



# Algorithmen und Datenstrukturen (Informatik III)

WS1999/2000 – Übungsblatt 3

Abgabetermin: 24. November 1999

**Aufgabe 1.** *formale Spezifikation einer Warteschlange*

Ergänzen Sie die formale Spezifikation `Queue-Module` um die entsprechenden Teile für `Front()` und `Queue-Empty()`.

**Aufgabe 2.** *Implementierung einer Datenkapsel in C++*

Schreiben Sie ein C++-Programm, das eine a-priori in der Länge beschränkte *Warteschlange* von `double`-Zahlen benutzt. Halten Sie sich dabei bei der Warteschlange an die Spezifikation `Queue-Module` der Vorlesung; der ausführbare Teil des Programms sollte die Warteschlangenoperationen „vollständig“ testen. Übersetzen Sie und führen Sie Ihr Programm aus.

**Bemerkung:** Benutzen Sie zur Implementierung dieser ersten Version ein `array` und benutzen Sie eine Klasse

```
template<class T>
class Queue{
    ...
}
```

Wie kann der Typ `Message` realisiert werden?

**Aufgabe 3.** *Softwaregüte: Marssonden-Absturz*

Welche Softwaregüte-Kriterien wurden beim „Mars Climate Orbiter“-Absturz verletzt?

# Fuß gegen Meter, Pound gegen Newton

„Go Metric“ stößt in Amerika auf taube Ohren / Warum die Marssonde abstürzte / Von Horst Rademacher

SAN FRANCISCO, 12. November. Die Verantwortlichen der amerikanischen Welt-raumbehörde Nasa machten dieser Tage gute Miene zum bösen Spiel, als eine Untersuchungskommission offiziell bestätigte, was in Fachkreisen schon seit Wochen vermutet wurde: Der Absturz der Raumsonde „Mars Climate Orbiter“ auf die Oberfläche des „Roten Planeten“ im September sei eindeutig darauf zurückzuführen, dass in den verschiedenen Computerprogrammen zur Navigation der Raumsonde gleichzeitig angelsächsische und metrische Maßeinheiten verwendet wurden. Mindestens einmal zuvor, bei einem Flug einer Raumfähre vor vierzehn Jahren, hatte sich die Nasa bereits blamiert, weil ihre Ingenieure die Längeneinheiten Fuß und Kilometer verwechselt hatten.

Nicht nur flüchtige Besucher der Vereinigten Staaten wundern sich immer wieder, dass überall im Land ausschließlich die archaisch anmutenden angelsächsischen Maßeinheiten verwendet werden. Entfernungen werden in Fuß, Yards oder Meilen gemessen, Flächen in Quadratfuß oder Acres, Volumina in Unzen, Gallonen oder „Acre-Feet“. Für die Gewichte gibt es eine andere Form von Unzen und das Pound, das aber wiederum 47 Gramm leichter als ein deutsches Pfund ist. Kräfte werden auch in Pounds, der Druck demnach in Pound pro Quadratzoll gemessen. Dass ein Drehmoment schließlich in „Foot-Pounds“ ausgedrückt wird, dürfte niemanden mehr wundern. Im Wetterbericht ist stets von Grad Fahrenheit die Rede, und bei der Bestimmung des Luftdrucks wird die Höhe der Quecksilbersäule in Zoll gemessen.

In Amerika weichen aber nicht nur die Maßeinheiten von den fast überall auf der Welt geltenden Normen ab. Zur Verwirrung tragen auch die völlig unterschiedlichen Unterteilungen der Einheiten bei. Während in den anderen Industrieländern nach dem Dezimalsystem unterteilt wird, also zum Beispiel hundert Zentimeter einen Meter ergeben, geht es in Amerika wild durcheinander. So ist ein Yard drei Fuß lang, eine Meile hat man aber erst zurückgelegt, nachdem man 1760 Yards durchschritten hat. Ein Pound hat 16 Gewichtsunzen, eine Gallone, ein Hohlmaß von 3,78 Litern, besteht aus 128 Flüssigunzen. Nicht nur Heimwerker sind gelegentlich überfordert, wenn sie Schraubenschlüssel von „sieben Vierundsechzigstel“ oder „elf Zweiunddreißigstel“ Zoll Öffnungsbreite suchen. Auch der Elektrodenabstand bei Zündkerzen in Ottomotoren wird nicht in Bruchteilen von Millimetern, sondern in tausendstel Zoll angegeben, die aber dennoch „Mills“ genannt werden.

Schon seit Jahrzehnten bemüht sich die amerikanische Regierung über das „Nationale Institut für Standards im Messwesen“ um die Einführung der metrischen Maßeinheiten. Im Alltag fällt aber wie in fast allen Schulen der Schlächtruf „Go Metric“ auf taube Ohren. Automechaniker sind deshalb meist wenig erfreut, wenn sie ein Importfahrzeug aus Europa oder Japan mit

metrischem Werkzeug und nicht mit „standard tools“ reparieren müssen, wie sie für die Fahrzeuge aus Detroit üblich sind. Selbst im High-Tech Silicon Valley messen die Zimmerleute in Zoll, und Maurer bestellen den Mischbeton in „Cubicyards“.

Um die Einführung des metrischen Messsystems zu beschleunigen, sind alle Regierungsbehörden angewiesen, nur noch in Meter, Kilogramm und Sekunde und den daraus abgeleiteten Einheiten zu messen. Das gilt auch für die Nasa, deren Konstruktionszeichner die Abmessungen von Satelliten und Raketen in den internationalen Einheiten anzugeben haben. Auch die Programmierer, die mathematische Gleichungen in Computerprogramme verwandeln, sind angehalten, alle Rechnungen im metrischen System auszuführen.

Dennoch kommt es aber immer wieder vor, dass nicht alle Mitarbeiter den Sprung zu metrischen Einheiten schaffen. So war es beim achtzehnten Flug des Shuttle-Programms im Sommer 1985. Zu den Aufgaben der Besatzung der Raumfähre Discovery gehörte damals auch ein Versuch im Rahmen der von Präsident Reagan angeregten Strategischen Verteidigungs-Initiative (SDI). An der in Flugrichtung linken Außenseite des Raumtransporters war ein Spiegel angebracht. Er sollte während des Fluges vom Boden aus mit einem Laserstrahl beleuchtet werden. Ziel des Experimentes war es, Verzerrungen im Laserbündel zu messen, die durch Dichteunterschiede in der Atmosphäre verursacht werden.

Der Versuch sollte vorgenommen werden, als die Raumfähre über die Hawaii-Insel Maui flog. Auf dem 3341 Meter (10023 Fuß) hohen Heleakala unterhält die amerikanische Luftwaffe nämlich ein Observatorium, von dem damals regelmäßig sowjetische Satelliten mit Laserstrahlen beleuchtet und dabei zu Spionagezwecken fotografiert wurden. Damit der Laserstrahl den Spiegel an Bord der Discovery überhaupt treffen konnte, musste die normalerweise mit „dem Kopf nach unten“ fliegende Raumfähre während des Fluges über Maui so um 90 Grad gedreht werden, dass ihre linke Seite zur Erde wies. Dieses Manöver war im Navigationscomputer programmiert worden und sollte automatisch ausgeführt werden.

Beim ersten Flug über Hawaii drehte sich der Orbiter aber auf die rechte Seite, der Spiegel zeigte nicht zur Erde, sondern wies in den Weltraum. Auch bei der nächsten Passage etwa 90 Minuten später wandte sich die Raumfähre wieder von der Erde weg. Bei der Analyse des Problems stellte sich heraus, dass die Höhe des Observatoriums auf Maui in dem Programm nicht mit 10023 Fuß, sondern mit 10023 Kilometern angegeben worden war. Der Computer steuerte die Raumfähre so, als müsste der Spiegel das Laserlicht von einem 10023 Kilometer hohen Berg, also aus der Tiefe des Weltraums, empfangen.

Zu einer ähnlichen Verwechslung kam es bei der am 11. Dezember 1998 gestarteten Mars-Sonde. Die Navigationscomputer

an Bord der Sonde waren alle in metrischen Einheiten programmiert. Die Computer in der Bodenstation enthielten aber einige wichtige Werte in angelsächsischen Einheiten. Der Fehler wurde erst bemerkt, als die Sonde am 23. September in eine Umlaufbahn um den Mars einschwenken sollte. Dabei sollte sie sich dem Planeten auf etwa 230 Kilometer nähern. Eine Höhe von 80 Kilometern über der Marsoberfläche durfte nicht unterschritten werden, weil es sonst zum Absturz gekommen wäre.

Der gesamte Flug verlief planmäßig, so dass die Triebwerke am 23. September pünktlich um 9 Uhr 0 Minuten 46 Sekunden Weltzeit gezündet werden konnten. Genau 4 Minuten und 41 Sekunden später hätte die Sonde hinter dem Mars verschwinden sollen, um dann in eine nahezu kreisförmige Bahn um den „Roten Planeten“ einzuschwenken. Als die Raumsonde jedoch 49 Sekunden früher im Marsschatten verschwand, wussten die Ingenieure in der Bodenkontrollstation, dass irgendetwas schief gelaufen war. Die Sonde war dem Mars zu nahe gekommen und anschließend auf der Rückseite des Planeten abgestürzt. Sie war damit für immer verloren.

Die Fachleute der Untersuchungskommission bestätigten nun offiziell, dass der Absturz auf die Tatsache zurückzuführen war, dass die Triebwerke an Bord der Sonde einen Schub lieferten, der für das Einschwenken in die korrekte Umlaufbahn viel zu groß war. Dem wiederum lag kein mechanisches Versagen von Pumpen oder Triebwerksventilen zugrunde. Vielmehr stimmten die von den Computern am Boden und den in der Raumsonde berechneten Navigationswerte nicht überein. Daraufhin kam es zu Diskrepanzen bei der automatischen Bestimmung der tatsächlichen Flugbahn der Sonde, was wiederum zu den falschen Steuerbefehlen für die Triebwerke führte. Die Ursache dieser Rechenfehler lag, so meinte die von der Nasa eingesetzte Untersuchungskommission, ausschließlich darin, dass die Computer an Bord und am Boden mit unterschiedlichen Maßeinheiten für den Impulsvektor der Triebwerke programmiert waren. Auf dem Orbiter wurden die Werte in der metrischen Einheit Newton mal Sekunde berechnet, in den Computern am Boden im angelsächsischen Pound mal Sekunde. Die Diskrepanz zwischen diesen beiden Größen macht einen Faktor von 4,45 aus, jener Wert, der zur Berechnung des überhöhten Schubs der Triebwerke verwendet wurde.

In dem nun vorgelegten Zwischenbericht sprach die Kommission Empfehlungen aus, wie solche Programmierfehler künftig vermieden werden können. In Tag- und Nachtschichten überprüfen Ingenieure des zur Nasa gehörenden Jet Propulsion Laboratory im kalifornischen Pasadena nun die Programme für die Schwertersonde des Mars Climate Orbiter. Der so genannte Mars Polar Lander soll am 3. Dezember in der Nähe des Südpols des Mars landen – wenn nicht wieder irgendwo Fuß mit Metern verwechselt worden sind.