

Extreme Meinungen verbreiten sich wie ansteckende Krankheiten. Und genau so kann man die Verbreitung und Radikalisierung mathematisch modellieren.

# Mathematische Modellierung von Radikalisierungsprozessen

Dr. Yao-Li Chuang und Prof. Dr. Maria R. D’Orsogna, Department of Mathematics, California State University, Los Angeles, fassen ihre Arbeiten zur Modellierung von Radikalisierungsprozessen zusammen:

Die rasche Verbreitung radikaler Ideologien hat in den letzten Jahren zu einer weltweiten Folge von Terroranschlägen geführt. Das Verständnis, wie extremistische Tendenzen entstehen, sich entwickeln und Individuen zur Tat treiben, ist aus kultureller Sicht wichtig, aber auch, um Reaktions- und Präventionsstrategien zu formulieren. Demografische Studien, Interviews mit radikalisierten Personen und die Analyse von Terrordatenbanken zeigen, dass der Weg zur Radikalisierung in mehreren Stufen verläuft, wobei das Alter, der soziale Kontext und der Austausch zwischen Gleichgesinnten eine wichtige Rolle spielen.

Mathematische Modellierer haben Tools aus der statistischen Mechanik und der angewandten Mathematik eingesetzt haben, um beste-

hende und neue Erklärungsmodelle zu beschreiben und neue Strategien zur Terrorismusbekämpfung vorzuschlagen. Hier wollen wir den Ansatz der Kompartimentmodelle für Populationen mit zunehmend extremen Ansichten vorstellen.

Der Keim der Prä-Radikalisierung wurzelt oft in verschiedenen unbewältigten Missständen und persönlichen Frustrationen, wie z.B. Mangel an Beschäftigung und Chancen, rassistische und religiöse Diskriminierung und soziale Ausgrenzung. Individuelles Unbehagen kann auch von sozioökonomischen Ungerechtigkeiten, gegen eine als zu fortschrittlich empfundene Politik, oder umgekehrt aus dem Wunsch nach einer tiefgreifenden gesellschaftlichen Veränderung, kommen. Persönliche Unzufriedenheit führt zu einer Selbstidentifikation, bei der ausgegrenzte oder sich selbst suchende Individuen allmählich beginnen, neue Identitäten und Routinen zu konstruieren, und sich von alten abwenden.

Es werden aktiv Gleichgesinnte gesucht und neue Freundschaften geschlossen. Gegenseitige Ermutigung und das Fehlen einer Gegendialektik ermöglichen es extremistischen Ansichten, sich selbst zu verstärken und zu verfestigen. Hat man erstmal eine extreme Ansicht angenommen, wird es schwierig, die neuen Ideale zu verleugnen; Rechtfertigung und Lob der Gewalt folgen. Eine weitere Aktivismusphase folgt, wenn Radikale sich verpflichten, ihre Überzeugungen militant an andere weiterzugeben, bis äußere Ereignisse wie politische oder gerichtliche Entscheidungen oder einfache Zufälle die Bereitschaft zu gewalttätigem Handeln herauskristallisieren. Eine schematische Darstellung dieses Prozesses ist in Abbildung 56 dargestellt.

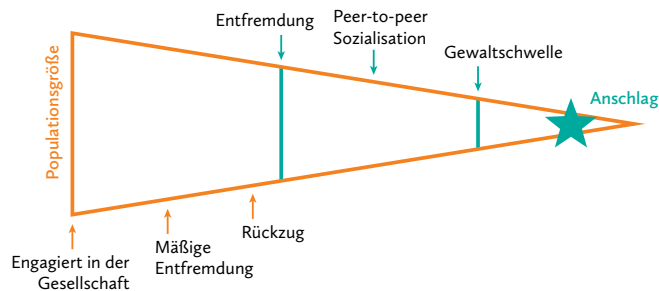


Abbildung 56: Schematische Darstellung des Radikalisierungsprozesses. Engagierte Individuen durchlaufen progressive Phasen des Rückzugs, bis sie sich vom Rest der Gesellschaft abgrenzen. Fortan kultivieren sie eine neue Identität, suchen Gleichgesinnte und bereiten sich auf Gewalt vor. Der Prozess gipfelt in möglichen terroristischen Anschlägen. Nicht alle Individuen durchlaufen die gesamte Hierarchie: Die Zahl der radikalisierenden Individuen nimmt mit steigendem Extremismusgrad ab, was zu einem mehrstufigen horizontalen Trichter führt.

Radikalisierung erfolgt typischerweise durch Netzwerke von Gleichaltrigen und kann durch Technologien wie webbasiertem Rekrutierungsmaterial oder Chatrooms erleichtert werden; der IS ist eine bekannte internet-affine Gruppe, die soziale Medien nutzt, um westliche ausländische Kämpfer in Syrien und im Irak zu rekrutieren. Eine RAND-Studie<sup>29</sup> zeigt, dass die virtuelle Welt Extremisten die Möglichkeit bietet, ohne physischen Kontakt zu kommunizieren, zusammenzuarbeiten und zu überzeugen, und die Verbindung mit Gleichgesinnten aus der ganzen Welt zu ermöglichen.

Obwohl sie noch in den Kinderschuhen stecken und meist experimentell sind, werden weltweit mit großen Erwartungen De-Radikalisierungsprogramme entwickelt und umgesetzt. Sie umfassen

Bildung, Kontakt zu Literatur, Sport und Kunst, psychologische Beratung, Jobtraining und informelle Einzelgespräche. Das Ziel ist es, Radikalisierung zu verhindern, bekannte gewalttätige Extremisten zu entlassen und ehemalige verurteilte Extremisten wieder in die Gemeinschaft zu integrieren.

### Radikalisierung in Meinungsdynamikmodellen

Wir diskutieren hier Radikalisierungsmodelle, die in den Kontext der Meinungsbildung eingebettet sind, ein sehr natürlicher Ausgangspunkt, da Radikale als Individuen mit extremen „Meinungen“ betrachtet werden können. Hier ändern sich die Überzeugungen eines Individuums – und der Gesellschaft insgesamt – durch persönlichen Kontakt, den Einfluss der Medien oder aktuelle Ereignisse. Die radikale Meinung und ihre Verbreitung wird dabei ähnlich wie eine Epidemie modelliert (vgl. Kapitel zur COVID-19 Modellierung).

Mean-Field-Modelle gehen davon aus, dass sich Individuen mit einer bestimmten Überzeugung gleichförmig verhalten und eine homogene Population definieren; es wird angenommen, dass jede dieser Populationen mit anderen interagiert, die ihre Ansichten auf reversible oder irreversible Weise beeinflussen, sodass im Laufe der Zeit die Größe einer bestimmten Population zunehmen oder abnehmen kann. Diese Dynamiken werden in der Regel durch Systeme von gewöhnlichen Differentialgleichungen (DGLn) beschrieben. Diese vereinfachten Modelle berücksichtigen nicht die Mechanismen, wie einzelne Individuen zum Fanatismus verleitet werden, jedoch ermöglichen sie die Identifizierung von Parametern oder Mechanismen, die beobachtete Trends antreiben. Das Modell von Carlos Castillo-Chavez und Baojun Song<sup>30</sup> ist eines der ersten Modelle, die Populationsdynamik in die Untersuchung der Übertragung fanatischer Verhaltensweisen einführt.

Konzepte wie die (effektive) Reproduktionszahlen  $R_0$ , die verwendet werden, um vorherzusagen, wann eine Krankheit endemisch wird ( $R_0 > 1$ ) und wann nicht ( $R_0 < 1$ ), werden an die Verbreitung radikaler Ideologien angepasst. Insbesondere wird eine so genannte „Fanatiker-Hierarchie“ eingeführt mit der Gesamtpopulation  $T(t)$ , die in eine Untergruppe  $G(t)$ , die keine Neigung zur Radikalisierung hat, und drei Untergruppen von Individuen die sich in verschiedenen Stadien ihres Engagements für die extreme Ideologie befinden. Letztere sind  $S(t)$ , eine Gruppe von Anfälligen, die noch nicht radikalisiert sind, aber anfällig und offen für die jeweilige radikale Ideologie sind; die Population  $E(t)$ , Individuen, die sich vor kurzem in Fanatiker ver-

wandelt haben („Halbfanatiker“); und schließlich  $F(t)$  Individuen, die sich vollständig radikalen Ansichten verschrieben haben. Die Summe der verschiedenen Teilpopulationen ergibt die Gesamtpopulation:  $T = G + S + E + F$ . Das Modell von Castillo-Chavez und Song lautet

$$\begin{aligned} \frac{dG}{dt} &= \Lambda - \beta_1 \frac{GC}{T} + \gamma_1 S + \gamma_2 E + \gamma_3 F - \mu G, \\ \frac{dS}{dt} &= \beta_1 \frac{GC}{T} - \beta_2 \frac{S(E+F)}{C} - \gamma_1 S - \mu S, \\ \frac{dE}{dt} &= \beta_2 \frac{S(E+F)}{C} - \beta_3 \frac{EF}{C} - \gamma_2 E - \mu E, \\ \frac{dF}{dt} &= \beta_3 \frac{EF}{C} - \gamma_3 F - \mu F, \end{aligned}$$

wobei  $C(t) = T(t) - G(t)$  diejenigen Individuen darstellt, die anfällig sind, teilweise oder vollständig radikalisiert sind („Kern-Population“). Das System beinhaltet eine Eintrittsrate, den sog. „Geburtsterm“,  $\Lambda$  in die nicht-anfällige Population  $G$  und eine universelle Austrittsrate („Sterberate“)  $\mu$  für alle Teilpopulationen, so dass nach Summation aller vier Gleichungen  $dT/dt = \Lambda - \mu T$  gilt, was  $\lim_{t \rightarrow \infty} T(t) = \Lambda/\mu$  liefert. Alle anderen Terme sind mit spezifischen Übergängen zwischen den verschiedenen Teilpopulationen verbunden, und zwar mit Rekrutierungsraten  $\beta_i$  und Rückföhraten  $\gamma_i$ . Wir ersetzen  $T$  durch den Grenzwert  $\Lambda/\mu$  und  $G(t)$  durch  $\Lambda/\mu - C(t)$  in dem obigen DGL-System für die Zustandsvariablen  $S$ ,  $E$  und  $F$ . Das reduzierte System ist „dynamisch“ äquivalent.

Ein zweiter globaler Schwellenwert  $R_3 = \beta_3/\gamma_3$  steuert die Etablierung der fanatischen Bevölkerung  $F(t)$  und folglich die Beharrlichkeit der fanatischen Ideologie. Wenn  $R_3 \leq 1$  gilt, dann stirbt die fanatische Population im Grenzwert aus:  $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 0$ . Für diesen Fall  $R_3 \leq 1$  benutzt man diesen Grenzwert und die Dimension des Modells kann weiter reduziert werden. Man erhält das folgende zweidimensionale System:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \beta_1(1 - C)C - \beta_2 \frac{SE}{C} - \gamma_1 S, \\ \frac{dE}{dt} &= \beta_2 \frac{SE}{C} - \gamma_2 E, \\ C &= S + E. \end{aligned}$$

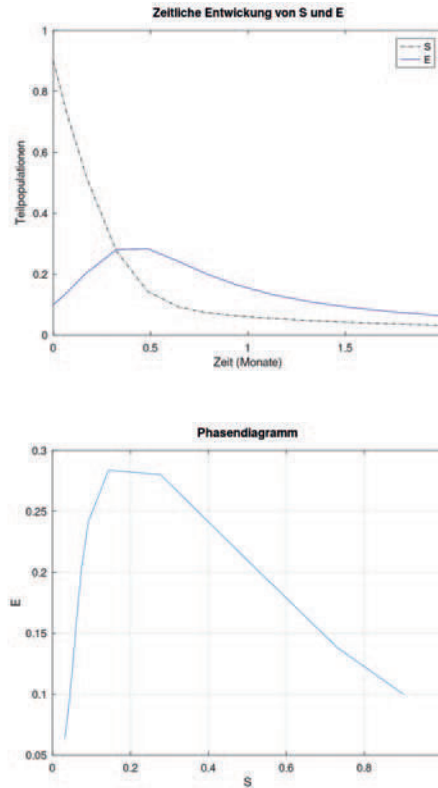


Abbildung 57: Simulation des reduzierten zweidimensionalen Systems.

In der Abbildung 57 sieht man eine Simulation dieses Systems mit den Parametern  $S(0) = 0.9$ ,  $E(0) = 0.1$ ,  $\beta_1 = 3$ ,  $\gamma_1 = 2$ ,  $\beta_2 = 10$  und  $\gamma_2 = 4$ . Man sieht, wie die halbfanatistische Teilbevölkerung  $E(t)$  zunächst auf 0.28 ansteigt und dann wieder abfällt.

Zum Beispiel können Individuen der nicht-empfänglichen Population  $G$  für radikale Ideologien empfänglich werden, wenn sie ihnen ausgesetzt sind; der Push der radikalen Botschaft wird über das Populationsverhältnis  $C/T < 1$  und der zugehörigen Rate  $\beta_1$  modelliert, so dass der Nettofluss  $G \rightarrow S$  durch  $\beta_1 GC/T$  ausgedrückt wird. In ähnlicher Weise hängt der Fluss vom anfälligen Zustand in die ersten Stufen des Fanatismus  $S \rightarrow E$  von der Indoktrination und dem Vorbild von den radikaleren Individuen ab und ist gegeben durch  $(E + F)/C$  moduliert durch die Rate  $\beta_2$ . Der Übergang vom

radikalen Ausgangszustand zum voll engagierten Zustand  $E \rightarrow F$  wird stattdessen allein von der radikalen Gruppe über  $F/C$  angetrieben und durch die Rate  $\beta_3$  moduliert.

Das DGL-System definiert eine Hierarchie in dem Sinne, dass Übergänge durch die  $G \rightarrow S \rightarrow E \rightarrow F$ -Stadien durch radikalere Populationen vorangetrieben werden, die die schwächeren beeinflussen. Die drei Rückführaten  $\gamma_i$ , für  $i = 1, 2, 3$ , repräsentieren die De-Radikalisierung aus den Untergruppen der Anfälligen, der kürzlich Konvertierten bzw. der vollständig Fanatisierten. Im Modell gibt es keine umgekehrten Zwischenübergänge: Radikale Individuen  $F$  können z.B. in die nicht-anfällige Population  $G$  zurückkehren, aber sie kehren nicht zu ihrer ersten Radikalisierungsstufe  $E$  zurück.

Trotz seiner Einfachheit bietet das Modell nützliche Einblicke in gesellschaftliche Ergebnisse, in Form von Attraktorpunkten und Schwellenwerten. Natürlich ist die wichtigste Frage, unter welchen Bedingungen eine endliche fanatische Bevölkerung  $F$  entsteht. Die Analyse des DGL-Systems zeigt, dass für  $\gamma_1 > \beta_1$  kein Radikalisierungsgrad aufrechterhalten wird ( $S = E = F = 0$ ), was bedeutet, dass eine Möglichkeit, einen radikalen Diskurs in einer Gesellschaft zu vermeiden, darin besteht, den Beginn des radikalen Prozesses in der frühen  $G \rightarrow S$  Phase zu verhindern, wenn Individuen anfällig für Extremismus werden.

Abhängig von anderen Parameterkombinationen können Attraktorpunkte ohne fanatische Populationen ( $S^* \neq 0, E = F = 0$ ) oder ( $S^* \neq 0, E^* \neq 0, F = 0$ ), und mit fanatischen Populationen ( $S^* \neq 0, E^* \neq 0, F^* \neq 0$ ) identifiziert werden. Ebenso wichtig sind die Anfangsbedingungen und Zeitskalen: Selbst wenn z.B. für den Gleichgewichtszustand  $F = 0$  vorhergesagt wird, kann eine anfänglich kleine Gruppe von Extremisten erfolgreich in die Bevölkerung eindringen und zu einer großen fanatischen Population führen, bevor diese zu zerfallen beginnt.

Auf diesem DGL-System mit vier Größen basieren zahlreiche weitere Studien. Zum Beispiel die Möglichkeit von zwei konkurrierenden radikalen Gruppen, die von derselben allgemeinen, nicht anfälligen Population  $G$  ausgehen, wurde modelliert, indem man zwei Rekrutierungsraten  $q\beta_1$  und  $(1-q)\beta_1$  einbezog, die in zwei unterschiedliche anfällige Gruppen münden. Jede dieser beiden Kerngruppen folgt demselben Radikalisierungsprozess, der in dem DGL-System dargestellt ist, ohne zu interagieren. Beide Untergruppen haben auch

einen Kreuzkontakt über die  $S \rightarrow E \rightarrow F$ -Hierarchie. Zwischen den beiden radikalen Zweigen gibt es einen Wettbewerb bei der Rekrutierung und den Bindungsbemühungen, so dass Fanatiker neue Anhänger aus Konvertiten der entgegengesetzten Ideologie gewinnen. Es wird insbesondere gezeigt, dass die beiden Gruppen nicht beide im Gleichgewicht ohne gegenseitige Interaktionen koexistieren können: kompetitive Rekrutierung ist notwendig für die Entstehung von zwei endlichen fanatischen Populationen  $F_1, F_2$ .

Kompartiment-Modelle wie dieses wurden auch auf aktuelle extremistische Bewegungen angewendet, zum Beispiel auf den Einfluss separatistischer Gruppen im spanischen Baskenland<sup>31</sup>. Es wurden Teilpopulationen erstellt und Übergangsparameter wurden mit Hilfe von demographischen und Wahldaten geschätzt; Immigrations- und Emigrationsdaten wurden ebenfalls einbezogen. Die ideologische Entwicklung der Gesellschaft wurde so über einen Zeitraum von 35 Jahren analysiert, einschließlich Projektionen in die Zukunft. Ebenso wurde dieses DGL-System für die Untersuchung der Radikalisierung rechtsextremer Bewegungen in Deutschland angepasst<sup>32</sup>, wo Umfragen auf der *Likert-Skala*, die ab 2002 alle zwei Jahre wiederholt wurden, zur Kalibrierung verwendet wurden. Es zeigte sich, dass die Nutzer mehrere Ebenen des Engagements durchlaufen, bis sie zu Anwerbern oder realen terroristischen Akteuren werden. Alternative Kompartiment-Modelle definieren z.B. Teilpopulationen über den kulturellen Hintergrund oder etwa einfach über das Lebensalter.

Für weitere Details verweisen wir auf die umfangreiche Arbeit von Yao-Li Chuang und Maria R. D'Orsogna<sup>33</sup>, in der auch alternative mathematische Modelle von Radikalisierungsprozessen vorgestellt werden.

<sup>29</sup> I. von Behr, A. Reding, C. Edwards, L. Gibbon, Radicalisation in the digital era: The use of the internet in 15 cases of terrorism and extremism, RAND Europe (2013).

<sup>30</sup> C. Castillo-Chavez, B. Song, Models for the transmission dynamics of fanatic behaviors, Bioterrorism-Mathematical Modeling Applications in Homeland Security, Philadelphia: SIAM 28 (2003), 155-172.

<sup>31</sup> F.J. Santonja, A.C. Tarazona, R.J. Villanueva, A mathematical model of the ressure of an extreme ideology on a society, Computers and Mathematics with Applications 56 (2008), 836-846.

<sup>32</sup> T. Deutsch, Mathematische Modellierung von Radikalisierungsprozessen am Beispiel von rechtsradikalen Gruppierungen in Deutschland, Bachelorarbeit, Bergische Universität Wuppertal, November 2014.

<sup>33</sup> Y.L. Chuang, M.R. D'Orsogna, Mathematical models of radicalization and terrorism, arXiv preprint (2019):1903.08485.