

September 2022

Vor 76 Jahren promovierte **GEORGE B. DANTZIG** (08.11.1914 - 13.05.2005)

George B. Dantzig (1914 - 2005)



Mathematica

Foto © Ed Souza / Stanford News

Die folgende Episode ist keine erfundene Geschichte - sie hat sich tatsächlich so zugetragen:

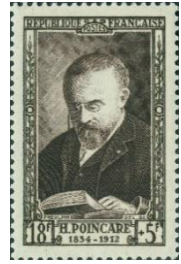
Es geschah im Jahr 1939, als **GEORGE BERNARD DANTZIG**, Doktorand an der *University of California* in Berkeley, zu der Statistik-Vorlesung seines Doktorvaters **JERZY NEYMAN** einige Minuten zu spät kam. An der Tafel standen zwei Probleme, die **DANTZIG** für Hausaufgaben hielt; er schrieb sie ab und beschäftigte sich einige Tage lang mit deren Lösung. Was er nicht wusste: Es handelte sich hierbei nicht um gewöhnliche Übungsaufgaben, sondern um zwei berühmte, bis dahin noch unbewiesene Theoreme der Statistik.

„Einige Tage später“, so erzählte **DANTZIG** später in einem Interview, „entschuldigte ich mich bei **NEYMAN** dafür, dass ich so lange gebraucht hatte, aber die Aufgaben schienen ein bisschen schwieriger zu sein als sonst. Ich fragte ihn, ob er sie trotzdem noch haben wolle. Er bejahte und sagte mir, ich solle sie ihm auf den Schreibtisch legen. Ich zögerte, denn der Schreibtisch war mit einer solchen Fülle an Papieren bedeckt, dass ich befürchtete, dass meine Hausaufgaben für immer verloren sein würden. Ungefähr sechs Wochen später, gegen acht Uhr an einem Sonntagmorgen, wurden wir von jemandem geweckt, der an unsere Haustür hämmerte. Es war **NEYMAN**. Er stürmte mit den Papieren in der Hand herein, ganz aufgeregt. „Ich habe gerade eine Einleitung zu einem Ihrer Artikel geschrieben. Bitte lesen Sie sie, damit ich sie gleich zur Veröffentlichung abschicken kann.“ Einen Moment lang hatte ich keine Idee, wovon er sprach. Um es kurz zu machen: Das war der erste Hinweis für mich, dass etwas Besonderes an ihnen war.“

Als **DANTZIG** dann im folgenden Jahr bei **NEYMAN**, dem zum damaligen Zeitpunkt weltweit angesehensten Statistiker, nachfragte, welches Thema er für seine Doktorarbeit wählen könne, zuckte dieser mit den Schultern und sagte: „Legen Sie einfach Ihre Bearbeitungen der beiden Probleme in eine Mappe.“ - er würde sie als Doktorarbeit akzeptieren.

MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

GEORGE BERNARD DANTZIG wurde als ältester Sohn von TOBIAS DANTZIG und ANJA OURISSON in Portland (Oregon) geboren. Die Eltern hatten sich während des Studiums an der Sorbonne in Paris kennengelernt, wo sie u. a. Vorlesungen bei HENRI POINCARÉ hörten. Nach ihrer Heirat wanderten sie in die USA aus, wo sich der aus Litauen stammende TOBIAS DANTZIG wegen seiner Sprachprobleme zunächst durch Gelegenheitsarbeiten als Holzfäller und Straßenbauer einen bescheidenen Lebensunterhalt verdienen musste, bevor er an der Universität von Indiana einen Abschluss als Ph.D. in Mathematik erwarb; seine Frau absolvierte die Master-Prüfung in Französisch.



Die Eltern hatten sich überlegt, dass ihre Kinder bessere Chancen im Leben hätten, wenn sie ihnen Vornamen von berühmten Persönlichkeiten geben. So wurde der ältere Sohn GEORGE BERNARD genannt, in der Hoffnung, dass aus ihm einmal ein Schriftsteller würde (wie G. B. SHAW), der jüngere Sohn erhielt den Vornamen HENRI (wie H. POINCARÉ) - tatsächlich wurde auch dieser später Mathematiker.



Die Mutter arbeitete an der *Library of Congress* in Washington DC, der Vater lehrte Mathematik an verschiedenen Hochschulen: *Johns Hopkins* (Baltimore, Maryland), *Columbia University* (New York) und *University of Maryland*. 1930 veröffentlichte er ein Buch zur Entwicklungsgeschichte der Mathematik mit dem Titel *Number - The Language of Science*, das mehrfach nachgedruckt wurde (zuletzt 2005).

In den ersten Klassen hat GEORGE noch Schwierigkeiten mit der Mathematik, aber dank des väterlichen Trainingsprogramms mit täglichen Aufgaben, insbesondere aus der Geometrie, erzielt GEORGE schließlich Bestnoten.

Trotz der Berufstätigkeit beider Eltern steht der Familie nicht genügend Geld zur Verfügung, um ein Studium der Mathematik und der Physik an einer der Elite-Hochschulen zu finanzieren, und so beginnt GEORGE DANTZIG sein Mathematikstudium an der *University of Maryland*. Nach dem Bachelor-Abschluss wechselt er an die *University of Michigan*, wo er 1937 den Master-Degree erlangt. Der abstrakten Mathematik überdrüssig, nimmt er danach eine Stelle am *U.S. Bureau of Labor Statistics* an und wirkt an einer Studie zum Verbrauchsverhalten von Städten mit.

Bei dieser Tätigkeit entdeckt DANTZIG sein Interesse an statistischen Fragen und Methoden. 1939 fragt er bei JERZY NEYMAN von der *University of California* in Berkeley an, ob er bei ihm ein Doktorandenstudium anschließen könne (mit *teaching assistantship*), was dieser ihm ermöglicht. Und so kommt es eines Tages zu der anfangs beschriebenen Situation ...

Das Promotionsverfahren ist noch nicht abgeschlossen, als die USA in den Krieg eintreten. DANTZIG geht ans *Pentagon* in Washington und übernimmt eine Stelle als Leiter der Abteilung *Statistical Control* im Hauptquartier der *U.S. Air Force*. Dort muss er feststellen, dass den Militärs nur unzureichende Informationen über den tatsächlichen Bestand an Flugzeugen und deren Ausstattung vorliegen.

Er entwickelt ein Verfahren, um die benötigten Daten in allen Einzelheiten zu erfassen, vor allem, um eine detaillierte Auftragsvergabe vorzubereiten - bis hin zum Bedarf an Schrauben und Muttern.

Nach dem Krieg kehrt DANTZIG vorübergehend nach Berkeley zurück und erwirbt endlich den Doktorgrad. Ein Angebot der Universität, seine Arbeit dort fortzusetzen, lehnt er - nicht nur aus finanziellen Gründen - ab; die Möglichkeiten und Herausforderungen einer Arbeit bei der *Air Force* reizen ihn mehr.

Angeregt durch die Methode der *Input-Output-Analyse* des russisch-amerikanischen Mathematikers WASSILY LEONTIEF, der von 1931 an eine Professur an der *Harvard University* in Cambridge (Mass.) innehatte, sieht DANTZIG die Notwendigkeit, dieses eher statische Modell zu dynamisieren, außerdem so weit zu verfeinern, dass Hunderte, wenn nicht sogar Tausende von Aktivitäten und Positionen erfasst und optimiert werden - zur damaligen Zeit allerdings noch eine unvorstellbare rechnerische Herausforderung. Während seiner Arbeit im *Pentagon* erkennt DANTZIG, dass viele Entscheidungen in den Planungsverfahren nur aufgrund von Erfahrungswerten gefällt werden und nicht unter Berücksichtigung objektiver Kriterien, sodass nicht unbedingt *optimale* Ergebnisse erzielt werden. Oft lassen sich die zu erfüllenden Bedingungen (*Restriktionen*) mithilfe von linearen Ungleichungen beschreiben, und durch Festlegung einer *Zielfunktion* wird definiert, welches das Ziel einer Optimierung sein soll, beispielsweise Gewinnmaximierung oder Ressourcenminimierung.

DANTZIG entwickelt eine Planungsmethode, die im Deutschen als *Lineares Optimieren* bezeichnet wird - im Englischen als *linear programming*, wobei mit *programming* nicht das Programmieren im heute üblichen Sinne gemeint ist, sondern die im Militärwesen verwendete Bezeichnung für die Planung von Abläufen. Der Ausdruck *linear* bezieht sich auf die gewählte Modellierung durch lineare Funktionen.

Durch eine lineare Ungleichung wird im 2-Dimensionalen eine Halbebene definiert, im 3-Dimensionalen ein Halbraum. Werden mehrere Ungleichungen betrachtet, so entstehen entsprechend konvexe Polygone oder konvexe Polyeder - im n -Dimensionalen wird ein entsprechendes konvexes Gebilde als *Simplex* bezeichnet.

Beispiel: Aus den Restriktionen einer Sachsituation ergeben sich die linearen Ungleichungen $x \geq 0$; $y \geq 0$; $x + y \leq 5$; $0,5x + y \leq 4$; $3x + y \leq 12$.

Durch diese Ungleichungen ist das gelb gefärbte (konvexe) Flächenstück definiert. Jeder Punkt des konvexen Gebildes erfüllt alle gegebenen Ungleichungen. Ist dann die Zielfunktion im Sachzusammenhang durch die Gleichung $z(x, y) = 2x + y$ gegeben, dann nimmt diese Funktion mit zwei Variablen den größtmöglichen Wert an, wenn $x = 3,5$ und $y = 1,5$ ist, also wenn $2x + y = 8,5$, vgl. die rot eingezeichnete Gerade.

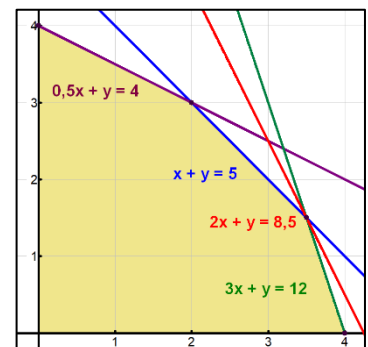
Diese Lösung findet man auf graphischen Wege, indem man wegen

$z(x, y) = 2x + y$ diejenige Gerade der Geradenschar g_a mit $y = g_a(x) = -2x + a$ mit größtmöglichem a ermittelt, die gerade noch durch einen Punkt des Polygons verläuft (ggf. mit einer Grenzgerade übereinstimmt). Allgemein kommen als Lösung dieses Optimierungsproblems nur Eckpunkte des Polygons infrage. Daher genügt es, die Werte der Zielfunktion in den Eckpunkten des Polygons zu bestimmen.

Im Falle von drei Variablen ist es oft schon schwierig, sich die Lage der Ebenen und ihrer Schnittpunkte vorzustellen, bei einem Simplex einer höheren Dimension entfällt die Anschauung ganz, und die Suche nach dem optimalen Eckpunkt kann zu einem rechnerisch sehr aufwendigen Problem werden.

DANTZIGs Lösung des Problems erfolgt durch Einführung von sog. *Schlupfvariablen* u, v, w , durch die aus dem System von Ungleichungen ein lineares Gleichungssystem erzeugt wird:

$x + y + u = 5$; $0,5x + y + v = 4$; $3x + y + w = 12$. Hierbei werden durch die Hilfsvariablen u, v, w nicht genutzte „Kapazitäten“ beschrieben.



Noch im Jahr 1947 erfindet DANTZIG eine systematische Methode zur *rechnerischen* Bestimmung der optimalen Lösung, den sog. *Simplex-Algorithmus*, über den er selbst urteilt: *The tremendous power of the Simplex Method is a constant surprise to me.*



Eine erste Verbesserung des Verfahrens erfolgt bereits Ende des Jahres, als DANTZIG nach Princeton fährt, um den Rat von JOHN VON NEUMANN einzuholen. Dieser geniale Mathematiker und Informatiker (vgl. die portugiesische



Briefmarke rechts) erkennt unmittelbar Analogien zwischen der Methode der linearen Optimierung und den von ihm und OSCAR MORGENSTERN in ihrem gerade veröffentlichten Buch *Theory of Games* dargestellten Algorithmen.

Im Laufe der Jahre gelingt es, die Suchverfahren noch erheblich weiter zu verbessern, insbesondere durch die Möglichkeit des Computereinsatzes. Auch andere Ansätze werden verfolgt, u. a. nicht-lineare Modellierungen, aber letztlich erweist sich die von DANTZIG entwickelte Methode des *linear programming* als hinreichend effektiv.

TJALLING C. KOOPMANS, Professor für *Research in Economics* an der Universität von Chicago, erkennt nach einem Gespräch mit DANTZIG die ökonomische Bedeutung des *linear planning*. Hieraus entsteht dann dessen *Theorie der optimalen Ressourcen-Verwendung*. Zur Verwunderung aller Experten geht DANTZIG leer aus, als 1975 KOOPMANS hierfür mit dem NOBEL-Preis für Wirtschaft ausgezeichnet wird – zusammen mit dem russischen Mathematiker LEONID WITALJEWITSCH KANTOROWITSCH, der ähnliche Ansätze bereits 1939 beschrieben hatte; diese werden jedoch erst zwei Jahrzehnte später im Westen bekannt. Der stets freundliche, seinen Mitmenschen zugewandte DANTZIG erträgt dies mit großer Gelassenheit und stellt durch unermüdliche Fortsetzung seiner Tätigkeiten seine hohe Kompetenz unter Beweis.

Nach seiner Arbeit bei der *Air Force* wechselt DANTZIG 1952 zur *RAND Corporation* in Santa Monica, um die computergestützte Umsetzung der Verfahren weiter zu entwickeln. 1960 übernimmt er in Berkeley eine Professur im *Department for Industrial Engineering* und gründet das *Operations Research Center*. Sein 1963 veröffentlichtes Buch *Linear Programming and Extensions* (Princeton University Press) wird zu dem Standardwerk der *linearen Optimierung*. Von 1966 an ist DANTZIG in Stanford tätig; unter anderem gründet er dort das *Systems Optimization Laboratory (SOL)*. Über 30 Jahre lang betreut er dort 41 Doktoranden, denen mit einem Abschluss bei DANTZIG glänzende berufliche und akademische Karrieren bevorstehen.

Für seine zahlreichen wissenschaftlichen Beiträge wird er vielfach durch Mitgliedschaften in Akademien und Ehrendoktorwürden geehrt, u. a. erhält er die *National Medal of Science* und den *JOHN VON NEUMANN Theory Price*. Die *Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM)* und die *Mathematical Optimization Society (MOS)* ehren den Wissenschaftler und seine Verdienste, indem sie alle drei Jahre den *GEORGE B. DANTZIG-PREIS* vergeben.

Wenige Wochen nach einer Festveranstaltung anlässlich seines 90. Geburtstags im Jahr 2004 verschlechtert sich sein Gesundheitszustand rapide; eine Diabetes-Erkrankung führt zusammen mit Herz-Kreislauf-Problemen zu seinem Tod.