

OSCAR BUNEMAN UND DIE ENTWICKLUNG VON TEILCHEN-METHODEN*

Rita Meyer-Spasche
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik,
EURATOM Association, 85748 Garching, Germany
meyer-spasche@ipp-garching.mpg.de

*Dedicated to Professor Rudolf Gorenflo
on the occasion of his 80th anniversary*

Zusammenfassung

Mathematical models for moving particles were developed first for studying the orbits of planets in a gravitational field (n-body problem). Later on the trajectories of charged particles in electric, magnetic and electromagnetic fields were studied. Today, numerical particle methods (Particle-in-Cell methods, mesh-free methods) are well-established computational methods for various applications, including the generation of computer graphics on playstations.

This talk will focus on the development starting in England at the universities of Cambridge and Manchester, UK, in cooperation with MIT, USA. It was avant-garde w.r.t. the development and implementation of algorithms and the usage of computers (mechanical desk calculators, analog computers, ..., super computers). A leading figure was Oscar Buneman (*1913 in Milan, Italy; +1993 at Stanford, USA), born to a mercantile family of Hamburg, Germany. He emigrated from Hamburg to Manchester in 1935 after being imprisoned by the Nazis. In 1960 he became professor of electrical engineering at Stanford University. He pioneered micro-wave technology (radar), numerical analysis, computational plasma physics and cosmic physics.

Mathematische Teilchen-Modelle wurden zunächst zum Studium von Bahnen von Himmelskörpern in Gravitationsfeldern (N-Körper-Problem) entwickelt. Dann folgte das Studium von Bahnen geladener Teilchen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Heute werden numerische Teilchen-Methoden (Particle-in-Cell Methods, Mesh-free Methods) für sehr viele sehr unterschiedliche Anwendungen benutzt, insbesondere auch zur Erzeugung von Grafik für PlayStations.

*slightly revised version of pp. 86 - 99 in: *Festkolloquium 'Rudolf Gorenflo, Fluide aus fraktionaler Sicht'*, Forum der Berliner Mathematischen Gesellschaft, Band **19** (2011)

In diesem Vortrag soll über denjenigen Entwicklungsstrang berichtet werden, der in England an den Universitäten Cambridge und Manchester (GB) in Kooperation mit MIT (USA) begann und bzgl. der Entwicklung und Implementierung von Algorithmen und der Benutzung von Rechnern immer Avantgarde war (mechanische Rechenmaschinen, Analogrechner, ..., Supercomputer). Hauptakteur der hier beschriebenen Entwicklung war in der entscheidenden Phase Oscar Buneman (* 1913 in Mailand, + 1993 in Stanford), der aus einer Hamburger Kaufmannsfamilie stammte. Er emigrierte 1935 von Hamburg nach Manchester, nach Absitzen einer Gefängnisstrafe wegen Anti-Nazi-Aktivitäten. 1960 wurde er in Stanford Professor of Electrical Engineering. Er war ein Pionier in MikroWellenTechnik (Radar), Numerik, Computational Plasma Physics und kosmischer Physik.

1 Motivation: Rudolf Gorenflo

Today we had a mathematical talk in English first, and then one in German. My talk will be in mixed language. I consider that adequate: the first talk I heard by Oscar Buneman was at Institut für Plasmaphysik in Garching, in November 1969. The talk was in English, but Buneman invited questions in German. Every time when there was a question in German, he answered in German. While answering, he turned to the blackboard to write down some formula or equation. While writing, he stopped talking, then mumbled in English what he was writing, turned back to the audience and continued answering in English. That happened four or five times.

Im Anschluss an diesen Plasmaphysik-Vortrag hat er noch Bemerkungen zu neuen Ideen zur Computer-Benutzung gemacht; außerdem hat er ein Dia gezeigt, wie er normalerweise in Californien arbeitet: nur mit Shorts bekleidet neben dem Swimming Pool im Innenhof seines Hauses am Computer sitzend. Heute kann das ja jeder, der einen Laptop hat. Aber Buneman konnte das schon 1969!

1.1 Rudolf Gorenflo 1969

Oscar Buneman hätte ich vermutlich nie kennengelernt, wäre ich nicht im Sommer 1969 Rudolf Gorenflo begegnet und durch ihn ans Institut für Plasmaphysik (IPP) gekommen. Wie vorhin schon Prof. Klein erzählt hat, war Rudolf Gorenflo von 1962 bis 1970 am IPP. Noch heute erinnern sich seine damaligen Kollegen gut an ihn. Er war auch nach 1970 mehrfach bei uns in Garching zu Besuch. Für Vorträge und mathematische Zusammenarbeit, und auch, um mit uns gemeinsam zu feiern. Als ich im IPP erzählte, daß wir hier heute seinen 80. Geburtstag feiern werden, hat die Wissenschaftliche Leitung in ihrer regulären Sitzung am vergangenen Montag beschlossen, daß ich hier heute die **Glückwünsche des IPPs** überbringen soll. Das tue ich natürlich sehr gerne.

Kennengelernt habe ich Rudolf so: Als 1969 in München mein erstes Staatsexamen in Mathematik und Physik anstand, fiel mir wieder ein: zu Zeiten meines Abiturs hatte ich 1962/63 im Studienführer der Universität Hamburg gelesen: *Jeder Student der Mathematik sollte während seines Studiums lernen, mit Computern zu arbeiten.* Diesen Studienführer hatte mir damals meine ältere Schwester mitgebracht, die zu der Zeit



Abbildung 1: Campus Garching, ca 2008 [29]

in Hamburg studierte. Weil ich während des Studiums nicht unter ihrer Aufsicht sein wollte, wählte ich andere Studienorte: Göttingen und München. Nach dem Examen war dieser Satz von Lothar Collatz plötzlich wieder da: ich hatte es versäumt. Als ich einem Kommilitonen davon erzählte, daß ich in den vom Kultusministerium erlaubten drei Jahren zwischen erstem Staatsexamen und Beginn des Referendardienstes in einem Industriebetrieb Erfahrungen sammeln möchte, was Mathematiker tun, die keine Lehrer sind und daß ich dabei an Computern arbeiten möchte, erzählte der: das IPP in Garching hat gerade eine IBM 360/91 gekauft, den momentan größten und schnellsten Computer weltweit, und da brauchen die sicherlich auch zusätzliche Mathematiker. Und gab mir die Telefonnummer von Dr. Hertweck, dem damaligen Leiter des Rechenzentrums. Als ich dort anrief, hieß es: ‘nein, hier ist er nicht, ich verbinde weiter’, ‘... nein, hier ist er nicht, ich glaube, ich weiss wo er ist, ich verbinde weiter’, und schließlich: ‘... ach, ich verbinde Sie stattdessen mit unserem Chefmathematiker Dr. Gorenflo, der kann Ihnen sicherlich auch weiterhelfen’. So wie wir Rudolf kennen, hat er nicht einfach geantwortet: ‘nein, eine offene Stelle haben wir nicht’, sondern mich sofort getröstet: ‘...sicherlich werden Sie etwas anderes finden, wo Sie Ihr Leben lang glücklich sein werden.’-‘ Ein Leben lang? Ich suche nur was für 3 Jahre ... ’- ‘Oh, das passt wunderbar in die Politik des Hauses. Prof. Schlüter möchte junge, kreative Wissenschaftler haben, die dann später Lehrer werden ...’. So bekam ich einen 3-Jahres-Vertrag, dem dann später ein unbefristeter Vertrag folgte. *Arnulf Schlüter (24. Aug. 1922 - 24. Juni 2011)* kannte Werner Heisenberg und Rudolf Mößbauer, die beide ihre nobelpreiswürdigen Arbeiten gemacht haben, als sie noch keine 30 Jahre alt waren¹. Er kannte damals aber natürlich nicht den *heutigen* Rudolf Gorenflo.

1.2 Gorenflo Papers, 1993 - 2011

Laut der von ihm autorisierten Liste auf den Fracalmo-Seiten [31] hat Rudolf Gorenflo bis heute insgesamt 176 Veröffentlichungen, 121 davon in den Jahren seit 1993. Bei den

¹Werner Heisenberg (Dez. 1901 - Febr. 1976); 1927 Prof. Uni Leipzig, 1932 Nobelpreis. Rudolf Mößbauer (* Jan. 1929), 1958 experimenteller Nachweis des Mößbauer-Effekts, 1961 Nobelpreis.

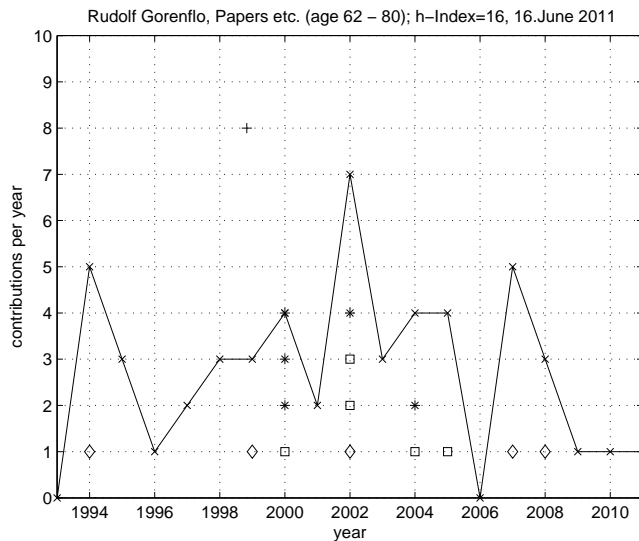


Abbildung 2: 52 Gorenflo Papers (1993 - 2011) and their citations according to all ISI-databases [30]: *: the five most cited, from 143 to 70 times; □: the five next ones (59 to 29 times); ◇: the 5 next ones, 26 to 17 times cited. +: Okt. 1998 Emeritierung.

Arbeiten seit 1993 hat er durchschnittlich 1.6 Ko-Autoren pro Arbeit, darunter 53 mal Francesco Mainardi und auch viele Male Yuri Luchko. Diese Arbeiten sind nicht nur Quantität, sondern auch Qualität: allein schon die im Jahre 2000 erschienenen Arbeiten sind laut ISI [30] bis heute mindestens 440 mal zitiert worden. 15 von seinen 16 meist-zitierten Arbeiten sind in den Jahren 1994 bis 2008 erschienen [30].

Rudolf Gorenflo hat die Erdős-Zahl 3 und die Einstein-Zahl 4.

Paul Erdős (1913 - 1996) war ein ungewöhnlich produktiver Mathematiker mit ungewöhnlich vielen Ko-Autoren [33]. Deshalb ist es unter Mathematikern sozusagen zum Volkssport geworden, die Erdős-Zahl zu bestimmen und dadurch Einsichten übers Publikationsverhalten zu sammeln [32]: Paul Erdős selbst hat die *Erdős-Zahl* 0, seine Ko-Autoren (511 Personen [33]) die Erdős-Zahl 1, deren Ko-Autoren die Erdős-Zahl 2 und deren Ko-Autoren die Erdős-Zahl 3. Rudolf ist also ein Ko-Ko-Ko-Autor von Erdős. Entsprechend läßt sich die *Einstein-Zahl* bestimmen. Dabei sollte beachtet werden, daß Einstein die Erdős-Zahl 2 hat [32].

Uns interessiert hier: in welchen Jahren hat Rudolf seine niedrigen Erdős- und Einstein-Zahlen erworben? Die Erdős-Zahl vielfach: mindestens in den Jahren 1991 - 2002 durch sieben gemeinsame Arbeiten mit Dang Dinh Ang, und zusätzlich noch in den Jahren 1997 und 1998 durch zwei gemeinsame Arbeiten mit Hari M. Srivastava; dieselben zwei Arbeiten mit Hari M. Srivastava brachten ihm auch die Einstein-Zahl 4 [31] (statt $5 = 3+2$).

2 Oscar Buneman und Teilchen-Methoden

Heute werden Teilchen-Methoden zur numerischen Simulation von multi-Skalen Phänomenen in sehr vielen sehr unterschiedlichen Anwendungen benutzt, wie z.B. zum Stu-

dium der Dynamik von Nano-Fluiden, der Ausbreitung von Schadstoffen in Luft und Wasser, der Dynamik von Galaxienhaufen, . . . und auch zur Erzeugung von Graphik für PlayStations [34, 9], [17, Chap.11]. Außerdem aber auch weiterhin zum Studium von Plasmen [22, 11, 18]. Allerdings wird da nicht mehr wie früher das gesamte Plasma durch Teilchen simuliert, sondern typisch werden zwei Plasma-Modelle zusammenschaltet: ein Teilchen-Code simuliert einzelne, besonders interessierende Teilchen vor einem Hintergrund-Plasma, das mit einem magneto-fluid-Code oder einem gyro-kinetic-Code simuliert wird [37, 23]. Auch die in der Fluid-Dynamik benutzten Vortex-Methoden sind algorithmisch eng verwandt [20]. Der hier betrachtete Entwicklungsstrang der heutigen Teilchen-Methoden begann in Manchester mit den Magnetron-Simulationen.

2.1 Vorgeschichte der Magnetron-Simulationen (vor 1940)

1987 fand in Princeton eine Tagung zur Geschichte des Wissenschaftlichen Rechnens statt [13]. Auf dieser Tagung beschrieb Oscar Buneman selbst diese Vorgeschichte so [14]: das 2-Körper-Problem im Gravitationsfeld war für Astronomen kein Problem, es konnte exakt gelöst werden. Das 3-Körper-Problem im Gravitationsfeld war [in gewissen Fällen] mit den eleganten Methoden des 19. Jahrhunderts unlösbar: sie benutzten Reihenentwicklungen. Die Benutzung von Differenzenverfahren entwickelte sich erst langsam. Størmer berechnete mit Differenzenverfahren die Bahnen von geladenen Teilchen im Erdmagnetfeld: *‘he earned pity, if not ridicule’*. Die Wende brachte das Entstehen anderer Physik, der Quantentheorie. Hier wurde das Modell gewöhnlicher Differential-Gleichungen durch ein Modell partieller Differential-Gleichungen ersetzt, nämlich durch die Schrödinger-Gleichung für die Elektronendichte und die Poisson-Gleichung für das elektrische Potential. Dadurch passten Feld und Teilchen-Dynamik besser zueinander. Zwar entstanden dann durch räumliche Mittelung wieder nichtlinear gekoppelte gewöhnliche Differential-Gleichungen, aber andere als vorher [14]. Die Entwicklung der numerischen Methoden für diese Quantenmechanik-Modelle in Zusammenarbeit von Cambridge und Manchester (GB) und MIT (USA) hat E. Jurkowitz im Detail geschildert [28].

2.2 Oscar Buneman (1913 - 1944) und Douglas Rayner Hartree (1897 - 1958)

Oskar Bünemann wurde 1913 in Mailand (Italien) geboren, wo sein Vater gemeinsam mit einem italienischen Kompagnon eine Firma hatte. Wegen des 1. Weltkriegs musste die Familie nach Hamburg zurückkehren, wo Oskar aufwuchs, Abitur machte und ein Studium von Mathematik und Physik begann, mit dem Ziel: Staatsexamen, Promotion und Lehramt. Er war gut mit *Emil Artin (1898 - 1962)* bekannt. Die beiden musizierten miteinander und begrüßten sich in der Uni durch Pfeifen von Melodien. Nach der Machtergreifung produzierte und verteilte Oskar Bünemann gemeinsam mit Freunden Anti-Nazi-Texte, wurde gefasst und zu 1 1/2 Jahren Jugend-Gefängnis verurteilt (siehe [27] und die dort zitierten Quellen). Am Tag nach seiner Entlassung aus der Haft, im September 1935, emigrierte er nach Manchester. Dies hat nach Aussage seiner jüngeren Schwester und seines Sohnes Michael sein Vater nach Beratung mit Emil Artin für ihn

arrangiert. An der Uni Manchester setzte er sein Studium fort. *Bachelor in Mathematics, Master in Applied Mathematics* und 1940 PhD bei Douglas Hartree. 1944 nahm er die britische Staatsbürgerschaft an. Seine Veröffentlichungen sind zunächst unter den Namen *Bünemann, Bunemann* oder *Buneman* erschienen, ab 1950 nur noch unter dem Namen *Buneman* [30].

Douglas Rayner Hartree (1897 - 1958) hatte in Cambridge bei Rutherford promoviert (Hartree-Fock Methode). 1929 - 1937 war er *Beyer Professor, Chair of Applied Mathematics*, 1937 - 1940 *Professor of Theoretical Physics*, 1940 - 45 *on leave, (Ministry of Supply)*, and 1945 *Professor of Engineering Physics* at U Manchester. 1946 - 1958 war Hartree *Plummer Professor of Mathematical Physics* in Cambridge. 1948, einige Monate, war er *Acting Director, Numerical Analysis Institute, National Bureau of Standards, UCLA* [21]. Hartree war so sehr Avantgarde bzgl. der Benutzung von Computern, daß er 1947 seine Antrittsvorlesung in Cambridge über den Einfluss von Computern auf die Mathematische Physik hielt. Zum allgemeinen Thema wurde dies erst um 1970 [24].

Mitarbeiter Hartrees waren auch *John Crank (1916 - 2006)* und *Charlotte Froese Fischer (* 1929; PhD 1957; Multi-Configuration Hartree-Fock Method)*. *Phyllis Lockett (1917 -1968; BSc 1938, MSc 1939, PhD 1946 in Manchester)* kam 1940 in Hartrees Forschungsgruppe, nachdem ihr späterer Mann Malcom Nicolson diese Arbeitsgruppe verlassen musste, weil er eingezogen wurde. Heirat und Namensänderung 1942, Geburt ihrer Tochter 1947. In ihrer Zusammenarbeit mit John Crank über numerische Methoden für die nicht-lineare Wärmeleitungsgleichung entstand das Crank-Nicolson Differenzen-Verfahren [38, 14], [21, pp. 124,131f]. John Crank: *'she was my student'* [8].

Als die Engländer nach Kriegsbeginn eine deutsche Invasion für möglich hielten, wurden deutschsprachige Emigranten interniert. Unter ihnen war auch Oskar Bünemann: zunächst auf der Isle of Man, dann in Canada. Der aus Wien emigrierte *Thomas Gold (1920 - 2004)* hat über diese Zeit später gesagt: *'He was a marvellous companion in those trying times. He was one of the very few non-Jewish refugees from Nazi oppression in the camp. Evidently he had strong principles and saw the Nazi hell that was being created.'* [16]. Als deutscher Nicht-Jude war er den Briten ganz besonders verdächtig, ein Spion zu sein. Gegen dieses ständige Mißtrauen schützte er sich dadurch, daß er darum bat, in der Gruppe der orthodoxen Juden leben zu dürfen [26]. Thomas Gold weiter: *'He and (Sir Herman) Bondi were the prime movers in the camp university and I certainly learnt a lot more from them than I would have, had I remained in Cambridge for those nine months'* [16].

2.3 Magnetron-Simulationen (1940 - 1944)

Nach 9 Monaten Lager wurde Bünemann entlassen, um in Hartrees Magnetron-Gruppe für die britische Armee (Ministry of Supply) mitzuarbeiten: numerische Simulation von Elektronenbahnen in Magnetrons. Das militärische Ziel dieser Untersuchungen war, mit den Magnetrons Radarstrahlung solcher Wellenlängen zu erzeugen, die die deutsche Luftwaffe nicht stören konnte.

Bekanntlich hängen die Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung von der Wellenlänge ab. Wir haben . . . , sichtbares Licht, Infrarot, Mikrowellen ($0.1 \text{ cm} \leq \lambda \leq 30$



Abbildung 3: Oscar Buneman [15, oscar.gif]

cm), Radio-Wellen. Radar-Wellen ($0.1 \text{ cm} \leq \lambda \leq 10 \text{ cm}$) sind spezielle Mikro-Wellen. Energiereich genug, daß sie noch gut erkennbare Echos von Gegenständen erzeugen, die mehrere hundert Meter oder sogar Kilometer entfernt sind.²

Um die Wellenlänge der Strahlung wählen zu können, mußte die Dynamik eines Elektronenstrahls in äußeren elektrischen und magnetischen Feldern verstanden werden. Da es nicht um die Bahnen einzelner Teilchen ging sondern um einen Strahl, mussten diese Untersuchungen *selbst-konsistent* durchgeführt werden, d.h. die Ladungsdichte des Strahls musste mitberücksichtigt werden. Um die Orbits von mehreren Hundert Teilchen selbst-konsistent zu berechnen, schrieb Hartree ein Programm, in heutiger Sprache mit goto-Sprüngen und Schleifen. Ausgeführt wurde Hartrees Programm durch die drei Mitarbeiter Oscar Buneman, Phyllis Lockett (Nicolson) und David Copley, einem Lehrer, auf drei Tischrechenmaschinen. Bei manchen dieser Rechnungen teilte Hartree die gesamten Elektronen so auf die drei Mitarbeiter auf, daß sie praktisch wie ein Parallel-Rechner arbeiteten. *‘Phyllis was always the fastest’* [14]. Der Analogrechner (‘Differential Analyser’), den sich Hartree kurz vorher hatte bauen lassen, erwies sich als nicht leistungsfähig genug für diese Rechnungen.

Besonders zu erwähnen bei diesen Rechnungen [14, 21]:

* Lösen der impliziten Gleichungen, die bei der Diskretisierung der Lorentz-Gleichung mit zeit-zentrierten Differenzen entstehen: hier fand Hartree einen eleganten Algorithmus, der später weiterhin bei Teilchen-Simulationen benutzt wurde.

² Die Mikrowellen-Öfen sind eine Zufallserfindung eines Magnetron-Ingenieurs: es wird berichtet, daß *Percy LeBaron Spencer* (* 1894 in Maine, + 1970 in Massachusetts) für die Firma Raytheon an der Verbesserung von Magnetrons arbeitete, als er ca 1945 plötzlich bemerkte, daß der Schokoladenriegel in seiner Tasche durch die Radar-Strahlung schmolz. Er mag nicht der erste gewesen sein, der so etwas beobachtete. Aber er war der erste, der gemeinsam mit Kollegen dieses Phänomen durch Experimente mit anderen Lebensmitteln näher untersuchte und 1950 einen Mikrowellen-Ofen zum Patent anmeldete. Seine Firma Raytheon war die erste, die Mikrowellen-Öfen auf den Markt brachte (zunächst groß und schwer wie Schränke und sehr teuer) [19]. *The magnetron is a fine example for ‘swords into ploughshares’* [14].

* Räumlich 1-dimensionale Simulationen³ bei äußerem Magnetfeld führten zu einem stationären Zustand, der in Experimenten nicht nachweisbar und in 2D-Rechnungen instabil war. Rechnungen bei äußerem Magnetfeld wurden deshalb später nur noch in 2D oder 3D durchgeführt.

* Die 2D Poisson-Gleichung haben sie zunächst iterativ gelöst, mit *Southwell's Relaxation Technique*. Das erwies sich als viel zu zeitaufwendig. Da wenige Fourier-Moden ausreichten, war die direkte Lösung mit Fourier-Methode deutlich überlegen.

* Da die Elektronenbewegungen in den Rechnungen Zeitschritt für Zeitschritt händisch ausgeführt werden mussten, mit Aufmalen der jeweils neuen Elektronenpositionen auf einer Plastiktafel, wurden die Elektronenbewegungen anschaulich. Dies führte zur Entdeckung des *bunchings* der Elektronen [16] und des Kriteriums für die Schwellenspannung zum Betrieb des Magnetrons [21, p. 140f]. Dieses *threshold criterion* wurde später zum wichtigen Design-Tool für Elektronenröhren.

2.4 Oscar Buneman (1944 - 1993)

Nach Beendigung des Magnetron-Projektes erhielt Oscar Buneman ein Angebot, als Mitglied der britischen Gruppe im Lawrence Berkeley Lab am Manhattan-Projekt mitzuarbeiten. Er hat dort an der Trennung von Uran-Isotopen im CALifornia University cycloTRON mitgearbeitet: im Cyclotron bewegen sich geladene Teilchen auf Kreisbahnen. Der Radius der Kreise hängt von der Masse der Teilchen ab: kennt man die Radien der verschiedenen Isotope, kann man sie getrennt auffangen.

Nach Beendigung dieses Projektes und einer kurzen Zeit bei einem kanadischen Reaktor-Projekt in Montreal ist er mit seiner Familie nach England zurückgekehrt. Dort hat er beim neugegründeten AERE-Projekt (AERE = Atomic Energy Research Establishment) in Harwell eine Abteilung für Theoretische Physik mitaufgebaut und dann 1946 - 1950 dort gearbeitet [26]. 1950 - 1960 war er Mitglied im Peterhouse in Cambridge und *lecturer for mathematics*. Während dieser Zeit beobachtete er die Entwicklung von Magnetrons, veröffentlichte neue und auch alte, vorher geheime Arbeiten darüber und diskutierte numerische Methoden mit dem ebenfalls nach Cambridge gewechselten Hartree. Vor allem aber wandte sich O. Buneman plasmaphysikalischen Fragestellungen zu, die er theoretisch (mit Papier und Bleistift) bearbeitete. Selbst-konsistente Teilchensimulationen machten in dieser Zeit nur noch einige wenige E-Technik-Ingenieure [14].

In den 50er Jahren entstand als neue physikalische Disziplin die *Plasmaphysik*: Grundlagen-Fragen zu Strahlen und Strömungen geladener Teilchen in elektromagnetischen Feldern und zu elektromagnetischen Phänomenen in kosmischen Plasmen; aber auch das Ziel, einen Fusions-Reaktor zur Energie-Versorgung zu entwickeln. Wegweisend für die Entwicklung dieser jungen Disziplin war die im August 1956 von der *International Astronomical Union (IAU)* in Stockholm veranstaltete Konferenz *Electromagnetic Phenomena in Cosmical Physics*, auf der sich führende Astronomen und Physiker aus aller Welt trafen und die dadurch viele spätere Kooperationen angestoßen hat: u.a. waren dort aus Schweden H. Alfvén, B. Lehnert, W.H. Bostick (lokale Organisation), aus Großbritannien O. Buneman, T. Gold, T.G. Cowling, aus den Niederlanden H.C. van

³räumlich n-dimensional \equiv nD

der Hulst, aus Deutschland L. Biermann und A. Schlüter, aus der Sowjet-Union L.A. Artsimovich und W.D. Shafranov und aus den USA E.N. Parker und L. Spitzer [12, 16].

Entstehung des Institutes für Plasmaphysik in Garching: 1958 trat die 1955 beschlossene Umbenennung des *Max-Planck-Institutes für Physik* in *Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik* in Kraft. Geschäftsführender Direktor: Werner Heisenberg. Das Teilinstitut für Physik hatte den Direktor W. Heisenberg, das Teilinstitut für Astrophysik den Direktor *Ludwig Biermann (1907 - 1986)* und die Abteilungen Astrophysik (L. Biermann), Plasmaphysik (A. Schlüter, seit 1956) und Numerische Rechenmaschinen (Heinz Billing, seit 1.10.1957) [35, S. 385]. Im Nov. 1959 wurde dann beschlossen, das *Institut für Plasmaphysik* zu gründen. Leitung: Heisenberg, Biermann, Schlüter u.a. [35, pp. 393f, 400f, 432, 459].

In den USA begannen in den späten 50er Jahren *John M. Dawson (1930 - 2001)* in Princeton und O. Buneman in Stanford numerische Simulation von Plasma-Teilchen, d.h. es wurden gleichzeitig positiv und negativ geladene Teilchen betrachtet so, daß die Gesamtzahl nach außen hin elektrisch neutral war. 1957 - 1958 verbrachte Buneman ein Sabbatical an der Universität Stanford und wandte sich dort 1D-Simulationen zu [1, 10, 14]. Dieses Mal hatte er einen Programmierer, der ziemlich selbständig für ihn die Rechnungen durchführte: Buneman wußte später nicht einmal, in welcher Programmiersprache das Programm geschrieben war [10]. Die Veröffentlichung dieser Ergebnisse [1] führte 1984 zu einem *Citation Classic* [10, 14] und half ihm vermutlich auch, die Position als *Professor of Engineering* und Leiter eines Institutes für Plasma-Forschung in Stanford zu bekommen, die er von 1960 bis zu seiner Emeritierung 1984 inne hatte.

Die Plasma-Simulationen von [1] waren 1D, ohne transversales Magnetfeld. Wegen der Wichtigkeit von unverstandenen magnetischen Barrieren in Plasmen und wegen der Magnetron-Erfahrungen (s.o.) waren 2D-Simulationen dringend erwünscht. So war es ein Glücksfall, daß gerade zu dieser Zeit *Roger W. Hockney (19xx - 1999)* nach Stanford kam und sich eine Dissertation in Plasmaphysik und Numerik wünschte. Er wurde daraufhin von O. Buneman und dem Numeriker *Gene Golub (1932 - 2007)*, Professor am Stanforder Computer Science Department, gemeinsam betreut. Hockney war der erste, der ernsthaft 2D Teilchen-Simulationen für magnetisierte Plasmen machte. Er schrieb ein Fortran-Programm, das mit dem Hartree-Algorithmus mehrere 1000 Plasma-Teilchen in der Zeit vorwärts schreiten ließ. Wie schon bei den Magnetron-Simulationen war das wiederholte Lösen der Poisson-Gleichung so zeitaufwendig, daß es effizienter gemacht werden musste [2, 3]. Fast gleichzeitig entstand auch die FFT (*Fast Fourier Transform*) von Cooley-Tukey. Nach seiner Promotion hat Hockney Stanford verlassen, aber weiterhin für andere Anwendungen Teilchen-Simulationen gemacht. Später hat er dann zusammen mit Eastwood das erste Buch über Teilchen-Simulationen geschrieben [9]. Wenige Jahre später entstand ein zweites Buch [11] über Teilchen-Simulation.

Nach Hockneys Weggang hat Buneman Fortran gelernt, die numerischen Plasma-Simulationen selber fortgeführt und zur Lösung der Poisson-Gleichung den *Buneman-Algorithmus* entwickelt, s.u..

1984 - 1993 war Buneman emeritiert, aber weiterhin voll aktiv. Im Sommer 1993 sollte er den Plenum-Eröffnungsvortrag auf dem *IEEE Plasma Meeting* halten. Da er am 23. Januar 1993 starb, hielt stattdessen *Bruce Langdon* einen Vortrag zu seinem Gedenken [15]. Posthum war er dann in den Jahren 1993 - 1995 noch Ko-Autor von

5 Arbeiten [30]. Das ist nicht selbstverständlich - ich kenne andere Fälle, in denen Wissenschaftler ihre Kollegen sofort nach deren Tod als Mit-Autoren gestrichen haben, obwohl das Paper Gemeinschaftsarbeit war.

2.5 Citation Classics

In der Arbeit [1] studierte Buneman mit Hilfe eines Programmierers die Evolution von Instabilitäten auf einem 1103-AF computer⁴. Durch Berechnung der Bahnen von 256 Elektronen und 256 Ionen im nicht-linearen Bereich zeigte er, daß Drift-Energie auch ohne Stöße in Wärme umgewandelt werden kann. Damit zeigte er, wie *anomaler Widerstand* entsteht. Die von ihm in zwei Computer-Plots [1, Fig.5, Fig.6] dargestellte Instabilität wurde zunächst *electron-ion interstreaming instability* genannt. Heute heißt sie *Buneman-Instabilität*. In der Woche vom 10. Sept. 1984 war die Arbeit [1] *This Week's Citation Classic*, weil sie in den vergangenen 25 Jahren laut *Current Contents* 385 mal zitiert worden war. In seinem 1-seitigen Kommentar dazu [10] meint er: ‘... *Output plots, displayed on two pages of Physical Review, caused quite a stir ...*’. Und weiter: ‘*The message is probably not the reason for the frequent citation of the paper. The reason is that it presented and displayed perhaps the first useful ‘computer simulation’ of a plasma. Computational physics had not been invented. Computers were primitive, and theoretical physicists tended to frown upon their use. ...*’ [10]. ‘*Nowadays, of course, particle simulation by computers is very popular and highly respectable, so references to its initiation have proliferated. Hockney and Eastwood [9] kindly dedicated their book on the topic to ‘Oscar’.*’ [10].

Wenn wir uns heute bei ISI WOK [30] die Zitierungen von [1] ansehen, so finden wir 424 Zitierungen in den ersten 25 Jahren (1959 - 1984) und 194 Zitierungen in den nächsten 25 Jahren (1985 - 2010). Auch 2011 ist das Paper schon mehrfach zitiert worden - nicht wegen der Plots, sondern ... *because of the message of the paper*.

In [10] erzählt er außerdem von seinem Versuch, den ‘Buneman-Algorithmus’ inklusive einem (sehr raffiniert geschriebenen) Fortran-Programm zu veröffentlichen. Der 11 Seiten lange Text ... *A Compact Non-Iterative Poisson Solver* ‘... *which, along with some novel trick in numerical analysis (now called the Buneman algorithm), contained a carefully written Fortran program. I thought this latter was the best part of the work.*’ ... wurde von vier Zeitschriften abgelehnt. Da hat er sie schließlich nur als (nicht als Veröffentlichung geltenden) Laborbericht [4] in den Plasmaphysik-Instituten verteilt und das (nur eine Seite lange) Fortran-Programm auf Lochkarten verschenkt, unter anderem auf einer Plasma-Tagung [16] und im IPP bei seinem Besuch im Nov. 1969.

Numerisch arbeitende Mathematiker scheinen eher mit der Veröffentlichung von programmierten Algorithmen begonnen zu haben als Physiker. In ihrem Numerik-Lehrbuch listen Björk und Dahlquist Zeitschriften, Tabellen usw. auf, in denen seit 1960 Algorithmen veröffentlicht wurden, auch in Algol und Fortran [6, Kapitel 13]. Die deutsche

⁴ ... Today's personal computers (PC) possess a far greater power and capability than those old 1103AF machines. But in 1958, the Univac 1103AF was among the most powerful of this final generation of vacuum-tube computers. It was not until 1959 that the first transistorized computers appeared on the scene ... [36].



Abbildung 4: Oscar Buneman Award [15, oscar3m1.jpg]

Ausgabe von 1972 ist eine Übersetzung des schwedischen Originals. Unter dem Vorwort steht: Stockholm, Juli 1969.

'I had an interesting experience with another effort of mine in the area of computational physics. It led to a 'most-cited' paper, but someone else's. I had written a note, 'A compact noniterative Poisson solver,' ... 'The reviewers had not understood it, were prejudiced, objected to programs, or objected to Fortran. Fortunately, Bill Buzbee of Los Alamos picked up the note and, together with Gene Golub and Clair Nielson, wrote a learned paper' [5] 'around it – which became a most-cited reference recently! ... I feel vindicated.' [10]. 1983 war die Arbeit [5] nach den damaligen Unterlagen 130 mal zitiert worden [10], am 2. Okt. 2010 laut ISI 351 mal [30].

Wohl auch wegen [5] ist der *Buneman-Algorithmus* unter Numerikern sehr bekannt und wird in mindestens einem sehr verbreiteten Numerik-Lehrbuch ausführlich behandelt. Zu einer Zeit, zu der sich schon in sehr vielen Fällen die *iterative Lösung von Gleichungssystemen* als überlegen erwies, war dieser *direkte* Algorithmus auf denjenigen *speziellen* Gleichungssystemen eindeutig überlegen, auf die er anwendbar ist (diskretisierte Poisson-Gleichung), siehe [7, Abschnitte 8.8, 8.9]. Er wird deshalb auch heute noch häufig zur Lösung der diskretisierten Poisson-Gleichung benutzt.

2.6 Honors

Fellow of the American Physical Society (1948);

Fellow of the Cambridge Philosophical Society (1950)

Widmung des Buches [9]: *'To Oscar, Founder of the Subject'* ;

Seit dem Jahr 1998 regelmäßige Verleihung der OSCAR BUNEMAN AWARDS FOR THE MOST INSIGHTFUL STILL AND ANIMATED VISUALIZATIONS OF NUMERICAL SIMULATIONS OF PLASMA auf den *International Conferences on the Numerical Simulation of Plasmas (ICNSP)* [25]. Die überreichte Trophäe (siehe Abbildung) ist ein durchsich-

tiger Plastikwürfel, in dem ein zweiter, kleinerer Würfel sichtbar ist, wegen innerer Reflexionen an den dünn beschichteten Wänden. *'This was chosen because Oscar used to carry a tesseract to illustrate the concept of a hypercube - the 4-dimensional analog of a cube.'* [15].

Literatur

- [1] O. Buneman (1959): Dissipation of currents in ionized media. Phys. Rev. **115** 503 - 517;
- [2] Roger W. Hockney (1965): A fast direct solution of Poisson's equation using Fourier analysis, J. Assoc. Comput. Mach. **12**, p. 95
- [3] Roger W. Hockney (1966): *The Computer Simulation of Anomalous Plasma Diffusion and the Numerical Solution of Poisson's Equation*, PhD Thesis, Computer Science Dept. Stanford U.
- [4] O. Buneman (1969): *A Compact Non-Iterative Poisson Solver* SUIPR-Report No 294, 11 pages, Stanford University, Institute for Plasma Research,
- [5] B.L. Buzbee, G.H. Golub, C.W. Nielson (1970): On direct methods for solving Poisson's equation, SIAM J Numer Anal **7**, p. 4
- [6] A. Björk, G. Dahlquist (1972): *Numerische Methoden*, R. Oldenbourg Verlag, München
- [7] J.Stoer, R.Bulirsch (1978, 1983): *Einführung in die Numerische Mathematik*, Band 2, Springer Verlag 1978;
Introduction to Numerical Analysis, Springer Verlag 1983
- [8] John Crank, private communication, Oberwolfach, November 1980
- [9] R.W. Hockney, J.W. Eastwood (1981, 1988, 1989): *Computer Simulation using Particles*, 540 pages, McGraw Hill (1981); Hilger Bristol (1988); Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, several Reprints, Paperback (1989). Im Buchhandel auch 2011 noch erhältlich
- [10] O. Buneman (1984): 'Citation Classic - Dissipation of Currents in Ionized Media', Current Contents/Engineering Technology & Applied Sciences **37**, p.16
- [11] C.K. Birdsall, A.B. Langdon: *Plasma Physics via Computer Simulation*, first published 1985, several reprints at other publishing companies. Die Ausgabe von 1991 ist auch 2011 noch im Buchhandel erhältlich
- [12] W.H. Bostick (1989): 'Stockholm, August 1956, revisited', IEEE Trans. Plasma Sci., **17**, pp 69 - 72
- [13] *A History of Scientific Computing*, S.G. Nash, ed, ACM Press 1990

- [14] Oscar Buneman (1990): Particles in their self-consistent fields: From Hartree's Differential Analyzer to Cray Machines, in: [13, pp. 57-62];
- [15] Bruce Langdon (1993): Remembrances of Oscar Buneman.
<http://www.physics.ucla.edu/icnsp/buneman.htm>, Version 1.Aug. 2011
- [16] Ruth Buneman, R.J. Barker, A.L. Peratt, S.H. Brecht, A.B. Langdon, H.R. Lewis (1994): A Tribute to Oscar Buneman – Pioneer of Plasma Simulation; IEEE Transactions on Plasma Science **22**, no 1
 Ruth (* 1929 in England) war ab 1952 mit Oscar Buneman verheiratet. Sie haben zwei Söhne.
- [17] E. van de Velde (1994): *Concurrent Scientific Computing*, Springer Verlag
- [18] Pukhov (1999): A 3D electromagnetic relativistic PIC code, VLPL; J. Plasma Phys. **61**, p. 425
- [19] National Inventors Hall of Fame Foundation, Inc. (eds.) (1999): *HALL OF FAME/inventor profile: Percy Lebaron Spencer*, Version 11.08.2011,
http://www.invent.org/hall_of_fame/136.html
- [20] G.H. Cottet, P.Koumoutsakos (2000): *Vortex Methods, Theory and Practice*, Cambridge U Press
- [21] C. Froese Fischer (2003): *Douglas Rayner Hartree, his life in Science and Computing*, World Scientific, New Jersey
- [22] J.P. Verboncoeur (2005): Particle simulation of plasmas: review and advances, Plasma Phys Control Fusion **47** A231 - A260
- [23] O. Mishchenko (2005): *New Methods in Gyrokinetic Particle-in-Cell Simulations*, Dissertation in Physik, U Greifswald
- [24] R. Meyer-Spasche (2006): Einige Anmerkungen zum Einfluß von Computern auf Mathematik und Physik, in: *Von der Tontafel zum Internet. Der Einfluß des Mediums auf die Entwicklung der Mathematik*, Proc. 8. Österreichisches Symposium zur Geschichte der Mathematik, Miesenbach (Niederösterreich), 21. bis 27. Mai 2006, Christa Binder, ed., TU Wien, pp. 171 - 174; siehe auch <http://edoc.mpg.de/display.epl?mode=doc&id=293285&col=33&grp=1312#cb>
- [25] *International Conferences on the Numerical Simulation of Plasmas (ICNSP)*, <http://icnsp09.ist.utl.pt/buneman.php> (4. Aug. 2011)
- [26] Mary Flowers: *Atomic Spice: A Partial Autobiography*, unpublished manuscript, Copyright 2009 by Mary Flowers
 Mary (*1921 in Manchester) geb. Behrens war 1942 - 1951 mit Oscar Buneman verheiratet (sie haben zwei Söhne), und ab 1951 mit Brian Flowers, Baron Flowers, FRS (1924 - 2010)

- [27] R. Meyer-Spasche: ‘Oscar Buneman (1913 - 1993) und die Anfänge der Computational Plasma Physics’, in: *Ist Mathematik politisch korrekt? - Der Einfluss von Geschlecht, Sprache, Religion, Alter, Herkunft, Gesellschaft, Kultur ... auf die Beschäftigung mit Mathematik*, Proc. 10. Österreichisches Symposium zur Geschichte der Mathematik, Miesenbach (Niederösterreich), 30. Mai bis 5. Juni 2010, Christa Binder, ed., TU Wien 2011, pp. 266 - 271; siehe auch <http://edoc.mpg.de/display.ep1?mode=doc&id=493130&col=33&grp=1312#cb>
- [28] E. Jurkowitz (2010): Understanding Quantum Systems and Getting Numbers out, Talk at 4th Int. Conf. Europ. Soc. Hist. Sci., Barcelona, Nov. 2010; Projekt *History and Foundations of Quantum Physics*, MPI für Wissenschaftsgeschichte (Jurkowitz, Blum, Joas)
- [29] http://www.in.tum.de/fileadmin/user_upload/0effentlichkeitsarbeit/Pressephotos/campus_garching2.jpg, Version 2. Oct. 2010;
- [30] <http://www.isiknowledge.com/>, Version 16. Juni 2011, ISI Web of Knowledge - Science - Thomson Reuters
- [31] Rudolf Gorenflo, private communication 17. June 2011; to be included in the *FRActional CALculus MOdelling Website* later on; <http://www.fracalmo.org/>
- [32] J. Grossman, P. Ion and R. De Castro (eds.): The Erdős Number Project, <http://www.oakland.edu/enp/>, Version 20. Juli 2011
- [33] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_people_by_Erdős_number, Version 20. Juli 2011
- [34] P.Koumoutsakos, G.-H. Cottet, D.Rossinelli: FLOW SIMULATIONS USING PARTICLES - *Bridging Computer Graphics and CFD*, Class Notes, Computational Science and Engineering Laboratory ETHZ, <http://www.cse-lab.ethz.ch/teaching.html>, Version 21.07.2011
- [35] E. Henning, M. Kazami (2011): *Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften 1911 - 2011; Daten und Quellen*, Duncker & Humblot, Berlin
- [36] F. Druding (xxxx): *In the Beginning*, Version 2.09.2011, <http://www.usaf.com/afsoa/articles/inthebeggining.html>,
- [37] A. Mishchenko, A. Könies, R. Hatzky (2011): Global particle-in-cell simulations of plasma pressure effects on Alfvénic modes, *Physics of Plasmas* **18**, 12504 - 12513
- [38] <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Nicolson.html>, Version 25.09.2011