



Transport in Complex Driven Systems
D.M. Miedema

Samenvatting

In dit proefschrift onderzoeken we de transport eigenschappen van verkeer op snelwegen, van gedreven colloïdale glazen en van moleculaire motoren die over het cytoskelet in biologische cellen bewegen. Deze ogenschijnlijk totaal verschillende systemen hebben gemeen dat het transport door veel "deeltjes" tegelijk wordt uitgevoerd en dat er een externe kracht of energiebron nodig is om de deeltjes gericht te verplaatsen. Door de drijvende kracht zijn zulke systemen niet in evenwicht, en daardoor nog maar slecht begrepen. De drijvende kracht doet de deeltjes in een systeem bewegen, terwijl afstotende interacties tussen de vele deeltjes de doorstroming juist verlagen. De afstotende krachten worden belangrijker naarmate de dichtheid van deeltjes hoger wordt: meer deeltjes betekent simpelweg meer interactie. Het is deze competitie tussen de drijvende kracht en de ophoping van afstotende deeltjes die de transport eigenschappen van een systeem bepalen en die wij nader bestuderen in dit werk om tot een beter begrip van gedreven systemen te komen. Hieronder volgt een korte samenvatting van onze bevindingen in ieder van de bestudeerde systemen.

Colloïdale glazen zijn dichte verzamelingen van deeltjes met micron grootte die eigenschappen van een vaste stof hebben, maar de structuur van een vloeistof. Het vaste karakter van glazen komt voort uit de afstotende krachten tussen de dicht op elkaar gepakte deeltjes. Deze afstotende krachten tussen deeltjes geven het materiaal als geheel rigiditeit. De colloïdale deeltjes bewegen echter nog wel een beetje in glazen. Door een schuifkracht op een colloïdaal glas te zetten gaan de deeltjes nog meer bewegen. Met een microscoop kunnen we de dynamica van deeltjes in 3D volgen en bepalen wanneer de externe kracht de transport eigenschappen van het colloïdale glas gaat domineren. Een sterke schuifkracht resulteert in een heterogene verdeling van stroomsnelheden: deeltjes dichtbij de plek waar de kracht wordt aangebracht bewegen snel, terwijl de deeltjes verder

weg langzaam bewegen. Men zou kunnen zeggen dat het colloïdale glas breekt boven een bepaalde schuifkracht.

Bestuurders van auto's proberen botsingen te voorkomen; dit kan men opvatten als een afstotende kracht tussen de "auto-deeltjes". De afstotende kracht op korte afstanden tussen deeltjes is analoog aan die in colloïdale glazen. Deze fundamentele interactie geeft glazen hun vaste karakter en zorgt voor de vorming van files op snelwegen. Wanneer er veel auto's op een drukke weg zijn ontstaan files die de doorstroming aanzienlijk verlagen. Wij analyseren, door verkeersmodellen analytisch en numeriek te bestuderen, wanneer files stabiel zijn en hoe groot ze kunnen worden. Alleen onder bijzondere condities, als alle fluctuaties in het rijgedrag verdwijnen en bestuurders extreem voorzichtig zijn, kan een file oneindig groot worden. Dankzij de analoge afstotende krachten in modellen voor verkeer en glazen zijn we deze bijzondere limiet op het spoor gekomen. Dit illustreert het belang van een algemene aanpak van gedreven systemen.

Tenslotte bestuderen we moleculaire motoren die vracht transporteren in biologische cellen. Deze motoren binden aan het cytoskelet, een netwerk van biopolymeren dat cellen structuur geeft. Door consumptie van ATP wandelen moleculaire motoren langs het cytoskelet en verplaatsen zo vracht van de ene naar de andere kant van de cel. Wij bestuderen het transport van moleculaire motoren zowel experimenteel als met simulaties. De simulaties leren ons hoe de netwerk structuur en de motor dichtheid de doorstroming bepalen. We nemen simpele (wederom) afstotende interacties tussen motoren aan, waardoor we grote netwerken met veel deeltjes kunnen simuleren. We vinden interessante stromingspatronen met heterogene of homogene verdelingen van motoren en stroomsnelheden, afhankelijk van de netwerk structuur en de totale motor dichtheid. Experimenteel bestuderen we de daadwerkelijke interacties tussen motoren door te observeren hoe de transport eigenschappen veranderen bij hoge motor dichtheden. Hiertoe ontwikkelen we eerst een techniek die microscopische beelden van bewegende moleculaire motoren tot hoge dichtheden kan analyseren, en bovendien snel en accuraat is. Voor het eerst meten we met deze techniek de interactie lengte tussen motoren en vinden resultaten die uitstekend in overeenstemming zijn met de specifieke rol van ieder type motor in de cel: interacties tussen coöperatief werkende moleculaire motoren blijken de nabijheid van andere motoren te tolereren, terwijl individueel werkende motoren andere motoren sterk afstoten.