

# **Agent Based Modelling als instrument voor optimalisatie van de interactie tussen recreant en natuur.**

*Student: Steven Kema*

*Studentnummer: S2068222*

*Begeleider: P. Groote*

---

## Abstract

Doel van deze bachelor thesis is het verkrijgen van inzicht in Agent Based Modelling als methode voor het onderzoeken van recreatief gedrag . Mocht blijken dat ABM een relevante toevoeging is voor het inzichtelijk maken van wandelaarsgedrag, dan kan hieruit nieuwe informatie en kennis kan worden afgeleid die goed gebruikt kan worden voor de inrichting en ontwikkeling van beleid op gebied van natuurbeheer.

Om na te gaan of ABM een voor het boven beschreven doel bruikbare methode is, wordt in de thesis eerst ingegaan op de theoretische achtergronden van deze methode. hoe deze is opgebouwd, wat de mogelijkheden en beperkingen zijn. Hierna is ingegaan op de factoren welke relevant zijn voor het programmeren van een model waarmee het gedrag van wandelaars goed nabootst kan worden. Op het belang van omgeving en interactie tussen wandelaars als factoren bij het modelleren wordt specifiek ingegaan. Een voorbeeld van ABM toegepast in een ander onderzoeksveld zal worden beschouwd waarbij gekeken wordt in hoeverre methoden in deze toepassing gebruikt kunnen worden voor het modelleren van recreatief gedrag. Aanvullend nut van GPS-data voor ABM wordt ook meegenomen in de thesis.

## Inhoudsopgave

Abstract .....	2
Inleiding .....	4
Agent Based Modelling .....	6
Beperkingen /overwegingen bij Agent Based Modelling .....	9
Relevantie omgevingsfactoren.....	11
Relevante factoren bij modelleren van recreatief gedrag .....	12
ABM in de praktijk.....	14
Dataverzameling/Expert interview .....	17
Het nut GPS bij ABM.....	18
Conclusie .....	21
References.....	21

## Inleiding

### *Aanleiding*

Natuurbeheer heeft informatie nodig over het gedrag van recreanten om passend beleid te ontwikkelen om zo een balans te creëren tussen natuurbehoud en recreatie. Recreanten kunnen de natuur namelijk erg verstoren; bijvoorbeeld via loslopende honden, mensen die van de paden afgaan en daardoor planten vertrappen of nestgedrag verstoren. Het doel van natuurbeheerders is om de ruimte zo optimaal mogelijk in te richten voor beide groepen. Om dit te kunnen realiseren is veel samenhangende informatie over aspecten van zowel recreanten als natuurgebied nodig. Voor wat betreft de natuur hierbij gedacht worden aan ecologische- en milieufactoren.

Het in kaart brengen van recreantengedrag en hierbij bewegingspatronen van wandelaars in het specifiek is voor het ontwikkelen van beleid op gebied van natuurbeheer ook enorm van belang. Gangbare methodes van dataverzameling in de ruimtelijke wetenschappen zijn: diepte- interviews, enquêteren en focusgroepen.

Probleem hierbij is dat bij deze methodes niet het wandelgedrag zelf bestudeerd wordt, maar alleen een afgeleid beeld gevormd uit informatie van respondenten. Respondenten zullen als het ware een filter zijn van informatie, omdat ze alleen de dingen zullen vertellen die op het moment van bevraging in hun opkomen waardoor informatie incompleet is en vanuit een bepaald perspectief is gegeven. Werkelijk gedrag is daarom vanuit deze werkwijzen lastig in kaart te brengen.

Een alternatieve relevante methode die informatie kan verzamelen over bewegingspatronen van recreanten is met behulp van GPS-loggers (Meijles et al, unpublished). Via deze methode kan vrij accuraat (afhankelijk van soort logger en storende factoren) het wandelgedrag door middel van GPS coördinaten bepaald worden.

Probleem hierbij is dat ondanks data verkregen wordt over *hoe* wandelgedrag zich in een bepaald gebied voordoet er met deze methode niet verklaard wordt *waarom* recreanten zich op een bepaalde manier in de ruimte bewegen.

Een ontwikkeling die relevant zou kunnen zijn voor het voorspellen van recreantgedrag is Agent Based Modelling. Deze techniek is ontwikkeld in de jaren 90 van de vorige eeuw en had voornamelijk een informatietechnologische grondslag. In dit onderzoek wordt nagegaan in hoeverre deze techniek behulpzaam kan zijn in een sociaalruimtelijk perspectief. Het idee is dat door middel van computersimulaties de samenhang kan worden gevonden tussen de inrichting van een ruimte en het gebruik hiervan. Een dergelijk simulatie instrument zou gebruikt kunnen worden bij het afstemmen van beleid op gebied van natuurmanagement.

### *Probleemstelling*

Doel van het onderzoek is het verkrijgen van inzicht in Agent Based Modelling als methode voor het simuleren van gedrag van recreanten in relatie tot de recreatieruimte . Maatschappelijke relevantie van het doel is dat als blijkt dat ABM een relevante toevoeging is voor het inzichtelijk maken van wandelaarsgedrag, hieruit nieuwe informatie en kennis kan worden afgeleid die goed gebruikt kan worden voor de inrichting en ontwikkeling van beleid op gebied van natuurbeheer.

Het zou natuurlijk mooi zijn als in de toekomst mogelijk wordt om op een simpele, efficiënte en effectieve wijze informatie te verkrijgen uit een model, en om dit te kunnen doen via input van al aanwezige data.

### *Opbouw van thesis*

In dit onderzoek zal via grotendeels een literatuurstudie in worden gegaan op de vraag welke methoden momenteel voorhanden zijn voor het modelleren van recreatief gedrag, wat globaal de werking is en welke toepassingen en beperkingen verbonden zijn aan de technieken. Daarna zal dieper worden ingegaan op Agent Based Modelling. Gekeken zal worden naar wat deze techniek inhoudt, naar de toepassing van deze techniek en welke mogelijkheden en beperkingen deze onderzoeksmethode met zich meebrengt. Tevens zal onderzocht worden welke factoren relevant zijn voor het programmeren van een model waarmee het gedrag van wandelaars goed nabootst kan worden. Op het belang van omgeving en interactie tussen wandelaars als factoren bij het modelleren zal specifiek worden ingegaan. Een voorbeeld van ABM toegepast in een ander onderzoeksveld zal worden beschouwd waarbij gekeken wordt in hoeverre methoden in deze toepassing gebruikt kunnen worden voor het modelleren van recreatief gedrag. Aanvullend nut van GPS-data voor ABM zal ook worden meegenomen in de thesis.

Aangezien dit onderzoek meer theoretisch is geworden dan ik aanvankelijk had gedacht is de structuur van deze thesis anders dan voorgeschreven in de handleiding. Literatuur speelt een primaire rol in het verkrijgen van inzicht in ABM waardoor in dit onderzoek standaard empirisch onderzoek niet toepasbaar is en hierdoor de structuur van de standaard theoretisch kader- methodologie-resultaten zich niet voor de thesis leent. Ik heb er daarom voor gekozen om deze thesis als een meer geïntegreerd stuk te schrijven waarin empirisch onderzoek (in de vorm van expert interview en GPS-tracking methode) zijn verwerkt.

## Agent Based Modelling

Er bestaat geen universele definitie voor Agent in een Agent Based Model; wel kan overlap ontdekt worden in de verschillende definities waaruit een algemeen beeld kan worden gevormd. De reden voor het gebrek aan eenduidige definitie komt doordat er veel verschillende soorten ABM's zijn; met verschillende doeleinden en verschillende werkwijzen en complexiteit (Crooks, A. T. & Heppenstall, A. J., 2012).

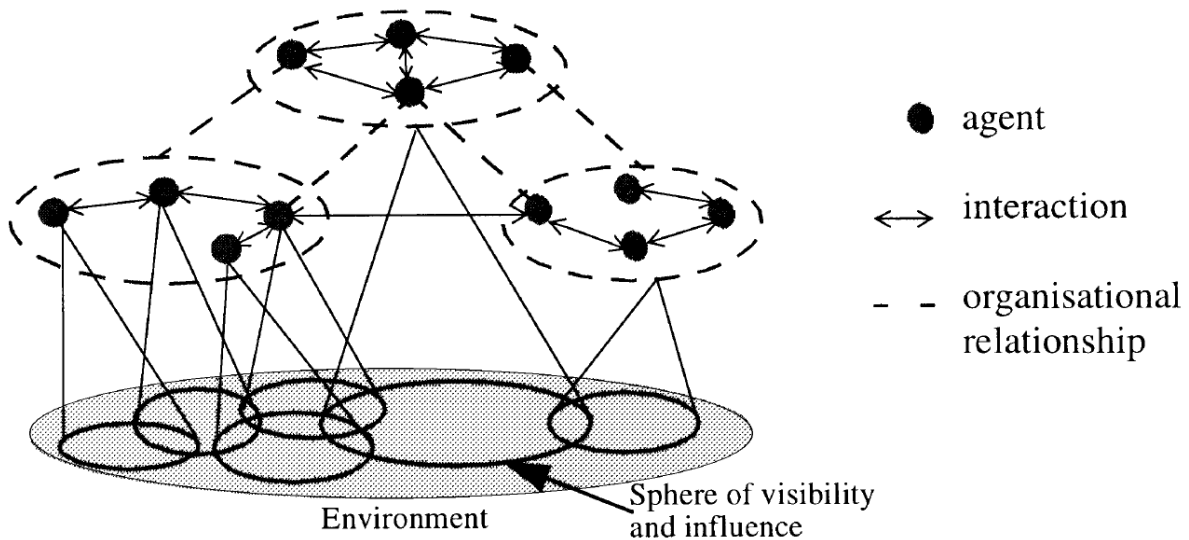
Een aantal veelvoorkomende "features" in ABM zijn autonoom gedrag, heterogeniteit en "activity" (Crooks, A. T. & Heppenstall, A. J., 2012)

Agents zijn autonome units die informatie binnen krijgen, deze informatie in meer- of mindere mate verwerken, informatie weer uitwisselen en gedrag hierop aanpassen/veranderen. Een Agent maakt autonome keuzes die in directe zin onafhankelijk gemaakt worden van andere Agents of omgeving. In indirecte zin kunnen deze aspecten wel tot op bepaalde hoogte invloed uitoefenen op de Agent door hun eigen gedragspatronen, maar de Agent zal uiteindelijk zelf eigen gedrag bepalen en uitvoeren.

Agents in een model zijn meestal heterogeen ontworpen; hierbij moet gedacht worden aan bijvoorbeeld leeftijd, geslacht, soort werk, etc. De ene Agent zal door een bepaalde toegekende leeftijd zich anders in een model gaan gedrag dan een andere Agent (bijv. oud minder of minder snel bewegen dan jong). Hierdoor kan realistisch mogelijke data gegenereerd worden. De Agents worden ontworpen als individuen om een zo realistisch mogelijk model te vormen; zelfs als het om groepen Agents gaat. Deze groepen worden namelijk opgebouwd uit bijeengevoegde individuen, waardoor de ene geprogrammeerde groep oudere recreanten ander gedrag zal gaan vertonen dan een andere groep ouderen.

Als laatste punt zijn Agents over het algemeen actief; ze zijn goal-directed, wat inhoudt dat iedere Agent een bepaald doel nastreeft. Een voorbeeld hiervan is de Sugarscape simulatie waarbij het doel van de Agent is om suiker te verzamelen om te overleven in de simulatie. Bounded rationality speelt ook een rol. Kennis bij Agents is vaak onvolledig. Deze kennis verschilt tussen Agents waardoor eerder genoemde heterogeniteit in het model groter wordt. Hierdoor wordt het model realistischer van aard. Ook zijn Agents over het algemeen communicatief van aard, gaan interactie aan met andere Agents en omgeving (zie figuur 1). Daarnaast is mobiliteit een belangrijk aspect: Agents zijn bewegend of statisch van aard. Aanpassingsvermogen en leerproces speelt in Agent Based Models ook vaak een rol. Dit kan op individueel niveau plaatsvinden, of op dat van de populatie. Aanpassingsvermogen vindt plaats via een Complex Adaptive System (CAS). Complexiteit hierin kan sterk variëren. Zo vertoont een

mens als Agent Based Model vaak relatief complex gedrag; hij kan bijvoorbeeld bewegen, interactie aan met de omgeving of een leerproces hebben. Simpele actoren die eerder tot de omgeving behoren zoals bomen of struikgewas hebben eerder weinig functionaliteit (kunnen niet bewegen) en hebben alleen als doel het afgeven van resources of het beïnvloeden van gedrag van andere actoren.



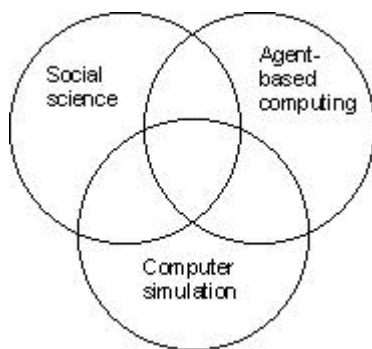
Figuur 1. Eenvoudige weergave van een Agent Based Model (Jennings 2000).

Een alternatieve manier om ABM's te classificeren is door ze op te splitsen in drie groepen. (O'Sullivan et al, 2012). De eerste groep gebruikt ABM's die volgens simpele abstracte modellen en systemen opereren met als doel het onderzoeken van bredere veranderingen die teweeg worden gebracht door "individual-level decision making". De tweede groep ABM's is meer gedetailleerd waarbij de Virtual Model Agents in een representative van de werkelijkheid worden gezet. Deze modellen opereren eerder in regional of landscape niveau, afhankelijk van het doel van de simulatie. De derde groep is het meest geavanceerd en gedetailleerd (en hiermee het meest realistisch). Omgeving en relevante processen zijn hierbij in hoge mate uitgewerkt. "Such models tend to be driven by the concerns of policy and decision-makers and revolve around urban, economic, and demographic management applications." (O'Sullivan et al, 2012).

Agent Based Social Simulation (ABSS) heeft raakvlakken met drie kennisgebieden, computer simulatie, Agent-based Computing en Social science (Davidsson P, 2002). Computer simulatie als onderzoeksgebied gaat hoofdzakelijk over het simuleren van fenomenen op een computer via verschillende methodes en technieken (discrete event, object-oriented, and equation-based

simulation). Het gesimuleerde fenomeen kan zowel natuurlijk als een kunstmatig zijn. Agent-based computing is een onderzoeksgebied binnen de computer science en hieronder vallen bijvoorbeeld Agent based modelling, design en programmeren.

Doel van een computersimulatie is het beter leren begrijpen van systemen, fenomenen en gedrag, of het uitvoeren van onderzoek/experimenten die in de fysische werkelijkheid niet of nauwelijks kunnen worden uitgevoerd (Davidsson P, 2002).



Figuur 2. Overlappende vakgebieden: Social Science, Agent-based computing, Computer simulation (Davidsson 2002).

### *Cellular Automation (CA).*

Agent-based modelling valt onder te brengen in een bredere groep van individual based models. Een techniek die dicht in de buurt staat van ABM is Cellular Automation (CA). Cellular Automation is een discreet dynamisch systeem waarbij gedrag gespecificeerd wordt in lokale relaties (Ilтанen. S, 2012). De ruimte in een CA-systeem is opgedeeld in gridstructuur met gelijke vorm en oppervlakte. Cellen in de grid krijgen een waarde toegedeeld die binair van aard is (0 of 1), waarbij de waarde in de cel als het ware het gedrag visualiseert. Het gedrag van de cel wordt bepaald door het gedrag van omliggende cellen en hun bijbehorende waarde, een set lokale regels en door de toegewezen gedragsregels aan de cel zelf. Belangrijk om op te merken bij deze simulatiemethode is dat de cellen zelf niet bewegen, zoals dat bij een ABM wel zo is. In een CA zijn de cellen statisch en die door het veranderen van hun staat (0 of 1) beweging kunnen visualiseren. CA's kunnen ook niet meer dat één bepaald attribuut bezitten; bijvoorbeeld gebouw vol of niet vol, maar kunnen ze tegelijkertijd geen data bezitten/visualiseren van bouwtype of bouwjaar. ABM's kunnen dit in tegenstelling wel.

Overeenkomsten tussen ABM's en CA's is dat ze beiden modelleren op individueel niveau. Het verschil tussen de methodes is dat de nadruk tussen beide verschilt. Bij CA gaat het om het creëren van



patronen die voortkomen uit lokale interactie (tussen cellen), terwijl bij ABM complexe situaties worden gesimuleerd door middel van Agents die over eigen kennis beschikken en reageren op een bredere “environment” (Crooks, A. T. & Heppenstall, A. J. ,2012) en dus meer dan lokaal interactie aangaan en dus meer situatie zouden kunnen benaderen die van toepassing in de interactie tussen recreant en het natuurgebied. Een bekend voorbeeld van toegepaste CA is Conway’s Game of Life.

CA en ABM worden toegepast bij verschillende soorten geografische fenomenen. Een voorbeeld voor CA als simulatiemethode is het beter leren begrijpen van de verandering in landgebruik. ABM’s worden eerder gebruikt bij systemen als verkeersdoorstroming of groepsdynamiek (Crooks, A. T. & Heppenstall, A. J. ,2012).

Naast Individual Based Modelling zijn er nog andere manieren mogelijk om het gedrag van recreanten softwarematig te simuleren. Eén daarvan is Geographic Automata Systems (GAS); een integratie van Geografische informatiesystemen (GIS) en Agent Based Simulation (Torrens en Bensen, 2005). Dit is een zogenaamde Hybrid Agent-Based Approach waarbij Cellular Automation (CA) en ABM door middel van het geografisch aspect als het ware worden samengevoegd. Volgens Goncalves et al (2004) benaderen ABM en GIS modellen de ruimte op verschillende wijzen; GIS modelleert de ruimte, terwijl bij ABM het gedrag van Agents in de ruimte wordt gemodelleerd. Het idee is om deze twee methodes te combineren waardoor een hybride model ontstaat die een accurater resultaat kan leveren dan de methodes afzonderlijk.

## Beperkingen /overwegingen bij Agent Based Modelling

Naast de mogelijkheden die ABM te bieden heeft zijn ook een aantal beperkingen verbonden aan de methode. Een daarvan is dat het nut van een model gekoppeld is aan het doel waarvoor het model gemaakt is. Zonder duidelijk doel is er ook weinig nut van het model. Het model moet daarnaast op het juiste abstractieniveau geprogrammeerd zijn; hierbij moet het juiste detailniveau worden toegepast afhankelijk van het doel/fenomeen (Crooks, A. T. & Heppenstall, A. J. ,2012). Als het abstractieniveau te simpel is voor het systeem waarop het model gebaseerd is zullen relevante variabelen niet worden meegenomen, waardoor het model minder valide is dan had gekund. Teveel detail toevoegen zal betekenen dat een model niet optimaal functioneert; te gecompliceerd en eventueel te afwijkend van de realiteit.

Met het soort systeem dat gemodelleerd wordt dient ook rekening mee gehouden te worden. Een model dat gebaseerd is op het gedrag van mensen bijvoorbeeld zal Agents bevatten die complex

gedrag moeten kunnen vertonen. Er zal bij deze groep Agents een bepaalde mate van potentiële irrationaliteit moeten worden ingebouwd, met daarnaast mogelijkheid tot subjectieve keuzes en een heterogeen denkproces. Deze factoren zijn vrij lastig om te kwantificeren in regels voor een model, waardoor implementatie en ontwikkeling van een model een redelijk tijds- en arbeidsintensief proces kan zijn. Doel van het modelleren is echter het verkrijgen van informatie dat via de wat meer traditionele methodes niet te verkrijgen is. Of het dan de moeite waard is om te modelleren hangt af van het systeem dat gemodelleerd wordt, en of begrip over een fenomeen misschien op een andere manier beter/snel kan worden verkregen.

Daarnaast moet de output van een simulatiemodel op een juiste manier geïnterpreteerd worden (Crooks, A. T. & Heppenstall, A. J. ,2012). Er zal daarbij gekeken moeten worden of het model wel realistisch genoeg was en of de verkregen data wel accuraat is. Valideren en verifiëren spelen dus een belangrijke rol bij het evalueren van een ABM. Verificatie is het proces waarbij gekeken wordt of het model overeenkomt met het ontwerp ervan. Validatie is een proces waarbij gekeken wordt of het geïmplementeerde model realistisch genoeg is om de “real world” na te bootsen. Validiteit is geen binair proces waarbij een model alleen of valide of niet-valide is; er wordt beoordeeld in gradaties.

Afhankelijk van hoe accuraat het model in vergelijking met het systeem is geweest moet er gekeken worden op welke wijze met de output moet worden omgegaan. Zal er bijvoorbeeld op een kwantitatieve wijze mee moeten worden omgegaan waarbij gekeken wordt naar gegenereerde statistische data of dat er eerder sprake is kwalitatieve begripsvorming die misschien eerder visueel van aard is. Een kanttekening hierbij is dat kwalitatief en kwantitatief niet lijnrecht tegenover elkaar staan, en dat dataverzameling niet puur alleen kwalitatief of kwantitatief is. Kwalitatieve data kan namelijk best gekwantificeerd worden en andersom. Het nut hiervan hangt hierbij af van welk doel men wil bereiken of wat men precies probeert te weten te komen.

De omvang van een ABM is ook een belangrijk aspect bij het ontwerpen van een model. Er moet bijvoorbeeld afgewogen worden hoe groot het model moet worden; denk hierbij aan de omvang de ruimte en aan het aantal Agents dat bij de simulatie betrokken moet worden. Er moet rekening worden gehouden met het feit dat het model groot genoeg moet zijn zodat voldoende heterogeniteit en mogelijkheid tot interactie plaats kunnen vinden, maar ook dat hiermee de tijd van een simulatie langer gaat duren. Vaak is het een goed idee om met een klein aantal Agents in een kleine omgeving te beginnen. Als dan het programma voldoende klopt is het mogelijk om de schaal van het ontwerp te vergroten tot er een goede balans tussen omvang en stabiliteit van het model gevonden is. Sommige modellen bevatten miljoenen Agents, maar voor de meeste doeleinden zijn dergelijke aantallen

onpraktisch en onrealistisch. Ten minste 1000 Agents in een model is eerder een goede doelstelling (mensen, bomen, etc) of minder als hier natuurlijk een goede reden voor is. (Parry & Bithnell, 2012). Vanwege de kansberekening die in Agent Based Modelling aanwezig zijn zal elke opeenvolgende simulatie van een model een andere output geven dan de eerste simulatie. Het is daarom belangrijk om meer dan alleen de data van één simulatie mee te nemen in het onderzoek. Meer simulaties zorgen voor meer zekerheid in de aannames die op basis van de output worden gemaakt. Zo kan een bepaald gedragspatroon ook met zekerheid vastgesteld worden, en zal een bepaalde gedraging minder snel een puur toevallige afwijking betreffen. Over het aantal simulaties van één model is geen exacte regel of richtlijn. Statistisch gezien is rond de 30 simulaties voldoende om een duidelijk beeld te krijgen, en vaak wordt er dan ook gekozen om tussen de 30 en 50 runs te maken (Epstein 2006). Er kan natuurlijk gezegd worden dat meer simulaties zullen zorgen voor een betere variatie-analyse en statistisch sterkere verbanden. Waar wel rekening mee moet worden gehouden is dat het draaien van een simulatie en de analyse ervan tijd kosten. Teveel simulaties draaien puur om een model nog statistisch sterker te maken is het vaak ook niet waard.

## Relevantie omgevingsfactoren

De omgeving in een Agent Based Model is de virtuele wereld waarin Agents als het ware leven. In veel modellen bevinden zich passieve objecten in de omgeving. Denk hierbij aan bijvoorbeeld wegen en door het landschap gecreëerde barrières. Ook kunnen deze passieve objecten verzameld worden, bijvoorbeeld als het om een resource gaat (voedel, water, etc). Deze objecten zijn in feite ook Agents in het model maar zijn een stuk simpeler van aard. Deze simpele Agents hoeven vaak niet te bewegen en hebben niet de capaciteit nodig om complexe interactie aan te gaan. Een voorbeeld hiervan is het Sugarscape model van Epstein en Axtell (1996). In dit model bestaat de omgeving uit cellen die twee attributen bevatten: locatie (als in xy posities) en suiker niveau. Agents in het model zullen proberen suiker te verzamelen in de cellen die het dichtst bij zijn. Ook kunnen ze met elkaar interactie aangaan. Zonder suiker zal een Agent “overlijden” en ophouden te bestaan in het model. Hierdoor zullen alleen de beste/slimste Agents overblijven. De suiker in het model staat symbool voor resources in een kunstmatige wereld waarmee onderzoekers sociale dynamiek van bijvoorbeeld evolutie beter kunnen leren begrijpen.

Met omgeving kunnen ook verschillende dingen bedoeld worden. Een omgeving kan ten eerste gewoon de geografische ruimte in een model betekenen, bijvoorbeeld in modellen waarin ruimtelijke processen een belangrijke rol spelen. In Agent Based Modelling zijn echter ook andere typen ruimte of

omgeving; bijvoorbeeld in een netwerk waar geen ruimtelijke coördinaten voor Agents zijn en alleen het aantal, nabijheid en lengte van verbindingen tussen de Agents relevant zijn.

## Relevante factoren bij modelleren van recreatief gedrag

Menselijk gedrag is complex en is dus moeilijk om te vangen in een virtueel model. Eerder in de thesis werd genoemd dat een model zo complex en uitgebreid moet zijn als het systeem dat het probeert te simuleren. Om het gedrag van recreanten goed te begrijpen is het nodig om eerder complex gedrag te modelleren dan simpel gedrag. In de kunstmatige intelligentie bestaan voor menselijk gedrag een aantal zogeheten architecturen, de Beliefs-Desires-Intentions (BDI) architectuur en het “Physical conditions”, “Emotional states”, “cognitive capabilities” en “social status” systeem (PECS). Deze worden verderop in de thesis uitvoerig besproken. Voor deze architecturen kan gekozen worden om recreantengedrag op te baseren. Via deze methodes zal echter eerder algemeen menselijk gedrag vertoond worden en niet specifiek dat van recreanten. Er zal dan gekeken moeten worden of in Agent Based Modelling het van belang is om naast menselijk gedrag een apart onderdeel recreatief gedrag in te bouwen in het beslismodel van Agents.

Een wijze waarop recreantengedrag in het specifiek benaderd kan worden voor operationalisering is via twee methodes. De eerste is in kaart brengen van gedrag via het bevragen van individuen (stating techniques) en de tweede is individuen observeren en daaruit de benodigde informatie halen (revealing techniques) (Skov-Petersen 2005).

Skov-Petersen gaat in zijn artikel in op een aantal onderwerpen die relevant zijn voor het begrijpen van recreantengedrag; namelijk economic evaluation, preferences for different facility/nature types, amount of activity, choices between alternative facilities en local, spatial choices made on site. Data-verzameling en analyse ervan in de genoemde onderwerpen zal volgens Skov-Petersen (2005) relevant zijn als input voor het modelleren van recreantengedrag in een ABM. De onderwerpen worden op zowel “Stated” als “Revealed” benaderd in de analyse.

Recreantengedrag gebaseerd op economische belangen kan via de Stated methode onderzocht worden door middel van Contingent Valuation: het vragen van respondenten hoeveel geld ze over hebben voor een zekere “benefit”, bijvoorbeeld bepaalde natuurvoorzieningen of bescherming/onderhoud van bepaalde plekken. Er kan bijvoorbeeld gevraagd worden of ze entree willen betalen (en zo ja hoeveel maximaal) om de “benefits” te realiseren en/of in stand te houden.

Een Revealing methode waarmee economisch gedrag van recreanten in kaart gebracht kan worden is via Travel Cost Modelling. Hierbij wordt de afstand die bezoekers afleggen om bij het natuurgebied een bepaalde geldwaarde toegekend waarmee een algemene waardering van een natuurgebied kan worden geschat.

Bij het onderwerp Preferences worden de voorkeuren van recreanten in kaart gebracht. Een stated methode hierbij is het gebruik van enquêtes. Er kan bijvoorbeeld respondenten gevraagd welk (soort) gebied ze het mooist vinden waarbij (algemene) preferenties en voorkeurspatronen onderzocht kunnen worden. Skov-Petersen (2005) geeft hierbij het respondenten voorhouden van foto's van natuurgebieden, gebieden op volgorde van voorkeur leggen met overwegingen van respondent. Een revealed methode die wordt genoemd is het aantal auto's op een parkeerplaatsen bij natuurgebieden tellen waarmee toegankelijkheid van een natuurgebied mee kan worden afgeleid (Skov-Petersen, 2005).

Het houden van enquêtes noemt Skov-Petersen (2005) ook als methode voor dataverzameling van de overige onderwerpen. Het gebruik van video-camera's en GPS-tracking bespreekt hij ook, al zal het gebruik van videocamera's om gedrag van recreanten te analyseren wel ethische vraagstukken met zich meebrengen. Is natuurbeleid namelijk zodanig belangrijk dat mensen gevolgd moeten worden en in beeld moeten worden gebracht. Dit is bij GPS-tracking minder een probleem aangezien dit vrij anoniem gedaan kan worden.

In het artikel van Skov-Petersen wordt echter niet uitgelegd hoe de potentieel verzamelde informatie over recreanten geoperationaliseerd kan worden voor de gedragsvorming in een Agent Based Model. Er zal waarschijnlijk gezocht moeten worden naar een synchronisatie tussen een al bestaande architectuur van kunstmatige intelligentie (BDI of PECS) en informatie over recreanten specifiek gedrag verkregen uit beschreven methodes van Skov- Petersen (2005).

## ABM in de praktijk

De toepassingen van ABM worden in tal van vakgebieden al gebruikt. Een voorbeeld hiervan is in de criminologie waar door middel van ABM onderzoek gedaan wordt naar misdadgedrag in een bepaald gebied.

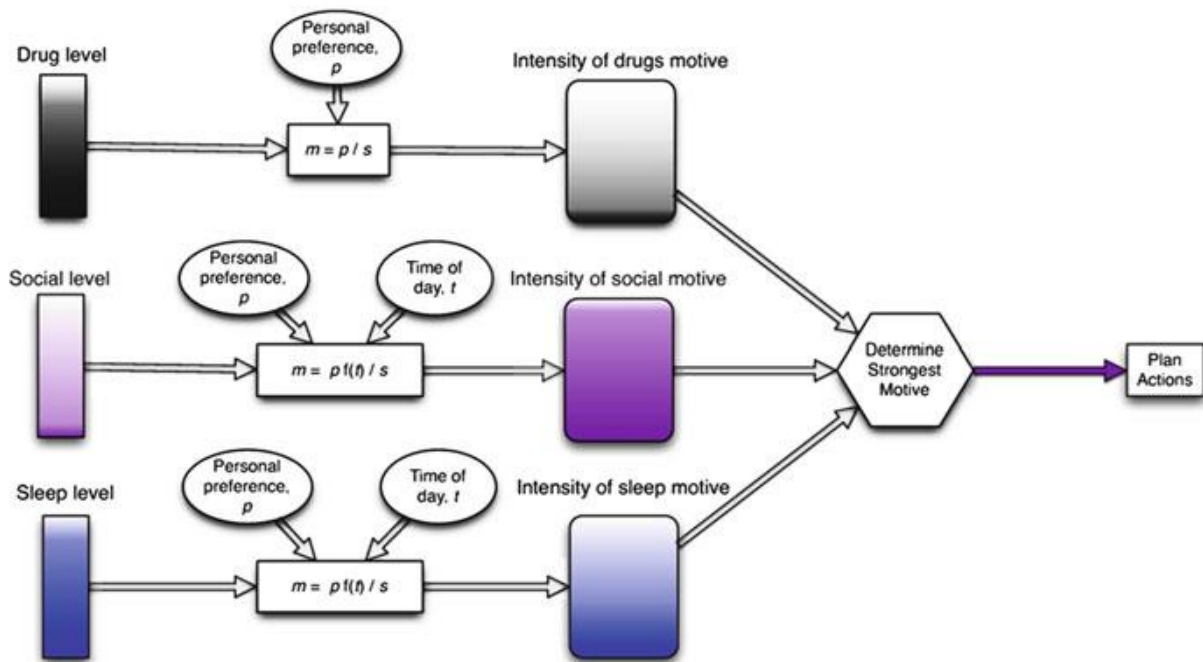
### *Using ABM to simulate crime.*

Een voorbeeld van het toepassen van Agent Based Modelling in geografie is het gebruik ervan om het inbraakgedrag in een bepaald gebied te simuleren. Inbraak en misdaad in het algemeen zijn lastig in kaart te brengen en haast onmogelijk via traditionele methoden in sociale wetenschappen (Malleon, N. 2012). Het is namelijk niet helemaal mogelijk om inbrekers te interviewen of ze een enquête te laten invullen. Stel dat een van deze methodes lukt en je data van een respondent krijgt, dan zal dit waarschijnlijk niet genoeg data zijn om een realistisch overzicht te krijgen. Aan de potentiële validiteit en aan de haalbaarheid moet dus gedacht worden. Agent Based Modelling kan in deze situatie uitkomst bieden.

Misdaad is een complex fenomeen en een individuele inbraak ontstaat uit een samenloop van verschillende factoren en motivaties. Fysieke en sociale omgeving spelen hierbij ook een belangrijke rol. Zeer relevant is dat bij een misdaad als inbraak de inbreker een bepaald huis kiest op individuele aspecten.

Via ABM is het mogelijk om aan de criminologie, die vroeger vooral op het slachtofferaspect waren gericht, nu ook te kunnen focussen op de misdaad zelf middels een geografisch perspectief.

GIS kan bij het analyseren van misdaadpatronen in een bepaald gebied een belangrijke bijdrage leveren. Hiermee kunnen datasets gevisualiseerd worden en op een effectievere wijze geïnterpreteerd worden. Een aantal case studies zijn gedaan naar misdaad met betrekking tot ABM. Dray et al (2008) gebruiken bijvoorbeeld ABM om de dynamiek van drugshandel in Melbourne beter te begrijpen.



Figuur 3. Beslismodel van een inbreker (Malleeson, 2012).

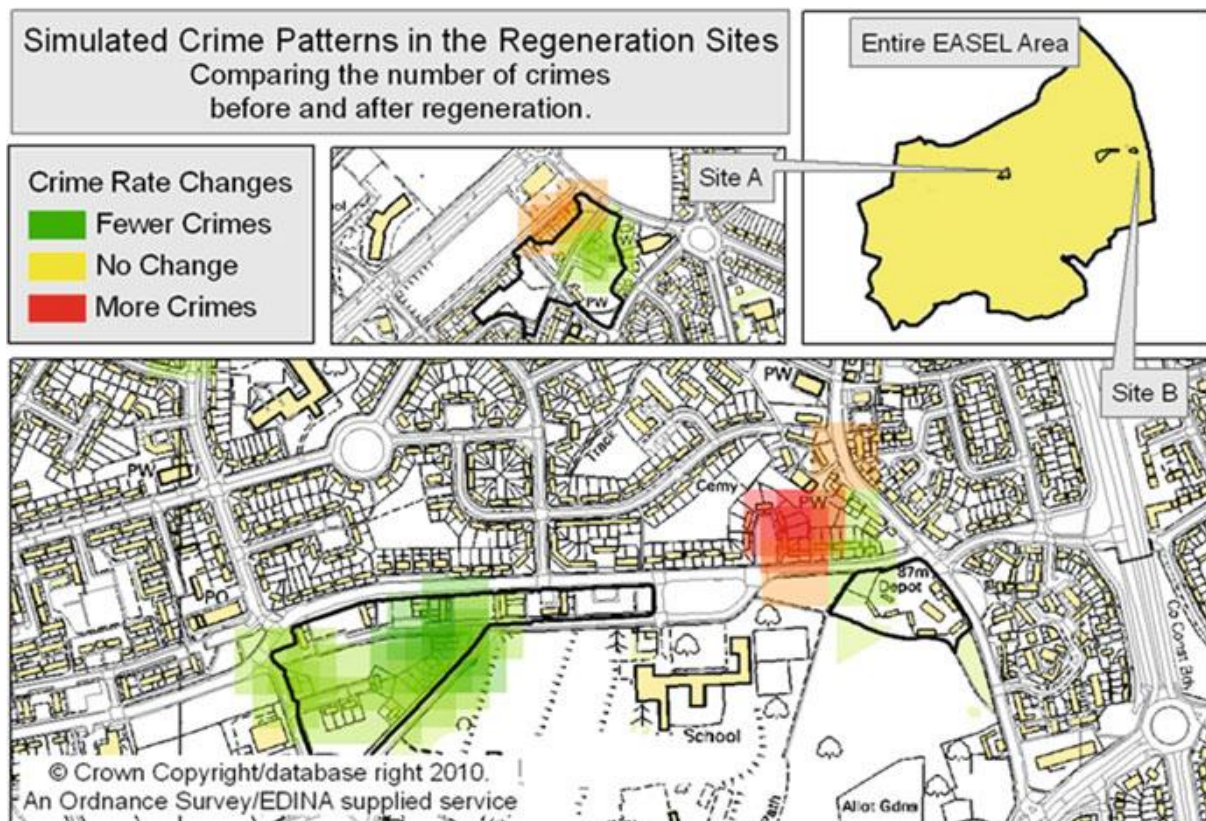
Bovenstaand figuur 3 behoort tot een onderzoek van Malleeson (2012). Het is een beslismodel dat gebruikt wordt voor de “burglar” agent. Hierbij wordt door de agent een afweging gemaakt via een set regels die deels door waarden die bij de Agent zijn ingevoerd en deels extern (tijdstip). Zo spelen in het figuur drie factoren een rol bij bepalen van gedrag van de inbreker: namelijk “Social level”, “Sleep level” en “Drug level”. Intensiteit van deze factoren verandert door de tijd heen en bepaalt op welke manier gedrag wordt vertoond. Als bijvoorbeeld de “Sleep motive” van een Agent op een bepaald moment het hoogst is, zal de Agent slaap verkiezen boven inbreken of andere relevante handelingen in het beslismodel. Dit figuur visualiseert niet het gehele gedragsproces van een inbreker, maar slechts een bepaald gedeelte. Andere gedeeltes van gedrag zijn het algemeen menselijke gedrag, het proces van inbreken en een zogeheten “cognitive map”. Menselijk gedrag is vrij complex om te programmeren; in het artikel (Malleeson, 2012) worden een aantal bestaande architecturen hiervoor gegeven. Een veelgebruikte is de Beliefs-Desires-Intentions (BDI) architectuur. “Beliefs” staat hier voor de kennis die de Agent bezit over de wereld (model waarin het zich beweegt). Met “Desires” wordt bedoeld alle doelen die de Agent probeert te bereiken in de simulatie en bij “Intentions” wordt bepaald welk doel het belangrijkste is op een bepaald tijdstip in de simulatie en die dan op dat moment getracht vervuld te worden.

Een andere architectuur is PECS, hierbij wordt het menselijk gedrag bepaald via de factoren “Physical conditions”, “Emotional states”, “cognitive capabilities” en “social status”. PECS wordt gezien als een verbetering van BDI, omdat via dit systeem irrationele beslissingen kunnen worden genomen.

Daarnaast wordt de Agent niet gelimiteerd door de drie factoren van BDI, maar is er sprake van een aantal “motives” (denk hierbij aan eten, slapen, opruimen etc.) waarop beslissingen worden gebaseerd. Interne factoren zoals het hebben van een laag energieniveau (honger) en externe factoren zoals geur van voedsel waarop Agent reageert zullen een rol spelen bij beslisvorming. Hierdoor kan persoonlijke voorkeur meer tot uiting komen bij de Agent, waardoor de Agent realistischer interactie kan aan met andere Agents in de geprogrammeerde omgeving.

Deze principes van kunstmatige intelligentie (PECS en BDI) en het inbreker beslismodel zijn toegepast in East and South East Leeds (EASEL), een Urban renewal project geïnitieerd door het stadsbestuur van Leeds (Malleon, 2012). Hier is met Agent Based Modelling vastgesteld hoe inbraakpatronen zouden kunnen veranderen als wijkvernieuwing zou hebben plaatsgevonden. Het idee hierachter is dat als wijkvernieuwing optreedt is er meer veiligheid is en community effecten die criminaliteit afremmen. De verwachting is dan dat in het model voordat de Urban renewal optreedt meer criminaliteit aanwezig is dan daarna. Resultaat uit modelling laat zien dat inbraken na Urban renewal in het gebied afnamen en dat vlak buiten het gestimuleerde gebied op plekken inbraken sterk waren toegenomen. Deze toename is zeer geconcentreerd op maar één bepaald stuk terwijl de verwachting was dat deze toename in omliggende gebieden wat meer verdeeld zou zijn (zie onderstaand figuur). In het artikel wordt niet verder op ingegaan, maar dit zou limitatief aspect kunnen zijn van ABM. Het was mogelijk om individuele inbraken te volgen (aangezien ABM behoort tot individual based modelling) waardoor bepaalde risicolocaties individueel goed in kaart gebracht konden worden. Vooral de combinatie doorgaande weg en locatie net buiten regeneration area lijkt een belangrijke rol te spelen in de toename van inbraken.





Figuur 4 Comparing simulated crime rates before and after regeneration of sites A and B (Malleeson, 2012)

## Dataverzameling/Expert interview

In mijn onderzoek heb ik gebruik gemaakt van artikelen en relevante literatuur om inzicht te verkrijgen over Agent Based Modelling, dit via ScienceDirect, SAGE en andere online-databases. Daarnaast maak ik gebruik van het boek “Agent Based Modelling in geographic systems” door A. Heppenstall et al. Skov-Petersen (2005) is ook belangrijk onderdeel van mijn thesis aangezien recreantengedrag en input ervan in Agent Based Modelling een centrale rol speelt. Ook heb ik via GPS-loggers data verzameld over recreatief gedrag in het Drents Friese Wold.

Hiernaast heb ik een expert interview gehad met Wander Jager. Ik heb hem een aantal vragen voorgelegd met betrekking tot Agent Based Modelling en de relevantie van ABM en recreatief gedrag. Uit het interview heb ik een aantal belangrijke punten weten te formuleren:

- Doel van onderzoek moet duidelijk zijn bij het modelleren.

De reden hiervoor is dat een model gebaseerd moet worden op een situatie waarmee een maatschappelijk relevante vraag of probleem mee kan worden opgelost. Met ABM wordt namelijk niet alleen gekeken naar wat er in de situatie gebeurt, maar ook hoe en waarom een bepaald probleem ontstaat.

- ABM gebruiken bij situaties waarbij gangbare methodes niet mogelijk zijn.

Wander gaf aan dat Agent Based Modelling vooral gebruikt dient te worden in situaties waarbij data moeilijk of niet voor handen is, of andere onderzoeksmethodes geen uitkomst kunnen bieden om een fenomeen te verklaren. Als reden wordt aangevoerd dat modelleren tijdsintensief is en dat als methodes als enquêteren of interviewen mogelijk zijn deze qua tijd effectiever zijn.

Persoonlijk denk ik dat ABM ook een aanvullende rol kan spelen in het onderzoeksproces. Zo is het misschien mogelijk dat via deze methode fenomenen beter en vollediger verklaard kunnen worden. Misschien levert ABM wel informatie op die met andere methodes niet verkregen kunnen worden.

- Nieuwe inzichten verkrijgen waar men op voorhand niet gekomen zou zijn.

Uit een ABM kunnen soms antwoorden of nieuwe inzichten komen die je instantie niet had verwacht. Wander gaf hierbij een voorbeeld van afval op straat waarbij gekeken werd tevredenheid van straatbeeld. Zo was de tevredenheid hoger in een model waarbij de prullenbakken niet geleegd werden en overvol waren, dan in een model waar helemaal geen prullenbakken aanwezig waren en afval overal op straat lag. Het is interessant om te zien welke onverwachte koppelingen en nieuwe inzichten gevonden kunnen worden in een Agent Based Model van recreatief gedrag.

## Het nut GPS bij ABM

Het gebruik van GPS zou in de toekomst relevant kunnen worden voor Agent Based Modelling. Met GPS-dataloggers is het namelijk mogelijk om gedrag van recreanten op vrij eenvoudige wijze vast te leggen in een bepaald gebied. Via Agent Based Modelling kan recreatiegedrag dat is vastgelegd door GPS op individueel niveau onderzocht en begrepen worden. GPS-data kan daarnaast gebruikt worden als validatiemethode van het geprogrammeerde model. Een correct ontworpen model zal dezelfde gedragspatronen moeten creëren als die uit de GPS-loggers verkregen zijn.

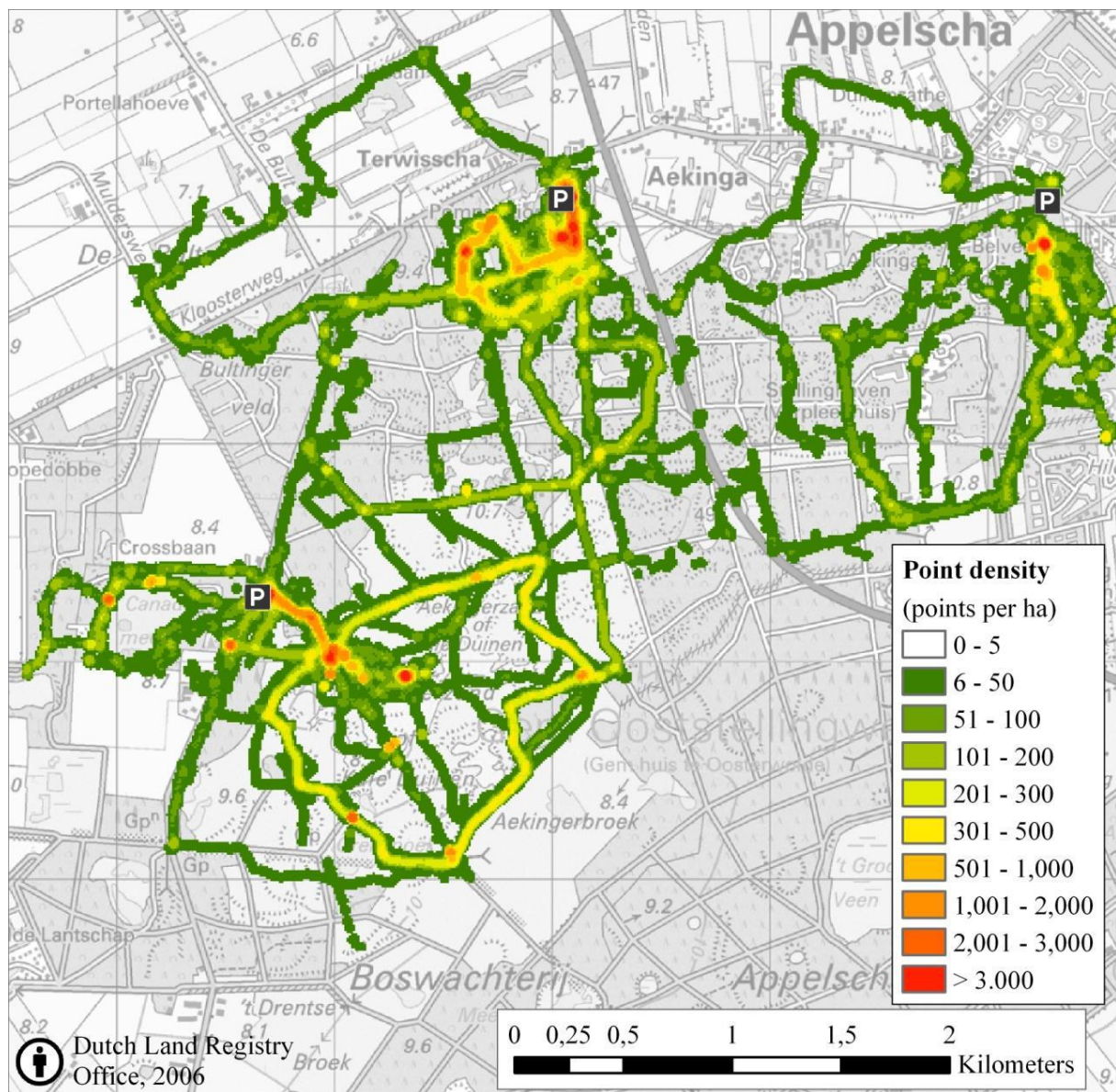
Een voordeel van het gebruik van GPS is dat dataverzameling weinig moeite en tijd kost voor de respondenten. Het is namelijk voldoende om simpelweg een GPS-logger aan mensen mee te geven, waaruit accuraat informatie gehaald kan worden. Ook geeft GPS aanvullende informatie die moeilijker of niet uit andere methodes gehaald kan worden. Zo kan bijvoorbeeld data verzameld worden over snelheid, duur van rustmomenten of afwijkend recreatiegedrag zoals het niet volgen van wandelpaden (Wolf et al, 2012). Nadelen van GPS-tracking zijn dat nauwkeurigheid van metingen afhankelijk zijn van de omgeving. Een dicht bladerdek of bebouwing kan verstoringen veroorzaken waardoor punten weg kunnen vallen of verkeerd zijn. Doordat er een hoge volume aan data verzameld wordt kunnen errors of missende data voor een intensieve data-analyse zorgen (Van Marwijk, 2009). Er zal met deze data-analyse op juiste manier moeten worden omgegaan, wat uitvoerig beschreven wordt in “Analysing hiker movement patterns using GPS data” door Meijles et al.

GPS als methode van dataverzameling hebben wij als bachelorproject groep in de praktijk toegepast. We hebben op meerdere dagen op parkeerplaatsen in het Drents Friese Wold GPS-loggers aan willekeurige recreanten meegegeven om het wandelgedrag van deze mensen in kaart te brengen. Voor aparte deelonderzoeken werden aangevuld door enquêtes die gekoppeld werden aan de meegegeven GPS-loggers. Hiermee was het mogelijk om naast wandelgedrag ook voorkeuren en motivaties in kaart te brengen voor verschillende groepen recreanten. Wandelpatronen kunnen hiermee in kaart worden gebracht en natuurbeleid kan erop worden afgestemd. In figuur 5 is een visualisatie te zien van deze methode van dataverzameling. Dit figuur is van een eerder onderzoek in hetzelfde gebied, beschreven in het artikel van Meijles et al.

Deze methode kan aan ABM bijdragen in twee opzichten. Zoals al genoemd kan met de GPS-data een kaart gemaakt worden van wandelgedrag die als validatie kan gelden voor Agent Based Modelling. Er wordt een ABM gemaakt van recreatief gedrag in het gebied en als het model goed is zal de visualisatie ervan overeenkomen met de kaart die gemaakt is met GPS-data. Doel van het model is om zo dicht mogelijk om bij de realiteit te komen en met de GPS-methode is het mogelijk om deze realiteit op een relatief eenvoudige wijze te benaderen. Het andere opzicht van GPS-tracking als bijdrage aan ABM is dat het als gedragsinput gebruikt zou kunnen worden zoals genoemd door Skov-Petersen (2005). Hierover is echter nog weinig bekend in de literatuur. Skov-Petersen (2005) suggereert dat GPS eerder voor “verification of model performance” dan “model calibration” toegepast wordt. Bepaalde gedragsfactoren gehaald uit GPS zouden echter wel aan relevantie kunnen bijdragen voor ABM. Zo is het mogelijk om uit GPS-data tal van informatie te halen, zoals: de wandelsnelheid, beginpunt-eindpunt van recreanten, duur van de wandeling, afstand, concentratie op bepaalde plekken en rusten op een bepaalde plek. Deze factoren zouden recreatief gedrag van Agents dus goed kunnen aanvullen in een Agent Based Model. Ook is het mogelijk om met behulp van enquêteren bij deze factoren



onderscheid te maken tussen verschillende groepen recreanten (denk hierbij aan wandelsnelheid ouderen versus wandelsnelheid jongeren). Met GPS-tracking van recreanten zou het dus mogelijk moeten zijn om Agents en groepen Agents accurater in een Agent Based Model te laten opereren.



Figuur 5. Dichtheidskaart gebaseerd op GPS- coördinaten van wandelaars in het Drents Friese Wold (Meijles et al, unpublished)

## Conclusie

Agent Based Modelling is een techniek die in de geografie nog vrij weinig wordt toegepast ondanks dat de methodiek en kennis er wel voor aanwezig zijn. Daarnaast wordt het instrument in andere vakgebieden (zoals de criminologie) al effectief in de praktijk gebracht. Ondanks dat aan ABM enige beperkingen verbonden zijn is het als onderzoeksmethode een relevante toevoeging voor de begripsvorming van recreantengedrag. Input waarop gedrag gebaseerd moet worden is voorhanden, dit door middel van verschillende complexe architecturen in de kunstmatige intelligentie. Daarnaast kan gebruik van GPS een nuttige toevoeging zijn bij het modelleren, bijvoorbeeld als validatiemethode van een Agent Based Model maar ook als input voor specifiek recreatieve Agents. Uiteindelijk zal ABM niet alleen toegepast moeten worden bij onderzoeken waar het de enige optie is (onderzoek crime ) maar ook bij onderzoeksgebieden waar het een nieuw perspectief en aanvullende informatie kan opleveren (gedrag van recreanten). Agent Based Modelling heeft dan ook de potentie om een zeer relevante bijdrage te leveren in de studie naar recreatief gedrag en geografisch onderzoek in het algemeen.

## References

Crooks, A. T. & Heppenstall, A. J. (2012). Introduction to agent-based modelling. In A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See & M. Batty (Eds.), *Agent-based models of geographical systems* (pp. 85–105). Dordrecht: Springer.

Davidsson, P (2002). Agent Based Social Simulation: A Computer Science View. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 5, no. 1 < <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/7.html> >

Epstein, J. M., & Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies: social science from the bottom up* . Cambridge, MA: The MIT Press.

Epstein, J. M. (2006b). *Generative social science* . Princeton: Princeton University Press.

Gonçalves, A. S., Rodrigues, A., & Correia, L. (2004). Multi-agent simulation within geographic information systems. *Proceedings of the Fifth Workshop on Agent-Based Simulation* , Lisbon.

Iltanen, S (2012). Cellular Automata in Urban Spatial Modelling. In A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See & M. Batty (Eds.), *Agent-based models of geographical systems* (pp. 69-85). Dordrecht: Springer.

Jennings, N.R (2000). On agent-based software engineering. *Artificial Intelligence*. 117 (2000) 277-296.

Malleson, N. (2012). Using agent-based models to simulate crime. In A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See & M. Batty (Eds.), *Agent-based models of geographical systems* (pp. 411–434). Dordrecht: Springer.

Meijles E W, Ph.D.; De Bakker M, MSc; D Grootte P, Ph.D.; Barske R, MSc, unpublished, Analysing Hiker movement patterns using GPS

O’Sullivan D, Millington J, Perry G, Wainwright J (2012) Agent-Based Models Because They’re Worth It? In A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See & M. Batty (Eds.), *Agent-based models of geographical systems* (pp. 109-125). Dordrecht: Springer.

Parry, H. R., & Bithnell, M. (2012). Large scale agent-based modelling: A review and guidelines for model scaling. In A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See & M. Batty (Eds.) *Agent-based models of geographical systems* (pp. 525–542). Dordrecht: Springer.

Skov-Petersen, H. 2005. Feeding the Agents- collecting parameters for agent-based models. In: Batty, S.E. Computers in Urban Planning and Urban Management (60)

Torrens, P., & Benenson, I. (2005). Geographic automata systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 19 (4), 385–412.

Van Marwijk, R. B. M. (2009). *These routes are made for walking: understanding the transactions between nature, recreational behaviour and environmental meanings in Dwingelderveld National Park, the Netherlands*. PhD thesis Wageningen University, 260 p.

Wolf, I. D., Hagenloh, G. & Croft, D. B. (2012). Visitor monitoring along roads and hiking trails: how to determine usage levels in tourist sites. *Tourism Management* 33, 16-28.