

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 85 (1993)
Heft: 9

Artikel: Der Einsatz von GPS zur Talsperrenüberwachung am Beispiel Naret
Autor: Ryf, Adrian
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939997>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

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

Der Einsatz von GPS zur Talsperrenüberwachung am Beispiel Naret

Adrian Ryf

1. Allgemeines

Der Stausee Naret liegt auf 2300 m ü.M. im Cristallina-Gebiet zuoberst im Maggiatal. Er ist Bestandteil der Anlagen der Maggia-Kraftwerke; sein Wasser wird zusammen mit dem des Stausees Cavagnoli in der Zentrale Robie ein erstes Mal genutzt und fliesst nach weiteren drei Stautufen bei Brissago in den Lago Maggiore. Zwei Staumauern halten im Stausee Naret eine Wassermenge von 30 Millionen m³ zurück.

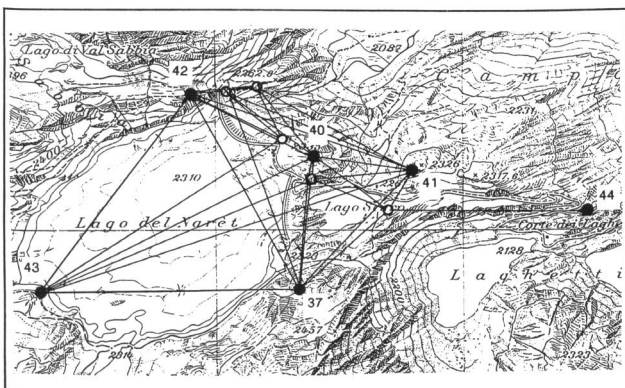
Im Jahre 1991 wurden die geodätischen Kontrollnetze der Staumauern Naret I und II um fünf neue Pfeiler ergänzt. Zweck dieser Erweiterung war einerseits die Verbindung der einzelnen Kontrollnetze der Mauern, die bislang nur durch einen Polygonzug in einem Stollen verbunden waren, andererseits die Schaffung eines Rückversicherungnetzes für ausserordentliche Ereignisse. Noch während der Planung dieser Erweiterung sah man, dass sich mit dem Satellitenmesssystem GPS (global positioning system) die für diese Aufgabe geforderte Genauigkeit (2 bis 3 mm) erreichen liess.

Die Anlage der neuen Pfeiler wurde deshalb so gewählt, dass sie sich für GPS-Messungen eignete. Die Topographie lässt jedoch auch konventionelle Messungen zu, so dass mit dem Netz Naret gleichzeitig eine Anlage geschaffen wurde, um GPS für hochpräzise Messungen zu testen. Bild 1 zeigt das konventionelle Netz sowie die sechs Pfeiler 37, 40 bis 44, auf denen GPS-Messungen durchgeführt wurden.

Anfang September 1991 wurde das Netz mit konventionellen Methoden gemessen. Der Einsatz des Mekometers ME 5000 und eines Präzisionstheodoliten T 3000 führte zu einer Genauigkeit der Koordinaten in Lage und Höhe von zirka 0,5 mm. Einzig der Punkt 44 weist eine geringere Genauigkeit auf, da er nur gerade mit einem Vektor bestimmt ist.

2. GPS-Messungen September 1991

Die erste Messung der sechs Pfeiler mit GPS fand im September 1991 mit sechs Geräten des Typs Trimble unter der Leitung des Bundesamtes für Landestopographie statt. Die Messung erfolgte wegen der damaligen Satellitenkonstellation in der Nacht bei strömendem Regen und dichtem Nebel. Trotz diesen misslichen Wetterverhältnissen



(Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 16.6.1992)

Bild 1. Das GPS-Netz Naret.

GPS 1991 (Trimble)	→ terrestrische Messungen (mm)		
Punkt	Y	X	H
Pf. 37	-1,2	0,0	-0,3
Pf. 40	0,3	0,4	0,1
Pf. 41	-0,6	-0,3	0,3
Pf. 42	1,2	1,1	1,5
Pf. 43	0,2	-1,3	-1,5

GPS 1992 (Wild-System-200)	→ terrestrische Messungen (mm)		
Punkt	Y	X	H
Pf. 37	0,7	-0,4	1,6
Pf. 40	-0,4	1,0	1,8
Pf. 41	0,3	0,0	-0,2
Pf. 42	-1,0	0,7	-0,4
Pf. 43	0,9	-0,4	-1,4
Pf. 44	-0,5	-1,0	-1,3

GPS 1992 (Wild-System-200)	→ GPS 1991 (Trimble) (mm)		
Punkt	Y	X	H
Pf. 37	-1,6	2,3	0,2
Pf. 40	-0,3	0,7	-0,1
Pf. 41	-0,6	1,8	3,4
Pf. 42	-0,7	0,6	-0,4
Pf. 43	2,1	-2,3	-0,9
Pf. 44	1,0	-3,1	-3,2

Bild 2. Restklaffung der Helmerttransformationen in mm.

sen fielen die Resultate sehr gut aus. Die oberste Tabelle in Bild 2 zeigt die Restklaffungen einer dreidimensionalen Helmerttransformation der GPS-Koordinaten aus den Messungen mit den Trimble-Geräten auf die konventionell bestimmten Koordinaten. Der Punkt 44 wurde bei dieser Transformation wegen der ungenügenden terrestrischen Bestimmung (nur ein Vektor) weggelassen.

Auf die Auswertung der Trimble-Messungen wird hier nicht weiter eingegangen. Sie erfolgte durch das Bundesamt für Landestopographie mit der GPS-Auswertesoftware des Astronomischen Institutes der Universität Bern.

3. GPS-Messungen Juli 1992

Am 6. Juli 1992 wurden die sechs Punkte des GPS-Netzes Naret mit sechs Geräten des Typs Wild System 200 gemessen: vier Geräte des Ingenieurbüros Meier in Minusio sowie zwei Geräte der Firma Leica, Glattbrugg.

Hochpräzise Messungen erfordern die bestmögliche Zentrier- und Horizontiergenauigkeit sowie die Kontrolle des verwendeten Materials, insbesondere die genaue Bestimmung der Instrumentenhöhen. An dieser Stelle sei deshalb auf das für die Aufstellung der Wild-GPS-Sensoren verwendete Zubehör verwiesen. Bild 3 zeigt eine Aufnahme des verwendeten Zentriersystems.

Die Messpfeiler sind mit Zentrierplatten des Typs Kern versehen; ihre Lage und Höhe wurde vor der GPS-Messung gegenüber den Pfeilerversicherungen im umliegenden Fels exakt bestimmt. Auf die Zentrierplatten aufgesetzt wird ein Wild-Dreifuss GDF21K; das K steht dabei für die Adaption auf Kern-Zentrierungen. Diese Vorrichtung erlaubt höchste Zentriergenauigkeiten. Das Horizontiersystem weist nur zwei Fusschrauben auf, wodurch die Instrumentenhöhe praktisch konstant bleibt. In den Dreifuss eingesetzt wird ein Träger GZR1, der, und dies ist sehr wichtig, eine Röhrenlibelle aufweist, die drehbar und da-

mit kontrollierbar ist. Der Zapfen dieses Trägers wurde so modifiziert, dass der GPS-Sensor direkt darauf aufgesetzt werden kann. Die Kontrolle dieses Zentriersystems ergab maximale Fehler von 1 bis 2 Zehntelmillimetern.

Nicht nur das Zentriersystem, sondern auch die verwendeten Messinstrumente sind bei solchen hochpräzisen Messungen aufs genaueste zu untersuchen und allfällige Instrumentenfehler zu bestimmen. Bei GPS ist einer der auftretenden Fehler die Antennenexzentrizität. Die Lage des Phasenzentrums ist dabei abhängig von der Konstellation der Satelliten. Kontrollmessungen mit den vier Geräten des Büros Meier haben ergeben, dass die Antennen mechanisch sehr genau gearbeitet sind, das heisst, das Phasenzentrum hat bei allen Antennen bis auf wenige Zehntelmillimeter die gleiche Lage. Werden bei den Messungen alle Antennen in der gleichen Richtung, normalerweise nach Norden, ausgerichtet, liegt das Phasenzentrum bei allen Geräten bezüglich der Drehachse des Sensors an der gleichen Stelle. Eine Bestimmung individueller Antennenexzentrizitäten erübrigt sich damit; der Fehler hebt sich auf, da er bei allen Geräten die gleiche Grössenordnung annimmt.

Im Sinne einer Instrumentenprüfung, wie zum Beispiel der Bestimmung der Additionskonstante des Distanzmessers, ist die Bestimmung von Antennenoffsets von GPS-Empfängern aber sicher sinnvoll.

Die Messungen vom Juli 1992 erfolgten bei guten Satellitenkonstellationen. Praktisch während der ganzen Messzeit standen mindestens fünf Satelliten zur Verfügung. Um die für die angestrebte Präzision nötige Messdauer für zukünftige ähnliche Messungen zu ermitteln, wurde je in einem zweistündigen, einem einstündigen und einem halbstündigen Fenster gemessen. Die Auswertung erfolgte mit dem SKI-Softwarepaket von Leica, das auf der Auswertesoftware des Astronomischen Institutes der Universität Bern beruht und eine speditiv, stark automatisierte Berechnung erlaubt. Die gesamten Auswertearbeiten konnten in einem halben Tag abgeschlossen werden. Die Messungen der verschiedenen Sessions wurden auch getrennt ausgewertet, wobei sich zeigte, dass die halbstündige Session eine ungenügende Genauigkeit lieferte. Die einstündige und die zweistündige Session dagegen lieferten die gleichen Genauigkeiten, was den Schluss zulässt, dass eine Stunde Beobachtungszeit bei guter Satellitenkonstellation für die angestrebte Präzision genügt.



Bild 3. Zentriersystem für hochpräzise GPS-Messungen.



Bild 4. Stausee Naret.

Durch einen Vergleich der ein- mit der zweistündigen Session konnte die erreichte Genauigkeit abgeschätzt werden: die Restklaffungen der dreidimensionalen Transformation der einen Session auf die andere betragen in der Lage weniger als 1 mm, in der Höhe bis 2 mm. Die Repeitiergenauigkeit der GPS-Resultate zwischen zwei verschiedenen Messfenstern mit unterschiedlicher Messdauer (von mindestens einer Stunde) und unterschiedlicher Satellitenkonstellation ist also ausgezeichnet.

Die zweite Tabelle des Bildes 2 zeigt die Restklaffungen der dreidimensionalen Helmerttransformation der GPS-Messungen vom Juli 1992 auf die konventionellen Messungen. Die Werte sind wie bei den Messungen mit den Trimble-Geräten im Vorjahr ausgezeichnet und sprechen für sich.

4. Die Wiederholgenauigkeit von GPS-Messungen

Der Vergleich der beiden Messkampagnen vom September 1991 und vom Juli 1992 erlaubt eine Gegenüberstellung von Messungen, die zu verschiedenen Jahreszeiten bei unterschiedlichen Satellitenkonstellationen und Wetterbedingungen mit verschiedenen Instrumenten gemessen und mit unterschiedlichen Softwarepaketen ausgewertet wurden.

Die Koordinatensätze beider Kampagnen stimmen sehr gut mit den terrestrischen Koordinaten überein, es kann also auch eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden GPS-Koordinatensätzen erwartet werden. Die dritte Tabelle in Bild 2 zeigt die Restklaffungen einer dreidimensionalen Helmerttransformation der GPS-Koordinaten von 1992 auf diejenigen von 1991.

Der Vergleich zeigt, dass hochpräzise GPS-Messungen nicht zwingend vom Einsatz eines bestimmten Instrumententyps abhängen, sondern auch mit unterschiedlichen Instrumenten wiederholbar sind. Dieses Resultat ist bei der rasanten Entwicklung der GPS-Geräte beruhigend.

Bei GPS-Messungen gilt der gleiche Grundsatz wie bei konventionellen Messungen: Die Genauigkeit der Resultate und der Aussagen verbessert sich, wenn bei verschiedenen Epochen das gleiche Instrumentarium und die gleiche Auswertemethode verwendet wird.

Adresse des Verfassers: *Adrian Ryf*, dipl. Ing. ETH, Vermessungsbüro U. Meier, via Vignascia 7, CH-6648 Minusio.