / 592.690

LV03 (Y / X / H):
571557.330 / 107924.790 / 592.620



LK 1:25'000, Blatt 1325

Neuchâtel (NEUC)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

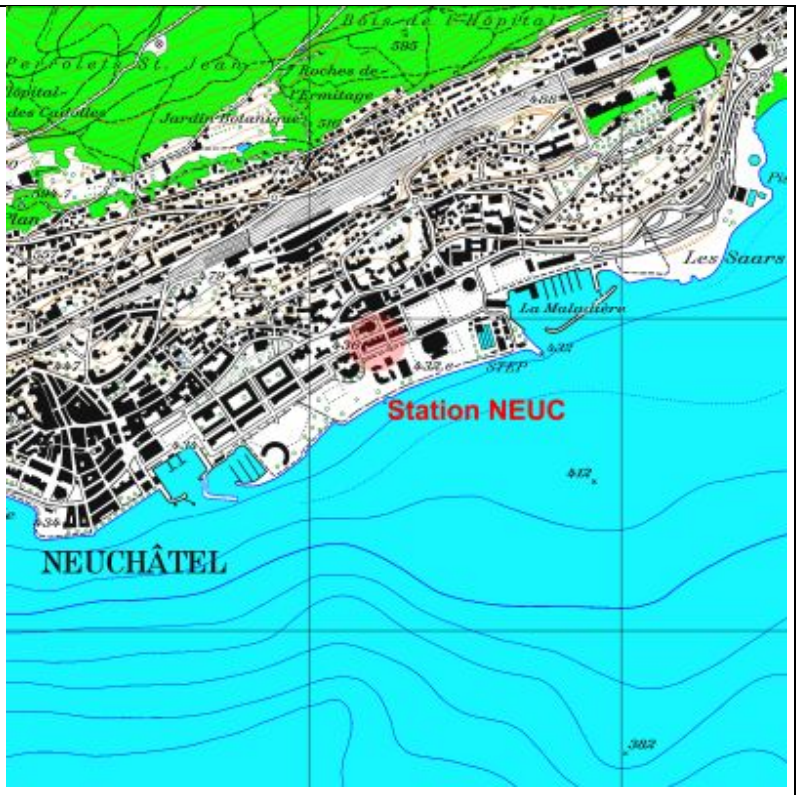
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4326595.425 / 526677.436 / 4641665.792

LV95 (E / N / h ell):
2562108.210 / 1204872.740 / 454.760

LV03 (Y / X / H):
562108.420 / 204872.300 / 455.192



LK 1:25'000, Blatt 1164

Payerne (PAYE)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

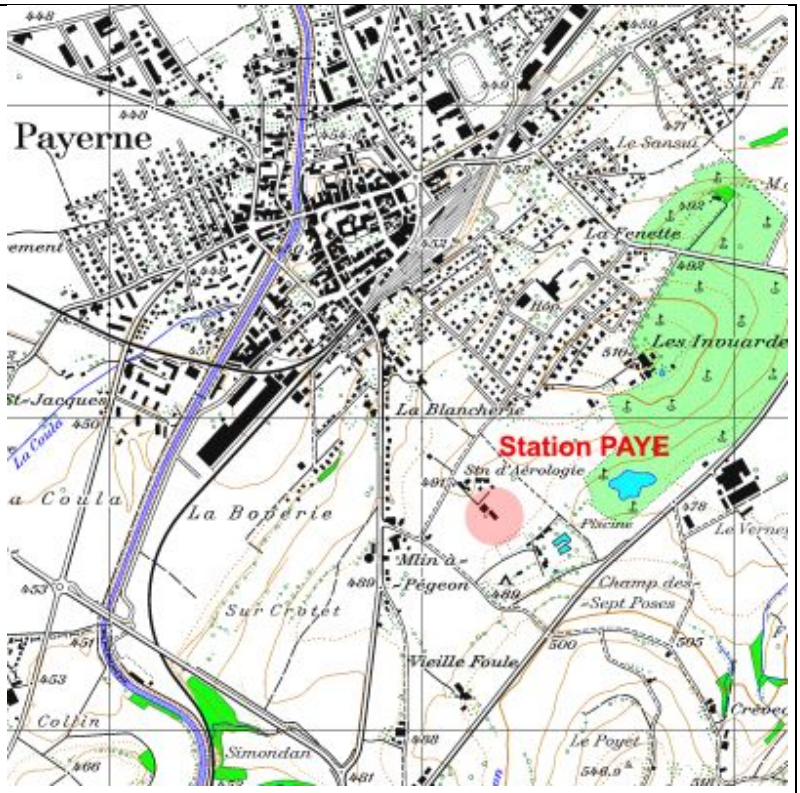
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4341235.058 / 528725.423 / 4627896.805

LV95 (E / N / h ell):
2562243.560 / 1184673.290 / 498.327

LV03 (Y / X / H):
562243.750 / 184673.110 / 499.325



LK 1:25'000, Blatt 1184

Pfänder (PFAN)

Klasse: B

GPS-Antenne: Ashtech ZU-12

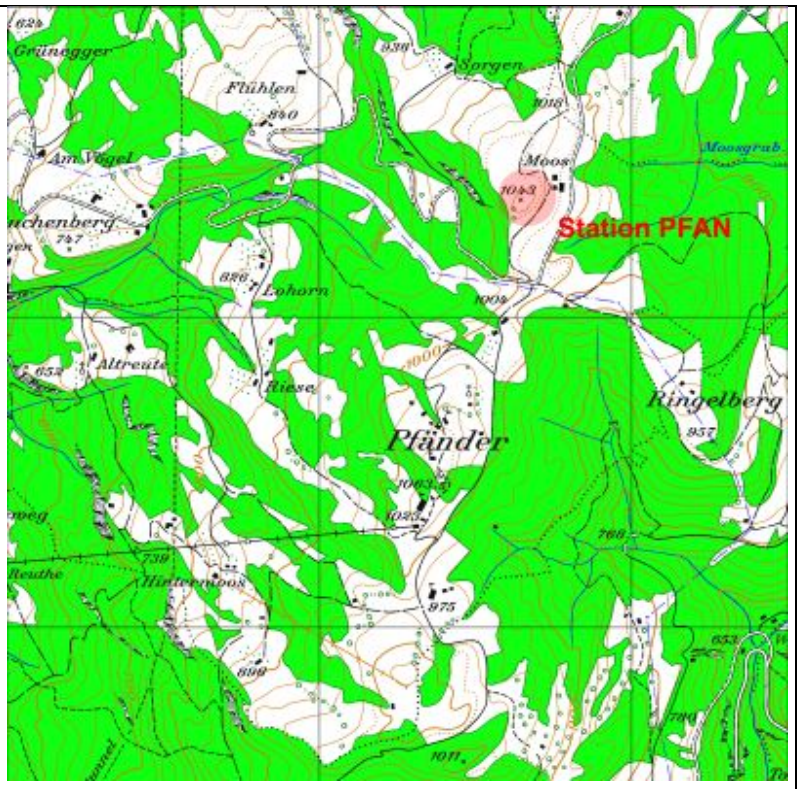
GPS-Empfänger: ASH70194C_M

Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 0.128 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4253560.310 / 733544.736 / 4681452.763

LV95 (E / N / h ell):
2776691.180 / 1265372.920 / 1044.516

LV03 (Y / X / H):
776690.690 / 265373.350 / ---



LK 1:25'000, Blatt 1076

Saanen (SAAN)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

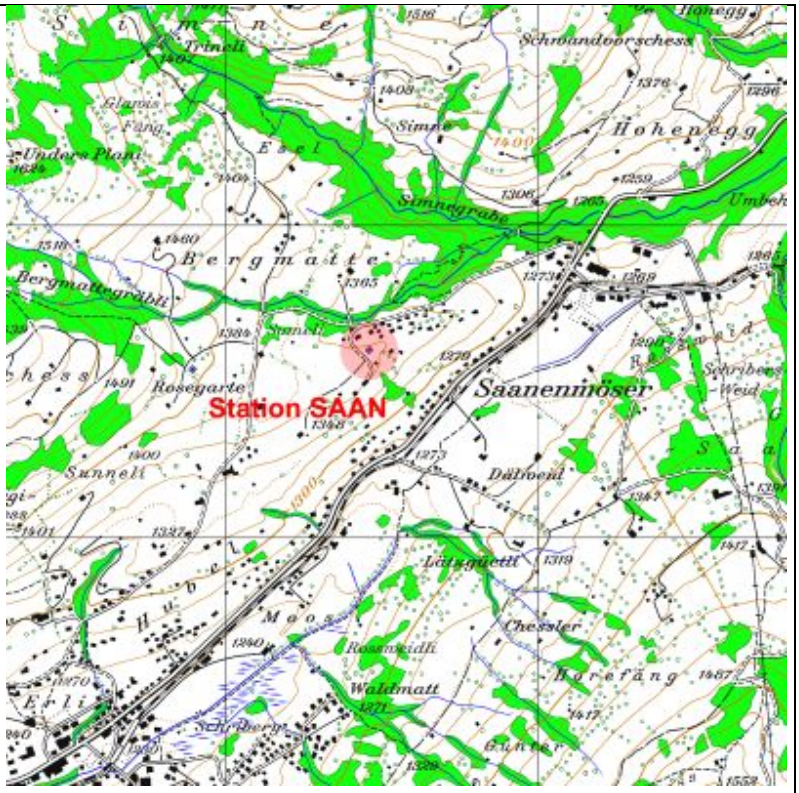
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4362233.916 / 558914.731 / 4605901.607

LV95 (E / N / h ell):
2589459.120 / 1151594.440 / 1368.726

LV03 (Y / X / H):
589459.480 / 151594.320 / 1368.040



LK 1:25'000, Blatt 1246

Samedan (SAME)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

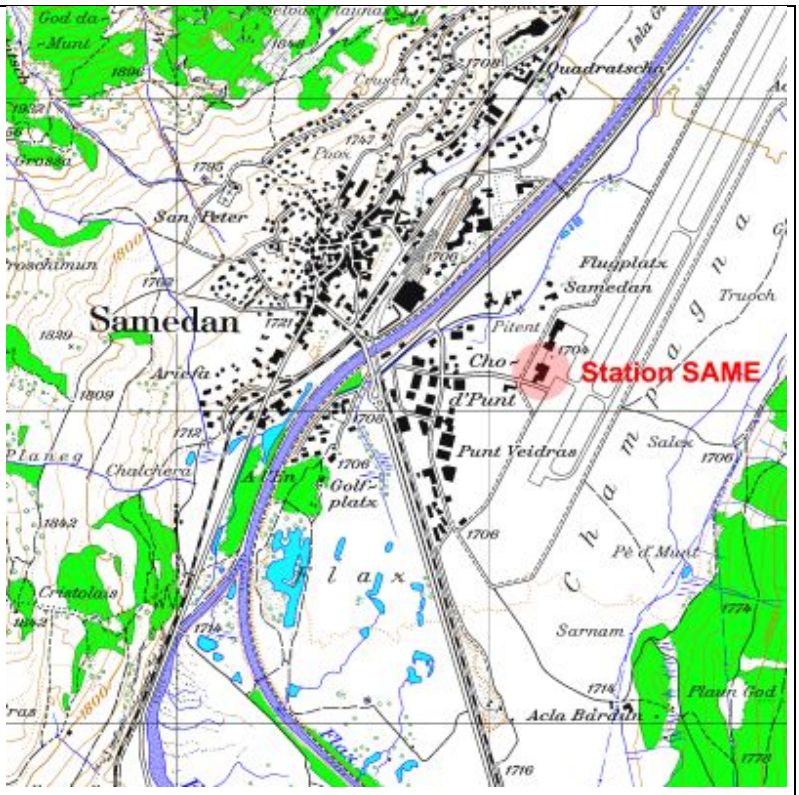
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4331836.281 / 754329.994 / 4607194.613

LV95 (E / N / h ell):
2787144.420 / 1156015.160 / 1711.093

LV03 (Y / X / H):
787143.400 / 156015.430 / 1707.500



LK 1:25'000, Blatt 1257

San Bernardino (SANB)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

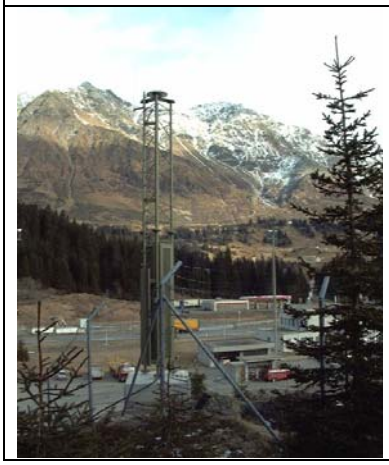
GPS-Empfänger: Trimble 4700

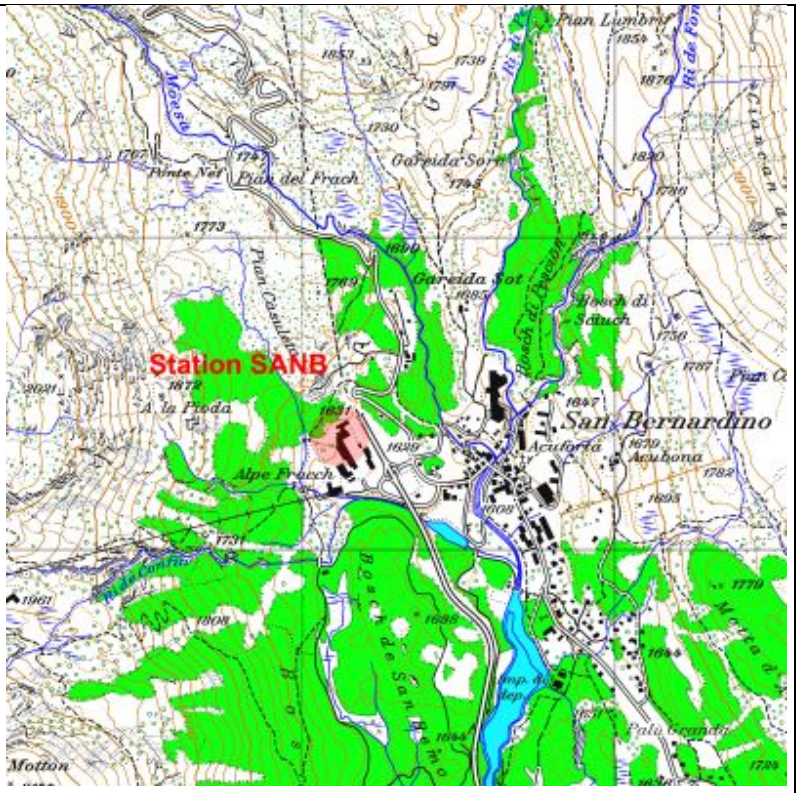
Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4345821.058 / 702666.520 / 4602145.732

LV95 (E / N / h ell):
2734103.720 / 1147324.800 / 1653.131

LV03 (Y / X / H):
734103.040 / 147325.220 / 1651.080





LK 1:25'000, Blatt 1254

Sargans (SARG)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

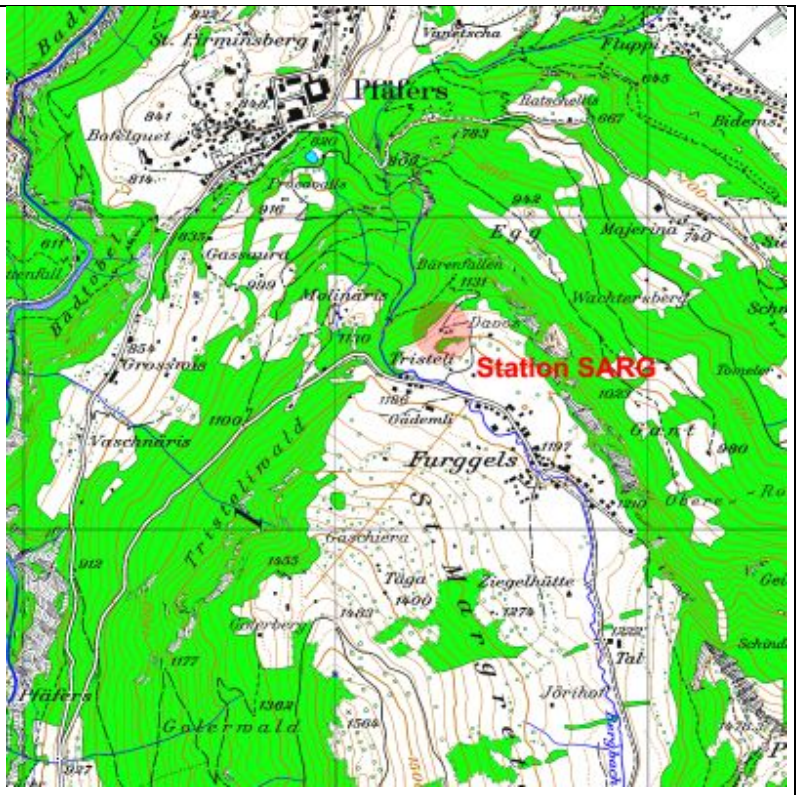
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4300070.530 / 720150.542 / 4641378.265

LV95 (E / N / h ell):
2757370.630 / 1205589.660 / 1217.666

LV03 (Y / X / H):
757369.960 / 205589.820 / 1216.750



LK 1:25'000, Blatt 1175

Schaffhausen (SCHA)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

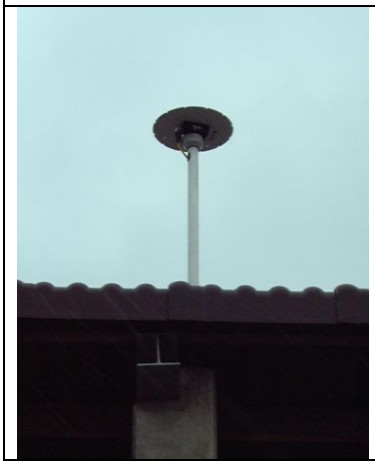
GPS-Empfänger: Trimble 4700

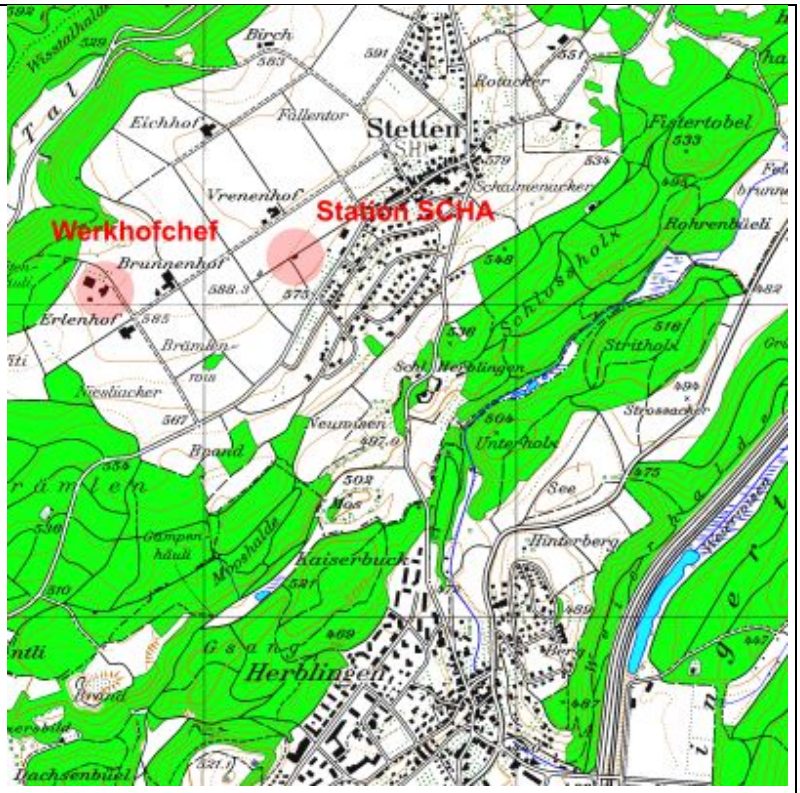
Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4248835.862 / 646812.525 / 4697774.044

LV95 (E / N / h ell):
2691301.260 / 1288150.120 / 591.810

LV03 (Y / X / H):
691300.099 / 288150.446 / 590.281





LK 1:25'000, Blatt 1032

Stabio (STAB)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Zephyr

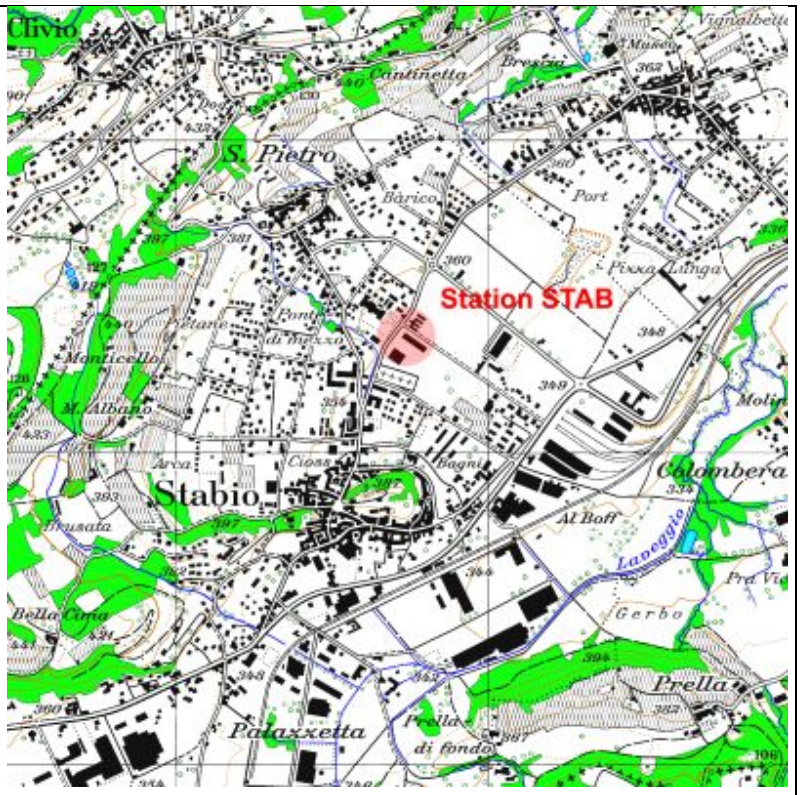
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.071 / 0.068 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4396040.382 / 691674.647 / 4554402.709

LV95 (E / N / h ell):
2716742.900 / 1079364.600 / 366.435

LV03 (Y / X / H):
716742.860 / 79366.000 / 369.690



LK 1:25'000, Blatt 1373

Ste-Croix (STCX)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

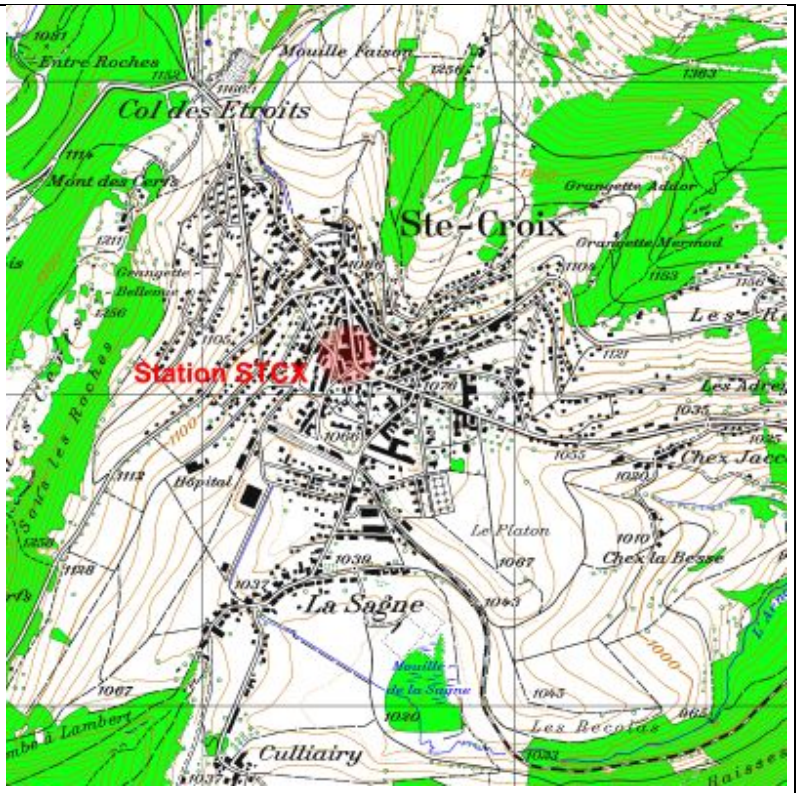
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4344778.575 / 495114.815 / 4629118.699

LV95 (E / N / h ell):
2528465.160 / 1186121.150 / 1104.745

LV03 (Y / X / H):
528465.410 / 186120.620 / 1105.020



LK 1:25'000, Blatt 1182

St. Gallen (STGA)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

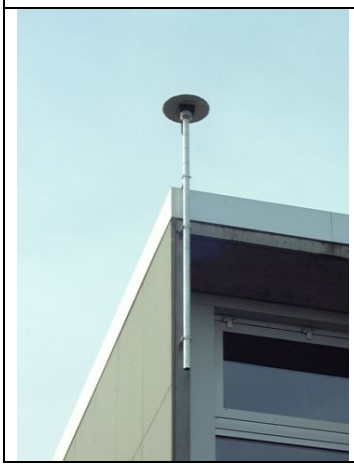
GPS-Empfänger: Trimble 4700

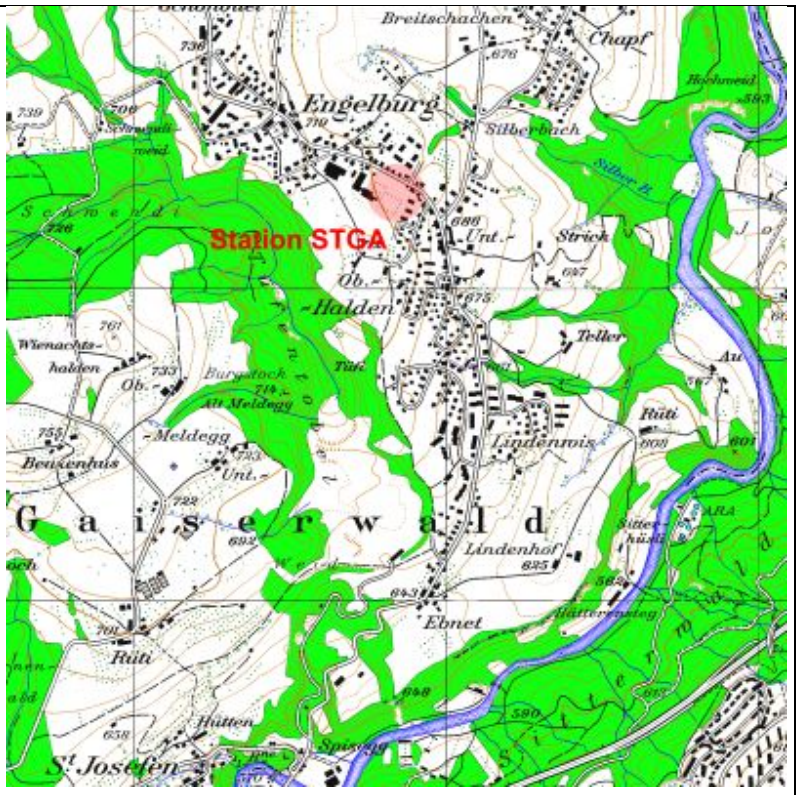
Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4264776.343 / 701896.110 / 4675676.485

LV95 (E / N / h ell):
2743855.630 / 1256300.790 / 707.283

LV03 (Y / X / H):
743854.970 / 256301.200 / 707.050





LK 1:25'000, Blatt 1075

Uznach (UZNA)

Klasse: C

GPS-Antenne: Trimble Geodetic mit GP

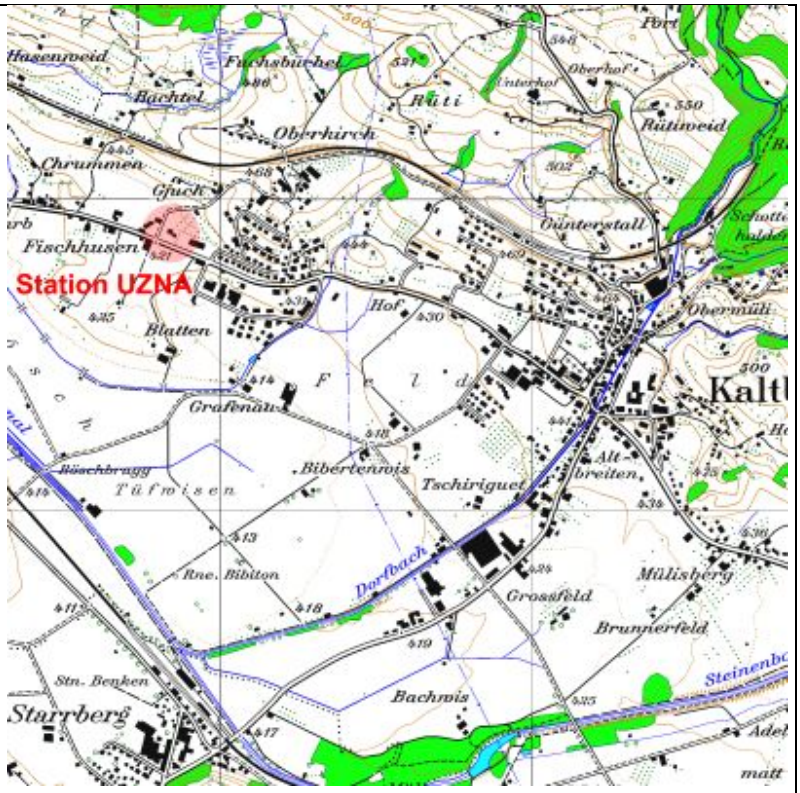
GPS-Empfänger: Trimble 4700

Phasenzentrum L1/L2: 0.074 / 0.070 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4286704.205 / 679535.680 / 4658631.346

LV95 (E / N / h ell):
2718842.640 / 1230894.740 / 428.525

LV03 (Y / X / H):
718841.870 / 230894.980 / 428.620



LK 1:25'000, Blatt 1113

Zermatt (ZERM)

Klasse: A

GPS-Antenne: Trimble Zephyr

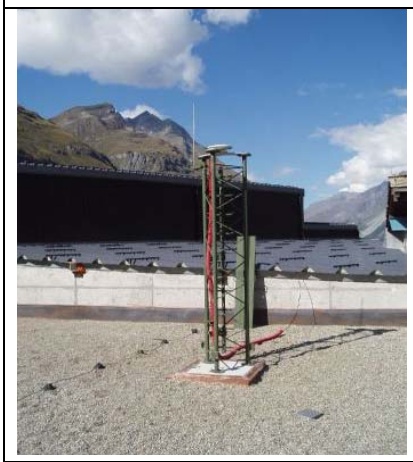
GPS-Empfänger: Trimble NetRS

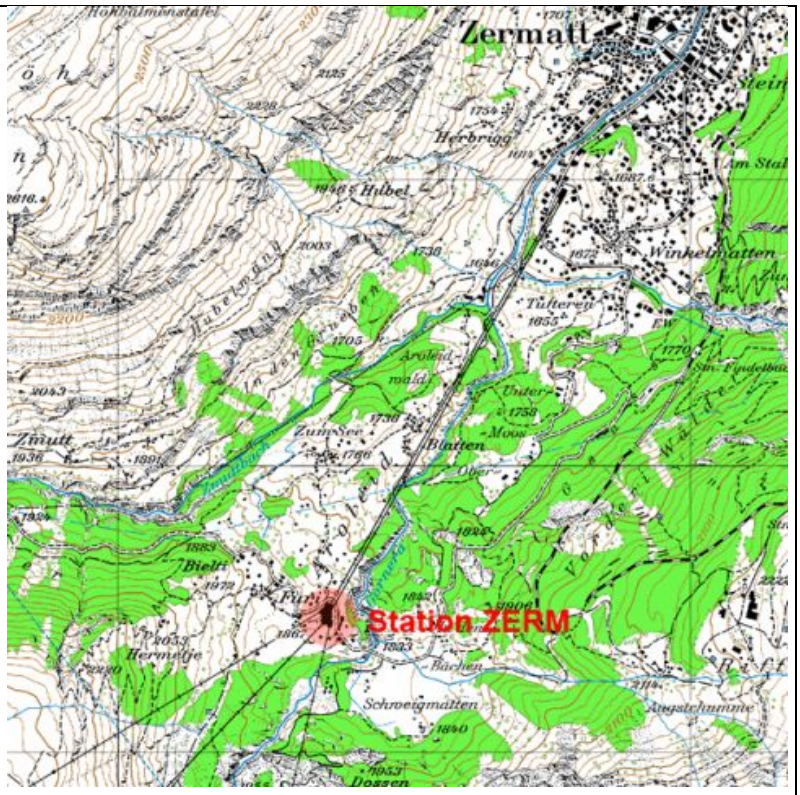
Phasenzentrum L1/L2: 0.071 / 0.068 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4399182.931 / 597294.448 / 4566748.092

LV95 (E / N / h ell):
2622726.094 / 1094473.907 / 1879.485

LV03 (Y / X / H):





LK 1:25'000, Blatt 1348

Zimmerwald (ZIMM)

Klasse: B

GPS-Antenne: Trimble Choke Ring

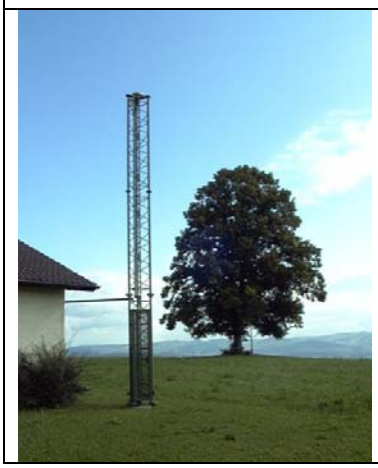
GPS-Empfänger: Trimble NetRS

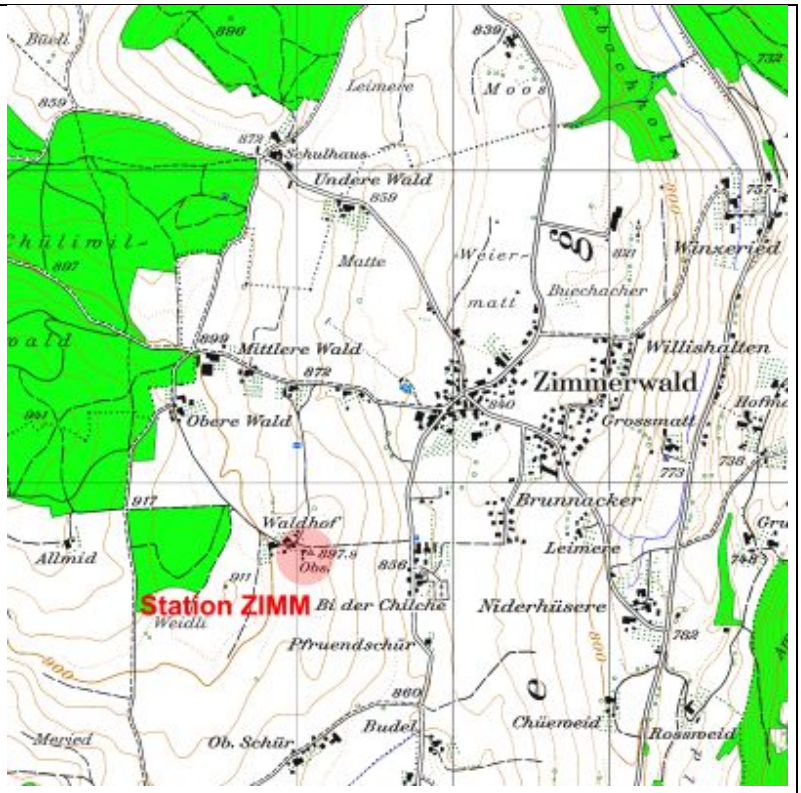
Phasenzentrum L1/L2: 0.110 / 0.128 m

CHTRS95 (X / Y / Z):
4331297.339 / 567555.638 / 4633133.717

LV95 (E / N / h ell):
2602030.740 / 1191775.030 / 906.550

LV03 (Y / X / H):
602030.680 / 191775.030 / 907.104





LK 1:25'000, Blatt 1186