

19 Die überraschende Verzögerung

Eine zusätzliche Straße kann zu einer längeren Reisezeit führen. Dieses kontraintuitive Ergebnis wird als Braess-Paradox bezeichnet und tritt in allen möglichen Formen auf.

Im Projekt *Networks* erforscht ein Team von Wissenschaftlern die Verkehrsnetze der Zukunft. Hierbei spielt das *Braessche Paradoxon*, aus den stochastischen Netzwerke eine grosse Rolle. Stochastischen Netzwerke sind Netzwerke, in denen der Zufall eine Rolle spielt. Bei diesen Netzwerken kann der Verkehrsfluss, genau wie beim Strassenverkehr, schlechter werden, wenn man die Kapazität des Netzwerks erhöht. Das scheint ein Paradoxon zu sein, aber sobald man die Mathematik versteht, sieht man, dass es wirklich keinen Widerspruch gibt.

Die alte Situation

Ein kleines Beispiel macht deutlich was geschieht. Zehn Fahrzeuge wollen von Quelle **Q** bis Ziel **Z** fahren. Jeder Fahrer kann zwischen zwei Routen wählen: die untere Route über **A**, oder die obere Route über **B**. Die Fahrzeit für jede Route hängt von der Anzahl der Fahrzeuge V ab, die passieren, die genauen Zeiten sind der Zeichnung zu entnehmen. Beispielsweise kostet die Fahrt von Quelle nach **A** das Zweifache der Anzahl der Fahrzeuge, die diese Route wählen (in Minuten). Wenn alle 10 Autos diese Route wählen, dann beträgt die Fahrzeit auf diesem Stück zwanzig Minuten für alle. Wenn nur ein Auto fährt, wird es **A** in zwei Minuten erreichen.

In einer Gleichgewichtssituation sind die Fahrzeiten über die untere und obere Strecke genau gleich lang und kein Fahrer hat ein Interesse daran, die Straße zu wechseln. In diesem Fall nehmen fünf Autos die obere Route und fünf die untere Route. Diese Lösung liegt auch aufgrund der Symmetrie dieses Problems auf der Hand. Man kann leicht ausrechnen, dass in diesem Fall jeder eine Fahrzeit von 30 Minuten hat.

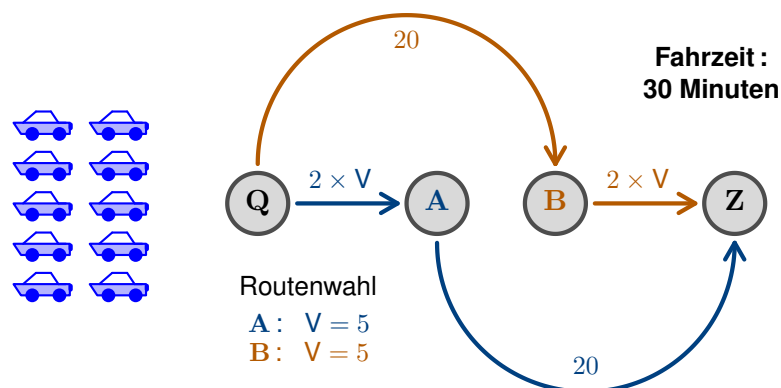


Abbildung 20: Alte Fahrtsituation

“Verbesserungen”

Dann beschließt die Regierung, eine neue, schnelle Straße von A nach B zu bauen (belanglos). Bei Quelle Q können die zehn Fahrer nun aus drei Routen wählen: die beiden alten plus die neue Straße, die über A und B verläuft. Wenn nun eines der 5 Autos auf der unteren Strecke die neue Straße nimmt, sinkt seine Fahrzeit auf 22 Minuten. Dadurch verlängert sich die Fahrzeit für die 5 Autos auf der oberen Strecke etwas: Sie beträgt 32 Minuten.

Es ist daher klüger, wenn einer von ihnen ebenfalls den neuen Weg über A und B nimmt. Danach gibt es eine weitere Gleichgewichtssituation, in der die drei Routen jeweils gleich lange dauern. Die Fahrzeit beträgt nun 40 Minuten für alle, das sind zehn Minuten länger als vor dem Hinzufügen der zusätzlichen Straße. Zu diesem Zeitpunkt kann jedoch kein Fahrer seine Fahrzeit reduzieren, indem er individuell eine andere Route nimmt.

Dies ist ein wundersames Phänomen. Es wäre besser, wenn alle die neue Straße ignorieren würden, aber dann wird es immer einen Fahrer geben, der meint, er sei schneller unterwegs, wenn er sie nimmt. Eine Zeit lang scheint es ihm besser zu gehen, aber am Ende ist jeder das Opfer. Dieser Effekt ist unvermeidlich. Es wäre viel effizienter, wenn man zentral entscheiden könnten, welches Auto wohin fährt.

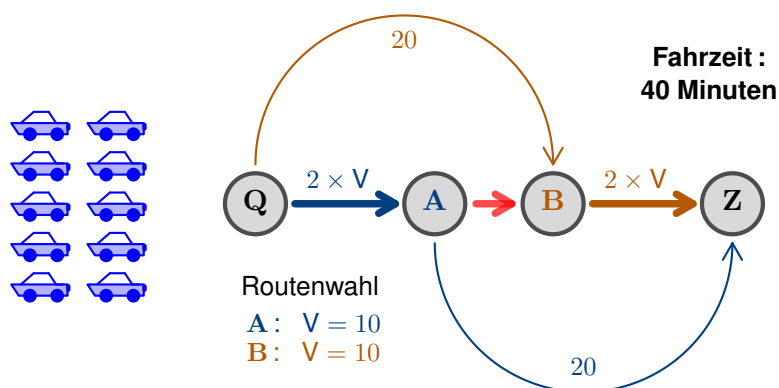


Abbildung 21: Fahrsituation mit der zusätzlichen Straße

Das Braess-Paradoxon ist ein regelmäßiges Phänomen. In Boston erhielten Pendler eine längere Fahrzeit, als ein zusätzlicher Tunnel unter dem Namen Big Dig gebaut wurden. Auch das Gegenteil ist der Fall: Als New York die Verkehrsader der 42nd Street vorübergehend schloss, schien der Verkehr durch die Stadt reibungsloser zu fließen. Das Phänomen wurde auch in Stuttgart oder Seoul beobachtet und dokumentiert.

Zukünftige Pläne

Forscher wollen ein solches Verhalten in Verkehrsnetzen in den kommenden Jahren besser abbilden und auch prüfen, wie man das System verbessern kann, indem man

einen kleinen Prozentsatz der Autos verfolgt. Darüber hinaus werden sie an Netzwerken für Kommunikation, Energie und Logistik arbeiten. Das Schöne dabei ist, dass alle Netzwerke im Großen und Ganzen die gleiche Struktur haben. Somit sind die anzugehenden Probleme nicht nur einem Anwendungsbereich vorbehalten.



Abbildung 22: Stau am Wuppertaler Robert-Daum-Platz. Im Hintergrund die Bergische Universität Wuppertal. Foto: Tomas Riehle (arturimages)