

Entwicklung der Erdbebenerfassung in Tirol

W.A. LENHARDT

Einleitung

Die Erdbebenerfassung in Tirol dient nicht nur dem Krisenmanagement und dem Zivilschutz im Anlassfall, sondern stellt eine der Grundlagen dar, die zum Verständnis der Kinematik und der Dynamik der Alpen beiträgt und mit Hilfe neuer Daten laufend ergänzt wird. Dieser Betrag umfasst den Werdegang der Erdbebenerfassung in Tirol. Nicht nur historische Ereignisse sind hier von Belang, sondern auch die Messung kleinster Erdbeben, die aufgrund ihrer höheren Häufigkeit ein detailliertes Bild der rezenten Tektonik abgeben, welches schon aus Daten weniger Jahrzehnte erstellt werden kann. Auch die damit verbundenen Herausforderungen werden kurz vorgestellt.

Historische Erdbeben

Das Bundesland Tirol ist reich an Schadensbeben in der Vergangenheit. Praktisch alle Informationen über Erdbeben vor 1900 basieren auf der gesammelten Darstellung von SCHORN (1902), ähnlich wie in Niederösterreich, wo bis heute als Grundlage die Arbeit von SUESS (1873) Verwendung findet. Derzeit befasst sich aber ein Projekt der Zentralanstalt mit diesen niederösterreichischen Erdbeben im Detail, um zu genaueren Aussagen gelangen zu können.

Nr.	Jahr	Mo	Tag	hh	mm	Br.	Lg.	Io	Epizentrum
1.	1571	11	01			47,27	11,39	7	Innsbruck
2.	1572	01	04	18	45	47,27	11,39	8	Innsbruck
3.	1595	07	12			47,28	11,51	6	Hall
4.	1670	07	17	01	15	47,28	11,51	8	Hall
5.	1689	12	22	01		47,27	11,39	8	Innsbruck
6.	1706	03	28			47,27	11,39	6	Innsbruck
7.	1706	12	02			47,28	11,51	6-7	Hall
8.	1727	08	18			47,27	11,39	6-7	Innsbruck
9.	1794	05	12	10	59	47,27	11,39	6	Innsbruck
10.	1814	04	28			47,27	11,39	6	Innsbruck
11.	1820	07	17	06	30	47,35	11,71	7	Schwaz
12.	1859	04	28	06	45	47,39	11,77	6	Jenbach
13.	1862	05	27	00	20	46,75	12,42	6-7	Sillian in Osttirol
14.	1865	01	21			47,49	12,07	6	Wörgl
15.	1872	08	08	05	10	47,27	11,39	6	Innsbruck
16.	1880	11	14	07	30	47,39	11,26	6	Scharnitz
17.	1882	01	23			47,44	10,64	6	Weißbach/Lech
18.	1886	11	28	22	30	47,32	10,84	7-8	Nassereith
19.	1897	02	20	06	00	47,30	11,45	6	Innsbruck/Hall

Schadensbeben in Tirol bis 1900.

hh, mm: Uhrzeit in Universal Time Coordinated (UTC); Io: Intensität (Effekte an der Erdoberfläche) im Epizentrum.

Von den in der Tabelle angeführten Erdbeben erscheint es heute als ziemlich sicher, dass sich die Ereignisse in Innsbruck und Hall tatsächlich "dort" ereignet haben. Deren Intensitäten sind aber mit einer großen Unsicherheit behaftet, die es erst zu untersuchen gilt. Was die Epizentralgenauigkeit der anderen Beben betrifft, so steht auch hier eine genaue Untersuchung aus.

SCHORN schrieb 1902 in seinem Werk über "Erdbeben von Tirol und Vorarlberg", in dem er einen zeitgenössischen Bericht zitierte: "*... Anno 1670 den 17. July ist alhier zu Insprugg, Hall und ganzer disser gögend morgens zwischen 2 und 3 uhr ein solch gross- und erschröcklicher erdbidnus gewesen, das alhier und zu Hall, allwo der pfarrthurn eingefallen, und haben die nach erdbiden, so aber nit so gross als der erste gewesen, bis in die 2 jahr sich spiren lassen, und sollen bis yber 200 gezölt worden sein; in wehrend diser erdbiden seint die sonn- und feyertegliche ämbter und prödigen meist beim 7 capellen (Anm. von SCHORN: die Siebensternkapelle befand sich am Saggen nahe Sill), unter denen aufgeschlagenen Gezelten, auch vor der Jesuwiter kürch und alsdan auf den renplaz unter gezelten, will man sich in kürchen so lang weegen der gewehrten erdbiden zu sein nit gethrauet, gehalten worden. ...*".



Zeitgenössische Darstellung der Folgen des Erdbebens in Hall, 1670.

Dieses Beispiel stellt schon eine recht ausführliche Schilderung dar, vergleicht man sie mit der Schilderung des Erdbebens von 1571 in Innsbruck "*ein grosser erdbidem gespühret worden, welcher der orthen nicht wenig schaden gethan.*"

Die Genauigkeit der Einschätzung der Epizentralintensität und des Epizentrums ist meist sehr schwierig und verlangt einen interdisziplinären Ansatz. Grundsätzlich müssen alle Originaltexte gefunden und in der Folge transkribiert und neu interpretiert werden, denn die vorhandene Sekundärliteratur ist von Vorstellungen und Ideen, die zum Teil heute keine Gültigkeit mehr besitzen, geprägt. Nicht selten sind Ortschaftsnamen falsch interpretiert worden und Mitteilungen, die nicht aus dem Epizentrum stammen, diesem aber zugeordnet worden. Das Resultat sind zwar Erdbebeneinträge im Katalog, die tatsächlich auf ein Erdbeben hinweisen, aber das Epizentrum hat sich z.B. nicht in Tirol sondern in der Schwäbischen Alp oder dem Friaul befunden. Je älter die Berichte, desto unpräziser und dürftiger sind sie. So liegen vom Erdbeben im Jahr 1201 überhaupt nur zwei Berichte vor, die zuerst zu einem Epizentrum in Murau in der Steiermark führten (TOPERCZER & TRAPP, 1950) und erst nach einer historischen Studie dem Raum Katschberg als wahrscheinliches Epizentrum zugeordnet werden konnten (HAMMERL, 1995).

Eines der weiteren Probleme in der Erfassung historischer Erdbeben ist, "falsche Erdbebeneinträge im Erdbebenkatalog" - "fake quakes" oder "fakes" genannt - zu entdecken; Erdbeben also, die es in Wirklichkeit gar nicht gab. Diese Einträge entstanden hauptsächlich durch die Übernahme von Erdbebeninformationen aus sekundärer Literatur, die bereits Interpretationswerke darstellen. Das Auffinden solcher Einträge und deren Kontrolle bzw. Korrektur erwies und erweist sich nach wie vor als extrem zeitaufwendig, da die Originalquellen aufgesucht und nach dem aktuellen Stand des Wissens von Historikern in Zusammenarbeit mit Geophysikern interpretiert werden müssen. Dies zeigte sich auch bei einer Untersuchung der historischen und rezenten Erdbeben in der Steiermark (LENHARDT & HAMMERL, 2002). Unter den 311 neu gefundenen Erdbeben fanden 132 in der heutigen Steiermark statt. Über 80 dieser Erdbeben konnte ein Epizentrum und eine Intensität zugeordnet werden. Somit erhöhte sich der Wissensstand über die Erdbeben in der Steiermark von 61 auf 143 Erdbeben. Zudem konnten 49 bereits bekannte Erdbeben betreffend Ort und Stärke ergänzt oder korrigiert werden. Das Erdbeben von Kindberg im Jahr 1885 wurde grundsätzlich neu ausgewertet. Dabei bestätigte sich, dass es damals zwar viele Gebäudeschäden gegeben hat, aber dass das Erdbeben nicht so stark war, wie bislang angenommen - und die Informationslücke vom 13.-18. Jahrhundert wurde ebenfalls geprüft und gefüllt. Eine solche Studie ist für Tirol noch ausständig.

Erdbebendienst

Anlässlich des Erdbebens am 14. April 1895 in Ljubljana (Slowenien) wurde am 25. April 1895 an der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien eine eigene 'Erdbebenkommission' eingerichtet, deren Aufgabe es war, sich mit der Ursache und den Auswirkungen von Erdbeben eingehend zu beschäftigen. Die Tätigkeit der Kommission sollte sich hauptsächlich auf drei Gebiete erstrecken: Sammlung von Erdbebenberichten aus früherer Zeit, Beobachtungen aktueller Erdbeben durch entsprechendes Personal und schließlich die Einrichtung von Messstationen zuerst 1897 in Ljubljana. Unmittelbar darauf wurden ähnliche Stationen auch in Kremsmünster, Triest und Lemberg installiert. Damit wurde die Grundlage geschaffen, Erdbeben messtechnisch zu erfassen.

Am 1. Jänner 1904 wurde das Beobachtungsnetz der Erdbebenkommission unter der neuen Bezeichnung "Erdbebendienst" von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Wien übernommen, gleichzeitig mit der Inbetriebnahme eines ersten Seismographensatzes. In der Folge wurden noch weitere Standorte für Seismographen geschaffen, so etwa im Jahre 1904 in Graz, 1910 in Czernowitz und 1912 in Innsbruck, sodass Österreich nun über ein relativ dichtes Netz seismischer Stationen verfügte. Der Betrieb der Station in Innsbruck musste 1915 kriegsbedingt eingestellt werden. Er wurde erst im Jänner 1922 wieder aufgenommen. Geldmangel führte 1932 wieder zur Stilllegung der Station. Bis zu ihrer Zerstörung im Jahr 1944 war die Station aber teilweise wieder in Betrieb. Im Juli 1956 wurde dann ein Conrad-Pendel in Innsbruck installiert, das aufgrund seiner Konstruktion eine zehnfache Verstärkung aufwies und damit hauptsächlich starke Nahbeben registrieren konnte.

Die Organisation des Erdbebendienstes beruhte auf der freiwilligen Mitarbeit von angeworbenen Beobachtern, die zumeist Lehrer, Geistliche, Ärzte, Beamte oder Vertreter ähnlicher Berufsgruppen waren. Da die österreichischen Länder ein großes Gebiet umfassten, war eine Gliederung erforderlich. Jedes Kronland hatte einen eigenen Erdbebenreferenten, der die Erdbebenmeldungen sammelte und sie dann der Akademie, später der Zentralanstalt, zur Veröffentlichung übergab.



Seismograph von Wiechert.

Erdbebenreferenten für Tirol und Vorarlberg:

Referent	von - bis
J. Schorn	1896-1925
A. Defant	1926
A. Wagner	1927-1928

Diese Organisationsform blieb bis nach dem ersten Weltkrieg erhalten. Die Verkleinerung des Beobachtungsgebietes als Folge des Krieges bewirkte allerdings, dass die Betreuung des Beobachtungsnetzes immer mehr durch die Zentralanstalt selbst erfolgte.

Der zweite Weltkrieg stellte einen tiefen Einschnitt in der Geschichte des Erdbebendienstes dar, da bei Kriegsende sowohl in Wien als auch in Graz und Innsbruck die Seismographen schwer beschädigt waren und erst nach langer, mühevoller Arbeit teilweise wieder funktionsfähig gemacht werden konnten.

In der Zeit 1982/83 wurde mit der Projektierung eines neuen seismischen Überwachungssystems für das gesamte Bundesgebiet im Rahmen des Österreichischen Erdbebendienstes begonnen. Die Modernisierung des seismischen Messnetzes in Österreich erfolgte durch den Übergang von einer Analogregistrierung der Erdbeben, also von einer seismographischen Aufzeichnung am Stationsort, zu einer digitalen, zahlenmäßigen Messwerterfassung mit Datentelemetrik über Funk und Datenleitungen zur Auswertezentrale des Österreichischen Erdbebendienstes sowie mit der Einrichtung lokaler Stationen in Gebieten erhöhter Erdbebengefährdung. Der Großraum Innsbruck wurde für das Projekt gewählt, da sich etwa 30% aller österreichischen Erdbeben in diesem Gebiet ereignen. Die erste Ausbauphase wurde 1989 abgeschlossen. Seitdem ist der Erdbebendienst bemüht, laufend neue Stationen zu errichten, um die Seismizität des Bundesgebiet flächendeckend zu erfassen.

Je nach Zweck der Erdbebenerfassung werden verschiedene Systeme eingesetzt:

1. Kurzperiodische Systeme (hauptsächlich zur Beobachtung von Nahbeben)
2. Breitband-Systeme (für die Erfassung von Nah- und Fernbeben)
3. Strong-motion-Systeme (zur Registrierung von starken Bodenbewegungen im Epizentralbereich)

Das **kurzperiodische Messnetz** in Tirol besteht aus vier Messstationen in 1500-2000 m Seehöhe in St. Quirin, Moosalm, Walderalm und am Wattenberg. Der Zweck dieses Messnetzes liegt in der möglichst genauen Erfassung von Kleinbeben im Inntal. Seit Inbetriebnahme der vier Stationen konnten nicht nur Erdbeben im Inntal, sondern auch mittelstarke ferne Erdbeben (z.B. Japan) erfasst und die wichtigsten Erdbebenparameter unmittelbar zur Verfügung gestellt werden. Der kleinste Abstand zwischen zwei Messstationen in Tirol beträgt 9 km, der größte 35 km. Jede Station ist in einem eigenen Stollen von 15 bis 20 m Tiefe untergebracht. Die vollständig automatisch arbeitenden Geräte übertragen ständig ihre digitalen Mess- und Systemzustandswerte über eine eigene Richtfunkstrecke zur Berufsfeuerwehr Innsbruck, dem Subzentrum des Erdbebendienstes in Tirol. Von dort wird das enorme Datenmaterial nach Wien zur Zentrale des Erdbebendienstes übertragen.

Die neue Generation der Erdbebenstationen ist mit **Breitband-Systemen** ausgerüstet, die mit noch höherer Genauigkeit (im Nanometerbereich) Erdbeben aus dem Nah- und Fernbereich registrieren können. Derzeit sind in Molln (OÖ), in der Kölnbreinsperre (Ktn.), am Hochobir (Ktn.), Damüls (Vbg.), in Arzberg (Stmk.) und im 2002 eröffneten geophysikalischen Conrad Observatorium am Trafelberg bei Muggendorf in der Nähe von Pernitz in Niederösterreich solche Stationen in Betrieb. Die Station am Wattenberg ist 2002 ebenfalls mit einem Breitbandgerät und einem Strong-motion-Sensor erweitert worden und ist somit die einzige Station in Österreich, in der alle drei Gerätekategorien vertreten sind. Diese Kombination von Aufnehmern ermöglicht erstmals einen Vergleich der Messwerte unter gleichen Umgebungsbedingungen.

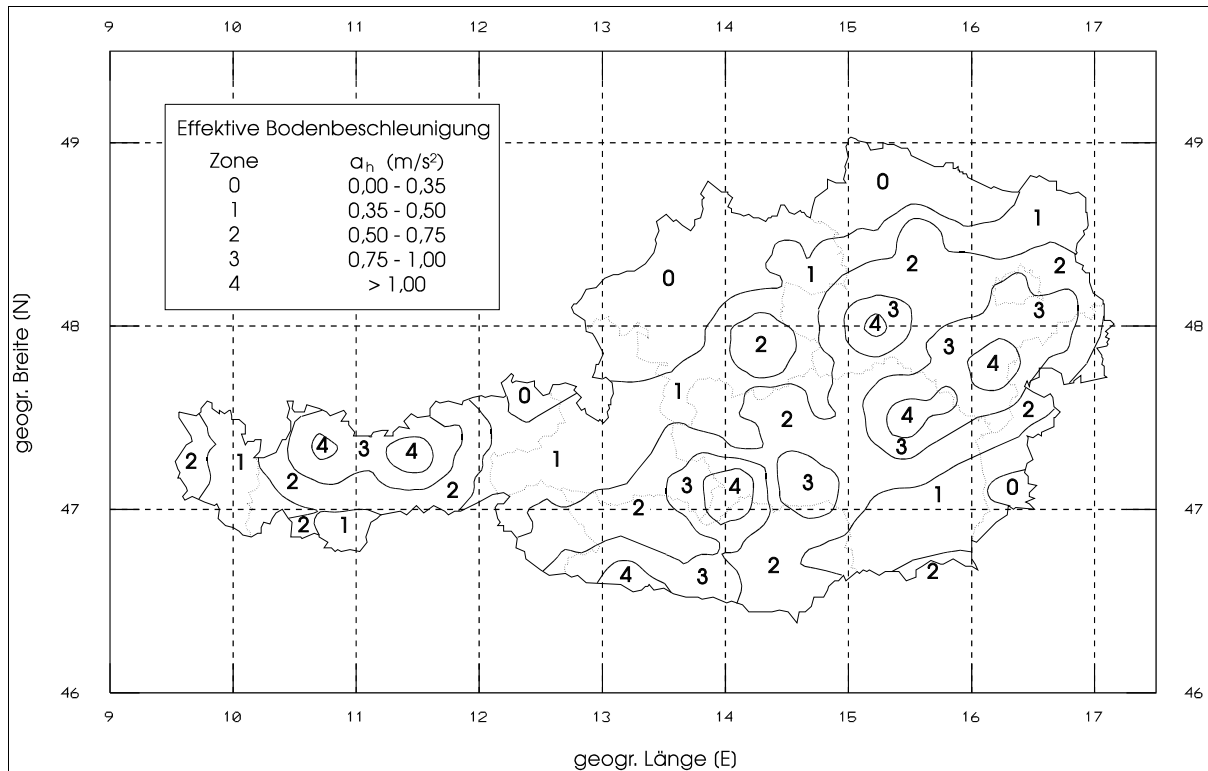
Die für die übersteuerungsfreie Erfassung von stärkeren Bodenbewegungen notwendigen **Strong-motion-Stationen** befinden sich in Tirol in St. Anton am Arlberg, im Gebäude der Berufsfeuerwehr in Innsbruck, im Bergbau Schwaz und, wie schon erwähnt, in der Station am Wattenberg.

Alle Erdbebenstationen der ZAMG werden vom Erdbebendienst selbst errichtet, betrieben, gewartet und deren Messungen ausgewertet. Die nicht unerheblichen Kosten trägt die ZAMG zum Großteil bislang selbst.

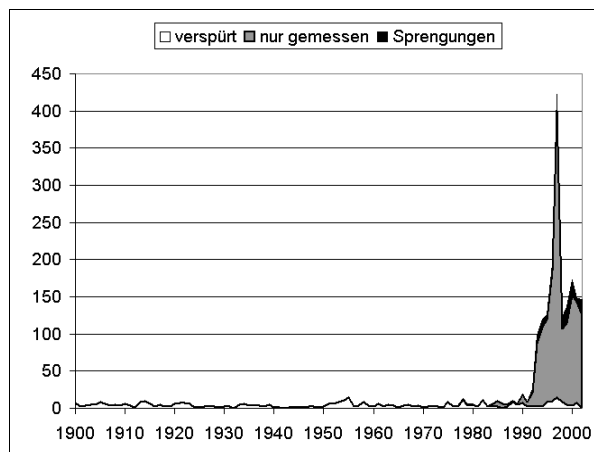
Messergebnisse

Aus der Erdbeben Geschichte einer Region erhält man die mittlere Wiederholungszeit dieser Naturereignisse, und kann somit abschätzen, wie oft ein Erdbeben einer bestimmten Stärke durchschnittlich auftritt. Dieses Wissen kann zur Risikoverminderung genutzt werden, indem in gefährdeten Gebieten eine erdbebensichere Bauweise angewendet wird, was auch z.B. in der entsprechenden Baunorm (ÖNORM B 4015, 2002) ihren Niederschlag findet. Man hat außerdem die Möglichkeit, historische Bauten, deren Bausubstanz unter Umständen schon beeinträchtigt ist, zu verstärken, beziehungs-

weise sie für den Erdbebenfall als "kritische Objekte" einzustufen. Somit sind die zuständigen Organe in der Lage, potentielle Gefahrengebiete zu erkennen, spezielle Einsatzpläne für den Katastrophenfall zu erstellen und für eine spezifische Ausbildung des Einsatzpersonals zu sorgen, wobei hier sicherlich den Feuerwehren und Rettungsdiensten, aber auch dem Bundesheer, der Polizei und Gendarmerie eine entscheidende Rolle zufällt. Von diesen Vorsorgemaßnahmen hängt es ab, ob und in welchem Ausmaß auf das Eintreten einer solchen Naturkatastrophe reagiert werden kann. Solche Maßnahmen beruhen auf einer Einschätzung, die im Wesentlichen auf dem Erdbebenkatalog basiert. Aus der Karte der ÖNORM ist ersichtlich, dass einige Bereiche in Tirol zur Zone 4 zählen, in der horizontale Bodenbeschleunigungen von 1 m/s² mit 10% Überschreitenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren erwartet werden müssen. Diese zwei Bereiche umfassen den Raum von Nassereith und Innsbruck - Hall.



Erdbebenzonen in der ÖNORM B 4015 (2002).

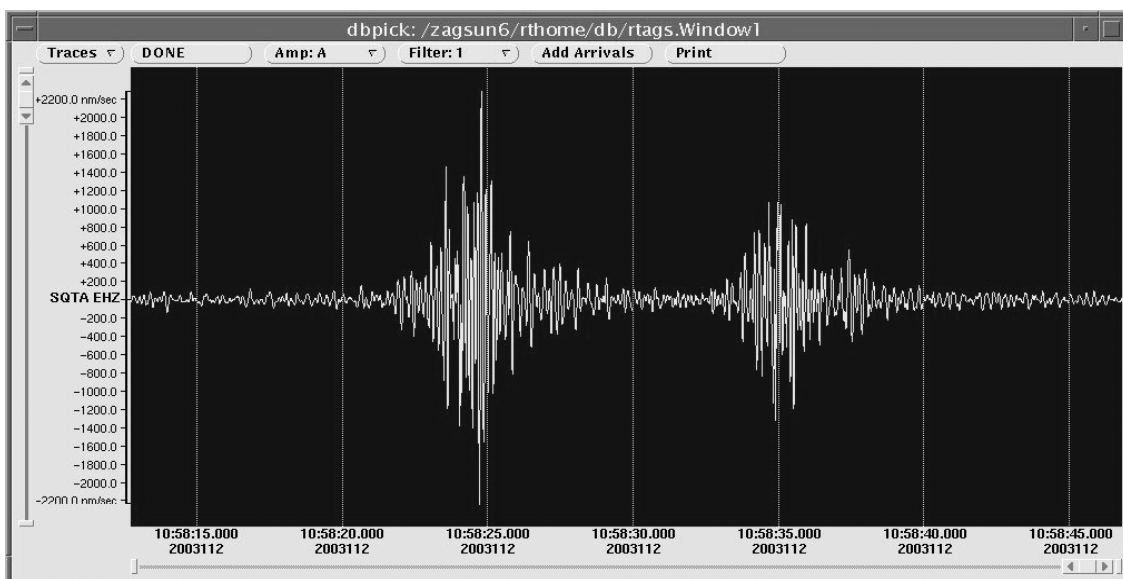


Anzahl der erfassten Erdbeben und Sprengungen.

Bei der Erstellung des Katalogs, der letztlich auch Forschungsvorhaben dient (z.B. FRANKE & GUT-DEUTSCH, 1973; DUMA et al., 1999), sind auch andere Erschütterungen zu berücksichtigen, die nicht tektonischen Ursprungs sind. Dazu zählen vor allem Sprengungen. Mit der Verdichtung des Mess-netzes werden auch diese Ereignisse zunehmend erfasst. Allein in Tirol sind in den letzten zehn Jahren (1993-2002) 146 Sprengungen registriert worden, die Eingang in den Erdbebenkatalog gefunden hatten. Die Anzahl der im selben Zeitraum gefühlten Erdbeben nimmt sich dagegen bescheiden aus: nur 63 Erdbeben wurden von der Bevölkerung wahrgenommen. Dafür stieg die Zahl der detektierten - von der Bevölkerung unbemerkt gebliebenen - Erdbeben von praktisch Null auf 1479. Damit hat sich innerhalb der letzten 10 Jahre der Datensatz tektonischer Erdbeben wesentlich erhöht. Ohne die neuen Messstationen wäre dies nicht möglich gewesen.

Je kleiner die Erdbeben - oder je geringer die Magnitude -, desto ungenauer ist zwangsläufig auch die Genauigkeit der Hypozentrumsbestimmung, da infolge der geringen Energie auch weniger Erdbebenstationen die Erschütterung registrieren können. Ein Erdbeben der Magnitude 3 wird praktisch mit allen Erdbebenstationen in Österreich registriert. Daher sind die Lokalisierungen auch recht gut und sind bereits genauer als der mittlere Ort Abstand von 4 km. Vor der messtechnischen Erfassung in Tirol wurden die Erdbeben immer dem Ort der größten Wahrnehmung (Erschütterung), also makroseismisch, zugeordnet. Diese Epizentren sind daher mit dieser "Ortsgenauigkeit" behaftet.

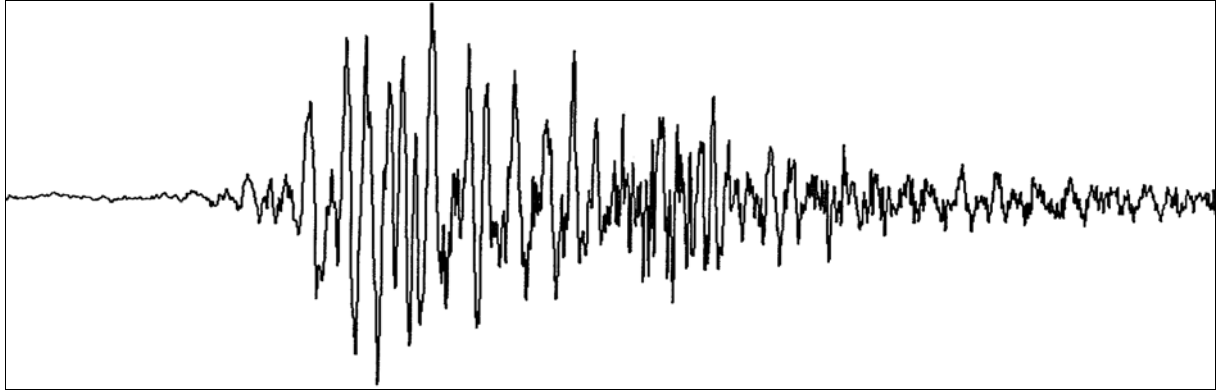
Die Hypozentren kleinerer Erdbeben, wie zum Beispiel das Erdbeben der Magnitude 1,0 bei Steinach am Brenner am 22. Juni 2003 um 19h11 Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) weisen allerdings eine größere Ungenauigkeit auf, da die Signale bereits sehr undeutlich sind und überhaupt nur von den vier kurzperiodischen Stationen in Tirol registriert werden können. Fällt zudem eine dieser vier Stationen aus technischen Gründen aus, so wächst der Lokalisierungsfehler auf 4-6 km in horizontaler Distanz, während sich die Herdtiefe bis zum Dreifachen dieses Betrags ändern kann. Dies trifft aber nur auf Erdbeben zu, die sich außerhalb des Messnetzes ereignen. Innerhalb des Messnetzes beträgt der Fehler meist nur 2 km.



Überschallknall zweier Draken-Flugzeuge an der Station St. Quirin im Sellrain am 22. April 2003.

Neben Erdbeben werden aber auch andere Erschütterungen registriert, die auch für die Bevölkerung von Interesse sind. Dazu zählen unter anderem extraterrestrische Phänomene, die sich in der Atmosphäre ereignen. Während in der Lufthülle verglühende Meteore zur Gruppe der natürlichen Erscheinungen zählen, die sich mit einem Lichtschein und Knall bemerkbar machen - wie am 6. April 2002 um 22:22 MESZ im Inntal und Seefeld -, so zeichnet sich ein Überschallknall vor allem dadurch aus, dass er über einen großen Landstreifen von Beobachtern mit den selben Effekten ("Rütteln der Fenster", "wie ein Donner, aber kein Gewitter" oder "Erschütterung, als würde ein schweres Fahrzeug vorbeifahren, aber es war kein Fahrzeug zu sehen") vernommen wird. Aufgrund dieser Schilderungen und mit Hilfe der Registrierung an den Erdbebenstationen lassen sich solche Ursachen klar von tektonischen Erdbeben unterscheiden.

Größere Massenbewegungen - wie Bergstürze - können mit nahen seismischen Stationen (Distanz <20 km) erfasst werden, wenn der Vorgang innerhalb weniger Sekunden stattfindet und eine relativ große Masse umfasst. Die meiste Energie wird dabei durch den Aufprall der Massen, z.B. infolge der Loslösung einer Felswand, hervorgerufen. Das andere Extrem stellt eine langsam fortschreitende Massenbewegung dar. Hier ist es mit lokalen Messnetzen möglich, den Zeitablauf zu dokumentieren. Solch ein lokales Messnetz befindet sich im Bergbau in Schwaz, das nach dem Pingenfall am 2. Mai 1993 eingerichtet wurde (LENHARDT & PASCHER, 1996) und im Juli 1999 half, die Massenbewegungen zu erfassen, die letztlich in die Eiblschrofn-Felsabstürze mündeten.



Registrierung des Bergsturzes am "Hochnißl" am 19. September 1993 an der 4 km entfernten Station "Walderalm" - Zeitausschnitt 34 Sekunden (LENHARDT, 2001).

Zukünftige Vorhaben

Um die Erfassung der Erdbeben im Alpenraum und insbesondere in Tirol zu vervollkommen, konzentriert sich die Tätigkeit des Erdbebendienstes in Zukunft auf folgende zwei Schwerpunkte:

1. Wiederholte Auswertung der Wahrnehmungsberichte (historisch und aktuell)
2. Errichtung weiterer Erdbebenstationen

Die Auffindung und erneute Auswertung historischer Erdbeben wird wesentlich zur realistischen Einschätzung der Erdbebenbelastung des Landes Tirol beitragen. Eine entsprechende Studie, wie sie bereits für die Steiermark und derzeit für Niederösterreich durchgeführt wird, ist jedoch noch ausständig.

Dafür wurde im Internet ein "On-line-Erdbebenwahrnehmungsformular" (<http://www.zamg.ac.at/fix/beb-meld.htm>) eingerichtet, welches in Zukunft automatisch ausgewertet werden soll, sodass der Zivilschutz gleich über das Ausmaß der Erschütterungen informiert werden kann.

Die Errichtung neuer Strong-motion-Erdbebenstationen, die aber auch ausbaufähig zu einer Breitbandstation sein sollen, stellt eine weitere Herausforderung dar. Die Standortsuche, an der sich dankenswerterweise die Tiroler Landesregierung beteiligt und die mit Südtirol akkordiert und von einem InterregIII A-Projekt gefördert wird, hat zum Ziel, die besten Installationsorte in Tirol zu finden, die nicht nur den technischen, sondern auch den geometrischen Erfordernissen für eine genauere Lokalisierung gerecht werden. Damit erhalten die Behörden jene Grundinformation, die eine bessere Einschätzung des Schadensausmaßes in wesentlich kürzerer Zeit ermöglicht. Das Projekt wird im Juni 2006 abgeschlossen.

Literatur

- DUMA, G., MEURERS, R. & VOGELMANN, A., 2000: Seismische Mikrozonierung des Raumes Innsbruck - Kufstein, unteres Inntal. - Projekt-Endbericht, Bund-Bundesländerkooperation des BMBWK und der Tiroler Landesregierung, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- FRANKE, A. & GUTDEUTSCH, R., 1973: Eine makroseismische Auswertung des Nordtiroler Bebens von Namlos am 8. Oktober 1930. - Mitteilungen der Erdbeben-Kommission, Neue Folge Nr. 73, Österr. Akad. d. Wissenschaften, Wien.
- HAMMERL, Ch., 1995: Das Erdbeben vom 4. Mai 1201. - Mitteilungen des Inst. f. Österr. Geschichtsforschung, Bd. 103/3-4, 350-368.
- HAMMERL, Ch. & LENHARDT, W.A., 1997: Erdbeben in Österreich. - Leykam Verlag, Graz.
- LENHARDT, W.A. & PASCHER, Ch., 1996: The mechanism of mine-collapse deduced from seismic observations. - Pure and Appl. Geophys., Vol. 147, No. 2, S. 207-216.
- LENHARDT, W.A., 2001: Induzierte Erdbeben und außergewöhnliche Erschütterungen. - In: HAMMERL, Ch., LENHARDT, W., STEINACKER, R. & STEINHAUSER, P. (Hrsg.): Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1851-2001, Meteorologie und Geophysik in Österreich, S. 516-527.
- LENHARDT, W.A. & HAMMERL, Ch., 2002: Erdbebengefahr in der Steiermark - Erfassung der Erdbebengefahr in der Steiermark mit Hilfe neu errichteter Erdbebenstationen und allen verfügbaren Quellen sämtlicher historischer Erdbeben. - Projektendbericht, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (GZ-ZAMG 1355/98), gefördert vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (GZ 30.721/2-III/A/5a/98) und der Steiermärkischen Landesregierung (StC 62/98), Wien.
- ÖNORM, 2002: Belastungsannahmen im Bauwesen - Außergewöhnliche Einwirkungen - Erdbebenwirkungen, Grundlagen und Berechnungsverfahren. - ÖNORM B 4015, Austrian Standards Institute (ON), ICS 91.010.30; 91.120.25, 59 Seiten.
- SCHORN, J., 1902: Die Erdbeben von Tirol und Vorarlberg. - Zeitschrift d. Ferdinandeums, III. Folge, 46. Heft, Innsbruck.
- SUESS, E., 1873: Die Erdbeben Niederösterreichs. - Denkschrift Kgl. Akad. Wissenschaft, Wien, Mat.-Naturw. Klasse 33, S. 61-98.
- TOPERCZER, M. & TRAPP, E., 1950: Ein Beitrag zur Erdbebengeographie Österreichs nebst Erdbebenkatalog 1904-1948 und Chronik der Starkbeben. - Mitteilungen der Erdbeben-Kommission, Neue Folge Nr. 65, Österr. Akad. d. Wissenschaften, Wien.

Anschrift des Verfassers

Univ. Doz. Dr. Wolfgang A. LENHARDT: "Seismologischer Dienst" an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien.