



Foto: Denizzje cc

Eerlijke spreading van coronapatiënten

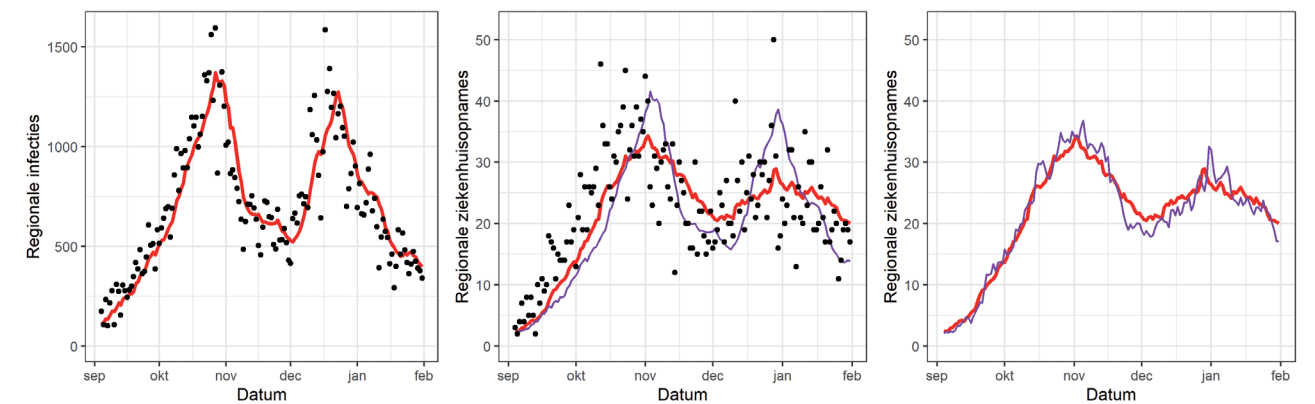
Een dagelijks terugkerend journaalitem in coronatijd: ‘de beschikbare capaciteit voor coronapatiënten in ziekenhuizen is gevuld’. Coronapatiënten worden daarom verplaatst: naar een ziekenhuis in de eigen zorgregio, naar een regio ver van huis en soms zelfs naar het buitenland. Verstandig verplaatsen is van belang voor coronapatiënten en voor eerlijke toegang tot reguliere zorg. Vanuit een accurate voorspelling van het aantal in ieder ziekenhuis opgenomen coronapatiënten ontwikkelden we een beslissingsondersteunend systeem om patiënten eerlijk te spreiden over ziekenhuizen binnen een zorgregio en het aantal bovenregionale verplaatsingen zoveel mogelijk te beperken.

SANDER DIJKSTRA, STEF BAAS, ALEIDA BRAAKSMA & RICHARD BOUCHERIE

Coronapatiënten worden opgenomen op speciale verpleeg- en intensivereafdelingen (IC). Hier ingezette zorgverleners worden onttrokken aan de reguliere zorg, resulterend in afgeschaalde reguliere ziekenhuiszorg. Wanneer een corona-afdeling (bijna) vol ligt, worden coronapatiënten verplaatst naar andere ziekenhuizen. Door adequaat voorspellen van de bedbezetting kunnen we vooraf bepalen op welk moment verplaatsingen noodzakelijk zijn en daarbij een keuze maken naar welke zieken-

huizen of regio's patiënten verplaatst worden. Dit is van belang voor coronapatiënten en om beschikbare reguliere zorgcapaciteit te balanceren.

We beschrijven een methode die voor ieder ziekenhuis het aantal bezette coronabedden een aantal dagen vooruit accuraat voorspelt. De gebruikte data bevatten cijfers van het RIVM voor het dagelijkse aantal positieve coronatests per regio, regionale opnamecijfers van de Stichting NICE (Nationale Intensive Care Evaluatie) en



Figuur 1. NAZW. Links: regionale infecties (zwart), wekelijks voortschrijdend gemiddelde (rood); midden: regionale opnames (zwart), voortschrijdend gemiddelde (rood); vertraagde trend van regionale infecties (paars); rechts: voortschrijdend gemiddelde van regionale opnames (rood), voorspelling drie dagen vooruit (paars)

opname-, ontslag- en overplaatsingstijdstippen uit het ZIS (ziekenhuisinformatiesysteem). Hiermee bepalen we voor ieder tijdstip de parameters van een wachtrijmodel, waarmee we de bedbezetting in een ziekenhuis kunnen voorspellen. Deze voorspellingen voor de ziekenhuizen binnen een zorgregio (ROAZ-regio; Regionaal Overleg Acute Zorg) gebruiken we in een *load balancing* methode om coronapatiënten binnen de regio eerlijk te spreiden. Voor bovenregionale verplaatsingen, die nodig zijn als de regionale capaciteit onvoldoende is, beschrijven we een beslissingsondersteunend systeem op basis van een stochastisch *Mixed Integer Program* (MIP), dat patiënten eerlijk over zorgregio's spreidt, met voorkeur voor verplaatsingen over een korte reisafstand.

Regionale opnames

Voor de ROAZ-regio Netwerk Acute Zorg West (NAZW), met daarin het Leids Universitair Medisch Centrum (LUMC), HagaZiekenhuis en Groene Hart Ziekenhuis (GHZ), hebben we data voor de periode van 4 september 2020 tot 31 januari 2021 (begin tweede golf) gebruikt om onze methode te ontwikkelen en testen.

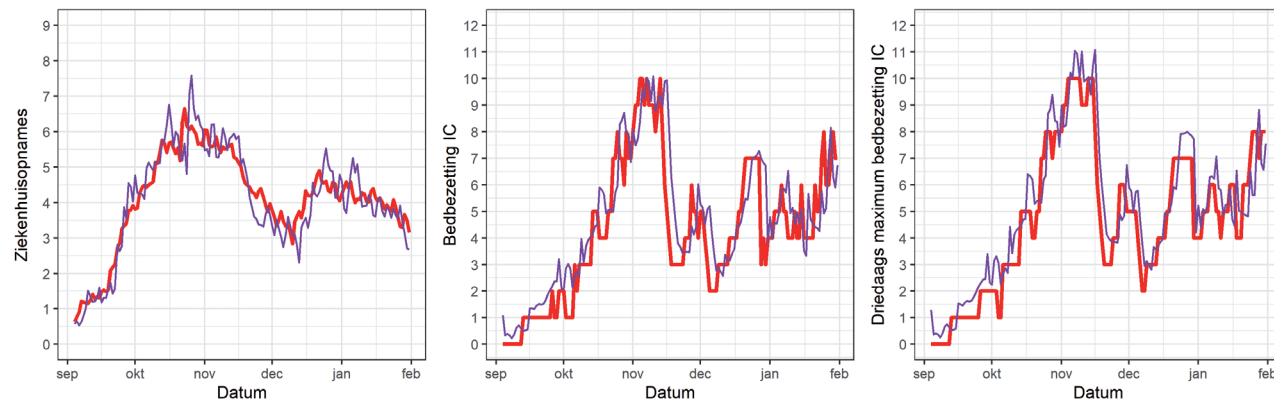
Figuur 1 (links) toont voor NAZW het dagelijkse aantal positieve tests (zwart), en het wekelijks voortschrijdend gemiddelde (rood). We zien duidelijke pieken eind oktober en medio december. Figuur 1 (midden) toont het aantal ziekenhuisopnames per dag (zwart), en het exponentieel gewogen voortschrijdend gemiddelde (rood). Een stijging van het aantal positieve tests resulteert enkele dagen later in een stijging van het aantal ziekenhuisopnames. We passen de kleinste-kwadratenmethode toe om de minimum afwijking te bepalen tussen het voortschrijdende gemiddelde aantal ziekenhuisopnames en

verschoven grafieken van het wekelijks voortschrijdende gemiddelde aantal positieve tests. We vinden de minimum afwijking bij een verschuiving van zeven dagen (paarse lijn in figuur 1 midden). Het percentage opgenomen patiënten en een voorspelling bepalen we op basis van op dat moment beschikbare data. Figuur 1 (rechts) toont het drie dagen vooruit voorspelde (paars) en het gerealiseerde (rood) aantal ziekenhuisopnames; de voorspelling voor 3 oktober is dus gemaakt met beschikbare data tot 1 oktober. We concluderen dat onze methode het aantal regionale ziekenhuisopnames accuraat voorspelt.

Aantal bezette bedden per ziekenhuis

De corona-afdeling van een ziekenhuis modelleren we als een netwerk van twee *infinite-server queues* waarin coronapatiënten arriveren, worden opgenomen in één van de twee wachtrijen (verpleegafdeling en IC), daar hun ligduur verblijven, kunnen worden overgeplaatst tussen de afdelingen en worden ontslagen of overlijden. De kracht van dit model is dat accurate voorspelling van het aantal bezette bedden mogelijk is door simulatie van het onderliggende *Poisson Arrival Location Model* (PALM), zie kader.

Figuur 2 (links) toont voor Haga het gerealiseerde (rood) en voorspelde (paars) aantal opnames. De voorspelling is bepaald via de beste kleinste-kwadratenfit tussen de ZIS-opnamecijfers en de voorspelde regionale opnamecijfers. Het voorspelde aantal opnames bepaalt de in de tijd variërende intensiteit van een Poissonproces. Het ZIS bevat rechts-gecensureerde ligduurdata vanwege de onvoltooide ligduur van nog aanwezige patiënten. Voor de ligduurverdelingen gebruiken we hierom de Kaplan-Meier-schatter. Vanuit de ZIS-data schatten we ligduurafhankelijke overplaatskansen tussen



Figuur 2. Haga. *Links*: exponentieel gewogen voortschrijdend gemiddelde (rood) en voorspelde (paars) ziekenhuisopnames; *midden*: gerealiseerde (rood) en voorspelde (paars) IC-bezetting; *Rechts*: gerealiseerde (rood) en voorspelde (paars) maximum IC-bezetting

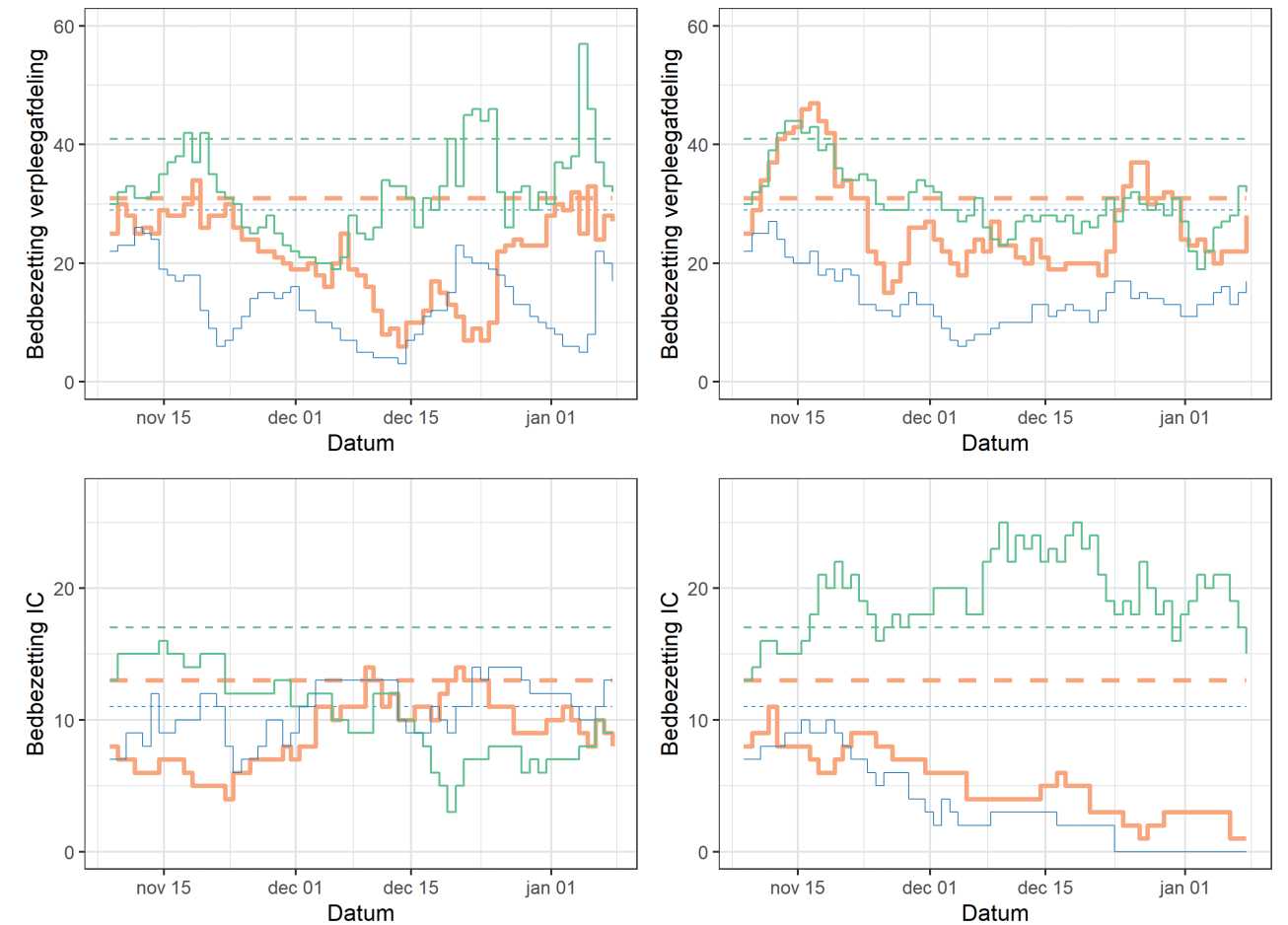
verpleegafdeling en IC. Hiermee zijn alle voor het PALM benodigde data beschikbaar.

Met het PALM voorspellen we een aantal dagen vooruit de bedbezetting op verpleegafdeling en IC op die dag om 10:00 uur (rapportagetijd van vrije beschikbare bedden door ziekenhuizen). Figuur 2 (midden) toont de gerealiseerde (rood) en drie dagen vooruit voorspelde (paars) IC-bezetting. Figuur 2 (rechts) toont de voorspelde en gerealiseerde maximum IC-bezetting gedurende de volgende drie dagen. Deze maat is beleidsondersteunend: indien het voorspelde maximum de capaciteit overschrijdt, kan het ziekenhuis meer bedden beschikbaar stellen of een patiëntenstop afkondigen. Onze voorspel-

methode blijkt bijzonder accuraat, en is opgenomen in het NAZW-coronadashboard.

Eerlijk spreiden binnen een zorgregio

We combineren de voorspelde bedbezetting per ziekenhuis (figuur 2 rechts) en het voorspelde aantal benodigde regionale opnames (figuur 1 rechts) om patiënten eerlijk te spreiden over de ziekenhuizen binnen een zorgregio. Door simulatie van het PALM vergelijken we de spreiding van patiënten volgens onze dynamische *load balancing* regel met een statische regel die een vaste fractie patiën-



Figuur 3. NAZW. LUMC (blauw), Haga (groen), GHZ (oranje); aanwezige capaciteit (stippellijn), gerealiseerde bedbezetting (doorgetrokken lijn); load balancing (links), statische fracties (rechts)

ten toewijst aan elk ziekenhuis. Figuur 3 toont deze vergelijking voor NAZW.

Het historisch aandeel coronapatiënten opgenomen in LUMC is 30%, in Haga 43% en in GHZ 27%. Opnemen van patiënten volgens deze statische fracties geeft de bezetting op verpleegafdeling en IC weergegeven in figuur 3 (rechts). We zien voor LUMC en GHZ een onderbezetting en in Haga grote excursies van de IC-bezetting boven de capaciteit, terwijl de bezetting van de verpleegafdeling rond de capaciteit blijft. Patiënten worden niet tussen de ziekenhuizen verplaatst, maar verondersteld opgevangen te worden in zogenaamde *overbedden*, die tijdelijk extra beschikbaar gemaakt worden voor coronapatiënten.

Onze *load balancing* regel (figuur 3 links) neemt patiënten op in ziekenhuizen gebaseerd op veiligheidsniveaus, zie kader. We zien dat excursies boven de aanwezige capaciteit in een ziekenhuis worden opgevangen door opname van patiënten in andere ziekenhuizen. De korte excursies op de IC in GHZ in december wordt bijvoorbeeld gedempt door opname van meer patiënten in LUMC. *Overbedden* worden vrijwel niet ingezet. Onder de

load balancing regel kunnen vrijwel alle patiënten worden opgenomen binnen de regio.

Bovenregionale spreiding

In de praktijk is langdurig inzetten van *overbedden* onmogelijk. Patiënten worden verplaatst binnen een regio, bovenregionaal of naar het buitenland. Ons beslissingsondersteunend systeem voor bovenregionale spreiding op basis van een stochastisch MIP houdt rekening met bezetting van de verpleegafdelingen en IC's op het beslismoment en de voor de komende dagen voorspelde (maximum) bezetting op basis van het PALM. Dit laatste is van belang om te voorkomen dat patiënten tussen regio's heen en weer verplaatst worden, bijvoorbeeld doordat verplaatsing van een patiënt naar een regio enkele dagen later resulteert in overbezetting van die regio. De te minimaliseren doelfunctie bevat reisafstand, transportkosten en balans in het aantal vrije bedden over de regio's.

Poisson Arrival Location Model (PALM)

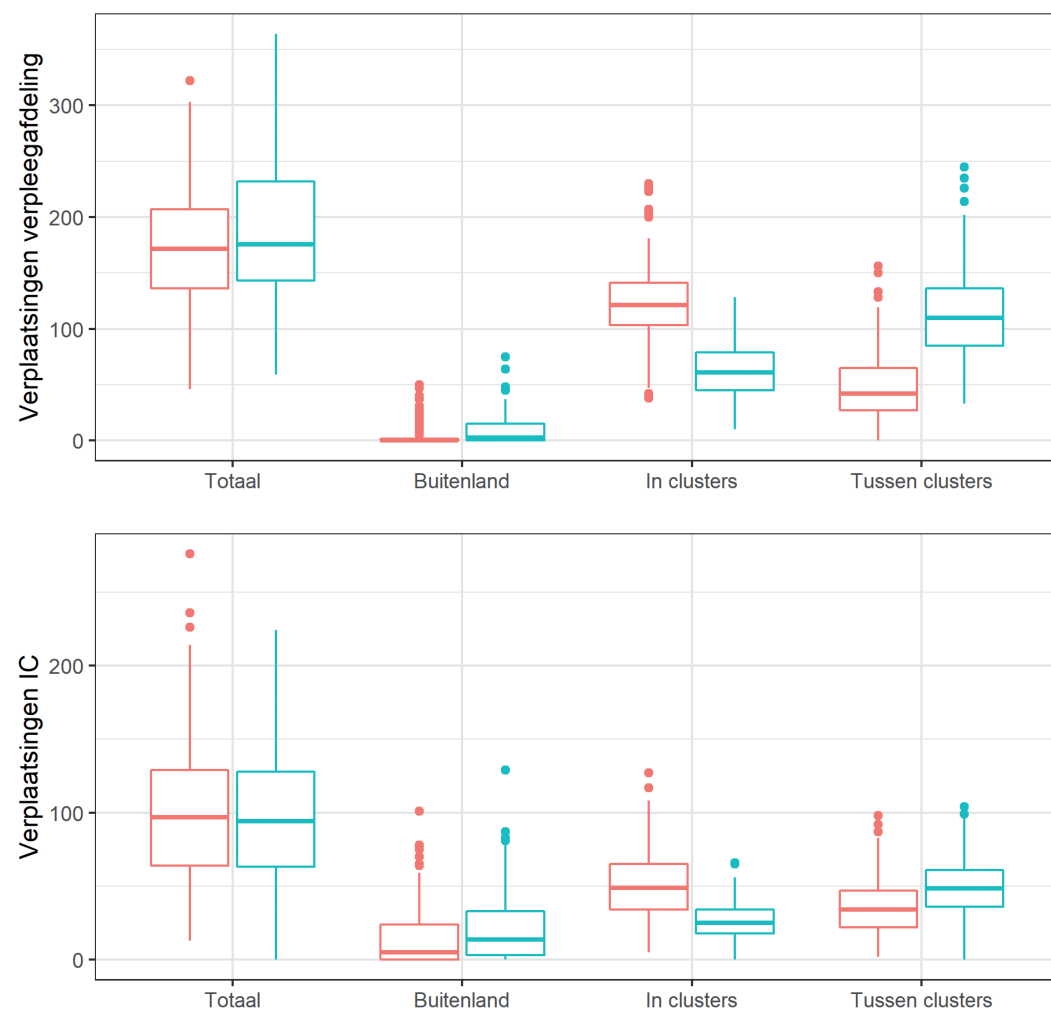
Een netwerk van *infinite-server queues* met in de tijd variërende intensiteit van het Poisson aankomstproces en algemene ligduurverdeling heeft als belangrijke eigenschap dat het aantal aanwezige patiënten, zeg op verpleegafdeling en IC, op ieder tijdstip s Poisson verdeeld is. Het PALM beschrijft de *sample-paden* van dit proces. Vanuit iedere huidige toestand (aangeduid met $l(s)$ op tijdstip s , waarin opgenomen het aantal patiënten, hun gerealiseerde ligduur en eventueel gerealiseerde overplaatsingen) van het netwerk kan het PALM voor empirische verdelingen van de onderliggende stochastische variabelen middels simulatie worden gegenereerd. Hiermee kunnen op ieder tijdstip s relevante prestatieparameters worden bepaald, zoals het verwachte aantal aanwezige patiënten t dagen vooruit en de verwachte maximale bedbezetting in $[s, s + t]$:

$$\mathbb{E}[N_V(s+t) | l(s)], \quad \mathbb{E}[N_I(s+t) | l(s)],$$

$$\mathbb{E}\left[\max_{u \in [s, s+t]} N_V(u) | l(s)\right], \quad \mathbb{E}\left[\max_{u \in [s, s+t]} N_I(u) | l(s)\right].$$

Dynamische load balancing voor regionale spreiding

Voor ziekenhuis h in een regio bepalen we de maximaal op te nemen fractie $\Theta_h(s,t)$ van de regionaal benodigde opnames (rechter grafiek figuur 1), zodat de kans op voldoende capaciteit tussen tijdstippen s en $s + t$ minimaal veiligheidsniveau α_{hV} is op de verpleegafdeling en α_{hI} op de IC. Indien $\sum_h \Theta_h(s,t) \geq 1$, dan verwachten we dat de regio geen *overbedden* nodig heeft in $[s, s + t]$ en neemt ziekenhuis h het proportionele deel $\Theta_h(s,t) / \sum_h \Theta_h(s,t)$ op. Indien $\sum_h \Theta_h(s,t) < 1$, dan is de regionale capaciteit onvoldoende en neemt ziekenhuis h zijn eigen fractie $\Theta_h(s,t)$ op. In dit geval wordt de resterende fractie $1 - \sum_h \Theta_h(s,t)$ geplaatst op een *overbed* en daarmee aangemerkt voor bovenregionale verplaatsing.



Figuur 4. Aantal verplaatsingen op verpleegafdelingen (boven) en IC's (onder); bedden vrij (blauw), beslissingsondersteunend systeem (rood)

Figuur 4 toont *boxplots* voor de vergelijking van onze verplaatsingsstrategie met de strategie 'bedden vrij', die zonder rekening te houden met reisafstand patiënten verplaatst naar regio's waar na het moment van beslissing nog minimaal twee bedden vrij zijn. Een cluster bestaat uit een aantal nabijgelegen regio's. De prestatie-maten totaal aantal verplaatsingen, verplaatsingen naar het buitenland, binnen de clusters, en tussen de clusters, zijn bepaald op basis van het PALM. Het totaal aantal bovenregionale verplaatsingen verschilt niet significant. We zien een significante reductie in het aantal verplaatsingen naar verder gelegen regio's.

Conclusie

Statistiek en Operations Research bieden ondersteuning om patiënten tijdens een pandemie eerlijk te spreiden en reguliere zorg gebalanceerd te leveren.

Informatie over benodigde data en software is beschikbaar in de referenties en via www.utwente.nl/en/choir/research/Covid19-wardICU/.

LITERATUUR

- Baas, S., Dijkstra, S., Braaksma, A., Van Rooij, P., Snijders, F. J., Tiemessen, L., & Boucherie, R. J. (2021) Real-time forecasting of COVID-19 bed occupancy in wards and Intensive Care Units. *Health Care Management Science* 24, 402–419.
- Dijkstra, S., Baas, S., Braaksma, A., & Boucherie, R.J. (2021) Dynamic fair balancing of COVID-19 patients over hospitals based on forecasts of bed occupancy. *Onder review*.

SANDER DIJKSTRA (s.dijkstra-1@utwente.nl), STEF BAAS (s.p.r.baas@utwente.nl), ALEIDA BRAAKSMA (a.braaksma@utwente.nl) en RICHARD BOUCHERIE (r.j.boucherie@utwente.nl) zijn onderdeel van het Center for Healthcare Operations Improvement and Research (CHOIR) aan de Universiteit Twente. Op basis van toonaangevend wetenschappelijk onderzoek en in nauwe samenwerking met de praktijk ontwikkelt en implementeert CHOIR logistieke oplossingen in de zorg.

Stand.nl
woensdag 30 december

Iedereen moet uit solidariteit thuisblijven
met oud en nieuw

Eens

Oneens

Ik stem als Man, in de categorie 60+

PEILINGPRAKTIJKEN

Wilde de meerderheid wel thuisblijven met oud en nieuw?

Er wordt veel gepeild in Nederland. Dat zie je vooral tijdens verkiezingscampagnes. Snelle politieke peilingen van marktonderzoekbureaus volgen elkaar dan in hoog tempo op. Ook andere organisaties, zoals de landelijke overheid (CBS, SCP), peilen. Die peilingen zijn vaak groter en ingewikkelder dan de kleine en snelle politieke peilingen van de marktonderzoekbureaus. Ze worden meestal enquêtes of surveys genoemd.

Goed en slechte peilingen

Er zijn goede en slechte peilingen. Een goede peiling is gebaseerd op een aselechte steekproef. Dat levert een representatieve steekproef op, je schattingen zijn valide en je kunt ook de precisie van je schattingen bepalen (in de vorm van betrouwbaarheidsintervallen of onzekerheidsmarges). Dus je kunt de uitkomsten van je steekproef generaliseren naar de doelgroep van je onderzoek.

Er zijn helaas ook slechte peilingen. Die zijn niet gebaseerd op een aselechte steekproef maar op een vorm van zelfselectie. Zelfselectie betekent dat je het aan de personen in de doelgroep overlaat om zichzelf wel of niet aan te melden voor de peiling. Via berichten in de media maak je ze attent op de peiling. Je hoopt dat ze zich daardoor laten overhalen om deel te nemen aan de peiling. In de steekproef zitten dan vooral mensen die het leuk vinden om regelmatig aan peilingen mee te doen en geïnteresseerd zijn in het onderwerp van het onderzoek. Dat levert meestal geen representatieve steekproef op. En dus trek je verkeerde conclusies uit je onderzoek. De peilingen van *Stand.nl* zijn een duidelijk voorbeeld van hoe het niet moet.

De peilingen van *Standpunt.nl*

Stand.nl is een radioprogramma dat dagelijks (op werkdagen) te beluisteren valt op NPO Radio 1. In het programma komt dagelijks een actuele kwestie aan de orde met een actuele stelling. De luisteraars kunnen over de stelling online of per telefoon stemmen ('eens' of 'oneens'). Als peiling zit *Stand.nl* niet goed in elkaar. Het is geen representatieve peiling en dus kun je de uitkomsten niet generaliseren naar de hele bevolking. We illustreren de tekortkomingen van deze peiling aan de hand van een voorbeeld van zo'n peiling.

Op 30 december 2020 was de stelling 'Iedereen moet uit solidariteit thuisblijven met oud en nieuw'. Nadat bijna 1.300 respondenten gereageerd hadden, bleek dat 56% voor de stelling was. De vraag is nu of je deze uitslag kunt generaliseren naar de hele bevolking. Kun je zeggen dat 56% van de bevolking voorstander is van thuisblijven met oud en nieuw? Helaas, dat kan niet want er is geen sprake van een representatief onderzoek. De deelnemers aan deze peiling vormen geen goede afspiegeling van de bevolking.

De representativiteit van de peiling

De peilers van *Stand.nl* vragen de respondenten niet alleen naar hun mening over de stelling. De respondenten moeten ook hun geslacht en leeftijd opgeven. Er zijn vier leeftijdsklassen: 0-20 jaar, 20-40 jaar, 40-60 jaar en 60 jaar en ouder. Je kunt dus vaststellen hoeveel mannen en vrouwen er in de peiling zitten en of de percentages mannen en vrouwen in de peiling overeen komen met de percentages mannen en vrouwen in de hele bevolking.

In figuur 1 en 2 is die vergelijking gemaakt. De oran-