

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 82 (1990)
Heft: 1-2

Artikel: Ein Neigungsmesser
Autor: Meier, Edi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939774>

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: 10.02.2026

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

Ein Neigungsmesser aus der Vulkanforschung wird für die Überwachung der Talsperre Albigna eingesetzt

Edi Meier

Zusammenfassung

Es wird ein horizontaler Neigungsmesser für die grossräumige Bodenüberwachung beschrieben, der auf der Basis der Druckdifferenz zwischen zwei Flüssigkeitsbehältern arbeitet. Das Instrument wurde bereits in der Vulkanforschung eingesetzt. Ein Instrument in der Albigna-Staumauer zeigte die erwarteten, durch den Wasserstand verursachten Bewegungen der Staumauer an. Sie sind überlagert von Neigungsänderungen, die von der Anziehungs- kraft des Mondes verursacht werden, analog der Ebbe und Flut der Meere.

Abstract: A differential-pressure tube tiltmeter for dam monitoring

A differential-pressure tube tiltmeter for measuring ground deformations over baselines of 10 to several 100 meters is described. The instrument has been used to monitor volcanic tilt. An instrument installed in the Albigna dam (Switzerland) recorded both the tilt resulting from the waterlevel in the lake and the tilt due to lunar tides.

Einleitung

Auf der Erde werden über dem Meeresspiegel mindestens 10000 rezente Vulkane gezählt. Davon sind 1343 als potentiell aktiv zu bezeichnen, das heißt mit ihrem Ausbruch muss jederzeit gerechnet werden [Krafft, 1986]. Da die vulkanischen Gesteine fruchtbare Böden bilden und die Vulkane Jahrzehnte bis Jahrhunderte inaktiv sind, siedeln sich in deren unmittelbaren Umgebung Menschen an. Ihr Leben ist bei einem Ausbruch gefährdet, vor allem, wenn es sich um einen explosiven Vulkanismus handelt (Glutwolken, Schlammströme, Aschenregen, Flutwellen). Diese Menschen sind auf eine Vorhersage angewiesen. Eindrückliche Beispiele dazu kennt man aus der Antike wie aus jüngster Zeit: Pompeji 79, Italien, Nevado del Ruiz 1985, Kolumbien (Bild 1).

Heute werden von den über 1000 gefährlichen Vulkanen etwa 30 ständig überwacht. Anzeichen eines bevorstehenden Ausbruches sind neben geochemischen Veränderungen seismische Aktivitäten und Aufwölbung von Gebirgs- teilen. Eine Methode zur Erfassung der Aufwölbungsphänomene ist die Neigungsmessung (Bild 2).

Verschiedene Arten der Neigungsmessung

Die vorliegende Studie beschreibt eine neue Methode der Neigungsmessung. Ihr liegt eine lange horizontale Basislinie zugrunde.

Oft wird versucht, kleinste Neigungen mit hochauflösenden, nach dem Pendelprinzip (Lot) arbeitenden Inklinometern von kurzer Basislänge zu messen, die in Bohrlöchern vertikal versetzt werden – der Erfolg ist meist gering. Der Grund für den Misserfolg ist in kleinräumigen, elastischen Störungen zu suchen, die durch die Bohrung ausgelöst werden. Im weiteren können Störungszonen mit steilstehenden Auf- bzw. Abschiebungen mit vertikalen Inklinometern oft unerkannt bleiben (Bild 3).

Bei der hier vorgeschlagenen Messmethode fallen die lokalen Neigungseffekte durch Verlängerung der Messbasis

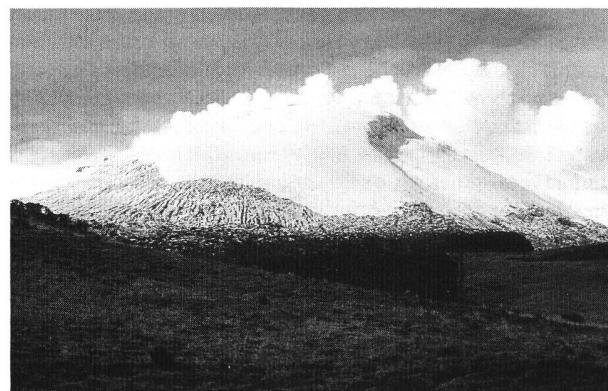


Bild 1. Ein Ausbruch des aktiven Vulkans Nevado del Ruiz 5389 m ü.M. in Kolumbien im Jahre 1985 verursachte Schlammströme, die über 24000 Menschenleben forderten.
(Foto: Bruno Martinelli)

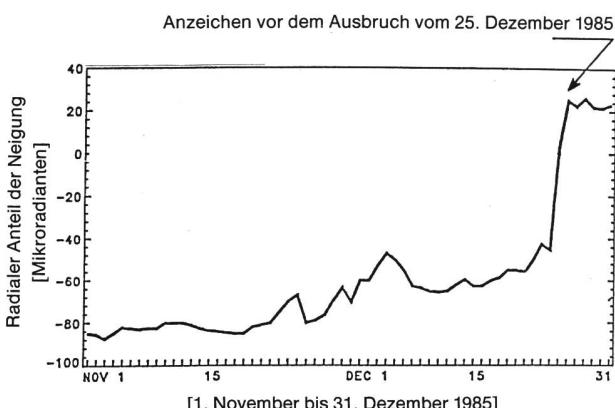


Bild 2. Ankündigung einer Eruption am Vulkan Ätna. Die schwere Eruption vom 25. Dezember 1985 wurde angekündigt durch einen starken radialen Neigungsanstieg von etwa 60 Mikroradianen. Etwa eineinhalb Stunden vor dem Ausbruch blähte sich der Vulkan deutlich auf und entspannte sich 20 Minuten vor der Eruption [Nunnari, Romano, 1985].

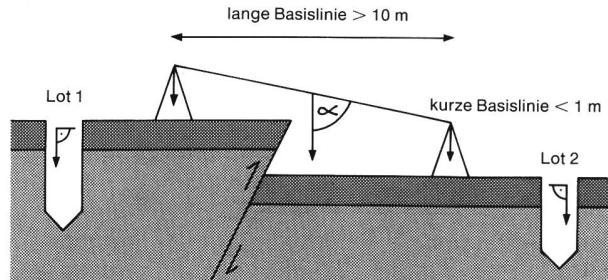


Bild 3. Horizontale Neigungsmessung über einer Störung bei Aufschübung. Grossräumige Gesteinsverformungen geologischer Strukturen verursachen oft steilstehende Verschiebungen, die mit vertikalen, punktuellen Neigungsmessungen (Inklinometer, Lot) nicht erfasst werden. Bei einer Horizontalmessung mit langer Basislinie wird die Summe von Verschiebungsbeträgen in Form einer Neigung erkannt.

Tabelle 1. Umrechnung für kleine Neigungseinheiten.

Gebräuchliche Einheiten

[‰]	Promille
[µm/m]	Mikrometer pro Meter
[µRad]	Mikroradian
[']	Bogensekunde
1 [%] = 1000 [µm/m] = 1000 [µRad]	= 206 [']
1 [µm/m] = 1 [µRad] = 0,001 [%]	= 0,206 [']
1 [µRad] = 1 [µm/m] = 0,001 [%]	= 0,206 [']
1 ['] = 4,85 [µm/m] = 4,85 [µRad]	= 0,00485 [%]

zum Vergleich
0,1 [µRad] ≈ Erdgezeiten in der Schweiz

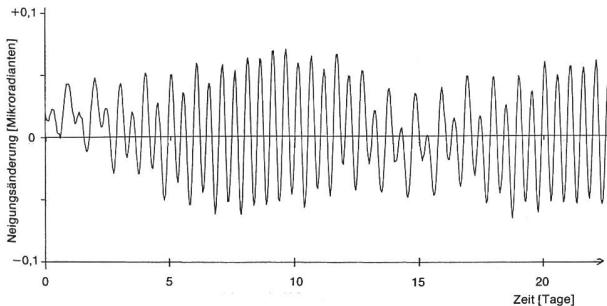


Bild 4. Erdzeiteinaufnahme aus dem Geowissenschaftlichen Observatorium in Schiltach (BRD). Zweimal täglich erfährt unsere „vermeintlich“ feste Erde eine messbare Neigungänderung von 0,1 Mikrometer/Meter, die auf die Anziehungskraft zwischen Erde, Mond und Sonne zurückzuführen ist. Bei Voll- und bei Neumond sind die Erdzeiten am grössten, da dann die von Mond und Sonne verursachten Kräfte aus derselben Richtung wirken. Die gleichen Kräfte verursachen auch Ebbe und Flut in den Meeren. Das Gerät, mit dem die obige Aufnahme gemacht wurde, besitzt eine Basislänge von 167 Metern [Emter et al., 1989]. Es arbeitet nach demselben Messprinzip wie der in diesem Bericht beschriebene Neigungsmesser (Tiltmeter).

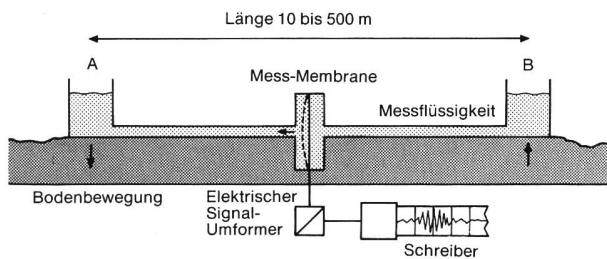


Bild 5. Das Messprinzip des Differenzdruck-Tiltmeters. Durch den Druckunterschied von zwei Flüssigkeitssäulen wird eine Messmembran durchgebogen. Die Auslenkung wird kapazitiv erfasst und in ein Stromsignal umgewandelt, das der Höhendifferenz proportional ist.

weitgehend weg. Realisierbar sind Basislängen von mehr als 500 m. Eine Kombination von langer, horizontaler Basismessung und vertikaler Inklinometermessung kann sehr genaue Information über den Bewegungsmechanismus liefern.

1987 gab der Vulkanologe Rolf Schick, Professor an der Universität Stuttgart, den Anstoß zur Entwicklung eines praxisorientierten Neigungsmessers (Tiltmeter), mit langer Basis für den Einsatz am Vulkan Merapi in Indonesien. Das Instrument sollte in grösserer Stückzahl kommerziell herstellbar und finanziell tragbar sein. Eine der Anforderungen an das Gerät war die Neigungsauflösung der Erdzeiten. Erdzeiten sind Form- und Schwereänderungen der Erdoberfläche, die durch die Anziehungskraft zwischen Erde und Mond bzw. Erde und Sonne entstehen. Analog der Gezeiten im Meer erfährt auch die feste Erde zweimal täglich eine Veränderung des Erddurchmessers von etwa 50 cm. In

Mitteleuropa resultiert eine Neigungsänderung von etwa 0,1 Mikroradianen oder 0,1 Mikrometer pro Meter (Bild 4). Einen Vergleich der gebräuchlichen Neigungseinheiten zeigt Tabelle 1.

Ist ein Messgerät in der Lage, die Erdzeiten aufzulösen, so liefert die Natur ein ideales Verifizierungssignal, das jederzeit anzeigt, ob das Instrument richtig funktioniert. Da das Gezeitensignal jeden Tag zwei Maxima hat, kann es gut von täglichen temperaturbedingten Störeinflüssen unterschieden werden. Das geowissenschaftliche Observatorium Schiltach (BRD), in dem die in Bild 4 gezeigten Kurven registriert wurden, spielt eine führende Rolle in der Erdzeitenforschung. Es zählt zu den am besten ausgerüsteten Observatorien auf diesem Fachgebiet. Dank der guten Zusammenarbeit und dem grossen Wissen der Kollegen aus Schiltach war es möglich, einen Neigungsmesser mit den obigen Anforderungen zu entwickeln.

Prinzip und Ursprung der neuen Neigungsmessung

Das verwendete Messprinzip ist in Bild 5 dargestellt. Ein erstes Instrument dieser Art wurde 1977 an der Universität Cambridge (GB) entwickelt [Horsfall, 1978]. Seit 1981 ist ein solches Differenzdrucktiltmeter im geowissenschaftlichen Observatorium Schiltach (BRD) im Einsatz, das mit aufwendiger Präzisionselektronik für die Erdzeitenforschung weiterentwickelt wurde. Die Basislänge jenes Instrumentes beträgt 167 m [Emter et al., 1989]. Diese Art der Neigungsmessung ist für grossräumige Überwachung vielversprechend.

Das neue Tiltmeter (Neigungsmesser)

Unser neues System ist eine Weiterentwicklung für den praktischen Einsatz. Es erbringt nicht die hohe Auflösung wie das wissenschaftliche Instrument aus Schiltach, ist jedoch leichter zu installieren und deckt einen grösseren Einsatzbereich ab. Das neue Instrument ist in der Lage, den langperiodischen seismischen Bereich der von Erdbeben verursachten Untergrundbewegung zu erfassen (Bild 6). Diese sogenannten Oberflächenwellen umwandeln den ganzen Erdball und werden deshalb in allen Erdbebenstationen registriert. Auch unterirdische Atomexplosionen oder grosse Felsstürze verursachen seismische Oberflächenwellen (Bild 7). Da sich solche Ereignisse immer wieder irgendwo auf der Welt zutragen, werden dadurch genaue Zeitmarken gesetzt, die mit den seismografischen Aufzeichnungen der Erdbebenwarten verglichen werden können.

Bild 6. Aufzeichnungen eines Fernbebens, dessen Epizentrum bei den südlichen Sandwich Inseln lag, mit dem neuen Tiltmeter. Aufnahme 30. Januar 1987. Das Beben der Stärke 6,9 (Magnitude) wurde mit einem vom Autor gebauten Instrument von 10 m Basislänge aufgenommen, das später am Vulkan Merapi in Indonesien eingesetzt wurde. Bei dieser Aufnahme war es für einen Test im Geowissenschaftlichen Observatorium Schiltach (BRD) installiert.

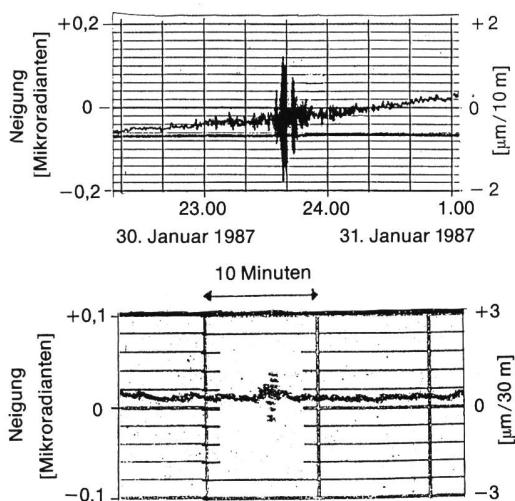


Bild 7. Bergsturz im Veltlin (Italien) vom 28. Juli 1987, aufgenommen mit dem neuen Tiltmeter im 150 km entfernten Walenstadt (SG). Die Bodenüberwachung im alten Zementbergwerk Walenstadt zeigte einen kurzen Ausschlag. Der Zeitpunkt dieses Ereignisses verriet, dass es sich um das Signal des verheerenden Bergsturzes im Veltlin vom Sommer 1987 handeln musste. Die Basislänge des Tiltmeters betrug 30 m. Es war in Nord-Süd-Richtung aufgestellt.



Bild 8. Der Albigna-Stausee im Bergell, Kanton Graubünden. Der Pfeil zeigt auf die Stelle, an der das Tiltmeter in die Staumauer eingebaut wurde. Die Staumauer verläuft in Richtung Ost-West. Der Stausee liegt im Süden.

Der Arbeitsbereich des Instrumentes beträgt maximal 10 cm Höhenänderung. Nullpunkt und Messspanne können mittels Fernbedienung jederzeit kontrolliert werden. Nach der Installation sind keine Manipulationen am Gerät mehr nötig, da alle Funktionen von der Kontrolleinheit aus gesteuert werden können. Diese kann bis über hundert Meter vom Tiltmeter entfernt stehen und ermöglicht eine Bedienung ohne Beeinflussung der Messgröße. Die Neigungsdaten werden in einem Datalogger gespeichert, der in der Kontrolleinheit integriert ist. Alle Funktionen sind auch über ein Telefonmodem via Telefonleitung steuerbar.

Die Installation des Tiltmeters in der Staumauer Albigna

Auf Anregung des Ingenieurbüros für bauliche Anlagen der Stadt Zürich wurde ein solches Instrument für Testzwecke bei der Überwachung der Albigna-Talsperre (Bergell, Kanton Graubünden) installiert. Die Staumauer wurde 1956 bis 1959 auf einem markanten Granitriegel errichtet (Bild 8). Bergseits bildet dieser Felsrücken den Abschluss eines etwa 120 Meter tiefen, mit Gletschergeschiebe aufgefüllten Troges. Talseits fällt der Fels sehr steil gegen das Haupttal ab. Dadurch verformt sich auch die Felsunterlage während der Seefüllung relativ stark, und das Instrument kann über einen grossen Neigungsbereich getestet werden.

Messanordnung

Die Staumauer ist eine 760 m lange Gewichtsstaumauer. Sie ist in Blöcke von 20 m Breite aufgeteilt. In den Blockfugen sind 5 m breite Sparräume angeordnet, die bis auf den

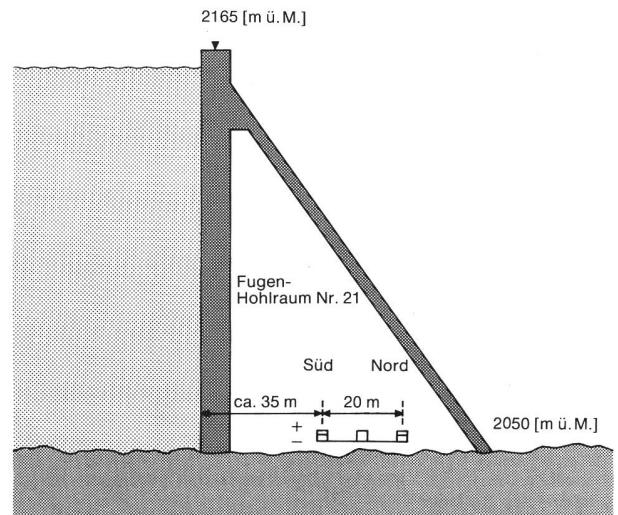


Bild 9. Schnitt durch die Staumauer Albigna mit der Lage des installierten Tiltmeters in einem Fugenhohlraum, der etwa 80 m hoch, 5 m breit und an der Basis 60 m lang ist.

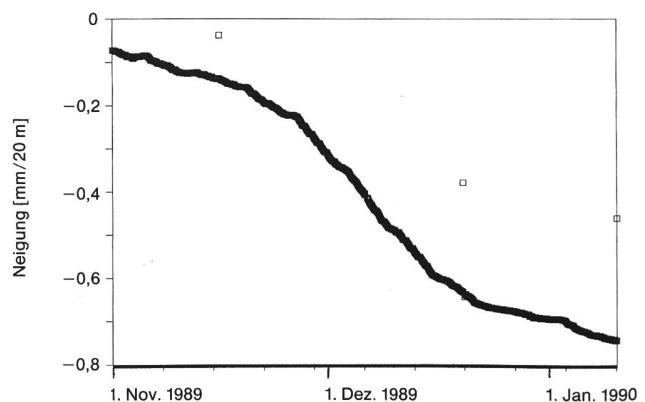


Bild 10. Tiltmeteraufzeichnung aus der Albigna-Staumauer vom 1. November 1989 bis 10. Januar 1990. Die Y-Achse zeigt die Neigung zwischen den Flüssigkeitsoberflächen der beiden Endbehälter in mm. Ist der seezugewandte Behälter tiefer als der talseitige, so wird die Neigung als negativ bezeichnet. Die Quadrate über der Messkurve zeigen, wann eine Datenübermittlung durchgeführt wurde.

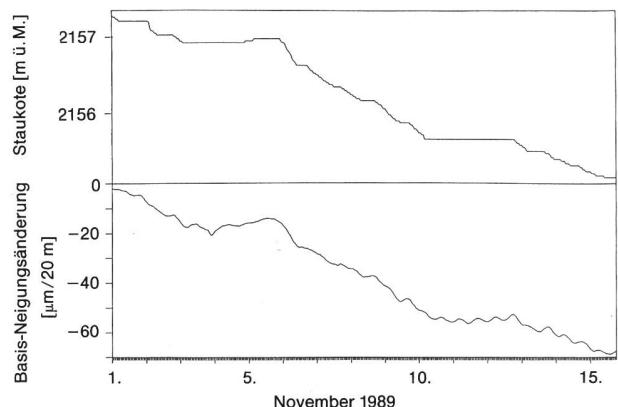


Bild 11. Seestand des Albigna-Stausees vom 1. bis 16. November 1989. Die obere Kurve zeigt den Seestand in m ü.M. Ein Vergleich mit dem Tiltverlauf an der Mauerbasis im gleichen Zeitabschnitt (untere Kurve) zeigt eine Abhängigkeit der Basisneigungsänderung von der Wasserstandsänderung im See, selbst wenn der Seestand in diesem Zeitraum nur um 2 m schwankte.

Fels reichen. Diese idealen Bedingungen erlauben die Messung der Fundamentneigung ohne bauliche Massnahmen. Zur Testmessung wurde die Basis des grössten Blockes (Nr. 20) in der Talmitte ausgewählt. Der Block ist 115 m hoch. Das Tiltmeter wurde auf drei zuunterst am Block montierte Konsolen gestellt (Bild 9). Als Behälter für die Messflüssigkeit wurden Glasflaschen gewählt, da sich diese wegen der minimalen Wärmeausdehnung in vorgängigen Testversuchen gut bewährt hatten und die Messflüssigkeit beobachtet und kontrolliert werden kann.

Die Messwertregistrierung und -übermittlung

Um die Übertragung und Auswertung der Messergebnisse unter den schwierigen klimatischen Verhältnissen aus der über 2000 m ü. M. gelegenen Albigna-Staumauer stets garantieren zu können, waren aufwendige Entwicklungsarbeiten zu leisten. Heute sind für die zuverlässige Bedienung von Tiltmeter und Datenerfassung keine Spezialkenntnisse mehr nötig; die Daten werden übers Telefon direkt in den 200 km entfernten Auswertecomputer (Personalcomputer) übermittelt. Eine laufende Auswertung bietet keine Schwierigkeiten. Die Daten können in die meisten der gängigen Tabellenkalkulationsprogramme oder Grafikprogramme wie Lotus, Excel, Grapher usw. direkt eingelesen und verarbeitet werden.

Die Fernbedienung des Tiltmeters

Vom Personalcomputer aus kann das Tiltmeter über Telefon geeicht und ein Funktionstest durchgeführt werden. Dies ist besonders dann wichtig, wenn die Grösse des zu erwartenden Signals unbekannt ist oder die empfangenen Daten nicht den Erwartungen entsprechen.

Erste Messergebnisse aus der Albigna-Staumauer

Bild 10 zeigt die Neigungsänderung an der Mauerbasis in der Zeit vom 1. November 1989 bis 10. Januar 1990. Offensichtlich senkt sich die seeseitige Mauerbasis relativ zur Talseite während dieser Zeit beinahe kontinuierlich, das heisst eine Kippbewegung in Seerichtung findet statt. Zu diesem Zeitpunkt hatte der See seinen höchsten Stand gerade überschritten. Da zu erwarten ist, dass ein Zusammenhang zwischen Seestand und der Neigung existiert, wurden Seehöhe und Neigungsänderung für die ersten 16 Tage genauer untersucht (Bild 11). Vergleicht man die beiden Kurven, so ist eine klare Abhängigkeit zu erkennen. Um diesen Befund auch quantitativ zu erhärten, wurde die Seehöhe gegenüber der gemessenen Basisneigung aufgetragen (Bild 12). Für diese 2 m Seeabsenkung ergibt sich ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Wasserstands- und Neigungsänderung. Wird die von der Seehöhe verursachte Basisneigung von der gemessenen Neigung abgezogen, erhält man die Restneigung (Bild 13). Die Änderung der Restneigung bewegt sich in einem Bereich von weniger als einem Mikroradianen, obwohl die meteorologischen Verhältnisse stark variierten. Nach Angaben der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt schwankte der Luftdruck in dieser Zeitspanne auf dem nahegelegenen Piz Corvatsch (3315 m ü. M.) um 27,7 Hektopascal (27,7 Millibar) und beim Flughafen Samedan-St. Moritz (1705 m ü. M.) um 27,5 Hektopascal. Die Temperaturen bewegten sich auf dem Corvatsch zwischen $-15,5$ und $+1,1^{\circ}\text{C}$ und beim Flughafen Samedan-St. Moritz zwischen $-16,7$ und $+14,1^{\circ}\text{C}$.

In der rechten Hälfte von Bild 13 ist eine regelmässige Auf- und-ab-Bewegung zu beobachten. Die halbtägige Periode lässt den Schluss zu, dass es sich um einen Einfluss des Mondes handelt. Da am Wochenende vom 11. November kein Strom produziert wurde, war der Seestand nahezu

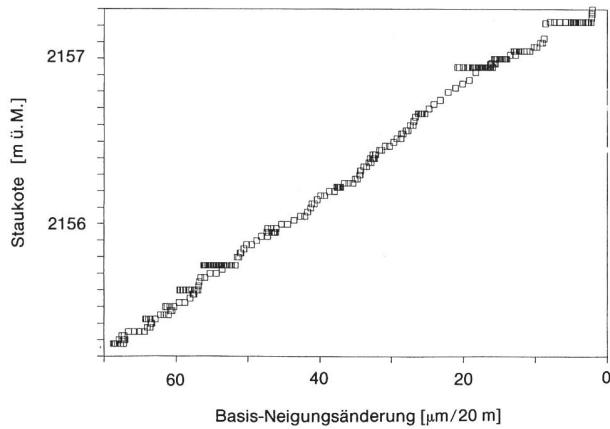


Bild 12. Seestand des Albigna-Stausees gegenüber der Basisneigung. Die Y-Achse zeigt die Seehöhe über Meer aus dem selben Zeitabschnitt wie im Bild 11. Die X-Achse hingegen zeigt im Gegensatz zu Bild 11 nicht das Datum, sondern die Basisneigungsänderung des Blockes Nr. 20 in Abhängigkeit der abgelesenen Seehöhe. Die gerade Linie zeigt eine bei- nahe lineare Abhängigkeit der Basisneigung von der Seehöhe.

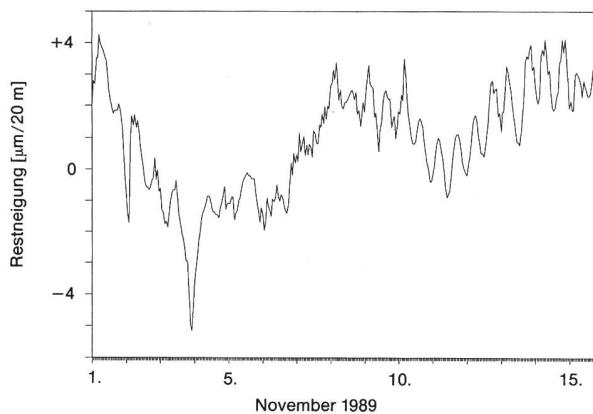


Bild 13. Restneigungsänderung nach Abzug der durch den Seestand hervorgerufenen Neigung. Die wasserdruckabhängige Neigungsände- rung wurde aus Bild 12 abgeleitet und dann abgezogen. Die Y-Achse zeigt die verbleibende Neigung in Mikrometern auf 20 m Länge. Die X-Achse zeigt das Datum vom 1. bis 16. November 1989. Bei dieser Vergrösserung erscheinen nur periodische Auf-und-ab-Bewegungen. Sie treten zweimal täglich auf, was auf die Erdgezeiten schliessen lässt.

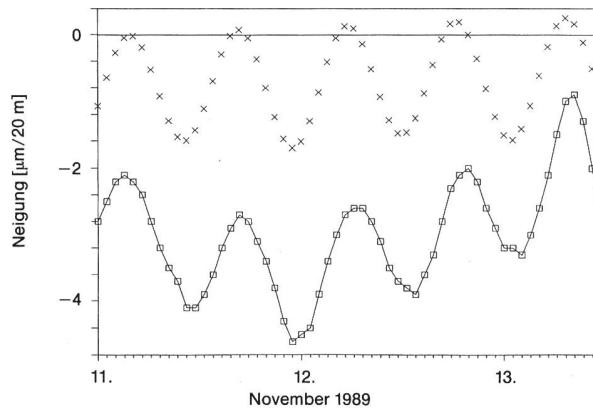


Bild 14. Erdgezeiten, registriert in der Albigna-Staumauer. Die X-Achse zeigt das Wochenende vom 11. bis 13. November 1989. Die untere Kurve (□) zeigt die gemessene Neigungsänderung. Eine seestandsabhängige Korrektur wird hier nicht nötig, denn der Seestand konnte an diesem Wochenende fast konstant gehalten werden, da kaum Strom produziert wurde. Zufällig war gerade am 13. November Vollmond. Das bedeutet maximale Erdgezeitendeformation. Die obere Kurve (x) zeigt die von D. Emter, Schiltach, errechnete Neigungsänderung, die von den Gravitationskräften zwischen Mond, Sonne und Erde verursacht wird.

konstant. Es herrschten ruhige Wetterbedingungen. Erwartungsgemäss sollte für jene Tage auch die Basis der Mauer stabil bleiben. Bild 14, untere Kurve, zeigt die Neigungsänderung an diesem Wochenende. Es handelt sich um die gleichen Rohdaten wie in Bild 10, nur sind sie wie durch die Lupe betrachtet stark vergrössert dargestellt. Dadurch werden die zweimal täglich auftretenden Erdzeiten deutlich ersichtlich. Vergleicht man dieses Signal mit den theoretisch berechneten Erdzeiten (Bild 14, obere Kurve), so besteht kein Zweifel mehr, dass dessen Ursache der Mond bzw. die Sonne ist. Die mit Kreuzen dargestellte theoretische Kurve schneidet die Nulllinie. Diese Nulllinie wäre die Position, wenn Mond und Sonne fehlen würden. Die Kurve mit den gemessenen Daten wurde der Übersichtlichkeit halber nach unten verschoben; sie ist nur relativ zu betrachten. Sowohl die Phase (zeitlicher Verlauf) der Auf- und ab-Bewegungen als auch die Amplitude stimmen in erster Näherung gut mit der Theorie überein.

Schlussbetrachtung

Offenbar bewegt sich der gesamte Felsriegel, auf dem die Albigna-Staumauer steht, beim Auf- und Abstau. Interessant wäre, daraus die Elastizitätsparameter und Mächtigkeit des Granitriegels zu errechnen. Sicher wäre auch mit der erhaltenen Restneigung noch einiges zu analysieren, wie beispielsweise Hystereseffekte infolge der Auffüllung von Hohlräumen, Luftdruckabhängigkeiten usw. Doch dies würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Das neue Tiltmeter erfassst die Neigungsänderung der Felsoberfläche an der Mauerbasis sehr genau. Für eine Vertiefung der Erkenntnisse und eine Quantifizierung wären parallel zueinander verlegte redundante Tiltmeter nötig. Ebenso wäre eine Zusammenführung solcher paralleler Messstrecken durch quer dazu angeordnete Tiltmeter sinnvoll, um ein zweidimensionales Bewegungsbild des Untergrundes zu erhalten.

Über die Nullpunktstabilität wurde nichts ausgesagt, denn dazu ist die Beobachtungsdauer zu kurz, und es fehlt an genügend präzisen Referenzmessungen. Ein Vergleich der Langzeitstabilität mit wissenschaftlichen Instrumenten: Im

«Crustal Deformation Observatory» von Pinon Flat (USA) steht das mit Abstand stabilste Tiltmeter. Nach dreijähriger Beobachtungszeit wird über eine Nullpunkttdriffrate von 0,1 µRad/Jahr berichtet [Wyatt, 1986]. Die Basis jenes Instrumentes ist 535 m lang. Das heisst, jenes Instrument zeigt einen Fehler in der Höhenänderung von 53,5 Mikrometer im Jahr, also rund 13mal soviel wie der gesamte Messbereich in Bild 14.

Wie dieser Test zeigt, eignet sich die neue Methode nicht nur für die Überwachung vulkanischer Aktivität zum Schutz von Menschenleben und zivilisatorischen Einrichtungen, sondern kann auch bei Talsperren eingesetzt werden. Es wäre wünschbar, wenn weitere Anwendungen für diese Art der grossräumigen Bewegungsüberwachung geboten und damit auch von der Schweiz Schritte zur Weiterentwicklung der Präzisionsneigungsmessung beigetragen würden.

Literatur

- Nunnari, G., and Romano, R.: Ground, Tilt Related to Volcanological Observations during the December 1985 Mt. Etna Eruption. C.N.R. Istituto Internazionale di Volcanologia, Catania, Italy.
- Emter, D., Zürn, W., Mälzer, W.: 1989: Underground Measurement at Tidal Sensitivity with a Long Baseline Differential Fluid Pressure Tiltmeter. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, 288, 74 p., 1989.
- Emter, D.: 1989: Rezente Krustenbewegungen. Studiengang Vermessungswesen Uni der Bundeswehr, Heft 39.
- Horsfall, J.A.C., and King, G.C.P., 1978: A new geophysical tiltmeter «Nature», 274, 675–676.
- Kraft, Katia, und Maurice, 1986: Die Vulkane der Welt. Mondo-Verlag.
- Wyatt, F.; Agnew, D.C.; Zumberge, M.A.: Recent development in long-base strainmeters and tiltmeters. EOS, Trans. AGU, 67, p. 914, 1986.

Dank

Der Verfasser dankt Guy Peter vom Ingenieurbüro für Bauliche Anlagen der Stadt Zürich für die Zurverfügungstellung der Albigna-Staumauer für die beschriebenen Versuche.

Zu besonderem Dank ist er Dr. D. Emter vom Observatorium Schiltach (BRD) verpflichtet, der ihn bei der Lösung von theoretischen Fragen unterstützte und ihn mit der neuesten Fachliteratur vertraut machte.

Adresse des Verfassers: Edi Meier, Geophysikalische Instrumente, Hard 4, CH-8408 Winterthur.

Für das Tiltmeter wurden vom Verfasser verschiedene Patente angemeldet.

Höhere Generatorausnutzung

Eine Chance bei der Erneuerung bestehender Wasserkraftwerksanlagen
Dr. Friedrich Mez

Zusammenfassung

Durch den Einsatz von verlustarmem Elektroblech, durch die Verwendung neuer Isoliermaterialien an den Statorstäben und durch ein aufgrund zahlreicher Messungen verbessertes Engineering, insbesondere im Bereich der Maschinenkühlung, kann die Ausnutzung von Wasserkraftgeneratoren heute im Vergleich zu 1960 nennenswert gesteigert werden. Dies ermöglicht die Umrüstung bestehender Wasserkraftgeneratoren auf höhere Leistungen allein durch den Austausch entsprechender Komponenten. Eine solche Umrüstung ist besonders für Anlagen von Bedeutung, bei welchen durch Verringerung der Verluste im Wasserweg eine höhere Leistung an der Turbinenkupplung erreicht werden kann.

Einleitung

Die ausreichende Versorgung der Schweiz mit Strom aus einheimischen Kraftwerken wird im Laufe der nächsten Jahre immer problematischer, zumal im Winterhalbjahr. Die politisch bedingten Schwierigkeiten bei der Realisierung neuer Kernkraftwerksprojekte, der weithin fehlende Konsens der Bevölkerung für den Ausbau der allerdings nur noch spärlich vorhandenen ungenutzten Wasserkräfte und die Vorstellungen über eine generelle Anhebung der Restwassermenge stehen im krassen Widerspruch zum stetig wachsenden Stromverbrauch in der Schweiz.

Die Stromerzeugung aus alternativen, erneuerbaren Quellen wie Wind und Sonne wird trotz erheblichen Anstrengungen von allen Seiten in absehbarer Zeit nicht einmal den Stromverbrauchszuwachs zu decken vermögen, geschweige denn den heute im Winterhalbjahr schon vorhandenen Stromfehlbetrag ausgleichen können.

Eine Stromproduktion über fossile Energieträger ist wegen der damit in jedem Fall verbundenen Erzeugung von Schadstoffen, insbesondere von CO₂, kaum vertretbar.