

Welke wiskunde gebruik je eigenlijk op de werkvloer en hoe zou je die op school kunnen leren? Dat is de vraag die iedere beroepsopleiding bezighoudt, of zou moeten bezighouden. In Engeland loopt een onderzoek naar het antwoord op deze vraag. **Arthur Bakker, Celia Hoyles, Phillip Kent en Richard Noss** gaan in op de *Techno-mathematical Literacies*.

## Grafieken lezen om problemen op te lossen op de werkvloer

### Wiskunde op de werkvloer

Welke wiskundige, statistische en ICT-vaardigheden hebben werknemers in hun beroep nodig? Dat is de hoofdvraag van de eerste fase van ons onderzoek naar zogenaamde *Techno-mathematical Literacies*<sup>1</sup>. De hoofdvraag van de tweede fase van het onderzoek is hoe we deze vaardigheden kunnen verbeteren. We richten ons daarbij vooral op werknemers met een beroepsopleiding in drie sectoren: de verpakkingindustrie, de farmaceutische industrie en de financiële sector.

Er zijn grote verschillen tussen de wiskunde die leerlingen leren op school en die werknemers gebruiken in hun beroep (Hoyles et al., 2002). Zo zijn er onderwerpen die op veel werkplekken aan de orde zijn, maar die maar zelden in de schoolboeken voorkomen, zoals bijvoorbeeld het voortschrijdend gemiddelde (zeg van de laatste tien gewogen doosjes aspirine). Verder blijkt dat de betekenis van grafieken en wiskundige begrippen in de praktijk voornamelijk door de werkcontext wordt bepaald en maar ten dele door 'de wiskunde'. Noss, Pozzi en Hoyles (1999) beschrijven hoe verpleegsters het begrip gemiddelde gebruikten op een manier die niet correspondeerde met een wiskundig equivalent (aritmetisch gemiddelde, modus of mediaan), maar met een afgerond getal ongeveer in het midden van een cluster. Hoewel zo'n informeel gemiddeldebegrip op school waarschijnlijk niet wordt getolereerd, voldeed het toch bij het in de gaten houden van de bloeddruk van patiënten. Zonder te willen suggereren dat het anders zou moeten zijn, stellen we vast dat de werknormen anders zijn dan de normen in de wiskundeles. Over het algemeen stelt een wiskundige prijs op generaliseerbaarheid en precisie, maar wiskundig gezien inferieure oplossingsmethoden zijn in de praktijk soms effectiever. Piloten bleken bij de beslissing of ze veilig konden landen vuistregels te gebruiken die wiskundig niet erg precies zijn, maar wel effectief in de context: er is geen tijd voor een meetkundige berekening als je snel moet beslissen of de windkracht en -richting acceptabel zijn om te landen. Maatschappelijke veranderingen hebben er verder voor gezorgd dat er bijna geen werkplek meer is zonder com-

puters, terwijl de meeste werknemers vroeger op school weinig ervaring met ICT hebben opgedaan. De wiskunde die werknemers gebruiken (maar niet noodzakelijkerwijs geheel hoeven te begrijpen) is vaak ingebed in computerprogramma's en is vaak van heel andere aard dan de pen-en-papierwiskunde die ze op school geleerd hebben. Technologische veranderingen hebben ervoor gezorgd dat veel onderdelen van bijvoorbeeld een productieproces minder tastbaar en minder zichtbaar zijn geworden. In plaats van een steeksleutel te gebruiken, moeten operators steeds vaker knopjes op een computerscherm bedienen om een onderdeel van het proces te repareren.

Dergelijke verschillen tussen school- en werkwiskunde zijn tot op zekere hoogte onvermijdelijk: op school is de context vaak een middel om wiskunde te leren, maar op het werk is wiskunde een middel om iets over de context te weten te komen. Steen (2004) heeft opgemerkt dat wiskunde op school vaak geavanceerd is maar simpel in het gebruik, terwijl de wiskunde die gebruikt wordt op het werk ogenschijnlijk simpel is, maar complex in het gebruik door de complexiteit van de werkcontext. De term 'technisch-wiskundige geletterdheid' (*Techno-mathematical Literacies*) is bedacht om dergelijke karakteristieken van wiskundige vaardigheden op de werkvloer in één begrip te vangen: technisch-wiskundige geletterdheid duidt op combinaties van wiskundige en computervaardigheden binnen een werkcontext. Daarmee proberen we associaties met termen als wiskunde en gecijferdheid (*numeracy*) te vermijden: we hebben namelijk gemerkt dat voor veel mensen 'wiskunde' dat schoolvak is en 'gecijferdheid' kunnen rekenen in combinatie met gezond verstand. Het meervoud *Literacies* duidt op de veelzijdigheid van technisch-wiskundige geletterdheid in verschillende werkcontexten: iemand die technisch-wiskundig geletterd is in het ontwerpen van kartonnen dozen, hoeft dat niet te zijn in de context van het produceren van deze dozen. Met een ander doel en ander gereedschap (wiskunde, computerprogramma) verandert ook de benodigde technisch-wiskundige geletterdheid. Om deze reden zien we technisch-wiskundige geletterdheid ook niet als generieke competenties.

Uit de eerste fase van ons onderzoek geven we een voorbeeld over de technisch-wiskundige geletterdheid die nodig is om grafieken te lezen om zo problemen op te lossen op de werkvloer. Er is veel onderzoek gedaan naar het lezen van grafieken door leerlingen en wetenschappers, maar weinig naar grafiekgebruik door laaggeschoolde werknemers. Een weinig verrassend resultaat is dat veel leerlingen moeite hebben met grafieken interpreteren, zeker als ze de context niet goed kennen (Leinhardt et al., 1990). Opvallender is dat zelfs natuurwetenschappers die worden geconfronteerd met grafieken uit hun eigen vakgebied vaak interpretatiefouten maken als ze niet meer precies in dat gebied werkzaam zijn of als ze niet weten hoe de data verzameld zijn (Roth & Bowen, 2003). In hun eigen context echter lezen ze grafieken zonder moeite, alsof ze ‘transparant’ zijn – net als bril dragers die de glazen van hun bril niet meer opmerken (Roth, 2003). Dergelijk onderzoek laat zien dat zelfs wetenschappers niet zonder meer kunnen worden gezien als experts in grafieken lezen. Met andere woorden: tot op het hoogste opleidingsniveau is een goede contextkennis vereist om grafieken uit die context zinvol te kunnen interpreteren.

Roths resultaten komen overeen met onze ervaringen in bedrijven. We hebben ondanks onze opleiding in de wiskunde en wiskundendidactiek vaak ondervonden dat wij grafieken op de werkvloer niet goed kunnen interpreteren. Als wij dat lieten merken aan werknemers, waren ze vaak geschokt. Een manager zei bijvoorbeeld: ‘Als jullie als wiskundigen onze grafieken niet begrijpen, dan doen wij iets fout’. Hoewel dat ook voorkomt, was het in dit geval niet waar. Het punt is dat wij de werkcontext nog moeten leren kennen voordat wij conclusies uit dergelijke grafieken konden trekken.

## De technisch-wiskundige geletterdheid van Jim

In veel bedrijven hebben we een gebrek aan technisch-wiskundige geletterdheid geobserveerd, maar in deze paragraaf willen we een positief voorbeeld geven van één werknemer die door grafieken te bestuderen problemen in het productieproces kon oplossen. Om duidelijk te maken hoe hij conclusies trok uit de grafieken van het computersysteem, moeten we eerst het productieproces in enig detail beschrijven. Zonder dergelijke contextkennis is het immers moeilijk om de grafieken te interpreteren.

De fabriek waar onze voorbeelden zich afspelen, maakt onder andere plastic folie waarin consumenten voedsel bewaren. Het proces verloopt grofweg als volgt. Plastic korrels worden via een schroefmotor (belangrijk voor ons tweede voorbeeld) naar een onderdeel gebracht dat de korrels smelt en omvormt tot een dunne laag. Via een halve bol wordt deze laag tot een holle slang omgevormd (*tube*). Deze slang lijkt op een brandweerslang, maar is veel dunner, en reist het proces vooral in platte toestand

door (als *tape*). Via allerlei stadia in het productieproces, waaronder een opslagbuffer (belangrijk voor ons eerste voorbeeld) en een heet bad, komt de slang aan bij de bel (*bubble*) waar die wordt opgeblazen als een ballon, waardoor de folie nog ongeveer vijfentwintig keer zo dun wordt. Elk stadium heeft zo zijn belangrijkste variabelen. In de opslagbuffer moet de spanning op de tape constant zijn en in het bad moet de temperatuur constant zijn. Het belstadium is echter het gevoeligst, want kleine temperatuurwisselingen en mechanische problemen kunnen de dikte van de folie sterk beïnvloeden. De bel heeft een diameter van 1.50 m en hoogte van 6 meter, wordt bovenin in tweeën gesneden en op twee rollen gewikkeld. Deze rollen zijn 2 meter breed en 12 km lang als ze uit de fabriek komen.

Onze voorbeelden gaan over de technisch-wiskundige geletterdheid van een *shift leader*, Jim. Jim ging op zijn zestiende van school en heeft nu 31 jaar ervaring in deze fabriek. Hij heeft de gewoonte ontwikkeld om de historische gegevens te bestuderen in het computersysteem dat bijna alles bijhoudt van de machines. Daarbij moeten we denken aan de spanning van de plastic slang, de dikte van de folie, druk, temperatuur, snelheid en nog zeker vijftig andere variabelen. Van de dertig werknemers op deze afdeling waar plastic folie wordt gemaakt, zijn er vijf die ook weten hoe ze die gegevens kunnen bekijken, maar Jim wordt gezien als de troubleshooter bij uitstek.

De grafieken in het computersysteem zouden menig wiskundeleraar doen fronsen: er zijn bijvoorbeeld geen duidelijke eenheden op de verticale as terwijl er verschillende variabelen tegelijk worden vertoond. De schaal verschilt per variabele die op het scherm wordt getoond, en de getallen zijn soms in eenheden (Newton, bar) en soms in percentages (bijvoorbeeld 20 tot 80%), maar dat wordt er niet bij vermeld. Voor ons was dit heel verwarrend, maar het bleek dat de schaal nooit veranderd werd, zodat de operators daar ook niet op hoefden te letten. We laten aan de hand van twee voorbeelden zien hoe Jim productieproblemen oploste door dergelijke grafieken in het computersysteem te bestuderen.

### Voorbeeld 1: teveel variatie

Het eerste voorbeeld gaat over een productielijn waarin de plastic bel (*bubble*) af en toe ging pulseren – naar binnen en buiten bewoog. Vaak barstte de bel dan en moest het proces opnieuw opgestart worden, wat uiteraard veel tijd en dus geld kostte. Het onderhoudsteam kon niets vinden, maar toen Jim na enkele maanden die machine gebruikte en het probleem ondervond, liep hij naar de computer en onderzocht de historische gegevens van de tijden dat het probleem zich had voorgedaan.

Het viel hem op dat één grafiek er anders uitzag dan normaal. (Figuur 1 is een voorbeeld van wat hij gewend was,

een redelijk vlakke lijn; figuur 2 vertoont veel variatie.) De spanning op de plastic slang in de bufferopslag vertoont vreemde dips (figuur 3), vond Jim. Normaal gesproken zou Jim daar niet over vallen – veel variatie komt wel vaker voor, maar omdat er nu een probleem was, deelde hij zijn observatie met de ingenieur die het verder uitzocht met het onderhoudsteam. Het bleek dat de kogel-lagers in het bewuste gedeelte van de machine (figuur 4) versleten waren waardoor de spanning op de slang niet constant was. Jim had geen idee van de natuurkundige en chemische gevolgen hiervan, maar door zijn tip heeft hij het bedrijf wel veel geld bespaard!

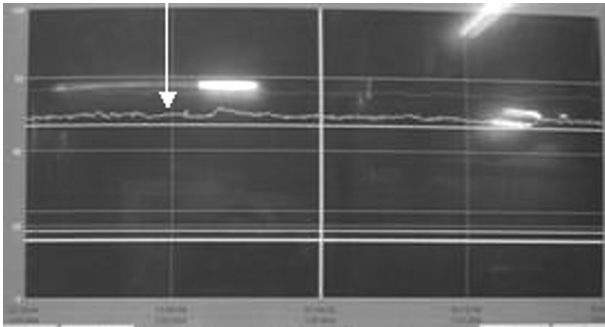


fig. 1 Historische data van een stabiele spanning op de plastic slang. De verticale as voor deze variabele loopt van 0 – 100% en de horizontale as vertoont een periode van vijf uur. De pijl geeft aan welke lijn de spanning weergeeft. De andere lijnen geven andere variabelen weer, met mogelijk andere eenheden en schalen

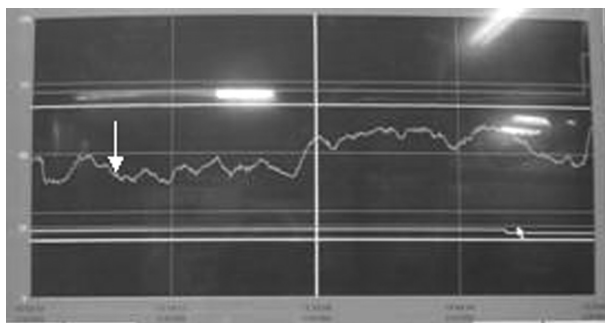


fig. 2 Historische spanningsdata met veel meer variatie

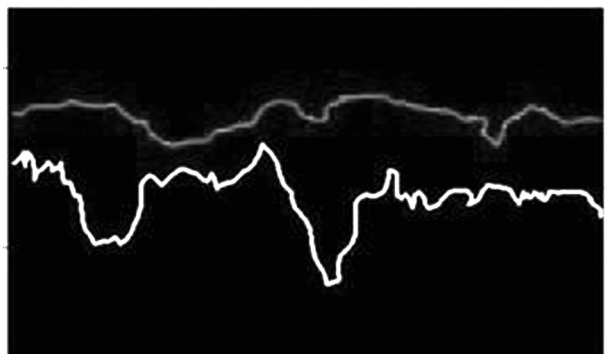


fig. 3 De dips die Jim ontdekte in de grafiek van de spanning op de slang in één van de plekken (de onderste lijn). De schaal loopt hier van ongeveer 10 - 30%.



fig. 4 De plek in het productieproces waar de spanning op de slang (hol maar plat) erg variabel was

## Voorbeeld 2: te weinig variatie

Kort nadat we over het eerste voorbeeld hadden gehoord, vertelde de ingenieur ons over een ander probleem dat Jim had helpen oplossen. Wederom barstte de bel erg vaak, zoals te zien is aan de wilde variatie in figuur 5 op ongeveer een kwart en aan het einde van de periode van vijf uur.

Toen Jim de grafieken van een ander deel van het productieproces bestudeerde, zag hij iets wat hij nog nooit gezien had bij een van de motoren die plastic in de machine voeden: er is altijd wel enige variatie in de omwentelingen per minuut, maar de grafiek van een van de drie schroefmotoren vertoonde op twee plekken een recht stuk! Wederom vertelde hij zijn ontdekking aan de ingenieur, die het onderhoudsteam ernaar liet kijken, dat weer ontdekte dat de motor de verkeerde kant op draaide en daardoor een onrealistisch constante waarde aangaf.

Dat is dus het omgekeerde probleem van het eerste voorbeeld, waar juist teveel variatie was. Hier waren de rechte stukken 'te mooi om waar te zijn', zoals hij zei.

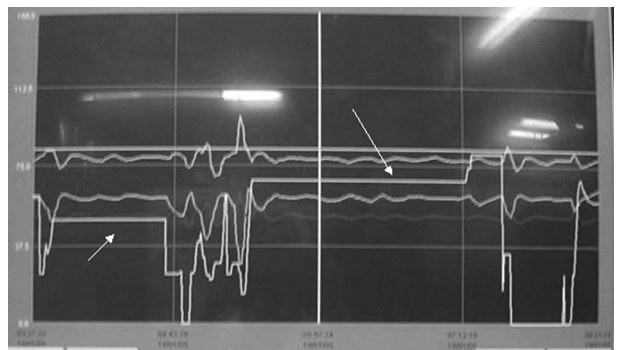


fig. 5 Grafiek van omwentelingen per minuut van de motor die de verkeerde kant op draaide. De pijlen geven aan waar de rechte stukken zijn waar het om ging. De wilde variatie op een kwart van de tijd werd veroorzaakt door het barsten van de bel. De bovenste rechte lijn is de ingestelde waarde ('set point'); die hoort constant te zijn.

Toen de ingenieur ons eenmaal verteld had waar we op moesten letten in deze grafieken, leek het zo simpel: in het tweede voorbeeld is het toch raar dat er ineens twee rechte stukken te zien zijn? Wij hebben ons daarom lange tijd afgevraagd hoe bijzonder Jims probleemoplossend vermogen nu eigenlijk was en legden deze vraag aan de ingenieur voor. Zij (inderdaad, een van die weinige vrouwen op die afdeling) heeft ons er toen van overtuigd dat dit vermogen toch wel bijzonder is. Ten eerste weten lang niet alle werknemers dat er op dit scherm *set points* en *RPM's* (rotaties per minuut) te zien zijn. De *set points* zijn te zien als rechte lijnen, want die geven de ingestelde waarden aan (in figuur 5 is dat bijvoorbeeld de bovenste dikke lijn rond 75%). Ten tweede hebben lang niet alle werknemers op de werkvloer de gewoonte ontwikkeld om grafieken te gebruiken bij het oplossen van problemen: de gekleurde lijntjes op de schermen zeggen hen niet zoveel. Tot slot hebben de ingenieur en het onderhoudsteam geen tijd om alle problemen op te lossen. Zij verwachten dus dat *shift leaders* en *supervisors* zelf ook de historische gegevens bestuderen als er een probleem is – zeker tijdens nacht- en weekenddiensten.

## Afsluiting

Met onze voorbeelden willen we illustreren dat technisch-wiskundige geletterdheid heel nuttig en misschien wel onmisbaar kan zijn op de werkvloer. Waarom spreken we bij deze voorbeeldencombinaties van technisch-wiskundige geletterdheid? Wiskundig gezien is in de voorbeelden niet veel kennis vereist: Jim redeneert in termen van vlakke lijnen en ‘dips’, hij weet hoe hij het computersysteem kan raadplegen en hij kent het productieproces. Het gaat hier dus om een integratie van wiskundige en computervaardigheden met de kennis van de complexe werkcontext. Door onze onderzoeksvragen waren we vooral geïnteresseerd in wiskundige aspecten van Jims probleemoplossend vermogen, maar het spreekt vanzelf dat ook natuurkundige en chemische kennis een belangrijke rol spelen bij het produceren van plastic folie.

Onze voorbeelden over grafiekgebruik op de werkvloer verschillen van Roths (2003) observaties. De wetenschappers die Roth onderzocht, keken als het ware door grafieken heen naar het fenomeen dat ze onderzochten, alsof de grafieken transparant waren. Dit gold niet voor Jim. Hij wist in geen van beide gevallen wat er precies aan de hand was – hij zag niet het productieproces door de grafieken heen. Wel zag hij eigenschappen van de grafiek (teveel variatie, te weinig variatie) als indicaties dat er iets mis was met die specifieke variabele. De kennis

van de ingenieur en het onderhoudsteam moest eraan te pas komen om te zien wat er precies mis was. We karakteriseren Jims grafiekgebruik daarom niet als transparant, maar als *indicatief*.

Met onze voorbeelden wilden we illustreren hoe technisch-wiskundige geletterdheid verschilt van wat leerlingen op school leren bij wiskunde. We willen niet de denkfout maken dat alles wat nodig is op de werkvloer op school geleerd zou moeten worden: scholen leiden op tot meer dan alleen werk. Bovendien is er zoveel variatie in wat er vereist is in verschillende banen, dat we niet iedereen kunnen voorbereiden op wat men precies nodig heeft. Wel lijkt het ons nuttig als leerlingen ondervinden dat ze, net als Jim, door grafieken te lezen echte problemen kunnen oplossen.

*Arthur Bakker, Celia Hoyles,  
Phillip Kent & Richard Noss  
Institute of Education,  
University of London*

## Literatuur

- Hoyles, C., A. Wolf, S. Molyneux-Hodgson & P. Kent (2002). *Mathematical skills in the workplace*. London: Science, Technology and Mathematics Council.
- Leinhardt, G., O. Zaslavsky, & M. K. Stein (1990). Functions, graphs, and graphing: Tasks, learning, and teaching. *Review of Educational Research*, 60(1), 1-64.
- Roth, W.-M. (2003). Competent workplace mathematics: How signs become transparent in use. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 8, 161-189.
- Roth, W.-M., & G. M. Bowen (2003). When are graphs worth ten thousand words? An expert-expert study. *Cognition and Instruction*, 21(4), 429-473.
- Steen, L. A. (2004). Quantitative literacy: Why numeracy matters for schools and colleges. In B. Madison & L. A. Steen (Eds.) Washington, DC: Mathematical Association of America, , 53-74.

## Noot

- [1] Het project *Understanding the system: Techno-mathematical Literacies in the workplace* wordt gesubsidieerd door het Teaching and Learning Research Programme (TLRP) van de Economic and Social Research Council (ESRC) van het Verenigd Koninkrijk. Website: [www.ioe.ac.uk/tlrp/technomaths](http://www.ioe.ac.uk/tlrp/technomaths). Contactadres: [a.bakker@ioe.ac.uk](mailto:a.bakker@ioe.ac.uk).