



Was ist passiert?

Am 4. Juni 1996 startete die unbemannte Trägerrakete Ariane 5 vom Weltraumbahnhof in Französisch Guyana, um mehrere Satelliten in den Erdorbit zu transportieren. Doch nur 37 Sekunden nach dem Lift-Off änderte sie ihren Kurs radikal und gelangte in eine nahezu horizontale Lage - sie drohte abzustürzen. Der Kurs konnte nicht mehr korrigiert werden, sodass automatisch ihre Selbstzerstörung eingeleitet wurde: Knapp 40 Sekunden nach ihrem Start ging die Ariane 5 in Flammen auf. Nachuntersuchungen brachten zutage, dass lediglich eine einzige Codezeile im System der Ariane 5 Auslöser für eine Kettenreaktion war, die in der Explosion und damit im Verlust von 500 Millionen US-Dollar endete. Der Fehler wurde bekannt als der teuerste Softwarefehler aller Zeiten. Um die Fehlfunktion zu verstehen, benötigen wir ein wenig Mathematik.



Abbildung: Video des Starts

Zahlensysteme

Ein Zahlensystem ist ein System zur Darstellung von Zahlen. Wir kennen das Dezimalsystem mit den **Ziffern** $0, \dots, 9$. Der **Stellenwert** einer Ziffer in einer Dezimalzahl ergibt sich aus der Multiplikation der Ziffer mit einer Zehnerpotenz. Der Exponent der Zehnerpotenz hängt von der **Stelle** der Ziffer ab: Die Ziffer 6 in 607,84 steht an der „Hunderterstelle“ und hat den Stellenwert $600 = 6 \cdot 10^2$, die 7 dagegen steht an der „Einerstelle“ und hat den Stellenwert $7 = 7 \cdot 10^0$ und so weiter. Der Wert einer Dezimalzahl ist also die Summe der Stellenwerte ihrer Ziffern:

$$607,84 = 6 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 + 8 \cdot 10^{-1} + 4 \cdot 10^{-2}$$

Die Faktoren der 10er Potenzen sind genau die Ziffern der Dezimalzahl. Das ändert sich, sobald man eine andere Basis verwendet, z.B. **2**:

$$11,25 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2}$$

Ein Zahlensystem mit Basis 2 wird als **Binärsystem** bezeichnet. Aus obiger Rechnung erhält man die **Binärdarstellung** (unten) der Dezimalzahl 11,25. Genau wie beim Dezimalsystem werden dazu lediglich die Faktoren der Basispotenzen - hier 0 und 1 - aneinandergereiht. Um zu verdeutlichen, welche Zahl in welchem Zahlensystem dargestellt wird, setzt man die Basis in den Index:

$$11,25_{10} = 1011,01_2$$

Gut zu wissen

Es kann mathematisch bewiesen werden, dass jede beliebige Dezimalzahl in jedem Zahlensystem dargestellt werden kann, das eine Basis größer als 1 verwendet. Je kleiner die Basis ist, desto mehr Stellen benötigt die Darstellung.

Alles nur 0en und 1en: Binäre Informationscodierung

Um Daten auf dem Computer zu speichern, müssen sie zunächst **binär codiert** werden, also in eine Folge von 0 und 1 umgewandelt werden. Ein **Bit** ist eine einzelne Ziffer und ist die kleinste Informationseinheit eines Computers. Die nächst höhere Informationseinheit ist ein **Byte**, welches eine Folge von acht Bits ist. Informationen werden meistens als Folge von ein oder mehreren Bytes gespeichert. Wollen wir z.B. eine Zahl speichern, müssen wir zuerst ihre Binärdarstellung berechnen. Für sie wird auf dem Computer Speicherplatz in der Größe von ein oder mehrere Bytes reserviert. Da natürlich nicht jede Binärzahl gleich viele Stellen hat, wird pro Zahl ein **Datentyp** festgelegt, der die Anzahl an zur Verfügung stehenden Bytes bestimmt.

Datentypen

Um ganze Zahlen zu speichern, stehen z.B. die Datentypen **short** (2 Bytes) oder **int** (4 Bytes) zur Verfügung. Für Kommazahlen dagegen **float** (4 Bytes) oder **double** (8 Bytes). Je mehr Bits zur Verfügung stehen, desto mehr Zahlen können dargestellt werden. Datentypen unterscheiden sich also im Wesentlichen im Speicherbedarf und ihrem Wertebereich.

Datentypen konvertieren: Casts

Es kommt immer wieder vor, dass ein Datentyp in einen anderen konvertiert („**gecastet**“) werden muss. Vor allem früher, als Speicherplatz noch sehr rar war, wurden im Programmcode häufig Zahlen, die in einem „zu großen“ Datentyp gespeichert waren, in einen „kleineren“ mit weniger benötigten Bytes konvertiert, um so Speicherkapazitäten freizugeben. Doch Vorsicht: Die konvertierte Zahl muss auch mit den weniger zur Verfügung stehenden Bits korrekt darstellbar sein! Andernfalls kann es zur Speicherung falscher Werte oder **Fehlern** kommen.

Fehler im Programmablauf

Nicht selten tritt während der Ausführung eines Programms ein Fehler („**Exception**“) auf, z.B. durch die unabsichtliche Division durch 0 an einer Codestelle. Exceptions, auf die nicht angemessen reagiert wird, führen zum Programmabsturz: Im Softwarecode kann der Programmierer an kritischen Stellen Vorkehrungen treffen, die eine aufgetretene Exception abfangen. Statt des Programmabsturzes können dann automatisch Schritte ausgeführt werden, die z.B. den Fehler an den User kommunizieren. Andererseits kann an jenen Stellen das Auftreten einer Exception verhindert werden. Das wird am Beispiel eines Casts von Zahlen erläutert:

Fehlerquelle Cast

Wird im Programmcode ein Cast vom Datentyp einer Zahl in einen anderen vorgenommen, kann eine Exception auftreten, falls die Zahl mit den zur Verfügung stehenden Bits des neuen Datentyps nicht korrekt dargestellt werden kann. Solche Casts kann man allerdings schützen, indem zuvor überprüft wird, ob die zu konvertierende Zahl im Wertebereich des Zieldatentyps ist. Nur falls dies zutrifft, wird der Cast vorgenommen. Die Überprüfung verhindert eine Exception und ist „guter Stil“ bei Programmierern.

Warum explodierte die Ariane 5?

Kurz nach dem Start der Ariane 5 wurde im Softwarecode eines wichtigen Messsystems (SRI) ein Cast von einer double- zu einer short-Zahl vorgenommen, der nicht wie oben beschrieben geschützt war. Die konvertierte Zahl war viel zu groß, um mit nur 16 Bits korrekt dargestellt zu werden. Die dadurch aufgetretene Exception markiert den Anfangspunkt einer Kettenreaktion, die in der Selbstzerstörung der Rakete mündete. Später wurde bekannt, dass die fehlerhafte Codezeile aus dem SRI-Code des Vorgängermodells Ariane 4 kopiert wurde, in dem Glauben, die betroffene Zahl würde keinen größeren Wert als mit 16 Bits darstellbar annehmen. Die genauen Abläufe nach dem Auftreten des Fehlers werden in einem kurzen Video erläutert, das über den QR-Code erreichbar ist. Auf der Website können zudem Dezimalzahlen in andere Zahlensysteme transformiert werden.



Abbildung: Videoanimation