

Peter Bøgh Andersen og Lotte Bøgh Andersen

Agentbaserede simuleringer: et værktøj til præcisering af politologiske teorier og til udledning af testbare implikationer¹

Inden for statskundskab har vi i de seneste år set en stigende international interesse for at bruge digitale simuleringer. Specielt er de *agentbaserede* simuleringer interessante, fordi de tillader forskeren at arbejde præcist og systematisk med sammenhængen mellem på den ene side et stort antal individers samvirke over lang tid og på den anden side de globale mønstre i det samfundsaggregat, individerne indgår i. Simulering kan fx. være med til teoretisk at belyse, hvorfor fordelingen af ændringerne i offentlige budgetter er kendetegnet ved leptokurtosis, og under hvilke betingelser normen om ejendomsret kan opstå og vedligeholdes blandt egoistiske aktører. En digital simulering giver også nye muligheder for at undersøge kausalitet samt nye metoder til teoriudvikling. Omvendt introduceres en ny fejlkilde. Den undersøgte teori skal nu ikke blot valideres, men man skal nu også sikre, at simuleringen repræsenterer teorien korrekt.

Mange politologiske modeller består af aktører, som kan sanse dele af deres omgivelser, forfølge et mål, søge at realisere målet gennem handling samt kommunikere med hinanden. Det gælder fx. "Fangernes dilemma". I denne spilteoretiske situation er der to aktører, der hver har to handlemuligheder: at samarbejde eller at svigte. Pointen i dilemmaet er, at hvis den ene aktør svigter aftalen, og den anden aktør holder aftalen, får den svigtende aktør den størst mulige individuelle gevinst. Størst samlet gevinst får aktørerne imidlertid, hvis begge holder aftalen, mens de får mindst samlet gevinst, hvis de begge svigter. Kollektivt set er det derfor optimalt for aktørerne, at begge holder aftalen. Men da målet for den enkelte aktør er så stor individuel gevinst som muligt, er der ingen grund for ham til at holde aftalen, for hvis han gør det, risikerer han, at den anden svigter og løber med hele belønningen. Hvis han derimod svigter, er der altid en chance for, at den anden holder aftalen, og at han selv kan indkassere hele gevinsten. For begge aktører er "at svigte" derfor deres dominante strategi (Fudenberg og Tirole 1991: 270). Spørgsmålet er, hvordan samarbejde overhovedet kan opstå imellem egoistiske aktører med tilskyndelse til at handle opportunistisk (dvs. at svigte)?

Til at besvare sådanne spørgsmål kan man bruge en agentbaseret simulering. Det er et computersystem, der repræsenterer individuelle aktører, deres adfærd og gensidige påvirkninger, og som leverer kvantitative statistikker over hele aktørgruppens adfærd. Et kendt eksempel er Axelrods (1981) undersøgelse af, hvad den mest optimale strategi er i ”det gentagne fangernes dilemma”. I denne version gentager man det ovennævnte dilemma et vist antal gange, udstyrer aktørerne med en hukommelse, og tillader dem at udvælge deres strategi på basis af tidligere erfaringer. Vil samarbejde kunne udvikle sig under sådanne forhold? Især hvis der er tusinder af aktører, og antallet af gentagelser løber op i titusinder, er det et vanskeligt spørgsmål. Hvis man derimod repræsenterer modellen ved en agentbaseret simulering, kan man sætte den i gang med at køre, og efter nogle minutter ved man, hvilken type strategi der bedst kan betale sig for den enkelte aktør, og herunder om denne strategi indeholder elementer af samarbejde.

Axelrod inviterede kolleger til at sende strategier til ham. Eksempler på strategier er (1) altid at svigte, (2) altid at samarbejde eller (3) at samarbejde først og derefter gøre, hvad den anden spiller gjorde i forrige runde. Axelrod iværksatte så en simuleret turnering mellem de foreslåede strategier, og strategi (3), der senere blev kendt som *TIT FOR TAT*, vandt. Det kunne bedst betale sig at samarbejde først og derefter gøre, hvad den anden spiller gjorde i forrige runde. Helt imod intuitionen kunne det *ikke* bedst betale sig at svigte hele tiden!

Hvis Axelrod havde påstået, at *TIT FOR TAT* var en vindende strategi i det gentagne fangernes dilemma *uden* at have simuleret teorien, ville hans argument ikke have haft nær så stor vægt, som det blev tilfældet. Med en simulering blev det muligt at aflede testbare konsekvenser af teorien: hvis teorien er rigtig, vil vi forvente, at succesfulde organisationer normalt overholder deres forpligtelser, så længe deres partner ikke svigter deres, og at svindlere har et kort liv på markedspladsen (fordi andre aktører ikke vil samarbejde med dem, hvis de først en gang har svigtet dem). På den måde medvirkede Axelrods simulering til et kvantespring i vores forståelse af samarbejdsrelationer.

Et andet politologisk eksempel er Brehm og Gates (1999) simulering af bureaukraters efterlevelse af deres overordnede ønsker. Ved at variere ”styringsform” og ”tilbøjelighed til efterlevelse” brugte Brehm og Gates simuleringen til at udvikle hypoteser om, i hvilken grad bureaukraterne i den virkelige verden retter sig efter deres overordnede (1999: 71ff). Brehm og Gates testede derefter disse hypoteser i de efterfølgende seks kapitler, og deres anvendelse af simulering er derfor eksemplarisk.

I Danmark anvendes simulering især inden for vælgerforskningen. På baggrund af de klassiske valgundersøgelser er simulering eksempelvis blevet brugt

til at belyse, hvad valgresultatet ville have været med andre spærreregler (Petersen og Kurrild-Klitgaard, 2003) og med vælgere, der var mere informeret om politik (Hansen, 2009).

Simuleringer kan på sin vis sammenlignes med bogtryk, som fra år 1440 og frem spillede en meget vigtig rolle for den videnskabelige revolution og den dertil knyttede overgang til oplysningstiden (Eisenstein, 2005). Ligheden mellem bogtryk og simulering er, at begge redskaber forstærker kapaciteten til teoriudvikling: Bogtryk ved at muliggøre, at mange forskere deler og diskuterer de samme teoretiske ideer, og simulering ved at levere en måde at udtrække implikationer af teorier og afprøve den interne konsistens af en given teori.

Simuleringer er imidlertid ikke noget tryllemiddel. Ligesom man skal kunne læse og skrive for at have gavn af bogtrykken, skal brugeren af en simulering også have en vis indsigt i, hvordan denne metode anvendes. Der er begyndt at komme en vis international litteratur om brugen af digitale simuleringer inden for samfundsvidenskaberne (fx. Axelrod, 1997; Gilbert og Troitzsch, 2005; Epstein, 2008), men flere af de eksisterende publikationer (fx. Gilbert og Troitzsch, 2005) har efter vores opfattelse en forfejlet forståelse af simuleringens potentiale og anvendelse. Typiske fejl er at tro, at en digital simulering af en politologisk teori kan erstatte en empirisk test, og at en model er valid, hvis simuleringens output svarer til aggregerede data vedrørende simuleringens emne. I forlængelse heraf er denne artikels problemstilling derfor, hvordan simulering *faktisk* kan bruges inden for statskundskab, og hvilke fordele og ulemper metoden har. Derved håber vi at give danske politologer et grundlæggende indblik i brugen af simulering inden for statskundskab.

Hovedbudskabet i artiklen er, at digitale simuleringers primære funktion i statskundskab er at hjælpe os med at tydeliggøre teoriers implikationer og dermed fjerne nogle af de barrierer, der med god grund holder fantasirige forskere tilbage fra at fremføre og teste perspektivrige teorier. Sekundært hjælper simulering til at forbedre selve teorierne, fordi uklarheder og manglende præcision tydeliggøres. Simuleringer øger dermed mulighederne for at tænke dristige tanker, der kan falsificeres, hvilket ifølge nedenstående citat fra Popper er essentielt for enhver videnskabelig retning.

... every interesting and powerful statement must have a low probability; and vice versa; a statement with a high probability will be scientifically uninteresting, because it says little and has no explanatory power. Although we seek theories with a high degree of corroboration, as scientists *we do not seek highly probable theories but explanations*; that is to say, powerful and improbable theories (Popper 1963/2007: 77).

De generelle pointer i artiklen illustreres ved hjælp af et projekt om offentlig budgetlægning. Ud over førsteforfatteren deltog Søren Serritzlew og Florian Prange i dette projekt, som præsenteres i de to næste afsnit om henholdsvis offentlig budgetlægning og simuleringen deraf. Derefter følger et afsnit om det generelle samspil mellem simulering, teori og virkelighed, hvorefter vi går nærmere ind i overvejelserne vedrørende den konkrete brug af agentbaserede simuleringer. Endelig diskuterer vi ulemperne ved metoden og tager i konklusionen samlet stilling til metodens anvendelighed inden for statskundskab.

Offentlig budgetlægning som eksempel²

En vigtig udfordring i politologien er at forstå offentlig budgetlægning, som Aaron Wildavsky (1984) meget præcist karakteriserer som "the life-blood of government". Budgetlægning består i, at bevillingsgiverne (politiske organer såsom Folketing og kommunalbestyrelser) tildeler bestemte beløb til en række organisationer (såsom børnehaver og skoler). Uden budgetter ville mange af disse organisationer kollapse (medmindre de kunne klare sig på markedsvilkår), og budgetlægning giver således politikerne tegnebogens magt. Ved at skære budgetterne kan den politiske majoritet straffe de organisationer, der ikke tilfredsstiller deres forventninger, de kan belønne andre ved at forøge budgetterne, og de kan komme af med uønskede dele af den offentlige sektor ved at fjerne finansieringsgrundlaget (som politologer ved vi dog, at så nemt går det sjældent).

Aaron Wildavsky og hans kolleger påviste allerede for mange år siden, at offentlige budgetter er ekstremt lette at forudsige sammenlignet med andre politologiske fænomener. Budgetter udvikler sig næsten altid inkrementelt, hvilket vil sige, at de vokser gradvist år efter år. Hvis man fx. kender årsbudgettet for en offentlig organisation, er det ret nemt at forudsige næste års budget. Man tilføjer blot en lille brøkdel og får på den måde et ret godt estimat. Denne simple model er faktisk typisk i stand til at forklare 95 pct. eller mere af budgetændringerne. Davis, Dempster og Wildavsky (1966) konkluderer i forlængelse heraf, at de føderale budgetter i USA kan forklares med to meget simple lineære beslutningsregler, og det samme gælder for andre lande og for decentrale offentlige myndigheder (Mouritzen, 1991; Serritzlew, 2003; Boyne et al., 2000).

Denne simple teori har tilsyneladende været empirisk meget succesfuld. En nøjere undersøgelse afslører imidlertid, at den inkrementalistiske forklaring er for simpel. Offentlige budgetter er forudsigelige, og ændringerne er små *størstedelen* af tiden. Indimellem forekommer der imidlertid meget store ændringer (Padgett, 1980; Jones et al., 1998; Mortensen, 2005). James True (2000) kalder

sådanne budgetforandringer for *laviner*. En næsten perfekt analogi fra fysikken er en sandbunkes egenskaber (se også Jones og Baumgartner, 2005: 148). Per Bak (1996: 2) udtrykker det således:

the scenario of a child at the beach letting sand trickle down to form a pile ... In the beginning, the pile is flat, and the individual grains remain close to where they land. Their motion can be understood in terms of their physical properties. As the process continues, the pile becomes steeper, and there will be little sand slides. As time goes on, the sand slides become bigger and bigger. Eventually, some of the sand slides may even span all or most of the pile. At that point, the system is far out of balance, and its behavior can no longer be understood in terms of the behavior of the individual grains. The avalanches form a dynamic of their own, which can be understood only from a holistic description of the properties of the entire pile rather than from a reductionist description of individual grains: the sand pile is a complex system.

Ligesom en sandbunke er budgetter lette at forudsige det mest af tiden; de øges stille og roligt. Men en gang imellem forekommer laviner, og dele af systemet kan kollapse. Sommetider er lavinerne små og berører kun begrænsede dele af systemet, men andre gange vinder de momentum og forårsager dramatiske forandringer. Det er umuligt at forudsige, præcis hvornår disse laviner forekommer i sandbunker (Bak, 1996: 59ff), og det samme gælder for offentlige budgetter. Med et teknisk udtryk følger budgetforandringer en fordeling kendetegnet ved leptokurtosis (Jones et al., 1998; John og Margetts, 2003; Jordan, 2003; Mortensen, 2005; Jones og Baumgartner, 2005: kapitel 7; Breunig og Koski, 2006; Baumgartner et al., 2006). Det betyder en meget høj forekomst af små forandringer, en lille forekomst af mellemstore forandringer og en forbavsende stor forekomst af ekstremt store forandringer.

Dette fænomen kræver en forklaring. Hvad er det ved budgetlægning, som skaber uforudsigelige og forbavsende store forandringer? Hvorfor resulterer netop disse politiske beslutninger, der jo burde være resultatet af omhyggelige analyser, diskussioner og overvejelser, i fordelinger præget af leptokurtosis? En mulig forklaring kan findes i teorien om *afbrudte (punctuated) ligevægtstilstande* (Baumgartner og Jones, 1993; Jones, Baumgartner og True, 1998). Ifølge denne teori er politiske subsystemer præget af lange perioder med stabilitet, hvor de fleste beslutninger bliver truffet. En gang imellem når en politisk problemstilling imidlertid op til det makropolitisk niveau, og området bliver fokus for intens opmærksomhed. Konsekvensen er dramatiske forandringer, som ikke alene kan forklares af simple eksogene chok (Jones et al., 1998).

Leptokurtosis forekommer hyppigere for budgetterne på nogle politiske områder end andre, og det pegede på behovet for en modificering af teorien. Ifølge teorien om *uforholdsmæssig informationsbehandling* (Jones og Baumgartner, 2005) er leptokurtosis en konsekvens af den måde, information behandles på. Hvis visse signaler betones uforholdsmæssigt af beslutningstagere, vil selv normalfordelte signaler resultere i beslutninger, hvis fordeling er kendetegnet af leptokurtosis (Jones og Baumgartner, 2004; 2005). Altså: Hvis beslutningerne tages under institutionel friktion (hvilket vil være tilfældet i mange subsystemer), forventes outputtet blive kendetegnet af leptokurtosis. Empiriske undersøgelser har da også vist, at dramatiske forandringer forekommer hyppigere, når beslutningsomkostningerne er høje (Breunig og Koski, 2006).

Simuleringen i denne artikel vedrørte imidlertid en anden hypotese, hvor leptokurtosis spiller en endnu mere fundamental rolle. De ovenstående teorier kan stadig være valide forklaringer på variation i *mængden* af leptokurtosis, men påstanden bag simuleringen i denne artikel er, at leptokurtosis også forekommer i systemer uden udefrakommende intervention, med perfekt normal-distribuerede signaler, uden overbetoning af visse signaler og uden friktion. Argumentet for at forvente denne grund-leptokurtosis er, at *mange gensidigt afhængige agenter, der interagerer over et længere tidsrum, i sig selv kan tænkes at betyde fordelinger kendetegnet af leptokurtosis*. For at belyse denne hypotese var en simulering nødvendig, idet den egenskab, vi vil påvise, vedrører helheden af mange enkeltindivider over tid.

Simulering af offentlig budgetlægning

En agentbaseret simulering er som nævnt et computersystem, der kan repræsentere individuelle aktører, deres adfærd og gensidige påvirkninger samt levere kvantitative statistikker over hele aktørgruppens adfærd. I eksemplet med offentlig budgetlægning er vi især interesseret i størrelsen af budgetændringerne. Både bevillingsgivere og offentlige organisationer blev repræsenteret af digitale objekter kaldet henholdsvis tiggere og filantroper. Disse digitale objekter blev placeret i en digital omgivelse, som de kunne sanse og påvirke, og hvor de kunne søge at opfylde givne mål. En digital agent kendetegnes således ved dens *sensorer, handlemuligheder* og *mål* (Russell og Norvig, 2003; Wooldridge, 2002). I eksemplet med offentlig budgetlægning blev *tiggerne* (som repræsenterer de offentlige organisationer, som ønsker bevilling) og *filantroperne* (som repræsenterer bevillingsgiverne) placeret på et skakbræt, som repræsenterer *omgivelsen*. Deres *sansning* er begrænset til nærtstående tiggere og filantroper. Tiggernes *handlinger* indbefatter bevægelse fra en filantrop til en anden, vurdering af chancen for at få imødekommet deres budget (*mål*), afsendelse af ansøgning

samt modtagelse af bevilling. Hvis de modtager en bevilling, de kan overleve for, bruger de pengene, mens de i modsat fald går bankerot.

Simuleringen af budgetadfærd består ligesom andre simuleringer af et vilkårligt antal *runder* eller *iterationer*. I hver iteration udfører agenterne de handlinger, man har programmeret dem til at udføre. Undervejs opsamles der statistik, så når fx. en tigger går bankerot, tælles statistikken over kollapsede tiggere én op. Ud over denne digitale repræsentation af teorien kan en agentbaseret simulering have forskellige faciliteter (jf. også Axelrod, 1997), som vi i det følgende vil give eksempler på anvendelsen af, nemlig:

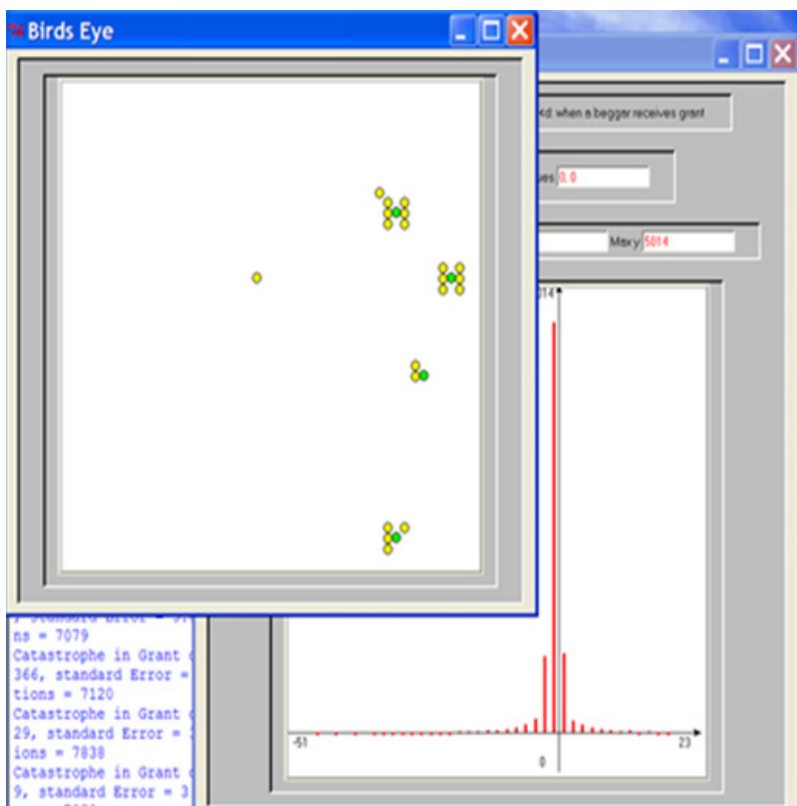
- et statistikmodul, der tillader brugeren at opsamle målinger af agenternes adfærd
- et parametermodul, der tillader brugeren at ændre på parametrene for simuleringen
- et parameterrumsmodul, der tillader brugeren at køre mange simuleringer ved at specificere et parameterrum, der definerer, hvilke parameterværdier simuleringerne skal køre med
- et interventionsmodul, der tillader brugeren at specificere interventioner i simuleringen
- en csv-funktion, der udskriver csv-filer, som kan behandles af standard statistikprogrammer
- en spatial visualisering, der viser agenternes spatiale adfærd, hvis en sådan indgår i teorien
- kurvevisualiseringer, dels histogrammer, der viser fordelingen af målinger, dels trendkurver, der viser målingernes tidsmæssige udvikling
- en lang tekstuel historie, der beskriver de enkelte agents handlinger.

Figur 1 viser en spatial visualisering fra simuleringen af offentlig budgetlægning (Birds Eye) samt et histogram over budgetændringerne (skærmbilledet bag Birds Eye). På den spatiale visualisering kan man følge tiggerne (de lyse cirkler) bevæge sig mod de mest lovende filantroper (de mørke cirkler) samt deres fødsel og død. Denne facilitet kan med fordel bruges i starten af projektet til at skaffe sig et intuitivt indblik i agenternes adfærd og resultatet af deres samspil. Kurvevisualiseringen i form af histogrammet over fordelingen af budgetændringer på det givne tidspunkt understøtter samme fordel; det giver et godt indblik i, hvordan den afhængige variabel ser ud.

Hvis man vil skaffe sig viden om, hvad der sker på mikro-planet, kan man få genereret en tekstuel historie om agenternes livsforløb. I projektet om offentlig budgetlægning kunne det fx. vedrøre, hvornår en given tigger var født, hvornår

han fandt en filantrop, hvor mange konkurrenter han havde, og hvilke ansøgninger han sendte og fik. Parameterrumsmoduler tillader brugeren at specificere en række værdier af parametre. I eksemplet med offentlig budgetlægning kunne man fx. variere antallet af tiggere og filantroper. Systemet gennemfører en simulering af hver kombination af værdier. Det er især nyttigt til at teste modellens randbetingelser. Ved at variere de forskellige parametre kan man skabe store filer af csv-data, som kan behandles statistisk. Man angiver ganske enkelt, hvilke værdier af parametrene man vil have gennemprøvet. Det kunne fx. være simuleringer med henholdsvis 4, 10, 17 og 23 filantroper. Så kører systemet en simulering for hver kombination af de indtastede værdier. Hvis man fx. har fire parametre, der hver kan antage fire værdier, giver det 256 simuleringer, og hvis der for hver af disse laves 500 iterationer, kommer man op på i alt 128.000 iterationer.

Figur 1. Spatial visualisering samt histogram over budgetændringer



Trendkurver viser målingernes tidsmæssige udvikling, og de kan bruges til koblinger mellem mikro- og makroniveau. Da forskningsinteressen i eksemplet med offentlig budgetlægning vedrørte forholdet mellem mikroadfærd og globale kvantitative variable, ønskede vi at gøre overgangen mellem de to niveauer så nem som muligt. Derfor gjorde vi det muligt at klikke på en trendkurve (visende en global variabel) på et sted, der ser særlig interessant ud. Så popper der et vindue op, som giver mikroadfærden for den pågældende iteration.

Selvom simuleringen af offentlig budgetlægning endnu ikke er helt færdig, kan vi allerede sige noget om resultatet. Allerede første version viste således den forventede leptokurtosis. Hvis modellen fanger det essentielle ved enhver budgetlægning, har vi vist en del af det, vi ønskede at vise, nemlig at budgetlægning ifølge processens egen natur vil producere leptokurtosis, uafhængigt af ydre institutionelle forstyrrelser. Men vi har endnu ikke vist, hvilken egenskab ved modellen der er årsag til denne iboende tendens. Tesen er, at budgetprocessen kan være stabil i lange perioder for pludselig at undergå dramatiske ændringer; så vi må derfor også vise, at netop disse ændringer bevirker leptokurtosis. Der kan nemlig være mange årsager til, at modellen udviser leptokurtosis. For eksempel kunne det være filantropernes nedskæringsmetode, der i sig selv skaber leptokurtosis. I modellen udvælger filantroperne nogle af ansøgningerne til en mulig nedskæring. De fylder deres budget op med ikke-udvalgte ansøgninger, og nedskalerer derefter de udvalgte ansøgninger, så deres sum passer med det, som er til rest af budgettet. Hvis leptokurtosis skyldes nedskæringsmetoden, har vi kun vist, at denne nedskæringsmetode producerer leptokurtosis. Som vi kommer tilbage til, varierede vi derfor nedskæringsmetoden, men sådanne indgreb kan man kun gennemføre systematisk, hvis man forholder sig reflekterende til simuleringsværktøjet og hele tiden overvejer, hvad det egentlig er, man har bevist. Hvordan man mere generelt gør det, er emnet for de følgende afsnit, som indeholder mere principielle refleksioner over simuleringer som metode samt en diskussion af fordele og ulemper.

Simulering, teori og virkelighed

I lighed med mange andre metoder indeholder simulering en række faldgruber, man bør undgå. Som nævnt er det en typisk fejl i den eksisterende litteratur at tro, at en simulering kan erstatte en empirisk test. I tidsskriftet JASSS (*Journal of Artificial Societies and Social Simulations*) støder man eksempelvis tit på artikler, som omtaler simuleringen, som om den var virkeligheden. Der tales om metabolisme, overlevelse og normer, skønt computersystemer intet spiser, ikke er levende og er helt fritaget for moralske skrurpler. Derudover er der en glidende, ikke-ekspliciteret overgang fra beskrivelsen af computersy-

stemet til konklusioner vedrørende menneskelige samfund. Lomborgs (1996) digitale agenter fordeler sig fx. i et mønster, han kalder "shield/nucleus", og han paralleliserer dette til kendte argumenter i politisk teori om "the robustness of bustling and hectic cooperation among a multitude of different individuals" (1996: 298). Men med hvilken ret kan man overføre iagttagelser fra en maskines skiftende digitale tilstande til robustheden af samarbejde mellem individuelle mennesker eller til filosofiske diskussioner om svælget mellem det individuelle og det kollektive?

Hos Lomborg og mange andre ligger der en forestilling om, at simuleringen "ligner" det, den repræsenterer; at der er paralleller mellem simuleringen og virkelige samfund. Når simuleringen har egenskab A, så fremkalder dette hypotesen, at A også forekommer i virkeligheden. Gilbert og Troitzsch (2005: 23) diskuterer emnet under overskriften *validitet*. Ifølge disse to forfattere afgør man, om en model er valid, ved at sammenligne simuleringens output med data, som er indsamlet om simuleringens emne. Vi er uenige med Gilbert og Troitzsch i deres syn på validering. Det skyldes, at de samme uddata kan frembringes på vidt forskellig måde. Fx. behøver man ikke mere end tyve linjers kode til at frembringe en fordeling kendetegnet af leptokurtosis, men det gør ikke de tyve linjer til en valid model af budgettering. Der skal mere til.

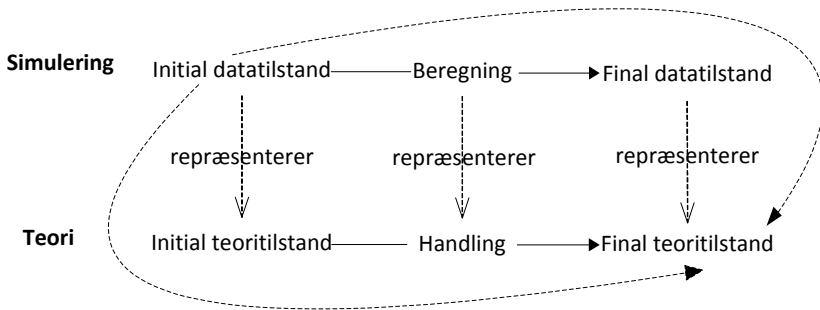
Der er efter vores mening to måder at behandle spørgsmålet om modellens validitet. Det ene synspunkt ser computersystemet og dets emne som underklasser af en mere abstrakt klasse, hvorfra de begge har nedarvet de egenskaber, vi undersøger. Når vi undersøger computersystemets adfærd, siger vi samtidig noget om den mere generelle klasse og dermed også noget om den anden specialisering af den abstrakte klasse, nemlig simuleringens emne. Denne løsning forudsætter altså en grundlæggende lighed mellem simulering og emne, repræsenteret ved deres fælles tilhørsforhold til den abstrakte klasse. Ifølge dette synspunkt kan vi få viden om virkeligheden ved at køre simuleringen, fordi der er en reel lighed mellem simulering og virkelighed.

Det andet synspunkt ser dele af computersystemet som repræsenterende en teori, der igen repræsenterer forskningsgenstanden. Lad os kalde et dataelement for E og det teorielement, det repræsenterer, for E'. Computersystem og teori skal indgå i en homomorfi (ensartethed fra simulering til teori), således at når systemet starter i teoritilstand A, undergår beregningen B, og ender i tilstanden C, så skal teorien forudsige, at såfremt emnet er i tilstand A', og handling B' udføres, så skal vi ende i teoritilstand C'. Figur 2 viser dette grafisk.

Dele af simuleringen skal altså repræsentere teorielementer efter en fast konvention. Denne løsning forudsætter ingen lighed mellem system og emne, idet systemet opfattes som en ren genrepræsentation af teorien, baseret på vedtagne

konventioner. Når vi kører systemet, får vi ikke viden om virkeligheden, men om teorien. Systemet er et hjælpemiddel til at finde frem til teoriens forudsigelser, men det er teoriens ansvar at generere hypoteser om virkeligheden. Den oprindelige opgave deles således i to. *Verificering* skal sikre, at simulatoren gengiver teorien korrekt, og *validering* skal sikre, at teorien er en acceptabel repræsentation af sit emne.

Figur 2. Homomorfi mellem teori og simulering. To veje skal føre til den finale teoritilstand



Den førstnævnte måde at håndtere validitetsspørgsmålet er velbegrunderet, såfremt model og emne er af samme slags materiale, idet begge så kan ses som specialiseringer af en fælles overordnet klasse. Fx. bruger man nedskalerede attrapper, når man skal undersøge strømningsforhold omkring skibsskrog. Både attrappen og skibsskroget er underklasser af den generelle klasse af fysiske legemer, og såfremt hydro- og aerodynamik er uafhængig af skala, giver det god mening at overføre resultater fra attrappen til det virkelige skibsskrog.

Computersimuleringer er imidlertid typisk ikke af samme materiale som deres emne. Kørsel af et computersystem består i, at computeren hele tiden skifter tilstand kontrolleret af et program. Disse tilstande er digitale, dvs. de består af en konfiguration af bits. Det er ikke specielt indlysende, at der er lighed mellem kørsel af et computersystem og sociale, økonomiske eller politiske processer, og derfor giver det sjældent mening at se computersystemet og dets emne som underklasser af samme abstrakte klasse, når vi simulerer etablering af samarbejdsrelationer, køb og salg af varer eller budgetlægning.

En (inden for statskundskab) sjældent forekommende mulighed er, at digital simulering og emne er manifestationer af samme formelle system (Andersen, 2000: 232). Hvis fx. et skibs vekselvirkning med dets omgivelser kan beskrives præcist ved et hydrodynamisk ligningssystem, og hvis simuleringen kører efter samme ligningssystem, så kan dette siges at være tilfældet. I så fald kan simu-

leringen bruges til at forudsige og genskabe bevægelserne hos et virkeligt skib. Dette benyttes blandt andet i digitale simulatorer til træning af søfolk og piloter. Kravet er, at simulatorerne skal være så naturtro, at kursisterne ikke indlærer forkerte reaktioner. Forudsætningen for dette er imidlertid, at der eksisterer ligningssystemer, der beskriver emnets adfærd nøjagtigt. Det er stort set aldrig opfyldt inden for det politologiske område, fordi politiske processer som regel er både komplekse og stokastiske. Vi kan ikke afvise, at det er muligt, men det er vores påstand, at med de nuværende politologiske teorier er det en fejl at tro, at en digital simulering i vores fag kan erstatte en empirisk test.

Hermed er vi ovre i den sidstnævnte måde at håndtere validitetsspørgsmålet på, hvor simuleringer ses som værktøjer til at klarlægge en teoris implikationer. Dette er specielt nyttigt, hvis teorien har form af forklaring af ”emergente” makroegenskaber (Gilbert, 2007: 118) ud fra en stor samling individers samvirke over tid. Gilbert (2007: 127) anbefaler, at man baserer sin simulering på en eksisterende teori, og i så tilfælde skal brug af simuleringer ses som et led i en generel videnskabelig metodologi bestående af opstilling af teori, forfining af teori, præcisering af teoriens implikationer samt indsamling af virkelige data, der kan falsificere teoriens implikationer (jf. også den endnu længere liste i Epstein, 2008). Vi mener med andre ord, at simuleringen altid bør tænkes sammen med hele den videnskabelige arbejdsproces. I modsat fald kan den let degenerere til et uforpligtende tidsfordriv for nørder (Midgley et al., 2007).

Alt i alt mener vi, at simulering inden for statskundskab primært kan bruges til at repræsentere en teori og derved forfine teorien og præcisere dens implikationer. Det er meget værdifuldt i sig selv at få flere observerbare implikationer af en teori (King et al., 1994), og mange politologiske teorier kunne godt trænge til at blive mere internt konsistente og mere præcist formulerede via en simulering (se også Knott og Hammond, 2003). For at kunne bruge simulering skal man imidlertid have et vist kendskab til de grundlæggende metodiske principper for simulering, og det er emnet for næste afsnit, som især fokuserer på agentbaserede simuleringer, som har det største potentiale for politologer.

Overvejelser ved brug af agentbaserede simuleringer

Agentbaserede simuleringer tillader forskeren at arbejde med på den ene side et stort antal individers samvirke over lang tid og på den anden side de globale mønstre i det samfundsaggregat, individerne indgår i. Dette er specielt relevant for statskundskab, og derfor berører dette afsnit en række problemstillinger, der er specielle for brug af denne type simulering vedrørende validering, dynamik, kausalitet og teoriudvikling.

Validering af agentbaserede simuleringer

For agentbaserede simuleringer stopper diskussionen om validering ikke ved ovenstående principielle betragtninger, idet der i denne type simulering findes to hovedniveauer: agenternes mikroadfærd og de globale aggregerede egenskaber. I projektet om offentlig budgetlægning havde vi fx. både oplysninger på mikroniveauet om de enkelte tiggeres fødselstidspunkt, konkurrencesituation og deres antal sendte og imødekomne ansøgninger samt oplysninger på makroniveauet om de aggregerede egenskaber såsom gennemsnit og fordeling af budgetændringerne.

I den forbindelse er det væsentligt at sikre, at programmet repræsenterer teorien korrekt, hvilket kan gøres på forskellig vis. Man kan fx. sammenligne individdata fra henholdsvis simulering, teori og virkelighed, således at både mikro- og makroniveauerne valideres (Midgley et al., 2007: 889). I forlængelse heraf foreslår Epstein (2005) at anvende psykologiske eksperimenter til at validere den individuelle adfærd. En tredje mulighed er at bruge kvalitative data. Yang og Gilbert (2008) beretter fx. om to projekter inden for ældreomsorg og biblioteksvæsen, hvor noter fra deltagerobservation blev brugt til at konstruere agenternes adfærd. Det viser, at simuleringer ikke primært er en kvantitativ foreteelse, og simuleringens styrke er netop at tilvejebringe en eksplicit og systematisk forbindelse mellem kvalitative individdata, som går i dybden med forståelsen af den enkelte agent, og kvantitative makrodata.

Dynamik i agentbaserede simuleringer

Mange forskere, der bruger agentbaserede simuleringer, interesserer sig specielt for *dynamik*, dvs. tidlige forløb bestående af mange agents indbyrdes interaktion, og det er også velbegrundet at bruge simulering i denne situation. Gilbert (2007: 118) fremhæver, at samfundsændringer er vanskelige at forudsige blandt andet pga. *stiafhængighed*, forstået som det, at udviklinger afhænger af historien langt tilbage i tiden og ofte sker i ryk, fordi tradition og historie (i modsætning til inden for naturvidenskaben) spiller en væsentlig rolle. Endvidere sker mange ændringer ofte samtidig, hvilket gør det vanskeligt at fastslå, hvilken ændring der var udslagsgivende. Især når eksperimenter ikke kan lade sig gøre (pga. vanskeligheder ved at manipulere med den eller de uafhængige variable), anbefaler vi at bruge simulering som et supplement til de traditionelle metoder for at præcisere teoriens forventning til dynamikkerne.

Computersimulering er god til at håndtere dynamik, fordi computeren arbejder ved hele tiden at skifte tilstand, styret af et program. Lomborg (1996) og Flentge et al. (2001) er typiske eksempler, idet de eksplicit interesserer sig for læring og evolution af strategier og normer. I artikler af denne type optræ-

der dynamikken som havende selvstændig interesse, og Epstein (2005) ophøjer denne nye mulighed for at behandle dynamik systematisk til en videnskabelig norm, *generative social science*, under mottoet: *If you didn't grow it, you didn't explain it*. Når man fremsætter en årsagsforklaring på et socialt mønster, er det fx. ikke nok at vise, at mønsteret er en Nash-ligevægt, man må også vise, hvordan en population af kognitivt plausible agenter, der samvirker under plausible regler, faktisk kan nå frem til mønstret inden for en begrænset tidsskala. Det kalder han ”generativ tilstrækkelighed”, og Epstein (2005) fremhæver simuleringer som gode værktøjer til at opbygge demonstrationer af sådan ”generativ tilstrækkelighed”.

Vores holdning til dette krav er, at det er rimeligt og frugtbart. Hvis man påstår at have forklaringen X på et fænomen Y, er det rimeligt, at man afkræves en argumentation for, hvordan X inden for en begrænset tidshorisont i den praktiske verden kan lede frem til Y. Erfaringen viser desuden, at kravet er frugtbart, fordi det kan sætte en række relevante spørgsmål på dagsordenen, som ingen havde tænkt over før. I eksemplet om offentlig budgetlægning førte dette blandt andet til, at vi prøvede at ændre, hvor let det var for tiggere at gå fallit, fordi vi ville have en bedre forklaring på, hvorfor individernes adfærd samlet set gav budgetændringer præget af leptokurtosis.

Kausalitet

Den typiske politologiske tværsnitundersøgelse med mange enheder bruger korrelationer mellem variable til at påvise årsagssammenhænge (Munch og Verkuilen, 2005), hvorimod agentbaserede simuleringer mere direkte fokuserer på de kausale mekanismer, hvormed et resultat følger af et sæt af initiale betingelser (Yang og Gilbert, 2008: 3-4). I førstnævnte undersøgelsestype er de målte værdier på de forskellige variable et snapshot af udvalgte tilstande, mens simuleringen giver kontinuert adgang til detaljerede data for hvert eneste tidsskridt. Årsags-virkningskæder kan således følges hele vejen. På den måde kan man sige, at simulering er teoriudviklingens *process-tracing* (George og Bennett, 2004: 206-207).

For helt at forstå simuleringens potentiale på dette felt er en diskussion af årsagsbegrebet på sin plads. Jf. Crane (1997: 189) skal årsager ses som samlinger af betingelser, af hvilke én eller flere er en *tilstrækkelig betingelse*, givet at *grænsebetingelserne* er opfyldt. En årsagsforklaring er modbevist i eksakt ét tilfælde, nemlig når årsag og grænsebetingelser er til stede, og virkningen ikke er til stede. En anden version af kausalitet er den kontrafaktiske kausalitet, hvormed der menes, at A er årsag til B, hvis B ikke ville have sket, såfremt ikke A var sket, givet at grænsebetingelserne er opfyldt (jf. Crane, 1997: 190).

I dette tilfælde ses A som en *nødvendig betingelse* for B. Denne årsagsforklaring bliver falsk, når grænsebetingelserne er til stede, årsagen ikke er til stede, og virkningen er til stede.

Simulering giver nogle unikke betingelser for at arbejde med kausalitet (se fx. Pearl, 2002), og det kan illustreres med en episode fra projektet om offentlig budgetlægning. Vi undersøgte her blandt andet en hypotese om, at afhængigheden mellem ansøgerne var en nødvendig betingelse for, at fordeling af budgetændringer var kendetegnet af leptokurtosis. Den ville blive falsificeret, hvis vi fandt et eksempel *uden* afhængighed og *med* leptokurtosis. Vi ræsonnerede, at hvis der kun var én tigger, ville ansøgerne være uafhængige, og vi gennemførte derfor en række simuleringer med denne modelspecifikation. I disse simuleringer viste nogle kørsler leptokurtosis og andre normalfordeling, så vi havde tilsyneladende modbevist påstanden om, at afhængighed mellem aktørerne er en nødvendig betingelse for fordelinger præget af leptokurtosis. Vi kiggede efter i agenternes livshistorie for at finde ud af, hvad der skete. Det viste sig, at ansøgeren i første iteration kunne have et budgetbehov, der lå langt over, hvad bevillingsgiverne havde. Han blev skåret ned og gik bankerot. I næste runde genereredes en erstatningsansøger, der også havde for højt et budget, fordi hans budget var fastlagt ved en normalfordeling, hvis middelværdi var den forrige ansøgers budget. Han blev skåret ned og gik bankerot. Det var altså den førstefødte ansøgers alt for store startbudget, der somme tider skabte leptokurtosis med én ansøger. Problemet ved indgrebet var imidlertid, at vi kom uden for teoriens grænsebetingelser (Koch, 2001: 8), for teorien forudsatte jo, at der var tale om mange agenter. Dette medførte, at en række irrelevante fænomener optrådte. Vi måtte derfor prøve andre former for indgreb.

For at fastslå om årsagen kunne ligge i nedskæringsmetoden, udskiftede vi den oprindelige nedskæringsmetode med ”grønthøstermetoden”, hvor alle nedskæres efter samme procentsats. Hvis årsagen til leptokurtosis lå i nedskæringsmetoden, burde grønthøstermetoden give en normalfordeling. Men resultatet var, at også grønthøstermetoden gav leptokurtosis, så nedskæringsmetoden kunne logisk ikke være en nødvendig årsag til fordelinger præget af leptokurtosis. Dette tyder stærkt på, at det faktisk er afhængigheden mellem agenterne, der skaber leptokurtosis, men det er endnu ikke lykkedes os at vise dette sikkert. Det er imidlertid et stort fremskridt, at vi nu kan gendrive en række alternative forklaringer på leptokurtosis.

Det minder jo en del om den eksperimentelle metode, som er kendetegnet ved, at forskeren manipulerer den eller de uafhængige variable (Munch og Verkuilen, 2005). Analogien skal imidlertid ikke føres for langt, eftersom manipulationen af værdierne på parametrene under digital simulering jo ikke foregår i

den virkelige verden, men på en simuleret virkelighed. Eksemplet viser imidlertid, hvordan simuleringen kommer til at indgå i tæt samspil med et traditionelt videnskabeligt ræsonnement. Reglerne for ræsonnementet er de samme, som de altid har været, men betingelserne, hvorunder det foregår, har ændret sig, fordi vi nu har muligheden for at intervenere i en dynamisk repræsentation af teorien. Ved hjælp af interventioner kan vi på en sikrere måde udpege årsager til det, vi ønsker at forklare.

Teoriudvikling

Verifikation består formelt i, at man søger at sikre sig, at simuleringen repræsenterer teorien, som "teoriejeren" havde tænkt sig. Men faktisk sker den modsatte proces også. Teorien ændres som følge af simuleringen. En af teorijerne i vores projekt bemærkede undervejs, at selvom de i starten havde defineret et formelt og præcist sæt af regler for modellen, havde det været umuligt at forudse, hvordan den ville udvikle sig under kørslen. Faktisk krævede det en detaljeret analyse af datarapporterne at etablere den underliggende dynamik. Eksempelvis viste det sig, at den oprindelige formulering af teorien tillod negative budgetter og bevillinger, hvilket førte til absurde konsekvenser i simuleringerne. Simuleringen viser således, hvis der er huller og inkonsistens i teorien, og disse oplysninger kan man bruge til at forbedre teorien. Derudover virker simulering også generelt disciplinerende i forhold til teorien, fordi man skal kunne udtrykke den meget præcist for at kunne simulere den.

Simulering kan også bruges til at sammenligne teorier. Fremskridt i videnskabeligt arbejde sker blandt andet ved at sammenligne teoriers forklaringskraft. Er to teorier ækvivalente derved, at de forudsiger samme fænomener? Eller er den ene et specialtilfælde af den anden, således at sidstnævnte forudsiger, hvad den første forudsiger, men herudover frembringer nye forudsigelser? Dette spørgsmål kan simuleringer hjælpe med at besvare.

Projektet om offentlig budgetlægning byggede på to teorier, som anså leptokurtosis for at være forårsaget af henholdsvis indre dynamikker i ansøgningsprocessen og forhold i omgivelserne (fx. påvirkning fra medierne). Som allerede nævnt viste de foreløbige resultater, at i hvert fald de indre dynamikker havde en betydning, og derfor brugte vi simuleringen til en mere direkte sammenligning af teorierne for at undersøge, om der også var en effekt af forhold i omgivelserne. Konkret lavede vi et *interventionsmodul*, der tillod os at simulere politiske indgreb. Eksempelvis prøvede vi at oprette nye finansieringskilder, nedlægge finansieringskilder og ændre budgettet for en af parterne. Generelt udnyttede dette potentiale ved simuleringer endnu ikke ret meget (Hales et al., 2003), men vi forventer, at det i fremtiden (med fremvæksten af standardtyper

af simuleringer) vil blive muligt langt mere præcist at sammenligne forskellige modeller fremstillet af to forskellige forskergrupper. Kan den ene gøre rede for alle data, som den anden gør rede for? Er der data, som kun den ene men ikke kan anden kan generere? Efter vores vurdering er dette et lovende potentiale for sammenligning af teorier via simulering, men lige nu ligger hovedanvendelsen af simulering til teoriudvikling inden for forbedring af den enkelte teori.

Sammenfattende gør agentbaserede simuleringer det lettere at kombinere individdata og globale data og på denne måde skabe teorier, der er mere konsistente. Simuleringer sætter dynamik på dagsordenen og understøtter via muligheden for interventioner udvikling af kausale forklaringer. Konstruktion af en simulering kan påvirke den teori, der skal repræsenteres, fx. ved at gøre uholdbare antagelser synlige. Endelig kan teknikken lette sammenligning mellem teorier, hvilket imidlertid ikke sker i ret stort omfang endnu. Der er altså mange fordele ved simuleringer. Det næste spørgsmål er, hvad ulemperne er.

Ulemper ved simuleringer

Dette afsnit behandler tre af de ulemper, der er ved brug af simuleringer i statskundskab. Først diskuterer vi den fejlkilde, det giver, at simuleringen kan være en forkert repræsentation af teorien. I forlængelse heraf kommer vi ind på vanskelighederne ved at finde én person, der kan afgøre, om simuleringen er en korrekt repræsentation af teorien. Endelig diskuteres begrænsninger for, hvilke typer af teorier der kan simuleres.

Verifikation: Simuleringens potentielle fejlrepræsentation af teorien

Relationen mellem simuleringen og teori skal som tidligere nævnt være en homomorfi. I projektet om offentlig budgetlægning betød det fx, at hvis en digital tigger ansøger om en digital bevilling og ikke får denne, så skal dette bringe tiggeren i en datatilstand af bankerot, som repræsenterer den teoretiske bankerottilstand, teorien forventer, at offentlige organisationer kommer i, når de gennemgår de nævnte ansøgnings- og nedskæringshandling med udgangspunkt i den teoritilstand, som repræsenteres af den initiale datatilstand (se også figur 2 ovenfor). I dette tilfælde er simuleringen en korrekt repræsentation af teorien (men man skal stadig huske, at vi ikke hermed sagt noget om, hvorvidt teorien er en god repræsentation af virkeligheden).

Muligheden for fejlkilder i simuleringens repræsentation af teorien betyder, at hvis simuleringen opfører sig underligt, kan det skyldes flere ting. Dels kan simuleringen være en ukorrekt gengivelse af teorien, dels kan teorien være en ukorrekt gengivelse af virkeligheden. Hertil kommer imidlertid to andre muligheder: For det første er det muligt, at der ikke er nogen fejl, men at teorien

implicerer underlige forudsigelser om virkeligheden, som kan vise sig at være sande. For det andet kan det være, at simuleringen demonstrerer en egenskab ved teorien, som vi ikke havde ventet, men som også kan vise sig at være rigtig.

Vi kan sikre os, at simuleringen er korrekt ved at undersøge, om såkaldte *invarianter* er overholdt. En invariant er en egenskab, som enhver datatilstand af simuleringen må overholde for at være en tro gengivelse af teorien. Eksempelvis må en filantrop ikke give flere penge ud, end hans budget tilsiger. Kan man definere et batteri af sådanne invariante som en slags arbejdsdefinition af teorien, så kan man i hver runde undersøge, om de er overholdt, og dermed forsikre sig om, at simuleringen faktisk er en korrekt repræsentation af teorien.

Læsbarhed: Identifikationen af en eventuel fejlrepræsentation

Den anden ulempe ved simulering er vanskeligheden ved at finde personer, der kan afgøre, om simuleringen er en korrekt repræsentation af teorien. Indsætter man pludselig 10.000 linjer kode i det videnskabelige kredsløb, kan der let ske forstoppelse. For hvem skal læse og kontrollere koden? Udvikleren kan selvfølgelig læse koden, men vedkommende har sjældent tilstrækkeligt kendskab til teorien. Og forskerne, der har den nødvendige fagkundskab, er ofte ikke i stand til at læse koden. Dette problem kan reduceres ved at inddele systemet i moduler, der hver har et veldefineret emne. Specielt skal teorirelevante moduler afsondres fra de øvrige, hvorved forskerne kun skal læse de teorirelevante moduler. I projektet om offentlig budgetlægning havde ca. 2000 ud af i alt 8.500 linjer et teoretisk indhold. Andre løsningsmuligheder er at vælge et programmeringssprog, der er kendt for læsbarhed (fx. Python) og at vælge intuitivt forståelige navne i programmet (fx. "tigger").

Begrænsninger

Den simulerede teori må dels indeholde et begreb om diskrete tilstande, dels have et begreb om aktører, der observerer og forandrer en tilstand til en anden. Kravet om diskrete tilstande skyldes simpelthen computerens natur. Den arbejder bare sådan. Teorier, der arbejder med kontinuerte processer, må derfor omformuleres til at arbejde med diskrete tilstandsforandringer. Bruger teorien differentiallyigninger, må disse erstattes med differensligninger. Diskrete processer kan dog normalt tilnærmes kontinuerte processer til den ønskede grad af præcision.

Der ligger derimod ikke krav om, at teorien skal være deterministisk, at processerne skal være rent sekventielle, eller at alt skal være formuleret som skarpe ja/nej-spørgsmål. Ikke-deterministiske processer kan simuleres ved at indføre

et stokastisk element, samtidige processer kan eftergøres, og kontinuerte variable kan repræsenteres ved såkaldt *fuzzy logic*.

Sammenfattende er de vigtigste ulemper ved simulering for det første, at der indføres endnu en fejlkilde i forskningen, nemlig usikkerhed om, hvorvidt simuleringen repræsenterer teorien korrekt. For det andet er verificering af koden en udfordring, da det er svært at finde én person, som både er velbevandret i teorien og kan gennemskue koden. Endelig er der begrænsninger på, hvilke typer af teori, der kan simuleres. Disse ulemper skal dog holdes op mod fordelene (primært i form af udledning af testbare implikationer og præcisering af teorien), og næste afsnit diskuterer metodens samlede potentiale inden for statskundskab.

Konklusion

Formålet med denne artikel var at diskutere, hvordan agentbaseret simulering kan bruges inden for statskundskab, og hvilke fordele og ulemper metoden har. Agentbaseret simulering er først og fremmest et redskab til at præcisere teorier, og de har den vigtige og gode egenskab, at de gør spændende teorier testbare og dermed kvalificerer dem som videnskabelige teorier. Specielt interessant er muligheden for at forbinde studier af enkeltindviders adfærd med kvantitative undersøgelser af globale variable. Dette er muligt, fordi agentbaserede simuleringer indeholder begge momenter og legemliggør testbare og præcise hypoteser om forholdet mellem de to niveauer. Agentbaserede simuleringer gør det også lettere at finde ud af, hvilke årsagsforklaringer ens teori implicerer. Grunden er, at man kan foretage interventioner i simuleringen. Hertil kommer, at selve det at udvikle simuleringer afslører uholdbare antagelser og manglende præcision i teorien. Der er altså en del fordele ved simuleringer, og disse skal afvejes mod den ulempe, der ligger i, at der introduceres en ny fejlkilde i forskningsprocessen via muligheden for, at simuleringen er en fejlrepræsentation. Denne ulempe bliver ikke bedre af, at undersøgelse af kodens korrekthed ikke er nogen nem opgave. Der er forskellige metoder til at formindske disse ulemper, men de vil sandsynligvis forblive en irritation. Endelig er der den generelle begrænsning, at teorien skal kunne formuleres som agenter, der forandrer en diskret tilstand til en anden. Alligevel mener vi, at simulering er en metode med et stort potentiale inden for statskundskab, hvis den vel og mærke bliver brugt rigtigt, altså som et redskab til præcisering af vores politologiske teorier. Det altoverskyggende argument herfor er, at vi ligesom Popper mener, at en af videnskabens vigtigste funktioner er at tænke dristige tanker, der kan falsificeres. Eftersom simuleringer øger mulighederne for dette, opfordrer vi hermed

dansk statskundskab til at tage simuleringen til sig som et nyt redskab i den politologiske værktøjskasse.

Noter

1. Vi vil gerne takke afdelingen for offentlig forvaltning på Institut for Statskundskab, Aarhus Universitet for mange gode kommentarer. En særlig tak skal gå til Søren Serritzlew, som deltog i projektet om offentlig budgetlægning og i flere omgang har givet meget nyttige kommentarer til denne artikel.
2. Afsnittet bygger på et upubliceret notat skrevet af førsteforfatteren sammen med Søren Serritzlew og Florian Prange.

Litteratur

- Andersen, Peter Bøgh (2000). "Genres as Self-Organising Systems", pp. 214-260 i P. B. Andersen, C. Emmeche, N. O. Finnemann og P. V. Christiansen (red.), *Downward Causation. Minds, Bodies and Matter*, Aarhus: Aarhus University Press.
- Axelrod, Robert (1981). "The emergence of cooperation among egoists", *The American Political Science Review*, vol. 75, no. 2, pp. 306-318.
- Axelrod, Robert (1997). "Advancing the art of simulation in the social sciences", pp. 21-40 i R. Conte, R. Hegselmann og P. Terna (red.), *Simulating Social Phenomena*, Berlin: Springer.
- Bak, Per (1996). *How Nature Works*, New York: Copernicus.
- Baumgartner, Frank R. og Bryan D. Jones (1993). *Agendas and Instability in American Politics*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Baumgartner, Frank R., Martial Foucault og Abel François (2006). "Punctuated Equilibrium in French Budgeting Processes", *Journal of European Public Policy*, vol. 13, no. 7, pp. 1086-1103.
- Boyne, Georg, Rachel Ashworth og Martin Powell (2000). "Testing the Limits of Incrementalism: An Empirical Analysis of Expenditure Decisions by English Local Authorities, 1981-1996", *Public Administration*, vol. 78, no. 1, pp. 51-73.
- Brehm, John og Scott Gates (1999). *Working, Shirking, and Sabotage. Bureaucratic Response to a Democratic Public*, Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Breunig, Christian og Chris Koski (2006). "Punctuated Equilibria and Budgets in the American States", *The Policy Studies Journal*, vol. 34, no. 3, pp. 363-379.
- Crane, Tim (1997). "Causation", pp. 184-194 i A. C. Grayling (red.), *Philosophy. A guide through the subject*, Oxford: Oxford University Press.
- Davis, Otto A., M. A. H. Dempster og Aaron Wildavsky (1966). "A Theory of the Budgetary Process", *American Political Science Review*, vol. 60, no. 3, pp. 529-547.

- Eisenstein, Elizabeth L. (2005). *The printing revolution in early modern Europe*, 2nd edition, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Epstein, Joshua M. (2005). "Remarks on the foundations of agent-based generative social science", *CSED Working Paper no. 41*, Washington, DC: The Brookings Institution.
- Epstein, Joshua M. (2008). "Why Model?", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 11, no. 4 12.
- Flentge, Felix, Daniel Polani og Thomas Uthmann (2001). "Modelling the Emergence of Possession Norms using Memes", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 4, no. 4.
- Fudenberg, Drew og JeanTirole (1991). *Game Theory*, Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology Press.
- George, Alexander L. og Andrew Bennett (2004). *Case studies and theory development in the social sciences*, Cambridge MA: Belfer Center for Science and International Affair.
- Gilbert, Nigel (2007). "Computational social science: Agent-based social simulation", pp. 115-134 i D. Phan og F. Amblard (red.), *Agent-based modelling and simulation*, Oxford: Bardwell.
- Gilbert, Nigel og Klaus G. Troitzsch (2005). *Simulation for the Social Scientist*, Maidenhead: Open University Press.
- Hales, David, Juliette Rouchier og Bruce Edmonds (2003). "Model-to-Model Analysis", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 6, no. 4.
- Hansen, Kasper Møller (2009). "Changing patterns in the impact of information on party choice in a multiparty system", *International Journal of Public Opinion Research* Advance Access published online on November 3, 2009.
- John, Peter og Helen Margetts (2003). "Policy Punctuations in the UK: Fluctuations and Equilibria in Central Government Expenditure since 1951", *Public Administration*, vol. 81, no. 3, pp. 411-432.
- Jones, Bryan D. og Frank R. Baumgartner (2004). "A Model for Choice for Public Policy", *Journal of Public Administration Research and Theory*, vol. 15, no. 3, pp. 325-351.
- Jones, Bryan D., Frank R. Baumgartner (2005). *The Politics of Attention*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Jones, Bryan D., Frank R. Baumgartner og J.L. True (1998). "Policy Punctuations: US Budget Authority, 1947-95", *Journal of Politics*, vol. 60, no. 1, pp. 1-33.
- Jordan, Meagan M. (2003). "Punctuations and Agendas: A New Look at Local Government Budget Expenditures", *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 22, no. 3, pp. 345-360.

- King, Gary, Robert O. Keohane og Sidney Verba (1994). *Designing Social Inquiry. Scientific Inference in Qualitative Research*, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Knott, Jack H. og Thomas H. Hammond (2003). "Formal theory and public administration", pp. 138-148 i B. G. Peters og J. Pierre (red.), *Handbook of Public Administration*, London, Thousand Oaks, New Delhi: Sage.
- Koch, Carsten A. (2001). "Causal explanation, intentionality, determinism, and prediction", paper for the Fifth *IACR Conference*.
- Lomborg, Bjørn (1996). "Nucleus and Shield: The Evolution of Social Structure in the Iterated Prisoner's Dilemma", *American Sociological Review*, vol. 61, no. 2, pp. 278-307.
- Midgley, David, Robert Marks og Dinesh Kunchamwar (2007). "Building and assurance of agent-based models: An example and challenge to the field", *Journal of Business Research*, vol. 60, no. 8, pp. 884-893.
- Mortensen, Peter Bjerre (2005). "Policy Punctuations in Danish Local Budgeting", *Public Administration*, vol. 83, no. 4, pp. 931-950.
- Mouritzen, Poul Erik (1991). "Er inkrementalismen kun til de gode tider?" *Politica*, 23 årg., nr. 4.
- Munck, Gerardo L. og Jay Verkuilen (2005). "Research design", *Encyclopedia of Social Measurement*, vol. 3, pp. 385-395.
- Padgett, John F. (1980). "Bounded Rationality in Budgetary Research", *American Political Science Review*, vol. 74, pp. 354-372.
- Pearl, Judea (2002). "Reasoning with Cause and Effect", *AI Magazine*, pp. 95-111.
- Petersen, Gorm Bo og Peter Kurrild-Klitgaard (2003) "Hvad nu hvis? Simulering af strategisk stemmeadfærd og valgresultaterne ved alternative danske spærregrensere", *Politica*, 35. årg., nr. 3, pp. 319-337.
- Popper, Karl (1963/2007). *Conjectures and refutations*, London: Routledge.
- Russell, Stuart og Peter Norvig (2003). *Artificial Intelligence. A Modern Approach*, Prentice Hall.
- Serritzlew, Søren (2003). "Inkrementalisme og normer i budgetlægningen", *Nordisk Administrativ Tidsskrift*, 84. årg., nr. 3, pp. 308-335.
- True, James L. (2000). "Avalanches and Incrementalism: Making Policy and Budgets in the United States", *American Review of Public Administration*, vol. 30, no. 1, pp. 3-18.
- Wildavsky, Aaron (1984). *The Politics of the Budgetary Process*, Boston: Little, Brown and Company.
- Wooldridge, Michael (2002). *An Introduction to MultiAgent systems*, Wiley: Chichester.
- Yang, Lu og Nigel Gilbert (2008). "Getting away from numbers: Using qualitative observation for agent-based modeling", *Advances in Complex Systems*, vol. 11, no. 2, pp. 175-185.