

## ■ Starke Indizien

Alles deutet auf einen Teilerfolg des nordkoreanischen Nukleartests vom 9. Oktober 2006

Sechs Tage nach einer Ankündigung der nordkoreanischen Regierung meldeten die staatlichen Medien am 9. Oktober 2006 die erfolgreiche Durchführung eines Nukleartests. Weltweit zeichneten viele seismologische Stationen ein Ereignis auf, das um 1:35 UTC im nordöstlichen Teil des Landes stattgefunden hat. Aus dem prompten Ausschlag, der kurzen Ereignisdauer und der Tatsache, dass der Nordosten Nordkoreas seismisch stabil ist, schlossen Seismologen, dass dieses Ereignis höchstwahrscheinlich von einer Explosion und nicht von einem Erdbeben ausgelöst wurde. Die Quelle lässt sich sehr präzise auf etwa 10 km genau lokalisieren (Abb. 1).

### Geringe Sprengkraft

Zwei Tage nach den ersten – teils vollautomatischen – Analysen der Stärke der Erschütterung grenzten umfassende und von Analytikern geprüfte Auswertungen die Raumwellenmagnitude auf  $m_b = 4,0$  bis  $4,2$  ein.<sup>1)</sup> Die seismische Raumwellenmagnitude hängt linear mit dem Logarithmus der Stärke der Explosion (*Yield*) zusammen (Abb. 2). Diese Bestimmung der Sprengkraft ist sehr ungenau, da die Beziehung vor allem stark von der Beschaffenheit des Umgebungsgesteins abhängt. Darüber hinaus hängt der Energieübertrag von der Größe des Hohlraums ab, in dem der Test durchgeführt wurde [2]. Veröffentlichte Schätzungen der Sprengkraft bewegten sich zwischen 0,55 und 0,8 Kilotonnen (kt) TNT-Äquivalent. Die Regression aus Abb. 2 ergibt eine Sprengkraft von 0,65 bis 1,1 kt TNT. Damit war die Explosion recht schwach im Vergleich zu den meisten anderen Kernwaffentests. Die ersten Tests bisheriger Kernwaffenstaaten reichten von 9 (Pakistan) bis zu 60 kt TNT (Frankreich). Der „Trinity“ genannte erste Nukleartest vom 16. Juli 1945 erreichte bereits 21 kt TNT. Nur sehr wenige Tests durch Indien, Pakistan sowie die USA (taktische Nuklear-



Abb. 1 Satellitenbilder zeigen am vermuteten Ort der Explosion einen Tunnel- und Stützgebäude (Quelle: www.isis-online.de)

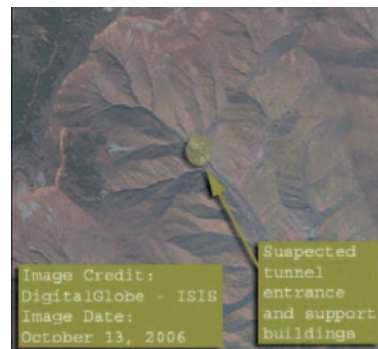


Abb. 2 Satellitenbilder zeigen am vermuteten Ort der Explosion einen Tunnel- und Stützgebäude (Quelle: www.isis-online.de)

waffen) wiesen eine vergleichbar niedrige Sprengkraft auf.

Deshalb kam die Frage auf, ob es sich tatsächlich um einen Nuklearsprengsatz gehandelt hat oder um die Explosion chemischer Sprengstoffe – die Analyse der seismischen Signale erlaubt keine Unterscheidung. Unter erheblichem Aufwand ist es technisch möglich, auch mit konventionellen Sprengstoffen Explosionen mit über 1 kt TNT herbeizuführen. So wurde beim „Non Proliferation Experiment“ 1993 in Nevada ein Gemisch aus 1400 t Ammoniumnitrat und Heizöl zur Explosion gebracht, um die Auswirkungen eines Kernwaffentests zu simulieren und die seismischen Messeinrichtungen zu kalibrieren. Allerdings gibt es keinerlei Hinweise darauf, dass dutzende Lastwagenladungen Sprengstoff zum Teststollen in Nordkorea gebracht wurden.

Ein mögliches Szenario ist die Frühzündung eines auf Plutonium basierenden Sprengsatzes. Beimischungen von  $^{240}\text{Pu}$  zeigen eine signifikante Rate spontaner Kernspaltung. Die frei werdenden Neutronen können eine Kettenreaktion auslösen, bevor das spaltbare Material optimal komprimiert worden ist. Die freigesetzte Energie treibt die Vorrichtung wieder auseinander, ohne dass ein Großteil des Nuklearmaterials gespalten werden konnte. Ebenso könnte eine unsymmetrische Zündung der chemischen Sprenglingen zu einer

misslungenen Kompression des Plutoniums geführt haben [3].

### Radioaktive Indizien

Um den nuklearen Ursprung der Explosion unzweifelhaft nachzuweisen, ist das Aufspüren von Radioisotopen aus den Spaltprozessen notwendig. Selbst bei trickreichen technischen Vorrichtungen, die den kompletten Einschluss der Spaltgase gewährleisten sollen, bleibt eine signifikante Wahrscheinlichkeit, dass beachtliche Mengen radioaktiver Substanzen an der Oberfläche entweichen. Bei den über 700 unterirdischen Kernwaffenexplosionen auf dem Testgelände in Nevada ließ sich nach etwa jedem zweiten Test Radioaktivität im Freien nachweisen [4]. Sicherlich waren die Bohrlöcher oder Tunnel dort besser verschlossen als der unter Verdacht stehende Tunnel in Nordkorea. Während Partikel auf ihrem Weg zur Oberfläche eher zurück gehalten werden, entweichen bei der Kernspaltung entstehende Edelgase wie Xenon leichter in die Umwelt. Zudem werden sie weder aus der Atmosphäre ausgewaschen noch reagieren sie chemisch.

Am 16. Oktober beendete der Direktor des „National Intelligence Public Affairs Office“ der USA das Rätselraten. Luftproben, die am 11. Oktober mit einem Flugzeug genommen wurden, enthielten demnach radioaktive Substanzen und bestätigten, dass ein Nukleartest mit einer Sprengkraft unter einer

1) Während die Richterskala ein logarithmisches Maß für die lokale maximale Amplitude ist, bezieht sich die Raumwellenmagnitude auf die Amplitude von Wellen durchs Erdinnere.

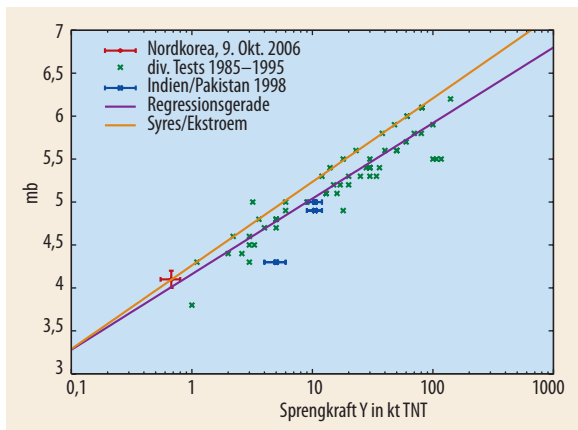


Abb. 2 Aus Testexplosionen mit bestätigter Sprengkraft (Y in kt TNT-Äquivalent) und gemessener Raumwellenmagnitude mb ergibt sich mithilfe einer linearen Regression der Zusammenhang  $mb = 4,16 + 0,88 \log Y$ . Die mittlere Abweichung der Einzelpunkte beträgt 0,2. Zum Vergleich ist auch die Regressionsgerade aus Ref. [1] gezeigt.

Kilotonne durchgeführt wurde. Wie die französische Presseagentur AFP erfahren hat, soll auch Xenon zu den entdeckten Substanzen gehören. Das südkoreanische Wissenschafts- und Technologieministerium teilte zwei Wochen später mit, in Luftproben, die vom 12. bis 16. Oktober an der Ostküste nahe der demilitarisierten Zone genommen wurden, radioaktives <sup>133</sup>Xe in Konzentrationen von 0,9

bis 6 mBq/m<sup>3</sup> gemessen zu haben [5]. Leider haben die USA gar keine und Südkorea nur begrenzte Details veröffentlicht, sodass unabhängige Wissenschaftler die Daten nicht selbst interpretieren können.

**Vom Winde verweht**

Die entweichenden Stoffe werden in der Luft stark verdünnt und zerfallen zudem schnell: <sup>133</sup>Xe hat eine Halbwertszeit von 5,2 Tagen, <sup>135</sup>Xe von nur 9,1 Stunden. Meteorologische Transportrechnungen helfen bei der Einschätzung, ob sich Radionuklide messen lassen. Die Ausbreitung und Verdünnung der Abluffahne des nordkoreanischen Tests wurde mithilfe des HYSPLIT-Modells<sup>2)</sup> der National Ocean & Atmosphere Administration (NOAA) berechnet. Eine der Schwierigkeiten besteht darin, die richtige Startzeit und Starthöhe zu finden, denn bereits kleine Veränderungen können große Auswirkungen auf den Ort nach einigen Tagen haben.

Die Tests von Nevada haben ergeben, dass Radioaktivität am wahrscheinlichsten innerhalb der ersten Stunde nach der Explosion unkontrolliert freigesetzt wird, und

zwar meist am Boden [4]. Während der Wind am Tag der Explosion aus Südwest kam, drehte er am 10. Oktober. Ob die Gase des Kernwaffentests diese Wende mit vollzogen haben, hängt von ihrer Höhe ab. Für höher gelegene Startpunkte weisen die Trajektorien weiter nach Nordosten, während sie beim tiefer gelegenen Start nach drei Tagen wieder die Küste von Südkorea erreichen (Abb. 3). Aufgrund der vielen unbekannt Parameter sind klare Schlüsse nur schwer möglich. Allerdings lässt sich die minimale Menge an <sup>133</sup>Xe ableiten, die freigesetzt worden sein muss, damit die Konzentration am 11. Oktober, als das US-Flugzeug seine Proben nahm, noch über der Detektionsschwelle von 1 mBq/m<sup>3</sup> lag. Simulationen der Abluffahne in einer Höhe zwischen 500 und 3000 Metern ergaben 48 Stunden nach der angenommenen Freisetzung einen Verdünnungsfaktor in der Größenordnung von 10<sup>-16</sup> über dem Japanischen Meer. Der Nachweis des <sup>133</sup>Xe setzt somit eine ursprünglich freigesetzte Aktivität mindestens in der Größenordnung von 10 TBq voraus. Da dies nur im Prozentbereich der gesamten <sup>133</sup>Xe-

2) www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html

**FOLGERUNGEN AUS DEM NORDKOREANISCHEN NUKLEARTEST**

**Die bisher bekannt gewordenen Fakten des nordkoreanischen Nuklear-tests werfen weitere technische sowie sicherheits- und abrüstungspolitische Fragen auf.**

Die niedrige Sprengkraft von unter einer Kilotonne TNT-Äquivalent lässt auf eine Frühzündung – in Folge einer nicht vollständig beherrschten diffizilen Sprengtechnik – eines Plutonium-Sprengsatzes schließen (für eine technisch ausgereifte Plutoniumwaffe wären weit mehr als 10 kt TNT-Äquivalent zu erwarten). Schon aus diesem Grunde ist zu befürchten, dass Nordkorea weitere Tests vorbereitet. Allerdings sind die Plutoniumvorräte des Landes noch sehr begrenzt. Anhand der vorliegenden Daten über das nordkoreanische Nuklearprogramm ist zu vermuten, dass bei der Wiederaufarbeitung von Brennstäben aus einem 5 MW-Reaktor bei Yongbyon seit dem Rückzug aus dem Nichtverbreitungsvertrag im Jahre 2003 bis Mitte 2006 20 bis 53 kg Plutonium gewonnen wurden. Insgesamt wurden 43 bis 61 kg Plutonium produziert. Damit könnten zurzeit 4 bis 13 (bzw. 3 bis 7, wenn man die „Significant Quantity“-Definition der

IAEO von 8 kg zugrunde legt) Nuklearwaffen hergestellt werden. Mit der heutigen Reaktorkapazität könnten weitere 5 bis 7 kg Plutonium pro Jahr erzeugt werden.<sup>\*)</sup> Nordkorea betreibt ein Raketenprogramm mit Kurz- und Mittelstreckenraketen. Auch soll eine Langstreckenrakete in der Entwicklung sein, deren Nutzlast jedoch nicht für den Transport einer Nuklearwaffe ausreicht und deren Tests bisher nicht erfolgreich verliefen. Um einen „leichten“, für Raketen geeigneten Sprengkopf zu entwickeln, sind sicher weitere Entwicklungsarbeiten und wohl auch Tests nötig.

Wenn nicht endlich eine politische Lösung für Nordkorea gefunden wird, steigt die Gefahr eines regionalen Wettrennens erheblich. Ein vielversprechender Ansatz war das Genfer Rahmenabkommen von 1994: Nordkorea hatte sich darin verpflichtet, sein Atomwaffenprogramm einzustellen, den Nichtverbreitungsvertrag nicht zu kündigen und Kontrollen der IAEO zuzulassen. Im Gegenzug sollte Nordkorea Öllieferungen erhalten, bis die graphitmoderierten Reaktoren des Landes mit US-Hilfe durch Leichtwasserreaktoren

ersetzt sein würden. Dass dieses Abkommen scheiterte, ist nicht einer der beiden Seiten allein anzulasten. Und dass Nordkorea auf die „gefühlte“ Bedrohung durch US-Atomwaffen sowie die Strategie eines Regimewechsels mit der Entwicklung eigener Mittel zur nuklearen Abschreckung antwortet, ist so fatal wie manch andere staatliche Handlung zu Zeiten des Ost-West-Konfliktes. Ebenso sind Reaktionen weiterer Staaten zu befürchten: In Südkorea, Japan und Taiwan mehren sich die Stimmen, die für eine konventionelle Aufrüstung, einen Schutz durch die Atommacht USA oder sogar für eigene nukleare Bewaffnung plädieren.

Dennoch besteht die Hoffnung, dass Nordkorea und die USA im Rahmen weiterer Sechs-Parteien-Gespräche zu einer Verhandlungslösung zurückfinden. Dies könnte gelingen, wenn die Bush-Administration und auch China hier diplomatisch verstärkt aktiv werden. Nordkorea sollte überzeugt werden, keinen weiteren Test zu unternehmen und den noch nicht in Kraft getretenen umfassenden Teststoppvertrag (CTBT) zu unterzeichnen. Vergleichbares müssten die

\*) D. Albright und P. Brannan, The North Korean Plutonium Stock Mid-2006, ISIS, Institute for Science and International Security, 26 Juni 2006 (www.isis-online.org/publications/dprk/dprkplutonium.pdf)

Aktivität liegt, die bei einer Nuklear-explosion von 1 kt TNT direkt entsteht, scheint die Abschätzung realistisch. Die über die Höhe von 0 bis 500 m gemittelte Konzentration lag noch eine Größenordnung darüber, sodass im Tiefflug oder am Boden der Nachweis bereits bei einer geringeren Freisetzung möglich gewesen sein sollte.

Der Nachweis von  $^{135}\text{Xe}$  nach längerer Zeit ist schwieriger, da nach 48 Stunden nur noch 2,6 % der Ausgangsmenge vorhanden sind – allerdings ist die anfängliche Ausbeute an  $^{135}\text{Xe}$  aber etwa 50mal so groß ist wie die an  $^{133}\text{Xe}$ . Die Konzentration der Isomere  $^{133\text{m}}\text{Xe}$  und  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  wird wohl nicht über der Nachweisgrenze gelegen haben. Nach 48 Stunden liegen diese um eine bzw. drei Größenordnungen unter der  $^{133}\text{Xe}$ -Konzentration. Eine Kombination der Verhältnisse der vier Isotope würde eine klare Unterscheidung zwischen einer Explosion oder einem Kernreaktor aus der Region als Quelle erlauben [6]. Da aber  $^{133\text{m}}\text{Xe}$  wahrscheinlich und  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  sicher nicht mehr nachweisbar war, scheint es unmöglich, über die Isotopenverhältnisse in

der Luftprobe den Beweis einer Nuklearexplosion zu führen. Der Nachweis von  $^{133}\text{Xe}$  und  $^{135}\text{Xe}$  ist allerdings ein starkes Indiz.

### Fazit

Kurz vor dem Test hatten nordkoreanische Diplomaten gegenüber China angekündigt, einen nuklearen Sprengsatz mit einer Stärke von 4 kt TNT zu testen. Die Luftmessungen sind zwar ein deutliches Indiz dafür, dass eine Nuklearexplosion stattgefunden hat, die bemerkenswert niedrige Sprengkraft deutet aber auf ein technisches Versagen hin, vermutlich eine Frühzündung oder eine schlechte Plutonium-Kompaktierung. Die allerletzte Gewissheit könnten jedoch nur Vor-Ort-Inspektionen bringen, wie sie der umfassende Kernwaffenteststoppvertrag (CTBT) erst nach Inkrafttreten vorsieht.

Martin B. Kalinowski, Ole Ross

- [1] L. R. Syres und G. Ekstrom, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **86**, 3456 (1989)
- [2] R. L. Garwin und F. N.v. Hippel, Arms Control Today, Nov. 2006
- [3] A. Schaper, Stellungnahme „Der nordkoreanische Test – eine militärische Bedrohung?“, Hessische Stiftung

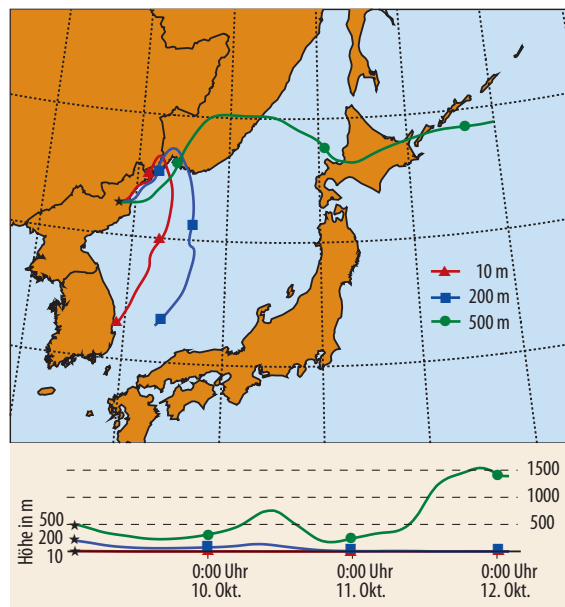


Abb. 3 Gase, die am Ort des nordkoreanischen Kernwaffentests (Stern) freigesetzt wurden, haben sich aufgrund der Windverhältnisse je nach der Starthöhe unterschiedlich ausgebreitet. Die Symbole auf den mit HYSPLIT berechneten Trajektorien zeigen die Position jeweils um 0:00 Uhr UTC der Folgetage.

Friedens- und Konfliktforschung, www.hsfk.de

- [4] M. B. Kalinowski, eingereicht bei Health Physics am 29. September 2006.
- [5] Jungmin Kang, persönliche Mitteilung am 31. Oktober 2006.
- [6] M. B. Kalinowski und Ch. Pistner, Journal of Environmental Radioactivity **88**, 215 (2006)

USA anbieten. Erst wenn alle 44 konkret benannten Staaten den CTBT ratifiziert haben, kann dieser in Kraft treten und z. B. Vor-Ort-Inspektionen ermöglichen, die bei Verdacht anhand der Messnetzdaten klären, ob eine Nuklearexplosion stattgefunden hat. Bereits 176 Staaten haben den Vertrag gezeichnet, allerdings nicht Nordkorea, Indien und Pakistan. Alle Staaten, die den CTBT nicht unterschrieben haben, und diejenigen, die ihn nicht ratifiziert haben (darunter u. a. die USA, China, Iran, Ägypten oder Israel), sollten dies so schnell wie möglich in Gang setzen. Jeder zusätzliche Nukleartest würde den CTBT weiter schwächen. Ein provisorisches Inkrafttreten des Vertrages sollte international ins Auge gefasst werden.

Das International Monitoring System (IMS) ist bereits mehr als zur Hälfte in Betrieb und hat sehr gut funktioniert. Das IMS wird von einem Provisorischen Sekretariat in Wien aufgebaut und im Testbetrieb eingesetzt und soll später in einer CTBT-Organisation münden. Das seismische Überwachungsnetz hat den Test gemessen, die Ladung bestimmt und den Testort lokalisiert. Das

Netz der 80 geplanten Radionuklid-Messstationen ist noch nicht weit genug entwickelt, um aussagekräftige Spuren von atmosphärischer Radioaktivität aufzuspüren. Dies muss heute noch von nationalen Stationen abgedeckt werden und hat den Nachteil, dass die genauen Messergebnisse gegenüber anderen Staaten geheim gehalten werden und daher einer transparenten Analyse nicht zugänglich sind. Die Mitgliedsstaaten des CTBT sollten ihre finanziellen, administrativen und politischen Anstrengungen verstärken, damit das globale Verifikationsinstrument für den Vertrag bei seinem Inkrafttreten vollständig fertiggestellt ist. Die bei der Überwachung gewonnenen Daten sollten auch der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden, um eine unabhängige Analyse zu ermöglichen.

Der Nukleartest Nordkoreas wirft darüber hinaus weitere grundlegende Fragen der nuklearen Rüstungskontrolle und Abrüstung auf. Eine Lösung der nordkoreanischen Krise wird die Debatte um die Zukunft des Nichtverbreitungsvertrages und insbesondere den Disput um Natur und Richtung des ira-

nischen Nuklearprogramms nicht unberührt lassen. Weitere Rüstungskontrollinitiativen wie z. B. Verhandlungen zu einem weltweiten verifizierbaren Verbot zur Produktion von spaltbarem Material (Fissile Material Cut-off) oder substantielle Abrüstung der fünf offiziellen Nuklearmächte sind zurzeit nicht abzusehen. Es besteht die Gefahr, dass es zu einer neuen Proliferationswelle kommt und weitere Nuklearwaffenstaaten entstehen. Ein internationales Kontrollsystem für spaltbares Material, die Verstärkung internationaler Kontrollen im Rahmen des Zusatzprotokolls zu Safeguards-Abkommen, die Beendigung der Weiterentwicklung von Nuklearwaffen und die Abrüstung sog. taktischer Nuklearwaffen könnten zu einer Revitalisierung der nuklearen Rüstungskontrolle und Abrüstung führen. Letztlich geht es um die globale „Ächtung von Nuklearwaffen“. Mit dem nordkoreanischen Test ist auch diese grundsätzliche Debatte wieder auf der globalen Agenda.

Götz Neuneck, Jürgen Altmann, Martin Kalinowski, Wolfgang Liebert, Uwe Reichert

Prof. Dr. Martin Kalinowski, Dipl.-Phys. Ole Ross, Carl Friedrich von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung, Universität Hamburg, Bogenallee 11, 20144 Hamburg

Dr. Götz Neuneck (Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg) ist Sprecher des DPG-Arbeitskreises Physik und Abrüstung sowie der Atomteststoppkommission in der DPG, der auch die anderen Autoren angehören.