

2005

Eidgenössische Vermessungsdirektion



November 2005  
Aktualisiert, Dezember 2009  
(Seiten 2, 3 und 8)

Aktualisiert, Dezember 2010 gemäss  
Kreisschreiben Nr. 2010 / 06  
(Seiten 2 und 3)

## zur Bestimmung von Fixpunkten der Amtlichen Vermessung

**swisstopo**  
+ + +

Bundesamt für Landestopografie  
Office fédéral de topographie  
Ufficio federale di topografia  
Uffizi federal da topografia

[www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)



## Inhaltsverzeichnis:

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Allgemeine Aspekte</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Einleitung   | 1         |
| 1.1.1    | Ausgangslage   | 1         |
| 1.1.2    | Zielsetzung  | 1         |
| 1.1.3    | Methoden   | 1         |
| 1.2      | Arbeitshypothesen  | 2         |
| 1.3      | Anforderungen an die Fixpunkte                                       | 2         |
| 1.3.1    | Genauigkeitsanforderungen  | 2         |
| 1.3.2    | Zuverlässigkeitsanforderungen  | 3         |
| 1.4      | Begründung der Arbeiten, Vorbereitung                                | 3         |
| 1.5      | Allg. Arbeitsablauf  | 4         |
| <b>2</b> | <b>Aufbau, Bestimmung und Unterhalt von Fixpunktnetzen</b>           | <b>7</b>  |
| 2.1      | Allgemeine Hinweise  | 7         |
| 2.2      | Büroentwurf  | 7         |
| 2.2.1    | Kombinierte LFP2/3-Erneuerung  | 7         |
| 2.2.2    | Punktnummerierung  | 7         |
| 2.2.3    | Besonderheiten bei der Erneuerung und Nachführung                    | 8         |
| 2.3      | Rekognoszierung (Umsetzung im Feld)                                  | 9         |
| 2.3.1    | Begehung der Anschlusspunkte   | 9         |
| 2.3.2    | Kriterien für Neupunkte  | 9         |
| 2.4      | Netzentwurf (Aufnahmedisposition)                                    | 10        |
| 2.5      | Messung  | 11        |
| 2.5.1    | Signalisierung und Stationierung                                     | 11        |
| 2.5.2    | Protokollführung   | 11        |
| 2.6      | Berechnung   | 12        |
| 2.6.1    | Allgemeines  | 12        |
| 2.6.2    | Stochastisches Modell  | 13        |
| 2.6.3    | Präanalyse / A priori Berechnung                                     | 14        |
| 2.6.4    | Vorbereitende Berechnungen   | 14        |
| 2.6.5    | Ausgleichung zur Beurteilung der Messungen und Netzlagerung          | 14        |
| 2.6.6    | Beurteilung der Resultate  | 15        |
| 2.6.7    | Definitive Berechnung im Bezugsrahmen LV03/LN02                      | 16        |
| 2.6.8    | Spezialfälle   | 17        |
| 2.6.9    | Dokumentation der Berechnungen                                       | 17        |
| 2.7      | Unterhalt und periodische Nachführung                                | 18        |
| <b>3</b> | <b>Bezugssysteme und Transformationen</b>                            | <b>19</b> |
| 3.1      | Überblick  | 19        |
| 3.1.1    | Verwendete Höhensysteme in der Schweiz                               | 20        |
| 3.1.2    | Zukünftiger offizieller Bezugsrahmen der Schweiz                     | 20        |
| 3.2      | Transformationsparameter CHTRS95/ETRS89 $\leftrightarrow$ CH1903(+)  | 21        |
| 3.2.1    | LV95-Parametern  | 21        |
| 3.2.2    | Granit87-Parameter   | 21        |
| 3.3      | Lagetransformationen zwischen den lokalen Bezugsrahmen LV03 und LV95 | 21        |
| 3.4      | Höhentransformation zwischen LN02 und LHN95                          | 21        |
| <b>4</b> | <b>Methoden</b>  | <b>22</b> |
| 4.1      | Global Navigation Satellite System (GNSS)                            | 22        |
| 4.1.1    | Einleitung   | 22        |
| 4.1.2    | GNSS-Messmethoden im Überblick                                       | 23        |
| 4.1.3    | Büroentwurf  | 26        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.1.4    | Rekognoszierung  | 26        |
| 4.1.5    | Definitive Aufnahmedisposition   | 26        |
| 4.1.6    | Messung  | 26        |
| 4.1.7    | Definition von Sessionen   | 27        |
| 4.1.8    | Berechnung   | 28        |
| 4.1.9    | Spezialfälle   | 31        |
| 4.1.10   | Dokumentation  | 31        |
| 4.2      | Trigonometrische Punktbestimmung                                       | 32        |
| 4.2.1    | Netzentwurf  | 32        |
| 4.2.2    | Messung  | 33        |
| 4.2.3    | Berechnung   | 35        |
| 4.2.4    | Dokumentation  | 35        |
| 4.3      | Nivellement  | 36        |
| 4.3.1    | Netzentwurf  | 36        |
| 4.3.2    | Rekognoszierung / Begehung   | 36        |
| 4.3.3    | Messung  | 36        |
| 4.3.4    | Berechnung   | 39        |
| 4.3.5    | Dokumentation  | 40        |
| <b>5</b> | <b>Kennzeichnung der Fixpunkte</b>                                     | <b>41</b> |
| 5.1      | Allgemeines  | 41        |
| 5.2      | Zuständigkeiten  | 41        |
| 5.3      | Arten der Kennzeichnung  | 42        |
| 5.3.1    | Kennzeichnung für LFP2   | 42        |
| 5.3.2    | Kennzeichnung für LFP3   | 42        |
| 5.3.3    | Kennzeichnung der HFP2/3   | 43        |
| 5.4      | Anbringen der Kennzeichnung bei Lage- und Höhenfixpunkten              | 43        |
| 5.4.1    | LFP2   | 43        |
| 5.4.2    | LFP3   | 44        |
| 5.4.3    | HFP2/3   | 44        |
| 5.5      | Dokumentation der LFP2, der LFP3 und der HFP2/3                        | 44        |
| 5.6      | Schutz der Lage- und Höhenfixpunkte                                    | 45        |
| 5.6.1    | LFP2/3   | 45        |
| 5.6.2    | HFP2/3   | 45        |
| <b>6</b> | <b>Abschliessende Arbeiten / Dokumentation</b>                         | <b>46</b> |
| 6.1      | Punktprotokolle  | 46        |
| 6.2      | Punktkarte   | 47        |
| 6.3      | Definitive Berechnung  | 48        |
| 6.4      | Netzpläne  | 48        |
| 6.5      | Vektorpläne  | 48        |
| 6.5.1    | Vektorplan frei, resp. weich gelagertes Netz - "Bisherige" Koordinaten | 48        |
| 6.5.2    | Vektorplan frei, resp. weich gelagertes Netz - Definitive Berechnung   | 48        |
| 6.5.3    | Vektorplan der definitiven Wertänderungen                              | 48        |
| 6.6      | Koordinaten- und Höhenverzeichnis                                      | 48        |
| 6.7      | Punktdatei   | 49        |
| 6.8      | Technischer Bericht  | 49        |
| 6.9      | Abrechnung   | 49        |
| 6.10     | Integration der Resultate in die Geoinformationssysteme                | 49        |
| <b>7</b> | <b>Verifikation</b>  | <b>50</b> |
| 7.1      | Netzentwurf  | 50        |
| 7.2      | Feldverifikation   | 50        |
| 7.3      | Abzuliefernde Akten  | 50        |
| 7.4      | Verifikationsbericht   | 51        |

|          |                    |           |
|----------|--------------------|-----------|
| 7.5      | Mängelbehebung     | 51        |
| <b>8</b> | <b>Anerkennung</b> | <b>51</b> |



# 1 Allgemeine Aspekte

## 1.1 Einleitung

### 1.1.1 Ausgangslage

Die vorliegenden Richtlinien ersetzen die in der Zwischenzeit überholten Fixpunkt-Richtlinien von 1996 und stützen sich auf die Verordnung über die Amtliche Vermessung (VAV) vom 18. November 1992 (Stand 25. März 2003) und die Technische Verordnung über die Amtliche Vermessung (TVAV) vom 10. Juni 1994 (Stand 25. März 2003). Sie sind auch in verschiedenen Punkten aktueller als die TVAV, da in dieser Verordnung noch nicht alle technischen Neuerungen der letzten Jahre umgesetzt werden konnten. Mit der Einführung des neuen Geoinformations-Gesetzes (GeolG) werden entsprechende Anpassungen auch auf der Stufe der Verordnungen folgen. Diese Richtlinien sind als Empfehlungen zu verstehen, die jedoch im Rahmen von vertraglichen Abmachungen verbindlich erklärt werden können.

Die Informationsebene Fixpunkte (FP) ist das Fundament sowohl für die übrigen Informationsebenen der AV, als auch für die georeferenzierten Informationen der zahlreichen Benutzer der AV. Die Fixpunkte gewährleisten den Erhalt des Raumbezuges in gleich bleibender Qualität über lange Zeiträume. Deshalb kommt vor allem der Nachführung grosse Bedeutung zu.

Mit der neuen Landesvermessung 95 (LV95) steht seit Ende 1995 ein neuer, zwangsfreier Bezugsrahmen mit ca. 240 Referenzpunkten (LV95-Punkte und AGNES-Stationen) über die ganze Schweiz verteilt zur Verfügung. Die Form des Bezuges der AV zur LV95 wurde in diversen Arbeitsgruppen diskutiert. Durch die Strategie der AV ist klar, dass der Bezugsrahmenwechsel von LV03 auf LV95 kommen wird und dass in einer Übergangsphase die Daten der AV in beiden Bezugsrahmen zur Verfügung gestellt werden müssen. Vorläufig bleibt aber die LV03 der offizielle Bezugsrahmen. Bis zum Zeitpunkt des definitiven Überganges auf LV95 wird man deshalb auch mit Übergangslösungen leben müssen. Das heisst, dass weiterhin heterogene, hierarchisch abgestufte FP-Netze mit grösseren und kleineren Spannungen zu den Nachbar- und Anschlusspunkten vorhanden sein werden. Diese gilt es im Rahmen von laufenden Erneuerungen oder Nachführungen auf das angestrebte Ziel anzupassen.

### 1.1.2 Zielsetzung

Ziel und Zweck der Richtlinien sind vor allem die Unterstützung der kantonalen Verifikationsinstanzen und ausführenden Geometer bei Arbeiten im Fixpunktbereich der Amtlichen Vermessung: z.B. beim Erstellen und Beurteilen von Pflichtenheften, Vorprojekten, Offerten, bei Verifikations- und Koordinationsaufgaben und bei der Ausführung. Die Richtlinien gelten für die Ersterhebung, Erneuerung und Nachführung (laufende sowie periodische) von Fixpunktnetzen der Kategorien 2 und 3. Anzustreben sind dabei der Aufbau und der Unterhalt eines homogenen und spannungsfreien FP-Netzes über die ganze Schweiz.

### 1.1.3 Methoden

Grundsätzlich wird in der Amtlichen Vermessung die Methodenfreiheit respektiert, sofern die Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllt werden. Nach heutiger Praxis sind es aber folgende Methoden, die für die Bestimmung von Fixpunkten in der AV angewendet werden:

- GNSS (Global Navigation Satellite System)
- Trigonometrische Punktbestimmung
- Nivellement
- Kombinationen dieser Methoden

Dank der hohen Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit von GNSS hat sich vor allem diese Methode bei der Fixpunktbestimmung durchgesetzt. Die übrigen Verfahren sind meist als Ergänzung vorzusehen. Vielfach wird sich eine Kombination von mehreren Verfahren als am zweckmässigsten erweisen, wobei die Punkte im offenen Gelände mittels GNSS bestimmt werden. In bebauten und in anderen schlecht einsehbaren Regionen wird die Punktbestimmung in der Regel trigonometrisch erfolgen. Das Nivellement kommt dort in Frage, wo für die Höhenbestimmung höhere Anforderungen gelten. Die Fotogrammetrie, welche mittels Aero-triangulation auch für Punktbestimmungen genutzt werden könnte, hat hier allerdings an Bedeutung verloren, da in der Regel im gleichen Arbeitsgang mit der Signalisation von Fixpunkten auch GNSS eingesetzt wird und dadurch die Punktbestimmung rationeller und genauer erfolgt. Sollte die Methode der Fotogrammetrie dennoch angewendet werden, gelten dafür nach wie vor die Empfehlungen in den früheren Richtlinien von 1996.

Immer häufiger kommen 3-dimensionale Ausgleichsprogramme zum Einsatz. Das Projektionssystem der Landesvermessung (sowohl LV03 wie auch LV95) und der Landeskarten beruht auf 2-dimensionalen, zylindrischen Lagekoordinaten und unabhängigen Gebrauchshöhen. 3-dimensional ausgeglichene, geozentrische Koordinaten müssen daher in den Bezugsrahmen der Landesvermessung transformiert werden.

## 1.2 Arbeitshypothesen

Grundsätzlich richtet sich der Perimeter bei Projekten im Fixpunktbereich nach den Folgearbeiten für die weiteren Informationsebenen. Die Richtlinien gehen davon aus, dass bei Ersterhebungen und Erneuerungen Projekte mit grösseren Perimetern bearbeitet werden, einerseits im Hinblick auf eine optimale Integration der bearbeiteten Fixpunktnetze, andererseits im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit solcher Projekte (TVAV, Art.1).

Bei allen Arbeiten im Fixpunktbereich gelten das Prinzip der Nachbarschaft (TVAV, Art. 51) und das Prinzip der fehlerlosen Anschlusspunkte (TVAV Art. 54). Als Anschlusspunkte gelten die bestehenden Fixpunkte (LFP und HFP) gleicher oder höherer Hierarchiestufe, wobei dafür in erster Linie LV95-Punkte sowie Transformationsstützpunkte der Dreiecksvermaschung (TSP) verwendet werden sollen.

Sobald LV95 als offizieller Bezugsrahmen eingeführt ist, kann dank des Gewinnes von höherer "absoluter" Genauigkeit das Nachbarschaftsprinzip automatisch eingehalten werden. Dies gilt bei Ersterhebung und Erneuerungen. Bei bereits bestehenden, transformierten oder noch provisorischen Operaten muss zuvor gewährleistet sein, dass die ursprüngliche Nachbargenauigkeit anlässlich der Umformung oder Anpassungsarbeiten richtig berücksichtigt wurde.

## 1.3 Anforderungen an die Fixpunkte

Die Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Lagefixpunkte der Amtlichen Vermessung sind methodenunabhängig formuliert.

### 1.3.1 Genauigkeitsanforderungen

Die Genauigkeitsanforderungen (TVAV Art. 28) sind als Standardabweichungen (mittlere Fehler) in Abhängigkeit zur Punktdichte (LFP2) respektive zur Distanz zu den Anschlusspunkten AP (LFP3) definiert und stellen relative mittlere Fehler gegenüber den AP dar.

In einem "absoluten" resp. zwangsfreien Bezugsrahmen wie LV95 und beim Einsatz von GPS spielt jedoch die Distanz zum direkten Nachbarpunkt, respektive zu den Anschlusspunkten für die Genauigkeit eine unbedeutendere Rolle. Hier sind ohne Mehraufwand sowohl für LFP2 wie auch für LFP3 Genauigkeiten (Standardabweichung / m.F. bezüglich eines beliebigen Punktes der Schweiz im Bezugsrahmen LV95 resp. LHN95) von 1-2cm in der Lage und von 2-4 cm in der Höhe erreichbar.

Für die praktische Anwendung sind in den nachfolgenden Tabellen Genauigkeitsanforderungen angegeben, die zwar unabhängig von der Punktdichte / Distanz zu den direkten Anschlusspunkten definiert wurden, sich aber innerhalb des zwangsfreien LV95-Bezugsrahmens bewegen:

| <b>Lagegenauigkeit</b> [grosse Halbachse der Konfidenzellipse (mittleren Fehlerellipse) MFA in cm / 1 $\sigma$ -Signifikanzniveau] |            |            |            |            |            |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Punktkategorie</b>  | <b>TS1</b> | <b>TS2</b> | <b>TS3</b> | <b>TS4</b> | <b>TS5</b> |
| LFP2   | *          | 4          | 4          | 10         | 10         |
| LFP3   | *          | 4          | 4          | 10         | 10         |
| **HFP 2/3  | *          | 10         | 20         | 50         | 100        |

Tab. 1-1: Lagegenauigkeit

| <b>Höhengenaugigkeit</b> [Standardabweichung (mittlerer Fehler) für die Höhe MFH in cm / 1 $\sigma$ -Signifikanzniveau] |            |            |            |            |            |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Punktkategorie</b>   | <b>TS1</b> | <b>TS2</b> | <b>TS3</b> | <b>TS4</b> | <b>TS5</b> |
| LFP2  | *          | 6          | 6          | 15         | 15         |
| LFP3  | *          | 6          | 6          | 15         | 15         |
| HFP2 (niv.)   | *          | 0.5        | 0.5        | -          | -          |
| HFP2 (GNSS)   | *          | 4          | 4          | 5          | -          |
| HFP3  | *          | 0.5        | -          | -          | -          |

\* gemäss kantonalen Bestimmungen, aber mindestens wie TS2

\*\* gemäss Genauigkeitsanforderung für die Informationsebenen "Bodenbedeckung" sowie "Einzelobjekte"

Tab. 1-2: Höhengenaugigkeit



### 1.3.2 Zuverlässigkeitsanforderungen

Die äussere Zuverlässigkeit jedes einzelnen Punktes ist nachzuweisen. Verfälschungen der Ergebnisse durch nicht erkennbare grobe Fehler dürfen den dreifachen Wert für die vorher angegebenen mittleren Fehler der Lage und Höhe nicht überschreiten.

Als Indikatoren für die äussere Zuverlässigkeit dienen die Grössen NA, NB und NH, welche aus der Theorie von Baarda abgeleitet sind (orientierte Zuverlässigkeitsrechtecke der Lagekoordinaten und Zuverlässigkeitsbereich der Gebrauchshöhen). Die Zuverlässigkeitswerte werden a priori berechnet. Die Aussagekraft der Zuverlässigkeitsindikatoren hängt von der Richtigkeit des stochastischen Modells, insbesondere von der Wahl realistischer, theoretischer Standardabweichung (mittlerer Fehler a priori) an den Beobachtungen, ab.

Für die praktische Benützung sind in den nachfolgenden Tabellen Zuverlässigkeitsanforderungen unabhängig von der Punktdichte / Distanz zu den Anschlusspunkten (wie in Kapitel 1.3.1) zusammengestellt:

| <b>Äussere Zuverlässigkeit für die Lage</b> [Toleranz für NA in cm] |            |            |            |            |            |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Punktkategorie</b>   | <b>TS1</b> | <b>TS2</b> | <b>TS3</b> | <b>TS4</b> | <b>TS5</b> |
| LFP2  | *          | 12         | 12         | 30         | 30         |
| LFP3  | *          | 12         | 12         | 30         | 30         |

**Tab. 1-3:** Lagezuverlässigkeit

| <b>Äussere Zuverlässigkeit für die Höhe</b> [Toleranz für NH in cm] |            |            |            |            |            |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Punktkategorie</b>   | <b>TS1</b> | <b>TS2</b> | <b>TS3</b> | <b>TS4</b> | <b>TS5</b> |
| LFP2  | 13.5       | 18         | 18         | 45         | 45         |
| LFP3  | *          | 18         | 18         | 45         | 45         |
| HFP2 (niv.)   | *          | 1.5        | 1.5        | -          | -          |
| HFP2 (GNSS)   | *          | 12         | 12         | 15         |            |
| HFP3  | *          | 1.5        | -          | -          | -          |

\* gemäss kantonalen Bestimmungen, aber mindestens wie TS2

**Tab. 1-4:** Höhenzuverlässigkeit

### 1.4 Begründung der Arbeiten, Vorbereitung

Arbeiten an Fixpunktnetzen der Amtlichen Vermessung müssen geplant werden. Dazu ist eine Analyse der Ausgangslage durchzuführen (evtl. im Rahmen eines Vorprojektes). Sie enthält insbesondere Angaben über:

- Begründung und Zweck des Projektes
- Perimeter
- Stand der Amtlichen Vermessung
- vorhandene Anschlusspunkte (LFP1 - 3 und HFP 1 - 3 im Perimeter oder am Perimeterrand) und ihre Qualität
- Anforderungen nach Toleranzstufe

Aufgrund der Beurteilung der Ausgangslage können Entscheide für die zu treffenden Massnahmen gefällt werden. Die Resultate sollen in der Regel, insbesondere bei Ersterhebungen und Erneuerungen, schriftlich festgehalten werden.

Bei Ersterhebungs- und Erneuerungsprojekten sind zudem folgende Vorkehrungen zu treffen:

- Genehmigung der zu treffenden Massnahmen durch die zuständige Verifikationsinstanz
- Aufnahme in einen Realisierungsplan (VAV Art. 3)
- Sicherstellung der Finanzierung
- Koordination mit allfälligen Nachbarprojekten
- Festlegen der Arbeitsteilung zwischen Verifikationsinstanz und Geometer (falls notwendig)
- Durchführung der Vergabe gemäss den kantonalen Submissionsvorschriften

Die Vereinbarungen sind in einem Vertrag, einem Auftrag oder einer Dienstanweisung festzuhalten.

Vor Beginn grösserer Arbeiten wird empfohlen, die betroffene Gemeinde mittels amtlicher Bekanntmachung zu orientieren.

### 1.5 Allg. Arbeitsablauf

Die Arbeiten für die Anlage und Bestimmung von Fixpunktnetzen erfolgen unabhängig von der gewählten Messmethode grundsätzlich nach demselben Ablauf. Für die LFP2 und HFP2 gilt das folgende Schema:

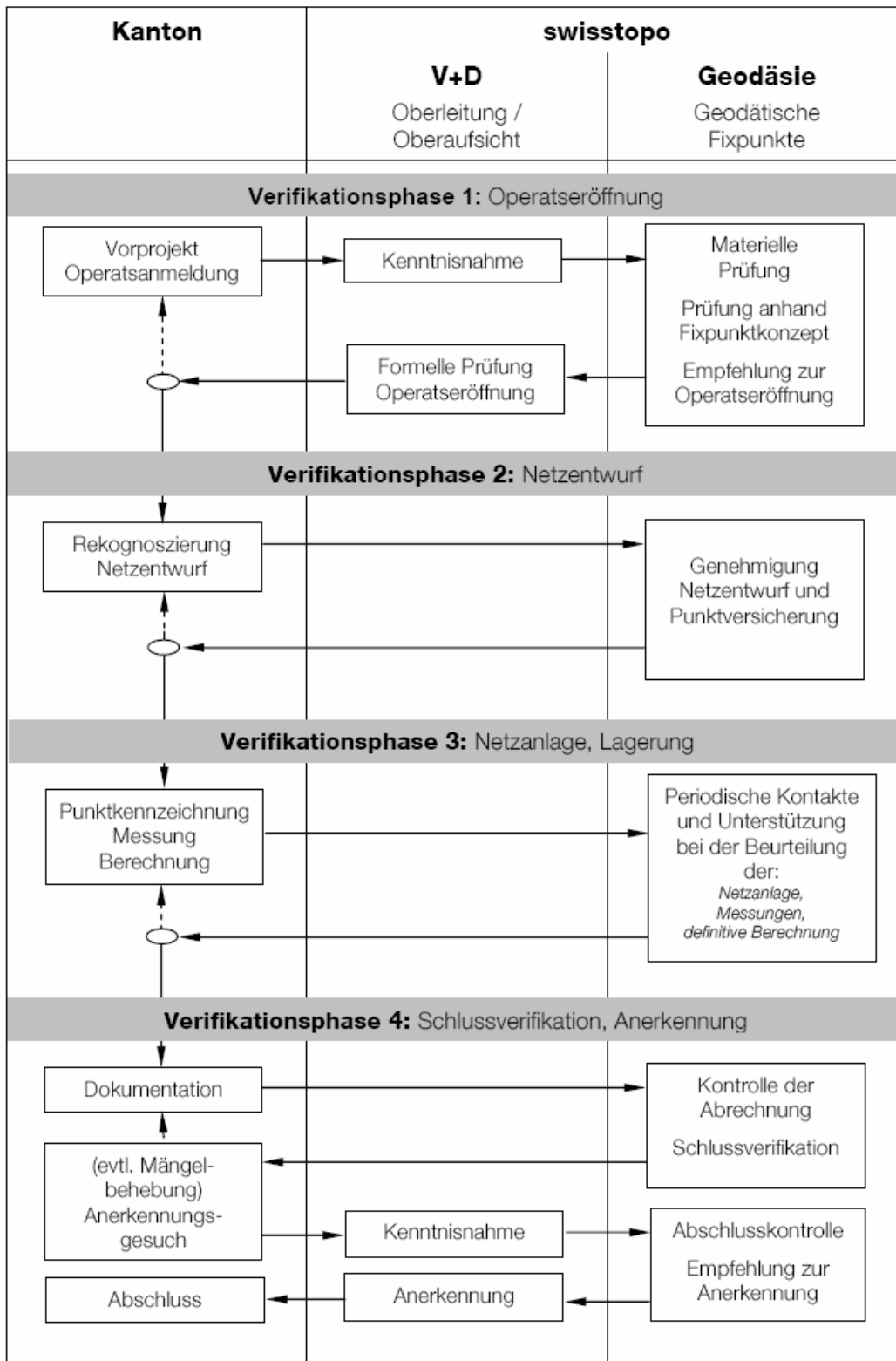


Abb. 1-1: Arbeitsablauf Fixpunktnetze

In der Praxis werden die Verifikationsphasen 1 und 2 sowie 3 und 4 oftmals zusammengefasst. Die (nicht bundesabteilungsberechtigte) laufende Nachführung LNF unterliegt lediglich der Verifikationsphase 4. Die (bundesabteilungsberechtigte) periodische Nachführung PNF ist ein eigenes FP2-Operat (mit Operats- und Gebietsblatt) und unterliegt den Verifikationsphasen 1 und 4.

Bei einfachen und kleineren Mutationen im Rahmen der laufenden Nachführung wird das Verfahren den Verhältnissen entsprechend einfacher ablaufen. Hier erfolgt die Verifikation in der Regel einmal jährlich, gesamthaft pro Kanton.

Für die LFP3 / HFP3 sind die Kantone zuständig und regeln die Überwachung der Arbeiten mit den ausführenden privaten Geometerbüros. Die Vermessungsdirektion übernimmt lediglich die Oberaufsicht. Der Arbeitsablauf kann deshalb in den Kantonen leicht unterschiedlich ausfallen. Auch erübrigt sich damit die strenge Regelung der einzelnen Verifikationsphasen gemäss obiger Tabelle. Wichtig ist, dass die Operate oder Lose begründet und durch den Kanton freigegeben werden (Verifikationsphase 1) und dass diese abschliessend verifiziert werden (Verifikationsphase 4).



## **2 Aufbau, Bestimmung und Unterhalt von Fixpunktnetzen**

### **2.1 Allgemeine Hinweise**

In den nachstehenden Richtlinien werden allgemein gültige Aussagen für Lage- und Höhenfixpunkte LFP2 / LFP3 resp. HFP2 / HFP3 gemacht. Besonderheiten, die entsprechend der zu bearbeitenden Hierarchiestufe zu beachten sind, werden pro Kapitel unmittelbar anschliessend an die grundsätzlichen Bemerkungen aufgeführt.

Spezifische Hinweise betreffend die Fixpunkte der Kategorie 3 (LFP3 und HFP3) werden in Kleinschrift gedruckt.

### **2.2 Büroentwurf**

Aufgrund der Perimeterfestlegung und der Kriterien für den Netzaufbau wird im Büro ein optimales Netz entworfen. Dieses Netz muss so aufgebaut sein, dass die Qualitätsanforderungen der TVAV, respektive dieser Richtlinie erfüllt werden können. Grundsätzlich wird bezweckt, dass jede Messung durch genügende Überbestimmung kontrolliert wird.

Die Anforderungen bezüglich Nachbargenauigkeit und Zuverlässigkeit können eingehalten werden, wenn die im Kapitel 4 erwähnten, methodenabhängigen Empfehlungen aus der praktischen Erfahrung beachtet werden.

Je nach Qualität der bestehenden Fixpunkte, die zur Lagerung des Netzes benutzt werden, können in LV03/LN02 Zwänge auftreten. Es ist daher angezeigt, das Netz so aufzubauen, dass grössere Zwänge aufgedeckt werden können. Eine Beurteilung der Anschlusspunkte und der erreichten Genauigkeit wird anhand einer frei oder weich gelagerten Ausgleichung gemacht. Zwänge, die nicht akzeptiert werden können, führen unter Umständen zur Neubestimmung von "Anschlusspunkten".

#### **2.2.1 Kombinierte LFP2/3-Erneuerung**

Die Erneuerung der LFP2 kann bei geeigneter Netz- und Aufnahmedisposition in Absprache mit der zuständigen Verifikationsinstanz auch in Kombination mit der Neuanlage der LFP3-Netze erfolgen.

#### **2.2.2 Punktnummerierung**

Es erweist sich als vorteilhaft, wenn bereits in dieser Phase auch die Punktnummerierung festgelegt wird: Das Datenmodell der Amtlichen Vermessung (DM.01-AV<sup>Version24</sup>) erlaubt die Vergabe von maximal 12-stelligen alphanumerischen Punktnummern für die Fixpunkte. Die Vergabe der Nummern für die LFP1 und HFP1 fällt in die Zuständigkeit von swisstopo, für die LFP2 sind der Bund und die Kantone gemeinsam verantwortlich und für die LFP3, die HFP2 sowie die HFP3 die Kantone alleine.

##### **LFP1 und LFP2:**

Die offiziellen Punktnummern (8 Ziffern) von swisstopo bauen sich wie folgt auf:

- Blattnummer der Landeskarte 1:25'000 (4 Ziffern)
- Einzelpunktnummer (3 Ziffern)
- **Index** zur Kennzeichnung des Punkttypes (1 Ziffer)

Der Fundamentalpunkt in Zimmerwald hat beispielsweise folgende Punktnummer: 11868000

Die Indizes werden wie folgt vergeben:

|          |  |
|----------|--|
| <b>0</b> | - Normale Bezeichnung eines Triangulationspunktes (z.B. Hauptpunkt, Zentrumspunkt, erster Punkt bei Doppelpunkten)<br>- Topopunkte, sofern stationierbar |
| <b>1</b> | - zugeordneter Punkt (z.B. Azimutpunkt, gekennzeichnetes Exzentrum (Exz), zweiter Punkt bei Doppelpunkten, weiterer Bodenpunkt)                          |
| <b>2</b> | - Bodenpunkt bei Hochstations- und Hochzielpunkten   |
| <b>3</b> | - 1. Hilfspunkt (z.B. nicht gekennzeichnetes Exzentrum)<br>- weiterer zugeordneter Punkt wie 1   |
| <b>4</b> | - weiterer Hilfspunkt  |
| <b>5</b> | - weiterer Hilfspunkt<br>- Altpunkt, der nicht mehr existiert (z.B. alte Bodenplatte)<br>- weiterer Hochstationspunkt wie 6                              |
| <b>6</b> | - Hochstationspunkt  |
| <b>7</b> | - Zielpunkt wie Mast, Antenne, Stange, Kreuz, Pyramide, Topopunkt (z.B. Giebel)<br>- weiterer Hochzielpunkt wie 8 oder 9                                 |
| <b>8</b> | - Hochzielpunkt wie Turm<br>- Topopunkt, sofern Turm<br>- weiterer Zielpunkt   |
| <b>9</b> | - Hochzielpunkt für Kirchen und Kapellen<br>- Topopunkt, sofern Kirchturm<br>- weiterer Zielpunkt oder Hochzielpunkt wie 7 oder 8                        |

Generell sind die Punkte mit Index 0 bis 6 stationierbar, jene mit Index 7 bis 9 nicht stationierbar.

### **LFP3**

Die Nummerierung der LFP3 muss innerhalb des Nummerierungsbereichs (in der Regel die politische Gemeinde) eindeutig sein. Zum Beispiel gemeindeweise Nummerierung mit 8-stelligen Punktnummern zusammengesetzt aus der 4-stelligen BfS-Gemeindenummer (Bundesamt für Statistik) und einer 4-stelligen Einzelnummer.

### **HFP1**

Der Benutzerschlüssel (NBIdent) regelt die Eindeutigkeit des Punktes, diese Nummer entspricht dem von swisstopo für das Landesnivellement definierten Perimeter, zum Beispiel CH0200000VDE.

Die Punktnummer (Identifikator) wird von swisstopo vergeben, zum Beispiel 123a. Diese Nummer darf nicht mehr als 12 alphanumerische Zeichen umfassen.

### **HFP2**

Die Nummerierung der HFP2 muss innerhalb des Kantons eindeutig sein und darf nicht mehr als 12 alphanumerische Zeichen umfassen.

### **HFP3**

Die Nummerierung der HFP3 muss innerhalb des Nummerierungsbereichs (in der Regel die politische Gemeinde) eindeutig sein.

## **2.2.3 Besonderheiten bei der Erneuerung und Nachführung**

Bei der Erneuerung und Nachführung sind neben der Neubestimmung auch die Verlegung und die Kontrolle von Punkten enthalten.

Ziel einer *Verlegung* ist es, die Koordinaten des verlegten Punktes aus denen des Altpunktes abzuleiten, wobei die Standardabweichung einer Messung (der mittlere Messfehler) längs und quer zum Verlegungsvektor kleiner als 5 mm sein muss. Die unabhängige Kontrolle des Verlegungsvektors kann direkt über eine in sich geschlossene Aufnahmedisposition oder indirekt über die Anschlusspunkte erfolgen.

Die *Neubestimmung* umfasst den Ersatz von zerstörten Punkten und die Bestimmung von Wertänderungen von bestehenden, zwängenden Punkten. Neubestimmungsnetze umfassen einen bis mehrere Punkte.

Ziel der *Kontrolle von Punkten* ist es, mit wenig Aufwand Aussagen über die Qualität der Koordinaten zu erhalten. Die Kontrollnetze genügen in der Regel nicht für die Neubestimmung eines Punktes, da meist zuwenig Messungen vorliegen, um die Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllen zu können. Punktkontrollen sind wenn möglich mit Verlegungen oder Neubestimmungen zu kombinieren.

## 2.3 Rekognoszierung (Umsetzung im Feld)

Ziel der Rekognoszierung ist es, auf der Grundlage des Büroentwurfes:

- die vorgesehenen Anschlusspunkte zu begehen,
- Verbesserungen an der Kennzeichnung dieser Anschlusspunkte anzuordnen,
- die Standorte der Neupunkte unter Berücksichtigung des Büroentwurfes festzulegen,
- die Kennzeichnung dieser Neupunkte anzuordnen,
- für alle Punkte die möglichen Visuren und die Sichtbarkeit für GNSS abzuklären.

Zu berücksichtigen ist, dass die Anzahl und die Verteilung der zu kennzeichnenden Punkte den modernen Messmethoden anzupassen sind. Demzufolge ist es nicht erforderlich, dass jede Station für die Detailaufnahmen dauerhaft gekennzeichnet werden muss (Ersatz durch freie Stationierung). Die daraus resultierende Dichte der gekennzeichneten Lagefixpunkte muss aber die kostengünstige Nachführung des Vermessungswerkes sicherstellen.

### 2.3.1 Begehung der Anschlusspunkte

Für bestehende Anschlusspunkte muss geklärt werden, ob ein Punkt übernommen und bezüglich seiner Kennzeichnung allenfalls verbessert, ob er verlegt oder auch eliminiert werden soll (siehe auch Kap. 2.7).

Ein Fixpunkt kann *am alten Standort belassen* werden, wenn:

- dessen dauerhafte Kennzeichnung sowie die Benutzbarkeit für nachfolgende Vermessungsarbeiten langfristig gewährleistet ist und die angepasste Punktdichte den Standort noch erfordert.

Vorhandene **LFP2-Steine** sollen *am alten Standort neu zentriert* werden, wenn:

- die Neigung der Steinoberfläche mehr als 2% beträgt,
- ein Verdacht besteht, dass die Zentrierung des Steines innerhalb von 2 cm nicht mehr garantiert ist (z.B. durch Wurzeldruck, Bergdruck oder andere mechanische Einflüsse),
- bei vorgesehener Koordinatenänderung der letzte Steinsatz mehr als 10 bis 15 Jahre zurückliegt.

Ein Fixpunkt soll *verlegt* werden, wenn:

- die angepasste Punktdichte dies noch erfordert,
- die Sicherheit des Standortes nicht mehr gewährleistet ist,
- er am alten Standort für die anschliessenden Vermessungsarbeiten nicht mehr benützt werden kann oder nicht mehr dienlich ist.

Ein Fixpunkt soll *eliminiert* werden, wenn:

- der Standort ungeeignet und die Dichte ohnehin hoch ist,
- er für die nachfolgenden Vermessungsarbeiten nicht mehr nötig ist.

Bei der Elimination von LFP2 müssen die Anforderungen der Nachführung bestehender Vermessungswerke berücksichtigt werden. Gegebenenfalls kann in Rücksprache mit der zuständigen Verifikationsinstanz ein LFP2 als LFP3 weiterverwendet werden.

### 2.3.2 Kriterien für Neupunkte

Die Fixpunkte müssen dauerhaft gekennzeichnet werden können und sollen wenn möglich in den öffentlichen Grund zu liegen kommen. Für Neupunkte muss die Existenz allfälliger unterirdischer Leitungen abgeklärt werden.

Die Benutzbarkeit muss für die nachfolgenden Vermessungsarbeiten gewährleistet sein. Dabei ist die Standortwahl so zu treffen, dass die Messmethode frei gewählt werden kann (z.B. GNSS-Tauglichkeit, Anschluss für freie Stationierungen):

- Über dem Punkt soll der Horizont frei sein (in der Regel oberhalb 25°); kleinere abgedeckte Sektoren können akzeptiert werden, wenn in der Berechnung die Lösung der Phasen-Mehrdeutigkeiten nicht beeinträchtigt wird. Die durch Hindernisse ab 20-25° verdeckten Sektoren sollen auf einem Rekognoszierungsprotokoll notiert werden.
- Der Abstand zu aktiven Störobjekten wie z.B. Sendern soll mindestens 200 - 300 m betragen. Allenfalls sind zur Beurteilung der Störungen Testmessungen zu erheben. Zu passiven Störobjekten, wie beispielsweise reflektierende Metallflächen (z.B. an Häusern, Signaltafeln), ist ebenfalls ein möglichst grosser Abstand einzuhalten.
- Auf jedem LFP ist anzustreben, dass für die trigonometrische Messung die Richtungen auf gut integrierte Anzielpunkte orientiert werden können. Das heisst für

### **LFP2**

Wenn möglich 2 Sichten zu benachbarten LFP2 oder gleichzeitig bestimmten LFP3.

Die Punktdichte ist klein zu halten und soll höchstens 0.5 LFP1/LFP2 pro km<sup>2</sup> betragen. Dabei ist heute schon zu berücksichtigen, dass mit der neuen Landesvermessung 95 (LV95) und dem automatischen GPS-Netz der Schweiz (AGNES) die Punktdichte nochmals wesentlich verringert werden kann.

Die Zahl der Hilfspunkte in LFP2-Netzen muss minimal gehalten werden. Für jeden LFP2 ist ein Protokoll auszufüllen, welches das Datum, eine Lageskizze, alle möglichen Visuren und die GNSS-Tauglichkeit festhält. Ebenso gehören Angaben über die zukünftige Kennzeichnung, die Grundeigentumsverhältnisse, notwendige Umgebungsarbeiten (z.B. Ausholzen), vorhandene Zufahrtsmöglichkeiten usw. dazu. Die betroffenen Grundeigentümer und gegebenenfalls die Pächter sind unbedingt über die Neupunkte zu orientieren.

### **LFP3**

Wenn möglich 2 Sichten zu benachbarten dauerhaft gekennzeichneten LFP3 oder LFP2.

Die Punktdichte wird durch die Massnahmen zur Homogenisierung der LFP3 und nach dem Übergang der AV auf den Bezugsrahmen LV95 markant reduziert. Bis zu diesem Übergang gelten die toleranzstufenabhängigen Werte gemäss Art. 49 TVAV als Richtwerte. Auf sekundäre Versicherungen (gemäss Art. 53 TVAV) kann verzichtet werden. Die Fixpunkte in LFP3-Netzen gliedern sich in dauerhaft und eindeutig gekennzeichnete LFP3 und in weitere nicht dauerhaft gekennzeichnete Hilfspunkte, die für Detailaufnahmen, Absteckungen und Netzversteifungen notwendig sind (Art. 47 TVAV).

Die Vorbereitung für LFP3-Netze im Büro geht weniger weit als bei den LFP2-Netzen, deshalb muss der Rekognoszierung die nötige Beachtung geschenkt werden. In erster Linie erfordert die Standortwahl für die relativ wenigen dauerhaft gekennzeichneten LFP3 Aufmerksamkeit. Folgende Kriterien sind zu beachten:

- Die LFP3 müssen eine kostengünstige Nachführung der Amtlichen Vermessung ermöglichen. Sie sind derart zu platzieren, dass sie im Rahmen der Nachführung optimale Anschlüsse für Punktbestimmungen mittels freier Stationierung erlauben.
- Die Forderung nach unbedingter Stationierbarkeit der LFP3 und direkter Sicht zu weiteren LFP verliert an Bedeutung (z.B. als AP für die freien Stationierungen).

## **2.4 Netzentwurf (Aufnahmedisposition)**

Aufgrund der Rekognoszierungsergebnisse und der Kriterien für den Netzaufbau wird die definitive Aufnahmedisposition für das Lage- sowie Höhenetz festgelegt und in graphischer oder für GNSS allenfalls tabellarischer Form dargestellt. Im Netzentwurf sind alle zu messenden Elemente und die vorgesehene Netzlagerung darzustellen resp. aufzulisten. Grafische Netzentwürfe werden mit einfachen Mitteln gezeichnet, die Darstellung entspricht aber den bisherigen Regeln für Netzpläne.

Bei der Neuerstellung und der grossflächigen Erneuerung von FP-Netzen müssen der zuständigen Verifikationsinstanz folgende Unterlagen zur Genehmigung eingereicht werden:

- Netzentwurf (Netzpläne für klassische Messmethoden oder Liste der geplanten Messungen für GNSS)
- Zwischenbericht über die Vorbereitung und die Rekognoszierungsarbeiten
- Rekognoszierungsprotokolle (für LFP2)

Nach der Genehmigung des Netzentwurfes wird das Messprogramm erstellt, welches pro Station die zu messenden Elemente mit der definitiven Punktbezeichnung auflistet.



Die Ersterhebungen und Erneuerungsnetze werden meistens mit der GNSS-Methode oder kombiniert mit einer anderen Methode gemessen und sind deshalb grundsätzlich an LV95 anzuschliessen. Als Anschlusspunkte sollen dabei mindestens 3 - 4 Punkte verwendet werden (LV95-Punkte, GNSS-Permanentstationen, TSP's oder zuverlässig in LV95 integrierte LFP's). Die weiteren Grundsätze zum Netzaufbau sind im Kapitel 4 in den entsprechen Abschnitten pro Messmethode zusammengestellt.

Für die Lagerung der Höhen in LN02 gilt besonders:

- Nivellierte LV95-Punkte sind geeignete Lagerungspunkte. Rund die Hälfte der LV95-Punkte ist direkt an das Landeshöhennetz angeschlossen.
- LFP2-Punkte entlang des Landeshöhennetzes oder entlang von kantonalen Linien sollen direkt an die nahe liegenden HFP1 und HFP2 angeschlossen werden. Swisstopo ist bei Neumessungen von Linienabschnitten bestrebt, die nahe gelegenen LFP2 in Absprache mit den Kantonen direkt in die Messungen einzubeziehen.
- In ausgedehnten Gebieten mit grossen Höhendifferenzen ist zudem darauf zu achten, dass die Anzahl dieser Höhenanschlusspunkte gut über die verschiedenen Höhenstufen verteilt ist.
- Bei fehlenden geeigneten Anschlusspunkten mit Höhen in LN02 ist der direkte Anschluss mit GNSS an das Landeshöhennetz (HFP1 und HFP2) anzustreben.

Die Anschlusspunkte innerhalb und am Rand des Perimeters müssen ins Netz integriert werden. Bei kleinen Nachführungsarbeiten wird in der Regel an 3 - 4 benachbarte, gut verteilte Anschlusspunkte angeschlossen.

## 2.5 Messung

Die Messungen dürfen erst nach Abschluss der Punktkennzeichnung in Angriff genommen werden. Sie müssen streng gemäss dem genehmigten, definitiven Netzentwurf durchgeführt werden, da nur so die Einhaltung der geforderten Qualität sichergestellt ist.

Grundsätzlich sind alle Messmethoden und Messinstrumente einsetzbar, mit welchen die Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen dieser Richtlinie erreicht werden können.

Die **Instrumente und alle im Einsatz stehenden Zentriervorrichtungen** müssen gemäss Art. 33 der TVAV **regelmässig geprüft** und allenfalls justiert werden. Sie sind sorgfältig zu unterhalten und bei festgestellten Defekten revidieren zu lassen.

Die Messmethode bestimmt den Arbeitsablauf. Konkrete Hinweise zur Messung sind methodenabhängig im Kapitel 4 zusammengefasst.

### 2.5.1 Signalisierung und Stationierung

Auf eine zentrische und stabile Signalisierung und Stationierung ist grosses Gewicht zu legen. Die Zentriergenauigkeit darf 3 mm nicht überschreiten.

Die Stative müssen stabil sein; sie sollen periodisch überprüft werden. Auf eine sorgfältige Stativaufstellung muss besonders geachtet werden. Bei weichem Boden sind besondere Vorkehrungen zu treffen (z.B.: Stativfüsse auf Pfählen oder Röhren, ev. Bretter als Beobachterstandort).

Es sind möglichst unabhängige Zentrierungen erwünscht (Zwangszentrierung nur bei Präzisionspolygonzügen, sofern drehbare optische oder Laser-Lote eingesetzt werden, welche geprüft worden sind). Bei der Höhenmessung sind unabhängige Instrumenten- und Zielhöhen anzustreben. Die Instrumenten- und Zielhöhen sind mit einer Standardabweichung von 3 mm zu erheben und nach der Messung zu kontrollieren.

Bei Verlegungen und Rekonstruktionen ist möglichst auf den ursprünglichen Zustand des Zentrums zurückzugreifen. Wo vorhanden ist die sekundäre Kennzeichnung mit einzubeziehen. Die festgestellten Exzentrizitäten sind mit Datum und Vektor zu dokumentieren.

### 2.5.2 Protokollführung

Jede Messung oder Ablesung muss protokolliert werden (siehe auch 2.6.4, 4.1.6 und 4.1.8.2). Das Messprotokoll muss neben den Messungen das Datum der Beobachtung, den Namen des Beobachters und Angaben über die verwendeten Instrumente, über berücksichtigte Korrekturwerte und über besondere Verhältnisse enthalten. Bei der konventionellen Messung werden bei nicht automatischer Registrierung die Werte in einem Feldprotokoll von Hand notiert.

Die automatische Registrierung und elektronische Feldbuchführung stellt heute die Regel dar. Mittelwerte und Standardabweichungen sollten aber auf dem Feld eingesehen werden können. Es ist anzustreben, die Vorteile der elektronischen Feldbuchführung vollständig auszunützen. Die Datenübertragung ins Ausgleichungsprogramm muss gewährleistet sein.

Zur Vermeidung von manuellen Fehlerfassungen sind unabhängige Protokolle betreffend die Stationierung (Instrumentenhöhen, Meteo, Geräteeinstellungen etc.) und die Punktsignalisierung (Signalhöhen und Exzentrizitäten) zu führen.

## **2.6 Berechnung**

### **2.6.1 Allgemeines**

Für die Berechnung ergeben sich in Abhängigkeit vom Bezugsrahmen (LV03/LN02 oder LV95/LHN95), in welchem gearbeitet wird, erhebliche Unterschiede. Ebenfalls von Bedeutung ist der Zustand der Amtlichen Vermessung.

Ziel der Berechnung ist es, die Lagekoordinaten und Höhen der Punkte zu erhalten und den Nachweis zu erbringen, dass die in der TVAV gestellten Anforderungen bezüglich Genauigkeit und Zuverlässigkeit erfüllt sind.

Die Netze werden nach der Methode der kleinsten Quadrate in einem Guss mit Ausgleichungsprogrammen berechnet, welche die Anforderungen gemäss TVAV belegen. Als unbekannte Parameter werden die Lagekoordinaten und Höhen der Neupunkte und eventuell der Anschlusspunkte angesetzt. Als Beobachtungen werden die je nach Methode erhobenen Messelemente eingesetzt.

Der Gesamtausgleichung liegt in der Regel ein vereinfachtes mathematisches Modell zugrunde, bei dem Koordinaten nach Lage und Höhe getrennt ausgeglichen und Lotabweichungen und Azimutreduktionen vernachlässigt werden. Bei klassischen LFP2-Netzen im Berggebiet empfiehlt es sich hingegen, die Lotabweichungen zu berücksichtigen, da damit die Qualität der Lagekoordinaten und Höhen verbessert wird.

Mit geeigneten Berechnungsalgorithmen werden die Messungen geprüft und zu definitiven Lagekoordinaten und/oder Höhen mit den zugehörigen statistischen Qualitätsindikatoren verarbeitet.

Die Messmethode bestimmt hauptsächlich diesen Arbeitsablauf, vor allem aber die vorbereitenden Berechnungen wie Transformationen von Koordinaten, Auswertung der GNSS-Rohmessungen, Stationsausgleichungen, Reduktionen von Distanzen und Berechnung von Höhendifferenzen. Konkrete Hinweise dazu sind im Kapitel 4 unter den Messmethoden angegeben.

In diesem Kapitel wird also der allgemeine Berechnungsablauf für die Bestimmung von Koordinaten und Höhen im offiziellen Bezugsrahmen behandelt. Dieser Ablauf gilt grundsätzlich für alle Messmethoden wie auch für kombinierte Verfahren.

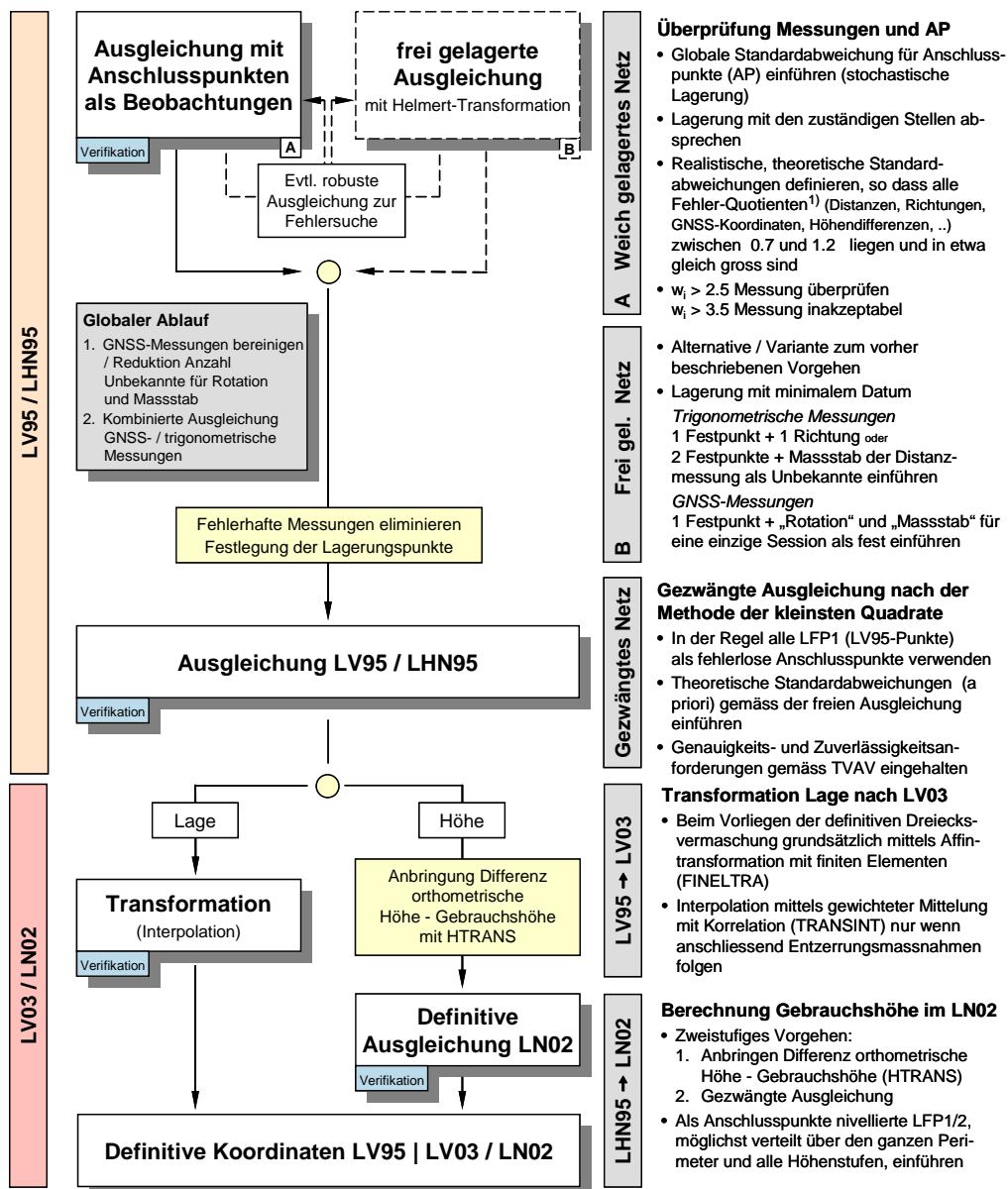


Abb. 2-1: Berechnungsablauf Ausgleichung / Transformation

## 2.6.2 Stochastisches Modell

Das stochastische Modell umfasst die Annahme der theoretischen Standardabweichungen (a priori) an den Beobachtungen, einen Algorithmus für die Entdeckung von lokalen groben Fehlern sowie die Korrelationen zwischen den Beobachtungen. Bei LFP2- und LFP3-Netzen werden die Korrelationen nur teilweise berücksichtigt. Es ist aber äusserst wichtig, dass die Standardabweichungen der Beobachtungen entsprechend der erreichbaren Genauigkeit der Messgeräte angesetzt werden. Bei einer adäquaten Wahl ergibt der Quotient<sup>1</sup> aus theoretischer und empirischer Standardabweichung (m.F. a priori und m.F. a posteriori) der einzelnen Beobachtungsgruppen einen Wert zwischen 0.7 und 1.2. Dabei ist auch zu beachten, dass die Homogenität unter den verschiedenen Beobachtungsgruppen richtig beurteilt wird. Nur so ergeben die statistischen Indikatoren aussagekräftige Werte.

Die Lagekoordinaten und Höhen der Anschlusspunkte werden für die definitive Berechnung als fehlerfrei angenommen.

<sup>1</sup> In LTOP wird der lineare Fehlerquotient angegeben; dies würde gemäss Chi\_Quadrat-Test dem quadrierten Quotienten mit einem Wert zwischen 0.5 und 1.5 entsprechen.

### 2.6.3 Präanalyse / A priori Berechnung

Bei grösseren oder komplexen LFP2-Netzen kann eine a priori Berechnung durchgeführt werden, um damit das Netz zu optimieren. Dafür müssen realistische Genauigkeitsannahmen gewählt werden. Auch muss bereits ein Netzentwurf zur Verfügung stehen. Dabei lohnt es sich, im ersten Netzentwurf nur ein Minimum an Messungen einzuführen und anhand der Zuverlässigkeitsindikatoren die Beobachtungsanzahl für die Punktbestimmung zu erhöhen oder anzupassen. Es erweist sich als einfacher, bei Schwächen Messungen beizufügen als bei grosser Überbestimmung solche zu streichen. Man muss sich aber bewusst sein, dass bei fehlenden direkten Messungen zwischen Nachbarpunkten die Schwächen in den Nachbarbeziehungen nicht automatisch entdeckt werden können. Dafür bedarf es nach wie vor der gründlichen visuellen Kontrolle des Netzplanes.

### 2.6.4 Vorbereitende Berechnungen

Bei der elektronischen Feldbuchführung und bei der automatischen Registrierung werden die Messungen protokolliert und kontrolliert. Anschliessend müssen die Messungen bereinigt (z.B. Punktverwechslungen) und in den Messprotokollen stationsweise ausgedruckt werden. Anhand dieses Ausdruckes muss geprüft werden, ob die Messtoleranzen eingehalten und die Daten richtig und vollständig übertragen worden sind.

Bei der manuellen Erhebung der Messungen werden zuerst alle Messprotokolle kontrolliert und bereinigt. Sämtliche Mittelbildungen, Satzreduktionen und Fehlerrechnungen müssen nachgerechnet werden. Alle Angaben und Werte, welche in die Berechnung übertragen werden, sollen in geeigneter Weise hervorgehoben werden. Exzentrisch beobachtete Elemente sollen ohne vorgängige Zentrierungen (mit entsprechender Anpassung der Standardabweichungen) in die Berechnung eingeführt werden.

Die Näherungskordinaten und -höhen werden konventionell oder automatisch berechnet. Zur Erleichterung der Suche von groben Mess- und Identifikationsfehlern ist es ratsam, dass diese Lagekoordinaten und Höhen schon auf wenige cm genau bestimmt werden.

Wenn sämtliche Vorbereitungen abgeschlossen sind, sollen mit allen betroffenen Punkten als Festpunkte provisorische Abrisse berechnet werden. Diese dienen dazu, grobe Fehler zu entdecken, bevor eine eigentliche Ausgleichung berechnet wird. Das ungünstige Zusammenwirken von mehreren Fehlern kann nämlich die Ausgleichung so verfälschen, dass die wirklichen Fehler auch mit einer robusten Ausgleichung nicht mehr lokalisiert werden können. In dieser Phase ist auch die Kontrolle auf Vollständigkeit der übertragenen Daten durchzuführen.

### 2.6.5 Ausgleichung zur Beurteilung der Messungen und Netzlagerung

Zur gründlichen Beurteilung der Messqualität und der Anschlusspunkte dient die *weich gelagerte Ausgleichung* im Bezugsrahmen LV95 / LHN95 mit den Koordinaten der Anschlusspunkte als Beobachtungen (Variante A) oder eine *freie Ausgleichung* mit anschliessender *Helmert-Transformation* (Variante B). Es muss nachgewiesen werden, dass keine *groben* Fehler in den Messungen vorkommen. Ebenso müssen die bestehenden Zwänge zwischen den Anschlusspunkten aufgedeckt und beurteilt werden können. Diese Berechnung ist Bestandteil der Schlussdokumentation.

#### 2.6.5.1 Variante A: Weich gelagertes Netz

*Robuste, weich gelagerte Ausgleichung:* Mit diesem Berechnungsschritt wird die Lokalisierung von vermutlichen Messfehlern und Fehlern in den Anschlusspunkten bezweckt. Eine Beobachtung mit grosser Verbesserung wird für die nächste Iteration mit einer grossen Standardabweichung versehen und markiert, so dass der nächst folgende Ausgleichungsschritt nicht mehr verfälscht wird. Da die **Anschlusspunktkoordinaten ebenfalls als Beobachtungen** betrachtet werden, entspricht dies einer frei gelagerten Ausgleichung, sofern die Standardabweichung der Anschlusspunkte genügend "weich" angesetzt wurde (LV03: min. 5 bis 10 cm / LV95: 2 bis max. 5 cm). Damit können die Fehler ohne den Einfluss von allfälligen Zwängen unter den Anschlusspunkten lokalisiert werden.

Die hier markierten Beobachtungen sind zu untersuchen. Anschliessend muss eine oder mehrere der folgenden Massnahmen getroffen werden:

- Fehlerbehebungen in den Messungen
- Elimination der Messungen und bei Bedarf Nachmessung(en)

- Ein "Herabgewichten" einer einzelnen Messung durch die Einführung einer höheren theoretischen Standardabweichung (a priori) ist nur in begründeten Fällen zulässig. Die Erklärung dazu ist im Bericht festzuhalten.

*Nicht robuste, weich gelagerte Ausgleichung:* Die Berechnung sollte frei sein von groben Fehlern und gibt einen Einblick in die erreichte Qualität der Messungen. Indem nun die Verbesserungen an den Lagekoordinaten und Höhen der Anschlusspunkte graphisch dargestellt und analysiert werden, kann die definitive Wahl der Netzlagerung getroffen werden.

### 2.6.5.2 Variante B: Frei gelagertes Netz mit Transformation

*Frei gelagertes Netz:* Von einem frei gelagerten Netz ist die Rede, wenn für die Punktberechnung, ausgehend von den bekannten Anschlusspunkten, nur gerade die minimalste Lagerung eingeführt wird (z.B. 1 Punkt mit einer Orientierung ohne Massstabsunbekannte, 2 Punkte als Festpunkte in einem reinen Richtungsnetz, oder 1 Höhenfestpunkt in einem Höhennetz).

In einem frei gelagerten Netz wird wie in Variante A zuerst die Qualität der Messungen untersucht, weil diese hier noch von den äusseren Zwängen in den Anschlusspunkten weitgehend befreit sind. Es wird ebenfalls empfohlen, in einem ersten Schritt robust auszugleichen, bis die Ursachen allfälliger Messfehler gefunden sind. Die Resultate der frei gelagerten Ausgleichung dienen nun als Grundlage für die anschliessende Helmert-Transformation in die bestehenden Anschlusspunkte.

*Helmert-Transformation:* Diese wird für den Vergleich des neuen mit dem bestehenden Netz gebraucht, d.h. man untersucht damit die Qualität der Anschlusspunkte. Es ist darauf zu achten, dass die Passpunkte möglichst gut verteilt sind und unter sich keine grösseren Klaffungen aufweisen. Indem nun die Verbesserungen an den Lagekoordinaten der Anschlusspunkte graphisch dargestellt und analysiert werden, kann die definitive Wahl der Netzlagerung getroffen werden.

### 2.6.6 Beurteilung der Resultate

Bei der Beurteilung bilden die beiden normierten statistischen Indikatoren  $w_i$  und  $g_i$  eine sehr wertvolle Hilfe. Die *normierte Verbesserung*  $w_i$  gibt den Widerspruch der einzelnen Beobachtung unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit an. In den Abrissen sollen daher nicht die Messungen mit den grössten  $v_i$ , sondern jene mit den grössten  $w_i$  untersucht werden. Unter den Annahmen, dass das Risiko für Fehler 1. Art ca. 1% und für Fehler 2. Art ca. 5% beträgt, und dass lokal nur ein grober Messfehler vorliegt, kann  $w_i$  wie folgt beurteilt werden:

$$\begin{aligned} w_i > 2.5 & \implies \text{Messung auf Unstimmigkeit untersuchen} \\ w_i > 3.5 & \implies \text{Messung darf nicht mehr akzeptiert werden} \end{aligned}$$

Der *Indikator*  $g_i$  ist der Quotient der normierten Verbesserung  $w_i$  durch den lokalen Zuverlässigkeitswert  $z_i$ . Er zeigt die *Grösse des vermutlichen Fehlers* an der  $i$ -ten Beobachtung an. Für Distanzen, Höhendifferenzen, Lagekoordinaten und Höhen wird er in Millimeter angegeben, für Richtungen in neuen Sekunden. Wie schon beim stochastischen Modell erwähnt, müssen die theoretischen Standardabweichungen (a priori) realistisch gewählt werden, da sonst die  $w_i$  und  $g_i$  zu Fehlinterpretationen führen würden.

Ein grober Messfehler bewirkt infolge Korrelation der Beobachtungen durch die Ausgleichung grosse  $w_i$  auf mehreren Messungen. Demnach muss zuerst die Messung mit dem grössten  $w_i$  untersucht werden. Für  $w_i > 3.5$  muss die Ursache behoben werden. Gegebenenfalls sind Nachmessungen durchzuführen. Bei einer robusten Ausgleichung tritt dieser "Verschmierungsseffekt" eines groben Fehlers nicht mehr auf und die groben Fehler werden direkt lokalisiert.

Neben der Beurteilung der statistischen Indikatoren müssen die aus der weich gelagerten Ausgleichung oder aus der Transformation stammenden Verbesserungen, respektive die *Koordinatendifferenzen* zu bereits bestehenden Fixpunkten unbedingt *graphisch dargestellt* werden, um die Anschlusspunkte richtig zu analysieren. Dabei sind nicht nur die absoluten Vektoren richtig zu interpretieren, massgebend für die Zwänge unter benachbarten Punkten sind nämlich ihre Vektordifferenzen.

Aufgrund dieser Beurteilung werden die Festpunkte für die definitive Berechnung gewählt. Kann ein Anschlusspunkt nicht als Festpunkt eingeführt werden, so soll er als Neupunkt behandelt werden, sofern er geometrisch genügend zuverlässig bestimmt ist. Nach der definitiven Ausgleichung dürfen die Koordinaten aber nur dann übernommen werden, wenn sie die Kriterien bezüglich Nachbargenauigkeit und Zuverlässigkeit erfüllen. Liegt keine genügende Bestimmung vor, werden solche Punkte als Festpunkte eingeführt und die

theoretischen Standardabweichungen (a priori) der betroffenen Beobachtungen werden entsprechend stark erhöht. Nach Möglichkeit sollten aber derart zwingende Anschlusspunkte bereinigt werden.

## 2.6.7 Definitive Berechnung im Bezugsrahmen LV03/LN02

Grundsätzlich wird empfohlen, im Bezugsrahmen LV95/LHN95 zu messen und auszugleichen.

Alle TSP2 verfügen über gemessene LV95-Koordinaten, nicht aber alle LFP2 (teilweise nur transformierte Werte). In erster Linie sollte in LV95 an (gemessene) TSP1 oder TSP2 angeschlossen werden. Wird ausnahmsweise an einen "alten" LFP2 oder einen Kontrollpunkt angeschlossen, so sind immer die transformierten Koordinaten LV03 → LV95 als Anschlusspunkt-Koordinaten zu verwenden.

Erst anschliessend werden die Lagekoordinaten in den Bezugsrahmen LV03 transformiert und nach dem Anbringen der LN02-Verzerrung (HTRANS) die definitiven Gebrauchshöhen LN02 in einer gezwängten Ausgleichung bestimmt (vgl. Kapitel 4.1.8.5). Die Wahl der Festpunkte kann je nach Bezugsrahmen unterschiedlich sein (z.B. LN02: Lagerung nur auf nivellierten Höhen). Es ist darauf zu achten, dass keinesfalls orthometrische Höhen (Bezugsrahmen LHN95) in die offiziellen Koordinatenverzeichnisse einfließen.

Nach erfolgter Beurteilung der Messresultate und der Netzlagerung wird die definitive Berechnung durchgeführt. Sie liefert diejenigen Resultate, welche in die offiziellen Akten übernommen werden (einstweilen noch im Bezugsrahmen LV03/LN02, in Zukunft LV95/LN02), und sie ist der Berechnungsbeleg, welcher in den Akten aufzubewahren ist. In dieser Berechnung sind auch die im Kapitel 1.3 verlangten Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen für die Punktkoordinaten und Höhen (MFA, MFB, MFH respektive NA, NB, NH) zu erfüllen.

### 2.6.7.1 Gezwängte Ausgleichung

In der Regel wird die Berechnung für LFP2/LFP3-Netze in LV95/LN02 als gezwängte Ausgleichung durchgeführt. Die Koordinaten im Bezugsrahmen LV03 werden anschliessend mittels einer Affintransformation mit finiten Elementen bestimmt.

Im Bezugsrahmen LN02 (Gebrauchshöhen) müssen bei den Anschlusspunkten gewisse Zwänge in Kauf genommen werden. Diese Zwänge gehen voll in die Beobachtungen ein, was die Statistik natürlich verfälscht (die Festpunkte werden ja als fehlerfrei angenommen). Die dadurch leicht erhöhten Werte der  $v_i$  und  $w_i$  für die Beobachtungen dürfen hier im Gegensatz zur gezwängten Ausgleichung im Bezugsrahmen LV95/LHN95 sowie der vorhergehenden freien oder weich gelagerten Ausgleichung (LV03/LN02) akzeptiert werden, da diese Untersuchungen bereits dort gemacht wurden. Übersteigen diese Werte die doppelten theoretischen Standardabweichungen (m.F. a priori), sind trotzdem verbessernde Massnahmen einzubeziehen.

### 2.6.7.2 Transformation von LV95 nach LV03

Nach dem Vorliegen der definitiven Dreiecksvermaschungs-Datei Stufe AV erfolgt die Transformation der Lagekoordinaten LV95 ↔ LV03 grundsätzlich mit einer **affinen Transformation mit finiten Elementen (FINELTRA)**.

Die nachfolgend beschriebene **Variante Interpolation** ist im Bezugsrahmen LV03 nur noch in folgenden Fällen zulässig:

1. Die definitive Transformationsgrundlage für FINELTRA (Dreiecksvermaschungs-Datei Stufe AV) liegt noch nicht vor.
2. Die Messungen müssen in ein bestehendes Operat mit lokalen Verzerrungen eingepasst werden, bei welchem eine Entzerrung und Einpassung auf die TSP unmittelbar bevorsteht.

Bei grösseren Zwängen unter den Anschlusspunkten empfiehlt sich als Alternative zur gezwängten Ausgleichung die Methode der Interpolation, um das neu bestimmte Fixpunktnetz besser in die übergeordneten Netze einzupassen. Wichtig hierbei ist ein eindeutig nachvollziehbares Verfahren und nach Möglichkeit eine realistische Abschätzung der Punktgenauigkeit nach der Interpolation. Ferner sind die Koordinatenwerte der Anschlusspunkte nicht zu verändern, wohl sind aber die festgestellten Netzspannungen an den Anschlusspunkten vor und nach der Interpolation auszuweisen.

Die Anschlusspunkte bilden das so genannte Lokal- oder Zielsystem mit den offiziellen Landeskoordinaten. Als Globalkoordinaten im Startsystem werden die aus dem weich gelagerten Netz resultierenden Koordinaten (Variante A) behandelt. Gegebenenfalls können diese noch mittels Helmert-Transformationen (Variante B) besser an das vorliegende Punktnetz angepasst werden.

Von swisstopo wird gegenwärtig für die Nachtransformation das Programm TRANSINT empfohlen, welches nach einer gewichteten Mittelung mit Korrelation die Neupunkte interpoliert. Die Verwendung anderer Interpolationsverfahren ist zulässig, falls nachgewiesen wird, dass das Programm die gestellten Anforderungen erfüllt und keine Extrapolationen erzeugt. Ferner sollte das Programm die Berechnung der Standardabweichung der interpolierten Punkte erlauben, wobei von den Abweichungen in den Anschlusspunkten auszugehen ist.

Bei der Punktinterpolation ist es sehr wichtig, dass eine ausreichende Überbestimmung und eine gute Abdeckung des zu transformierenden Punktfeldes gegeben ist. Unbedingt zu vermeiden sind Extrapolationen.

Zur besseren Veranschaulichung wird zudem empfohlen, die Verschiebungsvektoren (lokal / global) für ein regelmässiges Gitter zu rechnen und graphisch darzustellen.

Bei der trigonometrischen Punktbestimmung und jener mit GNSS-Messungen müssen mit den definitiven interpolierten Punkten noch Abrisse zwecks Veranschaulichung der Verbesserungen an den Beobachtungen gerechnet werden, welche zusammen mit dem entsprechenden Vektorplan eine Schlussbeurteilung des Resultates erlauben und die Berechnung dokumentieren. Die Abrisse berechnen sich am einfachsten mit dem verwendeten Ausgleichungsprogramm (z.B. LTOP), indem dort alle interpolierten Punkte als Festpunkte behandelt werden.

Wie bei den Ausgleichungsprogrammen dürfen auch für die Interpolation nur solche Programme verwendet werden, welche von der Verifikationsinstanz akzeptiert worden sind.

## **2.6.8 Spezialfälle**

### **2.6.8.1 Verlegungen im Bezugsrahmen LV03/LN02**

Bei einer Verlegung werden im Bezugsrahmen LV03/LN02 die Lagekoordinaten und Höhen des verlegten Punktes aus denen des Altpunktes abgeleitet, um das Prinzip der Nachbarschaft möglichst einzuhalten. Werden Verlegungen mit einem Ausgleichungsprogramm berechnet, muss diese Bedingung berücksichtigt werden. Die Verbesserungen längs und quer zum Verlegungsvektor sollen daher weniger als 5 mm betragen.

### **2.6.8.2 Verwendung von alten Messungen**

Alte Messungen können in die Erneuerungsnetze aufgenommen werden. Dabei werden die Beobachtungen gemäss der alten Messdisposition ab den Feldbüchern erfasst. Eine bedeutende Rolle spielt hier die Abklärung der Punktidentifikation und -identität. Es ist deshalb sehr ratsam, vor der Kombination mit den neuen Messungen die alten Netze zur Kontrolle in sich auszugleichen.

## **2.6.9 Dokumentation der Berechnungen**

Eine Berechnung ist vollständig dokumentiert, wenn folgende Belege vorliegen:

- Titelblatt mit allgemeinen Angaben
- Lagekoordinaten und Höhen aller Fixpunkte mit Angabe der Elemente der Konfidenzellipsen und der Zuverlässigkeitsrechtecke für die Neupunkte sowie der Anzahl der Bestimmungselemente
- Elemente der Distanzreduktion und der Bildung der beobachteten Höhendifferenzen bei trigonometrischen Messungen
- Relative Konfidenzellipsen für eine bestimmte Auswahl von Punktpaaren
- Lage- und Höhenabrisse mit allen Messungen, deren theoretischen Standabweichungen (a priori), den Verbesserungen, statistischen Indikatoren und ausgeglichenen Werten sowie mit Hinweis auf die Messprotokolle
- Netzpläne
- Vektorpläne (vgl. Kapitel 7.3)
- Beurteilung der Anschlusspunkte

- Koordinatendifferenzen frei/weich gelagertes Netz // definitive Koordinaten bei GNSS-Netzen und der definitiven Berechnung mittels Interpolation
- Darstellung der anzubringenden Koordinatenänderung
- Matrix der GNSS-Sessionen (vgl. Kapitel 4.1.6 7)

Spezielle Angaben zur Festpunktwahl, allfälligen Eliminierung von Messungen, Gewichtsansätzen usw. sind zudem im **technischen Bericht** über die gesamte Arbeit aufzuführen.

## 2.7 Unterhalt und periodische Nachführung

Die Fixpunkte der Amtlichen Vermessung müssen periodisch begangen werden. Es ist darauf zu achten, dass bei der periodischen Nachführung grössere, geografisch zusammenhängende Gebiete als Einheit bearbeitet werden. Die Intervalle sollen sich entsprechend den Toleranzstufen (TS) richten. In TS1-Gebieten kann der Zyklus 3 Jahre betragen, in TS5-Gebieten bis 15 Jahre.

Die Aufgabe besteht vor allem im Aufrechterhalten der bestehenden Fixpunktnetze (siehe auch Kap. 2.3) unter der Berücksichtigung der folgenden Beurteilungskriterien:

- Standortwahl:** *Stabilität*  
*Zugänglichkeit*  
*Eigentumsverhältnisse (öffentlich, privat)*  
*etc.*
- Verwendung** *Stationierbarkeit*  
*GNSS-Tauglichkeit*  
*Anschlussvisuren*  
*etc.*
- Netzqualität** *Punktdichte*  
*Beziehungen zu den Nachbarpunkten*
- Kennzeichnung** *Neuzentrierung (für LFP1/2), wenn Abklärungen ergeben haben, dass der Punkt weiterhin noch als LFP1/2 benötigt wird und einer der folgenden Punkte zutrifft:*
- die Neigung der Steinoberfläche mehr als 2% beträgt;
  - der Verdacht besteht, dass die Zentrierung des Steines innerhalb von 2 cm nicht mehr garantiert ist (z.B. Wurzeldruck, Bergdruck oder andere mechanische Einflüsse);
  - bei vorgesehener Koordinatenänderung der letzte Steinsatz um mehr als 10 bis 15 Jahre zurückliegt.
- Bei dieser Neuzentrierung müssen die Exzentrizität und die Höhendifferenz der alten Steinlage gegenüber den sekundären Zeichen erhoben werden. Wird anlässlich der Begehung entschieden, dass auf eine Rückversicherung verzichtet werden kann, so muss diese in den Akten entsprechend gelöscht werden.
- Temporäre Rückversicherung:*  
Muss ein Fixpunkt, z.B. infolge von Bauarbeiten, temporär rückversichert werden, sollen mindestens zwei Zeichen vom alten Punktzentrum aus genau und zuverlässig eingemessen werden. Davon ausgehend kann schliesslich das ursprüngliche Zentrum kontrolliert oder ein neuer Fixpunkt bestimmt werden.
- Dokumentation** *Punktbeschreibung*  
*Kroki*  
*Parzellennummer*  
*evtl. Anmerkung im Grundbuch*  
*etc.*



### 3 Bezugssysteme und Transformationen

#### 3.1 Überblick

Um in der verwirrenden Vielfalt von heute gebräuchlichen Bezeichnungen zum Themenkreis Bezugssysteme etwas Ordnung zu schaffen, ist es nötig, zwischen den (eng zusammenhängenden) Begriffen "Bezugssystem" und "Bezugsrahmen" zu unterscheiden. Der Begriff **Bezugssystem** (Reference System) bezeichnet die theoretische Definition eines Koordinatensystems im Raum. Unter dem zugehörigen **Bezugsrahmen** (Reference Frame) versteht man die Realisierung dieses Systems in Form von Koordinatensätzen (und evtl. Geschwindigkeitssätzen) realer Punkte. Diese Koordinatensätze resultieren aus der Ausgleichung geodätischer Beobachtungen, womit auch schon gesagt ist, dass mit jeder Neubestimmung der Koordinatensätze ein neuer Bezugsrahmen realisiert wird.

Es würde allerdings den Rahmen sprengen, hier eine Übersicht über die verschiedenen Bezugssysteme/-rahmen und deren Zusammenhänge zu geben. Deshalb wird dazu auf folgende Publikationen verwiesen:

- swisstopo TB 99-20: Bezugssysteme in der Praxis [Urs Marti / Dieter Egger 1999]
- Berichte aus der L+T Nr. 8: Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95  
Teil 3: Terrestrische Bezugssystem und Bezugsrahmen [swisstopo 2001]
- Leitfaden für die Anwendung geometrischer Transformationen in der AV [V+D 2003]
- Merkblatt für Höhenbestimmungen  
mit GPS in der Amtlichen Vermessung [swisstopo 2004]

Die für die Behandlung der GNSS-Messungen notwendigen **Bezugssysteme und -rahmen in der Schweiz** sind hier kurz zusammengefasst:

| System  | Rahmen            | Ellipsoid   | Kartenprojektion                          |
|---------|-------------------|-------------|---|
| ETRS89  | ETRF93            | GRS80       | (UTM)                                     |
| CHTRS95 | CHTRF95   98   04 | GRS80       | (UTM, Zone 32)                            |
| CH1903  | LV03/LN02         | Bessel 1841 | schiefachsige konforme Zylinderprojektion |
| CH1903+ | LV95/LHN95        | Bessel 1841 | schiefachsige konforme Zylinderprojektion |

Beispiel des Punktes **Glarus** (1153.700):

|                |   |  |  |
|----------------|---|--|--|
| CHTRF95        | X= 4'299'912.42571m<br>L= 9° 03' 20.050970" | Y= 685'314.87312m<br>B= 47° 02' 52.320343" | Z= 4'645'809.04834m<br>Hell. = 569.311m        |
| LV95/LHN95     | N= 2'722'860.46m                            | E= 1'212'025.05m                           | Horth. = 520.773m (niv.)<br>(Hell. = 521.513m) |
| LV03/LN02      | Y= 722859.69m                               | X= 212025.34m                              | H(LN02) = 520.814m (niv.)                      |
| LV95/LN02 (AV) | N= 2'722'860.46m                            | E= 1'212'025.05m                           | H(LN02) = 520.814m (niv.)                      |

Das 3D-Bezugssystem **CHTRS95** (Swiss Terrestrial Reference System 1995) ist direkt vom europäischen Bezugssystem **ETRS89** abgeleitet und mit diesem zum Zeitpunkt 1993.0 identisch. Die bisher realisierten Referenzrahmen CHTRF95, CHTRF98 und CHTRF2004 basieren auf den geozentrischen Koordinaten der Fundamentalstation Zimmerwald in ETRF93 zur Epoche 1993.0.

Das lokale Bezugssystem **CH1903+** mit dem Referenzrahmen **LV95** (Landesvermessung 1995) ist von CHTRS95 abgeleitet. Dabei wurde darauf geachtet, dass CH1903+ möglichst gut mit dem bisherigen Referenzsystem **CH1903** übereinstimmt. Die Parameter, welche das System definieren, wurden allerdings vom heute nicht mehr verwendbaren Fundamentalpunkt (alte Sternwarte Bern) auf den neuen Fundamentalpunkt in Zimmerwald transferiert.

Die Referenzrahmen **LV03** und **LV95** unterscheiden sich wegen der in LV03 vorhandenen Verzerrungen bei den Lagekoordinaten um bis zu 1.5 Meter. Diese lokalen Verzerrungen werden durch lokale affine Transformationen mit dem Programm FINELTRA modelliert.

### 3.1.1 Verwendete Höhensysteme in der Schweiz

Das bis jetzt offizielle Höhensystem **LN02** wurde im Jahre 1902 durch die Festlegung der Meereshöhe des Repère Pierre du Niton  $H(RPN) = 373.60$  m in Genf definiert, welche aus einer Anschlussmessung an den Meerespiegel von Marseille stammt. Der gleichnamige Höhenreferenzrahmen LN02 mit den Höhen der einzelnen Höhenfixpunkten (HFP1) wurde durch reine Nivellementmessungen ohne Berücksichtigung des Schwerefeldes und durch Einzwängung in die Höhen der Knotenpunkte des Nivellement de Précision (1864 - 1891) bestimmt. Man spricht deshalb auch von Gebrauchshöhen. Kantonale und kommunale Höhenfixpunkt-netze (HFP2 und HFP3) sowie die daran anschliessende Triangulation IV. Ordnung und die Parzellarvermes-sungen der AV bilden seit Beginn des 20. Jahrhunderts die Verdichtung des Gebrauchshöhenrahmens LN02.

Das neue Höhensystem **LHN95** (Landeshöhennetz 1995) der Landesvermessung ist ein integrierender Be-standteil von CH1903+. Als Ausgangspunkt (Höhendatum) wurde der Potentialwert des Fundamentalpunktes in Zimmerwald festgelegt. Dieser Wert wurde so bestimmt, dass die orthometrische Höhe des Repère Pierre du Niton (RPN) den alten Betrag des LN02 von 373.60 m erreicht. Die Höhen des neuen Höhenreferenz-rahmens LHN95 werden aus einer kinematischen Netzausgleichung der Landesnivellementmessungen unter Berücksichtigung von Schwere-messungen sowie durch Einbezug von beobachteten ellipsoidischen Höhen-differenzen (GPS) unter Berücksichtigung des neuen Geoidmodells (CHGeo2004) bestimmt. Die Fixpunkte (HFP1) der beiden Höhenrahmen LN02 und LHN95 sind identisch. An den Benutzer werden aus den Potentialwerten berechnete orthometrische Höhen abgegeben.

In der Amtlichen Vermessung wird das Höhensystem LHN95 mit den streng orthometrischen Höhen nicht verwendet. **Es sind immer Gebrauchshöhen im Bezugsrahmen LN02 zu verwenden**, beziehungs-weise aus den orthometrischen Höhen korrekt abzuleiten.

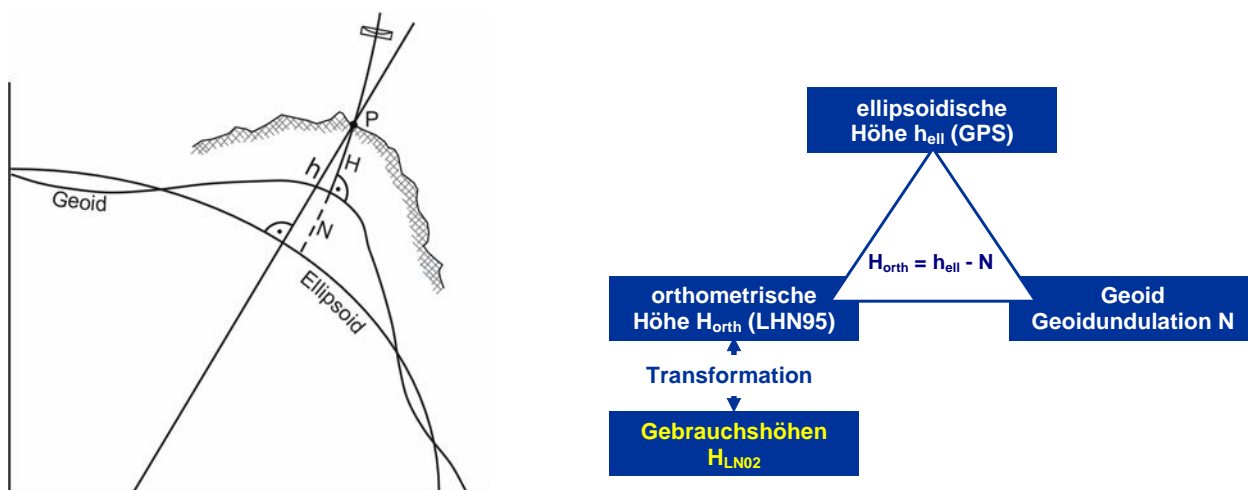


Abb. 3-1 und Abb. 3-2: Zusammenhang zwischen den Höhensystemen

Die Beziehung zwischen den orthometrischen Höhen von LHN95 mit den in CH1903+ berechneten ellipsoi-dischen Höhen wird durch das neue Geoidmodell **CHGeo2004** hergestellt.

Die Höhen LN02 und LHN95 unterscheiden sich schweizweit von -20 cm bis +65 cm. Die Unterschiede aufgrund der nicht berücksichtigten Schwere und der Alpenhebung sowie den Verzerrungen in LN02 können mit dem Programm HTRANS approximiert werden (s. Kapitel 3.4).

### 3.1.2 Zukünftiger offizieller Bezugsrahmen der Schweiz

Gemäss der Strategie der "Amtlichen Vermessung für die Jahre 2004 - 2007" soll in der Lage die gesamte Amtliche Vermessung und damit auch alle anderen Geodaten mittelfristig von LV03 auf LV95 umgestellt werden. Während einer Übergangszeit können Daten in beiden Bezugsrahmen bezogen werden, wobei die Transformation mit FINELTRA über die sowohl in LV03 als auch in LV95 bestimmten Transformationsstütz-punkte (TSP) erfolgt.

Für die Höhe wird in der Amtlichen Vermessung weiterhin der bestehende Höhenreferenzrahmen LN02 verwendet, was bei GNSS-Höhenbestimmungen zu Genauigkeitsverlusten führt.

## 3.2 Transformationsparameter CHTRS95/ETRS89 ↔ CH1903(+)

### 3.2.1 LV95-Parametern

Bei den LV95-Parametern handelt es sich um die seit 1997 verwendeten Werte zur Transformation zwischen CHTRS95 und CH1903+. Sie können aber ohne Einschränkung auch für die Systeme ETRS89 und CH1903 verwendet werden. Im Fall von CH1903 ist allerdings zu beachten, dass wegen der lokalen Verzerrungen dieses Netzes die transformierten Koordinaten von den offiziellen Koordinaten **um bis zu 1.5 Meter abweichen können**.

|   |
|---|
| $X_{\text{CH1903+}} = X_{\text{CHTRS95}} - 674.374 \text{ m}$ |
| $Y_{\text{CH1903+}} = Y_{\text{CHTRS95}} - 15.056 \text{ m}$  |
| $Z_{\text{CH1903+}} = Z_{\text{CHTRS95}} - 405.346 \text{ m}$ |

**Formel 3-1:** LV95-Parameter (Drei-Parameter-Transformation)

### 3.2.2 Granit87-Parameter

Die historischen "Granit87-Parameter" (7-Parameter-Transformation) dürfen nicht mehr verwendet werden, da Sie den Datumsübergang zusammen mit den Fehlern des LV03-Bezugsrahmens abbilden. Über die ganze Schweiz gemittelte Parameter tragen dem lokalen Charakter der Verzerrungen nicht genügend Rechnung, so dass es besser ist, die beiden Aufgaben zu trennen: Nach der Datumstransformation wird der Bezug zum Bezugsrahmen in der Ausgleichung durch die Wahl der Anschlusspunkte sichergestellt. Die lokalen Verzerrungen von LV03 werden am besten durch eine Transformation oder gegebenenfalls Interpolation modelliert, die durch im Operatsgebiet liegende Passpunkte definiert wird.

## 3.3 Lagetransformationen zwischen den lokalen Bezugsrahmen LV03 und LV95

Für die direkte Transformation zwischen den lokalen Bezugsrahmen LV03 und LV95 (alte und neue Landesvermessung) steht das Programm **FINELTRA** von swisstopo zur Verfügung, welches eine affine Transformation über finite Elemente (Dreiecke) benutzt, um die lokalen Verzerrungen von LV03 gegenüber LV95 zu modellieren. Die Genauigkeit der Transformation ist unter anderem abhängig von der Qualität der Transformationsstützpunkte (TSP) und der Dichte der Dreiecksvermaschung. Detailliertere Angaben zu FINELTRA sind im [swisstopo Manual 06, FINELTRA, Februar 2003] publiziert.

Mit der Strategie der AV wird das Werkzeug für den Übergang LV03 ↔ LV95 (definitive Dreiecksvermaschung in FINELTRA) durch die Kantone so vorbereitet, dass die Daten der AV in beiden Bezugsrahmen bereitgestellt werden können. Dadurch steigt die Qualität der Transformation mit FINELTRA wesentlich, sodass im neuen Bezugsrahmen LV95 eine absolute Genauigkeit (Standardabweichung / m.F. bezüglich eines beliebigen Punktes der Schweiz im Bezugsrahmen LV95) auf wenige Zentimeter erreicht werden kann.

## 3.4 Höhentransformation zwischen LN02 und LHN95

Für den Übergang zwischen den Höhenbezugsrahmen LN02 und LHN95 steht ab 2005 ein ähnliches Werkzeug zur Verfügung. swisstopo hat das Programm **HTRANS** realisiert, welches die Umrechnung von LN02 in LHN95 und umgekehrt ermöglicht. Die Theorie, welche hinter den Anwendungen steckt, wurde bereits in -diversen Artikeln der Fachzeitschrift Geomatik Schweiz vorgestellt (1/2002 und 8/2005).

Die Transformation basiert auf den Berechnungen von LHN95, den Auswertungen des Landesnivellements LN02, wenigen integrierten HFP2-Linien und ausgewählten Anschlüssen an das GPS-Landesnetz LV95. Tests auf kantonalen HFP2-Netzen in flachem und hügeligem Gelände haben gezeigt, dass die Transformation mit einer absoluten Genauigkeit von 1 - 2 cm (Standardabweichung / m.F. bezüglich eines beliebigen Punktes der Schweiz im Bezugsrahmen LHN95) durchgeführt werden kann, wobei die Nachbargenauigkeit zwischen den Punkten bedeutend höher ist. Tests auf LFP2-Netzen zeigen eher ein zwiespältiges Bild. Die verbleibenden Residuen (cm - dm) sind oft eine Folge von Schwachstellen in der Höhenbestimmung bestehender LFP-

Netze. Zurzeit wird deshalb darauf verzichtet, LFP2-Höhen in HTRANS als Stützwerte einzuführen. Bei der Herleitung von LN02-Höhen mit GNSS-Messungen für die Fixpunkte der Amtlichen Vermessung ist eine nachfolgende lokale Einpassung mittels einer gezwängten Ausgleichung nach wie vor notwendig.

Details speziell für die Höhenbestimmung mit GNSS sind auch in einem separaten "Merkblatt für Höhenbestimmungen mit GPS in der Amtlichen Vermessung" vom Januar 2004 genauer beschrieben.

## **4 Methoden**

Im Folgenden werden methodenabhängige Anhaltspunkte und Empfehlungen für die Fixpunktbestimmung abgegeben. Allgemein gültige Regeln oder Kriterien, die methodenunabhängig oder auch für kombinierte Punktbestimmungen gelten, sind in den vorherigen Kapiteln bereits behandelt worden.

### **4.1 Global Navigation Satellite System (GNSS)**

#### **4.1.1 Einleitung**

Global Navigation Satellite System (GNSS) umfasst als Oberbegriff die bestehenden Radionavigationssysteme Global Positioning System (GPS) und Global Navigation Satellite System (GLONASS), sowie zukünftige Systeme wie z.B. das europäische Galileo.

Das amerikanische GPS und das russische GLONASS funktionieren nach demselben Grundprinzip, indem aus den Laufzeitmessungen von mindestens 4 Satelliten die 3D-Position des Benutzers auf wenige Meter genau bestimmt werden kann. Durch Messungen an den Trägerphasen, durch die differentielle Messanordnung bezüglich eines Referenzpunktes und durch entsprechende Auswerteverfahren kann die Genauigkeit der Positionsbestimmung in den Zentimeterbereich gesteigert werden. Für den Empfang der Signale stehen heute entweder reine GPS- oder aber kombinierte GPS/GLONASS-Empfänger zur Verfügung.

Die zukünftige Entwicklung von GNSS besteht einerseits im amerikanischen "GPS Modernization Program", welches die Einführung neuer ziviler GPS-Frequenzen ab ca. 2006 vorsieht und andererseits im Aufbau des europäischen Satellitensystems Galileo, welches im Zeitraum 2008 - 2010 seinen Betrieb aufnehmen soll. Durch die Kombination von GPS mit Galileo wird sich die Anzahl der verfügbaren Satelliten vergrössern und die Einführung neuer Frequenzen wird zu einer rascheren und noch zuverlässigeren Lösung der Phasenmehrdigkeiten und damit höherer Koordinatengenauigkeit führen.

Mit der Neuen Landesvermessung LV95 und dem Aufbau der 29 GPS-Permanentstationen des Automatischen GPS-Netz Schweiz (AGNES) sind in der Schweiz die Grundlagen für eine moderne satellitengestützte Vermessung vorhanden. Basierend auf den GNSS-Permanentnetzen des Bundes und privater Anbieter wurden in der Schweiz in den Jahren 1999 - 2002 Positionierungsdienste aufgebaut, welche die Bestimmung von GNSS-Positionen in Echtzeit erlauben. Bei der Verwendung von AGNES, welches Bestandteil von LV95 ist, wird durch swisstopo sichergestellt, dass der Benutzer im Modus RTK-VRS im offiziellen Bezugsrahmen der Schweiz misst. Bei der Benutzung eines anderen Positionierungsdienstes ist durch den Anwender selber nachzuweisen, dass die Messungen und Resultate im richtigen Bezugsrahmen vorliegen.

Die neue satellitengestützte Landesvermessung basiert auf dem neuen Bezugssystem CHTRS95 (global) bzw. CH-1903+ (lokal). Der Koordinatenrahmen LV95 zeichnet sich durch eine hohe und vor allem homogene Genauigkeit aus (Standardabweichung / m.F. bezüglich eines beliebigen Punktes der Schweiz im Bezugsrahmen LV95 resp. LHN95), welche landesweit in der Lage unter 1 cm, in der Höhe bei ca. 2 cm liegt und langfristig aufrecht erhalten wird.

### 4.1.2 GNSS-Messmethoden im Überblick

Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die GNSS-Messmethoden. Die Messzeiten und Genauigkeiten sind als grobe Richtwerte innerhalb des Bearbeitungsperimeters gedacht. Die Kolonne "Anwendung" ist als Hinweis zu betrachten, wofür die einzelnen GNSS-Messmethoden geeignet sind:

| Netzanlage                                   | Messanordnung  | Session   | Auswerteverfahren  | Basislinien [km]           | Messdauer [min   h]          | Genauigkeit der Basislinien [1 Sigma]                      | Anwendung  |
|--|--|---|--|----------------------------|------------------------------|--|--|
| Netz   | n-Eck mit simultanen betriebenen GNSS-Empfängern               | Dauer der simultanen Datenerfassung                     | Post-processing [Static]   | 0 - 60                     | 1 - 24h                      | Lage 5 - 10mm<br>Höhe 10 - 15mm                            | LFP1<br>Haupt- und Spezialpunkte<br>HFP in Ausnahmefällen<br>Ermessung von permanenten Referenzstationen |
| Referenzstation temporär                     | Polar bezüglich einer Referenzstation ("Stem")                 | Dauer des Betriebs der Referenzstation                  | Post-processing [Rapid / Fast Static]                            | 0 - 30                     | 5- 15min                     | Lage 1 - 2cm<br>Höhe 2 - 3cm                               | LFP2, TSP  |
| Referenzstation permanent                    |  | Dauer zwischen zwei Kontrollen der Referenzkoordinaten* | Real-time [RTK-LRS]  | 0 - 20                     | einige Minuten               | Lage 2cm<br>Höhe 4cm                                       | LFP2, LFP3, TSP, Kontrollpunkte  |
| Referenzstationsnetz (Positionierungsdienst) | Polar bezüglich der n umliegenden Stationen des Referenznetzes | Dauer unbegrenzt*                                       | Post-processing VRS [Rapid / Fast Static]<br>Real-time [RTK-VRS] | 0 - 30<br>Keine Begrenzung | 10 - 15min<br>einige Minuten | Lage 1 - 2cm<br>Höhe 2 - 3cm<br>Lage 2 cm**<br>Höhe 4 cm** | LFP2, TSP<br>LFP2, LFP3, TSP, Kontrollpunkte   |

\* Beim Begriff der Session sind die GNSS-technologischen und die ausgleichungstechnischen Bedeutungen zu unterscheiden (vgl. Kapitel 4.1.7)

\*\* Genauigkeit innerhalb des Perimeters des GNSS-Permanentstations-Netzes. Bei Extrapolation kann die Genauigkeit vor allem in der Höhe schlechter sein.

**Tab. 4-1:** GNSS-Messmethoden

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Auswerteverfahren, welche heute zur Anwendung kommen können, detailliert erläutert. Allfällige weitere Messmodi sind in Absprache mit den Verifikationsinstanz erlaubt, sofern damit die Anforderungen an die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit erfüllt werden ("Methodenfreiheit").

#### 4.1.2.1 Static

Diese Messmethode wird für Anwendungen höchster Genauigkeit eingesetzt.

Die Länge der Basislinien liegt im Bereich von 0 - 60 km, die Messzeiten können zwischen 1 und 24 Stunden liegen. Die Auswertung erfolgt im post-processing bezüglich einer oder mehreren lokalen Referenzstationen, einer oder mehreren Stationen eines Permanentnetzes bzw. einer virtuellen Referenzstation (VRS). Die erreichbaren Genauigkeiten liegen im Bereich von < 1 cm (Lage) und < 2 cm (Höhe) und sind bei langen Beobachtungszeiten (> 12 Stunden) fast unabhängig von der Basislinienlänge. Nur bei sehr kurzen Basislinien (< 3km) ist diese Genauigkeit auch bei einer kürzeren Beobachtungszeit (1 - 3 Stunden) zu erzielen. Generell gelten kurze Beobachtungszeiten nur für kurze Basislinien.

#### 4.1.2.2 Rapid / Fast Static

Messmethode für mittlere Genauigkeitsansprüche.

Die Länge der Basislinien liegt im Bereich von 0 - 30 km, die Messzeiten können zwischen 5 und 15 Minuten liegen. Die Auswertung erfolgt im post-processing bezüglich einer lokalen Referenzstation, bezüglich einer Station eines Permanentnetzes bzw. bezüglich einer virtuellen Referenzstation (VRS). Die erreichbaren Genauigkeiten liegen im Bereich von 1 - 2 cm (Lage) und 2 - 3 cm (Höhe). Die Beobachtungszeiten sollten im Vergleich zu RTK-LRS (vgl. Kapitel 4.1.2.3) etwas länger sein, da die Ausgleichsalgorithmen der GPS Softwarepakete im post-processing etwas "strenger" eingestellt sind und eine Mehrdeutigkeitslösung mit einem längeren Beobachtungsintervall sicherer ist.

### 4.1.2.3 RTK mit lokaler Referenzstation (RTK-LRS)

Die erreichbaren Genauigkeiten (Standardabweichung / m.F. bezüglich eines beliebigen Punktes der Schweiz im Bezugsrahmen LV95 resp. LHN95) liegen im Bereich von < 2 cm (Lage) und < 4 cm (Höhe).

Real-time Kinematic (RTK) Messungen bezüglich einer lokalen Referenzstation (LRS) stellen das "klassische" Verfahren der RTK-Messungen dar.

Bei den lokalen Referenzstationen kann es sich um temporäre oder permanente Referenzstationen handeln. Temporäre Referenzstationen werden für die Dauer der Messungen auf einem LFP aufgestellt, permanente Referenzstationen werden fix z.B. auf Bürogebäuden installiert. In beiden Fällen ist eine periodische Überprüfung der Stabilität der Referenzstation sicherzustellen (vgl. Kapitel 4.1.6).

Die theoretische maximale RTK-Einsatzdistanz ist abhängig von der Satellitenkonstellation und von den ionosphärischen Bedingungen. Die Aktivität der Ionosphäre ist an den 11-jährigen Sonnenzyklus gekoppelt: Eine hohe Sonnenaktivität führt zu einem hohen Elektronengehalt in der Atmosphäre und zu kurzperiodischen Schwankungen in der Ionosphäre, welche die Auflösung der Phasenmehrdeutigkeiten behindern oder verunmöglichen können (d.h. lange Initialisierungszeiten bzw. keine Initialisierung möglich). Das letzte Sonnenfleckenmaximum war im Jahr 2001.

Die Messzeiten (inkl. Verbindungsaufbau und Initialisierung) betragen typischerweise 1-2 Minuten pro Punkt.

### 4.1.2.4 RTK mit virtuellen Referenzstationen (RTK-VRS)

Die erreichbaren Genauigkeiten (Standardabweichung / m.F. bezüglich eines beliebigen Punktes der Schweiz im Bezugsrahmen LV95 resp. LHN95) liegen im Bereich von < 2 cm (Lage) und < 4cm (Höhe).

In Referenzstationsnetzen können RTK-Messungen nach der Methode der virtuellen Referenzstation (VRS) durchgeführt werden. Voraussetzung dazu ist, dass die GNSS-Referenzstationen untereinander vernetzt sind und dass die Daten in einer Zentrale in Echtzeit ausgewertet und dem Benutzer zur Verfügung gestellt werden können.

Bei der VRS-Methode werden aus den Daten umliegender Referenzstationen GNSS-Messungen für den aktuellen Standort des Benutzers interpoliert. Diese interpolierten Daten entsprechen im wesentlichen den Daten, die an der Benutzerposition effektiv gemessen worden wären, falls sich dort eine GNSS-Referenzstation befunden hätte. Trotzdem kann auf eine Einführung der Position der VRS in die Ausgleichung verzichtet werden.

Der Einsatz von VRS erfordert eine bi-direktionale Kommunikationsverbindung, da die Näherungsposition des Benutzers zuerst in die Zentrale übertragen werden muss, wo die VRS-Berechnung gestartet wird und anschliessend die Korrekturdaten zum Benutzer übertragen werden. In der Praxis wird hierzu vor allem Natel/GSM eingesetzt, seit Januar 2005 werden die Korrekturdaten zunehmend auch über Internet (GPRS, in Zukunft auch UMTS) bezogen.

Die Frage nach der maximalen Basislinienlänge stellt sich bei der VRS-Methode nicht in derselben Art und Weise wie bei RTK mit lokalen Referenzstationen: Die Qualität der Interpolation der VRS-Daten ist abhängig von der Distanz zwischen den GNSS-Referenzstationen. Für die in der Schweiz verfügbaren Netze beträgt diese ca. 50 - 70km. Die eigentliche Basislinie, welche bei VRS gemessen wird, ist sehr kurz (einige Meter) und hängt von der angegebenen Näherungsposition ab.

Die Messzeit (inkl. Verbindungsaufbau und Initialisierung) beträgt typischerweise ca. 2 Minuten, wobei zu beachten ist, dass die Einwahl in den VRS-Dienst über Natel/GSM ca. 15 Sekunden länger dauert als der Verbindungsaufbau auf eine lokale Referenzstation. Beim Verbindungsaufbau über Internet (GPRS) verkürzt sich die Einwahlzeit wesentlich.

Bei der Verwendung von Positionierungsdiensten ist darauf zu achten, ob die Messungen innerhalb oder ausserhalb des Perimeters der GNSS-Permanentstationen erfasst werden. Im ersten Fall (Interpolation) gelten die Genauigkeitsangaben in Tab. 4-1, im zweiten Fall (Extrapolation) kann die Genauigkeit schlechter sein.

Wie bei den lokalen Referenzstationen muss auch bei RTK-VRS durch den Betreiber des Positionierungsdienstes sichergestellt werden, dass seine Referenzstationen im Hinblick auf die Stabilität und zuverlässige Operabilität periodisch überprüft werden.

#### 4.1.2.5 Besondere Betrachtungen

##### 4.1.2.5.1 Basislinienlänge bei RTK-Messungen

Die maximale Einsatzdistanz wird von den Herstellern in der Regel in der Bandbreite von 20 bis 40 km angegeben. Ausführliche Testmessungen haben gezeigt, dass ab 15 bis 20 km Basislinienlänge bei RTK-LRS einerseits die Initialisierungszeiten zunehmen und andererseits erhöht sich die Anzahl der nicht mehr initialisierbaren Punkte. Aus diesem Grund ist in der Amtlichen Vermessung die Anwendung von RTK-LRS bis zu einer **Basislinienlänge von maximal 20 km** zulässig.

Die empfohlene Basislinienlänge verkürzt sich weiter, wenn

- zwischen der Referenzstation und dem Rover eine grosse Höhendifferenz ( $> 500$  m) besteht
- infolge der Abdeckungen mit der Referenzstation und dem Rover unterschiedliche Satelliten gemessen werden
- eine schlechte Satellitenkonstellation vorliegt

In diesen Fällen empfiehlt es sich, gegebenenfalls auf den Messmodus RTK-VRS oder Fast / Rapid Static zu wechseln. Grobe Fehler durch Initialisierung auf falschen Mehrdeutigkeitswerten sind hingegen bei den heutigen Initialisierungsalgorithmen bei allen Herstellern selten.

Daneben hängt die Einsatzdistanz aber auch wesentlich von der verwendeten Kommunikationsverbindung zwischen Referenz und Rover ab. Bei Verwendung von Funkgeräten ist die Einsatzdistanz wegen der in der Schweiz maximal erlaubten Sendeleistungen und aufgrund der Topographie auf 5 - 10 km beschränkt. Bei der Verwendung von Natel/GSM kann, wenn der Mobiltelefon-Empfang gewährleistet ist, theoretisch die maximale Einsatzdistanz von 30 km genutzt werden.

Generell wird die höchste Zuverlässigkeit mit RTK-VRS erreicht, da die Position der VRS aus mehreren Permanentstationen abgeleitet wird. Bis etwa einer Basislinienlänge von 5 km erfolgt noch eine minimal bessere Anpassung an die lokalen Bedingungen durch RTK-LRS (insbesondere für die Höhen). Die Genauigkeitsanforderungen für Fixpunktnetze werden jedoch auch mit RTK-VRS jederzeit problemlos eingehalten.

Ab ungefähr 5 km werden die besten Resultate mit RTK-VRS erzielt, da die Genauigkeit der Positionsbestimmung und insbesondere der Höhe bei RTK-LRS mit der Basislinienlänge abnimmt (RMS Lage: 1 cm + 1ppm / Höhe 2 cm + 1ppm).

##### 4.1.2.5.2 Höhenbestimmung mit GNSS

Die GNSS-Messmethode ist grundsätzlich eine 3-dimensionale Messmethode, d.h. sie liefert neben den Lagekoordinaten auch die Höhenkomponente. Dabei gilt es aber zu beachten, dass aufgrund der Satellitengeometrie ("schleifende Schnitte") und aufgrund systematischer Fehler (Atmosphäre) die Höhe immer um einen Faktor 2-3 weniger genau bestimmt werden kann als die Lage.

Zusätzlich sind bei der Höhenbestimmung mit GNSS die folgenden Punkte zu beachten:

#### **Antennenhöhe**

Der korrekten Messung der Antennenhöhe (vgl. Kapitel 4.1.6) ist besondere Beachtung zu schenken.

#### **Phasenexzentrizitäten der GNSS-Antennen**

Die Phasenexzentrizitäten der GNSS-Antennen (d.h. die Abweichung des effektiven Empfangspunktes des GNSS-Signals vom geometrischen Zentrum der Antenne) ist für die Höhenbestimmung von grösster Wichtigkeit. Während die Exzentrizität in der Lage meistens nur im Millimeterbereich liegt, beträgt die *Exzentrizität in der Höhe einige Zentimeter!*

Durch die Wahl des gleichen GNSS-Antennentyps für Referenzstation und Rover in der Auswertesoftware werden die korrekten Werte für die Phasenexzentrizitäten automatisch mitberücksichtigt, sofern Typ und entsprechende Offsets in der Software zur Verfügung stehen (vgl. Kapitel 4.1.8.2). Besondere Beachtung ist der Wahl des Antennentyps der Referenzstation zu schenken, falls Daten von Stationen eines GNSS-Permanentnetzes benutzt werden. Der zu verwendende GNSS-Antennentyp steht im Header der RINEX-Files. Die meisten Hersteller verwenden die Kalibrierungswerte der IGS (International GPS Service) oder aber Eigenkalibrierungen, die aber mit obigen Werten kompatibel sein sollten.

### **Höhendifferenzen**

Eine Höhendifferenz zwischen Referenzstation und Rover führt aufgrund der unterschiedlichen troposphärischen Gegebenheiten der beiden Standorte (unterschiedlicher Druck, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) zu unmodellierten Restfehlern in der Höhenbestimmung. Als Faustregel kann ein Restfehler im Bereich von einigen mm pro 100 m ( $< 10 \text{ mm} / 100 \text{ m}$ ) Höhendifferenz zwischen Referenzstation und Rover<sup>2</sup> angenommen werden.

### **Lagerung**

Die Frage der Lagerung von GNSS-Höhennetzen wird im Kapitel 4.1.8.5 behandelt.

#### **4.1.3 Büroentwurf**

Die Wahl der GNSS-Messmethode erfolgt nach den jeweiligen Genauigkeitsanforderungen und den Angaben in Tab. 4-1.

Die Büroplanung muss vorsehen, dass jeder mit GNSS gemessene Neupunkt mindestens zweimal unabhängig stationiert wird, wenn die Zuverlässigkeit nicht kombiniert mit einer anderen Messmethode unter unabhängiger Stationierung nachgewiesen werden kann.

Bei der Neuerstellung und der grossflächigen Erneuerung von LFP-Netzen muss der zuständigen Verifikationsinstanz nebst den üblichen Dokumenten ein Messplan zur Genehmigung eingereicht werden. Bei kombinierten Netzen (GNSS und trigonometrische Messungen) ist zusätzlich ein Netzplan mit allen Messungen gemäss Kapitel 2.4 einzureichen, wobei hier zur besseren Übersichtlichkeit nicht mehr die Basislinien, sondern lediglich die mit GNSS stationierten Punkte bezeichnet sind.

#### **4.1.4 Rekognoszierung**

Die allgemeinen Grundsätze für die Wahl der Punktstandorte sind in Kapitel 2.3 erwähnt. Bei besonderen topografischen Schwierigkeiten kann als Notlösung mittels GNSS auch ein temporärer Hilfspunkt bestimmt werden, sofern überhaupt ergänzende trigonometrische Messungen einbezogen werden müssen.

#### **4.1.5 Definitive Aufnahmedisposition**

Der Messplan gibt in Abhängigkeit des gewählten Messmodus (Static, Rapid / Fast Static, RTK mit LRS, RTK mit VRS) an, wie die GNSS-Messungen erhoben bzw. ausgewertet werden. Normalerweise werden hierbei die gemessenen Punkte bzw. berechneten Basislinien entweder tabellarisch oder grafisch dargestellt.

Die Aufnahmedisposition ist bezüglich Messzeiten und DOP-Werten so zu treffen, dass die Auflösung der Phasen-Mehrdeutigkeiten garantiert ist. Dies ist insbesondere bei den Messungen mit kurzen Messzeiten und nachträglicher Auswertung (Rapid / Fast Static) von Bedeutung, um mögliche Fehlrechnungen zu eliminieren. Die Angaben der Gerätehersteller sind zu beachten, als Richtwerte gelten auch die Angaben in Tab. 4-1.

#### **4.1.6 Messung**

Die Messungen sind mit geodätischen GNSS-Empfängern durchzuführen. Die Rohdaten sind abzuspeichern. Lokale Referenzstationen (temporäre und permanente) sind so zu wählen, dass der Horizont möglichst offen und hindernisfrei ist. Die Gefahr von Mehrweg-Signalen (Multipath) ist zu vermeiden. Temporäre lokale Referenzstationen sind stabil aufzustellen. Die Basislinien sollen zum Rover möglichst kurz sein.

Es ist auf eine stabile Aufstellung der Antennen zu achten. Bei Messungen im Modus RTK ist zumindest ein Schnellstativ (Lotstock mit 2 Streben) zu verwenden. Die Antennenhöhe ist zweimal unabhängig zu erheben. Die Libelle muss periodisch überprüft werden.

Das Kombinieren von verschiedenen Empfänger- bzw. Antennentypen ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Falls die Kombination nicht vermieden werden kann (z.B. bei Verwendung von Daten der GNSS-Permanente Netze oder von Positionierungsdiensten) sind die verwendeten Empfänger und Antennen auf Referenzstation und Rover sorgfältig zu dokumentieren bzw. bei der real-time Messung entsprechend einzustellen.

---

<sup>2</sup> Vgl. TB 98-03 (B) "Pilotstudie LHN95-Verdichtung": Machbarkeitstests 1998 in Zusammenarbeit mit dem KVA-BE im LFP2-Netz Emmental und auf der Sekundärlinie des LN Susten



Bei RTK-Messungen und bei der Verwendung von Positionierungsdiensten ist ausserdem auf die korrekte Einstellung des verwendeten Referenzrahmens (vgl. Kapitel 4.1.8.2) zu achten und entsprechend zu dokumentieren.

Für die Messungen ist ein **Feldbuch** mit mindestens folgenden Informationen zu führen, sofern diese Informationen nicht automatisch im GNSS-Empfänger protokolliert werden:

- Verwendete(s) Transformationsparameter / Geoidmodell
- GNSS-Gerät und Antennentyp (inkl. Antennenoffsets)
- Punktnummer
- Materialisierungsart
- Datum/Uhrzeit und Messdauer
- Beobachter
- Geometrieindikatoren: DOP, PDOP oder GDOP (je nach Empfängertyp)
- Anzahl Satelliten
- Antennenhöhe
- gemessene Koordinaten und Höhe
- allfällige Bemerkungen (z.B. Zustand der Materialisierung).

Für die Messmodi RTK-LRS und RTK-VRS sind bei der Gestaltung des Messplanes zusätzlich folgende Aspekte zu berücksichtigen:

#### **RTK mit lokaler Referenzstation (RTK-LRS)**

Permanente lokale Referenzstationen sind zwingend in den Koordinatenrahmen LV95 und LV03 mit der Messmethode "Static" (Messdauer min. 12 Stunden) zu bestimmen. Vor grossen Messkampagnen bzw. mindestens einmal pro Jahr müssen sie auf ihre Stabilität überprüft werden. Dieser Stabilitätsnachweis ist der Verifikationsinstanz vorzulegen.

#### **RTK mit Virtueller Referenzstation (RTK-VRS)**

Die Höhengengenauigkeit von RTK-VRS ist für die Bestimmung von GNSS-Höhennetzen als Ersatz von Nivellementnetzen oftmals ungenügend (vor allem ausserhalb des Perimeters des Permanentnetzes und bei grossen Höhendifferenzen zu den GNSS-Permanentstationen). In diesen Fällen ist eine lokale Referenzstation zu verwenden.

### **4.1.7 Definition von Sessionen**

Als Session wird die Zusammenfassung von gemessenen Punkten bezeichnet, welche innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (z.B. eines halben oder ganzen Tages) gemessen wurden. Dabei gilt es jedoch zwei verschiedene Bedeutungen zu unterscheiden:

#### **4.1.7.1 Aus der Sicht der GNSS-Technologie**

Die Dauer, während der eine Referenzstation ununterbrochen betrieben wird.

#### **4.1.7.2 Aus der Sicht der Ausgleichsrechnung**

Koordinatensätze werden mit einer räumlichen Ähnlichkeits-Transformation (7 Parameter) ins Landessystem integriert. Die in einer Session gruppierten Punkte definieren somit einen Satz, für die in der Ausgleichsrechnung jeweils drei Translationen, eine Rotation sowie ein Massstabsfaktor (und evtl. auch noch zwei Kippungen) geschätzt werden können. Dabei dienen alle Punkte (Fest- und Neupunkte) in einem iterativen Verfahren als Passpunkte.

Die adäquate Definition von Sessionen in der Ausgleichsrechnung ist somit von der Messmethode wie auch vom Auswerteverfahren abhängig; Messungen mit unterschiedlichen Auswerteverfahren (z.B. Rapid / Fast Static gegenüber RTK) oder Empfängern sollten immer in eigenen Sessionen gruppiert werden. Bei RTK-LRS bilden die Messungen, welche sich auf dieselbe Stationierung bzw. ununterbrochenen Betrieb der Referenzstation beziehen, eine Session.

Bei der Verwendung eines Positionierungsdienstes für GNSS (RTK-VRS) sollte der Bezug zum Bezugsrahmen grundsätzlich sichergestellt sein (siehe Kapitel 4.1.1). In der Lage wäre damit eine Helmert-Transformation eigentlich gar nicht mehr nötig. Für den Höhenbezugsrahmen der Amtlichen Vermessung LN02 ist aber weiterhin eine lokale Anpassung an die umliegenden Anschlusspunkte nötig. Somit ist die Sessionsdefinition in erster Linie davon abhängig, wie oft die Möglichkeit vorhanden sein soll, eine Höhentranslation zu schätzen. Dies gilt es vor allem bei grossen Höhenunterschieden oder bei unterschiedlichen ionosphärischen Bedingungen zu berücksichtigen. Generell wird bei RTK-VRS empfohlen, die erste und die zweite Stationierung jeweils in eigenen Sessions anzuordnen sowie maximal die Anzahl Messungen von einigen Wochen in einer Session zu gruppieren.

Der Messablauf und die daraus abgeleitete Gruppierung in Sessions sind in einer Matrix zu dokumentieren. Dies kann z.B. wie folgt dargestellt werden:

| <b>Punktname</b> | <b>1. Stationierung</b><br>[Datum / Uhrzeit] | <b>Session</b><br>[Nummer] | <b>2. Stationierung</b><br>[Datum / Uhrzeit] | <b>Session</b><br>[Nummer] | <b>Bemerkungen</b> |
|------------------|--|----------------------------|--|----------------------------|--------------------|
| 10927001         | 12.10.2004 / 10.00                           | 1                          | 14.10.2004 / 14.00                           | 2                          |                    |
|                  |  |                            |  |                            |                    |

**Tab. 4-2:** Matrix der GNSS-Sessionsen

**Weiter sind folgende Aspekte bei der Bildung von Sessionsen zu berücksichtigen:**

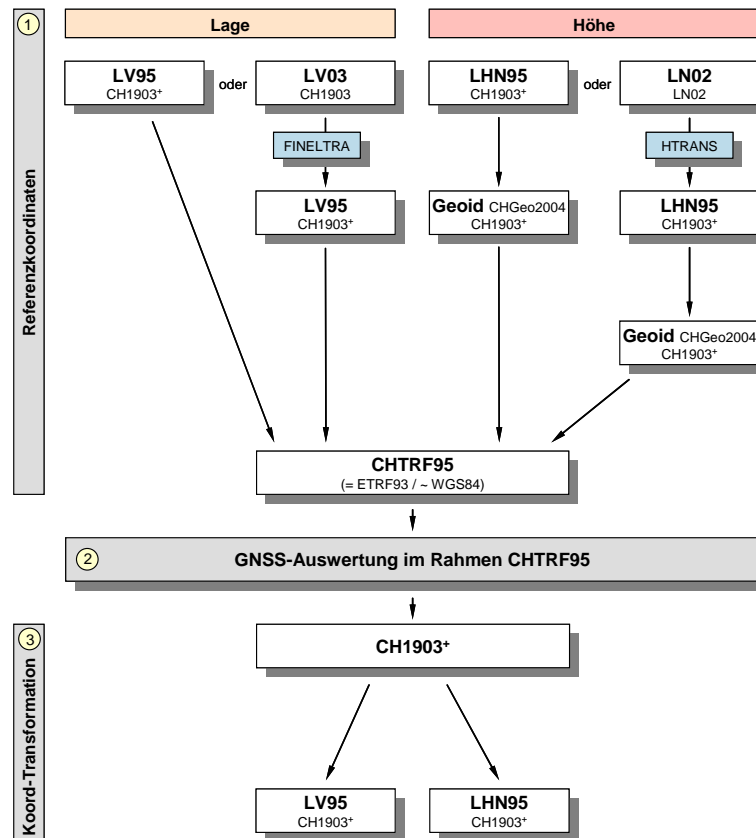
- Die verschiedenen Sessionsen sind durch mindestens 3 gemeinsam gemessene Punkte miteinander zu verknüpfen. Bei der Anwendung der Positionierungsdienste ist diese Verknüpfung über die vernetzten Permanentstationen gegeben. Als Kontrolle oder zur Erhöhung der Zuverlässigkeit wird trotzdem empfohlen, auch hier mindestens 2 Verknüpfungspunkte zu verwenden.
- Alle Neupunkte müssen zweimal unabhängig stationiert werden. Die beiden Stationierungen sollen wenn möglich bei unterschiedlichen Satellitenkonstellationen (Zeitdifferenz mindestens 1 Stunde) erfolgen. Bei temporären Referenzstationen müssen die beiden Stationierungen zusätzlich von 2 verschiedenen Referenzstationen aus erfolgen. Bei der Verwendung einer permanenten lokalen Referenzstation können beide Stationierungen bezüglich der permanenten lokalen Referenzstation erfolgen.
- Benachbarte Punkte sollen in der gleichen Session gemessen werden. Linienförmige Punktanordnungen pro Session sind zu vermeiden.

**4.1.8 Berechnung**

Grundsätzlich erfolgt die Berechnung gemäss Kapitel 2.6. Im Falle von GNSS wird nachfolgend etwas detaillierter auf die einzelnen Schritte der GNSS-Auswertung eingegangen:

1. Referenzkoordinatenberechnung in CHTRF95
2. Basislinienweise Auswertung der GNSS-Messungen und Bildung von Beobachtungssessionsen
3. Transformation der resultierenden Koordinaten von CHTRF95 in Landeskoordinaten (LV95) und ins Landeshöhennetz (LHN95)
4. Ausgleichung in LV95 / LHN95 zur Beurteilung der Messungen und der Netzlagerung
5. Definitive Berechnung in LV03 / LN02

Die Schritte 1 - 3 erfolgen in der Regel in der Auswertesoftware der GNSS-Empfängerhersteller, die beiden letzten Schritte in der Netzausgleichungs- bzw. Transformationssoftware (z.B. LTOP, FINELTRA und HTRANS von swisstopo).



**Abb. 4-1:** Berechnungsablauf GNSS-Auswertung

Der Berechnungsablauf der Ausgleichung sowie der Transformation (Schritte 4 und 5) kann der Abb. 2-1 (Kapitel 2.6.1) entnommen werden.

#### 4.1.8.1 Koordinaten der Referenzpunkte

Die Umrechnung der Koordinaten der Referenzstation vom System der Landesvermessung ins System CHTRS95 erfolgt in der Regel direkt in der Auswertesoftware. Alternativ kann die Transformation auch mit der von swisstopo entwickelten Software GPSREF / GEOREF durchgeführt werden.

Für die Umrechnung der Lage ist sicherzustellen, dass in der Auswertesoftware die Parameter gemäss den Angaben im Kapitel 3 eingestellt sind. Die Berechnung der Geoidkoten muss mit dem offiziellen Geoid der Schweiz erfolgen (zur Zeit CHGeo2004).

#### 4.1.8.2 Auswertung der GNSS-Messungen

Bei den **Messmodi Static und Fast / Rapid Static** werden die GNSS-Messungen basislinienweise mit der entsprechenden empfangerspezifischen Software ausgewertet. Hierzu reicht im Allgemeinen die Verwendung der sogenannten Broadcast-Bahnen sowie die Verwendung eines Standardmodells zur Berücksichtigung der iono- und troposphärischen Einflüsse aus (in der Schweiz wird Saastamoinen empfohlen).

Als Referenzstationen können lokale Referenzstationen (temporäre und permanente) verwendet werden. Der Anschluss an LV95 erfolgt durch den direkten Anschluss an die offiziellen LV95-Punkte oder GNSS-Permanentstationen (bzw. durch die Verwendung von virtuellen Referenzstationen (VRS), deren Daten im RINEX-Format bezogen werden können), TSPs sowie zuverlässig in LV95 integrierte LFP's. Bei der Verwendung der Daten von Permanentnetzen und von VRS-Daten ist sorgfältig auf die verwendeten Antennentypen zu achten. Die Angaben in den Headern der RINEX-Files sind in die Auswertesoftware zu übernehmen, und es ist sicherzustellen, dass kompatible Antennenphasen-Exzentrizitätswerte bei der GNSS-Auswertung verwendet werden.

Die *Auswertung der GNSS-Messungen erfolgt immer im CHTRS95 System*. Bei Verwendung der Permantennetze liegen die Koordinaten der Referenzstationen bereits im System CHTRS95 vor, bei der Verwendung lokaler Referenzstationen müssen die Koordinaten zuerst mittels der LV95-Parameter von System CH1903+ in das System CHTRS95 transformiert werden (vgl. Kapitel 3.2).

Es dürfen nur Basislinien (Koordinaten) übernommen werden, bei denen die Phasen-Mehrdeutigkeiten gelöst werden konnten. Falls notwendig, sind entsprechende Nachmessungen durchzuführen. Hierbei ist zu beachten, dass mindestens 2 bis 3 Basislinien nachgemessen werden, um eine genügende Integration ins Netz zu gewährleisten.

Die resultierenden Koordinaten müssen unter Angabe der gewählten Auswerteparameter dokumentiert und für die weitere Auswertung sessionsweise zusammengestellt werden. Als Dokumentation der GNSS-Auswertung können die Protokollausdrucke der Auswertesoftware (bei grossem Umfang auch als Dateien) verwendet werden.

**RTK-Messungen** bedürfen in der Regel im Büro keiner weiteren Bearbeitung mehr. Die Daten werden vom GNSS-Empfänger in die entsprechende Auswertesoftware übertragen. Es dürfen nur Lösungen vom Typ "fixed" übernommen werden. Die resultierenden Koordinaten sind für die weitere Auswertung sessionsweise zusammenzustellen. Für die Dokumentation sind die Protokolldateien mit den entsprechenden Qualitätsindikatoren abzulegen.

#### **4.1.8.3 Umrechnung der Koordinaten**

Die Umrechnung der GNSS-Koordinaten vom System CHTRS95 in die Systeme der Landesvermessung erfolgt in der Regel direkt in der Auswertesoftware.

Für die Umrechnung der Lage ist sicherzustellen, dass in der Auswertesoftware die Parameter gemäss den Angaben im Kapitel 3 eingestellt sind. Die Berechnung der Geoidkoten muss mit dem offiziellen Geoid der Schweiz erfolgen (CHGeo2004).

Mit diesem Vorgehen liegen nach der GNSS-Auswertung schliesslich LV95-Lagekoordinaten und LHN95-Höhen vor. Diese LV95-Koordinaten bzw. LHN95-Höhen sind zu archivieren, da sie nach dem rechnerischen Umstellung von LV03 auf LV95 zu Kontrollzwecken verwendet werden können.

#### **4.1.8.4 Ausgleichung in LV95 / LHN95 zur Beurteilung der Messungen und der Netzlagerung**

Die Lagerung dieser Ausgleichung für die Lage und die Höhe erfolgt ausschliesslich auf Punkten des GNSS-Netzes LV95. Als Messtypen von GNSS gehen Koordinatensätze (LV95/LHN95) in die Ausgleichung ein. Normalerweise bilden die Messungen einer Session einen Koordinatensatz. Das Vorgehen und die Beurteilung bei diesem Berechnungsschritt ist im Kapitel 2.6 beschrieben, weshalb hier lediglich einige GNSS-spezifische Bemerkungen ergänzt werden.

Die Beurteilung der Qualität der GNSS-Messungen ist mit grösster Sorgfalt durchzuführen. Zum Auffinden von allfälligen Ausreissern (Fehlrechnungen) sowie zur Beurteilung der Homogenität von Massstab und Orientierung der verschiedenen Koordinatensätze wird empfohlen, in einem ersten Schritt eine frei bzw. eine weich gelagerte Ausgleichung mit den GNSS-Messungen alleine durchzuführen und allfällige klassische Messungen nach deren Bereinigung in einem zweiten Schritt hinzuzufügen. Grundsätzlich sollten Massstäbe und Orientierung der verschiedenen GNSS-Koordinatensätze gegen Null tendieren (und innerhalb der Messgenauigkeit übereinstimmen), da die GNSS-Koordinaten direkt in CHTRF95 bestimmt werden. Für die folgenden Ausgleichungen sollten dann, wenn auf die Schätzung nicht gänzlich verzichtet wird (empfohlen), für alle Koordinatensätze der gleiche Massstab und die gleiche Orientierung eingeführt werden.

Weichen Massstab und Orientierung pro Session zu stark voneinander ab, ist ein Fehler in der GNSS-Auswertung (z.B. ungenaue Koordinaten der Referenzpunkte) oder ein Fehler bei der Umrechnung in Landeskoordinaten (Kapitel 4.1.8.3) zu vermuten. Stationierungen bei nicht idealen Verhältnissen (z.B. grössere Abdeckungen, Störquellen in der Nähe) müssen diesbezüglich mit besonderer Sorgfalt überprüft werden.

In der Höhenrechnung sind in der Regel keine Kippungen und kein Höhenmassstab einzuführen.

Die bereinigte frei bzw. weich gelagerte Netzberechnung gilt als Nachweis für die Qualität der GNSS-Messungen und ist deshalb zu dokumentieren.

#### **4.1.8.5 Definitive Berechnung in LV03 / LN02**

Die definitive Berechnung erfolgt nach den in Kapitel 2.6 beschriebenen Möglichkeiten. Für die optimale Einpassung von GNSS-Messungen in LV03 (Verteilung der Restklaffungen) hat sich, sofern die definitive Dreiecksvermaschung für FINELTRA noch nicht vorliegt, die Interpolation als vorteilhaft erwiesen (vgl. Kap. 2.6.7).

Für die Höhenberechnung in der Amtlichen Vermessung können die aus GNSS und Geoidmodell hergeleiteten orthometrischen Höhen LHN95 näherungsweise mit HTRANS in LN02 transformiert werden. Dadurch werden die bekannten Netzverzerrungen des Landesnivellements und vor allem ein Grossteil der höhenabhängigen Differenzen aus den Daten beseitigt, ohne die Nachbargenauigkeit aus den GNSS-Messungen wesentlich zu beeinflussen.

Die nachfolgende Einzwängung in LN02 wird insofern erleichtert, indem dank der vorgängigen Elimination von systematischen Effekten die Restklaffungen auf den bestehenden Punkten besser analysiert werden können. Für die definitive Lagerung sollten genügend homogen verteilte Anschlusspunkte auch in Bezug auf die Höhenstufen vorliegen und nach Möglichkeit nur nivellierte LFP, bzw. HFP verwendet werden.

### **4.1.9 Spezialfälle**

#### **4.1.9.1 Einführung von Koordinaten der Referenzstation**

Grundsätzlich soll die Einführung solcher Koordinaten (als "fiktive" Messung) in die Ausgleichsrechnung sehr zurückhaltend in Betracht gezogen werden. Dabei gilt es Folgendes zu beachten:

- Die Einführung von fiktiven Messungen soll nur in Erwägung gezogen werden, wenn die Referenzstation auf einem materialisierten Punkt aufgestellt wird und diese Daten auch in der Auswertung verwendet werden. Bei der Verwendung einer Virtuellen Referenzstation kann folglich generell darauf verzichtet werden.
- Bei der Verwendung einer temporären Referenz- oder lokalen Permanentstation (RTK-LRS, Fast / Rapid Static oder Static) sollten die (eingegebenen) Sollkoordinaten der Referenzstation als Messung in die entsprechende Session für die Ausgleichsrechnung eingeführt werden, da sich alle Rover-Messungen darauf beziehen und die Referenzstation damit auch als Passpunkt in der Helmert-Transformation berücksichtigt wird.

#### **4.1.9.2 Verlegungen**

Bei einer Verlegung werden die Lagekoordinaten und die Höhe des verlegten Punktes aus denjenigen des Altpunktes abgeleitet. Dieses Prinzip ist bei Verlegungen mit GNSS kaum mehr einzuhalten. Wenn nur auf dem Altpunkt und dem Neupunkt stationiert wird, werden Massstab und Orientierung des Verlegungsvektors durch die Satellitenbahnen bestimmt, da in der Ausgleichung infolge mangelnder Überbestimmung kein Massstab bzw. keine Orientierung mitgeschätzt werden kann. Wenn nun zusätzliche Anschlusspunkte stationiert werden, so können zwar lokale Orientierung und Massstab mitgeschätzt werden, doch wird dann der verlegte Punkt nicht mehr als Ableitung vom Altpunkt sondern als Einzelpunkteinschaltung berechnet. Diesem Umstand muss Rechnung getragen werden, indem die Verbesserungen des Verlegungsvektors gründlich analysiert werden.

#### **4.1.10 Dokumentation**

Die vollständige Dokumentation ist im Kapitel 6 vollumfänglich beschrieben.

Speziell für GNSS-Berechnungen sind neben den in Kapitel 2.6.9 erwähnten Belegen folgende zusätzlichen Dokumente notwendig:

- frei oder weich gelagerte Berechnung zur Beurteilung der GNSS-Messungen im Bezugsrahmen LV95 / LHN95
- Vektorplan aus den Koordinatendifferenzen frei/weich gelagertes Netz - Definitive Berechnung zur Beurteilung der Nachbarbeziehungen (Vektordifferenzen)
- Matrix der GNSS-Sessionen (vgl. Kapitel 4.1.6)

## 4.2 Trigonometrische Punktbestimmung

Das trigonometrisch zu messende Netz wird durch eine gezielte Kombination von Richtungen, Distanzen, Zenitdistanzen und Höhendifferenzen gebildet. Obwohl damit eigentlich ein dreidimensionales Punktefeld bestimmt wird, ist im Ausgleichsprozedere zumindest vorläufig noch die Berechnung nach Lage und Höhe getrennt. Mit dem Durchbruch der GNSS-Technologie wird die trigonometrische Punktbestimmung immer mehr verdrängt, sie ist aber vor allem in überbauten Gebieten für LFP3-Netze und in LFP2-Netzen für ergänzende Messungen (wie Exzentrumsbestimmungen, Verlegungen, Bestimmung von Hochzielpunkten) dennoch aktuell.

### 4.2.1 Netzentwurf

#### 4.2.1.1 Lagenetz

In reinen Trigonometrischen Netzen sind Verbindungen zwischen direkt benachbarten LFP anzustreben. In der Regel soll ein Punkt aus mindestens 6 Messelementen bestimmt werden. Wo direkte Verbindungen zwischen benachbarten Punkten nicht möglich sind, müssen indirekte Verbindungen hergestellt werden. Hierzu können Distanzpaare, Parallaxwinkel und Hilfspunkte dienen. Meistens werden aber solche Netzschwächen mit kombinierten GNSS-Messungen leichter behoben.

Bei Punktgruppen (HZP - BP, ZP - AzP, ZP - HP usw.) und Punktverlegungen müssen die Beziehungen auf jeden Fall hergestellt und unabhängig kontrolliert werden. Auf Bodenpunkten müssen aus Gründen der Zuverlässigkeit die Richtungen zum HZP und zum HP (Parallaxwinkel) zusätzlich zur Satzmessung einmal gemessen und als solche separat in die Berechnung eingeführt werden.

In zusammenhängenden Wäldern oder im überbauten Gebiet kann das Netz polygonartig aufgebaut sein. Dabei sind Hin- und Rückmessung der Distanzen und - wo immer möglich - Zwischenorientierungen vorzusehen.

Auf Anschlusspunkten sind Orientierungsrichtungen vorzusehen. Im weiteren muss wegen der Bestimmung des Netzmassstabes darauf geachtet werden, dass die Anschlusspunkte innerhalb des Netzes möglichst zusammenhängend und durchgehend durch Distanzmessungen miteinander verbunden werden.

### LFP2

Die Erneuerung der LFP2 kann in Kombination mit der Neuanlage des LFP3-Netzes erfolgen. Diese Netze sind als "Flächennetze" zu konzipieren. Mit genügend Querverbindungen (zirka jeder 4. Punkt) sollen lange, unkontrollierte Polygonzüge vermieden werden, was eine hohe Nachbargenauigkeit und Zuverlässigkeit gewährleistet.

Punktgruppen werden hier immer rarer. In der Regel werden der Hauptpunkt als LFP2 weiterverwendet und die Nebenpunkte, wenn überhaupt nötig, zu LFP3 degradiert.

### LFP3

In LFP3-Netzen muss unterschieden werden zwischen den LFP3, welche dauerhaft gekennzeichnet werden, und den nicht dauerhaft gekennzeichneten Hilfspunkten für Detailaufnahmen, Absteckungen und für die Netzversteifung. Im Rahmen einer Ersterhebung kann es durchaus sein, dass nur zirka jeder 3. bis 5. Stationspunkt tatsächlich dauerhaft als LFP3 gekennzeichnet wird und somit für die Nachführung des Vermessungswerkes zur Verfügung steht.

Sämtliche, auch die nicht dauerhaft gekennzeichneten Hilfspunkte sind im gleichen Berechnungsgang streng nach der Methode der kleinsten Quadrate auszugleichen.

Die Aufnahmedisposition für LFP3-Netze wird im Büro nur grob geplant (AP, Perimeter). Die Detaildisposition erfolgt anlässlich der Rekognoszierung im Feld.

Derart aufgebaute Netze können mit ihrer grossen Punktzahl die zur Verfügung stehende Software überfordern; dann drängt sich die Bildung von Teilnetzen auf. Aus arbeitsorganisatorischen Überlegungen kann es ebenfalls sinnvoll sein, Teilnetze zu bilden. Teilnetze sind derart abzugrenzen, dass jedes Teilnetz für sich genügend zuverlässig ist und eine zuverlässige Kontrolle der zur Lagerung vorgesehenen Anschlusspunkte erlaubt.

LFP3-Netze sind in aller Regel als Flächennetze mit polygonartigem Charakter aufgebaut. Es ist auf möglichst ausgeglichene Seitenverhältnisse zu achten. Mit genügend Querverbindungen (zirka jeder 4. Punkt) werden lange, unkontrollierte Polygonzüge vermieden und so eine hohe Nachbargenauigkeit und Zuverlässigkeit gewährleistet.

Die Netze sind an alle LFP2 und an ausgewählte, bestehende LFP3 im und angrenzend an den Bearbeitungsperimeter anzuschliessen. Der Zustand dieser Anschlusspunkte muss vorgängig kontrolliert und als in Ordnung befunden werden.

Die Nachbarbeziehung zwischen einem Bodenpunkt resp. LFP3 und dem zugehörigen HZP muss in aller Regel im Rahmen der Messung des LFP3-Netzes bestimmt oder zumindest überprüft werden (Anzielung des HZP von 4 bis 6 Nachbarpunkten aus).

#### **4.2.1.2 Höhennetz**

Das Höhennetz besteht in der Regel aus trigonometrisch bestimmten und aus nivellierten Höhendifferenzen; es können aber auch mit GNSS bestimmte Höhen oder Höhendifferenzen vorkommen. Diejenigen LFP, welche unter Berücksichtigung des Nivellierweges in der Nähe von Höhenfixpunkten liegen, sollen durch kontrolliertes Nivellement bestimmt werden. Dieses soll wenn möglich an zwei Höhenfixpunkten angeschlossen werden, wobei Punktgruppen in sich kontrolliert werden müssen. Gegebenenfalls kann auch ein trigonometrisches Nivellement vorgesehen werden.

Die trigonometrische Höhenübertragung soll auf direktem Weg mit möglichst kurzen Visuren erfolgen. Bodennahe Visuren sind wegen Refraktionseinflüssen möglichst zu vermeiden. Bei Visuren über 1.5 km Länge sollen nur in Ausnahmefällen Zenitdistanzen gemessen werden.

Bei Punktgruppen (ZP - HP, ZP - AzP usw.) und Verlegungen kann die unabhängige Kontrolle durch trigonometrische und nivellitische Messungen von Höhendifferenzen erfolgen. Einseitig gemessene Zenitdistanzen sind dort, wie auch bei Punktkontrollen, zulässig.

Auf die Bestimmung der Höhen von Hochzielpunkten (HZP) kann verzichtet werden.

Bei Verlegungen erfolgt die Höhenkontrolle in der Regel durch einseitig gemessene Zenitdistanzen zu den benachbarten Anschlusspunkten.

#### **LFP2**

Die Höhe eines LFP2 wird aus mindestens drei Höhendifferenzen zu benachbarten Punkten bestimmt. Die zur Höhendifferenz beitragenden Zenitdistanzen sollen gegenseitig gemessen werden. Einseitige Beobachtungen sind nur gegen Punkte zulässig, auf denen nicht stationiert werden kann; in Rutschgebieten ausnahmsweise auch auf solche, bei denen aufgrund der geringeren Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen bezüglich der Lage nicht stationiert werden muss.

#### **LFP3**

Wenn im Bearbeitungsperimeter ein speziell gekennzeichnetes, in der Regel nivelliertes HFP3-Netz vorgesehen ist, darf auf die Höhenbestimmung der dauerhaft gekennzeichneten LFP3 verzichtet werden.

### **4.2.2 Messung**

Bei der trigonometrischen Punktbestimmung sind die Messungen stark beeinflusst von den Witterungsbedingungen. Es ist deshalb darauf zu achten, dass die ungünstigen Einflüsse von Refraktion oder starker Flimmerung minimal bleiben.

#### **4.2.2.1 Instrumentarium**

Die Qualitätsanforderungen gemäss der TVAV können in der Regel beim Einsatz der folgenden Instrumente eingehalten werden:

- Tachymeter, welche für die Richtungen / Zenitdistanzen eine Genauigkeit von 0.5 mgon (LFP2) bis 1.0 mgon (LFP3) und für die Distanzmessung eine Genauigkeit von  $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$  erreichen
- Nivelliergeräte für technisches Nivellement (mittlerer 1 km-Fehler beim Doppelnivellement von 5 mm)

Die Instrumente müssen regelmässig geprüft werden. Bei der Distanzmessung müssen der Massstabsfaktor (Multiplikationskonstante) und die Additionskonstanten (speziell in LFP3-Netzen) kontrolliert und berücksichtigt, allenfalls auch justiert werden. Bei Nivelliergeräten muss die Nivellierprobe regelmässig durchgeführt werden. Über die Geräteprüfung ist Protokoll zu führen. Die Geräte sind sorgfältig zu unterhalten und periodisch revidieren zu lassen.

#### **LFP3**

Die automatische Registrierung der Messwerte stellt heute die Regel dar. Mit einem Tastendruck in einer einzigen Anzielung wird der ganze Messdatensatz in einer Lage (Horizontalrichtung, Zenitdistanz, Schrägdistanz) gemessen und registriert. Zu beachten ist, dass in die Netzausgleichung möglichst Originalmessungen eingeführt werden müssen.

Die Auswertung von Beobachtungen im Feld ist in der Regel nicht erforderlich.

#### 4.2.2.2 Richtungsmessungen

Voraussetzung für gute Richtungsmessungen sind eine stabile Aufstellung und eine sorgfältige Horizontierung.

Die Richtungen werden satzweise mit einem Tachymeter beobachtet. In der Regel werden zwei Sätze gemessen. Ein Satz soll nicht mehr als 10 bis 12 Richtungen umfassen. Zur Feststellung einer allfälligen Stativverdrehung ist bei grösseren Sätzen die nochmalige Messung der Anfangsrichtung am Schluss der Halbsätze empfohlen (soll aber nicht als zweimal gemessene Richtung in die spätere Berechnung einfließen). Grössere Zielobjekte (Kugeln, dicke Masten usw.) können auch am linken und am rechten Rand gemessen werden; daraus wird das Mittel gebildet.

Auf dem Messprotokoll müssen die Mittel gebildet und die Fehlerrechnung durchgeführt werden. Die Standardabweichung einer einmal in beiden Fernrohrlagen gemessenen Richtung (Satzmessung) soll 0.8 mgon nicht übersteigen.

#### LFP3

Die Visuren zwischen den LFP3 werden in beiden Lagen beobachtet. Satzmessungen sind anzustreben, aber nicht Bedingung. Es wird nur ein Satz gemessen.

#### 4.2.2.3 Distanzmessungen

In der Regel wird eine kontrollierte Distanzmessung empfohlen (doppeltes Auslösen oder Hin- und Rückmessung). Die Differenz der 2 Messungen sollte für kurze Distanzen (bis 100m) 1 cm, für längere Distanzen 2 cm nicht übersteigen. Für die LFP2 sind die Schrägdistanzen als Rohwerte, also ohne jegliche Korrekturen zu erheben. Die am Instrument angezeigten Werte sind automatisch zu registrieren oder im Messprotokoll festzuhalten. Auch die atmosphärischen Reduktionen werden erst in einem zweiten Schritt berücksichtigt.

Für die LFP3 können bereits korrigierte oder reduzierte Distanzen, die durch das Messinstrument direkt angebracht werden, akzeptiert werden. Es ist aber sehr wichtig, dass die gewählten Einstellungen im Messprotokoll ersichtlich sind. Für die atmosphärische Distanzreduktion genügt bei Distanzen bis 500 m die geschätzte Lufttemperatur auf 5 Grad Celsius genau sowie der Normaldruck auf der Höhe der Visurmitte. Für längere Distanzen und bei grösseren Höhendifferenzen (ab 100m) sind Luftdruck und Temperatur auf der Station zu messen und der Druck auf die mittlere Visurhöhe umzurechnen. Sinnvoller ist die Erhebung und anschliessende Mittelung der Meteowerte auf der Station und beim Reflektor. Barometer und Thermometer sind regelmässig sowie vor und nach grösseren Messkampagnen zu prüfen.

*Richtwerte* für die atmosphärische Distanzreduktion:

|                 |                |   |       |
|-----------------|----------------|---|-------|
| Temp.-Differenz | 1 Grad Celsius | ≈ | 1 ppm |
| Druck-Differenz | 3 Millibar     | ≈ | 1 ppm |

Das ganze Netz soll möglichst mit dem gleichen Distanzmesser gemessen werden. Kommen mehrere Geräte zum Einsatz, so sind mindestens 2 bis 3 lange Distanzen für den Vergleich des Massstabes und 2 bis 3 kurze Distanzen für den Vergleich einer allfälligen Additionskonstante gemeinsam zu messen. Die Messungen von unterschiedlichen Distanzmessern werden in der späteren Berechnung auch als unterschiedliche Distanzgruppen behandelt.

Für die geometrische Reduktion der Schrägdistanzen müssen die nötigen Höhenelemente erhoben werden.

Für Verlegungen und Exzentren sollte der mittlere Distanzfehler (wie auch die Richtungsunsicherheit) des Verlegungsvektors resp. der Exzentrizität  $\pm 5$  mm nicht übersteigen.

#### 4.2.2.4 Höhenmessung

Die Höhenmessung dient der Bestimmung der Punkthöhen sowie der Reduktion der Schrägdistanzen in die Horizontale. Neben dem Messen von Zenitdistanzen oder nivellierten Höhendifferenzen kommt dem kontrollierten Messen der Instrumentenhöhe und der Signalhöhen eine besondere Bedeutung zu. Um den Einfluss der Refraktion gering zu halten, müssen die Zenitdistanzen gegenseitig und bei möglichst gleichen Bedingungen gemessen werden.



#### 4.2.2.4.1 Trigonometrische Höhenmessung

Die Zenitdistanzen werden mit einem Tachymeter gemessen, welcher normalerweise über einen automatischen Kompensator verfügt. Eine Zenitdistanzmessung besteht aus dem Anzielen und Ablesen in I. und II. Lage.

Zenitdistanzen sind in der Regel zweimal zu messen. Wenn die Differenz zwischen den beiden Messungen grösser als 2.0 mgon ist, soll eine dritte Zenitdistanz gemessen werden. Die Kollimationsprobe muss für jede Zenitdistanz beurteilt werden. Sie darf höchstens um 3.0 mgon vom Mittelwert einer Serie abweichen.

Angaben über spezielle Anzielungen (z.B. Mitte Kugel, UK Brett, Mitte Kreuz) müssen notiert werden. Bei kurzen steilen Visuren auf Kugeln (z.B. Schweissnaht der Kugel) muss Gewähr geboten sein, dass die Reduktion der Zenitdistanz auf den gültigen Zielpunkt (z.B. die Kugelmittle) erfolgt.

#### 4.2.2.4.2 Höhenmessung mit Nivellement

Als Instrumente sind automatische Nivelliergeräte oder Digital-Nivelliergeräte zu verwenden, deren mittlerer Fehler für 1 Kilometer Doppelnivellement kleiner als 5 mm ist. Die Nivellierprobe ist regelmässig durchzuführen. Neben Invarlatten dürfen Holz- oder Leichtmetall-Latten eingesetzt werden, welche von Zeit zu Zeit abgeglichen werden müssen.

Der mittlere 1-km-Fehler des Nivellements, berechnet aus der Hin- und Rückmessung oder aus dem Abschlussfehler, soll 10 mm nicht übersteigen.

### 4.2.3 Berechnung

Der allgemeine Berechnungsablauf ist im Kapitel 2.6 beschrieben und gilt auch für die trigonometrische Messmethode. Hier speziell sind die vorgängigen Reduktionen an den Beobachtungen (Distanzen und Höhendifferenzen) zu berücksichtigen. Als Beobachtungen werden Richtungen, Distanzen und Höhendifferenzen sowie Lagekoordinaten und Höhen der Anschlusspunkte eingeführt.

An den Distanzen müssen die atmosphärischen und allfälligen instrumentellen Korrekturen vorgängig angebracht werden. Die **geometrische Reduktion der Distanzen** (Reduktion infolge Geräte- und Prismenhöhe, Reduktion auf die horizontale Distanz in Meereshöhe, Projektionsebene) **und die Berechnung der Höhendifferenzen** aus Zenitdistanz, Distanz und Geräte-/Zielhöhe sollen **mit dem Ausgleichsprogramm erfolgen** und dort sauber dokumentiert werden.

Unter Voraussetzung der Gauss'schen Normalverteilung werden für die Richtungen und Zenitdistanzen 0.5 mgon bis 0.7 mgon und für die elektronisch gemessenen Distanzen  $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$  eingesetzt. Im Rahmen der Nachführung können diese Werte im Bezugsrahmen LV03 – insbesondere der von der Distanz abhängige Teil – zur Wahrung der Nachbargenauigkeit erhöht werden, um den erfahrungsgemäss zu erwartenden, grösseren Zwängen gerecht zu werden (z.B. bei Verlegungen). Bei kurzen Visuren sind die theoretischen Standardabweichungen (a priori) der Richtungen und Zenitdistanzen unter Berücksichtigung der Zentrier-genauigkeit entsprechend zu erhöhen. Die Standardabweichungen sind nach einer ersten Berechnung zu beurteilen und gegebenenfalls anzupassen, so dass der Quotient<sup>3</sup> aus theoretischer (a priori) und empirischer (a posteriori) Standardabweichung einen Wert zwischen 0.7 und 1.2 für jede Beobachtungsgruppe ergibt.

Im Allgemeinen wird für die elektronisch gemessenen Distanzen eine Massstabsunbekannte angesetzt, sofern die Netzanlage dies erlaubt. Werden im gleichen Netz (ausnahmsweise) mehrere Geräte verwendet, so soll für jedes Gerät eine eigene Massstabsunbekannte eingeführt werden.

### 4.2.4 Dokumentation

Die Dokumentation ist im Kapitel 6 vollumfänglich und im Kapitel 2.6.9 beschrieben. Für die trigonometrische Punktbestimmung gibt es keine weiteren Besonderheiten.

---

<sup>3</sup> In LTOP wird der lineare Fehlerquotient angegeben; dies würde gemäss Chi-Quadrat-Test dem quadrierten Quotienten mit einem Wert zwischen 0.5 und 1.5 entsprechen.

## 4.3 Nivellement

### 4.3.1 Netzentwurf

HFP2- / HFP3-Netze sind linienweise aufgebaut. Demnach ist der Perimeter bei der Neuerstellung und der Erneuerung in erster Linie durch die Anschlussmöglichkeit an hierarchisch übergeordnete oder gleichgestellte HFP gegeben. Aus Gründen der Zuverlässigkeit sollen wo immer möglich mehrere Linien im gleichen Arbeitsgang verknüpft werden. Die Punktgruppen müssen in sich vollständig kontrolliert werden. Unkontrollierte Zwischenblicke sind nicht gestattet. Zur besseren Kontrolle der Messungen können zwischen den HFP Hilfspunkte in Abständen von 400 - 500 m vorgesehen werden. Diese sind nur ein Provisorium, sollten während der Messung aber genügend stabil sein und werden nicht in die Verzeichnisse aufgenommen.

Der Perimeter der Nachführungsarbeiten richtet sich nach den jeweiligen Bedürfnissen. Auf einer geeigneten Plan- oder Kartengrundlage werden zunächst die wünschbaren Punktstandorte und die geplante Netzanlage entworfen.

#### **HFP3**

Das HFP3-Netz setzt sich aus stark verknüpften kurzen Linien zusammen. Der Perimeter bei der Neuerstellung und Erneuerung erstreckt sich in der Regel über das Baugebiet einer Gemeinde, sofern mindestens eine HFP1- oder eine HFP2-Gruppe vorhanden ist. Andernfalls erstreckt sich der Perimeter bis zur nächsten Anschlussmöglichkeit.

In einem Schleifenabschnitt sollen aus Zuverlässigkeitsgründen nicht mehr als 5 - 6 HFP enthalten sein. Die einzelnen Schleifenabschnitte können einfach gemessen werden. HFP, welche nicht in einer Schleife enthalten sind, sowie längere Schleifen müssen hin und zurück gemessen werden.

### 4.3.2 Rekognoszierung / Begehung

Ziel der Rekognoszierung ist es, die Standorte und die Kennzeichnung der Neupunkte sowie die Netzanlage gemäss Büroentwurf definitiv festzulegen.

Dabei sind neben den im Kapitel 5 aufgeführten, generellen Kriterien für die Kennzeichnung der Vermessungsfixpunkte vor allem folgende Aspekte zu beachten:

- Die HFP müssen an gut zugänglichen sowie stabilen Objekten wie Felsen, Gebäuden, massiven Grenz- und Stützmauern angebracht werden können.
- Die Stabilität des Objektes muss in der unmittelbaren Nähe des vorgesehenen HFP mit geeigneten Geräten oder mit einfachen Mitteln (Abklopfen) untersucht werden.
- Es muss berücksichtigt werden, dass auf dem HFP eine Nivellierlatte aufgestellt werden kann.
- Pro Objekt ist nur ein Höhenfixpunkt anzubringen.
- Bei neueren Bauten können Setzungen erwartet werden; derartige Objekte sowie solche, die in absehbarer Zeit renoviert werden, sind zu meiden. Strassenprojekte müssen berücksichtigt werden.

Die bestehenden HFP sollen sinnvollerweise im Zusammenhang mit der Rekognoszierung begangen werden.

#### **Punktichte**

**HFP2**-Netze haben einen mittleren Punkt- bzw. Punktgruppenabstand von ungefähr 1.5 km. Innerhalb der Gruppe sind die einzelnen HFP in einem Umkreis von ungefähr 100 m angeordnet.

**HFP3**-Netze haben einen mittleren Punktabstand von ungefähr 500 m.

### 4.3.3 Messung

#### 4.3.3.1 Methodenwahl

Das nachstehende Kapitel gliedert sich in einen Teil mit allgemeinen Aussagen zum Nivellement und einen Teil mit speziellen Hinweisen zum Präzisionsnivellement und zum Technischen Nivellement. Grundsätzlich werden HFP-Netze mit der gleichen Methode nachgeführt, mit der sie erstellt worden sind.

Das **Präzisionsnivellement** kommt zur Anwendung für die HFP2 und in begründeten Fällen für die HFP3 in Städten oder grösseren Ortschaften.

Das **Technische Nivellement** wird in der Regel für HFP3 angewendet.

### **4.3.3.2 Instrumentarium**

Die Nivelliergeräte und -latten müssen regelmässig geprüft werden.

Die Lattenlänge (Massstab) muss regelmässig oder mindestens bei der Messung von grösseren Höhendifferenzen abgeglichen werden.

Die Dosenlibellen der Instrumente und der Latten sind ebenfalls regelmässig zu prüfen.

#### **Präzisionsnivellement**

Beim Präzisionsnivellement werden Nivellierinstrumente mit automatischer Registrierung oder solche mit einem optischen Planplattenmikrometer eingesetzt, welches auf die Teilung der Latten abgestimmt ist. Es müssen damit Standardabweichungen für 1 km Doppelnivellement gemäss Firmenangabe von weniger als 1.0 mm erreicht werden können. Meistens werden dafür Instrumente mit automatischer Kompensation der Ziellinienneigung verwendet. Libelleninstrumente haben in Gebieten mit grossen Bodenerschütterungen oder starken Magnetfeldern Vorteile.

Die Ziellinie des Nivelliergerätes muss justiert werden, wenn deren Neigung mehr als 0.03 mm pro Meter Zielweite beträgt.

Als Nivellierlatten werden Invarlatten mit Strichcode-Skalen oder wenn möglich zwei gegeneinander verschobenen Skalen verwendet. Sie müssen zwischen den HFP auf spezielle Lattenuntersätze gestellt werden, damit sie während der Messung ihre Höhe beibehalten. Zur Stabilisierung der Latten wird empfohlen, diese mit Stöcken abzustützen.

Bei Invarlatten muss der Spannmeechanismus des Invarbandes im ganzen Temperaturbereich einwandfrei funktionieren und soll regelmässig geprüft werden. Der relative Lattenfussfehler ist ebenfalls regelmässig zu prüfen, falls Lattenpaare eingesetzt werden.

Der Massstab der Latten kann bei den Instrumentenfirmen und am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETHZ bestimmt werden.

#### **Technisches Nivellement**

Es sind Libellen- oder automatische Nivelliergeräte zu verwenden, deren Standardabweichung für 1 km Doppelnivellement gemäss Firmenangabe kleiner als 4 mm ist.

Die Ziellinie des Nivelliergerätes muss justiert werden, wenn deren Neigung mehr als 0.1 mm/m beträgt.

Es werden Holz- oder Leichtmetalllatten eingesetzt. Zwischen den HFP müssen die Latten auf Lattenuntersätze gestellt werden.

### **4.3.3.3 Messungen**

Grundsätzlich wird aus der Mitte nivelliert. Wichtig ist, dass die Summe der Rückblick-Distanzen zwischen zwei HFP gleich ist wie diejenige der Vorblick-Distanzen. Die Visurlängen sollten auf die Verhältnisse abgestimmt sein; sie dürfen 40m nicht übersteigen.

Zielungen, die knapp über den Boden verlaufen, werden stark durch die Refraktion beeinflusst und müssen vermieden werden. Die Visuren sollen nicht weniger als 30 cm über den Boden verlaufen.

Während des Messvorganges sind Vorkehrungen zu treffen, welche die Sicherheit der Messgruppe und des Strassenverkehrs gewährleisten.

#### **Präzisionsnivellement**

Es wird eine Aufnahmedisposition mit zwei Latten empfohlen. Dadurch kann die optimale Ablesereihenfolge RVR eingehalten werden (R = Rückblick, V = Vorblick), durch deren Symmetrie Stativbewegungen festgestellt und weitgehend eliminiert werden können. Aber auch die Ableseanordnung RRVV ist meist genügend.

Die Entfernung der Latten vom Instrument wird protokolliert, wobei eine Distanzgenauigkeit von unter 1 m anzustreben ist. Die Distanzen können mit dem Schrittmass oder mittels des Nivelliergerätes gemessen werden.

Auf asphaltierten Strassen muss mit dem Einsinken der Lattenuntersätze gerechnet werden. Dieser Effekt wird sich in der algebraischen Summe von Hin- und Rückmessung als positive Zahl bemerkbar machen. Je nach Temperatur kann diese Summe einen Betrag vom 0.5 bis 2 mm pro Kilometer Nivellement erreichen. Das Mittel aus Hin- und Rückmessung ist in erster Näherung von dieser Systematik frei. Es ist aber in jedem Fall besser, wenn die Fussplatten auf stabilen Randsteinen oder in festem Untergrund aufgestellt werden können. Es wird deshalb auch empfohlen, die Messungen wenn möglich bei günstigen atmosphärischen Bedingungen (Frühling / Herbst) durchzuführen.

Werden grössere Höhenunterschiede nivelliert, so sollten zur Berücksichtigung des Lattenmassstabes die Temperaturen der Invarbänder mit einfachen Mitteln erfasst werden.

Es ist darauf zu achten, dass die Messung homogen abläuft und die Umstellzeiten minimal sind.

### **Technisches Nivellement**

Es wird in der Regel mit nur einer Latte gemessen, wobei deren Entfernung vom Instrument mit dem Schrittmass abgesteckt und protokolliert wird. Die Visurlängen können auch mit dem Nivelliergerät gemessen werden. Es ist darauf zu achten, dass die Fussplatten auf solide Unterlagen gestellt werden.

#### **4.3.3.4 Feldbuchführung**

Zur Erleichterung der Kontrollen sowie zur Steigerung der Zuverlässigkeit wird die elektronische Feldbuchführung (siehe auch Kapitel 2.5.2) empfohlen. Grundsätzlich müssen dabei die gleichen Werte wie bei der konventionellen Feldbuchführung protokolliert werden. Im Feld müssen die eingegebenen Daten eingesehen werden können.

### **Präzisionsnivellement**

Bei der eigentlichen Messung sind zusätzlich die Nummern der verwendeten Latten und ihre Aufstellungsart festgehalten.

Die Differenzen aus R1-V1 und R2-V2 dürfen maximal 0.3 mm voneinander abweichen. (Bei den (klassischen) Latten mit 2 Skalen wird zur Kontrolle zu beiden Ablesungen auf der 1. Teilung die Lattenkonstante addiert. Die Ergebnisse werden mit den Ablesungen auf der 2. Teilung verglichen.) Häufen sich grosse Differenzen, so muss die Zielweite vermindert werden; sind sie systematisch, so kann das auf Höhenveränderungen von Stativ oder Latten hinweisen, die nach Möglichkeit zu beheben sind.

### **Technisches Nivellement**

Bei der eigentlichen Messung werden die dazugehörigen Vor- bzw. Rückblicke festgehalten. Es wird der Millimeter notiert.

#### **4.3.3.5 Bereinigung der Messungen**

Vor der Weiterverarbeitung müssen die Messprotokolle bereinigt werden. Die Höhendifferenzen werden zweimal unabhängig berechnet. Daneben empfiehlt sich die so genannte Seitenkontrolle, bei welcher die Differenz der Summen aller Vorblicke und aller Rückblicke gleich sein muss wie die Summe aller Höhendifferenzen.

### **Präzisionsnivellement**

Die Höhendifferenzen werden unabhängig je einmal als Differenzen der 1. und der 2. Teilung der Lattenablesungen resp. als Differenzen der zweiten unabhängigen Messung bei Digitalnivellieren berechnet. Diese beiden Werte werden gemittelt. Am Mittel werden allfällige Korrekturen (Lattenfusskorrektur, Lattenmassstab, evtl. Temperatur bei grossen Höhendifferenzen) angebracht.

#### **4.3.3.6 Beurteilung der Messungen**

##### **4.3.3.6.1 Hin- und Rückmessungen**

Zunächst werden die bereinigten Werte für die Hin- und die Rückmessung der einzelnen Teilstrecken miteinander verglichen. Die Differenzen dürfen folgende Werte in mm nicht überschreiten:

$$\text{Präzisionsnivellement: } d < 0.5 \cdot \sqrt{n} \text{ (mm)}$$

$$\text{Technisches Nivellement: } d < 3 \cdot \sqrt{n} \text{ (mm)}$$

- d = Differenz zwischen Hin- und Rückmessung einer Teilstrecke  
n = Anzahl Instrumentenaufstellungen auf dieser Teilstrecke

Wird diese Toleranz überschritten, so ist das betreffende Teilstück hin und / oder rück nachzumessen.

Danach wird die Standardabweichung für 1 km Doppelnivellement aus sämtlichen doppelt gemessenen Teilstrecken zwischen fest versicherten Punkten nach folgender Formel berechnet:

$$m_x = \sqrt{\frac{1}{4n_T} \sum \frac{dd}{\ell}}$$

- $m_x$  = Standardabweichung für 1 km Doppelnivellement  
d = Differenz zwischen Hin- und Rückmessung einer Teilstrecke  
 $\ell$  = Länge der entsprechenden Teilstrecke in km  
 $n_T$  = Anzahl Teilstrecken

$m_x$  soll folgende Werte nicht überschreiten:

- Präzisionsnivellement:  $m_x < 1$  mm  
Technisches Nivellement:  $m_x < 4$  mm

#### 4.3.3.6.2 Einfache Messung

In Netzen, welche nur einfach gemessen sind, müssen zunächst die Schleifenschlussfehler der einzelnen Schleifen berechnet werden. Die Schleifenschlussfehler dürfen folgende Werte in mm nicht überschreiten:

- Präzisionsnivellement:  $f < 3 \cdot \sqrt{S}$  (mm)  
Technisches Nivellement:  $f < 12 \cdot \sqrt{S}$  (mm)  
f = Schleifenschlussfehler  
S = Schleifenlänge in km

Wird dieser Wert überschritten, so muss die ganze Schleife nachgemessen werden.

Danach wird die Standardabweichung für 1 km einfaches Nivellement für alle Schleifen nach folgender Formel berechnet:

$$m_s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \frac{ff}{S}}$$

- f = Schleifenschlussfehler  
S = Schleifenlänge in km  
N = Anzahl Schleifen

$m_s$  soll folgende Werte nicht überschreiten

- Präzisionsnivellement  $m_s < 1.4$  mm  
Technisches Nivellement:  $m_s < 6$  mm

#### 4.3.4 Berechnung

Zunächst werden die Anschlusshöhen innerhalb der Punktgruppe beurteilt. Treten nur kleinere Zwänge auf, so können die Widersprüche innerhalb der Punktgruppe verteilt und die derart korrigierten Höhen als Schlusswerte verwendet werden. Treten grössere Zwänge auf (über 3 mm), so müssen geeignete Massnahmen mit den Verifikationsinstanzen abgesprochen werden. Bei der Beurteilung der Anschlusszwänge ist der Einfluss instabiler Punkte (meist gekennzeichnet durch systematische Senkungen) zu beachten.

Bei Linien werden die Widersprüche zwischen den gemessenen und den gegebenen Höhendifferenzen nachgewiesen.

Die Berechnung der Neupunkthöhen erfolgt in der Regel mit einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Es dürfen nur von der Verifikationsinstanz anerkannte Programme verwendet werden.

In die Berechnung werden aus Zuverlässigkeitsgründen die ungemittelten Höhendifferenzen aus der Hin- und der Rückmessung eingeführt. Als Standardabweichung der Gewichtseinheit soll der errechnete Wert für  $m_0$  eingeführt werden. Dieser Wert muss in den meisten Fällen aufgrund von Anschlusszwängen erhöht werden. Erfahrungsgemäss liegt er zwischen 0.8 und 1.0 mm für Präzisionsnivellemente und 3 bis 4 mm für technische Nivellemente.

Dazu müssen für alle Höhendifferenzen die entsprechenden Distanzen eingeführt werden. Es sind die im Feldbuch protokollierten Werte zu verwenden. Wurden sie nicht erhoben, so müssen sie aus einer Karte oder einem Plan abgegriffen werden.

Einzelne doppelt gemessene Linien können auch konventionell ausgeglichen (oder interpoliert) werden, indem der Widerspruch proportional zur Distanz verteilt wird. Dies gilt vor allem für kleinere Arbeiten in der Nachführung.

#### **4.3.5 Dokumentation**

Die Arbeiten sind angemessen zu dokumentieren (vgl. Kapitel 2.6.9 und Kapitel 6).

## 5 Kennzeichnung der Fixpunkte

### 5.1 Allgemeines

Bei Neupunkten, welche neben dem Bezugsrahmen LV03/LN02 auch im Bezugsrahmen **LV95/LHN95** bestimmt werden, wird **auf sekundäre Zeichen** (lokale Rückversicherung) **verzichtet**. Die Möglichkeit zur Rekonstruktion wird in einem "absoluten" Bezugsrahmen wie LV95/LHN95 durch Positionierungsdienste für GNSS, wie z.B. durch das automatische GNSS Netz der Schweiz AGNES, sichergestellt.

Bei bestehenden Punkten hingegen, welche nur über Koordinaten im Bezugsrahmen LV03/LN02 bzw. über transformierte LV95/LHN95-Koordinaten verfügen, ist die Rekonstruktion weiterhin ausschliesslich über sekundäre Zeichen möglich.

Die Kennzeichnung der Fixpunkte (gemäss Art. 46 / 47 TVAV) muss vor der Messung erfolgen. Die Punkte müssen auf lange Sicht für alle späteren Vermessungsarbeiten verwendet werden können. Sie sollen daher primär in stabilem Untergrund erstellt oder an stabilen Objekten angebracht werden. Die Standorte der Fixpunkte sollen zudem sicher und leicht zugänglich sein, und Folgevermessungsarbeiten sollen bequem daran angeschlossen werden können.

| Die Punktkennzeichnung besteht aus:   | Die Dokumentation besteht aus:   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ primären Zeichen</li> <li>▪ sekundären Zeichen</li> <li>▪ künstlichen Objekten</li> <li>▪ Schutzvorrichtungen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Feldprotokoll</li> <li>▪ Punktprotokoll</li> <li>▪ Eintrag in Punktkarte</li> <li>▪ evtl. Anmerkung im Grundbuch</li> </ul> |

Die primären Zeichen dienen dazu, die Punkte für die weitere Benutzung eindeutig zu kennzeichnen. Die sekundären Zeichen (Rückversicherungen) erlauben es, die primären Zeichen im Falle einer Zerstörung oder Beschädigung mit der erforderlichen Genauigkeit wiederherstellen zu können. Bei den HFP wird nicht zwischen primären und sekundären Zeichen unterschieden.

Künstliche Objekte wie Kirchturmkugeln, Turmspitzen, Fahnenmasten etc., sind ebenfalls als Punktkennzeichnung erlaubt, wenn ihre Stabilität, Dauerhaftigkeit und praktische Verwendbarkeit dies zulassen.

Mit zusätzlichen Schutzmassnahmen (Schacht, primäres Zeichen unter Boden) soll die Gefährdung der Punkte reduziert werden.

Mit einer guten Information der betroffenen Grundeigentümer, wenn möglich sogar mit schriftlicher Vereinbarung, können die Punkte zusätzlich besser geschützt werden. Es empfiehlt sich auch, allfällige weitere Betroffene (z.B. Pächter, Gemeinde, Strasseninspektor) zu informieren. Ein zuverlässiges, gut organisiertes Meldewesen ist dazu Voraussetzung.

Schliesslich sind die Punkte noch besser geschützt, wenn auch die rechtlichen Mittel möglichst ausgenutzt werden. Anmerkungen im Grundbuch, Benutzung von öffentlichem Grund wie auch gesetzliche Verankerungen in der kantonalen Gesetzgebung können die Schutzmassnahmen wesentlich unterstützen.

### 5.2 Zuständigkeiten

Arbeiten an den Fixpunktzeichen der LFP2 und HFP2 sind in Absprache mit den zuständigen Verifikationsinstanzen vorzunehmen, jene an LFP3 und HFP3 gehören in den Kompetenzbereich des verantwortlichen Geometers.

Meldungen über besondere Vorkommnisse sollen der zuständigen Verifikationsinstanz erstattet werden.

### 5.3 Arten der Kennzeichnung

#### 5.3.1 Kennzeichnung für LFP2

Als Zeichen für LFP2 dienen:

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Steine</b>             | <p>aus wetterbeständigem Material, in der Regel Granit</p> <p>Grösse:<br/>         18/18/75 cm, wenn die Steinoberfläche über Boden liegt<br/>         18/18/65 in Normalfall, wenn der Stein bodeneben oder unter Schacht ist<br/>         18/18/50-60 cm als Ausnahme im Gebirge oder bei felsigem Untergrund</p> <p>Bearbeitung:<br/>         Der Kopf soll quadratisch und bis auf eine Tiefe von 10 cm bearbeitet sein, der übrige Teil des Steines soll roh sein.<br/>         Der Steinkopf soll fein gestockt oder geschliffen sein, damit die Neigung gemessen werden kann.<br/>         Am oder auf dem Steinkopf ist ein Dreieck deutlich eingemeisselt</p> <p>Das Zentrum muss eindeutig und dauerhaft markiert sein.</p> |
| <b>Bolzen</b>             | <p>aus dauerhaftem Material</p> <p>Das Zentrum muss eindeutig und dauerhaft markiert sein.</p> <p>Der Bolzen muss fest im Untergrund (z.B. stabiler Betonblock) oder in Fels verankert sein.</p>  |
| <b>Künstliche Objekte</b> | <p>Kirchturmkugeln, -kreuze oder -spitzen, welche aus dauerhaftem Material sind.</p> <p>Stangen, Antennen, etc., welche aus dauerhaftem Material sind und in der Lage eindeutig sind. Diese Objekte können mit Klebefolie oder Farbe speziell gekennzeichnet werden.</p>  |

Andere primäre Zeichen können in besonderen Fällen verwendet werden, wenn sie von der Verifikationsinstanz anerkannt wurden.

Als zusätzlicher Schutz für LFP2 dienen:

Gusschächte: Innenmass minimal 24/24 cm, Deckel beschriftet

Betonschächte: Innendurchmesser ca. 40 cm, Deckel befahrbar

Hinweistafeln: an speziellen Rohren, Pfählen oder an künstlichen Objekten können kleine Hinweistafeln mit Suchhilfen angebracht werden

#### 5.3.2 Kennzeichnung für LFP3

Als Zeichen für LFP3 dienen:

|  |  |
|--|--|
| <b>Steine</b>                                    | <p>aus wetterbeständigem Material, in der Regel Granit;<br/>         mit eindeutig definiertem und dauerhaft markiertem Zentrumsloch <math>\varnothing</math> 5-10 mm</p> <p>Grösse: 12x12 oder <math>\varnothing</math> 12 cm, 65-75 cm; der Steinkopf soll fein gestockt oder geschliffen sein</p> |
| <b>Bolzen</b>                                    | <p>aus dauerhaftem Material</p> <p>Das Zentrum muss eindeutig und dauerhaft markiert sein.</p> <p>Der Bolzen muss fest im Untergrund (z.B. stabiler Betonblock) oder in Fels verankert sein.</p>   |
| <b>Röhren</b><br>(evtl. mit eingesetztem Bolzen) | <p>aus dauerhaftem, witterungsbeständigem Material</p> <p>Innendurchmesser mindestens 18 mm; Wandstärke mindestens 4 mm</p> <p>mindestens 40 cm lang</p>   |
| <b>Kreuze / Kreise</b>                           | <p>in Fels oder massivem Block eingemeisselt mit Zentrumsloch und 3 Balken, Länge 4-8 cm, 5-10 mm tief, oder umschliessender Kreis <math>\varnothing</math> 4-8 cm</p>   |
| <b>Künstliche Objekte</b>                        | <p>Kirchturmkugeln, -kreuze oder -spitzen, welche aus dauerhaftem Material sind.</p> <p>Stangen, Antennen, etc., welche aus dauerhaftem Material sind und in der Lage eindeutig sind. Diese Objekte können mit Klebefolie oder Farbe speziell gekennzeichnet werden.</p>                             |



Andere primäre Zeichen können in besonderen Fällen verwendet werden, wenn sie von der betroffenen Verifikationsinstanz (swisstopo oder Kantone) bewilligt wurden.

Als zusätzlicher Schutz für LFP3 dienen:

Gusschächte: Deckel beschriftet

Betonschächte: Deckel befahrbar

### 5.3.3 Kennzeichnung der HFP2/3

Als Kennzeichnung für HFP2/3 dienen:

|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>Bolzen</b>      | <p>aus Messing oder Bronze; beschriftet</p> <p>Kopf und oberer Schaftteil gewölbt, so dass beim Versatz immer ein höchster Auflageort resultiert</p> <p>Schaft mindestens 10 cm lang; im unteren Teil mit Widerhaken versehen</p> <p>Versatz horizontal (Regelfall) oder vertikal</p> |
| <b>Nieten</b>      | <p>aus Messing, Bronze oder feuerverzinktem Eisen</p> <p>Kopfdurchmesser ca. 20 mm, gewölbt</p> <p>Länge ca. 6 cm; im unteren Teil mit Widerhaken versehen</p> <p>Versatz vertikal</p>  |
| <b>Kugelpunkte</b> | <p>in Fels oder massivem Block eingemeisselt, gut sichtbar markiert</p> <p>Loch so, dass eine Nivellierkugel (Ø 20 mm) nur eine Position einnehmen kann</p>   |

Geeignete Höhenfixpunkte aus älteren Nivellements (z.B. Kappenbolzen, Radschrauben, Plaquettes) können weiterhin verwendet werden.

## 5.4 Anbringen der Kennzeichnung bei Lage- und Höhenfixpunkten

Unter dem Anbringen der Kennzeichnung wird die Kombination von primären und sekundären Zeichen sowie von zusätzlichen Schutzmassnahmen verstanden. Alle Arbeiten in diesem Zusammenhang sind in einem **Feldprotokoll** festzuhalten. Darin sind folgende Elemente aufzuführen:

- Punktnummer
- Datum, Personal
- Art der Kennzeichnung, Schutzmassnahmen
- Lage der primären gegenüber den sekundären Zeichen, ev. GB-Planauszug, Foto, wo vorhanden
- GNSS-Tauglichkeit
- Einmessung der sekundären Zeichen, wo vorhanden
- Besonderheiten (z.B. spezieller Zugang)

### LFP3 / HFP3

Die Protokollierung der LFP3-Daten und der HFP3-Daten kann in vereinfachter Form geschehen. Bei den LFP3 ohne exzentrische Zeichen kann auf das Feldprotokoll verzichtet werden.

#### 5.4.1 LFP2

Neue LFP2 werden in der Regel nur noch mit primären Zeichen versehen, da die Rekonstruktion im Bezugsrahmen LV95/LHN95 jederzeit mit einem Positionierungsdienst für GNSS möglich ist.

#### 5.4.1.1 Bestehende LFP2 mit zentrischen sekundären Zeichen

Die Kennzeichnung besteht aus einem Stein und einer unterirdischen Bodenplatte. Bei felsigem Untergrund kann die Bodenplatte durch einen kleinen Bolzen ersetzt werden. Dokumentiert werden die Kennzeichnung und die Einmessung allfälliger sekundärer Zeichen im Feldprotokoll.

In der Regel werden Stein und Bodenplatte tiefer gesetzt und unter Schacht geschützt (Plätze, in Strassen und Wege). In den übrigen Fällen kann der Stein auch bodeneben gesetzt werden.

Das Kennzeichnen eines LFP2 erfolgt, indem die Bodenplatte in einem Loch von ca. 50/50/95 cm auf vorbereitetem Untergrund horizontal eingebettet wird und eine Kante, genau wie später der Stein, orientiert wird (z.B. nach Norden). Zwischen Bodenplatte und Stein wird eine mindestens 10 cm dicke Schicht Erde oder Sand gestampft. Darüber wird der Stein gesetzt. Sein Zentrumsloch soll auf mindestens 5 mm genau senkrecht über dem Zentrum der Bodenplatte sein. Gleich genau und kontrolliert soll der Abstich (Höhendifferenz zwischen Stein- und Bodenplattenoberfläche) erhoben werden. Die Steinoberfläche darf schliesslich nicht mehr als 1% schief sein. Der Stein ist mit einem bis zwei Steinkränzen fest im Erdreich zu verkeilen.

Wird zusätzlich ein Schacht darüber gesetzt, darf dieser keine Verbindung zum Stein aufweisen und nicht einsinken können. Es ist darauf zu achten, dass eintretendes Regenwasser abfliessen kann.

#### 5.4.1.2 Bestehende LFP2 mit exzentrischen sekundären Zeichen

Diese Markierung besteht aus einem Bolzen / Lochbolzen oder Stein als primärem Zeichen und kleinen Bolzen, Kreuzen, Bodenplatten, etc. als sekundären Zeichen.

Das *primäre Zeichen* ist in der Regel ein Bolzen / Lochbolzen, der in Fels, grossem Block oder massivem Objekt (z.B. Betonklotz auf Flachdach) einzementiert ist. Wird ein Betonsockel verwendet, soll dieser ein Gewicht von mindestens 250 kg aufweisen. Das primäre Zeichen kann unter einem Schacht geschützt werden.

Die *sekundären Zeichen* sollen so platziert sein, dass sie möglichst dauerhaft sind, und dass das primäre Zeichen im Schadenfall auf einfache Art rekonstruiert werden kann (Lage und Höhe). Sie liegen in der Regel zwischen 2 und 50 m vom Zentrum entfernt. Als sekundäre Zeichen können auch Bodenplatten dienen, die horizontal und mindestens 60 cm unter Boden (Frosttiefe) eingelassen sind.

Die *Einmessung der sekundären Zeichen* hat so zu erfolgen, dass eine nachträgliche Rekonstruktion des primären Zeichen mindestens auf 5 mm genau möglich ist (Lage und Höhe) und die entsprechende Zuverlässigkeit der Bestimmung garantiert ist. Die Protokollierung erfolgt im Feldprotokoll. Die Auswertung der Einmessung kann mit einem Ausgleichsprogramm erfolgen, das die erforderliche Genauigkeit und Zuverlässigkeit ausweist.

#### 5.4.2 LFP3

Gemäss TVAV (Art. 47) wird nur noch ein Teil der LFP3 dauerhaft gekennzeichnet. Es ist auch nicht notwendig, dass auf allen Punkten stationiert werden kann. In der Regel werden die LFP3 nach den gleichen Prinzipien gekennzeichnet wie die LFP2. Es gibt Unterschiede bezüglich geringerer Dimensionen und Gewichten der Zeichen, sowie bezüglich Stationierbarkeit und erforderlicher Anschlussvisuren. Die primären Zeichen der LFP3 können unter Schacht oder mit Gussring geschützt werden. Auf sekundäre Zeichen kann generell verzichtet werden. Wenn vorhanden, sind aber die Kennzeichnung und Einmessung ebenfalls in Feldprotokollen darzustellen.

#### 5.4.3 HFP2/3

Bei den HFP2/3 wird nicht nach primären und sekundären Zeichen unterschieden. Es gibt nur primäre Zeichen.

### 5.5 Dokumentation der LFP2, der LFP3 und der HFP2/3

Von allen Vermessungsfixpunkten, mit Ausnahme der LFP3 ohne sekundäre Zeichen sind Punktprotokolle zu erstellen, welche die richtige Kennzeichnung im Feld beschreiben. Details dazu sind im Kapitel 6.1 aufgeführt.

Künstliche Objekte können mittels Foto im Protokoll dargestellt werden. Der Anzielpunkt ist darin speziell zu bezeichnen.

Die Protokolle der **LFP2** sind in einheitlicher Form über die ganze Schweiz gemäss den Angaben der Verifikationsinstanz zu erstellen.

Die Protokolle ausgewählter **LFP3** sind nach kantonalen Weisungen zu erstellen.

Die Protokolle der **HFP3** können in vereinfachter Form erstellt werden.

## **5.6 Schutz der Lage- und Höhenfixpunkte**

### **5.6.1 LFP2/3**

Vor der definitiven Standortwahl soll das Einverständnis des Eigentümers eingeholt werden. Für besonders wichtige Punkte wird empfohlen, dieses schriftlich zu vereinbaren. Der Eigentümer soll über die Rechte und Pflichten informiert werden, die mit der Duldung eines LFP verbunden sind. Ihm ist auch das Meldesystem bekannt zu geben.

Für die LFP2 wird empfohlen, diese im Grundbuch anzumerken. Materiell kann der Schutz mit Schächten, unterirdischem Versetzen der Zeichen oder Kennzeichnung mit Röhrchen etc. verbessert werden.

### **5.6.2 HFP2/3**

Die Höhenfixpunktzeichen sind in der Regel an Objekten (Häusern, Brückenwiderlagern, etc.) angebracht. Sie können materiell kaum geschützt werden. Bei ihnen ist es besonders wichtig, dass die betroffenen Eigentümer informiert werden und ihr Einverständnis zur Errichtung eines Höhenfixpunktzeichens geben.

## 6 Abschliessende Arbeiten / Dokumentation

Der saubere Abschluss und die Dokumentation jeder Arbeit ist für allfällige spätere Einsichtnahmen und für die Benutzer der offiziellen Daten von grosser Bedeutung. Deshalb werden hier die erforderlichen Abschlussarbeiten und verlangten Dokumente (vgl. auch Art. 64 TVAV, Anhang B) vollständig zusammengefasst:

### 6.1 Punktprotokolle

Für alle LFP2 und eine Auswahl von LFP3 sowie für alle HFP sind Punktprotokolle anzufertigen. Diese enthalten alle Angaben, welche für den Benutzer wichtig sind:

- Blattnummer der LK
- eigentliche Punktnummer
- Lagekoordinaten (in LV03) und Höhe (in LN02) auf den mm gerundet
- Angabe der Genauigkeit und Zuverlässigkeit
- Art der Zeichen
- Angaben über die sekundären Zeichen, sofern noch vorhanden
- Lageskizze oder Foto
- GNSS-Sichtbarkeit
- Datum der Erstellung bzw. Messung
- Angaben über das Operat bzw. die Sektion, Operatspunktnummer oder Name
- Gemeinde, Bezirk, Kanton
- Angaben über die Nachführung
- allfällige weitere Angaben:
  - Eigentümer und Parzellennummer
  - Angaben über eine allfällige Anmerkung im Grundbuch
  - Beziehungen zu früheren Punkten



Schweiz zu fördern und vor allem die Aktualität der Fixpunktdaten zu verbessern. Der FPDS ermöglicht den Benutzern, die Punktprotokolle und Punktkartenausschnitte direkt über das Internet zu gebrauchen.

### **6.3 Definitive Berechnung**

Die Dokumentation der Berechnungen ist auch im Kapitel 2.6.9 detailliert zusammengestellt. Diese Zusammenstellung betrifft aber den Nachweis aller Berechnungen, die schliesslich zum definitiven Resultat führen. Den offiziellen Akten soll aber nur die endgültige, definitive Berechnung beigelegt werden, die auch die gültigen Koordinaten und Höhen der Fixpunkte belegt. Die Resultate der Zwischenberechnungen müssen nicht zwingend aufbewahrt werden, es muss aber im Technischen Bericht auf diese Zwischenschritte und Beurteilungen hingewiesen werden.

### **6.4 Netzpläne**

Der Lage- und der Höhennetzplan werden für die trigonometrische Methode getrennt dargestellt. Sie stellen die in die definitive Berechnung eingeführten Messungen graphisch dar. Ebenso müssen die Fest- und Neupunkte aus der definitiven Berechnung klar unterschieden werden. Die Hilfspunkte werden ebenfalls dargestellt.

Bei reinen GNSS-Netzen kann der Netzplan durch den definitiven Messplan, der auch tabellarisch vorliegen kann, ersetzt werden.

Messungen, deren Einfluss in der Berechnung durch grosse Standardabweichungen absichtlich eliminiert wurde, werden nicht eingezeichnet. Um die Lesbarkeit zu gewährleisten, kann der Abstand zwischen Zentrum und Exzentrum vergrössert eingetragen werden. Gegebenenfalls können die Messungen zentriert dargestellt werden und die Exzentrumsbeziehungen pro Punktgruppe in grossem Massstab separat beigelegt werden.

Die Netzpläne sollen automatisch erstellt werden, ausgehend von den resultierenden Files der Berechnungssoftware. So wird gewährleistet, dass der Netzplan mit der definitiven Berechnung übereinstimmt. Ist dies nicht möglich, muss im Technischen Bericht darauf hingewiesen werden, mit welchen Hilfsmitteln die Netzpläne gezeichnet wurden. Die Netzpläne oder Tabellen müssen mit einer Legende versehen werden. Bei kleineren Arbeiten können die Netzpläne auch in vereinfachter Form ausgeführt werden.

### **6.5 Vektorpläne**

#### **6.5.1 Vektorplan frei, resp. weich gelagertes Netz - "Bisherige" Koordinaten**

Für die Beurteilung der Netzlagerung (Lage und Höhe) wird mit Vorteil ein Vektorplan erstellt (siehe Kapitel 2.6.6). Er ist ein Arbeitsplan, welcher wertvolle Hinweise über die bestehenden Zwänge zwischen den Anschlusspunkten liefert und den definitiven Akten beigelegt wird.

#### **6.5.2 Vektorplan frei, resp. weich gelagertes Netz - Definitive Berechnung**

Speziell für GNSS-Berechnungen ist ein Vektorplan aus den Koordinatendifferenzen frei/weich gelagertes Netz – Definitive Berechnung notwendig, welcher die Beurteilung der Nachbarbeziehungen (Vektordifferenzen) wesentlich erleichtert.

#### **6.5.3 Vektorplan der definitiven Wertänderungen**

Auf einem Ausschnitt aus der Punktkarte können bei Bedarf die Änderungen zwischen den bisherigen und den neuen Koordinaten dokumentiert werden.

### **6.6 Koordinaten- und Höhenverzeichnis**

Bei Ersterhebungen und Erneuerungen muss ein Koordinaten-/Höhenverzeichnis getrennt nach Anschlusspunkten der Kategorie 1, Anschlusspunkten der Kategorie 2, neu gerechneten Anschlusspunkten der Kategorie 2 und Neupunkten erstellt werden. Es enthält die Punktnummer, die definitiven Koordinaten und Höhen einstweilen noch in LV03/LN02, die Qualitätscodes sowie Angaben über die Nachführung während der Dauer der Bearbeitung. Es werden nur Punkte aufgeführt, welche in die Punktprotokolle übernommen werden.

## 6.7 Punktdatei

Es ist eine Datei über alle Fixpunkte zu führen, welche neben der eindeutigen Punktnummer mit Koordinaten und Höhen die weiteren Angaben gemäss Grunddatensatz der TVAV (Anhang A) enthält. Die Datei muss kontrolliert nachgeführt werden. In Zukunft wird diese Bedingung über FPDS abgedeckt werden.

## 6.8 Technischer Bericht

Für alle Arbeiten muss ein technischer Bericht erstellt werden, welcher den Arbeitsablauf beschreibt und besondere Feststellungen erwähnt. Dazu sind wenn möglich die Berichtsvorlagen von swisstopo zu verwenden. Für kleinere Arbeiten genügt ein Bericht in vereinfachter Form (Notizen).

## 6.9 Abrechnung

Die Abrechnung erfolgt mutations- bzw. operatsweise. Sie wird durch die Verifikationsinstanz geprüft und genehmigt. Darauf basierend wird der Bundesbeitrag zur Zahlung angewiesen.

## 6.10 Integration der Resultate in die Geoinformationssysteme

Mit der Genehmigung durch die Verifikationsinstanz werden die neuen Koordinaten und Höhen der Fixpunkte zu Bestandteilen der Amtlichen Vermessung und müssen in die Geoinformationssysteme der Nachführungsgeometer entsprechend dem DM.01-AV integriert werden:

- Durch die Einführung der definitiv gelagerten und berechneten Fixpunkte werden bestehende Daten der Amtlichen Vermessung sowie alle weiteren raumbezogenen Daten betroffen. Insbesondere in Gebieten, in welchen bereits Daten im Qualitätsstandard AV93 vorliegen, haben Wertänderungen an den Fixpunkten Auswirkungen auf sämtliche Ebenen der Amtlichen Vermessung, da diese die Basis (den Bezugsrahmen) für sämtliche Detailpunkt-Aufnahmen (z.B. für Grenzpunkte, die Bodenbedeckung usw.) bildeten. Damit die Qualitätsanforderungen an die einzelnen Informationsebenen weiterhin gewährleistet werden können, sind unter Umständen Anpassungsarbeiten (z.B. Interpolation) erforderlich. Die Einhaltung dieser Qualitätsanforderungen ist nachzuweisen.
- Nach der Erfassung der Daten im FPDS (Fixpunktdatenservice) ist es möglich, aus den Topics FIXPUNKTEKATEGORIE1 und FIXPUNKTEKATEGORIE2 die Tabellen für die LFP1 und LFP2 gemäss DM.01-AV direkt in Interlis 1 zu exportieren. Zu einem späteren Zeitpunkt ist auch die Abgabe der HFP1 vorgesehen. Die entsprechenden Interlis-Transfer-Dateien können so von den zuständigen Geometern direkt in die Geoinformationssysteme integriert werden. Die sich daraus ergebenden, allfälligen Anpassungsarbeiten an den anderen Ebenen der Amtlichen Vermessung sind mit den zuständigen Nachführungsgeometern abzusprechen.

## 7 Verifikation

Die Verifikation muss durch die zuständige Verifikationsinstanz begleitend vorgenommen werden. Die Verifikation der LFP2/HFP2 fällt in die Zuständigkeit von swisstopo; für die Kontrolle der LFP3/HFP3 sind die Kantone verantwortlich (Art.48 TVAV). Bei der Verifikation wird die vorschrifts- bzw. vertragsgemässe Arbeitsausführung geprüft.

### 7.1 Netzentwurf

Bei der Ersterhebung und der Erneuerung von FP-Netzen muss der definitive Netzentwurf zusammen mit einem Zwischenbericht über die Vorbereitungs- und Rekognoszierungsarbeiten der Verifikationsinstanz zur Genehmigung eingereicht werden (siehe Kapitel 2.4).

### 7.2 Feldverifikation

Bei Ersterhebungen oder nach Bedürfnis kann eine Feldverifikation durchgeführt werden. Dabei werden die Punktkennzeichnung und die Messungen beurteilt. Über die Feldverifikation wird vom Verifikator ein Bericht erstellt.

### 7.3 Abzuliefernde Akten

Bei Ersterhebungen und Erneuerungen werden nach Projektabschluss, bei den übrigen Arbeiten jährlich folgende Akten zur Verifikation abgeliefert:

- Gebiets- und Operatsblatt sowie Kostenzusammenstellung / Abrechnung
- Technischer Bericht
- Feldprotokolle (Rekognoszierung, Kennzeichnung)
- Messprotokolle mit Inhaltsverzeichnis
- Protokolle der Instrumentenprüfung, verwendete Transformationsparameter für GNSS-Messungen sowie die Berechnung / Nachweis der letzten Einmessung beim Einsatz einer permanenten GNSS-Referenzstation
- Berechnungen
  - Vorbereitende Berechnungen  
(z.B. GNSS-Basislinien-Lösungen, Geoidundulation, Stationsausgleichung aus trigonometrischen Messungen)
  - Frei/weich gelagerte und definitive Ausgleichung
  - Transformationen / Interpolationen
- Koordinaten- und Höhenverzeichnis
- Lage- und Höhennetzplan
- Vektorpläne:
 

|  |  |
|--|--|
| Frei/weich gelagertes Netz - "Bisherige" Koordinaten | Beurteilung der Zwänge / Anschlusspunkte |
| Frei/weich gelagertes Netz - Definitive Berechnung   | Darstellung der verbleibenden Zwänge     |
| "Bisherige Koordinaten" - Definitive Berechnung      | Darstellung der Koordinatenänderungen    |
- Operatspunktkarte bzw. Punktplan
- Kopie der nachgeführten oder neu erstellten Punktprotokolle
- Topic "FixpunkteKategorie2" in Interlis im DM.01-AV  
*Bereitstellung der Daten für die Abgabe an die lokalen Nachführungsgeometer, damit Sie direkt in die Geoinformationssysteme integriert werden können. Lieferung an swisstopo nur nach Absprache.*
- Bei Verwendung von alten Messungen: Liste der Punktidentifikationen mit Hinweis auf die Herkunft
- Liste der Neupunkte mit Angaben über Beziehungen zu alten LFP2 sowie Löschungen



#### **7.4 Verifikationsbericht**

Nach jeder Verifikation wird ein Bericht erstellt, welcher den eidgenössischen und den kantonalen Verifikationsinstanzen sowie den mitbeteiligten privaten Büros übergeben wird. Darin werden die abgelieferte Arbeit beurteilt und die festgestellten Mängel aufgelistet.

#### **7.5 Mängelbehebung**

Die Mängel müssen innerhalb der von der Verifikationsinstanz festgesetzten Frist durch den Ausführenden behoben werden. Bei Ersterhebungen und Erneuerungen werden anschliessend an die Mängelbehebung die entsprechenden Akten mit einem Bericht über die Ergänzungsarbeiten und Korrekturen erneut der Verifikationsinstanz zur Überprüfung eingereicht.

### **8 Anerkennung**

Nach der Mängelbehebung und wenn alle Dokumente gemäss Vertrag/Auftrag vorliegen, wird das Werk auf Antrag der betroffenen Verifikationsinstanz durch die Eidgenössische Vermessungsdirektion genehmigt.

Darauf basierend beantragt der Kanton bei der Eidgenössischen Vermessungsdirektion die Auszahlung des Bundesbeitrages.

## Abkürzungen / Begriffe

|                      |   |
|----------------------|---|
| <b>AP</b>            | Anschlusspunkt  |
| <b>AV</b>            | Amtliche Vermessung   |
| <b>AV93</b>          | Amtliche Vermessung 1993  |
| <b>AzP</b>           | Azimutpunkt   |
| <b>BP</b>            | Bodenpunkt  |
| <b>CH1903</b>        | Schweizerisches geodätisches Datum, definiert 1903 (Referenzellipsoid Bessel 1841)                        |
| <b>CH1903+</b>       | Schweizerisches geodätisches Datum, definiert 1995 (Referenzellipsoid Bessel 1841)                        |
| <b>CHGeo2004</b>     | Geoidmodell der Schweiz von 2004  |
| <b>CHTRF95</b>       | globaler Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995   |
| <b>CHTRS95</b>       | globales Bezugssystem der Landesvermessung 1995 (Referenzellipsoid GRS80)                                 |
| <b>ETRF93</b>        | European Terrestrial Reference Frame 1993   |
| <b>ETRS89</b>        | European Terrestrial Reference System 1989 (Referenzellipsoid GRS80)                                      |
| <b>metas</b>         | Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung   |
| <b>ETH</b>           | Eidgenössische Technische Hochschule  |
| <b>Exz</b>           | Exzentrum   |
| <b>FINELTRA</b>      | Software für die affine Transformation über finite Elemente   |
| <b>FP</b>            | Fixpunkt  |
| <b>FPDS</b>          | Fixpunkt-Datenservice   |
| <b>g<sub>i</sub></b> | wahrscheinlicher Wert eines möglichen groben Fehlers  |
| <b>GDOP</b>          | Geometric dilution of precision   |
| <b>GNSS</b>          | Global Navigation Satellite System  |
| <b>GPS</b>           | Global Positioning System, satellitengestütztes Vermessungssystem   |
| <b>HTRANS</b>        | Software für die Transformation LN02 ↔ LHN95  |
| <b>HFP (1-3)</b>     | Höhenfixpunkt (Kategorien 1 bis 3)  |
| <b>HP</b>            | Hilfspunkt  |
| <b>HZP</b>           | Hochzielpunkt   |
| <b>LFP (1-3)</b>     | Lagefixpunkt (Kategorien 1 bis 3)   |
| <b>LHN95</b>         | Landeshöhennetz von 1995 (streng orthometrische Höhen)  |
| <b>LK</b>            | Landeskarte   |
| <b>LN02</b>          | Landeshöhennetz von 1902 (Gebrauchshöhen)   |
| <b>LRS</b>           | Lokale Referenzstation  |
| <b>LTOP</b>          | Software zur Netzausgleichung (swisstopo)   |
| <b>LV</b>            | Landesvermessung  |
| <b>LV03</b>          | Bezugsrahmen der Landesvermessung von 1903  |
| <b>LV95</b>          | Bezugsrahmen der Landesvermessung von 1995  |
| <b>m<sub>σ</sub></b> | Standardabweichung der Gewichtseinheit (mittlerer Gewichtseinheitsfehler)                                 |
| <b>m.F.</b>          | mittlerer Fehler (Standardabweichung)   |
| <b>NA</b>            | Maximaler Wert für die äussere Zuverlässigkeit, längere Seite des Rechteckes der äusseren Zuverlässigkeit |
| <b>NB</b>            | Kürzere Seite des Rechteckes der äusseren Zuverlässigkeit   |
| <b>NH</b>            | Maximaler Wert der äusseren Zuverlässigkeit für die Höhe  |
| <b>NP</b>            | Neupunkt  |
| <b>ppm</b>           | parts per million   |
| <b>RTK</b>           | GNSS-Messmethode "Real Time Kinematic" (echtzeit kinematisch)   |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>RMS</b>              | root mean square (errors)   |
| <b>swisstopo</b>        | Bundesamt für Landestopografie  |
| <b>TP</b>               | Triangulationspunkt   |
| <b>TRANSINT</b>         | Software für die Berechnung von Transformationen und Interpolationen                              |
| <b>TS</b>               | Toleranzstufe nach AV93 (Stufe 1-5)   |
| <b>TSP (1/2)</b>        | Transformationsstützpunkt (Kategorie 1 und 2)   |
| <b>TVAV</b>             | Technische Verordnung über die Amtliche Vermessung (Juni 1994 / März 2003)                        |
| <b><math>v_i</math></b> | Verbesserung der Beobachtung $i$  |
| <b>V+D</b>              | Eidg. Vermessungsdirektion  |
| <b>VAV</b>              | Verordnung über die Amtliche Vermessung (November 1992 / März 2003)                               |
| <b>VRS</b>              | Virtuelle Referenzstation   |
| <b><math>w_i</math></b> | Standardisierte Verbesserung $v/\sigma_v$   |
| <b>WGS84</b>            | World Geodetic System 1984 (GPS-Bezugssystem)   |
| <b><math>z_i</math></b> | Lokale Zuverlässigkeit (Verteilung der Überbestimmung des Netzes auf die einzelnen Beobachtungen) |
| <b>ZP</b>               | Zentrumspunkt   |

**freies Netz:** ein geodätisches Netz, welches durch keine äusseren Festlegungen (z.B. Lagerung und Orientierung in einem Punkt) beeinflusst ist und einzig durch die gegenseitigen Beziehungen zwischen den Beobachtungen (Messungen) definiert ist.

**frei gelagertes Netz:** ein **geodätisches** Netz, das in einem Koordinatenrahmen minimal gelagert ist. Die Lagerung übt keinen Zwang auf das Netz aus.

**weich gelagertes Netz:** ein frei gelagertes Netz, in dem die Koordinaten der Lagerungspunkte als fingierte Beobachtungen (mit zugehöriger Standardabweichung) eingeführt werden. Je nach Genauigkeit (Standardabweichung) dieser Koordinaten werden die ursprünglichen Beobachtungen mehr oder weniger gezwängt.

**Helmert-Transformation:** die Lagerung des freien Netzes wird erreicht durch Anfelderung (d.h. Translation, Rotation und Skalierung) auf die Näherungskordinaten der Festpunkte, so dass die Summe der Klaffungquadrate in den Festpunkten minimal wird.

**Theoretische Standardabweichung:**  
mittlerer Fehler a priori

**Empirische Standardabweichung:**  
mittlerer Fehler a posteriori

**Konfidenzellipse:** mittlere Fehlerellipse

**"absolute" Genauigkeit:** Standardabweichung / m.F. bezüglich eines beliebigen Punktes in der Schweiz im Bezugsrahmen LV95 resp. LHN95