

RISIKO VON ATOMKRAFTWERKEN

von Heinz Boer, Appelhülsen

Zum Unterricht:

Das "Risiko von Atomkraftwerken" habe ich als relevantes Thema im Stochastikunterricht der Jahrgangsstufe 12 behandelt.

- An der Stelle, wo "wahrscheinlich" eingeführt wird und es um Deutungen der Wahrscheinlichkeit geht, um den Zusammenhang von Wahrscheinlichkeit und relativer Häufigkeit: Was bedeutet die Wahrscheinlichkeit 10^{-4} pro Reaktorjahr für das Ereignis 'Eintritt eines Kernschmelzunfalls'?
- An der Stelle, wo Wahrscheinlichkeiten für mehrstufige Zufallsversuche mit Hilfe von Baumdiagrammen und Gegenwahrscheinlichkeiten berechnet werden: Die Wahrscheinlichkeit für einen Kernschmelzunfall irgendwo in der Welt bis zum Jahr 2000 z.B. .

Jeweils habe ich Original-Artikel aus der Deutschen Risiko-studie bzw. aus Zeitungen in den Unterricht gegeben, um zu zeigen, daß die Angaben tatsächlich (ver)öffentlich(t) sind. Daran wurde die Berechnungsmethode jeweils mit den Schülern und Schülerinnen gemeinsam entwickelt. Die Relevanz dieser Bemühungen war durch das Thema jeweils unmittelbar klar und die Schüler/innen haben engagiert nach Bearbeitungsmöglichkeiten gesucht.

Kurz darauf geschah die Katastrophe von Tschernobyl und der Artikel in der Frankfurter Rundschau erschien (auf S. 1!), siehe Abbildung 1. Aus aktuellem Anlaß habe ich ihn in den Kurs gegeben; auf Grund der bereits behandelten Themen zur gänzlich eigenständigen Bearbeitung längs des Arbeitsblattes (Abb.2). Die Lösungen (und Wertungen in 1 und 5) zu den Punkten 1 bis 5 wurden im Anschluß von Schülerinnen bzw. Schülern vorgetragen und ggfs. in gemeinsamer Diskussion korrigiert.

Punkt 6 führte zu einer längeren Diskussion, in der die Bandbreite der öffentlichen Meinungen von den Schülern und Schü-

lerinnen vertreten wurde. Klar wurde, daß diese Entscheidung nicht mit den berechneten Daten eindeutig präjudiziert ist, daß die Berechnungen allerdings wichtige Grundlagen für eine eigene Entscheidung legen. Und daß diese Daten von Politikern, Wissenschaftlern und Journalisten häufig tendenziös weitergegeben werden.

Um zu erfahren, wie die Angaben des Öko-Instituts zustande kommen (in Punkt 4 des Arbeitsblattes wird ja nur rückgerechnet), wurde von den Schülern die Presseerklärung angefordert. Deren Rechnungen haben wir nach Eingang noch einmal eigens besprochen und deren Fehler in einem Schreiben mitgeteilt.

Zum Ziel des Unterrichts:

Die Schülerinnen und Schüler sollten

- sehen, daß das Aneignen der mathematischen Qualifikationen Relevanz für sie hat
- ein Stück mehr prüfungskompetent werden gegenüber veröffentlichten Daten, die Grundlage für Entscheidungen sind, die sie betreffen
- ein Stück mehr kompetent werden für Entscheidungen, die sie selbst betreffen und die sie selbst treffen (müssen)
- Stelle und Stellenwert der bloß quantitativen Überlegungen im Gesamtkomplex einer gravierenden Entscheidung sehen.

Der Mathematikunterricht sollte die Schülerinnen und Schüler ein Stück mehr befähigen, prüfbare Handlungsorientierungen zu gewinnen.

Die Reaktionen meiner Schüler/innen bestätigten eindrucksvoll, daß man mit den Materialien zum Thema "Risiko von Atomkraftwerken" den Zielen nahekommen kann.

Zu den Lösungen:

Die Lösungen notiere ich hier für Sie als Leser/in. Im Unterricht wurden sie von Schülern oder Schülerinnen vorgetragen. Die Kommentare zu Punkt 5 und 6 sind meine Kommentare hier. Im Unterricht haben die Schüler/innen über die Punkte (beson-

ders 6) heftig gestritten, Mein Kommentar wurde dabei u.a. vertreten; nicht von mir. Die "Einigung" verlief wie oben beschrieben.

Zu den Punkten des Arbeitsblattes:

- 1) - Die Deutsche Risikostudie (DRS) rechnet als Wahrscheinlichkeit für einen Kernschmelzunfall pro Reaktorjahr (KSU/Rj) 1:10000 (=10⁻⁴) aus.
- Die 1. Aussage "Alle 10000 Jahre..." ist (wie der Satz im Zeitungstext) falsch, wenn sie heißen soll: "In den ersten 10000 Jahren ein KSU; in den zweiten 10000 Jahren ein KSU;...". Sie ist richtig, wenn damit gemeint ist: "Im langlanglangjährigen Mittel passiert im Durchschnitt alle 10000 Reaktorjahre ein KSU".

Der Satz und die letzte Aussage "Bleibt es..." wären die einzigen richtigen Deutungen für den Zusammenhang der Wahrscheinlichkeitsangabe und dem daraus prognostizierbaren tatsächlichen Eintreten eines KSU.

Entsprechend sind die Deutungen 2;6;7a,b,c;8 falsch. Aussage 3,4,5 sind richtig wegen der "kann"- und "Glück"-Formulierungen.

- Zimmermann, Riesenhuber, Birkhofer irren!

- 2) - 3500 Reaktorjahre hat es bisher weltweit gegeben. Bis zum Jahr 2000 gibt es weitere 350Reaktoren·15Jahre = 5250 Reaktorjahre (grob gerechnet). Insgesamt also: 8750 Rj.
- Die Wahrscheinlichkeit, daß kein KSU/Rj passiert, ist $1-10^{-4} = 0.9999$. Die Wahrscheinlichkeit, daß bis zum Jahr 2000 kein KSU in der Kernkraftwerkgeschichte passiert wäre, errechnet sich zu $0.9999^{8750} \approx 42\%$. Mindestens ein KSU passiert also mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 58 %.
- Daß bis 2000 ein KSU passieren muß, ist unsinnig. Daß er 1979 zu früh ("schon") auftrat, ist ebenfalls falsch.

- 3) - NRC rechnet mit 100Reaktoren·15Jahre = 1500 Rj.
- Nenne ich p die Wahrscheinlichkeit für einen KSU/Rj, so ergibt sich analog 2) für keinen KSU bis 2000 in den USA: $(1-p)^{1500} = 0.55$ und $p \approx 4 \cdot 10^{-4}/Rj$.
- Die NRC rechnet mit einer viermal so hohen Wahrscheinlichkeit für einen KSU/Rj wie die Deutsche Risikostudie.
- Bis 2020 beträgt die Wahrscheinlichkeit für einen KSU in den USA (bei 100Reaktoren·35Jahre = 3500Rj): $1 - 0.9996^{3500} \approx 75\%$.
- Daß ein KSU "sicher" eintritt, ist falsch.
- 4) - In der BRD gibt es bis 2000 (hoffentlich nicht!) 15Reaktoren·15Jahre = 225Rj.
- Rechnet man wie in 3), so ergibt sich für die Wahrscheinlichkeit p eines KSU/Rj: $(1-p)^{225} = 0.80$ bzw. $p \approx 1 \cdot 10^{-3}/Rj$.
- Das Öko-Institut rechnet eine 10mal so hohe Wahrscheinlichkeit für einen KSU/Rj aus wie die Deutsche Risikostudie und liegt 2.5mal so hoch wie die NRC.

Meine Kommentare zu:

5) Irgendwo zwischen den Zahlen von Öko-Institut, NRC und Deutscher Risikostudie mag die Wahrscheinlichkeit für einen KSU/Rj liegen. Verschiedene Ausgangsdaten und Berücksichtigung verschiedener Risiken führen zu verschiedenen Ergebnissen. Wir können es uns nicht leisten, durch langes Abwarten die Richtigkeit der Rechenergebnisse unter Einsatz unseres Lebens zu testen! Wir müssen die schlimmsten Daten (sofern plausibel; und das sind sie!) annehmen.

Zimmermann, Riesenhuber, Birkhofer verschleiern durch ihre Aussagen die Größe der relevanten Daten; in welcher Absicht auch immer.

6) Ein Unfall mit solchen Auswirkungen wie Tschernobyl darf nicht passieren. Für ein technisches System mit solchen Unfallereignissen wie Strahlung etc. muß die Unfallwahrscheinlichkeit Null sein. D.h. die Atomkraftwerke müssen abgeschaltet werden.

Politiker, Wissenschaftler, Journalisten melden sich zu Wort. Was von ihren Worten richtig, falsch, brauchbar... ist - das mußt Du selbst zu unterscheiden lernen. Bilde Dir ein Urteil zu den vorgelegten Daten:

- 1) Zu den Aussagen 'unserer' Minister
- Welche Wahrscheinlichkeit für einen Kernschmelzunfall KSU ("einen großen Unfall") gibt die "offizielle Bonner Studie" an? Deute die Angabe im Artikel großzügig; pro Reaktorjahr?
 - Nimm vorläufig die Wahrscheinlichkeitsaussage als korrekt an. Sind die folgenden Deutungen der Wahrscheinlichkeit richtig? Inwieweit sind sie falsch? Korrigiere sie gegebenenfalls:
 - o Alle 10000 Reaktorjahre gibt's einen KSU.
 - o Nach 10000 Reaktorjahren gibt's einen KSU.
 - o Während Deines Lebens kann so ein KSU passieren.
 - o Im nächsten Jahr könnte es zu 3 KSU kommen.
 - o Wenn wir Glück haben, passiert so ein KSU nicht bis zum Ende des Atomkraftwerkzeitalters.
 - o Nach dem halben KSU in Harrisburg und dem in Tschernobyl haben wir erst einmal mindestens 10000 Jahre Ruhe.

scheinlichkeit, daß bis zum Jahr 2000 mindestens ein KSU auf der Welt passiert; seit Beginn des Kernkraftzeitalters.

- Kommentiere: "Ein Kernschmelzunfall hatte danach bis spätestens im Jahr...".
- Kommentiere das "schon" im nächsten Satz.

3) Zur US-Atomaufsichtsbehörde NRC

- Mit wieviel Reaktorjahren ist bis zum Jahr 2000 in den USA zu rechnen?
- Mit welcher Wahrscheinlichkeit für einen KSU pro Reaktorjahr rechnet die NRC? Die ergibt sich aus der 45%-Angabe.
- Vergleiche mit entsprechenden Angabe der Deutsche Risikostudie (s.1).
- Berechne die Wahrscheinlichkeit für mindestens einen KSU in den USA bis zum Jahr 2020.
- Kommentiere den entsprechenden Satz im Artikel.

- o Während der nächsten 10000 Jahre gibt's sicher genau/höchstens/mindestens einen KSU.
 - o Bei 350 Atomkraftwerken in der Welt kommen in 29 Jahren über 10000 Reaktorjahre zusammen. Bis 2015 passiert also auf jeden Fall ein KSU.
 - o Bleibt es bei der Wahrscheinlichkeit für einen KSU pro Reaktorjahr, so wird es in den nächsten Million... Reaktorjahren rund 100 KSU geben.
- Kommentiere die Ansicht der Herren Zimmermann, Riesenhuber, Birkhofer, ein KSU sei "praktisch ausgeschlossen" in der Bundesrepublik.

2) Zum Jahrbuch der Atomwissenschaft

- Wieviele Reaktorbetriebsjahre hat es bisher gegeben? Wieviele wird es insgesamt bis zum Jahr 2000 geben, wenn es tatsächlich bei der Zahl der Kraftwerke bleiben sollte, die in Betrieb sind?
- Nimm die Wahrscheinlichkeit für einen KSU pro Reaktorjahr der Deutschen Risikostudie (s. 1) an. Berechne die Wahr-

4) Zu den Studien des Öko-Instituts

- Berechne die Zahl der Reaktorjahre, die sich bis zum Jahr 2000 ergeben, wenn sich die Zahl von 15 Atomkraftwerken nicht ändert, die derzeit in Betrieb sind.
- Ermittle die Wahrscheinlichkeit für einen KSU pro Reaktorjahr. Die ergibt sich aus der 20%-Angabe.
- Vergleiche mit der Wahrscheinlichkeitsaussage der Deutschen Risikostudie und der NRC.

5) Im Lichte der korrigierten Daten werte die Aussagen der Herren Zimmermann, Riesenhuber, Birkhofer noch einmal!

- 6) Nach/neben all den Rechnungen: Welche KSU-Wahrscheinlichkeit hält Du für erlaubt/tragbar/im modernen, technischen Zeitalter notwendig..., wenn der Schaden eine gefährliche Verseuchung von Luft und Boden im Umkreis von mindestens 2000km... bedeutet?

„Kernschmelzunfall ist auch bei uns wahrscheinlich“

Ein GAU in 10000 Reaktorjahren / Bisher 3500 Jahre erreicht

FRANKFURT A. M., 9. Mai. Wissenschaftler des Freiburger Öko-Instituts haben der Ansicht, ein schwerer Unfall in einem Atomreaktor könne in der Bundesrepublik praktisch ausgeschlossen werden, widersprochen. Diese Ansicht hatten unter anderem die Bundesminister Friedrich Zimmermann und Heinz Riesenhuber sowie Professor Adolf Birkhofer, der Geschäftsführer der Gesellschaft für Reaktorsicherheit, schon kurz nach dem Super-GAU in Tschernobyl und in Unkenntnis des Unfallablaufs vertreten. Aufgrund der Aussagen der „Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke“, die 1978 für die Bundesregierung angefertigt worden war, berechnet sich, wie der Physiker Lothar Hahn am Freitag mitteilte, die „Chance“ für das Eintreten eines Kernschmelzunfalls allein in der Bundesrepublik auf 1 zu 25. Dies könne man sicher nicht als „unwahrscheinlich“ oder „praktisch ausgeschlossen“ bezeichnen, sagte er im Gespräch mit der FR.

Nach der offiziellen Bonner Studie, die von kritischen Wissenschaftlern als viel zu optimistisch eingestuft wird, ist mit einem großen Unfall in 10000 Reaktorbetriebsjahren weltweit zu rechnen. Ende 1985 befanden sich nach dem Jahrbuch

der Atomwirtschaft 1986 350 Atommeiler im Betrieb, insgesamt waren 3500 Reaktorbetriebsjahre erreicht. Ein Kernschmelzunfall hatte danach bis spätestens im Jahr 2000 passieren müssen. Tatsächlich trat er schon 1979 in Harrisburg ein, wobei der Super-GAU nur knapp vermieden wurde.

Hahn verwies weiterhin auf die Wahrscheinlichkeitsberechnungen der US-Atomaufsichtsbehörde NRC, die am 4. Mai mitteilte, die „Chance“, daß es bis zum Jahr 2000 in einem der etwa 100 US-Atomkraftwerke zu einem Schmelzen des Reaktorkerns komme, betrage 45 Prozent. Bei einer gleichbleibenden Zahl von Atommeilern wäre danach „sicher“ mit einem Großunfall bis zum Jahre 2020 zu rechnen.

Die im Vergleich zu den US-Werten „geringe“ Eintrittswahrscheinlichkeit für die Bundesrepublik ergibt sich laut Hahn aus den optimistischen Annahmen der Bonner Sicherheitsstudie über die Sicherheit in bundesdeutschen Kraftwerken und der geringeren Zahl der Atommeiler. Die Bonner Studie stützt sich in wesentlichen Teilen auf die US-„Rasmussen-Studie“ von 1974, die wegen Fehlerhaftigkeit, dem Ausblenden vieler Un-

fallmöglichkeiten und Verfälschungen von der US-Regierung zurückgezogen worden ist. Neuere Studien des Öko-Instituts und anderer Wissenschaftler ergaben teilweise höhere „Wahrscheinlichkeitswerte“. Die „Chance“ eines Kernschmelzunfalls in der Bundesrepublik bis zum Jahr 2000 beträgt danach 20 bis 25 Prozent. Laut Hahn erhöhen sich die Gefahren im Vergleich mit den USA weiter wegen der höheren Bevölkerungsdichte in der Bundesrepublik.

Für besonders prekär hält das Öko-Institut die Situation in dem seit 1972 laufenden Druckwasserreaktor Stade (Unterelbe). Dieser habe einen überalterten Reaktordruckbehälter und ein Sicherheitssystem, das nach heutigem Stand nicht mehr genehmigungsfähig sei, hieß es.

Frankfurter
Rundschau
vom 10.5.1986

Abb. 1