

29 Die Mathematik des Drängelns

Die Dynamik von Fußgängerströmen ist ein junges und wachsendes Forschungsfeld in dem unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen arbeiten. Die Mathematik hat in diesem interdisziplinären Feld eine wichtige integrierende Rolle. Die Anwendungen reichen von der Organisation von Großveranstaltungen, über die Optimierung von Verkehrsanlagen bis zur Gestaltung von Fluchtwegen für Schulen oder Museen.

Armin Seyfried beschäftigt sich seit 15 Jahren mit der Dynamik von Personenströmen. Mira Küpper arbeitet in Ihrer Promotion an der Analyse von Laufwegen und Warteverhalten an Bahnsteigen. Hierfür kooperieren sie mit Wissenschaftler*innen aus dem Ingenieurwesen, der Mathematik, den Computerwissenschaften und der Sozialpsychologie. Die Zusammenarbeit mit Mathematiker*innen ist wichtig, da sie zu neuen Impulsen in der Datenanalyse und Modellierung führen.

Obwohl der Zusammenhang zwischen Fußgängern und der Mathematik nicht direkt ersichtlich ist, gibt es viele mathematische Methoden die in der Forschung zur Fußgängerdynamik eine zentrale Rolle spielen und aus denen sich eine Vielzahl von praktischen Anwendungsbereichen ergeben. Wie bekommt man mehrere tausend Besucher in ein Fußballstadion und auch wieder heraus? Wie kann man berechnen wie breit die Fluchtwege aus einem Gebäude sein müssen, sodass im Falle einer Evakuierung möglichst viele Menschen in kurzer Zeit das Gebäude verlassen können? Wo kommt es dabei zur Entstehung von Stau und wie kann man dies verhindern?

Die Schwierigkeit bei solchen Fragestellungen besteht darin, dass sich im Gegensatz zum Autoverkehr, bei dem es konkrete Verkehrsregeln gibt (Fahrspuren, Rechts-vor-Links usw.) Fußgänger kreuz und quer bewegen können. Um die Bewegungen von Fußgängern detailliert untersuchen zu können, werden häufig Fußgänger-Experimente unter „Laborbedingungen“ durchgeführt, siehe Abbildung 29. Im Rahmen von verschiedenen Forschungsprojekten des Lehrstuhls „Computersimulation für Brandschutz und Fußgängerverkehr“ der Bergischen Universität und dem „Institute for Advanced Simulation“ des Forschungszentrum Jülich wurden bereits zahlreiche solcher Experimente durchgeführt. Im Kontext der Fußgänger-Dynamik bedeutet dies, mehrere hundert freiwillige Probanden in einer großen Halle durch Korridore und Engstellen drängeln zu lassen, um die Bewegungen von Personen wissenschaftlich beobachten zu können. Die Probanden tragen bei den Experimenten farbige Mützen und werden von Kameras aus der Vogelperspektive gefilmt, sodass im Nachhinein die Laufwege der Personen nachvollzogen werden können. Mit verschiedenen Experimentaufbauten lässt sich dabei untersuchen wann die Probanden eine geordnete Warteschlange bilden und welche Faktoren dazu führen, dass gedrängt wird.

Analysiert werden die durch Experimente erhobenen Daten in Hinsicht auf die Dichte; das heißt wie viele Personen sich auf einem Quadratmeter Fläche aufgehalten haben; die Geschwindigkeit der Probanden, sowie den Fluss, welcher die Anzahl der Personen



Abbildung 29: Ein Experiment mit 700 Probanden in dem Stauungen an Kreuzungen untersucht wurden. Die Experimente fanden 2013 im Rahmen eines Forschungsprojektes zu Großveranstaltungen in den Messehallen in Düsseldorf statt. (Quelle: Forschungszentrum Jülich / Foto: Marc Strunz-Michels)

beschreibt, die in einem festen Zeitintervall eine vorgegebene Linie zum Beispiel eine Engstelle durchquert haben. Durch den Vergleich der Ergebnisse von unterschiedlichen Versuchsanordnungen kann analysiert werden wie sich eine Änderung des Aufbaus (z.B. Korridore mit verschiedenen Breiten) oder der Anweisung der Probanden (z.B. „Nur die Schnellsten bekommen einen guten Sitzplatz“) auswirkt.

Da Experimente immer nur in einem überschaubaren Rahmen und damit für vereinfachte Fragestellungen durchgeführt werden können und es zum Beispiel viel zu aufwändig wäre in einem Experiment zu prüfen wie lange es dauert ein ganzes Fußballstadion zu evakuieren, werden solche komplexen Fragestellungen über Simulationen untersucht. Als Simulation wird ein Computermodell bezeichnet mit dem versucht wird die Realität nachzubilden.

Um die Bewegung von Fußgängern simulieren und damit vorhersagen zu können, werden mathematische und physikalische Computer-Modelle benötigt. Mit Hilfe der Mathematik lassen sich Wege finden das Verhalten von Personen in Gleichungen und Modelle zu übertragen, siehe Abbildung 30. Das Modell muss zum Beispiel „lernen“ welche Faktoren vorher nicht drängelnde Personen zum Drängler werden lassen. Um diese mathematischen Modelle kalibrieren und validieren zu können, werden reproduzierbare Ergebnisse aus den Laborexperimenten verwendet. So wird sichergestellt, dass zuverlässige Vorhersagen, an welchen es Stellen es zu Stauungen kommen kann,

berechnet werden können. Denn jedes Computermodell kann nur so gut sein, wie die Daten die zur Kalibrierung genutzt wurden.

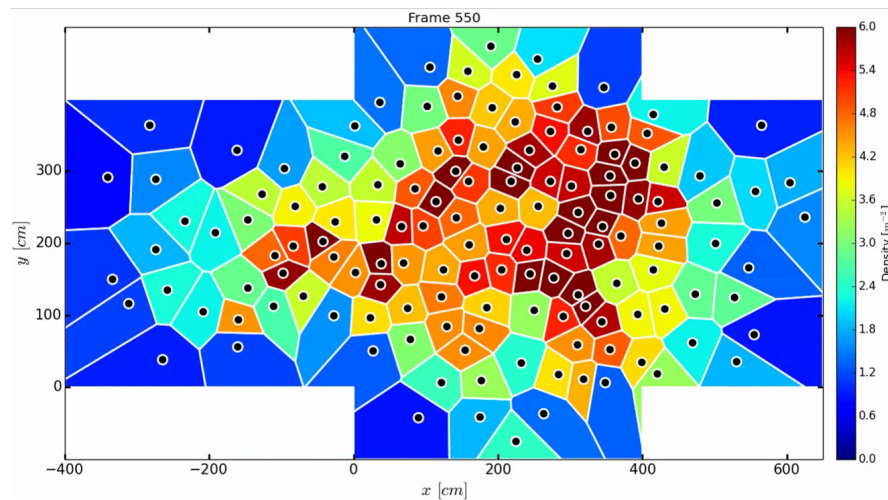


Abbildung 30: Voronoi-Zerlegung des Raumes für die Bestimmung individueller Dichten. Bei den Rohdaten, schwarze Punkte, handelt es sich um Positionen der Fußgänger. Sie wurden in einem ähnlichen Experiment gemessen, wie es Abbildung 29 zeigt. Die Werte zeigen, dass die Dichte mehr als 6 Personen auf einem Quadratmeter betragen kann.

Mit guten Computermodellen zur Bewegung von Personenströmen kann die Sicherheit von Personen in Alltagssituationen erhöht werden. Daher handelt es sich um ein Forschungsgebiet mit Alltagsbezug zu dem jeder Einzelne eigene Erfahrungen beisteuern kann.