

Mikrosimulation in der Katastrophenforschung: Modellierung der Folgen einer potenziellen nuklearen Katastrophe

Julian Reinhold Rainer Schnell Philip Höcker

Research Methodology Group
Universität Duisburg-Essen
www.methodenzentrum.de

MikroSim-Symposium, Statistisches Bundesamt, Berlin

20. September 2024



MikroSim
DFG FOR 2559

Gefördert durch



Deutsche
Forschungsgemeinschaft

Einleitung

- Nuklearkatastrophen haben langfristige gesundheitliche und sozioökonomische Folgen.
- Mikrosimulationen wurden in der Forschung zu Nuklearkatastrophen bislang fast nie eingesetzt.
- Ziel des Vortrags ist es zu zeigen, dass Mikrosimulation zur Untersuchung der Folgen eines nuklearen Katastrophenszenarios genutzt werden kann.
- Der Schwerpunkt liegt auf den Evakuierungsmustern und den langfristigen, gesundheitlichen Auswirkungen der Strahlung.
- Wir nutzen das Mikrosimulationsmodell MikroSim, welches von der Forschungsgruppe 2559 entwickelt und durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert wird [1, 2].

Simulationsparameter und Annahmen

- Für die Simulation wird davon ausgegangen, dass das letzte Kernkraftwerk in Deutschland, Neckarwestheim (GKN) II, zum Zeitpunkt der Katastrophe in Betrieb war.¹
- Aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten wurde 2021 als Katastrophenjahr ausgewählt.
- Der Simulationshorizont erstreckt sich bis 2040.

¹Die Deaktivierung von GKN II erfolgte am 15. April 2023. Der Standort von GKN II befindet sich 15 km südlich von Heilbronn im Süden Deutschlands.

Strahlendosis

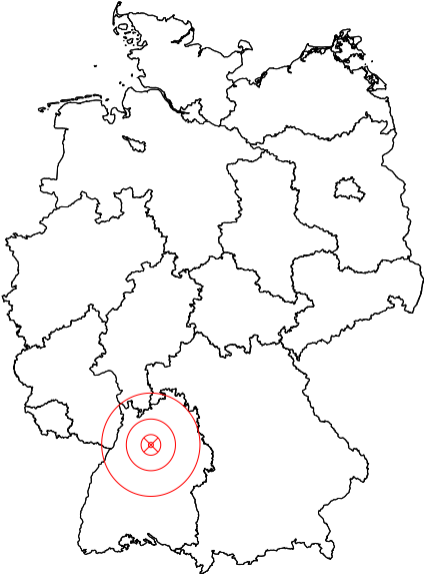
- Es wird von einer gleichmäßigen räumlichen Strahlungsverteilung ausgegangen [3].
- Alle Personen erhalten eine Strahlendosis, die abhängig von ihrem Abstand zum Kraftwerk ist.
- Die Daten zur absorbierten Strahlendosis stammen von Becker [4, Tabelle 1].
- Angenommen wird, dass Personen der Strahlung 6 Stunden ausgesetzt sind.

Distanz zum Kraftwerk (km)	Strahlendosis (Sv)
5	3,54
20	0,59
50	0,15
100	0,06

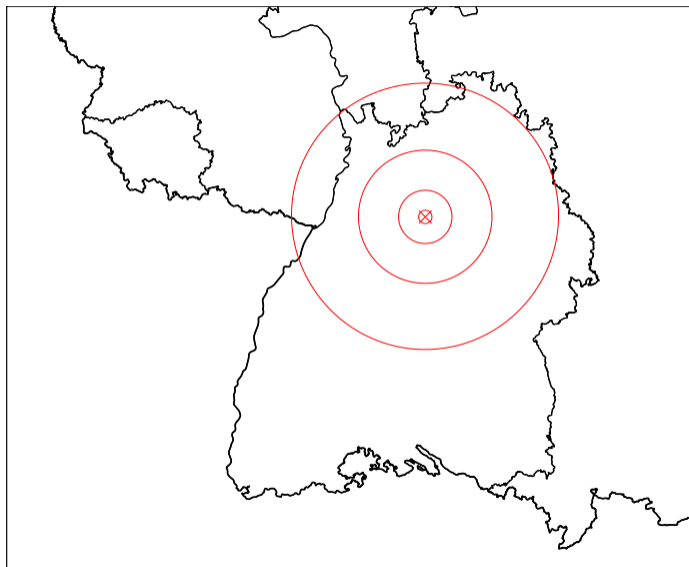
Evakuierung

- Fukushima: Evakuierung von 20 km um das Kraftwerk [5–7].
- Empfehlungen der Strahlenschutzkommission in Deutschland [8, 9]:
 - Zentralzone (5 km): Evakuierung innerhalb von 6 Stunden,
 - Mittelzone (20 km): Evakuierung innerhalb von 24 Stunden, Maßnahmen abhängig von Ausbreitungsrichtung.
- Ausgegangen wird in der Simulation von einer großflächigen Freisetzung von radioaktivem Material [vgl. 4].
- Evakuierung erfolgt in einem 100 km Radius um das Kraftwerk, da die Bodenstrahlung in einem solchen Szenario hoch ist (> 100 mSv).

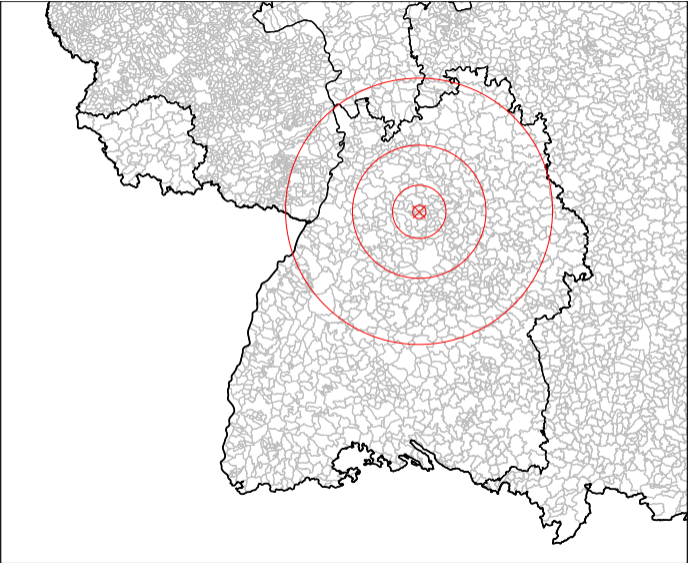
Standort Kraftwerk und Evakuierungszonen



Standort Kraftwerk und Evakuierungszonen



Standort Kraftwerk und Evakuierungszonen



Zielgebiete für die Evakuierung

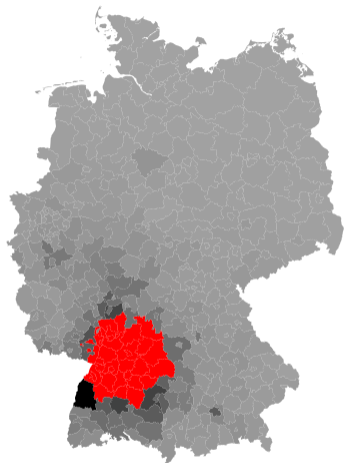
- Die Evakuierungsdistanzen basieren auf den beobachteten Evakuierungsmustern in Fukushima [10].
- Evakuierungen folgen den *Laws of Migration* [11, 12]: Die meisten Menschen wandern kurze Strecken, größere Gebiete ziehen mehr Menschen an als kleinere.
- Die Evakuierungsdistanz wird aus einer Normalverteilung mit den oben genannten Parametern gezogen.
- Es werden die zehn nächsten, nicht betroffenen Gemeinden ausgewählt.
- Größere Gemeinden werden bevorzugt: Die Zielgemeinde wird proportional zur Einwohnerzahl ausgewählt.
- Es wird angenommen, dass die evakuierten Gebiete für eine längere Zeit (> 30 Jahre) unbewohnbar sind [4, 13].

Anzahl Personen in den Evakuierungszonen

Zone	Anzahl Bewohner
5 km	358.279
20 km	229.001
50 km	3.413.418
100 km	4.472.964
Gesamt	8.473.662

Im Zuge der simulierten Evakuierung müssen ungefähr 10 % der Gesamtbevölkerung ihren Wohnsitz wechseln.

Folgen der Evakuierung

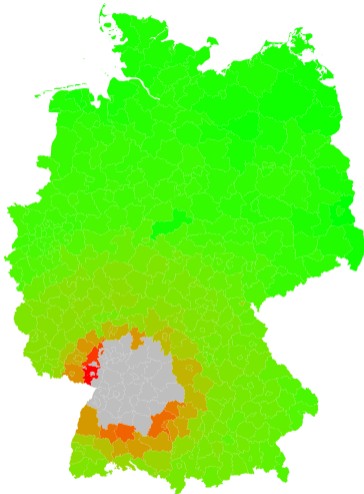


Evakuierte (in Tausend)



- Angrenzende Gemeinden in Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg müssen viele Evakuierte aufnehmen.
- Auch größere Gemeinden wie München oder Köln/Düsseldorf ziehen mehr Menschen an als kleinere Gemeinden.

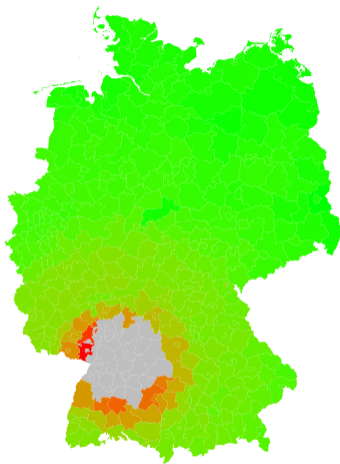
Folgen der Evakuierung



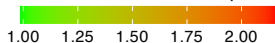
Verhältnis Anzahl Einwohner vor und nach der Katastrophe

1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
------	------	------	------	------

Folgen der Evakuierung



Verhältnis Anzahl Einwohner vor
und nach der Katastrophe



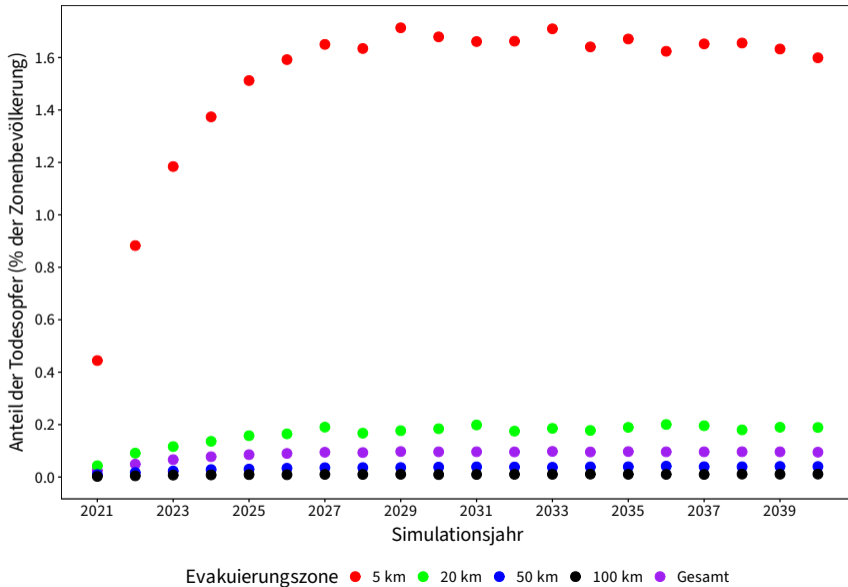
- Gemeinden, die weit vom Unglücksort entfernt sind, sind für eine freiwillige Wanderung unattraktiv.
- Nahe Gemeinden müssen mit einem hohen Flüchtlingsaufkommen rechnen.
- In einigen Zielgemeinden verdoppelt sich die Bevölkerung.
- Gerade kleine Gemeinden würden durch einen Flüchtlingsstrom stark belastet.

Auswirkungen auf die Gesundheit

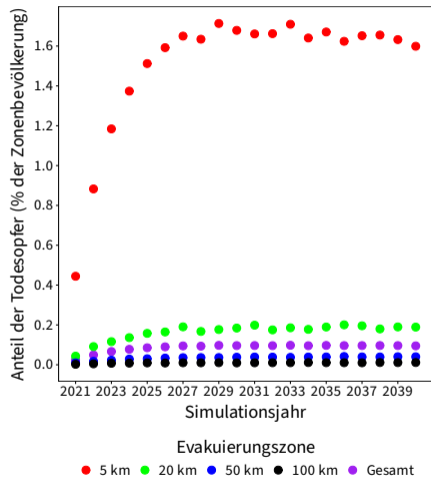
- Wir betrachten nur durch Strahlung verursachte Krebserkrankungen mit tödlichem Ausgang.
- Wir nehmen einen Anstieg des relativen Risikos für Krebs pro Sievert um 40 % an [3].²
- Das Basisrisiko, kategorisiert nach Alter und Geschlecht, stammt aus den Daten des deutschen Krebsregisters.

²Excess Relative Risk (ERR), $ERR = RR - 1$, RR (relatives Risiko) ist das Verhältnis der Krankheitsrate der Gruppen mit einem Risikofaktor geteilt durch die Rate einer Gruppe ohne diesen Faktor [14].

Anteil der Todesopfer nach Zonen pro Jahr

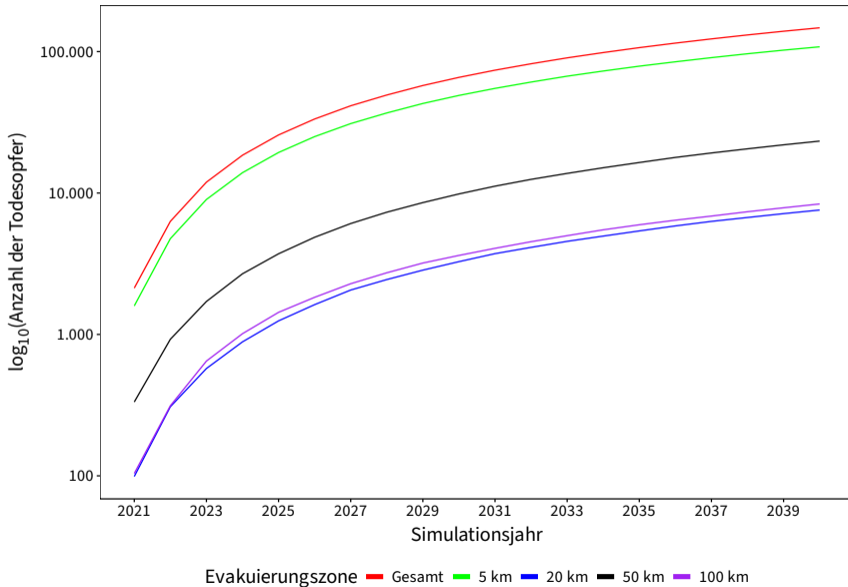


Anteil der Todesopfer nach Zonen pro Jahr

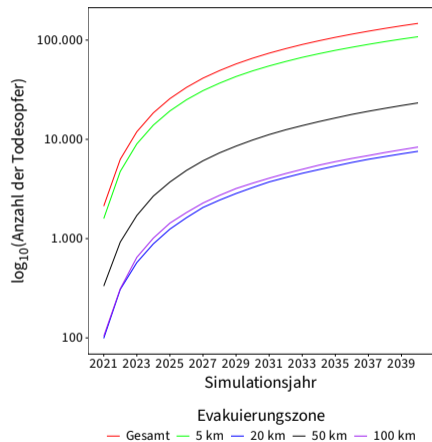


- Das Risiko, an strahlenbedingtem Krebs zu sterben, liegt bei weniger als 1 % der von der Strahlung Betroffenen.
- Personen in einem Umkreis von 5 Kilometern sind besonders gefährdet.
- Sie erleiden die meisten Todesfälle pro Jahr, da sie der höchsten Strahlungs-dosis ausgesetzt sind.
- In den übrigen Evakuierungszonen wird der Anteil der Todesopfer an der Gesamtbevölkerung auf nicht mehr als 0,2 % geschätzt.

Todesopfer nach Zonen im Simulationsverlauf



Todesopfer nach Zonen im Simulationsverlauf



- Auch 20 Jahre nach dem Ereignis sterben immer noch viele Menschen, weshalb es immer mehr Tote gibt.
- Nach der Katastrophe werden bis 2040 insgesamt 147.333 der 8.473.437 betroffenen Personen an Krebs gestorben sein.
- Das entspricht etwa 0,18 % der deutschen Bevölkerung
- Diese Zahl würde bei einer längeren Simulation höher ausfallen.

Fazit

- Über 8,4 Millionen Menschen wären betroffen und müssten evakuiert werden.
- In einigen Gemeinden würde sich die Bevölkerungszahl verdoppeln.
- Dieser Bevölkerungsanstieg würde die Infrastruktur und das Gesundheitssystem stark belasten und wahrscheinlich zu großen sozialen und wirtschaftlichen Problemen führen.
- Es können mehr als 150.000 krebsbedingte Todesfälle bis 2040 und weitere strahlungsbedingte Todesfälle nach 2040 erwartet werden.
- Westliche Industriegesellschaften sind auf solche Katastrophen nicht vorbereitet.³

³Atomkraft in der Schweiz: Regierung plant Neubau von Kernkraftwerken. (2024).FAZ.NET. [15]; Wilkens, A. (2024). von der Leyen: „Wir müssen Erneuerbare und Atomkraftnutzen“. heise online. [16]

Prof. Dr. Rainer Schnell
Research Methodology Group
Universität Duisburg-Essen

www.methodenzentrum.de



Literatur I

- [1] Münnich, R., Schnell, R., Kopp, J., Stein, P., Zwick, M., Dräger, S., Merkle, H., Obersneider, M., Richter, N. & Schmaus, S. (2020). Zur Entwicklung eines kleinräumigen und sektorenübergreifenden Mikrosimulationsmodells für Deutschland. In M. Hannappel & J. Kopp (Hrsg.), *Mikrosimulationen: Methodische Grundlagen und ausgewählte Anwendungen* (S. 109–138). Wiesbaden: Springer VS.
- [2] Münnich, R., Schnell, R., Brenzel, H., Dieckmann, H., Dräger, S., Emmenegger, J., Höcker, P., Kopp, J., Merkle, H., Neufang, K. M., Obersneider, M., Reinhold, J., Schaller, J., Schmaus, S. & Stein, P. (2021). A Population Based Regional Dynamic Microsimulation of Germany: The MikroSim Model. *methods, data, analyses*, 15(2), 241–264. doi:10.12758/mda.2021.03
- [3] Piguet, F.-P., Eckert, P., Knüsli, C., Deriaz, B., Wildi, W. & Giuliani, G. (2019). Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries. 74. Verfügbar 8. April 2024 unter <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:122532>

Literatur II

- [4] Becker, O. (2011). Auswirkungen eines schweren Unfalls im Atomkraftwerk Neckarwestheim 1. Expert Opinion on behalf of Greenpeace.
- [5] Oka, Y. (2022). Risks and Benefits of Evacuation in TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *Progress in Nuclear Energy*, 148, 104222. doi:10.1016/j.pnucene.2022.104222
- [6] Tanigawa, K., Hosoi, Y., Hirohashi, N., Iwasaki, Y. & Kamiya, K. (2012). Loss of Life After Evacuation: Lessons Learned from the Fukushima Accident. *The Lancet*, 379(9819), 889–891. doi:10.1016/S0140-6736(12)60384-5
- [7] Tomoyasu, K., Kimura, R., Mashima, H. & Kazama, I. (2015). Issues Facing Voluntary Evacuees from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident Based on the Collection and Analysis of Cases of Voluntary Evacuation. *Journal of Disaster Research*, 10, 755–769. doi:10.20965/jdr.2015.p0755
- [8] Strahlenschutzkommission. (2014). Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken: Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verfügbar unter <https://www.nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201403101200>

Literatur III

- [9] Strahlenschutzkommission. (2015). Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen: Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verfügbar unter <https://www.nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201512213337>
- [10] Do, X. B. (2019). Fukushima Nuclear Disaster Displacement: How Far People Moved and Determinants of Evacuation Destinations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33, 235–252. doi:10.1016/j.ijdrr.2018.10.009
- [11] Ravenstein, E. G. (1885). The Laws of Migration. *Journal of the Statistical Society of London*, 48(2), 167–227. doi:10.2307/2979181. JSTOR: 2979181
- [12] Ravenstein, E. G. (1889). The Laws of Migration: Second Paper. *Journal of the Royal Statistical Society*, 52(2), 241–301. doi:10.2307/2979333. JSTOR: 10.2307/2979333
- [13] International Atomic Energy Agency. (2006). *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience*. Vienna: IAEA.
- [14] Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. (2006). *Health Risks From Exposure To Low Levels Of Ionizing Radiation: Beir VII, Phase 2*. Washington, D.C: National Academies Press.

Literatur IV

- [15] Atomkraft in der Schweiz: Regierung plant Neubau von Kernkraftwerken. (2024, 28. August). *FAZ.NET*. Verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/politik/ausland/atomkraft-in-der-schweiz-regierung-plant-neubau-von-kernkraftwerken-19948508.html>
- [16] Wilkens, A. (2024, 31. August). von der Leyen: "Wir müssen Erneuerbare und Atomkraft nutzen". *heise online*. Verfügbar unter <https://www.heise.de/news/von-der-Leyen-Wir-muessen-Erneuerbare-und-Atomkraft-nutzen-9852987.html>