

Inhoud

Artikelen

Meten en onzekerheid	1
Meten en onzekerheid/Onderzoek	2
Meten en onzekerheid/Onderzoeksproces	10
Meten en onzekerheid/Metingen	24
Meten en onzekerheid/Literatuur	31
Meten en onzekerheid/Opgaven	32

Referenties

Paginabronnen en auteurs	33
Afbeeldingsbronnen, licenties en bijdragers	34

Paginalicenties

Licentie	35
----------	----

Meten en onzekerheid

Metten is weten

In de ingenieurspraktijk, maar ook in andere toegepaste wetenschappen, is meten van groot belang. Denk hierbij aan procescontrole in de industrie, maar ook het bepalen van de behoefte aan nieuwe technische oplossingen, etc.

Metten kan worden gezien als onderdeel van (wetenschappelijk) onderzoek. In dit boek beperken we ons hierbij tot praktijkonderzoek: onderzoek dat direct gericht is op het oplossen van praktische problemen.

Metten is onzeker

Als je gaat metten, ontstaan er echter een aantal vragen:

- Meet mijn instrument ook wat ik wil meten?
- Hoe nauwkeurig en betrouwbaar zijn mijn metingen?
- Hoe veel moet ik meten om ook een representatief beeld te hebben?

Dit boek geeft handreikingen om dit soort vragen te kunnen beantwoorden.

Doelgroep

Dit boek is een beknopte handleiding voor het opzetten van metingen en het interpreteren van meetgegevens, waarbij het omgaan met het aspect *onzekerheid* centraal staat. De doelgroep bestaat uit studenten en beginnend professionals in de toegepaste wetenschappen. In het bijzonder is het boek gericht op studenten op bachelorniveau in de ingenieurswetenschappen, waaronder nadrukkelijk begrepen studenten aan het Hoger Beroepsonderwijs.

De focus van dit boek op het meten zelf en op toegepast (natuur)wetenschappelijk onderzoek onderscheidt dit boek van de meeste Nederlandstalige boeken over statistiek en methodologie, die vanuit het oogpunt van de sociale of economische wetenschappen zijn geschreven. Gezien deze doelgroep focust dit boek zich op kwantitatief onderzoek. Kwalitatief onderzoek, zoals diepte-interviews, beschrijvende observaties e.d., komt hier alleen zijdelings aan bod.

Ontwikkeling

Dit wikiboek is nog in opbouw. Initiatiefnemer is K. Koolstra, als docent verbonden aan de Hogeschool van Amsterdam, domein Techniek. Hulp bij dit project, van spellingcontrole tot actief meedenken en meeschrijven aan dit boek, is welkom.

Voorlopige inhoudsopgave

- Metten en onzekerheid/Onderzoek - Wat is de relatie tussen meten, onderzoek en wetenschap?
 - Metten en onzekerheid/Onderzoeksproces - Hoe verricht je onderzoek en welke soorten onderzoek zijn er?
 - Metten en onzekerheid/Metingen - Hoe kies je de juiste meetmethode en hoe bereid je je metingen goed voor?
 - Metten en onzekerheid/Meetonzekerheid - Hoe kun je omgaan met meetfouten en andere vormen van meetonzekerheid?
 - Metten en onzekerheid/Interpretatie meetgegevens - Hoe bepaal je de betrouwbaarheid van je meetgegevens en hoe identificeer je 'outliers'?
 - Metten en onzekerheid/Literatuur - Welke literatuur is gebruikt bij het samenstellen van dit boek?
 - Metten en onzekerheid/Opgaven - Enkele opgaven ter verwerking van de lesstof
-

Met en en onzekerheid/Onderzoek

Het onderwerp van dit boek is *meten*. Meten is echter geen op zichzelf staande activiteit. Om meer inzicht en begrip te krijgen over het hoe, wat en waarom van *meten*, moeten we begrijpen wat de rol van meten is in het totale onderzoeksproces.

Waarom doen we eigenlijk onderzoek? Onderzoek kan verschillende doelen dienen: van het verkrijgen van een fundamentele kennis over de natuurwetten tot het oplossen van alledaagse problemen. Hoewel het fundamentele onderzoek veel aandacht krijgt, juist omdat het tot algemeen toepasbare inzichten kan leiden, heeft het merendeel van de metingen die worden verricht allereerst een praktisch doel. Denk bijvoorbeeld aan meteorologische waarnemingen die direct worden gebruikt door de luchtvaart en landbouw en aan de landmetingen die worden gedaan om bij bouwwerken de juiste plaats, hoogte en afmetingen te bepalen. Soms kunnen echter dit soort waarnemingen ook worden gebruikt voor meer theoriegericht onderzoek. De specifieke methodologische vraagstukken die die samenhangen met theoriegericht onderzoek, zoals het vraagstuk van voldoende controle in de onderzoeksopzet, vallen echter buiten het bestek van dit boek. De geïnteresseerde lezer wordt hiervoor verwezen naar de bestaande literatuur over onderzoeksmethodologie.

In dit hoofdstuk gaan we eerst nader in op de vraag *wat is onderzoek?* in relatie tot de vraag *wat is wetenschap?* Vervolgens gaan we verder in op de vraag *waarom doen we onderzoek?* Op basis daarvan verkennen we de verschillen tussen soorten onderzoek en introduceren we een casus als voorbeeld. Ten slotte komen we kort terug op de vraag *wat is meten?*

Wat is onderzoek?

Onderzoek is de zorgvuldige, systematische en geduldige studie van een bepaald kennisgebied, uitgevoerd om bepaalde feiten of principes te ontdekken of te grondvesten.^[1] In dit hoofdstuk staat de vraag centraal wat *praktijkgericht onderzoek* nu precies inhoudt en wat nu de relatie is met *wetenschappelijk onderzoek*. Daarom behandelt dit hoofdstuk een aantal indelingen in soorten onderzoek en wordt nader ingegaan op het methodisch werken dat één van de kenmerken is van wetenschappelijk onderzoek.

Eerst verkennen we de relatie tussen de begrippen *onderzoek* en *wetenschap*.

Wetenschappelijk onderzoek

Het begrip onderzoek is nauw gerelateerd aan het begrip wetenschap. In boeken over onderzoeksmethodiek wordt eigenlijk altijd expliciet of impliciet uitgegaan van wetenschappelijk onderzoek. De mate waarin onderzoek volgens een doordacht stappenschema wordt opgezet en uitgevoerd, is dan ook één van de kenmerken van wetenschappelijk onderzoek. Toch bestaat er ook niet-wetenschappelijk onderzoek. Hoe onderscheidt wetenschappelijk onderzoek zich eigenlijk van ander onderzoek?

Volgens sommige definities van wetenschappelijk onderzoek mag alleen onderzoek dat leidt tot *algemene* kennis over de werkelijkheid wetenschappelijk genoemd worden (zie bijvoorbeeld Brinkman, 2006). Een dergelijke definitie zou echter veel historisch en toegepast geologisch onderzoek diskwalificeren als niet-wetenschappelijk, aangezien veel onderzoek in deze vakgebieden zich bezighoudt met de (geologische) geschiedenis van een specifiek gebied en een specifieke periode.

Een alternatief is om niet-wetenschappelijk onderzoek te onderscheiden van toegepast wetenschappelijk onderzoek door te kijken of de uitvoering ervan voldoet aan de eisen die de wetenschappelijke methode. De *wetenschappelijke methode* is een systematische manier om kennis te vergaren. Zij is gebaseerd op waarnemingen, metingen, voorspellingen en experimenten, welke worden gebruikt om vooraf vastgestelde hypothesen te verifiëren en falcificeren.

Er zijn verschillende visies op wat de precieze kenmerken zijn van de wetenschappelijke methode. Over een aantal kenmerken is echter redelijke consensus in de literatuur. Wetenschappelijk onderzoek:

- is een min of meer systematische onderzoeksactiviteit met een duidelijk doel
- is meer dan alleen gegevens verzamelen, maar omvat ook het interpreteren van deze gegevens
- bouwt voort op eerdere op wetenschappelijke wijze vergaarde kennis

Wat nu precies wetenschap is en wat de basis is van de wetenschappelijke methode, wordt bestudeerd door de wetenschapsfilosofie.

Uitwerking van de wetenschappelijke methode

De wetenschappelijke methode houdt in dat de volgende stappen worden doorlopen bij het vergaren van kennis, in de vorm van wetenschappelijk bewijs: ^[2]

1. **Bestudeer** het fenomeen dat je wilt beschrijven. Verzamel gegevens en doe metingen. De *wetenschappelijke methode* vereist hierbij dat iedereen die dat wil de hypothese zelf kan testen, en daarvoor is het noodzakelijk dat ook de waarnemingen, en de *exacte manier* waarop die waarnemingen zijn gedaan (en hoe ze kunnen worden herhaald) publiek bekend worden gemaakt.
2. **Denk** na over je metingen, en verzin een hypothese die de metingen en andere gegevens kan verklaren. In de *denk*-stap gebruiken wetenschappers hun creativiteit om een verklaring te verzinnen voor de gemeten fenomenen. Deze verklaring (hypothese) moet echter op basis van onderzoek ontkracht kunnen worden.
3. **Voorspel** op basis van de hypothese iets dat je nog niet eerder hebt gemeten. Als er geen enkele potentiële waarneming, experiment etc. kan worden verzonden dat de hypothese kan ontkrachten, is de hypothese misschien *waar* maar in elk geval niet *wetenschappelijk*. Hypothesen worden ook gezien als *beter* dan andere hypothesen als ze meer voorspellende kracht hebben, dat wil zeggen als er meer waarnemingen mee kunnen worden verklaard, en er dus meer waarnemingen mogelijk zijn die kunnen bewijzen dat de hypothese niet juist is.
4. **Test** de voorspellingen door nieuwe metingen uit te voeren. Een goed wetenschappelijk onderzoek moet aan een aantal regels voldoen. Zo moet er zo min mogelijk vrijheid zijn in de interpretatie van de resultaten: vrijheid kan leiden tot *zien wat men wil zien*. Bovendien is een goed experiment zo opgezet dat beïnvloeding door andere effecten wordt uitgesloten. Bijvoorbeeld bij het testen van de werking van een nieuw medicijn moet worden uitgesloten dat de aandacht die de patiënt van de arts krijgt of het placebo-effect invloed hebben op de resultaten. Idealiter moet het onderzoek zo beschreven worden dat eenieder die dat wil deze kan herhalen en dus kan controleren. Dit heet *reproduceerbaarheid*.
5. **Evalueer** aan de hand van de meetresultaten of de hypothese juist kan zijn. Elke hypothese moet onmiddellijk worden verworpen als er betrouwbaar kan worden aangetoond dat hij niet altijd geldig is, hoe belangrijk of oud die theorie ook is. Door dit principe is alle wetenschappelijke kennis in beginsel voorlopig: er kan immers op elk moment een nieuwe meting gedaan worden die oude hypothesen omverwerpt. Vorm in zo'n geval een nieuwe hypothese.

Indien deze stappen voortdurend worden herhaald, vormen zij een steeds grotere basis van wetenschappelijk bewijs. De wetenschappelijke methode laat het toe om de stappen in sommige gevallen in een andere volgorde uit te voeren, maar in elk geval moeten alle stappen worden doorlopen. Theoretisch natuurkundigen bedenken soms eerst een totaal nieuwe theorie voordat ze bedenken wat ze willen bekijken; dit heet rationalisme, waarbij de hypothese aan het experiment voorafgaat. Het rationalisme staat in tegenstelling tot empirisme, waarbij de waarnemingen of het experiment aan de hypothese voorafgaan.

Voorbeeld: waardoor is de boom omgevallen?

Op een ochtend blijkt dat een boom in je achtertuin is omgevallen die vorige avond nog rechtop stond. Je besluit te onderzoeken waardoor dit is gebeurd.

Een eerste stap is de keuze voor een voor de hand liggende hypothese, die vervolgens kan worden getoetst. Een mogelijke hypothese is *Deze boom is getroffen door de bliksem*. Een alternatieve hypothese is dat een windstoot de boom heeft omgelegd. Een aanname bij deze hypothesen is dat er sprake is geweest van onweer, danwel weer met harde windstoten. Naast je eigen waarnemingen (wellicht ben je vannacht wakker geworden van onweer) kan deze aanname worden getoetst aan de hand van meteorologische waarnemingen. Ook de theorie dat de boom door olifanten is omgelegd heeft een dergelijke aanname, namelijk dat er afgelopen nacht olifanten in de buurt zijn geweest. Deze aanname ligt echter niet voor de hand als je niet midden in een wildpark met olifanten woont...

Deze voorbeelden hebben met elkaar gemeen dat er slechts één belangrijke aanname aan ten grondslag ligt, een aanname die bovendien ook goed toetsbaar is. Een andere mogelijke hypothese zou zijn dat de boom zou zijn omgelegd door reusachtige buitenaardse wezens die op bezoek kwamen. Deze theorie maakt een flink aantal aannamen onder andere over het bestaan van buitenaardse wezens, het feit dat ze interstellaire reizen kunnen maken, en het feit dat hun biologie het toestaat dat ze zo immens groot worden. Nadeel van een dergelijke hypothese is dat het grote aantal (en ook nog eens lastig te toetsen) aannamen deze onwerkbaar maakt. Bovendien voldoet deze niet aan het principe van Ockham's scheermes dat een eenvoudige hypothese (met weinig aannamen) die de feiten kan verklaren de voorkeur verdient boven een complexe hypothese ter verklaring van dezelfde feiten.

Stel dat we allereerst de bliksemhypothese gaan onderzoeken. Deze kan o.a. worden getoetst aan de hand van brandsporen op de boom en de registratie van een bliksemontlading op de bliksemradar van het KNMI. Metingen van rukwinden en afwezigheid van sporen van een bliksemontlading kunnen daarbij leiden tot het verwerpen van de bliksemhypothese, ten gunste van een nieuwe hypothese, namelijk dat de boom door een rukwind is omvergeblazen. Deze hypothese kun je weer verder testen door nadere voorspellingen te doen, bijvoorbeeld over de richting waarop de boom gevallen moet zijn.

Waarom onderzoek?

In de voorgaande paragraaf hebben we verkend wat onderzoek inhoudt. Er zijn veel verschillende redenen om een onderzoek te doen. Daarbij kunnen we onderscheid maken naar eigenlijke redenen - bijvoorbeeld onderzoek dat tot kennis moet leiden die helpt een goede keuze te maken uit alternatieven - en oneigenlijke motieven - bijvoorbeeld onderzoek dat bedoeld is om tijd te rekken of opinies te beïnvloeden.

De volgende casus (zie kader) is een voorbeeld van een legitiem motief voor onderzoek. Er is mogelijk sprake van een onwenselijke situatie, maar onderzoek is gewenst om duidelijkheid te krijgen over de omvang en mogelijke oorzaken van het probleem.

Onderzoekscasus:

voetgangersoversteekplaats Toegepast onderzoek kent vele verschillende vormen. Om een eerste indruk te geven wordt hier een voorbeeldprobleem uitgewerkt dat zich leent voor toegepast onderzoek. Het voorbeeld is afkomstig uit de verkeerskunde.

Ergens in Nederland ligt een oversteekplaats voor voetgangers en fietsers in 2*2-strooks gebiedsontsluitingsweg. De situatie is vergelijkbaar met de afbeelding hiernaast. De maximumsnelheid ter plaatse is 50 km/h, maar volgens bewoners wordt deze maximumsnelheid regelmatig overschreden.

Hoewel het laatste ernstige ongeval al weer enige jaren geleden is, is er toch twijfel over de

verkeersveiligheid van deze oversteekvoorziening. In de eerste plaats is het volgens de duurzaam veilig visie gewenst om de snelheden bij oversteekplaatsen te beperken tot 30 km/h. Bovendien zijn er klachten over de slechte roodlichtdiscipline van de auto's. Wellicht hangt dit samen met te hard rijden (niet meer kunnen stoppen voor oranje) of de afstelling van de verkeerslichten. Ook de roodlichtdiscipline van de overstekende voetgangers laat volgens automobilisten vaak te wensen over.

**Verschillen in aanleiding en doel van onderzoek**

In het voorgaande voorbeeld is er sprake van een duidelijke praktijkaanleiding voor het doen van onderzoek. Het is toegepast onderzoek met een duidelijk praktisch doel. Het waarom van dit soort onderzoek verschilt sterk van bijvoorbeeld fundamenteel onderzoek naar hoe menselijk gedrag tot stand komt. Ook al kan dergelijk fundamenteel onderzoek uiteindelijk leiden tot inzichten die weer toepasbaar zijn op problemen als roodlichtnegatie, het is niet het uiteindelijke doel van fundamenteel onderzoek.

In de onderstaande sub-paragrafen verkennen we verder de tegenstellingen tussen *fundamenteel* en *toegepast* onderzoek en tussen *theoriegericht* en *praktijkgericht onderzoek*. Op basis van de beschrijving van het laatstgenoemde onderscheid introduceren we het onderscheid tussen *diagnostiserend* en *evaluerend* onderzoek. Tenslotte staan we nog even stil bij het verschil tussen kwantitatief en kwalitatief onderzoek.

Fundamenteel en toegepast onderzoek

Het doel van onderzoek is het produceren van nieuwe kennis. Hierbij kan het gaan om 'nuttige' kennis - kennis die ten goede komt aan de mensheid, bijvoorbeeld door (kleine) praktische problemen op te lossen. Het kan echter ook gaan om kennis die in eerste instantie alleen tot doel heeft om de wereld om ons heen beter te begrijpen. Op basis van dit verschil in doel van onderzoeken wordt onderscheid gemaakt tussen fundamenteel onderzoek en toegepast onderzoek.

Wetenschappers op de algemene universiteiten houden zich vooral bezig met *fundamenteel* wetenschappelijk onderzoek. Fundamentele wetenschap is het deel van iedere vakdiscipline, dat handelt over de grondbeginselen en basismechanismen van het specifieke vakgebied. Het is gericht op kennis omwille van de kennis, zonder dat een concreet nut of toepassing in het zicht hoeft te zijn. Fundamenteel onderzoek wordt ook wel theoriegericht onderzoek genoemd.^[3]

Toegepast wetenschappelijk onderzoek is in tegenstelling tot fundamenteel wetenschappelijk onderzoek meer gericht op concrete toepassingen. De Toegepaste wetenschappen omvatten de wetenschappelijke richtingen die als doel hebben een probleem op te lossen. [4] In Nederland houden onder andere de technische universiteiten, onderzoeksinstituten als TNO en (in mindere mate) hogescholen zich bezig met toegepast wetenschappelijk onderzoek. In Vlaanderen is *toegepaste wetenschappen* lange tijd min of meer als synoniem gebruikt voor de technische wetenschappen: de technische faculteiten van universiteiten heetten tot 2005 meestal *Faculteit Toegepaste Wetenschappen*.

Toegepast onderzoek is echter een ruim begrip. Aan het ene uiteinde van het spectrum raakt het aan het fundamenteel wetenschappelijk onderzoek. Hierbij kun je onder andere denken aan materiaalkundig onderzoek naar de eigenschappen van bijvoorbeeld een nieuw type beton versterkt met polymeervezels. Dergelijk onderzoek naar bijvoorbeeld de trek- en druksterkte van het materiaal bij verschillende temperaturen heeft vaak geen directe relatie met een specifieke toepassing, maar wordt wel degelijk uitgevoerd met het oog op concrete toepassing van het materiaal in de praktijk. Hierbij is het doel om algemeen toepasbare kennis te verkrijgen met betrekking tot het onderzochte materiaal.

Aan het andere uiteinde van het spectrum vindt je toegepast onderzoek dat is gericht op een specifieke casus. Een voorbeeld hiervan is het onderzoeken van een constructie (bijvoorbeeld een brug) op verborgen gebreken. Dergelijk onderzoek heeft tot doel informatie te vergaren over één object, maar heeft niet de pretentie om iets te zeggen over alle bruggen van een bepaald type.

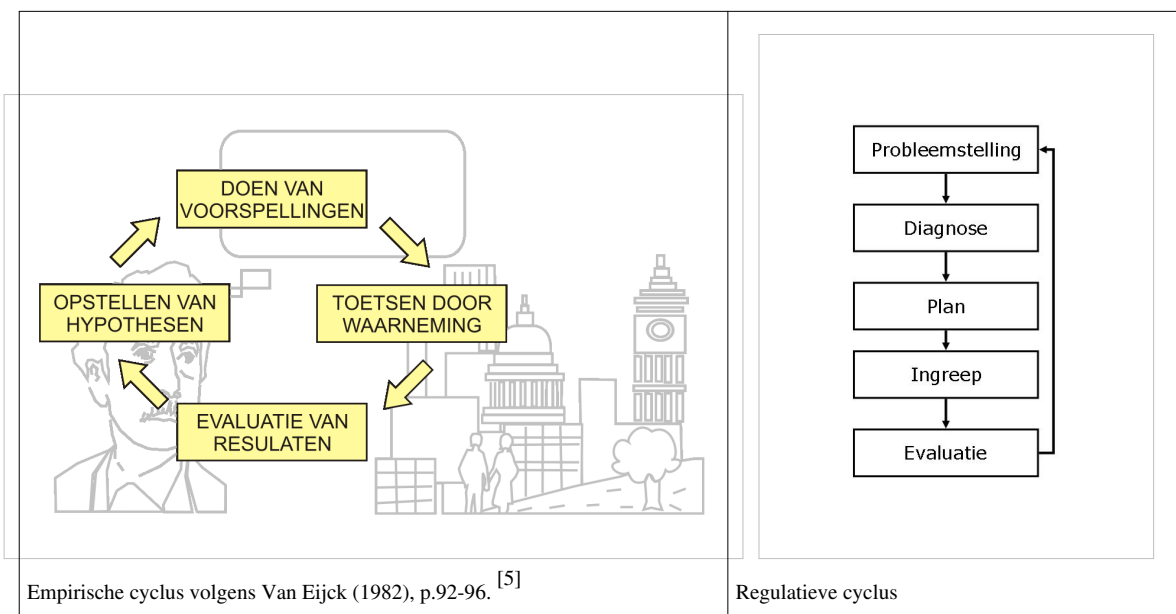
Verdere voorbeelden van algemeen toegepast onderzoek zijn o.a.:

- Onderzoek naar de relatie tussen de vormgeving van wegen (strookbreedte, hellingspercentage, etc.) en de capaciteit van autosnelwegen
- Onderzoek naar de werkzaamheid en bijwerkingen van medicijnen

Verdere voorbeelden van specifiek toegepast onderzoek zijn o.a.:

- Geotechnisch onderzoek naar de draagkracht van de ondergrond van een geprojecteerde nieuwbouwwijk
- Verkeerskundig onderzoek naar de overlast van doorgaand (sluip)verkeer in een woonstraat
- Pathologisch-anatomisch onderzoek naar de oorzaak van het overlijden van een deelnemer aan een farmaceutisch onderzoek

Theoriegericht en praktijkgericht onderzoek



Binnen de categorie toegepast onderzoek kunnen we weer onderscheid maken naar praktijkgericht (praktisch) en theoriegericht (theoretisch) onderzoek.

In de wetenschappelijke methode heeft toetsing van theoretische veronderstellingen, hypothesen genaamd, een belangrijke plaats. Dit soort onderzoek wordt aangeduid als theoriegericht onderzoek (Christiaans *et al.* (2004)). In de empirische cyclus, die een centrale plaats inneemt in alle handboeken over onderzoeksmethodologie, staat het formuleren van hypothesen en het toetsen daarvan doormiddel van empirisch onderzoek centraal. Naast dit toetsend onderzoek kan ook beschrijvend of verkennend (exploratief) onderzoek deel uitmaken van de empirische cyclus.

Theoriegericht onderzoek kenmerkt zich ook door het gebruik van een *conceptueel model* als uitgangspunt voor het onderzoek.

Het conceptueel model heeft een belangrijke rol in het onderzoeksdesign: het bepaalt niet alleen het theoretische uitgangspunt, maar ook welke controlevariabelen meegenomen moeten worden in het onderzoeksontwerp.

Praktijkonderzoek is een vorm van wetenschappelijk onderzoek, mits de onderzoeker de basisprincipes van de wetenschappelijke methode aanhoudt. Praktijkonderzoek heeft als belangrijkste kenmerken dat het niet fundamenteel van aard is maar toepassingsgericht en dat het praktijkgericht is in plaats van theoriegericht.

Toepassingsgericht onderzoek kan theoriegericht zijn, maar het soort onderzoek dat in dit boek centraal staat - het soort onderzoek waarmee *professional bachelors* te maken krijgt, is meestal praktijkgericht. Praktijkgericht onderzoek kan niet goed worden begrepen aan de hand van de empirische cyclus. Als alternatief hiervoor is door Van Strien (1986) de *regulatieve cyclus* voorgesteld. In de regulatieve cyclus staat niet theorievorming door toetsing van hypothesen centraal, maar de ondersteuning en evaluatie van beslissingen.

De regulatieve cyclus bestaat uit de volgende fasen:^[6]

- Probleemstelling
- Diagnose (analyse van het probleem)
- Plan (ontwerp van de oplossing)
- Ingrep (implementatie van de gekozen oplossing)
- Evaluatie

Probleemstelling

Eén of meerdere problemen van personen of organisaties vormen de basis van het onderzoek. Vanuit deze situatie moet toegewerkt worden naar een probleemstelling waar alle belanghebbenden achter staan. Dit kan een langdurig proces zijn, met de nodige meningsverschillen en onderhandeling. Blijft er een conflict onder de belanghebbenden bestaan over de probleemstelling, dan is de regulatieve cyclus niet geschikt. Er zal een andere methode gebruikt moeten worden om het probleem op te lossen. Is er wel een geschikte probleemstelling tot stand gekomen, dan de volgende fase ingegaan worden.

Diagnose

Dit is de fase waar de probleemsituatie volledig wordt onderzocht en geprobeerd wordt de oorzaken boven water te krijgen. Kenmerkend voor de diagnose, is dat er een analyse van de van de uitgangssituatie wordt gemaakt. Dit is dus de bestaande toestand, zonder de toekomstige ingrep. Na de diagnose zouden alle oorzaken van het probleem duidelijk moeten zijn. Er kan dan een geschikt ontwerp gemaakt worden om dit probleem op te lossen.

Plan (of ontwerp)

In deze fase wordt een plan gevormd waarin het doel en de middelen staan, om zo tot een verbeterde situatie te komen. In veel gevallen zal dit plan een (her)ontwerp zijn. Op basis van dit plan zal besloten worden of het daadwerkelijk ten uitvoer gebracht zal worden.

Interventie (of implementatie)

Mocht het plan daadwerkelijk tot uitvoer gebracht worden, dan is er sprake van interventie. Kenmerkend voor deze fase is, dat er verschillende metingen zijn, waarmee de gang van zaken in de gaten wordt gehouden. Vaak wordt er gebruikgemaakt van een specifiek voor het daadwerkelijk uitvoeren van het ontwerp.

Evaluatie

Tot slot is er de evaluatie fase, waar gekeken wordt of het initiële probleem is opgelost door de interventie. Daarbij wordt gekeken of het probleem effectief is aangepakt, ofwel of er voor en juiste oplossing is gekozen. Daarnaast wordt ook gekeken naar de efficiëntie van de oplossing: of deze niet te veel geld heeft gekost.

Diagnosticerend en evaluerend onderzoek

In de regulatieve cyclus komt op twee momenten onderzoek voor: bij het stellen van de *diagnose* en bij het *evalueren* van de resultaten van een ingreep. Het Belangrijke verschillen met de empirische cyclus zijn dat:

- het onderzoek is gericht op het nemen van beslissingen;
- het onderzoek niet generaliserend is, maar specifiek voor één situatie.

Het onderscheid tussen diagnostisch en evaluerend onderzoek bij praktijkgericht onderzoek heeft gelijkenissen met het onderscheid tussen beschrijvend en toetsend onderzoek dat wordt gemaakt bij theoriegericht onderzoek.

Bij beschrijvend en diagnostisch onderzoek staat de verwerving van informatie centraal. Dit kan kennis zijn over de toestand van het object van onderzoek in het verleden, in het heden of in de toekomst. Het verschil tussen beschrijvend en diagnostisch onderzoek zit in het doel. Beschrijvend onderzoek heeft de verwerving van nieuwe (algemene) kennis tot doel, terwijl diagnostisch onderzoek tot doel heeft om vast te stellen wat de aard, omvang en achtergrond is van (potentiële) problemen.

Essentieel element van de wetenschappelijke methode is dat beweringen altijd worden getoetst. Toetsend (theoriegericht) onderzoek heeft tot doel om uitspraken over de werkelijkheid (hypothesen) te toetsen. Deze hypothesen zullen meestal betrekking hebben op het verband tussen twee of meer variabelen. Hoe een onderzoeker aan zo'n hypothese komt maakt eigenlijk niet zoveel uit: op basis van eerder onderzoek, intuïtie, modelstudie, etc.: het gaat er om dat de hypothese kritisch tegen het licht wordt gehouden.

Ook evaluerend (praktijkgericht) onderzoek heeft een min of meer toetsende functie. Hierbij gaat het echter om de vraag of de ingreep effectief geweest is en of de veronderstellingen die hebben geleid tot de keuze van de ingreep juist zijn gebleken. Hoewel algemeen toepasbare kennis niet het primaire doel is van praktijkgericht onderzoek, is het natuurlijk niet verkeerd als evaluerend onderzoek leidt tot nieuwe inzichten over de effectiviteit van een bepaald type ingreep.

Kwantitatief en kwalitatief

Het laatste onderscheid dat in dit hoofdstuk wordt behandeld is tussen kwantitatief en kwalitatief onderzoek. Hierbij is onderscheidend of het onderzoek tot doel heeft om kwalitatieve of kwantitatieve uitspraken te doen over het object van onderzoek.

In kwantitatief onderzoek wordt er altijd gemeten aan de werkelijkheid of een model van de werkelijkheid - of worden eerdere meetresultaten hergebruikt. Hierbij zijn de te meten variabelen en het te gebruiken meetinstrument vooraf vastgesteld. In kwalitatief onderzoek wordt ook wel 'gemeten' aan de werkelijkheid of aan een model van de werkelijkheid, zonder dat van te voren precies vast hoeft te staan welke variabelen worden gemeten. In plaats van kwantitatieve resultaten in de vorm van gemiddelden, aantallen e.d. levert kwalitatief onderzoek meestal informatie op in de vorm van een beschrijving. Een voorbeeld van kwalitatief onderzoek is het inventariseren van de beleving van, bijvoorbeeld, een winkelcentrum op basis van diepte-interviews.

Dit boek beperkt zich tot kwantitatief onderzoek. Uitgangspunt is dus steeds dat met behulp van goed gekozen meetinstrumenten (waaronder inbegrepen het gebruik van enquête- en observatieformulieren) resultaten worden verkregen die zich lenen voor kwantitatieve analyse.

Wat is meten?

Tot slot van dit hoofdstuk over het wat en waarom van onderzoek komen we nu terug op de vraag *wat is meten?*. [7] Meten kan kort worden gedefinieerd als het koppelen van een *grootheid* met een relevante *eenheid* aan een zekere *variabele* met behulp van een meetinstrument. Meting is daarbij niet beperkt tot natuurkundige grootheden, maar strekt zich uit tot de kwantificatie van bijna al het denkbare. Voorbeelden van meting zijn het bepalen van onzekerheid, het vertrouwen van de consument en prijsstijging van ijsjes in de zomer.

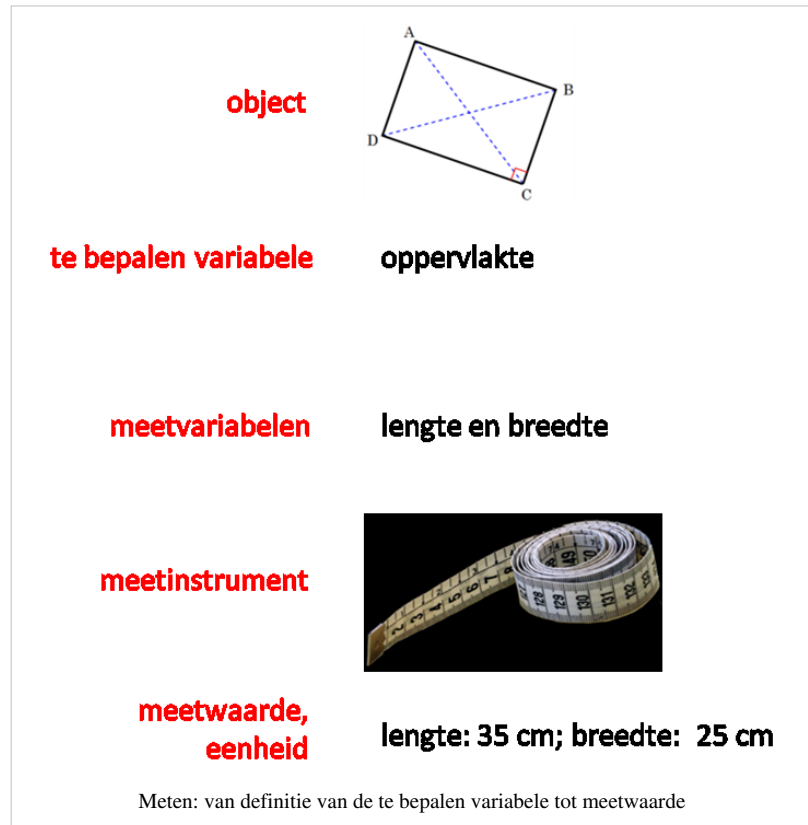
Meten kan worden opgevat als de kernactiviteit van (empirisch) onderzoek. Door te meten is het mogelijk om:

- ideeën op te doen over hoe de werkelijkheid in elkaar zit (verkennend onderzoek);
- ideeën (hypothesen) over hoe de werkelijkheid in elkaar zit te toetsen (toetsend onderzoek);
- het functioneren van een systeem te monitoren en problemen op te sporen (diagnostisch onderzoek);
- te toetsen of een ingreep in een systeem wel heeft gewerkt (evaluerend onderzoek).

Strikt gesproken kunnen we onderscheid maken tussen subjectieve (persoonsafhankelijke) waarnemingen en waarnemingen met behulp van een meetinstrument. Meetinstrumenten zorgen voor structurering en objectivering van de waarneming. Bovendien zou zonder meetinstrumenten onze mogelijkheden tot meten beperkt zijn tot wat onze zintuigen kunnen waarnemen.

Voetnoten:

- [1] Definitie volgens nl.wikipedia, zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Onderzoek&oldid=17865710>) Auteurs: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Onderzoek&limit=500&action=history>)
- [2] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma wetenschappelijke methode op nl.wikipedia, versie (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Wetenschappelijke_methode&oldid=17923927). Auteurs: Rob Hooft e.a., zie (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Wetenschappelijke_methode&action=history)
- [3] Definitie volgens nl.wikipedia, zie (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Fundamentele_wetenschap&oldid=15843585). Auteurs: Marcel Douwe Dekker e.a., zie (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Fundamentele_wetenschap&action=history).
- [4] Definitie volgens nl.wikipedia, zie (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Toegepaste_wetenschappen&oldid=10637261). Auteurs: zie (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Toegepaste_wetenschappen&action=history)
- [5] bron: <http://commons.wikimedia.org>; auteur: M.D. Dekker
- [6] Dit gedeelte is een bewerking van het lemma regulatieve cyclus van nl.wikipedia. Auteurs: Jurek Woller e.a., zie (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Regulatieve_cyclus&action=history)
- [7] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma meten van nl.wikipedia. Versie: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Meten&oldid=24517705>); Auteurs: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Meten&action=history>)



Meten en onzekerheid/Onderzoeksproces

In het vorige hoofdstuk stonden we met name stil bij de vragen *wat is onderzoek?* en *waarom doe je onderzoek?* Dit hoofdstuk sluit hierop aan door in te gaan op de vraag *hoe gaat een onderzoeker te werk?*

De werkwijze van de onderzoeker verschilt van onderzoek tot onderzoek. Dat geldt zowel voor de volgorde van de verschillende stappen als de uitvoering daarvan. Toch is het mogelijk om een ideaaltypisch stappenschema te beschrijven, waarbij we de in de natuurwetenschappen gebruikelijke werkwijze als leidraad hebben genomen: ^[1]

- Verkenningsfase
- Keuze onderzoeksmethode
- Uitwerking van het onderzoeksdesign
- Uitvoering
- Analyse
- Rapportage

Verkenningsfase

Het onderzoeksproces start met het verkennen van de aanleiding, doel en randvoorwaarden voor het onderzoek. Onderdeel hiervan is het verkennen van de reeds beschikbare literatuur en andere informatie over het onderwerp.

Aanleiding en startpunt voor het onderzoek

De eerste stap van het onderzoeksproces is het bepalen van de aanleiding van het onderzoek. Bij toegepast onderzoek is er altijd een (maatschappelijk) probleem, wens of vraag dat ten grondslag ligt aan het onderzoek. Daarbij is het van belang om je te realiseren wat het uitgangspunt is van het onderzoek. Heb je een idee over een mogelijke oplossing van het probleem en wil je dat idee verder uitwerken en toetsen? Of wil je juist weten in hoeverre het veronderstelde probleem echt een probleem is, hoe ernstig het is, wat de oorzaken zijn, ...?

Bij toegepast onderzoek ben je als onderzoeker zelden zelf ook 'probleemeigenaar'. Het is dus van belang om er achter te komen wat het probleem van de probleemeigenaar - vaak ook de opdrachtgever van het onderzoek - nu precies is. Bij relatief concrete vraagstukken zal de opdrachtgever het te onderzoeken probleem en het startpunt van het onderzoek goed kunnen omschrijven. Een gemeente moet bijvoorbeeld een 'watertoets' doen voor een nieuw ontworpen woonwijk, waarbij aangetoond moet worden dat de waterberging voldoende is. Als de gemeente deze toets laat uitvoeren door een gespecialiseerd ingenieursbureau, dan zal snel duidelijk zijn wat er onderzocht moet worden. Het komt echter ook voor dat de opdrachtgever met een relatief vage probleemstelling komt. In dat geval is het de taak van de onderzoeker om helder te krijgen wat nu precies het te onderzoeken probleem is.

Op basis van je analyse van de aanleiding en het startpunt van het onderzoek stel je de probleemstelling vast. Het formuleren van de *probleemstelling* betekent het onder woorden brengen van het te bestuderen praktijkprobleem en wat je op basis van het onderzoek hierover te weten wilt komen. De probleemstelling is het uitgangspunt voor de formulering van de doel- en vraagstelling van het onderzoek. De probleemstelling is over het algemeen beschrijvend en niet in een nader omschreven vorm (zoals de vraagvorm). Dit in tegenstelling tot de doel- en vraagstelling, welke beduidend compacter en qua omschrijving preciezer geformuleerd horen te zijn.

Doel- en vraagstelling van het onderzoek

Als je weet wat de context van je onderzoek is, is de volgende stap om het doel van het onderzoek goed te formuleren en vervolgens vast te stellen wat de vraag is waarop jouw onderzoek een antwoord moet gaan geven.

De manier waarop je de onderzoeksvraag formuleert is van belang om te bepalen wat voor soort onderzoek je gaan doen. Enkele voorbeelden van onderzoeksvragen zijn:

1. Wat is de te verwachte economische schade in het Westland als gevolg van wateroverlast bij exceptionele regenval met een kans van één keer in de 100 jaar in het jaar 2015?
2. In welke mate wordt de Jan Luykenstraat gebruikt als sluiproute voor doorgaand verkeer?
3. Wat is het rendement van herbestemming van verouderde kantoorpanden met relatief veel leegstand in Amsterdam Zuidoost?

Deze vragen zijn allemaal te relateren aan een praktijkprobleem. Wat opvalt is dat er verschillende begrippen in worden gebruikt die wellicht nog verdere toelichting of afkadering nodig hebben, zoals 'exceptionele regenval', 'doorgaand verkeer' en 'relatief veel leegstand'. Deze begrippen hoeven nog niet in de vraagstelling zelf te worden aangescherpt, maar het zal wel nodig zijn om de gebruikte begrippen nader toe te lichten.

Het aanscherpen kan ook bestaan uit het formuleren van sub-vragen, waarop eerst antwoord moet worden gevonden om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden. Bij het onderzoek naar economische schade in het Westland bij wateroverlast zijn mogelijke deelvragen:

- Wat voor bui (qua neerslagintensiteit en duur) komt overeen met een kans van één keer in de 100 jaar?
- Welke gebieden binnen het Westland lopen onder water bij een dergelijke bui?
- Welke ruimtelijke en economische ontwikkelingen verwachten we in het Westland tot 2015?
- etc.

Wees bij het opstellen van de onderzoeksvraag wel realistisch in hoeverre het haalbaar is om binnen het gegeven (tijd)budget deze onderzoeksvraag te beantwoorden. In de casus van de oversteekplaats kan één van de subvragen zijn wat de oorzaken zijn van roodlichtnegatie bij de betreffende oversteekplaats. Het achterhalen van oorzaken vraagt echter over het algemeen een veel uitgebreider onderzoek dan een onderzoek dat enkel de omvang van het probleem in kaart brengt.

Een goede onderzoeksvraag voor (toegepast) wetenschappelijk onderzoek moet aan een aantal voorwaarden voldoen (zie Brinkman, 2006):

- heeft altijd een vraagvorm
- is concreet, scherp en ondubbelzinnig
- is objectief, vraagt geen oordelen of voorschriften
- is specifiek, vermijd daarom vragen met *waarom* en *waardoor*

Ter controle of je onderzoeksvraag goed gekozen is, kun je je de volgende vragen stellen:

- Wat verwacht ik voor informatie te halen uit mijn onderzoek?
- Komt de onderzoeksvraag overeen met wat ik (of mijn opdrachtgevers) eigenlijk wil weten?

Verkenning van de relevante literatuur en beschikbare informatie

Soms zal het mogelijk zijn om de onderzoeksvraag te beantwoorden op basis van publicaties van eerder gedaan onderzoek (literatuurstudie) of door een nieuwe analyse van primaire bronnen, zoals reeds bestaande meetgegevens (bronnenonderzoek). Maar ook als je van plan bent eigen gegevens te verzamelen van het onderzoek, is het van belang om voldoende kennis te hebben van de bestaande wetenschappelijke literatuur en vakliteratuur op het betreffende gebied. Probeer te achterhalen wat de huidige stand van kennis is op het betreffende gebied. Als bijvoorbeeld het te onderzoeken probleem is hoe een nieuwe weg in een gebied met slappe (veen)bodems zo snel mogelijk kan worden aangelegd, dan zul je moeten nagaan in hoeverre er recent nieuwe aanlegmethoden zijn ontwikkeld waarvan je wellicht nog niet had gehoord, of dat onderzoeksresultaten bekend zijn geworden over

nieuwe snellere aanlegmethoden. Het is overigens niet ongebruikelijk dat op basis van de verkenning het doel van het onderzoek en de onderzoeksvraag moet worden bijgesteld.

Keuze van de onderzoeksmethode

Een belangrijke beslissing is hoe het onderzoek aangepakt gaat worden. Een belangrijk aspect hierbij is wat de gegevensbasis wordt van het onderzoek. Wordt het onderzoek gebaseerd op bestaande meetgegevens of op zelf te verzamelen gegevens? Worden gegevens verkregen door mensen te ondervragen, door zelf te observeren, door metingen van meetapparatuur of door metingen aan een model? Daarbij kan een combinatie van onderzoeksmethoden ook interessant zijn.

Een onderzoek naar de potentiële vervoerwaarde van een nieuwe veerverbinding, om maar eens een voorbeeld te noemen, kan bijvoorbeeld op verschillende manieren worden verricht. Zo kan gekozen worden om gebruik te maken van een bestaand verkeersmodel, potentiële gebruikers te enquêteren, etc. Meestal wordt als voorbereiding op dergelijk onderzoek een uitgebreid onderzoeksvoorstel of meetplan geschreven.

Globaal kunnen we de volgende typen onderzoeksmethoden onderscheiden:

- literatuurstudie, bronnenonderzoek
- observatie, veldonderzoek
- (laboratorium)experimenten
- enquêtes, interviews
- modelstudie, simulatie

In het onderstaande kader staan twee voorbeelden van typen onderzoek die kunnen worden gebruikt om de casus m.b.t. de oversteekplaats aan een onderzoek te onderwerpen.

Uitwerking van de onderzoeksmethode voor de casus voetgangersoversteekplaats
<p>Stel dat je de opdracht hebt gekregen om de verkeersveiligheid van deze oversteekplaats nader te onderzoeken. Over het algemeen geldt dat voor dergelijk toegepast onderzoek maar weinig budget beschikbaar is. Je zult je dus allereerst moeten afvragen hoe je met een beperkt budget qua tijd en geld toch zinvolle - en wetenschappelijk verantwoorde - uitspraken kunt doen over de verkeersveiligheid van de betreffende oversteekplaats.</p> <p>Zowel wat betreft de te onderzoeken variabelen als het soort onderzoek zijn er verschillende aanpakken mogelijk.</p> <p>Bronnenonderzoek: statistieken over verkeersveiligheid</p> <p>De kern van het probleem is de vermeende verkeersonveiligheid van de kruising. Hoewel er dus geen recente dodelijke ongevallen zijn gebeurd, zouden er wel andere ongevallen kunnen hebben plaatsgevonden, met verschillende mate van ernst. Met name de ernstiger soorten ongevallen vinden echter weinig plaats, waardoor de aantallen vaak te klein zijn om uitspraken te kunnen doen over één enkele kruising. Het onderzoeken van bestaande ongevallenregistraties is een vorm van bronnenonderzoek.</p> <p>Observatie-onderzoek: roodlichtnegatie</p> <p>Een alternatief is om je te focussen op de vermeende problemen met roodlichtnegatie. Daarbij kun je je beperken tot het meten van het vóórkomen van roodlichtnegatie alleen, maar zou je ook kunnen proberen uit te vinden in hoeverre dit probleem samenhangt met de afstelling van de verkeerslichten, snelheid van het gemotoriseerd verkeer, etc. Op basis van dat onderzoek zou je vervolgens aanbevelingen kunnen doen om de veiligheid van de oversteekvoorziening te verbeteren. Onderzoek waarin eigen waarnemingen centraal staan wordt ook wel aangeduid als observatieonderzoek.</p>

literatuurstudie en bronnenonderzoek

Bij de keuze van de onderzoeksmethode moet de onderzoeker zich allereerst afvragen of het nodig is om zelf metingen te verrichten, of dat de benodigde gegevens al ergens voorhanden zijn. Wellicht kan op basis van de bestaande wetenschappelijke literatuur (gepubliceerde onderzoeksresultaten), databanken e.d. de benodigde informatie verkregen worden. In de literatuur wordt dergelijk onderzoek ook wel onderzoek op basis van *secundaire gegevens* genoemd, dit in tegenstelling tot *primaire gegevens* die door de onderzoeker zelf verzameld zijn (zie Saunders *et al.*, 2008).

Bij onderzoek op basis van bestaande gegevens en rapportages maken we onderscheid tussen bronnenonderzoek en literatuuronderzoek.

Bronnenonderzoek

Bronnenonderzoek omvat al het onderzoek dat wordt gebaseerd op reeds verzamelde (ruwe) data, zoals meetgegevens, archiefstukken, etc. Het zijn dus secundaire gegevens, maar idealiter gaat hierbij om primaire bronnen. Het begrip primaire bron komt uit de historische wetenschappen en wordt gebruikt om bronnen aan te duiden met gegevens uit 'eerste hand', zonder verdere bewerking of interpretatie door anderen. Hierbij kun je denken aan oude registers (zoals doopregisters) en officiële akten, maar ook aan pamfletten, memoires en zelfs niet-schriftelijke bronnen.

Het begrip *primaire bron* kunnen we ook toepassen op onderzoek naar hedendaagse problemen. Zo kan een onderzoek naar hedendaagse problemen gebruik maken van bijvoorbeeld de volgende soorten primaire bronnen:

- ruwe data van enquêtes;
- registers, inclusief archieven daarvan (politierregisters, bevolkingsregisters, etc.);
- metingen en tellingen *in situ*.

Ruwe data van enquêtes kunnen soms verkregen worden van de onderzoeksinstituten die deze hebben uitgevoerd. Onder voorwaarden kunnen bijvoorbeeld onderzoekers gebruik maken van de ruwe (maar wel geanonimiseerde) data van het door het CBS uitgevoerde Mobiliteitsonderzoek Nederland.

Er zijn allerlei openbare registers waarvan gegevens gebruikt kunnen worden voor onderzoeksdoeleinden, mits gewaarborgd is dat de privacy van de betrokkenen niet wordt geschaad. Een voorbeeld is dat voor onderzoek naar verkeersveiligheid vaak politiegegevens worden gebruikt, aangezien uit de registraties van de politie de omstandigheden en toedracht van (ernstige) ongevallen is op te maken. Zie bijvoorbeeld het onderzoek van de SWOV naar de ongunstige ongevallencijfers van motorrijders (SWOV, 1996).

Allerlei verschijnselen worden continu *in situ* gemonitord. Zo houden weerstations vrijwel continu meteorologische gegevens bij, zijn er permanente telpunten en snelheidsmetingen op rijkswegen die de verkeersdrukte bijhouden, etc. Dit soort metingen kunnen een schat aan informatie bevatten voor onderzoekers.

Literatuuronderzoek

Naar heel veel problemen en fenomenen is reeds wetenschappelijk onderzoek gedaan. Kennis van eerder onderzoeken kan kosten en moeite besparen - bijvoorbeeld door het verrichten van een literatuurstudie waarbij je gebruik maakt van bestaande publicaties kun je wellicht een duur en tijdrovend eigen onderzoek uitsparen. Een belangrijk aspect van wetenschap is dat het probeert voort te bouwen op eerder verworven kennis (waarbij deze kennis wel kritisch ter discussie gesteld moet kunnen blijven worden). Daarnaast kan het helpen bij het preciezer formuleren van de probleemstelling, het bepalen van de beste onderzoeksopzet, etc. Kennis van de vakliteratuur is dus een vereiste voor iedere onderzoeker. Aangezien het in de praktijk lastig (onmogelijk) is om al het mogelijk relevante onderzoek te kennen, zal het dus vaak nodig zijn om een literatuuronderzoek te doen om er achter te komen wat de huidige stand van kennis is omtrent het te onderzoeken probleem.

Stel bijvoorbeeld dat je voor een grote gemeente moet uitzoeken in hoeverre het zinvol is om de hygiëneregels voor het gebruik van de zwembaden aan te scherpen en welke maatregelen wel of niet zinvol zijn (verplicht dragen van badmutsen, verbod op lange zwembroeken, etc.). Je zou de maatregelen kunnen laten uitproberen om door middel van eigen metingen uiteindelijk de effectiviteit te bepalen, maar het is waarschijnlijk zinvoller om eerst uit te zoeken in hoeverre anderen al onderzoek hebben gepubliceerd hierover.

Observatie en veldonderzoek

Observatie-onderzoek is een verzamelbegrip voor soorten onderzoek die zijn gebaseerd op waarnemingen. Observatie-onderzoek is sterk empirisch van karakter: centraal staat de werkelijkheid zoals deze zich voordoet. In tegenstelling tot experimenten is er geen sprake van kunstmatig gecontroleerde omstandigheden, maar wordt gedrag waargenomen zoals het zich voordoet in de praktijk. Gedrag bedoelen we hier in de breedste zin des woords: het kan gaan om menselijk gedrag, maar ook bijvoorbeeld om het mechanisch gedrag van een constructie (vervormingen e.d.).

Bij veel observatieonderzoek wordt tenminste voor een deel van de waarneming gebruik gemaakt van de eigen zintuiglijke waarnemingen van de onderzoeker (en zijn/haar assistenten). Meestal gaat het hierbij om visuele waarneming: hetgeen je ziet. Varianten hierbij zijn het gebruik van andere zintuigen, zoals het gehoor, tast en smaak. Voorbeeld hiervan is de klassieke determinatiewijze van grondsoorten, waarbij onder andere de eigen tastzin en het gehoor (knisperen) wordt gebruikt om een indicatie te krijgen van het zand- en siltgehalte van kleiige gronden.

Observatieonderzoek dat buiten plaatsvindt wordt ook wel aangeduid als *veldonderzoek* of *veldwerk*. Een voorbeeld hiervan is Geologisch veldwerk dat wordt verricht om de geologische geschiedenis en de structuur van een gebied te begrijpen. De resultaten van dit veldwerk worden vervolgens 'binnen' verwerkt, bijvoorbeeld tot een geologische kaart. Soms wordt het begrip veldonderzoek ook echter ruimer gehanteerd dan alleen directe observatie en wordt ook enquête-onderzoek op straat tot veldwerk gerekend.

Experimenten

Het hierboven beschreven observatie-onderzoek heeft tot doel fenomenen waar te nemen zoals ze zich 'buiten' voordoen, zonder ingrijpen door de onderzoeker. Om hypothesen aangaande het verband tussen variabelen te testen, of om twee oplossingsstrategieën te vergelijken op effectiviteit, is het juist wenselijk om zo veel mogelijk storende invloeden uit te sluiten, om zo zo zuiver mogelijke conclusies te kunnen trekken. Dit is vooral van belang voor fundamenteel wetenschappelijk onderzoek, maar kan ook van belang zijn in toepassingsgericht onderzoek,



Op de Nationale Wetenschap Olympiade in Houston (VS) in 2004 tonen scholieren hun kennis met enige experimenten

bijvoorbeeld naar de duurzaamheid van een materiaal onder invloed van bepaalde vormen van slijtage.

Observaties onder nauwkeurig omschreven omstandigheden worden vaak aangeduid als *experiment* of ook wel als *proef*. Om de omstandigheden zo goed mogelijk te kunnen controleren en gebruik te kunnen maken van de best beschikbare meetapparatuur worden veel experimenten 'binnen' verricht in speciaal daarvoor ingerichte laboratoria. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een materiaalkundig laboratorium met diverse proefopstellingen (zoals een buigproef). Maar er zijn ook voorbeelden bekend van onderzoek naar het gedrag van voetgangers dat in een laboratoriumhal werd uitgevoerd om zo de mogelijkheden voor controle en observatie te maximaliseren. [2]

Experimenten worden gebruikt in zowel de natuurwetenschappen als ook in de sociale wetenschappen. Met hulp van experimenten onderzoeken bijvoorbeeld psychologen theorieën over (verschillen in) het gedrag van mensen en medici theorieën over gezondheid en geneeskunde.

Experimenteel design

Het ontwerp (*design*) van een experiment moet aan een aantal kwaliteitscriteria voldoen. Sommige ervan zijn ook gewenst of zelfs vereist voor andere soorten onderzoek. Experimenteel design kenmerkt zich echter door relatief strenge eisen aan het onderzoeksdesign. Zo moet het onderzoek reproduceerbaar zijn, dat wil zeggen elders met andere objecten kunnen worden herhaald om de resultaten te verifiëren. Dat betekent tevens dat alle waarnemingen systematisch moeten gebeuren en het meetresultaat kwantificeerbaar moet zijn. Bovendien vraagt dit om nauwgezette rapportage van de opzet en uitvoering van het experiment, bijvoorbeeld door alle stappen en bijzonderheden te registreren in een logboek.

In een experimentele design manipuleert de onderzoeker de onafhankelijke variabelen door mogelijke invloedsfactoren (zoals bijvoorbeeld temperatuur bij onderzoek naar materiaalgedrag of menselijk gedrag) constant te houden op een vooraf vastgestelde waarde. Invloedsfactoren die niet te beïnvloeden zijn, zoals persoonskenmerken, onzuiverheden in het materiaal, etc., kunnen worden gecontroleerd door de proefpersonen of proefstukken via randomisering (toevallige toekenning) te verdelen over experimentele en controlegroepen.

Later in dit hoofdstuk wordt nog iets verder ingegaan op het onderzoeksdesign. Voor meer diepgaande informatie over het ontwerp van onderzoek kan de lezer echter beter terecht bij specifieke literatuur over onderzoeksmethodologie.

Enquêtes en interviews

Enquêtes en interviews zijn beide methoden van indirect onderzoek, waarbij niet direct wordt geobserveerd, maar via het stellen van vragen aan personen (*respondenten*) wordt geprobeerd informatie te krijgen over zaken waarover deze personen kennis hebben. Meestal gaat het hierbij om het onderzoeken van het gedrag of de voorkeuren van de betreffende persoon.

In de onderzoeksliteratuur worden de termen enquête en interview soms door elkaar gebruikt. Het onderscheid tussen interviewen en enquêteren is gradueel en hangt samen met de mate van gestructureerdheid van de vragenlijst en de noodzaak dat er een interviewer aanwezig moet zijn.

Interview

Een *interview* is vooral geschikt voor kwalitatief onderzoek en valt daarmee eigenlijk buiten het kader van dit boek. Een interview is min of meer systematisch, afhankelijk van de mate van voorstructurering door de interviewer (bijvoorbeeld in de vorm van een vooraf vaststaande lijst vragen waarvan niet wordt afgeweken). Een interview is vooral geschikt om (diepgaand) informatie te krijgen over de kennis, inzichten, motieven e.d. van een beperkt aantal personen.

Enquête

Bij kwantitatief onderzoek is het echter meestal gewenst om informatie te krijgen over een vooraf bepaald deel van de bevolking middels een (representatieve) steekproef.^[3] Een *enquête* of *bevraging* is een manier van onderzoek doen, waarbij gebruik wordt gemaakt van een vragenlijst, die aan meerdere personen wordt voorgelegd. Deze personen kunnen de hele doelgroep vormen, of zijn gehaald uit een representatieve steekproef. Het onderzoek kan gaan om zowel feiten als meningen (zoals bij een opiniepeiling). De uitslag van een enquête kan op zichzelf gehouden worden, maar dient meestal ter ondersteuning van andere gegevens.

Wijze van enquêteren

Een enquête kan bestaan uit open vragen, meerkeuzevragen of een combinatie van beiden. Bij kwantitatief onderzoek wordt met name van meerkeuzevragen gebruikgemaakt, terwijl in kwalitatief onderzoek open vragen zullen worden gebruikt. De klassieke manieren om een enquête te houden zijn met de komst van de Informatie- en Communicatie technologie aanzienlijk uitgebreid. Men onderscheidt onder meer:

- mondeling 'op straat'
- telefonisch
- schriftelijk (per post)
- via internet
- via SMS

Modelstudie en simulatie

Met name in praktijkonderzoek komen veel wat-als-vragen voor: wat zal er gebeuren als ik een bepaalde ingreep pleeg. Bij het evalueren van alternatieve ingrepen kan het wenselijk te zijn om via een modelstudie te komen tot een inschatting van de effecten. Stel dat de voorgestelde ingreep de bouw van een nieuwe verkeersbrug is. Er zouden dan verschillende modellen kunnen worden gebruikt om verschillende aspecten te onderzoeken:

- het onderzoeken van de visuele en esthetische aspecten van de brug op basis van een maquette.
- het onderzoeken van het effect van de plaatsing van de brugpijlers met behulp van een analytisch computermodel;
- het onderzoeken van de draagkracht van een brug met behulp van een 'schematisatie': een vereenvoudigd fysisch model;
- het onderzoeken van mogelijke knelpunten in de verkeersstroom met behulp van een computersimulatie.

Meer algemeen gesproken kunnen we onderscheid maken tussen: ^[4]

- iconische modellen;
- analoge modellen en
- symbolische modellen.

Iconische modellen lijken op de werkelijkheid, maar maken gebruik van andere materialen of een andere schaal – ze worden bijvoorbeeld gebruikt om ontwerpideeën vast te leggen. Een voorbeeld is de maquette van de brug. *Analoge modellen* beschrijven specifieke eigenschappen van een idee of systeem door details te verwijderen en zich te concentreren op de kernelementen (door middel van analogieën). Een voorbeeld is de schematisatie voor de constructieve berekening. Deze modellen pretenderen niet precies op de werkelijkheid te lijken maar zijn bedoeld om bepaalde functies te onderzoeken.

- *Symbolische modellen* representeren ideeën met behulp van code (bijvoorbeeld cijfers, wiskundige formules en logische verbanden). Symbolische modellen zijn een abstractie van de werkelijkheid. Alle computermodellen, zowel analytische als simulaties, maken hiervan gebruik. Maar ook de constructieve berekeningen die worden gedaan na schematisatie maken in feite gebruik van symbolische modellen in de vorm van in een wiskundige relatie gegogen natuurkundige wetmatigheden.

Computersimulatie

In de praktijk wordt er bij modelstudie en simulatie voornamelijk gedoeld op computermodellen. Strikt gesproken is er een onderscheid tussen computermodellen die exacte analytische oplossingen geven en simulatiemodellen die vaak slechts één van meerdere mogelijke oplossingen of een benaderende oplossing geven. Dit onderscheid is echter hier niet zo van belang, wat hier staat over computersimulatie geldt in feite ook voor analytische computermodellen. [5]

Een *computersimulatie* is een nabootsing van de werkelijkheid met behulp van een (symbolisch)model dat is geïmplementeerd in een computer. Er zijn ook andere mogelijkheden voor simulatie (zoals het eerdergenoemde schaalmodel van een waterloop en berekeningen op papier), maar de meeste vakgebieden kennen modellen die zo uitgebreid of complex zijn dat simulaties zonder een krachtige computer eenvoudig niet mogelijk zouden zijn. Zo gebruikt de verkeerskunde computers voor modellen om de verkeersafwikkeling mee na te bootsen.

Simulatie wordt met name gebruikt om, vanuit een gegeven uitgangssituatie, te analyseren hoe deze situatie verandert en zich ontwikkelt in de loop van de tijd. Hierbij is het mogelijk om verschillende alternatieven (bijvoorbeeld met en zonder ingreep) te vergelijken.

Voordelen van een simulatie zijn dat deze plaatsvindt in een gecontroleerde, welomschreven omgeving, en dat deze kan worden uitgevoerd zonder de werkelijkheid te beïnvloeden. De lessen die uit een simulatie worden geleerd kunnen vervolgens worden gebruikt om in de werkelijkheid verstandige beslissingen te nemen en fouten te vermijden.

Uitwerking van het onderzoeksdesign

Het onderzoeksdesign is - de naam zegt het al - het ontwerp van het onderzoek. Het onderzoeksdesign geeft onder andere antwoord op de vragen wat er wordt gemeten, waar er wordt gemeten en waaraan er wordt gemeten. Dit wordt ook wel de *operationalisatie* van het onderzoek genoemd.

Routinematig onderzoek of nieuw onderzoeksdesign?

Het uitwerken van een onderzoeksdesign is een complexe zaak. In hoeverre er voor een onderzoek ook een nieuw onderzoeksdesign moet worden gemaakt, hangt echter af van de vraag in hoeverre er standaardisatie mogelijk is, gegeven het soort onderzoek. Hierbij geldt dat hoe minder 'standaard' het te onderzoeken probleem is, hoe meer werk er gaat zitten in het onderzoeksontwerp.

Voorbeelden van routinematig onderzoek zijn verschillende vormen van metingen 'buiten', zoals landmetingen, sonderingen e.d. en veel vormen van medische onderzoeken, zoals bloedonderzoek. In geval van geotechnisch onderzoek naar de opbouw van de bodem op een bouwlocatie, dat o.a. tot doel heeft te bepalen hoe diep er moet worden geheid, is het bijvoorbeeld standaard om sonderingen te laten verrichten. Dit soort onderzoek wordt routinematig verricht door gespecialiseerde ingenieursbureaus en het zou onzinnig zijn om voor ieder project de werkwijze opnieuw ter discussie te stellen. In feite wordt er bij dergelijk onderzoek gebruik gemaakt van een gestandaardiseerd onderzoeksdesign.

Bij niet-routinematig onderzoek zul je als onderzoeker zelf in meer- of mindere mate moeten vaststellen hoe je het onderzoek gaat uitvoeren. Wel is het mogelijk - en vaak verstandig - om in dergelijke gevallen eerst uit te zoeken of er vergelijkbare onderzoeken eerder gedaan zijn en hoe die onderzoeken zijn opgezet.



Land- en bouwmetingen worden meestal verricht volgens een gestandaardiseerde werkwijze. ^[6]

Onderzoeksdesign voor de casus voetgangersoversteekplaats

Voor het onderzoek naar de vermeende onveiligheid van een voetgangersoversteekplaats geldt niet dat een standaard onderzoeksdesign uit de kast kan worden getrokken. Het zal dus nodig zijn om een eigen onderzoeksontwerp te maken. De uitwerking van het onderzoeksdesign zal in dit geval resulteren in een gedetailleerd plan van aanpak van het onderzoek. Bij (technisch) observatie-onderzoek noemt met dit plan van aanpak meestal het *meetplan*.

Omvang van het onderzoek

Een eerste vraag bij de uitwerking van het onderzoeksdesign is de vraag over welke onderzoeksobjecten je uitspraken wilt kunnen doen. De onderzoeksobjecten waarop het onderzoek betrekking heeft, wordt in de statistiek aangeduid als de populatie. Stel bijvoorbeeld dat je uitspraken wilt doen over de problematiek van foutaansluitingen in een gemeente met een gescheiden rioleringsstelsel. Je kunt ervoor kiezen om het onderzoek betrekking te laten hebben op de hele gemeente of zelfs een groter gebied, maar je kunt er ook voor kiezen om het onderzoek te beperken tot één enkele wijk, bijvoorbeeld omdat daar de grootste problemen worden verwacht, of omdat de gemeente pas op basis van de uitkomsten van één enkele wijk wil beslissen of een grootschaliger onderzoek nodig is.

Operationalisatie van het onderzoek

Een belangrijk product van de verkenningsfase is het formuleren van de onderzoeksvraag. Deze onderzoeksvraag moet vervolgens worden *geoperationaliseerd* in het onderzoeksdesign. Allereerst moet het onderzoeksobject en de onderzoeksvariabelen worden vastgelegd. Dit gebeurt op basis van de onderzoeksvragen. Vervolgens worden de onderzoeksvariabelen zodanig geoperationaliseerd, dat de onderzoeksvariabele ook echt meetbaar wordt. Hoe een variabele wordt geoperationaliseerd hangt echter samen met de gekozen onderzoeksmethodiek.

Een goede onderzoeksvraag maakt al direct duidelijk op wat voor "objecten" het onderzoek moet worden uitgevoerd. Het object van onderzoek is hetgeen of diegene waarop het onderzoek betrekking heeft.

Laten we nog eens kijken naar de eerder gegeven voorbeelden van onderzoeksvragen (niet-routinematig onderzoek):

1. Wat is de te verwachte economische schade in het Westland als gevolg van wateroverlast bij exceptionele regenval met een kans van één keer in de 100 jaar in het jaar 2015?
2. In welke mate wordt de Jan Luykenstraat gebruikt als sluiproute voor doorgaand verkeer?
3. Wat is het rendement van herbestemming van verouderde kantoorpanden met relatief veel leegstand in Amsterdam Zuidoost.

Het onderzoeksobject van de eerste onderzoeksvraag is het Westland. Impliciet heeft het onderzoek daarbij betrekking op twee systemen, namelijk het watersysteem in het Westland en het economische systeem. Van de tweede onderzoeksvraag is het object de Jan Luykenstraat; meer specifiek het verkeer dat gebruik maakt van de Van Luykstraat. En tenslotte zijn verouderde kantoorpanden in Amsterdam Zuidoost het object van het derde onderzoek.

Ook de primair te onderzoeken onderzoeksvariabelen zullen meestal min of meer direct volgen uit de onderzoeksvragen. In het voorbeeld van de eerste onderzoeksvraag gaat het met name om *economische schade en mate van wateroverlast*. Bij de tweede vraag zijn de onderzoeksvariabelen iets minder expliciet, maar zal het gaan om het *verkeersvolume* en het *soort verkeer* (doorgaand verkeer of bestemmingsverkeer). Bij de derde onderzoeksvraag zijn *rendement* en *leegstand* de twee kernvariabelen uit de onderzoeksvraag.

De operationalisatie van deze variabelen hangt nu af van de gekozen onderzoeksmethodiek. Stel bijvoorbeeld dat het onderzoek naar mogelijke wateroverlast in het Westland wordt gedaan met behulp van een modelstudie. De *mate van wateroverlast* zou dan geoperationaliseerd kunnen worden als het oppervlakte gebied, te onderscheiden naar functie, waar volgens het model bij de maatgevende bui een bepaalde minimum waterhoogte wordt bereikt die als overlastgevend wordt beschouwd. Ook het vaststellen van de te onderscheiden functies en de overlastgevend minimum waterhoogte hoort bij het operationaliseren van het onderzoek.

Hoe groot het verschil is tussen de algemene definitie van de variabele (*het begrip zoals bedoeld*) en de operationele definitie van de variabele (*het begrip zoals gemeten*) hangt sterk samen met het type onderzoeksvraag. Indien de vraagstelling betrekking heeft over concrete, direct meetbare fenomenen (zoals de mate van zettingen van een gebouw tijdens de bouw van een metrolijn, de grootte van het huishouden van een respondent, etc.), dan zal de operationalisatie relatief eenvoudig zijn. Soms bevat de vraagstelling echter complexe begrippen als de tevredenheid van werknemers, het gebruiksgemak van een apparaat e.d. - dergelijke variabelen zijn lastiger te operationaliseren.

Er is een duidelijke samenhang tussen de manier van operationaliseren van een variablen en het gekozen type onderzoek. Stel bijvoorbeeld dat je onderzoek wilt doen naar het bedieningsgemak van een apparaat, bijvoorbeeld een navigatiesysteem. Je zou het bedieningsgemak kunnen bepalen aan de hand van een enquête onder gebruikers van het apparaat. In dat geval kun je 'bedieningsgemak' operationaliseren als een score (*helemaal eens, meer eens dan oneens, meer oneens dan eens, geheel oneens*) op één of meerdere stellingen met betrekking tot het bedieningsgemak van het betreffende apparaat. Bij een observatie-onderzoek of een zou je bijvoorbeeld kunnen kijken per deeltaak naar de tijd die geobserveerde proefpersonen hiervoor nodig hebben.

Controle in het onderzoeksdesign

Toegepast onderzoek kan in meer of mindere mate beschrijvend en toetsend van aard zijn. Bij beschrijvend onderzoek staat de verwerving van (nieuwe) kennis centraal. Dit kan kennis zijn over de toestand van het object van onderzoek in het verleden, in het heden of in de toekomst. Beschrijvend onderzoek maakt hiertoe gebruik van zowel empirische gegevens ('metingen') als theoretische verbanden. Toetsend onderzoek heeft tot doel om uitspraken over de werkelijkheid (hypothesen) te toetsen aan de werkelijkheid. Deze hypothesen zullen meestal betrekking hebben op het verband tussen twee of meer variabelen. Hoe een onderzoeker aan zo'n hypothese komt maakt eigenlijk niet zoveel uit: op basis van eerder onderzoek, intuïtie, modelstudie, etc.: het gaat er om dat de hypothese kritisch tegen het licht wordt gehouden.

Bij toetsend onderzoek is het van belang dat goed wordt nagedacht over de controle in het onderzoeksdesign. Wat controle inhoudt, kan wellicht het beste worden uitgelegd aan de hand van een voorbeeld. Een docent vermoedt op basis van positieve ervaringen van een collega dat het instellen van een aanwezigheidsplicht bij zijn colleges zal leiden tot betere toetsresultaten. De opleiding denkt erover om aanwezigheidsplicht te gaan invoeren, maar wil voordat dat definitief wordt mogelijk gemaakt, eerst kritisch toetsen of aanwezigheidsplicht inderdaad positief zal werken op de resultaten. Een mogelijkheid is om de toetsresultaten van een cursus met aanwezigheidsplicht te vergelijken met die van een cursus zonder aanwezigheidsplicht. De vraag is echter dan in hoeverre de gemeten verschillen zijn toe te schrijven aan de aanwezigheidsplicht, of aan verschillen in de moeilijkheid van het vak, de kwaliteit van het onderwijs, de achtergrond van de studenten, de moeilijkheidsgraad van de toets, etc. Het kunnen uitsluiten van andere verklarende problemen is het probleem van *controle* in het onderzoeksontwerp.

Verdere uitwerking en vastlegging van het onderzoeksdesign

Bij de verdere uitwerking van de aanpak van het onderzoek moeten een aantal vragen worden beantwoord:

- welke meetinstrumenten ga je gebruiken?
- waar ga je meten?
- wat wordt je meetopstelling?
- wanneer ga je meten?
- hoe veel en hoe vaak ga je meten?

De uitwerking van de onderzoeksopzet zal meestal voor uitvoering ervan worden overlegd met de opdrachtgever van het onderzoek - of tenminste intern met collegae c.q. begeleiders. Daarom is het wenselijk om de operationalisatie van het onderzoek altijd schriftelijk vast te leggen, dus ook onderzoek dat je doet in het kader van een (afstudeer)project op school of universiteit. Er worden verschillende namen gebruikt voor rapporten waarin het onderzoek is uitgewerkt tot op operationeel niveau - dat wil zeggen zodanig dat het plan voldoende detail heeft om op basis daarvan het onderzoek ook te kunnen uitvoeren. Met name voor observatie-onderzoek en experimenten met een meer natuurwetenschappelijk karakter wordt het begrip *meetplan* gebruikt. Aangezien dit begrip ook duidelijker dan bijvoorbeeld het alternatief *onderzoeksopzet* aangeeft dat het hier gaat op de uitwerking van het onderzoek tot operationeel niveau, wordt het eerste begrip hier gebruikt.

Het volgende hoofdstuk gaat dieper in op het meetplan en de keuzes die daarin worden gemaakt

Toetsing van het onderzoeksdesign

Voordat het definitief wordt uitgevoerd, is een toetsing wenselijk op de volgende kernaspecten:

- Is je onderzoeksmethode wel valide?
- Is je onderzoeksopzet wel ethisch verantwoord?

Maar ook op meer praktisch niveau is het verstandig om voor aanvang van het onderzoek het meetplan nog eens kritisch te bekijken. Het meetplan kun je aan de hand van de volgende vragen controleren:

- Is mijn meetopstelling relevant genoeg in het licht van mijn onderzoeksvragen?
- Heb ik de juiste meetinstrumenten gekozen om mijn onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden? Zijn deze nauwkeurig, betrouwbaar, etc. genoeg?
- Zijn mijn meetinstrumenten valide en zijn ze gekalibreerd?
- Is mijn meetplan realistisch qua tijdsplan? Is de volgorde van de activiteiten juist?
- Is mijn meetopstelling veilig? Heb ik de risico's voor de onderzoeker en de omgeving voldoende uitgesloten?

De eerste vier vragen hebben een relatie met het aspect *validiteit*, terwijl de vijfde vraag mede te maken heeft met de *ethiek* van het onderzoek.

Validiteit van het onderzoek

Het onderzoeksontwerp is valide, wanneer het je in staat stelt op basis van je bevindingen juiste conclusies te trekken. Er zijn een aantal redenen waarom een onderzoeksontwerp niet-valide zou kunnen zijn. De onderzoeker kan bijvoorbeeld een meetinstrument kiezen dat iets anders meet dan bedoeld. Stel dat de meetapparatuur die je wilt gebruiken om zettingen aan belendende gebouwen naast een bouwkuip te monitoren niet gevoelig genoeg is, dan kan het gebeuren dat optredende zettingen niet of te laat pas worden gesignaleerd. Is de meetapparatuur te gevoelig ingesteld, dan geeft dat vals alarm. Lastiger is het nog om validiteit te waarborgen in de sociale wetenschappen. Hoe toon je bijvoorbeeld aan dat de score op een bepaalde IQ-test inderdaad een betrouwbare afspiegeling is van de intelligentie van de onderzochte personen? Ook bij het gebruik van modellen (in plaats van metingen aan de werkelijkheid) is het uiteraard van belang of het gebruikte model wel een voldoende correcte afspiegeling van de werkelijkheid is. Bedenk hierbij dat iedere model een versimpeling is van de werkelijkheid. Een versimpeling die voor de ene vraagstelling prima is, kan voor de andere vraagstelling onverantwoord zijn.

Onderzoeksethiek

Onderzoek kan nuttige kennis opleveren, maar ondoordacht onderzoek kan ook schade berokkenen. Bij de opzet van het onderzoek moet je je derhalve goed afvragen of het wel ethisch verantwoord is. Het leidende principe hierbij is dat je mensen geen schade mag berokkenen; dus kinderen in een schoolklas doelbewust langere tijd blootstellen aan bepaalde stressfactoren om te bekijken of dat hun schoolprestaties nadelig beïnvloedt kan wellicht interessante gegevens opleveren, maar is uit ethisch oogpunt slecht verdedigbaar. Maar sommige vraagstukken zijn lastiger. Mag je bijvoorbeeld nieuwe medicijnen, die reeds op volwassen proefpersonen zijn uitgetest, testen op (zieke) kinderen om de juiste dosering en de mate van optreden van bijwerkingen te bepalen? Mag je bij dit onderzoek een controlegroep instellen die een placebo (nepmedicijn) krijgt, om zo uit te kunnen sluiten dat gemeten werkzaamheid of bijwerkingen aan placebo-effecten zijn toe te schrijven?

Uitvoering van het onderzoek

Als het onderzoek goed is doordacht en voorbereid kan het ook daadwerkelijk worden uitgevoerd op basis van het onderzoeksvoorstel of meetplan. Er kunnen zich echter tussentijds omstandigheden voordoen, waardoor het onderzoek moet worden stopgezet. Denk hierbij aan weersomstandigheden die buitenmetingen belemmeren, of tussentijdse resultaten in een medisch onderzoek die vragen om tussentijds stoppen van het experiment. In een goed onderzoeksvoorstel of meetplan wordt echter ook vastgelegd onder welke omstandigheden het onderzoek kan plaatsvinden, wanneer onderzoeksresultaten tussentijds worden geëvalueerd en in wat voor situaties het onderzoek

tussentijds moet worden gestopt.

Tijdens het onderzoek moeten de gegevens zorgvuldig worden gedocumenteerd. Observaties (aflezingen van meetinstrumenten, maar ook visuele registratie van gebeurtenissen) moeten zodanig worden opgeschreven dat er bij het verwerken van de gegevens er geen onduidelijkheden kunnen ontstaan. Onvolledige registraties, bijvoorbeeld wanneer wel het instrument is afgelezen, maar het tijdstip van aflezen onbekend, of wanneer enquêtes niet volledig zijn afgenomen door de telefonische enquêteur, maken de onderzoeksresultaten minder bruikbaar of zelfs onbruikbaar.

Aan het eind van het uitvoeren van het onderzoek evalueer je kort of het onderzoek volgens plan is verlopen. Op basis daarvan beslis je of de resultaten bruikbaar zijn, of dat er metingen moeten worden overgedaan.

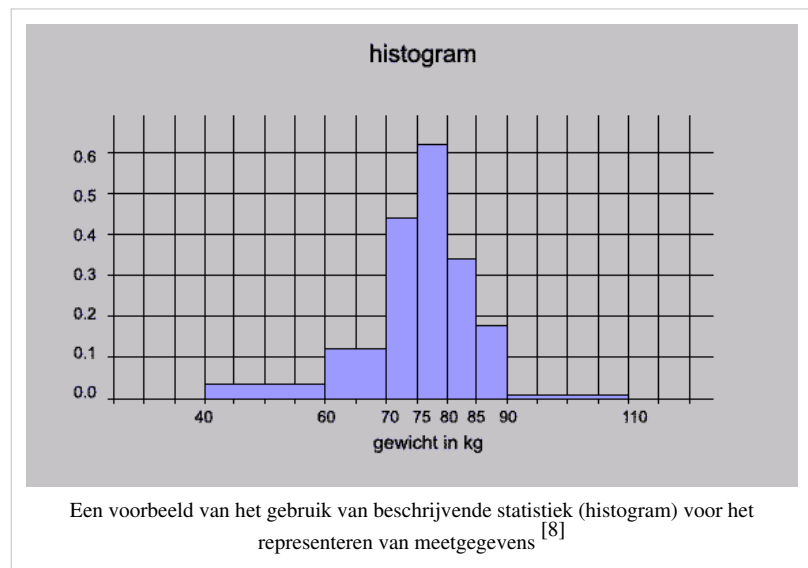
Analyse van de gegevens

Een volgende stap is de verder analyse van de ruwe gegevens. De analyse en interpretatie van de gegevens kan qua tijdsbeslag de uitvoeringsfase van het onderzoek met een veelvoud overtreffen. Bij een goed gepland onderzoek zijn de toe te passen analysetechnieken reeds in het onderzoeksvoorstel vastgelegd. De uiteindelijke interpretatie van de onderzoeksresultaten, inclusief de uitkomsten van de (statistische) analyses, blijft echter mensenwerk. Het is raadzaam om in deze fase te overleggen met vakgenoten, om zo interpretatiefouten te voorkomen. Ook een goede kennis van de literatuur is hier van groot belang: zowel wat betreft de achterliggende theorie, als mogelijke tekortkomingen van de onderzoeksopzet en het juist gebruik van de analysetools vragen om een grondige kennis van bestaande theoretische en praktische inzichten.

Bij de analyse van kwantitatieve gegevens wordt meestal gebruik gemaakt van technieken uit de statistiek. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen beschrijvende statistiek en verklarende statistiek. [7]

De beschrijvende statistiek houdt zich in principe bezig met de beschrijving van bepaalde gegevens van een populatie. Als voorbeeld kan men denken aan een volkstelling. De gegevens worden geordend en gereduceerd, indien gewenst tot relevante kengetallen. Voorbeelden hiervan zijn het gemiddelde en de mediaan als maten voor centrale tendentie en de standaarddeviatie als maat voor spreiding. In overzichtelijke tabellen, grafieken en figuren worden ten slotte de gegevens gepresenteerd.

Een belangrijk deel van het werk van het Centraal Bureau voor de Statistiek betreft dit deelgebied.



Verklarende statistiek (ook wel inductieve statistiek of wiskundige statistiek genoemd) tracht aan de hand van een steekproef informatie omtrent de gehele populatie te verkrijgen. Om allerlei redenen kan het ongewenst of onmogelijk zijn de hele populatie te onderzoeken. In plaats daarvan onderzoekt men een deel van de populatie: de steekproef. Men verkrijgt zo echter slechts beperkte informatie over de populatie. De inductieve statistiek geeft geschikte methoden en onderzoekt de kwaliteit daarvan. Bekende methoden zijn toetsen, schattingsmethoden en als combinatie van beide: betrouwbaarheidsintervallen.

Bij de afronding van de analyse kun je de volgende evaluerende vragen stellen:

- Zijn alle gegevens verwerkt en zijn de toegepaste analyses op de data goed gedocumenteerd, zodat analyses eventueel overgedaan kunnen worden ter controle?
- Zijn alle verzamelde gegevens gearhiveerd?
- Is de interpretatie van de gegevens coherent en voldoende doordacht (en bediscussieerd met collega's)?

Rapportage van de onderzoeksresultaten

De rapportage van de onderzoeksresultaten is een essentieel onderdeel van het onderzoeksproces. Deze rapportage kan hele verschillende vormen aannemen: van een korte rapportage van de meetresultaten voor intern gebruik tot een paper in een vakblad of wetenschappelijk tijdschrift of een proefschrift. Deze verschillende typen publicaties hebben echter een verschillend publiek.

Bij de keuze hoe je gaat rapporteren, zul je je dus allereerst moeten afvragen voor wie je schrijft. Denk hierbij o.a. aan:

- de opdrachtgever: intern of extern
- vakgenoten: collega-onderzoekers of gebruikers van je onderzoeksresultaten
- beleidsmakers
- algemeen geïnteresseerden
- etc.

Meestal zul je het onderzoek eerst intern rapporteren voor bespreking met collegae en de opdrachtgever. Soms zal echter ook een openbare publicatie worden overwogen. Dit is zeker gebruikelijk met universitair onderzoek, maar ook praktijkonderzoek wordt vaak gerapporteerd in vaktijdschriften en in congresbijdragen.

Een openbare publicatie, zoals een artikel in een vaktijdschrift, is alleen zinvol al aan een aantal voorwaarden is voldaan:

- Het onderzoek moet zodanig succesvol zijn dat er zinvolle conclusies uit zijn getrokken
- De inzichten uit het onderzoek moeten iets toevoegen aan de bestaande kennis. In de rapportage moet dus ook verwezen worden naar bestaande inzichten.
- Er mogen geen legale of contractuele bezwaren zijn tegen een openbare publicatie. De opdrachtgever van het onderzoek zal in ieder geval moeten instemmen.

Voetnoten:

- [1] Dit stappenschema, inclusief uitleg, is een synthese van de handleiding *Introduction to research* van en.wikiversity (versie: zie (http://en.wikiversity.org/w/index.php?title=Introduction_to_research&oldid=305159); auteurs: zie (http://en.wikiversity.org/w/index.php?title=Introduction_to_research&action=history)) en het lemma Forschung van de.wikipedia (versie: zie (<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Forschung&oldid=61727333>); auteurs: zie (<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Forschung&action=history>))
- [2] Onderstaande paragraaf is een bewerking van het lemma experiment van nl.wikipedia. Versie: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Experiment&oldid=24422745>); auteurs: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Experiment&action=history>).
- [3] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma enquête van nl.wikipedia. Zie: ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Enqu te_\(onderzoek\)&oldid=24664665](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Enqu te_(onderzoek)&oldid=24664665)); auteurs: ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Enqu te_\(onderzoek\)&action=history](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Enqu te_(onderzoek)&action=history)).
- [4] C.W. Churchman, R.L. Ackoff en L. Arnoff (1957), *Introduction to Operations Research*
- [5] Deze paragraaf is een synthese van het lemma simulatie van nl.wikipedia. Zie: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Simulatie&oldid=24848942>); auteurs: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Simulatie&action=history>)
- [6] Bron: <http://commons.wikimedia.org>; auteur: PhY.
- [7] De uitwerking hieronder is een bewerking van een gedeelte van het lemma statistiek van nl.wikipedia (versie: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Statistiek&oldid=18190671>); auteurs: Madyno e.a., zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Statistiek&limit=500&action=history>))
- [8] bron: <http://commons.wikimedia.org>; auteur: Nijdam
-

Meten en onzekerheid/Metingen

Meten is onderdeel van het onderzoeksproces. In het Onderzoek eerste hoofdstuk van dit boek is meten gedefinieerd als *het koppelen van een grootheid met een relevante eenheid aan een zekere variabele met behulp van een meetinstrument*.

In dit hoofdstuk staat de voorbereiding van de metingen centraal. Hierbij moeten we bedenken dat de aard van de voorbereiding verschilt tussen routinematig en niet-routinematig onderzoek, zoals reeds geconstateerd is in het vorige hoofdstuk. Bij routinematige metingen is er sprake van vaste procedures en protocollen die moeten worden gevolgd bij het voorbereiden en uitvoeren van de metingen. De voorbereiding van niet-routinematige metingen is het gebruikelijk en wenselijk om als voorbereiding een meetplan te maken. Maar ook niet-routinematige metingen kunnen routinematige deelaspecten zijn meegenomen, zoals vaste controle- en kalibratieprocedures van bepaalde meetinstrumenten.

Dit hoofdstuk is gestructureerd aan de hand van de opbouw van een meetplan. Hierbij gaan we nader in op:

- de inhoud van meetplannen
- kenmerken van meetvariabelen
- keuze van het meetinstrumentarium
- validatie en kalibratie van het meetinstrument
- steekproefomvang en meetopstelling

Het meetplan

Kenmerkend voor de wetenschappelijke methode, ook bij praktijkonderzoek, is een goede voorbereiding van de metingen. Voordat je daadwerkelijk kunt beginnen met meten, moeten een aantal vragen worden beantwoord:

- Wat is het doel van de metingen? (*onderzoeksdoel*)
- Waaraan ga je meten? (*onderzoeksobject*)
- Wat ga je meten? (*onderzoeksvariabelen*)
- Waarmee ga je meten? (*meetinstrumentarium*)
- Wat is je *meetopstelling*?
- Hoeveel metingen ga je verrichten? (*steekproefomvang*)
- Wanneer kun je wel/niet meten? (*randvoorwaarden*)

Deze keuzes worden vastgelegd in een *meetplan*.

Het vastleggen van de aanleiding en doel van de metingen is reeds aan bod gekomen in het hoofdstuk over het onderzoeksproces. Ook het onderzoeksobject en de (operationalisatie van) onderzoeksvariabelen zijn daar reeds genoemd. In dit hoofdstuk gaan we verder met de vraag waarmee rekening moet worden gehouden bij de verdere uitwerking van de meetopzet (keuze meetinstrumenten, meetopstelling, steekproefomvang en randvoorwaarden) om te kunnen beantwoorden aan het doel van het onderzoek.

Verstandig omgaan met het beschikbare (tijds)budget voor onderzoek betekent dat:

- Het meetinstrument nauwkeurig en betrouwbaar genoeg is voor het gegeven doel.
- Het aantal metingen en het aantal meetpunten voldoende is voor een betrouwbaar beeld.
- De omvang van het onderzoek niet onnodig groot is gegeven het doel.
- Er een verstandige afweging wordt gemaakt tussen enerzijds kosten van inzet en anderzijds de kwaliteit van meetinstrumenten.

Met andere woorden: niemand is gebaat bij het moeten overdoen of aanvullen van metingen vanwege onvoldoende betrouwbare resultaten, maar ook is niemand gebaat bij het doen van een overdreven omvangrijk onderzoek, als dezelfde onderzoeksvraag met beduidend minder inzet van middelen ook prima beantwoord had kunnen worden.

De kwaliteit van de meetresultaten hangt met name af van de validiteit, betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van metingen. Dit hangt weer samen met de keuze van het meetinstrumentarium, de meetopstelling en het aantal metingen dat wordt verricht. In dit hoofdstuk gaan we eerst verder in op het *meetniveau* van het meetinstrument, aangezien dit in belangrijke mate bepalend is voor de mogelijkheden om de meetgegevens verder te analyseren. Verder:

- meetinstrumentarium
- meetfouten
- steekproefomvang (pm, mogelijk doorgeschoven naar volgend hoofdstuk)

Meetschaal

Bij de keuze van het meetinstrument vindt een koppeling plaats van de *variabele zoals bedoeld* aan de *variabele zoals gemeten*. Hierbij kan een verschil in definitie ontstaan tussen de variabele zoals bedoel en de variabele zoals gemeten. Zo kan bijvoorbeeld een variabele als *tevredenheid van een klas* kwalitatief worden opgevat, maar in een onderzoek worden geoperationaliseerd als *het percentage leerlingen dat aangeeft tevreden te zijn*.

In dit hoofdstuk zijn we vooral geïnteresseerd in de kenmerken van de variabele zoals gemeten door het gekozen instrument. Een eerste onderscheid is het hierboven genoemde verschil tussen kwalitatief en kwantitatief. Een voorbeeld van een zuiver kwantitatieve meting is het bepalen van de luchtdruk in Pascal of Bar met behulp van een barometer. Het geslacht van een respondent in een interview of enquête is een kwalitatieve variabele. Overigens: met hetzelfde meetinstrument kun je ook het aantal mannen in de onderzochte steekproef bepalen, en dat is weer een kwantitatieve variabele; het is dus een kenmerk van een variabele zoals gemeten met een bepaald type instrument.

Een gerelateerd kenmerk van variabelen is de meetschaal (ook wel *meetniveau* genoemd): ^[1]

- *Nominaal*: benoemen
- *Ordinaal*: ordening
- *Interval*: gelijke intervallen
- *Ratio*: intervallen met een absoluut nulpunt

Ook hierbij geldt dat er verschil kan zijn tussen de meetschaal van de theoretische variabele (bijvoorbeeld temperatuur in graden Kelvin - ratioschaal) en de variabele zoals gemeten (bijvoorbeeld temperatuur in graden Celsius - intervalschaal). Hieronder worden de vier in de onderzoeksmethodologie standaard onderscheiden meetschalen nader toegelicht.

Nominale schaal

De eenvoudigste meetschaal die we kennen is het nominale. Daarbij gaat het, zoals de naam al aangeeft (Latijn: nomen, naam) bij het meten slechts om het benoemen, om de naam van het gemetene. Voorbeelden zijn: geslacht (man/vrouw), de provincie waarin de ondervraagde woont, etc. Omdat zonder naamgeving niets onderscheiden kan worden, is elk van de andere meetniveaus ook minstens van nominaal niveau. Overigens worden nominale gegevens vaak voor het gemak van terugzoeken lexicografisch geordend. Deze ordening heeft echter geen specifieke betekenis.

Eigenlijk worden bij een nominale schaal alleen nummers toegekend aan objecten om ze van elkaar te kunnen onderscheiden. Voorbeelden zijn bankrekeningnummer of het Sofi-nummer.

Ordinale schaal

Metingen op ordinaal schaalniveau kennen een natuurlijke ordening. Een typisch voorbeeld vormen de rangen in het leger of de onderverdeling tussen opleidingsniveaus: vmbo, havo, vwo. Andere voorbeelden zijn: de beoordeling met cijfers in het onderwijs, de veelgebruikte 5-puntsschaal bij opiniepeilingen (zeer mee oneens - mee oneens - neutraal - mee eens - zeer mee eens). Bij een ordinale schaal is de volgorde duidelijk, maar zijn de verschillen niet interpreteerbaar: 'zeer mee eens' ligt niet noodzakelijk net zo ver boven 'mee eens' als dat 'mee eens' boven 'neutraal'

ligt.

Intervalschaal

Metingen op intervalschaal betreffen altijd getallen. Naast de vanzelfsprekende ordening kunnen hiermee ook rekenkundige bewerkingen gedaan worden. Voor dit meetniveau zijn vooral de intervallen (de verschillen) van belang. Eigenlijk dient men de absolute aanduiding en de verschillen goed te onderscheiden. Daarbij is de absolute aanduiding op te vatten als het interval vanaf het gekozen nulpunt. Het nulpunt zelf heeft echter geen specifieke betekenis. Bijvoorbeeld: Van 5 naar 10 graden celsius betekent niet automatisch twee keer zoveel warmte of energie (dus interval). Van 5 naar 10 Kelvin wel (dus ratio, zie onderstaand).

Ratioschaal

Naast de kenmerken van een intervalschaal is er nu ook een absoluut nulpunt. Daarmee hebben ook verhoudingen (Latijn: ratio) van waarden op deze schaal betekenis. Bekende metingen, waarbij een grootte wordt vergeleken met een standaard en uitgedrukt in verhouding tot die standaard, zijn van rationiveau. Voorbeelden: lengte in meter, energie in joule, etc.

Meetinstrumentarium





Voorbeelden van meetinstrumenten: Bloeddrukmeter en hoogtemeter ^[2]

Een operationele definitie van een variabele moet zodanig zijn dat deze éénduidig kan worden gemeten. Meten is de bepaling van de grootte of de omvang van een variabele aan de hand van waarneming en uitgedrukt in een getalswaarde of in een eenheid met een aangegeven dimensie. Meting is niet beperkt tot natuurkundige grootheden, maar strekt zich uit tot de kwantificatie van bijna al het denkbare. Voorbeelden van metingen zijn schattingen van faalkansen op basis van modelstudies, het bepalen van het vertrouwen van de consument op basis van telefonische enquêtes en het meten van prijsstijging van ijsjes in de zomer op basis van observaties. ^[3]

De keuze van de operationele definitie hangt vaak samen met de keuze van het meetinstrument. Onder meetinstrumentarium verstaan we onder andere analytische machines en meetsystemen, met name in experimenteel onderzoek en observatieonderzoek in de technische- en natuurwetenschappen. Ook het uitwerken van een enquête in de sociale wetenschappen wordt echter wel beschouwd als uitwerking van het 'meetinstrument'. Belangrijk aspect is de controle van het meetinstrumentarium: hoe controleer je of het meetinstrument correct meet. Met name voor veel analytische meetinstrumenten zijn hiervoor standaard controleprocedure.

Bij de keuze van het meetinstrument kunnen een aantal overwegingen een rol spelen:

- kwaliteit van het instrument (meetfouten)
- effecten van het instrument op het onderzoeksobject (destructief of non-destructief)
- kosten van het gebruik van het instrument

De eerste twee genoemde aspecten (meetfouten) en het onderscheid tussen destructief en non-destructief onderzoek) worden hieronder verder uitgewerkt. Het aspect kosten zal verder redelijk voor zichzelf spreken. Meetinstrumenten verschillen immers niet alleen in kwaliteit, maar ook in de kosten voor aanschaf en gebruik.

Meetfouten

Voor het meten van grootheden is het gebruik van de juiste meetapparatuur en kennis van meetmethoden noodzakelijk. Een wezenlijk kwaliteitsbepalend aspect van het meetinstrument is de mate waarin *meetfouten* optreden. De meetfout is de afwijking tussen de gemeten waarde en de werkelijke waarden. Er zal altijd sprake zijn van een zekere meetfout: een gemeten waarde is namelijk nooit exact gelijk gelijk aan de werkelijke waarde van de gemeten grootte.

De mate van afwijkingen tussen werkelijke en gemeten waarde hangt samen met drie verschillende kwaliteiten van het meetinstrument:

- *validiteit;*
- *betrouwbaarheid;*
- *nauwkeurigheid.*

De validiteit van een meetinstrument is de mate waarin deze meet wat hij zou moeten meten. Een mogelijk probleem hierbij is het optreden van structurele meetfouten. Er is sprake van een structurele meetfout als gemiddeld gesproken het meetinstrument een hogere of lagere waarde aangeeft dan zou moeten. Als je bijvoorbeeld de breedte van een gebouw opmeet met een meetband die onvoldoende strak wordt gehouden, zul je een grotere lengte aflezen dan juist is.

Het controleren van het meetinstrument op structurele meetfouten wordt kalibratie genoemd. Kalibratie vindt meestal plaats voordat de metingen zelf worden verricht. Bij het kalibreren van meettoestellen wordt de afwijking (bias) van het meettoestel vastgesteld. Dit kan door te vergelijken met een referentie of met een berekend model. In sommige gevallen is het mogelijk om het meetinstrument bij te regelen om zo te corrigeren voor de geconstateerde afwijking. Dit wordt justatie genoemd. Een andere mogelijkheid is om de afwijkingen vast te leggen in een correctietabel, zodat de meetresultaten naderhand kunnen worden gecorrigeerd.

De betrouwbaarheid van het meetinstrument is de mate waarin er sprake is van toevallige meetfouten. Kenmerkend voor zuiver toevallige meetfouten is dat de meetfout van de ene meting geen voorspellende waarde heeft voor de meetfout in een volgende meting, ook al wordt gemeten aan hetzelfde object. Een betrouwbaar meetinstrument zal bij herhaalde meting aan hetzelfde object met constante kenmerken dezelfde meetresultaten geven of alleen een kleine afwijking.

De meetnauwkeurigheid is hoe precies het instrument afgelezen kan worden. Een thermometer kan bijvoorbeeld afleesbaar zijn per graad Celsius of per tiende graad Celsius. En een enquête naar de tevredenheid over de eigen werkomstandigheden kan informatie geven op de schaal tevreden - ontevreden of op een schaal van 1 tot 10. Indien een meetinstrument nauwkeuriger is dan betrouwbaar, bijvoorbeeld als de nauwkeurigheid in honderden graad Celsius is bij een betrouwbaarheid van plusminus 0,5 graad Celsius, dan spreekt men wel van schijnnauwkeurigheid. In dat geval zal namelijk het laatste cijfer van de meting vrijwel volledig worden bepaald door de meetfout en niet door het te meten verschijnsel.

Destructieve en niet-destructieve metingen

Idealiter wordt het object van meting niet beïnvloed door de meting zelf. Dit ideaal is echter vaak maar lastig volledig te verwezenlijken. Zo zal er bij een temperatuurmeting met behulp van een kwikthermometer er warmte stromen van het object waaraan wordt gemeten naar de thermometer (ervan uitgaande dat deze warmer is dan de thermometer was). Hierdoor zal de temperatuur van het object (licht) worden beïnvloed.

Dit aspect speelt sterker bij het bepalen van mechanische eigenschappen van materialen en constructies. De meest direct en eenvoudige manier om te

bepalen bij welke belasting een object bezwijkt - wat zeer relevant is om te weten uit praktisch oogpunt - is door in laboratoriumomstandigheden het object te beproeven totdat het bezwijkt. Dit soort onderzoek noemen we *destructief*, aangezien het object (of een monster van het materiaal bij materiaalkundig onderzoek) zodanig wordt belast dat het vervormt en/of bezwijkt. ^[4]

Bij *destructief testen* wordt een materiaal getest op bezwijkomstandigheden (bij welke belasting, temperatuur, etc. bezwijkt het materiaal) en bezwijkvorm (waar vervormt of breekt het materiaal het eerst). Zoals de naam het zegt is het materiaal na de test niet meer bruikbaar als constructief element. Denk bijvoorbeeld aan het afsteken van lucifers om te testen of deze wel lang genoeg branden. Destructieve tests zijn vrij makkelijk uit te voeren, in vergelijking met de niet-destructieve tests.

Destructieve tests worden gedaan om informatie in te winnen van de eigenschappen van het materiaal en/of het object, voor toekomstig gebruik ervan in de praktijk. Enkele voorbeelden van destructieve tests zijn:

- Trekproeven ter bepaling van een spanning-rekdiagram;
- Vermoeiingstesten;
- Hardheidstesten en
- Impacttesten.

Ook voor het bepalen van de restlevensduur en maximale belastbaarheid van bestaande objecten, zoals dijklammen gebouwen, verhardingen en bruggen kunnen destructieve tests worden toegepast, mits het mogelijk is om een monster van het materiaal uit het object te nemen en te beproeven. Dit betekent echter per definitie een verzwakking van het object, als het al mogelijk of verantwoord is om een dergelijk monster te nemen van het materiaal. In dergelijke gevallen verdient een niet-destructieve test de voorkeur. ^[5]

Onder *niet-destructieve testen* worden onderzoekstechnieken verstaan waarmee men een indruk kan krijgen van de kwaliteit van een te onderzoeken object zonder dit object te beschadigen. Dat kan men bijvoorbeeld bereiken door er een röntgenfoto van te maken. In tegenstelling tot destructief onderzoek, waarbij beschadigingen van het object plaatsvinden, kan niet-destructief onderzoek op het gehele object plaatsvinden. Sinds het begin van de 20e eeuw zijn er diverse onderzoekstechnieken ontwikkeld, onder andere door de ontwikkeling van de elektrotechniek en elektronica.

Voorbeelden van niet-destructieve onderzoekstechnieken zijn:

- Visuele inspectie



- Wervelstroom-onderzoek
- Ultrasoon onderzoek
- Radiografisch onderzoek: Röntgenbuis, Isotopen-onderzoek
- Scheurdieptemetingen
- Materiaalidentificatie: w:Positive material identification (PMI), Optische Emissie Spectroscopie (OES), Ferrietmeting.

Validatie en kalibratie van het meetinstrument

Van een meetinstrument mag men verlangen:

- dat het juiste instrument is toegepast om een gegeven variabele te meten: meet het instrument wat het geacht wordt te meten;
- dat het instrument juist is afgesteld.

Het eerste bovengenoemde aspect is de validatie, het tweede aspect de kalibratie.

Een meettoestel kan worden gekalibreerd door dezelfde meting te verrichten met een gekalibreerd en een niet-gekalibreerd meettoestel, en vervolgens de waarden te vergelijken. Een alternatief is gebruik te maken van een ijkelement waarvan de eigenschappen bekend zijn en vervolgens te kijken of het instrument de juiste waarden meet.

Volgende stap:

- aanpassen instellingen van het instrument
- maken van een correctietabel voor de meetresultaten als het bovenstaande niet mogelijk is.

Steekproefomvang en meetopstelling

Een andere belangrijke keuze die wordt vastgelegd in het meetplan is hoe omvangrijk je het onderzoek maakt. Over het algemeen geldt dat hoe meer metingen je verricht, hoe betrouwbaarder het beeld is. Bij een geotechnisch onderzoek naar de draagkracht van de bodem van een nieuwbouwwijk kan 1 sondering voldoende zijn, mits je zeker weet dat deze goed is uitgevoerd en de draagkracht in het gebied nauwelijks varieert. Als je juist een beeld wilt krijgen van de variaties, dan zul je juist meerdere metingen moeten doen. In de statistiek wordt in dit kader gesproken over de omvang van de steekproef.

Steekproef

Gerelateerd is er de vraag hoe je deze *steekproef* samenstelt. Kies je de *elementen* uit je onderzoek, dus de personen die je ondervraagt, de plaatsen waar je gaat meten, etc. volstrekt willekeurig? Of kies je deze op een bepaalde systematische manier, bijvoorbeeld door de eerste 50 voorbijgangers op straat aan te spreken voor een enquête of bewust voor enkele dinsdagmiddagen in september en oktober te kiezen voor een verkeerstelling, aangezien uit ervaring bekend is dat de avondspitsen op die dagen redelijk maatgevend zijn voor de rest van het jaar.

Een willekeurige en representatieve steekproef is vooral van belang om bepaalde conclusies te mogen verbinden aan het onderzoek. Zo kun je geen goede conclusies verbinden aan de gemiddelde leeftijd van Amsterdammers door op 1 plek in Amsterdam 100 mensen naar hun leeftijd te vragen. Niet omdat een steekproef van 100 te klein zou zijn, maar omdat afhankelijk van de plaats waar je staat (wijk met jonge gezinnen of juist meer ouderen, nabij een school of nabij een winkelcentrum, etc.) je geen goede afspiegeling van de 'gemiddelde Amsterdammer' zult aantreffen.

Omvang van het onderzoek

Een ander aspect is het aantal metingen dat je verricht. Over het algemeen geldt dat hoe meer metingen je verricht, hoe betrouwbaarder het beeld is. Bij een geotechnisch onderzoek naar de draagkracht van de bodem van een nieuwbouwwijk kan 1 sondering voldoende zijn, mits je zeker weet dat deze goed is uitgevoerd en de draagkracht in het gebied nauwelijks varieert. Als je juist een beeld wilt krijgen van de variaties, dan zul je juist meerdere metingen moeten doen. In de statistiek wordt in dit kader gesproken over de omvang van de steekproef.

Meetopstelling

Voetnoten:

- [1] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma Meetschalen op nl.wikipedia. Versie: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Meetschalen&oldid=18046443>); auteurs: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Meetschalen&action=history>)
- [2] bron: <http://commons.wikimedia.org>
- [3] Deze alinea is een bewerking van nl.wikipedia, lemma Meten. Auteurs: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Meten&action=history>).
- [4] Onderstaande alinea is een bewerking van het lemma destructief onderzoek van nl.wikipedia. Versie: (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Destructief_onderzoek&oldid=23937762); Auteurs: [].
- [5] Onderstaande alinea is een bewerking van het lemma niet-destructief onderzoek van nl.wikipedia. Versie: (http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Niet-destructief_onderzoek&oldid=24535956); Auteurs: [].

Meten en onzekerheid/Literatuur

- Brinkman, J. (2006), *Cijfers spreken: statistiek en methodologie voor het hoger onderwijs*. Wolters Noordhoff, Groningen, vierde druk.
- Christiaans, H.C.M. *et al.* (2004), *Methodologie van technisch-wetenschappelijk onderzoek*. Lemma, Utrecht.
- Eijck, J. van (1982), *Filosofie: een inleiding*. Boom, Meppel.
- Hooghwerff, J. & G.J. van Blokland (2007), *Metingen luchtkwaliteit proeftuin: meetplan*. M+P raadgevende ingenieurs, Vught. [Http://www.ipluchtkwaliteit.nl](http://www.ipluchtkwaliteit.nl) ^[1]
- Saunders, M. *et al.* (2008), *Methoden en technieken van onderzoek*. Pearson Education, Amsterdam, vierde editie.
- Strien, P.J. van (1986), *Praktijk als wetenschap: Methodologie van het sociaal-wetenschappelijk handelen*. Van Gorcum, Assen.
- SWOV (1996), Onveiligheid van motorrijden nader bekeken, *SWOVschrift 67*. Zie [2].

Referenties

- [1] <http://www.ipluchtkwaliteit.nl/data/meetplan%20proeftuin%20definitief%20versie%20160707%20zonder%20bijlagen.pdf>
- [2] http://www.swov.nl/nl/research/swovschrift/inhoud/067/onveiligheid_van_motorrijden_nader_bekeken.htm

Meten en onzekerheid/Opgaven

Deze opgaven zijn bedoeld om als zelfstudie te werken met het boek. Via het beantwoorden van de opgaven verdiept u je kennis.

Hoofdstuk Onderzoek

1. Snelheidsmeting bij een oversteekplaats

In verband met klachten over te hard rijdende auto's bij een oversteekplaats nabij een winkelcentrum, heeft de gemeente besloten om een onderzoek te doen naar de snelheden ter plaatse. Voordat het onderzoek wordt uitgevoerd, is eerst een meetplan opgesteld. Hierin staat, naast een korte beschrijving van de aanleiding en het doel van het onderzoek dat het onderzoek zal worden uitgevoerd met zo onopvallend mogelijk geplaatste radarapparatuur. Ook staat beschreven wanneer het onderzoek moet plaatsvinden: 3 willekeurige periodes van 2 aaneengesloten uren, overdag maar buiten de spits, ergens in de maanden september en oktober.

- Wat voor type onderzoek gaat het hier om: observatie-onderzoek, experiment, enquête/interview of modelstudie?
- Karakteriseer het onderzoek door steeds de juiste te kiezen van de volgende tegenstellingen: fundamenteel versus toegepast onderzoek, theoriegericht versus praktijkgericht onderzoek, beschrijvend versus toetsend onderzoek en kwantitatief versus kwalitatief onderzoek.

Hoofdstuk Metingen

2. Meetplan

Bestudeer het meetplan Metingen luchtkwaliteit proeftuin (Hoogwerff & Van Blokland, 2007; zie: [1]) en beantwoord de onderstaande vragen voor beide meetplannen. De vragen zijn gebaseerd op de bovengenoemde aspecten:

- Wat is het doel van de metingen?
- Welke variabelen worden gemeten?
- Welk meetinstrument wordt gebruikt voor welke meetvariabele?
- Waar wordt gemeten? Wat is de meetopstelling?
- Wanneer wordt gemeten? Aan welke randvoorwaarden moet zijn voldaan om te kunnen meten?

Referenties

- [1] http://www.ipluchtkwaliteit.info/data/publicatie-180/Veg%20Bijlage%2016_Ref%206_Meetplan.pdf

Paginabronnen en auteurs

Meten en onzekerheid *Bron:* <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=225710> *Auteurs:* KKoolstra, Vangelis, 2 anonieme bewerkingen

Meten en onzekerheid/Onderzoek *Bron:* <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=227922> *Auteurs:* KKoolstra, Mdd, Vangelis, 2 anonieme bewerkingen

Meten en onzekerheid/Onderzoeksproces *Bron:* <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=227921> *Auteurs:* KKoolstra, Sanderd17, 6 anonieme bewerkingen

Meten en onzekerheid/Metingen *Bron:* <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=227665> *Auteurs:* KKoolstra

Meten en onzekerheid/Literatuur *Bron:* <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=224598> *Auteurs:* KKoolstra, 1 anonieme bewerkingen

Meten en onzekerheid/Opgaven *Bron:* <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=225117> *Auteurs:* KKoolstra

Afbeeldingsbronnen, licenties en bijdragers

bestand:Voetgangersoversteekplaats1.jpg Bron: <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Voetgangersoversteekplaats1.jpg> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: KKoolstra

Bestand:Empirische cyclus globaal.svg Bron: http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Empirische_cyclus_gloaal.svg Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: Marcel Douwe Dekker (Mdd)

Bestand:Regulatieve cyclus.jpg Bron: http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Regulatieve_cyclus.jpg Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: K. Koolstra

Bestand:Meten.png Bron: <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Meten.png> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: Mètre_ruban.png: Isabelle Grosjean; User:Za Rechthoek.png: Original uploader was Wilinckx at nl.wikipedia Later version(s) were uploaded by MADE at nl.wikipedia. derivative work: KKoolstra (talk)

Bestand:ScienceOlympiad.jpg Bron: <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:ScienceOlympiad.jpg> Licentie: Public Domain Auteurs: -

Bestand:Slom2506.jpg Bron: <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Slom2506.jpg> Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: KJG2007, PhY, Rocket000

File:NYW-histogram02.gif Bron: <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:NYW-histogram02.gif> Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: Original uploader was Nijdam at nl.wikipedia

Bestand:Sphygmomanometer.JPG Bron: <http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Sphygmomanometer.JPG> Licentie: Public Domain Auteurs: Original uploader was ML5 at en.wikipedia

Bestand:Aircraft altimeter.JPG Bron: http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Aircraft_altimeter.JPG Licentie: Public Domain Auteurs: Avron, CambridgeBayWeather, Hydrargyrum, Tangopaso, Thomas81, 1 anonieme bewerkingen

File:Portable Xray generator.jpg Bron: http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Portable_Xray_generator.jpg Licentie: Creative Commons Attribution 3.0 Auteurs: RadXman

Licentie

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>
