

NUKLEARE HUNGERSNOT

Selbst ein „begrenzter“ Atomkrieg
würde das Klima zerstören und eine
weltweite Hungerkatastrophe auslösen

Matt Bivens, MD



IPPNW – International Physicians
for the Prevention of Nuclear War

Nukleare Hungersnot

Selbst ein „begrenzter“ Atomkrieg würde das Klima zerstören und eine weltweite Hungerkatastrophe auslösen.

Die IPPNW möchte ihre Anerkennung für die jahrelange wichtige Arbeit von Physiker*innen, Biolog*innen, Klimaforscher*innen und anderen Wissenschaftler*innen aussprechen, die immer wieder die Frage gestellt haben: „Was passiert mit den Menschen auf der ganzen Welt, wenn im Krieg Atomwaffen eingesetzt werden?“

Außerdem danken wir der Internationalen Kampagne zur Abschaffung von Atomwaffen (ICAN) für die großzügige finanzielle Unterstützung.

Design und Grafiken: Emma Pike

Deutsche Fassung adaptiert von der Vorlage von Emma Pike: Samantha Staudte

Zeichnungen: Daniel Medina

Inhalt

Einleitung	4
Die Jahre ohne Sommer	6
Ein genauerer Blick auf die ominöse Wissenschaft zu einem „begrenzten“ Atomkrieg	8
Die Schädigung der Ozonschicht	9
Selbst „kleine“ Atomkriege bewirken beispiellose Ernteauffälle	10
Arsenale, Städte und Feuer wachsen – die Wissenschaft blickt tiefer	13
Nukleare Hungersnot	15
Was bedeutet es, wenn die weltweit verfügbaren Gesamtkalorien um fast 50 % sinken?	17
Minuten trennen uns von der Katastrophe	20
Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit	23
Fußnoten	25

Einleitung

Es ist seit Langem bekannt, dass ein großer Atomkrieg die moderne Zivilisation zerstören und einen Großteil der Menschheit auslöschen könnte.

Aber was ist mit einem „begrenzten“ Atomkrieg – der nur in einer Region der Erde stattfindet oder bei dem nur ein kleiner Teil des weltweiten Arsenal zum Einsatz kommt?

„Hunger könnte ein Drittel der Erdbevölkerung töten“, schreiben die Autor*innen, und das schon als Folge eines Kriegs zwischen Indien und Pakistan, bei dem weniger als 3 % des globalen atomaren Arsenal zum Einsatz kämen.“

Dieser Bericht fasst die jüngsten wissenschaftlichen Studien zusammen, die zeigen, dass sich ein sogenannter „begrenzter“ oder „regionaler“ Atomkrieg weder begrenzt noch regional auswirken würde. Ganz im Gegenteil, er hätte Auswirkungen auf den gesamten Planeten. Er wäre tatsächlich gefährlicher, als uns bis vor wenigen Jahren bewusst war. Auch wenn bei einem Krieg weniger als ein Zwanzigstel der weltweiten Atomwaffen detonieren würde, kämen das Klima, die globalen Nahrungsmittelketten und wahrscheinlich die öffentliche Ordnung zum Erliegen. Millionen, vielleicht sogar Milliarden von Menschen kämen durch Hungersnöte und Unruhen ums Leben.

„In einem Atomkrieg käme es durch auf Städte und Industriegebieten abgeworfene Bomben zu Feuerstürmen, und das würde große Mengen an Ruß in die Atmosphäre befördern, die sich dann rasch verbreiten und den Planeten abkühlen würden“, besagt eine richtungsweisende, im August 2022 in Nature Food veröffentlichte Studie.¹

Das von Lili Xia an der Rutgers Universität geleitete internationale Team, hat anhand verschiedener Szenarien eines Atomkrieges zwischen Indien und Pakistan untersucht, wie viel sonnenverdunkelnder Ruß entstünde.¹ Berechnet wurde, wie stark die globalen Temperaturen im Ergebnis fallen würden, was mit dem Nahrungsmittelanbau passieren würde und letztendlich, wie viele Menschen verhungern würden. Die Ergebnisse: So grauenvoll die Kriegszone mit zig Millionen unmittelbaren Toten selbst wäre – diese regionalen Todesopfer würden in den darauffolgenden Monaten und Jahren gering erscheinen gegenüber der riesigen Zahl an Hungertoten weltweit.

Tatsächlich kommt Xias Team zu dem Schluss, dass nach einem Krieg zwischen Indien und Pakistan zwei Milliarden Menschen an Hunger sterben könnten.

„Hunger könnte ein Drittel der Erdbevölkerung töten“, schreiben die Autor*innen, und „das schon als Folge eines Kriegs zwischen Indien und Pakistan, bei dem weniger als 3 % des globalen atomaren Arsenal zum Einsatz kämen.“

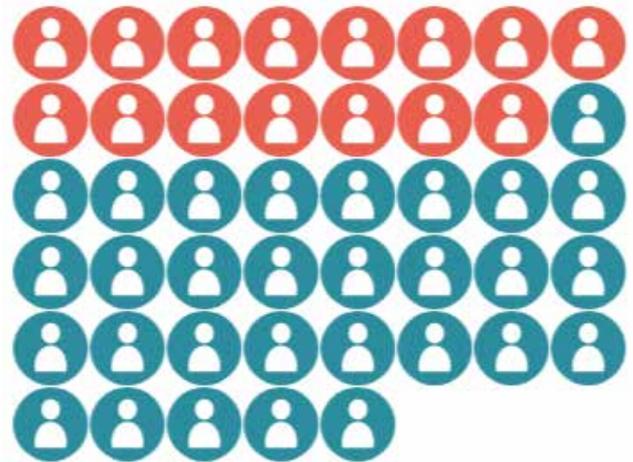
Tabelle 1: Adaptiert nach Xia et al. (2022):

Atomkrieg-Szenario	Millionen metrische Tonnen (Tg, Teragramm) entstandener Ruß	Unmittelbare Tote	Anzahl Hungertote am Ende von Jahr 2
100 Waffen zu je 15 Kilotonnen	5 Tg	27 Millionen	260 Millionen
250 Waffen zu je 15 kt	16 Tg	52 Millionen	930 Millionen
250 Waffen zu je 50 kt	27 Tg	97 Millionen	1,4 Milliarden
250 Waffen zu je 100 kt	37 Tg	127 Millionen	2,1 Milliarden
500 Waffen zu je 100 kt	47 Tg	164 Millionen	2,5 Milliarden

Die fünf Szenarien entsprechen den regionalen Atomwaffenarsenalen. Die Forscher*innen haben Daten von 2010 verwendet, wo die Weltbevölkerung auf 6,7 Milliarden geschätzt wurde. (Heute wird die gesamte Weltbevölkerung auf rund 8 Milliarden Menschen geschätzt.²⁾ Die geschätzte Zahl der Todesopfer von bis zu 2,6 Milliarden Menschen zeigt, dass ein Atomkrieg zwischen Indien und Pakistan fast jeden dritten Menschen töten könnte.

Noch einmal: Jedes dieser Szenarien geht davon aus, dass 97 % des Atomarsenals der Welt nicht zum Einsatz kommen.

Mit weniger als 3 % der weltweiten Atomwaffen könnte ein Atomkrieg zwischen Indien und Pakistan bis zu jeden dritten Menschen auf der Erde töten.



Die betrachteten Szenarien behandeln einen hypothetischen atomaren Konflikt zwischen Indien und Pakistan – zwei Staaten, die in jüngerer Zeit Krieg gegeneinander führten, immer noch Grenzscharmützel ausfechten und die Atomwaffen einen wichtigen Platz bei der Militärplanung einräumen. Aber die Verfasser*innen der Nature Food-Studie merken an, dass es nicht unbedingt eine Rolle spielt, wo sich ein solcher Krieg abspielt. Ob nun Städte und Industriegebiete im Nahen Osten, auf dem indischen Subkontinent oder in Mitteleuropa niedergebrannt werden, der Ruß steigt in denselben Himmel auf.

Die Jahre ohne Sommer

Große Explosionen und Brände können schwere Klimastörungen verursachen. Historische Belege hierfür sind etwa Kältephasen nach großen Vulkanausbrüchen oder die katastrophale globale Abkühlung nach einem Asteroideneinschlag vor Millionen Jahren, der zum Aussterben der Dinosaurier führte. (Forscher*innen haben auch historische Wetterdaten nach den großen Stadtbränden im Zweiten Weltkrieg untersucht, sind aber zu keinem abschließenden Ergebnis gekommen.³⁾ Der Ausbruch des Vulkans Tambora in Indonesien im Jahr 1815, der größte Ausbruch der letzten 500 Jahre, beförderte Millionen Tonnen (bzw. Tg, Teragramm) Schwefel und Asche in die Stratosphäre. Die Sulfataerosole trieben oberhalb der Regenwolken rund um die Welt. Ein Jahr später waren sie immer noch da, und 1816 – mit ständig bedecktem Himmel, Missernten und Hunger – wurde im Nordosten der Vereinigten Staaten bekannt als „das Jahr ohne Sommer“. Auf der anderen Seite des Atlantiks, in einem Europa, das nach 25 Jahren napoleonischer Kriege

Wenn eine Atomwaffe explodiert, erzeugt sie kurzzeitig Temperaturen, die viermal heißer sind als im Zentrum der Sonne.

am Boden lag, trug eine ungewöhnlich nasse und kalte Anbausaison zu Hungersnöten und einer Typhus-Epidemie bei.⁴

Wenn eine Atomwaffe detoniert, entstehen für kurze Zeit Temperaturen, die viermal so heiß sind wie das Innere der Sonne.⁵ Eine Explosion über einer Stadt kann einen Feuersturm erzeugen – ein riesiger Brand, angefeuert von Winden in Hurrikanstärke. Könnte ein Krieg mit Atomwaffen, der mehrere Städte in Brand setzt, eine globale Abkühlung vom Ausmaß des Tambora-Ausbruchs anstoßen? Seit Jahrzehnten sagen die wichtigsten Klimamodelle: Ja – und sie zeigen sogar, dass die Abkühlung schwerwiegender und anhaltender wäre als selbst bei den größten Vulkanaus-

Das internationale Team unter der Führung der Rutgers Universität, das die zu erwartenden Hungertoten nach einem regionalen Atomkrieg zwischen Indien und Pakistan darstellte, hat erstmalig errechnet, welche Todeszahlen eine Massenhungersnot aufgrund eines großen Atomkriegs zwischen Russland und den USA nach sich ziehen würde. **Die Forscher*innen schätzen, dass bei einer Weltbevölkerung von 6,7 Milliarden fünf Milliarden Menschen innerhalb von zwei Jahren sterben würden.**

brüchen. Der Ruß aus den brennenden Städten würde kilometerweit über die Wolken aufsteigen, rund um die Welt treiben und jahrelang dort schweben. Er würde die Sonne verdunkeln. Die Temperaturen würden schlagartig abfallen, es käme zu Missernten.

Diese ernüchternde Realität ist bekannt, seit in den 1980ern die ersten Studien zum nuklearen Winter durchgeführt wurden.^{6,7,8,9} Neuere Studien^{10,11}, durchgeführt mit fortschrittlicheren Klimamodellen und viel leistungsstärkeren Rechnern, stützen die Vorhersagen, die vor fast 40 Jahren von Carl Sagan und anderen getroffen wurden: Auf einen Atomkrieg zwischen den USA und Russland würde ein nuklearer Winter von einem Jahrzehnt oder mehr folgen. Der Großteil der Menschheit würde sterben.

Ein internationales Team unter der Führung der Rutgers Universität, das die zu erwartenden Hungertoten nach einem regionalen Atomkrieg zwischen Indien und Pakistan darstellte, hat erstmalig errechnet, welche Todeszahlen eine

Massenhungersnot aufgrund eines großen Atomkriegs zwischen Russland und den USA nach sich ziehen würde. Die Forscher*innen schätzen, dass bei einer Weltbevölkerung von 6,7 Milliarden fünf Milliarden Menschen innerhalb von zwei Jahren sterben würden.¹

Dies ist eine neue Prognose: Drei von vier Menschen auf der Welt sterben innerhalb von zwei Jahren. Aber sie bestätigt ein seit langem bestehendes, unbehagliches Bewusstsein, dass die Menschheit von Gnaden der russischen und US-amerikanischen Militärbürokratie existiert. Washington und Moskau mögen ihre Atomwaffenarsenale aus dem kalten Krieg reduziert haben, aber diese beiden nationalen Arsenale sind nach wie vor enorm, nehmen inzwischen wieder zu und stellen zusammen mehr als 90% des weltweiten Bestands nuklearer Waffen dar.^{12, 13}

Und was ist mit den anderen sieben Ländern, die ebenfalls Atomarsenale haben? Das sind Frankreich, Großbritannien, Israel, Indien, Pakistan, China und Nordkorea. Diese zweitrangigen Arsenale sind klein im Vergleich mit den im kalten Krieg angehäuften Lagern in Amerika und Russland. Aber Jahrzehnt für Jahrzehnt sind einige dieser kleineren Arsenale angewachsen.

Man ist vielleicht versucht, Pakistan oder Frankreich als bloße Regionalmächte abzutun. Aber auch die Regierungen in Islamabad und Paris haben jeweils genug atomare Sprengkraft an der Hand, um eine jahrelange globale Abkühlung hervorzurufen.

Im Zuge dessen sind auch die wissenschaftlichen Aufzeichnungen gewachsen und haben parallel dazu, Studie für Studie, zu der Erkenntnis geführt: So etwas wie ein geringfügiges oder kleines Atomwaffenarsenal gibt es nicht.

Man ist vielleicht versucht, Pakistan oder Frankreich als bloße Regionalmächte abzutun. Aber auch die Regierungen in Islamabad und Paris haben jeweils genug atomare Sprengkraft an der Hand, um eine jahrelange globale Abkühlung hervorzurufen.^{14, 15} Es zeigt sich, dass praktisch jede Atommacht unermessliches weltweites Leid, landwirtschaftlichen und gesellschaftlichen Zusammenbruch und Massensterben verursachen kann.

Und wenn man die hier untersuchten Daten hochrechnet, liegt diese beängstigende Macht nicht nur in den Händen von neun Staatsregierungen. Sie befindet sich de facto auch in den Händen vieler Einzelpersonen auf niedrigeren Ebenen der Militärhierarchien. Jeder Kommandant eines U-Boots der US-Ohio-Klasse oder der russischen Borei-Klasse hat eine Feuerkraft zur Verfügung, die vergleichbar ist mit der einer ganzen Nation wie Pakistan oder Frankreich.¹⁶ Aktuell sind 14 U-Boote der Ohio- und fünf der Borei-Klasse im Betrieb.^{12, 13}

Ein genauerer Blick auf die Wissenschaft zu einem „begrenzten“ Atomkrieg

Die 2007 veröffentlichten wegweisenden Studien der Klimaforscher Brian Toon, Alan Robock et al. modellieren einen hypothetischen Atomkrieg zwischen Indien und Pakistan.^{17, 18} Bei den Modellen wurde angenommen, dass beide Länder jeweils 50 Atomwaffen gegen das andere einsetzen würden. Zur Einordnung: Ein solcher Krieg würde weniger als 0,5 % des weltweiten Atomarsenals involvieren. Es käme rund ein Drittel des indisch-pakistanischen Atomarsenals zum Einsatz.^{15, 19}

Es handelte sich um ein frühes Ausloten, wie ein „begrenzter“ bzw. regionaler Atomkrieg aussehen könnte. Dies war der Anfang einer ganzen Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen (siehe Tabelle 3).

Die prognostizierten Ergebnisse waren global und apokalyptisch:



5 Millionen Tonnen

Mehr als fünf Tg Rauch aus der Zerstörung von Islamabad und Mumbai würden hoch in die Stratosphäre befördert und die Welt über Jahre in Dunkelheit hüllen.



1,3°C

Die weltweite Durchschnittstemperatur würde um ca. 1,3°C sinken und die Nahrungsproduktion abnehmen.



2 Milliarden

Zwei Milliarden Menschen – fast jeder dritte Mensch – liefe Gefahr, zu verhungern.



Bei der Durchsicht dieser und verwandter Studien^{20, 21, 22, 23} für ein Themenpapier im Jahr 2013 stellte die Organisation Internationale Ärzt*innen für die Verhütung des Atomkrieges – Ärzt*innen in sozialer Verantwortung e. V. fest, dass zwei Milliarden Menschen – eine schwindelerregende Zahl, fast jeder dritte Mensch – Gefahr laufen könnten, zu verhungern.²⁴

Eine abrupte Abkühlung um 1,3°C wäre ein enormer Schock für den gesamten Planeten. Zur Einordnung: Weltweit gibt es berechtigte Sorgen wegen einer durchschnittlichen Erderwärmung um rund 1°C seit der vorindustriellen Zeit. Länder rund um die Erde haben enorme Ressourcen bereitgestellt im Versuch, die weitere Erderwärmung auf maximal 1,5 – 2°C über den vorindustriellen Temperaturen zu begrenzen.

Aber das ist noch nicht das Schlimmste. Der plötzliche Schock von 1,3°C globaler Abkühlung wurde anhand eng eingegrenzter Modelle vorhergesagt, die nur auf die Auswirkungen von Ruß schauten, der die Sonne verdunkeln würde. Sie waren nicht darauf ausgelegt, einen zweiten wichtigen Faktor zu berücksichtigen: die Schädigung der Ozonschicht.

Die Schädigung der Ozonschicht

Ozon ist ein Molekül mit drei Sauerstoffatomen – O_3 anstatt des bekannteren O_2 . Eine Schicht von Ozonmolekülen umgibt den Planeten in etwa 15 – 30 km Höhe und schirmt die Erdoberfläche vor ultravioletter Strahlung ab. Wenn aber nach einem Atomkrieg große Mengen an Ruß in die hohe Atmosphäre aufsteigen, wird der Ruß selbst durch das Sonnenlicht erwärmt, das er von uns fernhält. Dies löst lokale chemische Reaktionen aus, durch die das Ozon rasch abgebaut wird.

2008 modellierten Michael Mills und ein Team am National Center for Atmospheric Research in Colorado in einer Studie die Auswirkungen desselben hypothetischen Szenarios auf die Ozonschicht – 100 detonierte Atomwaffen zwischen Indien und Pakistan – und kamen zu dem Ergebnis, dass 20% der Ozonschicht weltweit zerstört würden. Über den hohen nördlichen Breitengraden – darunter die USA und Kanada, Europa, Russland und China – wäre es wesentlich schlimmer, 50 – 70% der Ozonschicht würden zerstört.²³



Etwas später im Jahr 2014 wiederholten Mills und sein Team das Szenario (100 Nukleardetonationen in Indien und Pakistan) anhand neuester Daten und ermittelten, dass es im Himmel über besiedelten Gebieten Ozonverluste „wie noch nie zuvor in der Geschichte der Menschheit“ geben würde. (Wie auch bei anderen Modellen wurde hier zudem eine katastrophale Abkühlung durch die Sonne verdunkelnden Ruß vorhergesagt, mit „den kältesten durchschnittlichen Oberflächentemperaturen seit 1.000 Jahren.“ Mills und sein Team prognostizierten niedrigere Oberflächentemperaturen für über 25 Jahre, was „eine globale nukleare Hungersnot auslösen könnte.“²⁵)



Die jüngste Studie mit Blick auf das Ozon, veröffentlicht 2021 und geleitet durch einen anderen Forscher am NCAR, Charles Bardeen, gelangte anhand eines aktualisierten Klima- und Chemiemodells zu einem ähnlichen Schluss: Ein regionaler Atomkrieg würde die globale Ozonschicht um 25% abbauen, und das Ozon bräuchte mindestens zwölf Jahre, um sich zu erholen.²⁶

Ohne ihre schützende Ozonschicht wäre die Erde verstärkt der UV-Strahlung ausgesetzt. Die genauen Folgen wurden bisher nicht berechnet. Bei Menschen wären bei erhöhter UV-Strahlung mehr Sonnenbrände zu erwarten, außerdem Krebs, grauer Star, Immunsuppression und lichtbedingte Hautalterung (Hautschäden wie Falten, Spannkraftverlust und Pigmentflecken). Und vielleicht noch wichtiger, erhöhte UV-Strahlung könnte auch das Pflanzenwachstum beeinträchtigen – und zwar zusätzlich zu den landwirtschaftlichen Katastrophen, die sich schon aus den Modellen zur rußbedingten Abkühlung ergeben. Ein seltsames Paradoxon: Nach einem begrenzten Atomkrieg würde der Erde einerseits die lebensspendende Wärme der Sonne entzogen, und gleichzeitig wären wir durch die schädliche UV-Strahlung der Sonne gestraft. (Wie Xia und Kolleg*innen in Nature Food schreiben, sind zu vielen Aspekten des Lebens nach einem Atomkrieg „weitere Studien erforderlich“ – von Schäden durch UV-Strahlung wegen des Versagens der Ozonschicht über den radioaktiven Niederschlag aus dem Kriegsgebiet bis hin zur Verfügbarkeit von Süßwasser und Veränderungen der Insektenpopulationen.)

Selbst „kleine“ Atomkriege bewirken beispiellose Ernteausfälle

Aber auch ohne solche detaillierten Daten sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Auswirkungen von die Sonne verdunkelndem Ruß nach einem begrenzten Atomkrieg beunruhigend.

Eine Abhandlung dem Jahr 2020 unter der Leitung von Jonas Jägermeyr, Forscher am NASA Goddard Institute for Space Studies, beurteilte anhand sieben am häufigsten verbreiteten Pflanzenwachstumsmodellen, wie die Landwirtschaft auf die bevorzugte Hypothese des Forschungsfelds reagieren würde: 100 kleinere nukleare Detonationen (mit je 15 Kilotonnen) in Indien und Pakistan. (Noch einmal: Vorstellbar wäre eine Reihe verschiedener „begrenzter“ Szenarien – ein Krieg zwischen China und Nordkorea etwa oder ein nuklearer Schlagabtausch zwischen Russland und der NATO über der Ukraine. Ausgehend von Waffen und Zielen gleicher Größe müssten die Folgen ähnlich sein. Einer der Gründe, weshalb

In den Modellen des NASA-Teams führten 5 Tg Ruß zu einer drastischen globalen Abkühlung von 1,8 °C und mindestens fünf Jahren Missernten mit „den schlimmsten Folgen für die weltweite Ernährungssicherung der jüngeren Geschichte.“

Wissenschaftler*innen oft auf das Szenario Indien zurückgreifen, ist, dass eine konstante Variable – das Kriegsgebiet – die Ergebnisse der Studien untereinander besser vergleichbar macht.)

In den Modellen des NASA-Teams führten 5 Tg Ruß zu einer drastischen globalen Abkühlung von 1,8 °C und mindestens fünf Jahren Missernten. Am schlimmsten betroffen wären die gemäßigten nördlichen Regionen, wie die USA, Europa, Russland und China, die zusammen die Kornkammer der Welt darstellen. Mais und Weizen – zwei der weltweit wichtigsten Grundnahrungsmittel – werden weltweit um 13 % reduziert, mit „den schlimmsten Folgen für die weltweite Ernährungssicherung der jüngeren Geschichte.“²⁷

Wissenschaftler*innen, die an den Los Alamos National Laboratories für das Atomwaffenprogramm der USA arbeiten, haben kürzlich als einzige eine abweichende Meinung publiziert.²⁸ Das Team in Los Alamos machte seine internen Modelle nicht zur unabhängigen Überprüfung zugänglich. Sie beschäftigten sich mit dem gleichen hypothetischen Krieg zwischen Indien und Pakistan. Aber für ihre Simulationen verwendeten sie kein Stadtgebiet in Pakistan oder Indien, sondern einen städtischen Randbezirk in den USA, zu dem sie Satellitenbilder bereitstellten. In einer Erwiderung stellen Robock und Kolleg*innen fest, die Bilder zeigten „ein Zielgebiet in der Vorstadt von Atlanta mit einem Golfplatz, Spielplatz und freistehenden Häusern mit großen Gärten, mit wenig brennbarem Material, was nicht repräsentativ ist für die dicht besiedelten Städte Indiens und Pakistans.“²⁹ Andere Forscher*innen haben berechnet, dass das Team aus Los Alamos das vorhandene Brennmaterial in diesen dicht bevölkerten asiatischen Städten mindestens um das Zehnfache zu niedrig angesetzt hat.³⁰ Das Los-



Quelle: earthobservatory.nasa.gov

Waldbrände mit Pyrocumulonimbus-Wolke in British Columbia, Kanada, 30. Juni 2021

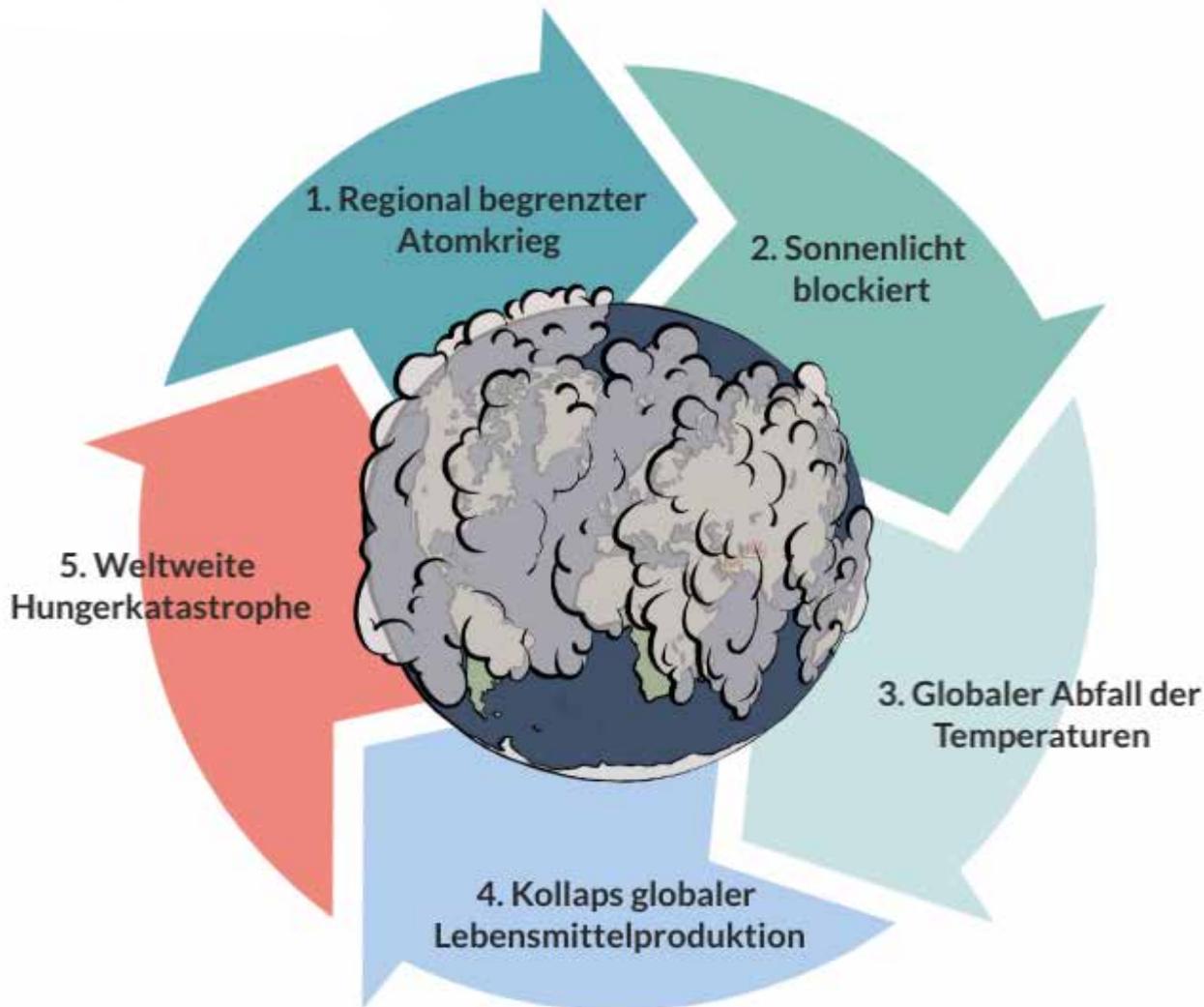
Alamos-Modell geht von einem Stadtbrand von nur 40 Minuten aus – und das, obwohl die großen Stadtbrände im Zweiten Weltkrieg Stunden bis Tage anhielten; es simuliert keine Gasleitungsbrüche, wie es sie in Hiroshima gab, und es gibt verschiedene Wetter- und Klimabedingungen vor, die eine Entwicklung von Feuerstürmen verhindern, wie Kritiker*innen sagen und auch das Los-Alamos-Team selbst einräumt.²⁹ (Das US-Militär glaubt an Feuerstürme und hat sie im Zweiten Weltkrieg sowohl zufällig als auch absichtlich hervorgerufen – am dramatischsten war der bewusst erzeugte Feuersturm in Tokio, aber auch die Bombardierung von Hiroshima. Dennoch ist seit Jahrzehnten gut dokumentiert, wie das Pentagon das Potenzial für Feuerstürme durch Atomwaffen entweder heruntergespielt oder erst spät zugegeben hat.⁵)

Inzwischen sieht es fast aus, als habe sich die Natur selbst erhoben, um die Behauptungen aus Los Alamos Lügen zu strafen. In seinem Aufsatz von 2018 hatte das Team des Waffenlabors be-

hauptet, es sei „sehr unwahrscheinlich“, dass Ruß und Rauch aus einem regionalen Atomkrieg bis in die Stratosphäre aufsteigen würden, „eine durch die Untersuchung (...) großer Waldbrände gestützte Folgerung“. Noch während das geschrieben und veröffentlicht wurde, wurden durch große Waldbrände in Kanada 2017 und Australien 2019 und 2020 riesige Mengen Rauch hoch in die Stratosphäre geschleudert. Der Ruß und Rauch der australischen Buschbrände war über Monate in der Stratosphäre zu verfolgen, in vergleichbaren Mengen wie bei einem Vulkanausbruch.³¹ Der Ruß der kanadischen Brände stieg als Pyrocumulonimbus 12 km hoch – eine vertikal geformte, durch Feuer gespeiste Wolke. Als der schwarze Ruß das Sonnenlicht absorbierte und sich erwärmte, stieg er in den folgenden zwei Monaten immer höher, bis auf 23 km.³² Die Beobachtungen bei den Waldbränden widerlegen die Behauptungen aus Los Alamos und stimmen mit den Modellen von Mills, Robock und anderen unabhängigen Wissenschaftler*innen überein.

Grafik 1: Die globale Katastrophe eines regional „begrenzten“ Atomkriegs

Ein „kleiner“ Atomkrieg mit nur 3 % der weltweiten Atomwaffenarsenale oder weniger würde dennoch Dunkelheit, Abkühlung, Ernteauffälle und Hunger auf dem ganzen Planeten bewirken.



1 Regionaler Atomkrieg

In einem indisch-pakistanischen Atomkrieg steigen Rauch und Ruß der nuklearen Brände in die Stratosphäre. Er wird über die ganze Welt verteilt und bleibt dort jahrelang.

2 Sonnenlicht blockiert

Die Sonnenwärme wird blockiert, aber paradoxerweise auch die Ozonschicht zerstört, die das Leben auf der Erde vor schädlicher UV-Strahlung schützt. Die Erde wird also kälter, obwohl die Sonnenstrahlung intensiver wird.

3 Globaler Temperaturabfall

Die globalen Temperaturen fallen rapide und löschen die menschengemachte globale Erwärmung der letzten Jahrzehnte aus.

4 Kollaps der Lebensmittelproduktion

Die landwirtschaftliche Produktion bricht zusammen. Verfügbare Lebensmittelkalorien sinken weltweit.

5 Weltweite Hungerkatastrophe

Das Horten von Lebensmitteln und der Stopp der Lebensmittelexporte verursachen öffentliches Chaos und eine weltweite Hungersnot in einem nie dagewesenen Ausmaß.

Arsenale und Städte wachsen – die Brennstofflast auch

Die makabre Frage: „Wie viel Brennstoff gibt es, wenn eine Stadt Feuer fängt?“ taucht in allen Atomwaffensimulationen auf. „Brennstofflast“ ist der Begriff für sämtliches Material, das nach einer Nukleardetonation Feuer fangen kann, von Bäumen und Menschen bis zu Erdöl und Plastik. Aber die Aufsätze von Klimaforscher*innen und Physiker*innen waren schon bei der Veröffentlichung veraltet, denn die untersuchten Städte sind stetig größer und komplexer geworden. Die „Brennstofflast“ wuchs mit ihnen.

Die in diesen Szenarien prognostizierten unmittelbaren Folgen sind beispiellos. Es gäbe 50 bis 125 Millionen sofortige Todesfälle – innerhalb von Stunden oder Tagen gäbe es mehr Tote als während des gesamten Zweiten Weltkriegs.

In den 15 Jahren seit dem Erscheinen der ersten Studien hat sich viel verändert. Die Städte Südsiens sind etwas größer geworden und bieten im Fall eines Angriffs mehr Brennstoff. Auch die regionalen Atomarsenale sind gewachsen. Die genauen Einzelheiten zu Atomwaffenarsenalen sind streng gehütete Geheimnisse. Allerdings geht man heute davon aus, dass Indien und Pakistan jeweils über rund 150 Atomwaffen mit Größenordnungen von 5 bis 40 Kilotonnen (kt)

verfügen.^{15, 19} (China wird zwar im Modell nicht berücksichtigt, hat aber spannungsgeladene Grenzen zu beiden Staaten und besitzt etwa 350 Atomwaffen, darunter einige mit geringerer Sprengkraft, viele mit 200 – 300 kt – und eine Handvoll sehr schwerer Atomwaffen mit bis zu 5.000 kt.³³ Das nahegelegene Nordkorea besitzt 10 – 20 Atomwaffen unbekannter Größe und hat eine 100-kt-Bombe gezündet.³⁴)

In einem im September 2019 veröffentlichten Aufsatz simulierten Toon et al. eine Reihe neuer Szenarien, bei denen diese Änderungen berücksichtigt werden. Simuliert wurden 250 Nukleardetonationen – von Waffen mit 15, 50 oder 100 kt – und ein größeres, aber regionales Szenario mit 500 Nukleardetonationen von 100-kt-Waffen.³⁵

Szenario 1:
250 Atomexplosionen
mit je **15 kt**

Szenario 2:
250 Atomexplosionen
mit je **50 kt**

Szenario 3:
250 Atomexplosionen
mit je **100 kt**

Szenario 4:
500 Atomexplosionen
mit je **100 kt**

(Die dramatischsten Szenarien umfassen vielleicht mehr Atomwaffen, als Indien und Pakistan derzeit besitzen, aber die Verfasser haben bewusst das kontinuierliche Wachsen der Arsenale berücksichtigt. Bei einem Dreifachkonflikt mit Chinas Beteiligung wäre natürlich die Zahl von 500 Atomwaffen schnell erreicht. Und selbst dieses schwerste und spekulativste Szenario würde weniger als 4% des weltweiten Atomwaffenarsenals einbeziehen. Abbildung 2 zeigt einen Vergleich dieser Szenarien mit der Sprengkraft der nationalen Arsenale.)

Die in diesen Szenarien prognostizierten unmittelbaren Folgen sind beispiellos. Es gäbe 50 bis 125 Millionen sofortige Todesfälle – innerhalb von Stunden oder Tagen gäbe es mehr Tote als während des gesamten Zweiten Weltkriegs.

Auch die Auswirkungen auf das Klima sind in allen Szenarien immens.

Das kleinste modellierte Szenario, ein Schlagabtausch mit 250 Waffen zu 15 kt, würde 16 Tg Ruß und eine durchschnittliche globale Abkühlung um 2,5°C erzeugen. (Zur Erinnerung: Die katastrophalen Szenarien der hier zitierten früheren Abhandlungen aus Zeiten kleinerer Arsenale betrachteten geringere Schlagabtausche und prognostizierten rund 5 Tg Ruß und eine Abkühlung um etwa 1,3°C.)

Die größeren Szenarien sind schlimmer.

Ein Krieg mit 50 kt Waffen würde 27 Tg Ruß und eine Abkühlung um 4,5°C erzeugen.

Ein Krieg mit 100 kt Waffen würde 37 Tg Ruß und eine Abkühlung um 5,5°C erzeugen.

Im schwerwiegendsten regionalen Szenario auf dem indischen Subkontinent würde ein Krieg mit 500 Atomwaffen zu je 100 kt 47 Tg Ruß und eine Abkühlung um 6,5°C erzeugen.

Zur Einordnung: Während der letzten Eiszeit war es etwa 6°C kälter als heute.

Zur Einordnung: Während der letzten Eiszeit, als unsere Vorfahren sich mit Wollhaarmammuts und Säbelzähntigern herumschlugen, war es etwa 6°C kälter als heute. Die Abkühlung wäre zwar global, aber die Temperaturstürze in Nordamerika, Europa und Asien wären noch drastischer. Weltweit würden die Niederschläge abnehmen und die Vegetationsperioden kürzer werden.

Alle genannten Szenarien betreffen Kriege zwischen Atomwaffenstaaten der zweiten Ebene und umfassen einen kleinen Teil des weltweiten Atomarsenals.

Inzwischen gehen Wissenschaftler*innen weiter und modellieren auch einen Atomkrieg in großem Maßstab zwischen den USA und Russland. Eine 2019 veröffentlichte Abhandlung untersuchte Simulationen des NASA Goddard Institute for Space Studies, die zeigte, dass ein solches Ereignis nicht fünf Millionen und auch nicht 16 Millionen Tonnen Ruß erzeugen würde – sondern 150 Millionen Tonnen. Die Folge wären für den Großteil der nördlichen Hemisphäre jahrelange Sommer mit Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts.¹⁰ Zusätzlich zu den Steigerungsszenarien „begrenzter“ Kriege auf dem indischen Subkontinent modellierten Toon und Kolleg*innen einen großen Krieg zwischen USA und Russland und kamen zu denselben Schlussfolgerungen. Xia und Kolleg*innen rechnen in ihrer August 2022 in Nature Food erschienenen Analyse vor, dass der daraus folgende abrupte Mangel an verfügbaren Kalorien den Großteil der Weltbevölkerung töten würde.

Szenario 1:
16 Tg Ruß und globale
Abkühlung von **2,5°C**

Szenario 2:
27 Tg Ruß und globale
Abkühlung von **4,5°C**

Szenario 3:
37 Tg Ruß und globale
Abkühlung von **5,5°C**

Szenario 4:
47 Tg Ruß und globale
Abkühlung von **6,5°C**

Nukleare Hungersnot

Nach einem regionalen Atomkrieg hätten es Gesellschaften überall auf der Welt schwer, sich an einen nun dunklen, kalten und unwirtlichen Planeten anzupassen. Xia et al. erläutern das in Nature Food im Detail.

Als Ausgangspunkt nahmen sie die in den Szenarien von Toon und Kolleg*innen 2007 und 2019 projizierten Rußeinträge und globalen Abkühlungen und simulierten dann die Auswirkungen des die Sonne verdunkelnden Rußes auf die Erträge der Meeresfischerei und der wichtigsten Nahrungspflanzen (Reis, Weizen, Mais und Sojabohnen).

Ergebnis wäre eine nie dagewesene weltweite Hungersnot. Bei jedem Szenario würden die insgesamt verfügbaren Nahrungskalorien über die folgenden sieben bis acht Jahre dramatisch abfallen. Selbst das kleinste modellierte Szenario verzeichnet den größten Abfall der weltweiten Nahrungsproduktion seit Aufzeichnungsbeginn der Vereinten Nationen. Die größte Abnahme bei Pflanzenbau und Fischerei würde in den oberen Breitengraden der nördlichen Hemisphäre stattfinden: Kanada, den USA und großen Teilen von Europa, Russland und China. (Die Bevölkerung im Nahen Osten, Afrika und Ostasien ist von Nahrungsmittelimporten aus diesen Regionen abhängig.)

Bei dem Szenario eines Kriegs zwischen Indien und Pakistan mit 15-kt-Waffen würden die verfügbaren Kalorien aus den wichtigsten

Nahrungspflanzen und der Fischerei weltweit um rund 23% abfallen. Beim Szenario mit 50-kt-Waffen würden die verfügbaren Kalorien um 33% abfallen. Beim Szenario mit 100-kt-Waffen würden die verfügbaren Kalorien um 41% abfallen. Und beim extremen Szenario mit 500 Waffen zu 100 kt – noch einmal, „extrem“ bezeichnet immer noch einen rein regionalen Konflikt, bei dem die überwiegende Mehrheit der weltweiten Atomwaffen nicht zum Einsatz kommt – fallen die insgesamt verfügbaren Kalorien um 48%.

Es ist wichtig anzumerken, dass „verfügbare“ Nahrung nicht dasselbe ist wie „zugängliche“ Nahrung, also Essen, das die Leute tatsächlich auf dem Tisch haben. Gerade in Zeiten der Knappheit wird verfügbare Nahrung nie gleichmäßig innerhalb der Länder oder unter ihnen aufgeteilt. Selbst bei leicht abnehmender Verfügbarkeit gibt es überall Hamsterkäufe und Preissteigerungen.

Bei der großen Hungersnot in Bengalen 1943 zum Beispiel sank die Menge verfügbarer Nahrung nur um 5% – aber das zog Panikkäufe nach sich, die Lebensmittelpreise stiegen rasant und drei

Um wie viel würden sich die verfügbaren Kalorien aus den wichtigsten Nahrungspflanzen und der Fischerei weltweit in den folgenden Atomkriegsszenarien zwischen Indien und Pakistan reduzieren?

250 15 kt
Atomwaffen



250 50 kt
Atomwaffen



250 100 kt
Atomwaffen



500 100 kt
Atomwaffen



Millionen Menschen verhungerten.²⁴ Und das bei einer Abnahme verfügbarer Nahrungsmittel um nur 5%. Man kann nur erahnen, wie ungleichmäßig lebenswichtige Nahrung in einer Welt verteilt würde, wo die verfügbare Menge um 23%, 33%, 41% oder 48% sinkt.

Die Gesellschaften weltweit würden verzweifelte Maßnahmen ergreifen, um damit fertig zu werden. Es könnte zum Beispiel zu Massenschlachtungen von Vieh kommen, um Menschen im ersten Jahr zu ernähren und auch, um Tierfutter der menschlichen Ernährung zuzuführen; die Lebensmittelabfälle im Haushalt (rund 20%

im weltweiten Durchschnitt¹) könnten reduziert werden; unschmackhafte Fischarten könnten Teil des Speiseplans werden, und der Welthandel könnte zum Erliegen kommen, weil hungrige Länder danach streben würden, Nahrungsmittelexporte zu verhindern. Xia und Kolleg*innen haben auch Berechnungen zu vielen dieser verzweifelten Abhilfemaßnahmen angestellt. Aber sobald die weltweit verfügbare Nahrung um ein Viertel oder um die Hälfte abnimmt, hungern die Menschen, ganz gleich, wie klug sie verwalten.



Was bedeutet es, wenn die weltweit verfügbaren Gesamtkalorien um fast 50 % sinken?

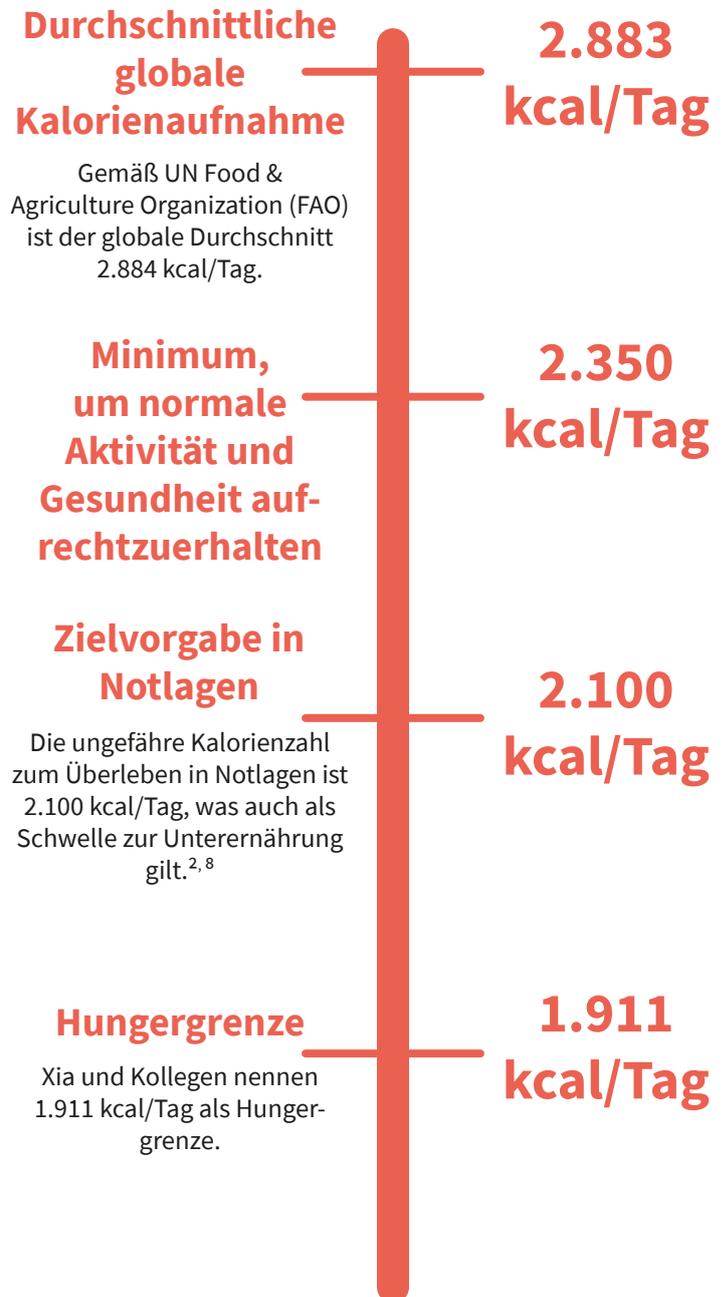
Der Kalorienbedarf ist sehr unterschiedlich je nach Alter, Geschlecht, Aktivität, Größe und eventuellen Erkrankungen. Laut der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) beträgt die globale durchschnittliche Kalorienzufuhr 2.884 kcal/Tag. Das Minimum zur Aufrechterhaltung von normaler Aktivität und Gesundheit liegt bei etwa 2.350 kcal/Tag; eine häufig genannte Zielvorgabe in Notlagen sind 2.100 kcal/Tag, das ist auch der von Hilfsorganisationen verwendete Schwellenwert zur Unterernährung.³⁶

Xia und Kolleg*innen setzen 1.911 kcal/Tag als Trennlinie zum Verhungern an. Sie rechnen vor – nicht nur weltweit, sondern auch nach Ländern – wie viele Menschen unweigerlich dauerhaft unterhalb dieser Zahl bleiben und Hungers sterben würden.

Es ist ein abgestuftes Modell – wie oben erwähnt, werden auch verzweifelte Maßnahmen berücksichtigt wie der Verzehr von Tierfutter, unschmackhaftem Fisch und Lebensmittelabfällen. Aber wie ebenfalls erwähnt werden nur Missernten aufgrund von die Sonne verdunkelndem Ruß und die damit verbundene globale Abkühlung modelliert. Weitere wichtige Aspekte bleiben unberücksichtigt, wie die Auswirkungen des radioaktiven Niederschlags durch den Atomkrieg auf die verfügbare Nahrung oder die menschliche Gesundheit, oder die erhöhte UV-Strahlung durch die wahrscheinliche Ozonschädigung, oder die wirtschaftlichen Verwerfungen durch den Zusammenbruch von Lieferketten oder der öffentlichen Ordnung. Das Modell liefert also nur ein unvollständiges Bild der Monate bis Jahre nach einem regionalen Atomkrieg und unterschätzt womöglich die nachfolgenden Missernten und Massenhungersnöte.

Auch davon abgesehen sind die prognostizierten Ergebnisse schlicht grauenhaft (siehe Tabelle 2).

Xia und Kolleg*innen errechnen, dass bis zum zweiten Jahr nach einem mittelgroßen „regionalen“ Atomkrieg – also ein Krieg, bei dem ein Bruchteil des riesigen weltweiten Arsenal zum Einsatz kommt – rund 2,1 Milliarden Menschen



verhungern würden, viele davon auf der anderen Seite der Erde, weit weg vom Kriegsgebiet. Ein größerer „regionaler“ Krieg – wobei wiederum nicht die riesigen Arsenale der USA oder Russlands zum Einsatz kämen, aber ein erheblicher Teil der kleineren Bestände von Atommächten der zweiten Ebene (wie Indien, China, Pakistan, Israel, Großbritannien oder Frankreich) – würde rund 2,5 Milliarden Menschen töten.

Tabelle 2: Hungertote (in Millionen) bis zum Ende des zweiten Jahres nach simulierten Atomkriegsszenarien

Geht davon aus, dass Vieh geschlachtet, Tierfutter für den menschlichen Verzehr umgeleitet und der internationale Lebensmittelhandel gestoppt wurde. Beinhaltet keine Todesfälle im Zusammenhang mit Ozonabbau, Strahlung oder direkt durch den Krieg selbst.

Nation (Bevölkerung in Millionen in 2010)	Vorläuferszenario: 100 kleine Waffen (15 kt) werden gezündet, erzeugen 5 Tg Ruß und führen zu einer globalen Abkühlung von -1,3 °C.	Szenario 1: 250 kleine (15 kt) Waffen werden gezündet, erzeugen 16 Tg Ruß und führen zu einer globalen Abkühlung von -2,5 °C.	Szenario 2: 250 mittelgroße (50 kt) Waffen werden gezündet, erzeugen 27 Tg Ruß und führen zu einer globalen Abkühlung von -4,5 °C.	Szenario 3: 250 größere (100 kt) Waffen werden gezündet, erzeugen 37 Tg Ruß und führen zu einer globalen Abkühlung von -5,5 °C.	Szenario 4: 500 größere (100 kt) Waffen werden gezündet, erzeugen 47 Tg Ruß und führen zu einer globalen Abkühlung von -6,5 °C.	Szenario 5: Ein globaler Atomkrieg erzeugt 150 Tg Ruß mit jahrelangen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt im Sommer.
Weltweit (6.703)	335,5	1.122,4	1.579,3	2.238,8	2.675,3	5.413
Australien (22,4)	0	0	0	0	0	0
Österreich (8,4)	0	3,1	4	7,4	7,2	8,4
Brasilien (195,2)	0	0	0	0	0	54
Kanada (34)	0	7,5	29,2	33,6	33,7	34
China (1.367,4)	25,2	558,4	821,9	1.031,9	1.117,3	1.362,3
Finnland (5,4)	1,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
Deutschland (83)	0	0	0	61,7	63,9	82,9
Indien (1,205,6)	0	0	0	0	97,1	731,1
Iran (74,5)	0	5,2	17	20,4	23,5	73
Irland (4,5)	0	0,6	1	1,7	2,9	4,4
Israel (7,4)	5	5,1	5,2	5,3	5,6	7,1
Italien (60,5)	0,2	5,3	13,3	28,4	26,9	59,4
Japan (127,4)	79,2	102,8	112,2	119,1	121,9	125,6
Kenia (40,9)	5,7	11,6	13,4	16,8	19,9	35,5
Mexico (117,9)	0	18,3	34,9	44,2	61	109,9
Niederlande (16,6)	1,7	7,5	7,5	10,8	13,7	16,5
Nord Korea (24,5)	6,3	22,2	22,7	24,4	24,4	24,5
Norwegen (4,9)	3,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,8
Pakistan (173,1)	0	0	0	11,1	14,7	140,4
Polen (38,2)	0	0	0	33,9	32,5	38,1
Russland (143,6)	0	78,4	114,7	125,4	125,8	142
Süd Afrika (51,5)	0	2,1	8	14,1	20	42,8
Schweden (9,4)	1,2	6,7	9,2	9,3	9,3	9,3
Groß Britannien (62,3)	0	18,4	26	39	50,5	62,2
USA (312,2)	0	0	0	131,1	217,8	309,6

Angepasst von Toon et al 2007, Toon et al 2019, and Xia et al 2022.

Man beachte die großen regionalen Unterschiede bei den daraus resultierenden Hungertoten: Die stärksten Kalorienreduzierungen aufgrund einer abrupten Abkühlung nach einem Atomkrieg finden sich in den hohen Breitengraden der nördlichen Hemisphäre. Länder wie Kanada, Finnland, Norwegen und Schweden wären daher stark betroffen.

In den mittleren bis hohen Breitengraden, darunter China, Japan, Russland, die Vereinigten Staaten und Europa, ist die Nahrungsmittelproduktion ebenfalls stark rückläufig. In südlicheren Ländern wie Australien, Brasilien, Südafrika, Indien und Pakistan sind die Auswirkungen auf die lokale Landwirtschaft jedoch weniger direkt.

Es mag verwirrend sein, dass die Zahl der Hungertoten in Indien und Pakistan bei Null liegt – in Szenarien, die einen Atomkrieg zwischen Indien und Pakistan simulieren! Wie kann es Indien und Pakistan so gut gehen, während weit entfernte Orte wie Mexiko und Japan durch ihren Krieg verwüstet werden? Die Erklärung ist, dass das Modell nur klimabedingte Veränderungen berücksichtigt. Das Modell berücksichtigt nicht, dass Indien und Pakistan durch direkte Auswirkungen des Krieges verwüstet wären. (Mit der gleichen Logik legt das Modell jedoch nahe, dass ein Krieg vergleichbarer Größe anderswo, z. B. ein begrenzter Atomkrieg zwischen der NATO und

Russland, in Indien und Pakistan weniger landwirtschaftliche Depressionen verursachen würde als in nördlicheren Ländern).

Es gibt noch weitere Nuancen: Große Agrarexporteure, wie die Vereinigten Staaten, Kanada und Australien oder Nationen mit großen Viehbeständen – wiederum z. B. die Vereinigten Staaten – sind besser in der Lage, anfänglich die drastische Lage zu überstehen, indem sie alle Lebensmittelexporte stoppen, den gesamten Viehbestand konsumieren und Viehfutter für den menschlichen Verzehr umleiten. Große Agrarimporteure, von Kenia bis Norwegen, leiden entsprechend.

Einige Länder verfügen über eine so glückliche Kombination aus Standort und widerstandsfähigen landwirtschaftlichen Erzeugnissen, dass sie selbst schreckliche Weltereignisse zu überstehen scheinen. Das Klima-Agrar-Modell zeigt, dass insbesondere Australien einen dunkleren, kühleren Planeten verträgt. Aber auch hier gilt: Das Modell berücksichtigt viele Auswirkungen nicht, darunter den radioaktiven Niederschlag eines benachbarten Krieges, die Zerstörung der Ozonschicht und mögliche laufende Militäroperationen. Wie Xia et al in *Nature Food* anmerken, ist es im Falle einer weltweiten Hungersnot nicht schwer, „sich eine Flotte hungriger Flüchtlinge aus Asien und anderen Regionen vorzustellen, die nach Australien und Neuseeland strömen.“



Länder, die am stärksten von der nuklearen Hungersnot betroffen sind.

Orange hervorgehoben sind die Länder, die im Verhältnis zu ihrer Bevölkerung die höchsten Sterberaten aufweisen würden. Dies basiert auf Szenario 3: 250 100 kt-Waffen. Wie bei den Szenarien in Tabelle 2 sind auch hier Todesfälle aufgrund von Ozonabbau, Strahlung oder direkt durch den Krieg selbst nicht berücksichtigt.

Minuten trennen uns von der Katastrophe

Dieser Artikel befasst sich mit der jüngeren Literatur zur Bedrohung der öffentlichen Gesundheit weltweit durch einen regionalen Atomkrieg. Unabhängig davon gibt es aber auch sehr beunruhigende Literatur dazu, wie es zu einem solchen Krieg kommen könnte – nach nur wenigen Minuten Beschlussfindung durch Staatsoberhäupter oder sogar aus Versehen.

Große Teile der weltweiten Atomarsenale sind in Minuten abschussbereit, als Reaktion auf Computerwarnungen über einen Atomangriff.^{37,38} Dieses Vorgehen wird unterschiedlich bezeichnet, als Atomwaffen in hoher Alarmbereitschaft, Abschuss nach Warnung (Launch on Warning) oder Hair-Trigger Alert (zum sofortigen Abschuss bereit).

In den USA wird der Hair-Trigger Alert seit langem als leichtsinnig und gefährlich kritisiert, nicht nur von Akademiker*innen oder Friedensaktivist*innen, sondern auch von vielen, die auf höchster Ebene des nationalen Sicherheitsstaats gedient haben.

Während seiner Präsidentschaftskandidatur bezeichnete George W. Bush das Vorhalten von Atomwaffen „in hoher Alarmbereitschaft, im Hair-Trigger-Status“ als „unnötiges Überbleibsel des Kalten Kriegs“, das „inakzeptable Risiken eines versehentlichen oder unberechtigten Abschusses berge.“³⁹

Barack Obama kritisierte als Präsidentschaftskandidat die Hair-Trigger-Strategie als „gefährliches Relikt des Kalten Kriegs“, das „die Gefahr katastrophaler Unfälle oder Fehlberechnungen steigert.“ Nach seiner Wahl 2008 war auf der Website des Präsidenten zu lesen: „Die Vereinigten Staaten und Russland haben tausende Atomwaf-

fen im Hair-Trigger Alert. Barack Obama ist überzeugt, dass wir den Hair-Trigger Alert für unsere Atomwaffen beenden sollten.“³⁹

Große Teile der weltweiten Atomarsenale sind in Minuten abschussbereit.

Hochrangige nationale Sicherheitsbeamte haben die Strategie wiederholt verurteilt. Der Hair-Trigger Alert wurde durch einen ehemaligen CIA-Direktor als veraltet und „reiner Wahnsinn“ bezeichnet und durch einen früheren NSA-Chef als „absurd“. Ein ehemaliger Leiter der gesamten US-Nuklearstreitkräfte hat vor dem Kongress kundgetan, dieser müsse verlangen, dass das Pentagon den Hair-Trigger Alert für die Waffen beendet. Ein anderer ehemaliger Leiter der gesamten US-Atomstreitkräfte hat den Amerikaner*innen geraten, inbrünstig zu Gott zu beten, dass solche Strategien abgeschafft werden.³⁹

Und doch befinden sich die Waffen der USA bis zum heutigen Tag im Hair-Trigger Alert. Das ist so, trotz zahlreicher versehentlicher Beinahe-Abschüsse, zunehmender Bedenken zur Cybersicherheit der Befehls- und Kontrollsysteme und einer Reihe entsetzter US-Präsidenten, Generäle, Admiräle und Geheimdienstleiter.

Wie im Bulletin of the Atomic Scientists (Berichtsblatt der Atomwissenschaftler*innen; freie Übersetzung in Anlehnung an den englischen Originaltext) zu lesen ist:

Auf Ebene des Präsidenten fördert der Status „Launch on Warning“ hastige Fehleinschätzun-

gen unter dem größten vorstellbaren Druck. Präsident Reagan war entsetzt über den Zeitdruck. (Er sagte, er habe sechs Minuten, um zu entscheiden.) Präsident George W. Bush beschwerte sich, er könne nicht einmal rechtzeitig „vom Scheißhaus“ kommen, um einen „Abschuss nach Warnung“ zu genehmigen. Präsident Obama fand, es sei Wahnsinn, einen Präsidenten anhand dermaßen unvollständiger Informationen zu einer so hastigen Entscheidung zu zwingen, ob ein Gegenangriff angezeigt ist und über dessen Art und Umfang.

Die Risiken eines versehentlichen Atomkriegs oder eines unüberlegten sofortigen Abschusses, der zu einem regelrechten Atomkrieg eskaliert, sind so offensichtlich und nervenzermürend, dass das Pentagon im Kalten Krieg große Anstrengungen unternahm, um die amerikanische Öffentlichkeit im Dunkeln zu halten ... Es breitete einen dicken Teppich der Geheimhaltung über die tiefgehenden Bedenken von Präsidenten und anderen leitenden Beamten, die zahlreichen Fehlalarme über Feindangriffe (auf beiden Seiten) und die Panik und Verwirrung, die als Reaktion auf diese Vorfälle in der Befehls- und Kontrollkette und den Frühwarnzentren auftraten.³⁸

Das beschreibt die Situation in den USA, einem demokratischen Staat, der Vorreiter bei Atomwaffen und der modernen Strategie eines Atomkriegs war. Es gibt aber keinen Grund zur Annahme, dass der Umgang mit Atomwaffen in Russland, Indien, Pakistan oder anderswo sehr viel anders aussieht.

Russland etwa hält nicht nur Atomwaffen im Hair-Trigger Alert, sondern hat sogar ein System mit dem Codenamen Perimeter gebaut (umgangssprachlich bekannt als die „Tote Hand“), das bei einer großen Atomexplosion in Moskau von einem Enthauptungsschlag durch die USA ausgeht und reagiert, indem die Tote Hand einen Vergeltungsschlag gegen den angenommenen Feind startet.^{40,41} Entworfen wurde das System durch einen hochrangigen sowjetischen Ingenieur, Valeri Jarinitsch, der später im Leben schwerwiegende Bedenken hatte. Wie die Washington Post 2012 in Jarinitschs Nachruf schrieb: „Es kamen ihm Zweifel, ob es klug sei, bei der atomaren Abschreckung die Strategie der entscherten Pistole zu verfolgen, den sogenannten Hair-Trigger Alert ... er fürchtete, das könne

zu einem versehentlichen oder unbeabsichtigten Abschuss führen ... Er legte seine Gedankengänge unermüdlich dar, aber die Regierungen waren nicht interessiert.“⁴¹

Und Russland hat vermutlich nicht als einziges Land ein automatisches System für den letzten Atemzug. Laut dem Atomwaffenexperten Daniel Ellsberg ist es „äußerst wahrscheinlich, dass ... es in jedem zweiten Atomwaffenstaat Tote-Hand-Systeme oder Vorkehrungen gibt.“⁴⁰

Wenn dem so ist, könnte eine einzige Atomexplosion in einer Landeshauptstadt wie Islamabad oder Neu Delhi eines der hier geschilderten Szenarien auslösen. Es ist sogar vorstellbar, dass ein regionaler Atomkrieg mit Milliarden potenziellen Todesopfern durch eine Panne ausgelöst wird – wie Indiens Abschuss eines unbewaffneten (aber atomwaffenfähigen) Marschflugkörpers am 9. März 2022 tief ins pakistanische Staatsgebiet. Das indische Verteidigungsministerium gab an, Grund für das Vorkommnis sei ein „technischer Defekt“ während „routinemäßiger Wartungsarbeiten“ gewesen.⁴² Wäre die Rakete aber nuklear bestückt gewesen – oder wäre Pakistan vom Schlimmsten ausgegangen und hätte einen Gegenschlag ausgelöst – wäre das Leben, wie wir es kennen, im März 2022 beendet gewesen, allein aufgrund einer „routinemäßigen Wartung“ von Hair-Trigger-Atomarsenalen.

Abbildung 2: Vergleich der Sprengkraft

Bomben, die Tokio zerstörten: 1,5 Kilotonnen

Atombombe, die Hiroshima zerstörte: 15 Kilotonnen

Regionales Atomkriegsszenario 1: 250 Atombomben mit je 15 Kilotonnen

Alle Geschütze, die im Zweiten Weltkrieg eingesetzt wurden, hohe Schätzung

Regionales Atomkriegsszenario 2: 250 Atombomben mit je 50 Kilotonnen

Ausrüstung eines einzelnen U-Bootes der Klasse U.S. Ohio

Ausrüstung aller 5 russischen U-Boote der Klasse Borei

Chinas Atomwaffenarsenal

Ausrüstung aller 14 U-Boote der Klasse U.S. Ohio

US Atomwaffenarsenal

Russlands Atomwaffenarsenal

Weltweite Atomwaffenarsenale

• = 1.000
Kilotonnen
Sprengkraft
auf das Nächste gerundet

Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit

Ein begrenzter Atomkrieg würde nicht zum Aussterben der Menschheit führen. Aber er wäre mit großer Sicherheit das Ende der modernen Zivilisation. Eine Abfolge von „Jahren ohne Sommer“, mit Missernten, Hamsterkäufen und massenhafter Hungersnot würden alles auf den Kopf stellen, vom Welthandel bis zur öffentlichen Sicherheit und Ordnung. Keine Zivilisation konnte bisher einem Schock dieser Größenordnung standhalten. Es gibt allen Grund anzunehmen, dass die wirtschaftlichen, politischen und technischen Systeme, die für uns selbstverständlich sind, zusammenbrechen würden.

Xia und Kolleg*innen errechnen die Anzahl der unmittelbaren Opfer und die Anzahl der Hungertoten nach zwei Jahren durch einen „regionalen“ Atomkrieg moderater Größe. Auch ein Krieg, in dem nur ein kleiner Anteil des immensen weltweiten Arsenalen genutzt wird, würde bis zu 2,2 Milliarden Menschen weltweit töten, selbst in entlegenen Regionen der Erde.

Frühere Studien, die sich mit dem Einsatz kleinerer Atombomben befassten, gingen von bis zu zwei Milliarden Menschen aus, die durch die globale Abkühlung und Ernteausschlägen die sogar durch einen begrenzten regionalen Krieg vom Hungertod bedroht wären. Die neueren Studien modellieren Explosionen mit größerer Sprengkraft, die größere Städte in Brand setzen. Sie kalkulieren größere Faktoren, wie den Zusammenbruch der Wirtschaft, die Beschädigungen der Ozonschicht und die Auswirkungen der Strahlung, auch weiterhin nicht mit ein. Und dennoch übertreffen ihre Vorhersagen bisherige

Berechnungen. Xia und Kolleg*innen errechnen die Anzahl der unmittelbaren Opfer und die Anzahl der Hungertoten nach zwei Jahren durch einen „regionalen“ Atomkrieg moderater Größe. Auch ein Krieg, in dem nur ein kleiner Anteil des immensen weltweiten Arsenalen genutzt wird, würde bis zu 2,2 Milliarden Menschen weltweit töten, selbst in entlegenen Regionen der Erde. Ein größerer „regionaler“ Atomkrieg – der immer noch nicht den massiven Umfang des russischen oder amerikanischen Arsenalen ins Spiel bringt, aber eine signifikante Menge eines Arsenalen einer zweitrangigen Atommacht (wie z. B. Indien, China, Pakistan, Israel, das Vereinigte Königreich oder Frankreich) – würde um die 2,6 Milliarden Menschen töten. (siehe Tabelle 2)

Eine Argumentation besagt, so offensichtlich Schreckliches würde niemals zugelassen werden. Ärzt*innen kennen diese Art von magischem Denken gut – von Patient*innen mit Realitätsverweigerung. Alle Ärzt*innen wissen, dass lebensbedrohliche Krankheiten wie Bluthochdruck oder Darmkrebs jahrelang unsichtbar bleiben und ignoriert werden können – dass sie aber bei Erkennung behandelbar sind und so eine Katastrophe vermieden wird.

Im Fall eines Atomkriegs gibt es keine wirksame Behandlung. Wir müssen uns auf die Prävention konzentrieren. Und der einzige Weg, sicherzustellen, dass Atomwaffen niemals eingesetzt werden, ist, sie komplett abzuschaffen. Der von der UN-Generalversammlung am 7. Juli 2017 verabschiedete Atomwaffenverbotvertrag, der am 22. Januar 2021 in Kraft trat, bietet eine rechtliche und moralische Grundlage zur Abschaffung von Atomwaffen. Folglich stellen wir im Interesse der öffentlichen Gesundheit Daten über diese potenzielle Bedrohung für die Menschheit als Spezies vor.

Das Heilmittel heißt Prävention. Die Prävention besteht darin, auf Atomwaffen zu verzichten und sie abzuschaffen.

Tabelle 3: Studien zur Nuklearen Hungersnot

Studie nach Autor(en) & Jahr	Studiendesign	Zusammenfassung
Crutzen und Birks, 1982	Betrachtete mögliche Auswirkungen von großflächigen Stadt- und Waldbränden nach einem großen Atomkrieg.	Kommt zu dem Schluss, dass das Potenzial für großflächige Brände mit Rußproduktion unterschätzt wird. Voraussichtlicher Abbau der Ozonschicht und globale Abkühlung.
Alexandrov und Stenichkov, 1983	Modellierung potenzieller Klimaauswirkungen eines Atomkriegs unter Verwendung von Supercomputern an der Sowjetischen Akademie der Wissenschaften.	Nach einem Atomkriegsszenario wurde eine signifikante und anhaltende Abkühlung der nördlichen Hemisphäre festgestellt.
Turco et al., 1983	Modellierte potenzielle Auswirkungen verschiedener Atomkriegsszenarien auf die Atmosphäre und das globale Klima.	„Bei vielen simulierten Nuklearabschlägen von mehreren tausend Megatonnen, bei denen Staub und Rauch erzeugt werden und die Erde innerhalb von 1 bis 2 Wochen umkreisen, können die durchschnittlichen Lichtstärken auf wenige Prozent der Umgebung reduziert werden und die Landtemperaturen -15 bis -25 °C erreichen.“ Sogar „kleine“ Szenarien, die weniger als 1% der weltweiten Arsenale des Kalten Krieges nutzten, führten zu vielen Monaten globaler Abkühlung mit Temperaturen unter dem Gefrierpunkt sogar im Sommer.
Ehrlich et al., 1983	Betrachtete mögliche Auswirkungen eines groß angelegten Atomkriegs.	„Temperaturen unter dem Gefrierpunkt, schwache Lichtverhältnisse und hohe Dosen ionisierender und ultravioletter Strahlung, die sich nach einem groß angelegten Atomkrieg über viele Monate erstrecken, könnten die biologischen Unterstützungssysteme der Zivilisation zerstören ... das Aussterben der menschlichen Spezies selbst kann nicht ausgeschlossen werden.“
Robock et al., 1984	Betrachtete mögliche Auswirkungen eines groß angelegten Atomkriegs.	Schnee-/Eisrückkopplungen würden nach einem großen Atomkrieg zu einer länger andauernden Abkühlung führen, als ursprünglich angenommen.
Pittock et al., 1989	Dreibändiges, über 1.000 Seiten umfassendes Kompendium bisheriger Studien zu atmosphärischen und anderen Auswirkungen des Atomkriegs.	Ein groß angelegter Atomkrieg würde jahrelange Klimastörungen und den Zusammenbruch der Landwirtschaft mit sich bringen. Obwohl bei einem ersten Atomwaffenaustausch zig Millionen getötet werden könnten, könnte die Zahl der Hungertoten in den kommenden Monaten und Jahren um ein Vielfaches höher sein.
Toon et al., 2007	Bahnbrechende Studie über die Auswirkungen eines kleineren oder regionalen Atomkriegs, in diesem Fall zwischen Indien und Pakistan. Modellierte Verluste, Schäden, radioaktiven Fallout und Raumentwicklung nach einem regionalen Austausch von 100 Atomwaffen von 15 Kilotonnen. (Die damals modellierte Gesamtmenge von 15 Mt entsprach 0,1% der Sprengkraft des weltweiten nuklearen Arsenal).)	5 Tg Ruß würden in die hohe Atmosphäre eingetragen. Es würde Millionen von unmittelbaren Opfern geben, die mit der Zahl der Todesopfer des gesamten Zweiten Weltkriegs konkurrieren würden. Ruß in hoher Atmosphäre würde wahrscheinlich die Ozonschicht stören. Radioaktiver Fallout würde dazu führen, dass große städtische Gebiete verlassen werden müssten für Jahrzehnte.
Robock et al., 2007	Modellierte mögliche Auswirkungen auf das Klima durch die von Toon et al., 2007 vorhergesagten 5 Tg Ruß.	Die globale durchschnittliche Oberflächenabkühlung von 1,25°C hält Jahre an. Eine dramatischere Abkühlung von „mehreren Grad Celsius“ tritt lokal über Nordamerika und Eurasien auf. Der globale durchschnittliche Niederschlag sinkt um 10%. „Die Abkühlung im Jahrzehnt nach [dem kleinen Atomkriegsszenario] ... ist fast doppelt so groß wie die globale Erwärmung des vergangenen Jahrhunderts ... und würde zu Temperaturen führen, die kühler sind als in der vorindustriellen Kleinen Eiszeit.“
Mills et al., 2008	Modellierte mögliche Auswirkungen auf die Ozonschicht aus dem Szenario eines Krieges mit 100 Atomwaffen von 15 Kilotonnen.	Globaler Rückgang von 20% des Ozons. Über den hohen nördlichen Breiten, einschließlich Russland, Europa, Kanada und den Vereinigten Staaten, 50-70% Abnahme der Ozonschicht.
Ozdogan et al., 2012	Modellierte mögliche Auswirkungen auf die Mais- und Weizenproduktion in den USA durch die von Toon et al., 2007 vorhergesagten 5 Tg Ruß.	Zeigte, dass die Mais- und Weizenproduktion über einen Zeitraum von 10 Jahren im Durchschnitt um 10% pro Jahr zurückging, mit jährlichen Rückgängen von ~ 20%. UV-Schäden durch Ozonabbau oder Auswirkungen täglicher Temperaturextreme auf die Ernteerträge wurden nicht berücksichtigt.
Xia and Robock, 2012	Modellierte mögliche Auswirkungen auf die chinesische Reisproduktion durch die von Toon et al., 2007 vorhergesagten 5 Tg Ruß.	Zeigte, dass die Reisproduktion über 10 Jahre im Durchschnitt um 15% pro Jahr zurückginge, mit einem durchschnittlichen Rückgang von mehr als 20% pro Jahr in den ersten 4 Jahren.
Xia et al., 2013	Modellierte mögliche Auswirkungen auf das Klima und die landwirtschaftliche Produktion in China durch die von Toon et al., 2007 vorhergesagten 5 Tg Ruß.	Die Mais-, Reis- und Weizenproduktion würde im unmittelbar darauf folgenden Jahr um 20%, 29% bzw. 53% zurückgehen. Diese Verringerung der Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln würde mit allmählich abnehmender Amplitude mehr als ein Jahrzehnt andauern ... ein Atomkrieg, der viel weniger als 1% des derzeitigen globalen Arsenal verbraucht, könnte eine globale Nahrungsmittelkrise auslösen und eine Milliarde Menschen der Gefahr einer Hungersnot aussetzen.

Fortsetzung Tabelle 3: Studien zur Nuklearen Hungersnot

Studie nach Autor(en) & Jahr	Studiendesign	Zusammenfassung
Stenke et al., 2013	Verwendete ein anderes Klimamodellierungssystem, um Ergebnisse von Klimamodellen zu validieren oder zu entkräften, die von Toon, Robock, Mills verwendet wurden, um die Auswirkungen eines Krieges mit 100 Atomwaffen von 15 Kilotonnen zu untersuchen.	Zusammenfassend bestätigt diese Studie, obwohl sie ein anderes chemisches Klimamodell verwendet, die früheren Untersuchungen in Bezug auf die atmosphärischen Auswirkungen.
Helfand, 2013	Literaturrecherche bisheriger Studien zur Auswirkung eines kleineren oder regionalen Atomkriegs auf das Weltklima und die Nahrungsmittelversorgung.	„Erhebliche, anhaltende landwirtschaftliche Defizite über einen längeren Zeitraum würden mit ziemlicher Sicherheit zu Panik und Horten auf internationaler Ebene führen, da Lebensmittel exportierende Nationen ihre Exporte einstellen, um eine angemessene Nahrungsmittelversorgung für ihre eigene Bevölkerung sicherzustellen. ... Die Zahl der Menschen, die durch eine nukleare Hungersnot bedroht sind, würde weit über zwei Milliarden betragen.“
Mills et al., 2014	Aktualisierte frühere Modelle der Auswirkungen auf Klima und Ozon eines Krieges mit 100 Atomwaffen von 15 Kilotonnen.	„Globale Ozonverluste von 20–50 % über besiedelten Gebieten, ein in der Menschheitsgeschichte beispielloses Niveau, würden die kältesten durchschnittlichen Oberflächentemperaturen der letzten 1.000 Jahre begleiten, was zu weit verbreiteten Schäden für menschliche Gesundheit, Landwirtschaft sowie terrestrische und aquatische Ökosysteme führen würde. Fröste würde die Vegetationsperioden um 10–40 Tage pro Jahr für 5 Jahre verkürzen. Die Oberflächentemperaturen würden für mehr als 25 Jahre sinken ...“
Reisner et al., 2018	Verwendete proprietäre (und nicht allgemein verfügbare) Computermodelle in den Los Alamos National Labs, um die Klimaauswirkungen eines Krieges mit 100 Atomwaffen von 15 Kilotonnen vorherzusagen.	Computermodelle der US-Atomwaffenlabore stimmen darin überein, dass, wenn 5 Tg Ruß in die hohe Atmosphäre gelangen, die von Robock, Mills, Stenke vorhergesagten Klimaeffekte eintreten werden. Sie sagen aber, dass weniger Ruß erzeugt würde (3,7 Tg) und dass er nicht in die hohe Atmosphäre aufsteigen würde. „Unsere Analyse zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit einer signifikanten globalen Abkühlung durch ein begrenztes Austauschszenario, wie es in früheren Studien vorgesehen war, höchst unwahrscheinlich ist, eine Schlussfolgerung, die durch die Untersuchung natürlicher Analoga wie große Waldbrände und Vulkanausbrüche gestützt wird.“
Toon et al., 2019	Aktualisierte frühere Modelle der Auswirkungen eines regionalen Atomkriegs zwischen Indien und Pakistan auf das Klima, um größere nationale Arsenale und größere Treibstofflasten in den Megastädten der Region widerzuspiegeln. Betrachtet wurden 4 Szenarien: Austausch von 250 Waffen mit jeweils 15 kt, 50 kt oder 100 kt; und Austausch von 500 Waffen zu je 100 kt.	Eskalierende Szenarien führten zu immer größeren Rußinjektionen in die Atmosphäre von 16 Tg, 27 Tg, 37 Tg und 47 Tg mit einer entsprechenden globalen durchschnittlichen Abkühlung von 2,5 °C, 4,5 °C, 5,5 °C, 6,5 °C.
Coupe et al., 2019	Aktualisierte frühere Vorhersagen der Klimaauswirkungen eines totalen Atomkriegs zwischen Russland und den Vereinigten Staaten unter Verwendung von Computermodellen des NASA Goddard Space Center.	„Es gibt einen echten nuklearen Winter ... Starker Frost, bei dem die Temperaturen unter -4 °C fallen, würde im Sommer in den Jahren 2 und 3 auftreten, was den Anbau von Feldfrüchten in den Vereinigten Staaten und Russland unmöglich macht. Die Ukraine, Polen und Deutschland würden ähnliche Schicksale erleiden, während in China nur der Südosten des Landes im Sommer über dem Gefrierpunkt bleiben würde.“
Jägermeyr et al., 2020	Verwendung von NASA-Computern zur Modellierung der Auswirkungen auf die globale Temperatur, den Niederschlag und die Nahrungsmittelproduktion nach einem Atomkrieg zwischen Indien und Pakistan unter Verwendung von 100 Atomwaffen von 15 Kilotonnen.	Die Injektion von 5 Tg Ruß in die obere Atmosphäre würde in den nächsten 5-10 Jahren eine durchschnittliche Abkühlung um 1,8 °C verursachen, mit einem Rückgang der weltweit verfügbaren durchschnittlichen Kalorien aus Pflanzen um 13%; und der durchschnittlich verfügbaren Kalorien in den 71 am stärksten betroffenen Ländern von > 20%. Dieser „Lebensmittelversorgungsschock hätte schwerwiegendere gesellschaftliche Auswirkungen als jedes andere Ereignis, das in der jüngeren Geschichte dokumentiert wurde.“
Bardeen et al., 2021	Verwendet eine angenommene Rußbelastung von 5 Tg aus einem regionalen indisch-pakistanischen Krieg und berechnet durch ein kombiniertes Klima- und Chemiemodell die Auswirkungen auf die globale Ozonschicht. (Die gleiche Simulation läuft auch für eine 150 Tg Rußlast aus einem massiven Atomkrieg).	Ein regionaler Atomkrieg würde die globale Ozonschicht um 25% abbauen, und das Ozon würde mindestens ein Dutzend Jahre brauchen, um sich zu erholen. (Ein massiver Atomkrieg würde 75% der Ozonschicht abbauen, und es würde 15 Jahre oder länger dauern, sich zu erholen).
Xia et al., 2022	Modellierte Auswirkungen auf Landwirtschaft und Aquakultur und weltweit verfügbare Kalorien aus jedem der von Toon et al., 2019, beschriebenen eskalierenden regionalen Nuklearkriegsszenarien zwischen Indien und Pakistan.	Eskalierende Szenarien führten weltweit zu immer größeren Einbrüchen der insgesamt verfügbaren Kalorien um 23%, 33%, 41% und 48%. Weltweite Hungerszenarien führen in den folgenden 2 Jahren zu bis zu 2,6 Milliarden Todesfällen, die meisten davon durch Hunger. Ein separat modellierter großer Atomkrieg zwischen Russland und den Vereinigten Staaten führte zu einem Rückgang der weltweit verfügbaren Kalorien um 81,3% und zu weltweiten Todesfällen von 5 Milliarden oder drei von vier Menschen. Die Studie berücksichtigt keine Auswirkungen auf die Landwirtschaft oder die menschliche Gesundheit durch radioaktiven Fallout oder erhöhte UV-Strahlung durch den Abbau der Ozonschicht.

1. Xia L, Robock A, Scherrer K, et al. Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection. *Nat Food*. Published online August 2022.
2. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3. United Nations
https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
3. Robock A, Zambri B. Did Smoke From City Fires in World War II Cause Global Cooling? *J Geophys Res Atmospheres*. 2018;123(18). doi:10.1029/2018JD028922
4. Oppenheimer C. Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815. *Prog Phys Geogr Earth Environ*. 2003;27(2):230-259. doi:10.1191/0309133303pp379ra
5. Eden L. City on fire. *Bull At Sci*. 2004;60(1):32-43. doi:10.1080/00963402.2004.11460746
6. Turco RP, Toon OB, Ackerman TP, Pollack JB, Sagan C. Nuclear Winter: Global Consequences of Multiple Nuclear Explosions. *Science*. 1983;222(4630):1283-1292. doi:10.1126/science.222.4630.1283
7. Crutzen PJ, Birks JW. The Atmosphere After a Nuclear War: Twilight at Noon. In: Crutzen PJ, Brauch HG, eds. *Paul J. Crutzen: A Pioneer on Atmospheric Chemistry and Climate Change in the Anthropocene*. Vol 50. SpringerBriefs on Pioneers in Science and Practice. Springer International Publishing; 2016:125-152. doi:10.1007/978-3-319-27460-7_5
8. Ehrlich PR, Harte J, Harwell MA, et al. Long-Term Biological Consequences of Nuclear War. *Science*. 1983;222(4630):1293-1300. doi:10.1126/science.6658451
9. Pittock AB, Harwell MA, Hutchinson TC, International Council of Scientific Unions, eds. *Environmental Consequences of Nuclear War*. 2nd ed. Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU), by J. Wiley; 1989.
10. Coupe J, Bardeen CG, Robock A, Toon OB. Nuclear Winter Responses to Nuclear War Between the United States and Russia in the Whole Atmosphere Community Climate Model Version 4 and the Goddard Institute for Space Studies ModelE. *J Geophys Res Atmospheres*. 2019;124(15):8522-8543. doi:10.1029/2019JD030509
11. Robock A, Oman L, Stenchikov GL. Nuclear winter revisited with a modern climate model and current nuclear arsenals: Still catastrophic consequences. *J Geophys Res Atmospheres*. 2007;112(D13):2006JD008235. doi:10.1029/2006JD008235
12. Kristensen HM, Korda M. Russian nuclear forces, 2020. *Bull At Sci*. 2020;76(2):102-117. doi:10.1080/00963402.2020.1728985
13. Kristensen HM, Korda M. United States nuclear forces, 2020. *Bull At Sci*. 2020;76(1):46-60. doi:10.1080/00963402.2019.1701286
14. Kristensen HM, Korda M. French nuclear forces, 2019. *Bull At Sci*. 2019;75(1):51-55. doi:10.1080/00963402.2019.1556003
15. Kristensen HM, Norris RS, Diamond J. Pakistani nuclear forces, 2018. *Bull At Sci*. 2018;74(5):348-358. doi:10.1080/00963402.2018.1507796
16. Scarry E. The floor of the world. *Bull At Sci*. 2014;70(2):21-35. doi:10.1177/0096340214523242
17. Toon OB, Turco RP, Robock A, Bardeen C, Oman L, Stenchikov GL. Atmospheric effects and societal consequences of regional scale nuclear conflicts and acts of individual nuclear terrorism. *Atmospheric Chem Phys*. 2007;7(8):1973-2002. doi:10.5194/acp-7-1973-2007
18. Robock A, Oman L, Stenchikov GL, Toon OB, Bardeen C, Turco RP. Climatic consequences of regional nuclear conflicts. *Atmospheric Chem Phys*. 2007;7(8):2003-2012. doi:10.5194/acp-7-2003-2007
19. Kristensen HM, Korda M. Indian nuclear forces, 2020. *Bull At Sci*. 2020;76(4):217-225. doi:10.1080/00963402.2020.1778378
20. Xia L, Robock A. Impacts of a nuclear war in South Asia on rice production in Mainland China. *Clim Change*. 2013;116(2):357-372. doi:10.1007/s10584-012-0475-8
21. Özdoğan M, Robock A, Kucharik CJ. Impacts of a nuclear war in South Asia on soybean and maize production in the Midwest United States. *Clim Change*. 2013;116(2):373-387. doi:10.1007/s10584-012-0518-1
22. Xia L, Robock A, Scherrer K, et al. *Global Famine after Nuclear War*. In Review; 2021. doi:10.21203/rs.3.rs-830419/v1
23. Mills MJ, Toon OB, Turco RP, Kinnison DE, Garcia RR. Massive global ozone loss predicted following regional nuclear conflict. *Proc Natl Acad Sci*. 2008;105(14):5307-5312. doi:10.1073/pnas.0710058105

24. Helfand I. NUCLEAR FAMINE: TWO BILLION PEOPLE AT RISK? Global Impacts of Limited Nuclear War on Agriculture, Food Supplies, and Human Nutrition. International Physicians for the Prevention of Nuclear War and Physicians for Social Responsibility; 2013. <https://www.ippnw.org/wp-content/uploads/2020/07/2013-Nuclear-Famine.pdf>
25. Mills MJ, Toon OB, Lee Taylor J, Robock A. Multidecadal global cooling and unprecedented ozone loss following a regional nuclear conflict. *Earths Future*. 2014;2(4):161-176. doi:10.1002/2013EF000205
26. Bardeen CG, Kinnison DE, Toon OB, et al. Extreme Ozone Loss Following Nuclear War Results in Enhanced Surface Ultraviolet Radiation. *J Geophys Res Atmospheres*. 2021;126(18). doi:10.1029/2021JD035079
27. Jägermeyr J, Robock A, Elliott J, et al. A regional nuclear conflict would compromise global food security. *Proc Natl Acad Sci*. 2020;117(13):7071-7081. doi:10.1073/pnas.1919049117
28. Reisner J, D'Angelo G, Koo E, et al. Climate Impact of a Regional Nuclear Weapons Exchange: An Improved Assessment Based On Detailed Source Calculations. *J Geophys Res Atmospheres*. 2018;123(5):2752-2772. doi:10.1002/2017JD027331
29. Robock A, Toon OB, Bardeen CG. Comment on "Climate Impact of a Regional Nuclear Weapon Exchange: An Improved Assessment Based on Detailed Source Calculations" by Reisner et al. *J Geophys Res Atmospheres*. 2019;124(23):12953-12958. doi:10.1029/2019JD030777
30. Hess GD. The Impact of a Regional Nuclear Conflict between India and Pakistan: Two Views. *J Peace Nucl Disarm*. 2021;4(sup1):163-175. doi:10.1080/25751654.2021.1882772
31. Hirsch E, Koren I. Record-breaking aerosol levels explained by smoke injection into the stratosphere. *Science*. 2021;371(6535):1269-1274. doi:10.1126/science.abe1415
32. Yu P, Toon OB, Bardeen CG, et al. Black carbon lofts wildfire smoke high into the stratosphere to form a persistent plume. *Science*. 2019;365(6453):587-590. doi:10.1126/science.aax1748
33. Kristensen HM, Korda M. Chinese nuclear forces, 2020. *Bull At Sci*. 2020;76(6):443-457. doi:10.1080/00963402.2020.1846432
34. Kristensen HM, Korda M. North Korean nuclear weapons, 2021. *Bull At Sci*. 2021;77(4):222-236. doi:10.1080/00963402.2021.1940803
35. Toon OB, Bardeen CG, Robock A, et al. Rapidly expanding nuclear arsenals in Pakistan and India portend regional and global catastrophe. *Sci Adv*. 2019;5(10):eaay5478. doi:10.1126/sciadv.aay5478
36. Integrated Food Security Phase Classification (IPC) Technical Manual Version 3.1. http://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/ipcinfo/manual/IPC_Technical_Manual_3_Final.pdf
37. Blair BG. Primed and ready. *Bull At Sci*. 2007;63(1):33-37. doi:10.2968/063001011
38. Blair BG. Loose cannons: The president and US nuclear posture. *Bull At Sci*. 2020;76(1):14-26. doi:10.1080/00963402.2019.1701279
39. U.S. Military and Political Leaders Urge Taking Nuclear Weapons Off Hair-Trigger Alert. Union of Concerned Scientists <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/01/leaders-against-hair-trigger-alert.pdf>
40. Ellsberg, Daniel. *The Doomsday Machine*. Bloomsbury USA; 2017.
41. Hoffman DE. Valery Yarynich, the man who told of the Soviets' doomsday machine. *The Washington Post*. Published December 20, 2012. https://www.washingtonpost.com/opinions/valery-varynich-the-man-who-told-of-the-soviets-doomsday-machine/2012/12/20/147f3644-4613-11e2-8061-253bccfc7532_story.html
42. Kimball, Daryl. India Accidentally Fires Missile Into Pakistan. *Arms Control Today*; 2022. <https://www.armscontrol.org/act/2022-04/news/india-accidentally-fires-missile-into-pakistan#:~:text=India%20officially%20acknowledged%20it%20had,the%20two%20nuclear%20Darmed%20neighbors>

