

# Pragmatic constructions : simulation and the vulnerability of technological cultures

Citation for published version (APA):

Kouw, M. V. (2012). *Pragmatic constructions : simulation and the vulnerability of technological cultures*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Uitgeverij BOXPress. <https://doi.org/10.26481/dis.20121220mk>

## Document status and date:

Published: 01/01/2012

## DOI:

[10.26481/dis.20121220mk](https://doi.org/10.26481/dis.20121220mk)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## Samenvatting in het Nederlands

De geografische positie van Nederland is een bron van welvarendheid, maar ook van diverse water-gerelateerde risico's. De Nederlandse geschiedenis bevat verschillende voorbeelden van deze ambivalente relatie tussen Nederland en haar omgeving. Verschillende natuurrampen hebben Nederland door de jaren heen geteisterd, maar de Nederlanders hebben het vermogen ontwikkeld en verbeterd om het water (tot op zekere hoogte) te temmen. Het Nederlandse waternetwerk en haar diverse sluisen, gemalen, dammen en waterkeringen verkeren echter in een permanente staat van onderhoud. De gevolgen van een overstroming van Nederland en haar kwetsbare delta zullen desastreus zijn. Bovendien brengt de verandering van het klimaat nieuwe uitdagingen met zich mee, zoals de stijging van de zeespiegel en een toenemende hoeveelheid neerslag die door de rivieren zal moeten worden afgevoerd. Nederland mag dan ook met recht een kwetsbaar land worden genoemd.

In het inleidende *eerste hoofdstuk* van dit proefschrift maak ik duidelijk dat de kwetsbare positie van Nederland niet alleen te duiden is in termen van haar geografische positie. Nederland is namelijk een technologische cultuur in fundamentele zin: het reilen en zeilen van het Nederlandse waterbeheer en de civiele techniek is doordrongen van diverse technologieën, die een cruciale rol spelen in het garanderen van de veiligheid van Nederland. Met technologie wordt in dit proefschrift echter niet alleen het eerdergenoemde Nederlandse waternetwerk bedoeld, maar veeleer het gebruik van simulaties en modellen (kortweg 'simulatiemodellen'), die een cruciale rol vervullen in het benoemen, begrijpen, voorspellen en bestrijden van water-gerelateerde risico's. Er is dan ook een bepaalde mate van afhankelijkheid van simulatiemodellen. Daarnaast is het ook belangrijk het gebruik van simulatiemodellen onder de loep te nemen. Het simuleren en modelleren van risico's brengt namelijk een vertaalslag van wereld naar model met zich mee, hetgeen betekent dat simulatiemodellen blinde vlekken, aannames, simplificaties en onzekerheden kunnen bevatten. Simulatiemodellen kunnen een technologische cultuur kwetsbaar maken doordat zij risico's niet of niet afdoende weergeven.

Gegeven de afhankelijkheid van simulatiemodellen en de hierboven beschreven vertaalslag die het simuleren en modelleren van risico's met zich mee brengt, richt dit proefschrift zich op de volgende hoofdvragen: op welke wijze gebruiken technologische culturen simulatiemodellen in hun omgang met risico's, en tot op welke hoogte en hoe maken simulatiemodellen technologische culturen kwetsbaar?

Om mijn onderzoek naar de kwetsbaarheid van Nederland beter te plaatsen ten opzichte van ander wetenschappelijk onderzoek, bevat het eerste hoofdstuk een korte beschrijving van bestaande studies van risico, kwetsbaarheid en veerkracht. Risicostudies bestaan voornamelijk uit kwantitatief onderzoek naar de waarschijnlijkheid van gebeurtenissen die een bepaalde schade zullen berokkenen op mensen, organisaties en samenlevingen. Sociaalwetenschappelijke studies van dergelijke risicostudies laten zien dat kwantitatief onderzoek vaak niet toereikend is en dat ‘risico’ een kenmerkend fenomeen is van hedendaagse samenlevingen, die door middel van kwantitatieve risicostudies trachten risico’s beheersbaar te maken. Studies naar kwetsbaarheid vertrekken vanuit een ander perspectief. Daarbij staat niet zo zeer de voornoemde formule ‘kans op een gebeurtenis’ maal ‘de gevolgen van deze gebeurtenis’ centraal, maar juist de oorzaken van een gebeurtenis met schadelijke gevolgen. Terwijl het ongeluk centraal staat in veel (kwantitatieve) risicostudies, richten studies naar kwetsbaarheid zich juist op de technologische, organisatorische en sociaal-politieke verhoudingen die schuil gaan achter een ongeluk, of beter gezegd, voorafgaan aan het ongeluk. Belangrijk daarbij is dat een ongeluk zich niet per se hoeft voort te doen in het geval van kwetsbare technologisch artefacten, individuen, of samenlevingen. Kwetsbaarheid betekent echter wel dat technologisch artefacten, individuen, of samenlevingen *vatbaar* zijn voor gebeurtenissen met schadelijke gevolgen. Studies naar veerkracht maken duidelijk dat het antoniem van kwetsbaarheid niet zo zeer robuustheid is, maar juist adaptieve capaciteit. Een robuust systeem kan namelijk simpelweg terugkeren naar haar kwetsbare beginstaat, terwijl een systeem dat adaptieve capaciteit heeft zich juist kan ontwikkelen en daardoor zichzelf weerbaar kan maken tegen gebeurtenissen die het systeem kunnen beschadigen.

Het eerste hoofdstuk besluit met een beschrijving van de onderzoeksmethodologie. Het empirisch materiaal is verkregen door middel van een etnografische studie, waarbij het bestuderen van praktijken en de opvattingen van verschillende sociale groepen centraal staat. Deze observaties heb ik aangevuld met interviews en analyses van documenten. Zoals eerder bleek bestudeer ik in dit proefschrift het gebruik van simulatiemodellen binnen technologische culturen en de mogelijke gevolgen daarvan in termen van kwetsbaarheid. Ik baseer mijn antwoorden op de onderzoeksvragen op een beperkt domein, namelijk het gebruik van simulatiemodellen in het Nederlandse waterbeheer en de civiele techniek. Daarmee is dit proefschrift echter geen verhandeling over waterbeheer en civiele techniek in Nederland in de strikte zin. Mijn discussie over het Nederlandse waterbeheer en de civiele techniek

functioneert als *explanans* en niet als *explanandum*: het is mijn bedoeling de relatie tussen (toenemende) afhankelijkheid van simulatiemodellen enerzijds en de kwetsbaarheid van technologische culturen anderzijds in meer algemene zin te duiden. Daarbij dient de discussie over het Nederlandse waterbeheer en de civiele techniek ter illustratie.

In mijn discussie over het Nederlandse waterbeheer en de civiele techniek concentreer ik mij op verschillende activiteiten bij Deltares, een kennisinstituut voor toegepast onderzoek dat zich richt op diverse thema's op het gebied van water, ondergrond en infrastructuur. Waar nodig heb ik mijn onderzoek naar de activiteiten van Deltares aangevuld met observaties en interviews bij andere organisaties en het bezoeken van symposia en workshops. Het leeuwendeel van mijn etnografische studie vond plaats tussen maart en juli 2009, met aanvullende observaties en interviews in 2010 en 2011. Dit heeft geresulteerd in een totaal van 73 interviews met ingenieurs, ecologen, biologen, programmeurs, managers, bestuurders, beleidsmakers en onderzoekers bij kennisinstellingen, waterschappen, overheidsinstanties en onderwijsinstellingen. In het proefschrift staan drie aspecten van simulatiemodellen centraal: constructie, validatie (het aantonen van overeenkomsten tussen simulatiemodellen en hun doelsystemen) en communicatie. De drie casussen in het proefschrift nemen elk voornamelijk één van deze drie aspecten voor hun rekening, hoewel enige overlap tussen de casussen onvermijdelijk is. In de casussen vermijd ik een perspectief dat uitsluitend technologische aspecten van simulatiemodellen beschrijft. Sterker nog, ik laat zien dat simulatiemodellen en hun rol in termen van kwetsbaarheid alleen kan worden bestudeerd en begrepen door zowel hun technologische als institutionele en sociaal-politieke aspecten te bestuderen.

In het *tweede hoofdstuk* neem ik bestaand wijsgerig en sociaalwetenschappelijk onderzoek naar simulatiemodellen onder de loep. Het begrip 'model' kan worden gekarakteriseerd als een abstracte of formele weergave van een object, proces of systeem, en heeft daardoor een brede betekenis die zowel wiskundige vergelijkingen als schaalmodellen van bijvoorbeeld gebouwen omvat. Het begrip 'simulatie' kan worden gedefinieerd als nabootsing or replicatie. Bovendien impliceert het begrip simulatie het nabootsen of imiteren van een dynamisch proces door middel van een ander proces. Neem bijvoorbeeld het simuleren van de effecten van getijden in een schaalmodel, of het voorspellen van het verloop van een overstroming door middel van een reeks tijdstappen in een computermodel.

Simulatiemodellen vereisen een vertaalslag van een onderzoeksobject (het 'doelsysteem') naar een model, waarmee vervolgens simulaties kunnen worden

uitgevoerd. Mijn beschrijving van simulatiemodellen laat niet alleen zien hoe deze vertaalslag plaatsvindt, maar toont ook aan dat een simulatiemodel nooit overeen kan stemmen met een doelsysteem. Gegeven de aard van simulatiemodellen is dit ook niet opmerkelijk: wanneer het observeren van een doelsysteem als zodanig mogelijk is en ook afdoende is, is het niet noodzakelijk een simulatiemodel te ontwikkelen. Vaak wordt een doelsysteem sterk gesimplificeerd in een simulatiemodel. Bovendien richten veel simulatiemodellen zich op toekomstige standen van zaken of extreme gebeurtenissen die maar zelden of nooit geobserveerd (kunnen) worden in ‘de werkelijkheid’. Veel studies bevestigen deze rol van simulatiemodellen en duiden simuleren en modelleren in termen van ‘adequaatheid’ in plaats van ‘waarheid’. Toch concentreren veel kritische studies van simulatiemodellen zich op de vertaalslagen die het simuleren en modelleren van doelsystemen hoe dan ook met zich mee brengt. Simulaties zouden zelfs kunnen leiden tot ‘immersie’, een situatie waarin het onmogelijk is geworden de werkelijkheid los van simulatiemodellen te zien. Sterker nog, de werkelijkheid zou volgens sommigen ontoegankelijk worden voor diegenen die gebruik maken van simulatiemodellen.

Discussies over simulatiemodellen verwijzen in dit opzicht naar de notie van ‘pragmatic constructions’ ofwel ‘pragmatische constructies’ van Küppers et al. (2006, 21), aan wiens werk ik ook de titel van dit boek ontleen. Simulatiemodellen concentreren zich op doelsystemen die alleen kunnen worden begrepen door middel van een vertaalslag van ‘werkelijkheid’ naar simulatiemodel. Simulatiemodellen impliceren pragmatische overwegingen en ingrepen teneinde een systeem te kunnen modelleren en hebben een duidelijk geconstrueerd karakter. Toch kunnen simulatiemodellen als plaatsvervangers van hun doelsystemen optreden, bijvoorbeeld wanneer zij niet langer als pragmatische constructies worden gezien, of wanneer simulatiemodellen worden beschouwd als erudiete en betrouwbare representaties van doelsystemen. In de casussen die volgen op het tweede hoofdstuk gaat het mij niet alleen om het bestuderen van de voornoemde vertaalslag van doelsysteem naar simulatiemodel, maar ook om de handelingen en opvattingen van diverse sociale groepen die op verschillende manieren met simulatiemodellen werken. Zoals eerder aangegeven bevat mijn analyse van simulatiemodellen zowel hun technologische als institutionele en sociaal-politieke aspecten. Daarbij zal blijken dat simulatiemodellen lang niet altijd als pragmatische constructies functioneren.

In het *derde hoofdstuk* bestudeer ik het gebruik van simulatiemodellen in de hydrologie en hydrodynamica, waarbij onderzoek naar overstromingen en constructies

nabij water centraal staat. De computersimulaties die momenteel het gebruik van simulatiemodellen in de civiele techniek domineren worden gekenmerkt door opaciteit: computersimulaties en hun onderliggende ontwerp zijn door de jaren heen steeds complexer geworden. Daardoor wordt het steeds minder waarschijnlijk dat ontwikkelaars en gebruikers van computersimulaties in staat zijn de onderliggende constructie van simulatiemodellen te begrijpen. Bovendien is het niet vanzelfsprekend dat ontwerpers en gebruikers deze onderliggende constructie willen bevatten, zeker wanneer computersimulaties naar behoren functioneren en worden gezien als betrouwbare kennisinstrumenten. Opaciteit kan daardoor leiden tot het hierboven beschreven probleem van immersie: gegeven de opaciteit van computersimulaties wordt het steeds minder waarschijnlijk dat ontwikkelaars en gebruikers van simulatiemodellen reflecteren op de invloed van simulatiemodellen, noch dat zij de wens hebben op dergelijke wijze te reflecteren op de invloed van simulatiemodellen.

Teneinde de invloed van opaciteit beter te begrijpen bestudeer ik eerst hoe de methode van constructie van simulatiemodellen in de civiele techniek sinds de vroege 20<sup>e</sup> eeuw is veranderd. Analytische methodes, elektrische modellen (die later hebben geleid tot het ontwerpen van de eerste analoge computers in Nederland) en schaalmodellen vormden een tijd lang parallelle trajecten in de hydrologie en hydrodynamica. De opkomst en dominantie van computersimulaties kan niet worden beschreven als een uitsluitend technologisch proces van toenemende efficiëntie, maar duidt juist op een amalgaam van technologische, institutionele en sociaal-politieke factoren die tezamen hebben geleid tot de huidige dominantie van computersimulaties. Deze analyse, die zich niet uitsluitend op de technologische aspecten van simulatiemodellen richt, trek ik vervolgens door in een beschrijving van tegenwoordige praktijken. Computersimulaties worden in het geval van Deltares op een ‘ambachtelijke’ wijze benaderd, waarbij hun uitkomsten voortdurend bloot staan aan kritiek. Bovendien proberen ingenieurs voortdurend te begrijpen op welke wijze een simulatiemodel is geconstrueerd en tot een uitkomst leidt. Hier duikt het probleem van opaciteit op. Computersimulaties worden inderdaad steeds ingewikkelder, en kunnen in de vorm van software ook nog eens gebruikers bereiken die een minder reflexieve benadering van simulatiemodellen verkiezen. Sociale groepen buiten het domein van de civiele techniek zijn daarmee vatbaar voor immersie als gevolg van opaciteit.

Immersie is dan ook een vorm van kwetsbaarheid die relevant is gegeven de opaciteit van de computersimulaties die momenteel de dominante aanpak vormen binnen

de civiele techniek. Toch zijn er sociale groepen die een reflexieve manier van simuleren en modelleren verdedigen en zelfs noodzakelijk achten. De codificatie en disseminatie van simulatiemodellen in de vorm van software zijn dan ook potentieel zorgelijk, aangezien zij simulatiemodellen beschikbaar maken voor sociale groepen met een minder reflexieve benadering van simulatiemodellen. Immersie behelst daarmee een spanning tussen opaciteit en reflexiviteit die bestudeerd kan worden om de invloed van simulatiemodellen op de kwetsbaarheid van technologische culturen beter te begrijpen.

In het *vierde hoofdstuk* richt ik mij op het gebruik van simulatiemodellen in de geotechniek teneinde de processen die leiden tot dijkdoorbraken en mogelijke daaropvolgende overstromingen beter te begrijpen. Tijdens een evaluatieronde van de Nederlandse waterkeringen die plaatsvond tussen 2001 en 2006 bleek dat 24% van de Nederlandse waterkeringen niet voldeed aan de op dat moment vigerende veiligheidsvoorschriften. In het geval van nog eens 32% van de waterkeringen kon er geen oordeel worden geveld over de veiligheid van deze waterkeringen. Hoe is het nu gesteld met de veiligheid van de Nederlandse waterkeringen? Simulatiemodellen worden in dit hoofdstuk niet zo zeer benaderd als kennisinstrumenten die waarheden produceren, maar juist als bronnen van kennis die in verschillende mate relevant worden bevonden door diverse sociale groepen. Bovendien blijkt dat de geotechniek en het Nederlandse beleid omtrent de veiligheid van waterkeringen met verschillende vormen van onzekerheid te maken hebben.

In dit hoofdstuk concentreer ik mij op het faalmechanisme ‘piping’, een erosieproces waarbij de fundamente van een dijk kunnen worden weggespoeld met een verzakking of doorbraak van de dijk tot gevolg. De activiteiten in het laboratorium van Deltares laten zien dat ingenieurs proberen te begrijpen hoe piping zich voltrekt. Dit gaat gepaard met een complexe keten van simulatiemodellen, van kleine experimenten op schaal tot experimenten op grote schaal. De uitkomsten van deze experimenten zijn echter onzeker door problemen met de verschillende proefopstellingen en schaaffecten. Daardoor kan er (nog) geen eenduidige uitkomst worden gegenereerd over het exacte verloop van dijkfaalmechanismen, welke kunnen leiden tot een dijkdoorbraak en een daaropvolgende overstroming. Ondanks deze onzekerheden worden er rekenregels ontwikkeld die het faalmechanisme piping beschrijven en vervolgens hun weg vinden naar toepassingen buiten Deltares. Grote hoeveelheden rekenkracht en sensortechnieken worden toegepast voor dijkbewaking. Daarnaast ontwikkelt men verschillende toepassingen voor bestuurders en beleidsmakers, zoals websites, interactieve visualisaties

en ‘serious games’. In dergelijke toepassingen staat niet zo zeer het begrip van piping centraal, maar juist het bewaken van dijken en evacuatieprocedures. Onzekerheden sijnpen ook hier door, bijvoorbeeld in de vorm van rekenregels die niet volledig zijn of de onvoorspelbaarheid van sociale actoren tijdens een evacuatie. Een bespreking van het Nederlandse beleid op gebied van de waterkeringen laat tenslotte een breed portfolio zien van opvattingen over veiligheid. Verschillende sociale groepen benadrukken het belang van onderzoek, adaptief waterbeheer (zoals evacuatie) en repressieve maatregelen (zoals het versterken van de waterkeringen). De voorgenoemde sociale groepen verschillen vaak sterk van mening. De verschillende belangen die op de achtergrond van geotechnisch onderzoek spelen impliceren een veelheid van uitkomsten van discussies over de veiligheid van waterkeringen. Het scala aan mogelijke maatregelen vormt echter wel de achtergrond waartegen geotechnisch onderzoek naar faalmechanismen en de waardering van dit onderzoek plaatsvinden. Het produceren van kennis over faalmechanismen zoals piping is dan ook niet alleen onderworpen aan wetenschappelijke ideeën aangaande relevante kennis, maar ook aan sociaal-politieke noties van relevantie.

In het hoofdstuk wordt duidelijk dat de verschillende benaderingen van dijkfaalmechanismen diverse vormen van onzekerheid produceren. Hoewel deze onzekerheden kwetsbaarheid met zich mee brengen, kan een meer gedegen studie van deze onzekerheden ten gunste komen van de veiligheid van de Nederlandse waterkeringen. Dit betekent echter wel dat onzekerheid moet worden gezien als een bron van mogelijke kennis en juist niet alleen moet worden weggewuifd als een zogenaamd gebrek aan kennis of een abject bijproduct van (onder andere) wetenschappelijk onderzoek. Onzekerheid impliceert dan ook een spanning tussen veerkracht (hier gedefinieerd in de meer enge zin als robuustheid) en adaptieve capaciteit. Alleen technologische culturen die adaptieve capaciteit nastreven kunnen volledig recht doen aan de mogelijk waardevolle aspecten van onzekerheid.

In het *vijfde hoofdstuk* richt ik mij op de ecologie en de studie van waterkwaliteit, waarbij de kwetsbaarheid van ecologische systemen centraal staat. Ik bestudeer de ontwikkeling van de zogenaamde KRW Verkenner, een model ontwikkeld ter ondersteuning van de implementatie van de KRW (Kader Richtlijn Water) – een Europese wetgeving op het gebied van waterkwaliteit. De KRW Verkenner is ontwikkeld als een beleidsinstrument dat een veelheid van kennis en sociale groepen moest kunnen omvatten en bedienen. Uiteindelijk is de KRW Verkenner echter niet geaccepteerd als volwaardig en toepasbaar kennisinstrument door de beoogde gebruikersgroep.



De ontwikkeling van de KRW Verkenner laat zien dat de ontwikkelaars aanvankelijk een grote groep gebruikers betrokken bij de ontwikkeling van het instrument. Na verloop van tijd werd de KRW Verkenner onhandelbaar volgens sommige beoogde gebruikers, die het instrument uiteindelijk ook niet vertrouwden. Het was voor hen onmogelijk om onzekerheden in modeluitkomsten te bestuderen. Voorts bleek dat veel beoogde eindgebruikers sterke twijfels hadden aangaande de waterkwaliteit te modelleren. Simulatiemodellen werden door deze groep gebruikers onvoldoende in staat geacht om recht te doen aan de complexiteit van ecosystemen. Meer algemeen blijken verschillen tussen sociale groepen in termen van expertise lastig te vermijden. Verschillen tussen ontwikkelaars, gebruikers van simulatiemodellen en beleidsmakers duiden op sterk divergerende en onoverbrugbare prioriteiten en belangen. Bovendien vereist het succesvol ontwikkelen en gebruiken van de KRW Verkenner in het kader van nationale en Europese beleidsvorming een bepaalde mate van standaardisatie, hetgeen betekent dat de participatie die beoogt werd niet alle beschikbare vormen van kennis en soorten gebruikers kan omvatten. De ontwikkeling van een nieuwe versie van de KRW Verkenner is meer gericht op wetenschappelijke analyse dan op participatie.

De geschiedenis en ontwikkeling van de KRW Verkenner laat zien dat het gebruik van simulatiemodellen in beleidsvorming standaardisatie impliceert. Dit betekent dat er mitsen en maren gepaard gaan met de overtuiging dat participatie een veelheid aan kennis en sociale groepen omvat. De toepassingen van simulatiemodellen als beleidsinstrumenten toont dan ook aan dat uitsluiting een mogelijke bron van kwetsbaarheid is. Immers, kennis en sociale groepen die mogelijk waardevolle perspectieven op beleidskwesties aanleveren worden niet per definitie opgenomen in beleidsvormingsprocessen. Uitsluiting betekent dan ook een spanning tussen standaardisatie (benodigd voor het succesvol ontwikkelen van beleidsinstrumenten en beleidsvorming op nationaal en Europees niveau) en participatie (vereist in termen van politieke legitimiteit en het betrekken van sociale groepen).

Het concluderende *zesde hoofdstuk* gaat dieper in op immersie, onzekerheid en uitsluiting. Immersie is een vorm van kwetsbaarheid die niet uit te bannen is. Daarmee bekritiseer ik suggesties van sociaalwetenschappelijke onderzoekers om terug te keren naar een klassiek-ambachtelijke manier van omgang met technologie. Elke praktijk waarin technologie een belangrijke rol speelt impliceert opaciteit. Het is niet mogelijk deze opaciteit geheel op te heffen. Sterker nog, enige opaciteit is noodzakelijk om

technologisch-gemedieerde praktijken goed te laten functioneren. Het is belangrijk om de waarde van reflexiviteit te benadrukken als vorm van kritische omgang met technologieën die gekenmerkt worden door opaciteit. Onzekerheid is een vorm van kwetsbaarheid die aan diepte kan winnen door een gedegen studie van haar verschillende hoedanigheden en de mate waarin verschillende sociale groepen onzekerheid waarderen als mogelijke bron van kennis. Een dergelijke analyse kan helpen adaptieve capaciteit te ontwikkelen en daarmee technologische culturen weerbaar maken tegen risico's. Uitsluiting is een vorm van kwetsbaarheid die aandacht verdient gegeven de huidige populariteit van participatie en nieuwe technologieën (zoals 'serious games') in beleidsprocessen. Daarbij is het belangrijk nauwlettend te bestuderen op welke wijze participatie tot stand komt, en welke waarden op het gebied van beleidsvorming een weerslag hebben in de kennisinstrumenten die worden ontwikkeld om participatie mogelijk te maken. Een studie van de totstandkoming van beleidsinstrumenten kan laten zien hoe zij uitsluiting kunnen impliceren, en kan daarmee de mate waarin bestaande hegemonieën in stand worden gehouden door deze beleidsinstrumenten benoemen.

De casussen in mijn proefschrift laten zien hoe simulatiemodellen worden geconstrueerd om risico's te begrijpen, voorspellen, en bestrijden, hoe simulatiemodellen in verband staan met noties van relevantie en betrouwbaarheid, en tenslotte hoe simulatiemodellen worden toegepast als beleidsinstrumenten en daarmee vorm geven aan communicatie en participatie. Als zodanig verwijzen deze toepassingen terug naar de notie van pragmatische constructies die ik eerder beschreef. Simulatiemodellen hebben een dubbele betekenis. Simulatiemodellen hebben vaak een verkennend karakter en worden dikwijls op reflexieve wijze gehanteerd. Daarnaast bevinden simulatiemodellen zich op een hellend vlak waarop hun verkennende karakter plaatsmaakt voor een meer representatieve rol als betrouwbare en erudiete weergaves van hun doelsystemen. Simulatiemodellen kunnen op dat moment plaatsvervangend werken ten aanzien van hun doelsystemen, met kwetsbaarheid in de vorm van immersie, onzekerheid en uitsluiting tot gevolg. Met dit proefschrift beoog ik bij te dragen aan een gedegen kritisch perspectief op simulatiemodellen. De noties van immersie, onzekerheid en uitsluiting zoals ik die in dit proefschrift heb ontwikkeld kunnen naar mijn idee bijdragen aan een beter begrip van de relatie tussen simulatiemodellen en de kwetsbaarheid van technologische culturen.

