

Unter Ingenieuren war es nie ein Geheimnis, daß der Computerchip „Pentium“ der Firma Intel ein völlig überzüchteter Mikroprozessor ist. Er ist zwar eine Ingenieursfleißarbeit, aber eben nicht wegweisend innovativ. Der Chip basiert noch auf dem klassischen CISC-Design eines Computers (Complex Instruction Set Computer mit „nearly 300 correct opcodes“).

Intel hatte erhebliche Probleme den Pentium bis zur Serienreife zu entwickeln: mal wurde er zu heiß, dann lief er nicht schnell genug. Die Konkurrenz mußte solche Probleme von vornherein zu vermeiden, in dem sie ihre Mikroprozessoren der nächsten Generation (DECs Alpha, MIPS, Motorolas PowerPC) bereits nach der zu-

kunftsorientierten RISC-Architektur entwarfen und (fast) problemlos auf den Markt brachten.

Eine der Besonderheiten des Intel Pentiums war ein neuer elementarer Gleitkomma-Algorithmus, der zwar nicht der IEEE-Norm entsprach, dafür aber eine hohe Genauigkeit von Berechnungen garantieren sollte. Damit sollte der Pentium in die Lage versetzt werden, auch viele Anwendungen bearbeiten zu können, bei denen man bisher noch auf Supercomputer angewiesen ist (Beispiel: Berechnung von Wetter-Modellen für die Wettervorhersage).

Der Pentium-Chip wurde im Mai 1993 eingeführt. Was Intel dabei vergessen hatte war, den besseren Gleitkomma-Algorithmus

korrekt und vollständig in die Hardwarestruktur einzubauen. Bei den Tests bemerkten sie ihren eklatanten Fehler nicht.

Am 22/23. November 1994 wurde durch einen Bericht des globalen Fernsehsenders CNN International einem breiten Publikum bekannt, daß der Intel Pentium einen eingebauten Fehler aufweist. **Alle Chips, die seit 1993 ausgeliefert und u. a. in Pentium-PCs eingebaut worden sind, weisen diesen Defekt (bug, flaw) auf.** Es sollen davon mehrere Millionen verkauft worden sein. Und der Skandal war da, als Intel nun nicht alle defekten Pentium-Chips ersetzen wollte.

Im folgenden werden dazu einige wichtige Informationen dokumentiert.

Circuit Flaw Causes Pentium Chip to Miscalculate – Intel Admits

By JOHN MARKOFF – NEW YORK TIMES

SAN FRANCISCO – 24. November. An elusive circuitry error is causing a chip used in millions of computers to generate inaccurate results in certain rare cases, heightening anxiety among many scientists and engineers who rely on their machines for precise calculations.

The flaw, an error in division, has been found in the Pentium, the current top microprocessor from Intel Corp., the world's largest chip maker. The chip, in several different configurations, is used in many computers sold for home and business use, including those made by IBM, Compaq, Dell, Gateway 2000 and others.

The flaw appears in all Pentium chips now on the market, in certain types of division problems involving more than five significant digits, a mathematical term that can include numbers before and after a decimal point.

»Intel inside –
but can it divide?«

Meint nun das Internet.

Intel declined to say how many Pentium chips it made or sold, but Dataquest, a market research company in San Jose, Calif., estimated that in 1994 Intel would sell about six million Pentiums, roughly 10 percent of the number of personal computers sold worldwide.

Intel said Wednesday that it did not believe the chip needed to be recalled, asserting that the typical user would have but one chance in more than nine billion of encountering an inaccurate result as a consequence of the error, and thus there was no noticeable consequence to users of business or home computers. Indeed, the company said it was continuing to send computer makers Pentium chips built before the problem was detected.

William Kahan of the University of California at Berkeley, one of the nation's experts on computer mathematics, expressed skepticism about Intel's claims that the error would

only occur in extremely rare instances. "These kinds of statistics have to cause some wonderment," he said. "They are based on assertions about the probability of events whose probability we don't know."

At Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, Calif., one satellite communications researcher who learned of the error this week said six Pentium machines were used in his group and their use had been suspended for now.

"The Pentium appeared as a cost-effective means to do the kind of analytical computing that scientists and engineers do," said David Bell, the researcher. "But when we hear and see that there are problems, that puts a question mark on the results."

A number of other computer scientists and engineers said the probability of encountering the problem would vary wildly depending upon what software the computer was using.

In addition to its growing role in PCs, the Pentium chip is used in a number of larger computers that harness individual chips to work in tandem, creating supercomputer power. This technique, known as parallel processing, is used for weather forecasting, the aerodynamic simulation used in automotive and airplane design and in molecular engineering.

Intel said the problem came to its attention in June and was corrected then, at the design stage. That change took some time to make its way through the chip production process, and Intel has only recently begun providing its largest customers with the revised chips, the company said. Intel acknowledged that the flaw could affect certain scientific and engineering applications in rare cases. Stephen L. Smith, the company's engineering manager for the Pentium, said discussions were under way with scientists and engineers. "Those are exactly the people who should call us", he said. "We're willing to work with them and understand what applications they are using that might be affected."

For Intel, which has spent millions of dollars on an advertising campaign using the slogan "Intel Inside", the news of the defect

Intel Information on the Subtle Flaw of the Floating Point Unit of the Pentium™ Processor

There has been a lot of communication recently on the Internet about a floating point flaw on the Pentium™ processor. For almost all users, this is not a problem.

Here are the facts. Intel detected a subtle flaw in the precision of the divide operation for the Pentium Processor. For rare cases (one in nine billion possible divides), the precision of the result is reduced.

Intel discovered this subtle flaw during ongoing testing — after several trillions of floating point operations in our continuing testing of the Pentium processor. Intel immediately tested the most stringent technical applications that use the floating point unit over the course of months and we have been unable to detect any error.

In fact, after extensive testing and shipping millions of Pentium processor-based systems, there has only been one reported instance of this flaw affecting a user, to our knowledge. In this case, a mathematician doing theoretical analysis of prime numbers and reciprocals saw reduced precision at the 9th place to the right of the decimal.

In fact, extensive engineering tests demonstrated that an average spreadsheet user could encounter this subtle flaw of reduced precision once in every 27,000 years of use.

Based on these empirical observations and our extensive testing, the user of standard off-the-shelf software will not be impacted. If you do this kind of prime numbers generation or other complex mathematics, call 1-800-628-8686 (International 916-356-3551). If you don't, you won't encounter any problems with your Pentium processor-based system.

If ever in the life of the computer this becomes a problem, Intel will work with the customer to resolve the issue.

22. Nov. 1994

Intel FaxBack # 9788

might create something of a public relations problem.

In recent months Intel has had success in positioning the Pentium as a chip for scientific and engineering applications, boasting that at a lower cost it matches the speed of rival processors made by Digital Equipment, Hewlett-Packard, IBM and Sun Microsystems.

"The issue is being sure that the arithmetic is right," said Cleve Moler, chairman and chief scientist of the Mathworks, a software company in Natick, Mass., that develops mathematical software. "There are enough other things that can go wrong that I don't want to think about arithmetic."

Frage: *Warum hat Intel den Pentium nicht 586 genannt?*

Antwort: *Auf dem ersten Pentium-PC addierten sie $486 + 100$ und erhielten als Ergebnis 585,999983605. –*

Gelesen im Internet.

The Pentium flaw is not the first to be found in microprocessors. Both Intel's 386 and 486 chips, predecessors of the Pentium that remain in wide use, have had different math errors that were corrected when they were discovered. And in 1991 Sun Microsystems acknowledged that a division error in its Sparc work stations created a security loophole. That problem was later corrected.

Some computer users said they believed that Intel had not acted quickly enough after discovering the error.

"Intel has known about this since the summer; why didn't they tell anyone?" said Andrew Schulman, the author of a series of technical books on PCs. "It's a hot issue, and I don't think they've handled this well." The company said that after it discovered the

problem this summer, it ran months of simulations of different applications, with the help of outside experts, to determine whether the problem was serious.

The Pentium error occurs in a portion of the chip known as the floating point unit, which is used for extremely precise computations. In rare cases, the error shows up in the result of a division operation.

Intel said the error occurred because of an omission in the translation of a formula into computer hardware. It was corrected by adding several dozen transistors to the chip.

The error was made public earlier this month after Thomas Nicely, a mathematics professor at Lynchburg College in Lynchburg, Va., sent a private electronic-mail message to several colleagues, asking them to check their machines for the error.

Nicely was calculating a series of reciprocals of prime numbers, in part to show that PCs now had enough power to be used instead of supercomputers for computationally intensive tasks.

Nicely, who is now consulting with Intel, said he had run more than one quadrillion calculations on a revised Pentium chip and had not reproduced the error.

After the Pentium flaw was made public, Intel began telling users that it had discovered and corrected the flaw in June, and last week it quietly began offering replacement chips to users concerned about the error.

Executives at Compaq Computer Corp. and Dell Computer Corp., two large Pentium customers, said they had begun to receive calls from users who had found the error using a test recommended by Nicely.

A spokeswoman for Compaq said the company was referring the calls to Intel. A spokesman for Dell said the company had been contacted recently by Intel and was dealing directly with customers. □

1. Was ist der Fehler?

Der Hardware-Fehler liegt im Gleitkomma-Prozessor des Pentium-Chips. Intel hat hier schlichtweg einige Dutzend Transistoren vergessen. Dieses führt dazu, daß der Maschinenbefehl FDIV, also die Gleitkomma-Division nicht in allen Fällen korrekt ausgeführt wird. Betroffen sind davon nur bestimmte Zahlenpaare, die aber bisher nicht alle bekannt sind. Intel hat diese bisher nicht mitgeteilt. Im Internet sind bisher von unabhängigen Experten 1738 Fälle gefunden worden. Es dürften aber mit Sicherheit noch viel mehr sein [8].

Ein Beispiel: Mit den Zahlen $x = 4195835,0$ und $y = 3145727,0$ ergibt die Berechnung von z auf einem Pentium-PC nach der folgenden Formel

$$z = x - \left(\frac{x}{y}\right) \cdot y$$

$z = 256,0$ und nicht das richtige $z = 0,0$. Die Ursache für das falsche Ergebnis liegt in der Division von x/y , die falsch berechnet wird.

Von dem Fehler sind Gleitkomma-Divisionen mit einfacher und doppelter Genauigkeit betroffen. Zunächst wurde davon ausgegangen, daß nur die mit doppelter Genauigkeit falsche Ergebnisse liefern. Das ist nicht so.

Durch Revers-Engineering hat Tim Coe, USA inzwischen ein Modell der fehlerhaften Gleitkommaeinheit des Pentiums entwickelt. Mit diesem C-Programm lassen sich weitere Untersuchungen anstellen [1].

2. Wie kann der Fehler festgestellt werden?

Am sichersten kann der FDIV-Defekt des Pentiums mit dem im Internet veröffentlichten Testprogramm P87TEST von Terje Mathisen, Norwegen festgestellt werden [2].

Nach nunmehr bestätigter Information (priv. E-Mail) sind die Pentium-Chips ab dem Revision-Level (Stepping) 7 ohne FDIV-Defekt. Das Testprogramm kann auch diese (geheim?) Step-Nr. aus dem Chip auslesen. Diese Step 7 Chips wurden bisher nur in kleinen Stückzahlen gesichtet. Erst im März 1995 sollen größere Stückzahlen verfügbar sein.

3. Weitere Fragen:

Inzwischen ist im Internet auch eine „Pentium Divide Bug FAQ“ (Frequently Asked Questions List) erschienen [3]. Die aktuellste Fassung kann vom Ftp-Server [www.isi.edu](http://www.isi.edu/pub/carlton/pentium/FAQ) aus dem Pfad *pub/carlton/pentium/FAQ* bezogen werden.

In dieser FAQ werden viele weitere Fragen behandelt. Darunter sind auch die Fragen nach der Fehlerhäufigkeit, der Fehlergröße, der Historie (die zum Beispiel in den Zeitungsartikeln nicht vollständig dargestellt wird, z. B. in [7]) sowie von ersten Workarounds.

4. Sonstige Hinweise:

■ Die weltweite öffentliche Diskussion wird im Internet in der Newsgruppe *comp.sys.intel*

geführt. Ohne die Existenz des Internets wäre der Pentium-Fehler für die Öffentlichkeit wohl nie aufgeklärt worden.

■ *Hier noch eine bezeichnende Story* (fast schon eine Anekdote): Die Animationen für den TV-Werbespot des Pentium-Chips sollte eigentlich auf einem Pentium-PC angefertigt werden, ausgestattet mit entsprechender Video-Verarbeitungssoftware. Als das nicht so richtig klappen wollte, griff man kurzgeschlossen auf einen Apple Macintosh Quadra-840AV von der Konkurrenz zurück (Chip Motorola 68040) und verwendete die Macintosh-Software „Digital Film“. Damit ging dann problemlos und gut. Das Ergebnis sehen wir jetzt tagtäglich im Fernsehen.

■ Auf jedem Pentium-Chip steht eine Nummer, z. B. L4125833. Dabei gibt der Buchstabe den Fabrikationsort, die erste Ziffer das Jahr (1994) und die beiden nächsten Ziffern die Fabrikationswoche (12. Woche) an. Um diese Nummer sehen zu können, muß ggf. sehr vorsichtig der Ventilator entfernt werden. Vor dem Wiedereinbau des Ventilators muß etwas Wärmeleitpaste zugefügt werden.

■ Der Titel „*Intel Pentium – The Chip that Redefines Mathematics*“ dieser Ausgabe der *wdv-notes* stammt aus dem Internet. Der genaue Urheber ist nicht mehr bekannt.

■ Intel-Deutschland hat inzwischen eine besondere Hot-Line unter 0130/818 921 eingerichtet.

5. Literatur:

Alle im folgenden aufgezählten Materialien sind auch elektronisch publiziert und stehen als Dateien (Files) auf dem Ftp-Server ftp.grumed.fu-berlin.de im Verzeichnis *PC* zum Kopieren via Internet (*Anonymous Ftp*) zur allgemeinen Verfügung.

- [1] Coe, Tim: A C-model of Intel's Pentium hardware divider that predicts many of the failing divides. – File: PBUG_MODEL.TXT.
- [2] Mathisen, Terje: Test program for the Pentium chip FDIV bug. – File: P87TEST.ZIP (komprimierte Datei).
- [3] Carlton, Mike (Ed.): The Pentium Divide Bug FAQ. – File: PBUG_FAQ.TXT.
- [4] Grove, Andy (Präsident der Intel Corp.): My Perspective on Pentium. – Publiziert in der UseNet-Gruppe *comp.sys.intel*, 27. November 1994 – 19.31 Uhr GMT. – File: INTELS_PRESIDENT.TXT.
- [5] Intel Information on the Subtle Flaw of the Floating Point Unit of the Pentium Processor. Intel FaxBack # 9788, 22. November 1994. – Text siehe *wdv-notes* Nr. 307, Seite 1. – In File: INTELS_WATERLOO.TXT.
- [6] Markoff, John: Circuit Flaw Causes Pentium Chip to Miscalculate – Intel Admits. New York Times, 24. November 1994. – File: PBUG_NY_TIMES.TXT.
- [7] HRA: Probleme beim neuen Pentium-Mikroprozessor. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 29. November 1994, Seite 25. – File: PBUG_FAZ.TXT.
- [8] Dittberner, K.-H.: Intel Pentium – Der eingebaute Divisionsfehler. FU Berlin (IfP): *wdv-notes* Nr. 327, 1994–1995.

Die Arroganz der Macht

*Dieser Kommentar folgt nun erst in der Fortsetzung, in den *wdv-notes* Nr. 327, die demnächst erscheinen werden. Sie werden auch eine analytische Betrachtung zum praktischen Ausmaß des Pentium-Defekts enthalten. – khd*