

Aufbruch/Kollektives Verhalten

Modellprojekt zur Veranstaltung Regelbasierte Modelle
im WS 2011/12

Steffen Gräuler, Etienne Ott, Felix Pütter

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Aufgabenstellung	3
1.2	Modellelemente	4
2	Modellverhalten	6
2.1	Vollständige Ausbreitung des Aufstandes	6
2.2	Versanden des Aufstandes	7
2.3	Fazit	8
3	Datenauswertung	9
3.1	Variation 1 und 2	9
3.2	Variation 3 und 4	10
3.3	Interpretation	11
4	Kritik am Modell	12
5	Fazit	12
6	Literaturverzeichnis	13

1 Einleitung

In der heutigen Zeit ist das Ansammeln oder Vorkommen von großen Menschenmengen fester Bestandteil unserer Gesellschaft. Der Grund für das Zusammenschließen vieler Leute kann dabei mehrere Gründe haben. Zu einem kann das Aufkommen politische Hintergründe haben, z. B. bei einer Demonstration. Ferner befinden sich große Menschenmengen bei Freizeitaktivitäten, wie bei dem Besuch eines Konzertes oder eines Fußballspieles. Die Erfahrung zeigt, dass sich bei der Ansammlung solcher Menschenmassen kollektive Aufstände beobachten lassen. Diese entstehen meist durch einzelne Akteure, die die Masse aufheizen. Andere lassen sich von diesem Verhalten beeinflussen und schließen sich ebenfalls dem Aufruhr an. Die beteiligten Akteure handeln im Bezug auf ihr Verhalten kollektiv. Nun stellt sich die Frage, wie die Menschen bei einem Aufruhr reagieren und ob sich durch geeignete Gegenmaßnahmen ein solcher eindämmen bzw. verhindern lässt.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Entwickeln eines Modells, welches das Verhalten von Menschen während eines Aufruhrs abbildet. Das untersuchte Phänomen wird abstrahiert, damit es in einem Modell abgebildet werden kann. Das Modell basiert auf einer konkreten Aufgabenstellung, die im Folgenden erläutert wird.

1.1 Aufgabenstellung

Das zu entwickelnde Modell basiert auf dem Schwellenwertmodell des amerikanischen Soziologen Mark Granovetter. Dieses stellt einen einfachen Ansatz zur Erklärung kollektiven Verhaltens dar. Die Akteure wählen zwischen zwei verschiedenen Handlungsalternativen, treffen also eine binäre Entscheidung. Wichtig ist, dass die sie rational handeln und ihre Entscheidung immer von der Wahl aller anderen Akteure abhängig machen (vgl. T. Salamon, 2011).

Mit Hilfe des erläuterten Modells soll Aufruhr auf öffentlichen Plätzen untersucht werden. Die Menschen, die in einem solchen Aufruhr beteiligt sind, werden durch individuelle Agenten abgebildet. Diese Agenten besitzen jeweils einen eigenen Schwellwert, welcher angibt wie viele andere Agenten sich an einem Aufruhr beteiligen müssen, damit dieser Agent sich ebenfalls der Aufruhr anschließt. Das Schwellenwertmodell von Granovetter ist in machen Punkten eingeschränkt und soll in dem Modell erweitert werden. Zusätzlich zu der oben gegebenen Definition der Einfluss des Raumes berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu dem einfachen Modell nach Granovetter, bei dem der Austausch mit anderen Individuen global verläuft, besitzen die Agenten eine beschränkte Sichtweite,¹ in welcher sie den Status ihrer Nachbarn überprüfen. Ferner soll berücksichtigt werden, dass sich

¹Der Sichtbereich wurde hier als kreisförmig angenommen.

in einer großen Menge oft Gruppen mit ähnlicher Gesinnung bilden. Die Bildung solcher Gruppen wird in dem Modell, durch gleiche bzw. nur gering variierende Schwellenwerte abgebildet.

Eine zusätzliche Erweiterung des Basismodells stellt die Entwicklung von zwei Interventionsstrategien der Polizei dar. Diese Strategien haben den Zweck, den entstandenen Aufruhr einzudämmen oder sogar ganz zu verhindern. Das erste Vorgehen ist Deeskalation, d. h., dass durch geeignete Maßnahmen die Schwellenwerte aller beteiligten Agenten um einen gewissen Prozentsatz erhöht werden. Auf der anderen Seite werden Agenten, die randalieren oder gerade anfangen zu randalieren, gezielt aus dem Modell entfernt. Dieses hat zur Folge, dass sich der Unmut der Agenten im direkten Umfeld erhöht. Dieses wird durch das Herabsetzen ihrer Schwellenwerte modelliert.

Im Anschluss an die Modellierung soll die Frage beantwortet werden, welche der beiden Strategien erfolgreicher ist, d. h. geeigneter, einen solchen Aufruhr einzudämmen bzw. zu verhindern.

1.2 Modellelemente

Im folgenden Abschnitt werden die Modellelemente des erstellten Modells genauer betrachtet und erläutert. Sie bilden die Basis für die anschließende Programmierung. Die Entscheidung darüber, wieviele verschiedene Modellelemente benutzt werden und in welcher Form sie ausgeprägt sind, hängt von dem Abstraktionsgrad und der Modellkomplexität ab.

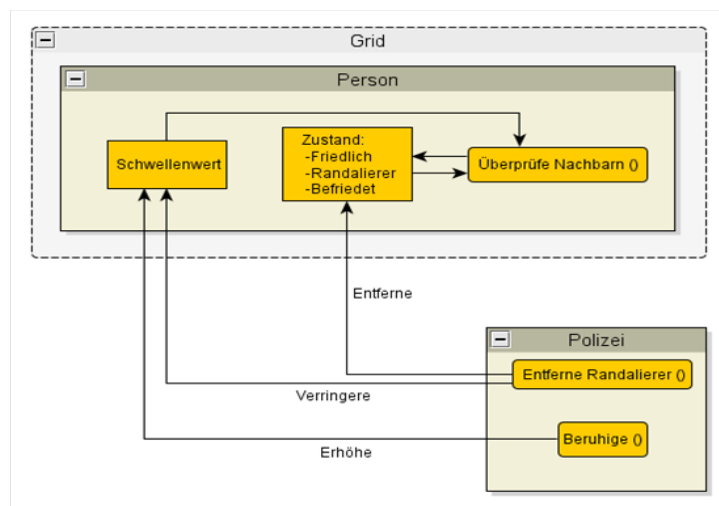


Abbildung 1: Konzeptionelles Modell (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 1 zeigt den konzeptionellen Entwurf des Modells. Das Szenario wird durch den Einsatz von zwei verschiedenen Klassen abgebildet. Zum einen gibt es die Klasse „Person“, welche die Agenten beschreibt, die sich in dem Modell in Aufruhr versetzt werden. Zum anderen wird die Klasse „Polizei“ beschrieben. Diese hat den Zweck die in Abschnitt 1.1 erläuterten Interventionsstrategien durchzuführen. Der gestrichelte Bereich „Grid“ soll verdeutlichen, dass sich alleine Instanzen der Klasse „Person“ auf diesem Grid befinden können. Die Polizei befindet sich im umgebenden Kontext und greift von dort aus auf den Subkontext (d. h. das Grid) zu. In der Klasse „Person“ befinden sich zwei Datenspeicher und eine Methode. Der Schwellenwert beschreibt einen numerischen Wert, ab wann ein Agent anfängt zu randalieren. Dieser Wert ist abhängig von der Umgebung des Agenten. Wenn Mauern oder der Platzrand das Sichtfeld des Agenten einschränken, so reduziert dies die absolute Zahl des Schwellenwertes, nicht aber die relative Zahl. Der Agent kann drei verschiedene Zustände annehmen:

Friedlich Der Agent befindet sich friedlich auf dem Grid und kann von anderen Agenten zum Randalieren bewegt werden.

Randalierer Der Agent randaliert und animiert andere Agenten ebenfalls zu randalieren.

Befriedet Der Agent ist durch geeignete Maßnahmen der Polizei in einem Zustand, indem er von anderen Agenten nicht mehr zum Randalieren bewegt werden kann. Er verharret in dieser Verfassung.

Die verwendete Methode „überprüfe Nachbarn“ wird in jedem Zeitschritt aufgerufen und überprüft, ob die Zahl der in der Sichtweite des Agenten randalierenden Agenten den eigenen Schwellenwert übersteigt. Ist dies der Fall wird der Zustand des Agenten von „Friedlich“ in „Randalierer“ überführt.

Die beiden Methoden der Klasse „Polizei“ beziehen sich auf die beiden verfolgten Interventionsstrategien. Die Deeskalationsstrategie wird durch die Methode „Beruhige“ implementiert. Dabei wird der Schwellenwert der Agenten erhöht, damit sie langsamer anfangen zu randalieren. Die zweite Strategie impliziert das konkrete Entfernen von Randalierern. In Bezug darauf wird auf der einen Seite der Zustand des betrachteten Agenten von „Randalierer“ auf „Befriedet“ geändert, auf der anderen Seite werden die Schwellenwerte der umliegenden Agenten verringert.

2 Modellverhalten

Im Verlauf der Simulation ergeben sich zwei grundsätzlich unterscheidbare Klassen von Dynamiken: Eine sofortige Beendigung des Aufruhrs oder eine Ausbreitung über den ganzen Platz.

2.1 Vollständige Ausbreitung des Aufstandes

Bei den meisten Parameterkonstellationen breitet sich der Aufstand auf dem kompletten Platz aus. Sind die Schwellenwerte niedrig genug und die Dichte der Personen auf dem Platz hoch genug, wird jeder Agent früher oder später vom Aufruhr angesteckt.

Abbildung 2a zeigt dieses Modellverhalten im zeitlichen Verlauf: Die Kurve ähnelt stark logistischem Wachstum. Dieses ist auf die räumliche Struktur zurückzuführen: Am Anfang gibt es nur wenig Randalierer, deshalb kann der Anstieg nicht schnell vonstatten gehen. Nach einigen Schritten (in diesem Fall 8^2) hat sich die „Front so weit verschoben, dass sie nun eine maximale Länge hat. Das heißt: es werden sehr viele Menschen gleichzeitig „angesteckt“. Der Grund für das Abflachen der Kurve nach etwa 10 Zeitschritten ist, dass nun nur noch wenige Menschen übrig sind und die Grenze zwischen Randalierern und Friedlichen entsprechend kurz.

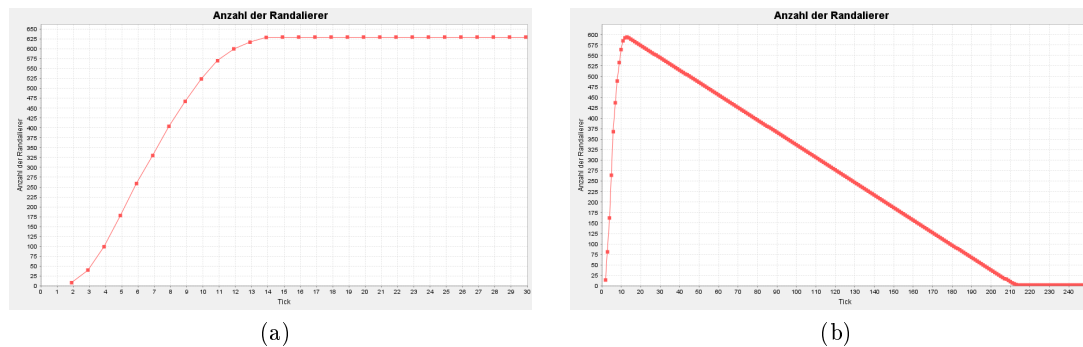


Abbildung 2: Das Modellverhalten „Totale Ausbreitung“ ohne und mit Eingreifen der Polizei.³

In Abbildung 2b sieht man den zeitlichen Simulationsverlauf unter gleichen Parameterbedingungen (siehe Fußnote 3), aber unter Anwendung der Polizeistrategie 2. Hier ist

²Im Allgemeinen sollten konkrete Zahlenwerte in diesem Kapitel nicht quantitativ interpretiert werden, da sie stark von den gewählten (teilweise auch impliziten) Parametern abhängen. Qualitativ ergibt sich aber stets die gleiche Dynamik, nur z. B. später oder schneller usw.

³ Simulationsparameter: *Dichte* 0,7; *Gridgröße* 30x30 Zellen; *Erwartungswert der Schwellenwerte* 0,2; *Varianz der Schwellenwerte* 0,027; *Sichtweite der Agenten*: 2 Zellen.

zu sehen, dass die Zahl der Randalierer stark ansteigt, aber nicht ganz so weit wie in Abb. 2a. Nach 12 Zeitschritten erreicht sie dann ein Maximum und sinkt dann linear. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Polizei in jedem Schritt eine gleiche Anzahl von Randalierern entfernt.

Aus diesen Befunden kann man folgern, dass bei bestimmten Parameterkonstellationen die Polizei unter keinen Umständen wirksam ist (zumindest in der hier gewählten Implementierung ihrer Strategie). Das bedeutet, inhaltlich interpretiert: Liegt eine genügend hohe „Grundaggressivität“ in der Bevölkerung vor, ist die Polizei machtlos.

2.2 Versanden des Aufstandes⁴

Dieses Ergebnis der Analyse der ersten Art von Dynamik bestätigt sich auch unter den Parameterkonstellationen, die nur eine lokale Ausbreitung verursachen.

Hier ergeben sich ganz ähnliche Verläufe wie in Abb. 2, nur mit einer unterschiedlichen Skalierung der y-Achse (vgl. Abb. 3). Erneut lassen sich zwei unterschiedliche Entwicklungen feststellen.

Ist die Polizei nicht präsent, so nähert sich die Zahl der Randalierer einem Maximum (s. Abb. 3a), das aber im Vergleich zur Anzahl der Personen auf dem Platz verhältnismäßig klein ist (etwa 18,5 %). Dies liegt an der verhältnismäßig niedrigen Anzahl an Personen auf dem Platz und der Gruppenbildung nach Schwellenwerten.

Wenn in diesem Szenario eine Person mit dem Schwellenwert 0 zu randalieren beginnt, so ist es zwar zunächst wahrscheinlich, dass sich in ihrer unmittelbaren Umgebung auch Personen mit niedrigen Schwellenwerten aufhalten, aber wenn diese Gruppe erstmal „infiziert“ ist, dann ist der Abstand zur nächsten Gruppe und die Schwellenwerte der anderen Gruppenmitglieder zu hoch, um den Protest in diese Gruppe hinüberzutragen.

Analog zu Abbildung 2 oben ergibt sich auch in diesem Fall durch den Einsatz der Polizei eine Veränderung in Abb. 3b gegenüber Abb. 3a: Erstens erreicht die Zahl der Randalierer einen nicht mehr so hohen Wert,⁶ zweitens sinkt sie nach Erreichen der Sättigung stetig bis auf 0. Die Polizei kann aber auch hier dem Aufstand nur „hinterherlaufen“ (wenn auch, anders als in der obigen Modelldynamik – Abschnitt 2.1 – lokal begrenzt) und ihn nicht aktiv verhindern.

⁴Ausgeklammert bleibt hier der äußerst uninteressante Fall, in dem sich gar kein Aufstand ausbreitet, weil schlicht die Schwellenwerte zu hoch sind und niemand den Schwellenwert 0 hat.

⁵Simulationsparameter: *Dichte* 0,3; *Gridgröße* 30x30 Zellen; *Erwartungswert der Schwellenwerte* 0,3; *Varianz der Schwellenwerte* 0,027; *Sichtweite der Agenten*: eine Zelle.

⁶Diese Zahl ist zwar vorsichtig zu interpretieren, da die Modelldynamik stark von der (zufälligen) Verteilung der Personen und Schwellenwerte auf dem Platz abhängt, grundsätzlich lässt sich aber bei wiederholten Simulationsläufen diese etwas niedrigere Zahl bei Einsatz der Polizei beobachten.

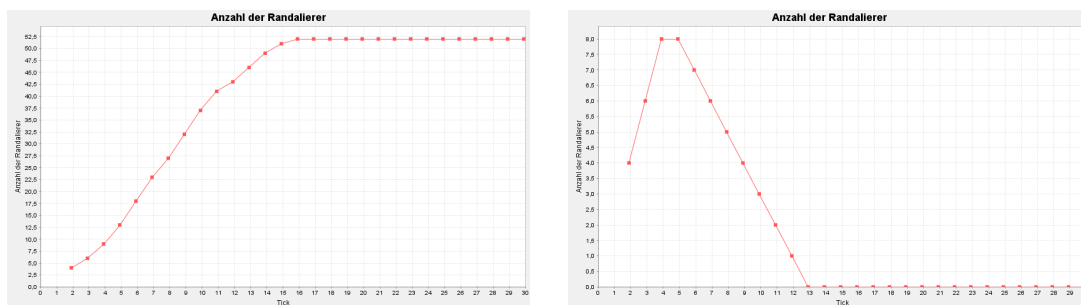


Abbildung 3: Das Modellverhalten „Lokale Ausbreitung“ ohne und mit Eingreifen der Polizei.⁵

2.3 Fazit

Aus den Analysen der grundsätzlich unterschiedlichen Modellverläufe in den beiden vorangegangenen Abschnitten ergibt sich, dass in dieser Implementation nicht das Wirken der Polizei der entscheidende Faktor ist, der die Ausweitung des Aufstands auf alle Personen auf dem Platz bestimmt, sondern der alleine die (relative) Anzahl der Personen auf dem Platz und deren Sichtweite.

Das bedeutet einerseits, dass eine Polizei, die *exakt* in der oben beschriebenen Weise funktionieren würde, nutzlos und überflüssig wäre (will man sie nicht als Organ verstehen, dass bloß im Nachhinein Randalierer bestraft, sondern das auch *vorher* aktiv und präventiv tätig wird, wie es ja real der Fall ist, z. B. bei Fußballspielen etc.). Andererseits eröffnen sich aus dieser Analyse neue Handlungsmöglichkeiten zur Prävention (vorausgesetzt, das kollektive Verhalten ist durch das Modell richtig beschrieben): So könnte es sehr hilfreich sein, keine zu starke Überfüllung des Raumes zuzulassen, um die Ansteckungsgefahr klein zu halten. Auch sollte der räumliche Abstand der gewaltbereiten Gruppen zu den friedlicheren (sofern hier eine eindeutige Zuordnung möglich ist), möglichst erhöht werden.

Eine weitere, in dieselbe Richtung weisende Implikation ergibt sich aus einer Erweiterung unseres Modells, die dessen räumliche Explizitheit erhöht: Es ist möglich, eine als Bitmap gespeicherte Karte einzulesen und als Raumstruktur (mit Sichtbehinderungen) der Simulation zugrundezulegen. In systematischen Vergleichen zeigt sich hier, dass intelligente Einschränkungen der Sichtbereiche (durch Mauern o. Ä.) die Ausbreitung eines Aufstandes im Raum verzögern können.

Folglich bieten sich für die Polizei als Ergebnis dieses Modells andere Strategien eher als die im Rahmen dieses Projekts gewählten an, die stärker auf präventive Analyse der Situation *vor* Beginn der Veranstaltung setzen als auf Reaktion auf Situationen lediglich

just in time. Hierfür konkrete Implementierungen zu testen, wäre sicherlich interessant, hätte an dieser Stelle aber den Rahmen gesprengt.

3 Datenauswertung

Zur Regelung der Simulation gibt es die folgenden Parameter:

- *Dichte*: Beschreibt die relative Dichte der Agenten auf dem Platz
- *Erwartungswert*: Beschreibt den Erwartungswert der Normalverteilung der Schwellenwerte der Agenten
- *Varianz*: Beschreibt die Varianz der Normalverteilung der Schwellenwerte der Agenten
- *Polizeischanke*: Gibt an, wieviele Randalierer die Polizei pro Runde maximal entfernen darf
- *Größe*: Beschreibt die Größe des Platzes
- *Sichtweite*: Gibt die Größe der Nachbarschaft an, die ein Agent sieht

Für das Modell wurden insgesamt vier Parameter-Variationen durchgeführt, um das Verhalten des Modells für verschiedene Parameter zu untersuchen, davon zwei auf einem großen Parameterbereich über die beiden Parameter *Erwartungswert* und *Dichte* und anschließend zwei Variationen um die Parameter einzeln mit einer besseren Auflösung zu untersuchen.

3.1 Variation 1 und 2

Die Variationen wurden für alle Parameter außer *Erwartungswert*, *Dichte* und *Polizeischanke* mit den Default-Werten⁷ durchgeführt. Für Variation 1 wurde die *Schanke* konstant auf 3 gesetzt, für Variation 2 war der Wert 6. In beiden Fällen wurde der *Erwartungswert* von 0.08 bis 0.09 mit Schrittweite 0.0005 variiert. Die *Dichte* variierte zwischen 0.3, 0.5 und 0.7. Für jedes Parameterset wurden 15 Simulationsläufe durchgeführt.

In Abbildung 4 wurden die Ergebnisse für Variation 1 als Mittelwerte aufgetragen. Die Werte der vertikalen Achse (n) entsprechen der größten Anzahl an Randalierern, die in einem Lauf gleichzeitig aktiv waren. Diese Größe wurde gewählt, da die Anzahl an Randalierern zu einem bestimmten Zeitpunkt kein zuverlässiges Maß für die Ausbreitung des Aufstandes ist.⁸ Variation 2 zeigt ein ähnliches Ergebnis, das sich in der Dynamik

⁷ *Größe*: 40; *Varianz*: 0.027; *Sichtweite*: 5

⁸ Die andauernde Aktivität der Polizei, auch nachdem sich der Aufstand komplett ausgebreitet hat, reduziert die Anzahl der Randalierer weiter bis zum Ende der Simulation.

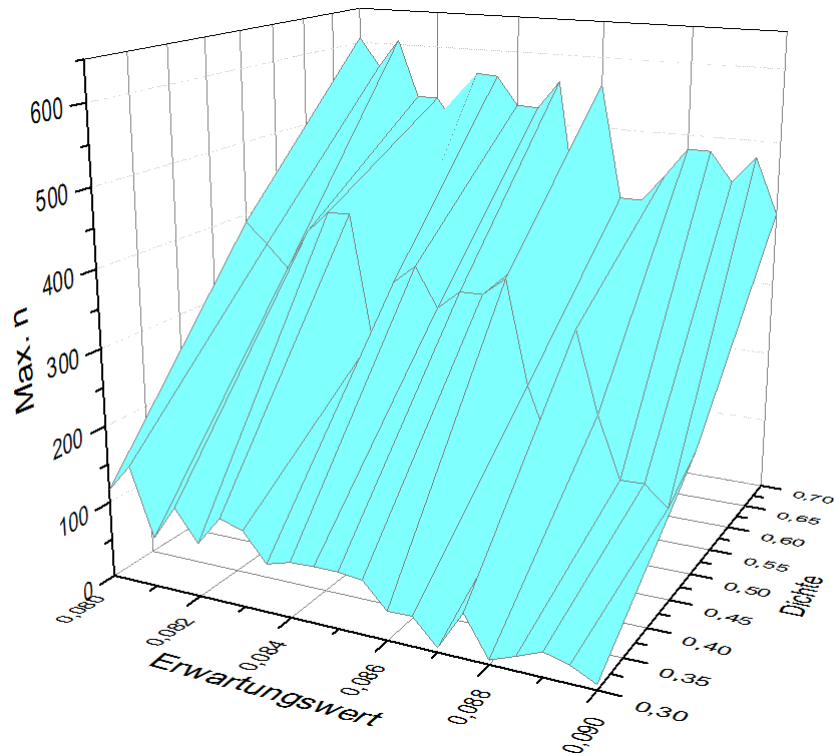


Abbildung 4: Anzahl Randlierer in Abhängigkeit von *Dichte* und *Erwartungswert*

nicht wesentlich von Variation 1 unterscheidet.

Deutlich zu sehen ist, dass n proportional zur *Dichte* der Agenten auf dem Feld ist. Auch ein proportionaler Zusammenhang zwischen dem *Erwartungswert der Schwellenwerte* und n ist zu vermuten. Wie aus anderen agentenbasierten Modellen, die auf einem Grid agieren, bekannt ist, können bei zufälliger und quasi-zufälliger Verteilung der Agenten auf dem Feld Perkolations-effekte auftreten. Um dies näher zu untersuchen, wurden zwei weitere Variationen mit besserer Auflösung durchgeführt.

3.2 Variation 3 und 4

In Variation 3 wurde der *Erwartungswert* von 0.078 bis 0.092 mit einer Schrittweite von 0.001 variiert. Die *Dichte* wurde auf 0.5 gewählt, die anderen Parameter wiederum auf Default gesetzt (vgl. Fußnote 7). In Variation 4 wurde die *Dichte* von 0.0 bis 1.0 mit einer Schrittweite von 0.05 variiert. Der *Erwartungswert* wurde auf 0.085 gewählt, die anderen Parameter wiederum auf Default gesetzt. In beiden Fällen wurden 100 Durhläufe pro Parameterset durchgeführt.

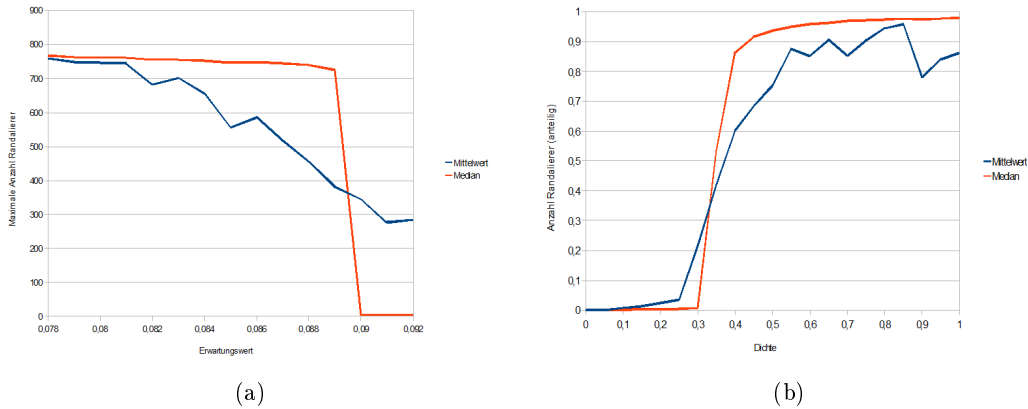


Abbildung 5: Anzahl Randalierer in Abhängigkeit von der Dichte, bzw. Erwartungswert

In Abbildung 5a ist das Ergebnis von Variation 3 aufgetragen, in Abbildung 5b das von Variation 4. Für Abbildung 5b wurde die maximale Anzahl an Randalierern n zusätzlich durch die Anzahl der Agenten des entsprechenden Parametersets geteilt.⁹ Der deutliche Unterschied zwischen Mittelwert und Median der Datenreihen ist in einem Aspekt der Modelldynamik begründet (vgl. Kapitel 2). Entweder ist es der Polizei möglich den Aufstand direkt in den ersten Runden zu unterdrücken oder die Polizei ist nicht in der Lage den Aufstand zu verhindern und der Aufstand breitet sich nahezu vollständig über das Feld aus. Daher ist n in einem Run entweder hoch oder niedrig, ein Regime mit dazwischen liegenden Werten scheint nicht zu existieren.

3.3 Interpretation

In beiden Abbildungen ist nun deutlich zu sehen, dass es bei den beiden Parametern *Erwartungswert* und *Dichte* zu Perkolations-effekten kommt. Im Fall der *Dichte* liegt dies auf der Hand, da eine Untersuchung ähnlicher Modelle ergeben hat, dass Perkolation eine fundamentale Eigenschaft solcher Systeme ist. (vgl. G. Grimmet, 1999)¹⁰ Für den *Erwartungswert* ist das Ergebnis ebenfalls nicht überraschend. Je höher der *Erwartungswert* ist, desto mehr Agenten sind in der Nachbarschaft eines Agenten nötig, damit dieser ebenfalls randaliert. Damit ist der Effekt, den ein einzelner Randalierer hat, umso größer, je geringer der durchschnittliche Schwellenwert in der Umgebung ist.

Für die übrigen Parameter wurden keine ausführlichen Variationen durchgeführt. Aus

⁹Da mit zunehmender Dichte die Anzahl an Agenten steigt, muss das Ergebnis entsprechend normiert werden.

¹⁰Geoffrey Grimmett: *Percolation* (Springer, 1999)

der Kalibrierung der Default-Werte und vielen experimentellen Runs können wir die Parameter in folgenden Kategorien einteilen, je nachdem, wie sie sich auf die Dynamik des Modells auswirken.

- Perkolation: *Dichte, Erwartungswert*
- Linear: *Schranke, Varianz*
- Invariant: *Größe*
- Keine Aussage: *Sichtweite*

Es sei hier anzumerken, dass wir für unser Modell keine Aussage über den Einfluss der *Sichtweite* auf die Modelldynamik machen können. Wie oben erwähnt, ist die *Sichtweite* direkt mit dem *Erwartungswert* der Agenten gekoppelt. Es war uns daher nicht möglich die *Sichtweite* separat, d. h. von den anderen Parametern entkoppelt zu untersuchen.

4 Kritik am Modell

Das von uns vorgestellte Modell besitzt Schwächen und Unklarheiten, die wir im Folgenden näher erläutern wollen.

Die Kernannahmen, die sowohl Granovetters Modell als auch unseren Erweiterungen dazu zugrunde liegen, bilden eine sehr starke Abstraktion von der Realität eines Aufstandes. Da es nur schwer möglich ist den Zustand des "Randalierens" eindeutig zu bestimmen, ist es zweifelhaft, ob ein binärer Zustand der Agenten und die Abfrage dieses exakten Wertes von Seiten der anderen Agenten ein gutes Abbild der Realität liefern. Auch die Reduktion des in sich selbst bereits komplexen Entscheidungsprozesses eines Agenten auf einen einzelnen Wert und einer binären Abfrage mag für die Modellierung von Vorteil sein, unterdrückt aber vielerlei (z. B. psychologische) Mechanismen und Wechselwirkungen zwischen den Agenten.

Im Gegensatz zu Granovetters Modell ohne Raumbezug, ist unser Modell im Raum explizit, was bedeutet, dass die Position der Agenten eine wichtige Rolle im Modell spielt, wie im Abschnitt „Modellverhalten“ bereits erwähnt. Es wäre daher nicht ohne Bedeutung, die Bewegung der Personen auf dem Platz in die Simulation miteinzubeziehen. Unser Modell geht hingegen von einer statischen Verteilung aus.

5 Fazit

Das hier vorgestellte Modell hat sich als ein sehr konzeptionelles Modell erwiesen, mit dem einige grundlegende Aspekte kollektiven Verhaltens reproduziert werden können (so

scheinen z. B. die in Kapitel 2 vorgestellten Verläufe durchaus realistisch zu sein. Seinen Modellzweck, das grundlegende Verständnis kollektiven Verhaltens, erfüllt es also.

Darüber hinausgehende Schlüsse sollten aber nur mit äußerster Vorsicht gezogen werden. Möchte man zum Modellzweck „Prognose“ übergehen und z. B. auf reale Plätze oder Situationen bezogene Aussagen treffen, so sollte das Modell unbedingt um zentrale Aspekte erweitert werden, so etwa die Bewegung der Personen oder realistischere Verhaltensabbildungen.

Das Modell ist für derlei Erweiterungen aber durchaus offen, sodass einer Weiterentwicklung des Programms grundsätzlich nichts im Wege stünde. Im Rahmen dieser Arbeit waren solche weitergehenden Modellelemente aber weder vorgesehen noch realisierbar.

Die grundsätzlichen Aussagen, die durch unsere Simulation zu treffen waren, sind – wie in Kapitel 3 gezeigt – eher konzeptioneller Natur, deshalb aber nicht weniger gültig.

6 Literaturverzeichnis

- Grimmett, Geoffrey: *Percolation* (Springer, 1999)
- Salamon, Thomas: *Design of Agent-Based Models* (2001)