

## Working Group on Physics and Disarmament Arbeitsgruppe Physik und Abrüstung (AGA)

Götz Neuneck  
IFSH, Universität Hamburg  
Beim Schlump 83  
D-20144 Hamburg  
neuneck@ifsh.de

Matthias Englert  
Öko-Institut e.V.  
Rheinstr. 95  
D-64289 Darmstadt  
m.englert@oeko.de

Moritz Kütt  
IFSH, Universität Hamburg  
Beim Schlump 83  
D-20144 Hamburg  
kuett@ifsh.de

Zur Abrüstung, der Verhinderung der Verbreitung von Massenvernichtungsmitteln und der Beurteilung neuer Waffentechnologien sind naturwissenschaftliche Untersuchungen unverzichtbar. Auch bei der Verifikation von Rüstungskontrollabkommen werden neue Techniken und Verfahren benötigt und eingesetzt. Schwerpunkte in diesem Jahr bilden Themen wie die nukleare Abrüstung, Verifikation bzw. die Detektion von Nuklearanlagen und Materialien, Raketenabwehr und Zerstörung von Nuklearsprengköpfen, neue militärrelevante Technologien wie Drohnen. Die Fachsitzung wird von der DPG gemeinsam mit dem Forschungsverbund Naturwissenschaft, Abrüstung und internationale Sicherheit FONAS durchgeführt. Die 1998 gegründete Arbeitsgruppe Physik und Abrüstung ist für die Organisation verantwortlich. Die Sitzung soll international vorrangige Themen behandeln, Hintergrundwissen vermitteln und Ergebnisse neuerer Forschung darstellen.

### Overview of Invited Talks and Sessions

(Lecture hall AGA-H19)

#### Invited Talks

AGA 1.1	Wed	14:00–14:45	AGA-H19	<b>Missile Hype: Modelling the Performance of Hypersonic Boost-Glide Weapons</b> — ●CAMERON TRACY, WRIGHT DAVID
AGA 1.2	Wed	14:45–15:30	AGA-H19	<b>Hypersonic Weapons in North Korea - A Game Changer?</b> — ●MARKUS SCHILLER
AGA 2.1	Thu	10:30–11:15	AGA-H19	<b>15 Jahre physikalische Friedensforschung am ZNF: Rück- und Ausblick</b> — ●GERALD KIRCHNER
AGA 3.1	Thu	14:00–14:45	AGA-H19	<b>What does archaeology have to do with nuclear disarmament, and why is this something for physicists?</b> — ●MALTE GÖTTSCHE
AGA 3.2	Thu	14:45–15:30	AGA-H19	<b>Parametric Estimate of Nuclear Material Usage in North Korea's Last Nuclear Test</b> — ●ROBERT KELLEY, VITALY FEDCHENKO
AGA 5.1	Fri	10:30–11:15	AGA-H19	<b>International Diplomacy and the Iran Nuclear File</b> — ●TARIQ RAUF

#### Sessions

AGA 1.1–1.3	Wed	14:00–16:00	AGA-H19	<b>Missiles and Hypersonic Weapons</b>
AGA 2.1–2.4	Thu	10:30–12:45	AGA-H19	<b>Disarmament Verification I - Science and Peace Research, Nuclear Detection</b>
AGA 3.1–3.4	Thu	14:00–16:30	AGA-H19	<b>Fissile Materials and Detection</b>
AGA 4	Thu	17:00–18:00	AGA-MV	<b>Annual General Meeting</b>
AGA 5.1–5.2	Fri	10:30–11:45	AGA-H19	<b>Nuclear Verification, Iran, Comprehensive Test Ban Treaty</b>
AGA 6.1–6.2	Fri	11:45–12:45	AGA-H19	<b>Disarmament Verification II - Nuclear Detection</b>

### Annual General Meeting of the Working Group on Physics and Disarmament

Thursday 17:00–18:00 AGA-MV

- 1. Wahl der Versammlungsleitung und Protokollführung
- 2. Bericht der Sprecher
- 3. Wahl der SprecherIn
- 4. Künftiger Arbeitsplan und Aktivitäten

## AGA 1: Missiles and Hypersonic Weapons

Time: Wednesday 14:00–16:00

Location: AGA-H19

**Invited Talk** AGA 1.1 Wed 14:00 AGA-H19  
**Missile Hype: Modelling the Performance of Hypersonic Boost-Glide Weapons** — ●CAMERON TRACY<sup>1</sup> and WRIGHT DAVID<sup>2</sup>  
 — <sup>1</sup>University of Stanford — <sup>2</sup>MIT, Boston

Hypersonic weapons comprise an emerging class of missile technologies\*maneuverable vehicles that carry warheads through the atmosphere at more than five times the speed of sound. They have recently garnered a great deal of interest due to claims of their advantages over existing missiles, including ostensibly unmatched speed and the ability to evade early warning sensors and interceptors. But absent rigorous, independent technical assessment, their precise capabilities remain uncertain and controversial. To elucidate the performance of these weapons, we report the results of computational modelling of hypersonic missile flight. Our analysis shows that the fundamental physics of hypersonic flight (including extreme atmospheric drag and aerothermal heating) severely constrain the performance of these missiles. Comparison with the performance of existing ballistic missiles reveals that many claims regarding the purported advantages of hypersonic weapons lack a clear technical basis.

**Invited Talk** AGA 1.2 Wed 14:45 AGA-H19  
**Hypersonic Weapons in North Korea - A Game Changer?** — ●MARKUS SCHILLER — ST Analytics GmbH, München, Germany

With its launch of what it called the "Hwasong-8" on September 14, 2021, North Korea apparently joined the exclusive club of countries

that already demonstrated a hypersonic weapons capability. This presentation will offer some insights into the definitions and technical basics of hypersonic weapons in general, with a special look on North Korean developments, and some thoughts on the political and strategic consequences. Additionally, a general update on recent developments in regard to the North Korean missile program will be given.

AGA 1.3 Wed 15:30 AGA-H19  
**Small and Very Small Missiles - Military-Technology Assessment and Preventive Arms Control** — ●JÜRGEN ALTMANN and DIETER SUTER — Exp. Physik III, TU Dortmund University

After our purview of small and very small aircraft (<https://url.tu-dortmund.de/pacsam-db>) we have created a database of small (diameter < 69 mm) and very small (<= 40 mm) missiles. It contains 50 types, many are decades old; 11 types were developed after 2000. Many have ranges below 1 km, but up to several kilometres occur, in particular with air launch. Guidance has increased over the decades, now even possible for very small missiles. Warhead masses are between 0.4 and 3 kg; high explosive and fragments are used with all sizes, while anti-armour shaped charges occur above 1 kg. New types could be used against drones or for defence against incoming bigger missiles. Weapon effects are limited, but smaller missiles could be produced in high numbers, and attacks against soft spots or in swarms / salvoes could be militarily relevant. Vertical and horizontal proliferation could endanger military stability and international security; considerations about preventive arms control are needed.

## AGA 2: Disarmament Verification I - Science and Peace Research, Nuclear Detection

Time: Thursday 10:30–12:45

Location: AGA-H19

**Invited Talk** AGA 2.1 Thu 10:30 AGA-H19  
**15 Jahre physikalische Friedensforschung am ZNF: Rück- und Ausblick** — ●GERALD KIRCHNER — Carl-Friedrich von Weizsäcker Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung, Universität Hamburg, 20144 Hamburg

Seit seiner Etablierung wurde im ZNF überwiegend physikalisch orientierte Forschung mit dem Schwerpunkt auf der Weiterentwicklung von Verfahren, die zur Verifikation nuklearer Rüstungskontrollverträge benötigt werden, durchgeführt. In diesem Vortrag wird eine Bilanz gezogen über deren wesentliche Ergebnisse, werden offen gebliebene Fragestellungen angesprochen und aus der Sicht des Vortragenden weiterführende Forschungsthemen benannt.

Betrachtet werden die Forschungsthemen des ZNF (1) radioaktive Edelgase als Instrument zur Verifikation des Nuklearen Nichtweiterverbreitungsvertrags und des Umfassenden nuklearen Teststoppabkommens, (2) radioaktive Edelgasisotope als Tracer für Fragen der Klima- und Konfliktforschung, (3) Proliferationsaspekte ziviler kerntechnischer Anlagen, (4) Konzepte und Messtechniken zur Nuklearen Abrüstungsverifikation.

AGA 2.2 Thu 11:15 AGA-H19  
**Einfluss von Betonwänden auf Neutronenmessungen im Kontext nuklearer Abrüstungsverifikation** — ●SIMON HEBEL und SVENJA SONDER — Universität Hamburg, Carl Friedrich von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung, Beim Schlump 83, D-20144 Hamburg

Neutronenmessungen an Spaltmaterialien erfolgen in der Regel in geschlossenen Räumen, wobei die Neutronen häufig an Wänden gestreut werden, bevor sie in den Detektor gelangen. Die Dicke und Zusammensetzung des Betons können sich von Anlage zu Anlage stark unterscheiden und haben wesentlichen Einfluss auf die Reflexion und Transmission sowie das Energiespektrum der reflektierten Neutronen. Damit hängt auch der gemessene Neutronenfluss von der Konfiguration und Zusammensetzung der Wände ab. Dies kann zu Komplikationen im Kontext nuklearer Abrüstungsverifikation führen, insbesondere bei sogenannten Template-Messungen, bei denen erwartet wird, dass sich ein Messergebnis für einen verpackten Sprengkopf genau reproduzieren lässt. Auch für die Lokalisation versteckter Quellen ist der Einfluss der Betonwände von Interesse. Diese Zusammenhänge wurden mittels

Monte-Carlo-Simulationen in Geant4 und OpenMC systematisch für verschiedene Betontypen untersucht.

AGA 2.3 Thu 11:45 AGA-H19  
**Authentifizierung eines nuklearen Sprengkopfes mittels passiver Neutronenmessung** — ●CARINA PRÜNTE und GERALD KIRCHNER — Carl-Friedrich von Weizsäcker Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung, Universität Hamburg, 20144 Hamburg

Konzepte für nukleare Abrüstungsverifikationen basieren auf einem multilateralen Ansatz, bei dem externe Inspektoren den Abrüstungsprozess überwachen. In diesem Zusammenhang bedarf es der Entwicklung von Methoden, die einerseits Vertrauen in die Abrüstung vermitteln, andererseits jedoch auch dem Kernwaffenstaat versichern, dass keine geheimen Informationen preisgegeben werden. Vor diesem Hintergrund wird der Einsatz von passiven Neutronenmessungen zur Authentifizierung eines nuklearen Sprengkopfes beurteilt.

In diesem Vortrag werden Ergebnisse der Simulationen der Neutronensignatur eines hypothetischen Sprengkopfes, der sich innerhalb eines Containers befindet, mit Hilfe des Monte Carlo Algorithmus Geant4 vorgestellt. Hierfür wurde ein Implosionssprengkopf mit Plutonium-Kern, basierend auf dem Sprengkopfmmodell von Fetter et al., simuliert. Ein zweites Modell wurde aus dem Fetter-Modell durch Wegfall des Urantampers und durch Annahme einer den Sprengstoff umschließenden Uranhülle entwickelt und ebenfalls analysiert. Insbesondere werden die neutronenphysikalischen Interaktionen zwischen den Sprengkopfmaterialien und deren Beiträge zu den Neutronenflüssen, die den Container verlassen, angesprochen. Ihre Konsequenzen für eine Sprengkopfverifikation anhand der emittierten Neutronensignale und das Potential für Täuschungen werden diskutiert.

AGA 2.4 Thu 12:15 AGA-H19  
**Gamma-Signatur eines nuklearen Sprengkopfes** — ●SVENJA SONDER und GERALD KIRCHNER — Universität Hamburg, Carl Friedrich von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung (ZNF), Beim Schlump 83, 20144 Hamburg, Deutschland

In den üblichen Konzepten zur Abrüstungsverifikation werden Gamma-Zählungen sowie gamma-spektroskopische Messungen am intakten Sprengkopf ebenso wie am Material nach der Demontage verwendet, um die Anwesenheit von Spaltmaterial zu bestätigen und dessen Iso-

topenzusammensetzung zu bestimmen.

Gamma-spektroskopische Messungen sind jedoch nur dann zielführend, wenn die Gamma-Photonen auch tatsächlich den Detektor erreichen. Im Falle des intakten Sprengkopfes bestehen hieran jedoch erhebliche Zweifel, da sich zwischen Spaltmaterial und Detektor weitere Materialien wie Tamper, Sprengstoff und Container befinden. Daher wurde untersucht, ob Gamma-Photonen außerhalb des Sprengkopfes und dessen Container nachgewiesen werden können. Dazu wurden Si-

mulationen mit dem Programm Geant4 durchgeführt, welches Monte-Carlo-Methoden nutzt. Als Modell wird das von Fetter entwickelte Spaltsprengkopf-Modell verwendet, welches in einer zweiten Untersuchung so angepasst wird, dass kein Tamper vorhanden ist.

In diesem Vortrag wird gezeigt, wie viele der Gamma-Photonen der beiden Sprengköpfe tatsächlich detektiert werden können. Außerdem wird gezeigt, ob die detektierten Gamma-Photonen zur Bestimmung der Isotopenzusammensetzung genutzt werden können.

## AGA 3: Fissile Materials and Detection

Time: Thursday 14:00–16:30

Location: AGA-H19

**Invited Talk** AGA 3.1 Thu 14:00 AGA-H19  
**What does archaeology have to do with nuclear disarmament, and why is this something for physicists?** — ●MALTE GÖTTSCHE — RWTH Aachen University, Aachen, Germany

Archaeologists use the remains of the past to solve puzzles of history. This involves surveying, excavation and eventually the analysis of the collected data. In a sense, all of this will be required to gain confidence in a nuclear weapon state's disarmament process: A nuclear archaeology toolbox is needed to reconstruct past nuclear programs. In particular knowledge of past fissile material production is crucial to assess today's inventories. Such reconstruction could include the collection of information from open sources or provided documentation ("surveying"). Measurements of samples from shut-down nuclear facilities and of the waste they produced can provide a signature of their past operations ("excavation"). Lastly, all information will need to be analyzed, for instance to assess whether it paints a consistent picture. This talk will highlight several technical opportunities in this context, including: what and how one can learn from measuring certain isotopic ratios in structural elements of reactor cores, or the isotopic composition of waste from reprocessing where the weapons-usable plutonium is separated from fuel after its irradiation in a reactor. A statistical approach based on Bayesian inference is presented as integrated analysis tool which can jointly take into account both information from acquired data/documentation and the measurements. Lastly, we will look at how nuclear archaeology could be applied in practice, for example to assess the North Korean nuclear program.

**Invited Talk** AGA 3.2 Thu 14:45 AGA-H19  
**Parametric Estimate of Nuclear Material Usage in North Korea's Last Nuclear Test** — ●ROBERT KELLEY and VITALY FEDCHENKO — SIPRI Stockholm

North Korea (DPRK) has carried out six underground nuclear explosions. The first five had yields well below 20 kilotons and could be safely estimated to be single-stage fission devices. The last test had a yield estimated at closer to 250 kt. This was almost certainly a thermonuclear test using two stages and considerably more fissionable material than a single stage device. Yield estimates for single stage devices have few uncertainties and are acknowledged roughly by nuclear powers. But the amount of fissionable material in a thermonuclear stage is much harder to estimate. The authors used known character-

istics of the DPRK test and some historical US devices to make such an estimate. There are a number of uncertainties that they explored. The conclusions can be used for stockpile estimates for DPRK weapons.

AGA 3.3 Thu 15:30 AGA-H19  
**Muons for Peace: Revisiting Cosmic Rays for Fissile Material Detection** — ●MORITZ KÜTT and ALEXANDRA DATZ — Institute for Peace Research and Security Policy at the University of Hamburg

Over the last decades, researchers proposed several practical applications for muons created from cosmic rays. In the field of nuclear security, non-proliferation and disarmament, several groups simulated and tested muon tracker setups, mostly for inspection of cargo. This contribution revisits existing work, and outlines future research pathways. Going beyond the common approach of muon tomography, fissile material detection could benefit from muon telescopes and the detection of muon-induced reactions. The first method has applications for the demonstration of the absence of fissile material in large, inaccessible structures (e.g. concrete bunkers), the second could be used to provide new ways to authenticate fissile material.

AGA 3.4 Thu 16:00 AGA-H19  
**Simulations to Discriminate Nuclear Weapon Neutron Emissions from Cosmic Ray Background** — ●LENNART WILDE<sup>1</sup> and MORITZ KÜTT<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Nuclear Verification and Disarmament, RWTH Aachen University — <sup>2</sup>Institute for Peace Research and Security Policy at the University of Hamburg

Finding nuclear weapons is difficult, in particular if stored in hardened concrete structures, e.g. aircraft shelters. Potentially, the neutrons inevitably emitted by the fissile material within weapons could be used to detect their presence or absence. High absorption in thick concrete walls, together with the cosmic ray neutron background complicate potential measurements. This work uses Monte Carlo particle transport simulations to determine how directional information of neutron emissions could improve future detection capabilities. Using a common German aircraft shelter as a case study, we show that neutrons of a weapon inside are leave the structure mostly through the steel door. At the same time, the bunker structure partially shields a neutron detector from cosmic neutron background radiation. Based on our results, we can make recommendations for detector shielding and placement to improve sensitivity and reduce measurement time.

## AGA 4: Annual General Meeting

Time: Thursday 17:00–18:00

Location: AGA-MV

**Annual General Meeting**

## AGA 5: Nuclear Verification, Iran, Comprehensive Test Ban Treaty

Time: Friday 10:30–11:45

Location: AGA-H19

**Invited Talk** AGA 5.1 Fri 10:30 AGA-H19  
**International Diplomacy and the Iran Nuclear File** — ●TARIQ RAUF — Vienna

Ever since the Iran nuclear file was opened in August 2002, there have been a series of missteps in international diplomacy till November 2014 when the Joint Plan of Action (JPA) was agreed in Geneva leading to the Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA) in Vienna in July

2015, between Iran and the EU/E3+3 (European Union; France, Germany, United Kingdom; China, Russia, United States). In May 2018, Trump stepped out of the JCPOA and imposed new sanctions, despite IAEA verification in Iran. Between June 2019 and June 2021, Iran has taken a series of steps notified in advance to the IAEA and it is now enriching at 20% and 60% U-235 under Agency verification. A weak team, failing presidency and stubbornness of Biden matched by Iran's hard line has led to the JCPOA in suspension. Eight rounds of prox-

imity talks in Vienna have not produced results. This presentation will review and assess these developments.

AGA 5.2 Fri 11:15 AGA-H19

**Onsite Verification of the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty at Very Low Yields** — ●CHRISTOPHER FICHTLSCHERER<sup>1,2</sup>, JULIEN DE TROULLIQUOUD DE LANVERSIN<sup>3</sup>, and FRANK N. VON HIPPEL<sup>4</sup> — <sup>1</sup>RWTH Aachen, Aachen, Germany — <sup>2</sup>IFSH, Hamburg, Germany — <sup>3</sup>Harvard University, Cambridge, U.S. — <sup>4</sup>Princeton University, Princeton, U.S.

The United States has accused Russia and suspects China of violat-

ing the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT) at very low yields. They argue that the violating tests involve supercritical chain reactions that are forbidden under the U.S. interpretation of the treaty. Satellite images could show suspiciously large containment vessels being emplaced in tunnels. But offsite, there would be no detectable physical evidence to differentiate such tests from permitted subcritical tests. However, during onsite inspections, gamma emissions from the fission and neutron-activation products in the containment vessel could be measured to infer the energy released through fission during the test. Here a potential verification onsite measurement method is presented and tested in a theoretical scenario using the open-source OpenMC transport and ONIX depletion code.

## AGA 6: Disarmament Verification II - Nuclear Detection

Time: Friday 11:45–12:45

Location: AGA-H19

AGA 6.1 Fri 11:45 AGA-H19

**Charakterisierung der Neutronendetektoren von Handmessgeräten mit neuartigen Detektormaterialien im Vergleich mit He-3-Zählrohren** — ●NIKOS LORENZ<sup>1</sup>, MARTIN BARON<sup>2</sup>, JOACHIM GREGOR<sup>2</sup> und GERALD KIRCHNER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Carl Friederich von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaftliche Friedensforschung an der Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland — <sup>2</sup>Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin, Deutschland

Aufgrund natürlicher Ursprünge von Radionukliden sind wir kontinuierlich ionisierender Strahlung ausgesetzt. Da es sich hierbei um eine potentielle Gefahrenquelle handelt, kommt dem Nachweis ionisierender Strahlung bei der Abwehr von Nuklearterrorismus und insbesondere bei der nuklearen Abrüstungsverifikation eine entscheidende Bedeutung zu. Aufgrund des erhöhten Bedarfs an Detektoren und der zurückgehenden Verfügbarkeit von Helium-3 als Detektormaterial wurden drei alternative Detektormaterialien (CLYC(Cs2LiYCl6) Ce dotiert, Li6F/ZnS(Ag), B-10/ZnS(Ag)) mit dem Monte Carlo-basierten Geant4-Programmpaket und mit Messungen untersucht und zusätzlich mit einem herkömmlichen Helium-3-Detektor verglichen. Dabei wurden die Detektoren (KSAR1U.06, RIIDEye X, Detective X, SPIR-Pack) auf ihre Abhängigkeiten (Abstand zwischen Quellen und Detek-

tor, Position der Detektoren relativ zur Quelle, Energieabhängigkeit der Neutronen mittels Cf-252, Am(Li) und Am(Be)) untersucht. Sowohl die neuartigen Detektoren als auch die Ergebnisse der Untersuchung werden im Vortrag vorgestellt.

AGA 6.2 Fri 12:15 AGA-H19

**Voxelbasierter VR Neutronendetektor zur Abrüstung** — ●JAN SCHEUNEMANN — Carl Friedrich von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung, Hamburg, Deutschland

Die IPNDV entwickelt Prozeduren zur Abrüstungsverifikation, welche in Übungen wie NuDiVe getestet werden. Diese Übungen sollen in VR übertragen werden. Dazu wurde ein virtueller Neutronendetektor entwickelt und in die Software implementiert.

Hierzu wurden Neutronen Strahlungsfelder in Geant4 simuliert und exportiert und in Unity als 3D Texturen importiert. Zudem wurde ein Auswertungsschema für beliebige Detektoren geschaffen.

Die Ergebnisse aus Unity wurden mit den Monte-Carlo-Simulationen verglichen und geometrische Korrekturen angebracht. Anschließend wurden mehrere typische Messszenarien aus dem Abrüstungskontext erprobt und anhand der Geant4-Simulationen verifiziert.