

Amsterdam, augustus 2020
In opdracht van de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM)

Woningwaarde op prijs stellen

Beoordeling van modellen voor het meten van waardevermindering van
woningen door aardbevingen

Carl Koopmans
Ward Rougoor



seo economisch onderzoek

“De wetenschap dat het goed is”

SEO Economisch Onderzoek doet onafhankelijk toegepast onderzoek in opdracht van overheid en bedrijfsleven. Ons onderzoek helpt onze opdrachtgevers bij het nemen van beslissingen. SEO Economisch Onderzoek is gelieerd aan de Universiteit van Amsterdam. Dat geeft ons zicht op de nieuwste wetenschappelijke methoden. We hebben geen winst oogmerk en investeren continu in het intellectueel kapitaal van de medewerkers via promotietrajecten, het uitbrengen van wetenschappelijke publicaties, kennisnetwerken en congresbezoek.

SEO-rapport nr. 2020-56

Informatie & Disclaimer

SEO Economisch Onderzoek heeft op de verkregen informatie en data geen onderzoek uitgevoerd dat het karakter draagt van een accountantscontrole of due diligence. SEO is niet verantwoordelijk voor fouten of omissies in de verkregen informatie en data.

Copyright © 2020 SEO Amsterdam. Alle rechten voorbehouden. Het is geoorloofd gegevens uit dit rapport te gebruiken in artikelen, onderzoeken en collegesyllabi, mits daarbij de bron duidelijk en nauwkeurig wordt vermeld. Gegevens uit dit rapport mogen niet voor commerciële doeleinden gebruikt worden zonder voorafgaande toestemming van de auteur(s). Toestemming kan worden verkregen via secretariaat@seo.nl

Conclusies

Het model van Atlas voldoet in vergelijking met de modellen van Elhorst en Invisor beter aan door SEO gestelde wetenschappelijke kwaliteitscriteria. Het model van Invisor kent zelfs ernstige beperkingen. Daarom is het model van Atlas het meest geschikt om de hoogte van financiële compensatie voor waardedaling te bepalen.

Inleiding en achtergrond

Er worden een procedures gevoerd over compensatie van waardedaling door (het risico op) aardbevingen voor woningeigenaren in Noord-Nederland. Daarbij bestaat discussie over de vraag welk model het beste geschikt is om waardedaling van woningen te meten als basis voor compensatie. Deze rapportage heeft tot doel om drie recente aardbevingsmodellen te beoordelen en inzichtelijk te maken welke van de drie zich het beste leent voor het meten van waardedaling door aardbevingsrisico.

We beoordelen elk model met behulp van een vaste set van 15 wetenschappelijke criteria. Dit waarborgt dat de modellen langs dezelfde meetlat gelegd worden. Het (theoretisch) ideale model zou aan al deze criteria tegelijkertijd voldoen. In praktijk gelden praktische beperkingen en moeten keuzes gemaakt worden. Hierdoor ontstaan afwijkingen van dit theoretisch ideaal.

Het model van Atlas voor gemeenten

Het meest recente model van Atlas voor gemeenten (Poort et al, 2019) bouwt voort op vier eerdere versies van hetzelfde model. De methode is in grote lijnen gelijk gebleven, maar wel met elke nieuwe versie verfijnd. Het model voldoet aan het merendeel van door SEO gestelde wetenschappelijke criteria en aan alle zogenoemde 'kerncriteria'. Het model hanteert gerealiseerde verkoopprijzen van individuele woningen en een uitgebreide set woning- en locatienmerken. Ook corrigeert Atlas het model middels een zogenoemde drempelwaarde voor lichte trillingen die geen schade veroorzaken aan woningen en gebouwen.

Het model van Atlas maakt onderscheid tussen het effect van opgetreden aardbevingen nabij de specifieke woningen en een algemeen imago-effect voor het aardbevingsgebied als geheel. De relatieve omvang van het imago-effect zoals geschat door Atlas (meer dan de helft van het totale effect) suggereert dat het belangrijk is om een imago-effect op te nemen.

De uitkomsten van het model van Atlas zijn robuust. Atlas heeft het meest recente model, en de modellen die eraan voorafgingen, onderworpen aan tal van gevoeligheidsanalyses. Op deze manier zijn alle cruciale veronderstellingen getoetst. Daar waar gevoeligheidsanalyses er aanleiding toe gaven heeft Atlas het model aangepast. Dit maakt dat de uitkomsten van de verschillende modellen logisch en verklaarbaar zijn, ten opzichte van elkaar en ook ten opzichte van uitkomsten van eerdere modellen.

Het model van Elhorst

Het model van Elhorst is een verbeterde versie van een eerder door hem (met Durán) ontwikkeld model. Het model heeft diverse eigenschappen die voldoen aan de door SEO gestelde wetenschappelijke criteria. Het model hanteert gerealiseerde verkoopprijzen van individuele woningen en een

uitgebreide set woning- en locatiekenmerken. Het model kent echter ook minder goede eigenschappen. Zo is een beperkt aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd; hierdoor is de robuustheid van het model slechts ten dele onderzocht. De aardbevingsindicator in het model is slechts ten dele geschoond voor lichte trillingen, zodat het model mogelijk lichte trillingen meeneemt die geen schade veroorzaken aan woningen en gebouwen.

Elhorst bepleit om voor compensatie een peildatum in 2014 te kiezen, omdat toen de prijsdalingen het grootst waren. Hij verdedigt dit door te wijzen op de ‘misère’ die bewoners indertijd hebben ondervonden. Hij lijkt daarbij geen rekening te houden met het feit dat het vergoeden van waarde-daling slechts één van meerdere mogelijke vergoedingen is, naast onder meer de vergoeding van immateriële schade en derving van woongenot, waarover afzonderlijke procedures worden gevoerd.

De waardedalingen die het model van Elhorst voorspelt zijn onwaarschijnlijk hoog. Als deze dalingen worden gebruikt om te voorspellen hoe de woningmarkt in Groningen zich zonder aardbevingen zouden hebben ontwikkeld, zijn de uitkomsten implausibel.

Het model van Invisor

Het model van Invisor kent ernstige beperkingen. Het voldoet niet aan diverse wetenschappelijke criteria. Het model is gebaseerd op buurt- en gemeentegemiddelden en gebruikt WOZ-waarden in plaats van gerealiseerde verkoopprijzen van individuele woningen. WOZ-waarden zijn slechts een schatting van de eigenlijke woningwaarde en daarmee minder geschikt dan transactiepreizen als basis voor in een model. Bovendien is in het model slechts een beperkte set woning- en locatiekenmerken opgenomen. Er zijn weinig gevoeligheidsanalyses uitgevoerd met het model, waardoor de robuustheid slechts ten dele is getoetst.

Een belangrijke vergissing van Invisor is dat kenmerken van bewoners (zoals hun inkomen) worden gebruikt om woningprijzen te verklaren. In werkelijkheid is dit een causaal verband in twee richtingen. Hierdoor is het zeer goed mogelijk dat het aardbevingseffect wordt overschat. Het model kent grote en onverklaarbare prijsverschillen tussen buurten. Het model voorspelt bovendien onwaarschijnlijk grote waardedalingen. Als op basis daarvan zou worden voorspeld hoe de woningmarkt in Groningen zich zonder aardbevingen zou hebben ontwikkeld, zijn de uitkomsten implausibel.

Invisor formuleert ook een zogenaamd extrapolatiemodel, waarin uitkomsten van Elhorst voor peiljaar 2014 met behulp van het model van Invisor zijn geëxtrapoleerd naar peiljaar 2019. Dit extrapolatiemodel lijdt aan de beperkingen van zowel het model van Elhorst als van het model van Invisor, want uitkomsten van beide modellen worden gebruikt om de extrapolatie uit te voeren. Daarom is dit extrapolatiemodel niet nader beschouwd bij het kiezen van het beste model.

Totaalbeeld

De figuur op de volgende pagina vat het totaalbeeld samen. De modellen zijn gewogen aan de hand van 15 criteria. Indien volledig aan het criterium is voldaan is dit weergegeven met de kleur (licht)groen. Wanneer gedeeltelijk is voldaan geven we dit weer met de kleur (licht)oranje en indien het betreffende model nadrukkelijk afwijkt van het gestelde criterium is dit weergegeven met een

(licht)rode kleur. Zogenaemde kerncriteria (donkere kleurstelling) zijn cruciaal voor de geschiktheid van het model.

Alle verschillen tussen de modellen samen overziend is de conclusie dat het model van Atlas voor gemeenten het meest geschikt is om waardedaling als gevolg van (het risico op) aardbevingen te meten. Het model van Invisor kent ernstige beperkingen, zoals een verkeerde invulling van het model en grote onverklaarde verschillen tussen buurten. Zowel Elhorst als Invisor berekenen onwaarschijnlijk grote waardedalingen. De oorzaak van de onwaarschijnlijk hoge waardedalingen van Elhorst en Invisor is niet goed te verklaren doordat bij deze modellen beperkte gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd.

Het model van Atlas voldoet zodoende het best aan de gestelde kerncriteria en is daarmee het meest geschikt om de hoogte van financiële compensatie voor waardedaling te bepalen.

Figuur S.1 Het model van Atlas voor gemeenten benadert het theoretisch ideale model het dichtst

Criterion ideale model	Kerncriterium	Atlas voor gemeenten	Elhorst	Invisor
1. Woningprijzen				
1a. Op basis van gerealiseerde verkoopprijzen	✓	Gerealiseerde verkoopprijzen	Gerealiseerde verkoopprijzen	WOZ-waarden
1b. Op basis van individuele woningen	✓	Individuele woningen	Individuele woningen	Buurten en gemeenten
1c. Rekening houdend met correlatie in tijd en ruimte		Matching gecorrigeerd voor tijd en gedeeltelijk voor ruimte	Matching met woningen in de buurt in dezelfde tijdsperiode	Geen matching
2. Verklarende factoren in het model				
2a. Een zo volledig mogelijke set woningkenmerken	✓	Uitgebreide set woningkenmerken	Uitgebreide set woningkenmerken	Beperkte set woningkenmerken
2b. Een zo volledig mogelijke set locatiekenmerken	✓	Uitgebreide set locatiekenmerken	Uitgebreide set locatiekenmerken	Beperkte set locatiekenmerken
2c. Woningkenmerken en locatiekenmerken simultaan schatten of matching.		Matching op basis van locatiekenmerken	Matching op basis van woningkenmerken	Simultaan geschat
2d. Verklarende variabelen worden niet zelf beïnvloed door woningwaarde	✓	Voldoet aan criterium	Voldoet aan criterium	Kenmerken van bewoners gebruikt die worden beïnvloed door woningwaarde
2e. Mogelijkheid van een niet-evenredig verband aardbevingen en woningprijzen		Veronderstelt een evenredig verband, gevoeligheid onderzocht	Maakt niet-evenredig verband mogelijk	Veronderstelt een evenredig verband
3. Aardbevingsindicator				
3a. Locatiespecifiek		Aantal bevingen/gecumuleerde PGV op locatie woning	Verschil in gecumuleerde PGV op locatie woning	Verandering gecumuleerde PGV, per buurt/gemeente
3b. Neemt cumulatie van zeer kleine trillingen niet mee	✓	Drempelwaarden grondversnelling	Drempelwaarde Richter 1,8 filtert lichte trillingen gedeeltelijk	Drempelwaarde grondversnelling
3c. Geleidelijke afname in de tijd van effect eerdere aardbevingen		Geen afname in de tijd	Geen afname in de tijd	Plotseling terugval na 1, 3 of 5 jaar
4. Aardbevingsgebied				
4a. Als een aardbevingsgebied wordt bepaald dient dit op empirische gronden te zijn gedaan	✓	Empirisch bepaald in separate analysestap	Geen bepaling aardbevingsgebied	Achteraf empirisch bepaald
5. Robuust en reproduceerbaar				
5a. Gevoeligheidsanalyses laten zien dat gevonden effect robuust is	✓	Uitgebreide set gevoeligheidsanalyses	Beperkte set gevoeligheidsanalyses	Beperkte set gevoeligheidsanalyses
5b. Controleerbaarheid/reproduceerbaarheid van berekeningen en data		Transparante rapportage. NVM data niet openbaar	Uitvoerige rapportage. NVM data niet openbaar	Beknopte, ondoorzichtige rapportage. Data openbaar
5c. Geen grote onverklaarde verschillen, onwaarschijnlijke uitkomsten	✓	Uitkomsten per modelvariant logisch/verklaarbaar	Uitkomsten zijn onwaarschijnlijk hoog	Grote onverklaarde verschillen

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Inhoud

Conclusies	i
1 Inleiding	1
2 Hedonische prijzen methode	3
3 Aanpak van de beoordeling	13
3.1 Beoordelingsmethode	13
3.2 Criteria ideaal model	17
3.3 Kerncriteria.....	21
4 Het model van Atlas voor gemeenten	23
4.1 Beschrijving model Atlas voor gemeenten.....	23
4.2 Opmerkingen bij het model van Atlas	27
5 Het model van Elhorst	37
5.1 Beschrijving model Elhorst	37
5.2 Opmerkingen bij het model van Elhorst.....	40
6 Het model van Invisor	47
6.1 Beschrijving model Invisor.....	47
6.2 Opmerkingen bij het model van Invisor	51
6.3 Invisor 2020 vergeleken met Invisor 2019.....	57
7 Het meest geschikte model	63
Literatuur	67
Bijlage A Vraag en aanbod	69
Bijlage B Aardbevingseffect Invisor	71

1 Inleiding

De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) heeft SEO Economisch Onderzoek gevraagd om drie aardbevingsmodellen te beoordelen. Het doel is om inzichtelijk te maken welke van de drie zich het beste leent voor het meten van waardedaling door aardbevingsrisico. De beoordeling vindt plaats op basis van een set criteria.

Er worden een procedures gevoerd over compensatie van waardedaling door (het risico op) aardbevingen voor woningeigenaren in Noord-Nederland. Daarbij bestaat discussie over de vraag welk model het beste geschikt is om waardedaling van woningen te meten als basis voor compensatie. De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) heeft SEO Economisch Onderzoek gevraagd om drie aardbevingsmodellen te beoordelen en inzichtelijk te maken welke van de drie zich het beste leent voor het meten van waardedaling door aardbevingsrisico.

We beoordelen elk model met behulp van een vaste set van criteria. Dit waarborgt dat de modellen langs dezelfde meetlat gelegd worden. Het (theoretisch) ideale model zou aan al deze criteria tegelijkertijd voldoen. In praktijk gelden praktische beperkingen en moeten keuzes gemaakt worden. Hierdoor ontstaan afwijkingen van dit theoretisch ideaal. We laten zien welk(e) model(len) het dichtst bij dit ideaal kom(t)(en).

Hoofdstuk 2 fungeert als toelichting op de methode die de modellen toepassen. Daarbij wordt getracht om een aantal belangrijke begrippen uit de econometrie in niet-technische termen uit te leggen. Dit geeft de lezer een basis om de andere hoofdstukken van de rapportage tot zich te kunnen nemen. In hoofdstuk 3 beschrijven we de aanpak van de beoordeling, waarbij het met name gaat om de criteria die worden gebruikt.

In hoofdstukken 4, 5 en 6 komen achtereenvolgens de modellen van Atlas voor gemeenten, Elhorst en Invisor langs. Elk van deze hoofdstukken start met een beschrijving van de kenmerken van het model. De tweede paragraaf van elk van deze hoofdstukken beschouwt het betreffende model kritisch. We formuleren waar relevant kritiek bij de opzet, uitvoering of rapportage van de studies en modellen. Voor zover derden reeds kritiek hebben geformuleerd op de modellen, nemen we die mee in onze beschouwing.

Het zevende en laatste hoofdstuk bevat een overzicht waarin alle drie de modellen langs de meetlat van het ideale model gelegd worden. Het model dat dit theoretisch ideaal het dichtst benadert is het meest geschikt om te worden gebruikt als basis voor het meten van waardedaling door aardbevingen.

2 Hedonische prijzen methode

De hedonische prijzenmethode¹ gaat na hoe de prijs van een goed wordt beïnvloed door kenmerken van dat goed. Deze methode is geschikt om de invloed van aardbevingen op woningprijzen te meten. De drie modellen die we beoordelen gebruiken deze methode.

Hoe werkt de hedonische prijzen methode?

De drie hierna beoordeelde modellen gaan uit van de hedonische prijzen methode. De hedonische² prijzen methode schat de waarde (positief of negatief) van een verschijnsel dat niet op markten wordt verhandeld, door de invloed van dat verschijnsel te schatten op prijzen van goederen die wél in een markt worden verhandeld. Een belangrijke toepassing is de invloed van ‘externe effecten’ op de prijs van woningen. Zo is onderzocht hoe geluidhinder rond Schiphol de prijzen van woningen negatief beïnvloedt³, en hoe groot de positieve invloed van natuur en water is op de prijs van woningen in de omgeving⁴. In de economische wetenschap wordt de hedonische prijzen methode beschouwd als een betrouwbare aanpak; uiteraard afhankelijk van de toepasbaarheid en van een goede uitvoering van de methode.⁵

De hedonische prijzen methode gaat ervan uit dat de prijs van een goed in sterke mate wordt bepaald door eigenschappen van dat goed. Zo wordt de prijs van een auto sterk beïnvloed door de binnenruimte, het motorvermogen en het imago van het merk of het autotype. Dus wat hedonische regressie doet is proberen de invloed van één onderdeel van zo’n ‘totaal-goed’ op de totale prijs te bepalen. Bijvoorbeeld: wat is het effect van het imago van een merk op de totale prijs van tweedehandsauto’s? Dan breng je alle kenmerken van de verkochte auto’s in kaart en probeer je te analyseren welk deel van de prijsverschillen wordt veroorzaakt door het merk.

Een woning is, net als een auto, op te vatten als een bundel van eigenschappen. Voorbeelden van zulke eigenschappen zijn het aantal kamers en de reistijd naar werklocaties en voorzieningen. Het risico op aardbevingen is net als bijvoorbeeld geluidhinder een eigenschap van woningen die de prijs kan beïnvloeden.

De hedonische prijzen methode kan worden gebruikt om de invloed van aardbevingen op woningprijzen te schatten. De kern is een zogenoemde ‘regressieanalyse’ waarin wordt berekend hoe een groot aantal kenmerken (waaronder het risico op aardbevingen) invloed heeft op de prijs van woningen:⁶

¹ Deels gebaseerd op Pearce et al. (2006), p. 93-96.

² De naam van deze methode verwijst naar beleving van consumenten, niet naar hedonisme.

³ Zie bijvoorbeeld Dekkers & Van der Straaten (2009).

⁴ Zie bijvoorbeeld Visser & Van Dam (2006).

⁵ Zie bijvoorbeeld: Owusu-Ansah (2011); Rouwendal en Rietveld (2000).

⁶ Meestal wordt de logaritme van de woningprijs gebruikt. Dat heeft als gevolg/voordeel dat de geschatte coëfficiënten (bij benadering) te interpreteren zijn als een percentage van de woningprijs weergeven.

(Logaritme⁷ van) Woningprijs = constante + Coëfficiënt_1 x Kenmerk_1 + Coëfficiënt_2 x Kenmerk_2 + [et cetera]

In deze regressie zijn Kenmerk_1, Kenmerk_2 et cetera de eigenschappen van de woning (bijvoorbeeld woonoppervlak, aantal kamers, geluidhinder, ...). Afhankelijk van het model worden enkele tientallen kenmerken in de regressieanalyse opgenomen. In de regressieanalyses kunnen ook één of meer kenmerken als indicator(en) van aardbevingsrisico worden opgenomen (bijvoorbeeld het opgetreden aantal bevingen).

De coëfficiënten geven de omvang van het effect van de kenmerken op de woningprijs weer (zie ook het voorbeeld hieronder). Coëfficiënt_1, Coëfficiënt_2 et cetera worden berekend met een gegevensbestand dat voor een groot aantal woningen zowel de prijs (bijvoorbeeld gerealiseerde verkoopprijzen) als de woningkenmerken bevat. De coëfficiënten worden zodanig berekend dat de vergelijking een zo goed mogelijke voorspelling oplevert van de woningprijs; en een zo goed mogelijke schatting geeft van de invloed van de woningkenmerken op de woningprijs.

Het is in de hedonische prijsmethode gebruikelijk om de logaritme van de woningprijs te gebruiken, in plaats van de woningprijs zelf. Dit heeft als voordeel dat de coëfficiënten verhoudingen (relatieve verschillen) meten. Als bijvoorbeeld Coëfficiënt_2 gelijk is aan 0,01, zal een stijging van Kenmerk_2 met één leiden tot een relatieve stijging van de woningprijs met ongeveer één procent⁸.

Als bijvoorbeeld Kenmerk_2 het aantal opgetreden aardbevingen betreft, geeft Coëfficiënt_2 het effect van één extra aardbeving weer. Coëfficiënt_2 is dan naar verwachting negatief. Stel bijvoorbeeld dat Coëfficiënt_2 gelijk is aan min 0,01. Dan laat elke extra aardbeving de prijs met circa 1% afnemen.

Vereenvoudigd en fictief voorbeeld: woningprijzen, garages en aardbevingen

Stel dat uit een hedonische prijsanalyse het volgende komt:

$$\text{Logaritme van Woningprijs} = 12 + 0,05 \times \text{Garage} - 0,01 \times \text{Aantal_aardbevingen}$$

Hierin is Garage gelijk aan één als de woning een garage heeft, en anders nul.

De vergelijking laat zien dat het positieve effect van een garage (0,05) even groot is als het negatieve effect van vijf aardbevingen: (5 x -0,01 =) -0,05. In werkelijkheid gebruiken woningprijsmodellen meestal niet het aantal aardbevingen maar de (bij elkaar opgetelde, ook wel ‘cumulatieve’ genoemd) kracht van opgetreden aardbevingen. Om dit voorbeeld eenvoudig te houden hanteert dit voorbeeld echter simpelweg het aantal aardbevingen.

⁷ De schaal van Richter is een voorbeeld van een logaritmische schaal met grondgetal 10. Een aardbeving van 4 op de schaal van Richter is tienmaal zo zwaar als een aardbeving van 3 op de schaal van Richter. In regressieanalyse wordt vaak gebruik gemaakt van een zogenoemde natuurlijke logaritme met niet 10 maar 2,718 (ook wel e genoemd) als grondtal.

⁸ e (=2,718) tot de macht 0,01 min 1. Voor de fijnproevers: e tot de macht x is, als x klein is, bij benadering gelijk aan $1+x$. Bijvoorbeeld e tot de macht 0,01 is gelijk aan 1,01005, dus vrijwel gelijk aan $1 + 0,01 = 1,01$. “ e ” is het grondtal van de logaritme. e is een wiskundige constante (net als bijvoorbeeld de meer bekende constante $\pi=3,14$), zie [https://nl.wikipedia.org/wiki/E_\(wiskunde\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/E_(wiskunde)).

Stel dat een huis een garage heeft en drie aardbevingen heeft ondervonden. Dan is de voorspelling van de logaritme van de woningprijs: $12 + 0,05 \times 1 - 0,01 \times 3 = 12,02$. De voorspelde prijs van deze woning is dan $e^{12,02} (=2,718)$ tot de macht 12,02 is € 166.043. Als er geen aardbevingen zouden zijn geweest, zou de voorspelling van de logaritme van de prijs van deze woning zijn: $12 + 0,05 \times 1 = 12,05$. De voorspelde prijs van deze woning is dan $e^{12,05}$ tot de macht 12,05 is € 171.099. De prijs met aardbevingen ligt $((€ 171.099 - € 166.043) / € 171.099 = 2,95\%)$ lager dan de prijs zonder aardbevingen.

R-kwadraat (R^2)

R-kwadraat is een statistische meeteenheid voor de mate waarin een regressie (zoals een hedonische prijsanalyse) erin slaagt de (variatie in) de afhankelijke variabele (in dit geval de prijs van woningen) te verklaren uit de in het model opgenomen verklarende variabelen (in dit geval woningkenmerken, aardbevingskenmerken en andere locatiekenmerken⁹).

De R-kwadraat kan een waarde aannemen variërend van 0 tot 1 (ofwel 0 tot 100%). Hierbij betekent 0 dat de regressie geen enkele verklarende kracht heeft en 1 dat de regressie de te verklaren variabele volledig verklaart. In veel gevallen is het doel van een regressiemodel overigens niet om de afhankelijke variabele volledig te verklaren. Meestal en ook nu is het doel om de invloed van een aspect (in dit geval aardbevingsrisico) op die afhankelijke variabele (in dit geval woningprijzen) te verklaren.

Bijvoorbeeld: als de R-kwadraat van een hedonische prijsanalyse 0,6 is, betekent dit dat 60% van de verschillen in prijzen tussen woningen wordt 'verklaard' door verschillen in woningkenmerken. De overige 40% van de prijsverschillen tussen woningen blijft 'onverklaard'. Bij die 'onverklaarde' verschillen kunnen woningkenmerken een rol spelen die niet in de hedonische prijsanalyse zijn opgenomen (bijvoorbeeld omdat er geen gegevens over zijn, zoals de kleur van de buitenmuren), maar ook andere factoren (bijvoorbeeld: heeft de verkoper handig onderhandeld over de prijs?).

R-kwadraat is mede door zijn eenvoud een populaire maatstaf voor de kracht van een econometrisch model. Daarin schuilt overigens ook direct een gevaar. Het is verleidelijk om het model zodanig in te vullen dat de R-kwadraat wordt gemaximaliseerd.¹⁰ Om die reden leren econometrie-studenten in de eerste les al dat een hoge R-kwadraat slechts één van de aspecten van een goed model is, en geen doel op zich. Een zeer hoge R-kwadraat kan zelfs duiden op specificatiefouten in de regressie. Het kan het gevolg zijn van 'data mining': het eindeloos zoeken naar variabelen die de R-kwadraat verhogen. Er kunnen dan variabelen worden gevonden die puur toevallig een verband lijken te hebben met de woningprijs. Een klassiek voorbeeld van zo'n toevallig verband is onderzoek waarin het aantal geboorten wordt verklaard door het aantal ooievaars.¹¹

⁹ Voorbeelden van locatiekenmerken zijn de nabijheid van groen of monumenten, of van een grote stad met banen en voorzieningen.

¹⁰ Dit is overigens relatief eenvoudig. Een van de nadelen van R-kwadraat is dat deze nooit afneemt (en meestal toeneemt) wanneer een extra variabele wordt opgenomen in de regressie. Om die reden wordt vaak gebruik gemaakt van de zogenoemde 'adjusted R^2 ' waarin gecorrigeerd wordt voor het aantal opgenomen verklarende variabelen.

¹¹ Zie Matthews, R. (2000). Storks deliver babies ($p= 0.008$). Teaching Statistics, 22(2), 36-38.

Betrouwbaarheid van modellen en omgaan met onzekerheid

Een model dat gebruikt wordt voor het bepalen en vergoeden van waardedaling door aardbevingsrisico dient een zo betrouwbaar en nauwkeurig mogelijke puntschatting te geven. De criteria die deze rapportage stelt aan aardbevingsmodellen (zie daarvoor hoofdstuk 3) gaan om die reden direct of indirect over de betrouwbaarheid van deze modellen. Auteurs van aardbevingsmodellen (in dit geval Atlas, Elhorst en Invisor) hebben diverse mogelijkheden om de betrouwbaarheid van het model inzichtelijk te maken.

Zo kunnen veronderstellingen worden getoetst middels zogenoemde gevoeligheidsanalyses. In het geval van aardbevingsmodellen kan bijvoorbeeld een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd worden om na te gaan of de analyse dient te worden uitgevoerd op basis van verkoopprijzen uit de gehele periode 2012-2019, of dat het misschien beter is (bijvoorbeeld) onderscheid te maken tussen de periode 2012-2016 enerzijds en de periode 2017-2019 anderzijds.

In zo'n analyse wordt in de uitgevoerde regressieanalyse een bepaalde (onzekere) veronderstelling vervangen door een andere veronderstelling en wordt de eerder berekende uitkomst opnieuw berekend aan de hand van deze andere veronderstelling. In een betrouwbaar (ook wel robuust genoemd) model leidt de uitkomst van de gevoeligheidsanalyse niet tot drastisch andere uitkomsten. Is dat wel het geval dan is het namelijk zo dat de getoetste veronderstelling van grote invloed blijkt op de uitkomsten. Dit vereist vervolgens nadere onderbouwing van deze veronderstelling, of een alternatieve veronderstelling.

De eerder besproken R-kwadraat is bruikbaar als middel om de verklarende kracht van het model in te schatten (met de hierboven genoemde kanttekening). Op een vergelijkbare wijze zijn ook cijfers voorhanden om de nauwkeurigheid van de geschatte effecten in het model te schatten. De meest bekende hiervan is de zogenoemde standaardfout.

Standaardfout

De standaardfout is een getal dat dient als maat voor de nauwkeurigheid van een meting van een effect (met andere woorden: van de gemeten coëfficiënt), bijvoorbeeld het effect van aardbevingen. Bij het uitvoeren van een regressieanalyse en het berekenen van de coëfficiënten uit die analyse geeft het statistisch computerprogramma dat de regressieanalyse uitvoert voor elke berekende coëfficiënt de meest waarschijnlijke uitkomst van de coëfficiënt (de zogenoemde 'puntschatting'). Tevens volgt uit het statistische computerprogramma voor elke berekende coëfficiënt naast de puntschatting de standaardfout die de betrouwbaarheid van het gemeten effect (puntschatting) weer geeft. De standaardfout geeft weer hoe zeker we kunnen zijn van de uitkomsten van een meting.

Een lage standaardfout geeft dus een betrouwbare schatting van de coëfficiënt aan. Hoe laag de standaardfout is, is onder meer afhankelijk van de kwaliteit van het model en de grootte van de steekproef. De standaardfout is kleiner bij een beter model of een grotere steekproef.

De standaardfout is tevens de meest gangbare wetenschappelijke maat voor het begrip 'statistisch significant'. Statistische significantie is de aannemelijkheid dat een gevonden verband in de statistiek niet op toeval berust maar een werkelijk verband is. Een kleine standaardfout in verhouding tot het gevonden effect geeft aan dat het effect significant is. Voor een kleine standaardfout is een goed model en een grote steekproef nodig. Een effectmeting wordt statistisch significant genoemd

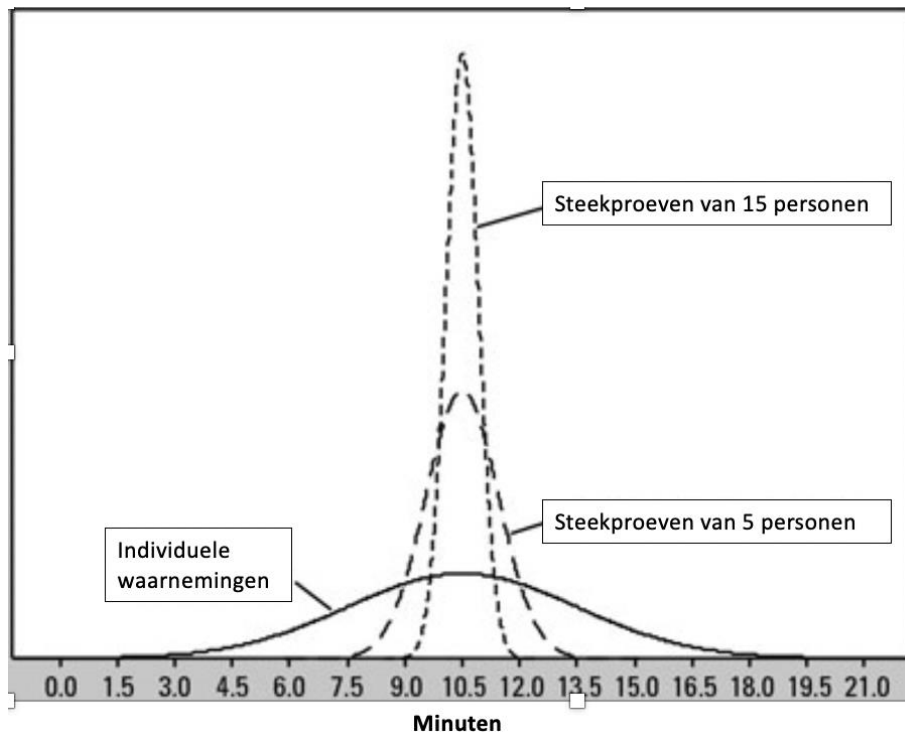
wanneer met 95% zekerheid kan worden gesteld dat het gemeten effect daadwerkelijk afwijkt van nul (waarbij nul aanduidt dat er geen verband is). Als een meting statistisch significant is, ligt het gemeten effect, in combinatie met de door de standaardfout weergegeven precisie van het model, zo ver af van 0 dat het onwaarschijnlijk is dat het effect (toch) berust op toeval. Het is in dit geval dus 95% zeker dat er een positief of negatief verband bestaat.

Voorbeeld: hoe hard lopen leerlingen?

Hoe de hoogte van de standaardfout samenhangt met de omvang van de steekproef wordt geïllustreerd in de figuur hieronder. Stel dat een gymleraar van een grote middelbare school wil onderzoeken hoe lang het alle 16-jarige leerlingen van zijn school gemiddeld kost om een kilometer hard te lopen. Individuele leerlingen in die leeftijd doen er tussen de 3 en 18 minuten over om een kilometer te lopen, met een gemiddelde van 10,5 minuten. Dit weet de gymleraar echter niet en het is voor hem niet haalbaar om alle leerlingen een kilometer hard te laten lopen tijdens de les en de tijden bij te houden.

Hij kiest er dus voor om uit elke klas 16-jarigen een steekproef te trekken en daarvan het gemiddelde te noteren. Eerste trekt hij uit elke klas een steekproef van 5 personen, laat deze 5 personen 1 kilometer hardlopen en noteert de gemiddelde tijd van elke steekproef. Het valt hem op dat er grote verschillen bestaan tussen de steekproeven. De snelste steekproef liep de kilometer in gemiddeld 7,5 minuten. De langzaamste steekproef die hij trok deed er gemiddeld zomaar liefst 13,5 minuten over (zie figuur). Op basis hiervan durft de gymleraar geen conclusies te trekken. Individuele steekproeven leveren grote verschillen in uitkomsten op. In het geval van een kleine steekproef is de variatie tussen steekproeven groot. Dit laat zien dat de meting onnauwkeurig is. De onnauwkeurigheid van een meting op basis van een kleine steekproef komt tot uiting in een grote standaardfout.

Figuur 2.1 De nauwkeurigheid van de meting neemt toe bij een grotere steekproef. De standaardfout neemt dan af.



De gymleraar besluit bij zijn tweede poging uit elke klas 15 leerlingen te kiezen en hun te vragen een kilometer hard te lopen. Zijn steekproeven zijn nu driemaal zo groot. Bij een gemiddelde klas van 30 personen meet de gymleraar van de helft van de leerlingen hun kilometertijd. Dit is een veel betere basis om conclusies te trekken over de populatie (alle 16-jarigen op school). De leraar ziet inderdaad dat de gemiddelden tussen steekproeven uit verschillende klassen afnemen. De snelste steekproef van 15 personen doet er gemiddeld 9 minuten over, de langzaamste 12. De spreiding van zijn steekproefmetingen is nu lager, de nauwkeurigheid van elke meting is hoger. De standaardfout is kleiner. De leraar durft deze spreiding wel aan en concludeert op basis van zijn verschillende steekproeven dat de gemiddelde leerling op school 10,5 minuten nodig heeft om een kilometer te overbruggen.

Standaarddeviatie

De standaarddeviatie is een maat voor de spreiding in een populatie of steekproef. Het is een eigenschap van een groep waarnemingen en gaat dus niet over de accuratesse van de meting van een effect (zoals de standaardfout).

Veel verschijnselen zijn te beschrijven met behulp van een zogenoemde normale verdeling. Kenmerken van deze verdeling zijn dat de verdeling symmetrisch geconcentreerd is rond een centrale waarde en afwijkingen van deze centrale waarde steeds onwaarschijnlijker worden naarmate de afwijking groter is. Voorbeelden van min of meer normaal verdeelde variabelen zijn de lengte van mannen of het IQ van personen. Bij dit soort 'normaal verdeelde' verschijnselen bevindt 68,27%

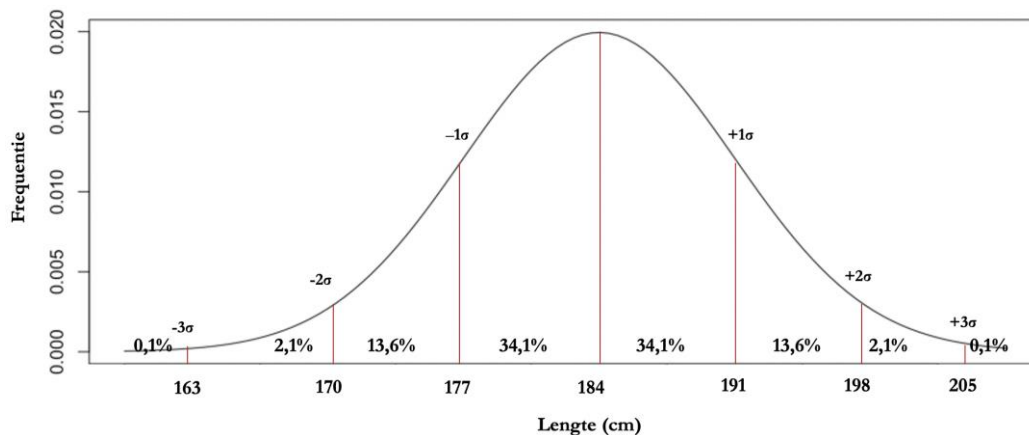
van de waarnemingen zich binnen een standaarddeviatie (aan beide kanten) van het gemiddelde.¹² 95,45% van de waarnemingen bevindt zich binnen 2 standaarddeviaties van het gemiddelde en 99,73% van de waarnemingen bevindt zich binnen 3 standaarddeviaties van het gemiddelde. De figuur hieronder illustreert dit nader.

Voorbeeld: de lengte van mannen

De lengte van mannen is een min of meer normaal verdeeld verschijnsel. In de figuur hieronder is de gemiddelde (en tevens meest voorkomende) lengte van mannen 1,84 meter. De rode lijnen geven standaarddeviaties (σ) weer ten opzichte van dit gemiddelde. De standaarddeviatie in dit voorbeeld is 7 centimeter. Uit de figuur is vervolgens af te lezen:

- 34,1% van de mannen is tussen 184 en 191 cm (tussen gemiddelde en $+1\sigma$)
- 15,8% (13,6% + 2,1% + 0,1%) van de mannen is langer dan 191 cm ($+1\sigma$)
- 2,2% (2,1% + 0,1% van de mannen is langer dan 198 cm ($+2\sigma$)
- 0,1% van de mannen is langer dan 205 cm ($+3\sigma$)
- 2,2% (2,1% + 0,1%) van de mannen is kleiner dan 170 cm (-2σ)

Figuur 2.2 Illustratie normale verdeling en standaarddeviatie.



Ophogen is niet de norm

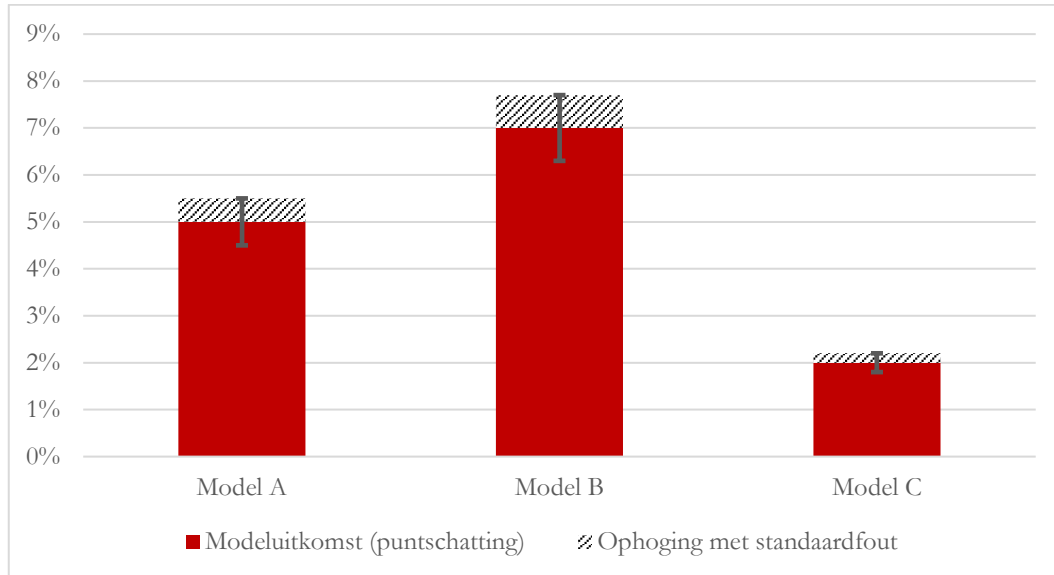
De adviescommissie Hammerstein (Hammerstein et al., 2019) is van mening dat bij het vaststellen van de waardedaling de onzekerheidsmarge in het voordeel van de benadeelden dient te zijn. De commissie adviseert zodoende om het becijferde percentage waardedaling te verhogen met eenmaal de standaardfout.

Deze werkwijze is visueel weergegeven in de figuur hieronder. Stel dat er drie modellen zijn met ieder een bepaalde modeluitkomst (de puntschatting): model A, model B en model C. De modeluitkomsten zijn weergegeven als rode staven. Deze modeluitkomsten weerspiegelen het in de modellen gemeten effect, bijvoorbeeld het effect van aardbevingen op woningprijzen. Hoe precies deze puntschatting is, weten we doordat uit de regressieanalyse waaruit de puntschatting volgt ook de standaardfout volgt. Hoe kleiner het getal van de standaardfout is, hoe nauwkeuriger de puntschatting is. In de figuur is dit aangeduid met de verticale spreidingsindicator rondom het gemeten

¹² In het geval van normaal verdeelde verschijnselen is het gemiddelde gelijk aan de mediaan (het middelste getal in een reeks) en tevens gelijk aan de meest voorkomende waarde (modus). Zie ook Figuur 2.2. Het gemiddelde, de mediaan en de modus zijn allemaal gelijk aan 184 centimeter.

effect (de verticale lijnstukken). De commissie Hammerstein stelt voor eenmaal¹³ de standaardfout op te tellen bij het gevonden effect; dit is geïllustreerd met het grijs gearceerde gebied. Het ophogen van de standaardfout komt erop neer dat bij een relatief onnauwkeurige meting (grote standaardfout) de verhoging groter is dan bij een zeer nauwkeurige meting (kleine standaardfout).

Figuur 2.3 Illustratie ophogen met standaardfout.



Bron: SEO Economisch Onderzoek

Invisor, Marenland en WAG stellen juist dat het om hetzelfde doel te bereiken beter is om een *standaarddeviatie* bij de becijferde waardedaling op te tellen.

Vanuit econometrisch perspectief valt over ophogen (met standaard fout of standaarddeviatie) het volgende te zeggen. Zoals hiervoor is uiteengezet, vormt de puntschatting de beste of meest waarschijnlijke benadering van het gemeten effect of verband. Als een wetenschapper gevraagd wordt het onderzochte effect of verband in één getal te vatten, dan zal een wetenschapper de puntschatting geven. Een wetenschapper zal zijn schattingsresultaten zoals gepubliceerd in een wetenschappelijk journal nooit verhogen of verlagen met een standaardfout of standaarddeviatie. Het gaat de wetenschapper om de kwaliteit en statistische zekerheid van de schatting zelf. De wetenschapper zal zijn standaardfout wel vermelden omdat deze iets zegt over de nauwkeurigheid van zijn schattingen. De door de Commissie Hammerstein geadviseerde ophoging heeft dus geen econometrische of wetenschappelijke basis. Hetzelfde geldt voor ophoging met een standaarddeviatie.

Omdat er vanuit econometrische wetenschap geen basis is voor ophoging kan er vanuit deze achtergrond niet zoveel ‘waarheid’ worden verschaft op dit punt. Beide methoden van ‘ophogen’ voor onzekerheid (standaardfout en standaarddeviatie) zijn vanuit de econometrische wetenschap gezien willekeurig.

¹³ We merken hierbij op dat een maal de standaardfout willekeurig is; dat had net zo goed een factor 0,5 of twee kunnen zijn.

Een correctie die reeds door de commissie Hammerstein (Hammerstein et al., 2019) wordt toegepast is de keuze voor de modelspecificatie van Atlas voor gemeenten met gemiddeld de hoogste uitkomsten.¹⁴ In die zin is het daarbovenop ophogen met een standaardfout of een standaarddeviatie dus dubbelop.

¹⁴ Zie hoofdstuk 4 voor de verschillende door Atlas gehanteerde voorkeursmodellen

3 Aanpak van de beoordeling

We beoordelen de modellen op basis van verschillende criteria. De keuze van criteria is erop gericht om na te gaan welke model het meest geschikt is om waardedaling door aardbevingsrisico te schatten. Voorbeelden van criteria zijn dat prijzen van individuele woningen worden gebruikt en dat het model een groot aantal verklarende factoren voor de woningprijs bevat.

3.1 Beoordelingsmethode

Bij het beoordelen van de modellen passen we een vaste set van criteria toe waaraan een ideaal model zou moeten voldoen. Op deze wijze zorgen we ervoor dat de drie modellen op dezelfde wijze worden beoordeeld. De criteria zijn opgesteld op basis van de volgende overwegingen en bronnen:

- Eigen analyse van de publicaties over de modellen op basis van algemene wetenschappelijke en specifieke econometrische kenmerken. Hierbij lag de nadruk op de verschillen tussen de modellen.
- Diverse commentaren die op de modellen zijn geleverd. Deze commentaren benadrukken verschillende aspecten van de drie modellen.
- Criteria in een eerdere beoordeling van modellen door OTB (Jansen et al., 2016). Op de relatie tussen de SEO-criteria en de OTB-criteria wordt hieronder nader ingegaan.

SEO heeft op basis hiervan een set van zo concreet en objectief mogelijke criteria opgesteld. Deze worden nader toegelicht in de volgende paragraaf.

Na de bespreking van de modellen in afzonderlijke hoofdstukken volgt een totaalbeeld van de beoordeling. Daarin laten we zien in welke mate de modellen voldoen aan de verschillende criteria.

Relatie SEO-criteria met OTB-criteria

Een beoordeling in 2016 door OTB van een negental eerdere modellen en methoden formuleert de volgende criteria (Jansen et al., 2016):

Ten aanzien van het doel

- a. Sluit het doel van het onderzoek aan op het door de opdrachtgever gewenste doel? Het gewenste doel is om een eventuele waardevermindering als gevolg van de aardbevingen in kaart te brengen zowel op macroniveau als op microniveau.

Ten aanzien van het model/methode

- b. Hoe wordt de impact van aardbevingen onderzocht?
 - Hoe is het risicogebied gedefinieerd?
 - Hoe is het referentiegebied gedefinieerd?
- c. Is de onderzochte periode goed (lang genoeg, recent genoeg, etc.)?
- d. Is de dataset voldoende groot?
- e. Zijn de juiste selectiecriteria toegepast op de dataset?
- f. Is de dataset representatief?
- g. Is het type statistische analyse geschikt voor beide doeleinden (macro- en microniveau)?

- h. Is de tijdsperiode (maand, kwartaal, etc.) goed gekozen?
- i. Is de technische uitwerking van het model correct?
- j. Is het gevonden effect betrouwbaar?

Ten aanzien van het rapport

- k. Worden de resultaten correct beschreven?
- l. Zijn de conclusies een logisch gevolg op de gepresenteerde resultaten?
- m. Zijn de aanbevelingen een logisch gevolg op de resultaten?

Ten aanzien van de inzichtelijkheid

- n. Is de methode transparant, simpel en reproduceerbaar?

Ten aanzien van specifieke punten

- o. Zijn er specifieke punten die een rol spelen in het betreffende model/methode of voorstel?

Deze criteria zijn vrij algemeen geformuleerd. Een voorbeeld is criterium *i*: *Is de technische uitwerking van het model correct?* De technische uitwerking kan een groot aantal concrete aspecten betreffen, zoals de wijze waarop aardbevingen worden gemeten, of bewonerskenmerken worden opgenomen of niet, en of rekening wordt gehouden met correlatie in tijd en ruimte tussen woningprijzen. We hebben getracht om de criteria zo concreet mogelijk te formuleren, met het oog op helderheid. Het feit dat het in dit rapport om een kleiner aantal modellen gaat (drie; bij OTB gaat het om negen modellen en methoden) die bovendien tot hetzelfde type model behoren (hedonische prijzen analyse), maakt concrete, toegespitste criteria beter mogelijk.

Diverse OTB criteria zijn niet onderscheidend tussen de drie modellen die in dit rapport worden behandeld:

- a. *Sluit het doel van het onderzoek aan op het door de opdrachtgever gewenste doel?*
Dat is bij alle drie de onderzoeken het geval: het doel - van de opdrachtgever of de onderzoeker(s) zelf - is het schatten van effecten van aardbevingen op woningwaardes. Dat doen alle drie de modellen.
- c. *Is de onderzochte periode goed (lang genoeg, recent genoeg, etc.)?*
Alle drie de modellen werken met een vrij lange, recente periode.
- g. *Statistische analyse geschikt voor macro en microniveau?*
De drie modellen passen hedonische prijsanalyse toe. Deze methode is zowel op macroniveau (analyse woningmarkt aardbevingsgebied) als op microniveau (schatten prijseffect aardbevingen voor individuele woningen) geschikt.
- h. *Is de tijdsperiode (maand, kwartaal, etc.) goed gekozen?*
Atlas en Elhorst vergelijken individuele woningen, Invisor buurten resp. woningen. Het vergelijken van tijdsperiodes is in deze modellen niet het centrale doel.
- m. *Aanbevelingen een logisch gevolg op de resultaten?*
Dit rapport beoordeelt primair de kwaliteit van de modellen. Op enkele plaatsen worden daarnaast opmerkingen gemaakt over de aanbevelingen die de makers van de modellen doen, maar dat is niet als criterium meegenomen.
- p. *Specifieke punten?*
Deze punten in het OTB rapport waren geen aanleiding om een extra criterium te formuleren naast de reeds opgenomen criteria.

Onderstaande tabel laat zien dat de concrete criteria in dit rapport op te vatten zijn als concretisering/toespitsingen van de overige criteria van OTB. Het vrij generieke OTB criterium *z: 'Is de technische uitwerking van het model correct?'* wordt in dit rapport geanalyseerd aan de hand van zeven concrete criteria met betrekking tot specifieke modelkenmerken.

Tabel 3.1 De criteria van SEO zijn concrete uitwerkingen van een deel van de criteria van OTB

	SEO Criteria														
	1a. Gerealiseerde verkoopprijzen	1b. Individuele woningen	1c. Correlatie in tijd en ruimte	2a. Volledige set woningkenmerken	2b. Volledige set locatienmerken	2c. Woningkenmerken, locatienmerken simultaan of matching	2d. Verklarende variabelen niet zelf beïnvloed door woningwaarde	2e. Niet-evenredig verband aardbevingen-woning-prijzen	3a. Locatie specifieke aardbevingssindicator	3b. Cumulatie zeer kleine trillingen niet meeneemen	3c. Geleidelijke afname in de tijd van effect eerdere aardbevingen	4a. Aardbevingengebied bepaald op empirische gronden	5a. Gevoeligheidsanalyses, robuustheid	5b. Controleerbaarheid/reproduceerbaarheid	5c. Geen onverklaarde of onwaarschijnlijke uitkomsten
OTB criteria															
b. Impact van aardbevingen: risicogebied, referentiegebied												X			
d. Dataset voldoende groot?				X	X										
e. Zijn de juiste selectiecriteria toegepast op de dataset?	X	X		X	X										
f. Is de dataset representatief?	X	X													
i. Is de technische uitwerking van het model correct?			X			X	X	X	X	X	X				
j. Is het gevonden effect betrouwbaar?													X		X
k. Worden de resultaten correct beschreven?														X	
l. Conclusies een logisch gevolg op de gepresenteerde resultaten?															X
n. Transparant, simpel en reproduceerbaar?														X	

Bron: SEO Economisch Onderzoek

3.2 Criteria ideaal model

Deze paragraaf bespreekt achtereenvolgens de gehanteerde criteria. Deze staan per thema dikgedrukt en worden daaronder nader toegelicht.

1. Woningprijzen

1a: Effecten op de woningwaarde worden in een ideaal model gebaseerd op gerealiseerde verkoopprijzen, zodat de marktwaarde zo direct mogelijk wordt weerspiegeld.

Het doel van de modellen is de invloed van aardbevingsrisico's op woningprijzen zo zuiver mogelijk te meten. Een voorwaarde om tot een zuivere effectmeting te komen, is dat de woningprijzen zo goed mogelijk worden gemeten. Gerealiseerde verkoopprijzen vormen de beste meting, omdat ze de waarde weerspiegelen die kopers en verkopers aan de woningen toekennen. Geschatte woningprijzen zijn daarvoor minder geschikt.¹⁵

1b: Effecten op de woningwaarde worden in een ideaal model gebaseerd op individuele woningen, zodat beschikbare verschillen tussen woningen zo volledig mogelijk worden gebruikt om aardbevingseffecten te meten.

Een algemeen wetenschappelijk principe is dat beschikbare informatie volledig moet worden gebruikt. Cijfers over individuele woningen bevatten meer informatie dan gemiddelde cijfers. De verschillen in woningprijzen, aardbevingsrisico's, woningkenmerken en locatiekenmerken tussen woningen binnen een gebied, dragen bij aan een goede inschatting van het aardbevingseffect. Als gemiddelden worden gebruikt van de woningprijzen en van de woningkenmerken en locatiekenmerken die de woningprijzen beïnvloeden, verdwijnen deze verschillen en is de schatting van het effect minder goed onderbouwd.

1c: Een ideaal model houdt rekening met mogelijke correlatie tussen woningprijzen in tijd en ruimte.

De prijzen van woningen die dicht bij elkaar staan en die in dezelfde periode worden verkocht, ontwikkelen zich op ongeveer dezelfde wijze. Een model dat hier rekening mee houdt is beter geschikt voor het voorspellen van woningprijzen dan een model dat deze samenhang niet meeneemt. Ook de meting van het aardbevingseffect wordt wellicht beter als deze samenhang tussen woningen in het model wordt meegenomen. Ook hier geldt dat het van belang is om alle beschikbare informatie te gebruiken.

2. Verklarende factoren in het model

Een ideaal model bevat:

2a: een zo volledig mogelijke set woningkenmerken als verklarende variabelen; en:

2b: een zo volledig mogelijke set locatiekenmerken als verklarende variabelen (inclusief omgevingskenmerken zoals groen en water, voorzieningen en banen).

Een ideaal model:

¹⁵ Zie de bespreking van WOZ-waarden in hoofdstuk 6.

2c: neemt deze woningkenmerken en locatiekenmerken simultaan mee in de hedonische prijsvergelijking. Matching van woningen (vergelijken van woningen met dezelfde kenmerken) kan worden gezien als een second-best aanpak. Als matching plaatsvindt is het van belang dat vergelijkbare woningen worden gekozen.

Door zoveel mogelijk verklarende variabelen¹⁶ op te nemen wordt niet alleen de woningprijs beter voorspeld, maar wordt ook het aardbevingseffect mogelijk beter geschat.¹⁷ Optimaal is om alle verklarende variabelen tegelijk (en eventueel ook ‘interactievariabelen’¹⁸) op te nemen in het model.

Een alternatief is ‘matching’: het vergelijken van woningen met elkaar door deze te koppelen. Er zijn twee vormen van matching: (i) woningen met vergelijkbare woningkenmerken (bijvoorbeeld rijtjeshuizen met vijf kamers en andere identieke kenmerken) vergelijken en daarbij locatiekenmerken (waaronder aardbevingen) als verklarende variabelen opnemen en (ii) woningen met vergelijkbare locatiekenmerken (behalve aardbevingen) vergelijken (bijvoorbeeld woningen in dezelfde buurt) en daarbij woningkenmerken en aardbevingen als verklarende variabelen opnemen. Bij matching worden de locatiekenmerken en woningkenmerken in separate stappen meegewogen in het model. Matching is daardoor (iets) minder goed dan de methode waarbij alle variabelen tegelijk in het model worden opgenomen. Eventuele samenhang van de invloeden en interacties van deze variabelen kan met matching minder goed worden gemeten.

2d: In een ideaal model worden verklarende factoren voor de woningwaarde niet zelf beïnvloed door de woningwaarde.

Het is in econometrische modellen van groot belang dat causale verbanden correct worden opgenomen en dat geen factoren worden opgenomen die zichzelf verklaren. Daarom moeten in het model geen verklarende variabelen (kenmerken) worden opgenomen die zelf afhankelijk zijn van de te verklaren variabele (de afhankelijke variabele, zoals de prijs van de woning). Als dat wel gebeurt, dan leidt dat tot een onjuiste schatting van de coëfficiënten van het model, en daarmee ook van het effect van aardbevingen op woningprijzen. Dit is een bekend en ernstig probleem in regressiemodellen en wordt aangeduid als endogeniteit.¹⁹ Onder plausibele aannames leidt dit tot een overschatting van het aardbevingseffect (zie bijlage B).

2e: Een ideaal model bevat de mogelijkheid van een niet-evenredig verband tussen aardbevingen en woningprijzen.

Het verband tussen aardbevingen en woningprijzen is mogelijk niet evenredig (niet-lineair)²⁰. Het is aannemelijk dat meer en sterkere aardbevingen leiden tot grotere woningprijsdalingen. Maar het is goed mogelijk dat een twee keer zo grote aardbeving niet leidt tot een twee keer zo grote woningprijsdaling, maar tot een drie keer zo grote woningprijsdaling, of een anderhalf keer zo grote

¹⁶ Woningkenmerken en locatiekenmerken (zoals bijvoorbeeld het aantal opgetreden (trillingen door) aardbevingen op de locatie van de woning).

¹⁷ Ook OTB geeft aan dat de robuustheid van een hedonische prijzen model samenhangt met de keuze van woning- en woonomgevingskenmerken.

¹⁸ Als het model bijvoorbeeld de invloeden van de bouwperiode van de woning (waaronder ‘jaren 30’) en van vrijstaand zijn van de woning schat, kan een interactievariabele ‘vrijstaande woning uit de jaren 30’ worden toegevoegd om na te gaan of er een extra effect op de woningprijs is van de combinatie van deze twee kenmerken, naast het effect van de afzonderlijke kenmerken.

¹⁹ In het Engels: ‘endogeneity’ of ook wel ‘simultaneity bias’. Wooldridge (2009, paragraaf 16.2) laat zien dat het negeren van dit probleem kan leiden tot incorrecte schatting van effecten.

²⁰ Zie bijvoorbeeld Elhorst (2019), p. 34; en Marlet et al (2017) p. 17 en bijlage 2.

woningprijzdaling (niet-lineair). De aard van dit verband hangt mede af van de keuze van de aardbevingsindicator en van de vraag of daarbij een drempel wordt gebruikt (zie de criteria hieronder). Een model dat uitgaat van een evenredig (lineair) verband kan gelden als een benadering van een niet-lineair verband, maar niet als een perfecte weergave daarvan. Een lineair model meet het gemiddelde effect van aardbevingen over alle aardbevingsniveaus (eventueel boven een drempel).

3. Aardbevingsindicator

3a: Een ideaal model gebruikt een locatie specifieke aardbevingsindicator.

Om het effect van aardbevingen op woningprijzen te schatten, gebruiken de modellen die in dit rapport worden beoordeeld een aardbevingsindicator. Dit is een getal dat verschilt per locatie en dat hoger is naarmate er op de locatie meer en zwaardere aardbevingen zijn opgetreden. De modellen gaan na of een hogere waarde van de aardbevingsindicator op een locatie samengaat met een lagere waarde van woningen op die locatie, en hoe sterk dit verband is.

De aardbevingsindicator moet zo goed mogelijk het aardbevingsrisico van de woning zelf meten. Aardbevingsindicatoren die hetzelfde zijn voor een groot gebied (gemeente, postcode-4 gebied), zijn daarom minder geschikt. Een aardbevingsindicator die ziet op postcode-6 gebied is wel locatie specifiek genoeg, omdat dit doorgaans kleine gebieden met een beperkt aantal woningen zijn.²¹ Binnen een dergelijk beperkt gebied mag worden verondersteld dat het risico voor alle woningen in dat gebied identiek is.

3b: Een ideaal model neemt (cumulaties van) zeer kleine trillingen niet mee.

Het is belangrijk dat de aardbevingsindicator geen trillingen meeneemt die niet relevant zijn.²² Dit betreft onder meer trillingen door bouwwerkzaamheden of door zwaar verkeer. Deze trillingen worden niet veroorzaakt door aardbevingen, en zijn dus niet relevant voor eventuele compensatie. Zeer lichte aardbevingen (trillingen) die niet door kopers/verkopers gevoeld worden en geen schade veroorzaken beïnvloeden de prijs van woningen ook niet (behoudens een eventueel imago-effect). Daarom dienen dergelijke trillingen niet te worden meegenomen in het woningprijzenmodel. Als deze lichte trillingen wel worden meegenomen, bestaat het risico dat deze trillingen, gecumuleerd, even zwaar meetellen in de aardbevingsindicator als sterkere bevingen. Een mogelijkheid om zeer lichte trillingen weg te laten is een drempelwaarde: trillingen die minder sterke effecten hebben dan de drempelwaarde, worden niet meegenomen in de aardbevingsindicator.

3c: Een ideaal model bevat een geleidelijke afname in de tijd van het effect van eerdere aardbevingen op woningprijzen, om een realistische weergave van geheugeneffecten te bereiken.

Het is aannemelijk dat aardbevingen nog jarenlang een 'geheugeneffect' kunnen hebben op woningprijzen. Dit betekent dat hun invloed op de woningprijzen niet verdwijnt na korte tijd, omdat de aardbevingen nog door de markt worden 'herinnerd'. Modellen moeten er dus voor zorgen dat ook aardbevingen die langer geleden plaatsvonden nog meetellen. Tegelijkertijd is het aannemelijk

²¹ Gemiddeld bevat een postcode-6 gebied in Nederland twintig adressen. Berekend op basis van <https://www.postcodeafstanden.nl/hoeveel-postcodes-zijn-er-in-nederland.htm#:~:text=Antwoord%3A%20In%20Nederland%20zijn%20er,en%20460.478%206%2Dcijferige%20postcodes;https://www.kilometerafstanden.nl/gemeentekaart-adressen-op-huisnummerniveau-in-nederland.htm>

²² Wooldridge (2013, hoofdstuk 9) laat in een leerboek over econometrie zien dat meetfouten in een verklaarende variabele (hier: de aardbevingsindicator) kunnen leiden tot een verkeerde schatting van het effect van die variabele.

dat het effect van een aardbeving die lang geleden plaats vond geleidelijk ‘uitdooft’ in de loop van de jaren.²³ Een aardbevingsindicator dient hier zo goed mogelijk bij aan te sluiten en moet toetsen hoe deze uitdoving verloopt. Het op voorhand trekken van een harde grens (bijvoorbeeld: aardbevingen van vijf jaar of ouder tellen niet meer mee) is dan ook niet plausibel. Als er daarentegen helemaal geen ‘uitdoving’ is, kan de aardbevingsindicator alleen maar toenemen in de tijd (door nieuwe aardbevingen) zonder ooit af te nemen. Een dergelijke ‘niet-stationaire’ variabele opnemen in het model is theoretisch bezwaarlijk²⁴, hoewel dit bezwaar vooral van belang is als woningprijzen voor de toekomst worden voorspeld.

4. Aardbevingsgebied

4a: Een ideaal model hanteert een empirische bepaling van het aardbevingsgebied.

Modellen kunnen woningprijzen van binnen en van buiten een vooraf gedefinieerd aardbevingsgebied met elkaar vergelijken. Het is van belang dat de begrenzing van dit gebied niet bij voorbaat (los van de data) wordt gepostuleerd, omdat dit een onjuiste veronderstelling kan zijn die wellicht tot onjuiste resultaten leidt²⁵. Als bijvoorbeeld een te krap aardbevingsgebied wordt afgebakend vallen er woningen die waardedaling hebben ervaren onterecht buiten het gedefinieerde gebied. Een te ruim aardbevingsgebied heeft ook nadelen. Een deel van de woningen in het aardbevingsgebied heeft dan geen feitelijke waardedaling ervaren. Door deze toch mee te nemen kan het effect van het aardbevingsrisico worden onderschat. Als er een aardbevingsgebied wordt gedefinieerd, dient dit empirisch te gebeuren. ‘Empirisch’ houdt in dat de afbakening plaatsvindt op basis van (effecten van) werkelijk opgetreden aardbevingen of werkelijk gemeten effecten op woningprijzen.

5. Robuust en reproduceerbaar

5a: Een ideaal model komt vergezeld van gevoeligheidsanalyses met betrekking tot (onzekere) veronderstellingen en laat zo zien dat de gevonden effecten robuust zijn.

Aangezien modellen ten dele zijn gebaseerd op onzekere veronderstellingen, is het van groot belang na te gaan hoeveel invloed deze veronderstellingen hebben op de uitkomsten.²⁶ Dit gebeurt met gevoeligheidsanalyses (ook wel sensitiviteitsanalyses of robuustheidsanalyses genoemd), waarin alternatieve veronderstellingen in hetzelfde model worden doorgevoerd en de uitkomst opnieuw wordt berekend aan de hand van die alternatieve veronderstelling. Een model waarbij zulke analyses zijn uitgevoerd en dat laat zien dat de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyses op hoofdlijnen hetzelfde blijven, is beter dan een model waarin dergelijke analyses niet zijn uitgevoerd. In dat laatste geval bestaat de mogelijkheid dat de uitkomst wordt bepaald door min of meer willekeurige aannames.

5b: Een ideaal model is controleerbaar/reproduceerbaar.

Het is van belang dat de modellen kunnen worden getoetst. Dit vereist een heldere modelbeschrijving, waarin alle veronderstellingen en resultaten zichtbaar worden gemaakt (controleerbaarheid). Daarnaast is het van belang dat andere onderzoekers de berekeningen kunnen herhalen, om te zien of er dan hetzelfde uitkomt (reproduceerbaarheid).²⁷

²³ Atlas voor gemeenten stelt over een dergelijk uitdovingseffect (Marlet et al., 2017): “Alles overziend lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat discontering van bevingen uit het verleden tot 5% per kwartaal congruent is met de data.”

²⁴ Elhorst (2019), p. 34.

²⁵ Ook OTB wijst op dit risico (Jansen et al., 2016, p. 10).

²⁶ Wooldridge (2013, hoofdstuk 19) schrijft hierover in een leerboek over econometrie: “Good papers in the empirical social sciences contain sensitivity analysis.”

²⁷ Ook OTB wijst op het belang van reproduceerbaarheid (Jansen et al., 2016, p. 16).

5c: Een ideaal model geeft geen onverklaarbare uitkomsten

De uitkomsten van het model dienen logisch verklaarbaar en plausibel te zijn.

3.3 Kerncriteria

Niet alle eerder in de dit hoofdstuk genoemde criteria zijn van even groot belang. We hanteren daarom een aantal kerncriteria. Voor deze criteria geldt dat afwijken ervan naar alle waarschijnlijkheid leidt tot foutieve en/of niet-controleerbare uitkomsten. Een goede omgang met deze criteria is zodoende doorslaggevend voor de kwaliteit van het model. De kerncriteria zijn:

- 1a en 1b: Een model is net zo goed als de gegevens die erin worden opgenomen. Dit maakt het essentieel dat het model uitgaat van **gerealiseerde verkoopprijzen** van **individuele woningen**.
- 2a en 2b: Om er zeker van te zijn dat het aardbevingseffect goed te meten is dient gecontroleerd te kunnen worden voor zoveel mogelijk van de overige kenmerken die zorgen voor verschil in waarde tussen woningen. Dit betekent dat een **zo volledig mogelijke set woning- en locatietekenen** dient te worden opgenomen.
- 2d: Een model bevat **geen verklarende factoren voor de woningwaarde die zelf door de woningwaarde worden beïnvloed**. Als zulke factoren wel worden opgenomen, meet het model het effect van aardbevingsrisico's op de woningwaarde niet zuiver (zie hierover ook hoofdstuk 6 en bijlage B).
- 3b: Het is van groot belang dat het model (cumulaties van) **zeer kleine trillingen niet meeneemt**. Als dit niet (goed) gebeurt, meet het model aardbevingen op plaatsen waar niet waarneembare of nauwelijks waarneembare trillingen optreden.
- 4a: Een correcte bepaling van het aardbevingsgebied is cruciaal. Dit betekent dat **het aardbevingsgebied empirisch (op basis van de data alleen) dient te worden afgebakend**.
- 5a en 5c: **Gevoeligheidsanalyses** maken inzichtelijk wat de invloed van verschillende veronderstellingen op de uitkomsten is en daarmee hoe robuust de uitkomsten zijn. Meer in algemene zin dienen de uitkomsten logisch en **verklaarbaar** te zijn.

4 Het model van Atlas voor gemeenten

Het meest recente model van Atlas voor gemeenten meet het effect van (het risico op) aardbevingen aan de hand van verkoopprijzen van individuele woningen en een uitgebreide set woning- en locatiekenmerken. Atlas heeft het model onderworpen aan tal van gevoeligheidsanalyses. Dit maakt dat de uitkomsten van het model van Atlas voor gemeenten (inclusief de eerdere rapporten) logisch en verklaarbaar zijn.

4.1 Beschrijving model Atlas voor gemeenten

De onderstaande beschrijving van het model van Atlas voor gemeenten (Atlas) neemt het meest recente rapport (Zeven bewogen jaren; Poort et al., 2019) van Atlas als uitgangspunt. Daar waar dit niet het geval is benoemen we dit expliciet en verwijzen we naar eerdere publicaties van Atlas.

Omvang van het effect op woningprijzen

Het model van Atlas meet het effect van aardbevingsrisico zowel (a) in een negatief imago-effect voor het risicogebied als geheel en (b) een negatief prijseffect als gevolg van de bevingshistorie van de woning. Afhankelijk van het gehanteerde aardbevingsgebied is het imago-effect verantwoordelijk voor 1,5 of 2,5 procent lagere prijzen. Het negatieve effect van de bevingshistorie van de woning bedraagt daarbovenop gemiddeld over het gehele gebied 1 tot 1,5 procent. Voor een aantal gemeenten waar aardbevingen meer/zwaardere trillingen hebben veroorzaakt is het effect van de bevingshistorie aanmerkelijk hoger. Voor Loppersum bedraagt de totale geschatte waardedaling 10,4 of 11,2 procent voor de modelvarianten die de commissie Hammerstein (Hammerstein et al, 2019) als voorkeursvariant kiest.

Hieronder lichten we toe hoe het model van Atlas tot deze uitkomsten is gekomen.

Woningprijzen

Het model van Atlas voor gemeenten vergelijkt **gerealiseerde verkoopprijzen** van woningen in het aardbevingsgebied met gerealiseerde verkoopprijzen van woningen op vergelijkbare locaties buiten het aardbevingsrisicogebied. Hierbij wordt tevens gecorrigeerd voor het kwartaal waarin de betreffende woningen verkocht zijn. Atlas gebruikt een dataset van de NVM. Deze bevat 9510 of 10266 (afhankelijk van het risicogebied) tussen augustus 2012 (Huizinge beving) en 1 januari 2019 verkochte **individuele woningen** in het aardbevingsgebied, en daarnaast een veel groter aantal verkochte woningen buiten dit gebied. Er is in het model **geen correlatie van woningprijzen in tijd en ruimte** (zie hoofdstuk 3).

Aardbevingsgebied

Atlas bakent het **aardbevingsgebied empirisch**²⁸ af in een losse analysestap op basis van het percentage toegekende schademeldingen per postcode-6 gebied. In deze stap neemt Atlas in beginsel alle postcodegebieden mee met (een of meer) toegekende schades. Dit gebied is het *potentiele risicogebied*. Hierin zitten gebieden waarin meer dan 90 procent van de woningen een toegekende

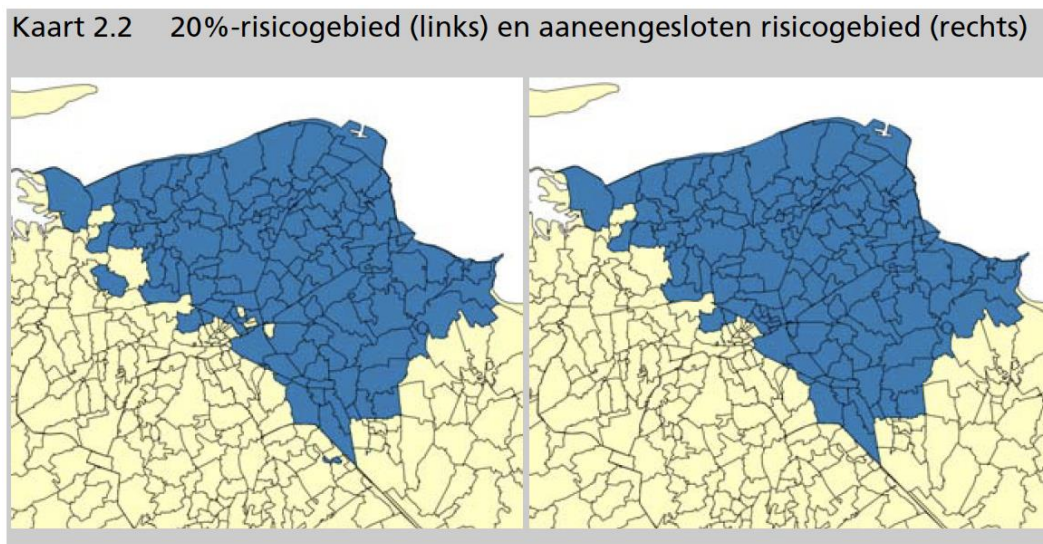
²⁸ Zie ook Hoofdstuk 3. Empirische afbakening wil zeggen dat Atlas de data zelf laat 'bepalen' waar het risicogebied begint en eindigt.

schade hebben en gebieden waarin dat voor minder dan 1 procent van de woningen geldt. Voor al deze gebieden analyseert Atlas het prijsverschil met referentiewoningen uit gebieden met minder dan 1% toegekende schademeldingen. Deze analyse is vergelijkbaar met de hoofdanalyse met als voornaamste verschil dat het doel hier is het aardbevingsrisicogebied af te bakenen in plaats van een prijsverschil te vinden.

De uitkomst van deze stap is dat voor alle gebieden met 40 procent of meer toegekende schademeldingen een duidelijk (statistisch significant²⁹) negatief prijseffect meetbaar is. In gebieden met tussen de 20 en 40 procent geaccepteerde schademeldingen is het gevonden effect niet negatief en/of niet significant. Voor deze gebieden kan echter niet worden uitgesloten dat een negatief prijseffect bestaat. Voor gebieden met minder dan 20 procent geaccepteerde schademeldingen vindt Atlas een duidelijk (statistisch significant) *positief* prijseffect ten opzichte van de referentielocaties. Atlas wijt dit aan een zogenoemd ‘waterbedeffect’: de vraag naar woningen in de gebieden aan de rand van het risicogebied is toegenomen omdat bewoners wegtrekken uit de kern van het risicogebied maar de regio tegelijkertijd niet geheel willen verlaten.

Op basis van deze analyse bakent Atlas het aardbevingsrisicogebied af tot de postcode-4 gebieden waarin 20 procent of meer schademeldingen zijn geaccepteerd. Dit zogenoemde ‘20% risicogebied’ omsluit enkele ‘enclaves’, die niet tot het vastgestelde risicogebied behoren. Ook zijn er twee ‘eilanden’ buiten het gebied, die er volgens het 20%-criterium juist wel toe behoren. Om hier recht aan te doen hanteert Atlas een tweede definitie van het risicogebied, het zogenoemde ‘aaneengesloten risicogebied’. In deze definitie van het risicogebied zijn de enclaves wel opgenomen, maar de eilanden niet. Zie het kaartje hieronder (uit Poort et al, 2019)

Figuur 4.1 Atlas hanteert 2 verschillende definities van het risicogebied



Op deze manier maakt Atlas dus inzichtelijk welk effect het wel of niet meenemen van eilanden en enclaves heeft op de uitkomsten. In het ene aardbevingsrisicogebied zijn enclaves wel opgenomen en eilanden niet (aaneengesloten risicogebied), in het ander zijn enclaves niet opgenomen en eilanden juist wel (20%-risicogebied).

²⁹ Zie ook Hoofdstuk 2. Een econometrische schatting wordt statistisch significant genoemd wanneer met 95% zekerheid worden gesteld dat het gemeten effect daadwerkelijk bestaat.

Verklarende factoren

Het model vergelijkt de transactiepreizen van woningen in het aardbevingsgebied met evenzoveel referentietransacties buiten het aardbevingsgebied. Elke verkoop in het aardbevingsgebied wordt vergeleken met een individuele transactie buiten het aardbevingsgebied op een locatie met vergelijkbare kenmerken (**matching**). Voor het matchen wordt een **groot aantal locatiekenmerken** gebruikt. Postcode-6 gebieden worden aan elkaar gekoppeld op basis van meer dan honderd indicatoren die zien op de kwaliteit van de directe omgeving, natuur, veiligheid en nabijheid van werk en voorzieningen.³⁰

Het model van Atlas verklaart het gevonden prijsverschil tussen woningen in het aardbevingsgebied en woningen daarbuiten met een hedonische prijzen analyse, aan de hand van onder meer **een groot aantal woningkenmerken**. Naast oppervlakte, inhoud en perceel betreft dit het type woning (vrijstaand, 2-onder-1-kap, rijtjeshuis), bouwperiode, staat van onderhoud van de woning (binnen en buiten) en de staat van de tuin. Deze informatie is afkomstig uit de database van Funda en ingevuld door de verkopend makelaar van de woning. Het model bevat **geen kenmerken van de** (oude of nieuwe) **bewoners** van de woning als bepalende factoren voor woningprijzen. Daarnaast wordt een **lineair verband** verondersteld tussen de aardbevingsindicator en (de logaritme van) de woningprijs.

Aardbevingsindicator

Atlas hanteert twee verschillende **locatie specifieke aardbevingsindicatoren**: het aantal bevingen en de totale cumulatieve (bij elkaar opgetelde) grondsnelheid op de locatie van de woning.³¹ Voor het berekenen van de grondsnelheid gebruikt Atlas de meest actuele formule van Bommer et al (2019). Bommer et al. (2019) ontwikkelden een voorspelmodel voor grondbeweging. De meest actuele versie van de formule van Bommer et al. (2019) is gebaseerd op 1707 metingen aan 55 bevingen van 2006 tot en met augustus 2018, met een magnitude tussen 1,8 en 3,6 op de schaal van Richter. Voor beide aardbevingsindicatoren hanteert Atlas zogenoemde **drempelwaarden van 5 mm/s en 2,9 mm/s**. Dit wil zeggen dat alleen grondsnelheden die daarboven komen worden meegeteld bij het berekenen van het aantal bevingen en van de cumulatieve grondsnelheid op elke locatie. De grenswaarde van 5 mm/s komt overeen met de laagste grenswaarde voor de kans op het ontstaan van schade aan gebouwen op basis van metselwerk. 2,9 mm/s geldt als grenswaarde voor de kans op het ontstaan van schade aan gevoelige structuren en monumenten.³² Atlas neemt per postcode-6 gebied alle gemeten bevingen boven de drempelwaarden mee in het onderzoek, ook bevingen die plaatsvonden voor de Huizinge-beving van augustus 2012. De aardbevingsindicator neemt alleen toe in de tijd; er zijn anders dan door aardbevingen, **geen plotselinge veran-**

³⁰ Een aantal voorbeelden: VINEX bouw (%), ligging aan spoor (ja/nee), iconen van moderne architectuur (aantal binnen 200m), ligging t.o.v. NAP, afstand tot de landsgrens (kilometer), kinderopvang (aantal vestigingen in de buurt), overlast en onveiligheid (score op basis van index), culinaire kwaliteit (op gemeentenniveau).

³¹ Deze aardbevingsindicatoren hebben als voordeel dat op basis van de formule van Bommer (2019) met de magnitude van de aardbeving (schaal van Richter) en de afstand van het epicentrum per individuele woning objectief kan worden becijferd wat de kracht van de aardbeving(en) was, uitgedrukt in maximale grondsnelheid (of peak ground velocity, PGV). Dit is de hoogste snelheid van de bodem tijdens een aardbeving. Om deze reden maken alle drie de in deze rapportage beschreven modellen gebruik van soortgelijke aardbevingsindicatoren op basis van formules van Bommer (2017, 2019) of de oudere formules van Dost (2004).

³² Op basis van de SBR-Trillingsrichtlijn (SBRcurnet, 2017).

deringen van de aardbevingsindicator in de tijd. Atlas voerde in een eerdere publicatie gevoeligheidsanalyses uit waarin de aardbevingsindicator geleidelijk afneemt in de tijd³³. Atlas kiest echter voor een model waarin er **geen afname in de tijd** is.³⁴

Peildatum

In Zeven bewogen jaren berekent Atlas de gemiddelde waardedaling voor de peildatum: 1 januari 2019. In eerdere onderzoeken berekende Atlas de gemiddelde waardedaling per respectievelijk 1 april 2015, 1 oktober 2015, 1 juni 2017 en 1 januari 2018³⁵.

Gevoeligheidsanalyses

Atlas laat uitkomsten zien voor acht verschillende voorkeursmodellen: twee verschillende definities van risicogebieden, twee verschillende grenswaarden voor grondsnelheid en twee verschillende aardbevingsindicatoren.³⁶ De gemiddelde geschatte uitkomsten zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 4.1 Gemiddelde geschatte totale waardedaling voor de acht voorkeursmodellen

		Aaneengesloten risicogebied	20%-risicogebied
>=2,9mm/s	Aantal bevingen	-2,8%	-3,8%
	Cumulatieve grondsnelheid	-2,7%	-3,7%
>=5mm/s	Aantal bevingen	-2,6%	-3,6%
	Cumulatieve grondsnelheid	-2,5%	-3,5%

Bron: SEO o.b.v. Poort et al. (2019)

De significantieniveaus³⁷ van de variabelen en de geschatte gemiddelde waardedalingen in het risicogebied (zie Tabel 4.1) zijn weinig gevoelig voor de gehanteerde grenswaarden en de aardbevingsindicatoren. Ook het verschil in uitkomsten tussen de variant op basis van aantal bevingen en de variant op basis van cumulatieve grondsnelheid is klein (0,1 procentpunt). Hetzelfde geldt voor de verschillen tussen de varianten op basis van 2,9 mm/s en 5 mm/s ten opzichte van elkaar. De keuze voor het te hanteren risicogebied heeft grotere gevolgen voor de uitkomsten. In het geval van het aaneengesloten risicogebied is de gemiddelde waardedaling circa een procentpunt lager dan in het geval het 20%-risicogebied wordt gehanteerd. Atlas vermoedt dat dit verschil te wijten is aan het feit dat in het aaneengesloten risicogebied een aantal postcodegebieden in de stad Groningen zijn opgenomen die geen negatief maar juist een positief prijseffect laten zien.³⁸ Omdat het in deze postcodegebieden gaat om ongeveer acht duizend woningen (9% van de totale steekproef) heeft

³³ Atlas noemt dit 'verdiscontering' (Bosker et al., 2018, p. 70-72).

³⁴ In Vijf jaar na Huizinge (Marlet et al, 2017) zijn hier door Atlas gevoeligheidsanalyses op uitgevoerd. De toen beschikbare data leende zich echter niet goed voor het beantwoorden van de vraag in hoeverre bevingen uit het verleden minder effect hebben op de huizenprijzen. Atlas vindt in de data wel enig bewijs voor discontering van het effect (tot 5 procent afname per kwartaal). De modelvarianten met en zonder verdiscontering van het aardbevingseffect presteerden echter allemaal even goed.

³⁵ Bosker et al. (2015, 2016, 2018) en Marlet et al (2017).

³⁶ Twee maal twee maal twee is acht.

³⁷ De aannemelijkheid dat een correlatie in de statistiek niet op toeval berust. Zie hoofdstuk 2.

³⁸ Mogelijk als gevolg van het eerdergenoemde waterbedeffect.

het wel of niet meenemen van deze enclaves in het risicogebied een relatief grote impact op de uitkomsten.

Daarnaast voert Atlas in Zeven bewogen jaren een **groot aantal gevoeligheidsanalyses** uit³⁹:

- Wel of niet uitsluiten van referentielocaties met minder dan 1 procent geaccepteerde schade-meldingen;
- Het wel of niet wegen van referentielocaties met het aantal maal dat de locatie gebruikt is als referentiewoning;
- Het wel of niet opnemen van omgevingskenmerken in de regressie;⁴⁰
- Het schatten van het model voor de gehele periode, de individuele jaren 2012-2018 of in drie verschillende tijdvakken;
- Het opnemen in de analyse van een eventueel toegekend schadebudget: wel of niet meer dan € 1.000, of op basis van het daadwerkelijk toegekende budget;
- Nagaan of wellicht gecorrigeerd kan worden voor versterkte woningen. Het kleine aantal versterkte woningen in de dataset laat dit echter niet toe;
- Nagaan of de verkoopduur in het risicogebied wellicht langer is dan daarbuiten. Dit blijkt niet het geval.

Met deze gevoeligheidsanalyses test Atlas of alternatieve veronderstellingen of modelspecificaties resulteren in sterk afwijkende modeluitkomsten. Uit deze analyses volgt dat dat niet het geval is. De modeluitkomsten zijn robuust. De gevoeligheidsanalyses zijn zodoende voor Atlas aanleiding vast te houden aan de acht gehanteerde voorkeursmodellen.

Controleerbaarheid/reproduceerbaarheid

Atlas beschrijft nauwgezet de verschillende stappen die zijn gezet om tot de resultaten te komen. Het rapport bevat vijf bijlagen waarin achtereenvolgens de afbakening van het risicogebied, het bepalen van de schadehistorie van de woning, de selectie van referentiewoningen, de aardbevingsformules en de volledige modelspecificaties voor alle acht gehanteerde voorkeursmodellen worden beschreven. Op basis van deze beschrijvingen is duidelijk te controleren hoe Atlas tot haar resultaten komen. Voor de reproduceerbaarheid van de resultaten is een potentieel struikelblok het gebruik van NVM-data. Deze data zijn weliswaar verkrijgbaar, maar alleen tegen betaling. De door Atlas gebruikte eigen database is überhaupt niet openbaar beschikbaar.

4.2 Opmerkingen bij het model van Atlas

4.2.1 Opmerkingen van de Commissie Hammerstein

De Commissie Hammerstein oordeelt dat de methode van Atlas voor gemeenten het meest geschikt is ter uitvoering van de uitspraak van het Gerechtshof Arnhem/Leeuwarden. Als onderdeel van dit oordeel bespreekt de commissie een aantal aspecten van het model.

³⁹ Ook in eerdere rapporten voert Atlas diverse gevoeligheidsanalyses uit. Deze zijn niet allemaal herhaald in Zeven bewogen jaren. Daar waar deze in het licht van geuite kritiek relevant zijn benoemen we deze in paragraaf 4.2.

⁴⁰ In de basismodellen gebeurt dit niet omdat de matching tussen woningen in het risicogebied en in de referentiegebieden reeds op basis van omgevingskenmerken is gemaakt.

De Commissie Hammerstein stelt dat de aanname van Atlas dat de woningprijzen in de referentiegebieden en in het risicogebied zich in de loop van de tijd op dezelfde wijze bewegen (op het effect van de aardbevingen na) niet vanzelfsprekend. De Commissie stelt echter ook dat Atlas deze potentiële tekortkoming nader heeft bekeken door de belangrijkste hedonische prijsmodellen tevens te schatten met de meest prijsbepalende en in de tijd veranderlijke omgevingsvariabelen als controlevariabelen. Dit corrigeert bovendien voor eventuele correlatie van dergelijke variabelen binnen het risicogebied, met de bevingsvariabele die wordt gehanteerd. De uitkomsten van deze alternatieve specificaties zijn robuust en in lijn met de modellen zonder deze omgevingsvariabelen. De Commissie stelt dat dit een duidelijke aanwijzing dat dit potentiële risico in de praktijk meevalt. SEO deelt deze mening.

Ook bespreekt de Commissie Hammerstein het door Atlas gehanteerde risicogebied dat is gebaseerd op 20% of meer geaccepteerde schadegevallen. De Commissie constateert dat er door verschillende (niet nader in de tekst van de Commissie genoemde) organisaties gepleit wordt voor een lagere ondergrens. In reactie daarop heeft de adviescommissie aan Atlas voor gemeenten gevraagd het toepassingsgebied inzichtelijk te maken wanneer 10% gehanteerd wordt. De Commissie schrijft daarover:

“Het risicogebied wordt in dat geval maar in zeer beperkte mate groter. Als een lager percentage wordt gehanteerd constateert Atlas voor diverse gemeenten een tegenovergesteld effect: van waardedaling is geen sprake, de huizenprijzen zijn gestegen. Dit mogelijk vanwege het zogenaamde waterbed-effect.”

De Commissie kan zich dus vinden in de afbakening van het risicogebied op basis van 20% of meer geaccepteerde schadegevallen. Daarbij merkt de commissie nog wel op dat deze afbakening dient plaatst te vinden op basis van de meest recente schadegegevens. SEO deelt deze mening.

4.2.2 Opmerkingen van Elhorst en van De Kam en Hol

Elhorst (2019) en De Kam en Hol (2019, 2020) hebben kritiek op het model van Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al, 2019). Hieronder beschouwen we de diverse kritiekpunten een voor een nader, aangevuld met onze eigen kanttekeningen bij dit model.

Afbakening risicogebied

De Kam en Hol (2019) en ook Marenland (2019) vinden de **afbakening van het risicogebied** tot gebieden met meer dan 20% erkende schademeldingen **te krap** en zijn van mening dat eigenaren buiten dit risicogebied ten onrechte compensatie zullen mislopen. De Kam en Hol stellen dat ook **niet-erkende schademeldingen** meegenomen zouden moeten worden en dat rekening gehouden zou moeten worden met de **lagere meldingsdrang van huurders**. Daarbij zijn De Kam en Hol van mening dat het **überhaupt niet nodig is een risicogebied af te bakenen** ‘*zodra er een goede en eenduidige methode is om te bepalen of schade/waardedaling het gevolg is van aardbevingen.*’

Elhorst (2019) stelt dat het beter is om alle coëfficiënten (woning, omgeving- en aardbevingskenmerken) **tegelijkertijd in de hedonische prijsvergelijking op te nemen**, in plaats van stapsgewijs zoals Atlas doet. Simultaan schatten heeft volgens Elhorst als voordeel dat het risico dat geselecteerde referentiewoningen óók last hebben gehad van het aardbevingseffect wordt vermeden. Daarnaast stelt hij dat woningkenmerken en omgevingskenmerken waarschijnlijk in samenhang

met elkaar prijsvormend zijn voor de woning. Door beide soorten kenmerken in een losse analysestap mee te wegen wordt aan deze samenhang volgens Elhorst geen recht gedaan. Elhorst stelt daarnaast dat Atlas ten onrechte geen rekening houdt met de mogelijkheid dat de omvang van het risicogebied in de tijd **kan groeien of krimpen**.

Weging van de kritiek en opmerkingen SEO

- Het door Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al 2019) gehanteerde 20% risicogebied is niet willekeurig zoals De Kam en Hol doen voorkomen. De door Atlas gehanteerde afbakening komt voort uit de data en is dus empirisch bepaald. Atlas voert diverse gevoeligheidsanalyses uit op deze keuze. De resultaten hiervan zijn eenduidig: voor gebieden aan de rand van het aardbevingsrisicogebied met minder dan 20 procent geaccepteerde schadeclaims is eerder sprake van een waardestijging dan van een waardedaling, zeer waarschijnlijk als gevolg van het aardbevingsrisico in de nabijgelegen kern van het aardbevingsrisicogebied.⁴¹ De stelling dat door het op deze manier afbakenen van het risicogebied een grote groep woningeigenaren ten onrechte niet in aanmerking komt voor vergoeding van waardedaling is dus onjuist.
- De constatering van Elhorst dat het simultaan schatten van het risicogebied als onderdeel van de hoofdanalyse voordelen heeft, delen wij. Er zijn in dit geval echter ook nadelen. Het separaat vooraf afbakenen van het risicogebied door Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al 2019) heeft tot doel om naast een effect van opgetreden aardbevingen ook imago-effect voor het gebied als geheel te meten. De relatieve omvang van het imago-effect zoals geschat door Atlas (meer dan de helft van het totale effect) suggereert dat het belangrijk is om een imago-effect op te nemen. Het eerst afbakenen van een risicogebied heeft dus ook voordelen. Het is kiezen of delen. De analyse kan zo worden opgezet dat alles simultaan wordt geschat (Elhorst), maar dan is geen onderscheid te maken tussen imago-effect en bevingshistorie. In dat geval wordt dan zuiver en alleen het effect van de bevingshistorie van de woning gemeten. Of het gehele gebied (los van bevingshistorie) in een negatief daglicht is komen te staan, wordt dan niet gemeten. Het alternatief is het separaat vooraf afbakenen van het risicogebied (Atlas) en wél onderscheid maken tussen imago-effect en bevingshistorie. Beide methoden zijn zodoende verdedigbaar.
- Het al dan niet meenemen van niet-erkende schademeldingen in de analyse zoals voorgesteld door De Kam en Hol leent zich voor een gevoeligheidsanalyse. Atlas heeft deze gevoeligheidsanalyse reeds uitgevoerd als onderdeel van 'Vijf jaar na Huizinge' uit 2017 (Marlet et al, 2017). Toen bleek dat een niet-erkende of nog in behandeling zijnde melding van fysieke schade geen effect had op de transactieprijs. Los daarvan geldt dat onder (nog) niet-erkende schademeldingen ook onterechte of foutieve schademeldingen kunnen zijn die ruis introduceren in het model. Om die reden is het minder zinvol om de analyse mede op basis van niet-erkende schademeldingen uit te voeren.
- Het argument dat huurders mogelijk een lagere drang hebben om fysieke schade te melden miskent dat ook huurwoningen eigenaren hebben die baat hebben bij het melden van schade. De huurder heeft mogelijk beperkt belang bij het melden van schade. De eigenaar van de betreffende huurwoning heeft dit belang wel. Hij of zij zal in dat geval dus melding maken van schade en aanspraak willen maken op de schaderegeling.⁴²
- De constatering van Elhorst dat het risicogebied kan krimpen of groeien is valide maar vervalt op het moment dat men ervoor kiest de schade op een vast peilmoment (bijvoorbeeld 1 januari

⁴¹ Eerder in deze rapportage en ook door Atlas omschreven als een zogenoemd 'waterbedeffect'. De vraag naar woningen in de gebieden aan de rand van het risicogebied is toegenomen omdat bewoners wegtrekken uit de kern van het risicogebied maar de regio tegelijkertijd niet geheel willen verlaten.

⁴² Marenland is een voorbeeld van zo'n eigenaar van huurwoningen.

2019) vast te stellen. De enige vraag die er dan immers toe doet is of het vastgestelde risicogebied aansluit bij de gehanteerde peildatum en daarbij gebruikte schadedata.

Drempelwaarden

De Kam en Hol (2020) stellen dat Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al, 2019) een te hoge (op uitsluitend technische gronden gebaseerde) drempelwaarde van 1,8 op de schaal van Richter hanteert. Dit zorgt ervoor dat de drempelwaarde aan de randen van het risicogebied vaak niet gehaald wordt, ondanks het feit dat 20 procent van de woningen daar erkende schade heeft. In de methode van Atlas geldt voor deze woningen daarmee dat *alleen* het imago-effect voor het risicogebied als geheel als schade wordt berekend.

De door Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al, 2019) gehanteerde drempelwaarde komt voort uit het gebruik van de voortplantingsformules van Bommer (2019). Atlas kiest hiervoor omdat het alternatief (Dost, 2004) voortkomt uit oudere metingen uitgevoerd met minder meetpunten. Dit erkennen ook de Kam en Hol (2020). De Kam en Hol (2020) stellen echter dat ondanks dat tóch gebruik gemaakt zou moeten worden van Dost (2004) omdat deze indicator het best aansluit bij de gemelde schades, in combinatie met een ‘geheugen’ van drie jaar. Dit is wat Invisor (2019, 2020) doet.

Weging van de kritiek en opmerkingen SEO

- Invisor heeft gezocht naar de beste fit tussen schademeldingen en bevingsindicator (Dost of Bommer). Dit is een interessante exercitie waarbij we twee belangrijke kanttekeningen plaatsen. Allereerst lijkt het ons relevant onderscheid te maken tussen erkende- en (nog) niet erkende schademeldingen. Invisor (2020) gaat uit van erkende schademeldingen; Invisor (2019) neemt alle schademeldingen mee. Daarnaast constateren we dat Dost (2004) vooral een goede fit goed oplevert in combinatie met de veronderstelling dat menselijk handelen het best gemodelleerd kan worden door elke beving in de afgelopen drie (of vijf) jaar volledig mee te wegen maar alles wat (een dag) langer dan drie (of vijf) jaar geleden is volledig buiten beschouwing te laten. Deze niet onderbouwde aanname die door Invisor zelf is toegevoegd ‘weegt’ waarschijnlijk zwaarder dan de keuze Dost dan wel Bommer te gebruiken.

Woningkenmerken

De Kam en Hol (2020) geven aan dat Invisor (2020) bij het schatten van de maximale waardedaling met behulp van matching werkt met *‘een set van 24 kenmerken die weergegeven zijn als normaal verdeelde reëel getallen waarvan de Z-waarden zijn bepaald ten opzichte van het Nederlandse gemiddelde’*. Dit levert ‘gewogen scores’ op. De Kam en Hol impliceren dat deze werkwijze beter is dan de ‘binaire’ woningkenmerken die Atlas hanteert.

Weging van de kritiek en opmerkingen SEO

De Kam en Hol maken niet duidelijk waarom binaire woningkenmerken bezwaarlijk zouden zijn. Zij vinden scores die zijn berekend door te delen door de standaarddeviatie kennelijk beter. De totaalscore wordt door Invisor echter berekend door Z-waarden⁴³ eenvoudig op te tellen (Invisor, 2020, paragraaf 4.4). Dit betekent dat de 24 kenmerken even zwaar zijn gewogen; een arbitraire

⁴³ Zie voor een toelichting op het begrip Z-waarde: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Z-score>

keuze. Daarnaast zijn niet alle woningkenmerken die Atlas hanteert binair⁴⁴ en hanteert Atlas bij het matchen van woningen ruim tweehonderd kenmerken, aanzienlijk meer dan de 24⁴⁵ van Invisor.

Om die reden zijn wij voorstander van het ‘direct’ in een model opnemen van woningkenmerken (binair of niet), zonder arbitraire keuzes. Het is daarbij vervolgens zaak zoveel mogelijk kenmerken op te nemen. Atlas lijkt hier beter in geslaagd dan Invisor.

Matching

De Kam en Hol (2019) zijn kritisch over de matchingmethode van Atlas. Ze stellen dat het berekende aardbevingseffect sterk afhankelijk is van de keuze van referentiewoningen. Daarbij betwijfelen ze of het verantwoord is dusdanig veel vertrouwen te hebben in de vergelijkbaarheid van risicowoningen en referentiewoningen en aan te nemen dat het **resterende prijsverschil kan worden toegeschreven aan aardbevingsrisico**. De Kam en Hol zijn van mening dat een woningprijs het product is van locatiekenmerken, **woningkenmerken** en een wisselwerking tussen locatiekenmerken en woningkenmerken. Zij stellen dat matching op alleen locatiekenmerken dus een deel van deze prijsvorming mist. Daarnaast vinden de Kam en Hol dat **sociaaleconomische kenmerken** van bewoners zouden moeten worden meegenomen in het model van Atlas. Ook menen zij dat de referentiewoningen niet mogen liggen op locaties waar mogelijk sprake is van **(beperkte) aardbevingsinvloeden**. Tot slot stellen De Kam en Hol dat de gevoeligheid van de effecten voor de gekozen referentiewoningen betekent dat **meer gevoeligheidsanalyses** gedaan moeten worden om het effect van verschillende alternatieve wijzen van het selecteren van referentiewoningen in kaart te brengen.

Weging van de kritiek en opmerkingen SEO

- De Kam en Hol hebben gelijk dat de keuze voor referentiewoningen belangrijk is. Zij doen het echter onterecht voorkomen alsof elk onverklaard prijsverschil tussen risicowoning en referentiewoningen in de analyse van Atlas (Bosker et al, 2018) automatisch wordt toegeschreven aan aardbevingsrisico. Dit geldt tot op zekere hoogte voor het geschatte imago-effect voor de regio als geheel, maar niet voor de uitkomsten die zien op de bevingsvariabele en de schadehistorie van de woning. Hiervoor geldt dat alleen onverklaard prijsverschil dat direct samenhangt met de bevings- en schadehistorie van de risicowoning wordt ‘opgepakt’ door de analyse, en dus niet eventuele andere onverklaarde prijsverschillen tussen risicowoning en referentiewoning. Specifiek voor het imago-effect geldt inderdaad dat alle niet door andere variabelen verklaarde prijsverschillen tussen referentiewoningen en risicowoningen worden toegewezen aan aardbevingsrisico.⁴⁶ Dat is tevens de reden dat Atlas kiest voor data van NVM, waarin de grootste set woningkenmerken is opgenomen. Daarnaast gebruikt Atlas ruim honderd locatiekenmerken uit een eigen database. Gecombineerd controleert Atlas dus voor veel woning- en locatiekenmerken alvorens het resterende prijsverschil in de vorm van imago-effect wordt toegewezen aan aardbevingsrisico. Door het grote gehanteerde aantal locatie- en woningkenmerken is het risico dat het imago-effect ten onrechte prijsverschillen meet die niet komen door aardbevingsrisico beperkt.

⁴⁴ Een aantal voorbeelden: VINEX bouw (%), iconen van moderne architectuur (aantal binnen 200m), ligging t.o.v. NAP, afstand tot de landsgrens (kilometer), kinderopvang (aantal vestigingen in de buurt), overlast en onveiligheid (score op basis van index).

⁴⁵ 15 als de sociaaleconomische kenmerken buiten beschouwing worden gehouden.

⁴⁶ Dit werkt beide kanten op en kan dus in theorie zowel leiden tot een hogere als tot een lagere geschatte waardedaling.

- De vele door Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al 2019) uitgevoerde gevoeligheidsanalyses zien in belangrijke mate op de wijze waarop referentiewoningen geselecteerd worden. Op basis van deze gevoeligheidsanalyses resulteert een robuust beeld. Het lijkt ons dan ook onwaarschijnlijk dat een andere wijze van het selecteren referentiewoningen (met een even goede match) zou resulteren in afwijkende uitkomsten.
- De constatering van De Kam en Hol dat woningkenmerken mogelijk in een wisselwerking met locatiekenmerken van invloed zijn op woningprijzen, is terecht. Het is tevens mogelijk dat het afzonderlijk (in separate stappen) meewegen van eerst locatiekenmerken en dan woningkenmerken van invloed is op de uitkomsten. Zoals hierboven toegelicht is het in separate stappen schatten van deze kenmerken echter de resultante van de wens onderscheid te maken tussen het imago-effect voor het gebied als geheel en het effect van de bevingshistorie van de individuele woning. In hoeverre deze keuze van invloed is op de uitkomsten is zonder het daadwerkelijk schatten van dit alternatieve model (met wisselwerking tussen woningkenmerken en locatiekenmerken) niet te zeggen.
- Het meenemen van sociaaleconomische kenmerken in de analyse is incorrect. Sociaaleconomische kenmerken zijn niet alleen een oorzaak maar ook een gevolg van huizenprijzen. Dit maakt deze kenmerken ongeschikt als onderdeel van dit type analyse. Zie ook hoofdstuk 6 over het model van Invisor (2019).
- De Kam en Hol vrezen dat de door Atlas (Bosker et al, 2018) geselecteerde referentiewoningen voor een deel zelf ook onderworpen zijn aan aardbevingsinvloeden. Het klopt dat Atlas referentiewoningen toestaat uit gebieden met tussen de 0 en de 1 procent schademeldingen. Deze gebieden zijn in dat opzicht dus ‘geraakt’ door het aardbevingsrisico. De reden dat Atlas het toch toestaat is het feit dat dit (in de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse) een betere match oplevert, gecombineerd met de notie dat als zelfs woningen in gebieden met minder dan 20 procent schademeldingen geen negatief prijseffect waarneembaar is, dit vrijwel zeker niet het geval zal zijn bij woningen in gebieden met minder dan 1 procent schademeldingen. Dit is een adequate onderbouwing van de keuze die Atlas maakt.

Correlatie tussen woningprijzen in ruimte en tijd

Elhorst stelt (p. 7) dat woningprijzen correlatie vertonen (d.w.z. mee omhoog of omlaag bewegen) met prijzen van woningen dichtbij en met woningprijzen op dezelfde locatie in eerdere en latere jaren. Hij noemt dit ‘ruimtelijke en temporele correlatie’. Hij bekritiseert (p. 17) onderzoek van Atlas voor gemeenten⁴⁷ omdat daarin slechts ten dele rekening wordt gehouden met deze correlaties.

Elhorst (2019) is zodoende voorstander van een andere matchingmethode. In plaats van matching op locatiekenmerken matcht Elhorst op basis van **woningkenmerken**. In plaats van één woning matcht Elhorst er drie. Daarbij legt Elhorst de restrictie op dat de referentiewoningen niet meer dan 2,5 kilometer van de risicowoning mogen liggen en niet langer dan zes maanden eerder verkocht mogen zijn. Deze methode correspondeert met de stelling van Elhorst dat **woningprijzen gecorreleerd zijn in tijd en ruimte** en conjunctureel beïnvloed worden. Zie ook hoofdstuk 5.

Weging van de kritiek en opmerkingen SEO

⁴⁷ Bosker et al. (2018) Nog altijd in beweging. Utrecht: Atlas voor Gemeenten.

- De door Elhorst gehanteerde matchingmethode is elegant. Deze methode voorkomt dat woningmarktontwikkelingen die specifiek zijn voor (delen van) het risicogebied maar niet het gevolg zijn van aardbevingsrisico, ten onrechte invloed uitoefenen op de analyse. Zowel risicowoningen als referentiewoningen komen in de analyse van Elhorst immers uit hetzelfde gebied. Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al 2019) matcht met woningen op vergelijkbare locaties die in potentie ver van het aardebevingsgebied afliggen.⁴⁸ Daar bestaat dus wel de mogelijkheid dat regionale woningmarktontwikkelingen ook los van aardbevingen van elkaar verschillen, zonder dat daarvoor gecorrigeerd kan worden. Dit is een nadeel van de door Atlas gekozen matchingmethode. De impact hiervan lijkt echter beperkt omdat generieke ontwikkelingen op de woningmarkt als geheel worden door Atlas wel goed worden meegenomen. Bij het zoeken van de beste referentiewoning weegt Atlas daarbij ook het kwartaal waarin de beide woningen verkocht zijn mee. Gemiddeld genomen zijn referentiewoningen niet eerder of later verkocht dan gemaakte risicowoningen. Op die manier zijn prijseffecten die bijvoorbeeld het gevolg zijn van een dalende hypotheekrente in de tijd wel ondervangen. Tot slot geldt dat een deel van de ‘correlatie in de ruimte’ door Atlas op een indirecte manier (via de locatiekenmerken) wordt meegewogen.

Aardbevingsindicator

De Kam en Hol (2019) stellen dat de **cumulatieve grondsnelheid niet de beste aardbevingsindicator** is. Het is een abstract getal dat niet bekend is bij de potentiële kopers en verkopers van de woning. De Kam en Hol vragen zich zodoende af of deze maat wel als zodanig wordt meegewogen door kopers en verkopers. Daarnaast stellen De Kam en Hol dat de impact van cumulatieve grondsnelheid op de woning daarnaast afhankelijk is van onder meer het soort ondergrond en de kwetsbaarheid van het huis. Omdat al deze aspecten samenkomen in ontstane schade aan woningen vinden De Kam en Hol het **beter om het percentage gemelde schades als aardbevingsindicator te gebruiken** en/of cumulatieve grondsnelheden te corrigeren voor het **soort ondergrond**. Elhorst (2019) stelt tot slot dat het analyseren van het verband tussen woningprijzen en het cumulatieve totaal van de grondsnelheid leidt tot valse regressieresultaten omdat beide variabelen van een andere orde zijn: aardbevingen cumuleren in de tijd, maar woningprijzen niet.

Weging van de kritiek en opmerkingen SEO

- Het klopt dat cumulatieve grondsnelheid niet direct door potentiële kopers wordt geobserveerd. Mede om die reden hanteert Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al 2019) drempelwaarden voor de kracht van bevingen. Deze dienen ervoor om bevingen en cumulatieve grondsnelheid te ‘vertalen’ in iets dat potentiële kopers wél observeren: voelbare bevingen⁴⁹ en schade. In dat licht is de argumentatie van De Kam en Hol dat ook het type ondergrond en de kwetsbaarheid van de woning zouden moeten worden meegewogen, een relevant aandachtspunt. Wij merken daarbij op dat het niet op voorhand vaststaat dat de ondergrond een wezenlijk effect heeft op de kans op schade. Bommer et al (2016) schrijven bijvoorbeeld dat de meerwaarde van het toevoegen van een variabele die de ondergrond op specifieke locaties meeweegt een verwaarloosbare impact bleek te hebben op de berekende PGV. Hier is naar aanleiding daarvan van afgezien. De Kam en Hol geven daarbij zelf in voetnoot 9 aan dat de benodigde gegevens voor

⁴⁸ Noord-Friesland en Zuidoost-Drenthe vormen met elk ruim 20% de twee gebieden met de meeste referentiewoningen, gevolgd door Twente, Zuid-Limburg en Noord-Drenthe.

⁴⁹ In Nog altijd in beweging rekent Atlas als ultieme ondergrens voor wat ‘potentieel voelbaar’ is tevens een variant door met bevingen met een grondsnelheid van 1 mm/s of meer, naast de varianten met 2,9 mm/s en 5 mm/s.

dit type analyse niet voor het hele risicogebied beschikbaar zijn waardoor ‘*de berekening niet voor het hele gebied gemaakt kan worden.*’⁵⁰ De door De Kam en Hol genoemde kwetsbaarheid van de woning komt reeds tot uitdrukking in de door Atlas gehanteerde modelvariant met als grenswaarde 2,9 mm/s. Deze waarde correspondeert immers met de kans op het ontstaan van schade aan gevoelige structuren en monumenten.

- De suggestie van De Kam en Hol om gemelde schades (erkend of niet) te gebruiken als aardbevingsindicator is voor de erkende schades⁵¹ reeds verweven in de modelspecificatie van Atlas. Atlas neemt namelijk de schadehistorie (en daaraan gekoppelde deelname aan de Waardevermeerderingsregeling⁵²) van de woning mee in de analyse. Deze variabele is in Zeven bewogen jaren (2019) niet langer significant. In eerdere onderzoeken van Atlas had deze variabele altijd een significant positief effect op de prijs. In Nog altijd in beweging (2018) heeft Atlas tevens een andere route verkend om de schadehistorie van de woning direct als aardbevingsindicator te gebruiken. Toen is in een gevoeligheidsanalyse de som van het in een straal van 200 meter rondom de betreffende woning toegekende schadebudget meegenomen in de analyse. Dit meet de schade-intensiteit in de directe omgeving. Uit deze door Atlas uitgevoerde analyse blijkt dat deze variabele naast de grondsnelheid of het aantal bevingen geen additioneel negatief effect heeft op de transactieprijs.
- Elhorst heeft in beginsel een punt dat een cumulerende variabele als het totaal aantal aardbevingen (of de opgetelde grondsnelheden daarvan) minder geschikt is om een niet-cumulerende variabele als de woningprijs te verklaren. In praktijk is dit echter slechts van beperkte invloed op de uitkomsten van Atlas:
 1. Atlas heeft eerder gevoeligheidsanalyses uitgevoerd waarin het aardbevingseffect niet alleen cumuleert door nieuwe aardbevingen, maar daarnaast afneemt naarmate de aardbeving langer geleden is (Atlas noemt dit ‘verdiscontering’)⁵³. Dit levert geen betere verklaring van woningprijzen op, en het aardbevingseffect wordt minder precies gemeten.
 2. Het bezwaar van Elhorst heeft met name impact als met het model van Atlas toekomstige woningprijzen worden voorspeld. Die voorspelde prijzen zouden dan steeds verder dalen naarmate het aantal aardbevingen cumuleert. Het model van Atlas wordt echter niet gebruikt voor dergelijke voorspellingen. Het doel van het model is om het aardbevingseffect op woningprijzen te meten binnen de beschouwde periode (2012-2018). Binnen die periode lijkt het plausibel dat het aardbevingseffect op de woningprijzen cumuleerde, ook gezien de uitkomsten van de genoemde gevoeligheidsanalyse.

Peildatum en analyseperiode

Elhorst is van mening dat de peildatum voor compensatie moet liggen op het dieptepunt van de aardbevingscrisis in plaats van het door de commissie Hammerstein gekozen peilmoment van 1 januari 2019. Die peildatum is volgens Elhorst de enige manier om ook eerdere “misère” voor bewoners mee te nemen⁵⁴. Elhorst (2019) stelt daarnaast dat het model van Atlas de periode voor

⁵⁰ Invisor (2019) merkt in hoofdstuk 5 op dat correcties voor ondergrond op gemeenteniveau leiden tot een minimale verbetering van het model. De analyse kan niet op buurniveau worden uitgevoerd omdat de benodigde data niet beschikbaar is.

⁵¹ Het opnemen van niet-erkende schades in het model ligt wat ons betreft niet voor de hand omdat dan niet zeker is of er daadwerkelijke schade is.

⁵² Woningeigenaren met erkende bevingsschade kunnen gebruik maken van een subsidieregeling om de woning te verduurzamen. De maximale subsidie bedraagt vier duizend euro.

⁵³ Bosker et al. (2018) Nog altijd in beweging, p. 70-72.

⁵⁴ Deze kritiek wordt nader beschreven in het hoofdstuk over Elhorst (2019).

de Huizinge beving ten onrechte niet meeneemt terwijl de ‘patiënt’ voor 2012 mogelijk ook al ‘ziek’ was.

Weging van de kritiek en opmerkingen SEO

- De kritiek van Elhorst op de door Atlas gehanteerde peildatum ziet feitelijk niet op het model van Atlas, maar op de afweging gemaakt door de Commissie Hammerstein en het oordeel van het hof Arnhem-Leeuwarden van 23 januari 2018. Daarbij gaat Elhorst ervan uit dat de hier ter zake doende vergoeding voor waardedaling de 'misère', dus alle vormen van schade sinds Huizinge moet compenseren, en negeert hij dat andere vormen van vergoeding mogelijk zijn (waaronder vergoeding van immateriële schade en van gederfd woongenot). Wat in de juridische context de peildatum zou moeten zijn, laten wij buiten beschouwing
- De constatering van Elhorst dat Atlas (Bosker et al, 2018) de periode voor de Huizinge-beving ten onrechte niet meeneemt kunnen wij niet goed plaatsen. Atlas neemt alle bevingen sinds 1986 mee. Atlas laat in Met angst en beven (2016) zien dat voor de Huizinge-beving nog geen statistisch significante waardedaling kon worden vastgesteld. In Nog altijd in beweging (2018) laat Atlas in tabel 5.7 zien dat bevingen die optraden voor Huizinge wél een effect hebben op woningprijzen ná Huizinge. Dit is daarmee tevens de aanleiding om deze bevingen mee te nemen in de analyse.

Transparantie en onafhankelijkheid

De Kam en Hol (2019) wensen dat alle onderliggende gegevens en rekenprocedures die ten grondslag liggen aan het model van Atlas **openbaar gemaakt** worden zodat deze kunnen worden ingezien en gecontroleerd door burgers en onderzoekers. Elhorst (2019) vraagt zich af het gedeeltelijk door de NAM gefinancierde onderzoek dat ten grondslag ligt aan het model van Atlas wel **volgende objectief** is.

Weging van de kritiek en opmerkingen SEO

- Wij zijn het eens met de constatering van De Kam en Hol dat het uiteindelijk te hanteren model en de onderliggende data geverifieerd moeten kunnen worden. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden zoals het openbaar maken van de onderliggende data en modelstappen of het in de arm nemen van een derde partij om een second opinion uit te voeren. Dit is in feite de functie die de Commissie Hammerstein beoogde te vervullen.
- Atlas (Bosker et al, 2018; Poort et al 2019) maakt gebruik van voor dit doel aangeschafte NVM-data. Deze data is ook door derden te gebruiken, mits deze door hen bij NVM worden gekocht. Het aanschaffen van deze data is zodoende een voorwaarde om de resultaten te kunnen reproduceren. Het feit dat voor de data betaald moet worden werpt mogelijk een drempel op. Belangrijker is dat de eigen database met woningkenmerken die Atlas gebruikt niet openbaar beschikbaar is. Volledige reproductie door derden is dus niet mogelijk. Dat neemt niet weg dat de rapportage van Atlas uitermate helder en gedetailleerd is als het aankomt op de gemaakte afwegingen, de gehanteerde dataselecties en de verschillende modelspecificaties.
- De onderliggende assumptie van Elhorst dat onderzoek dat gefinancierd is door derden niet objectief zou kunnen zijn, delen wij niet.

5 Het model van Elhorst

Het model van Elhorst houdt goed rekening met samenhang tussen prijzen van vergelijkbare woningen. De waardedaling die het model voorspelt in 2014 is onwaarschijnlijk hoog. Het is niet duidelijk of het model bij andere veronderstellingen (ongeveer) dezelfde waardedaling zou meten.

5.1 Beschrijving model Elhorst

De onderstaande beschrijving van het model van Elhorst is gebaseerd op zijn studie uit 2019. De reden om niet in te gaan op zijn eerdere model (Durán & Elhorst, 2018) is dat Elhorst (2019) aangeeft dat verbeteringen zijn aangebracht ten opzichte van deze eerdere studie.

Omvang van het effect op woningprijzen

Elhorst schat de gemiddelde waardedaling in de periode 16 augustus 2012 tot 29 april 2014 van de koopwoningen die waardedaling ondervonden - op basis van zijn tweede model (zie hieronder) - op 8,9% (p. 53). Deze waardedaling varieert naar aardbevingsklassen, van 3,35% tot 11,91%. Voor diverse gemeenten (met name de gemeenten Groningen, Tynaarlo, Oldambt, Winsum en Menterwolde (tabel 9, p. 47) berekent Elhorst (2019) voor veel (d.w.z. meer dan 500) woningen geen waardedaling. Elhorst geeft aan dat deze waardedalingen voor de meeste gemeenten groter zijn dan de dalingen (berekend door Atlas voor gemeenten) waarop de Commissie Hammerstein (Hammerstein et al., 2019) zich baseert. Op basis daarvan stelt hij dat de door de Commissie Hammerstein voorgestelde compensatieregeling te zuinig is. Voor de meer recente periode 19 april 2014 tot en met 31 december 2017 valt de door Elhorst berekende waardedaling aanzienlijk lager uit dan voort de genoemde eerdere periode (tabel 8, p. 43).

Hieronder lichten we toe hoe het model van Elhorst tot deze uitkomsten is gekomen.

Woningprijzen

Elhorst vergelijkt **gerealiseerde verkoopprijzen** van woningen. Hij gebruikt net als Atlas NVM-gegevens⁵⁵. De dataset van Elhorst bevat alle woningen die in de periode 1993-2017 zijn verkocht in de provincies Groningen, Friesland en Drenthe. Dit bestand bevat meer dan 330 duizend verkochte **individuele woningen**.

Elhorst benadrukt dat de prijzen van woningen samenhangen met prijzen van andere woningen in de nabije omgeving, en dat er bovendien samenhang is tussen prijzen van identieke woningen die kort na elkaar worden verkocht. Deze prijzen gaan als gevolg daarvan veelal beide omhoog of omlaag. Hij noemt dit **ruimtelijke en temporele correlatie**.

⁵⁵ Ook Atlas voor gemeenten gebruikt NVM-cijfers over individuele verkooptransacties, echter over een periode die op 16 augustus 2012 (de beving bij Huizinge) begint en (in de laatste publicatie van Atlas: Bosker et al. (2019) Zeven bewogen jaren) tot en met 31 december 2018 loopt. Invisor (2019) gebruikt daarentegen WOZ-waarden.

Verklarende factoren

Elhorst schat twee modellen. Beide modellen volgen de hedonische prijzen methode (zie hoofdstuk 2). Beide modellen kunnen worden toegepast om waardedalingen van woningen als gevolg van aardbevingen te meten. Het verschil is dat het tweede model correlatie tussen woningprijzen in ruimte en tijd bevat (in hoofdstuk 3 van dit rapport wordt dit begrip toegelicht). Het doel van Elhorst is om de twee modellen te vergelijken en na te gaan welk model beter is.

1. Het eerste model van Elhorst (vergelijking 5, p. 14) is een hedonische prijsanalyse zoals in hoofdstuk 2 beschreven. Daarin worden woningprijzen gekoppeld aan een **groot aantal woningkenmerken en omgevingskenmerken**, en aan aardbevingskenmerken. Dit levert een inschatting op van het effect van al deze factoren op woningprijzen, inclusief een schatting van het effect van aardbevingen.
2. Het tweede model (vergelijking 8, p. 21) gebruikt een combinatie van matching en een hedonische prijsanalyse.
 - Elhorst berekent eerst het verschil in woningprijs tussen elke woning en de gemiddelde prijs van drie vergelijkbare woningen (**matching**). De gematchte woningen zijn woningen met ongeveer dezelfde kenmerken als de oorspronkelijke woning, die in dezelfde omgeving liggen (er wordt dus geen gebruik gemaakt van een risicogebied en een referentiegebied) en die op ongeveer hetzelfde moment zijn verkocht. Door deze woningen als basis te kiezen, neemt Elhorst correlatie in ruimte en tijd tussen woningprijzen op in zijn model.
 - Vervolgens wordt dit verschil in woningprijs in een hedonische prijsanalyse gekoppeld aan verschillen tussen de woning en de ‘gematchte’ woningen in temen van aardbevingshistorie, woningkenmerken en locatiekenmerken. Hieruit volgt een inschatting van het effect van aardbevingen op woningprijzen.

Uit een statistische toets concludeert Elhorst (p. 30) dat de twee modellen verschillende uitkomsten opleveren. Vervolgens stelt hij dat dit impliceert dat (additionele) ruimtelijke en temporele correlatie tussen woningen niet gelijk aan nul mag worden verondersteld. Hij concludeert uit de statistische toets dat een belangrijk fundament van het onderzoek van Atlas voor gemeenten (namelijk geen additionele ruimtelijke en temporele correlatie) zou wegvallen.⁵⁶ Om die reden gebruikt hij bij het schatten van waardedalingen (p. 41 en verder) zijn tweede model (dat rekening houdt met ruimtelijke en temporele correlatie).

De modellen van Elhorst bevatten **geen kenmerken van de** (oude of nieuwe) **bewoners** van de woning⁵⁷. Elhorst maakt een **niet-lineair verband** mogelijk tussen aardbevingen en woningprijzen door meerdere aardbevingsklassen te onderscheiden die elk een eigen effect hebben op de woningprijs.

Aardbevingsgebied

Elhorst bakent **geen aardbevingsgebied** af. Hij vergelijkt dan ook geen woningen binnen en buiten een aardbevingsgebied met elkaar. Zijn model is gebaseerd op het onderling vergelijken van prijzen van woningen in de drie noordelijke provincies.

⁵⁶ Wij tekenen hierbij aan dat de uitkomst van Elhorst m.b.t. ruimtelijke en temporele correlatie alleen geldig is in de context van het model van Elhorst (d.w.z. gegeven alle andere veronderstellingen die Elhorst in zijn model maakt). In het (hypothetische) geval dat het model van Atlas voor gemeenten zou worden aangevuld met ruimtelijke en temporele correlatie, zou de uitkomst anders kunnen zijn omdat het om een ander model gaat.

⁵⁷ In dit opzicht komt de aanpak van Elhorst overeen met die van Atlas voor gemeenten, maar niet met die van Invisor.

Aardbevingsindicator

Elhorst gebruikt de **locatie specifieke aardbevingsindicator** van Bommer et al (2016, 2017) om de PGV (peak ground velocity, oftewel maximale grondsnelheid) op een locatie te berekenen⁵⁸. Daarbij neemt hij alleen aardbevingen met een magnitude boven een **drempelwaarde van 1,8 op de schaal van Richter** mee⁵⁹. De aardbevingsindicator wordt cumulatief berekend: de grondsnelheden van eerder opgetreden aardbevingen op de locatie van een woning worden bij elkaar opgeteld. Elhorst laat zien dat deze cumulatieve indicator niet ‘stationair’ is: deze indicator kan alleen maar stijgen in de tijd naarmate er meer aardbevingen optreden), en geeft aan dat dit kan leiden tot verkeerde schattingen in zijn eerste model⁶⁰. Zijn tweede model lijkt hier volgens Elhorst niet onder: de verschillen ten opzichte van gematchte woningen zijn wel stationair. De aardbevingsindicator van Elhorst kent **geen geleidelijke afname in de tijd**. Elhorst deelt de omvang van de aardbevingsindicator in klassen in, en schat vervolgens het effect van de aardbevingsklassen op de woningprijs. Dit doet hij door voor elke aardbevingsklasse (behalve de klasse van woningen die geen last hebben van aardbevingen) een zogenaamde ‘dummy-variabele’ aan het model toe te voegen. De dummy-variabele kan het beste worden vergeleken met een ‘aan/uit-knop’. In het model is voor elke aardbevingsklasse zo’n aan/uit-knop opgenomen. Als de knop in het model voor een bepaalde aardbevingsklasse ‘aan’ is dan betekent dat dat de desbetreffende woning tot die aardbevingsklasse behoort. Op die manier schat Elhorst voor elke aardbevingsklasse de coëfficiënt die het woningprijsverschil weergeeft van woningen in die aardbevingsklasse met woningen die geen last hebben van aardbevingen.

Peildatum waardedaling

Elhorst onderscheidt verschillende perioden in de geschiedenis van de aardbevingen. Hij formuleert diverse hypothesen ten aanzien van de waardevermindering van woningen in de tijd. Hij veronderstelt dat 29 april 2014 een keerpunt was in de waardedaling, omdat de NAM op die datum een compensatieregeling voor waardedaling bij verkoop van woningen introduceerde. Hij kiest 29 april 2014 als peildatum om het welvaartsverlies van woningeigenaren te compenseren, omdat volgens hem het geleden welvaartsverlies toen volledig in de woningprijs was verdisconteerd. Door de compensatieregeling en andere maatregelen (vermindering en stoppen gaswinning) werd het nadeel voor woningeigenaren volgens Elhorst daarna kleiner, waardoor het negatieve woningprijs-effect kleiner werd, en de woningprijzen niet meer het volledige nadeel weerspiegelden. Elhorst presenteert minder grote aardbevingseffecten per aardbevingsklasse na 29 april 2014 (t/m 2017) (Elhorst, 2019, p. 43), maar maakt niet inzichtelijk wat dit per gemeente betekent.

Gevoeligheidsanalyses

Elhorst voert **enkele gevoeligheidsanalyses** uit om aannames te onderbouwen. Zo probeert hij diverse varianten met betrekking tot eigenschappen die de gematchte woningen mogen hebben ten opzichte van de woning waarmee wordt gematcht:

- het aantal gematchte woningen;

⁵⁸ Elhorst gebruikt niet de meest actuele formule van Bommer et al (2019) die Atlas wel gebruikt; zie hoofdstuk 4.

⁵⁹ Dit is een andere invulling van de drempelwaarde van Atlas. Atlas gaat uit van een drempel voor de cumulatieve grondversnelling. In de volgende paragraaf gaan we in op de vraag of de indicator van Elhorst geschikt is.

⁶⁰ Het opnemen van niet stationaire variabelen in een regressievergelijking kan tot onjuiste resultaten leiden. Wooldridge (2013, paragraaf 11.1) schrijft hierover in een leerboek over econometrie: “... *if we want to understand the relationship between two or more variables using regression analysis, we need to assume some sort of stability over time.*”

- de maximale afstand in ruimte (kilometers);
- de maximale afstand van de verkooptransactie in de tijd (maanden).

Van het model waarin het aardbevingseffect op de woningprijs wordt onderzocht, presenteert Elhorst vijf varianten. Deze zijn gebaseerd op de tweede hierboven beschreven methode (prijsverschillen ten opzichte van gematchte woningen). De eerste variant betreft de volledige periode 1993-2017, de andere varianten gaan over deelperioden daarbinnen. Dit zijn geen gevoeligheidsanalyses met betrekking tot aannames in het model; het betreft een analyse van de vraag of het aardbevings-effect op woningprijzen verschilt in de tijd. Elhorst voert **geen andere gevoeligheidsanalyses** uit.

Controleerbaarheid/reproduceerbaarheid

Elhorst beschrijft uitvoerig hoe zijn model is opgebouwd, en levert *en passant* kritiek op het model van Atlas. Elhorst suggereert dat het model van Atlas niet reproduceerbaar zou zijn, omdat niet-beschikbare gegevens van NVM zijn gebruikt. Elhorst gebruikt zelf echter ook gegevens van NVM, die voor anderen beschikbaar zijn door ze aan te kopen.

Verhogen van de compensatie

Elhorst is kritisch over het voorstel van de Commissie Hammerstein (Hammerstein et al., 2019) om de geschatte waardedaling met één standaardfout te verhogen. Hij geeft aan dat de standaardfout afhangt van de wijze waarop de aardbevingsindicator wordt gemeten. Daardoor is de standaardfout naar zijn mening geen goede basis voor een compensatieregeling. Hij geeft aan dat verhogen van een in peiljaar 2014 berekende compensatie met de wettelijke rente tussen 2014 en het moment van compensatie, een betere manier is om de compensatie te verhogen⁶¹.

5.2 Opmerkingen bij het model van Elhorst

Deze paragraaf bevat opmerkingen van SEO bij Elhorst (2019). Elhorst (2019) is vrij recent afgerond⁶². De meeste andere studies over modellen van waardedaling door aardbevingen zijn eerder gepubliceerd. Daarom is in deze andere studies weinig kritiek aanwezig op Elhorst (2019). Hieronder bespreken we eerst een kritiekpunt van Atlas. Daarna volgen opmerkingen van SEO.

5.2.1 Opmerking Atlas

Atlas (Ponds et al., 2019) geeft aan dat de woningprijzen in het aardbevingsgebied bij afwezigheid van aardbevingen onwaarschijnlijk hoog zouden zijn geweest, als het model van Elhorst wordt gebruikt om deze prijzen te schatten⁶³. De kritiek van Ponds et al. (2019) heeft betrekking op de op de eerdere studie van Elhorst (Dúran en Elhorst, 2018), maar is ook van toepassing op zijn recente onderzoek (Elhorst, 2019), omdat dit een vrijwel even groot prijseffect bevat. Elhorst (2019, p. 53) geeft aan dat de gemiddelde waardedaling van 8,9% op peildatum 29 april 2014 die

⁶¹ In de volgende paragraaf gaan wij hierop nader in.

⁶² Bij de titel van Elhorst (2019) staat 10 juli 2018. De eerste zin van de tekst gaat echter over een gebeurtenis die op 24 april 2019 heeft plaatsgevonden. Daarom gaan we ervan uit dat deze studie in 2019 is afgerond.

⁶³ Ook de Commissie Hammerstein (Hammerstein et al., 2019) voert dergelijke berekeningen uit, maar dan op basis van de minder grote prijseffecten die door Atlas zijn geschat. Deze laatste berekening levert wel plausibele woningprijzen op bij afwezigheid van aardbevingen.

hij berekent in Elhorst (2019) sterk overeenkomt met zijn eerdere schatting van 9,3% in Durán en Elhorst (2018).

Elhorst is kritisch over de aanname van Atlas en van de Commissie Hammerstein dat een waardedaling van woningen met $x\%$ betekent dat de woningprijs zonder aardbevingen navenant hoger zou zijn geweest (p. 7-11). Hij meent dat andere scenario's denkbaar en aannemelijker zijn. Hij stelt dat uit de door Elhorst eerder berekende waardedaling van gemiddeld 9,3% (Durán en Elhorst, 2018) niet mag worden geconcludeerd dat de waarde van woningen in het aardbevingsgebied zonder aardbevingen (meer dan⁶⁴) 9,3% hoger zou zijn geweest (en daarmee onwaarschijnlijk hoog).

Elhorst onderbouwt deze stelling op basis van twee voorbeelden:

- Een figuur met vraag- en aanbodlijnen (p. 8-9), waarin hij veronderstelt dat aardbevingen leiden tot een afname van zowel de gevraagde als de aangeboden hoeveelheid woningen. Hij meent te zien dat het dan theoretisch mogelijk is dat de marktprijs van woningen precies even hoog is in een situatie met aardbevingen en een situatie zonder aardbevingen.
- Een voorbeeld waarin tien woningen worden opgevoerd met verschillende prijzen. Alle prijzen dalen met 10% door aardbevingen. Als alle woningen zouden worden verkocht, zou de gemiddelde prijs ook 10% lager zijn. Elhorst veronderstelt echter bovendien dat de goedkoopste van de tien woningen door de aardbevingen onverkoopbaar wordt. De gemiddelde prijs van de verkochte woningen wordt dan hoger, omdat de goedkoopste woning niet meer wordt meegeteld bij het berekenen van dit gemiddelde. Daardoor daalt de gemiddelde prijs per saldo niet met 10%, maar met slechts 1,82%.

Weging van de kritiek

Hoewel de voorbeelden van Elhorst zijn gebaseerd op sterk beperkende veronderstellingen, is zijn stelling in theorie geldig (zie hierover bijlage A). Zijn argument is dat waardedalingen in een markt niet alleen tot uiting hoeven te komen in prijsdalingen, maar ook samen kunnen gaan met veranderingen van het aantal verkochte woningen en van de samenstelling van de verkochte woningen. Gegeven dat de stelling van Elhorst theoretisch klopt, is het vervolgens de vraag of dit ook in de praktijk het geval is: zijn er minder woningen verkocht, of zijn er minder goedkope woningen verkocht?

Er zijn aanwijzingen dat het aantal verkochte woningen in het aardbevingsgebied rond 2013 lager lag dan daarvoor, maar er zijn ook indicaties dat dit niet geldt voor recente jaren. Dit blijkt uit de volgende onderzoeksresultaten. Elhorst laat zien dat het verkochte aantal woningen met aardbevingsschade in de jaren 2010 t/m 2013 met circa 20% daalde in verhouding tot het totaal aantal verkochte woningen in Noord-Nederland (figuur 4, paneel 3, p. 11).⁶⁵ Deze daling is additioneel ten opzichte van een algemene daling van het aantal verkochte woningen in Noord-Nederland van circa 40% (figuur 4, paneel 1, p. 11). Na 2013 herstelde het aantal verkochte woningen met aardbevingsschade zich, ook relatief ten opzichte van het totaal aantal verkochte woningen (figuur 4, panelen 2 en 3, p. 11).

⁶⁴ De op deze wijze berekende waardestijging zou zijn: $9,3/(100-9,3)=10,3\%$.

⁶⁵ Ook Atlas voor gemeenten laat zien dat het aantal verkochte woningen, het aantal te koop staande woningen en de verkoopduur zich in de risicogemeenten in de jaren 2012 tot en met 2015 minder gunstig hebben ontwikkeld dan in Nederland als geheel (Bosker et al., 2016). In een regressieanalyse is het effect op de verkoopduur echter niet significant.

Voor een veranderende samenstelling van de verkochte woningen zijn geen aanwijzingen. Elhorst toont niet aan dat in de praktijk minder goedkope woningen worden verkocht. Poort et al (2019) verwijzen in voetnoot 28 naar onderzoek van het CBS (2016) waaruit blijkt dat de kenmerken van de verkochte en te koop staande woningen in het aardbevingsgebied niet afwijken van de totale woningvoorraad in dat gebied als het gaat om oppervlakte, WOZ-waarde en bouwjaar. Poort et al (2019) zelf vinden op basis van nieuwere data dat de verkooptijd in het risicogebied per saldo gemiddeld twee à drie weken korter is dan daarbuiten. Zij concluderen zodoende dat voor de stelling dat woningen in het gebied moeilijker verkoopbaar zijn geworden en het gevonden prijseffect derhalve een onderschatting is, geen empirische aanwijzingen zijn. Bovendien houden de berekeningen van woningprijzen zonder aardbevingen van de Commissie Hammerstein (Hammerstein et al., 2019) ten dele rekening met samenstellingseffecten door de prijsstijging per gemeente te berekenen. Verschillen tussen dure en goedkope woningen komen daarin ten dele tot uiting in verschillen tussen gebieden.

Het is dus voor recente jaren bij benadering correct om aan te nemen dat $x\%$ waardedaling betekent dat de prijs zonder aardbevingen (minstens) $x\%$ hoger zou zijn geweest. Rond 2014 kan het effect van aardbevingen voor een deel tot uiting zijn gekomen in veranderingen van hoeveelheden, naast prijsveranderingen. Het lijkt echter waarschijnlijk dat het grootste deel van de waardedaling van woningen tot uiting zou komen in marktprijzen (zie ook bijlage A). Daarmee blijft de kritiek van Atlas op het grote prijseffect van Durán en Elhorst (2018) grotendeels overeind. Daarmee is dit prijseffect, net als het vrijwel even grote prijseffect in Elhorst (2019), minder plausibel. Gevoeligheidsanalyses zouden wellicht zichtbaar kunnen maken welke veronderstelling(en) van Elhorst tot deze grote geschatte prijseffecten leiden. Elhorst heeft echter slechts beperkte gevoeligheidsanalyses uitgevoerd (zie paragraaf 5.2.2). Daardoor blijft de oorzaak van de grote effecten onduidelijk.

Elhorst schat voor de periode 29 april 2014 t/m 2017 aanzienlijk lagere waardedalingen door aardbevingen dan voor de periode 16 augustus 2012 tot 29 april 2014, waarop hij zijn compensatievoorstel baseert. Zo is de geschatte coëfficiënt voor woningen in de zwaarste aardbevingsklasse in de eerste van deze twee perioden $-0,1268$ en in de meer recente periode $-0,0530$ (p. 43). Dit correspondeert met prijsdalingen van respectievelijk 11,9 procent en – voor de meer recente periode – van 5,2 procent.⁶⁶ Het zou interessant zijn om na te gaan of dit grote verschil tussen de perioden blijft bestaan in gevoeligheidsanalyses, bijvoorbeeld met een andere aardbevingsindicator. Elhorst (2019) bevat zulke gevoeligheidsanalyses niet.

5.2.2 Opmerkingen SEO

Correlatie in tijd en ruimte

Zoals hierboven beschreven laat Elhorst zien dat huizenprijzen ‘gecorrleerd zijn in de tijd en in de ruimte’. Ook maakt hij zichtbaar dat de woningprijzen een conjunctuurpatroon volgen. Hij concludeert hieruit dat deze drie eigenschappen moeten terugkomen in een model ter bepaling van huizenprijzen. Wij tekenen hierbij aan dat dit correct is als het doel is om huizenprijzen te voorspellen. In de analyses ten behoeve van compensatie van eigenaren van woningen is het doel echter specifieker/partiëler: het meten van waardedaling door aardbevingen op een te bepalen peildatum. De vraag die aan de orde is, is of het aardbevingseffect correct is geschat.

⁶⁶ Dalingen in procenten berekend met formule (9) op p. 46 van Elhorst (2019).

Het is mogelijk dat het niet meenemen van correlatie in tijd en ruimte invloed heeft op het gemeten aardbevingseffect. Of deze invloed daadwerkelijk optreedt, hangt af van het gehanteerde model. In de hoofdstukken 4 en 6 gaan we na in hoeverre deze invloed aanwezig kan zijn in de modellen van respectievelijk Atlas en Invisor.

Drempelwaarde bij aardbevingsindicator filtert lichte trillingen niet goed uit

Elhorst (2019, p. 31) hanteert een drempelwaarde van een magnitude van 1,8 op de schaal van Richter. Bevingen van een kleinere magnitude telt hij niet mee bij het berekenen van de aardbevingsindicator. Hij onderbouwt dit door te verwijzen naar publicaties van Bommer et al. (2016, 2017) die aangeven dat aardbevingen met een kleinere magnitude dan 1,8 geen meetbare effecten hebben. De drempel van 1,8 laat echter toe dat kleine trillingen toch meetellen in de aardbevingsindicator. Magnitude zegt op zichzelf niet alles over het effect van aardbevingen. Het gaat om de combinatie van de magnitude met de afstand tot het epicentrum. Een beving van 1,8 of meer op de schaal van Richter kan serieuze gevolgen hebben rond het epicentrum van de beving. In gebieden daaromheen is de impact echter veel kleiner, en kan deze relatief sterke beving leiden tot beperkte trillingen. Elhorst telt die beperkte trillingen mee bij het berekenen van zijn aardbevingsindicator: de cumulatieve grondsnelheid. Het gevolg hiervan is dat de drempelwaarde van Elhorst beperkte trillingen slechts gedeeltelijk weglaat (alleen voor zover ze voortkomen uit een aardbeving van minder dan 1,8 op de schaal van Richter). Dit kan leiden tot een overschatting van aardbevingen buiten de kern van het aardbevingsgebied, omdat juist daar vaak beperkte trillingen optreden. Die overschatting van de ruimtelijke reikwijdte van aardbevingen kan leiden tot een te groot effectgebied en tot het compenseren van bewoners die geen merkbare trillingen of nauwelijks merkbare trillingen ervaren.

Arbitraire weging van een deel van de woningkenmerken

Bij het zoeken naar vergelijkbare woningen deelt Elhorst woningkenmerken in twee categorieën in (p. 23-24):

1. kenmerken die volgens Elhorst niet kunnen worden veranderd zoals de locatie, het type huis (vrijstaand, rijtjeshuis etc.) en de grootte van de woning⁶⁷;
2. kenmerken die volgens Elhorst van ondergeschikt belang zijn omdat ze kunnen worden veranderd zoals de staat van onderhoud en oriëntatie van de tuin⁶⁸. Bij deze categorie horen ook kenmerken die volgens Elhorst subjectief⁶⁹ zijn zoals de keuken.

Variabelen in de eerste categorie past Elhorst zodanig aan dat de invloed van elke variabele even zwaar weegt. Variabelen in de tweede categorie past hij niet op deze wijze aan. Wij merken op dat zowel de indeling van kenmerken in categorieën als de onderlinge weging van kenmerken binnen en tussen de categorieën arbitrair is. Het zou beter zijn om de weging empirisch te bepalen.

⁶⁷ De grootte van een woning kan overigens wel degelijk worden veranderd, met bijvoorbeeld een uitbouw of een dakkapel.

⁶⁸ Onduidelijk is hoe de oriëntatie van een tuin zou kunnen worden veranderd.

⁶⁹ In een hedonisch prijsmodel is de waardering van alle kenmerken subjectief in de zin dat deze waardering door voorkeuren van kopers en verkopers wordt bepaald.

Bevolkingstrend is niet geschikt om woningprijzen te verklaren

Elhorst neemt in zijn model voor de woningprijs onder meer de bevolkingstrend in en rond⁷⁰ elk postcode-4 gebied op (p. 27). Als reden daarvoor noemt hij de krimp van rurale delen van de provincies Groningen, Friesland en Drenthe, terwijl steden in omvang toenemen. In het model van Elhorst heeft de bevolkingstrend een positieve, statistisch significante invloed op de woningprijzen. Hierbij merken we op dat de bevolkingstrend in theorie negatief kan zijn beïnvloed door aardbevingen, waardoor sprake kan zijn van misspecificatie van het model⁷¹. Als gevolg daarvan wordt het effect van aardbevingsrisico op woningprijzen mogelijk onderschat, want een deel van het effect wordt mogelijk gemeten via de bevolkingstrend. Uit onderzoek van het CBS (2020) blijkt echter dat het aantal verhuisbewegingen in de risicogebieden niet is veranderd tussen 2012 en 2018, en ook niet in vergelijking met referentiegebieden zonder aardbevingen. Hier maken we uit op dat er geen duidelijke invloed van aardbevingen op de bevolkingstrend lijkt te zijn. Daarom zien wij dit als een relatief minder zwaar kritiekpunt.

Beperkte set gevoeligheidsanalyses

Elhorst laat slechts een beperkte set gevoeligheidsanalyses zien. Daardoor wordt het niet duidelijk of andere aannames tot andere uitkomsten leiden voor het aardbevingseffect, en is de robuustheid van het model dus slechts ten dele onderzocht. Elhorst laat bijvoorbeeld niet zien of het gemeten aardbevingseffect op woningprijzen verandert als wordt gekozen voor een andere aardbevingsindicator (bijv. lineair in plaats van in aardbevingsklassen, toevoegen geleidelijke daling door geheueffect, schades in plaats van bevingen), een andere drempel voor het uitsluiten van lichte trillingen, of het opnemen van andere woning- of locatiekenmerken. Hij verdedigt de keuzes die hij maakt, maar onderzoekt niet het effect van andere keuzes.

Uitkomsten herleidbaar, onwaarschijnlijke prijseffecten

De meeste modeluitkomsten van Elhorst zijn herleidbaar. Het effect op de woningprijzen wordt groter naarmate de aardbevingsindicator groter is. Dat geldt echter niet voor de periode 19 april 2014 t/m 2017: daar laten de hogere aardbevingsklassen een minder grote waardedaling zien dan de klassen met minder (of minder zware) aardbevingen (zie onderstaande tabel). Elhorst (p. 44) verklaart dit door te verwijzen naar de hersteloperatie die overheden en de NAM inmiddels in gang hadden gezet. Een andere mogelijke verklaring is dat minder zwaar getroffen woningen, met kleine prijseffecten, door een cumulatie van lichtere trillingen (zie hierboven) inmiddels in hogere aardbevingsklassen waren terechtgekomen. Dit zou het gevonden prijseffect van deze hogere klassen reduceren. Elhorst vindt net als Atlas een positief 'waterbedeffect' op prijzen van woningen met weinig of geen gevoelde aardbevingen. De coëfficiënten van de woningkenmerken hebben het verwachte teken (positief of negatief).

De door Elhorst geschatte effecten van aardbevingen op woningprijzen zijn onwaarschijnlijk groot; zie hierover paragraaf 5.2.1.

⁷⁰ Elhorst berekent hiertoe een zogenaamde marktpotentiaal: een gewogen som van de bevolking van het postcode-4 gebied zelf en postcode-4 gebieden in de omgeving. De gewichten in de gewogen som nemen af met de afstand tot het betreffende postcode-4 gebied.

⁷¹ In econometrisch jargon heet dit een endogene variabele.

Tabel 5.1 Gemiddelde geschatte totale waardedaling voor de acht voorkeursmodellen

Aardbevingsklasse	Effecten op de woningwaarde ^a	
	16 aug 2012-29 april 2014	29 april 2014 t/m 2017
EQ1	+1,60%	+4,16%
EQ2	-1,93%	+1,63%
EQ3	-3,35%	-0,63%
EQ4	-5,01%	-2,04%
EQ5	-8,10%	-6,56%
EQ6	-9,98%	-8,01%
EQ7	-9,67%	-7,63%
EQ8	-9,51%	-7,91%
EQ9	-9,78%	-3,09%
EQ10	-9,59%	-3,94%
EQ11	-9,58%	-2,99%
EQ12	-9,42%	-5,57%
EQ13	-9,97%	-5,15%
EQ14	-10,94%	-4,91%
EQ15	-11,91%	-5,16%

a Berekend o.b.v. modelcoëfficiënten in Elhorst (2019), tabel 8, p. 43, m.b.v. de formule in Elhorst (2019), p. 46: waardedaling in procenten= $100 \times [\exp(\text{coëfficiënt}) - 1]$.

Bron: Elhorst (2019), bewerking SEO

Keuze peilmoment voor compensatie

Elhorst stelt dat het dieptepunt van de aardbevingsproblemen de basis voor compensatie moet zijn (p. 46). Hij geeft aan dat de waardedaling daarna kleiner kan zijn geworden, maar benadrukt dat die meer recente, kleinere daling niet (meer) het welvaartsverlies weerspiegelt dat de woningeigenaar in eerdere jaren (met name 2014) heeft geleden. Hij bekritiseert de Commissie Hammerstein die dit eerdere verlies bij niet-verkochte woningen een ‘virtueel welvaartsverlies’ noemde; dit omdat het verlies (nog) niet tot uiting is gekomen in een financieel verlies. Elhorst benadrukt dat de ‘misère’ waarmee woningeigenaren de afgelopen jaren hebben geleefd, ook een welvaartsverlies weerspiegelt.

Naar onze mening heeft Elhorst in algemene zin gelijk dat eerdere ‘misère’ ook een welvaartsverlies aangeeft. Daarbij negeert hij echter dat andere vormen van vergoeding mogelijk zijn (waaronder vergoeding van immateriële schade en van gederfd woongenot). Deze stelling van Elhorst ziet verder niet op hoe een model in econometrische zin waardedaling moet begroten, maar op de afweging gemaakt door de Commissie Hammerstein.

Verhogen van de compensatie

Bij de suggestie van Elhorst om de compensatie niet te verhogen met de standaardfout maar met de wettelijke rente, tekenen we aan dat dit twee sterk verschillende vormen van verhoging zijn. Het toepassen van wettelijke rente is weliswaar ook een verhoging in euro's, net als verhogen met de standaardfout. Echter, de wettelijke rente weerspiegelt een reguliere manier om verplichtingen die later worden uitgekeerd, aan het tijdstip van uitkering aan te passen. Verhogen met de standaardfout gaat uit boven reguliere aanpassing aan het moment van uitkeren.

Onafhankelijk onderzoek

Elhorst geeft aan (p. 1) dat onderzoek dat is gefinancierd door de NAM – en in het bijzonder het eerdere onderzoek van Atlas voor gemeenten – niet objectief is. Hij geeft aan dat hij “niet opschrijft

wat andere partijen vinden dat ik moet opschrijven". Dit suggereert dat betaald onderzoek niet objectief kan zijn en dat objectiviteit is voorbehouden aan onderzoekers zoals Elhorst. Deze suggestie onderbouwt hij niet.

6 Het model van Invisor

Het model van Invisor kent ernstige beperkingen. Het gebruikt ten onrechte kenmerken van bewoners om woningprijzen te verklaren. En het bevat onder meer grote onverklaarde verschillen tussen woningprijzen van verschillende buurten.

Dit hoofdstuk beschrijft twee studies van Invisor. Allereerst Invisor (2019) “Uitleg werkwijze berekening waardedaling woningen in het aardbevingsgebied in Groningen op peilmoment 1 januari 2019” van 17 september 2019. Na de beschrijving in paragraaf 6.1 volgen kritiekpunten in paragraaf 6.2. In februari 2020 publiceerde Invisor (2020) een aangepaste versie van deze studie. Paragraaf 6.3 beschrijft de verschillen tussen de publicaties van februari 2020 en september 2019 en geeft aan of en hoe deze verschillen de beoordeling van het model beïnvloeden.

6.1 Beschrijving model Invisor

De toelichting bij van het model van Invisor (2019) is op diverse belangrijke punten niet helder. Zo is in de tekst niet duidelijk of het model woningprijzen of de logaritme van woningprijzen verklaart. De beschrijving in dit hoofdstuk is gebaseerd op wat de toelichting van Invisor wel vermeldt.

Effect van aardbevingsrisico

Invisor (2019) laat de uitkomsten met betrekking tot de waardedaling door aardbevingen met figuren zien (p. 22-24). Het is niet duidelijk hoe hoog de gemiddelde geschatte waardedaling in het aardbevingsgebied is.

Hieronder lichten we toe hoe het model van Invisor tot deze uitkomsten is gekomen.

Woningprijzen

De woningprijzgegevens die Invisor (2019) gebruikt zijn **geen gerealiseerde verkoopprijzen** maar WOZ-waarden. Deze waarden worden geschat met hierop toegesneden rekenmodellen (zie onderstaande Box). De geschatte waarde hangt af van de mate waarin het gebruikte rekenmodel kenmerken van de referentiewoningen en van de woning in kwestie meeneemt.

Box 6.1 WOZ-waarden

WOZ staat voor Wet waardering onroerende zaken. Gemeenten stellen elk jaar de zogenaamde WOZ-waarde van elke woning (en ander onroerend goed) vast. Deze WOZ-waarde is de basis voor het bepalen van diverse belastingen, waaronder de onroerendezaakbelasting en de inkomstenbelasting, via het eigenwoningforfait.

De WOZ-waarde is een schatting van de waarde van een woning. De gemeente gebruikt daarvoor een taxatiemodel. Daarin wordt de waarde van een woning bepaald door diverse woningkenmerken, zoals de kavelgrootte, het bouwjaar en de gewildheid van de buurt. Dit taxatiemodel wordt gemaakt op basis van verkoopprijzen van alle woningen in de gemeente. In sommige gevallen wordt de met het model geschatte waarde aangepast door de woning ter plaatse op te nemen.

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. waarderingskamer.nl

Invisor (2019) gebruikt **geen prijzen van individuele woningen**, maar gemiddelde WOZ-waarden van buurten en gemeenten.⁷² Door het berekenen van gemiddelden bevat het model van Invisor geen **correlatie tussen woningprijzen in tijd en ruimte**.

Verklarende factoren

Het model van Invisor (2019) veronderstelt dat de gemiddelde woningprijs in een buurt of gemeente **simultaan** wordt bepaald door diverse **eigenschappen van de buurt of gemeente** waaronder sociaaleconomische **kenmerken van de bewoners** zoals inkomen, vermogen en de mate van werkloosheid, **omgevingsfactoren**, **'systeemfactoren'** (o.a. consumentenvertrouwen) en een **aardbevingsindicator**. Het gaat om een **beperkte set van woningkenmerken en locatiemarkten** in vergelijking met de modellen van Atlas en Elhorst. Het model van Invisor gaat uit van een **evenredig (lineair) verband tussen aardbevingen en woningprijzen**.

Indirecte waardedaling door "sociaaleconomische erosie"

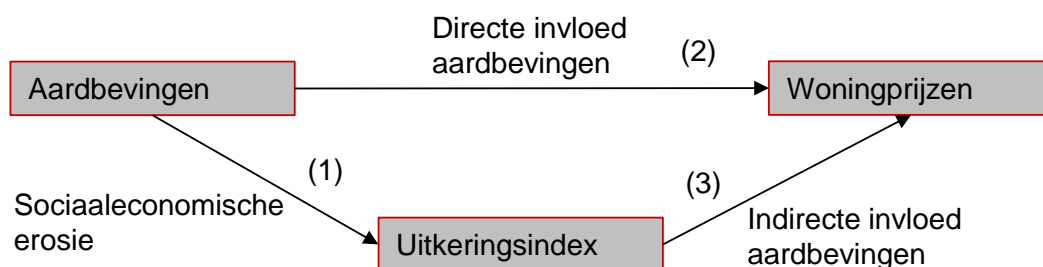
Invisor (2019) berekent naast de directe effecten van aardbevingen op woningprijzen ook een indirect effect van aardbevingen op de woningprijzen via "sociaaleconomische erosie" (p. 19). Invisor (2019) berekent de indirecte waardedaling in twee stappen:

1. Invisor legt met een regressieanalyse (zie Invisor bijlage 3) een verband waarin de "uitkeringsindex"⁷³ van elke gemeente afhangt van een aardbevingsindicator en van sociaaleconomische kenmerken zoals banen in de commerciële dienstverlening en vermogen per huishouden. Dit noemt Invisor het **sociaaleconomische erosie model**;
2. Daarnaast legt Invisor met hedonische prijzenanalyses (dit zijn ook regressieanalyses; zie hoofdstuk 2) een verband waarin de woningprijs per vierkante meter in elke gemeente afhangt van de aardbevingsindicator, van de uitkeringsindex en van diverse andere kenmerken van de gemeente. Dit noemt Invisor het **woningmarktmodel**.

Door deze aanpak hebben aardbevingen op twee manieren invloed op woningprijzen:

- direct via de aardbevingsindicator in het woningmarktmodel;
- indirect via een uitkeringsindex in het woningmarktmodel. De uitkeringsindex wordt beïnvloed door aardbevingen in het sociaaleconomische erosie model.

Figuur 6.1 In het model van Invisor hebben aardbevingen op twee manieren invloed op de woningprijs: direct, en indirect via een uitkeringsindex



Toelichting: Invisor berekent eerst de invloed van aardbevingen op de uitkeringsindex in het sociaaleconomische model (onder (1)). Vervolgens berekent Invisor in een woningmarktmodel zowel de directe invloed van

⁷² Invisor (2019) geeft niet expliciet aan of logaritmen van deze gemiddelde prijzen zijn gebruikt, zoals gebruikelijk in hedonische prijzen modellen (zie hoofdstuk 2).

⁷³ Het aantal WW- en bijstandsuitkeringen per 1000 inwoners.

aardbevingen op woningprijzen (onder (2)) als de invloed van de uitkeringsindex op woningprijzen (onder (3)).

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Aardbevingsgebied

Invisor (2019) bepaalt het gebied waar schade is gemeld, en gebruikt dit om een drempel te kiezen voor de aardbevingsindicator (zie de tekst onder “Aardbevingsindicator” hierna).

Aardbevingsindicator

Invisor (2019) gebruikt **locatie specifieke aardbevingsindicatoren** van Bommer en van Dost, en kiest op basis van de resultaten voor de indicator van Dost. Alleen aardbevingen waarbij de **grondsnelheid boven een drempelwaarde** komt, worden meegeteld. Daarmee beoogt Invisor om locaties ver buiten het aardbevingsgebied geen waardedaling toe te kennen.

Over de berekening van de drempelwaarde is Invisor (2019) niet helder. Op p. 11 staat: “...op plaatsen waar voor elke *individuele* [cursivering SEO] beving de grondversnelling niet boven deze waarde komt wordt een drempelwaarde toegepast met als resultaat dat de WRAS hier op nul uitkomt”. Op p. 15 staat dat de drempelwaarde de gemiddelde waarde is van de aardbevingsindicator in buurten in de gemeenten Leek, Stadskanaal en Marum die net buiten het gebied met schademeldingen liggen. Deze laatste passage lijkt te suggereren dat geen drempel is toegepast bij individuele bevingen maar bij de gecumuleerde aardbevingsindicator. In dat geval zijn ten onrechte lichte trillingen meegeteld. Dat betekent dat Invisor de drempelwaarde mogelijk verkeerd toepast (zie voor een toelichting bij dit bezwaar paragraaf 5.2.2). In de beoordeling geven we Invisor echter het voordeel van de twijfel en gaan we uit van de gunstige interpretatie, namelijk dat de drempel is toegepast op individuele bevingen. Mocht de drempel toch op een minde goede wijze zijn toegepast (niet bij individuele bevingen maar bij de gecumuleerde aardbevingsindicator) dan geldt dat we zouden moeten concluderen dat het model van Invisor niet volledig voldoet aan het kerncriterium **3b. Neemt cumulatie van kleine trillingen niet mee** (de kleur in de tabel in hoofdstuk 7 en in de samenvatting verschiet dan van groen naar oranje).

Invisor gebruikt de verandering van jaar op jaar van de aardbevingsindicator als verklarende variabele, omdat de aardbevingsindicator zelf cumulatief is en daardoor alleen maar kan toenemen en niet afnemen (of zoals Invisor het technisch aanduidt: “een 1^{ste} orde” variabele). Daarbij veronderstelt Invisor (p. 11) dat aardbevings schade die in een bepaald jaar optreedt, gedurende een aantal jaren daarna (1, 3 of 5 jaar) invloed heeft op de woningprijzen. Na het verstrijken van dit aantal jaren, daalt de aardbevingsindicator plotseling naar nul. Er is dan ook **geen geleidelijke afname van het effect van eerdere aardbevingen** op woningprijzen.

Peildatum en analyseperiode

Invisor (2019) kiest als peilmoment 1 januari 2019 en verwijst hierbij naar een verzoek van de Stichting WAG. Het gaat dus om een recente peildatum.

Extrapolatie van resultaten van Elhorst

Naast een berekening met het model van Invisor zelf voert Invisor (2019) ook een extrapolatie van resultaten van Elhorst uit. De basis daarvan wordt gevormd door waardedalingen per postcode-4 gebied in 2014, berekend met respectievelijk het model van Elhorst (2019) en het model van Invi-

sor. Invisor noemt dit het extrapolatiemodel. Vervolgens wordt per postcode-4 gebied de verhouding berekend tussen de waardedaling van Elhorst in 2014 en de waardedaling van Invisor in 2014. Invisor noemt deze verhouding ‘extrapolatiefactor’. Deze extrapolatiefactor wordt vermenigvuldigd met de waardedalingen die Invisor schat voor 1 januari 2019. Op deze wijze wordt de schatting van Invisor van de waardedalingen op 1 januari 2019, vervangen door een schatting die op zowel het model van Elhorst als het model van Invisor is gebaseerd.

Gevoeligheidsanalyses

Invisor (2019) onderzoekt verschillende mogelijke invullingen van de aardbevingsindicator zoals indicatoren van Bommer en van Dost. Invisor presenteert drie varianten van het buurtenmodel, drie varianten van het gemeentemodel en twee varianten van het model voor sociaaleconomische erosie. Deze varianten verschillen in de manier waarop de aardbevingsindicator wordt gehanteerd. Dit is de enige gevoeligheidsanalyse die Invisor uit heeft gevoerd. Met het model wordt dus slechts een **klein aantal gevoeligheidsanalyses** uitgevoerd.

Controleerbaarheid/reproduceerbaarheid

De rapportage van Invisor (2019) is zodanig beknopt en technisch verwoord, dat niet volledig na te gaan is hoe Invisor het model heeft ingevuld. Er is daardoor **geen volledige controleerbaarheid/reproduceerbaarheid mogelijk**. Deze beoordeling beperkt zich tot aspecten die wel helder zijn.

Verhogen van de compensatie

Invisor (2019) schat de onzekerheid in de geschatte effecten van aardbevingen op woningprijzen door de gegevens (gemeenten of buurten) eerst te rangschikken op de ‘voorspelfout’ van het model: het verschil tussen de voorspelde en de werkelijke (WOZ-)waarde. Deze gerangschikte gegevens worden in vijf delen gesplitst, waarna voor elk van de vijf delen het model opnieuw wordt geschat. Er zijn dan dus vijf modellen. Dit levert voor elke coëfficiënt in het model vijf waarden op. Deze vijf waarden worden gebruikt om een standaarddeviatie van de coëfficiënt uit te rekenen. Het begrip standaarddeviatie wordt toegelicht in hoofdstuk 2 van dit rapport.

De standaarddeviatie van de coëfficiënt van aardbevingen wordt vervolgens opgeteld bij de coëfficiënt van aardbevingen zelf om een hogere compensatie voor woningeigenaren te berekenen. Dit leidt tot een verhoging ten opzichte van de gevonden waardedaling met 14,3 tot 16,3 procent, afhankelijk van de gekozen aardbevingsindicator (Invisor, 2019, p. 21).

6.2 Opmerkingen bij het model van Invisor

6.2.1 Opmerkingen van de Commissie Hammerstein

De Commissie Hammerstein (Hammerstein et al., 2020) geeft in een reactie op Invisor (2019) aan dat de commissie het model van Invisor niet goed bruikbaar acht om de waardedaling van woningen in het bevingsgebied te bepalen. De commissie stelt dat de methodiek van Invisor in hoge mate aanvechtbaar is en niet steunt op enige wetenschappelijk verantwoorde ondergrond. Als redenen hiervoor noemt de commissie (samengevat door SEO):

- Het gebruik van WOZ-waarden is fundamenteel onjuist, omdat WOZ-waarden zijn beïnvloed door beleidsmatige aanpassingen door gemeenten. WOZ-waarden zijn schattingen en daardoor onnauwkeurig. Werkelijke verkoopprijzen geven een veel nauwkeuriger beeld.
- Het Invisor model bevat geen (dummy)variabelen voor verschillende tijdsperiodes.
- Het Invisor model verklaart het niveau van de woningprijs uit veranderingen in de aardbevingsindicator.
- Invisor bepaalt op arbitraire wijze een drempelwaarde voor de aardbevingsindicator, die ook de waarden in het kerngebied beïnvloedt.
- Het model van Invisor verklaart de woningprijzen uit onder meer sociaaleconomische kenmerken. Deze kenmerken zijn zelf een functie van de aardbevingsindicator. Dat compliceert het schatten van de invloed van aardbevingen.

Daarnaast wijst de commissie op diverse onduidelijkheden in de rapportages van Invisor. Ook merkt de commissie op dat de uitkomsten van het Invisormodel sterk afwijken van andere studies. Tot slot stelt de commissie dat de door Invisor geschatte omvang van de aardbevingseffecten weinig geloofwaardige uitkomsten oplevert als daarmee woningprijzen in Groningen zouden worden voorspeld in een (hypothetische) situatie zonder aardbevingen.

6.2.2 Opmerkingen SEO

Sociaaleconomische factoren

Het model van Invisor veronderstelt bij het berekenen van directe en indirecte waardevermindering dat er alleen causaliteit is van sociaaleconomische kenmerken van bewoners naar woningprijzen, en niet andersom. Die aanname is onjuist. Dit effect kan namelijk twee kanten op gaan:

1. Een causaal effect van woningprijzen op bewonerskenmerken, door zelfselectie. In een markt waarin producten van verschillende kwaliteit worden aangeboden – zoals bijvoorbeeld de woningmarkt – worden producten van hogere kwaliteit (en dus een hogere prijs) relatief vaak gekocht door mensen met een hoger inkomen en een groter vermogen, die ook minder vaak werkloos zijn. Als de aantrekkelijkheid van woningen in een gebied daalt, bijvoorbeeld door aardbevingen, verlaagt dat niet alleen de prijs. Mensen met gunstige sociaaleconomische kenmerken verhuizen weg uit het gebied, en komen er mensen met minder gunstige sociaaleconomische kenmerken voor in de plaats⁷⁴. Met andere woorden, mensen selecteren zichzelf:

⁷⁴ Zo geeft eerder onderzoek van NICIS aan dat verval van wijken ten dele ontstaat door het wegtrekken van bevolkingsgroepen naar betere wijken. Zie NICIS (2008), Bloei en verval van vroeg-naoorlogse wijken, p. 142. Invisor neemt dit mee in het “sociaaleconomische erosiemodel”, maar neemt in zijn modellen geen invloed van woningprijzen op sociaaleconomische kenmerken op.

mensen met hoge inkomens naar dure woningen, en mensen met lagere inkomens naar goedkopere woningen. Door dit zelfselectie-effect zijn de sociaaleconomische kenmerken van een gebied het gevolg van woningwaardes. Met deze zelfselectie houdt Invisor geen rekening.

2. Een causaal effect van bewonerskenmerken op woningprijzen, door:
 - Meer koopkracht, die kopers ertoe brengt om hogere prijzen te bieden. Dit is een effect dat niet specifiek in een buurt speelt. Als mensen in een buurt rijker worden, is dat meestal omdat de lonen in heel Nederland omhooggaan. Als er sprake is van inkomensstijging in een specifieke buurt, gaan de bewoners ook meer geld bieden voor woningen in andere buurten;
 - Negatieve externe effecten van een verandering van de kenmerken van bewoners van het gebied voor andere bewoners. Als nieuwe bewoners bijvoorbeeld vaker overlast veroorzaken of hun (voor)tuin minder goed bijhouden, betekent dit een verlaging van de kwaliteit van wonen in de betreffende buurt of gemeente. Dit kan een negatief effect op de woningprijzen hebben.

Invisor veronderstelt (impliciet) dat het eerste effect niet bestaat. Hierdoor wordt het verband tussen de woningprijs en sociaaleconomische factoren verkeerd geschat. Dit is een ernstig probleem in regressiemodellen.⁷⁵ Onder plausibele aannames gaat het om een overschatting van het aardbevingseffect (zie bijlage B). De kans dat Invisor het aardbevingseffect heeft overschat is dan ook groot.

Invisor ziet alleen het tweede effect en schrijft dit alleen toe aan koopkracht. Invisor stelt (p. 4) dat “het een vastgesteld feit is dat woningprijzen zich plooiën naar de koopkracht van de inwoners”. Het is inderdaad een bekend feit dat duurdere huizen doorgaans worden bewoond door mensen met meer koopkracht. Maar het is geen bekend feit dat dit de enige oorzaak-gevolg relatie is. Externe effecten (overlast/onveiligheid/verloedering) kunnen beter via omgevingskenmerken worden gemeten dan via bewonerskenmerken om verwisseling van oorzaak en gevolg te vermijden.⁷⁶

Er zijn diverse studies die een oorzakelijk verband laten zien tussen inkomens en de prijs van koopwoningen, maar die hebben een ander doel dan wel een andere invulling dan het model van Invisor. Het gaat in dergelijke studies veelal om het verklaren of voorspellen van veranderingen in de tijd van gemiddelde woningprijzen voor heel Nederland⁷⁷. In dergelijke studies wordt het zelfselectie-effect terecht genegeerd, omdat dit een verschuiving binnen Nederland betreft die in gemiddelden niet tot uiting komt. Er is ook een studie waarin wijken worden vergeleken. Daarin wordt getracht om sociaaleconomische variabelen op te nemen die indicatief zijn voor problemen of het ontbreken daarvan. Het inkomen van bewoners speelt daarbij een rol, maar alleen via de sociale status van de wijk⁷⁸. Deze aanpak is gerelateerd aan de hiervoor genoemde externe effecten.

Onderstaande figuur illustreert wat Invisor verkeerd doet. Invisor schat de met zwarte pijlen weergegeven verbanden, maar vergeet de rode pijl. De consequentie van deze (in econometrisch jargon) ‘misspecificatie’⁷⁹ is dat de verklaarkracht van het model - gemeten met de R-kwadraat - op papier

⁷⁵ Econometristen noemen dit ‘simultaneity bias’. Wooldridge (2009, paragraaf 16.2) laat zien dat het negeren van dit probleem kan leiden tot onderschatting of overschatting van effecten.

⁷⁶ Dit is de aanpak die Atlas in haar model heeft gehanteerd

⁷⁷ Zie bijvoorbeeld Verbruggen et al. (2005).

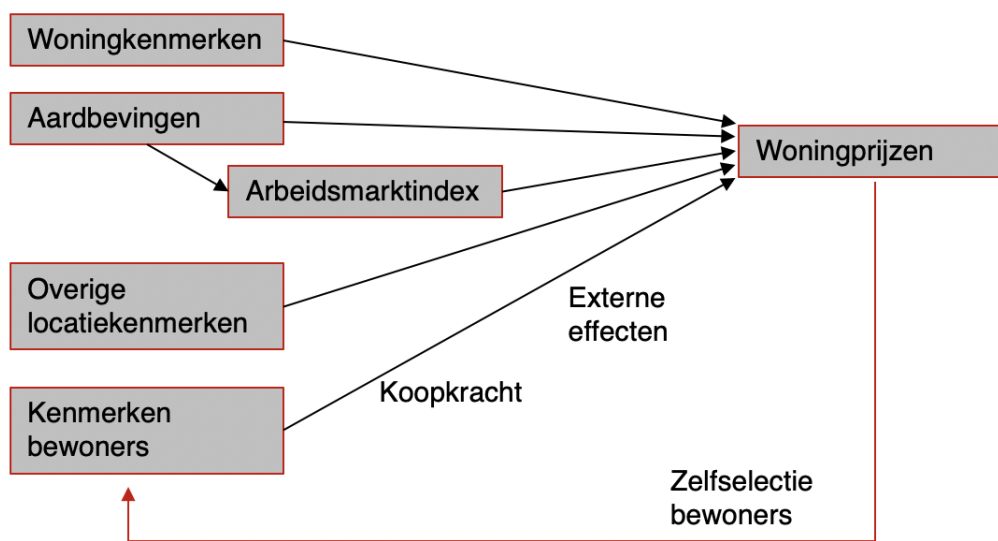
⁷⁸ Visser & Van Dam (2006)

⁷⁹ Of preciezer: ‘endogeniteit’ van de verklarende variabelen die sociaaleconomische kenmerken betreffen.

hoger wordt⁸⁰. Tegelijk is echter de kans aanwezig dat de geschatte invloed van aardbevingen op de woningprijs door deze misspecificatie onjuist is. Als de effecten die door rode pijl worden weergegeven worden weggelaten uit het model (zoals Invisor doet), veranderen de gemeten effecten van zowel sociaaleconomische factoren als aardbevingen (en ook van woning- en locatienmerken). Die effecten worden dan niet meer correct gemeten.

Er zijn twee manieren om dit op te lossen. De eerste mogelijkheid is om de invloed van woningprijzen op bewonerskenmerken (de rode pijl) mede op te nemen in het model. Dit maakt het model echter gecompliceerd, waardoor de verschillende invloeden moeilijker te meten zijn. Een tweede, veel eenvoudiger aanpak is om bewonerskenmerken weg te laten uit het model. Dit is de aanpak die Atlas en Elhorst volgen.

Figuur 6.2 In het model van Invisor ontbreekt het met een rode pijl weergegeven verband



Bron: SEO Economisch Onderzoek

Indirecte waardedaling door “sociaaleconomische erosie”

Het is niet duidelijk of de samenloop van een direct effect van aardbevingen op woningprijzen en een indirect effect via “sociaaleconomische erosie” leidt tot een correcte schatting van het aardbevingseffect. De arbeidsmarktindex lijkt volgens de berekeningen van Invisor (2019) mede te worden bepaald door aardbevingen: meer aardbevingen leiden tot een minder goede arbeidsmarktsituatie. Het toevoegen van dit indirecte effect maakt het model gecompliceerd en leidt ertoe dat het totale aardbevingseffect dat Invisor berekent moeilijk te doorgronden is.

De uitkeringsindicator die Invisor (2019) in het woningmarktmodel opneemt wordt ten dele bepaald door kenmerken van bewoners. Daardoor is de uitkeringsindicator evenmin geschikt om in

⁸⁰ Wooldridge (2013) schrijft hierover in een leerboek over econometrie: “The fact that R^2 never decreases when any variable is added to a regression makes it a poor tool for deciding whether one variable or several variables should be added to a model.”

het woningmarktmodel op te nemen als de hierboven beschreven bewonerskenmerken, om dezelfde reden.

WOZ-waarden

Zoals hierboven aangegeven zijn WOZ-waarden geen meting van de woningprijs, maar slechts een schatting van de woningwaarde. Invisor (2019) noemt als voordeel van het gebruik van WOZ-waarden dat dit meer woningen omvat (alle koop- en huurwoningen i.p.v. alleen verkochte woningen). Dit is in beginsel juist, maar aangezien het aantal verkochte woningen (ook) groot is, legt dit argument weinig gewicht in de schaal. Bovendien worden WOZ-waarden, ook voor huurwoningen, via een model afgeleid uit prijzen van verkochte woningen. De WOZ-waarden bevatten dus in ieder geval niet meer informatie over woningprijzen dan de prijzen van verkochte woningen, en zijn daarvoor vanwege de wijze waarop WOZ-waarden worden geschat een suboptimaal alternatief.

Daarnaast gebruikt Invisor geen individuele woningen als waarnemingen, maar gemiddelde WOZ-waarden per gemeente en per buurt. Dit beperkt het aantal waarnemingen sterk, waardoor het aantal waarnemingen in de analyse van Invisor veel kleiner is dan het aantal verkochte woningen. Weliswaar worden in deze gemiddelde waardes alle individuele verkochte woningen meegenomen, maar verschillen tussen deze woningen binnen een buurt of gemeente worden in het Invisor model niet gebruikt. Deze verschillen kunnen in het model van Invisor dus niet bijdragen aan het meten van aardbevingseffecten.

Een ander voordeel van WOZ-waarden dat door Invisor wordt genoemd is dat deze op een “uniforme ... manier landelijk zijn vastgesteld”. Het is de vraag hoe uniform de uitvoering is, gezien de verschillen tussen gehanteerde WOZ-rekenmodellen waar Invisor zelf op wijst (p. 5).⁸¹ Deze rekenmodellen leiden ertoe dat de WOZ-waarden een indirecte schatting van de woningprijs vormen in plaats van een directe meting.

Invisor neemt de verhouding tussen gerealiseerde verkoopprijzen en de WOZ-waarde, per gemeente, op in de analyse om voor de bovengenoemde bezwaren te corrigeren. Deze variabele corrigeert voor verschillen tussen gemeenten, maar niet binnen gemeenten. Daardoor is deze correctie minder nauwkeurig in het buurtenmodel.

Buurten en gemeenten onderzocht

Invisor (2019) schat twee woningmarktmodellen: één op basis van gegevens per buurt (ongeveer postcode-4 niveau) en één op basis van gegevens per gemeente. Door gemiddeldes – per buurt of per gemeente – te gebruiken van woningwaardes, opgetreden aardbevingen en andere kenmerken van woningen, gaat informatie verloren m.b.t. verschillen tussen woningen binnen buurten en binnen gemeenten.

Het is niet duidelijk hoe is omgegaan met de invloed van nieuwbouw en sloop op de gemiddelde WOZ-waarde per buurt en per gemeente. Enkele onderzochte buurten betreffen nieuwbouwwijken, maar de invloed van nieuwbouw binnen andere buurten is niet helder. Bovendien kunnen nieuwbouwwijken de gemiddelde WOZ-waarde per gemeente beïnvloeden.

⁸¹ Ook OTB geeft aan dat WOZ-waarden mogelijk minder betrouwbaar zijn (Jansen et al., 2016, p. 7).

Verschillende uitkomsten van buurtenmodel en gemeentemodel

Het effect van de aardbevingsindicator verschilt een factor twee à drie tussen het buurtenmodel en het gemeentemodel (Invisor, 2019, p. 8). Invisor geeft hiervoor diverse verklaringen: de modellen bevatten verschillende sets variabelen, gegevens over buurten kennen meer extremen en één van de aardbevingsindicatoren (Dost) neemt ook lichte trillingen mee. Tevens blijkt (p. 9) dat het opnemen van extra verklarende factoren m.b.t. het imago van de gemeente, het geschatte effect van aardbevingen aanzienlijk verkleint. Deze verschillen tussen modellen en invullingen daarvan geven aan dat de uitkomsten van de modellen van Invisor niet in algemene zin robuust zijn⁸².

Onverklaarde verschillen tussen buurten leiden mogelijk tot verkeerde meting van het aardbevingseffect

Invisor geeft aan dat er in het buurtenmodel onverklaarde verschillen (van min 15% tot plus 10%) zijn tussen woningprijzen van buurten, en schrijft dit toe aan ontbrekende buurtkenmerken (p. 12). Invisor kent de oorzaken hiervan dus niet, maar noemt deze verschillen een “imago-effect”. Het bestaan van dergelijke onverklaarde verschillen roept de vraag op of het model goed genoeg is om de effecten van aardbevingen adequaat te meten. Als de ontbrekende buurtkenmerken samenhang (correlatie) vertonen met aardbevingen, zou het aardbevingseffect veranderen als (hypothetisch) de ontbrekende kenmerken toch zouden kunnen worden opgenomen. Die hypothetische meting is dan correct, en de door Invisor uitgevoerde meting is dan niet correct.

Een andere beperking van het model van Invisor (2019) is dat het geen verklarende variabelen bevat die de tijdsperiode weergeven (zie ook paragraaf 6.2.1). Het is niet duidelijk of en zo ja hoe dit de schatting van het aardbevingseffect beïnvloedt.

Plotseling einde van geheugen voor bevingen is implausibel

De aangenomen hypothese van Invisor dat het geheugen van mensen met betrekking tot aardbevingen na drie of vijf jaar plotseling wordt ‘gewist’, is onrealistisch. Het is plausibeler dat dergelijke geheugeneffecten geleidelijk afnemen in de tijd. Bovendien gebruikt Invisor verschillen van jaar op jaar van deze aardbevingsindicatoren. Dat leidt tot vreemde gevolgen. Een voorbeeld: als op een locatie slechts één aardbeving heeft plaatsgevonden, is de aardbevingsindicator van Invisor positief in het jaar waarin de aardbeving optrad (dat is correct), nul in de eerste jaren daarna (de aardbeving is na een jaar al vergeten?), en zelfs negatief drie of vijf jaar na de beving (incorrect).

Beperkte set gevoeligheidsanalyses

Invisor voert slechts een beperkt aantal gevoeligheidsanalyses uit. Invisor laat bijvoorbeeld niet zien of het gemeten aardbevingseffect verandert als wordt gekozen voor schades i.p.v. bevingen), een andere drempel voor het uitsluiten van lichte trillingen, of het opnemen van andere woning- of locatiemarkers.

Hoge waardedalingen

De Commissie Hammerstein (Hammerstein et al, 2020) wijst op de hoge waardedalingen die het model van Invisor voorspelt. De minder hoge waardedalingen die uit het model van Atlas voor

⁸² De modellen zijn wel robuust m.b.t. de keuze van de aardbevingsindicator (Invisor, p. 9).

gemeenten komen, leiden in berekeningen van de woningprijzen in het bevingingsgebied in een hypothetische situatie zonder waardevermindering, tot prijzen die boven het Nederlandse gemiddelde liggen. De Commissie wijst erop dat de hogere waardedaling van Invisor zou leiden tot nog hogere berekende prijzen in een situatie zonder waardevermindering. De Commissie noemt de uitkomsten van Invisor weinig geloofwaardig. SEO sluit zich bij deze kritiek aan.

Berekening onzekerheid van woningprijs effecten gebaseerd op willekeurige keuzes

Invisor berekent de standaarddeviatie van de uitkomsten op een ingewikkelde manier, die hierboven is beschreven. Deze berekening zou naar alle waarschijnlijkheid anders uitvallen als de data op anders waren gerangschikt dan op de ‘voorspelfout’ van het model alvorens ze te splitsen (bijvoorbeeld op de woningwaarde, de geschatte woningwaarde, of de omvang van de aardbevingindicatoren). De standaarddeviatie zou ook anders uitvallen als het aantal groepen waarin de data worden gesplitst, anders zou zijn dan vijf (bijvoorbeeld tien, of twee). Door een opstapeling van willekeurige keuzes is de berekende standaarddeviatie eveneens willekeurig. De berekening van Invisor is dus geen goede basis voor het bepalen van een passende compensatie voor woningeigenaren.

Box 6.2 Standaarddeviatie is niet hetzelfde als standaardfout

Het ophogen van de berekende waardedaling met een standaarddeviatie – zoals Invisor doet - is iets heel anders dan het ophogen van deze waardedaling met een standaardfout - zoals de commissie Hammerstein adviseert:

- Bij het ophogen van de waardedaling met een standaardfout wordt de meting verhoogd met zijn eigen onzekerheidsmarge. Indien de meting preciezer is, is de standaardfout (en daarmee de ophoging) kleiner. Het uitgangspunt is dat de meting zo secuur mogelijk wordt uitgevoerd waarbij ieder huishouden in beginsel op basis van deze secuur vastgestelde meting van de waardedaling wordt gecompenseerd. Daarbovenop wordt nog een extra standaardfout toegepast ‘voor de zekerheid’.
- Bij het ophogen van de waardedaling met een standaarddeviatie wordt de meting niet opgehoogd met een meetfout, maar met de spreiding van het aardbevingseffect (verschillen tussen woningen). Een kenmerk van het ophogen met een standaarddeviatie is dat je daarmee uitspraken kunt doen over het percentage gedupeerden dat naar verwachting ‘ondergecompenseerd’ zal worden. Een veronderstelling die hierachter ligt is dat er spreiding is in het aardbevingseffect tussen woningen waarvoor hetzelfde aardbevingseffect wordt voorspeld (omdat ze identieke kenmerken hebben). Door het optellen van een standaarddeviatie bij de waardedaling ‘ondercompenseer’ je niet 50%, maar slechts 16% van de gedupeerden.^a Daar staat tegenover dat er bij de meting geen standaarddeviatie wordt ‘meegeleverd’. Deze dient dus separaat geconstrueerd te worden. Dit is een proces waarbij allerlei keuzes gemaakt moeten worden. Invisor schrijft bijvoorbeeld dat men resultaten van het gemeentemodel fragmenteert in vijf gelijke delen en op basis van deze losse schatters tot een standaarddeviatie komt. Dergelijke keuzes bepalen mede de uitkomst, waardoor de uitkomst een zekere mate van willekeur kent.
- Vanuit econometrisch oogpunt of meer algemeen vanuit een wetenschappelijk perspectief is er geen reden om de berekende waardedaling op te hogen. Zie hierover hoofdstuk 2 van dit rapport.

a Dit veronderstelt dat het aardbevingseffect verschilt tussen woningen met dezelfde aardbevingshistorie, dat de spreiding van dit effect correct kan worden gemeten en dat deze spreiding normaal verdeeld is.

b Pagina 22 van Akte uitlating, tevens wijziging van eis en overlegging van producties

Extrapolatiemodel

Invisor (2019) presenteert naast de hierboven beschreven modellen ook een ‘extrapolatiemodel’ waarin uitkomsten van Elhorst (2019) voor peiljaar 2014 zijn geëxtrapolleerd naar peiljaar 2019. De extrapolatie is uitgevoerd met het model van Invisor. De impliciete aanname lijkt hier te zijn dat

de uitkomsten van Elhorst beter zijn dan die van Invisor, hetgeen een correctie van de uitkomsten van Invisor nodig zou maken. De wijze van extrapoleren impliceert dat het model van Elhorst de basis is en het model van Invisor wordt gebruikt om de resultaten van Elhorst te ‘vertalen’ naar een recent peiljaar.

Dit extrapolatiemodel lijdt aan de beperkingen van zowel het model van Elhorst als van het model van Invisor, want uitkomsten van beide modellen worden gebruikt om de extrapolatie uit te voeren. De beperkingen van deze twee modellen worden weergegeven in hoofdstuk 7 van dit rapport. Doordat het extrapolatiemodel van Invisor lijdt aan de nadelen van zowel het model van Elhorst als het model van Invisor, is het een minder goed model dan deze modellen elk afzonderlijk. Dit is reden om het extrapolatiemodel verder niet te beschouwen bij het kiezen van het meest geschikte model in hoofdstuk 7.

6.3 Invisor 2020 vergeleken met Invisor 2019

In deze paragraaf geven we aan op welke punten de modellen van Invisor (2019) en Invisor (2020) verschillen. Op basis daarvan gaan we na of de verschillen invloed hebben op het oordeel over de modellen.

Overzicht van verschillen

Gegevens aangevuld en geëxtrapoleerd

Invisor (2019) gebruikt gegevens over de jaren 2012 t/m 2017 om de woningprijsmodellen te schatten. Invisor (2020) maakt daarnaast op onderdelen gebruik van gegevens over 2018 (par. 2.2). Invisor (2020) geeft tegelijkertijd echter aan dat voor belangrijke verklarende variabelen nog geen gegevens beschikbaar waren voor 2018. In plaats daarvan heeft Invisor (2020) schattingen aan de hand van trendontwikkelingen ingevuld (“geëxtrapoleerde variabelen”) Invisor verwacht dat deze extrapolatie een beperkte invloed heeft op de geschatte waardedaling.

Oordeel SEO: Het toevoegen van extra gegevens kan leiden tot een betere schatting van het aardbevingseffect. Het gebruik van geëxtrapoleerde cijfers kan daarentegen tot een daling van de kwaliteit van de analyse leiden, bijvoorbeeld omdat dan vooraf van een trend wordt uitgegaan die er niet hoeft te zijn. Of het model per saldo beter is geworden is onduidelijk. De toevoeging van extra cijfers heeft geen relatie met de criteria waarop we de modellen beoordelen. Daarom leidt deze toevoeging niet tot een ander oordeel.

Aardbevingseffect 20% hoger

Invisor (2020, paragraaf 1.3) geeft aan dat de (‘voorkeurs’) aardbevingscoëfficiënt in Invisor (2020) 5% verschilt door het toevoegen van cijfers over 2018. Dit is echter niet het volledige verschil tussen de twee studies. Invisor (2020) bedoelt met deze uitspraak dat het model op basis van data t/m 2018 een 5% hogere coëfficiënt heeft dan een model waarin precies dezelfde variabelen worden meegenomen, maar dan geschat met data t/m 2017.⁸³ In Invisor (2019) werden echter niet

⁸³ Zie de laatste regel ($\log(1+\Delta\text{DOST}\Sigma 3)$) van de tabel in Bijlage 2 van Invisor (2020). De coëfficiënten zijn resp. -0,050 en -0,048; een verschil van ca. 5%.

dezelfde variabelen meegenomen (zie hieronder). Daardoor is het aardbevingseffect op woningprijzen in Invisor (2020) ca. 20% hoger.⁸⁴

Oordeel SEO: Eerder in dit hoofdstuk is aangegeven dat de kans groot is dat Invisor (2019) het aardbevingseffect overschat doordat het model van Invisor (2019) sociaaleconomische factoren ten onrechte worden gebruikt als verklarende variabelen (oorzaken). Als er sprake was van overschatting, wordt deze versterkt door de toename van het effect met 20%. De kans op overschatting is bij de beoordeling van Invisor (2019) al meegenomen, hetgeen bij het criterium “Kenmerken van bewoners niet meenemen als verklarende variabelen” leidt tot een negatief oordeel. Dit negatieve oordeel geldt ook voor Invisor (2020).

Correlatie in ruimte en tijd nog steeds niet (goed) meegenomen

Invisor claimt dat “tijd-ruimte geïnduceerde prijseffecten” zijn verdisconteerd in de WOZ-waarden (Invisor, 2020, par. 2.3). Invisor licht dit niet toe.

Oordeel SEO: Het is niet duidelijk wat Invisor hiermee bedoelt. Mogelijk wordt gedoeld op een eigenschap van het model van Elhorst. Elhorst neemt de invloed op de prijs van een woning mee van prijzen van woningen die in de nabije omgeving in ongeveer dezelfde periode zijn verkocht. De modellen van Invisor (2019, 2020) gebruiken als woningprijs de WOZ-waarde, die eveneens is gebaseerd op prijzen van woningen die in de nabije omgeving in ongeveer dezelfde periode zijn verkocht. Een cruciaal verschil is dat Elhorst deze prijzen van deze andere woningen in zijn model gebruikt om woningprijzen te *verklaren*. Invisor gebruikt de prijzen van deze andere woningen alleen om de woningprijs te *meten* (als WOZ-waarde). Dit impliceert dat het negatieve oordeel over het model van Invisor op het criterium “Rekening houden met correlatie in tijd en ruimte” blijft staan.

Invisor blijft kenmerken van bewoners gebruiken als verklarende variabelen

Invisor (2020, par. 2.4) geeft een uitvoerige toelichting bij het opnemen van sociaaleconomische kenmerken van bewoners als verklaring voor de woningprijs. Na het citeren van enkele onderzoeken volgt: “De meeste onderzoekers zijn het er over eens dat de woningprijs in een buurt het resultaat is van de aldaar aanwezige inkomens en niet andersom. De causaliteit werkt dus vooral de kant op van inkomen naar woningprijs, en van endogeniteit is dus sprake”⁸⁵ (par. 2.4)

Oordeel SEO: Eerder in dit hoofdstuk is aangegeven waarom het opnemen van kenmerken van bewoners niet correct is en dat dit kan leiden tot overschatting van het aardbevingseffect. De kern van onze kritiek is dat er wel degelijk een sterk causaal effect is van woningprijzen in een buurt op de kenmerken van bewoners, omdat er zelfselectie optreedt: dure huizen worden vooral gekocht door mensen met hoge inkomens, en goedkope huizen vooral door mensen met lage inkomens. Hierdoor wonen in buurten met dure huizen vooral mensen met hoge inkomens, en in buurten met goedkope huizen wonen vooral mensen met lage inkomens. De onderzoeken die Invisor (2020) aanhaalt hebben, met één uitzondering, betrekking op de gemiddelde woningprijs in heel Nederland of delen van het land, en gaan dus niet over de verdeling van mensen over buurten. Deze onderzoeken vormen dus geen ondersteuning voor de aanpak van Invisor. Eén van de aangehaalde studies (Visser & Van Dam, 2006) gaat wel over verschillen tussen wijken, maar neemt

⁸⁴ In Invisor (2020) is de coëfficiënt op basis van gegevens t/m 2018 geschat op -0,050 (Bijlage 2, onderin de tabel, regel $\log(1+\Delta\text{DOST}\Sigma 3)$). In Invisor (2019) is die coëfficiënt -0,041 (Bijlage 2, onderin de tabel, regel $\log(1+\Delta\text{DOST}\Sigma 3)$).

⁸⁵ Aangezien Invisor tracht aan te tonen dat het inkomen niet endogeen is, bedoelt Invisor hier “geen sprake”.

kenmerken van bewoners alleen op om externe effecten te weerspiegelen (zie paragraaf 6.2). De extra toelichting van Invisor is daarom geen aanleiding om ons negatieve oordeel op het criterium “Kenmerken van bewoners niet meenemen als verklarende variabelen” te veranderen.

Kleiner verschil tussen het buurtenmodel en het gemeentemodel

Invisor (2019) geeft aan dat er een factor 2 à 3 verschil is tussen de geschatte coëfficiënten van de aardbevingsindicatoren van het “gemeentemodel” en het “buurtenmodel”. In Invisor (2020) is deze factor gedaald naar 1,5. Invisor schrijft deze gedaalde factor toe aan het toevoegen aan het buurtenmodel van drie ”imago” variabelen (deze variabelen worden op gemeenteniveau gemeten).

Oordeel SEO: Het kleinere verschil in uitkomsten is een positieve ontwikkeling, maar een verschil van circa 50% is nog steeds groot. Het negatieve oordeel over Invisor (2019) bij het criterium “Geen onverklaarbare uitkomsten” wordt mede bepaald door grote onverklaarde verschillen tussen de WOZ-waardes per buurt die het model voorspelt en de werkelijke WOZ-waardes. Die verschillen bestaan nog steeds bij Invisor (2020). Daarom verandert het SEO-oordeel niet.

Schadegebied anders bepaald

Invisor (2019, paragraaf 3.4) bepaalde het schadegebied (‘nul-contour’) op basis van het percentage woningen met schademeldingen (bruto schademeldingen, erkend of niet). De nieuwe studie van Invisor (2020, paragraaf 3.4) bepaalt het schadegebied op basis van het percentage woningen met erkende schademeldingen. De drempelwaarde voor bruto aantal schademeldingen werd in Invisor (2019, paragraaf 4.3) berekend als de gemiddelde waarde van buurten in de gemeenten Leek, Stadskanaal en Marum die buiten de nul-contour liggen. Invisor (2020, paragraaf 4.3) bepaalt de drempelwaarde voor het aantal erkende schademeldingen als de gemiddelde waarde van buurten in de gemeenten Oldambt, Midden-Groningen, Groningen en Zuidhorn die buiten de nul-contour liggen.

Oordeel SEO: Het is onduidelijk waarom dit is veranderd. De verandering getuigt niet van robuustheid van uitkomsten. Het heeft echter geen relatie met de criteria waarop we modellen beoordelen. Daardoor blijft het oordeel hetzelfde.

Meer verklarende variabelen bij bepaling maximale waardedaling

Invisor schat de maximale waardedaling door buurten met meer dan 90% schademeldingen te vergelijken met alle andere buurten in Nederland (Invisor, 2019, paragraaf 4.5; Invisor, 2020, paragraaf 4.4). Bij die vergelijking is ‘matching’ toegepast: buurten met dezelfde kenmerken zijn vergeleken. Invisor (2019) gebruikt daarbij 14 kenmerken, Invisor (2020) gebruikt 24 kenmerken.

Oordeel SEO: het gebruik van meer kenmerken kan leiden tot een betere schatting van de maximale waardedaling. De beoordeling van Invisor (2019) in hoofdstuk 6 van dit rapport is kritisch over het beperkte aantal variabelen in de regressiemodellen van Invisor waarmee de *verwachte* waardedaling wordt geschat. Het aantal kenmerken bij de bepaling van de *maximale* waardedaling speelt echter geen rol bij de beoordeling in hoofdstuk 6. De verandering van dit laatste aantal is dus geen aanleiding om Invisor (2020) anders te beoordelen dan Invisor (2019).

Indirecte waardedalingen geïnterpoleerd tussen gemeenten.

Invisor (2020, hoofdstuk 6) geeft aan dat bij de berekening van de waardedaling per postcode 6 gebied de per gemeente verkregen indirecte waardedalingen zijn geïnterpoleerd om "sprongen" aan

de randen van gemeenten af te vlakken. Deze interpolatie wordt niet genoemd in Invisor (2019). Daarin wordt gesteld dat waardedalingen op postcode 4 en postcode 6 niveau zijn berekend (par. 1.3), maar er worden alleen waardedalingen op postcode 4 niveau gepresenteerd (bijlage 5).

Oordeel SEO: "Sprongen" aan de randen van gemeenten lijken inderdaad minder plausibel. Het is de vraag of interpolatie de beste methode is om dit te voorkomen. De onderliggende oorzaak van de "sprongen" is dat Invisor (2020) veronderstelt dat de indirecte waardedaling voor alle gebieden binnen een gemeente hetzelfde is. Ongeacht deze overwegingen geldt dat de interpolatie een beperkte aanpassing van de modelresultaten betreft. Daarom heeft de interpolatie geen invloed op het oordeel van SEO over Invisor (2019) en Invisor (2020).

Robuust model?

Invisor (2020, hoofdstuk 8) geeft aan dat het model robuust is. Als argument wordt aangevoerd dat het toevoegen van data over 2018 geen grote invloed heeft gehad op de uitkomsten.

Oordeel SEO: Zoals hierboven aangegeven is het aardbevingseffect in Invisor (2020) circa 20% groter dan in Invisor (2019). Dit verschil komt niet alleen voort uit het toevoegen van gegevens maar ook uit andere veranderingen in het model. Van een stabiele modeluitkomst is dus geen sprake. Het aantal gevoeligheidsanalyses is in Invisor (2020) beperkt, net als in Invisor (2019). Ons oordeel op het criterium "Gevoeligheidsanalyses laten zien dat gevonden effect robuust is" dat het model van Invisor op dit punt een beperking kent, blijft onveranderd.

Deels andere verklarende variabelen

De modellen van Invisor (2020, Bijlagen 1 en 2) kennen een deels andere set verklarende variabelen dan de modellen in Invisor (2019, Bijlagen 1 en 2). Dit geldt zowel voor het gemeentemodel als het buurtenmodel. Alle verklarende variabelen zijn statistisch significant in beide modellen, in beide publicaties.

Oordeel SEO: Het feit dat de sets verklarende variabele verschillen en dat alle variabelen statistisch significant zijn, doet sterk vermoeden dat alleen significante variabelen in de modellen zijn opgenomen. Dit is een werkwijze waar grote vraagtekens bij kunnen worden geplaatst. Het verwijderen van insignificant variabelen heeft als gevolg dat diverse veronderstellingen achter het model niet meer geldig zijn (Wooldridge, 2009, paragraaf 19.4). Het paradoxale resultaat is dat het selecteren van statistisch significante variabelen ertoe leidt dat we niet meer weten of de geselecteerde variabelen significant zijn. De beoordeling van Invisor (2019) in hoofdstuk 6 geeft aan dat de beperkte set woningkenmerken en locatiekenmerken als beperkingen van het model moeten worden gezien. De bedenkingen bij de wijze waarop deze variabelen waarschijnlijk zijn geselecteerd, bevestigen dit negatieve oordeel.

Conclusie

Invisor (2020) kent een beperkt aantal verschillen ten opzichte van Invisor (2019). In sommige gevallen gaat het om kleine verbeteringen, terwijl andere veranderingen nieuwe vragen oproepen. Gezien de beperkte verschillen is het verschil in uitkomsten opvallend (20% hoger aardbevingseffect). Er is een aanzienlijke afname van het verschil tussen de uitkomsten van het buurtenmodel en het gemeentemodel, maar nog steeds een resterend verschil van circa 50%. Dit bevestigt het oordeel dat het model niet robuust is. Gezien de grote overeenkomsten tussen Invisor (2020) en

Invisor (2019), is de beoordeling van Invisor (2019) in paragraaf 6.2 ook integraal van toepassing op Invisor (2020).

7 Het meest geschikte model

Het model van Atlas voldoet in vergelijking met de modellen van Elhorst en Invisor beter aan door SEO gestelde wetenschappelijke kwaliteitscriteria. Het model van Invisor kent bovendien ernstige beperkingen. Daarom is het model van Atlas het meest geschikt om de hoogte van financiële compensatie voor waardedaling te bepalen.

In Figuur 7.1 worden de resultaten van de beoordeling kort samengevat. De modellen zijn gewogen aan de hand van 15 criteria. Indien volledig aan het criterium is voldaan is dit weergegeven met de kleur (licht)groen. Wanneer gedeeltelijk is voldaan geven we dit weer met de kleur (licht)oranje en indien het betreffende model nadrukkelijk afwijkt van het gestelde criterium is dit weergegeven met een (licht)rode kleur. Daarnaast bestaat onderscheid tussen reguliere criteria en kerncriteria, die zijn weergegeven met een donkere kleurstelling. Voor die laatste categorie geldt dat afwijken ervan naar alle waarschijnlijkheid leidt tot foutieve en/of niet-controleerbare uitkomsten. Een goede omgang met deze criteria is zodoende doorslaggevend voor de kwaliteit van het model.

In de figuur is alleen het tweede model in Elhorst (2019) meegenomen, omdat Elhorst aangeeft dat hij dit model beter vindt en omdat hij zijn voorstellen voor compensatie op dit model baseert. Bij Invisor wordt het extrapolatiemodel niet meegenomen in dit hoofdstuk omdat dit de beperkingen van zowel het model van Elhorst en als het model van Invisor heeft, en daardoor meer beperkingen heeft dan deze modellen afzonderlijk (zie hoofdstuk 6).

De figuur laat zien dat geen van de drie modellen volledig aan alle criteria voldoet. Dit is niet verassend. Alleen het (theoretisch) ideale model zou aan al deze criteria tegelijkertijd voldoen. In praktijk gelden praktische beperkingen en moeten keuzes gemaakt worden. Hierdoor ontstaan afwijkingen van dit theoretische ideaal.

De gehanteerde dataset bepaalt bijvoorbeeld welke woning- en locatiekenmerken beschikbaar zijn. De NVM-dataset bevat de meest uitgebreide set woningkenmerken maar heeft als nadeel dat deze niet (gratis) openbaar beschikbaar is. Op een vergelijkbare wijze geldt dat de veronderstelling van een lineair verband tussen aardbevingsrisico en waardedaling waarschijnlijk abstraheert van de werkelijkheid. Een model dat ook niet-evenredige verbanden mogelijk maakt is echter aanzienlijk complexer. Auteurs hebben ook keuzes moeten maken ten aanzien van te hanteren drempelwaarden en mate waarin aardbevingen die langere tijd geleden plaatsvonden nog steeds van invloed zijn. Deze keuzes zijn niet voor alle modellen logisch en/of consistent ingevuld.

De belangrijkste onderscheidende kenmerken van de drie modellen zijn de robuustheid van de uitkomsten, de plausibiliteit van de uitkomsten, het al dan niet meenemen van kenmerken van bewoners als verklarende variabelen en de omgang met de drempelwaarden om kleine trillingen uit te filteren. Atlas laat met een uitgebreide set gevoeligheidsanalyses zien dat de resultaten robuust zijn. Voor de andere twee modellen zijn aanzienlijk minder gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Het model van Invisor gebruikt ten onrechte kenmerken van bewoners als verklarende factoren voor de woningprijs en levert onverklaarbare uitkomsten op. De modellen van Elhorst en Invisor schat-

ten onwaarschijnlijk grote waardedalingen. Het model van Invisor gebruikt ten onrechte kenmerken van bewoners als verklarende variabelen. De door Elhorst gehanteerde drempelwaarde filtert kleine trillingen slechts ten dele uit.

Alle verschillen tussen de modellen samen overziend is de conclusie dat het model van Atlas voor gemeenten het meest geschikt is om waardedaling als gevolg van (het risico op) aardbevingen te meten (zie de figuur op de volgende pagina). Het model van Invisor kent ernstige beperkingen, zoals een verkeerde invulling van het model, grote onverklaarde verschillen tussen buurten en onwaarschijnlijk grote waardedalingen. De oorzaak van de onwaarschijnlijk hoge waardedalingen van Elhorst en Invisor is niet goed te verklaren doordat bij deze modellen beperkte gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd.

Het model van Atlas voldoet zodoende het best aan de gestelde kerncriteria en is daarmee het meest geschikt om de hoogte van financiële compensatie voor waardedaling te bepalen.

Figuur 7.1 Het model van Atlas benadert het theoretisch ideale model het dichtst

Criterion ideale model	Kerncriterium	Atlas voor gemeenten	Elhorst	Invisor
1. Woningprijzen				
1a. Op basis van gerealiseerde verkoopprijzen	✓	Gerealiseerde verkoopprijzen	Gerealiseerde verkoopprijzen	WOZ-waarden
1b. Op basis van individuele woningen	✓	Individuele woningen	Individuele woningen	Buurten en gemeenten
1c. Rekening houdend met correlatie in tijd en ruimte		Matching gecorrigeerd voor tijd en gedeeltelijk voor ruimte	Matching met woningen in de buurt in dezelfde tijdsperiode	Geen matching
2. Verklarende factoren in het model				
2a. Een zo volledig mogelijke set woningkenmerken	✓	Uitgebreide set woningkenmerken	Uitgebreide set woningkenmerken	Beperkte set woningkenmerken
2b. Een zo volledig mogelijke set locatiekenmerken	✓	Uitgebreide set locatiekenmerken	Uitgebreide set locatiekenmerken	Beperkte set locatiekenmerken
2c. Woningkenmerken en locatiekenmerken simultaan schatten of matching.		Matching op basis van locatiekenmerken	Matching op basis van woningkenmerken	Simultaan geschat
2d. Verklarende variabelen worden niet zelf beïnvloed door woningwaarde	✓	Voldoet aan criterium	Voldoet aan criterium	Kenmerken van bewoners gebruikt die worden beïnvloed door woningwaarde
2e. Mogelijkheid van een niet-evenredig verband aardbevingen en woningprijzen		Veronderstelt een evenredig verband, gevoeligheid onderzocht	Maakt niet-evenredig verband mogelijk	Veronderstelt een evenredig verband
3. Aardbevingsindicator				
3a. Locatiespecifiek		Aantal bevingen/gecumuleerde PGV op locatie woning	Verschil in gecumuleerde PGV op locatie woning	Verandering gecumuleerde PGV, per buurt/gemeente
3b. Neemt cumulatie van zeer kleine trillingen niet mee	✓	Drempelwaarden grondversnelling	Drempelwaarde Richter 1,8 filtert lichte trillingen gedeeltelijk	Drempelwaarde grondversnelling
3c. Geleidelijke afname in de tijd van effect eerdere aardbevingen		Geen afname in de tijd	Geen afname in de tijd	Plotseling terugval na 1, 3 of 5 jaar
4. Aardbevingsgebied				
4a. Als een aardbevingsgebied wordt bepaald dient dit op empirische gronden te zijn gedaan	✓	Empirisch bepaald in separate analysestap	Geen bepaling aardbevingsgebied	Achteraf empirisch bepaald
5. Robuust en reproduceerbaar				
5a. Gevoeligheidsanalyses laten zien dat gevonden effect robuust is	✓	Uitgebreide set gevoeligheidsanalyses	Beperkte set gevoeligheidsanalyses	Beperkte set gevoeligheidsanalyses
5b. Controleerbaarheid/reproduceerbaarheid van berekeningen en data		Transparante rapportage. NVM data niet openbaar	Uitvoerige rapportage. NVM data niet openbaar	Beknopte, ondoorzichtige rapportage. Data openbaar
5c. Geen grote onverklaarde verschillen, onwaarschijnlijke uitkomsten	✓	Uitkomsten per modelvariant logisch/verklaarbaar	Uitkomsten zijn onwaarschijnlijk hoog	Grote onverklaarde verschillen

Bron: SEO Economisch onderzoek

Literatuur

- Bommer, J.J., P.J. Stafford, M. Ntinalexis (2016, 2017) Empirical ground-motion prediction equations for peak ground velocity from small-magnitude earthquakes in the Groningen field using multiple definitions of the horizontal component of motion. Assen: Nederlandse Aardolie Maatschappij.
- Bosker, M., H. Garretsen, G. Marlet, R. Ponds, J. Poort, C. van Woerkens (2015). Schokken de prijzen? Relatieve huizenprijsontwikkeling in het aardbevingsgebied in Groningen en de invloed van aardbevingen en aardbevingsrisico. Utrecht: Atlas voor gemeenten.
- Bosker, M., H. Garretsen, G. Marlet, R. Ponds, J. Poort, R. van Dooren, C. van Woerkens (2016). Met angst en beven. Verklaringen voor dalende huizenprijzen in het Groningse aardbevingsgebied. Utrecht: Atlas voor gemeenten.
- Bosker, M., H. Garretsen, G. Marlet, R. Ponds, J. Poort, R. van Dooren, C. van Woerkens (2018). Nog altijd in beweging. Het effect van aardbevingen op de huizenprijzen in Groningen per 1-1-2018. Utrecht: Atlas voor gemeenten.
- CBS (2016). Woningmarktontwikkelingen rondom het Groningenveld: 1e kwartaal 1995 tot en met 2e kwartaal 2016, Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CBS (2020). Woningmarktontwikkelingen rondom het Groningenveld - Eerste kwartaal van 1995 tot en met het tweede kwartaal van 2019, Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Dekkers, J.E.C., & van der Straaten, J.W. (2009). Monetary valuation of aircraft noise: A hedonic analysis around Amsterdam airport. *Ecological Economics* 68(11), 2850-2858.
- Durán, N., Elhorst, J.P. (2018). A spatio-temporal-similarity and common factor approach of individual housing prices: the impact of many small earthquakes in the north of Netherlands. University of Groningen, SOM Research Report, 2018007-EEF, Groningen.
- Elhorst (2019). Woningwaardedaling door aardbevingen in Groningen: eerste verschillen in ruimte en tijd. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen (onjuist gedateerd op 10 juli 2018).
- Hammerstein, F., Rouwendal, J., Boelhouwer, P. (2019). Advies waardedaling woningen aardbevingsgebied Groningen.
- Hammerstein, F., Rouwendal, J., Boelhouwer, P. (2020). Reactie van de (voormalige) Adviescommissie waardedaling woningen Groningen.

- Hol E. en de Kam G. (2019) Beschouwingen over de modelmatige bepaling van de waardedaling van niet verkochte woningen op basis van prijseffecten bij verkochte woningen in het aardbevingsgebied (vervolg). September 2019.
- Hol E. en de Kam G. (2020). Modellering van waardedaling van woningen als gevolg van risico door aardbevingen rond het Groningenveld.
- Invisor (2019). Uitleg werkwijze berekening waardedaling woningen in het aardbevingsgebied in Groningen op peilmoment 1 januari 2019. 17 september 2019.
- Invisor (2020). Uitleg werkwijze berekening waardedaling woningen in het aardbevingsgebied in Groningen op peilmoment 1 januari 2019. 20 februari 2019.
- Jansen et al. (2016). Beoordeling woningmarktmodellen aardbevingsgebied Groningen, Delft: OTB.
- Marlet, G., R. Ponds, J. Poort, C. van Woerkens, M. Bosker, H. Garretsen (2017). Vijf jaar na Huizinge. Het effect van aardbevingen op de huizenprijzen in Groningen. Utrecht: Atlas voor gemeenten.
- Owusu-Ansah (2011). A review of hedonic pricing models in housing research. *Journal of International Real Estate and Construction Studies* 1-1.
- Pearce, D., G. Atkinson, S. Mourato (2006). *Cost-Benefit Analysis and the Environment*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), p. 93-96.
- Ponds, R., Poort, J., Marlet, G. (2019). Compensatie woningwaardeverlies moet op basis van actueelmodel. *MeJudice*, 7 januari 2019.
- Poort, J, R. Ponds, M. Kerste, C. van Woerkens, M. Middeldorp (2019). Zeven bewogen jaren. Het effect van aardbevingen op de huizenprijzen in Groningen per 1-1-2019. Utrecht: Atlas voor gemeenten.
- Rouwendal, J. en P. Rietveld (2000). *Welvaartsaspecten bij de Evaluatie van Infrastructuurprojecten*, Vrije Universiteit Amsterdam.
- SBRcurnet (2017): SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken: 2017 en SBR Trillingsrichtlijn B: Hinder voor personen: 2017
- Verbruggen, J., et al. (2005) Welke factoren bepalen de ontwikkeling van de huizenprijs in Nederland?, CPB Document 81, Den Haag: Centraal Planbureau.
- Visser, P., & F. van Dam (2006). *De prijs van de plek. Woonomgeving en woningprijs*. Den Haag: Ruimtelijk Planbureau.
- Wooldridge (2009), *Introductory Econometrics. A modern approach*, South-Western, 4th edition.

Bijlage A Vraag en aanbod

Elhorst (2019) gaat uit van beperkende veronderstellingen over de woningmarkt. In figuur 3 (p. 9) veronderstelt hij dat vraag en aanbod van woningen alleen bestaan uit potentiële kopers resp. eigenaren die overwegen om hun woning te verkopen. Met andere woorden, hij maakt een onderscheid tussen vragers en niet-vragers, en tussen aanbieders en niet-aanbieders. Elhorst veronderstelt dat aardbevingen de hoeveelheid vragers en de hoeveelheid aanbieders verminderen, waarna de marktprijs mogelijk hetzelfde blijft. In werkelijkheid bestaat de groep potentiële kopers uit vrijwel alle Nederlanders, want voor een hele lage prijs (bijvoorbeeld één euro) wil bijna iedereen wel een huis in Groningen kopen. Evenzo bestaat de groep potentiële verkopers uit alle woningeigenaren, want als er maar genoeg zou worden geboden (bijvoorbeeld tien miljoen euro) is bijna iedereen bereid zijn huis te verkopen.

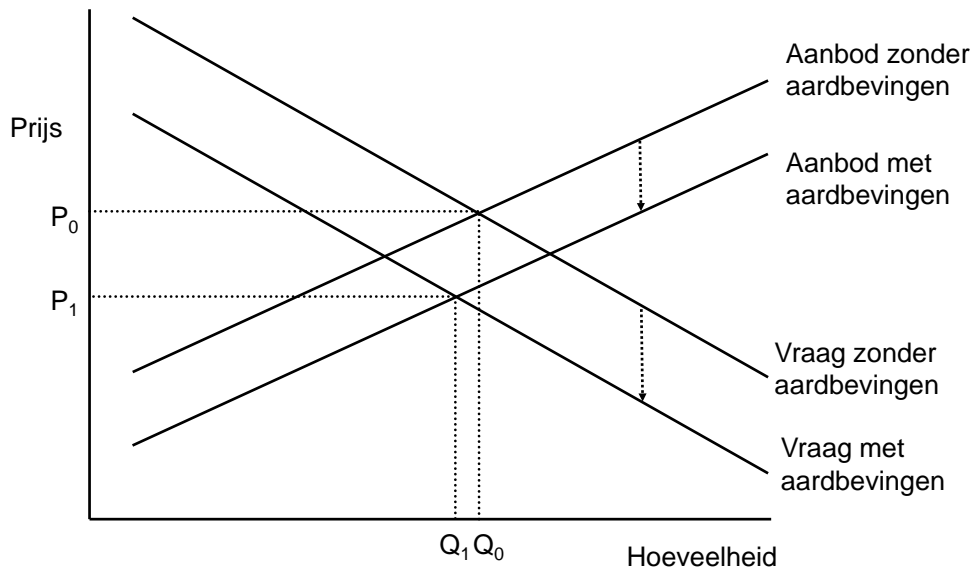
In het vervolg van deze bijlage wordt een meer algemeen geldig beeld geschetst, dat niet uitgaat van op voorhand gedefinieerde categorieën kopers en verkopers en (dus) ook niet van veranderingen van de omvang van categorieën. Er wordt uiteengezet hoe aardbevingen vragers en aanbieders van woningen beïnvloeden, en wat daarvan de gevolgen zijn voor de woningprijs en voor het aantal verkochte woningen, aan de hand van onderstaande vraag-aanbod figuur.⁸⁶ De dalende lijnen weerspiegelen de ‘betalingsbereidheid’ van potentiële kopers. Potentiële kopers met een lage betalingsbereidheid (bijvoorbeeld 1 euro) bevinden zich links onder op deze lijnen. De stijgende lijnen weerspiegelen de minimale ‘reserveringsprijs’ die woningeigenaren willen ontvangen voordat zij bereid zijn te verkopen. Woningeigenaren voor wie deze prijs (zeer) hoog is (bijvoorbeeld 10 miljoen euro), bevinden zich rechtsboven op deze lijnen⁸⁷.

Als we aardbevingsrisico in de figuur toevoegen, daalt de betalingsbereidheid van potentiële kopers. Tegelijk daalt echter ook de reserveringsprijs van woningbezitters, want verkopen wordt aantrekkelijker. Zowel de vraaglijn als de aanbodlijn schuift naar beneden. Het is mogelijk dat de aanbodlijn minder sterk naar beneden schuift dan de vraaglijn⁸⁸. Dit is in de figuur verondersteld. Het resultaat is dan een prijsdaling (van P_0 naar P_1) die kleiner is dan de daling van de vraaglijn en groter dan de daling van de aanbodlijn. Als de aanbodlijn minder sterk daalt dan de vraaglijn, daalt het aantal verkochte woningen (van Q_0 naar Q_1).

⁸⁶ Bosker et al. (2016) presenteren soortgelijke figuren. Bosker et al. (2016), Met angst en beven, hoofdstuk 2, 8.

⁸⁷ Zowel in de figuur van Elhorst als in bovenstaande figuur betreft het vraag en aanbod van een representatieve woning in het aardbevingsgebied, met bepaalde vaste kenmerken. Spreiding in de reserveringsprijs en de betalingsbereidheid komt dus niet voort uit verschillen tussen woningen, maar uit verschillen tussen verkopers en kopers.

⁸⁸ Dat kan verschillende oorzaken hebben. Bij woningen die ‘onder water staan’ (hypotheek groter dan verkoopwaarde) wil de eigenaar de reserveringsprijs mogelijk niet verlagen omdat dit de restschuld na verkoop zou vergroten. Ook is het mogelijk dat bij verkopers ‘verliesaversie’ aanwezig is: zij willen niet verkopen tegen een prijs die lager is dan de prijs waarvoor zij de woning hebben gekocht. Beide verschijnselen worden naar verwachting kleiner naarmate het prijspeil op de woningmarkt toeneemt, zoals in de periode 2013-2017 gebeurde (die stijging is bijvoorbeeld zichtbaar in figuur 1 van Elhorst, p. 6). Daarmee is het mogelijke verschil in daling van de aanbodlijn en de vraaglijn waarschijnlijk geheel of ten dele weggeëbd.



In Tabel 2 (p. 9) veronderstelt Elhorst dat sommige woningen onverkoopbaar worden. Echter, elke woning is verkoopbaar als de prijs maar laag genoeg is. Mogelijk is de eigenaar dan niet bereid om voor deze prijs te verkopen en komt de transactie niet tot stand. In bovenstaande figuur staan de niet-gerealiseerde transacties aan de rechterzijde van Q_0 respectievelijk Q_1 . Daar is de reserveringsprijs van de verkoper hoger dan de betalingsbereid van de koper, en komt dus geen transactie tot stand.

Aardbevingsrisico zorgt niet direct voor een verandering van hoeveelheden, zoals Elhorst (2019) veronderstelt. Het leidt primair tot een lagere betalingsbereidheid en lagere reserveringsprijzen, en daardoor secundair tot een lagere marktprijs. Dit kan, eveneens secundair, gepaard gaan met een beperkte hoeveelhedenverandering. Eventuele veranderingen van hoeveelheden zijn een gevolg, niet een oorzaak. De suggestie van Elhorst (p. 12) dat de verhandelde hoeveelheid woningen een cruciale determinant is voor de gemiddelde woningprijs, is daarom onjuist.

Uit het bovenstaande kan echter ook worden geconcludeerd dat de stelling van Elhorst dat waardedalingen van woningen (gemeten via betalingsbereidheid en/of reserveringsprijs) niet alleen tot uiting kunnen komen in prijsveranderingen maar mogelijk ook in hoeveelhedenveranderingen, in theorie correct is. Elhorst maakt bij het onderbouwen van deze stelling onrealistische veronderstellingen, maar ook zonder dergelijke veronderstellingen blijft zijn stelling overeind. Wel is het de vraag of in de praktijk hoeveelhedenveranderingen zijn opgetreden. Die vraag wordt behandeld in de hoofdttekst.

Bijlage B Aardbevingseffect Invisor

In de hoofdtekst wordt aangegeven dat het model van Invisor geen rekening houdt met een wederzijdse beïnvloeding van woningprijzen en sociaaleconomische kenmerken. Econometristen noemen dit ‘simultaneity bias’. Wooldridge (2009, paragraaf 16.2) laat zien dat het negeren van dit probleem kan leiden tot onderschatting of overschatting van effecten. In deze bijlage vereenvoudigen we het voorbeeld dat Wooldridge hierbij geeft, om te achterhalen of de fout die Invisor maakt leidt tot een overschatting of een onderschatting van het aardbevingseffect.

Veronderstel dat er niet alleen een verband is van sociaaleconomische kenmerken op woningprijzen, maar ook van woningkenmerken op sociaaleconomische kenmerken. In onderstaand voorbeeld staat het inkomen van bewoners voor de sociaaleconomische kenmerken.

Het vereenvoudigde model is als volgt:

$$y_1 = a_1 y_2 + b_1 z_1$$

$$y_2 = a_2 y_1$$

Hierin is y_1 : woningprijzen; y_2 : inkomen; z_1 : aardbevingsindicator. a_1 , a_2 en b_1 zijn coëfficiënten. b_1 geeft het effect van aardbevingen op woningprijzen weer.

Hieruit kan worden afgeleid (zie Wooldridge, 2009, paragraaf 16.2):

$$y_1 = (b_1 / (1 - a_1 a_2)) z_1$$

Dit is een vereenvoudigde versie van de vergelijking die Invisor schat. Invisor meet $b_1 / (1 - a_1 a_2)$, als effect van aardbevingen op woningprijzen, terwijl het werkelijke effect b_1 is. Het verschil tussen $b_1 / (1 - a_1 a_2)$ en b_1 hangt af van de coëfficiënten a_1 en a_2 . Het is goed mogelijk dat deze coëfficiënten positief zijn en kleiner dan 1.⁸⁹ In dat geval ligt $1 - a_1 a_2$ tussen 0 en 1, en is $b_1 / (1 - a_1 a_2)$ (d.w.z. wat Invisor meet) groter dan b_1 (het werkelijke aardbevingseffect). Als bijvoorbeeld geldt $a_1 = 0,7$ en $a_2 = 0,7$, is het door Invisor gemeten effect $b_1 / (1 - 0,7 \times 0,7) = b_1 / (1 - 0,49) = b_1 / 0,51 = 1,96 \times b_1$. Het gemeten effect is dan bijna tweemaal zo groot als het werkelijke effect.

Hoewel dit slechts een vereenvoudigd voorbeeld is dat niet exact het volledige model van Invisor beschrijft, laat het voorbeeld wel zien dat de kans op overschatting van het aardbevingseffect door Invisor substantieel is.

⁸⁹ Dat is bijvoorbeeld het geval als een euro meer inkomen (of een eenheid van een andere sociaaleconomische indicator) leidt tot minder dan een euro meer woningwaarde (via koopkracht); en een euro meer woningwaarde leidt (via zelfselectie) tot minder dan een euro extra inkomen (of minder dan een eenheid van een andere sociaaleconomische indicator).