

WISKUNDIGE STATISTIEK ALS WERKTUIG

OPENBARE LES

UITGESPROKEN OP 12 MEI 1953 BIJ DE
AANVAARDING VAN HET LECTORAAT
IN DE WISKUNDIGE PROEFTECHNIEK
AAN DE LANDBOUWHOGESCHOOL TE
WAGENINGEN

DOOR

IR S. H. JUSTESEN



H. VEENMAN & ZONEN - WAGENINGEN

1783327

1870

1871

1872

1873

1874

1875

1876

1877

1878

1879

1880

1881

1882

1883

1884

1885

1886

1887

1888

1889

1890

1891

1892

1893

1894

1895

1896

1897

1898

1899

1900

1901

1902

1903

1904

1905

1906

1907

1908

1909

1910

1911

1912

1913

1914

1915

1916

1917

1918

1919

1920

1921

1922

1923

1924

1925

1926

1927

1928

1929

1930

1931

1932

1933

1934

1935

1936

1937

1938

1939

1940

1941

1942

1943

1944

1945

1946

1947

1948

1949

1950

1951

1952

1953

1954

1955

1956

1957

1958

1959

1960

1961

1962

1963

1964

1965

1966

1967

1968

1969

1970

1971

1972

1973

1974

1975

1976

1977

1978

1979

1980

1981

1982

1983

1984

1985

1986

1987

1988

1989

1990

1991

1992

1993

1994

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

2029

2030

2031

2032

2033

2034

2035

2036

2037

2038

2039

2040

2041

2042

2043

2044

2045

2046

2047

2048

2049

2050

2051

2052

2053

2054

2055

2056

2057

2058

2059

2060

2061

2062

2063

2064

2065

2066

2067

2068

2069

2070

2071

2072

2073

2074

2075

2076

2077

2078

2079

2080

2081

2082

2083

2084

2085

2086

2087

2088

2089

2090

2091

2092

2093

2094

2095

2096

2097

2098

2099

2100

Mijne Heren Curatoren van de Landbouwhogeschool, Dames en Heren Hoogleraren, Lectoren, Docenten, Wetenschappelijke Medewerkers, Dames en Heren Studenten, en voorts gij allen, die mij met Uw aanwezigheid vereert,

Dames en Heren,

Ik wil heden trachten U in kort bestek een schets te geven van de uiteenlopende gebieden van onderzoek waarop de wiskundige proeftechniek wordt toegepast, toegelicht met enkele sprekende voorbeelden. Dit aantal gebieden en de verscheidenheid der vraagstukken is in de laatste 30 jaar sterk gegroeid. Het is thans zo, dat men nauwelijks een publicatie, waarin kwantitatieve gegevens worden besproken, ter hand kan nemen, of men vindt daarin de conclusies gestaafd met behulp van standaardafwijkingen, regressie- en correlatie-coëfficiënten, betrouwbaarheidsintervallen en wat er zo meer behoort tot de taal der statistiek. Al moge het zijn dat dit wel eens wat overbodig lijkt en dat dezelfde conclusies ook wel verkregen zouden zijn zonder meer wiskunde toe te passen dan op de lagere school is opgedaan, het blijft een voordeel, dat toepassing van moderne methoden in zekere mate waarborgt tegen onjuiste conclusies. Zoals de ploeg en de eg onmisbare werktuigen zijn van de landbouwer, zo is de wiskundige proeftechniek het waardevolle werktuig van de landbouw-onderzoeker geworden.

De vrij plotselinge populariteit van de nieuwe methoden is m.i. in hoofdzaak terug te voeren tot twee omstandigheden. De eerste is, dat in 1908 door een thans klassieke publicatie van „Student” een haast onoverkomelijke hindernis voor de toepassing op een klein aantal waarnemingen werd opgeruimd, doordat daarin werd aangegeven op welke wijze de grotere onzekerheid verbonden aan kleine aantallen exact kan worden verdisconteerd. Voordien moest de nadruk, welke in de waarschijnlijkheidsrekening werd gelegd op de voorwaarde van een groot aantal gevallen, wel afschrikkend werken. Grote aantallen parallel-waarnemingen — na genoemde publicatie kunnen we zeggen van de orde van 30 of meer — waren immers bij de meeste proeven eenvoudig niet mogelijk.

Een tweede stimulerende factor was het werk van *R. A. Fisher*, die zich bij het landbouwproefstation „Rothamsted” speciaal wijdde aan de ontwikkeling van statistische methoden voor het landbouwkundig onderzoek. De tussen 1925 en 1946 verschenen 10 edities van zijn boek „*Statistical Methods for Research Workers*” en talrijke publicaties van hem en zijn leerlingen getuigen van de ontwikkeling die het vak in deze jaren doormaakte. Vooral de methode

der variantie-analyse, die in allerlei richtingen werd uitgebouwd, verspreidde zich in korte tijd over de gehele wereld en vond toepassing op vele gebieden van wetenschap. De in principe eenvoudige gedachtengang waarop zij berust geeft, ook aan degenen die onbekend moeten blijven met de wiskundige grondslagen, vertrouwen in het gebruik ervan.

In de landbouwwetenschap, biologie, genetica, medische wetenschap en economie is de wiskundige statistiek een instrument voor dagelijks gebruik geworden. De factor, die deze wetenschappen gemeen hebben is, dat men waarnemingen verricht aan levende organismen, individuen dus, die steeds in zekere mate een individuele reactie vertonen op wijzigingen van het milieu, dus ook op de opzettelijke wijzigingen, die het onderwerp van onderzoek zijn. Het is deze individuele reactie, die een element van onzekerheid brengt in alle conclusies die men uit het onderzoek trekt. De taak van de wiskundige proeftechniek is, aan de ene kant, aan te geven op welke wijze het onderzoek dient te worden ingericht, opdat de individuele variatie niet verward wordt met de gemeenschappelijke reactie, die wij willen leren kennen; aan de andere kant, de mate van onzekerheid van de conclusies aan te geven, zodat de onderzoeker weet welk vertrouwen hij in zijn bevindingen kan hebben.

Uit het voorafgaande volgt, dat indien men de individuele reactie kan beperken het onderzoek aan nauwkeurigheid en aan zekerheid wint. Dit is dan ook het eerste streven van de onderzoeker, die een zuiver wetenschappelijk probleem onder handen heeft. De fysioloog, die de werking van een hormoon-preparaat onderzoekt zal voor zijn onderzoek proefdieren kiezen van zoveel mogelijk dezelfde genetische afstamming, eenzelfde leeftijd, gelijk lichaamsgewicht enz. Het tegengestelde is het geval als het doel van het onderzoek is een goed gefundeerd advies aan de praktijk te geven. Voordat het uitgedokterde hormoon-preparaat zonder risico als recept kan worden voorgeschreven zal het voorzichtig moeten zijn beproefd op een zo uiteenlopend materiaal als mogelijk is.

Bij het veldproeven-onderzoek is deze omstandigheid een van de belangrijkste moeilijkheden. We kunnen de waarde van een bemestingsschema of van een aantal rassen van een landbouwgewas zeer nauwkeurig in een veldproef vaststellen; het is echter veel moeilijker op grond daarvan een advies voor een gehele landbouwstreek te geven. In Indonesië werd, om dit bezwaar op te vangen, bij het veldproeven-onderzoek een speciale vorm van proeven ingeschakeld, die bestond uit een serie kleine proefjes, verspreid over het landbouwgebied dat voor toepassing in aanmerking kwam. Herhaling van de proeven gedurende enkele jaren is verder nodig om over uitkomsten te beschikken bij verschillend seizoen-verloop. In Nederland ontwikkelde *Ir W. C. Visser* de methode der polyfactor-analyse mede op grond van dergelijke overwegingen.

Een andere bijzonderheid van dit soort onderzoek is, dat het meestal van belang is diverse groeifactoren gelijktijdig bij de proef te betrekken. Het is heden ten dage regel, dat men meer geïnteresseerd is in de zgn. *interacties* dan in de simpele *effecten* van de onderzochte maatregelen; het kan b.v. zijn dat een bepaald bemestings-schema pas tot zijn recht komt bij een gewijzigde grondbewerking, zodat het nodig is bij het onderzoek gelijktijdig met het bemestings-schema, de grondbewerking te variëren. De neiging bestaat daarom de veldproeven hoe langer hoe ingewikkelder te maken, een streven dat zonder een efficiënte opzet en statistische analyse al gauw kan leiden tot een chaotische verzameling gegevens, waaraan kop noch staart te herkennen zijn. Statistici hebben zich met veel vindingrijkheid geworpen op het probleem, hoe een groot aantal factoren is onder te brengen in een proef van redelijke afmetingen en toch een voldoende nauwkeurigheid te bereiken. Wij beschikken thans over een grote verscheidenheid van schema's voor dit doel.

Het voorgaande had in het bijzonder betrekking op proeven. Algemeener speelt de statistiek een grote rol bij wat men samenvattend het *voorspellen* kan noemen, een onderwerp waaraan de Nederlandse Statistische Vereniging onlangs haar jaarlijkse Statistische Dag heeft gewijd. Anders dan bij de waarzeggerij komen hier geen inspiratie verwekkende middelen, zoals kristallen bollen of het praecipitaat in een koffiekopje aan te pas. De gang van zaken is in het kort als volgt.

Ten einde b.v. te berekenen hoe hoog een dijk moet worden gebouwd om een redelijke beveiliging tegen vloed te leveren, kan men trachten de in het verleden waargenomen hoogwaterstanden te correleren met de factoren die hierop invloed uitoefenen, laten we zeggen, windrichting en windkracht. Lukt het nu om een regressieformule op te stellen, die berekende vloedstanden levert welke goed aansluiten bij de waargenomene, dan is er een redelijke basis voor het geloof, dat zij bij benadering ook zal kloppen voor andere dan de waargenomen waarden van de oorzakelijke factoren. Vult men nu in de formule uitzonderlijke waarden in voor de oorzakelijke factoren, dan kan men een schatting maken van de waterstand, die hiermee zou moeten samengaan. Maar meer dan dat: uit de frequentie waarmee de uitzonderlijke waarden in het verleden zijn voorgekomen, is ook een schatting te maken voor de kans op gelijktijdig optreden van de uitzonderlijke waarden en dus van de kans dat een zo hoge vloed zich zal voordoen. Aan de interessante voordracht van *Prof. Mazure* op genoemde Statistische Dag ontleen ik de mededeling, dat op een dergelijke wijze de hoogte van de dijken der Zuiderzeepolders zijn berekend. De hoogte en sterkte van onze zeedijken berusten in het algemeen niet op zulke beschouwingen; trouwens, uit een statistisch onderzoek van *Ir P. J. Wemelsfelder*

van 1939 blijkt dat het niet mogelijk is een maximale waterstand aan te geven, wél kan men de kans schatten op het overtreffen van een bepaalde waterstand.

De doeltreffendheid van dit soort voorspellingen hangt vooral af van de kracht van het verband tussen de beschouwde oorzakelijke factoren en het te voorspellen verschijnsel. Een voorbeeld van voorspellingen op lange termijn zijn die van het Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Djakarta betreffende de datum van het invallen van de natte moeson, die reeds sedert vele jaren worden uitgegeven. Het behoeft geen betoog, dat in een land waar de landbouw geheel beheerst wordt door het water-vraagstuk, deze voorspellingen van eminent belang zijn.

Tamelijk nieuw is de toepassing van wiskundige statistiek in de industrie. Het betreft daarbij in hoofdzaak de statistische kwaliteitscontrole en de keuring op kwaliteit van massa-artikelen.

In de hedendaagse industrie worden vaak zeer hoge eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van onderdelen, die in massa door een machine worden gemaakt. Het is ondoenlijk, of althans niet rendabel, deze alle stuk voor stuk te keuren; een statistisch onderzoek leert nu, hoe nauwkeurig de door de machine afgeleverde artikelen zijn; uit de waargenomen variaties berekent men de grenzen waarbinnen de afwijkingen van de norm, behoudens een kleine kans, moeten liggen. Men kan dan volstaan met periodiek een monstertje te controleren, het resultaat op een grafiek uit te zetten en zodoende het fabricatieproces in het oog houden. Afwijkingen van de instelling van de machine blijken onmiddellijk door te grote of te frequente afwijkingen op de grafiek. Een belangrijk voordeel van de methodiek is de eenvoud ervan; voor de controle is geen enkele speciale bekwaamheid nodig.

Bij de keuring van partijen gaat het er om uit een steekproef het gehalte aan af te keuren artikelen te bepalen. Statistische methoden gebaseerd op de binomiale kansverdeling of op de kansverdeling van Poisson, maken het mogelijk om bij iedere grootte van steekproef een grens aan te geven, waarboven (of zo nodig waar beneden) het gehalte niet zal liggen, behoudens een kans, die voorgeschreven kan worden. Zonder de kostbare en tijdrovende controle van elk artikel afzonderlijk kan de fabrikant op deze wijze een rationele garantie aan de afnemer aanbieden.

Een geheel nieuw terrein van toepassing is in de jongste wereldoorlog ontwikkeld; nl. hetgeen men in het Engels „operations-research” noemt en waarvoor *Ir Sittig* de benaming „beslissingskunde” heeft voorgesteld. Hiermee duidt men de onderzoekingen aan van statistici, die toegevoegd waren aan de staven van leger, vloot en luchtmacht, zowel bij de centrale hoofdkwartieren waar over strategie en tactiek werd beslist, als aan de fronten waar onmiddellijk gegevens werden verzameld over het effect van een of andere

wijziging in de strijdvoering of van het gebruik van een nieuw wapen. In hun boek „Methods of Operations Research” behandelen *P. M. Morse* en *G. E. Kimball* tientallen gevallen uit de krijgsvoering, waar een mathematische analyse leidde tot een rationele oplossing, waar men zich voordien met gissingen tevreden had moeten stellen. De vraagstukken bestrijken welhaast alle facetten van de oorlogsvoering: bescherming van convooien, jacht op vijandelijke onderzeeërs, gebruik van afweergeschut, strategische en tactische bombardementen en vele andere onderwerpen. Soms is de wiskundige behandeling uiterst eenvoudig en wordt alleen een objectieve instelling en de durf om een scherpe redenering toe te passen op gebrekkelijk lijkende gegevens vereist. Een interessant voorbeeld is het volgende. In 1941 en 1942 woedde ter zee de zgn. Slag om de Atlantische Oceaan, de strijd dus om het open houden van de aanvoerlijnen naar Engeland, tegen de uiterst gevaarlijke duikbootaanvallen van de Duitsers. Een simpele rangschikking van de gegevens omtrent de verliezen aan schepen, per aangevallen convooi, naar grootte van het convooi, aantal aanvallende duikboten en aantal beschermende oorlogsschepen leerde, dat als eerste benadering gold, dat het aantal getorpedeerde schepen evenredig is met het aantal aanvallende duikboten, omgekeerd evenredig met het aantal convoyerende oorlogsschepen en onafhankelijk van het aantal schepen in het convooi. Voorts was het aantal vernietigde duikboten evenredig én met het aantal aanvallende duikboten én met het aantal convoyerende oorlogsschepen. Berekent men nu hieruit de verhouding van het aantal tot zinken gebrachte duikboten tot het aantal getorpedeerde koopvaardij-schepen per aanval, dan blijkt die evenredig te zijn met het kwadraat van het aantal convoyerende oorlogsschepen. De aanbevolen oplossing, nl. vergroting van de convooien, waardoor meer oorlogsschepen ter bescherming konden worden toegevoegd, had een nog veel groter effect dan berekend was, doordat duikbootaanvallen zo riskant werden, dat een belangrijk aantal onderzeeërs van dit oorlogsterrein werden teruggetrokken.

Zoals het geval is met de meeste vindingen ten bate van het vernietigingsbedrijf van de oorlog bleken de methoden van „operations research” ook nuttig voor vreedzame doeleinden. Zij worden nu gebruikt bij de oplossing van minder macabere vraagstukken, zoals de keuze van plaats of inrichting van een fabriek, verkeersproblemen en dergelijke.

Een zeer bijzondere plaats neemt de wiskundige statistiek in met betrekking tot de erfelijkheidsleer. Hier geldt niet, dat „Students” oplossing van het probleem van kleine aantallen de weg vrijmaakte voor het gebruik van statistische methoden. Voordat de splitsingswetten van Mendel waren herontdekt en daarmee een revolutie in de erfelijkheidsleer inzette, was de statistiek de enige bruikbare methode om het verschijnsel van vererving objectief aan te tonen.

Nog sterker, belangrijke onderdelen van de statistische theorie werden ontwikkeld omdat zij voor erfelijkheidsstudies nodig waren; als voorbeeld noem ik slechts de regressie-coëfficiënt en χ^2 , het criterium voor de mate van aanpassing van empirische aan theoretische frequenties. Het was de grote statisticus *Karl Pearson*, die de erfelijkheidsleer van die tijd op een exact fundament plaatste. Na de opkomst van de nieuwe genetica is de betekenis van de statistiek echter niet afgenomen, hetgeen niet behoeft te verwonderen: het mechanisme dat het verschijnsel van erfelijkheid beheerst, de combinatie van genen, bleek een soort kansspel te zijn. Het ligt voor de hand, dat de waarschijnlijkheidsrekening — oorspronkelijk de leer van het kansspel — te hulp wordt geroepen bij de interpretatie van erfelijkheidsproeven. Wel is opvallend, dat wederom een groot mathematicus, *R. A. Fisher*, ook weer bij het ontwikkelen van wiskundige methoden voor het erfelijkheidsonderzoek zelf een der vooraanstaande genetici van zijn tijd werd. De statistiek en de erfelijkheidsleer hebben van deze combinatie groot voordeel getrokken.

In het voorgaande zijn enkele toepassingsgebieden van de wiskundige proeftechniek kort geschetst. Ik vraag thans Uw aandacht voor een probleem dat velen, wiskundigen zowel als natuurwetenschappelijke onderzoekers, heeft bezig gehouden, nl. of methoden berustende op een abstracte theorie — de waarschijnlijkheidsrekening — eigenlijk wel geschikt kunnen zijn voor waarnemingsmateriaal dat uit de levende natuur stamt. Bij vele methoden wordt uitgegaan van de veronderstelling dat de variërende waarnemingen zich groeperen volgens de bekende toevalskromme van Gauss, en dat alleen de schaarste aan waarnemingen oorzaak is, dat we die verdeling niet waarnemen. Een grappenmaker heeft eens gezegd, dat iedereen in de normale verdeling gelooft, de wiskundigen, omdat zij denken dat haar algemene geldigheid door de biologen is aangetoond en de biologen omdat deze menen, dat zij door de wiskundigen is bewezen. Zo staan de zaken niet meer. Uit eigen ervaring kan ik zeggen, dat degene die met veldproeven te maken heeft op dit punt al gauw argwaan krijgt en na enige tijd tot de conclusie komt, zeer vaak zo niet meestal, met niet normaal verdeeld materiaal te doen te hebben. Hij zal niet geneigd zijn om, als eens *Quetelet*, verrukt uit te roepen: „als men de gegevens maar rangschikt volgens grootteklassen, dan blijkt achter de schijnbare chaos de schoonste orde te heersen”, doch zich eerder bezorgd afvragen: „zijn de uitspraken, die ik doe op grond van aan tabellen ontleende kansgetallen eigenlijk wel wat waard?” Tenslotte zal hij zich waarschijnlijk troosten met de gedachte in ieder geval een objectieve maatstaf te gebruiken bij het vellen van een oordeel, en verder trachten de oorzaken van

de optredende onregelmatigheden op te sporen en waar mogelijk te elimineren.

Men zal misschien vragen, waarom men dan zo hardnekkig vasthoudt aan de normale verdeling. Het antwoord luidt, enerzijds, dat men dit ook niet altijd doet — ik kom hierop later terug — anderzijds, dat het waarnemingsmateriaal wel kan doen twijfelen aan de kromme van Gauss, maar dat meestal een basis ontbreekt voor de veronderstelling van een andere verdeling; de proefgegevens zijn bijna steeds volslagen ontoereikend om daaruit de ten grondslag liggende verdeling te bepalen.

Het ligt voor de hand dat getracht is na te gaan of de fouten die men maakt door de onjuiste hypothese te handhaven ernstig zijn. Langs empirische weg kan dit geschieden door uit te gaan van een zeker niet normale verdeling, hieruit een groot aantal steekproeven trekken en nagaan of de grootte die men onderzoekt, b.v. het gemiddelde, in de steekproeven belangrijk anders verdeeld is, dan bij normaal materiaal.

Het heeft aan dergelijke onderzoeken niet ontbroken. *Eden* en *Yates* vermelden in een artikel van 1933, dat de reeds eerder genoemde verdeling van *Student* is onderzocht voor steekproeven uit driehoekige, rechthoekige en zelfs U-vormige verdelingen. Het hoeft niet te verwonderen, dat in dergelijke bizarre gevallen geen bevredigende overeenstemming is gevonden; genoemde auteurs concluderen terecht dat zij geen verband houden met de onregelmatigheden, die de proefnemer in de practijk kan verwachten tegen te komen. Zij zelf onderwierpen een voor de variantie-analyse fundamentele grootte, Fishers „z”, aan een onderzoek op de volgende wijze. Het uitgangsmateriaal bestond uit hoogte-metingen van 256 tarweplanten; ten gevolge van het zgn. plafond-effect, het verschijnsel nl. dat de planten in een veldje met een gemiddeld goede stand minder variëren dan die in een vakje met een slechte stand, vertoonde de verdeling een uitgesproken negatieve scheefheid. Het lijkt dus alsof de planten onder gunstige omstandigheden naderen tot een maximale waarde waarboven ze niet kunnen uitkomen, terwijl onder ongunstige voorwaarden de variatie-mogelijkheid ruimer is. Dit materiaal werd nu geheel behandeld als een gewone vakkenproef, door 4 fictieve objecten over de veldjes te verdelen in 8-voudige herhaling. Er zijn (24)⁸ of rond 10 miljard dergelijke verdelingen mogelijk, waarvan de schrijvers er 1000 willekeurig uitkozen en voor elk de waarde van „z” berekenden. De frequentie-verdeling van de 1000 waargenomen waarden van „z” werd nu vergeleken met de theoretische, die gebaseerd is op de veronderstelling dat het materiaal normaal is. Het resultaat was verrassend gunstig; de mate van aanpassing was niet slechter dan in I op de 3 gevallen uitsluitend op grond van het toeval te verwachten is. Mogen we aannemen dat de planthoogte een goede indicator is

voor de productie dan blijkt dus dat afwijkingen van een orde als in dit praktijkgeval werd waargenomen, weinig invloed hebben op deze grootheid.

Ook langs theoretische weg is dit probleem aangepakt. Het is niet mogelijk hierop in te gaan, ik wil alleen vermelden dat de resultaten tot voorzichtigheid manen: de benadering is goed mits de aantallen niet te klein zijn. We dreigen dus in zekere zin terecht te komen in de vóór-Student'se situatie, dat we toch met grote aantallen moeten werken. Toch ben ik van mening dat men ernstige fouten kan vermijden, mits men het object waarmee men werkt goed kent en bij het onderzoek voldoende kritisch blijft.

Een eenvoudig voorbeeld van het geval dat men kan vermoeden dat een transformatie van de waargenomen grootheid een betere aansluiting bij de normale theorie zal geven ontleen ik aan de techniek. De slijtage-weerstand van autobanden onderzoekt men door de te vergelijken banden op een aantal auto's te monteren en na verloop van tijd de hoeveelheid afgesleten rubber per 1000 km door weging of meting te bepalen. Het blijkt dan, dat de slijtage sterk afhangt van de wielpositie, doordat factoren als sturing, aandrijving, kleine onvermijdelijke verschillen in de afstelling van remmen en schokbrekers, alle invloed hebben op de mate van slippen en de slip tenslotte de slijtage veroorzaakt. Men kan deze invloed vrij goed elimineren door de banden beurtelings in alle wielposities te plaatsen, doch de nadelige invloed op de nauwkeurigheid wordt daarmee niet weggenomen. Is er nl. een verschil in slijtage-weerstand van twee banden, dan zal dit groter uitvallen in een wielpositie waar snelle slijtage plaats vindt dan in een positie waar deze klein is. Het gemiddelde verschil dat men waarneemt wordt dus belast met een grote fout. Men kan verwachten, dat slijtage-verhoudingen minder variabel zijn dan slijtage-verschillen, zodat het voor de hand ligt met de logaritmen van de slijtage-coëfficiënten te werken, hiertussen de gemiddelde verschillen te berekenen en deze tenslotte terug te transformeren in de oorspronkelijke eenheden. Men vindt dan de slijtage-verhoudingen nauwkeuriger bepaald dan direct uit de waarnemingen mogelijk is. Deze, en verschillende andere transformaties zijn in de proeftechniek van veel belang gebleken.

De meest radicale en wellicht ook meest belovende weg om aan de moeilijkheid van niet-normale verdelingen te ontkomen is, het ontwikkelen van methoden, waarbij t.a.v. de vorm van de kansverdeling in het geheel geen veronderstelling wordt gemaakt, zgn. parameter-vrije methoden. Men houdt zich al vele jaren hiermee bezig, maar deze richting in de proeftechniek is toch nog in volle ontwikkeling. Het is waarschijnlijk, dat deze methoden ook bij het landbouwkundig onderzoek veel toepassing zullen vinden. Aan de

hand van een eenvoudig voorbeeld moge ik het principe van de parameter-vrije methode demonstreren.

Stel dat men een nieuw spuitmiddel tegen aardappelziekte wil beproeven, waartoe men van een aantal veldjes, paarsgewijze op de akker gelegen, telkens één met het gebruikelijke, het andere met het nieuwe middel bespuit. Voor elk veldjespaar noteert men nu slechts of hetgene dat met het nieuwe middel werd behandeld meer of minder opbracht dan zijn buur. Is het nieuwe middel een aanwinst, dan moet er aanmerkelijk vaker „meer” dan „minder” zijn genoteerd; zijn de middelen vrijwel gelijkwaardig dan moet „meer” en „minder” ongeveer even vaak voorkomen. De uitdrukkingen „aanmerkelijk vaker” en „ongeveer even vaak” zijn natuurlijk te vaag om als grondslag voor een conclusie te dienen. Men kan ze echter door de volgende redenering preciseren. Indien de spuitmiddelen even effectief zouden zijn geweest — men noemt dit het stellen van de nul-hypothese — dan zijn andere, niet ter zake doende, oorzaken verantwoordelijk voor het verkregen aantal „meer” en „minder”. Heeft men er nu voor gezorgd dat alleen het toeval, b.v. door het werpen van kruis of munt, heeft uitgemaakt welk veldje van elk paar met het nieuwe middel werd behandeld, dan is ook alleen door het toeval de verdeling in „meer” en „minder” tot stand gekomen. Het is nu slechts een eenvoudig vraagstuk om uit te rekenen hoe groot de kans is om door het toeval van een gegeven aantal paren minstens het aantal malen „meer” te krijgen, dat in feite is waargenomen. Is die kans groot, dan wijst de uitslag niet op een verschil tussen de beide middelen, is zij klein dan zal men de nul-hypothese verwerpen. Welke kans klein genoeg is om de nul-hypothese te verwerpen, is geen statistisch vraagstuk; deze kans die tevens het risico aangeeft dat ten onrechte tot een verschil wordt geconcludeerd, moet de proefnemer zelf kiezen. Voor een juiste opzet van de proef, met name voor het bepalen van het minstens nodige aantal veldjesparen, is het noodzakelijk dat hij deze kans van te voren kiest; het gevaar bestaat anders, dat de verlangde verwerpingskans niet gehaald kan worden en dan is de proef vruchteloos.

Men kan het bezwaar maken, dat op deze wijze alleen eventueel wordt uitgemaakt dat het nieuwe middel beter is dan het oude, doch niet hoeveel effectiever het is, dus hoeveel kg per ha meer opbrengst daardoor werd verkregen. Het is daartoe echter alleen nodig de nul-hypothese te herzien. Zou het middel duurder zijn of onhandiger in het gebruik, dan heeft men slechts alle opbrengstverschillen te verminderen met een bedrag dat nodig is om dit bezwaar te compenseren, en dan de toets toe te passen op de nieuwe verschillen.

Er is bij het bovenstaande geen rekening gehouden met de grootte van de verschillen, doch alleen met hun teken. Het verwaarlozen van een zo belangrijk gegeven moet natuurlijk een verlies aan nuttig effect meebrengen, d.w.z. dat een groter aantal veldjesparen

nodig zijn om eenzelfde verwerpingskans te bereiken als wanneer de opbrengstverschillen wel bij de beoordeling waren betrokken. Dit is echter juist het essentiële van de parameter-vrije methode: door de grootte der verschillen te negeren vermijden we elke veronderstelling omtrent hun grootte-verdeling. De proefnemer zal moeten kiezen tussen twee mogelijkheden: of meer werk en kosten, maar minder gissen, of gemakkelijker tot conclusies komen, maar daartoe meer durven veronderstellen. De keuze zal natuurlijk afhangen van het risico dat het object toelaat, maar zeker ook van het temperament van de onderzoeker.

Dames en Heren,

Ik ben hiermede aan het einde gekomen van mijn rede, waarin ik getracht heb U een idee te geven van de markten waar de kramer in wiskundige statistiek zijn waren slijt en van de aard van de goederen die hij in zijn mars draagt. Het landbouwkundig onderzoek heeft in belangrijke mate geïnspireerd tot de ontwikkeling van deze praktische tak van wiskunde. Het is een mooi voorbeeld van hoe theorie en praktijk bevruchtend op elkaar kunnen inwerken.

Mijne Heren Curatoren van de Landbouwhogeschool,

Ik beschouw het als een eer, die mij grote verplichtingen oplegt, dat U mij heeft voorgedragen voor benoeming tot Lector aan deze Hogeschool. Ik zal mij ten zeerste inspannen om deze verplichtingen volledig in te lossen.

Dames en Heren Hoogleraren, Lectoren en Docenten,

Behalve een docerende taak behelst mijn opdracht het bevorderen van het gebruik van statistische methoden bij het landbouwkundig onderzoek. Voor dit deel van mijn taak zal Uw medewerking onmisbaar zijn. Ik moge de hoop uitspreken dat een intensieve samenwerking tot stand zal komen en dat deze niet uitsluitend tot mijnen nutte zal zijn.

Hooggeleerde Van Uven,

Met blijdschap grijp ik deze gelegenheid aan om van mijn diepe erkentelijkheid jegens U te getuigen. U leidde mij in, in de wetenschap, die mijn werkkring bepaalde. Uw gedegen en grondige colleges, waarin U de behandeling van moeilijke onderwerpen steeds wist aan te passen aan de wiskundige kennis van Uw toehoorders, heb ik altijd bewonderd. Met dankbaarheid gedenk ik ook de vele blijken van vriendschap die ik van U mocht ontvangen.

Hooggeleerde Kuiper,

Mijn werk zal ten nauwste met het Uwe samenhangen, waar de stof die ik voor de studenten zal behandelen bestaat uit praktische uitwerking van de kennis die zij bij U hebben opgedaan. De hartelijke wijze waarop U mij aan de Landbouwhogeschool heeft ontvangen is voor mij een borg, dat ik op Uw steun mag rekenen.

Waarde Van der Giessen,

Onder Uw uitmuntende leiding werkte ik in Indonesië bijna 20 jaar, jaren waarin het Algemeen Proefstation voor de Landbouw tot grote bloei kwam, doch waarin wij ook, als een der gevolgen van de verwoestende oorlog, een harde strijd moesten voeren tegen een, naar ik vertrouw, tijdelijke teruggang van deze instelling. Een hechte vriendschap, zoals zich tussen ons ontwikkelde, verrijkt het leven. Ik ben daar zeer dankbaar voor.

Mijne Heren Directeuren en Collega's van de Rubber-Stichting,

Aan de Rubberstichting kwam ik in aanraking met vraagstukken van een geheel andere aard dan waarmee ik in de landbouw te maken heb gehad. Ik heb daar veel van geleerd en ben verheugd dat aan mijn contact met U door mijn benoeming hier niet een einde is gekomen.

Dames en Heren Studenten,

Indien U mocht vrezen, dat ik U zal belasten met een aanzienlijke hoeveelheid wiskunde boven het reeds zo uitgebreide leerplan, dat bij de landbouwstudie nu eenmaal onvermijdelijk is, kan ik U geruststellen. De wiskundige proeftechniek is gebaseerd op de wiskunde waarvan U elders kennis heeft genomen.

Ik hoop in staat te zullen zijn U te tonen hoe nuttig het is bekend te zijn met moderne methoden van proefopzet en daardoor Uw belangstelling te wekken voor dit praktische vak.

Ik dank U voor Uw aandacht.