

# Agent-Based Computational Economics

*En litteraturgjennomgang*

Kristian Marianssønn Hernæs



Masteroppgave ved Økonomisk institutt

UNIVERSITETET I OSLO

Mai 2010



# **Agent-Based Computational Economics.**

## **En litteraturgjennomgang.**

Masteroppgave for graden Master of Philosophy in Economics.

© Kristian Marianssønn Hernæs

2010

Agent-Based Computational Economics. En litteraturgjennomgang.

Kristian Marianssønn Hernæs

<http://www.duo.uio.no/>

Trykk: Representeren, Universitetet i Oslo

# Sammendrag

Denne oppgaven gir en innføring i agent-basert modellering og bruken av slike modeller innenfor økonomifaget. Agent-based Computational Economics (ACE) er en forskningsmetode som bruker datakraft til å simulere små samfunn av autonome, heterogene samhandlende agenter. Agentene er ikke nødvendigvis rasjonelle etter Homo Oeconomicus-modell, og besitter heller ikke nødvendigvis full informasjon. Agentene skapes og tillegges forskjellige egenskaper avhengig av hva slags problemer man vil analysere. Måten agentene samhandler på spesifiseres, det vil si at det legges restriksjoner på hvem som samhandler med hvem, og hvordan disse reagerer på hverandres oppførsel. For at ikke resultatene skal bli helt like hver gang man kjører en modell med en gitt spesifisering, og for at modellen skal gjøres mer virkelighetsnær, så legges det inn noen stokastiske elementer. Dermed har man en initiell setting. Forskeren, modellereren, setter så i gang tida, og lar det gå  $x$  antall tidsperioder for så å se på hvordan samfunnet utvikler seg. Oppstår det regulariteter på makronivå? Gjentar samme fenomen seg flere ganger? Er fenomenene noe vi kan gjenkjenne i vår hverdag?

Det er nå over et halvt århundre siden agent-basert tenkning oppstod, men innenfor økonomifaget har denne ideen vokst i takt med datakraften de siste 20-30 åra. ACE står i noen grad i kontrast til mer standard økonomisk metode, hvor modellbygging utledes fra diverse antagelser, og hvor sjekken av modellene opp mot empirien gjøres ved hjelp av økonometri. Det går an å argumentere for at ACE hverken er deduktiv eller induktiv, og således er denne metoden en litt annen. Men når det er sagt at ACE kontrasterer standardmetode, skal det også sies at det fins synergieffekter mellom ACE og deler av det godt etablerte faget.

I løpet av arbeidet med denne oppgaven har jeg gått gjennom en del litteratur vedrørende ACE på utvalgte områder, og oppgaven har fått denne strukturen:

Kapittel 1 forklarer ACE som metode, og utdyper den historiske bakgrunnen. Agent-basert modellering har røtter i spillteori og kybernetikk fra 1950- og -60-tallet, men Thomas Schelling var først ute med slik modellering innenfor samfunnsvitenskapen med sin artikkel "Models of Segregation" fra 1969. I kapittel 2 beskrives forskjeller og likheter mellom ACE og særlig det ny-klassiske rammeverket i økonomien. Kapittel 3 og 4 viser to ulike anvendelsesområder for agent-baserte modeller. I kapittel 3 er temaet normdannelse, mens i kapittel 4 er temaet hvordan ACE kan brukes normativt til å designe politikk. Til sist i

oppgaven påvises det hvordan ACE og eksperimentell økonomi kan påvirke hverandre positivt, og Elinor Ostroms forskning på forvaltning av fellesressurser ses i lys av dette.

Selv om ACE er en relativt ”ung” metode, så har feltet raskt vokst seg stort, og det vokser stadig. Nye bidragsytere kommer til, og det kan være vanskelig å holde seg oppdatert på alle retninger ACE har tatt. Denne oppgaven er et forsøk på å gi en oversikt over utvalgte deler av dette voksende området.

# Forord

Agent-basert modellering er et relativt nytt felt innenfor økonomifaget, og jeg både håper og tror interessen for denne metoden vil øke i åra som kommer.

Jeg vil takke min bror Øystein M. Hernæs for at han satte meg på sporet av dette temaet, og for litteraturtips underveis. Takk også til min veileder Geir B. Asheim for at han tok tak i dette noe utradisjonelle emnet, og for innspill og veiledning.

Eventuelle feil i oppgaven er helt og holdent mitt ansvar.

Kristian M. Hernæs

Oslo, mai 2010





# Innholdsfortegnelse

1	Hva er Computational Economics?.....	1
1.1	Agent-Based Computational Economics.....	1
1.2	Hvorfor ACE?.....	5
1.3	Agent-basert modellerings historie.....	7
1.3.1	Thomas Schellings segregasjonsmodell.....	7
1.3.2	Agent-basert modellering i ulike grener.....	8
2	Forholdet mellom standard økonomiske modeller og ACE.....	10
2.1	ACE som prosessorientert metode.....	11
2.1.1	Out-of-equilibrium economics.....	12
2.2	Spillteori.....	13
2.3	Monte Carlo-lignende metode.....	14
3	Evolusjon av normer for oppførsel.....	16
3.1	Axtell og Epstein: Koordinering av pensjonsalder.....	16
3.2	Axelrod: “An Evolutionary Approach to Norms”.....	19
4	Utforming av politikk.....	23
4.1	Evaluerer av arbeidsmarkedstiltak ved hjelp av ACE.....	23
4.2	Kriminalitetsbekjempelse, forebyggende tiltak og rehabilitering.....	27
5	Synergieffekter mellom ACE og eksperimentell økonomi.....	30
5.1	Kalibrering av modellene.....	31
5.2	Validering av modellene.....	32
5.3	Bakenforliggende årsaker til menneskers handlinger.....	33
5.4	Elinor Ostroms analyse av fellesressurser.....	34
6	Oppsummering.....	37
	Litteraturliste.....	38



# 1 Hva er Computational Economics?

Computational Economics (CE) ligger i skjæringspunktet mellom økonomi og utregninger ved hjelp av datakraft. De fleste forskere i dag tar i bruk datakraft i sine metoder. Enten det er for å løse et ligningssett, estimere og predikere verdier på bakgrunn av et datasett eller for å visualisere resultater, så er det datamaskiner involvert.

Computational Economics er en samlebetegnelse og kan deles opp i disse underfeltene (Society for Computational Economics, 2010): Agent-basert CE, computational økonometri og statistikk, computational finans, computational modellering av dynamiske makroøkonomiske systemer, computational verktøy for design av automatiserte markeder på Internett, programmeringsverktøy spesielt designa for CE, pedagogiske verktøy for undervisning i CE. Særlig tre tidsskrifter publiserer bidrag innenfor CE-litteraturen, Computational Economics, Journal of Economic Dynamics and Control og Journal of Applied Econometrics. Begge de to sistnevnte er nivå 2-tidsskrifter.

Bruken av datakraft i forskning har økt i tiltagende grad de siste 50 år, ettersom utviklinga av datakraften nærmest har eksplodert. Eksempler på bruk av datakraft kan være den makroøkonomiske modellen MODIS utvikla av Statistisk Sentralbyrå på slutten av 1950-tallet (Bergh og Hanisch, 1984), økonometriske programmer som PcGive eller MatLab og dagens simuleringsprogrammer særlig brukt i agent-basert CE. Bruk av datakraft i økonomisk forskning har også vært motivert av et ønske om effektivisering. Det går for eksempel historier om Ragnar Frisch som i sin forskning hadde et kobbelt av assistenter som utførte langtekkelige, men nødvendige matematiske operasjoner. Slike operasjoner, for eksempel invertering av matriser, utføres i dag kjapt og enkelt på datamaskiner.

## 1.1 Agent-Based Computational Economics

Agent-based Computational Economics (ACE) er en forskningsmetode som bruker datakraft til å simulere små samfunn av autonome, heterogene samhandlende agenter. Agentene er ikke nødvendigvis rasjonelle etter Homo Oeconomicus-modell, og besitter heller ikke nødvendigvis full informasjon. Agentene skapes og tillegges forskjellige egenskaper avhengig av hva slags problemer man vil analysere. Måten agentene samhandler på spesifiseres, det vil si at det legges restriksjoner på hvem som samhandler med hvem, og hvordan disse reagerer

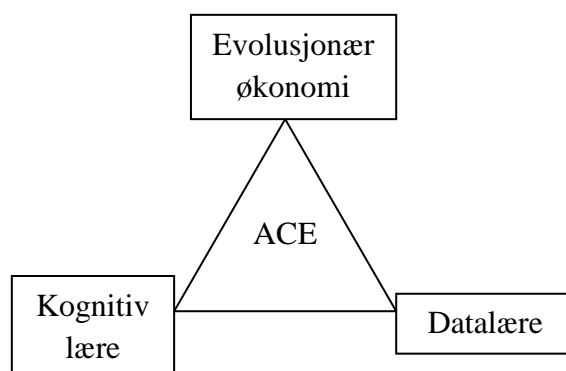
på hverandres oppførsel. For at ikke resultatene skal bli helt like hver gang man kjører en modell med en gitt spesifisering, og for at modellen skal gjøres mer virkelighetsnær, så legges det inn noen stokastiske elementer. Dermed har man en initiell setting. Forskeren, modellereren, setter så i gang tida, og lar det gå x antall tidsperioder for så å se på hvordan samfunnet utvikler seg. Oppstår det regulariteter på makronivå? Gjentar samme fenomen seg flere ganger? Er fenomenene noe vi kan gjenkjenne i vår hverdag?

ACE modellerer altså økonomien som et system bestående av autonome, heterogene interagerende agenter, hvor systemet utvikles over tid. Systemet legger ingen føringer på makronivå, men utgjøres fullt og helt av de enkelte små aktørenes samhandling. Det fins ingen "ovenfra-og-ned-kontroll". Alt som skjer, skjer på grunnlag av individenes samhandling på mikronivå, gitt de initiale betingelsene satt av forskeren/modellereren. De makrostrukturene man finner er resultat kun av mikrospesifikasjonene. Modellene er derfor agent-baserte.

Agentene i ACE er som oftest individer, men kan også modelleres og tolkes som bedrifter og stater.

De systemene og mekanismene som analyseres ved hjelp av ACE er eksempler på "complex adaptive systems" (CAS). Et slikt system er karakterisert nettopp av kjerneegenskapene ved de fleste av ACE-modellene. Det er mer eller mindre intelligente enheter som samhandler på lokalt nivå. Enhetene innehar adaptive egenskaper, de utvikler og forandrer seg. Kompleksiteten består i at systemet inneholder "emergent properties" (Tesfatsion, Home Page), noe som kan oversettes med "fremvoksende egenskap". Kompleks og "emergent" betyr i CAS-sammenheng at systemet blir til noe mer enn bare summen av enkeltenhetene (Tesfatsion, Home Page; Miller og Page, 2007). Agent-basert modellering er altså et redskap for å studere slike systemer (Chan, 2001; Epstein og Axtell, 1996).

Leigh Tesfatsion er en amerikansk matematiker og økonom som er en foregangsperson innenfor ACE. Hun har en figur som er ganske beskrivende (Tesfatsion, Home Page).



### ACE

Denne forteller at ACE utgjøres av de tre disiplinene evolusjonær økonomi, kognitiv lære og datalære. Evolusjonær økonomi handler om hvordan økonomien utvikler seg, på samme måte som et naturlig vesen eller fenomen, for eksempel en dyrerase, et økosystem eller et virus. I ACE-modellene er det nettopp slike prosesser som modelleres. Til dette trengs det kunnskap om dataprogrammering for å bygge gode simuleringsprogrammer. Kognitiv er et begrep fra psykologien definert som “noe som har med fornuftsbestemt og erfaringsbegrunnet erkjennelse å gjøre” (Bokmålsordboka). Kognitiv lære handler i ACE-sammenheng om hvilke adaptive egenskaper som skal tillegges agentene i modellene, altså i hvilken grad de har evnen til å ta opp i seg nye strategier.

I økonomisk og annen samfunnsvitenskapelig forskning har man som regel ikke anledning til å utføre eksperimenter hvor man kan kontrollere alle faktorer og repetere samme eksperiment flere ganger, noe som kan kalles et slags idealeksperiment. Man må istedet bruke tall fra empirien og si noe om den virkeligheten som har funnet sted, og prediksjon må skje på bakgrunn av disse opplysningene. Riktignok har eksperimentell økonomi et stykke på vei løst dette problemet. I labeksperimenter, med menneskelige testsubjekter, er det mulig med kontrollerte repeterte eksperimenter. Utviklinga av ACE som forskningsmetode har også bidratt til å komme nærmere en vidstrakt bruk av slike idealeksperimenter innen samfunnsvitenskapen. ACE bruker datalaboratorier til å studere utviklinga av desentraliserte markeder under kontrollerte eksperimentelle betingelser. Et idealeksperiment er det dog ikke, ettersom deltagerne i ACE-eksperimentet, agentene, er programmerte og ikke faktiske.

Med datalaboratorier menes det den programvaren forskerne bruker til faktisk å simulere. En del forskjellige programmer har blitt utvikla med det formål å bli brukt til agent-basert modellering. Noen av de mer populære er RePast, NetLogo, Swarm og MASON. MATLAB er også i noen grad tilpassa slik modellering, men er ikke utvikla spesielt for denne typen. I tillegg fins det også ferdige modeller for analyse av spesifikke tilfeller, som for eksempel AMES (Agent-based Modeling of Electricity Systems) til å designe elektrisitetmarkedet i USA.

I 1996 ga Joshua M. Epstein og Robert L. Axtell ut boka "Growing Artificial Societies. Social Science from the bottom-up". Her presenterer de en agent-basert modell de kaller "Sugarscape". Denne boka, og denne modellen, er ofte sitert og referert til av andre ACE-forskere. Sugarscape danner et rammeverk hvor Epstein og Axtell analyserer inntektsfordeling, migrasjon, reproduksjon, krig, handel og spredning av sykdommer. Som tittelen på boka tilsier, så går denne modellen ut på å "dyrke" frem kunstige samfunn. Det er nedenfra-og-opp, og ikke ovenfra-og-ned. Epstein og Axtell (2006, s. 177) stiller spørsmål om hva slags "type" vitenskap denne metoden er, og mener at den hverken er deduktiv eller induktiv. De lanserer istedet begrepet "*generative*". I språkvitenskapen betyr generativ grammatikk "grammatikk som setter opp regler for produksjon av velformede uttrykk og setninger i det språket den beskriver" (Bokmålsordboka). I ACE-sammenheng betyr generativ noe sånt som at det lages regler for hvordan velfungerende og gjenkjennelige fenomener konsistent skal skapes. Det handler om hvordan man kan dyrke makrofenomener med mikromekanismer som basis.

Selv om man har klart å "gro" fenomener man finner i den virkelige verden, hvordan kan man sikkert vite at disse fenomenene har oppstått slik modellen og forskeren påstår? Epstein (2006a) sier at det kan man ikke vite. Hans vitenskapsteoretiske "motto" når det gjelder ACE lyder: "*If you didn't grow it, you didn't explain it. But not conversely.*" (Epstein 2006a, s. 1601) "Konversen" innebærer at det ikke blir riktig å si "If you grew it, then you explained it.". For en generativist som Epstein går det å forklare sosiale fenomener ut på å "dyrke" dem. Men det fins ifølge ham flere mikrospesifikasjoner som dyrker det samme makrofenomenet, så det faktum at en spesifisering dyrker et makrofenomen er ikke en tilstrekkelig betingelse for å si at dette er den riktige forklaringa. For å avgjøre dette spørsmålet trengs det mer empiri på det aktuelle området.

Dette er imidlertid et problem også i annen økonomisk forskning, og kanskje i all forskning overhodet? Så denne problemstillinga er relevant, og svaret er at man med ny forskning muligens nærmer seg en sannhet, men at man aldri kan vite sikkert om man har nådd den. Et tilleggssvar vil gå på at man i ACE-modellering må sørge for et så godt mikrofundament som mulig. Seinere skal jeg komme inn på hvordan dette kan gjøres ved hjelp av økonomiske labeksperimenter utført med ekte mennesker.

ACE som metode har bruksområder innenfor mange grener av samfunnsvitenskapen. Samfunnsøkonomi, statsvitenskap, kriminologi og sosiologi kan dra nytte av denne forskningsmetoden. Epstein og Axtell (1996) poengterer i tillegg at ACE kan forene områder og disipliner som tidligere har fremstått som adskilte. Ettersom ACE gir muligheten til å modellere flere aspekter på en gang, mener Epstein og Axtell det er uunngåelig at for eksempel demografi og konflikter knyttes sammen. Robert Axelrod forteller også om hvordan han i mange år arbeida tett med en evolusjonærbiolog (Axelrod, 2006). I kapittel 1.3.2 skal jeg si litt mer om bruk av agent-baserte modeller innenfor andre disipliner og fag.

## 1.2 Hvorfor ACE?

Forskning ved hjelp av ACE-modeller, og utforskning av ACE som metode har hovedsakelig fire formål (Tessfatsion, Home Page). Det første dreier seg om empirisk forståelse. Hvorfor vokser noen regulariteter frem og består, til tross for at det ikke fins noen ovenfra-og-ned-kontroll? Hvordan har disse regularitetene oppstått, er det gjennom gjentatt samhandling mellom autonome agenter? Eksempler her kan være handelsnettverk, sosialt aksepterte betalingsmidler og konjunkturforløp.

Altså: Man leiter etter årsaksforklaringer med basis i den gjentatte samhandlninga individene imellom. Man vil finne ut om spesifikke fenomener konsistent kan genereres utifra spesifikke typer agent-baserte samfunn, det vil si hvilke egenskaper som tillegges agentene og deres samhandling. Dette er hva Joshua M. Epstein og Robert Axtell er inne på i sin bok "Growing Artificial Societies" (1996). Her forsøker de å forklare sosiale fenomener ved å "dyrke" dem, altså ved å spesifisere mikrosammenhenger som utvikler seg til bestemte makrofenomener.

Det andre formålet til ACE dreier seg om normativ forståelse. Det handler her om å finne mekanismer for å produsere effektive og rettferdige resultater. Man må her se på

interaksjonen agentene imellom, og hvilke restriksjoner som må pålegges for å få de ønskede resultatene. Agentenes natur i seg selv, når den er korrekt spesifisert, kan man ikke endre stort på. Altså, hvordan skal institusjoner og økonomisk politikk designes for at økonomien som helhet skal virke best mulig? Dette punktet har å gjøre med ”emergent properties”. Det kan av og til være vanskelig å se for seg hva som blir resultatet når man innfører nye regler og lover. Mennesker kan reagere på måter man ikke kunne klare å spå, og dermed kan simulering av slike situasjoner bidra til å kaste lys over problemet.

Det tredje formålet med ACE-forskning går på å skape kvalitativ innsikt og å generere teori. Hvordan kan ACE gi en bedre forståelse av økonomiske systemers fulle rekkevidde når man lar dem utvikle seg over tid? ACE tillater tida å gå i veldig mange perioder, som kan tilsvare årelange perspektiver. Her må forskerne prøve seg frem i modelleringa, og man kan også her få resultater man ikke ville trodd. Et eksempel på det er Schellings segregasjonsmodell, som forklares i avsnitt 1.3.1. Det fjerde og siste dreier seg om hvordan å gjøre metodologiske fremskritt. Det vil si å utvikle programvare, og å utvikle metodologiske prinsipper. I diskusjonen om metodologiske prinsipper, er utgangspunktet at det fins flere måter å validere modellene på. Ett slikt metodologisk prinsipp er den ”generative” forklaringsmetoden forfakta av Joshua Epstein. Det viktige for Epstein er at modellene gjensker empirien. Et annet nært relatert prinsipp er at modellene evner å predikere kommende empiri. Et tredje har en noe annen vinkling, og innebærer å heller sørge for at de mikrospesifikasjonene som gjøres er riktige, og at de er gode representasjoner av virkeligheten, enten det er spesifikasjoner som strukturerer agentenes interaksjon eller agentenes egenskaper i seg selv. Denne diskusjonen er en pågående debatt hvor målet er å gjøre modellene mer virkelighetsnære og gyldige. Innfallsvinklene er noe forskjellige. Det å generere fenomener innebærer å prøve seg frem med spesifikasjoner og parameterverdier, og det kan tenkes at dette kan gå på bekostning av realistiske gjengivelser av mikrosammenhengene. Men på tross av forskjellene utelukker ikke noen av prinsippene hverandre. Man bør trolig tilstrebe alle disse metodene i den videre utviklinga av ACE-modellene. Fagiolo et al. (2007) påpeker nettopp dette når de sier at ett av de viktigste kriteriene for validering av ACE-modeller er ”...*micro-foundations based on ”empirically sound” assumptions.*” (s. 190), men at for å utfordre de ny-klassiske modellene må de også klare å reprodusere og forklare empirien. I kapittel 5.2 skal jeg si noe om hvordan eksperimentell økonomi kan brukes til å validere de spesifikasjonene som gjøres vedrørende agentenes egenskaper.



## 1.3 Agent-basert modellerings historie

Agent-basert modellering har pågått i flere tiår. John von Neumann dreiv med "self-reproducing automata" på -60-tallet (Epstein og Axtell, 1996), men allerede på -50-tallet brukte William Ashby en slags agent-basert modellering innen kybernetikk (Epstein og Axtell, 1996; Ashby, 1956). Også felter som "connectionist cognitive science" (Rumelhart og McClelland, 1986), kunstig liv (Langton, 1989) og biologi (Haefner og Crist, 1994) har tatt i bruk agent-baserte modelleringsteknikker. "Connectionism" er en del av kognitiv vitenskap som prøver å forstå menneskelige intellektuelle evner ved å simulere en helhet bestående av mange mindre samhandlende enheter (Stanford Encyclopedia). Det første forsøket på å bruke agent-baserte modeller innen samfunnsvitenskapen stod imidlertid Thomas Schelling for.

### 1.3.1 Thomas Schellings segregasjonsmodell

Thomas Schelling er en amerikansk økonom som var en tidlig bidragsyter innen det som i dag kalles ACE. I Schelling (2006), forteller han at han en gang på 60-tallet satt og kjeda seg på en flytur, og begynte å eksperimentere med to grupper individer, "x" og "o", spredt tilfeldig utover langs en linje på et ark. Disse to gruppene hadde preferanser for å være lokalisert i nærheten av en viss andel av ens egen type. Schelling ga så individene muligheten til å flytte, det vil si frem eller tilbake på denne linja, og etter at alle individene hadde fått benytte seg av flyttemuligheten noen få ganger, observerte han mønstre i lokaliseringa. Tendensen var her helt klart at det oppsto klynger av individer av samme type. Schelling gir dette eksempelet:

En linje bestående av to grupper, + og 0, tilfeldig spredt, som denne:

0+000++0+00++00+++0++0++00++00++00++0+0+00+++0++00000+++000+00++0+0++0,

hvor hvert individ ønsker at minst halvparten av sine nærmeste åtte naboer er av ens egen type, blir etter to flytterunder denne:

00000000+++++++0000000000+++++++0000000000000000+++++++.

Lignende eksperimenter ble også utført i et rutenett, hvor en dimensjon til ble inkludert. De samme typer resultater oppsto her.

Allerede i 1969 publiserte han en artikkel kalt "Models of Segregation". Hans initielle setting bestod i modellen som her presenteres av individer som hadde mer eller mindre sterke preferanser for å bo i områder bestående av personer med ens egne karakteristika, det vil si ens egen rase. Individene ble gitt muligheten til å flytte rundt i området, til steder med flere individer av ens egen type enn der de nå bodde. Schelling hadde ikke datakraft til å utføre disse operasjonene, så han brukte mynter som han fysisk flytta rundt på et rutepapir. Han beskriver hvordan geografiske raseskiller lett kan oppstå selv om ikke alle beboerne i en by eller et område har preferanser for rasedelte samfunn, og hvor heller ikke preferansene trenger å være særlig sterke hos de som har dem.

Schellings segregasjonsmodell er veldig enkel i forhold til dagens agent-baserte modeller. Heterogeniteten i populasjonen består i at det er kun to grupper individer, og modellen innebærer bare et fåtall perioder. Likevel er den mye likere ACE enn den er lik vanlig "top-down" økonomiske modeller.

At Schellings "Models of Segregation" var nyskapende og et pionerarbeid, vises også gjennom det at hans artikkel ikke har noen referanser, men kun bygger på egne resonnementer.

### **1.3.2 Agent-basert modellering i ulike grener**

Agent-basert modellering har de siste 10-15 åra fått vid utstrekning (Epstein, 2006a). Det fulle omfang av litteraturen på området er kanskje umulig å si noe sikkert om, men feltet er i stadig vekst. En samling av litteratur om agent-baserte modeller har blitt presentert i The Sackler Colloquium, det har blitt utgitt spesialutgaver av kjente tidsskrifter om ACE, og enkeltartikler har blitt godtatt i tidsskrifter som Nature og Science. Det dukker opp kurs om ACE ved store universiteter, og det avholdes konferanser både i USA, Europa og Asia. Epstein (2006a) bemerker at "*The landscape is very different than it was a decade ago.*" (Epstein, 2006a, s. 1589). Her følger en kort oversikt over noen forskningsområder som tar i bruk agent-basert metode.

Innenfor samfunnsøkonomien er det mange områder som har god nytte av agent-baserte modeller. Et eksempel innen arbeidsmarkedsøkonomi skal vises seinere (Neugart, 2008). Byplanlegging, deriblant transportøkonomi, kan analyseres (Nagel et al., 1999). Interessen oppfattes som stigende for å modellere makroøkonomien som en agent-basert modell (Axtell, 2005). Ved modellering av makroøkonomien er agentene i modellen for øvrig ikke individer, men for eksempel familier, bedrifter eller nasjoner. Axel Leijonhufvud (2006) skriver om agent-basert makro, og han konkluderer ganske bastant at “*Agent-based methods provide the only way in which we can (...) advance our understanding of the adaptive dynamics of actual economies.*” (s. 1637). Finansielle markeder egner seg i følge LeBaron (2006) for agent-basert modellering av flere grunner, blant annet på grunn av at avkastningsresultater kan gi en grov tilnærming til en evolusjonær utvikling i markedene. Arthur (1995) bygger også en modell av et aksjemarked, hvor en agents forventninger avhenger av de andre agentenes forventninger. Leigh Tesfatsion er involvert i et prosjekt som tar sikte på å restrukturere elektrisitetsmarkedet i USA. Etter hendelsene i California i 2000 og 2001, hvor markedet trolig ble manipulert av enkelte elektrisitetsforhandlere, så man behovet for å lage et nytt system som sikrer ønskelige økonomiske incentiver, samtidig som man tar hensyn til den faktiske produksjonen av elektrisitet og hvordan elektrisitetsnettverket fungerer. I dette prosjektet har man kunnet bruke agent-baserte simuleringsmodeller (Tesfatsion, Home Page), og tidligere nevnte AMES er et viktig bidrag her.

I organisasjonsteori kan også agent-baserte modeller brukes. En organisasjon antas ikke å være kun en profitt-maksimerende enhet, men heller å bestå av individer med forskjellige incentiver og motiver. En ansatt har ikke nødvendigvis de samme målene med sitt arbeid i en bedrift som en leder, og denne indre strukturen og dynamikken fører til at bedriften kanskje oppfører seg noe annerledes enn hva ny-klassisk teori tilsier.

Sosiologi, sosialantropologi og arkeologi er fag som studerer interaksjon mellom mange enheter over tid, og egner seg således godt for agent-basert metode. Lake (2000) simulerer et forhistorisk jeger-sanker-samfunn for å leite etter årsaker til arkeologiske funn fra forskjellig tidsrom på forskjellig sted, mens Gilbert og Abbott (2005) gir en oversikt over agent-basert modellering i sosiologien.

Biologien er også et felt hvor agent-baserte modeller kan kaste noe av seg. Her kan alt fra hvordan fugler danner spesielle formasjoner i lufta (Reynolds, 1987), til bakteriologisk evolusjon (Emonet et al., 2005), analyseres ved hjelp av dette rammeverket.

## 2 Forholdet mellom standard økonomiske modeller og ACE

Standard økonomisk metode går ut på å lage en modell av økonomien, eller en del av økonomien man har lyst til å analysere. Når man har en modell, må man sjekke denne opp mot empirien på det aktuelle området. Til det tar man gjerne i bruk økonometri. Man er her ute etter å finne signifikante bevis som kan falsifisere den teoretiske modellen. Finner man signifikante bevis som motsier modellen, så må modellen forkastes, og arbeidet må starte forfra igjen. Hvis man derimot ikke finner det, så styrkes troen på modellens forklaringskraft. ACE-modellering er ikke helt forskjellig fra en slik tankegang, men prosessen er noe annerledes. En ACE-forsker starter gjerne med å observere et empirisk fenomen, som regel makrobasert. Det kan for eksempel være skeivhet i inntektsfordeling eller et handelsnettverk. Ideen er altså i ACE at slike fenomener kan ”dyrkes” frem. Imidlertid veit man ikke nøyaktig på forhånd hvilke type agentspesifikasjoner og parameterverdier i modellen som dyrker frem det aktuelle fenomenet. Så på samme måte som i standard metode brukes det en form for prøve-og-feile-metode, hvor ulike modeller og spesifikasjoner kanskje forkastes i forsøket på å finne ”riktig” modell (Tsfatsion, 2010c).

Man kan peke på noen viktige forskjeller mellom ACE og standardmodeller.

Agent-baserte modeller legger til rette for kommunikasjon aktørene imellom, innenfor modellens rammer. Når agentene gis evnen til å lære, å ha adaptive egenskaper, så gjøres kommunikasjonen mer fleksibel, og modellen kan dermed virke mer virkelighetsnær. Standardmodellene har gjerne et mer statisk drag over seg, selv om moderne spillteori nok har hjulpet en del på dette området.

Det neste punktet kan ses på som en forlengelse av det forrige, og anses for å være ganske viktig. Det dreier seg om at agent-baserte modeller gir agentene/aktørene større grad av autonomi, det vil si kontroll og bestemmelse over egen oppførsel og egne avgjørelser. Agenten har her anledning til å forfølge egne mål. Leigh Tesfatsion (2006) peker på at autonomi i denne betydninga også kan beskrive hvordan en aktør/individ i ny-klassiske modeller forholder seg til omverdenen, når denne aktøren velger seg et konsumnivå for å maksimere nytte gitt budsjettbetingelsen. Det er imidlertid graden av autonomi det er forskjell på, og en agent i agent-basert modellering innehar større grad av de nevnte adaptive

egenskaper, altså evnen til å ta opp i seg ny og endra oppførsel, noe som trolig er en mer realistisk representasjon av virkeligheten.

Som nevnt tidlig i oppgaven, så trenger ikke agentene i ACE kun representere individer, men kan også være større enheter. Det pågår for tida et EU-støtta prosjekt som heter EURACE. Her tar man sikte på å lage en modell av hele den europeiske økonomien. Agentene i denne modellen er ikke individer, da det ville sprengt kapasiteten til dataprogrammene som brukes, men er istedet forskjellige styrende organer, nasjoner og bedrifter. Dette er per dags dato trolig den mest omfattende agent-baserte modellen som fins. Det forventes at denne modellen skal generere mer troverdige resultater angående eksperimentering med forskjellige policyscenarier enn hva mer standardmodeller med representative agenter gjør (EURACE, 2010).

## 2.1 ACE som prosessorientert metode

I økonomiske standardmodeller beskrives gjerne først en forenkla representasjon av virkeligheten, for å få frem de aspektene man ønsker å analysere og for at det skal bli enkelt nok til å kunne konkludere. Visse betingelser innføres for å sikre stabilitet i modellen, det vil si for at en likevekt skal oppstå. Et viktig poeng er her nettopp dét at modellen må være spesifisert slik at en likevekt oppstår, noe som av og til kan være vanskelig å få til, eller kreve sterke antagelser om og forenklinger av den økonomiske virkeligheten. ACE-modellering kan sies å være rikere i den forstand at slik modellering ikke kun er opptatt av likevektsanalysen, men ser på hele prosessen frem imot en eventuell likevekt. ACE er altså en prosessorientert metode. Det er heller ikke gitt at det oppstår noen likevektssituasjon i ACE-modellene. Det har å gjøre med at agentene kan tillegges evnen til å lære seg og utvikle regler for oppførsel. Dynamikken i modellene står helt sentralt. Man kan altså analysere et problem selv om det skulle oppstå flere mulige likevekter, eller om det ikke skulle oppstå noen likevekt i det hele tatt. Det kan tenkes at selv om det ikke fins en likevektssituasjon, kan man istedet finne sykluser eller fenomener som gjentar seg. Disse, sammen med en beskrivelse av prosessen frem til dem, er det som utgjør modellens kjerne. Dette står i kontrast til mer standard økonomiske modeller. I slike tradisjonelle modeller er likevekten gjerne et slags endepunkt som utgjør modellens resultater. For å sammenligne forskjellige modeller eller forskjellige spesifikasjoner av en modell, gjør man ofte en komparativ statikk-analyse med likevektene som grunnlag.

Som for eksempel i Axtell og Epsteins modell "Timing of Retirement", som jeg seinere skal gå gjennom, er det prosessen frem til en slags likevektssituasjon det legges vekt på, altså den dynamiske utviklinga. Utgangspunktet for modellen var at det tok nærmere tretti år for amerikanske arbeidstakere å tilpasse seg nye regler for pensjonsalder, og det kan vel sies å være ganske lang tid. Derfor kan det være nyttig å vite noe om denne prosessen.

I denne sammenheng kan det være verdt å nevne at det eksisterer modeller som analyserer smitteeffekter og effekter av sosial interaksjon, hvor modellene ikke er agent-baserte som i ACE. Rege et al. (2007) viser at når noen personer i et nabolag blir tvunget ut i uføretrygd, så øker andelen som mottar uføretrygd i dette området med mer enn kun disse personene. De finner en "sosial multiplikator" som forsterker den initielle effekten.

ACE og standard ny-klassiske modeller er dermed i denne sammenheng komplementær snarere enn substitutter. ACE kan fortelle noe om prosessen frem mot likevekten, mens standard ny-klassisk teori kan fortelle om selve likevekten. Agent-basert modellering har altså ikke som mål å utkonkurrere standardteoriene.

### **2.1.1 Out-of-equilibrium economics**

Den økonomiske modelleringa vi kjenner best, ny-klassisk, bygger på matematisk optimering og metoder brukt i fysikk. Den fokuserer på likevekter, og selv om ikke alle likevekter er stasjonære, men også kan være dynamiske (Solow, 1974), så har man i disse modellene løst eventuelle koordineringsproblemer. Matematikken forteller oss hva som kommer. ACE har derimot mer til felles med biologien og evolusjonslæren (Arthur, 2006).

En helhet kan som regel brytes opp i flere mindre deler. Til sammen utgjør disse små enhetene altså en helhet. I biologien gjelder dette for eksempel et økosystem. Et naturlig økosystem er sjelden i stillstand, ettersom alle de mindre delene av systemet, dyra og plantene, påvirker hverandre gjensidig, og evolusjonen sørger for at kun de mest tilpasningsdyktige overlever. Det er "survival of the fittest". Og ettersom det som utgjør helheten stadig endrer seg, så endrer også helheten seg. På samme måte kan menneskelig samhandling ses på som et slikt økosystem. Mennesker er ulike, og deres samhandling fører til at noen klarer seg bedre enn andre. Mennesker har evnen til å lære, og vellykka strategier og valg tenderer til å bli kopiert. Slik er det konstant utvikling og forandring på lik linje som i naturen, og det kan oppstå fenomener man ikke klarte å forutse. Arthur (2006) kaller den

agent-baserte måten å modellere økonomien på for “out-of-equilibrium economics”. Denne termen fanger opp akkurat det aspektet at det ikke er likevekter som er i fokus, men snarere en evigvarende evolusjonsprosess.

## 2.2 Spillteori

Spillteori handler om hvordan aktører samhandler og reagerer på hverandres oppførsel. Aktørene har gjerne strategier for hvordan de skal reagere, gitt en annen aktørs handling. ACE springer i stor grad ut fra en slik tankegang. Hele basisen for at “samfunnet” som er simulert skal utvikle seg ligger i at agentene reagerer på hverandres valg og oppførsel. Likefullt er det noen forskjeller. Analyser som bygger på Allmenningens tragedie og Fangens dilemma, skiller seg fra ACE på den måten at de er enklere. ACE-metode har muligheten til å modellere inn måter agentene kan kommunisere på. Som Elinor Ostrom (1990) påpeker, så er virkelige situasjoner som oftest mer komplekse enn hva et standard Fangens dilemma er. I tillegg har agentene i mange ACE-modeller evnen til å lære, det vil si å endre eller fornye strategiene sine på bakgrunn av hva andre gjør. Dette tilsier at ACE gir en mer dekkende beskrivelse av reelle situasjoner.

Moderne spillteori begynte med John von Neumann og Oskar Morgensterns utgivelse “Theory of Games and Economic Behavior” i 1944. Den anses for å ha dannet grunnlaget for dagens spillteori, og var forløperen til John Nash’ videre formalisering av spillteorien. John Harsanyi er en annen som har bidratt innen spillteorien. Han tok opp tråden etter Nash, men interesserte seg for situasjoner hvor spillerne har ufullstendig informasjon. En som ofte samarbeidet med Harsanyi er Reinhard Selten. Selten innførte konseptet om ”delspill”-likevekter ved å innføre strengere betingelser enn hva Nash hadde gjort. Thomas Schelling har også vært viktig for spillteoretisk utvikling. Han la vekt på at nesten all interaksjon mellom flere spillere er kombinasjoner av felles interesser og konflikter. Schelling hadde atomvåpenkappløpet under den kalde krigen i bakhodet, og mente at slik interaksjon kan analyseres ved hjelp av ikke-kooperativ spillteori. Robert Aumanns arbeid om repeterte Fangens dilemma-spill er viktige, og både Robert Axelrods og Elinor Ostroms arbeid hviler på Aumanns analyser. I 1994 mottok Nash, Harsanyi og Selten Nobels minnepris i økonomi, mens Schelling og Aumann delte prisen i 2005. Spillteori anvendes i dag innen flere forskjellige fagdisipliner, som statsvitenskap, filosofi og biologi, men kanskje først og fremst innen samfunnsøkonomien.

En gren av spillteori er det som kalles evolusjonær spillteori (EST). EST har røtter tilbake til 1930-tallet, men det var først på 1960-tallet spillteori ble bevisst linka opp mot evolusjonære ideer (Stanford Encyclopedia). John Maynard Smith var en britisk biolog som på 1970- og -80-tallet brukte spillteori til å analysere samhandling mellom dyr (Stanford Encyclopedia), og Robert Axelrod brukte i sin bok "The Evolution of Cooperation" fra 1984 et to-parts Fangens dilemma-spill til å spille ulike strategier opp mot hverandre.

Larry Samuelson skriver at EST innbefatter mange typer modeller, men at "*The common theme is a dynamic process describing how players adapt their behavior over the course of repeated plays of the game.*" (Samuelson, 2002). Denne beskrivelsen sammenfaller i stor grad med beskrivelsen av ACE-modellene. Hva vi kan forstå ut av dette er at spillteori og evolusjonær spillteori er en del av bakgrunnen for ACE, spillteorien er med på å danne et rammeverk for ACE.

I spillteorien er det et begrep som kalles "korrelert likevekt". En korrelert likevekt kan beskrives som en sannsynlighetsfordeling av handlinger (Hart og Mas-Colell, 2000). Hart og Mas-Colell skriver også at denne sannsynlighetsfordelinga kan tolkes som en fordeling av instruksjoner gitt eksogent til spillerne. Instruksjonene innebærer et signal gitt til hver spiller som bare spilleren selv kjenner til. Selv om informasjon om ens eget signal for hvordan å handle er privat informasjon, så kan signalene være korrelerte.

Spillerne i Hart og Mas-Colells (2000) modell har en læringsprosess som kan minne om den vi ser i en del ACE-modeller. Spillerne kan endre strategi, og ser an payoffen en annen strategi ville gitt hvis den var blitt brukt i fortida. Disse strategiene er imidlertid ikke "beste svar". "Beste svar"-strategier konvergerer generelt ikke til Nashlikevekt (Hart, 2009). Hart har vist at det ikke fins noen "generell, naturlig dynamikk" som leder til Nashlikevekt, men at en type slik dynamikk, "regret matching" leder til korrelerte likevekter (Hart, 2009). Regret matching går ut på at spillerne kalkulerer payoffen en annen strategi ville gitt hvis den var blitt spilt i tidligere runder, som i Hart og Mas-Colells modell (Hart og Mas-Colell, 2000). Valget av "beste svar" ville kanskje ligge nærmere tradisjonell Nash-lignende spillteori, mens måten en strategi velges på i denne modellen nok ligger tettere opptil det vi finner i ACE med begrensa rasjonalitet.

## 2.3 Monte Carlo-lignende metode



Monte Carlo-metoden eller Monte Carlo-eksperimenter er en simuleringsmetode som gir en bestemt sannsynlighetsfordeling for faktorer og funksjoner som har iboende usikkerhet. Man spesifiserer en generell sannsynlighetsfordeling, for eksempel normalfordeling, med gitte parameterverdier. Så genererer man data i henhold til denne fordelinga og tar disse i bruk i en ny funksjon. Funksjonen som bygger på disse tilfeldig genererte dataene vil dermed også få en sannsynlighetsfordeling for sine resultater. Denne andre fordelinga forteller om forskjellige resultater, og hvor sannsynlige de er. I ACE-sammenheng kan noe lignende denne metoden gjøres. Når man har spesifisert en initiell setting, som inneholder stokastiske elementer, så kan man kjøre modellen mange ganger for å få ut en fordeling av mulige utfall. I videre analyse er dette nyttig for å kunne si noe om sannsynligheten til de enkelte utfall og for å gjøre sensitivitetsanalyser. For eksempel gjør Wilhite og Allen (2008) noe av dette når de kjører modellen sin 50 ganger for å si noe om en typisk realisering.

### 3 Evolusjon av normer for oppførsel

Adferdsøkonomi er en gren av økonomifaget som har vokst kraftig de siste tiåra.

Adferdsøkonomer tar i bruk psykologi for å forklare fenomener man ser, og som ikke stemmer overens med en del av antakelsene i standard ny-klassiske modeller. Psykologi og økonomi var for noen hundre år siden, på Adam Smiths tid, i større grad et enhetlig felt enn i dag. Med utviklinga av ny-klassisismen på slutten av 1800-tallet ble samfunnsøkonomien lagt om til mer å ligne en naturvitenskap. Ny-klassisk økonomi baserer seg på rasjonelle aktører, full informasjon og nytte- og profittmaksimering. Adferdsøkonomer er skeptiske til det ny-klassiske rasjonalitetsbegrepet, og mener det bør modifiseres. Mennesker har ikke evnen til å forutse og kalkulere alle fremtidige hendelser, og handler heller ikke i overensstemmelse med egne preferanser over tid. Preferanser endres kanskje også med tida, og er ofte ikke helt enkle å definere. Mennesket er altså ikke Homo Oeconomicus, men har kun begrensa rasjonalitet. Hva det relativt vide begrepet ”nytte” bør innebære, kan også diskuteres. Flere undersøkelser har vist at mennesker ikke kun har selviske preferanser, men også sosiale preferanser, og at det for mange er viktig med rettferdighet.

Med disse funnene i bakhodet, er det mulig å forestille seg hvordan normer for oppførsel kan oppstå og vedvare. En norm kan defineres ved: *”A norm exists in a given social setting to the extent that individuals usually act in a certain way and are often punished when seen not to be acting in this way.”* (Axelrod, 1997, s. 47) Fra vårt eget dagligliv kan man peke på noen slike normer. Det kan være å holde ei dør åpen for andre før man selv går inn, å respektere køsystemer eller å være stille på lesesalen. Få ønsker å avvike fra slik oppførsel, ettersom man da risikerer å bli straffa sosialt. Den sosiale straffen trenger ikke være så hard, men kan godt bestå av at man bare rynker på panna eller skuler litt olmt, men kan også innebære mindre sublimе sanksjonsmekanismer. Normene her er nettopp normer, og ikke regler nedfelt i noen forskrift eller lov. De har oppstått gjennom individers samhandling på lokalt nivå, det er ingen som har bestemt at det skal være sånn. Agent-basert modellering bygger også på akkurat dette, og de modellene som her presenteres viser hvordan normer oppstår uten at det nødvendigvis trenger å være nøyaktig slik.

#### 3.1 Axtell og Epstein: Koordinering av pensjonsalder

Joshua M. Epstein har sin doktorgrad i Statsvitenskap (Political Science) fra Massachusetts Institute of Technology fra 1981, og hans interesseområde går i retning av å modellere komplekse sosiale, økonomiske og biologiske systemer. Til dette bruker han agent-baserte modeller hvor eksperimentene blir utført ved hjelp av datakraft. Epstein beskrives som en pionér innenfor dette feltet, og hans arbeid spenner over å modellere så forskjellige fenomener som epidemier, bioterrorisme, sosial uro og røykevaner.

Robert Axtell har i samarbeid med Joshua Epstein gjort banebrytende arbeid innenfor agent-basert modellering. Som nevnt utga de to i 1996 boka "Growing Artificial Societies".

Artikkelen "Coordination in Transient Social Networks: An Agent-Based Computational Model of the Timing of Retirement" stod på trykk i boka "Generative Social Science", redigert av Joshua Epstein og utgitt i 2006. I modellen som presenteres forsøker Robert Axtell og Joshua Epstein å vise hvordan en norm kan oppstå på bakgrunn av at individer samhandler i sosiale nettverk. Ikke alle individene har en preferanse for det som etter hvert viser seg å bli normen for oppførsel, men denne normen etableres fordi et flertall av individene ønsker å gjøre som de andre i sitt sosiale nettverk. Ideen om at individer påvirkes av hverandre gjennom sosiale nettverk virker trolig rimelig for mange, og beskriver godt en del av menneskelig oppførsel.

Problemstillinga det er snakk om dreier seg om når arbeidstakere skal gå av med pensjon. Alle individene får tildelt et sosialt nettverk bestående av andre individer. Antall individer i nettverket trekkes tilfeldig fra et gitt intervall, og utgjøres av individer i et aldersspenn rundt ens egen alder, også trukket tilfeldig. Individene deles inn i tre kategorier, disse kalles "fornuftige", "tilfeldige" og "etterlignere". Fornuftige kjennetegnes ved at de går av med pensjon når det er tillatt, i dette tilfellet 65 år. Tilfeldige kjennetegnes ved at de har en viss sannsynlighet hver periode, her hvert år, for å gå av med pensjon etter at de har nådd tillatt alder. Etterlignerne utgjør majoriteten av individene og er de som så å si driver hele modellen, ved at de ønsker å gjøre som en viss andel av de andre i sitt sosiale nettverk. Ingen kan pensjonere seg før de har nådd lovlig pensjonsalder, men det er ingen restriksjoner på hvor lenge et individ kan stå i arbeid. Når et individ har pensjonert seg, så forblir individet pensjonert, denne tilstanden er endelig. Preferansene til Fornuftige og Tilfeldige er beskrevet over, og preferansene til Etterlignere består av at de ønsker å gjøre som et flertall av individene i sitt nettverk gjør. Når Axtell og Epstein setter i gang modellen er det en del av individene over 65 år som har pensjonert seg, men langt ifra alle. I neste periode i modellen er

det noe flere som er pensjonert, både som følge av at noen av Tilfeldige har pensjonert seg og av at noen av Fornuftige har nådd pensjonsalder, men særlig av at noen av Etterlignerne har hatt et flertall av pensjonerte i sitt nettverk i forrige periode, og dermed nå velger å gå av med pensjon. De samme effektene gjør seg gjeldende også i de påfølgende periodene, og i Axtell og Epsteins første spesifisering av modellen har så å si alle individene som har nådd pensjonsalderen faktisk pensjonert seg i løpet av de første seks periodene. Det som er verdt å merke seg her, er at dette fenomenet oppstår selv om det i denne spesifiseringa kun er 15 prosent av individene som er Fornuftige. Deretter kjører de en ny spesifisering av modellen, nå med 5 prosent Fornuftige. De kvalitative resultatene forblir de samme, men det tar her lengre tid før normen om å pensjonere seg ved fylte 65 år etableres.

I tillegg gjør Axtell og Epstein noen sensitivitetsanalyser i modellen. Det er flere parametre som kan gis forskjellige verdier. Først finner de at antallet individer ikke spiller noen rolle. Antallet individer ligger på 100 stykker per årskull. Deretter varieres de relative andelene av de tre kategoriene av individer, Fornuftige, Tilfeldige og Etterlignere. Tida det tar før alle individene som har nådd pensjonsalderen faktisk har pensjonert seg kaller Axtell og Epstein "transition time", overgangstid. Ved å redusere andelen Fornuftige, går overgangstida opp. Det høres rimelig ut. Og for en gitt andel Fornuftige, vil en økt andel Tilfeldige gi redusert overgangstid. Man kan også variere hvor mange av individene i et nettverk som må være pensjonert før en Etterligner ønsker å gjøre det samme. Ved å gjøre denne terskelen mer varierende blant Etterlignere, det vil si å gjøre denne subpopulasjonen mer heterogen, reduseres overgangstida. Det pekes her på at i en slik spesifisering vil det bli relativt flere med lavere terskel for å pensjonere seg. Disse vil pensjonere seg tidligere, og dermed vil også flere andre, med høyere terskel, følge disse. Videre kan man se på ulike størrelser av sosiale nettverk. Her ser man at jo større nettverkene er, desto lengre er overgangstida. Tolkninga går her på at i større nettverk er det vanskeligere å få etablert en ny norm, men det går. Til sist varierer Axtell og Epstein spennet som individene i nettverkene er trukket ut av. Større aldersspenn gir kortere overgangstid. Det skjer ettersom et gitt nettverk har høyere sannsynlighet for å inneholde eldre individer med høy sannsynlighet for å være pensjonert.

De sensitivitetsanalysene som Axtell og Epstein gjør her, er mulig ettersom de kjører samme modell mange ganger. Inputen er den samme bortsett fra antallet Tilfeldige som er ulikt for hver gang. Denne måten å danne grunnlag for analyse på ligner til en viss grad Monte Carlo-simuleringer, som tidligere beskrevet.

Helt til sist gjør Axtell og Epstein et forsøk på å gjøre modellen enda mer virkelighetsnær. For å lage et mer sammensatt samfunn deler de populasjonen opp i to subpopulasjoner. Den ene subpopulasjonen er bedre informert og utdanna enn den andre, og dette vises ved at den dårlig informerte subpopulasjonen ikke inneholder noen Fornuftige. De to subpopulasjonene er kobla sammen ved at et mindretall av et individs sosiale nettverk tilhører den andre subpopulasjonen. Overgangstidene for de to er dermed forskjellige, med kortest tid for den godt informerte subpopulasjonen. Imidlertid drar den godt informerte subpopulasjonen med seg den andre til slutt, og en felles norm etableres.

Tema for Axtell og Epsteins modell, pensjonering, ble fanga opp ved at noen kolleger av de to fant en nøtt de ikke klarte å knekke. I 1961 ble laveste pensjonsalder i USA, altså den alderen som gjør folk berettiga til "social security benefits", senka fra 65 år til 62. Imidlertid tok det nærmere tre tiår før "modal retirement age", typetallet, den alderen flest pensjonerer seg ved, sank tilsvarende. I følge ny-klassisk teori skulle man sett at folk justerte seg øyeblikkelig, men det var altså ikke tilfelle. Her kan det innvendes at en stor andel av amerikanske arbeidstakere baserer sine pensjonsutbetalinger på private avtaler, og at 1961-reformen dermed kanskje ikke skulle ha så stor betydning for denne typen avtaler. Axtell og Epstein sier likevel at "*By any measure, this was a major policy shift.*" (Axtell og Epstein, 2006, s. 147). Axtell og Epstein så for seg at sosial samhandling på mikronivå var med på å skape dette makrofenomenet, og skjønnte at det her fantes potensial for agent-basert modellering av problemet. Etter at de har kjørt modellen og fått etablert en pensjonsalder på 65 år, så innfører de dermed en ny og lavere tillatt pensjonsalder, på 62 år. Når de nå setter modellen i gang igjen, så finner de at det tar noen-og-tjue år før normen om å pensjonere seg ved fylte 62 år er etablert. Denne modellen var altså en god gjengivelse av de amerikanske dataene, og tyder på at ACE har noe for seg.

## **3.2 Axelrod: "An Evolutionary Approach to Norms"**

Robert Axelrod har en BA i matematikk, og en doktorgrad i statsvitenskap. Således skulle han være godt skikka til å utføre ACE-eksperimenter, som krever både matematisk innsikt for å programmere og en forståelse av samspill mellom enheter, enten det er individer eller stater. Axelrod var tidlig ute med å lage agent-baserte modeller og å utføre eksperimentene ved hjelp av datasimuleringer. Allerede på 1980-tallet satte han opp agent-baserte simuleringseksperimenter.

Artikkelen “An Evolutionary Approach to Norms” sto på trykk i American Political Science Review i 1986. Den gir et innblikk i hvordan normer kan oppstå som følge av enkeltindividers samhandling. Axelrod påpeker at normer kan endres over tid, og mener dermed at rasjonelle valg basert på korrekte antagelser om fremtida er en gal måte å fremstille verden på. Individene bruker i stedet den mer realistiske metoden “prøve-og-feile”. Det er denne metoden som gjør den evolusjonære tilnærminga fruktbar. Individene må velge mellom forskjellige strategier, og ettersom individene på forhånd ikke veit hvilken strategi som gir best resultat, så modellerer Axelrod slik at de mest vellykkede strategiene blir kopiert av andre individer.

Spillet som spilles bygger på et n-person Fangens dilemma-spill, hvor alternativene er Avvike (A) og Ikke Avvike (IA). Å Ikke Avvike gir lavere personlig payoff enn å Avvike, men å Avvike innebærer også at alle andre spillere får påført en kostnad, slik at totalen blir lavere enn hva den kunne vært. Imidlertid utvides dette spillet. Spillerne gis muligheten til å straffe andre spillere som velger Avvike, men blir ved å gjøre dette påført en personlig kostnad. Hvis en spiller velger å Avvike, og blir oppdaga av en annen spiller, så påføres den spilleren som valgte Avvike en relativt stor kostnad. En spillers strategi utgjøres dermed av to dimensjoner. Spilleren må velge mellom A og IA, hvorav A er best, men må også ta hensyn til at ved valg av A er det risiko for en kostnad. De to dimensjonene kan oversettes med Dristighet og Hevngjerrighet.

“An Evolutionary Approach to Norms” legger frem en modell som er veldig lik ACE slik man bruker metoden i dag. Modellen består av 20 individer. Individenes egenskaper består av at de ønsker en høyest mulig personlig payoff, individenes nettverk består av alle de andre individene, og når den initielle setting er spesifisert, så driver modellen seg selv. Den initielle setting er spesifisert slik at individene har en tilfeldig grad Dristighet og Hevngjerrighet. I hver periode får spillerne en total payoff, som typisk er negativ for moderate nivåer på Dristigheten og Hevngjerrigheten. Så kalkuleres gjennomsnittspayoffen for perioden. De strategiene som ga gjennomsnittlig eller høyere payoff kopieres, og de som er under gjennomsnittet forsvinner. I tillegg introduseres det en mulighet for at individene tester ut helt nye strategier, det vil si strategier de ikke hadde initielt eller har kopiert av andre. Hver spiller ilegges en 1 % sjanse for en slik “mutasjon” hver periode, noe som gir litt over én mutasjon per periode. Modellen kjøres så i 100 perioder, et tilstrekkelig antall perioder for å se på evolusjonen av Dristigheten og Hevngjerrigheten, og for å se på om det etableres noen

norm. Denne metoden gjentas fem ganger, slik at fem evolusjonsforløp kan analyseres, og fem eventuelle normer kan tre frem.

En norm tilsvarer her de gjennomsnittlige verdiene av Dristighet og Hevngjerrighet etter den 100. perioden. De fem forskjellige utgavene av modellen danner tre vesensforskjellige normer. Én innebærer meget høy Dristighet, og så å si ingen Hevngjerrighet. En annen innebærer det motsatte, mens en tredje gir lave verdier av både Dristighet og Hevngjerrighet. Etter 100 perioder, som må sies å være ganske mange når modellen også inneholder 20 individer, er spennet som vises relativt stort. Axelrod kommer her ikke inn på hvorfor man får ut et slikt spenn, men det kan tenkes at det er betinget av den initielle settinga, som er tilfeldig trukket. Det kan også være slik at Axelrod ser for seg at de tre normene ikke er statiske, men at de fluktuerer over tid. Denne siste tolkninga er i tråd med hans grunnidé, som nettopp er den at normer har evolusjonære trekk, og kun i liten grad når noen stabil likevekt.

Axelrod tar derimot tak i normen med høy Dristighet og lav Hevngjerrighet, og analyserer hvordan denne normen oppstod. Alle utgavene av modellen har noenlunde moderate nivåer av både Dristighet og Hevngjerrighet til å begynne med. Det typiske er da at Dristigheten synker kraftig til kommende perioder, ettersom man påføres en relativt stor kostnad hvis man blir oppdaga og straffa for Dristigheten. At Dristigheten synker, medfører i påfølgende perioder at Hevngjerrigheten synker, ettersom det er en kostnad forbundet ved å straffe andre. Disse mekanismene spiller seg ut i en del perioder, men etter hvert når Hevngjerrigheten et så lavt nivå at det lønner seg å være Dristig, så Dristigheten øker. I denne situasjonen, hvor Hevngjerrigheten er nær lik null, vil en strategi som innebærer lav Hevngjerrighet, men høy Dristighet, klare seg bra. Høy Dristighet vil forbli ustraffa. Dermed er det duket for en norm om at det er greit å Avvike og at ingen straffer de som Avviker.

Robert Axelrod vier også en del oppmerksomhet til de bakenforliggende årsakene til at normer etableres. Disse innbefatter: metanormer, en sterk aktørs dominans, direkte internalisering av normer gjennom familie, avskrekkende oppførsel, behov for sosial bekræftelse, medlemskap i grupper, formelle lover og ønske om et godt rykte. Metanormer er de eneste som analyseres som en agent-basert modell, her som en utvidelse av det aktuelle spillet.

En metanorm er en norm som omhandler selve normen. Axelrod nevner flere eksempler, ett går på at det i kommunistregimer er vanlig å straffe opposisjonelle, og i tillegg straffe folk som ikke angir disse opposisjonelle. Dermed har man etablert en handling som skjer som effekt av den opprinnelige handlinga. Her betyr det at man straffer ikke bare dem som velger å Avvike, men man straffer også dem som ikke straffer når de oppdager Avvikere. Modellens oppsett er som før, 20 individer som velger Avvike/Ikke Avvike, og strategier som utvikles gjennom 100 perioder. Med metanormen til stede er resultatene utvetydige. Det oppstår en norm mot å Avvike. Dristigheten er lav, og Hevngjerrigheten er høy.

Et Fangens Dilemma som det bygges på her er en del av standard økonomisk metode. Nash-likevekten i slike spill forteller oss typisk at samarbeid ikke skjer, og at alternativet Avvike er den dominerende strategien. I den siste utvidelsen i denne artikkelens modell ender vi opp med en annen konklusjon. Ingen av konklusjonene er gale, men en agent-basert modell med en evolusjonær tilnærming til problemet er et viktig tilskudd til økonomisk teori, ettersom slike normfenomener eksisterer i den virkelige verden.

Man kan her innvende at å modellere menneskelig samhandling og menneskelige kognitive evner som et én-periodes Fangens Dilemma-spill er en for grov forenkling. Mennesket har evnen til å se både fremover og bakover i tid, og samhandlinga repeteres ofte i flere perioder. En slik utvidelse av modellen kan gi andre resultater, noe Elinor Ostroms arbeider viser, som vi skal se seinere. Axelrods resultater må også ses i lys av Robert Aumanns arbeid vedrørende repetert samhandling. Repetisjon øker sannsynligheten for å finne kooperative løsninger.



## 4 Utforming av politikk

En stor del av ACE-litteraturen er deskriptiv. Når for eksempel Joshua Epstein ønsker å ”dyrke” økonomiske og sosiale fenomener, så betyr det at han ønsker å forklare dem. Men ACE kan også brukes i forfølgelsen av målet om å få verden til å bli slik man vil at den skal være. ACE-modellene kan brukes normativt. Dawid og Fagiolo (2008) skriver at etterhvert som man begynte å bruke ACE til å modellere mer spesifikke situasjoner enn det generelle arbeidet i for eksempel ”Growing Artificial Societies”, så har denne typen bruk bare vokst. Skal man ta avgjørelser på et felt, så vil man nok føle seg sikrere om de analysene man baserer seg på har tydelig relevans til det aktuelle feltet. For gjennomslagskrafta til ACE som verktøy for politikktutforming er det dermed en klar fordel at modellene gjengir strukturen til realistiske situasjoner så nøyaktig som mulig.

Dette kapitlet handler om hvordan agent-baserte modeller kan brukes til å designe og forme markeder best mulig, og om hvordan effekter av politikk kan analyseres i et agent-basert rammeverk. To modeller vil bli gjennomgått, hvor temaene er arbeidsmarkedstiltak for å få folk tilbake i jobb etter at de har mista jobben, og forholdet mellom kriminalitet, forskjellige former for beskyttelse og behandling av straffedømte.

### 4.1 Evaluering av arbeidsmarkedstiltak ved hjelp av ACE

Michael Neugart er en tysk økonom som har som spesialfelt arbeidsmarkedspolitik og makroøkonomi. I en del av sine arbeider bruker han ACE-modellering. Neugart er også medvirkende i et EU-støtta prosjekt, EURACE, som skal utvikle en agent-basert modell for hele den europeiske økonomien, retta mot design av politikk.

Artikkelen “Labor market policy evaluation with ACE” ble publisert i *Journal of Economic Behavior & Organization* i 2008. Den legger frem en modell for å evaluere tiltak som skal tilpasse arbeidstakere jobb i andre sektorer enn den de tidligere har jobba i. At arbeidstakere må finne seg jobb i nye bransjer, er ikke noe fremmed fenomen. Spørsmålet som stilles i denne artikkelen er hvorvidt myndighetene skal subsidiere folks etterutdanning, og i såfall i hvilken grad.

Oppsettet består av agenter, her individer, som skal ha seg jobb. Agentene har kompetanse som gir dem mulighet til å jobbe i en bestemt sektor. Det er forskjellige sektorer, som krever ulik kompetanse. For å få seg ny jobb i en annen sektor trengs etterutdanning. Sektorene har imidlertid fellestrekk i varierende grad. Det betyr at den etterutdanninga som trengs for å tilpasse seg en ny sektor avhenger av hvor “nær” en sektor ligger arbeidstakerens gamle sektor. En sektor kan bestå av én eller flere bedrifter. Sektorene kan bli ramma av eksogene sjokk, og det innebærer at alle bedriftene i den aktuelle sektoren legges ned. Når det nedlegges bedrifter i én sektor, skapes det nye bedrifter i andre sektorer. Det betyr at de nedlagte bedriftene kan gjenoppstå i løpet av kommende perioder. De arbeidstakerne som hadde jobb i de nedlagte bedriftene må finne seg en ny arbeidsgiver. Denne nye arbeidsgiveren kan enten være en bedrift i en ny sektor, eller arbeidstakeren kan vente til nye bedrifter skapes i hans tidligere sektor. For at arbeidstakeren skal tilegne seg kompetanse til å jobbe i nye sektorer, må det investeres i etterutdanning. Imidlertid koster det å etterutdanne seg, så her ligger det en tradeoff hvori allokasjonen av ressurser ikke er gitt. For å få frem dynamikken i arbeidsmarkedet, tillegges arbeidstakerne, agentene i modellen, den egenskapen at de lærer av hverandres strategier. For hver periode regnes det ut et gjennomsnitt av payoffen til de arbeidstakerne som måtte finne seg nye jobber, og i neste periode har de strategiene som ga høy payoff større sannsynlighet for å bli valgt enn de strategiene som ga lav payoff.

I Neugarts spesifisering er det 20 sektorer, og til sammen 100 bedrifter. Hver bedrift har én stilling, og det fins 100 arbeidstakere. I prinsippet kunne man derfor hatt full sysselsetting, men det skjer svært sjelden, som følge av sektorenes ulike natur. Investeringskostnaden beløper seg til 15 prosent av en kvartalslønn for å utvide sin kompetanse til to sektorer utover sin egen. For å få kompetanse nok til å jobbe i alle nye sektorer, må en arbeidstaker dermed investere 150 prosent av en kvartalslønn, eller 37,5 prosent av en årslønn. Hver sektor har i hver periode en sannsynlighet for å bli ramma av sjokk på 0,05.

Én runde består dermed av nedleggelse av én eller flere sektorer, nyskaping av bedrifter i andre sektorer, investering i ny kompetanse av enkelte arbeidsledige, ansettelse i nyskapte bedrifter og til sist de utregning av payoffen til de arbeidsledige med tilhørende innlæring av strategier. Den initielle setting, bestående av bedriftenes plassering mellom sektorene, trekkes tilfeldig. Neugart kjører så denne modellen i 1000 runder, noe han kaller et

run. Et run inneholder hele 1000 runder for å minimere påvirkninga til den initielle settinga. Så kjøres 5000 slike runs, og resultatet er blant annet gjennomsnittsverdier på arbeidsledigheten og outflow fra ledighet.

Spørsmålet om subsidiering av de arbeidslediges etterutdanning analyseres ved hjelp av dette rammeverket. Neugart innfører subsidiering av 10, 20, 30, 40 og 50 prosent av arbeidstakernes kostnader. Resultatene av dette viser at høyere subsidiering gir lavere arbeidsledighet, noe som virker rimelig. Når en større del av investeringskostnadene tas av myndighetene, vil hver enkelt arbeidstaker investere i mer etterutdanning. Drivkraften bak denne effekten er økt outflow fra ledighet. Neugart oppsummerer dette funnet med at en politikk som stimulerer etterutdanning fører til redusert friksjonsledighet. Friksjonsledighet kan være en følge av mismatch i kompetanse.

Neugart gjør noen sensitivitetsanalyser. Resultatene påvirkes ikke kvalitativt av økt investeringskostnad. Det virker rimelig ettersom en slik økning kun vil forsterke modellens særtrekk. Den nevnte læringsprosessen karakteriseres blant annet av en læringsparameter som angir i hvor stor grad de arbeidsledige evner å ta opp i seg gode strategier. Det påpekes at styrken på denne er usikker, men hverken en halvering eller en dobling av denne parameteren endrer de kvalitative resultatene.

Foruten en ny metode for å studere økonomien generelt og arbeidsmarkedet spesielt på, mener Neugart at hans agent-baserte modell kan komplementere og utfordre tidligere forskning på to områder. Det ene går på at agent-baserte modeller linker mikro- og makroresultater på en måte som kan gi informasjon om politikkenes innvirkning på forskjellige grupper av samfunnet. Å kun se på makroeffektene av politiske tiltak kan i noen tilfeller være ufullstendig. I Neugarts modell er totaleffekten av en subsidieringspolitikk at ledigheten synker, men han gjør også en utvidelse av modellen for å se på eventuelle forskjeller mellom forskjellige grupper arbeidstakere.

Arbeidstakerne deles her opp i to grupper, og modellen kjøres så i 1000 runder. Gjennomsnittsverdiene på outflow raten etter disse 1000 rundene er ikke statistisk signifikant forskjellige fra hverandre. Deretter innføres subsidiering av den ene gruppas etterutdanning, mens den andre gruppa ikke får noe subsidier. Nye 1000 runder kjøres, og de gjennomsnittsverdiene på outflow raten som da dukker opp er statistisk signifikant forskjellige. For den gruppa som har mottatt subsidier, har outflow raten fra ledighet gått opp,

mens for den andre gruppa har raten gått ned. Neugart trekker på bakgrunn av dette en konklusjon om det han kaller en “job displacement effect”. Denne effekten består av at lavere ledighet blant de subsidierte går på bekostning av høyere ledighet blant de ikke-subsidierte. Subsidieringa innebærer at denne gruppa investerer i mer etterutdanning, og dermed får sitt søkeområde utvida, relativt til de ikke-subsidierte. Et større søkeområde gir høyere sjanse for å få jobb, og derfor økt outflow rate. Så selv om totaleffekten er lavere ledighet, kan man mene at en slik fortrenningseffekt gjør politikken uheldig likevel. Denne siden av en politikkevaluering er en agent-basert modell godt egna til å få frem.

Det andre området handler om hvordan ledige arbeidstakere finner ledige stillinger, det som kalles “matching function”. En matching function er en makrosammenheng (Cahuc and Zylberberg, 2004), som ikke tar innover seg de individuelle handlinger utført på mikronivå. Dog har matchinga et mikrofundament, men det aggregeres opp til makrostørrelser. Dermed er denne funksjonen gjerne eksogen i forholdet til for eksempel en politikk som i denne modellen. Neugart argumenterer imidlertid for å gjøre matchinga endogen, og er her inne på et av ACEs kjerneområder. Etersom funksjonen hviler på mikrostørrelser, kan man fint forestille seg at en politikk som tar sikte på å endre avgjørelsene til aktørene, også påvirker selve matchinga. Neugarts modell gjør ikke bruk av noen eksplisitt matching function, og kan derfor se på hvordan prosessen med å matche jobbsøkere og ledige jobber påvirkes av politikken.

Forskjeller i denne prosessen analyserer han ved å kjøre modellen én gang uten noen subsidiering, og fem ganger med subsidiering på henholdsvis 10, 20, 30, 40 og 50 prosent. Her består altså modellen av 5000 runs. Blant disse 5000 runs i hver modell trekker han ut de tilfellene hvor antall jobbsøkere og antall ledige jobber matcher mellom modellkjøringene. Deretter testes det for likhet i outflow ratene mellom ikke-subsidieringstilfellet og hvert av subsidieringstilfellene. Neugart finner at outflow raten i subsidieringstilfellene er statistisk signifikant forskjellige fra ikke-subsidieringstilfellet. Med dette konkluderer han at den implisitte matching function ikke kan løsrives fra politikken, men må anses som endogen.

Michael Neugart viser med denne artikkelen at en ACE-modell kan være nyttig i en evaluering av politiske tiltak. Neugart utvider og modifiserer, og kanskje forbedrer, deler av standard teori i arbeidsmarkedsøkonomien.

## 4.2 Kriminalitetsbekjempelse, forebyggende tiltak og rehabilitering

Allen Wilhite og W. David Allen bruker i artikkelen "Crime, protection and incarceration" en agent-basert modell til å se nærmere på kriminalitet. Hvilke faktorer kan bidra til kriminalitet, og hvilke midler skal til for å bekjempe den?

Modellen bygger på at det fins tre typer agenter; citizens, criminals og convicts, det vil si vanlige innbyggere, kriminelle og straffedømte. De vanlige lovlydige innbyggerne produserer output til eget konsum, mens de kriminelle snylter og stjeler av de lovlydiges produksjon. Wilhite og Allen setter opp et uttrykk for en innbyggers tilfredsstillelse. Tilfredsstillelsen er økende i egen produksjon, og synkende i omfanget av kriminalitet. Kriminalitetsomfanget kan deles opp i to komponenter, andelen kriminelle, og det antallet lovbrudd en kriminell begår i løpet av en periode. Den siste komponenten her kan gis som en synkende funksjon av de ressursene innbyggerne legger i beskyttelsen av egen produksjon. Wilhite og Allen beskriver tre nivåer beskyttelse mot kriminalitet kan foregå på. Self-protection, som kun gagnar en selv, communal protection, hvor individer i et nabolag setter inn ressurser for å beskytte sitt eget nabolag, og city-government protection, finansiert ved skattlegging for å beskytte hele byen.

Et individ må også avveie hvor store ressurser som skal brukes på å produsere output, og hvor mye som skal gå med til å beskytte denne outputen. Beskyttelse på alle tre nivåer drar ressurser vekk fra direkte produktiv virksomhet, men også to andre forhold er med på å bestemme størrelsen på et individs produksjon. Det ene er et mål på individets tilbøyelighet til kriminell adferd, og det andre er et mål på kriminaliteten i et individs nabolag. Økte verdier i disse to målene gir lavere produksjon.

Et uttrykk for et kriminelt individs tilfredsstillelse settes også opp. Denne tilfredsstillelsen er økende både i omfanget av kriminalitet og lovlydig produksjon.

Hvert individ, enten det er lovlydig eller kriminelt, får en viss tilfredsstillelse ut av hver periode. Som vanlig i en ACE-modell, forfølger en agent en strategi snarere enn å maksimere en objektivfunksjon mer direkte. Alle innbyggenes tilfredsstillelse, både de lovlydiges og de kriminelles, rangeres etter hver periode. De individene med de 2 prosent laveste tilfredsstillelsene er interessert i å endre strategi. De får dermed muligheten til å skifte

levebrød ved å bli enten kriminell eller lovlydig, endre sine bidrag til self-protection eller communal protection, flytte til et annet nabolag eller gjøre ingenting. Hvilken av disse strategiene som velges, trekkes tilfeldig.

Dette samfunnet består av en by, som igjen er delt opp i mindre nabolag. Det nevnte målet på kriminaliteten i et nabolag påvirkes over tid av innbyggernes personlige karakteristika, og deres interaksjon med hverandre. Alle individers tilbøyelighet til kriminell adferd utgjøres av en "tag string" bestående av 100 sifre. Disse sifrene er enten null eller én. En null betegner hang til lovlydighet, mens en ener betegner hang til kriminalitet. I hver periode møtes to tilfeldig valgte individer, og ett av deres 100 sifre velges ut. Hvis disse sifrene er forskjellige, så skifter den ene verdi. Det er tilfeldig hvilket av sifrene som skifter. Slik påvirkes både individenes individuelle kjennetegn, og i tillegg hele nabolagets kjennetegn. Avhengig av den initielle settinga, så vil det oppstå nabolag med varierende grader av lovlydighet og kriminalitet.

Modellen som kjøres består av 5000 individer. I den initielle settinga er 20 prosent av individene kriminelle, mens resten er lovlydige innbyggere. De lovlydige innbyggerne tillegges til å begynne med tilfeldige verdier på de forskjellige typene beskyttelse, og spres tilfeldig utover i 20 nabolag. Deretter lar Wilhite og Allen det gå 10 000 perioder før de analyserer tendensene. Etter å ha kjørt en modell med samme initielle setting 50 ganger, ser de to forskerne noen mønstre og fenomener som gjentar seg. En typisk by har en kriminalitetsrate på omtrent 8-9 prosent, lovlydige innbyggere har i snitt høyere tilfredsstillende enn kriminelle, og city-government protection utgjør rundt 1,5 prosent av innbyggernes produksjon. Disse funnene virker rimelige (Statsbudsjettet 2010).

Wilhite og Allen gjør utifra dette oppsettet noen analyser av forskjellige policyer. For å sammenligne byer lager de et samfunn bestående av 75 forskjellige byer, alle med fra 1000 opp til 5000 innbyggere. Totalt er det over 250 000 individer i samfunnet. Hele samfunnet kjøres i 10 000 perioder, og Wilhite og Allen trekker ut data hver 100. periode. Slik konstruerer de et paneldatasett bestående av 75 byer observert 101 ganger.

Etter å ha generert dette datasettet brukes standard økonometriske metoder for å analysere effekter av policyer. Disse metodene omtales ikke videre her. Wilhite og Allen peker på et par fordeler med å simulere kontra en empirisk studie av temaet. De mener utvalget er mer representativt ettersom de har data for alle nabolag i alle byer, og ikke bare i

de mest belasta områdene. De mener også at et rikt paneldatasett som dette kan luke ut spuriøse effekter, noe som kan være vanskelige å gjøre i cross-sectional datasett.

Funnene til Wilhite og Allen berører flere aspekter. Større byer opplever mer kriminalitet. Ressurser brukt på beskyttelse gir generelt mindre kriminalitet, men self-protection gir mer. Grunnen kan være at de byene som har en stor andel self-protection, har det på grunn av fravær av andre typer beskyttelse. Både communal og city-government protection gir bedre beskyttelse, og dermed har byer med lite av disse typene beskyttelse mer kriminalitet. Ved fengsling av kriminelle har byene forskjellige lengder på fengselsoppholdet, 50, 100 og 150 perioder. Lengre straffer er ikke signifikant.

Noen byer fengsler kriminelle, mens andre byer baserer seg kun på annen forebyggende beskyttelse. Byene har også forskjellige kombinasjoner av rehabilitering under fengselsoppholdet, og oppfølging etter endt fengselsopphold. De byene som baserer seg på å gi straffedømte en jobb og et lovlydig liv, får faktisk en økt andel kriminelle. Selv om de settes i en god posisjon, evner ikke disse eks-straffedømte å håndtere det lovlydige livet, hvis de under fengselsoppholdet ikke ble rehabilitert.

Wilhite og Allen gjør også en analyse av forskjellene mellom nabolag i samme by. Her brukes den agent-baserte modellen på en noe annerledes måte enn slike modeller vanligvis brukes. De genererer fortsatt et paneldatasett, men nå ser de bort fra evolusjonsprosessene, og trekker i stedet ut data etter at modellen har nådd en slags likevekt. Wilhite og Allen sier at byene i modellen har “*settled into their long-term pattern*” (s. 489). Denne bruken står i kontrast til Arthurs betegnelse på ACE som “*out-of-equilibrium economics*”. Wilhite og Allen argumenterer for at det er fordelaktig å generere data på denne måten for å få en rikere og mer fyldig og dekkende beskrivelse enn hva empiriske data kan gi. Funnene her består hovedsakelig i at de områdene i en by hvor det bor færrest mennesker også opplever mest kriminalitet. Wilhite og Allen peker på at dette er i samsvar med et par empiriske arbeider.

Resultatene og funnene i denne artikkelen kan være med på å danne grunnlaget for politikk på området kriminalitetsbekjempelse og tilbakeføring til et normalt liv etter endt soning. Artikkelen gjør bruk av ACE, men kombinerer det også med mer standard økonomisk metode, og er således et interessant eksempel innenfor emnet agent-basert modellering.

## 5 Synergieffekter mellom ACE og eksperimentell økonomi

Agent-basert forskningsmetode og eksperimentell økonomi har noen fellestrekk. Begge disipliner er interessert i enkeltindividens karakteristika. Begge setter opp hypoteser om menneskelig oppførsel. Begge disipliner aggregerer funn på individnivå for å analysere virkninga på makrofenomener og –størrelser, eller for å finne gjennomsnitt- og medianverdier.

Imidlertid er det to separate disipliner, og det er ikke uten grunn. ACE og eksperimentell økonomi utfører i noen grad de samme typene undersøkelser. Forskjellen ligger i at eksperimentell økonomi baserer seg på faktiske mennesker, mens ACE-forskerne simulerer kunstige individer. Det samme kan sies om miljøet agentene handler i, selv om miljøet i eksperimentell økonomi til dels er kunstig det óg, i betydning at det ofte foregår i laben, og kun er en gjengivelse av det “virkelige” liv.

Man kan lett forledes til å tro at agent-basert modellering i seg selv avhenger av datakraft, ettersom skillet mellom Agent-Based Modeling og Agent-Based Computational Modelling (eller Agent-Based Computational Economics) ikke alltid er like tydelig i litteraturen. Imidlertid kan man se av Thomas Schellings “Models of Segregation” at det ikke trengs datakraft til å generere resultater, prosessen blir bare mer tidkrevende. Likevel er det en skillelinje som går på at datakraft er blitt et viktigere verktøy i dagens ACE enn det var på 1960-tallet. Brukerne av ACE har i dag lengre perspektiv i sine modeller, det vil si flere perioder, og for at det i praksis skal være mulig å få noe ut av modellutvidelsen, har det blitt nødvendig å ta i bruk datakraft.

Agent-basert modellering og labeksperimenter utført med menneskelige testsubjekter, i denne oppgaven omtalt som eksperimentell økonomi, kan kombineres med hverandre på flere måter. Det er vanlig å bruke agent-baserte modeller til å forstå resultater fra eksperimentell økonomi (Duffy, 2006). Men samtidig brukes ofte eksperimentell økonomi til å finne trekk ved menneskelig oppførsel som så kan tillegges agentene i de agent-baserte modellene. Begge forskningsmetodene bidrar til kalibrering og validering av den andre metodens modeller.



En del av de siste tiåras forskning innen adferdsøkonomi har dreid seg om å modellere alternativer til ideen om mennesket som Homo Oeconomicus. Etterhvert har man gjort store fremskritt i denne forskningen (Rabin, 1993; Rege, 2004). Et problem i denne sammenheng er at det kan være vanskelig å sette opp eksperimenter hvor disse nye preferansene blir testa ut i større markeder hvor effektene kanskje ikke er så lette å se for seg. Contini et al. (2006) gir et eksempel med interaksjon mellom individer og en sentralbank. I agent-baserte modeller kan man lettere styre og modellere slik interaksjon.

## 5.1 Kalibrering av modellene

Når man skal modellere agenter, virker det rimelig å gi agentene egenskaper som er grundig fundert i vitenskap og testa ut i flere forskjellige sammenhenger. De individuelle karaktertrekkene som modelleres kan baseres på funn gjort i eksperimentell økonomi, med mennesker som testpersoner. Agentenes egenskaper er sammen med agentenes interaksjon det helt sentrale i ACE, og hvis disse egenskapene ikke skulle bli korrekt spesifiserte, det vil si i overensstemmelse med faktisk menneskelig oppførsel, så vil man ikke kunne stole på modellens resultater. John Duffy (2006) peker imidlertid på at et flertall av forskerne som bruker agent-baserte modeller, sågar forgrunnsfigurer som Thomas Schelling, Robert Axelrod og duoen Joshua Epstein og Robert Axtell ikke alltid binder seg til funn gjort i adferdsøkonomien. I mange modeller lærer og utvikler agenter seg over tid, og i adferdsøkonomien er det gjort forsøk på å finne modeller og funksjoner som kan beskrive menneskers læringsprosesser (for eksempel Roth og Erev, 1995). Mange ACE-forskere er ikke så nøye med å bruke disse funnene, men modellerer heller så enkelt som mulig. Det viktigste er at modellene gjenspeiler det eller de makrofenomenene forskeren er ute etter. Dette kan virke noe merkelig, og kan være problematisk med hensyn til å rettferdiggjøre bruken av agent-baserte modeller i for eksempel utforming av politikk. Duffy mener at resultatene fra eksperimentell økonomi utgjør en ferdig kilde for agent-basert modellering, og at disse resultatene bør anvendes, noe som virker rimelig. Mikrofundamentet er grunnleggende i agent-baserte modeller, så gode representasjoner av menneskers faktiske egenskaper er av ytterste viktighet i evalueringa av en slik modell.

Angående politikktutforming og evaluering av politikk, så kan det være interessant å sjekke om agent-baserte modeller gir opphav til samme slags makrofenomener og sammenhenger som eksperimentell økonomi. Hvis de gjør det, da tyder det på at de agent-

baserte modellene er brukelige, og kan være nyttige til for eksempel å predikere utfall og å designe politikk.

Når man gjør labeksperimenter med menneskelige testsubjekter, har man gjerne ikke anledning til å strekke eksperimentet utover mange perioder. Det tar ofte tid å gjennomføre eksperimentet, og deltagerne må ha incentiver til å forstå eksperimentet og handle slik de ville gjort utenfor laben. I slike eksperimenter er det vanskelig å få til gode nok slike incentiver. Pengepremier for eksempel blir gjerne for små, og hvis folk må bruke mye tid på gjennomførelsen kan de rett og slett begynne å kjede seg, og resultatene fra undersøkelsen blir verdiløse. Imidlertid er det ofte nødvendig å la det gå en del tid for å komme frem til resultater med et snev av likevekt, eller for å finne noen evolusjonære trekk, eller for å finne ut hvordan erfaring med eksperimentsituasjonen virker inn på individenes oppførsel. Her kan ACE være til hjelp. En åpenbar måte å kombinere eksperimentell økonomi og agent-baserte modeller på er å utvide eksperimentell økonomi ved hjelp av ACE. Hvis man får lagd et godt eksperiment, kan dette kopieres i en agent-basert modell som så kan utvides til mange flere perioder. Man kan også utvide modellen i andre retninger enn kun tid. Både antall agenter og forskjellige sider ved interaksjonen eller det ytre miljøet kan endres for å sjekke hvor robuste funnene i eksperimentet er (Contini et al., 2006). Ved å gjenskape et økonomisk labeksperiment som en agent-basert computational modell, kan man også justere eksperimentet til man har funnet den spesifikasjonen som best tester forskerens hypotese (Contini et al., 2006).

## 5.2 Validering av modellene

Adferdseksperimenter kan utføres både med ekte og med kunstige mennesker. Ved simuleringseksperimenter med kunstige agenter, kan agentene tillegges læring tilsvarende null, det vil si helt tilfeldig valgte strategier, eller de kan tillegges mer intelligens, noe som kan ligne optimering på bakgrunn av en gitt informasjon. De resultatene som oppstår når agentene optimerer kan være nyttige. De kan brukes som benchmarks når man evaluerer menneskers oppførsel i samme eksperiment, og man for eksempel vil vite om menneskene innehar optimerende evner.

Tilsvarende kan eksperimentell økonomi brukes til å evaluere agent-baserte modeller. Det er ikke gitt at de agent-baserte modellene fanger opp alle aspektene ved menneskelig

oppførsel. Kanskje er det slik at mennesker reagerer på fenomener som oppstår og behandler dem på en måte som ikke var modellert inn (Contini et al., 2006). Eksempler kan være skeiv inntektsfordeling eller konflikter, som det er mulig å tenke seg at vil forsvinne ved gjentatt menneskelig interaksjon.

Det fins en mellomting mellom rein eksperimentell økonomi på den ene sida, og reine ACE-modeller på den andre sida. Man kan la de menneskelige testsubjektene interagere med kunstig skapte dataindivider. Forskeren kan dermed tvinge menneskene i eksperimentet til å samhandle med andre agenter som har et helt kontrollerbart reaksjonsmønster. En effekt av denne typen eksperimenter kan være at man får sjekka hvordan folks oppførsel endrer seg med forventa lengde på eksperimentet. Samhandlingsaspektet med tilhørende evolusjonære konsekvenser blir her tona noe ned, ettersom de kunstige individene ikke endrer reaksjonsmønster.

### **5.3 Bakenforliggende årsaker til menneskers handlinger**

Når man gjør et økonomisk eksperiment i laben, så får man som regel noen resultater som forteller om menneskenes handlingsmønstre. For eksempel: Er mennesket Homo Oeconomicus eller har vi andre evner og preferanser? Disse resultatene forteller imidlertid ikke alltid om de bakenforliggende årsakene til handlingene. Eksperimenter med kollektivt gode-spill og Trust-spill kan illustrere problemstillinga.

Et kollektivt gode-spill innebærer at en gruppe spillere får en sum som de enten kan beholde selv eller velge å dele med de andre. Hvis de deler med de andre blir summen multiplisert med en faktor mindre enn antall spillere. Det bidraget som maksimerer gruppas payoff er å gi hele sin sum, mens det som maksimerer egen payoff, gitt de andres bidrag, er å ikke gi noenting. I forsøk med kollektivt gode-spill ser man at folk ofte gir hele 40-60 prosent av sin andel (Dawes og Thaler, 1988; Nyborg, 2009), men man veit ikke om disse relativt store bidragene er en invitasjon til videre samarbeid eller om de skyldes kun reine altruistiske preferanser.

Et to-parts Trust-spill består av at den ene spilleren får en sum som skal deles mellom seg selv og den andre. Den summen som gis til den andre gir en positiv avkastning. Den andre spilleren skal så dele denne økte summen mellom seg selv og den første spilleren. I Trust-spill

finner man at spillere i begge posisjoner ofte gir oppimot halvparten av sin andel (Nyborg, 2009). Her kan man for spillere i den første posisjonen ikke skille mellom vilje til samarbeid og forventning om resiprositet. For spillere i den andre posisjonen kan man ikke skille mellom ulike rettferdighetshensyn, generøsitet og kun et ønske om konformitet. Tanken er at ACE kan hjelpe til med å avdekke hvilke preferanser som er avgjørende for at man skal finne de resultatene som er beskrevet. Hvis man klarer å modellere rettferdighetshensyn forskjellig fra ønsket om konformitet, vil man finne ut av hvilke av disse preferansene som er tilstrekkelige for at mange gir bidrag de ikke er nødt til og som strider mot antagelsen om selviske preferanser.

## 5.4 Elinor Ostroms analyse av fellesressurser

Elinor Ostrom er en amerikansk statsviter, som i 2009 mottok Nobelprisen i økonomi. Det er på feltet som omhandler forvaltning av Common Pool Resources, fellesressurser, hun har gitt viktige bidrag.

Forvaltning av fellesressurser analyseres gjerne ved hjelp av standard spillteori. Allmenningens tragedie er et begrep som stammer fra Garrett Hardin (1968). Dette fenomenet går ut på at allmenningen er en fellesressurs, som en gitt gruppe personer har tilgang på. Ingen i gruppa kan hindres i å bruke allmenningen. Gevinsten ved å bruke allmenningen er individuell, mens kostnaden bæres av alle som benytter seg av den. Dermed er det alltid rasjonelt av en Homo Oeconomicus å utnytte ressursene i for stor grad. I teorien antas det at alle tenker på denne måten, og slik oppstår tragedien. Allmenningen blir overutnyttet, en bærekraftig utvikling skjer ikke, og ressursene forsvinner. Til å bøte på problemet trengs det en myndighet som styrer bruken av fellesressursene, slik at en bærekraftig utvikling opprettholdes. Et eksempel kan være sildebestanden i Nordsjøen, som rundt 1970 nærmest brøyt helt sammen som følge av overfiske (Statistisk Sentralbyrå, 2006; Direktoratet for naturforvaltning, 2008). For å beholde og å få opp igjen sildebestanden ble det på 1970-tallet innført restriksjoner på blant annet fangst og fangstredskaper. I dag er sildebestanden tilbake på gamle nivåer.

Det fins imidlertid også eksempler på det motsatte, altså at en allmenning slett ikke blir overutnyttet og utbrukt, selv uten en overstyrende myndighet. Hvorfor kan man jo undre seg, og det er nettopp det Elinor Ostrom har prøvd å ta rede på.

Ostrom har gjennom sitt eget feltarbeid og ved å lese andres arbeider med å kartlegge bruk av fellesressurser kommet frem til noen prinsipper som effektive og standhaftige institusjoner kan bygges på. Med prinsipper menes her betingelser som er til hjelp i etableringa av institusjonene, altså organiseringa av forvaltninga av disse ressursene, og som bidrar til at organiseringa varer. Ostrom har anvendt eksempler med relativt få brukere av fellesressursen, med oppimot 15 000 brukere på det meste. Prinsippene hun har kommet frem til for forvaltning av fellesressurser av denne typen er de følgende (Ostrom, 1990).

- Fellesressursen må ha klart definerte grenser, både for å definere brukerne og for å avgrense ressursen i seg selv.
- Det må være samsvar mellom lokale forhold, og regler for bruk. Én fellesressurs er sjelden lik en annen, så regler som gjelder for eksempel tid for bruk og tillatt teknologi kan ikke være like overalt, men må tilpasses lokale forhold.
- Avgjørelser knytta til bruken av ressursen må være fatta i fellesskap av brukerne.
- De personene eller den institusjonen som overvåker tilstanden til fellesressursen må stå ansvarlig overfor brukerne, eller bestå av brukerne selv.
- Brukere som ikke overholder reglene for bruk av ressursen straffes i henhold til alvorlighetsgraden i forseelsen.
- For å løse konflikter tas det i bruk raske og lite kostnadskrevende metoder.
- Retten til å styre bruken av fellesressursen er forbeholdt brukerne av den, og er ikke utfordra av noen ekstern makt.

Ostrom påpeker at det er vanskelig å si om disse prinsippene er nødvendige betingelser for robust forvaltning av fellesressurser, men her kan kanskje ACE brukes til å eksperimentere med betingelsene.

Ved å sette Ostroms feltobservasjoner opp mot spillteoretiske dilemmaer som Allmenningens tragedie og Fangens dilemma, finner man også et par andre skiller. I de teoretiske modellene har ikke aktørene mulighet til å kommunisere, og handlingene foregår

simultant, mens i felten fungerer det gjerne ikke helt slik. Aktørene kan i større grad snakke sammen for å avtale, og handlingene skjer sekvensielt. Repetert samhandling gir dermed samarbeid bedre sjanse for å overleve. Med henblikk på ACE er det kanskje anledningen til å kommunisere som er mest relevant i Ostroms analyser.

Ostroms observasjoner ligner mye på de agent-baserte modellene i ACE. Det er snakk om individer som samhandler over tid, og samhandlinga foregår på mikronivå. Individene utvikler normer og regler for hvordan de skal oppføre seg mot hverandre kun gjennom sin samhandling, og uten å bli pålagt restriksjoner utenifra. De finner selv måter å forvalte ressursene på. Det er "bottom-up" og ikke "top-down". Elinor Ostrom har bidratt til et kapittel i *Handbook of Computational Economics Volume 2* (Tesfatsion og Judd, 2006), den nyeste utgaven. Her kommer de inn på at blant andre Ostroms empiriske funn kan bidra til ACE ved å forbedre grunnlaget for agent-basert modellering og modellering av miljøet individene handler i.

## 6 Oppsummering

Leigh Tesfatsion har bemerkat at mye av den tidlige ACE-litteraturen på 1980-tallet og starten av -90-tallet ble utgitt først etter lang tid, eller består kun som working papers, og at det dermed kan være vanskelig å skrive ut den fulle historien til utviklinga av ACE (Tesfatsion 2002). I sammenheng med dette er det trolig umulig å si noe sikkert om omfanget av ACE i dag. ACE er et helt nytt felt historisk sett.

Samtidig er ACE et potensielt kraftig verktøy for å forstå vår økonomiske hverdag. ACE kan bidra til et godt mikrofundament, ettersom alle effekter i ACE-modellene er resultat av samhandling på mikronivå.

Slik jeg ser det, fins det enkelte tendenser til å overdrive ACEs betydning. De prosessene og den dynamikken som man i ACE-litteraturen er opptatt av, kan modelleres realistisk i det rammeverket de fleste økonomer bruker i dag. Ta for eksempel Axtell og Epsteins (2006) analyse av pensjoneringsbeslutninger: Dynamikk fins også i ny-klassisismen. Hvis de med private avtaler har tilpassa seg over lang tid til å gå av med pensjon ved 65 år, så må de også jobbe helt til de er 65 for å opprettholde sin levestandard når de tar ut denne pensjonen. Hvis de går av ved fylte 62, og lever på Social Security Benefits i tre år, så får de ikke tjent opp privat pensjon disse tre åra. Så at det er en viss overgangsperiode her er naturlig. Kanskje må man se på personer helt ned i 40-årsalderen for å finne at folk i stor grad tilpasser seg den nye pensjonsalderen?

Sett i lys av dette, så må ACE etablere seg som én av flere metoder innenfor økonomifaget. ACE står ikke i direkte kontrast med andre godt etablerte metoder, men metodene kan utfylle hverandre. Dette påpeker for eksempel Elinor Ostrom i forbindelse med analyser av forvaltning av fellesressurser. Det er viktig med kommunikasjon både innenfor fagmiljøene, og de forskjellige metodologiske "skolene" imellom.

Fremtida til ACE er det ikke lett å si noe om. Leigh Tesfatsion har sagt at man nå må ha fokus på nær fremtid og ikke tenke for langt frem. Det er veldig mange som bidrar, og det er avgjørende at faget og metoden utvikles i samarbeid. Selv om ACE er et relativt ungt felt, mener hvertfall Robert Axtell at "We have reached the end of the beginning!"

# Litteraturliste

Arthur, W. B. (1991) *Designing Economic Agents that Act like Human Agents: A Behavioral Approach to Bounded Rationality*. The American Economic Review, Vol. 81, No. 2

Arthur, W. B. (1995) *Complexity in Economic and Financial Markets*. Complexity, Vol. 1, No. 1

Arthur, W. B. (2006) *Out-of-Equilibrium Economics and Agent-Based Modeling*. Kapittel 32 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland

Ashby, W. R. (1956) *An Introduction to Cybernetics*. Chapman and Hall Ltd.

<http://pespmc1.vub.ac.be/books/IntroCyb.pdf>, lasta ned 27/4-10

Axelrod, R. (1984) *The Evolution of Cooperation*. Basic Books Inc.

Axelrod, R. (1986) *An Evolutionary Approach to Norms*. The American Political Science Review, Vol. 80, No. 4

Axelrod, R. (1997) *The Complexity of Cooperation*. Princeton University Press.

Axelrod, R. (2006) *Agent-based Modeling as a Bridge Between Disciplines*. Kapittel 33 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland

Axelrod, R. og Hamilton, W. D. (1981) *The Evolution of Cooperation*. Science, Vol. 211, No. 4489

Axtell, R. (2005) *Very Large-Scale Multi-Agent Systems and Emergent Macroeconomics*.

<http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/EmergentMacro.Axtell2005.pdf>, lasta ned 27/4-10

Axtell, R. L. og Epstein, J. M. (2006) *Coordination in Transient Social Networks: An Agent-Based Computational Model of the Timing of Retirement*. i Epstein, J. M. (2006) *Generative Social Science*. Princeton University Press.

Bergh, T. og Hanisch, T. J. (1984) *Vitenskap og politikk*, Aschehoug.



- Cahuc, P. og Zylberberg, A. (2004) *Labor Economics*. The MIT Press.
- Chan, Serena (2001) *Complex Adaptive Systems*. ESD.83 Research Seminar in Engineering Systems
- Chang, M.-H. og Harrington Jr., J. E. (2006) *Agent-Based Models of Organizations*. Kapittel 26 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland
- Charlesworth, B. (2004) *Obituary John Maynard Smith*.  
<http://www.lifesci.sussex.ac.uk/CSE/members/jms/JMSobitBC.pdf>, lasta ned 27/4-10
- Contini, B. et al. (2006) *Exploring a New ExpAce. The complementarities between experimental economics and agent-based computational economics*. Journal of Social Complexity, Vol. 3, No. 1
- Dawes, R. M. og Thaler, R. H. (1988) *Anomalies. Cooperation*. The Journal of Economic Perspectives, Vol. 2, No. 3
- Dawid, H. og Fagiolo, G. (2008) *Agent-based models for economic policy design: Introduction to the Special Issue*. Journal of Economic Behavior & Organization, Vol. 67, No. 2
- Direktoratet for naturforvaltning (2006) *Effekter av klimaendringer på økosystemer og biologisk mangfold*. Utredning 2006-2
- Duffy, J. (2006) *Agent-Based Models and Human Subject Experiments*. Kapittel 19 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland
- Emonet et al. (2005) *AgentCell: a digital single-cell assay for bacterial chemotaxis*. Bioinformatics, Vol. 21, No. 11
- Epstein, J. M. (2006a) *Remarks on the Foundations of Agent-Based Generative Social Science*. Kapittel 34 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland
- Epstein, J. M. (red.) (2006b) *Generative Social Science*. Princeton University Press.

Epstein, J. M. (2008) *Curriculum Vitae*.

[http://www.brookings.edu/~media/Files/experts/epsteinj/epsteinj\\_cv.pdf](http://www.brookings.edu/~media/Files/experts/epsteinj/epsteinj_cv.pdf), lasta ned 27/4-10

Epstein, J. M. og Axtell, R. (1996) *Growing Artificial Societies. Social Science from the bottom-up*. Brookings Institutions Press.

EURACE (2010) *EURACE*. <http://www.eurace.org/>, lasta ned 27/4-10

Fagiolo, G. et al. (2007) *Empirical Validation in Agent-based Models: Introduction to the Special Issue*. Computational Economics, Vol. 30, No. 3

Finansdepartementet (2009) *Statens inntekter og utgifter – en oversiktstabell*.

<http://www.statsbudsjettet.dep.no/Statsbudsjettet-2010/Satsinger/?pid=36534#hopp>, lasta ned 27/4-10

Gilbert, N. og Abbott, A. (2005) *Introduction*. American Journal of Sociology, Volume 110, Number 4

Haefner, J. W. og Crist, T. O. (1994) *Spatial model of movement and foraging in harvester ants (*Pogonomyrmex occidentalis*) (I): the roles of memory and communication*. Journal of Theoretical Biology, Volume 166

Hardin, G. (1968) *The Tragedy of the Commons*. Science, Vol. 162

Hart, S. (2009) *Dynamics and Equilibrium*.

<http://www.lccc.lth.se/uploads/LCCC2010/WorkshopMarch2010/SergiuHart.pdf>, lasta ned 27/4-10

Hart, S. og Mas-Colell, A. (2000) *A Simple Adaptive Procedure Leading to Correlated Equilibria*. Econometrica Vol. 68, No. 5

Kungl. Vetenskapsakademien (2005) *Robert Aumann's and Thomas Schelling's Contribution to Game Theory: Analyses of Conflict and Cooperation*.

[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/economics/laureates/2005/eoadv05.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/2005/eoadv05.pdf), lasta ned 27/4-10

Lake, M. W. (2000) *MAGICAL computer simulation of mesolithic foraging*, i Kohler, T. A. og Gumerman, G. J. *Dynamics in Human and Primate Societies*. Oxford University Press, New York

- Langton, C. G. (1989) *Artificial life*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- LeBaron, B. (2006) *Agent-based Computational Finance*. Kapittel 24 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland
- Leijonhufvud, A. (2006) *Agent-Based Macro*. Kapittel 36 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland
- Los Angeles Times, 21. februar 1985. *Mid-Level U.S. Aide to Greet Lange in L.A.*  
[http://articles.latimes.com/1985-02-21/news/mn-569\\_1\\_united-states](http://articles.latimes.com/1985-02-21/news/mn-569_1_united-states), lasta ned 27/4-10
- Macy, M. W. og Willer, R. (2001) *From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling*. Cornell University.  
[http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/Macy\\_Factors\\_2001.pdf](http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/Macy_Factors_2001.pdf), lasta ned 27/4-10
- Marks, R. (2006) *Market Design Using Agent-Based Models*. Kapittel 27 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland
- Maynard Smith, J. og Price, (1973) *The Logic of Animal Conflict*. Nature, Volume 246
- Miller, J. H. og Page, S. E. (2007) *Complex Adaptive Systems*. Princeton University Press.
- Nagel et al. (1999) *TRANSIMS for urban planning*. Los Alamos Unclassified Report LA-UR 98-4389
- Neugart, M. (2008) *Labor market policy evaluation with ACE*. Journal of Economic Behavior & Organization 67
- Neugart, M. (2010) *Prof. Dr. Michael Neugart*. <http://pro.unibz.it/staff/mneugart/index.html>, lasta ned 27/4-10
- Nobelstiftelsen (2010) *The Prize in Economic Sciences 2005*.  
[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/economics/laureates/2005/info.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/2005/info.pdf), lasta ned 27/4-10

- Nyborg, K. (2009) *Social Preferences and Fairness*. (forelesningsnotater)  
<http://folk.uio.no/karineny/ECON4260/2009/Lecture1.pdf>, lasta ned 27/4-10
- Ostrom, E. (1990) *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.
- Ostrom, E. et al. (1992) *Covenants With and Without a Sword: Self-Governance is Possible*.  
The American Political Science Review, Vol 86, No. 2
- Ostrom, E. (2000) *Collective Action and the Evolution of Social Norms*. The Journal of  
Economic Perspectives, Vol. 14, No. 3
- Ostrom, E. og Janssen, M. A. (2006) *Governing Social-Ecological Systems*. Kapittel 30 i  
Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-  
Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland
- O'Sullivan, D. og Haklay, M. (2000) *Agent-based models and individualism: is the world  
agent-based?*. Environment and Planning A, Volume 32
- Oswego, State University of New York, (2001) *John Henry Holland*.  
<http://www.cs.oswego.edu/~blue/hx/courses/cogsci1/s2001/section05/subsection5/main.html>,  
lasta ned 27/4-10
- Pahl-Wostl, C. og Ebenhöf, E. (2004) *Heuristics to characterise human behavior in agent  
based models*. Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabrück
- Palisade (2010) *Monte-Carlo Simulation*.  
[http://www.palisade.com/risk/monte\\_carlo\\_simulation.asp](http://www.palisade.com/risk/monte_carlo_simulation.asp), lasta ned 27/4-10
- Petrongolo, B. og Pissarides, C. A. (2001) *Looking into the Black Box: A Survey of the  
Matching Function*. Journal of Economic Literature, Vol. 39, No. 2
- Rabin, M. (1993) *Incorporating Fairness into Game Theory and Economics*. The American  
Economic Review, Vol. 83, No. 5
- Rege, M. (2004) *Social Norms and Private Provision of Public Goods*. Journal of Public  
Economic Theory, Volume 6, Issue 1

Rege et al. (2007) *Social Interaction Effects in Disability Pension Participation. Evidence from Plant Downsizing*. Discussion Papers No. 496, Statistics Norway.

<http://www.ssb.no/publikasjoner/DP/pdf/dp496.pdf>, lasta ned 29/4-10

Reynolds, C. W. (1987) *Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model*. Computer Graphics, Vol. 21, No. 4

Roth, A. E. og Erev, I. (1995) *Learning in Extensive-Form Games: Experimental Data and Simple Dynamic Models in the Intermediate Term*. Games and Economic Behavior 8

Rumelhart, D. E. og McClelland, J. L. (1986) *Parallel Distributed Processing – Volume 1*. Bradford Books

Samuelson, L. (2002) *Evolution and Game Theory*. Journal of Economic Perspectives, Volume 16, Number 2

Schelling, T. (1969) *Models of Segregation*. American Economic Review, Vol. 59, No. 2

Schelling, T. (2006) *Some fun, thirty-five years ago*. Kapittel 37 i Tesfatsion, L. Og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2*. North-Holland

Society for Computational Economics (2010) <http://comp-econ.org/>, lasta ned 27/4-10

Solow, R. M. (1974) *Intergenerational Equity and Exhaustible Resources*. Review of Economic Studies, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources

Stanford Encyclopedia of Philosophy (2010) *Connectionism*.

<http://plato.stanford.edu/entries/connectionism/>, lasta ned 27/4-10

Stanford Encyclopedia of Philosophy (2010) *Evolutionary Game Theory*.

<http://plato.stanford.edu/entries/game-evolutionary/>, lasta ned 27/4-10

Statistisk Sentralbyrå (2008) *Naturressurser og miljø 2008. 6. Fiske, fangst og oppdrett*.

[http://www.ssb.no/emner/01/sa\\_nrm/nrm2008/kap6-fiske.pdf](http://www.ssb.no/emner/01/sa_nrm/nrm2008/kap6-fiske.pdf), lasta ned 27/4-10

Store Norske Leksikon (2010) *Norge – fiske og fangst*.

[http://www.snl.no/Norge/fiske\\_og\\_fangst](http://www.snl.no/Norge/fiske_og_fangst), lasta ned 27/4-10

Tesfatsion, L. (1998) *Review of "Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up" by Joshua M. Epstein; Robert Axtell.* Journal of Economic Literature, Vol. 36, No. 1

Tesfatsion, L. (2001) *Introduction to the special issue on agent-based computational economics.* Journal of Economic Dynamics and Control, Vol. 25

Tesfatsion, L. (2002) *Agent-Based Computational Economics. Growing Economies from the Bottom Up.* Iowa State University Working Paper No. 1

Tesfatsion, L. (2003) *Agent-based computational economics: modeling economies as complex adaptive systems.* Information Sciences 149

Tesfatsion, L. (2006) *Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory.* Kapittel 16 i Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2.* North-Holland

Tesfatsion, L. (2009) *From Human-Subject Experiments to Computational-Agent Experiments.* <http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ESA2009.LT.pdf>, lasta ned 27/4-10

Tesfatsion, L. (2010a) *Agent-Based Computational Economics.* <http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>, lasta ned 27/4-10

Tesfatsion, L. (2010b) *Home Page: Leigh Tesfatsion.* <http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/>, lasta ned 27/4-10

Tesfatsion, L. (2010c) Personlig e-postkorrespondanse

Tesfatsion, L. og Axelrod, R. (2010a) *ACE Tutorial Presentation.* <http://econ2.econ.iastate.edu/classes/econ308/tesfatsion/ACETutorial.pdf>, lasta ned 27/4-10

Tesfatsion, L. og Axelrod, R. (2010b) *On-Line Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences.* <http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/abmread.htm>, lasta ned 27/4-10

Tesfatsion, L. og Judd, K. L. (red.) (2006) *Handbook of Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Volume 2.* North-Holland

The Concise Encyclopedia of Economics (2010) *John C. Harsanyi*.  
<http://www.econlib.org/library/Enc/bios/Harsanyi.html>, lasta ned 27/4-10

The Concise Encyclopedia of Economics (2010) *Reinhard Selten*.  
<http://www.econlib.org/library/Enc/bios/Selten.html>, lasta ned 27/4-10

Universitetet i Oslo, Institutt for lingvistiske og nordiske studier, og Norsk Språkråd (2010) *Bokmålsordboka og Nynorskordboka*. <http://www.dokpro.uio.no/ordboksoek.html>, lasta ned 27/4-10

von Neumann, J. (1966) *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois Press

von Neumann, J. og Morgenstern, O. (1944) *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.

Weare, C. (2003) *The California Electricity Crisis: Causes and Policy Options*. Public Policy Institute of California. [http://www.ppic.org/content/pubs/report/R\\_103CWR.pdf](http://www.ppic.org/content/pubs/report/R_103CWR.pdf), lasta ned 27/4-10

Wilhite, A. og Allen, W. D. (2008) *Crime, protection and incarceration*. *Journal of Economic Behavior & Organization* 67