

Simulatie

Classes

Het simulatiemodel wordt ontworpen om de energietransitie binnen een woonwijk te simuleren, waarbij huishoudens overstappen op duurzamere energiebronnen. De simulatie omvat drie hoofdklassen: de woonwijk (omgeving), woningen en inwoners. Binnen dit model is een inwoner de enige autonome agent, die op basis van verschillende factoren beslissingen neemt over energiegebruik en mogelijke overstappen naar duurzame alternatieven.

Elke inwoner woont in een woning, alleen of samen met andere inwoners in de vorm van een huishouden. De woningen maken op hun beurt deel uit van een grotere woonwijk, waarin interacties plaatsvinden tussen bewoners, woningen en externe invloeden zoals energieprijzen en maatschappelijke ontwikkelingen.

Inwoner

De inwoner is de kern van de simulatie en beschikt over verschillende eigenschappen die zijn besluitvorming beïnvloeden:

- **Leeftijd:** Kan invloed hebben op de perceptie van investeringen en terugverdienwaarde.
- **Inkomen:** Maandelijke verdiensten van de inwoner.
- **Uitgaven:** Maandelijke kosten van de inwoner.
- **Kapitaal:** Het totale vermogen van de inwoner, wat bepaalt welke investeringen mogelijk zijn.
- **Woning:** Een referentie naar de woning waarin de inwoner verblijft, zodat hij kennis heeft over de eigenschappen van zijn huis.
- **Utility-geschiedenis:** Een dictionary die bijhoudt hoe de inwoner over tijd scoort op verschillende besluitvormingscriteria. Dit helpt bij het analyseren van gedragsveranderingen en overstapmomenten.

Woning

Een woning vormt de fysieke leefomgeving van de inwoner en beïnvloedt diens energiegebruik en -kosten. De belangrijkste kenmerken zijn:

- **Type woning:** Onderscheid tussen huur- en koopwoningen.
- **Huishouden:** Lijst met alle inwoners die in de woning verblijven.
- **Energiecontract:** Specificaties over het type energie, de kosten per maand en het opzegtarief, in de vorm van een dictionary
- **Energieopbrengst:** Hoeveel energie een zonnepaneel van een woning per jaar opleverd.
- **Energieverbruik:** Lijst met overzicht van het energieverbruik per tijdstap
- **Kosten:** De totale maandelijke woonlasten, inclusief huur of hypotheek, WOZ-belasting en energiekosten.

- **Buren:** Een lijst met nabijgelegen woningen, zodat sociale invloed op energiegedrag gemodelleerd kan worden.

Woonwijk

De woonwijk vormt de bredere omgeving waarin inwoners en woningen zich bevinden. Dit niveau bevat informatie die invloed heeft op de gehele simulatie:

- **Woningen:** Een lijst met alle woning-objecten binnen de wijk, waarmee inzicht wordt verkregen in energiecontracten en bewoners.
- **Energieprijzen:** Een dictionary met de maandelijkse kosten voor ieder type energieaansluiting. De prijzen van de beschikbare energiecontracten zullen hierop gebaseerd worden .
- **Event-geschiedenis:** Een verzameling macro-economische en maatschappelijke gebeurtenissen die invloed hebben op de simulatie. Denk hierbij aan veranderingen in wetgeving, prijsfluctuaties en technologische ontwikkelingen die de overstap naar duurzame energie beïnvloeden.

Beslismodel en gedragsregels

Theory of Planned Behavior

In overleg met de product owner is vastgesteld dat de keuze van een agent om over te stappen naar een duurzame energiebron voor zijn woning, verklaart moet worden met het Theory of Planned Behavior (TPB) gedragsmodel. De TPB stelt dat het gedrag van een individu voortkomt uit de intentie om dat gedrag uit te voeren (Ajzen, 1991). De beslissing van de agent wordt beïnvloed door drie kernfactoren, die geïntroduceerd zijn door de product owner. De drie kernfactoren zijn professioneel herzien, en kunnen worden omschreven als:

- **Attitude (AT):** De houding van de agent ten opzichte van duurzame energie.
- **Subjective norm (SN):** De sociale druk die de agent ervaart op basis van het gedrag en de mening van de burens.
- **Perceived Behavioral Control (PBC):** De financiële haalbaarheid van de overstap, waaronder betaalbaarheid, terugverdientijd en economische voordelen.

Deze kernfactoren vertonen sterke overeenkomsten met de factoren uit een onderzoek uit 2017 naar recyclinggedrag binnen het TPB-model (Scalco et al., 2017). In dat onderzoek werd onderzocht hoe de intentie van huishoudens om te recyclen wordt beïnvloed door attitude, subjectieve norm, perceived behavioral control en moral obligation. Attitude en subjectieve norm komen direct overeen met de factoren die in ons onderzoek worden gebruikt, terwijl perceived behavioral control een alternatieve invulling vormt van de factor, die in het recyclingonderzoek verwees naar de mate waarin iemand recycling als praktisch haalbaar beschouwt.

Net zoals het TPB-model in het eerdere onderzoek werd toegepast om recyclinggedrag te verklaren, biedt het ook een solide theoretisch kader voor het begrijpen van de overstap naar duurzame energie. Beide situaties betreffen een gedragsverandering richting een duurzamer

alternatief, waarbij sociale normen, persoonlijke overtuigingen en praktische haalbaarheid een doorslaggevende rol spelen.

Toepassing en besluitvorming

Een agent zal overstappen wanneer deze “tevreden” is volgens de waarden die de kernfactoren aannemen. De tevredenheid of intentie van een agent zullen berekend worden met de volgende formule:

$$I = w_{AT} \cdot AT + w_{SN} \cdot SN + w_{PBC} \cdot PBC$$

Waarbij:

- I de intentie voor de agent vertegenwoordigt om over te stappen.
- w_{AT}, w_{SN}, w_{PBC} de gewichten van de factoren zijn, die per agent kunnen verschillen.
- AT, SN, PBC de respectieve waarden van de factoren zijn.

De factoren AT, SN, PBC hebben een waarde tussen 0 en 1, waarmee wordt uitgedrukt hoe gunstig de overstap naar duurzame energie is voor de agent. Daarnaast krijgt elke agent een unieke set willekeurig bepaalde gewichten w_{AT}, w_{SN}, w_{PBC} , die eveneens een waarde tussen 0 en 1 kunnen aannemen. Deze gewichten representeren hoeveel waarde een agent hecht aan de verschillende factoren, en bepalen hoe zwaar een agent de verschillende factoren meeweegt in zijn besluitvorming.

Een agent zal overstappen naar een duurzame energiebron zodra de berekende intentiewaarde I hoger is dan een vooraf ingestelde threshold. Deze threshold vertegenwoordigt de minimale motivatie die nodig is om de overstap daadwerkelijk te maken. Bij elke tijdstap wordt de intentie opnieuw berekend op basis van de huidige waarden van attitude, subjectieve norm en perceived behavioural control. Zodra I de drempel overschrijdt, neemt de agent de beslissing om over te stappen.

Besluitvorming binnen een huishouden

In een huishouden met meerdere inwoners wordt de gezamenlijke intentie om over te stappen op duurzame energie bepaald door de individuele intentiewaarden I van alle bewoners. De mening van iedere bewoner in een huishouden telt in deze simulatie even zwaar mee. Dit betekent dat de meningen van alle bewoners worden opgeteld, en vervolgens worden gedeeld door het totaal aantal bewoners, om tot de uiteindelijke beslissing te komen.

De gezamenlijke intentiewaarde van het huishouden I_h wordt berekend met de volgende formule:

$$I_h = \sum_{b=1}^n w_b \cdot I_b$$

Waarbij:

- I_h de intentiewaarde van het huishouden is.
- n het aantal inwoners in het huishouden is.
- I_b de intentiewaarde van bewoner b is.
- w_b de gewicht van bewoner b bepaald als:

$$w_b = \frac{Inkomen_b}{\sum_{j=1}^n Inkomen_j}$$

Hieruit volgt dat inwoners met een hoger inkomen een grotere invloed hebben op de uiteindelijke beslissing. De bewoner met het hoogste individuele inkomen binnen het huishouden wordt beschouwd als de kostwinner en is de uiteindelijke besluitvormer. Dit betekent dat de overstap naar duurzame energie alleen plaatsvindt wanneer I_h boven de vooraf ingestelde drempelwaarde komt én de kostwinner hier achter staat.

Berekening factoren

Attitude

We weten nog niet hoe we deze factor kunnen berekenen met de variabelen die we gebruiken. Tot we een oplossing hebben gevonden zullen we deze willekeurig bepalen met een uniforme verdeling tussen 0 en 1.

Subjective Norm

De Subjective Norm (SN) in het Theory of Planned Behaviour-model wordt berekend als een waarde tussen 0 en 1, waarbij de sociale druk wordt beïnvloed door het aantal burens met zonnepanelen. Directe burens hebben hierbij de grootste invloed, terwijl burens verder weg minder impact hebben.

De SN-waarde voor een agent i wordt als volgt berekend:

$$SN_i = \frac{\sum_{j \in B} w_j \cdot S_j}{\sum_{j \in B} w_j}$$

Waarbij:

- B de verzameling van alle burens binnen een straal van twee huizen is.
- S_j een indicator is die 1 is als buur j zonnepanelen heeft en 0 als dat niet zo is.
- w_j de gewichting van buur j is, afhankelijk van de afstand tot agent i :
 - 1.0 voor directe burens ($d=1$)
 - 0.5 voor burens één woning verder ($d=2$)
 - 0.1 voor burens twee woningen verder ($d=3$)

Het aantal zonnepanelen waar burens over beschikken maakt voor deze berekening niet uit.

Perceived Behavioral Control

De Perceived Behavioral Control (PBC) in het Theory of Planned Behaviour-model wordt berekend als een waarde tussen 0 en 1, waarbij de financiële haalbaarheid van zonnepanelen wordt beïnvloed door het inkomen van de agent en de terugverdientijd van de investering.

De PBC-waarde voor een agent i wordt als volgt berekend:

$$PBC_i = \left(1 - \frac{C}{I_i}\right) + \left(1 - \frac{T_i}{T_{max}}\right)$$

Waarbij:

- C de gemiddelde kosten van 8 zonnepanelen is.
- I_i het jaarinkomen van agent i is.
- T_i de terugverdientijd in jaren is, berekend als:

$$T_i = \frac{C}{O}$$

Met:

- O de jaarlijkse opbrengst van zonnepanelen.
- T_{max} een vaste maximale terugverdientijd is van 25 jaar.
- De factor $1 - \frac{C}{I_i}$ zorgt ervoor dat een kortere terugverdientijd leidt tot een hogere PBC-score.
- De factor $1 - \frac{T_i}{T_{max}}$ zorgt ervoor dat een kortere terugverdientijd leidt tot een hogere PBC-score.

Parameters & initialisatie

Aanroepen simulatie

De gebruiker van de simulatietool kan de simulatie aanroepen op drie manieren:

1. **Niet-specifiek:** De simulatie wordt aangeroepen zonder echte data. De startwaarden zullen berekend worden op basis van de standaardgetallen die gebaseerd zullen zijn op gemiddelde waarden van de echte wereld (zie startwaarden).
2. **Specifiek:** De simulatie wordt aangeroepen met echte data over een wijk. De gebruiker kan de startwaarden (zie startwaarden) beïnvloeden door het getal te veranderen waar deze op gebaseerd worden. In het geval van de Heuvel/Amstelveen en vele andere wijken in Nederland, kunnen de statistieken worden gebruikt van AlleCijfers.nl (De Heuvel/Amstelveen (Gemeente Leidschendam-Voorburg) in Cijfers en Grafieken, 2025).
3. **Eerdere run:** De simulatie wordt aangeroepen met een databestand van een eerdere simulatierun, zodat de gebruiker deze terug kan zien. Het verloop van de simulatie zal dan ook exact hetzelfde zijn.

Startwaarden

Hieronder volgt een tabel die de berekening voor alle variabelen in de simulatie toelicht. Iedere variabele waar een berekening of verdeling gehanteerd wordt beschikt over een waarde waarop de variabele wordt afgeleid. Deze waarden zijn afkomstig van de meest recente cijfers van het CBS, en Milieu Centraal. De waarden kunnen door de gebruiker worden aangepast.

Variabele	Waarde	Verdeling en toelichting
Woonwijk (omgeving)		
Kosten zonnepanelen	€350	De prijs van zonnepanelen is gebaseerd op de prijs van een zonnepaneel plus installatiekosten, en kan worden berekend met: $P(n) = 350N + 500$
Aantal Inwoners	10	N.v.t.
Inwoners per woning	2.11	Wordt bepaald met een afgeknotte Poisson-verdeling zodat het aantal niet 0 kan zijn.
Woning		
Type Woning	-	100% koopwoningen en 0% huurwoningen
Energiecontract		
Inwoner		
Leeftijd	42.4, σ 12-15	Wordt berekend d.m.v. een afgeknotte normale verdeling, met 18 als minimumleeftijd.
Inkomen	€46.900, σ 0.8-1.2	Lognormale verdeling waarbij de meerderheid van de bevolking onder het gemiddelde verdient, en er een aantal uitschieters zijn voor een realistisch beeld.
TPB-factoren	-	(zie Berekening factoren en wegingen)
TPB-weights	Willekeurige waarde tussen 0 en 1	N.v.t.

Aantal inwoners per huishouden

In de simulatie wordt het aantal inwoners verdeeld over woningen, waarbij het gemiddelde aantal inwoners per woning 2,11 bedraagt. Omdat een woning altijd minstens één bewoner moet hebben, wordt hiervoor een afgeknotte Poisson-verdeling gebruikt, zodat het aantal inwoners per woning nooit nul kan zijn (zie Startwaarden).

Het totale aantal woningen wordt niet vooraf vastgesteld. In plaats daarvan worden de inwoners verdeeld over woningen volgens de afgeknotte Poisson-verdeling. Omdat een woning altijd een geheel aantal inwoners moet hebben, kan het voorkomen dat er een "overblijver" is die niet binnen de standaardverdeling past. In dat geval krijgt deze overblijvende inwoner een eigen woning toegewezen. Dit zorgt ervoor dat het aantal woningen zich dynamisch aanpast aan het aantal inwoners in de simulatie.