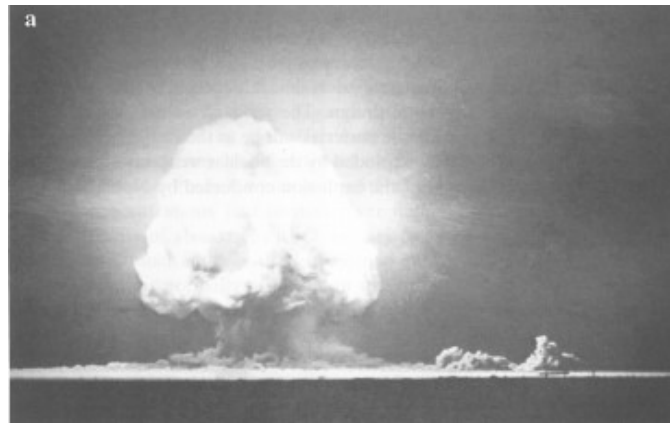


I have examined Man's wonderful inventions. And I tell you that in the arts of life man invents nothing; but in the arts of death he outdoes Nature herself, and produces by chemistry and machinery all the slaughter of plague, pestilence, and famine.

The Devil speaking in *Don Juan in Hell*, Act III of *Man and Superman*
by George Bernard Shaw, 1902.

Trinity: 75 Jahre Nukleartests

Der erste Nukleartest weltweit – Trinity - fand vor 75 Jahren am 16. Juli 1945 in der Alamogordo Wüste in New Mexico statt. Er wurde im Rahmen des von Robert Oppenheimer geleiteten Manhattan Projekts durchgeführt. Die Sprengkraft betrug 21 Kilotonnen TNT-Äquivalent (vergleichbar mit jener Bombe, die auf Nagasaki am 9. August 1945 abgeworfen wurde).



Trinity-Test (Dahlman et al., 2009)

Schon zwei Monate später, im August 1945, wurden die ersten und bislang einzigen beiden Nuklearbomben über Hiroshima und Nagasaki abgeworfen. Gleich nach den Atomangriffen auf Japan gab es kritische Stimmen und das Bulletin of Atomic Scientists wurde gegründet. In dem Magazin werden seit 1945 Artikel zum Thema „globale Sicherheit“ veröffentlicht.

Nukleare Aufrüstung

Nach dem Ende des 2. Weltkriegs begann die nukleare Aufrüstung. Insgesamt acht Staaten führten bis dato mehr als 2000 Nukleartests durch, wobei 500 dieser Experimente in der Atmosphäre oder Unterwasser stattfanden. Im Zeitraum zwischen 1945 und 1992 wurden von den USA rund 1000 Tests durchgeführt. Zu den Testgeländen zählen Nevada Test Site, das Bikini Atoll und weitere Inseln im pazifischen Ozean. Die erste Wasserstoffbombe „Ivy Mike“ wurde 1952 gezündet.



Luftbildaufnahme des Nevada Testgeländes (<https://nuclearweaponarchive.org/Usa/Tests/Nts.html>)

Vier Jahre später, im Jahr 1949, wurde von der damaligen UdSSR erstmalig eine nukleare Explosion durchgeführt. Seit 1990 fanden mehr als 700 Tests statt. Die russischen Testgelände befinden sich in Semipalatinsk und in Novaya Zemlya. 1961 wurde die stärkste vom Menschen je verursachte Explosion einer Wasserstoffbombe, der Tsar-Bombe, in Novaya Zemlya in der Atmosphäre durchgeführt. Abschätzungen der Sprengkraft der Bombe ergaben Werte von bis zu 60 Millionen Tonnen TNT-Äquivalent. Im Archiv des Erdbebendienstes befinden sich seismische Aufzeichnungen aus der Zeit des Kalten Krieges. Ein im Jahr 1973 in Novaya Zemlya durchgeführter Nukleartest mit einer seismischen Äquivalent-Magnitudo von 6,9 konnte mit dem analogen Wiechert-Seismographen in Wien aufgezeichnet werden.



Modell der Tsar-Bombe (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tsar_Bomba_Revised.jpg)



Seismogramm eines russischen Nukleartests 27.10.1973, aufgezeichnet in Wien

England führte in den Jahren 1952-1991 insgesamt 45 Tests durch (Christmas Islands, Monte Bello Island), manche davon gemeinsam mit den USA auf dem Gelände des Nevada National Test Site. Mehr als 200 Tests wurden von Frankreich im Zeitraum 1960-1996 in Algerien und dem Mururoa und Fangataufa Atoll im Pazifik durchgeführt. China zeigt seit 1964 seine nuklearen Kapazitäten, und bis 1996 haben dort am Testgelände Lop Nor insgesamt 45 Tests stattgefunden. Auch Indien, Pakistan und seit 2006 die Demokratische Volksrepublik Korea, demonstrierten ihre nuklearen Fähigkeiten. Weitere drei Atomtests fanden zwischen 1974 und 1998 in Indien auf der Pokhran Testsite und zwei Tests fanden im selben Zeitraum in Pakistan in Baluchistan statt.

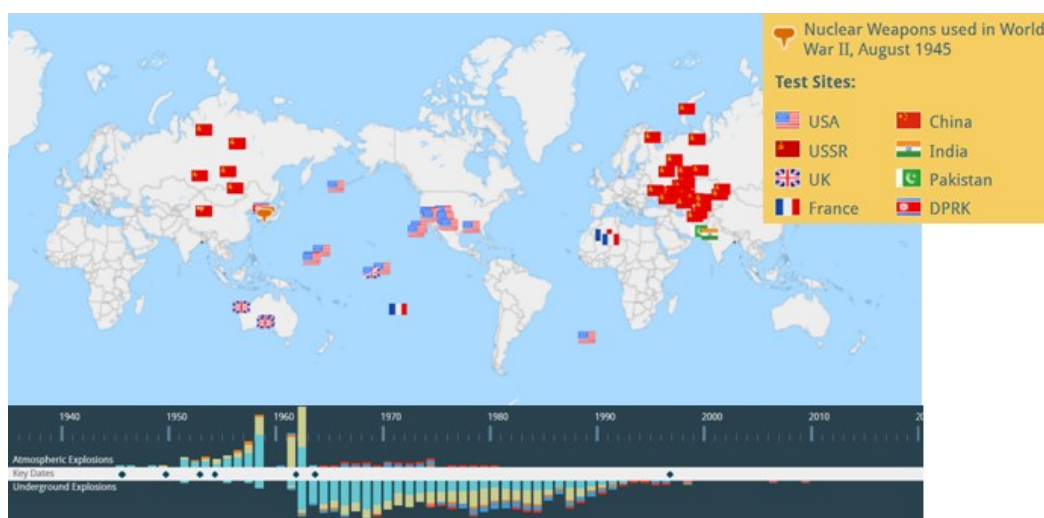
Auch Südafrika hat bekanntgegeben, im Besitz von sechs Sprengkörpern zu sein. Offizielle Tests wurden nicht ausgeführt. Es wird vermutet, dass Israel ebenfalls Nuklearwaffen besitzt. Diese Annahme wurde seitens Israels weder bestätigt noch dementiert.

Einen Überblick über die Nukleartests der Jahre 1945 – 1998 zeigt die folgende Tabelle. Die letzten sechs Nukleartests der Geschichte wurden von der Demokratische Volksrepublik Korea zwischen 2006 und 2017 ausgeführt und werden in weiterer Folge noch behandelt.

State	First test	First thermonuclear test	Number of tests	Number of devices
USA ¹	July 16, 1945	1952	1030	1125
Soviet Union ²	August 29, 1949	1955	715	969
United Kingdom ³	October 3, 1952	1957	45	45
France ³	February 13, 1960	1968	210	210
China ³	October 16, 1964	1967	45	45
India ⁴	May 18, 1974		3	6
Pakistan ⁴	May 28, 1998		2	6
Total			2051	2407

¹ (DOE 2000), ² (Mikhailov 1996), ³ (NRDC Archive 2007), ⁴ (NRDC 2007), ⁵ (NRDC 2006)

Weltweite Nukleartests (Dahlman et al., 2009)



Nukleare Explosionen weltweit (1945 – 2020) © CTBTO

In Bericht der US Arms Control Association aus dem Jahr 2007 (ACA 2007) wird von mehr als 30.000 nuklearen Sprengköpfen weltweit berichtet. Seit Mitte der 1990er Jahre werden nur noch vereinzelt

Nukleartests durchgeführt. Allerdings wurden mittlerweile auch Programme, wie das Stockpile Stewardship Program in den USA, entwickelt, anhand derer mit numerischen Simulationsmodellen der Druck in Nuklearexplosionen abgeschätzt werden kann und Methoden zum Test der Funktionstüchtigkeit von Plutonium in gelagerten Sprengköpfen werden entwickelt.

Warum wird getestet?

Nukleartests erlauben Einblick in die Physik der Explosion und ermöglichen Einsicht auf verschiedene Parameter wie Ladungsstärke und Strahlung. Bereits Ende der 1930er Jahre war bekannt, dass bei der Spaltung von Urankernen große Energiemengen freigesetzt werden. Durch die bei der Spaltung frei werdenden Neutronen werden weitere Spaltungen ausgelöst, und eine Kettenreaktion entsteht. Um eine Kernreaktion auszulösen, benötigt man eine kritische Masse von Uranium oder Plutonium. Sobald diese Masse überschritten wird – und bei gleichzeitigem Beschuss mit Neutronen – wird die Spaltung angeregt. Die kritische Masse beträgt bei Uranium in Abhängigkeit vom Isotop 50 kg bzw. 15 kg und bei Plutonium 10kg.

Zurück zu Trinity:

Am 16. Juli 1945 wurde der erste Nukleartest, der Trinity-Test unter der Leitung von Robert Oppenheimer durchgeführt. Danach wurden Sprengköpfe unterschiedlicher Bauart während des Kalten Krieges entwickelt. Währenddessen wurde ersichtlich, dass die Auslösung der Kettenreaktion auch durch Kernverschmelzung (Fusionierung der Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium) erfolgen kann, wodurch die Sprengleistung noch zusätzlich erhöht wird. Dies führte zur ersten Wasserstoffbombe, die 1952 gezündet wurde. Ihre Sprengkraft betrug 10 Millionen Tonnen TNT-Äquivalent.

Abrüstungsmaßnahmen

Zeitgleich mit der globalen nuklearen Aufrüstung erfolgten Abrüstungsmaßnahmen, und schon im Jahr 1946 etablierte sich die „International Atomic Development Authority“. Der Höhepunkt des Kalten Krieges wurde durch die Kubakrise Anfang der 1960er Jahre ausgelöst. Im Jahr 1961 führten die Vereinigten Staaten 96 Tests aus, und die Sowjetunion 79 Tests. Schon 1962 wurde ein Entwurf eines Vertrags zum Verbot aller Nuklearexplosionen und der Kontrolle der Vertragseinhaltung mittels seismischer Netzwerke erstmalig bei einem UN-Treffen vom Abrüstungskomitee diskutiert. Seine direkte Folge war die Entstehung des Partial Test Ban Treaty (PTBT) im Jahr 1963. Dieser Vertrag dient der Eindämmung von Tests im Weltraum, in der Atmosphäre und Unterwasser. Weitere Verhandlungen folgten, und der Atomwaffensperrvertrag (*Non-Proliferation Treaty – NPT*) wurde 1968 verabschiedet. Mit diesem Vertrag sollten die Verbreitung und der Erwerb von Atomwaffen verboten werden. Ein ziviles Atomprogramm und die friedvolle Nutzung von Atomenergie stehen den Signatarstaaten jedoch zu. 1974 unterzeichneten die USA und die UdSSR einen Vertrag (*Threshold Treaty*), mit dem die Einhaltung der Ladungsstärke unterirdischer Tests bis zu maximal 150 Kilotonnen kontrolliert werden soll. Umfassende Experimente fanden statt und Referenzwerte zur Abschätzung der Ladungsstärke bei unterschiedlichen geologischen Bedingungen wurden dabei ermittelt.

Die laufenden Abrüstungsgespräche wurden fortgesetzt und in den 1980er Jahren wurde bei einer Abrüstungskonferenz, die aus dem Abrüstungskomitee hervorgegangen war, die Group of Scientific

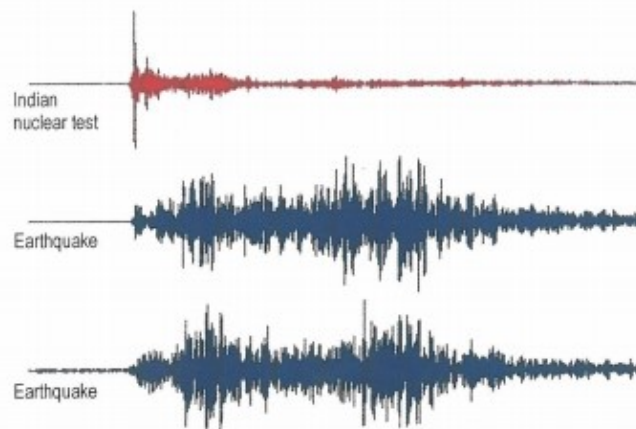
Experts (GSE) gegründet. Diese Gruppe befasste sich mit Möglichkeiten zur seismischen Verifikation von Nukleartests.



Conference of the Committee on Disarmament. Ad Hoc Group of Scientific Experts to Consider International Cooperative Measures to Detect and Identify Seismic Events. August 1976-March 1978. Geneva Switzerland.

Gruppenfoto der Delegierten der GSE aus dem Jahr 1978

Das Ziel war die Gründung eines weltweiten seismischen Netzwerks zur Kontrolle der Einhaltung eines künftigen „Umfassenden Nuklearen Teststopp-Abkommens“. Das war inzwischen durch technologische Fortschritte möglich und darauf fußende neue Erkenntnisse in der Seismologie. Seismische Signale, die durch Erdbeben verursacht werden, unterscheiden sich von solchen, denen eine Explosion zugrunde liegt.



Gegenüberstellung von Signalen eines in Indien durchgeführten Nukleartests mit jenen, die tektonischer Natur sind (Dahlman et al., 2009)

Im Rahmen von drei großangelegten Tests wurden auch die Datenübertragungen und Verarbeitungen in den Datenzentren getestet. Zu den Österreichischen Delegierten der GSE zählten von 1981 – 1990 Prof. Dr. Julius Drimmel und in der Folge Dr. Gerald Duma (1991-1996), beide Mitarbeiter der Abteilung Geophysik an der ZAMG.

Das „Umfassende Verbot von Nukleartests“

Anfang der 1990er Jahre wurde von der Abrüstungskonferenz ein Ad Hoc Komitee für ein Atomteststoppverbot gegründet und dieses mit einem Mandat ausgestattet um das „Umfassende Verbot von Nukleartests“ (*Comprehensive Test Ban Treaty – CTBT*) zu verhandeln. Im Jahr 1996

wurde der Vertrag zur Unterzeichnung aufgelegt. Dieser hatte zum Inhalt, dass jeder Signatarstaat sich bereit erklärt, keine Nuklearwaffentests durchzuführen und in seinem Zuständigkeitsbereich zu verhindern. Dieser Vertrag muss - um in Kraft zu treten - von 44 Staaten, die nukleare Kapazitäten besitzen, unterzeichnet und ratifiziert werden. Österreich hat den Vertrag 1998 ratifiziert. Bis dato wurde der Vertrag von 184 Staaten unterschrieben, 168 haben ratifiziert. Fünf der genannten 44 Staaten haben den Vertrag noch nicht ratifiziert: Ägypten, China, Iran, Israel und die USA. Die Demokratische Volksrepublik Korea, Indien und Pakistan haben den Vertrag nicht unterzeichnet. Bis zum Inkrafttreten des Vertrags finden daher in Zweijahreszyklen die sogenannten Artikel XIV - Konferenzen statt.

Der Vertrag besteht aus 17 Artikeln und zwei Anhängen (Annexe). In Artikel I befindet sich die Definition des Teststops, in Artikel II wird die Organisation des Vertrags durch die Konferenz der Signatarstaaten, den ausführenden Sekretär und ein Technisches Sekretariat erklärt. In Artikel III wird eine nationale Autorität gefordert, der die Kommunikation betreffend Agenden des Vertrags obliegt. Die Funktion der Nationalen Autorität erfüllt in Österreich das Bundesministerium für Europäische und internationale Angelegenheiten (BMEIA). Technische Aufgaben zur Unterstützung und Beratung der nationalen Autorität werden von nationalen Datenzentren durchgeführt. Eine grundlegende Kompetenz des Nationalen Datenzentrums ist die Identifizierung und Verifizierung möglicher Atomtests. In Artikel IV sind die Pflichten der Signatarstaaten beschrieben. Ein besonderer Artikel ist Artikel XIV. Er besagt, dass der Vertrag spätestens 180 Tage nach Ratifikation aller in Annex 2 gelisteten Staaten in Kraft tritt.

Mit Inkrafttreten des Vertrags obliegen der Konferenz Entscheidungen über das jährliche Arbeitsprogramm und die Budgetierung. Die Konferenz wählt Mitglieder des ausführenden Ausschusses und den Generaldirektor. Der ausführende Ausschuss besteht aus 51 für zwei Jahre gewählte Mitglieder der Signatarstaaten. Die Entscheidung über eine Inspektion vor Ort wird vom ausführenden Ausschuss mittels Abstimmung getroffen.

Bis zum endgültigen Vertragsabschluss obliegen alle Entscheidungen einer vorbereitenden Kommission, der PrepCom. Bereits in den Sitzungen der GSE sondierte der Österreichische Delegierte Dr. Gerald Duma ein mögliches Interesse für einen Standort der internationalen Teststopp-Behörde in Wien.

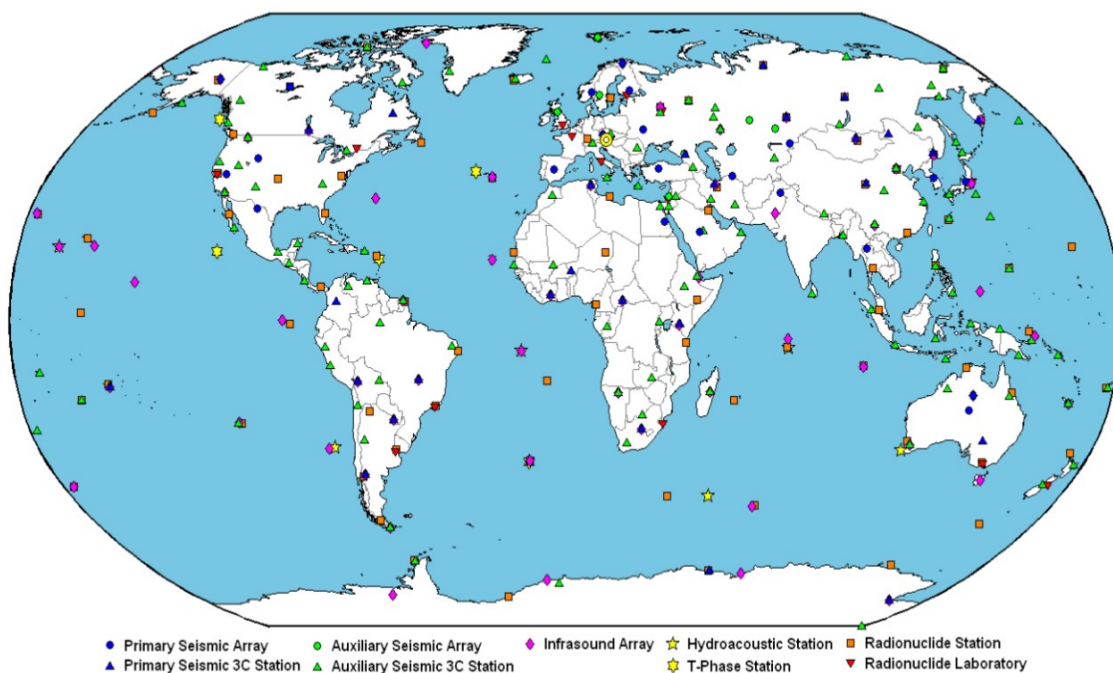
Die erste Sitzung der vorbereitenden Kommission tagte im November 1996 in New York. Dabei wurde die Resolution verkündet, zwei Arbeitsgruppen ernannt, die sich inhaltlich mit Fragen rund um Budget und um Verifikation auseinandersetzten. Außerdem wurde eine weitere beratende Gruppe gegründet. Bei der Sitzung schlägt Österreich Wien als Standort vor und das Provisorische Technische Sekretariat (PTS) ist seit März 1997 in Wien tätig und hat seinen Sitz im Internationalen Zentrum Wien (*Vienna International Centre – VIC*).

“the necessary preparations for the effective implementation of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, and for preparing for the first session of the Conference of the States Parties to that Treaty”. PrepCom is mandated to “undertake all necessary preparations to ensure the operationalization of the Treaty’s verification regime at entry into force”.

Auszug aus der Resolution

Alle notwendigen Vorbereitungen für die effektive Umsetzung des Vertrags werden vom Provisorischen Technischen Sekretariat der Atomteststop-Organisation (*Comprehensive Test Ban Treaty Organisation - CTBTO*) getätigt. Zu den Vorbereitungen zählen die Unterstützung der Kommission und der Signatarstaaten bei der Durchführung ihrer Aufgaben. Dazu sind der Betrieb eines Überwachungssystems (*International Monitoring System - IMS*) und die Weiterleitung der gewonnenen Daten via eines Datenzentrums (*International Data Center – IDC*) an nationale Institutionen notwendig. Außerdem muss bis zum Inkrafttreten des Vertrags ein Konzept für eine Inspektion vor Ort (*On-site Inspection – OSI*) vorliegen.

Das Internationale Überwachungssystem besteht weltweit aus mehr als 300 Messstationen. Dabei kommen vier verschiedene Technologien zum Einsatz: Seismik, Hydroakustik, Infraschall und Radionuklide. Mit diesen Technologien können Erschütterungen des Bodens, der Atmosphäre und Unterwasser gemessen werden, so sie über eine bestimmte Stärke verfügen. Im Zuge von Experimenten der GSE wurde eine Reihe von konventionellen Explosionen für Kalibrierungszwecke durchgeführt womit nun sichergestellt ist, dass eine unterirdische Explosion von 300 Tonnen weltweit vom Messnetz detektiert und lokalisiert werden kann. Zusätzliche Messungen von ausgewählten Radionukliden gestatten eine eindeutige Zuordnung der Explosionsursache, denn eine Explosion muss nicht unbedingt einen nuklearen Hintergrund haben.



Stationen des International Monitoring Systems

Das Österreichische Nationale Datenzentrum (NDC-AT)

Der CTBT sieht vor, dass jede Vertragspartei Daten aus einem weltweiten Überwachungssystem beziehen kann und diese mit Daten, die aus nationalen technischen Verifikationsmitteln stammen im Zuge von Konsultation und Klarstellung verknüpfen kann. Dadurch kann jede Vertragspartei die

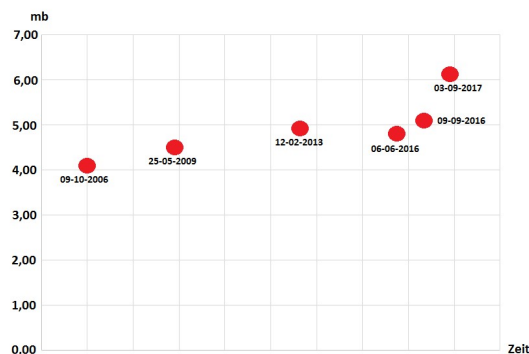
Einhaltung des Vertrages überprüfen. Diese nationale Verifikation wird von den Nationalen Datenzentren durchgeführt.

Das Österreichische Nationale Datenzentrum (NDC-AT) wurde 1999 mit Sitz auf der ZAMG (Geophysik) gegründet und per Deklaration zum nationalen Verifikationsbeauftragten des BMEIA ernannt. Das Team des NDC-AT besteht aus sieben Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die mit den verschiedenen Überwachungstechnologien vertraut sind und interdisziplinär zusammenarbeiten. Bei einer forensischen Analyse werden seismische und Infraschall-Daten neben Quellbestimmung und Radioaktivitätsanalysen berücksichtigt. Zusätzlich zu den Verifikationsaufgaben obliegt dem NDC-AT auch die Teilnahme an Arbeitsgruppen des Vertrages.

Tests im 21. Jahrhundert

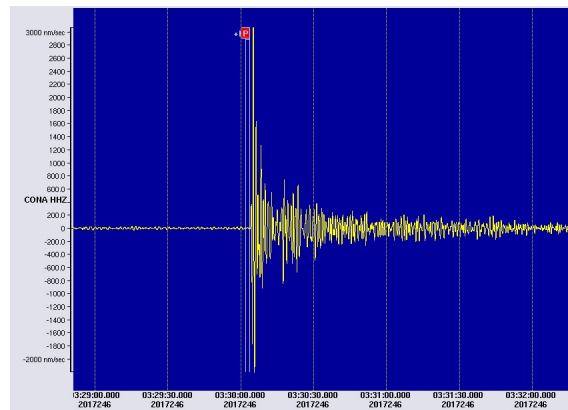
Um im Anfall unverzüglich relevante seismische Daten und Produkte des Internationalen Datenzentrums zu sammeln und auszuwerten, wurde am NDC-AT ein Warnsystem eingerichtet. Per SMS werden zuständige Mitarbeiter des Erdbebendienstes über verdächtige Ereignisse informiert. Im Falle eines kritischen Ereignisses wird ein Bericht an die nationale Behörde erstattet.

Sämtliche Ereignisse der von der Demokratischen Volksrepublik Korea durchgeführten Testserie wurden vom NDC-AT analysiert. Beginnend mit dem Jahr 2006 wurden sechs verdächtige Ereignisse auf dem Testgelände Punggye-ri beobachtet. Die Ereignisse wurden weltweit mit den seismischen Stationen der CTBTO, aber auch von Stationen des österreichischen Erdbebendienstes registriert. Das bislang stärkste und auch letzte Ereignis dieser Testreihe fand am 3. September 2017 statt. Bei dem Ereignis handelt es sich um das bisher stärkste. Eine seismische Magnitude von 6,3 wurde vom United States Geological Survey (USGS) veröffentlicht.



Zeitreihe und Stärke verdächtiger Ereignisse der Jahre 2006 - 2017

Auch an der Erdbebenstation „CONA“ am Conrad Observatorium (einer unterirdischen geophysikalischen Forschungseinrichtung der ZAMG) konnten alle sechs Tests aufgezeichnet werden. Die seismischen Wellen erreichten die in rund 8000 km Entfernung gelegene Station nach knapp 12 Minuten und sind im Seismogramm deutlich zu erkennen.



Wellenzüge des Nukleartests registriert an der österreichischen Station CONA (3.9.2017)

Die genaue Analyse dieser Daten ergab, dass es sich bei dem kritischen Ereignis mit Sicherheit um eine Explosion und nicht um ein natürliches seismisches Ereignis handelt. Zur Identifizierung der Sprengung als Kernwaffentest reichen seismische Verfahren in der Regel nicht aus, da an Hand der Registrierung nicht zwischen chemischer und nuklearer Explosion unterschieden werden kann. In diesem Fall deutet die hohe Magnitude auf eine nukleare Quelle, da bislang konventionelle chemische Explosionen eine Magnitude von 4,5 nicht überschritten.

Literatur

ACA (2007) US Arms Control Association, Nuclear Weapons: Who Has What a Glance.
<http://www.armscontrol.org/>

Dahlman O., Mykkeltveit S., Haak H. (2009). Nuclear Test Ban. Springer Science & Business Media, 2009 - 277 pages.

Kontaktinformation

Dr. Ulrike Mitterbauer (Management NDC-AT)
 ulrike.mitterbauer@zamg.ac.at