

Prof. Dr. H.C. Hamaker, Shewhart Medalist!

Ir. F.G. Willemze *)

Hamaker zet op voortreffelijke wijze zijn bijdrage aan toegepaste statistiek en "quality control" uiteen in zijn hier gepubliceerde "Acceptance Address". De redactie heeft mij gevraagd daarbij enkele kanttekeningen te maken ter verduidelijking voor diegenen die de ontwikkeling direct na de 2e wereldoorlog niet hebben meegemaakt en voor die statistici en geïnteresseerden uit andere toepassingsgebieden. Ik doe dat gaarne.

Relatie tot de pioniers in Nederland

Hamaker behoort niet tot de kleine groep van enthousiaste amateurs die al voor 1940 aandacht schonken aan en publiceerden over industriële toepassingen van de statistiek, zoals Geiss, de Jong en van Ettinger. Zijn kracht heeft altijd gelegen - hoewel zelf geen mathematisch statisticus - in het vertalen en toegankelijk maken van de wiskundige statistiek voor de gebruikers in de industrie, *wanneer zij dat nodig hadden*. Dan werkte hij mee aan een oplossing, die zo werd ontwikkeld dat een veel ruimer toepassingsgebied werd ontsloten. Heel duidelijk is dat te demonstreren aan zijn bijdrage in het vergelijken van steekproefschema's en -systemen.

Hij is daarmee de leermeester geworden van enige generatie gebruikers van de toegepaste statistiek.

Vergelijken van steekproefschema's en -systemen

Tijdens de 2e wereldoorlog werden o.a. in U.S.A. en U.K. steekproefsystemen ontwikkeld in verband met de sterk toegenomen uitbesteding en toelevering van onderdelen en producten, die in grote hoeveelheden vervaardigd werden en veelal door ongeschoold personeel werden gemonteerd. Een 100% - controle was meestal onmogelijk of te kostbaar en dus moest men zich baseren op steekproefresultaten, welker interpretatie oorspronkelijk zeer subjectief was. Het was niet ongebruikelijk dat de eindcontrole van de toeleverancier geen enkele relatie vertoonde met de ingangscontrole van de ontvanger. Wél had men geleerd dat foutloos produceren en afleveren onder de gegeven omstandigheden een onrealistische eis was. Dus werden toegestane uitvalpercentages afgesproken, die dan in steekproefvoorschriften moesten worden gerealiseerd en daar begon de

*) organisatie-adviseur o.o.a., Rijnlaan 13, Son.

narigheid dan pas goed.

Een belangrijk hulpmiddel bij deze afspraken is de keuringskarakteristiek (Operating Characteristic; O.C.-curve) geworden. Deze keuringskarakteristiek geeft het verband aan tussen het zich in de partij bevindende uitvalpercentage (percentage foutieve producten, dat dus onbekend is in het geval van partijkeuring): $100p$ en de kans om de partij te accepteren (goedkeurkans): P bij een gegeven steekproefvoorschrift. Dat steekproefvoorschrift kan zeer simpel zijn (enkelvoudig schema) bijv. keuren van een steekproef ter grootte n en accepteren als er c of minder foutieve producten in de steekproef worden gevonden (c = criterium). Een dergelijke combinatie van n en c wordt steekproefschema genoemd.

Het blijkt dat elk schema een specifieke O.C.-curve bezit en dat bij elke O.C.-curve maar één (enkelvoudig) schema behoort. Figuur I geeft een voorbeeld van een O.C.-curve voor $n = 100$ en $c = 3$.

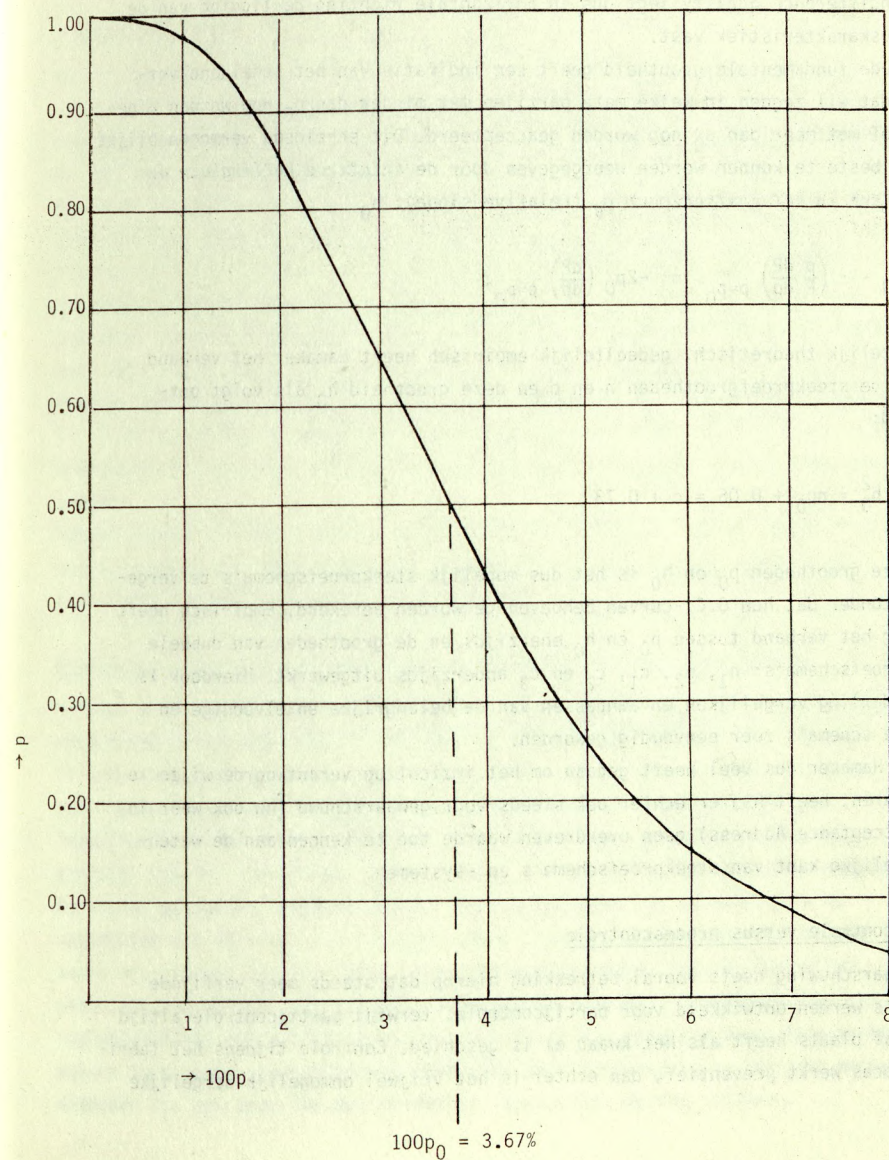
Indien er vanuit wordt gegaan dat de steekproef verwaarloosbaar is ten opzichte van de partij kunnen deze O.C.-curves op eenvoudige wijze met de formule van Poisson worden berekend.

Een dergelijk enkelvoudig schema blijkt voor zeer goede en zeer slechte partijen niet erg efficiënt te zijn. Daarom zijn passende maar meestal ook meer ingewikkelde schema's ontwikkeld, bijv. keur eerst een steekproef van n_1 stuks, accepteer bij c_1 of minder defecte producten en keur af bij meer dan c_2 defecte producten. Bij constatering van meer dan c_1 en minder of gelijk c_2 defecte producten moet een tweede steekproef n_2 worden gekeurd en indien in $n_1 + n_2$ c_3 of minder defecte producten worden aangetroffen wordt alsnog goed-gekeurd maar bij meer dan c_3 defecte producten volgt definitieve afkeuring. Al naar behoefte kunnen meer-getrapte schema's worden ontworpen. Steeds geldt dat ook nu O.C.-curves kunnen worden berekend, die alle het zelfde karakter vertonen dat wil zeggen dat bij elk enkelvoudig schema steeds een meer gecompliceerd schema kan worden gevonden dat de (vrijwel) zelfde O.C.-curve bezit. Het geniale van Hamaker is geweest dat hij een paar fundamentele grootheden heeft ontwikkeld waardoor een keuringskarakteristiek (O.C.-curve) kan worden gekarakteriseerd, steekproefschema's kunnen worden vergeleken en aan elkaar kunnen worden aangepast.

Dit laatste door de meer ingewikkelde schema's via de (practisch) gelijke O.C.-curve te herleiden tot gelijkwaardige enkelvoudige schema's.

In de keuringskarakteristiek is altijd een zodanig uitvalpercentage aan te geven, dat een partij die dit percentage bezit bij het gegeven steekproefschema (n en c) juist 50% kans heeft om te worden geaccepteerd of verworpen ($P = 0.50$). Dit percentage wordt "Indifference Quality" of controlepunt

Figuur I Keuringskarakteristiek: $n = 100$; $c = 3$



= $100p_0$ genoemd (zie figuur I).

Het voert te ver om alle eigenschappen van dit controlepunt te bespreken.

Hamaker heeft aangetoond dat voor een enkelvoudig schema geldt:

$np_0 = c + 0.67$. (p en p_0 zijn fracties, geen percentages.)

Deze indifference quality legt dus in horizontale richting de ligging van de keuringskarakteristiek vast.

De tweede fundamentele grootheid geeft een indicatie van het scheidend vermogen dat wil zeggen in welke mate partijen met minder dan p_0 nog worden afgekeurd of met meer dan p_0 nog worden geaccepteerd. Dit scheidend vermogen blijkt nu het beste te kunnen worden weergegeven door de *relatieve helling van de O.C.-curve in het controlepunt p_0* (relative slope): h_0

$$h_0 = - \left(\frac{p}{p} \frac{dp}{dp} \right)_{p=p_0} = -2p_0 \left(\frac{dp}{dp} \right)_{p=p_0}.$$

Gedeeltelijk theoretisch, gedeeltelijk empirisch heeft Hamaker het verband tussen de steekproefgrootheden n en c en deze grootheid h_0 als volgt ontwikkeld:

$$\frac{\pi}{2} h_0^2 = np_0 + 0.06 = c + 0.73.$$

Via deze grootheden p_0 en h_0 is het dus mogelijk steekproefschema's te vergelijken zonder dat hun O.C.-curven behoeven te worden berekend. Empirisch heeft Hamaker het verband tussen p_0 en h_0 enerzijds en de grootheden van dubbele steekproefschema's: n_1 , n_2 , c_1 , c_2 en c_3 anderzijds uitgewerkt. Hierdoor is het onderling vergelijken en aanpassen van de belangrijke enkelvoudige en dubbele schema's zeer eenvoudig geworden.

Hoewel Hamaker dus veel heeft gedaan om het inzicht op verantwoorde wijze te verbeteren, heeft hij er echter ook steeds voor gewaarschuwd (nu ook weer in zijn Acceptance Address) geen overdreven waarde toe te kennen aan de wetenschappelijke kant van steekproefschema's en -systemen.

Partijcontrole versus procescontrole

Deze waarschuwing heeft vooral betrekking hierop dat steeds meer verfijnde schema's werden ontwikkeld voor partijcontrole, terwijl partijcontrole altijd achteraf plaats heeft als het kwaad al is geschied. Controle tijdens het fabricageproces werkt preventief, dan echter is het vrijwel onmogelijk dergelijke

verfijnde schema's toe te passen en is men aangewezen op methoden die een grovere indicatie maar wel veel eerder geven. Controlekaarten, inspectogrammen in uiterst simpele vorm zijn dan te prefereren. Helaas valt daar weinig meer aan te "rekenen".

Industriële toepassing van "design of experiments"

Wat uitvoerig is ingegaan op het vergelijken van steekproefschema's en -systemen - voor velen misschien een achterhaalde materie - als voorbeeld van de werkwijze en steun die Hamaker zeer practisch aan de amateur-statistici in "Quality Control" heeft gegeven.

Een ander voorbeeld betreft het ontwerpen van statistisch verantwoorde proefschema's in de *industriële praktijk*. "Design of experiments" werd oorspronkelijk ontwikkeld (meen ik) voor agrarische toepassingen waar de spreiding in waarnemingsresultaten relatief groot is. In de industrie is de meetnauwkeurigheid over het algemeen erg hoog en de procesnauwkeurigheid vaak gering, maar soms sterk fluctuerend. In tegenstelling tot de agrarische praktijk kunnen proeven vaak snel worden herhaald onder veelal controleerbare omstandigheden. Dit alles maakt dat de gebruikelijke schema's niet zonder meer bruikbaar waren. Soms waren de resultaten zo evident dat ingewikkelde schema's niet nodig waren geweest.

Hamaker heeft ook hier de over-enthousiaste amateurs het juiste gevoel bijgebracht, veelal met heel simpele hulpmiddelen. Dat blijkt onder anderen in zijn werk in normalisatie en standaardisatie.

Bevorderen van standaardisatie binnen statistiek en "quality control"

Al heel vroeg stootte Hamaker op het gebrek aan standaardisatie in wiskundige statistiek en quality control. In 1951 verscheen voornamelijk van zijn hand "V 1047: weergegeven van waarnemingsreeksen", dat in de loop der tijd haar werking heeft gehad. Van later datum is zijn discussie ten aanzien van "repeatability" en "reproducibility". Begrippen die ook in de industriële praktijk steeds belangrijker worden, bijv. bij het certificeren van producten. Eenvoudig gezegd is repeatability (= herhaalbaarheid) de spreiding in de uitkomsten die ontstaat als metingen onder "gelijke omstandigheden" worden herhaald: vroeger ook wel "meetnauwkeurigheid" genoemd, dus met hetzelfde materiaal, hetzelfde gereedschap, dezelfde persoon enz. Daarentegen is bij reproducibility wel materiaal en meetmethode gelijk gehouden maar deze metingen worden juist onder verschillende omstandigheden uitgevoerd, waarbij de omstandigheden wel aan dezelfde definities en instructies moeten voldoen.

Leermeester van velen

"I am first and foremost a scientist, not a manager" zegt Hamaker in zijn Acceptance Address. Maar dan wel een scientist die de manager aansprak, die hun problemen simplificeerde en naar aanleiding van die problemen in de theorie dook om tot statistisch verantwoorde en technisch relevante oplossingen te komen.

Uit heel het Acceptance Address spreekt de scientist die de pragmatiek beleefde, die altijd vertaalde in begrijpelijke termen en die simplificatie hoog in het vaandel schreef; de "theoreticus" die enthousiaste amateur-statistici in het spoor van de pragmatiek wist te houden.

Zo heeft hij generaties gebruikers via colleges, voordrachten en vooral directe hulp opgeleid en daardoor een esetiële bijdrage geleverd (en dat doet hij nog steeds) aan de doelmatigheid van bedrijven.