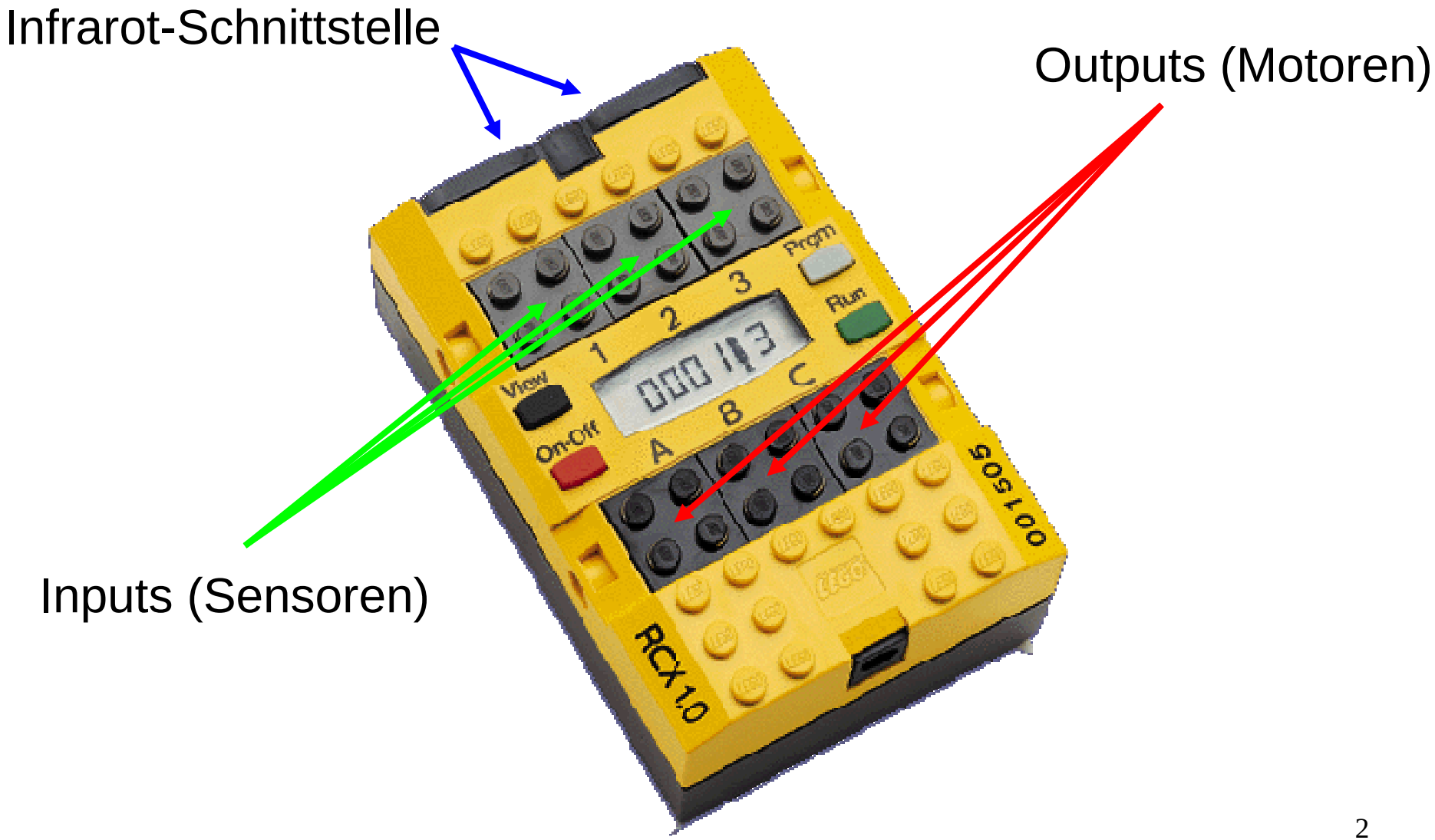
Einführung in die Informatik

LeJOS

Das Java Operating System für Lego Mindstorms

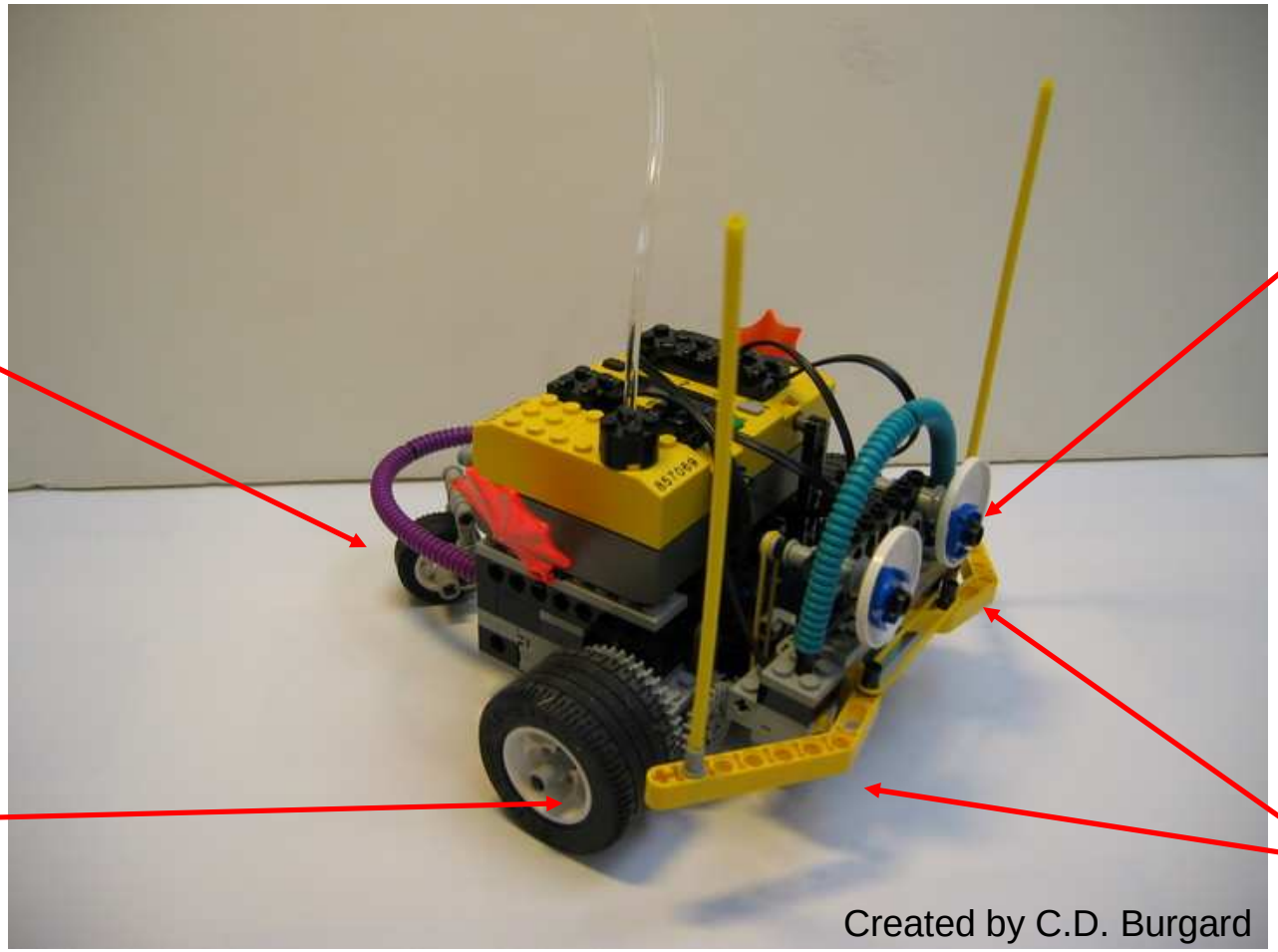
Wolfram Burgard

Die RCX-Einheit



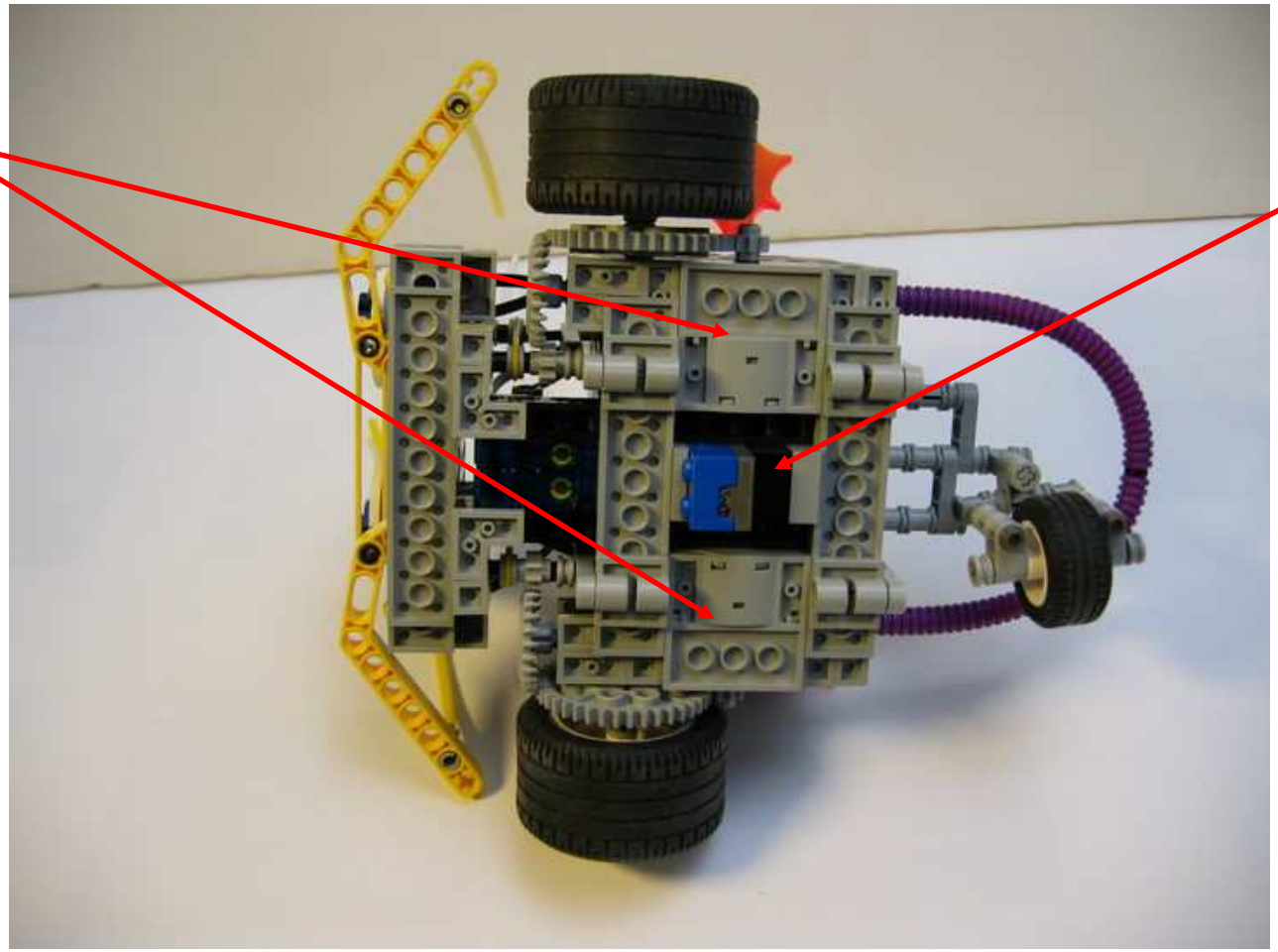
RCX mit Sensoren und Motoren

Ein Beispielroboter



Ansicht von unten

Motoren



Licht-
sensor

Quellen für LeJOS

- Sourceforge Project Homepage (LeJOS-Quellen): http://lejos.sourceforge.net/
- Dort sind auch die API-Dokumentation einsehbar (und auch download-bar)
- Tutorial von R. Schiedermeier, FH München, FB 07.
- Web-Page zur Vorlesung.

Eigenschaften von LeJOS

- Objektorientierte Sprache (Java)
- Preemptive threads (tasks)
- Arrays, auch multi-dimensionale
- Rekursion
- Dokumentierte API.
- Fließkommaoperationen (Doubles sind auf 32 Bit eingeschränkt).
- String-Konstanten.
- java.lang.Math-Klasse, die sin, cos, tan, atan, pow, usw. zur Verfügung stellt.
- Casting von longs to ints und umgekehrt.

Darüber hinaus:

- Synchronisierung
- Ausnahmen (Exceptions)
- Eine Windows version, die ohne CygWin läuft.
- Referenzen werden verwaltet, was eine Implementierung einer Garbage Collection ermöglicht.
- Multi-program downloading.

Installation

- Um Programme ausführen zu können, benötigt die RCX-Einheit eine so genannte **Firmware**.
- Diese Firmware **entspricht dem Betriebssystem eines Rechners**.
- Um auf dem **Mindstorms-System Java-Programme** ausführen zu können, **muss** eine **andere Firmware installiert werden**.
- Diese **Firmware für das LeJOS** entspricht im Prinzip einer **Java Virtual Machine für die RCX**.

Hinweise:

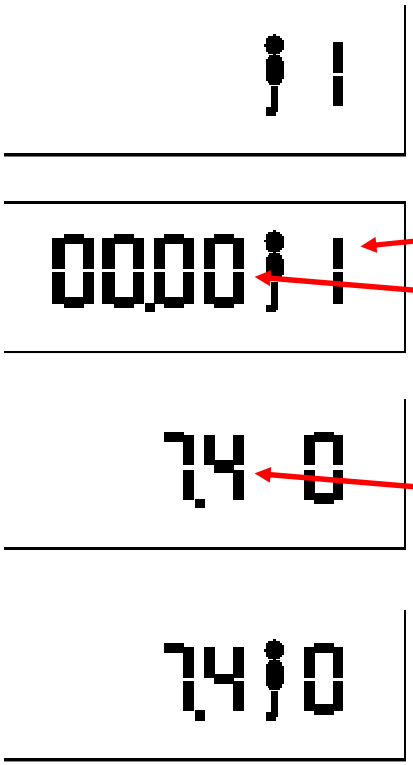
1. Auf einer neuen RCX ist keine Firmware installiert.
2. Wenn der On-Button gedrückt wurde, während die Batterien entnommen sind, geht die Firmware verloren.

Installation der LeJOS Firmware (Linux)

- Die Umgebungsvariable $LEJOS_HOME muss das Verzeichnis der LeJOS-Installation enthalten
- Das Verzeichnis $LEJOS_HOME/bin soll im Pfad enthalten sein.
- Die Variable RCXTTY soll die Device enthalten, über die der Infrarot-Tower angesprochen werden kann. Bei einem USB-Tower ist dies RCXTTY=usb. Bei einem seriellen Tower ist dies üblicherweise /dev/ttyS1
- Alternativ kann man das Argument --tty=usb an die entsprechenden Befehle übergeben.

Die Firmware und das Display der RCX

- Ob eine Firmware installiert ist, lässt sich leicht an dem Display der RCX ablesen:



Keine Firmware installiert

Programmplatz

Lego Mindstorms Firmware installiert

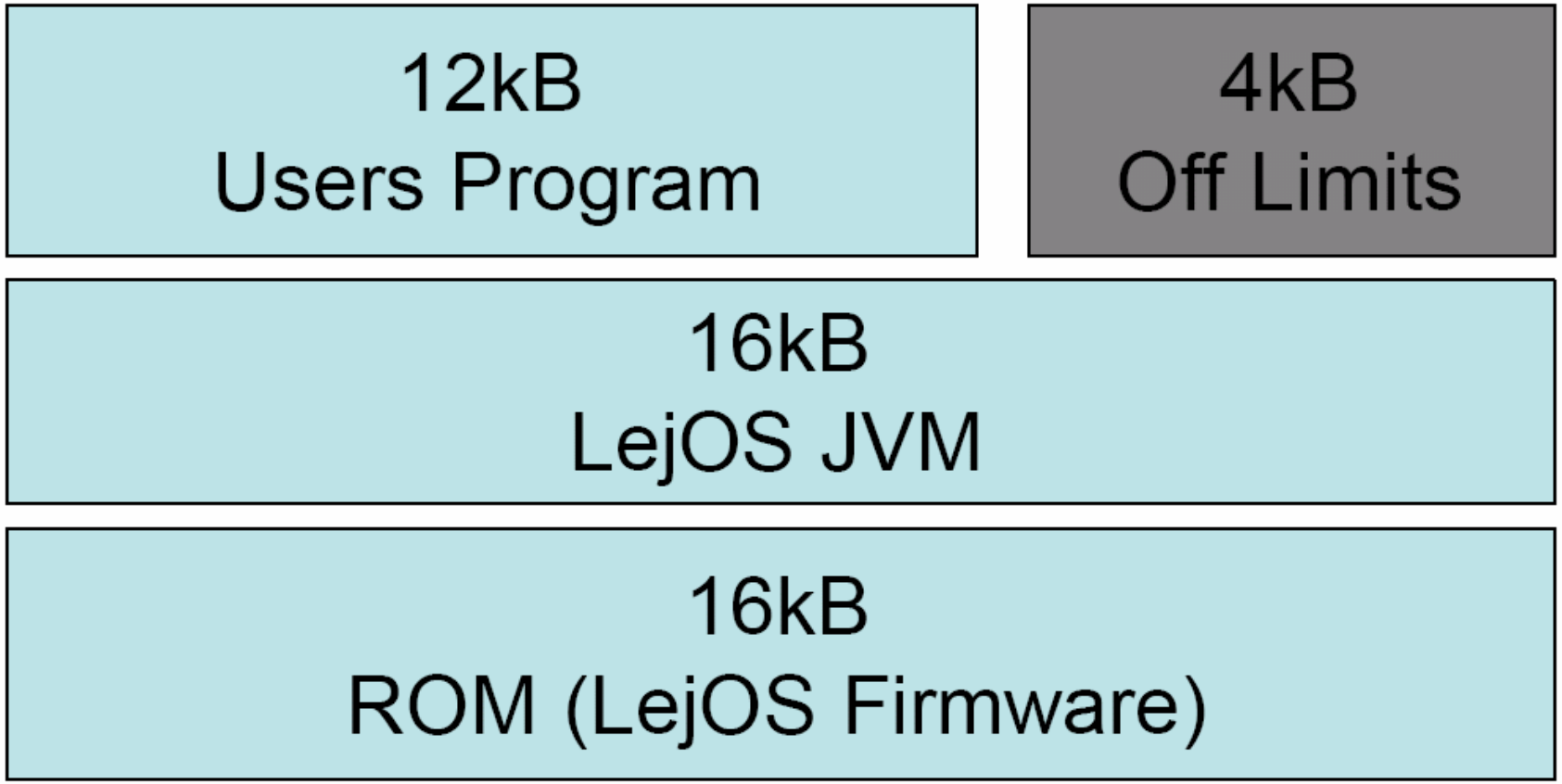
Uptime

LeJOS Firmware installiert

Spannung

LeJOS und Programm installiert

Speicherstruktur der RCX



Jumping into LeJOS: Hello World

```
import josx.platform.rcx.*;

class HelloWorld {
   public static void main(String[] args) throws
                                        InterruptedException {
      TextLCD.print("HELLO");
      Button.RUN.waitForPressAndRelease();
      TextLCD.print("WORLD");
      Button.RUN.waitForPressAndRelease();
   }
}
```

Nach dem Kompilieren und Transferieren dieses Programms erscheint auf dem Display nach dem 1. Drücken der Run-Taste die RCX-Darstellung des Strings „HELLO“ und nach dem nächsten Drücken die RCX-Darstellung des Strings „WORLD“.

Übersetzen für die und Ausführen von Java-Programmen auf der RCX

- Die **Übersetzung** von Java-Programmen geschieht unter Linux mit dem Befehl `lejosc` (analog zu javac).
- Sollte das **Programm fehlerfrei übersetzt** worden sein, muss es im nächsten Schritt **auf die RCX übertragen** werden.
- Dies geschieht mit dem Befehl `lejos`.
- In unserem HelloWorld-Beispiel lauten die entsprechenden Befehle

```
lejosc HelloWorld.java
lejos HelloWorld
```

- War die **Übertragung erfolgreich**, kann das Programm direkt durch **Drücken des Run-Buttons ausgeführt** werden.

Motor-Befehle

- Um die **Motoren zu betreiben**, stellt die **Klasse** `Motor` **drei Instanzen** zur Verfügung, die den einzelnen **Motoren entsprechen**.
- Dies sind die Instanzen `Motor.A`, `Motor.B` sowie `Motor.C`.
- Jedem dieser Objekte können wir verschiedene Nachrichten schicken (Auswahl):

`void forward()`	Motor läuft forwärts
`void backward()`	Motor läuft rückwärts
`void reverse()`	dreht die Richtung um
`void stop()`	Motor stoppt abrupt und lässt sich auch nicht mehr leicht bewegen.
`setPower(int aPower)`	Setzt die Motor-Geschwindigkeit. Es können die Werte 0 bis 7 gesetzt werden.
`void flt()`	Der Motor wird nicht mehr angetrieben und befindet sich im Freilauf.
`char getId()`	Liefert die Nummer des Motors (‘A‘, ‘B‘, oder ‘C‘)
`boolean isMoving()`	`true`, wenn der Motor sich bewegt.

Ein Beispiel

```
import josx.platform.rcx.*;

class TestMotor {
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
      Motor.A.forward();
      Thread.sleep(1000);
      Motor.A.stop();
      Thread.sleep(1000);
      Motor.A.backward();
      Thread.sleep(1000);
      Motor.A.flt();
    }
}
```

Motor A läuft eine Sekunde vorwärts, stoppt für eine Sekunde, läuft dann eine Sekunde rückwärts und geht dann in den Freilauf.

Einmal im Quadrat fahren

```
import josx.platform.rcx.*;

class GoSquare{
   public static void main(String[] args) throws
                                        InterruptedException{
      int forwardTime=3000;     // length of square
      int rotationTime=720;     // time to rotate 90 degrees
      Motor.A.setPower(7);
      Motor.B.setPower(7);
      Motor.A.forward();
      for (int i=0; i < 4; i++){
         Motor.C.forward();
         Thread.sleep(forwardTime);
         Motor.C.reverse();
         Thread.sleep(rotationTime);
      }
      Motor.A.stop();
      Motor.C.stop();
   }
}
```

Und jetzt einmal im Kreis …

```
import josx.platform.rcx.*;

class GoCircle{
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException{
        int forwardTime=3000;
        Motor.A.setPower(7);
        Motor.C.setPower(1);
        Motor.A.forward();
        Motor.C.forward();
        Thread.sleep(7000);
        Motor.A.stop();
        Motor.C.stop();
    }
}
```

Gleiches Konzept: sehr langsam fahren …

```
import josx.platform.rcx.*;
class GoSlow {
   public static void main(String[] args) throws
                                          InterruptedException {
      while(true) {
         Motor.A.forward();
         Motor.C.forward();
         Thread.sleep(1);
         Motor.A.stop();
         Motor.C.stop();
         Thread.sleep(1);
      }
   }
}
```

Engere Kreise …

```
import josx.platform.rcx.*;

class GoCircle2{
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException{
        Motor.A.setPower(7);
        Motor.C.setPower(1);
        Motor.A.forward();
        for (int i = 0; i < 60; i++){
            Motor.C.forward();
            Thread.sleep(70);
            Motor.C.flt();
            Thread.sleep(150);
        }
        Motor.A.stop();
        Motor.C.stop();
    }
}
```

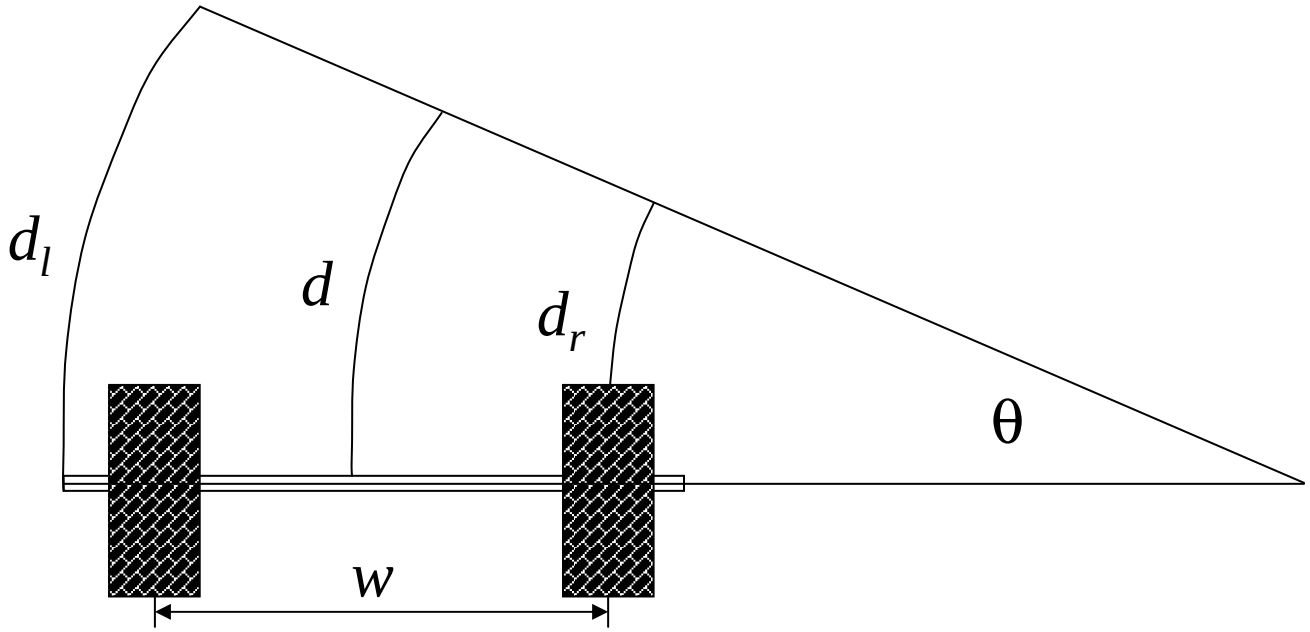
Dead Reckoning

- Dead Reckoning (abgeleitet von deduced reckoning) ist ein aus alten Segelzeiten abgeleiteter Begriff für die Bestimmung der aktuellen Position eines Vehikels.
- Die Grundidee dieses Verfahrens ist das Zählen der Radumdrehungen, um die Bewegungen des Fahrzeugs nachzuvollziehen und so ermitteln zu können, wo sich das System derzeit befindet.
- Leider sind die üblicherweise benötigten Parameter (Raddurchmesser, Abstand der Räder, verstrichene Zeit etc.) nie exakt bekannt.
- Daher ist Dead Reckoning eine sehr gute Hilfe, die aber niemals hinreichend sein kann.

Differentialantriebe

- Differentialantriebe stellen eine der häufigsten Antriebsarten im Bereich mobiler Roboter dar.
- Solche System zeichnen sich dadurch aus, dass zwei unabhängig antreibbare Räder auf jeder Seite der Plattform angebracht werden.
- Die Plattform wird zusätzlich durch ein oder mehrere Schwenkräder abgestützt.

Dead Reckoning mit für Roboter mit Differentialantrieb

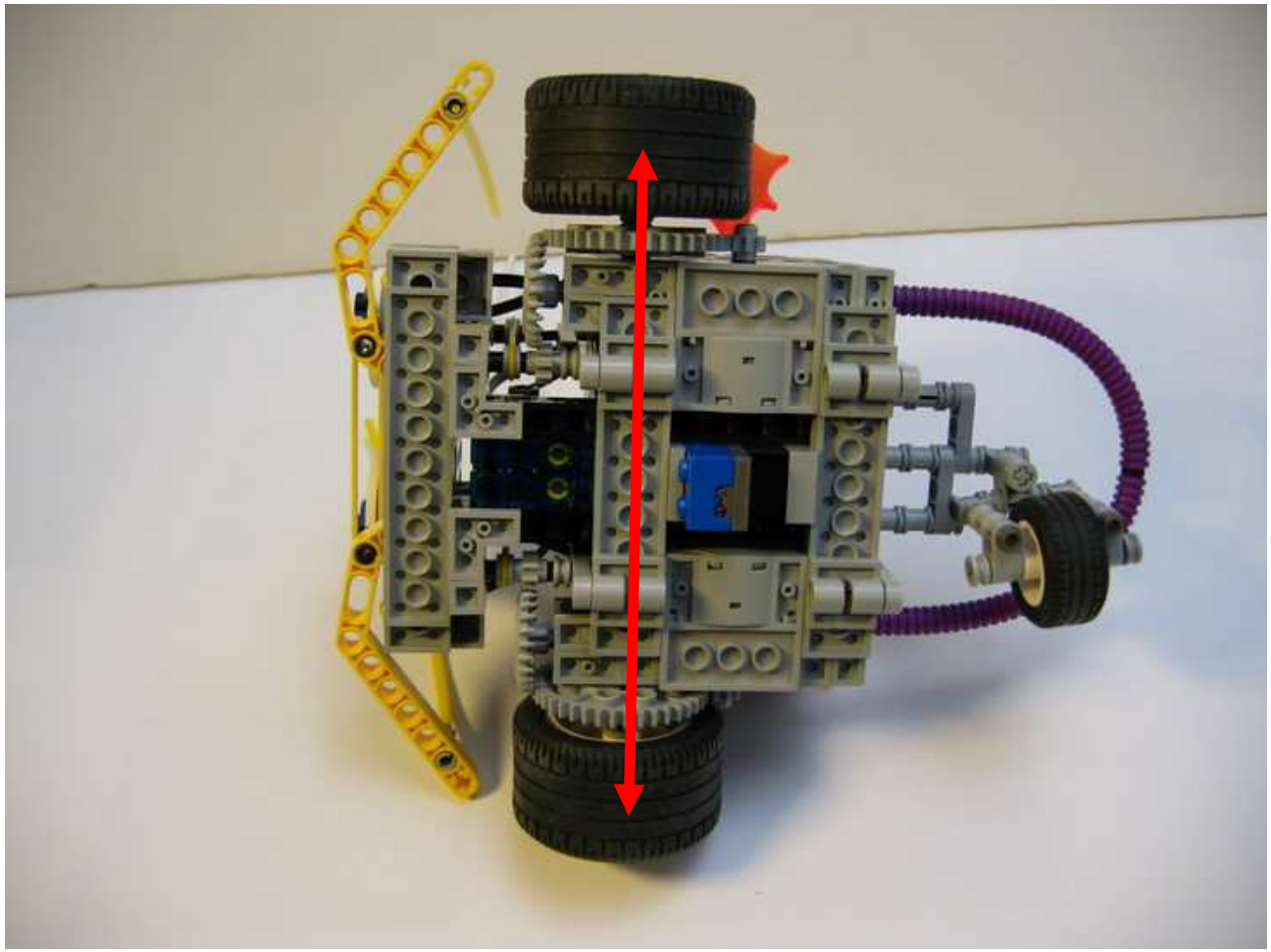


$$v = \frac{v_l + v_r}{2}$$

$$d = \frac{d_l + d_r}{2}$$

$$\theta = \frac{d_l - d_r}{w}$$

Beispiel: unser Roboter



Die Klasse TimingNavigator

- Die Klasse `TimingNavigator` stellt eine komfortable Möglichkeit dar, zu **navigieren** und gleichzeitig ein **Dead Reckoning** zu erhalten.
- Sie stellt **grundlegende Navigationsprimitive** zur Verfügung.
- Gleichzeitig versucht die **Position des Roboters zu berechnen**.
- Dies geschieht auf der Basis der **verwendeten Geschwindigkeiten** und der **verstrichenen Zeit**.
- Daher müssen **alle Navigationsbefehle** (die wir bisher direkt an den Motor gesendet haben) jetzt **an ein Objekt der Klasse** `TimingNavigator` **geschickt werden**.

- Hinweis: Diese Klasse arbeitet nur korrekt für Roboter, die ein Differentialantrieb besitzen und sich auf der Stelle drehen können.

Methoden der Klasse `TimingNavigator` (1)

- Um den **Roboter zu bewegen**, stellt die **Klasse** `TimingNavigator` **verschiedene Methoden** zur Verfügung.
- Die **Position** des Roboters wird immer dann **aktualisiert, nachdem der Roboter gestoppt wurde**.

`public` **`TimingNavigator`**`(Motor right, Motor left, float timeOneMeter,float timeRotate)`	Konstruktor
`void forward()`	Roboter fährt forwärts
`void backward()`	Roboter fährt rückwärts
`void stop()`	Roboter stoppt, neue Koordinaten werden berechnet
`void rotate(float angle)`	Rotiert den Roboter um den gegebenen Winkel. Methode endet mit dem Ende der Rotation.
`void gotoAngle(float angle)`	Rotiert den Roboter, so dass er anschließend in die angebene Richtung ausgerichtet ist.
`void travel(int distance)`	Der Roboter wird um die angegebene Distanz forwärts gefahren

Methoden der Klasse `TimingNavigator` (2)

`public gotoPoint(float x, float y)`	Der Roboter fährt zur angegebenen Position
`float getX()`	Liefert die x-Position des Roboters
`float getY()`	Liefert die y-Position des Roboters
`float getAngle()`	Liefert die Orientierung des Roboters
`float setMomentumDelay(short delay)`	Spezifiziert den zusätzlichen Aufwand für die Überwindung der Trägheit des Roboters bei Rotationen

- Das Argument `timeRotate` des Konstruktors spezifiziert die Zeit, die der Roboter für eine **Drehung um 360 Grad** benötigt.
- Der Wert `timeOneMeter` gibt die Zeit in Sekunden an, die Rotate **für das Zurücklegen von 1m benötigt**.
- Das Argument `delay` von `setMomentumDelay` spezifiziert die **Zeit, die zusätzlich benötigt wird**, **wenn der Roboter aus dem Stand um 360 Grad** rotiert, verglichen mit einer Rotation mit „fliegendem Start“.

Anwendung der Klasse `TimingNavigator`

Einmal im Quadrat fahren:

```
class Navigate {
   public static void main(String [] args) throws Exception {
      TimingNavigator n =
           new TimingNavigator(Motor.A, Motor.C, 7.32, 2.92);
      n.gotoPoint(100, 0);
      n.gotoPoint(100, 100);
      n.gotoPoint(0, 100);
      n.gotoPoint(0, 0);
      n.rotate(90);
   }
}
```

Töne abspielen

- Die RCX-Einheit kann ebenfalls **Töne generieren**.
- Benutzer können entweder **vordefinierte Sounds** oder auch **einzelne Töne abspielen**.
- Für das Abspielen von Tönen gibt es in LeJOS die Klasse `Sound`.

`void play(int aDuration, int aFrequency)`	Spielt dein Ton der entsprechenden Frequenz für die angegebenen Länge ab.
`void beep()`	Ein Beep
`void twoBeeps()`	Zwei Beeps
`void buzz()`	Tiefer Beep
`void beepSequence()`	Vorgegebene Tonsequenz

Ein Beispiel

```
import josx.platform.rcx.*;

class Duck
{
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
        while(true){
            for (int i=0; i<duck.length; i++){
                Sound.playTone(duck[i], duration[i]);
                Thread.sleep(500+5*duration[i]);
            }
            Thread.sleep(1000);
        }
    }
    static int duck[] = {262, 294, 330, 349, 392, 392, 440, 440, 440, 440, 392, 440, 440,
                         440, 440, 392, 349, 349, 349, 349, 330, 330, 294, 294, 294, 294, 262};
    static int duration[] = {30, 30, 30, 30, 90, 90, 30, 30, 30, 30, 90, 30, 30, 30, 30,
                         90, 30, 30, 30,30, 90, 90, 30, 30, 30, 30, 90};
}
```

Ausgabe auf das LCD

- Zur Ausgabe von Texten und Zahlen auf dem Display der RCX gibt es verschiedene Methoden.
- `LCD.clear()` löscht das Display
- `LCD.showNumber(int aValue)` zeigt eine Zahl ohne Vorzeichen an.
- `LCD.showProgramNumber(int aValue)` zeigt eine Ziffer auf dem Programmplatz an.
- Die Methode `TextLCD.print(string aString)` zeigt die ersten fünf Zeichen des `String`-Objektes aString an.

Sensoren

- Um die an die RCX anschließbaren Sensoren auszulesen, stellt LeJOS die Klasse `Sensor` zur Verfügung.
- Es gibt 3 Anschlüsse für Sensoren (1, 2, 3, im Gegensatz zu A, B, C bei den Motoren).
- Für jeden Sensoranschluss stellt die Klasse Sensor ein Sensor-Objekt bereit.
- Diese heißen `Sensor.S1`, `Sensor.S2` bzw. `Sensor.S3`
- Von Lego werden für die RCX Tast-, Licht- und Rotationssensoren angeboten.
- Die Sensoren liefern einen Wert aus dem Bereich 0-1023. Dies ist der Rohwert der Sensoren.

Methoden der Klasse Sensor

`void activate()`	Aktiviert einen Sensor (u.a. wichtig beim Lichtsensor).
`void passivate()`	Schaltet den Sensor ab
`int readRawValue()`	Liest den aktuellen Wert aus
`void setTypeAndMode(int aType, int aMode)`	Legt den Rückgabewert eines Sensors fest.
`boolean readBooleanValue()`	Liefert den boolean Wert des Sensors.

- Die möglichen Parameter der Methode `setTypeAndMode` sind in der Klasse `SensorConstants` festgelegt.
- Beispielsweise intialisiert man einen Tastsensor mit der Anweisung

```
Sensor.S1.setTypeAndMode(SensorConstants.SENSOR_TYPE_TOUCH,
                         SensorConstants.SENSOR_MODE_BOOL);
```

Ein einfaches Beispiel

```
import josx.platform.rcx.*;
class ShowTouch {
   public static void main(String[] args) {
      while(true)
         LCD.showNumber(Sensor.S1.readValue());
   }
}
```

Treads: Parallele Ausführung von Prozessen

- **Normalerweise**, wenn wir programmieren, **denken wir rein sequenziell**.
- Beispielsweise lesen wir häufig erst die Daten erst ein. Dann prozessieren wir sie und anschließend geben wir das Ergebnis aus.
- Selbst wenn **heutige Comuter in der Lage** sind, **mehrere Programme gleichzeitig auszuführen**, haben wir die grundsätzliche **Möglichkeit der Parallelisierung innerhalb von Programmen bisher keine Rücksicht genommen**.
- Wir haben also **sequentielle Programme** geschrieben und der **Computer hat die parallelele Ausführung dieser Programme realisiert** (impliziter Parallelismus)?
- **Threads** stellen nun eine **Möglichkeit** dar, **parrallele Lösungen für ein gegebenes Problem zu programmieren**.
- Allerdings müssen wir dann die **Parallelisierung explizit** machen.

Warum Threads?

- **Insbesondere interaktive Programme** sollen die Möglichkeit bieten, **Eingaben vorzunehmen, während Berechnungen durchgeführt werden**.
- Beispielsweise können **Web-Browser in einem Fenster eine Web-Seite laden**, während wir **in einem anderen Fenster ein Formular ausfüllen**.
- Auch können wir beispielsweise ein **Menü öffnen, während eine Seite geladen wird**.
- **Textverarbeitungssysteme führen Rechtschreibprüfungen** im Hintergrund durch, **während wir Tastatureingaben vornehmen**.
- Unser **Roboter** soll beispielsweise **Hindernisse umfahren** können und **gleichzeitig nach der schwarzen Linie suchen**.
- Insbesondere **in Fällen, in denen ein Programm mehrere Aufgaben gleichzeitig erfüllen soll**, ist es **wichtig, dass** eine parallele Ausführung **unterschiedlicher Programmteile möglich ist**.
- **Threads** stellen nun eine sehr **elegante Möglichkeit** dar, **mehrere parallele Prozesse innerhalb eines Programms** zu definieren.

Geht es nicht auch ohne Threads?

- **Im Prinzip kommt man auch vollkommen ohne Threads aus.**
- Beispielsweise kann man die **parallele Ausführung von Prozessen** auch **selbst simulieren**.
- Beitrachten wir beispielsweise das foldende Programmstück zum „parallelen“ Einlesen mehrer Web-Seiten.

```
for (int i=0; i<numberOfPages; i++)
   if ((line=webPage[i].readNextLine()) != null)
       page[i].addLine(line);
```

- Wir müssen die **tatsächliche Anzahl aller Web-Seiten vor dem Beginn der Schleife kennen**. **Späteres Hinzufügen oder Entfernen ist nicht möglich**.
- Der **Prozess beginnt für alle Seiten zum gleichen Zeitpunkt**.
- Die **langsamste Verbindung bestimmt das Tempo**.
- **Bei jeder Operation** müssen wir den **Parallelismus explizit machen**.

Threads in Java

- Java stellt eine **Klasse** `Thread` zur Verfügung, die **Threads modelliert**.
- Diese bietet uns die Möglichkeit, **Anwendungen** zu **realisieren**, in denen **mehrere Prozesse gleichzeitig ablaufen**.
- Mit Hilfe dieser Klasse erzeugen wir `Thread`-**Objekte**, zu denen **Programm-Code** gehört, den wir **gleichzeitig mit dem Code anderer Threads ausführen lassen**.
- Beispielsweise können wir Threads erzeugen, die Musik abspielen, den Batterielevel beobachten, auf Hindernisse reagieren, einer Linie folgen etc.
- **Thread-Objekte führen ihren Code simultan aus**.
- Wie diese **simultane Ausführung der unterschiedlichen Threads** stattfindet, ist **nicht festgelegt**.

Gleichzeitigkeit versus Parallelität

- Die **meisten der heutigen Computer besitzen lediglich einen Prozessor**.
- Deswegen können sie **zu jedem Zeitpunkt** auch **nur eine Anweisung ausführen**.
- Eine **echte parallele Ausführung von Anweisungen verschiedener Threads ist auf solchen Rechnern** daher **nicht möglich**.
- In der **Java Virutal Machine** wird die **gleichzeitige Ausführung von Threads** jedoch **simuliert**.
- Dies geschieht dadurch dass der **Interpreter zyklisch die einzelnen Threads durchgeht** und dabei **jeweils ein Stück des entsprechenden Codes abarbeitet**.
- Daher sprechen wir von **simultanter/gleichzeitiger Auführung anstelle von paralleler Ausführung**.
- Für den Anwender ist der Unterschied allerdings nicht merkbar.
- **Auf Mehrprozessorrechnern**, **kann** der **Laufzeitgewinn allerdings deutlich spürbar sein**.

Die `Thread`-Klasse

- Die Klasse `Thread` stellt eine **Methode** `start()` zur Verfügung, welche die **Ausführung des entsprechenden Threads initiiert**.
- **Bevor diese Methode aufgerufen wird**, **gibt es zwar ein** `Thread`**-Objekt**, der mit ihm assoziierte **Code wird allerdings nicht ausgeführt**.
- Ein einfaches Beispiel für die Ausführung von Threads ist das folgende Programm:

```
class DoNothingThreadExample {
        public static void main(String[] a) {
                Thread t1 = new Thread();
                Thread t2 = new Thread();
                t1.start();
                t2.start();
        }
}
```

Verwendung der `Thread`-Klasse

- Wenn wir das **oben gezeigte Programm ausführen, passiert nichts**.
- Das Programm hält unmittelbar an.
- Grund hierfür ist, dass der **Code, den ein `Thread`-Objekt beinhaltet per Default leer** ist. Es sind also keine Anweisungen in einem Thread-Objekt enthalten.
- Um ein `Thread`-Objekt zu erzeugen, welches ein simultan auszuführendes Programmstück beinhaltet, müssen wir eine **Klasse definieren, die die `Thread`-Klasse erweitert**.
- Diese Klasse muss die **Methode `run()` implementieren**, die das **simultan auszuführende Programmstück enthält**.
- Ein **typisches Muster einer solchen Klasse** ist:

```
class DoSomethingThreadExample extends Thread{
        …                            // Code, e.g., constructor
        public void run() {
                                    // Source code of the thread
        }
        …                          // Code, e.g., instance variables
}
```

Ein Beispiel: Threads die zählen

- Die folgende Klasse erlaubt das Erzeugen von Threads, die eine Variable inkrementieren.
- Der Wert, um den jeweils erhöht wird, wird dem Konstruktur übergeben.

```
class CountingThread extends Thread {
        public CountingThread(int x) {
                this.x = x;
        }
        public void run() {
                int i=0;
                while (i<15){
                    System.out.println(i);
                    i+=x;
                }
        }
        private int x;
}
```

Anwendung dieses Threads

- Das folgende Programm erzeugt nun zwei solcher Threads:

```
public class CountingThreadExample {
        public static void main(String a[]) {
                CountingThread t1 = new CountingThread(2);
                CountingThread t2 = new CountingThread(3);
                t1.start();
                t2.start();
        }
}
```

- Die Ausgabe dieses Programms ist üblicherweise:

```
0
2
4
6
8
10
12
14
0
3
6
9
12
```

Suspendieren von Threads

- Die **Ausführung dieser Threads erscheint nicht simultan stattzufinden**.
- Ein Grund hierfür ist, dass die Zeitscheibe, die die Java Virtual Machine den einzelnen Threads zuordnet so lang ist, dass die Threads innerhalb dieser Zeitspanne fertig werden können.
- **Grundsätzlich muss die Auführung nicht verzahnt stattfinden**.
- Die Java Virtual Machine **wechselt jedoch üblicherweise zu einem anderen Thread, wenn das gerade aktuelle Thread wartet** (beispielsweise weil die Festplatte auf die entsprechende Position fahren muss etc.).
- In Java kann man das **Wechseln erzwingen**, indem man **Threads kurzzeitig „suspended“**.
- Dies geschiet mit der Anweisung `sleep(int milliseconds)`, welches ein **Pausieren** für die entsprechende Zeit bewirkt (kein Busy-Wait wie `for(;;)`)

```
try {
          sleep(35);      //Suspend for 35 milliseconds
} catch(Exception e) {}
```

Ausführung von Threads, die suspendiert werden

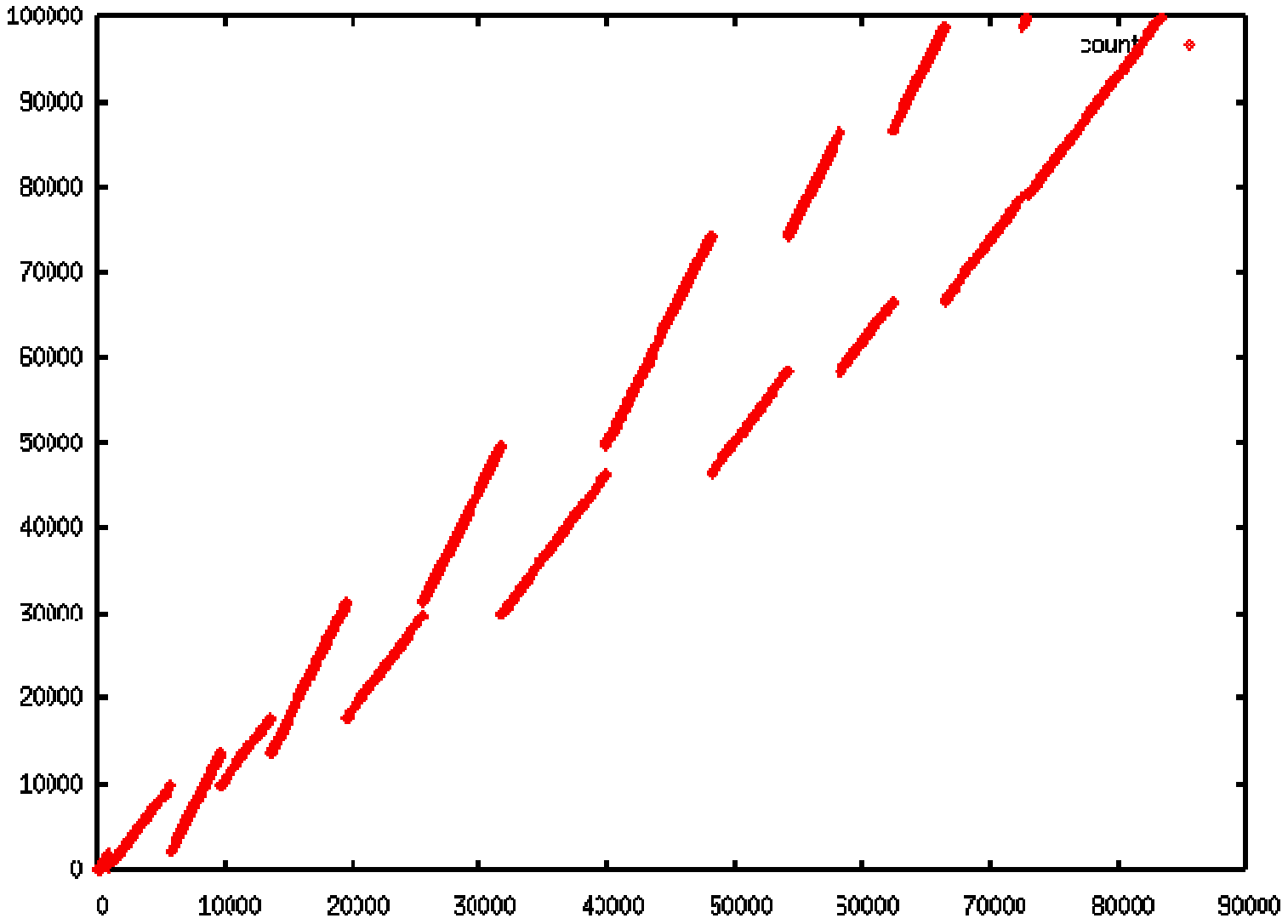
Variante:

```
class CountingThreadSleep extends Thread {
        public CountingThreadSleep(int x) {
                this.x = x;
        }
        public void run() {
                int i=0;
                while (i<15){
                    System.out.println(i);
                    i+=x;
                    try {
                        sleep(1);
                    } catch(Exception e){}
                }
        }
    private int x;
}
```

Ausgabe:

```
0
0
2
3
4
6
6
9
8
12
10
12
14
```

Automatische Suspendierung ohne `sleep()`, wenn i bis 100000 läuft



Anwendung auf der RCX: Hintergrundmusik

```
import josx.platform.rcx.Sound;
class MusicPlayer extends Thread {
   public void run() {
      while(true){
         for(int i=0;i<note.length; i+=2) {
            int duration = note[i+1];
            Sound.playTone(note[i], duration);
            try {
               Thread.sleep(duration*10);
            } catch (InterruptedException e) {};
         }
      }
   }
   private static int note[] = {
    165,24, 0,12, 175,12, 196,12, 0,12, 262,72, 0,12, 147,24, 0,12, 165,12,
    175,96, 0,24, 196,24, 0,12, 220,12, 247,12, 0,12, 349,72, 0,24, 220,24,
    0,12, 247,12, 262,48, 294,48, 330,48, 165,24, 0,12, 175,12, 196,12, 0,12,
    262,96, 0,24, 294,24, 0,12, 330,12, 349,96, 0,48, 196,24, 0,12, 196,12,
    330,36, 0,12, 294,24, 0,12, 196,12, 330,36, 0,12, 294,24, 0,12, 196,12,
    349,36, 0,12, 330,24, 0,12, 294,12, 262,96, };
}
```

Anwendung von Threads: die Klasse `Arbitrator`

- Typischerweise soll der **Roboter mehrere Aufgaben gleichzeitig erfüllen können.**
- Beispielsweise soll er einerseits geradeaus fahren (explorieren), andererseits soll er bei Berührungen mit Hindernissen diesen ausweichen.
- Wie oben wollen wir die **einzelnen Verhalten** (geradaus fahren und Hindernissen ausweichen) **unabhängig voneinander spezifizieren**.
- Welcher **Code ausgewählt** wird, soll **vom aktuellen Zustand der Sensoren abhängen**.
- In LeJOS kann dies durch die **Klasse `Arbitrator` realisiert** werden.
- Die **Klasse Arbitrator** erlaubt auch die **Spezifikation vom Umgang mit Konflikten**, wenn beispielsweise **zwei Verhalten auf das gleiche Betriebsmittel (Motor) zugreifen**.

Die Klasse `Arbitrator`

- Die Klasse Arbitrator bietet lediglich zwei Methoden.
- Der Konstruktor `public Arbitrator(Behavior[] behaviors)` erwartet als Argument ein **Array von Behaviors**.
- Die Methode `start()` startet den Arbitrator.

- In dem folgenden Beispiel verwenden wir drei verschiedene Verhalten:
  - Das erste Verhalten fährt vorwärts. Es ist normalerweise aktiv.
  - Das zweite Verhalten versucht Hindernissen auszuweichen.
  - Das dritte Verhalten stoppt den Roboter und beendet das Programm, wenn man den RUN-Knopf drückt.

Ein Beispiel für die Anwendung von `Arbitrator`

```
import josx.robotics.*;
import josx.platform.rcx.*;

class Behavior1 {

    public static void main(String [] args) {

        TimingNavigator navigation =
            new TimingNavigator(Motor.A, Motor.C,
                                timeForOneMeter, timeFor360Deg);

        Behavior b1 = new DriveForward(navigation);
        Behavior b2 = new HitWall(navigation, 20, 50);
        Behavior b3 = new QuitProgram(navigation);

        Behavior [] bArray = {b1, b2, b3};

        Arbitrator arby = new Arbitrator(bArray);
        arby.start();
    }

    static final float timeForOneMeter = 7.32f;
    static final float timeFor360Deg   = 2.92f;
}
```

Verhalten: Das Interface `Behavior`

- Um die **Verhalten zu implementieren, welche von einem Arbitrator-Objekt verwaltet werden**, verwendet man das **Interface Behavior**.
- Dieses Interface verlangt die **Implementierung von drei Methoden**:
  - `void action()`
    Der Code in dieser Methode repräsentiert das eigentliche **Verhalten des Roboters**, wenn diese Behavior aktiviert wird.
  - `void suppress()`
    Diese Methode beinhaltet die Anweisungen, die ausgeführt werden, wenn ein anderes Behavior aktiviert wird und dieses **Verhalten beendet werden soll**.
  - `boolean takeControl()`
    Diese Methode **liefert den Wert** `true`**, wenn die Voraussetzungen für dieses Verhalten erfüllt** sind und es aktiviert werden kann.
- **Jede dieser Methoden wird als eigenes Thread realisert**.
- Deshalb muss man bei Verwendung von Behaviors **darauf achten**, dass **bei der simultanen Ausführung dieser Methoden wichtige Inhalte gemeinsamer Variablen nicht überschrieben werden**.

Beispiel: Das Verhalten `HitWall`

- Der Roboter soll nach dem Zusammenstoß mit einem Hindernis zuerst eine gewisse Distanz rückwärts fahren und dann eine Rotation vom Hindernis weg ausführen.
- Aktiviert wird dieses Behavior, wenn einer der beiden Tastsensoren gedrückt wird.
- Wenn dieses Behavior deaktiviert wird, soll der Roboter anhalten.
- Um die Rotationsrichtung zu ermitteln, muss die Klasse HitWall den Zustand der Tastsensoren auswerten und in Instanzvariablen speichern.
- Weiter wollen wir ein Navigation-Objekt verwenden, um die Bewegungen des Roboters zu steuern.
- Dadurch kann der Roboter später (nahe) zu seinem Ausgangspunkt zurückkehren.

Der naive Ansatz: `HitWall`, Version 1

```
class HitWallVer1 extends Behavior  {
   public HitWallVer1(TimingNavigator navigation, int dist, float angle) {
          this.navigation = navigation;
          this.backupDistance = dist;
          this.rotationAngle = angle;
   }
   public boolean takeControl() {
          return (Sensor.S1.readBooleanValue() || Sensor.S3.readBooleanValue());
   }
   public void suppress() {
          this.navigation.stop();
   }
   public void action() {
        Sound.beepSequence();
        navigation.travel(-this.backupDistance);
        if (Sensor.S1.readBooleanValue())
            navigation.rotate(this.rotationAngle);
        else
            navigation.rotate(-this.rotationAngle);
   }
   protected int backupDistance;
   protected float rotationAngle;
   protected TimingNavigator navigation;
}
```

Probleme dieser Variante

- Nachdem der Roboter rückwärts gefahren ist, werden nochmals die Sensoren abgefragt, um festzustellen, in welcher Richtung das Hindernis umfahren werden soll.
- Die Sensoren sind aber zu diesem Zeitpunkt innerhalb der Methode `action()` längst nicht mehr in Kontakt mit dem Hindernis.
- Daher wertet sich die Bedingung von

```
if (Sensor.S1.readBooleanValue())
```

  immer zu `false` aus.
- Der Roboter weicht daher immer im Uhrzeigersinn aus, wenn die Variable `rotationAngle` einen positiven Wert hat.
- Die Lösung besteht darin, die Werte der Sensoren in Instanzvariablen zu speichern.

HitWall, Version 2

```
public class HitWallVer2 implements Behavior {
    public HitWallVer2(TimingNavigator navigation, int dist, float angle) {
        this.navigation = navigation;
        this.backupDistance = dist;
        this.rotationAngle = angle;
        this.leftSensor = this.rightSensor = false;
    }
    public boolean takeControl() {
        this.leftSensor  = Sensor.S1.readBooleanValue();
        this.rightSensor = Sensor.S3.readBooleanValue();
        return (this.leftSensor || this.rightSensor);
    }
    …
    public void action() {
        Sound.beepSequence();
        navigation.travel(-this.backupDistance);
        if (this.leftSensor)
            navigation.rotate(this.rotationAngle);
        else
            navigation.rotate(-this.rotationAngle);
    }
    …
    protected boolean leftSensor;
    protected boolean rightSensor;
}
```

Warum sich nichts ändert …

- Die Frage, warum dieses Program das gleiche Verhalten zeigt, wie Version 1, läßt sich nur erklären, wenn man die **Ausführung der Behaviors durch den Arbitrator berücksichtigt**.
- Wie oben erwähnt, werden die einzelnen **Methoden** `takeControl()` sowie die `action()`**-Methode des aktiven Behaviors als Threads simultan ausgeführt**.
- Da in `takeControl()` die Instanzvariablen `leftSensor` und `rightSensor` **ständig neu gesetzt werden**, sind sie natürlich längst überschrieben, nachdem der Roboter zurückgesetzt hat.
- Da er beim Zurücksetzen aber nicht an ein Hindernis stößt, haben beide den Wert `false`, sobald der test in der Methode `action()` ausgeführt wird.
- Daher **wertet sich die Bedingung** von

```
if (this.leftSensor)
```

  ebenfalls zu `false` **aus**.
- Die **Lösung** besteht darin, das **Überschreiben der Werte zu verhindern, das Behavior aktiv ist**.

Der Konstruktor und die Instanzvariablen von `HitWall`

```
class HitWall extends Behavior  {

   public HitWall(TimingNavigator navigation, int dist, float angle) {
        this.navigation = navigation;
        this.backupDistance = dist;
        this.rotationAngle = angle;
        this.leftSensor = false;
        this.rightSensor = false;
   }


   protected int backupDistance;
   protected float rotationAngle;
   protected TimingNavigator navigation;
   protected boolean leftSensor;
   protected boolean rightSensor;
}
```

Die korrekten Methoden `takeControl()` und `action()` von `HitWall`

```
public boolean takeControl() {
        boolean sensor1 = Sensor.S1.readBooleanValue();
        boolean sensor3 = Sensor.S3.readBooleanValue();

        if (sensor1 || sensor3) {
            this.leftSensor  = sensor1;
            this.rightSensor = sensor3;
            return(true);
        } else
            return(false);
}

public void action() {
        …
        this.leftSensor = this.rightSensor = false;
}
```

Die komplette Klasse `HitWall`

```
import josx.robotics.*;
import josx.platform.rcx.*;

public class HitWall implements Behavior {

    public HitWall(TimingNavigator navigation,
                   int dist, float angle) {
       this.navigation = navigation;
       this.backupDistance = dist;
       this.rotationAngle = angle;
       this.leftSensor = false;
       this.rightSensor = false;
    }

    public boolean takeControl() {
       boolean sensor1 = Sensor.S1.readBooleanValue();
       boolean sensor3 = Sensor.S3.readBooleanValue();

       if (sensor1 || sensor3) {
          this.leftSensor  = sensor1;
          this.rightSensor = sensor3;
          return(true);
       } else {
          return(false);
        }
    }

    public void suppress() {
       navigation.stop();
    }
```

```
    public void action() {
       Sound.beepSequence();
             // Drive backwards
       navigation.travel(-this.backupDistance);
             // Rotate away
       if (this.leftSensor) {
          navigation.rotate(this.rotationAngle);
       } else {
          navigation.rotate(-this.rotationAngle);
       }
       this.leftSensor = this.rightSensor =
             false;
     }

     protected int backupDistance;
     protected float rotationAngle;
     protected TimingNavigator navigation;
     protected boolean leftSensor;
     protected boolean rightSensor;

}
```

Die komplette Klasse `DriveForward`

```
import josx.robotics.*;
import josx.platform.rcx.*;

public class DriveForward implements Behavior {

   public DriveForward (TimingNavigator navigation) {
      this.navigation = navigation;
   }

   public boolean takeControl() {
      return true;
   }

   public void suppress() {
      navigation.stop();
   }

   public void action() {
      navigation.forward();
   }

   protected TimingNavigator navigation;
}
```

Die komplette Klasse `QuitProgram`

```
import josx.robotics.*;
import josx.platform.rcx.*;

public class QuitProgram implements Behavior {

   public QuitProgram(TimingNavigator navigation) {
      this.navigation = navigation;
    }

   public boolean takeControl() {
      return(Button.RUN.isPressed());
   }

   public void suppress() {
      System.exit(0);
   }

   public void action() {
      Sound.buzz();
      navigation.stop();
   }

   protected TimingNavigator navigation;
}
```

Das Programm BumperCar

Unser Arbitrator-Beispiel relaisiert somit einen Roboter, der exploriert und im Fall von Hindernissen, versucht, diese zu umfahren. Das Programm kann durch Drücken des Run-Knopfes gestoppt werden.

```
import josx.robotics.*;
import josx.platform.rcx.*;

class Behavior1 {

    public static void main(String [] args) {

        TimingNavigator navigation =
            new TimingNavigator(Motor.A, Motor.C,
                                timeForOneMeter, timeFor360Deg);

        Behavior b1 = new DriveForward(navigation);
        Behavior b2 = new HitWall(navigation, 20, 50);
        Behavior b3 = new QuitProgram(navigation);

        Behavior [] bArray = {b1, b2, b3};

        Arbitrator arby = new Arbitrator(bArray);
        arby.start();
    }

    static final float timeForOneMeter = 7.32f;
    static final float timeFor360Deg   = 2.92f;
}
```

Listener

- In unseren Beispielen oben haben wir **stets aktiv die Sensoren abgefragt**, wenn wir den Zustand erfahren wollten.
- Dies geschah beispielsweise mit `Sensor.readValue()`.
- Dieses Verfahren nennt man **Polling** (engl. abfragen).
- LeJOS stellt mit den **Listenern** ein zusätzliche Möglichkeit zur Verfügung.
- Die `Listener` funktionieren so, dass bei Änderungen der Sensorwerte automatisch von uns definierte Methoden aufgerufen werden können.
- Das **Motto der** `Listener` lässt sich auch mit

  Don’t call us, we call you.

  umschreiben.
- Dies ist vergleichbar mit einem Email-Benachrtigungssystem, bei dem ein Fenster aufgeht, wenn eine neue Email angekommen ist.

Verwendung von Listenern

- Ein **Listener** ist ein Objekt einer **Listener-Klasse**, die wiederum ein `Listener`-Interface implementieren muss.

- Dieses **Interface gewährleistet**, dass die Listener-Klasse die **Methode**

```
stateChanged(Sensor s, int old, int nu)
```

implementiert.

- Ein typisches Beispiel:

```
class TouchViewer implements SensorListener {
   public void stateChanged(Sensor s, int old, int nu) {...}
}
```

- Ein Objekt dieser Klasse wird dann beispielsweise mit der **Methode**

```
Sensor.S1.addSensorListener(SensorListener sl)
```

beim Sensor `S1` **registriert**.

Beispiel: Listener für den Lichtsensor

```
import josx.platform.rcx.*;

class Watcher implements SensorListener
{
    Watcher(Motor m, int val) {
        this.myMotor   = m;
        this.threshold = val;
    }

    public void stateChanged (Sensor src, int oldValue, int newValue) {
        // Will be called whenever sensor value changes
        if (newValue>this.threshold) {
            this.myMotor.stop();
        } else {
            this.myMotor.forward();
        }
        try {
            Thread.sleep(100);
        } catch (InterruptedException e) {}
    }

    private Motor myMotor;
    private int   threshold;
}
```

Anwendung des Listeners

```
import josx.robotics.*;
import josx.platform.rcx.*;

class ShowLight {

   public static void main(String [] args)
                              throws InterruptedException {

      Watcher lightWatcher = new Watcher(Motor.B, 50);
      Sensor.S2.setTypeAndMode(
                                 SensorConstants.SENSOR_TYPE_LIGHT,
                                 SensorConstants.SENSOR_MODE_DEGC);
      Sensor.S2.activate();
      Sensor.S2.addSensorListener(lightWatcher);

      Button.RUN.waitForPressAndRelease();
   }

}
```

Und jetzt alles zusammen ...

```
import josx.robotics.*;
import josx.platform.rcx.*;

class Behavior2 {

    public static void main(String [] args) {

        TimingNavigator navigation =
            new TimingNavigator(Motor.A, Motor.C, timeForOneMeter, timeFor360Deg);

        Watcher lightWatcher = new Watcher(Motor.B, 50);
        Sensor.S2.setTypeAndMode(SensorConstants.SENSOR_TYPE_LIGHT,
                                 SensorConstants.SENSOR_MODE_DEGC);
        Sensor.S2.activate();
        Sensor.S2.addSensorListener (lightWatcher);

        MusicPlayer musicThread = new MusicPlayer();
        musicThread.start();

        Behavior b1 = new DriveForward(navigation);
        Behavior b2 = new HitWall(navigation, 20, 50);
        Behavior b3 = new QuitProgram(navigation);
        Behavior [] bArray = {b1, b2, b3};
        Arbitrator arby = new Arbitrator(bArray);
        arby.start();
    }

    static final float timeForOneMeter = 7.32f;
    static final float timeFor360Deg   = 2.92f;

}
```

Mögliche Erweiterungen

- Timer
- zusätzliche Sensoren
  (z.B. Rotationssensor, der bessere Navigation ermöglicht)
- Verhalten, die es ermöglichen, einer Linie zu folgen.
- Verhalten, die es ermöglichen, ein Linie zu finden.
- Verhalten, die es ermöglichen, ein Objekt zu umfahren.
- ...

Zusammenfassung

- **LeJOS bietet eine Vielzahl von Funktionen**, die man auch im normalen Java verwenden kann.
- Der **TimingNavigator** bietet eine einfache **Möglichkeit, Navigation zu realisieren**.
- Der **Arbitrator** kann unterschiedliche **Behaviors verwalten**.
- **Listener vermeiden das regelmäßige Abfragen von Sensoren**.
- Wem das alles zu starr ist, kann es natürlich **auch per Hand programmieren** (Mathematische Funktionen, Threads, ...)

- Mit LeJOS hat man mehr Möglichkeiten als mit dem Standard-System von Lego.

- ... und man hat eine Menge Spaß.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit