Erdbeben und Seiches: eine Möglichkeit zur Erdbebenprognose

Autor(en): **Bühlmann, Ernst**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 35

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85518

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Erdbeben und Seiches

Eine Möglichkeit der Erdbebenprognose

Von Ernst Bühlmann, Thun

Es wird im folgenden Artikel auf Kräfte eingegangen, welche labile Zustände in der Erdkruste und im oberen Erdmantel beeinflussen können und dadurch Erdbeben auslösen. Damit soll die Aufmerksamkeit des Lesers auf die Voraussage von Erdbeben gelenkt werden. Der Verfasser vertritt die Ansicht, dass die Ursachen für die Seiches und die tektonischen Beben dieselben sind. Mit andern Worten: die Seiches bilden ein mögliches Mittel, um tektonische Erdbeben vorauszusagen, und damit Menschen rechtzeitig aus gefährdeten Gebieten evakuieren zu können. – Die Theorie der Plattentektonik ist schon relativ gut entwickelt. Sie erbringt Angaben über die Orte, wo tektonische Erdbeben zu erwarten sind. Demgegenüber befasst sich der vorliegende Artikel zur Hauptsache mit dem zeitlichen Auftreten solcher Erdbeben. Das Problem dieser Erdbeben gliedert sich also in zwei Teile. Der erste Teil untersucht die Anfälligkeit eines Gebietes für tektonische Erdbeben und ist nicht Gegenstand des vorliegenden Artikels. Der zweite Teil, mit dem sich der Artikel befasst, behandelt ihre auslösenden Ursachen.

Erdbeben sind eine heimtückische und unheimliche Gefahr, die Menschen und Güter immer wieder bedrohen. Es ist ökonomisch fast nicht tragbar so zu bauen, dass ein Bauwerk auch schweren Erdbeben widersteht. Doch ist erdbebensicheres Bauen ein erstrangiges Erfordernis z. B. für Kernkraftwerke, für Talsperren, für Hochhäuser usw. Die Erdbebenfachleute an der Unesco-Konferenz 1976 in Paris vertraten die Überzeugung, dass noch mehr Grundlagen gesammelt werden müssen, um die Erdbebenwirkungen besser zu erfassen. – Ebenso wichtig ist aber die Frage nach der *Vorwarnung* damit sich die Menschen rechtzeitig in Sicherheit bringen können. Deshalb müssen alle Anzeichen sorgfältig registriert werden, die auf ein bevorstehendes Erdbeben hinweisen. So kennt man bereits gewisse Vorboten von Erdbeben, wie z. B. die Verschmutzung von Brunnenwasser, abnormales Verhalten von Tieren [1].

Die Plattentektonik untersucht Veränderungen in der Erdkruste und im oberen Erdmantel, dies unter anderem mit künstlich erzeugten seismischen Wellen. Ein Begriff ist die *Dilatation*, das heisst die Bildung vieler feiner Risse, an denen die seismischen Wellen einerseits gedämpft und anderseits reflektiert werden. Die Risse haben ständig die Tendenz, sich zu verlängern und setzen die Festigkeit der Platten herab. Solche Risse verändern die Frequenz der verwendeten seismischen Wellen, was sich für die Prognose von Erdbeben auswerten lässt. Solche Änderungen, die in einem Gebiet länger anhalten, lassen Erdbeben binnen einiger Monate erwarten. Andere Anzeichen eines bevorstehenden Erdbebens bestehen z. B. im *Anheben des Bodens*. Im Jahre 1964 fand in *Niigata* (Japan) ein starkes Erdbeben statt. Bereits einige Jahre vor diesem Beben hatte man festgestellt, dass sich der Boden um fünf Zentimeter gehoben hatte. – Solche langfristigen Prognosen und die Merkmale bringen neue Probleme, denn bei der Vorhersage grösserer Beben muss sich die zuständige Behörde entscheiden, ob sie das gefährdete Gebiet räumen lassen will. In dieser unangenehmen Lage befindet sich beispielsweise die Stadt San Francisco.

Es wäre also wichtig, über ein Instrument zu verfügen, das bevorstehende tektonische Erdbeben *vorzeitig* und *kurzfristig* ankündet. Solche Instrumente müssten in den erdbebengefährdeten Gebieten aufgestellt werden, gemäss den seismischen Zonierungen. – Nach Ansicht des Verfassers würden sich *Limnigraphen*, welche die *Wasserspiegelschwankungen von Seen und eingeschlossenen Meeresbuchten* in einem den örtlichen Verhältnissen angepassten Massstab aufzeichnen, sehr gut eignen. Es sei auf die vor etlichen Jahren verfasste Studie über Seespiegelschwankungen hingewiesen unter dem Titel: «Die unter dem Namen Seiches bekannten Seespiegelschwankungen und ihre Ursache» [2]. In dieser unveröffentlichten Studie hat der Verfasser nachgewiesen, dass die Seiches ausgelöst werden durch die Beschleunigungen und Verzögerungen, welche die Erde in ihrem Lauf um die Sonne erfährt.

Die Seiches sind also planetarischen Ursprungs. Die Erde umkreist, wie seit Kepler bekannt, die Sonne auf einer elliptischen Bahn; die Sonne steht in einem Brennpunkt der Ellipse. Wie Kepler nachwies, überstreicht die Verbindungslinie Erde-Sonne in gleichen Zeitabschnitten gleiche Flächen (Flächensatz). Jeweils am 2. Januar steht die Erde der Sonne am nächsten und am 2. Juli hat sie den grössten Abstand von der Sonne. Nach dem Flächensatz erfährt die Erde im Herbst eine Beschleunigung und wird im Frühling verzögert. Das Wasser der Seen und der Meere, das in Vertiefungen der Erdoberfläche eingebettet liegt, gehorcht dem Gesetz der *Erdanziehung, jedoch auch den Trägheitskräften*, die durch Beschleunigungen oder Verzögerungen der Erde in ihrem Lauf um die Sonne hervorgerufen werden. Da das Wasser infolge mangelnder Scherfestigkeit sehr leicht beweglich ist, vermögen schon sehr geringe Trägheitskräfte, verursacht durch Geschwindigkeitsänderungen der Erde, die Wassermassen aus der Gleichgewichtslage zu bringen.

Die Ursachen-Analogie Seiches/Erdbeben

Es ist sehr naheliegend, dass die soeben beschriebenen Trägheitskräfte auch *labile Gleichgewichtszustände* in der Erdkruste beeinflussen und *Dislokationsbeben* verursachen können. Es kann quasi ein Dominoeffekt ausgelöst werden. Deshalb ist es verständlich, dass die Erdbeben etwas später eintreten, als die Vorwarnzeichen registriert werden. Die Ursache dieser Zeitverschiebung liegt in den verschiedenen Scherfestigkeiten des Wassers gegenüber den Gesteinsschichten. Man könnte dazu verleitet werden, von einer Galgenfrist zu sprechen. – Es sei nebenbei darauf hingewiesen, dass durch eine Erhöhung des *Porenwasserdruckes* die Scherfestigkeit vermindert werden kann, wodurch plötzliche Verschiebungen erwirkt und Erdbeben ausgelöst werden können.

Wie oben angedeutet, gibt es Anzeichen, die auf ein bevorstehendes Erdbeben hinweisen. Es wurde die Verschmutzung von Brunnenwasser angeführt. Eine Erklärung ist mit Hilfe der hier beschriebenen Hypothese möglich; denn durch die Beschleunigungs- bezw. Verzögerungskräfte bei der Translation der Erde wird das Erdreich durchgerüttelt, wodurch sich Brunnenwasser im Einzugsgebiet der Quellen verschmut-

Seiches [frz] *Mz.*, **Schaukelwellen,** freie Schwingungen ganz oder teilweise abgeschlossener Wassermassen in Form stehender Wellen. Sie treten in Seen oder Meeresbuchten auf und werden durch Luftdruckschwankungen oder durch windbedingten Wasserstau verursacht. Erstmals hat sie der Schweizer Arzt *F.-A. Forel* 1869 für den Genfer See erklärt. Die Periode für die Hauptschwingung T ist durch die Länge des Beckens L und die Tiefe h bestimmt: $T = 2L/\sqrt{gh}$ *(Meriansche Formel)* Für die Ostsee ist T = 27,6 Stunden. Die Hubhöhen erreichen an den Enden (Travemünde, Leningrad) über 1 m.

(Aus Brockhaus Enzyklopädie, Bd. 17, S. 255, 1973)

zen kann. - Es ist sehr wohl möglich, dass die Tiere die Trägheitskräfte infolge Geschwindigkeitsänderungen besser wahrnehmen können als die Menschen. - Es wurde auch beobachtet, dass Fische vor einem Erdbeben die Erdbebenzonen frühzeitig verlassen, also durch die Strömungen im Wasser gewarnt werden. Die Strömungen im Wasser sind bei Seiches sehr stark. Ein Feriengast der Insel *Mallorca* hat berichtet, dass in der *Bucht von Alcudia* eine Wasserströmung vorhanden war, die ihn beinahe vom Ufer weggerissen habe. Dazu bemerkte er, dass die Wasseroberfläche vollständig glatt gewesen sei, also ohne Wellen. Diese Beobachtung bestätigt auch das Vorhandensein einer Schwingung der ganzen Wassermasse.

Die Voraussage, Erdbeben mit bestimmter Intensität alle 250 Jahre zu erwarten [1a] ist fragwürdig, gleich wie die langfristigen Wetterprognosen. - Im Heft Nr. 246 der OMM (Organisation météorologique mondiale, Genève) [3] aus dem Jahre 1969 steht auf Seite 6, dass Seiches durch Erdbeben ausgelöst werden können. Es wird auf die Seiches der *Seen von Schottland* hingewiesen, die in Zusammenhang gebracht werden mit dem *Erdbeben von Lissabon* im Jahre 1755. Gemäss dieser irrtümlichen Auffassung hätte das Erdbeben die Seiches verursacht. Es ist aber vielmehr so, dass die Seiches der Seen in Schottland und das ungefähr gleichzeitige Erdbeben von Lissabon die gleiche Ursache hatten, nämlich die *Geschwindigkeitsänderung der Erde in ihrem Lauf um die Sonne.* - Geländerutschungen in einen See oder auch unter Wasser, können ebenfalls eine Wassermasse in Schwingung versetzen. Dies ist aber eine eher seltene Erscheinung. - Im erwähnten Bericht der OMM wird mitgeteilt, dass Luftdruckunterschiede und heftige Winde Seiches erzeugen könnten, was A. Forel [4] schon behauptet hatte. Es wurde nämlich beobachtet, dass ausserordentlich starke Seiches stets von Stürmen begleitet sind. Es ist aber *sehr unwahrscheinlich, dass Luftdruckunterschiede an ein und demselben See Seiches auslösen können.* Als Beispiele seien der *Bodensee* und der *Zürichsee* in Betracht gezogen. Es müsste also in *Bregenz* und in *Rapperswil* hoher Luftdruck herrschen und in *Konstanz* und in *Zürich* gleichzeitig niedriger Luftdruck, damit beide Seen gleichzeitig eine Längsschwingung erfahren würden. Ein solcher Zufall ist sehr fraglich. - Weiter wurden auch an kleinen Seen Seiches beobachtet, wo es unwahrscheinlich ist, dass beachtliche atmosphärische Druckunterschiede vorhanden sein können. Auch die Seiches-Aufzeichnungen gemäss Bild 8 in *Wollishofen* und am *Zürichhorn* mit einer Distanz von nur ca. 1300 m erbringen einen Beweis in dieser Hinsicht. Eine Erklärung der Seiches mit Luftdruckunterschieden ist also fraglich, auch wenn im Schweizer-Lexikon die Seiches mittels Luftdruckunterschiede erklärt werden. Wie will man eine Amplitudengrösse von 199 cm am *Eriesee* [5] vom 20. 11. 1900, bezw. von 204 cm in der Bucht von *Uchiura* in *Japan* [3] vom 21. 12. 1946 mit Luftdruckunterschieden begründen?

Auch heftige Winde vermögen so grosse Wassermassen nicht in Schwingungen mit so grossen Amplituden zu versetzen. Wenn wie oben mitgeteilt, starke Seiches stets von Stürmen begleitet sind, dann sind dieselben wahrscheinlich eben auch durch die Geschwindigkeitsschwankungen der Erde in ihrem Lauf um die Sonne hervorgerufen. Wenn sich nämlich die Erde in ihrem Lauf plötzlich beschleunigt, dann entsteht auf der Seite der Erde, nach welcher sie sich bewegt, eine Luftstauung, also ein erhöhter Luftdruck. So können Stürme ausgelöst werden. - Auf Windeinfluss zurückzuführen sind die kleinen Schwankungen, wie sie die Limnigraphenaufzeichnungen stets aufweisen (siehe z. B. Bild 6, sowie auch Bild 8 und Bild 9). - Zur besseren Erklärung sei noch darauf hingewiesen, dass die die Erde umgebende Atmosphäre die Translationsbewegung der Erde um die Sonne mitmacht. Erde und Atmosphäre können also als *ein* System aufgefasst werden. In diesem System sind aber Unterschiede zu berücksichtigen, weil die der Erde gegenüber der leichten Atmosphäre anders auf die Geschwindigkeitsänderungen reagiert. In der Atmosphäre können also Luftstauungen und Luftverdünnungen vorkommen.

Abschätzung der Amplitudengrösse der Seiches

Es wird nun die Grössenordnung der Kräfte bestimmt, die durch die Geschwindigkeitsänderungen der Erde in ihrem Lauf um die Sonne verursacht werden, und beurteilt, ob dieselben die Ursache der Seiches sein können. Wie das stark verzerrte Bild 1 zeigt, neigt sich der Wasserspiegel eines Sees bei Vorhandensein einer Geschwindigkeitsänderung gegen die Horizontale. Die Horizontal-Komponente der Beschleunigung bezw. der Verzögerung ist $m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot b$. Es sind zwei Fälle zu unterscheiden.

Fall 1: Bei Vernachlässigung der inneren Reibung des Wassers und der Reibung des Wassers an den Auflagerflächen, müsste sich nach hinreichend langer Zeit einer Geschwindigkeitsänderung für alle Seen, unabhängig von ihrer Ausdehnung, *dieselbe* Neigung der Wasserspiegel einstellen. Begründung: Nach Bild 1 ist: $\mathrm{tg}\varphi = \frac{b}{g}$, also unabhängig von der Masse m. - Die dabei erzielte Amplitude müsste infolge der Erdrotation um einen See herum wandern. Es ist dieselbe Erscheinung, wie die, mit welcher der Physiker *Foucault* mit einem Pendel im Pantheon in Paris die Rotation der Erde nachgewiesen hat. Siehe dazu auch die zwei verschiedenen Wirkungslinien nach Bild 5.

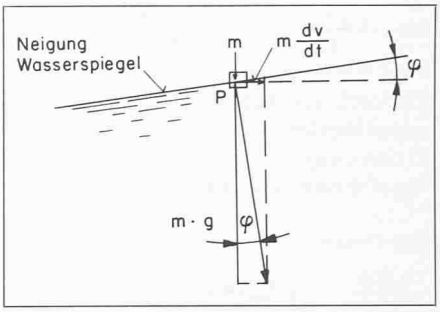


Bild 1. Änderung des Wasserspiegels bei horizontaler Geschwindigkeitsveränderung.
Die Horizontalkomponente der Trägheitskraft liegt in der Tangentialebene zur Erdkugel im Punkte P. Die Vertikalkomponente ist verglichen mit (m·g) vernachlässigbar.
Stark verzerrter Massstab

Fall 2: Die Beschleunigungs- bzw. Verzögerungszustände der Erde in ihrem Lauf um die Sonne wechseln in solchen Zeitabschnitten, dass sich der unter Fall 1 bezeichnete Stationärzustand nicht ausbilden kann.

Die gemäss Fall 1 erwähnte Wanderung der Amplitude um einen See infolge der Erdrotation ist nicht festgestellt worden. Weiter geht aus den Seiches-Limnigraphenaufzeichnungen hervor, dass die Schwingungen der Wassermassen rasch abklingen. Der Grund ist die grosse Bremswirkung durch die Reibung des Wassers mit dem Seegrund. - Also entspricht Fall 2 der Wirklichkeit.

Wie eingangs erwähnt, erfährt nach dem Flächensatz von Kepler die Erde im Herbst eine Beschleunigung. Dies geht auch aus der Zeitgleichung hervor (Bild 2 und 3). Allerdings ist festzustellen, dass nur der Durchschnittswert über einige Monate einer Beschleunigung gleichkommt. Dazwischen können aber auch kurze Verzögerungen vorkommen, wie z. B. am 21. 11. 1900 um 10 Uhr gemäss den Bildern 5 und 5a, als das Wasser des Eriesees in Buffalo anstieg, weil eine Erdverzögerung eingetreten war.

An Hand von Bild 1 lässt sich die Grösse der Amplitude A abschätzen:

$$(1) \quad A = 2 \cdot \frac{L}{2} \cdot \mathrm{tg}\varphi = L \cdot \frac{b}{g}$$

Es gelten auch folgende Formeln:

$$(2) \quad v = v_m + \Delta v$$

und

$$(3) \quad \Delta v = b \cdot t \text{ (durch Integration)}$$

Weiter kennt man die maximale Amplitude A für den Zürichsee zu ca. 17 cm. Daraus lässt sich die Grösse $b = \frac{dv}{dt}$ nach Formel (1) abschätzen:

$$b = \frac{A \cdot g}{L} = \frac{17 \cdot 981}{2\,800\,000}$$

= ca. 0,006 cmsec.$^{-2}$.

Dadurch ergeben sich die maximalen, angenäherten Amplituden für Seiches in den Längsachsen für die nachfolgend angeführten Seen und Meere wie folgt:

Genfersee

$$\frac{0{,}006}{981} \cdot 6\,600\,000 = \text{ca. } 40 \text{ cm}$$

Eriesee

$$\frac{0{,}006}{981} \cdot 40\,000\,000 = \text{ca. } 245 \text{ cm}$$

Kaspisches und Totes Meer

$$\frac{0{,}006}{981} \cdot 120\,000\,000 = \text{ca. } 730 \text{ cm}$$

Die approximativen maximalen Amplituden liegen für die Seen von der Grösse des Genfersees und des Eriesees im Bereich des Möglichen, und die errechneten Grössen stimmen mit den beobachteten Amplituden relativ gut überein. - Die Grösse der Amplitude wird auch beeinflusst von der Form der Seen. So entstehen z. B. in Genf selber deshalb relativ grosse Amplituden, weil sich gegen Genf zu der See stark verengt und auch die Tiefe stark abnimmt. Dadurch bildet sich eine Stauung des Wassers, wodurch die Amplitude vergrössert wird.

Die wirkliche Amplitude für den Eriesee wird bei dieser Seengrösse wesentlich durch die Reibung des Wassers mit dem Seegrund reduziert. - Für die Meere von der Grösse des *Kaspischen-* und des *Toten Meeres* allerdings sind obige Amplitudenwerte viel zu gross; das heisst, sie entsprechen nicht der Wirklichkeit. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die Zeitspannen während derer nur Beschleunigungen oder nur Verzögerungen stattfinden, begrenzt sind.

Es soll nun noch eine Erklärung zu Bild 2 erfolgen. Man versteht unter Zeitgleichung: Mittlere Zeit weniger wahre Zeit gleich Zeitgleichung. Die mittlere Zeit entspricht dem Lauf einer fiktiven Erde, die mit konstanter Tangentialgeschwindigkeit v_m um die Sonne läuft. Die wahre Zeit entspricht dem wirklichen Lauf der Erde mit der Geschwindigkeit v und wird von einer Sonnenuhr registriert. Die Zeitgleichung ist positiv oder negativ; je nachdem ist die Angabe einer Sonnenuhr zu korrigieren.

Wie oben erwähnt, sind die Zeitspannen begrenzt, während denen nur Beschleunigungen oder nur Verzögerungen stattfinden. Eine vom Verfasser erstellte Statistik der Seiches des Zürichsees über vier Jahre bestätigt diese Feststellung. Diese Statistik zeigt zudem auch, dass die Seiches mit grossen Amplituden hauptsächlich während der Monate Januar, Oktober, November und Dezember auftreten, also dann, wenn die Translationsgeschwindigkeit der Erde am grössten ist. - Die geschätzte Beschleunigung b wird nun verglichen mit der Erdbeschleunigung g. $\frac{g}{b} = \frac{981}{0{,}006}$ = ca. 160 000. Die Beschleunigung, die Seiches verursacht, ist also sehr klein gegenüber der Erdbeschleunigung g. Wenn dem nicht so wäre, so könnten die Küstengebiete der Seen und der Meeresbuchten gar nicht bewohnt werden, weil die Seiches-Flutwellen alles zerstören würden.

Da $\Delta v = b \cdot t$ von b und von t abhängt, ist es möglich, dass ein grösserer b-Wert während einer kürzeren Zeit wirkend, auch grosse Seiches-Amplituden auslösen kann. - In der bereits zitierten Abhandlung [2] über die Seiches ist auch die Grösse der Amplituden in Funktion der Seengrösse untersucht worden. Es ergab sich die graphische Darstellung gemäss Bild 4. Diese Kurve entspricht einem bestimmten, konstanten b_c-Wert. Für verschiedene b_c-Werte erhält man eine Kurvenschar mit dem Parameter b. Für eine bestimmte Seengrösse erreicht also die Amplitude ein Maximum. Weiter geht aus Bild 4 hervor, dass die Meere nur ganz unbedeutende, das heisst kaum merkbare Seiches aufweisen. Die Meeresbuchten jedoch sind in sich abgeschlossene Gebilde und deren Meerwasser können grosse Amplituden aufweisen. - Die charakteristische Form der Kurve nach Bild 4 mit einem Maximum ist aber stets vorhanden.

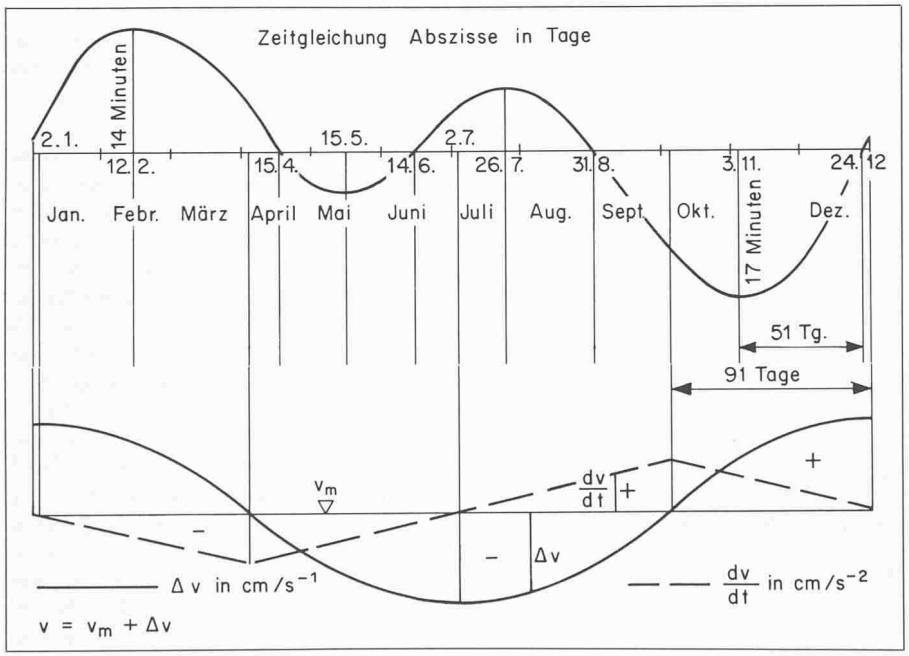


Bild 2 und 3. Zeitgleichung

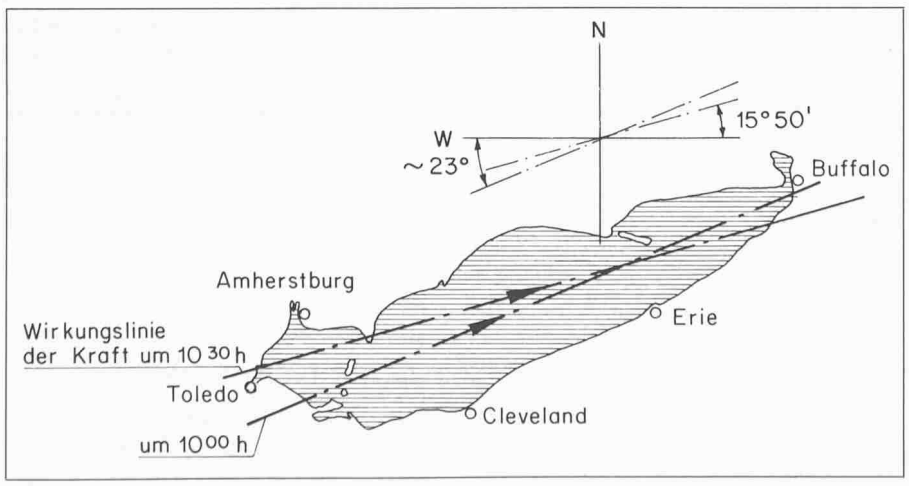


Bild 5. Wirkungslinien von Seiches im Eriesee.

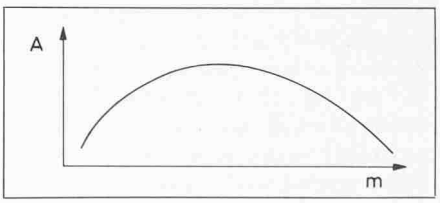


Bild 4. Amplitudengrösse in Funktion der Seengrösse

Schwingungsdauer der Seiches

Eine von *Merian* aufgestellte Formel für die Periode der Seiches hat *A. Forel*

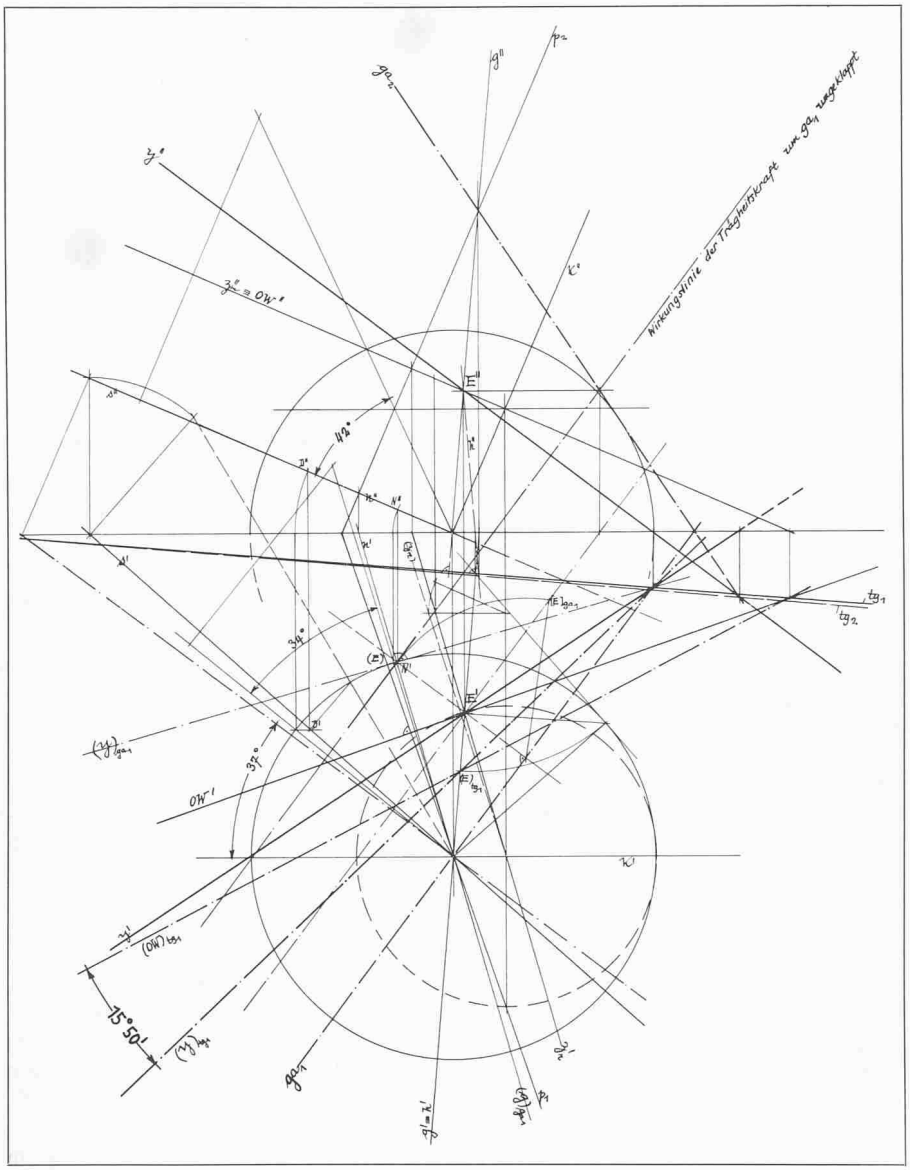


Bild 5b. Lage des Eriesees bezüglich der Wirkungslinie der Trägheitskraft, dargestellt mit Hilfe der Darstellenden Geometrie.

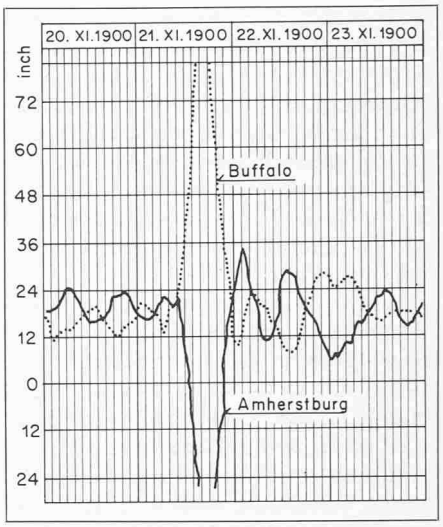


Bild 5a. Aufzeichnung von Seiches im Eriesee

vereinfacht. Sie lautet:

$$T = \frac{2 \cdot L}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Es bedeuten: T = Schwingungsdauer, L = Seenlänge, h = mittlere Seetiefe.
Für den Zürichsee errechnet sich bei einer Länge von 28 000 m und einer mittleren Tiefe von 40 m die Periode zu 2 800 Sekunden. Das sind 46 Minuten. Diese Formel ergibt nur angenäherte Werte, weil die Reibung zwischen dem Wasser und dem Seegrund nicht berücksichtigt ist, was bei grossen Seen stärker ins Gewicht fällt.

Interferenz von Längs- und Querschwingungen

Eine Impulsänderung, hervorgerufen durch eine Geschwindigkeitsänderung der Erde in ihrem Lauf um die Sonne, treibt das Wasser in einer bestimmten Richtung in die Höhe. Das hochgetriebene Wasser hat nun eine gewisse potentielle Energie und dadurch entstehen Schwingungen der ganzen Wassermasse. Wenn der Antrieb in der Längsachse eines Sees erfolgt, bilden sich Längsschwingungen; bei Antrieb in der Querrichtung eines Sees jedoch Querschwingungen. Die Lage eines bestimmten Sees bezüglich des Geschwindigkeitsvektors der Erde ist massgebend, ob für einen bestimmten Antrieb Längs- oder Querschwingungen entstehen.
Die am 21. 11. 1900 im Eriesee beobachtete Seiche war deshalb so stark, weil um 10 Uhr an diesem Tag als der Antrieb einsetzte, die Komponente der Trägheitskraft in der Tangentialebene ungefähr in die Längsachse des Sees fiel. In Bild 5b ist mit Hilfe der Darstellenden Geometrie die Lage des Eriesees bezüglich der Wirkungslinie der Trägheitskraft dargestellt. Diese Seiche wurde durch eine Erdverzögerung erzeugt, denn das Wasser stieg zuerst in *Buffalo* an und fiel in *Amherstburg*. - Der zu dieser Zeit auftretende Sturm kam aus West-Südwest. Diese Beobachtung stimmt sehr gut überein mit dem vorher über Luftdruckschwankungen Gesagten.
Wenn ein See in Längsschwingungen begriffen ist und sich seine Lage bezüglich der Translationsrichtung der Erde im Lauf um die Sonne so verändert, dass bei einer neuen Geschwindigkeitsänderung Querschwingungen entstehen, woraus dann Interferenzen zwischen Längs- und Querschwingungen resultieren. Es entstehen dann Wasserstandslinien wie in Bild 6 aufgezeichnet.
Mögliche Bilder von Interferenz-Schwingungen sind in Bild 7 dargestellt. Es sind ähnliche Formen, wie die vom Zürichsee am 12. 11. 1940 in *Rapperswil* festgestellten Wasserstandslinien. - Weitere ähnliche Aufzeichnungen sind nach Bild 8 am unteren Zürichsee am 6. 12. 1940 registriert worden. Ein Seiches-Limnigraph befand sich im Zürichhorn und ein anderer in Wollishofen. Es sind die typischen M-

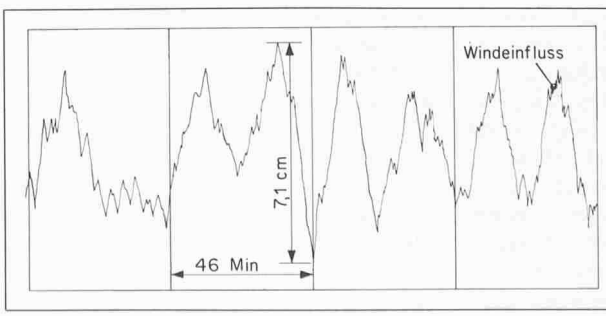


Bild 6. Wasserstandslinien, aufgezeichnet in Rapperswil am 12.11.1940 (Interferenzen zwischen Längs- und Querschwingungen)

& W-Bilder. Die Distanz Zürichhorn-Wollishofen ist relativ klein. Also ist die Hypothese von *A. Forel* unwahrscheinlich, dass hier die Luftdruckunterschiede so grosse Werte erreichen könnten, um die ganze Wassermasse in Schwingung zu versetzen. - Am 5. 11. 1940 waren nach Bild 9 zwischen Rapperswil und Zürichhorn reine Längsschwingungen feststellbar.

Typische Interferenz-Schwingungen entstehen dann, wenn ein in Längsschwingungen sich befindender See nach rund sechs Stunden einen neuen Impuls erfährt. Dieser See hat nämlich inzwischen seine Lage bezüglich der Translationsrichtung der Erde um die Sonne vollständig verändert, und zwar durch die Rotation der Erde. Es würden jetzt Querschwingungen ausgelöst, aber da sich der See noch in Längsschwingung befindet, entsteht eine Interferenz. Dazu ist zu beachten, dass die Querschwingung eine bedeutend kleinere Schwingungsdauer aufweist als die Längsschwingung, weil die Breite des Sees viel kleiner ist als seine Länge.

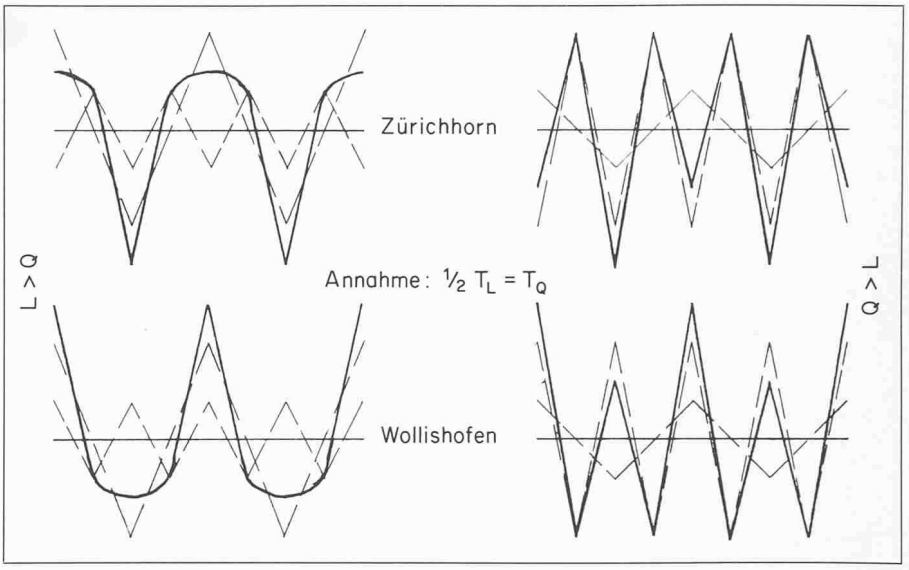


Bild 7. Mögliche Interferenzschwingungen, interpretiert aus Wasserstandsmessungen am unteren Zürichsee

Schlussfolgerungen

Nach den festgestellten Tatsachen ist es erwiesen, dass die Winde und die Luftdruckunterschiede nicht die Ursache der Seiches sind. Es sind vielmehr die Geschwindigkeitsänderungen der Erde in ihrem Lauf um die Sonne und die dadurch ausgelösten Trägheitskräfte, die Seiches auslösen können. Die gleichen Trägheitskräfte vermögen auch labile Gleichgewichtszustände in der Erdkruste zu beeinflussen und Erdbeben auszulösen.

Die Anzeichen, die kurze Zeit vor dem Auftreten von tektonischen Erdbeben feststellbar sind, erlauben es den Menschen, sich dementsprechend zu verhalten. An Seeufern, die sich nahe bei einem Erdbebengebiet befinden, sollten Limnigraphen aufgestellt werden, die bei der Registrierung von grossen Seiches-Amplituden Warnzeichen geben. Dadurch wäre man nicht genötigt, sich auf die Verschmutzung von Brunnenwasser oder das Verhalten von Tieren zu verlassen.

Es sei auch noch darauf hingewiesen, dass durch die Beobachtung von Seiches-Aufzeichnungen die kurzfristigen Wetterprognosen verbessert werden *könnten*. Heute sind rund 20 Prozent der Wetterprognosen unsicher, was verständlich ist, wenn man bedenkt, dass die plötzlich sich einstellenden Geschwindigkeitsänderungen der Erde den Luftdruck beeinflussen. Dadurch kann sich die Wetterlage rasch verändern. - Diese Überlegungen zeigen auch, dass langfristige Wetterprognosen nicht möglich sind, weil niemand die Geschwindigkeitsänderungen der Erde in ihrem Lauf um die Sonne voraussagen kann. - Ähnliche Überlegungen lassen sich bezüglich eines Vorhersagegesetzes betreffend die Erdbeben anstellen. Die Angabe, dass für das *Friaul* ein Erdbeben der Intensität 9,5 im Mittel alle 250 Jahre zu erwarten sei [1a] scheint fragwürdig. Um solche Prognosen stellen zu können, müsste man über Jahrhunderte eine Statistik führen betreffend das Auftreten von Erdbeben im Zusammenhang mit grossen Seiches-Amplituden. Auch dann wäre die Prognose noch unsicher, weil nach jedem tektonischen Erdbeben die Gleichgewichtslagen der Erdschichten sich in jenem Gebiet (z. B. Friaul) verändern.

In Heft Nr. 246 der OMM [3] steht auf Seite 8: «Il semble bien, d'ailleurs, que les conditions météorologiques, et notamment les variations de la pression atmosphérique et les fluctuations de l'intensité ou de la direction des vents, peuvent provoquer la maissance de ces longues ondes». - Weiter steht auf Seite 6: «Il n'y a pas une cause des seiches, mais il y a de nombreuses causes...» Diese zwei Ansichten sind sehr fragwürdig. Der Wind hat nämlich nur einen geringen Einfluss auf die Schwankungen der Wasserspiegel von Seen, was in Bild 6 rechts oben angedeutet ist. Auch die Bilder 8 und 9 zeigen den relativ geringen Einfluss des Windes. - Nach dem Dafürhalten des Verfassers gibt es nur *eine* Ursache zur Auslösung von Seiches, nämlich die Geschwindigkeitsänderungen der Erde in ihrem Lauf um die Sonne.

In einer Zeitungsnotiz [6] steht über den Stoffhaushalt der Seen zu lesen, dass der Wind und die Sonneneinstrahlung einen See in ständiger Bewegung halten. Weiter ist dort geschrieben: «Die grosse Algenproduktion führt in den tieferen Wasserschichten zu grossem, oft totalem Sauerstoffschwund, was das Leben für Fische und andere Lebewesen erschwert oder verunmöglicht. Erst im Winter vermögen starke Winde die Wassermassen bis in grössere Tiefen, in manchen Seen bis zum Grund, wieder umzuwälzen». Auch diese Auffassung ist kaum vollständig richtig; denn Winde vermögen wohl die oberen Wasser-

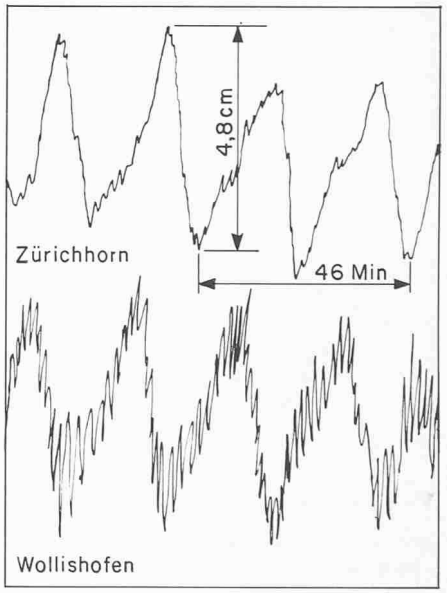


Bild 8. Aufzeichnungen von Seiches im unteren Zürichsee (mit Windeinfluss in der unteren Aufzeichnung)

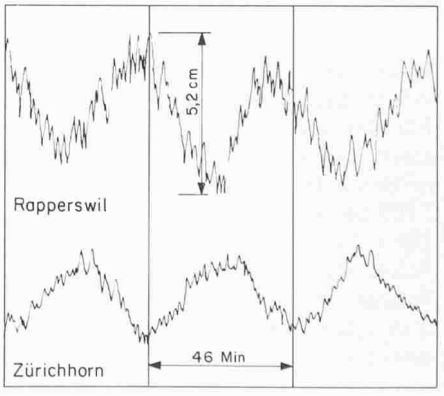


Bild 9. Aufzeichnung von Längsschwingungen zwischen Rapperswil und Zürichhorn am 5.11.1940 (mit Windeinfluss in der oberen Aufzeichnung)

schichten zu bewegen. Aber die Schwingungen der ganzen Wassermassen von Seen und eingeschlossenen Meeresbuchten, also die Seiches, vermögen das Wasser bis zum Grund in Bewegung zu bringen. Die dabei absorbierte Energie durch die Reibung zwischen dem Wasser und dem Seegrund ist relativ gross. Die beim Phänomen Seiches erzeugte kinetische Energie ist proportional zum Quadrat von Δv. Die durch das Steigen der Wassermassen erreichte potentielle Energie ist bedeutend kleiner, sonst wären die Amplituden der Seiches grösser. Also wird durch die Reibung zwischen der Wassermasse und dem Seegrund ein relativ grosser Betrag der kinetischen Energie absorbiert. Diese Tatsache ist ein Beitrag zur Gesunderhaltung der Seen und ist ein Wunder der Schöpfung hinsichtlich des Planeten Erde.
In diesem Artikel ist eingehend über die als Seiches bezeichneten Wasserspiegelschwankungen von Seen und eingeschlossenen Meeresbuchten berichtet worden. Der Grund ist die Möglichkeit der Vorhersage von Erdbeben mit Hilfe der Registrierung der Seiches. Deshalb will die vorliegende Veröffentlichung ein Beitrag sein zur sicheren Voraussage von tektonischen Erdbeben. Da von allen Erdbeben rund 90 Prozent tektonische Erdbeben sind (auch Dislokationsbeben genannt), ist eine sichere Voraussage derselben wünschbar.

Adresse des Verfassers: *E. Bühlmann*, dipl. Ing. ETH, Beatriceweg 10, 3600 Thun

Literaturverzeichnis:

[1] *Glauser, E und Merz, H.:* «Erfassung und Verminderung von Erdbebenrisiken». Schweizerische Bauzeitung, Heft 18, 1976.
[1a] «Das Erdbeben im Friaul vom 6. Mai 1976» - *Glauser, E., Gugerli H., Heimgartner E., Rast B. & Sägesser R.:* «Beanspruchung und Beschädigungen von Bauwerken.» Schweizerische Bauzeitung, Heft 38, 1976.
[2] Unveröffentlichte Abhandlung mit dem Titel: «Die unter dem Namen Seiches bekannten Seespiegelschwankungen und ihre Ursache» (von E. Bühlmann, Thun).
[3] Heft Nr. 246 OMM (Organisation météorologique mondiale - Genève) 1969.
[4] *Forel:* «Les seiches des Lacs.» 1900
[5] *Zeitschrift für Gewässerkunde*, 5. Band, Seite 48, 1903
[6] Thuner Tagblatt, Nr. 211 vom 9. 9. 1978.

Baumanagement

Management im Bauwesen

Aufgabenbereiche der SIA-Fachgruppe

Im Rahmen der Arbeiten der FGA, der Fachgruppe für Architektur, wurde der Wunsch geäussert, der SIA möge sich vermehrt der Problematik des Projektmanagements und über die Hilfe des Administrativordners hinaus den Fragen der Geschäftsleitung im Projektierungsbüro widmen. Nach einer zweijährigen Vorbereitunszeit fand am 30. August 1978 in Bern die Gründungsversammlung der FMB statt. Die FMB befasst sich mit den beiden Aufgabenbereichen «Projektmanagement für Bauprojekte» und «Geschäftsleitung im Projektierungsbüro». Der Beitrag soll zeigen, was die FMB selbst unter diesen Arbeitstiteln versteht und welche Zusammenhänge die Bearbeitung dieser beiden verschiedenen Bereiche in der einen Fachgruppe für Management im Bauwesen rechtfertigen.

Projektmanagement für Bauprojekte

Unter diesem Arbeitstitel wird die Leitungsfunktion verstanden, die notwendig ist, um die mit dem Bauprojekt verfolgten Ziele zu erreichen. Das Bauen hat in der Regel keinen Selbstzweck. Das Bauwerk ist lediglich eine nach aussen - oft mehr oder weniger befriedigende - sichtbare Folge einer Investition, um sozialen, kommerziellen, industriellen oder infrastrukturellen Bedürfnissen zu entsprechen. Im Vordergrund steht somit nicht das Bauwerk, sondern dessen zukünftige Nutzung. Jedes Bauprojekt ist mit einer Investition und mit einem beabsichtigten «Return on Investment» in direkter oder indirekter Form verbunden. Der «Return on Investment» ist nicht nur von der technischen und ökonomischen Projektierung und Ausführung des Bauwerkes abhängig. Es ist eine Reihe von gegenseitig abhängigen bautechnischen, betrieblichen und ausserbetrieblichen Faktoren, die in ihrer Gesamtheit den Erfolg oder Misserfolg eines Bauprojektes bestimmt. In der Regel könnte ein Bauprojekt durch die frühere und kompetentere Berücksichtigung der Bauausführung erfolgreicher gestaltet werden. Je mehr Faktoren bei einem Bauprojekt zu berücksichtigen sind, desto komplexer und schwieriger ist die Aufgabenstellung des Projektmanagements.
Insbesondere unter den internationalen Ausschreibungen zeichnet sich eine vermehrte Nachfrage nach Develop/Design/Build/Finance-Paketen ab, bei denen nicht nur ein Bauwerk zu projektieren und auszuführen ist, sondern auch die generelle Vorbereitung, die Finanzierung, der Betrieb, der Unterhalt und die Ausbildung anzubieten sind. Nicht selten ist auch die Produktion qualitativ und quantitativ im Hinblick auf den «Return on

Sinai Manganese Co.'s township at Abu Zenima, 120 km southwest of Suez. Technical and managerial assistance are also included. The original ferromanganese complex at Abu

The contract calls for construction of buildings, mechanical and electrical systems, laboratories, installation of plant equipment and machinery, supervision of civil works construction, technical assistance and financing. Tenders should be sent to Corporacion de Desarrollo de La Paz (CORDEPAZ)

eral Post Office, is management consultant for the PTC college. Its services include advice on structural design, equipment procurement and training programs.

The contract will cover civil works, procurement and installation of materials and hospital equipment, and equipment maintenance for three years. The hospital is to be financed by a $3.2-million loan from W. Ger-

The upcoming contract will cover design, manufacture, shipping and installation of target systems, training devices and related equipment, and all necessary site work. The contract will also include training of local operations and maintenance personnel.

Fünf Beispiele aus internationalen Bauausschreibungen