

gangstoets bestaande uit 250 juist-onjuist vragen afgenomen bij alle studenten uit het eerste tot en met het zesde jaar. Een student, die het onderwijs volledig volgt, neemt dus tenminste 24 keer deel aan een voortgangstoets, zodat vastgesteld kan worden hoe de groei in kennis van individuele studenten verloopt. Een van de artikelen in deze onderzoekslijn verscheen in *Psychometrika* (zie Albers e.a., 1989).

Naast onderwijs en onderzoek heb ik mij bij de Universiteit van Maastricht ook beziggehouden met bestuurlijke taken zoals voorzitter van de examencommissie, lid van de faculteitsraad, hoofd van de afdeling, en mede-organisator van twee internationale congressen (the Satellite Meeting on Mathematical Statistics and Probability to the ISI Session in 1985 en the Tenth International Meeting on Clinical Biostatistics in 1989).

In november 1989 vond ik het tijd om wederom een carrièreswitch te maken. Ik koos voor het bedrijfsleven en Jos de Kroon van het CQM, een adviesbureau binnen Philips, stelde mij in de gelegenheid om een echt beroep te leren: adviseur. In deel 2 van dit persoonlijke verslag zal de periode 1990-2021 besproken worden.

LITERATUUR

- Albers, W., Does, R.J.M.M., Imbos, Tj. & Janssen, M.P.E. (1989). A stochastic model applied to repeated tests of academic knowledge, *Psychometrika* 54, 451-466.
- Bethlehem, J.G., Does, R.J.M.M. & Gill, R.D. (1977). *Verdelingsvrije methoden bij censurering*, Rapport SN 6/77, Amsterdam: Mathematisch Centrum.
- Bethlehem, J.G., Does, R.J.M.M. & Helmers, R. (1978). *Statistische analyse van verdelingen van golfhoogten en waterstanden bij de Oosterschelde*, Rapport SD 113/78, Amsterdam: Mathematisch Centrum.
- Does, R.J.M.M. (1982). Berry-Esseen theorems for simple linear rank statistics under the null hypothesis, *Annals of Probability* 10, 982-991.
- Does, R.J.M.M. (1983). An Edgeworth expansion for simple linear rank statistics under the null hypothesis, *Annals of Statistics* 11, 607-624.
- Does, R.J.M.M., Helmers, R. & Klaassen, C.A.J. (1987). On the Edgeworth expansion for the sum of a function of uniform spacings, *Journal of Statistical Planning and Inference* 17, 149-157.
- Does, R.J.M.M. & Klaassen, C.A.J. (1984). The Berry-Esseen theorem for functions of uniform spacings, *Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete* 65, 461-471.
- Does, R.J.M.M., Strijbosch, L.W.G. & Albers, W. (1988). Using jackknife methods for estimating the parameter in dilution series, *Biometrics* 44, 1093-1102.

Ronald Does is emeritus hoogleraar Industriële Statistiek aan de Universiteit van Amsterdam.
E-mail: r.j.m.m.does@uva.nl



Beter inzicht in energie-impact

De trage totstandkoming van een boycot op olie en gas uit Rusland vanwege de inval in Oekraïne maakt pijnlijk duidelijk hoe afhankelijk Europa is van fossiele brandstoffen. Naast deze directe afhankelijkheid zijn door te toegenomen economische onzekerheid de olie- en gasprijzen naar ongekende hoogte gestegen met een direct effect op de inflatie. In de media wordt druk gediscussieerd over het effect van deze ontwikkelingen op onze economie en de vraag of we een versnelling van de transitie naar duurzamere energieopwekking gaan zien. Het aandeel van energie in de economische prestaties van ons land is volgens het CBS 3,5% van het bruto binnenlands product (BBP)¹, daarmee lijkt de invloed van wijzigingen in de energie beperkt. In hun laatst verschenen rapport² onderzoeken economen van het IPCC onder andere de impact van veranderingen in energiegebruik. Zij komen tot de conclusie dat de impact van maatregelen om de gevolgen van klimaatverandering te beperken, zoals de reductie van energiegebruik, minder dan 0,1% van de jaarlijkse groei van het BBP zal zijn. Daarmee is een incentive om nu te verduurzamen nauwelijks aanwezig. Gezien de nu al merkbare invloed van stijgende energieprijzen heb ik zo mijn twijfels of de inschatting van die beperkte invloed wel betrouwbaar is.

Energie als productiefactor

Om het effect van veranderingen in de beschikbare energie op de economie te bepalen wordt vaak gebruik gemaakt van een productiefunctie, bijvoorbeeld de Cobb-Douglas productiefunctie, bekend uit de economieboeken.

$$Y = A \cdot L^{1-\alpha} \cdot K^\alpha$$

Deze functie wordt door neoklassieke economen veel gebruikt om de relatie weer te geven tussen input, in dit geval fysiek kapitaal (K) en arbeid (L), en output (Y of wel BBP). De A-factor vertegenwoordigt technologie in het model en kan worden gebruikt om verbeteringen in de efficiency van kapitaal en arbeid te modelleren. De parameter α meet de verandering in output bij een verandering van kapitaal en is dus als output elasticiteit te interpreteren. Met $\alpha = 0,30$ zal de output met 0,3% toenemen als kapitaal met 1% toeneemt.

Wat direct opvalt, en dat geldt voor veel van de neoklassieke IPCC modellen, is dat energie als productiefactor ontbreekt. Een manier om energie alsnog op te nemen is door het analoog aan kapitaal en arbeid aan het model toe te voegen³

$$Y = A \cdot L^{1-\alpha-\mu} \cdot K^\alpha \cdot E^\mu$$

De parameter μ van de energiefactor is voor Nederland gelijk aan het aandeel van energie in het BBP. Een af-

name van energie met 50% leidt dan volgens dit model tot een afname van het BBP met 2,05%. Niet direct iets om je zorgen om te maken? In het bovenstaande model wordt de aanname gedaan dat veranderingen in energie beschikbaarheid geen invloed hebben op de prestaties van kapitaal en arbeid en dat is een te simpele weergave van de werkelijkheid. Machines hebben nu eenmaal energie nodig om te kunnen produceren. Energie is dus geen productiemiddel maar een voorwaarde voor kapitaal en mensen om te kunnen produceren.

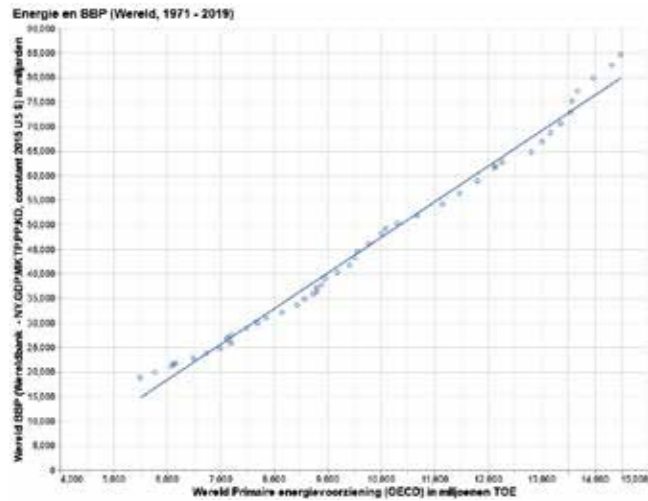
Energie is niet marginaal

Om energie beter in de productiefunctie te verwerken kunnen arbeid en kapitaal als functie van energie worden uitgedrukt⁴

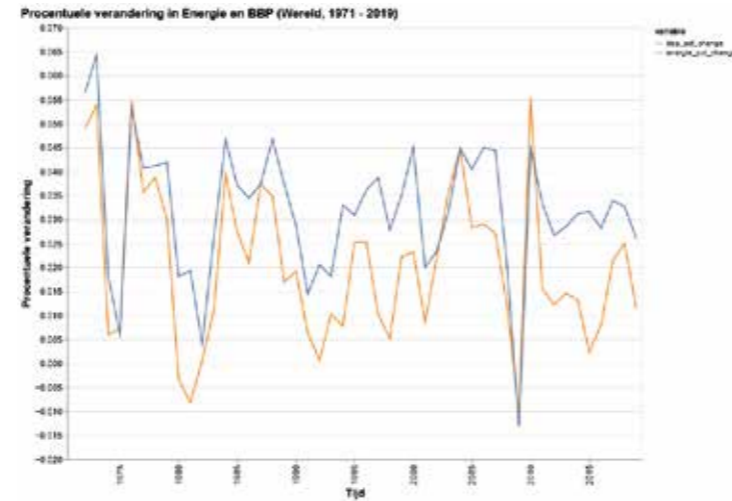
$$K(E) = K \cdot E_K \cdot e_K \text{ en } L(E) = L \cdot E_L \cdot e_L$$

met K en L de hoeveelheid kapitaal en arbeid, E_K en E_L de energie-input voor respectievelijk kapitaal en arbeid en e_K en e_L de energie-efficiëntie van beide productiefactoren. Voor arbeid geldt dat $E_L \cdot e_L = \Lambda$ al eeuwen constant is, ongeveer 100 Watt per uur per persoon. Door substitutie van de functies in de Cobb-Douglas productiefunctie volgt:

$$Y = A \cdot \Lambda^{1-\alpha} \cdot (K \cdot E_K \cdot e_K)^\alpha \cdot L^{1-\alpha}$$



Figuur 1. Energie en BBP⁶



Figuur 2. Verandering in energie en BBP

De verandering van energie input heeft nu direct effect op de bijdrage die kapitaal levert aan het BBP. De mate waarin wordt bepaald door de waarde van α . Empirisch onderzoek van Mankiw⁵ suggereert 0,8 als waarde voor α , waardoor een 50% reductie van energie leidt tot een daling van het BBP met 43%, een bijna 1:1 impact op het BBP. Een relatie die door data uit de praktijk lijkt te worden bevestigd. Als Primaire energievoorziening en BBP voor de wereld met elkaar worden vergeleken voor de periode vanaf 1971 tot 2019 (zie figuur 1) is een sterk lineaire verband zichtbaar. Merk op dat voor afzonderlijke landen deze relatie anders zal zijn vanwege verschillen in efficiëntie waarmee energie wordt opgewekt. Ook als we kijken naar de jaar op jaar veranderingen in energie en het BBP voor de wereld (zie figuur 2), zien we een sterke samenhang (correlatie 0,84)

Uit empirisch onderzoek⁷ naar de relatie tussen BBP en energie volgt dat er over de afgelopen 50 jaar een nagenoeg constante elasticiteit wordt gevonden van 0,8 tussen BBP en Energie. Dat wil zeggen, een 1% groei van het BBP leidt tot een 0,8% groei van energie (of andersom). Uitgaande van deze empirische elasticiteit, zal een reductie van energiegebruik een direct en substantieel effect hebben op de economie.

Betere modellen leiden tot reëler beeld

Hoewel energieprijzen de laatste tijd hoog in de belangstelling staan en steeds duidelijker wordt dat de omslag van fossiel naar duurzamere energieopwekking niet eenvoudig te maken is, is er slechts een beperkte bereidheid om nu maatregelen te nemen om de verduurzaming van de economie te versnellen. Ik wijt dat aan een ver-

keerd beeld dat beleidsmakers hebben van de impact van energie op onze economie. De door IPCC-economen voorgerekende beperkte impact van wijzigingen in de energiehuishouding op de economie leidt tot een laag urgentiegevoel en daardoor blijven concrete plannen uit. Gevolg is dat de klimaatdoelstellingen van 2030 en 2050 steeds lastiger, zo niet onmogelijk, te halen zullen zijn. Data en betere economische modellen, waarin energie expliciet wordt gemodelleerd, leveren een reëler beeld van de consequenties van veranderingen. Dit zal het urgentiegevoel aanwakkeren en naar ik hoop de bereidheid tot handelen vergroten.

JOHN POPPELAARS, Doing the Math
E-mail: john@doingthetmath.nl

NOTEN

1. CBS. *Economische ontwikkeling van de energievoorziening*. (2020). <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/diversen/2020/economische-ontwikkeling-van-de-energievoorziening/2-nederlandse-energievoorziening-economisch-verkend>
2. IPCC (2022), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
3. Engström, G., & Gars, J. (2016). Climatic Tipping Points and Optimal Fossil-Fuel Use. *Environmental and Resource Economics*, 65, 541–571.
4. Keen, S., Ayres, R., & Standish, R. (2019). A Note on the Role of Energy in Production. *Ecological Economics*, 157, 40–46
5. Mankiw, N., Phelps, E., & Romer, P. (1995). The Growth of Nations. In *Brookings Papers on Economic Activity*, Vol. 1995, No. 1, 25th Anniversary Issue. pp. 275–326.
6. *Primaire energie voorziening OECD*. <https://data.oecd.org/energy/primary-energy-supply.htm> en *Wereld BBP, Wereldbank*, <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=NY.GDP.MKTP.PP.KD&country=#>
7. Stern, D. I. (2011). *The Role of Energy in Economic Growth*. Crawford School Centre for Climate Economics & Policy (Paper No. 3.10)



Stiglers Wet, het Mattheüseffect of Selectiebias?

RICHARD STARMANS

In 2021 werd aan de van oorsprong Nederlandse econometrist Guido Imbens (1963) en de Amerikaans-Israëliëse econoom Joshua Angrist (1960) The Nobel Memorial Prize in Economic Sciences toegekend 'for their methodological contributions to the analysis of causal relationships'. Het was niet de eerste maal dat onderzoek naar formele, probabilistische benaderingen van oorzaakelijkheid met een belangrijke prijs werd gehonoreerd. Zo ontving de Amerikaanse informaticus en AI-wetenschapper Judea Pearl (1936) al in 2011 de A.M. Turing Award voor zijn bijdragen aan de AI 'through the development of a calculus for probabilistic and causal reasoning'. Onlangs viel Pearl wederom in de prijzen, toen hem de BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Information and Communication Technologies 2021 werd toegekend, volgens de selectiecommissie 'for bringing a modern foundation to artificial intelligence', meer in het bijzonder betreffende 'probabilistic reasoning and the inference of causal relationships'. De BBVA Foundation 'expresses the corporate social responsibility of the BBVA Group', een financiële instelling die in 25 landen actief is. De stichting werd opgericht in 2008 en de Foundation Frontiers of Knowledge Awards is inmiddels aan haar veertiende editie toe. Een en ander geeft aanleiding tot een drietal overwegingen.

Causaliteit in de mode

Allereerst mag duidelijk zijn dat onderzoek naar causaliteit is opgeschoven naar het zenit van het wetenschappelijk onderzoek en pogingen om het begrip uit het wetenschappelijke discours te elimineren bleken uiteindelijk weinig succesvol. Lange tijd gold causaliteit als een weerbarstig en obscuur begrip, kende een moeizame genealogie met volop controversen, maar geen bruikbare formaliseringen en weinig vooruitgang. Velen stelden dan ook dat in een wetenschappelijk wereldbeeld geen plaats kan zijn voor zulk een archaïsche notie. Onder de critici schaalden zich in het verleden beroemde denkers als Ernst Mach, Bertrand Russell, Karl Pearson en Ludwig Wittgenstein en meer recentelijk Paul Churchland, maar ook diverse boegbeelden van *data science*.

Daarnaast moet worden opgemerkt dat de nog prille appreciatie vooral afkomstig is uit de hoek van informatica, AI en *cognitive science* en duidelijk minder uit de theoretische, wiskundige statistiek. Dat blijkt onder meer wanneer we onder de loep nemen door wie Pearl werd genomineerd. De lijst bevat onder meer de illustere namen van psycholoog en Nobelprijs-laureaat voor de economie Daniel Kahneman (1934), AI-wetenschapper Stuart Russell (1962), bekend van de moderne klas-