Programmierung von eingebettenen Systemen

— LEGO-*Mindstorms* —

Stephan Höhrmann Jan Lukoschus

Martin Steffen Kai Witte

Inst. für Informatik u. Prakt. Mathematik

Christian-Albrechts Universtität zu Kiel

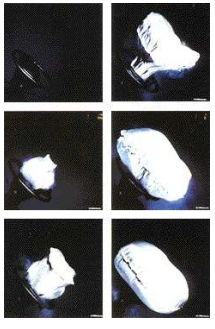
Was sind eingebettete Systeme?

- Kombination von Hard- und Software, meist für *eine* bestimmte Aufgabe, als
- Teil eines größeren Systems, welches kein “Computer” sein muß.

Wo finden sich eingebettete Systeme?

Überall

- Unterhaltungselektronik (DVD, CD, . . .)
- Handys, Kameras, Haushaltsgeräte . . .
- Autos (Airbag, Motorsteuerung, . . .)
- Industrielle Prozesse, Fertigungsautomatisierung
- Luft- und Raumfahrt



. . .

Charakteristika

Eingebettete Systeme sind sehr verschieden

- oft sicherheitskritisch
- Echtzeitsysteme
- Interaktion mit der physikalischer Umwelt, (“Reaktive Systeme”)
- oft bestehend aus verschiedenen kommunizierenden/interagierenden Komponenten (“verteiltes” System)

Was bedeutet Echtzeit und Echtzeitsysteme?

- Ein Echtzeitsystem ist eines dessen *Korrektheit* von
  - den errechneten Ergebnissen abhängt als auch vom
  - Zeitpunkt, wann diese geliefert werden
- ein zu spätes (oder zu frühes!) Ergebnis: genauso “falsch” wie ein fehlerhaft Berechnetes . . . oder schlimmer
- Echtzeit $\neq$ “sehr schnell”
- eingebettete Systeme: fast immer Echtzeit

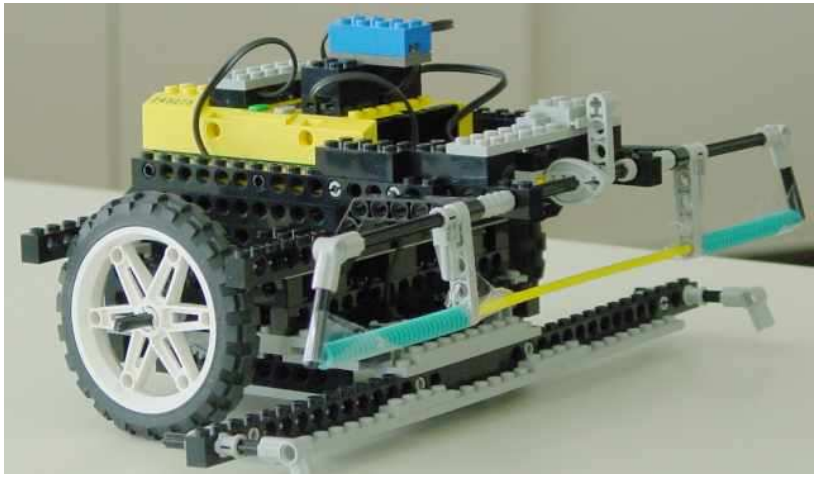
Programmierung eingebetteter Systeme

- traditionelle Progammiersprachen nicht unbedingt geeignet
- traditionelle Betriebssysteme nicht unbedingt geeignet
- Interaktion mit der Umwelt: komplex
- Interaktion von Teilsystemen untereinander: komplex
- Software reagiert nicht gutartig was Fehler betrifft („kleine Ursache, grosse Wirkung”)

- Software reagiert nicht gutartig was Fehler betrifft („kleine Ursache, grosse Wirkung”)

  4. Juni 1996, Kourou, Franz.Guayana, direkte Kosten: ca. 1 G-Euro

Was hat LEGO-*Mindstorms mit all dem zu tun?*



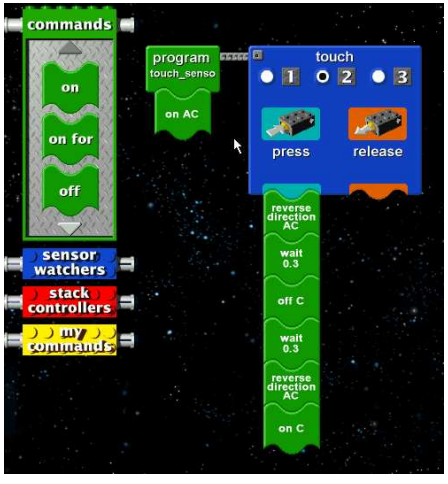
- “leicht zugängliches”, relativ erschwingliches eingebettetes System
- frei programmierbar
- verschiedene Programmiersprachen verfügbar
- viele Programmier-/Design-Probleme “in nuce” studierbar

LEGO-*Mindstorms: Hardware*

- „RCX“
- LEGO-Bausteine (Zahnräder, Stangen, Achsen, . . .)
- Schnittstelle zur Aussenwelt:
  - Aktoren: 2 Motoren,
  - Sensoren: 2 Drucksensoren, Lichtsensor
  - Infrarotschnittstelle (Kommunikation, Download)

Software: RCX-Code

- visuelle Progammierumgebung
- bei LEGO-Mindstorms mitgeliefert
- für Laien geeignet
- Siehe auch den Vortrag + Stand *„Programmierung von Kleinrobotern“* von Hanus/Höppner/Aizatulin



Software: Alternative

- LEGOS
  - freies (und kostenloses) Betriebssystem
  - arbeitet mit Linux/Unix/Windows zusammen
  - verschiedene Programmiersprachen:
    - C
    - *Java*
    - Curry
    - *Esterel*/*Estudio*
    - …

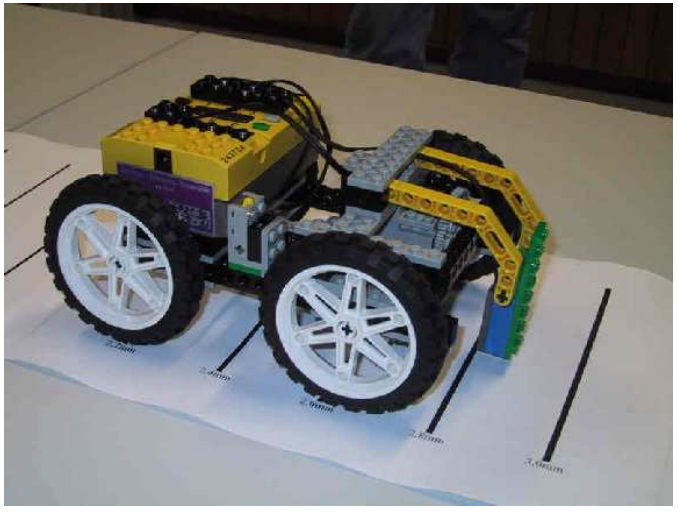
Siehe Vortrag Hanus et. al.

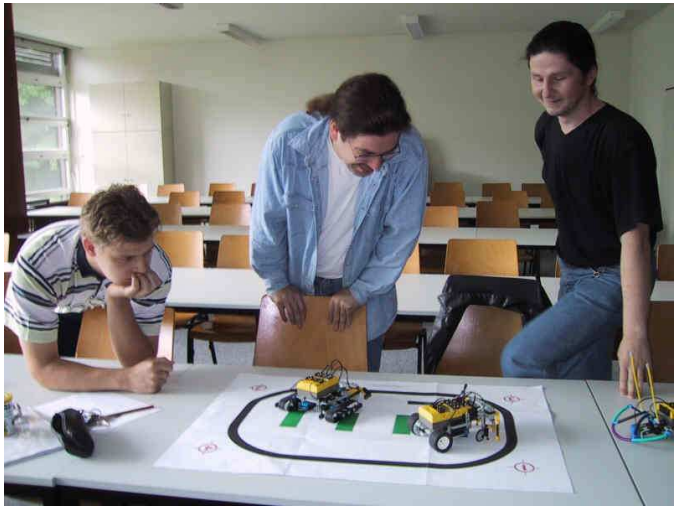
Einsatz in der Lehre

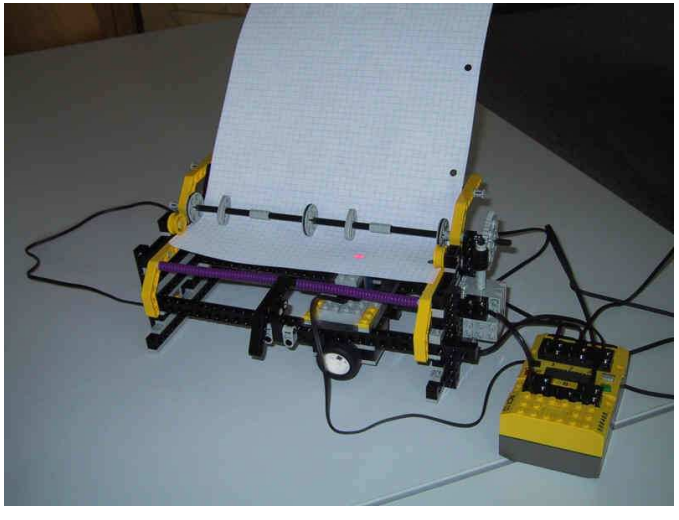
Due: Thu, 13 Dec 2001, 15:00 hrs, per E-mail to sho@informatik.uni-kiel.de , CC: rvh@ ... Late submission: possible, but *-5 points*

1. Build a robot that moves forward, and expects a heartbeat signal from the base station within every 100 msec. The heartbeat should be encoded as a message containing a single byte; default addresses for the host and the RCX; port 9. It should tolerate missing heartbeats for up to 1 sec, but sound an alarm if heartbeats are missed. After that, . . .
   (a) Documentation (overview of approach and assumptions, comments) (3 pts)
   (b) Functional robot (2 pts)
2. For the robot, analyse its timing behavior . . .

Einsatz in der Lehre







Programmierung

Programmier-Konzept: Wie beschreibe ich das *Verhalten* eines System?

- Es sich in einem von mehreren Zuständen befinden
- Es kann seinen Zustand wechseln:
  - als Reaktion auf Umweltereignisse
  - nach bestimmter Zeit
- Es kann die Umgebung beeinflussen

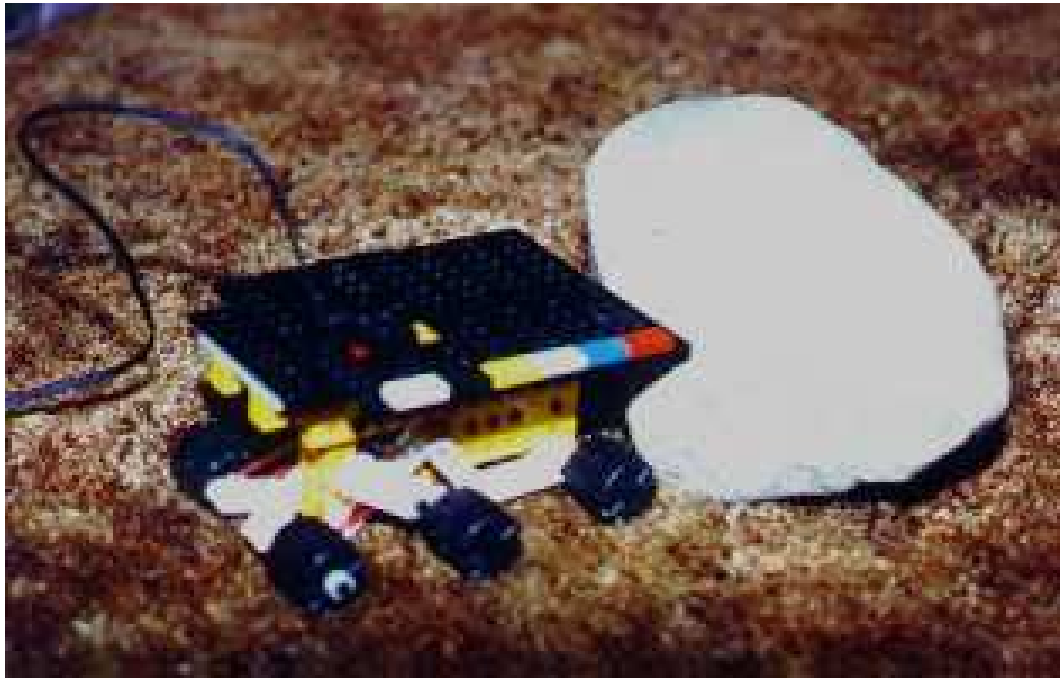
$\Rightarrow$ **Zustands/übergangsmodell**

- in graphischer Darstellung: “Kreise” und “Pfeile”

Beispiel: “Bumper”

Ziel: autonomer Roboter der Hindernissen ausweicht

- Sensoren: Berührungssensor für rechts + links
- Aktoren: Motorantrieb (Vorwärts, Rückwärts, Aus, Stopp, Links, Rechts)

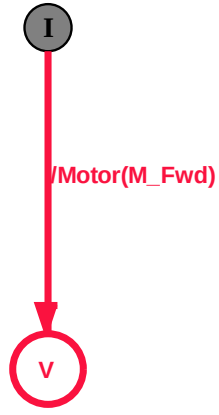


Strategie

1. fahre vorwärts
2. wenn Du gegen Hindernis stößt, dann weiche aus und zwar
   (a) bei Kontakt rechts, nach links
   (b) bei Kontakt links, nach rechts
3. dann: fahre wieder vorwärts

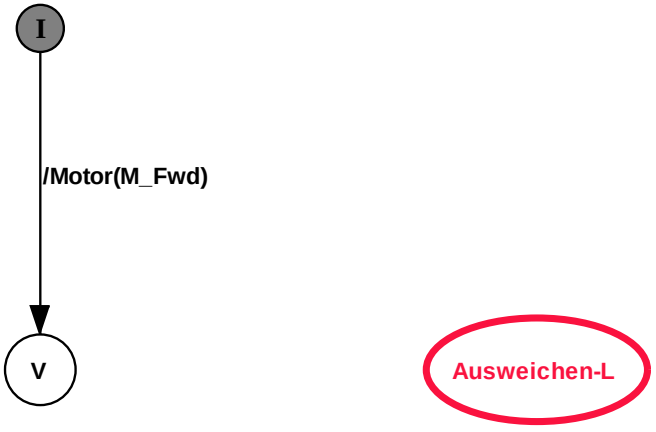
Bumper

Beginne durch: Motoren einschalten (vorwärts)

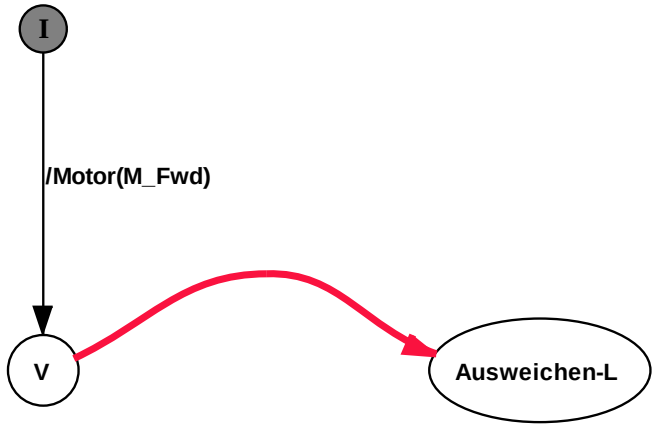


Bumper

Mögliches Verhalten: Ausweichen nach links

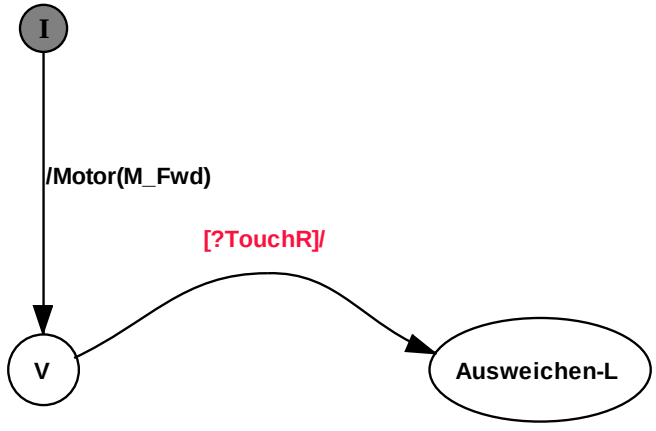


Umschalten von Vorwärts nach Ausweichen



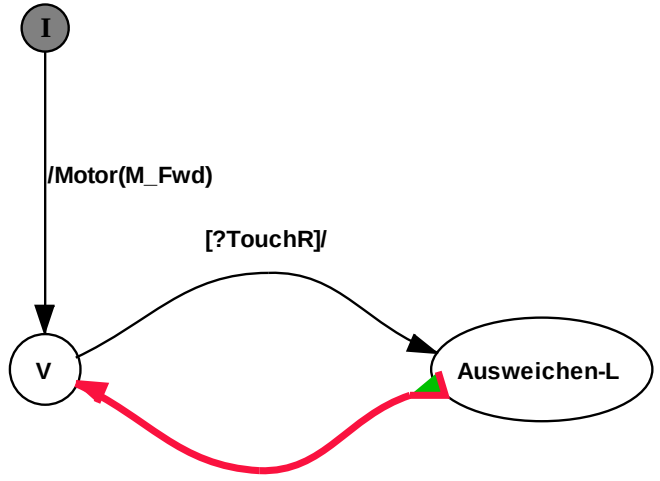
Bumper

Wann nach links ausweichen?: Wenn der rechte Schalter gedrückt wird



Bumper

wieder vorwärtsfahren, wenn das Ausweichen fertig ist

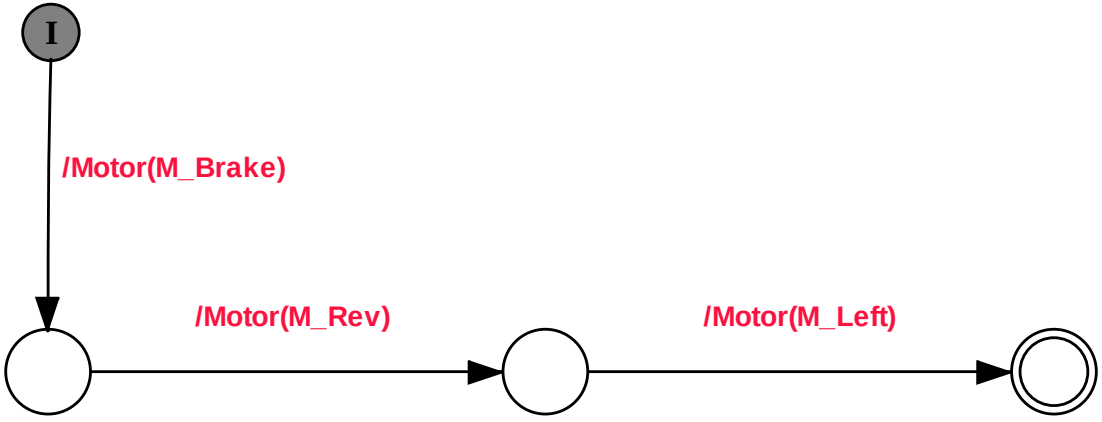


Nur: Wie geht Ausweichen-Links?

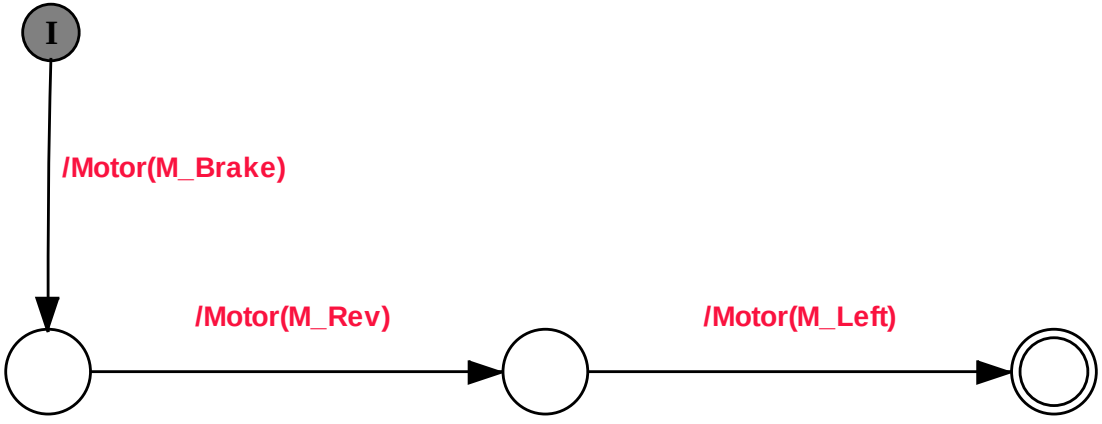
Tue der Reihe nach die Schritte:

1. stehenbleiben (`M_Brake`)
2. zurücksetzen (`M_Rev`)
3. nach links drehen (`M_Left`) und

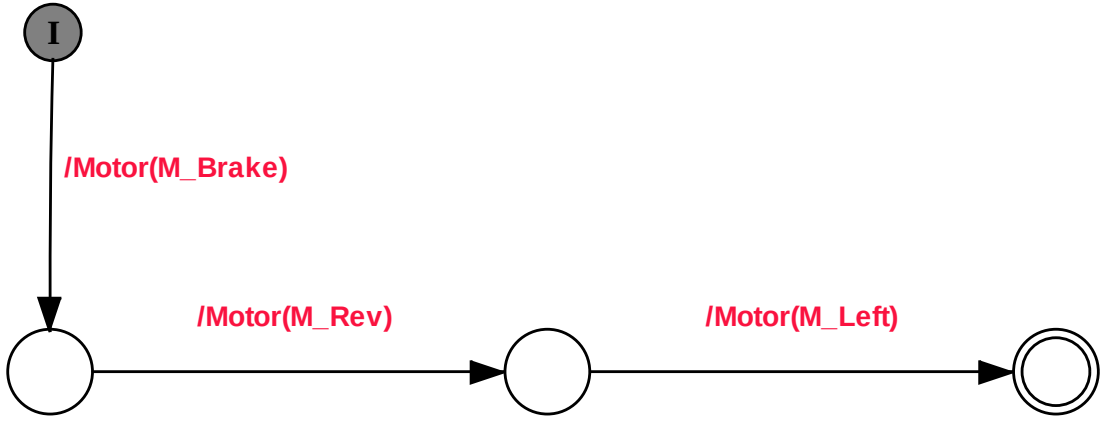
Ausweichen



Ausweichen: ist das Alles?



Ausweichen: ist das Alles?

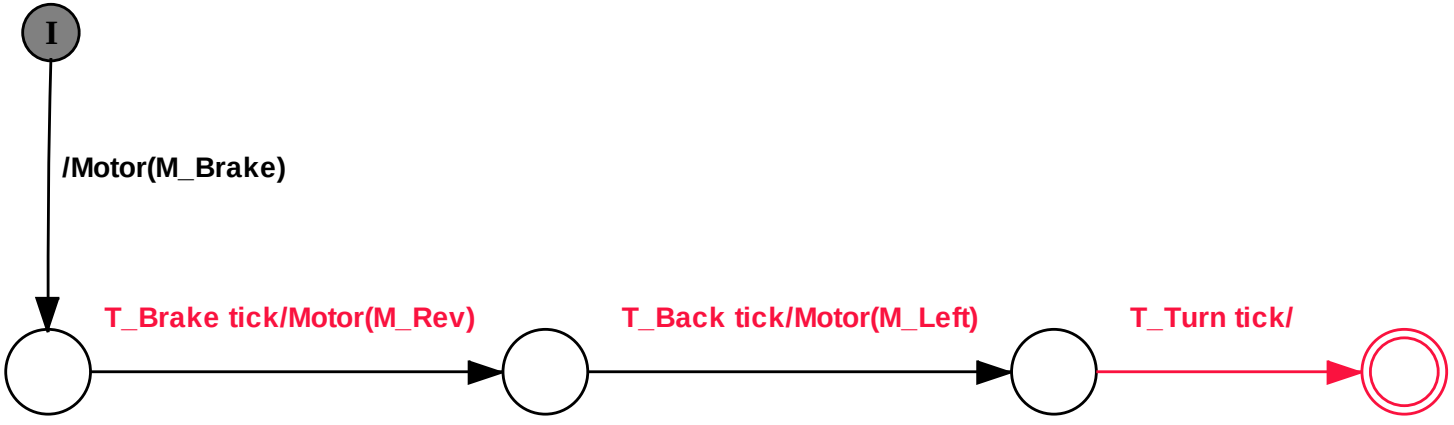


die Zeit fehlt!

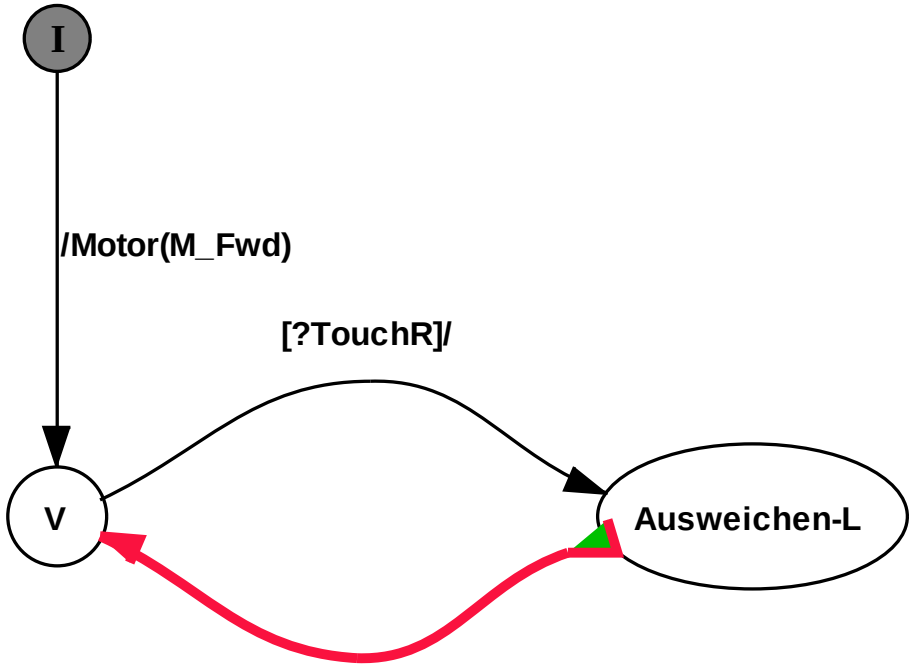
Ausweichen

Warte **5** Ticks/Taktzyklen bevor Du in den nächsten Zustand gehst (und dabei die Motoren nach *links-drehen* schaltest) $\Rightarrow$

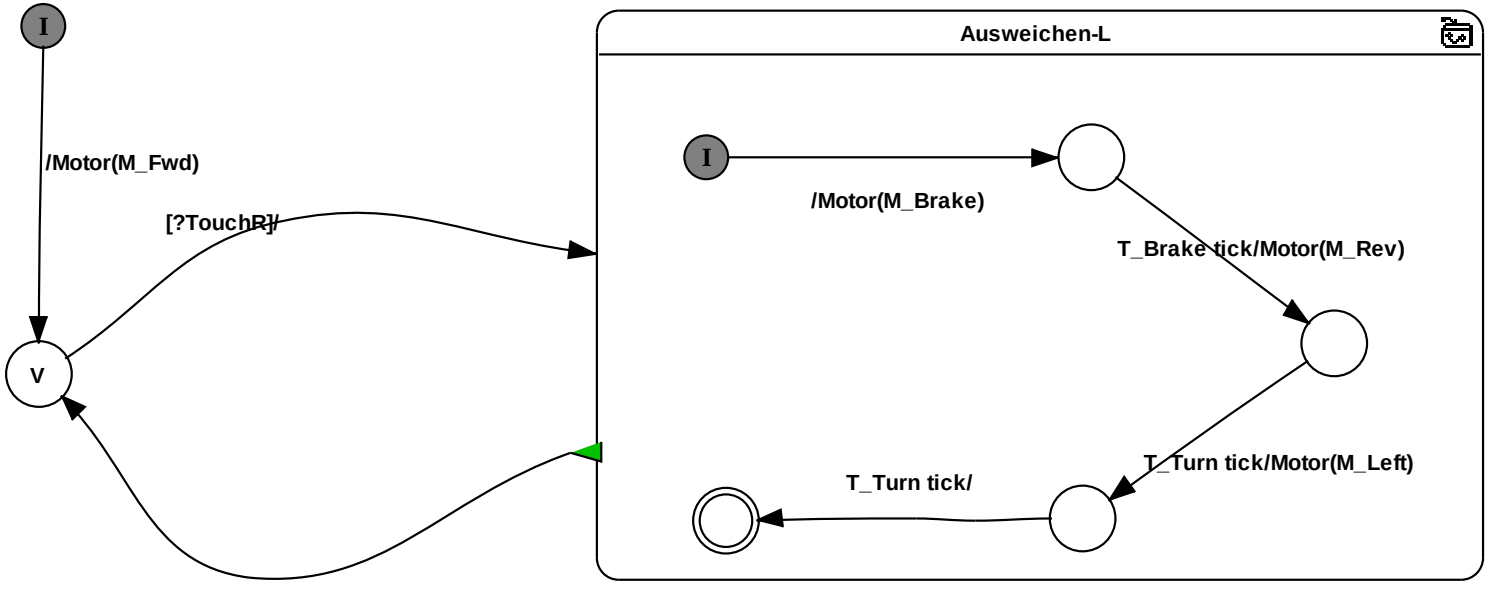
5 tick/Motor(M_Left)



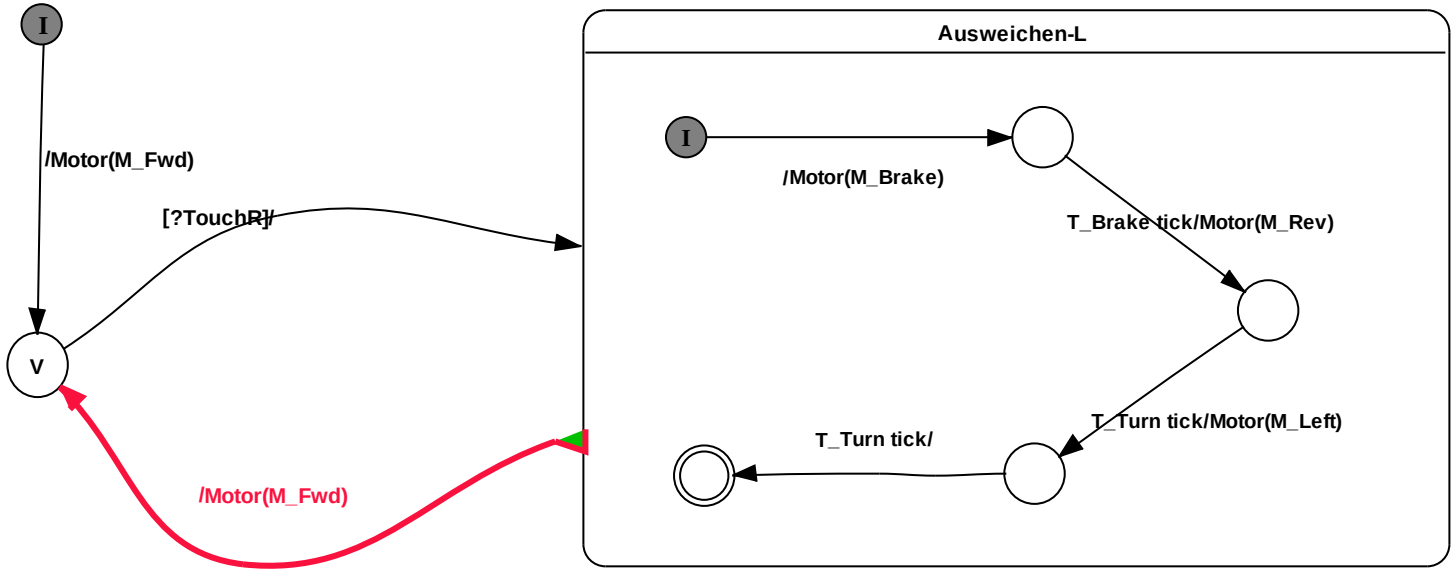
Zusammen mit “Vorwärts”



Zusammen mit “Vorwärts”: Zoom in

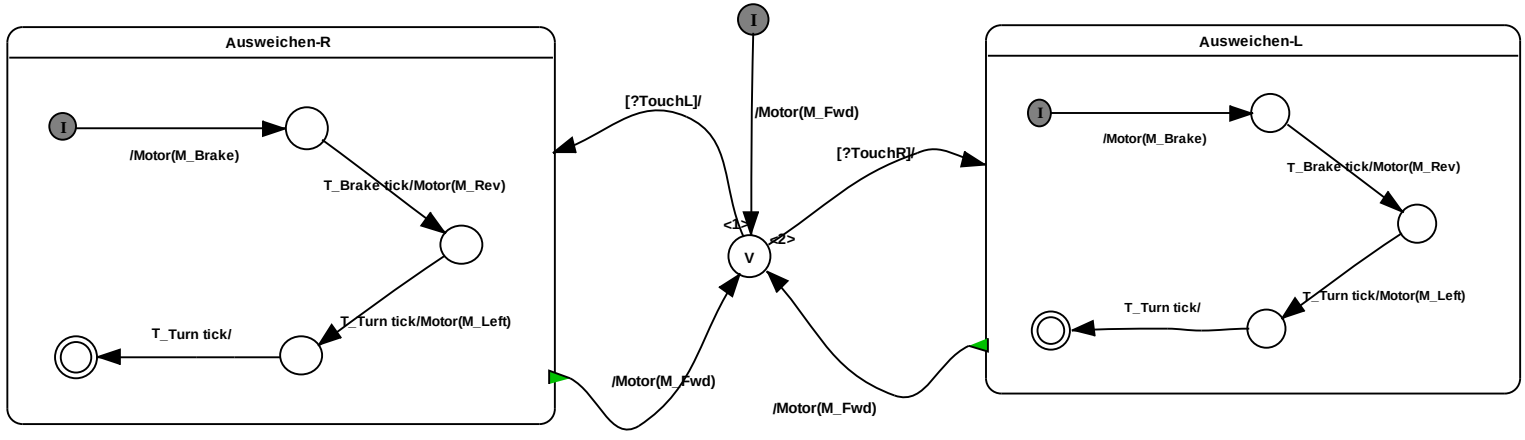


Zusammen mit “Vorwärts”: Zoom in



Motoren wieder auf vorwärts stellen!

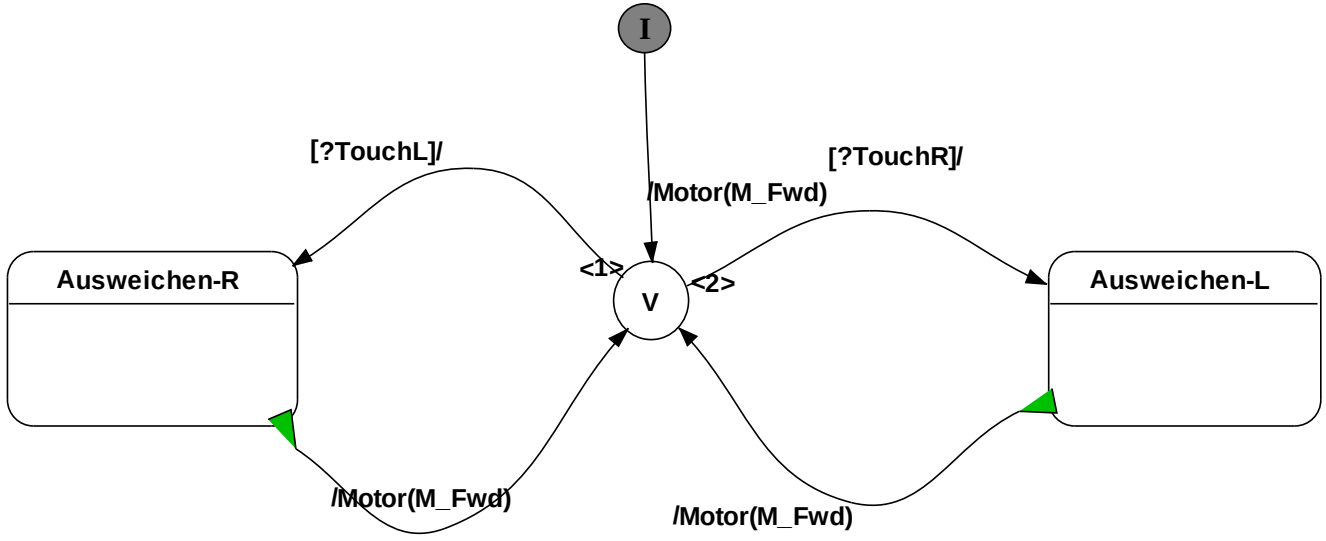
Die 2te Hälfte: entsprechend



Bumper: Verbergen von Details

Auf oberster Ebene: 3 Zustände

- Vorwärts
- links Ausweichen
- rechts Ausweichen



Es gibt noch viel mehr

- Wie kriegt man die wachsende Komplexität der Systeme in den Griff?
- Wie sehen geeignete Programmiersprachen aus?
- Wie entwickelt man Hard- und Software zusammen?
- Wie modelliert man digitale Systeme in physikalischer (= nichtdigitaler) Umwelt?
- Wie garantiert man Zuverlässigkeit/Sicherheit eingebetteter Systeme?
  - Testen
  - Verifikation

⋮

Literatur

[1] Gerard Berry. *The Esterel v5 Language Primer (Version v5_91)*. Centre de Mathématiques Appliquées Ecole Mineur and INRIA, July 2000.

[2] Esterel Technologies. *Esterel Studio V3.1, Reference Manual*, October 2001.

[3] Christoph Kirsch. Embedded software engineering. Slides for a spring course, 2001, EECS Department UC Berkely, 2001. available at `http://www.eecs.berkeley/edu/ fresco/giotto/course`.

[4] Jonathan B. Knudsen. *The Unofficial Guide to LEGO Mindstorms Robots*. O'Reilly, fi rst edition, October 1999.

[5] Hermann Kopetz. *Design Principles for Distributed Embedded Application*. Kluwer Academic Publishers, 1997.

[6] Phillipe Lacan, Jean Noël Monfort, Le Vinh Quy Ribal, Alain Deutsch, and Gearges Gonthier. Ariane 5. the software reliability verifi cation process: The Ariane 5 example. In *Proceedings of DASIA'98 (Data Systems in Aerospace)*. ESA Publications, 1998.

[7] Reinhard von Hanxleden. Real-time systems programming. Lecture, Summer Term 2002, 2002. available at `www.informatik.uni-kiel.de/inf/von-Hanxleden/teachi`