

**Bericht über vermessungstechnische Untersuchungen zur Frage der
Nord-Südalpengrenze
im Zusammenhang mit rezenten Krustenbewegungen
(Periadriatische Naht/Karawankenprofil)**

Von H. SCHMID und K. PETERS*

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung

Im Bereich des geplanten Autobahntunnels durch die Karawanken und im Bereich des existierenden Eisenbahntunnels gibt es in den Südalpen zwei große E-W streichende Störungen, die Periadriatische Naht und die Save Linie. Langzeitliche Krustenbewegungen sind in E-W, N-S und vertikaler Richtung zu erwarten und sollten mit Laser-EDM und Präzisions-Theodoliten gemessen werden können. Nach detaillierten geologischen Felduntersuchungen wurden tiefgegründete Vermarkungspfeiler auf der Sattnitzplatte (tektonisch ruhig, PLÖ), in den nördlichen Karawanken (SIN, FER), in der Hauptkette der Karawanken (BEL, SCH, BEG) und S der Save (KAT, HOM) errichtet. Erkundung und Errichtung der Pfeiler war kostspielig und zeitaufwendig. Die Nullmessung wurde im österreichischen Teil 1975 und 1976 durchgeführt. Das Erdbeben in Friaul im Mai 1976 brachte keine faßbaren Bewegungen. 1977 wurde der jugoslawische Teil vom Geodetski Zavod, Slovenija, erstmals vermessen. Die Zusammenarbeit zwischen Österreichern und Jugoslawen war sehr gut. Das österreichische Netz wurde ohne Verzerrung mit PLÖ als festem Kontrollpunkt und einer Orientierung zum Ulrichsberg (ULR) erstellt. Das slowenische Netz wurde mit einer Singulär-Matrix ausgeglichen und mit Hilfe der Punkte BEL und BEG in das österreichische System transformiert. Beide Teile fügten sich sehr gut zusammen. Die Standardabweichungen waren entsprechend den Vorausberechnungen ca. 2 cm in N-S, 5 bis 7 cm in E-W und über 10 cm in vertikaler Richtung. Aufgrund technischer Schwierigkeiten ist die Redundanz der Messungen gering und man konnte die Netzbedingungen nicht durch weitere Distanzen, Richtungen oder Kontrollpunkte verbessern, auch große atmosphärische Effekte nicht verringern. Daher sollten die Folgemessungen häufiger als sonst üblich durchgeführt werden (alle 3-5 Jahre). Bei einer angenommenen Höhenänderung von 5 mm/Jahr würde mit der heutigen Meßgenauigkeit in 60 Jahren ein signifikantes Ergebnis feststellbar sein, bei einer horizontalen Bewegung von 2 mm/Jahr in 12 Jahren. Die vorhandenen Vermarkungspfeiler werden jedoch bei Fortschritten in der EDM, Doppler- und anderer Meßtechniken gute Dienste leisten.

* Adresse der Verfasser: Institut für Landesvermessung der Technischen Universität Wien, Gußhausstraße 25—29, 1040 Wien.

Summary

In the Southern Alps in the area of the existing railway tunnel and the planned highway tunnel through the Karawanks there are two geological E/W faults: the Periadriatic Line between the northern and the main chain of Karawanks in Carinthia; and the Save line, along Save river in Slovenia.

Long-term crustal movements are expected in E/W, N/S and vertical direction and should be measured by Laser-EDM and High Precision Theodolite observations.

Following to micro- and macrorange geological field reconnaissance, deep-founded pillars were erected on the Sattnitz range (tectonical firm, PLÖ) on the northern Karawanks (SIN, FER), the main Karawanks (BEL, SCH, BEG) and southward of Save river (KAT, HOM). The costs of the high mountain pillars were extremely expensive and over all, reconnaissance in geological and geodetic respect and the following stabilisation took a good part of work, time and money. Zero measurements were carried out at the Austrian part 1975 and 1976, the Friulian earthquake of May, 1976, bringing in no significant movements. 1977 the Yugoslavian part was measured the first time by Geodetski Zavod, Slovenija. The cooperation between Austrian and Yugoslav surveyors proved to be very good. The Austrian net was adjusted without strain with PLÖ as firm control point and Orientation to Ulrichsberg (ULR). The Slovenian net was adjusted with singular matrix and transformed into the Austrian System, with BEL and BEG as check points. The two parts agreed highly. Standard deviations, according to the precalculation, were about 2 cm in NS, 5 to 7 cm in EW and over 10 cm in vertical direction. Due to technical difficulties (costs of pillar, geological and topographic obstacles) the redundance of measurements is weak and one could not strengthen net condition with further distances, directions or control points, nor suppress great atmospheric effects. Therefore the following measurements are to be carried out more frequently (every 3 to 5 years) than otherwise requested. At hypothetic height variation of 5 mm/a there would be in 60 years a significant result with present precision and accuracy of measurement, at horizontal movement rate of 2 mm/a in 12 years. Respecting the advances in EDM, Doppler and other techniques it will be possible to use our pillars continuously in future technology periods.

1. Vorarbeiten

1.1. Problemstellung, Erkundung

Die von G. RIEHL-HERWIRSCH im Jahre 1973 vorgelegte Frage lautete nach Erfassung von dreidimensionalen Bewegungsvektoren zwischen der Sattnitz einerseits, der beiderseits der „Periadriatischen Naht“ gelegenen Karawankennord- bzw. Hauptkette andererseits.

Bei der Erkundung und Anlage des Netzes mußten folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- 1) Der langfristigen Benützungsdauer der Punkte entsprechend, stabile und aufwendige Vermarkung durch verwitterungssicher in für die Makrogeologie

repräsentativer, von der Mikrogeologie unbeeinflusster Lage und Tiefe aufgeführte Beobachtungspfeiler.

- 2) Das ungewöhnlich dicht bewaldete, extrem stark kuptierte Gelände mit der Staatsgrenze gegen Jugoslawien entlang der Südkette, reichlichen Niederschlägen und häufigen Dunst- und Nebellagen über dem Ferlacher Stausee bzw. Klagenfurter Becken. Eine Erweiterung nach Süden hin war dabei vorzusehen.
- 3) Jeder geometrisch redundante Punkt, welcher die Netzkondition stabilisieren würde, bedingt eine neue geologische Fragestellung, d. h. das eigentliche Problem wird nicht einfacher, sondern komplizierter; die ideale Netzausdehnung konvergiert nicht.

Um den Vermarktungs- und Messungsaufwand in einem vernünftigen Rahmen zu halten, sollten möglichst viele Punkte befahrbar sein. Alle Randbedingungen zusammen ergaben dann das vorliegende Netz fast zwingend ohne gleichwertige Alternativen, wobei folgende Nachteile in Kauf genommen werden mußten:

- 1) Als Bezugspunkt gilt der Plöschenberg, als einzige Orientierungsrichtung der Ulrichsberg. Für die Stabilität dieser Punkte werden als Grobkontrolle Richtungs- und Streckenmessungen nach dem Pyramidenkogel vorgenommen. Die geologisch erwünschte Einbeziehung des Schrottkogels nördlich der Rauscheleseefurche war wegen dichter Bewaldung sowie widrigem Relief nördlich des Plöschberges unmöglich.

Das Netz ist dadurch allerdings zwangfrei aufgebaut; außerdem sind eventuelle signifikante Koordinatenänderungen leicht zu deuten.

Wie später zu sehen, sind die Genauigkeiten der Koordinatenänderungen nicht isotrop, d. h. eine Aussage in Nord/Süd-Richtung ist schärfer zu präzisieren als in Ost/West-Richtung.

Ein fehlertheoretisch günstigerer Ansatz als reines Streckennetz hätte noch etwa zwei weitere Pfeiler auf der Sattnitz erfordert, solche ließen sich aber wegen der o. a. Randbedingungen nicht erstellen.

- 2) Wegen des zu großen Aufwandes mußte von Höhenbestimmung durch geometrische Liniennivellements abgesehen werden. Die Netzseiten sind länger als in der Landesvermessung für trigonometrische Höhenmessung vorgesehen, so daß sich die Höhen nur mit einer der Fragestellung nicht entsprechenden Genauigkeit bestimmen lassen. Aber auch einem gesonderten trigonometrischen Nivellement zwischen den Pfeilern mit Schrägdistanzen von etwa 2–4 km Länge steht die ungünstige Topographie entgegen.

Sämtliche zu vermarktende Punkte wurden von G. RIEHL makro- und mikrogeologisch festgelegt.

Dabei ergab sich zusätzlich zum Grundnetz Plöschenberg/Singerberg, Ferlacherhorn/Belscica, Scheriaualm (Abb. 1) noch die Notwendigkeit, nördlich des Singerberges (Abb. 1a) die Zwischenpunkte Robenjak (Bärentalkonglomerat) und Josefbauer (Schuppe, Moräne?) sowie im Nahbereich der Ferlacher Hornes zwei Versicherungspunkte für den kluftexponierten Hauptpfeiler zu setzen.

Damit war aber das Netzkonzept als konventionelles, zwangsfreies Richtungs-

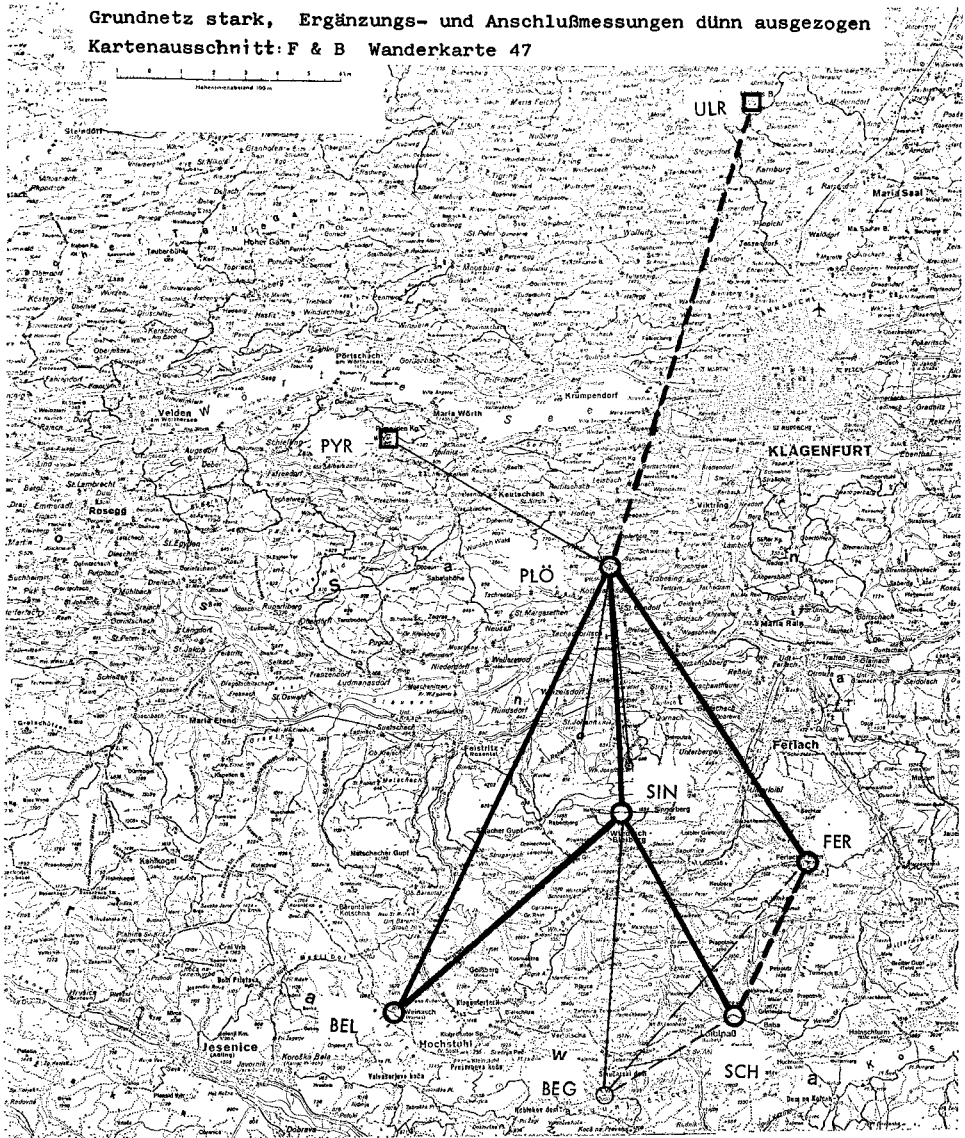


Abb. 1: Österreichischer Netzteil

- Stand- und Zielpunkt □ Zielpunkt
- Richtung-, Zenitdistanz- und Streckenmessung
- - - Richtungsmessung; im Grundnetz: Richtungs- und Zenitdistanzmessung

und Streckennetz mit gleichzeitigen gegenseitigen Zenitdistanzen bei allen Visuren gegeben.

(Unabhängig vom derzeitigen Stand der Technologie können die Pfeiler kontinuierlich als Festpunkte für spätere genauere Verfahren dienen.)

Hinsichtlich der Lage waren nur sehr geringe Überbestimmungen gegeben:

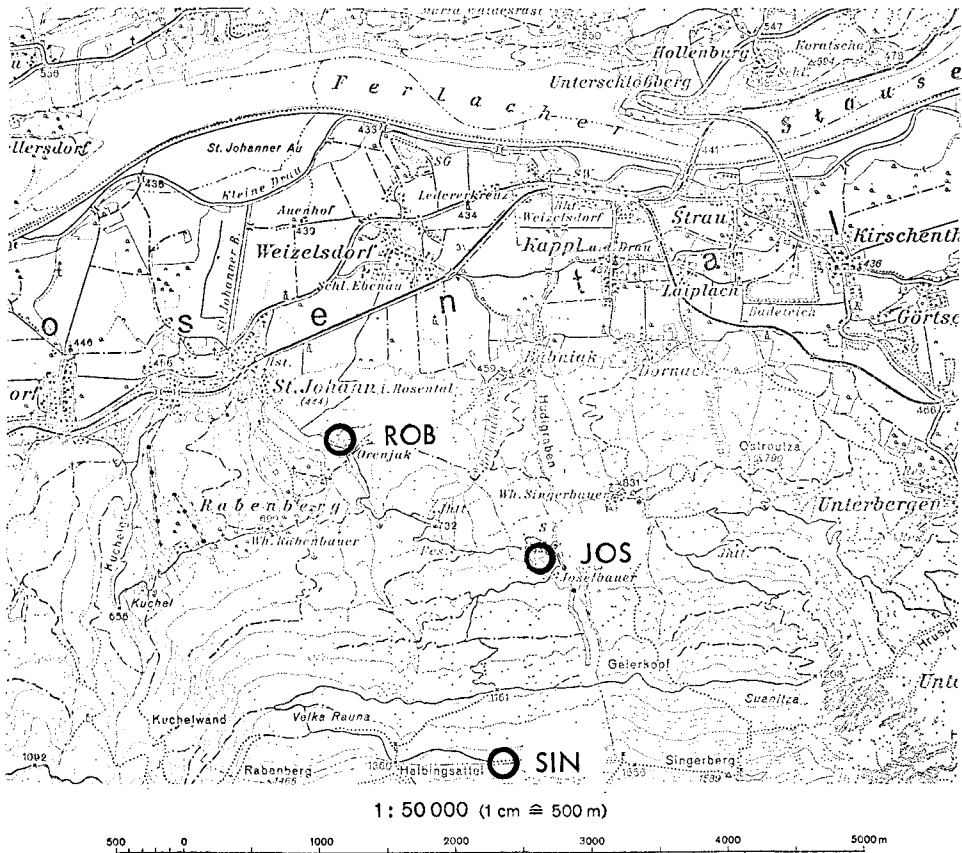


Abb. 1a: Detail Singerberg (aus OK 202, 1 : 50.000)

in der Westhälfte 1 Strecke und 2 Winkel, in der Osthälfte überhaupt nur 2 Winkel. Die reichlichen Redundanzen in der Höhe konnten deren Genauigkeit nicht entscheidend verbessern. Damit ist klar, daß hier von den zwei Wegen zur Genauigkeits- und Zuverlässigkeitssteigerung bei Bewegungsmessungen

ein hochredundantes Netz in großen, oder

ein Minimalnetz in geringen Zeitabständen zu beobachten,

der zweite vorlag, welcher auch den praktischen Möglichkeiten eher entgegenkam.

1.2. Vermarkung

Die befahrbaren Punkte Plöschenberg, Robenjank, Josefbauer und Singerberg wurden von einem Bautrupps des Amtes der Kärntner Landesregierung, Pfeiler und Versicherungspunkte Ferlacher Horn unter Mitwirkung eines Bundesheerhubschraubers für Materialtransporte von G. RIEHL vermarktet (1973).

Entlang der Staatsgrenze wurden vorerst der KT-Stein 49-211 „Bevsica“ des BAfEuV bzw. östlich des Loiblpasses auf der Scheriaualm in den Boden eingeramte Kunststoffmarken „Monobloc“ verwendet.

Nach erfolgreicher Kontaktaufnahme mit jugoslawischen Dienststellen wurde 1976 auf der Belsica ca. 500 m südöstlich und 90 m höher als der KT auf geologisch geeigneter Stelle auf Kosten der Geodetska uprava SRS durch ein jugoslawisches Unternehmen ein Pfeiler errichtet, auf welchen dann die Werte des vorläufigen Punktes zentriert wurden. 1977 errichtete eine private österreichische Baufirma auf Projektkosten einen Pfeiler auf der Scheriaualm, ebenfalls nach geologischer Begutachtung durch RIEHL, wobei wieder die Hilfe eines Bundesheerhubschraubers erforderlich war. Wie stark die Vermarktungskosten die Organisation von Bewegungsmessungen im Gebirge beeinflussen, ist vielleicht nicht allgemein geläufig: Im nicht befahrbaren Gelände sind die Kosten des Pfeilerbaues durch Steh-, Warte- und Fehlzeiten extrem hoch (ca. ö.S. 80.000,- je Punkt), woran auch die Abkömmlichkeit und Wetterempfindlichkeit des Hubschraubers beteiligt sind. Die Geodetska uprava SRS hatte deshalb eine private Baufirma mit der Pfeilererrichtung beauftragt, welche das Baumaterial durch Maultiere auf die Hochgipfel brachte. Auch hier gab es äußerst hohe Kosten.

2. Nullmessungen

Die Richtungen und die Zenitdistanzen wurden in je 8 vollständigen Sätzen mittels T3, DKM2A oder T2 gemessen, letztere gleichzeitig-gegenseitig.

Die Strecken wurden von den befahrbaren Punkten Plöschenberg und Singerberg mittels Lasergeodimeter AGA8 (im Eigentum des Fonds) zwei- bis dreifach gemessen.

Die meteorologischen Werte wurden außer auf den Endpunkten auch noch je nach Möglichkeit auf einer Fesselballonsonde der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, welche in Weizelsdorf im Drautal stationiert war, beobachtet.

Nach Probemessungen im Juni 1975 wurde das Grundnetz erstmals im Oktober 1975 durchgemessen.

Nach dem Friauler Starkbeben vom Mai 1976 sollte das Gebiet auf signifikante Verschiebungen untersucht werden. Daher wurden im Juni 1976 wichtige Netzelemente, im Oktober 1976 das gesamte Netz beobachtet, einschließlich der polaren Anhänger nördlich des Singerberges und der Versicherungen am Ferlacher Horn (letztere mit T2 und DI3S).

Da die Resultate innerhalb der statistischen Vertrauensbereiche ($S = 95\%$) lagen, konnte keine signifikante Bewegung nachgewiesen werden.

3. Zusammenarbeit mit jugoslawischen Dienststellen

1974 wurde mit dem Geodetski savod SRS, entsprechend einer Anregung von G. RIEHL, das Netz bis südlich der Savelinie auszudehnen, das Profil Plöschenberg-Singerberg-Belsica südlich über Sveti Katerina nach Hom hinweg verlängert. Nach dem Friauler Katastrophenbeben, welches auch in Slowenien starke Schäden verursacht hatte, wurde das Karawankenprojekt von allen jugoslawischen Fach-

Koordinatenverzeichnis Österreich (M 31):

		Y	X	H	Ziel/Höhenbezug	Pfeiler Nr. (Riehl)
ULB 1	Ulrichsberg	73 810,47	5 174 098,40		Kreuz Mitte	—
PLO 11	Plöschenberg	69 161,100	5 159 612,880	784,54	Pfeiler (OK)	I
SIN 22	Singerberg 75/76	69 265,834	5 151 723,026	1454,64	Pfeiler (OK)	IV
FER 21	Ferlacher Horn 75/76	75 398,184	5 150 180,427	1841,02	Pfeiler (OK)	V
BEL 33	Belscica 75/76	62 053,692	5 145 748,045	2018,83	Pfeiler (OK)	—
SCH 31	Scheriaualm 75/76	73 046,831	5 145 363,217	1623,51	Marke NW (Boden)	—
BEG 41	Begunjscica 77	68 972,465	5 142 865,740	2061,09	Pfeiler (OK)	—
JOS —	Josefbauer 76	69 639,768	5 153 299,488	911,98	Pfeiler (OK)	III
ROB —	Robenjak 76	68 109,912	5 154 159,898	604,13	Pfeiler (OK)	II

Lokale Einmessung Ferlacher Horn, bezogen auf Pfeileroberkante:

von	nach	beobachtete Richtung	hor.met.red. Strecke im Messungs-horizont	Δ h
Pfeiler FER	Pfeiler PLO	0°-00-00		
	Versich. SO	223 -13-30	211,830	-72,756
	Versich. SW	247 -53-32	240,916	-86,798

Koordinatenverzeichnis Jugoslawien:

		Y	X	H	
3 KAT	Sv. Katerina	-68 268,080	5 139 806,701	636,523	
8 JOST	Sv. Jost	-53 363,856	5 122 840,454		Fernziel (Kn M)
1 BEL	Belscica	-65 686,830	5 145 785,298	2018,97	
2 BEG	Begunjscica	-58 830,230	5 142 758,087	2061,51	
4 HOM	Hom	-69 397,717	5 133 780,675	678,86	
5 JBT	S. Basisende Radovljica	-62 190,554	5 133 810,258	503,56	

Transformationselemente über BEL/BEG gerechnet im Sinne Jugoslawien—Österreich (1977)

$\epsilon = 398^{\circ}-66-08,$ $k = 0,9999964$

Tab. 1

dienststellen stark forciert und im Herbst 1976 in Katerina, Hom, auf den Hochgipfeln Belscica und Begunjscica Pfeiler errichtet sowie im Juni 1977 die Nullmessungen durchgeführt (Abb. 2). Für die Verbindungsmessungen über die Staatsgrenze hinweg wirkte hierbei ein Meßtrupp des Instituts für Landesvermessung der TU Wien mit.

Richtungen und Zenitdistanzen wurden nach demselben Schema wie bei uns gemessen; die Distanzen wurden zweimal mittels Geodimeters AGA 710 beobachtet, und zwar von den befahrbaren Punkten Katerina, Hom und Radovljica (südlicher Endpunkt der slowenischen Invarbasis) aus. Die Messungen und Auswertungen wurden durch die Geodetska uprava SRS organisiert und beauftragt (GOLOREJ), durch den Geodetski zavod SRS Ljubljana ausgeführt (JENKO) und erreichten ein technisch sehr hohes Niveau.

4. Auswertung

Die Ausgleichung des Netzes erfolgte mittels des äußerst flexiblen Programmes „NETZ 30“ von A. ELMIGER in der Fassung von J. FÜRST auf der Cyber der TU Wien.

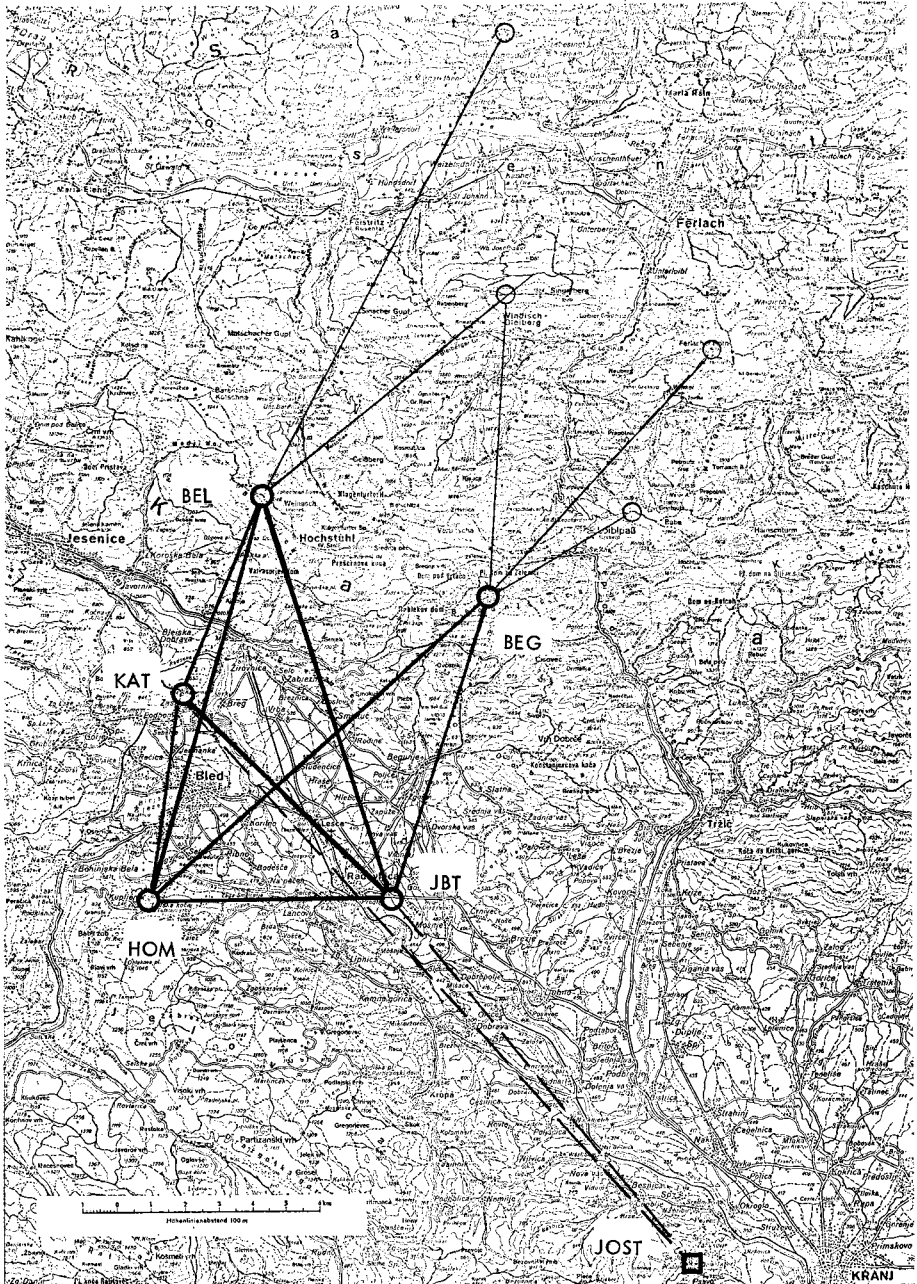


Abb. 2: Jugoslawischer Netzteil
 Grundnetz stark, Ergänzungs- und Anschlußmessungen dünn ausgezogen
 Kartenausschnitt: F & B Wanderkarte 47

Vor Beginn der Nullmessungen wurden Genauigkeitshochrechnungen mit Hilfe der bekannten Formmatrix und den a priori-Standardabweichungen von ± 2 cm für eine Strecke (außer ± 3 cm Plö/Bel), $\pm 3^{\text{cc}}$ für eine gemittelte Richtung, $\pm 5^{\text{cc}}$ für eine gemittelte Zenitdistanz vorgenommen, und zwar mit der konventionellen Annahme gemäß 1.2., dann als singuläres Netz mit Rangabfall 4 bzw. 3, nur um einen Vergleich zu den in den einschlägigen Veröffentlichungen angegebenen Fehlerdaten zu erhalten. Mit großen Halbachsen der Fehlerellipsen zwischen 12 und 26 mm liegen diese meist innerhalb des legendären Einschillingstückes (Abb. 3). Weiters wurden die relativen Fehlerellipsen benachbarter Punkte vorausgerechnet; die beim konventionellen Koordinatenausgleich ersichtliche Benachteiligung der Südkettenpunkte ist hier merklich kleiner. Die mittleren Höhenfehler allerdings liegen über ± 10 cm. Da außer der Scheriaualm alle Punkte unmittelbar neben Festpunkten des BAfEuV lagen, waren die vorläufigen Koordinaten einfach zu erlangen. Eine Trendrückberechnung ist aber nicht möglich, da die Triangulierungspunkte verschiedenen Messungs- und Berechnungsepochen entstammen. Es läßt sich nachweisen, daß (unter Annahme zeitproportionaler Bewegung) die Genauigkeit der jährlichen Koordinatenänderung umso größer ist, je länger das betrachtete Zeitintervall ist; die Beobachtungshäufigkeit innerhalb des Intervalls hat nur sehr geringen Einfluß. Bei einer jährlichen relativen Höhenänderung von 5 mm wäre bei ± 10 cm Grundgenauigkeit erst in 60 Jahren ein signifikanter Bewegungsnachweis zu liefern; bei ± 2 cm Lagegenauigkeit könnte in 12 Jahren erstmals eine Lageänderung von mindest 5 mm/a nachgewiesen werden. Der dreidimensionale Netzausgleich (unter Einschluß der Begunjsica) bestätigte die a priori Genauigkeitsannahmen; wegen der geringen Redundanz sind die Abweichungen unerheblich. Bei der Höhenberechnung wurde auf die Schätzung des Refraktions-

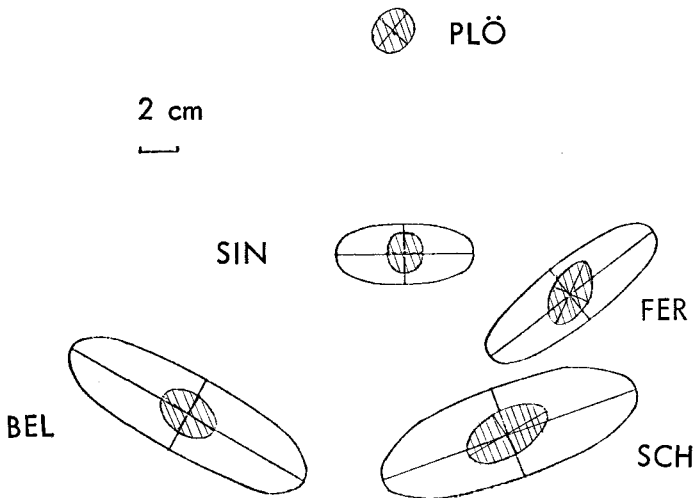


Abb. 3: Fehlervorausberechnung 1975

(Formmatrix gemäß Grundnetz Abb. 1. — Stochast. Modell siehe Text 4)

Schraffiert: Rechnung als singuläres Netz (Rangdefizit 4) — Außen: Konventionelle Rechnung

koeffizienten und der lokalen Lotabweichungskomponenten verzichtet. Letzteres wirkte sich wohl auf die Varianzschätzung nachteilig aus, aber nicht auf den Betrag einer ev. Höhenänderung. Wegen der geringen Anzahl übergreifender Messungen wurde weiters auf eine gemeinsame Ausgleichung mit den jugoslawischen Daten verzichtet.

Vergleicht man die Koordinaten der Paßpunkte Belsica und Begunjica aus dem österreichischen Ausgleich (in M 31, Lagerung in Plöschenberg, Orientierung nach Ulrichsberg) mit den jugoslawischen Werten (gleichfalls Gauß-Krüger Koordinaten, Lagerung in Radovljica, Orientierung nach Sv. Jost) und reduziert von der Rechenfläche in den Messungshorizont, divergieren die Strecken um 3 cm auf 7,5 km ($4 \cdot 10^{-6}$) und die Orientierungswinkel (auf 3 unabhängige Arten gerechnet) um $0''$ bis $7''$; dies sind unter Berücksichtigung der Kondition ausgezeichnete Werte.

Eine Änderung dieser anschließend angegebenen Transformationselemente ist der Indikator für Bewegungen beider Netzteile.

Literatur:

Jahresberichte über Arbeiten am Forschungsschwerpunkt N 25:

1973: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt 1974, Heft 4, S. A 145, A 146 (RIEHL)

1974: 2. Bericht, ZAfMuGd 1975, S. 9, 10, 10a (GUTDEUTSCH, RIEHL, SCHMID)

1975: 3. Bericht, ZAfMuGd 1976, Publ.Nr. 212, S. 42, 43 (SCHMID)

1976: 5. Heft, ZAfMuGd 1977, Publ. 221, S. 100, 101 (SCHMID)

H. SCHMID: Karawankenprojekt. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 1976, S. 41—54, Institut für Vermessungswesen und Photogrammetrie der Universität Innsbruck, Publ.Nr. 2.

H. SCHMID: Radiosondenaufstiege bei der elektronischen Distanzmessung. Festschrift Löschner, TU Aachen, Nr. 23, 1977, S. 381—388.

Geodetska uprava SRS: Die Messungen der rezenten tektonischen Bewegungen in den Karawanken (in slowenischer Sprache). Ljubljana, 1978.