Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 79 (1981)

Heft: 12

Artikel: Höhenänderungen im Simplongebiet

Autor: Gubler, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-230690

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Höhenänderungen im Simplongebiet

E. Gubler

In den letzten hundert Jahren sind in der Schweiz wiederholt Präzisionsnivellements gemessen worden. Der Vergleich dieser Nivellements aus verschiedenen Epochen hat konkrete Hinweise auf rezente (noch andauernde) vertikale Bewegungen der Erdkruste geliefert. Für die Gegend von Brig fand man ein Hebungsmaximum. Es lag deshalb nahe, die verschiedenen Nivellements auf der Schleife Brig–Simplontunnel–Iselle–Simplonpass–Brig genauer zu untersuchen. Es kann gezeigt werden, dass die Hebungen in Iselle sehr wahrscheinlich geringer sind als in Brig.

Au cours des cent dernières années, des nivellements de précision ont été mesurés à plusieurs reprises en Suisse. La comparaison de ces nivellements effectués à diverses époques a fourni des indications concrètes quant aux mouvements verticaux récents de l'écorce terrestre. Le soulèvement le plus important a été localisé dans la région de Brigue. Une étude plus détaillée des différents nivellements s'imposait sur la boucle Brigue–tunnel du Simplon–Iselle–col du Simplon–Brigue. On peut démontrer avec une grande probabilité que la surrection est moins importante à Iselle qu'à Brigue.

1. Einleitung

Seit mehr als 100 Jahren wird das Präzisionsnivellement in der Schweiz für die Landesvermessung eingesetzt. Für grosse Teile unseres Landes liegen bereits drei Messungen vor. Zunächst hat die Schweizerische Geodätische Kommission (SGK) in der Zeit von 1864 bis 1891 das sogenannte Nivellement de précision, das erste landesweite Präzisionsnivellement, messen lassen (Hirsch und Plantamour 1891). Zwischen 1903 und 1927 hat dann die Eidgenössische Landestopographie (L+T) das sogenannte Landesnivellement gemessen (Gassmann 1915). Seit 1943 ist sie dabei, sukzessive alle Linien nachzumessen (Müller und Gubler 1976). Zur Zeit ist noch ein Drittel dieses zweiten Landesnivellements ausstehend.

Aus dem Vergleich von erster und zweiter Messung des Landesnivellements fand Jeanrichard erste Hinweise auf vertikale Bewegungen der Erdkruste in der Schweiz (Jeanrichard 1972 und 1973). Der Alpenraum schien sich relativ zum Mittelland und zum Jura-Südfuss signifikant zu heben. Mit dem Fortschreiten der Messungen wurde das Bild deutlicher (Gubler 1976, Gubler et al. 1981). Trotz der geringen Genauigkeit des Nivellement de précision scheint dieses alte Nivellement aus dem letzten Jahrhundert die Resultate zu bestätigen (Kobold 1977). Eine besondere Untersuchung galt dem Nivellement durch den Gotthard-Bahntunnel (Funk und Gubler 1980). Im Rahmen des Internationalen Geodynamik-Projektes und speziell in der Arbeitsgruppe ‹Rezente Krustenbewegungen› entwikkelte sich eine fruchtbare interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Geologen, Geophysikern und Geodäten (Pavoni 1979, Müller und Lowrie 1980).

Aus verschiedenen Untersuchungen ergab sich für die Gegend von Brig relativ zu einer Fixpunktgruppe bei Aarburg ein Hebungsmaximum von der Grössenordnung 1,5 mm/Jahr. Es lag deshalb nahe, den Verlauf der Bewegungen im Gebiet des Simplons genauer zu untersuchen, um festzustellen, wie sich die Hebungsraten gegen Süden ändern. Schon 1870 ist erstmals über den Simplonpass nivelliert worden. Aber auch nach dem dritten Nivellement von 1977 waren noch keine genauen Aussagen über die vertikalen Bewegungen möglich, weil die beiden älteren Nivellements mit grossen Massstabsfehlern behaftet sind. Die L+T hat deshalb mit Unterstützung des Nationalfonds im Jahr 1979 das Nivellement von 1906 durch den Simplontunnel nachgemessen, um eindeutige Ergebnisse zu erzielen. In diesem Bericht wird dem Tunnelnivellement verhältnismässig viel Platz eingeräumt.

2. Das Nivellement de précision von 1864 bis 1891

Im Nivellement de précision kamen die damals üblichen hölzernen Nivellierlatten mit aufgemalter Zentimeter-Teilung zum Einsatz. Weil das Fernrohr nur mit Mühe genau horizontal gerichtet werden konnte, musste die Restneigung aus der Lage der Libelle ermittelt werden. Die Latte konnte an drei horizontalen Fäden abgelesen werden, wobei der Millimeter geschätzt wurde. Das ganze Netz war mit grosser Sorgfalt gemessen und ausgewertet worden. Trotzdem lag der mittlere Fehler mit $4\,\mathrm{mm}/\sqrt{\mathrm{km}}$ relativ hoch, wahrscheinlich bedingt durch die beschränkten technischen Möglichkeiten.

Im Rahmen des Nivellement de précision hat Ingenieur Schönholzer 1870 erstmals von Brig nach Iselle über den Simplonpass gemessen. 1873 war Ingenieur Redard beauftragt, die gleiche Strecke in der entgegengesetzten Richtung zu beobachten. Der grosse Widerspruch von 22 cm auf der Strecke von Brig bis zur Passhöhe bewog die L+T, im Jahr 1900 durch Ingenieur H. Frey eine dritte Messung ausführen zu lassen. Leider brachte auch diese keine Klärung. Sehr wahrscheinlich sind die grossen Differenzen darauf zurückzuführen, dass sich der Massstab der Nivellierlatten durch Temperatur und Feuchtigkeit stark und unkontrolliert geändert hat. Für die Bestimmung von vertikalen Bewegungen der Erdkruste sind diese Messungen jedenfalls völlig ungeeignet.

3. Das erste Landesnivellement von 1903 bis 1927

Im Landesnivellement hat die L+T mit einspielender Libelle und kurzen, im voraus festgelegten Zielweiten nivelliert. Es kamen zum Teil die alten hölzernen Nivellierlatten und zum Teil Kompensationsmiren, System Goulier, zum Einsatz, die jetzt alle mit einer Millimeter-Teilung versehen waren. Die Nivellierinstrumente waren zu der Zeit noch nicht mit Planplatten-Mikrometern ausgerüstet. Dank vierzigfacher Vergrösserung konnten aber Zehntel-Millimeter geschätzt werden. Der Massstab der Nivellierlatten wurde täglich mit Hilfe von zwei Invarstäben bestimmt. (Erst ab 1914 kamen Latten mit Invarbändern und Nivellierinstrumente von Zeiss mit Planplatten-Mikrometern zum Einsatz). Über die Messungen im Simplongebiet liegt ein ausführlicher Bericht von Dr. J. Hilfiker vor (SGK 1910).

3.1 Das Nivellement von 1905 über den Simplonpass

In der Zeit von Anfang Juli bis Mitte September 1905 haben die Ingenieure Dr. J. Hilfiker und R. Gassmann von Brig bis Iselle in beiden Richtungen über den Simplon nivelliert. Sie hatten dabei mit starkem Wind zu kämpfen. Die Latten waren versuchsweise mit zwei Streben versehen, die am oberen Ende drehbar befestigt waren, ähnlich wie sie heute noch im Landesnivellement üblich sind. Der Abstand von Fixpunkt zu Fixpunkt betrug 600 bis 1000 m. Widersprüche zwischen Hin- und Rückmessung, wie sie bei den früheren Nivellements festgestellt werden mussten, traten nicht mehr auf.

3.2 Das Nivellement von 1906 durch den Simplontunnel

Nachdem die Bauarbeiten an der ersten Röhre des Eisenbahn-Tunnels durch den Simplon vor dem Abschluss standen, bot sich in der Zeit vom 25. bis 30. März 1906 die Gelegenheit, auch durch den Tunnel zu nivellieren und so das Nivellement über den Pass zu einer Schleife zu schliessen (Abb. 1). Im Tunnel war es einfach, die Fixpunkte in regelmässigen Abständen zu setzen. Bei jeder Kilometernische wurde ein Bolzen senkrecht im Kabelkanal eingelassen, dazwischen alle 200 m ein weiterer, horizontal in einen Quader der Tunnelwand (Abb. 2). Unter der Leitung von Oberst R. Reber standen gleichzeitig vier Messgruppen im Einsatz. Beobachter waren neben Dr. J. Hilfiker und R. Gassmann auch noch die Ingenieure H. Wild und H. Frey. Ingenieur K. Leutenegger ersetzte zeitweise Dr. Hilfiker. Die Messmethode war die gleiche wie beim Passnivellement. An die Stelle der gewöhnlichen Fussplatten traten Klammern, die auf den Schienen festgeschraubt werden konnten. Zwei Beine des Stativs wurden durch eine Eisenstange in geeignetem Winkel fixiert, so dass sich dieses einfacher auf dem Schienenfuss aufstellen liess. Die Zielweite betrug 24 m. Für die Beleuchtung mussten Karbidlampen verwendet werden. Die Beobachter hatten mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen. Die Feuchtigkeit und die hohe Temperatur (bis zu 26 Grad Celsius in der Tunnelmitte) hatten in den kälteren Partien des Tunnels dichten Nebel zur Folge. Die optischen Teile mussten fast ständig abgewischt werden.

Die widrigen Verhältnisse beim Tunnelnivellement wirkten sich sehr stark auf die Genauigkeit aus. Der mittlere Fehler einer doppelt nivellierten Strecke von 1 km Länge ergab sich aus Hin- und Rückmessung zu 0,83 mm gegenüber 0,47 für das Passnivellement. Dr. Hilfiker schloss daraus, dass das Tunnelnivellement bedeutend schlechter sei. Heute ist allgemein bekannt, dass aus dem Vergleich von Hin- und Rückmessung nur sehr bedingt auf die Genauigkeit des Nivellements geschlossen werden kann. Beim Passnivellement mit seinen grossen Höhenunterschieden müssen die Massstabsfehler der Latten einen bedeutenden Einfluss gehabt haben, der in dieser Fehleruntersuchung nicht zum Ausdruck kam.

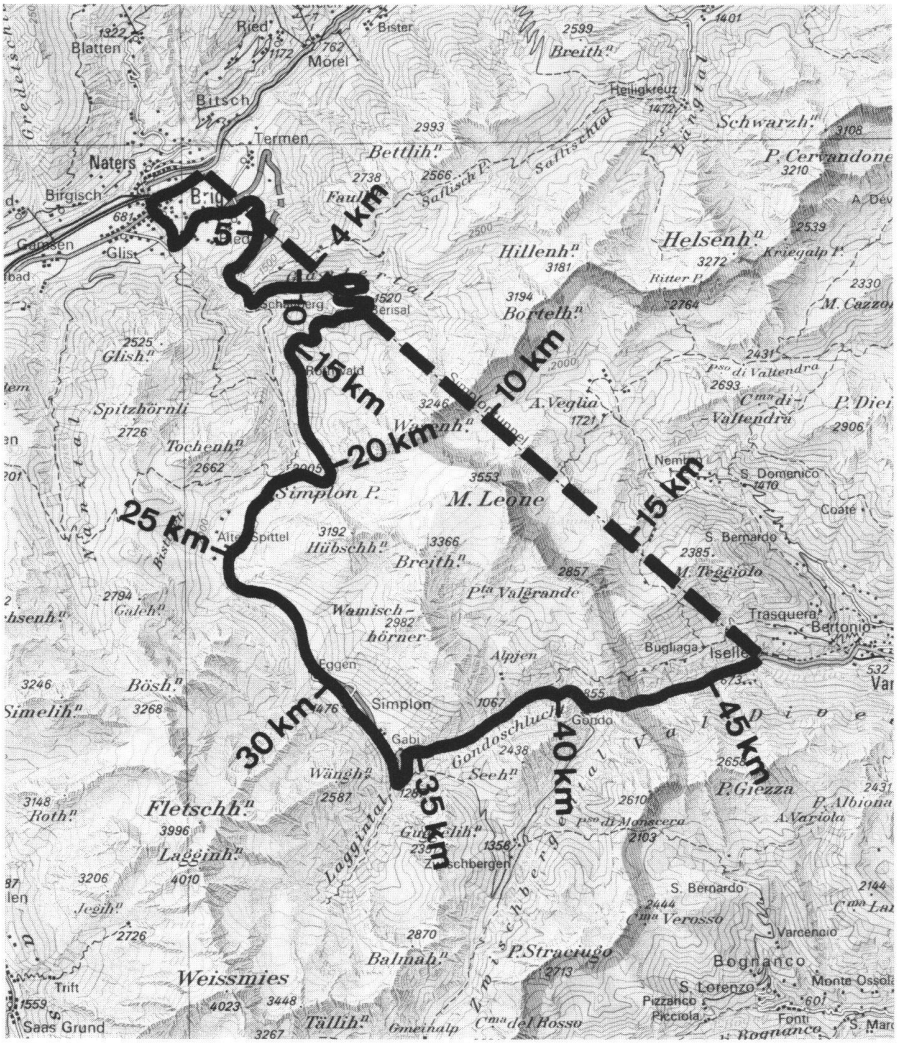

Abb. 1 Grundriss der Nivellementsschleife am Simplon

3.3 Die Nivellementsschleife

Jedes Nivellement bezieht sich auf die Niveauflächen des Erdschwerefeldes. Weil diese Niveauflächen von der Massenverteilung abhängen, sind sie in der Regel nicht parallel zueinander. Das bedeutet, dass fehlerlos gemessene Nivellementsschleifen mit einem sogenannten theoretischen Schleifenwiderspruch schliessen. Eine strenge Reduktion des Nivellements ist deshalb nur möglich, wenn die Schwerebeschleunigung auf dem ganzen Nivellementsweg bekannt ist. In der gleichen Zeit hat Dr. Th. Niethammer das erste Schwerenetz der Schweiz gemessen (SGK 1910). Die verwendeten Pendelapparate hatten eine sehr beschränkte Genauigkeit, besonders wegen der ungenauen Zeitmessung und des Einflusses des Luftwiderstandes. Neben den Stationen Brig und Iselle waren längs des Passes 3 und im Tunnel 9 Stationen gemessen worden. Dr. Hilfiker hat weitere 57 Schwerewerte interpoliert, so dass total 71 zur Verfügung standen.

Der rohe Schleifenwiderspruch belief sich im Nivellementspolygon Brig–Tunnel–Iselle–Passhöhe–Brig auf – 4,4 mm, der theoretische auf + 13,7 mm (SGK 1910). Daraus ergab sich der Messfehler mit – 18,1 mm bei einer Schleifenlänge von 70 km. Die Ursache dieses relativ hohen Betrages ist wohl eher bei den Massstabsunsicherheiten im Passnivellement zu suchen als beim Tunnelnivellement.

4. Das zweite Landesnivellement ab 1943

Im zweiten Landesnivellement kamen ausschliesslich Nivellierlatten mit Invarbändern und Nivellierinstrumente mit Planplatten-Mikrometern, teilweise noch von Zeiss, vor allem aber WILD N3 zum Einsatz. Seit 1970 werden fast ausschliesslich Kompensator-Nivellierinstrumente vom Typ WILD NA2 eingesetzt. Die Entwicklung der statischen Gravimeter bot für die Schweremessung neue Möglichkeiten. Deshalb hat die SGK ab 1955 auf den neu gemessenen Linien des Landesnivellements neue Schweremessungen durchgeführt (Hunziker 1959).

4.1 Das Nivellement von 1977 über den Simplonpass

Im Jahr 1977 haben die Ingenieure A. Carosio, D. Schneider und der Vermessungstechniker A. Perret von Brig nach Iselle über den Pass nivelliert. 68 alte Fixpunkte konnten wieder aufgefunden werden, was einem mittleren Punktabstand von 850 m entspricht. 1980 hat die SGK auch auf dieser Linie

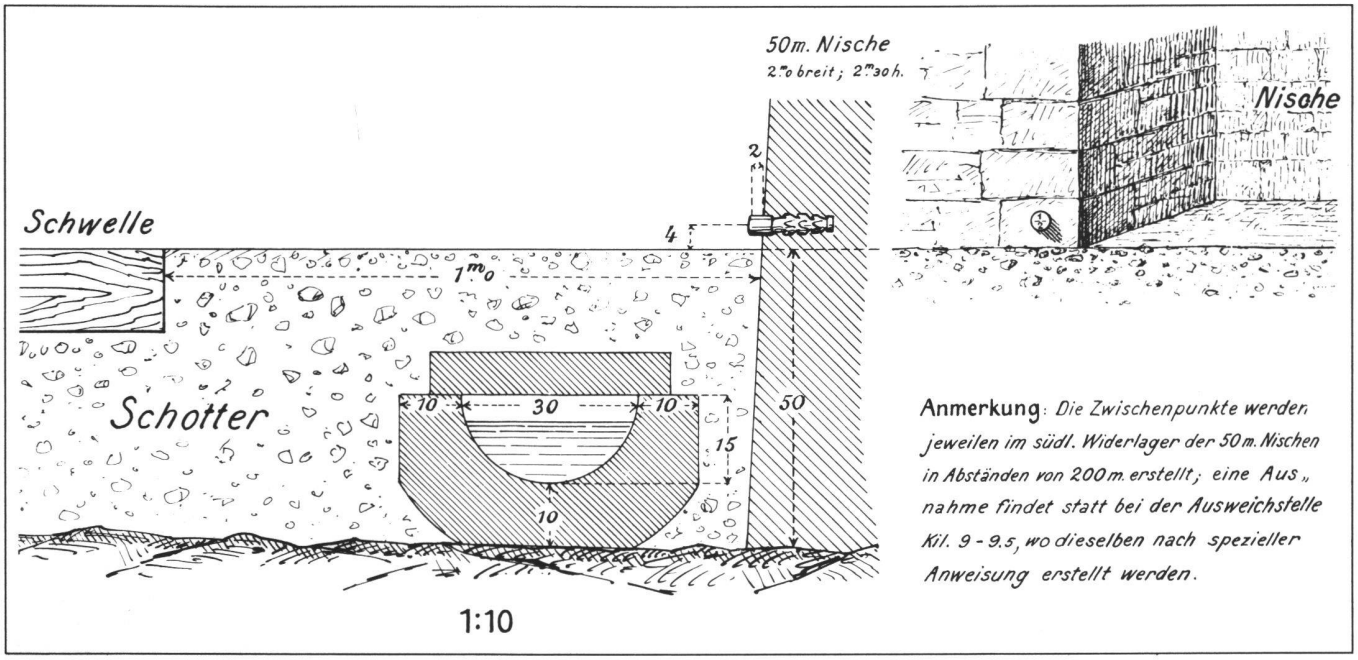

Abb. 2 Detailskizze der Fixpunkte im Simplontunnel (SGK 1910)

neue Schwerewerte messen lassen, die eine genauere Reduktion des Nivellements erlaubten.
Ein erster Vergleich mit der Messung von 1905 ergab noch keine sicheren Hinweise auf rezente Krustenbewegungen, weil die ältere Messung, wie befürchtet, mit einer zur damaligen Zeit unvermeidlichen Massstabsunsicherheit behaftet ist.

4.2 Das Nivellement von 1979 durch den Simplontunnel

Es war naheliegend, zum Vergleich auch das Nivellement durch den Tunnel nachzumessen. Die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) erklärten, sie seien an diesen Messungen nicht interessiert. Die L+T könne im Tunnel messen, müsse aber für die Personal- und Transportkosten in der Grössenordnung von Fr. 10 000.– aufkommen, die den SBB daraus entstehen. Dazu fehlten der L+T die Mittel, weshalb der Berichterstatter um einen Forschungsbeitrag des Schweizerischen Nationalfonds nachgesucht hat. Nach der Bewilligung des Beitrages durch den Nationalfonds konnte an die Planung der Messkampagne gegangen werden. Es war klar, dass nur ein Zeitpunkt gewählt werden konnte, in dem die ältere der beiden Tunnelröhren (in der sich die Bolzen des Nivellements von 1906 befinden) von den SBB ohnehin stillgelegt werden musste, was dann im Januar 1979 der Fall war.

4.2.1 Zustand der Fixpunkte im Simplontunnel

Am 4. und 5. Dezember 1978 haben Vermessungstechniker C. Valiquer und Zeichner H. Gilgen die Fixpunkte im Tunnel begangen und die Schäden festgestellt. Es zeigte sich, dass alle Fixpunkte im Bereich der Kilometernischen durch eine geänderte Kabelführung zerstört waren. Zudem konnten 5 weitere Fixpunkte nicht mehr gefunden werden. So blieben noch 74 Fixpunkte, die einen Vergleich mit der Messung von 1906 gestatten. Der durchschnittliche Abstand der noch vorhandenen Punkte lag also bei 260 m. In den Nächten vom 9. bis 13. Januar 1979 haben die gleichen Mitarbeiter alle verlorengegangenen Punkte ersetzt. Die neuen Bolzen wurden einheitlich neben den Nischen in die südwestliche Tunnelwand eingelassen, gleich wie die noch vorhandenen. Es wurde darauf geachtet, dass die 3 m lange Invar-Nivellierlatte ohne Schwierigkeiten senkrecht aufgestellt werden konnte.

4.2.2 Die Ausrüstung für das Tunnelnivellement

Für die Messungen kamen zwei neuere Nivellierinstrumente vom Typ WILD NA2 mit Kompensator, Planplatten-Mikrometer und 40facher Vergrösserung zum Einsatz. Diese wurden mit gewöhnlichen Stativen im Schotter aufgestellt. Die 3 m langen Invar-Nivellierlatten waren mit Streben versehen, so dass sie frei standen und sich leicht um ihre Achse drehen liessen. Sie wurden vor und nach den Messungen auf dem Komparator der L+T geeicht. Zwischen den Bolzen wurden sie auf speziell angefertigte Untersätze gestellt. Diese bestehen aus einem im Handel erhältlichen Magneten, dessen drehbarer, permanent magnetisierter Kern ein Ein- und Ausschalten des äusseren Magnetfeldes erlaubt (Abb. 3). Diese Untersätze sind leicht und können vom Lattenträger einhändig auf die Schiene gestellt und durch Drehen des Kerns magnetisch fixiert werden. Sie haben sich ausgezeichnet bewährt. Schon für frühere Tunnelnivellements ist eine Beleuchtung zum NA2 entwickelt worden (Abb. 4). Neben kleinen Lampen für Mikrometer und Dosenlibelle ist insbesondere ein alter Signalscheinwerfer der Armee auf dem Instrument montiert worden, der dank seiner starken Bündelung des Lichtes gerade den für die Messung benötigten Teil der Nivellierlatte hell ausleuchtet. Weil Instrument und Scheinwerfer starr miteinander verbunden sind, ist es auch einfacher, im Dunkeln die Nivellierlatten ins Gesichtsfeld des Instruments zu bringen. Der Beobachter kann die Lichtstärke mit einem Potentiometer regulieren. Die Messungen werden seit 1978 nach einem von der L+T entwickelten Ver-

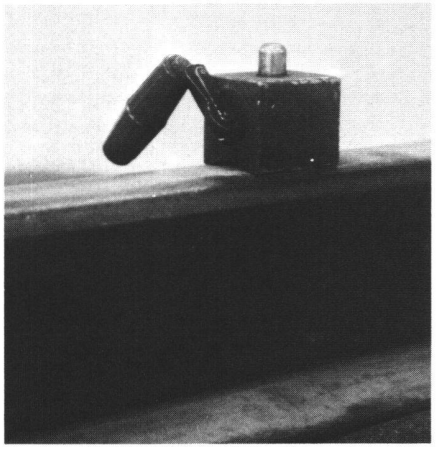

Abb. 3 Magnetischer Lattenuntersatz für Schienennivellement

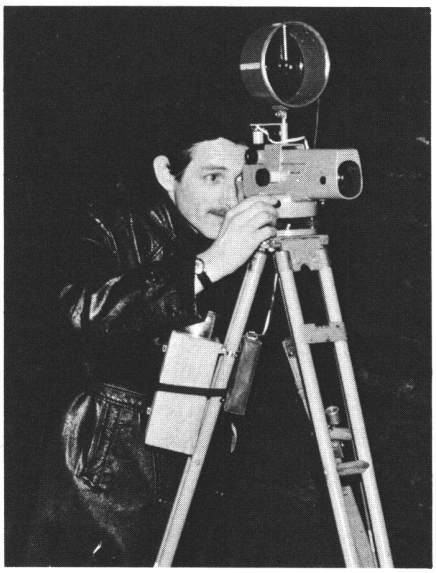

Abb. 4 Scheinwerfer für die Lattenbeleuchtung

fahren direkt in einen Taschenrechner vom Typ HP-97 eingetippt (Gubler 1978). Der Rechner kontrolliert die Messwerte, protokolliert sie auf dem Druckstreifen und rechnet laufend die Summen der Rück- und der Vorblickdistanzen, damit die Zielweiten vor dem Erreichen eines Fixpunktes ausgeglichen werden können. Er berechnet den Höhenunterschied von Bolzen zu Bolzen, korrigiert den Massstab in Abhängigkeit der eingegebenen Bandtemperaturen und druckt die Ergebnisse auf den Streifen. Mit diesem Vorgehen lassen sich die Ergebnisse von Hin- und Rückmessung rasch und sicher miteinander vergleichen.

4.2.3 Die Messung im Tunnel

Die 200 m langen Abschnitte zwischen den Bolzen konnten bei Zielweiten von ca. 33 m mit 3 Stationen gemessen werden. Eine vierte Station war jeweils nötig, weil die Latten auf den Bolzen nicht frei gedreht werden konnten. Die Ungenauigkeiten des Lattenfusses hätten sich sonst systematisch auf die Ergebnisse ausgewirkt. Pro km waren somit 20 Stationen notwendig. Im übrigen entsprach das Messverfahren dem im Landesnivellement üblichen.

Bei den Messungen waren gleichzeitig zwei Gruppen im Einsatz, die jeweils die gleiche Tunnelhälfte in entgegengesetzten Richtungen nivellierten. Jede bestand aus dem Beobachter, seinem Sekretär und zwei Lattenträgern. In den Nächten vom 15. bis 19. Januar 1979 haben Ing. HTL W. Santschi und der Berichterstatter den Nordabschnitt des Tunnels nivelliert, vom 22. bis 25. Januar C. Valiquer und W. Santschi den Südteil. Als Sekretäre und Lattenträger wirkten ein Geometerpraktikant und temporär angestellte Studenten. Die kalten Nächte führten zu starker Nebelbildung im Bereich der Tunnelportale. Besonders der Beobachter, der mit einem kalten Instrument von aussen in den Tunnel hineinzumessen versuchte, war dauernd damit beschäftigt, die beschlagenen Gläser abzuwischen. Dabei war es ein Nachteil, dass jedesmal auch das Mikrometer entfernt werden musste, damit beide Seiten der Planplatte und das Objektiv abgewischt werden konnten. (Dazu musste auch noch die Beleuchtung demontiert werden.) Trotzdem gingen die Arbeiten gut voran.

Im Nordabschnitt musste ca. ein Drittel nachgemessen werden, weil die Lattenträger einer Gruppe auf den ersten Strecken auf den Schwellen standen. Das hatte bei einigen Abschnitten Fehler von der Grössenordnung Millimeter verursacht. Im Südteil ergab sich eine sehr grosse systematische Differenz zwischen den beiden Messungen, die für die ganze Strecke von 10 km einen Betrag von 18 mm erreichte. Deshalb ist der Südabschnitt in den Nächten vom 24. bis 27. September 1979 von den gleichen Beobachtern und mit den gleichen Instrumenten nochmals gemessen worden, allerdings je in der entgegengesetzten Richtung. Die höheren Temperaturen an den Portalen erleichterten den Beobachtern die Arbeit erheblich. Bei dieser zweiten Messung trat überhaupt keine Systematik auf. Die Mittelwerte der beiden Messungen weichen nur 2,3 mm voneinander ab. Auch die erste Messung hat also ein brauchbares Resultat ergeben. Die Ursache für die grosse systematische Differenz konnte nicht gefunden werden. Am ehesten könnte noch der Einfluss von starken, wechselnden Magnetfeldern in Frage kommen (Rumpf 1981). Allerdings hätten dann, nach allem, was wir heute wissen, beide Instrumente im gleichen Sinn beeinflusst werden müssen. Der Fehler hätte sich dann nicht zwischen Hin- und Rückmessung, sondern im Schleifenwiderspruch äussern sollen.

In der Zeit vom 10. bis 12. Januar 1979 haben Dipl. Ing. W. Fischer vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie sowie Dr. E. Kissling, Dipl. Geophys. H. Schwendener und der Elektroniker H. P. Boller vom Institut für Geophysik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich in Abständen von 1 km Schwerewerte gemessen. Es kamen verschiedene moderne Gravimeter zum Einsatz.

4.2.4 Die Auswertung der Tunnelmessung

Die Auswertung begann mit der Berücksichtigung des Massstabes und des Nullpunktfehlers der Latten. Anschliessend konnten die rohen Nivellementshöhen der Fixpunkte berechnet werden. Auf einigen Punkten mussten noch Korrekturen angebracht werden, weil die Nivellierlatte nicht genau senkrecht aufgestellt werden konnte. Neben der Lattenschiefe muss in solchen Fällen auch der Einfluss des geneigten Lattenfusses berücksichtigt werden.

4.3 Die Nivellementsschleife

Die Summe aller gemessenen Höhenunterschiede ergibt für die ganze Schleife Brig–Tunnel–Iselle–Pass–Brig einen rohen Schleifenwiderspruch von +15,4 mm. Mit den neuen Schwerewerten ergibt sich der theoretische Schlussfehler zu +18,5 mm. Somit beläuft sich der Messfehler auf der ganzen Schleife von 70 km Länge auf −3,1 mm, einen Wert, der durchaus den Erwartungen entspricht. In der zweiten Messung des Landesnivellements (seit 1943) ergibt sich aus den Schleifenwidersprüchen ein mittlerer Fehler von der Grössenordnung 0,8 mm/$\sqrt{\text{km}}$.

Berücksichtigt man andererseits bei der Messung von 1905/06 den aus den neuen Schwerewerten abgeleiteten theoretischen Schlussfehler von +18,5 mm, so wächst der reduzierte Schlussfehler um 4,8 auf −22,9 mm. Die Differenzen zwischen alten und neuen Schwerewerten schwanken von einem Zwischenpunkt zum nächsten oft um mehrere Milligal. Es ist unwahrscheinlich, dass sich die Schwerebeschleunigungen in den vergangenen 70 Jahren so stark geändert haben. Die Ursache muss viel eher bei den alten Schwerewerten gesucht werden, die offenbar mit grösseren Fehlern behaftet sind, als damals angenommen wurde. Die Schwerewerte der Zwischenpunkte mussten ja zwischen den wenigen Pendelstationen interpoliert werden, wogegen heute ungleich viel mehr gemessene Schwerewerte zur Verfügung stehen.

5. Die Höhenänderungen

5.1 Höhenänderungen bezüglich Iselle

Eine erste Untersuchung sollte zeigen, wie sich die Fixpunkte der Nivellementsschleife relativ zueinander bewegt haben. Zu diesem Zweck sind die beiden Felspunkte am Südportal des Tunnels als Referenz gewählt worden. Ausgehend von diesen Punkten sind mit alten und neuen Messungen die Höhen aller übrigen Punkte der Schleife in einem lokalen System berechnet worden. Die Differenzen zwischen neuer und alter Höhe wurden zusammen mit einem Längenprofil graphisch dargestellt.

Im Tunnel ergibt sich ein ziemlich ruhiges Bild (Abb. 5). In der südlichen Tunnelhälfte sind nur lokale Bewegungen feststellbar, während sich für den nördlichen Abschnitt ein allmählicher Anstieg ergibt, der in der Umgebung

von Brig 15 mm erreicht. Von diesem Trend weichen allerdings einige Fixpunkte markant ab. Beim nördlichen Tunnelportal, bei km 4, km 9 und km 16 treten deutliche lokale Senkungen auf. Es ist wohl kein Zufall, dass diese Senkungen gerade in den Abschnitten festgestellt wurden, in denen auch der Geleiseunterhalt am meisten Schwierigkeiten bereitet. Nach Aussagen von Bahnmeister Blaser müssen die SBB die Streckenabschnitte von km 0 bis 5 und von km 15 bis 16 viel häufiger ‹grampen› als die übrigen. Bei km 16 finden sich auch die ergiebigsten Quellen. Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass in diesen Abschnitten nicht nur die Tunnelsohle, sondern auch die Quader der Tunnelwand Veränderungen erfahren.

Beim Passnivellement ist der Verlauf wesentlich unruhiger (Abb. 6). Einige Punkte weisen bis zu 22 cm Senkung auf. Es drängt sich auf, die Untersuchung auf jene Punkte zu beschränken, die direkt im Fels verankert sind. Diese sind in der Abbildung mit ausgefüllten Kreisen dargestellt. Bei den anderen Punkten muss damit gerechnet werden, dass sie lokale Veränderungen erfahren. Allerdings ist es in vielen Fällen schwierig zu entscheiden, ob der Fels anstehend ist oder ob es sich um einen grossen Felsblock handelt. Die bedeutenden Senkungen auf dem Abschnitt von km 10 bis 22 (Gantertal bis Passhöhe) lassen vermuten, dass es sich um Felsblöcke oder ganze Felspartien handelt, die in Bewegung sind. Sieht man von diesen Senkungen ab, zeigen die Felspunkte einen Anstieg von Iselle gegen Brig, der hier ungefähr 35 mm erreicht. Für die zwischen km 10 und 22 gelegenen Fixpunkte sollte durch eine eingehende geologische Untersuchung abgeklärt werden, ob sie wirklich in anstehendem Fels verankert sind oder ob es sich um mehr oder weniger lokale Hangbewegungen handelt. Die Fixpunkte liegen in diesem Bereich durchwegs an den steilen Talhängen.

Auffallend ist der beträchtliche Unterschied im Hebungsbetrag, der sich für die Region Brig ergibt. Im Tunnel erreicht die Hebung gegenüber Iselle 15 mm, während über den Pass eine Hebung von 35 mm resultiert. Diese Differenz dürfte auf die früher erwähnten Fehler im alten Nivellement zurückzuführen sein. Der wahrscheinlichste Wert liegt bei 20 mm.

Es fällt im übrigen schwer, die Resultate des Tunnelnivellements mit denen des Passnivellements zu vergleichen, weil der Pass zumeist bis zu 8 km weiter westlich verläuft (Abb. 1). Nur im nördlichsten Abschnitt liegen Strasse und Tunnel stellenweise senkrecht übereinander. Dabei liegen km 4 auf der Passstrasse über km 2 des Tunnels und km 11 bis 13 auf der Passstrasse über km 5 des Tunnels. Ob die ausgeprägten Senkungen im letzten Bereich – es handelt sich um das Gantertal – mit den Senkungen bei km 4 im Tunnel in Zusammenhang stehen, müsste noch abgeklärt werden.

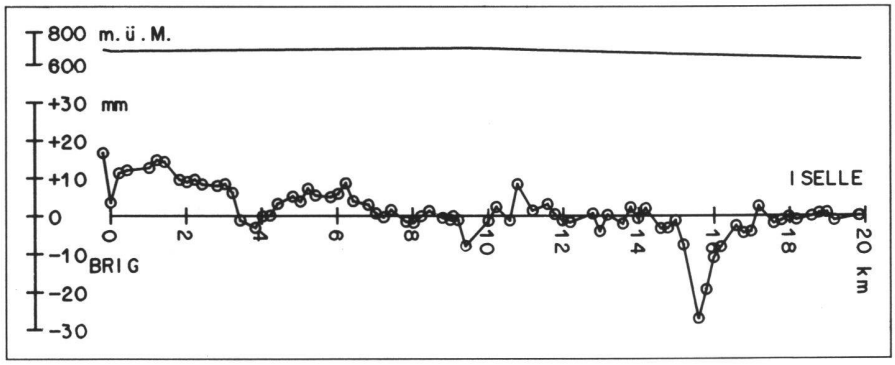

Abb. 5 Höhenänderungen im Simplontunnel zwischen 1906 und 1979

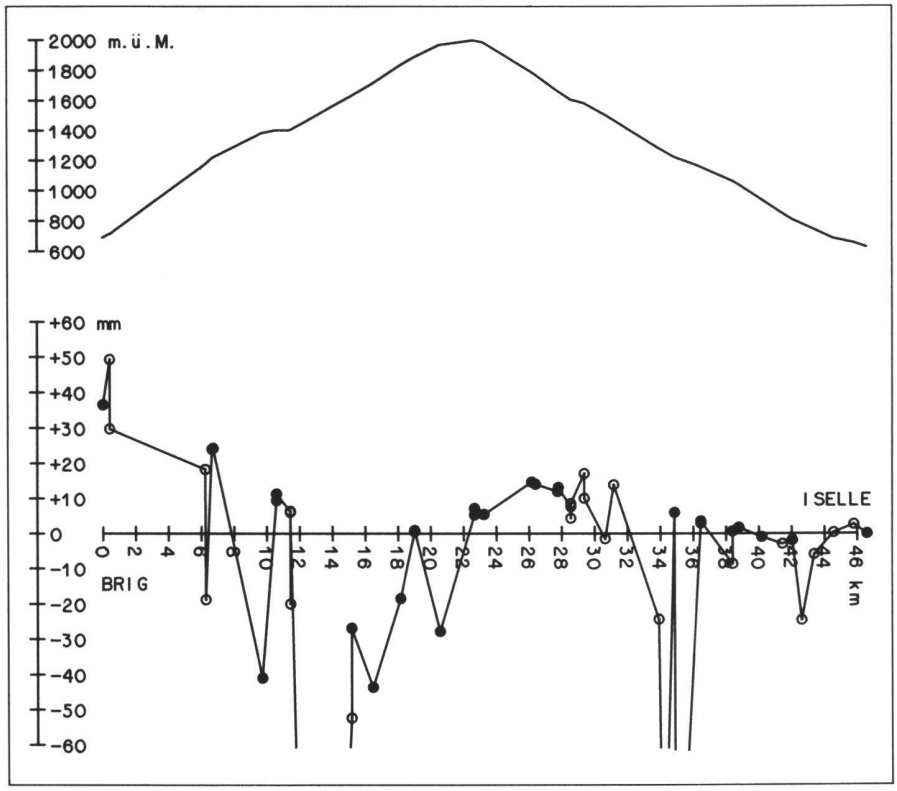

Abb. 6 Höhenänderungen auf dem Simplonpass zwischen 1905 und 1977. Ausgefüllte Kreise bezeichnen Fixpunkte, die im Fels verankert sind.

5.2 Die Hebungen im Vergleich zur übrigen Schweiz

Die zweite Untersuchung soll die gefundenen Höhenänderungen in einen grösseren Zusammenhang stellen. Es wird ein Ausgleichungsverfahren angewandt, bei dem gleichzeitig sowohl die Höhen wie auch die Hebungsraten aller Punkte berechnet werden. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Fixpunktgruppe bei Aarburg, am Südfuss des Juras, die nach heutigem Wissensstand für das Schweizer Mittelland repräsentativ ist. Mangels genauer Informationen muss angenommen werden, dass die Bewegung im untersuchten Zeitraum gleichförmig gewesen ist. Für die Ausgleichung müssen möglichst realistische mittlere Fehler der beobachteten Höhendifferenzen geschätzt werden. Auf Grund der Erfahrungen beim Landesnivellement sind diese nach der folgenden Formel berechnet worden:

$$m = A + B^* \sqrt{D} + C^* \Delta H$$

Die Streckenlänge in km wird mit D bezeichnet, der Höhenunterschied in Metern mit ΔH. Der Koeffizient A ist für beide Nivellements 0,2 mm. B entspricht dem mittleren Kilometerfehler, also 1,0 für das erste und 0,8 mm/$\sqrt{\text{km}}$ für das zweite Landesnivellement. C enthält die Unsicherheit des Massstabes und ist 0,01 für das erste und 0,003 mm/m für das zweite Nivellement.

Das bis heute bekannte Bild der rezenten Hebungen in der Schweiz (Müller und Lowrie 1980, Gubler et al. 1981) zeigt für die Region Brig eine Hebungsrate von der Grössenordnung 1,5 ± 0,3 mm/Jahr. Tunnel- und Passnivellement ergeben für Iselle übereinstimmend eine geringere Hebungsrate. Die Ausgleichung ergibt 1,2 ± 0,3 mm/Jahr. Die Abnahme um 0,3 mm/Jahr ist mit grosser Wahrscheinlichkeit signifikant, denn sie ist viermal grösser als der betreffende mittlere Fehler von 0,08 mm/Jahr. Im Tunnel wird die geringere Hebungsrate schon in der Tunnelmitte erreicht. Beim Passnivellement ist dies nicht feststellbar, weil die Unsicherheit des Massstabes im alten Nivellement einen zu grossen Einfluss hat.

6. Schlussbemerkungen

Die Schwierigkeit, den Massstab der Nivellierlatten genügend genau zu bestimmen, machte es lange Zeit unmöglich, auf Linien mit grossen Höhenunterschieden genaue Nivellements durchzuführen. Wenn es trotzdem gelang, im Simplongebiet vertikale Bewegungen der Erdkruste nachzuweisen, so ist das hauptsächlich dem Umstand zuzuschreiben, dass durch den Simplontunnel ein Nivellement mit geringen Höhenunterschieden zur Verfügung stand und zudem das Intervall zwischen erster und zweiter Messung mit 72 Jahren verhältnismässig lang war. Im Tunnel sind schon Relativbewegungen von einigen Millimetern deutlich nachweisbar. Allerdings könnten sie, wenigstens teilweise, auf Bewegungen der Tunnelquader zurückzuführen sein. Entlang der Passstrasse sind nur qualitative Aussagen möglich. Eine eingehende geologische Untersuchung und Beurteilung der Lage der Fixpunkte und der Bruchtektonik im Gebiet des Simplonpasses und ein Vergleich der festgestellten Höhenänderungen im Simplontunnel mit der Tunnelgeologie sind für das kommende Jahr vorgesehen.

Literatur

SMPM: Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen.
SZfV: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie (bis 1971).
VPK: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik (ab 1972).

Funk, H. und Gubler, E., 1980. Höhenänderungen der Fixpunkte im Gotthard-Bahntunnel zwischen 1917 und 1977 und ihre Beziehung zur Geologie. Eclogae geol. Helv. 73/2: 583–592.

Gassmann, R., 1915. Das neue Landesnivellement. Schweizerische Geometerzeitung, 1915/3: 65–75 und 4: 98–103.

Gubler, E., 1976. Beitrag des Landesnivellements zur Bestimmung vertikaler Krustenbewegungen in der Gotthard-Region. SMPM, 56: 675–678.

Gubler, E., 1978. Datenerfassung im Feld mit programmierbaren Taschenrechnern. VPK 1978/1: 5–7.

Gubler, E., Kahle, H.-G., Klingelé, E., Müller, St. und Olivier, R., 1981. Recent crustal movements in Switzerland and their geophysical interpretation. Tectonophysics, 71: 125–152.

Hirsch, A. und Plantamour, E., 1891. Nivellement de précision de la Suisse, exécuté par la Commission Géodésique Fédérale. Livraisons I–X (1867–1891).

Hunziker, E., 1959. Die Schweremessungen der Schweizerischen Geodätischen Kommission. SZfV 1959/4: 97–109.

Jeanrichard, F., 1972. Contribution à l'étude du mouvement vertical des Alpes. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, 31: 17–40.

Jeanrichard, F., 1973. Nivellement et surrection actuelle des Alpes. VPK 1973/1: 3–12.

Kobold, F., 1977. Die Hebung der Alpen aus dem Vergleich des ‹Nivellement de Précision› der Schweizerischen Geodätischen Kommission mit den Landesnivellementen der Eidgenössischen Landestopographie. VPK 1977/4: 129–137.

Müller, B. und Gubler, E., 1976. Das Schweizer Landesnivellement, Fixpunktanlage und Beobachtung. VPK 1976/9: 237–240.

Müller, St. und Lowrie, W., 1980. Die geodynamische Entwicklung des westlichen Mittelmeerraums und der Alpen. VPK 1980/12: 470–495.

Pavoni, N., 1979. Investigation of Recent Crustal Movements in Switzerland. SMPM 59: 117–126.

Rumpf, W. E. und Meurisch, H., 1981. Systematische Änderungen der Ziellinie eines Präzisionskompensator-Nivelliers – insbesondere des Zeiss Ni1 – durch magnetische Gleich- und Wechselfelder. XVI. FIG-Kongress, Montreux 1981.

Schweizerische Geodätische Kommission, 1910. Schwerebestimmungen in den Jahren 1900–1907, Das Nivellementspolygon am Simplon. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Bd. 12: 376–419.

Adresse des Verfassers:
Dipl. Ing. E. Gubler
Bundesamt für Landestopographie
Seftigenstr. 264, CH-3084 Wabern

Computergestützte Kartographie und Übersichtsplan

P. Yoeli, H. Matthias, E. Spiess

Einleitung

H. Matthias

Auf Einladung von Herrn Prof. E. Spiess hielt Herr Prof. P. Yoeli von der Universität Tel Aviv als Gastprofessor im Jahr 1980 am Institut für Kartographie der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich Lehrveranstaltungen über kartographisches Zeichnen mit Computer und Plotter. So kamen viele von uns mit unserem geschätzten Kollegen Pinhas Yoeli wieder in Kontakt, der seinerzeit im Jahr 1955 an unserer Schule als Vermessungsingenieur diplomiert hatte. Bei unserem ersten Wiedersehen erzählte er mir u. a., dass in seinem Land Forschungsmittel recht knapp sind und dass er die computergestützte Kartographie als Entwicklungsrichtung gewählt habe, weil dafür vorhandene Computersysteme zur Verfügung stehen, im übrigen aber keine zusätzlichen Mittel erforderlich sind.

Seine Ausführungen über das Programmpaket MYLIB und die Versuchsmuster imponierten mir. Deshalb veranlasste ich einen praktischen Versuch mit einem Übersichtsplanausschnitt 1 : 5000 der amtlichen Vermessung und mit dem vorhandenen Softwarepaket, jedoch ohne jegliche besonderen Anpassungen. Diese Arbeit führte Stud. El. Ing. U. Graf nach einer nur einmaligen Besprechung und Instruktion ganz selbständig aus. Das Resultat ist in Abbildung 1 dargestellt. Wozu?

Wie für andere Werke der amtlichen Vermessung werden sich auch für den Übersichtsplan Reformen als zweckmässig erweisen. Dabei geht es am wenigsten um die Aufnahme. Im Vordergrund stehen der Inhalt mit allenfalls zusätzlichen Funktionen, die dem Übersichtsplan zufallen können, der Massstab, die kartographische Darstellung, die Produktions- und die Reproduktionsverfahren. Computertechnologie kann dabei in Zukunft bei der Lösung durchaus eine Rolle spielen. Mit diesem Aufsatz sollen die schweizerischen Vermessungsfachleute zu Gedanken in dieser Richtung angeregt werden.

Den beiden Kartographieprofessoren P. Yoeli und E. Spiess gebührt grosser Dank, dass sie sich bereit erklärt haben, den substantiellen Teil dieses Beitrages zu übernehmen.