

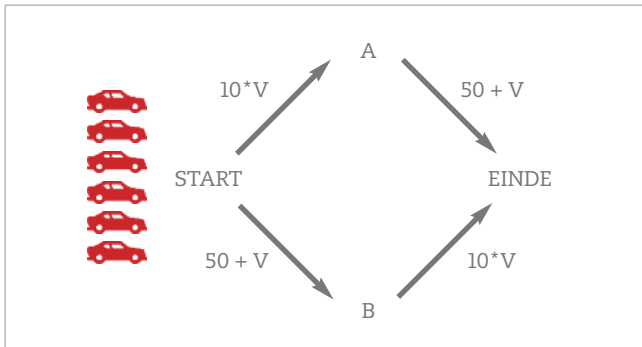
De verrassende vertraging

Een extra weg kan leiden tot een langere reistijd. Dit tegenintuïtieve resultaat heet de Braess-paradox en duikt op in allerlei vormen.

Eind 2013 kende NWO een subsidie van 22,7 miljoen euro toe aan het onderzoeksproject *Networks*. Een team van wetenschappers gaat de komende jaren onder andere onderzoek doen naar verkeersnetwerken. Hoofdaanvrager Michel Mandjes vertelt enthousiast over de Braess-paradox die hij ontdekte tijdens een lezing over stochastische netwerken, netwerken waarbij toeval een rol speelt. Mandjes: “Bij die netwerken kan, net als in het verkeer, de doorstroming slechter worden als je de capaciteit van het netwerk vergroot. Het lijkt een paradox, maar zodra je de wiskunde begrijpt, zie je dat er eigenlijk geen tegenstelling is.”

De oude situatie

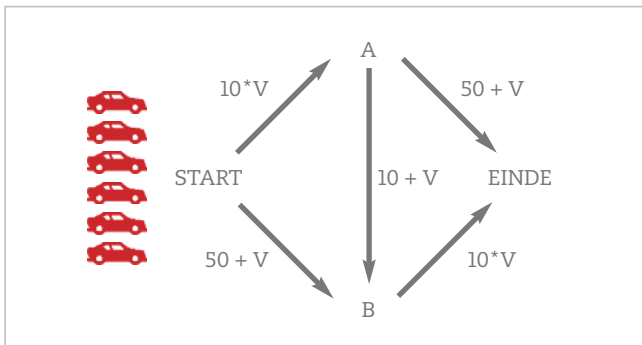
Een klein voorbeeld maakt duidelijk wat er gebeurt. Zes voertuigen willen van START naar EINDE. Iedere chauffeur mag zelf kiezen uit twee routes: de bovenste route via A, of de onderste route via B. De reistijd hangt bij elke weg af van het aantal voertuigen V dat erover gaat, de precieze tijden zijn te vinden in de tekening. De reis van START naar A kost bijvoorbeeld tien maal het aantal voertuigen dat deze route kiest (in minuten). Als alle zes auto's deze weg kiezen, dan is de reistijd op dit stukje voor iedereen zestig minuten. Rijdt er maar één auto, dan is hij in tien minuten bij A.



In een evenwichtssituatie zijn de reistijd via de onderste en bovenste route precies gelijk en heeft geen enkele chauffeur er belang bij om van weg te wisselen. Mandjes: “In dit geval zullen drie auto’s de bovenste route nemen en drie de onderste. Die oplossing ligt ook voor de hand door de symmetrie van dit probleem. Je kunt eenvoudig narekenen dat iedereen in dit geval een reistijd van 83 minuten heeft.”

Verbetering

Dan besluit de overheid een nieuwe, snelle weg van A naar B aan te leggen: die kost $10 + V$ minuten. Nu kunnen de zes chauffeurs bij START kiezen uit drie routes: de twee oude plus de nieuwe weg die via A én B loopt. Als nu één van drie auto’s op de bovenste route de nieuwe weg neemt, daalt zijn reistijd naar 81 minuten. Daarmee maakt hij de reistijd voor de drie auto’s op de onderste route wel wat langer: die komt op 93 minuten.



Het is daarom slimmer als één van hen ook de nieuwe route via A én B pakt. Daarna is er weer een evenwichtssituatie waarbij de drie routes elk evenveel tijd kosten. De reistijd is nu voor iedereen 92 minuten, negen minuten langer dan voordat de extra weg erbij kwam. Toch kan op dat moment geen enkele chauffeur zijn reistijd verkorten door individueel een andere route te nemen.

Mandjes: “Dit is een wonderbaarlijk verschijnsel. Het zou beter zijn als iedereen de nieuwe weg zou negeren, maar dan is er altijd wel één chauffeur die bedenkt dat hij sneller af is als hij hem wel neemt. Hij lijkt even beter af, maar uiteindelijk is iedereen de dupe. Dit effect is onvermijdelijk. Het zou veel efficiënter zijn als je centraal kon beslissen welke auto waarheen ging.”

De Braess-paradox komt regelmatig voor in de praktijk. In Boston kregen forenzen een langere reistijd toen er extra tunnels aangelegd werden onder de naam *Big Dig*. Ook het omgekeerde komt voor: toen New York de verkeersader *42nd Street* tijdelijk afsloot, bleek het verkeer juist soepeler door de stad te stromen.

Toekomstplannen

Mandjes en zijn collega’s willen de komende jaren dergelijk gedrag in verkeersnetwerken beter in kaart brengen en ook kijken hoe je het systeem kunt verbeteren door een klein percentage van de auto’s te volgen. Daarnaast gaan ze werken aan netwerken voor communicatie, energie en logistiek. Mandjes: “Het aardige is dat alle netwerken in grote lijnen dezelfde structuur hebben. De problemen die we willen aanpakken zijn daarom niet voorbehouden aan één toepassingsgebied.”