

# DGPS-Datenformate 2.0

von

**Andreas Bagge**

Geo++<sup>®</sup> Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische  
Technologien mbH

Steinriede 8, 30827 Garbsen, Tel. (05131) 4689-0

<http://www.geopp.de>

[andreas.bagge@geopp.de](mailto:andreas.bagge@geopp.de)

Version 2.0 vom 25. Juli 2001

Zusammenfassung: Es werden die verschiedenen für Differentielle GPS-Anwendungen verwendeten Korrekturdatenformate erläutert. Dabei werden sowohl die vom RTCM-Komitee standardisierten Formate, als auch die notwendigen Erweiterungen beschrieben, soweit sie für das Verständnis des Betriebs von Referenzstationen und Referenzstationsnetzen, insbesondere wie dem Satellitenpositionierungsdienst SAPOS<sup>®</sup> der deutschen Landesvermessungen, erforderlich sind. Auch das RINEX-Format für Postprocessing-Anwendungen wird angesprochen.

## 1 Einleitung

Seit dem Aufkommen von differentiellen GPS-Anwendungen bestand die Notwendigkeit, die zur DGPS-Berechnung notwendigen Informationen von der Referenzstation zur Mobilstation zu übermitteln. Die in den USA angesiedelte Institution der Radio Transmission Committee for Marine Applications (RTCM) hat mit ihrer Special Commission 104 (SC-104) eine Arbeitsgruppe aus Vertretern von US-Bundesbehörden, GPS-Geräteherstellern und Anwendern gebildet und bereits Anfang der 90er Jahre einen ersten Standard für die Inhalte und das Übertragungsformat für DGPS-Anwendungen verabschiedet, der in den folgenden Jahren an aktuelle Entwicklungen angepaßt wurde.

Weil diese sogenannten RTCM-Standards von den maßgeblichen Herstellern und Anwendern unterstützt wurden, haben sie auch außerhalb der USA eine weite Verbreitung gefunden und sich somit zu einem international anerkannten Standard entwickelt. Aktuell ist zur Zeit die Version 2.1 dieses Standards. Eine Version 2.2 mit Erweiterungen für GLONASS ist kurz vor der Verabschiedung.

Die jeweils aktuelle Version des RTCM-Standards kann bezogen werden vom

Radio Technical Commission for Marine Services  
Special Committee 104  
Post Office Box 19037  
Washington, D.C. 20036  
USA  
<http://www.rtcn.org>

und kostet in gedruckter Form umgerechnet etwa 130 DM.

Standards entwickeln sich wegen der erforderlichen Abstimmung unter allen beteiligten Institutionen und Interessenvertretern erfahrungsgemäß nur langsam weiter. Deshalb gab und gibt es viele proprietäre Lösungen (z.B. von Trimble u.a.), die nicht kompatibel zum RTCM-Standard sind. Die Geo++<sup>®</sup> GmbH hat dagegen von Anfang an auf die vorhandenen Standards gesetzt und notwendigerweise vorgenommene Erweiterungen so implementiert, daß sie mit den Standards verträglich sind. Inzwischen nimmt auch Geo++<sup>®</sup> an den Beratungen des RTCM-Komitees teil.

## 2 Rohdaten / Korrekturdaten

Grundsätzlich bestehen zwei verschiedene Möglichkeiten, die notwendigen Informationen von der Referenzstation zur Mobilstationen zu übertragen.

Die nächstliegende Möglichkeit ist die Übertragung der Rohdaten, wie sie vom Empfänger auf der Referenzstation erzeugt werden (originäre Meßdaten). Neben dem auf der Hand liegenden Vorteil, daß auf der Referenzstation keine oder nur wenige Berechnungen erforderlich sind, ist es bei dieser Form relativ einfach, die vorhandenen Algorithmen und Programme zum GPS-Postprocessing auch für die Echtzeitverarbeitung weiterzuverwenden, da nur geringe Modifikationen erforderlich sind. Es müssen allerdings viele weitere Informationen, von den genauen Koordinaten der Referenzstation bis hin zu den dort verwendeten Antennentypen, auf der Mobilstation bekannt sein.

Die andere Möglichkeit, die notwendigen Informationen zu übertragen, besteht darin, nicht die originären Meßdaten, sondern lediglich die Korrekturen gegenüber einem Sollwert zu übertragen. Bei Kenntnis der Koordinaten der Referenzstation und der Satellitenpositionen lassen sich für jeden Satelliten die Entfernungen berechnen, wie sie sich ohne Vorhandensein von allen Fehlern (Orbit-, Uhren- und Ausbreitungsfehler, SA-Effekte) ergeben würden. Die Differenzen zu den tatsächlich gemessenen Entfernungen ergeben, vereinfacht gesagt, die Korrekturwerte, die dann zur Mobilstation übertragen werden können.

Diese Möglichkeit der Korrekturdaten bewirkt zwar auf der Referenzstation einen höheren Rechenaufwand und erfordert auf der Mobilstation entsprechende Algorithmen, die mit Korrekturdaten arbeiten können. Dennoch haben Korrekturdaten gegenüber Rohdaten viele Vorteile. Zum einen lassen sich Korrekturdaten wesentlich platzsparender formatieren als Rohdaten, weil weniger signifikante Stellen beansprucht werden. Zum zweiten sind die Korrekturdaten unabhängig von spezifischen Parametern der Referenzstation, d.h. deren exakte Koordinaten oder Antennenparameter müssen auf der Mobilstation nicht bekannt sein. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß individuelle Korrekturen auf der Referenzstation, z.B. für azimuth- und elevationsabhängige Antennenphasenzentren oder für Multipath-Einflüsse, sehr einfach angebracht werden können. Weitergehende Modelle, wie z.B. bei dem Konzept der vernetzten Referenzstationen, können sinnvoll überhaupt nur mit Korrekturdaten realisiert werden.

Für DGPS-Anwendungen hat sich die Verwendung von Korrekturdaten durchgesetzt. Für PDGPS-Anwendungen haben die meisten GPS-Gerätehersteller, vermutlich weil es für sie einfacher zu implementieren war, zunächst auf das Rohdaten-Format gesetzt. Die PDGPS-Lösung der Geo++<sup>®</sup> GmbH hat die Vorteile der Korrekturdaten frühzeitig erkannt und bereits seit 1994 das Korrekturdatenformat auch für Trägerphasen implementiert. Mittlerweile scheinen aber auch andere Hersteller dessen Vorteile erkannt worden zu sein, so daß immer mehr Implementierungen für das Korrekturdatenformat auf dem Markt erscheinen.

## 3 Das RTCM-Datenformat

RTCM-Daten werden als kontinuierlicher binärer Datenstrom versendet. Ein RTCM-Datensatz wird typischerweise komplett innerhalb einer Sekunde übertragen. RTCM verpackt die unterschiedlichen Inhalte eines Datensatzes in unterschiedlichen Nachrichtentypen (Message-Typen).

Message 1
Message 2
...
Message n

Tabelle 1 RTCM-Datensatz, Aufteilung in mehrere Nachrichten (Messages)

Jede Nachricht (Message) innerhalb eines Datensatzes enthält einen Nachrichten-Kopf (Message-Header) und einen Nachrichten-Rumpf (Message-Body).

Message-Header
Message-Body

Tabelle 2 RTCM-Message, Aufteilung in Header und Body

Im Header werden der Typ der Nachricht, eine (allerdings mehrdeutige) Zeitangabe, die Stations-ID der Referenzstation, die Länge der Nachricht und weitere Informationen, z.B. über den Monitor-Zustand, kodiert. Der Message-Body enthält die zum jeweiligen Datentyp gehörigen Nutzdaten. Je nach Typ kann eine Message unterschiedliche Längen haben.

Header und Body werden durch Parität-Bits geschützt, die eine relativ zuverlässige Erkennung von Übertragungsfehlern erlauben.

Nicht jeder Nachrichtentyp muß in einem RTCM-Datensatz enthalten sein. Einige Typen müssen jede Sekunde, andere automatisch zu bestimmten Zeitpunkten, wieder andere können in beliebigen Intervallen gesendet werden. Ist ein kompletter RTCM-Datensatz kürzer als das Sendeintervall, werden für die restliche Zeit des Intervalls üblicherweise keine Daten gesendet.

Wegen der Erfordernis der Echtzeit und bei begrenzter Bandbreite des Übertragungskanals macht es in der Regel keinen Sinn, unvollständige oder fehlerhafte Datensätze zu wiederholen. Es ist statt dessen meist zweckmäßiger, auf den nächsten Datensatz zu warten.

## 4 Update-Rate

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der Übertragungskanäle ist die erforderliche Update-Rate, mit der ein kompletter RTCM-Datensatz übertragen werden muß. Für statische Anwendungen (Punktaufnahme) sind Update-Raten von mehreren Sekunden durchaus möglich, sollten aber im Sinne eines zügigen Arbeitsfortschritts möglichst kurz sein. Für kinematische Anwendungen mit bewegter Antenne (See-, Luft-, Landnavigation, auch Absteckung) ist wegen der dabei auftretenden Dynamik eine Update-Rate von mindestens einem Datensatz pro Sekunde erforderlich. Eine geringere Update-Rate führt zu geringerer Genauigkeit.

## 5 RTCM-2.0

Im Jahr 1990 wurde die für DGPS-Anwendungen wichtige Version 2.0 vom RTCM-Komitee verabschiedet. Sie enthält alle notwendigen Informationen, um Korrekturdaten und einige Zusatzinformationen für DGPS-Anwendungen bereitzustellen.

Von den in RTCM-2.0 definierten Nachrichten-Typen sind für den SAPOS-Dienst die folgenden Typen von Bedeutung:

Typ	Inhalt	Häufigkeit
1	Differentielle Korrekturen für Code-Beobachtungen	immer, typischerweise einmal pro Sekunde
2	Delta-Korrekturen, beschreiben Unterschiede in den Korrekturdaten beim Übergang zwischen Ephemeridensätzen, da Referenzstation und Mobilstation den Übergang evtl. um einige Sekunden versetzt vollziehen	automatisch bei jedem Ephemeridenwechsel, z.B. bei jedem Stundenwechsel
3	Koordinaten der Referenzstation	nach Belieben, typischerweise in Intervallen von ca. 1 Minute
16	beliebiger alphanumerischer Text, z.B. Name u. Tel.-Nr. der Referenzstation	nach Belieben, z.B. alle 10 Minuten
59	Nutzerdefinierter Message-Typ, beliebige weitere Daten, verpackt in einem eigenen, nutzerdefinierten Format, z.B. um zusätzliche Informationen oder eine höhere Genauigkeit zu liefern	nach Belieben

Tabelle 3 RTCM-2.0 Message-Typen, soweit für DGPS von Bedeutung

RTCM-2.0 enthält viele weitere Nachrichten-Typen, die aber hauptsächlich für spezielle Anwendungen, z.B. im maritimen Bereich, wichtig sind.

Die mit RTCM-2.0 erreichbare DGPS-Genauigkeit liegt bei ca. 1 Meter. RTCM-2.0 enthält keine Informationen über Trägerphasen, so daß mit dieser Version keine RTK-Anwendungen möglich sind. RTCM-2.0 ist also hauptsächlich für Navigationsanwendungen von Interesse.

Sollen für alle sichtbaren Satelliten Korrekturen übertragen werden, benötigt ein kompletter RTCM-2.0 Datensatz ca. 1.200 Bits.

RTCM-2.0 wird im SAPOS-Konzept der AdV im Rahmen des EPS-Dienstes über den Umweg des RASANT-Formates (siehe unten) über RDS und über die Funkübertragung im 2m-Band als Teil RTCM-AdV-Formates übertragen.

## 6 RTCM-2.1

Mit dem Aufkommen der ersten PDGPS-Anwendungen, basierend auf zentimetergenauen Trägerphasenlösungen, entwickelte das RTCM-Komitee bis 1993 die Version 2.1 des RTCM-Standards. Der volle Umfang von RTCM-2.0 blieb in RTCM-2.1 enthalten. Die wesentlichen Erweiterungen betrafen einige neue Message-Typen, mit denen die notwendigen Informationen für PDGPS-Trägerphasenlösungen übertragen werden können.

Typ	Inhalt	Häufigkeit
1	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0
2	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0
3	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0
16	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0
18	Trägerphasen-Rohdaten für PDGPS-Anwendungen	immer, typischerweise einmal pro Sekunde (wenn nicht Typ 20 verwendet)
19	Codephasen-Rohdaten für PDGPS-Anwendungen	immer, typischerweise einmal pro Sekunde (wenn nicht Typ 21 verwendet)
20	Trägerphasen-Korrekturen für PDGPS-Anwendungen	immer, typischerweise einmal pro Sekunde (wenn nicht Typ 18 verwendet)
21	Codephasen-Korrekturen für PDGPS-Anwendungen	immer, typischerweise einmal pro Sekunde (wenn nicht Typ 19 verwendet)
59	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0

Tabelle 4 RTCM-2.1 Message-Typen, soweit für PDGPS von Bedeutung

Für PDGPS-Anwendungen muß entweder der Message-Typ 18 (Trägerphasen-Rohdaten) oder besser der Message-Typ 20 (Trägerphasen-Korrekturen) übertragen werden. Zu den Vorteilen von Korrekturdaten gegenüber Rohdaten wurden oben bereits Ausführungen gemacht.

Die Informationen über die Codephasen (Message-Typ 19 bzw. 21) verbessern die Genauigkeit der in Message-Typ 1 übertragenen Informationen und sind insbesondere für eine schnelle PDGPS-Lösung auf der Mobilseite nützlich. Sie sollten daher, zumindest für die L1-Code-Beobachtungen, zusätzlich mitübertragen werden.

Das erforderliche Datenvolumen beträgt für einen kompletten RTCM-2.1-Datensatz bei zwölf gleichzeitig sichtbaren GPS-Satelliten mehr als 4800 Bits. Leider wurde bei der Definition der Korrekturdatentypen 20 und 21 der gleiche interne Aufbau verwendet wie bei den Rohdaten-Typen 18 und 19, so daß im Format RTCM-2.1 der Vorteil des geringeren Datenvolumens von Korrekturdaten nicht umgesetzt wurde.

Mit RTCM-2.1 Korrekturdaten ist eine Genauigkeit von einem Zentimeter und besser erreichbar. Allerdings ist die erreichbare Genauigkeit stark entfernungsabhängig, d.h. mit zunehmendem Abstand von der Referenzstation nimmt die Genauigkeit mit etwa 1 ppm des Abstandes zur Referenzstation ab.

Mit RTCM-2.1 Rohdaten ist die Genauigkeit etwas geringer, weil die für die Verarbeitung von Rohdaten notwendigen Zusatzinformationen in RTCM-2.1 nicht mit der erforderlichen Genauigkeit übertragen werden können. Die Stellenzahl der Referenzstationskoordinaten im RTCM-Nachrichtentyp 3 ist auf 1 cm begrenzt, so daß Fehler bis zu 5 mm in jeder Koordinatenrichtung auftreten. Beim Konzept der Korrekturdaten tritt dieser Fehlereinfluß nicht auf, da Korrekturdaten invariant gegenüber den Referenzstationskoordinaten sind.

Bei einer geforderten Update-Rate von einem Datensatz pro Sekunde wird eine Übertragungsrate von 9600 Bits pro Sekunde erforderlich. Oftmals stehen für eine Übertragung nur 2400 Bits pro Sekunde zur Verfügung (z.B. bei Funkübertragung im 2m-Band), so daß das Format RTCM-2.1 nicht überall uneingeschränkt verwendbar ist. Dennoch ist es der einzige international anerkannte Standard für PDGPS-Echtzeitanwendungen.

RTCM-2.1 wird von der AdV im SAPOS-Konzept dem mobilen PDGPS-Anwender innerhalb des HEPS-Dienstes über die SAPOS-Dekoderbox oder die SMARTgate Kommunikationslösung (siehe unten) bereitgestellt.

## 7 RTCM-2.2

Die Version 2.2 des RTCM-Standards wurde mit Datum 15. Januar 1998 vom RTCM-Komitee herausgegeben. Diese Version enthält einige Erweiterungen gegenüber RTCM-2.1 und erlaubt die Verwendung von Satelliten des russischen Satellitennavigationssystems GLONASS.

Differential GLONASS Korrekturen werden in Message-Typ 31 untergebracht, der ähnlich aufgebaut ist wie Message-Typ 1 für DGPS. Genauere GLONASS-Beobachtungen und Korrekturen werden wie ihre GPS-Pendants in den Message-Typen 18/19 bzw. 20/21 übertragen. Zur Unterscheidung gegenüber GPS dient ein spezielles Flag in jeder dieser Messages. Zusätzlich definiert RTCM-2.2 mit den Message-Typen 32 bis 36 weitere speziell für GLONASS vorgesehene Message-Typen, die für geodätische Anwendungen aber nicht von Bedeutung sind.

Leider wurden die Message-Typen 18-21 nicht vollständig kompatibel zur Version 2.1 gehalten, so dass es unter Umständen zu Problemen im Zusammenspiel von RTCM-2.1 und RTCM-2.2 Referenzstationen und Rovern kommen kann.

Die Berücksichtigung von Datumparametern im RTCM-2.2 im Message-Typ 4 ist vom Standpunkt der geodätischen Anwendungen zwar grundsätzlich zu begrüßen. Leider fehlt es aber hierbei an der ausreichenden Signifikanz, um damit Zentimeter-Genauigkeit zu erreichen.

Alles in allem werden sich mit RTCM-2.2 keine unmittelbaren Auswirkungen auf das AdV-Konzept ergeben. Sobald die Entwicklungen (z.B. GLONASS) es erforderlich machen, sollten die Vorgaben des RTCM-2.2 beachtet werden.

## 8 RTCM-2.3

Im Frühjahr 2001 wurde die endgültige Version 2.3 des RTCM-Standards veröffentlicht.

Für geodätische Anwendungen können die Definitionen von Antennentypen (Message-Typ 23) und des Antennenreferenzpunktes ARP (Message-Typ 24) von Bedeutung werden.

Die Message-Typen 18-21 sind weitgehend kompatibel zu RTCM-2.2, es wurden einige Klarstellungen getroffen, die für die Zukunft bessere Kompatibilität zwischen Implementationen verschiedener Hersteller gewährleisten sollen.

## 9 RTCM-3.0

Die nächste RTCM-Version wird voraussichtlich die Möglichkeit schaffen, die Ergebnisse von vernetzten Referenzstationen in definierten Message-Typen zu übertragen. Da RTCM ausschließlich für die Broadcast-Verteilung von Korrekturdaten ausgelegt ist, werden ausschließlich Broadcast-taugliche Datenformate berücksichtigt werden können. Dies können z.B. sein:

- Repräsentationsmodelle (wie z.B. Flächenkorrekturparameter FKP)
- kompletter Systemzustand einer GNSMART-Vernetzung
- Grid-Modelle für Virtuelle Referenzstationen entlang eines festen Rasters.

Welche dieser Modelle tatsächlich Eingang in den RTCM-Standard findet, wird z.Zt. noch diskutiert.

## 10 RTCM++

Das Format RTCM++ wurde 1993 von der Geo++<sup>®</sup> GmbH zur Überwindung der im RTCM-2.1 enthaltenen Nachteile, insbesondere im Hinblick auf die Genauigkeit und das Datenvolumen der übertragenen Informationen entwickelt.

RTCM++ nutzt die in den Korrekturdaten nach RTCM-2.1 vorhandenen Redundanzen sowie spezielle Algorithmen zur Reduktion und Kompression der Daten. Die Dateninhalte der Message-Typen 20 und 21 werden so ohne Informationsverlust auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Größe gebracht. Die so komprimierten Daten werden RTCM-konform in einen Message-Typ 59 verpackt, der für nutzerspezifische Informationen reserviert ist. Die übrigen Messagetypen sind bereits weitgehend optimal gepackt und daher im RTCM++ gegenüber RTCM-2.0 und RTCM-2.1 unverändert enthalten.

Typ	Inhalt	Häufigkeit
1	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0
2	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0
3	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0
16	wie bei RTCM-2.0	wie bei RTCM-2.0
59	Code- und Trägerphasen-Korrekturen, von den Dateninhalten her identisch mit RTCM-2.1 Korrekturdaten, mit eigenen Subtypen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Subtyp 1: wie RTCM-2.1, Typ 20</li> <li>• Subtyp 2: wie RTCM-2.1, Typ 21</li> <li>• Subtyp n: Vernetzungsparameter</li> </ul>	immer, typischerweise einmal pro Sekunde

Tabelle 5 RTCM++ Message-Typen, soweit für PDGPS von Bedeutung

Da die Dateninhalte von RTCM++ identisch sind mit RTCM-2.1 Korrekturdaten, ist mindestens die gleiche Genauigkeit erreichbar, d.h. 1 Zentimeter und besser. Die Auflösung der Meßgrößen im RTCM++ beträgt 1 mm, so daß noch ausreichend Spielraum für zukünftige Genauigkeitssteigerungen besteht.

Durch die Verwendung des Message-Typs 59 ergibt sich weiterhin die Möglichkeit, zusätzliche genauigkeitssteigernde Informationen zu übertragen. Hierzu zählen insbesondere die Parameter, die die Ergebnisse aus der Vernetzung der Referenzstationen auf der Mobilstation verfügbar machen. Die damit erreichbare Genauigkeit ist dann nicht mehr entfernungsabhängig, d.h. die Genauigkeit von einem Zentimeter kann weitgehend homogen über das gesamte von einem Referenzstationsnetz abgedeckte Gebiet gewährleistet werden.

Grundsätzlich ergeben sich mit dem Format RTCM++ viele weitere Möglichkeiten für spezielle Anwendungen, z.B. die Verwendung von bewegten Referenzstationen bei der relativen Positionierung zweier bewegter Fahrzeuge zueinander (sogenanntes Relatives DGPS oder RDGPS)

Die Bedeutung des Formates RTCM++ für das SAPOS-Konzept ergibt sich indirekt durch den Einsatz von RTCM-AdV, welches im wesentlichen aus RTCM++ hervorgegangen ist (siehe unten).

## 11 RTCM-AdV

Das Format RTCM-AdV basiert auf dem Format RTCM++ der Geo++<sup>®</sup> GmbH. Dieses Format wurde den Mitgliedsverwaltungen der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bundesrepublik Deutschland (AdV) zur Verwendung innerhalb ihres Satellitenpositionierungsdienstes SAPOS<sup>®</sup> von der Geo++<sup>®</sup> zur Verfügung gestellt. Das Format RTCM-AdV ermöglicht die nur vom Betreiber kontrollierte Verschlüsselung der Daten. Durch diese Maßnahmen ist die Unabhängigkeit des Formates RTCM-AdV vom proprietären Format RTCM++ gewährleistet.

Durch die Verwendung der sogenannten SAPOS-Dekoderbox (AdV-Box) oder eines SMARTgate auf der Mobilstation, eingeschaltet zwischen 2m-Funkempfänger und PDGPS-Rechner, können aus dem Format RTCM-AdV vollkommen standardkonforme RTCM-2.1 bzw. RTCM-2.3 Korrekturdaten zurückgewonnen werden. Lediglich auf der Funkstrecke zwischen Referenzstation und Mobilstation wird intern RTCM-AdV verwendet. Die Schnittstelle zum Benutzer ist der Ausgang der SAPOS-Dekoderbox und damit RTCM-2.1. Auch die genauigkeitssteigernden Informationen, die mit RTCM-AdV möglich sind (z.B. Vernetzungsparameter), können

mit diesem Ansatz zur Mobilstation übertragen werden, da die SAPOS-Dekoderbox diese Informationen bei der Generierung des RTCM-2.1 berücksichtigen kann.

## 12 RTCM-AdV mit Netzkorrekturen

Die im RTCM-AdV enthaltenen Korrekturdaten sind nach ihrer bisherigen Definition immer auf eine Station bezogen und enthalten auch nur die Informationen dieser einen Station. Zur Steigerung von Genauigkeit, Homogenität und Zuverlässigkeit müssen auch Informationen aus der Verknüpfung (Multistationslösung) der Referenzstationen in den Korrekturdaten enthalten sein.

Diese zusätzlichen Informationen aus der Vernetzung der Referenzstationen werden als Parameter eines auf Referenz- und Mobilseite bekannten, flächenhaften Modells (Flächenkorrekturparameter FKP) berechnet und in einigen freien Bits des RTCM-AdV Formates verpackt. Das gesamte Format mit RTCM-AdV Korrekturdaten und den zusätzlichen Flächenkorrekturparametern soll hier mit dem Begriff RTCM-AdV FKP bezeichnet werden, um deutlich zu machen, daß es sich grundsätzlich zwar um das bekannte RTCM-AdV Format handelt, aber zusätzliche Informationen enthält.

Bei der Geo++<sup>®</sup> GmbH wurde eine vorläufige Spezifikation für dieses Format entwickelt, das die Anforderungen an Genauigkeit und Aktualität bei möglichst geringem Datenvolumen erfüllt.

Für zukünftige Entwicklungen der Kommunikationstechnik, z.B. den Digitalen Rundfunk (Digital Audio Broadcasting, DAB) wird dieses Format besondere Bedeutung erlangen. Damit wird es möglich sein mit einem einheitlichen Satz von Korrekturdaten ein gesamtes Landesgebiet zu versorgen. Die örtlich optimalen Korrekturwerte werden dabei auf der Mobilseite aus einem einheitlichen Datensatz mit Hilfe der Flächenkorrekturparameter gerechnet. Auf lokale 2m-Sender kann dann eventuell ganz verzichtet werden.

## 13 RTCM-RSIM

Auf der Basis der RTCM-Nachrichtenstruktur sind durch das Format RTCM-RSIM (RSIM = Reference Station Integrity Monitoring) einige Nachrichtentypen für die Zwecke der Übermittlung von Steuerungs-, Kontroll und Monitorinformationen standardisiert worden (siehe z.B. RTCM Special Committee 104: RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Reference Stations and Integrity Monitors, Future Version 1.0, Final Draft, August 10, 1993).

Diese Nachrichtentypen können als Grundlage für die Kommunikation zwischen Referenz- und Monitorstationen genutzt werden. Einige zusätzliche Informationen, die im Format RTCM-RSIM noch(?) nicht vorgesehen sind, aber für eine effektive und vollständige Informationsübermittlung unerlässlich sind, wurden durch die Geo++<sup>®</sup> GmbH in weitgehend formatkompatiblen Erweiterungen, dem sogenannten Format RSIM++, definiert.

## 14 RASANT

Das RASANT-Korrekturdatenformat ist eine Umsetzung von RTCM-2.0 Korrekturdaten für die Datenübertragung im Radio-Daten-System (RDS) des UKW-Hörfunks.

Ähnlich wie beim Format RTCM-AdV bestehen für die Übertragung über RDS Bandbreiten-Beschränkungen. Auf der Referenzstationsseite wird vor der Einspeisung in die Rundfunkkanäle das RASANT-Format erzeugt. Auf der Mobilstation sorgt ein RDS-Dekoder (ähnlich einem Autoradio mit RDS) für die Rückwandlung in RTCM-2.0, das dann in ein DGPS-System eingespeist werden kann. Für RDS geeignete UKW-Radios sind bereits als PCMCIA-Steckkarten erhältlich.

Zur Verringerung der Fehleranfälligkeit der RDS-Kanäle enthält RASANT zusätzliche Paritäts-Bits zur Fehlererkennung und Fehlerkorrektur. Da die Bandbreite eines RDS-Kanals wesentlich geringer ist als für RTCM-2.0 erforderlich, muß die Updaterate für RASANT entsprechend reduziert werden, d.h. ein kompletter Korrekturdatensatz benötigt mehrere Sekunden für die Übertragung.

Aus diesen Gründen ist mit RASANT nur eine Genauigkeit von etwa 2-5 Metern erreichbar, also schlechter als mit RTCM-2.0 im Sekundentakt möglich ist.

Das RASANT-Format wurde zuerst in Nordrhein-Westfalen eingeführt und steht jetzt allen SAPOS-Betreibern bundesweit zur Verfügung.

# 15 RINEX

Das RINEX-Format wurde bereits in den 80er-Jahren durch eine Übereinkunft verschiedener Nutzerinstitutionen, hauptsächlich aus dem Forschungsbereich, als empfängerunabhängiges Format für GPS-Rohdaten definiert. Nach anfänglichem, aus kommerziellem Interesse entstandenen Zögern unterstützen mittlerweile alle wichtigen GPS-Anbieter dieses Format.

Aufgrund seines internen Aufbaus ist RINEX sinnvollerweise nur für die Archivierung von GPS-Beobachtungen brauchbar. Für Echtzeitanwendungen ist RINEX nicht geeignet. Der wichtigste Einsatzbereich ist das Post-processing von GPS-Beobachtungen. Es können sowohl statische als auch, ab der Version RINEX-2.0, kinematische Beobachtungen gespeichert werden.

RINEX ist ein ASCII-Datenformat mit relativ viel redundanten bzw. überflüssigen Zeichen. Typischerweise läßt sich eine RINEX-Datei mit einfachen Komprimieralgorithmen auf 50% und weniger seiner ursprünglichen Größe reduzieren. RINEX-Dateien werden im allgemeinen für äquidistante Intervalle von z.B. zehn Minuten oder auch einer Stunde auf einer Festplatte abgelegt.

Eine RINEX-Datei enthält einen oder mehrere mehrzeilige Header mit spaltenabhängigem Inhalt. Ein Schlüsselwort ab Spalte 61 beschreibt den Typ der Headerinformation. Die Headerinformation selbst ist in den Spalten 1 bis 60 enthalten. Die einzelnen Datensätze sind im Rumpf der RINEX-Datei epochenweise abgelegt. Jede Epoche enthält einen Epochen-Header mit Angabe der GPS-Zeit, den Nummern der beobachteten Satelliten und weiteren Informationen, gefolgt von den Code- und Trägerphasenbeobachtungen aller Satelliten dieser Epoche. Für kinematische Anwendungen kommen zusätzliche Elemente hinzu. Die Details des RINEX-Formats sind beschrieben in:

Werner Gurtner, University of Berne (Schweiz)  
Gerald Mader, National Geodetic Survey (USA):  
Receiver Independent Exchange Format Version 2.0  
Astronomisches Institut der Universität Bern, 1993  
<http://igscb.jps.nasa.gov/gscb/data/format/>

RINEX-Header
...
Epochen-Header
Beobachtungen Satellit i
Beobachtungen Satellit j
... weitere Satelliten ...
Epochen-Header
Beobachtungen Satellit i
Beobachtungen Satellit j
... weitere Satelliten ...
... weitere Epochen ...

Tabelle 6 Aufbau einer RINEX-Datei (vereinfacht)



OBSERVATION DATA										RINEX VERSION / TYPE				
2	akutsu									12NOV97	2:38:19	GMTPGM / RUN BY / DATE		
DAT2RIN 2.20b	akutsu									OBSERVER / AGENCY				
akutsu	TRIMBLE 4000SSI									Nav 7.09	Sig 3.03	REC # / TYPE / VERS		
13831	4000SE INTERNAL									ANT # / TYPE				
0	MARKER NAME													
3831	MARKER NUMBER													
3831	APPROX POSITION XYZ													
-3959062.0228	3313891.4257	3732479.7078	ANTENNA: DELTA H/E/N											
1.6063	0.0000	0.0000	WAVELENGTH FACT L1/2											
1	1	0	# / TYPES OF OBSERV											
4	L1	C1	L2	P2	INTERVAL									
1	TIME OF FIRST OBS													
1997	10	16	1	16	41.000000	END OF HEADER								
97	10	16	1	16	41.0000000	0	7	4	6	10	19	24	26	27
27330.34610	22889087.35200	21295.70550	22889092.02740											
-8360.24710	23804321.80500	-5066.81150	23804326.59840											
-2870.80710	20900767.30500	-2237.66750	20900770.56340											
12187.98710	23342287.63300	9496.93150	23342292.52040											
7696.03410	20361940.66400	5996.35150	20361944.09840											
-26372.91610	22898631.75800	-20550.78050	22898636.96140											
-10317.14310	22350972.40600	-8038.77250	22350975.88740											
97	10	16	1	16	42.0000000	0	7	4	6	10	19	24	26	27
30365.73500	22889665.05500	23660.94140	22889669.77740											
-9289.07500	23804145.60200	-5790.58240	23804150.00840											
-3191.55600	20900706.30500	-2487.60140	20900709.57440											
13542.07900	23342545.78900	10552.06840	23342550.65240											
8551.24300	20362103.21900	6662.74640	20362106.62940											
-29304.55000	22898073.75000	-22835.16740	22898078.85940											
-11463.81100	22350754.42200	-8932.27840	22350757.99640											

Tabelle 7 Beispiel einer RINEX-Datei, mit Header und 2 Epochen

## 16 RTCM-RINEX Konverter

Die Dateninhalte des RINEX-Formates sind umfassender als die des RTCM-AdV-Formates. Dennoch läßt sich mit weingen zusätzlichen Informationen (insbesondere Satellitenephemeriden, Absolute Zeit und Stationskoordinaten) eine vollständige RINEX-Datei aus den Inhalten des RTCM-AdV generieren. Für die langfristige Datenarchivierung ist daher eine Speicherung der Dateninhalte des RTCM-AdV-Formates sowie der zusätzlichen Informationen jeder Station in einer internen Datenbasis ausreichend.

Zur Rückgewinnung von Rohdaten oder RINEX-Daten aus Korrekturdaten sind folgende Schritte erforderlich:

- Berechnung von Satellitenpositionen für jeden Zeitpunkt aus Ephemeriden
- Berechnung von Entfernung, Elevation und Azimut aus den in (a) gerechneten Satellitenpositionen und den Koordinaten der Referenzstation
- Berechnung der Korrekturen, die auf der Referenzstation für die Berechnung von RTCM-AdV abgezogen wurden: Satellitenuhrfehler, Relativitätskorrektur und Erdrotationskorrektur, ggf. weitere angebrachte Korrekturwerte wie Phasenzentrumsexzentrizitäten etc.
- die Rohdaten ergeben sich dann im wesentlichen aus der Addition von Entfernungskorrektur (aus RTCM-AdV) + Entfernung (aus (b)) + Satellitenuhrfehler + Relativitätskorrektur + Erdrotationskorrektur (jeweils aus (c))

Die Berechnung der Satellitenpositionen in (a) erfordert die Kenntnis genau derjenigen Satellitenephemeriden, wie sie bei der Erzeugung von RTCM-AdV Korrekturen auf den jeweiligen Referenzstationen verwendet wurden. Die Ephemeriden sind, da sie von GPS-Weltraumsegment einheitlich ausgesendet werden, für alle Referenzstationen und für konstante Zeiträume von jeweils einer Stunde gleich. Für den kurzen Zeitraum der unvermeidlichen Umschaltung zwischen zwei Ephemeridensätzen (z.B. zu jedem Stundenwechsel) sind in allen RTCM-Daten entsprechende Informationen enthalten, so daß sich hier eindeutige Beziehungen rekonstruieren lassen.

Wenn die Rekonstruktion der RINEX-Daten in der Zentrale erfolgen soll, so muß nur dafür gesorgt werden, daß dort die exakten Koordinaten der Referenzstation, alle angebrachten stationsabhängigen Korrekturen und die

richtigen Ephemeriden zur Verfügung stehen. Die Referenzstationskoordinaten sind in der Regel konstant, sind aber auch mit hoher Genauigkeit in den RTCM-AdV-Daten enthalten. Konstante Koordinaten und (in der Regel konstante) stationsabhängige Korrekturwerte (z.B. Phasenzentrumsexzentrizitäten) können in einer zentralen Datenbank gespeichert werden. Die Ephemeriden können entweder durch einen eigenen GPS-Empfänger einfachster Bauart (mit Ephemeridenausgang) in der Zentrale gesammelt werden, oder sie müssen von einer oder mehreren Referenzstationen in regelmäßigen Abständen per Standleitung herangeführt werden. Dies kann z.B. durch den RTCM-Message-Typ 17 erfolgen, der die Ephemeriden jeweils eines Satelliten enthält. RTCM-Messages enthalten in ihrem Header die Zeitinformation nur eindeutig innerhalb einer Stunde (d.h. modulo 3600 Sekunden). Um einen eindeutigen Zeitbezug herzustellen, kann der RTCM-Message-Typ 14 verwendet werden, der die GPS-Woche (leider nur Modulo 1024) und die volle Stunde innerhalb der GPS-Woche enthält.

Bestimmte, für alle Satelliten auf einer Station gleiche Korrekturen (z.B. Empfängeruhrfehler) lassen sich nicht nachträglich wieder anbringen, weil diese Informationen nach der Erzeugung von RTCM-AdV-Korrekturen verloren sind. Die rekonstruierten RINEX-Daten werden sich aus diesem Grunde von auf der Referenzstation direkt erzeugten RINEX-Daten nominal unterscheiden. Der für eine Positionsbestimmung relevante Informationsgehalt ist jedoch derselbe, so daß in jedem Fall mit beiden Datensätzen immer auch dieselben Koordinaten berechnet werden.

Es lassen sich aus Korrekturdaten mit gegebener Datenrate (z.B. 1 Hz = 1 Datensatz pro Sekunde) auch höhere RINEX-Datenraten (z.B. 2 Hz) ableiten. Dies ist möglich, weil Korrekturdaten gegenüber Rohdaten eine geringere Dynamik haben und Referenzstationen naturgemäß statische Koordinaten besitzen.

Das RINEX-Format ist die Datei-Schnittstelle für Nutzer des GPPS-Dienstes im SAPOS-Konzept. Eine wichtige Voraussetzung für diesen Anwendungsbereich ist die Verfügbarkeit der RINEX-Dateien wenige Minuten nach den Beobachtungen. Auch wünscht sich ein GPPS-Nutzer eine möglichst minutengenaue Selektion der RINEX-Daten. Dies kann erreicht werden, wenn die RINEX-Dateien erst bei der Anforderung durch einen Nutzer aus der internen Datenbasis generiert werden.

Die Datenrate der abzugebenden RINEX-Daten ist ebenfalls konfigurierbar zu halten. Die Nutzeranforderungen an die RINEX-Datenrate gehen von einmal pro 15 Sekunden für statische Punktbestimmungen bis zu einmal pro Sekunde oder höher für kinematische Punktbestimmungen, z.B. bei der Trajektorienbestimmung für Bildflüge.

Die zur Verfügung stehenden Daten sollten daher mit der höchstmöglichen Datenrate gesammelt und aufgezeichnet werden und auch hier erst zur Abrufzeit auf die gewünschte Datenrate gefiltert werden. Bei der Filterung ist darauf zu achten, daß die Flags (z.B. Cycle Slips) der herausgefilterten Epochen korrekt berücksichtigt werden.