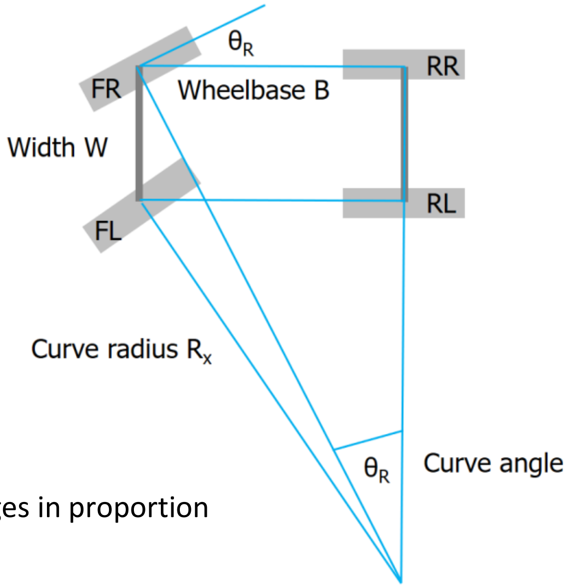
Tire Pressure Monitoring

DHBW Automotive Software Engineering – Stuttgart, © Kai Pinnow 2019

1. Introduction and Overview

The project work focuses on tire pressure monitoring. Detailed requirements below.

As depicted, the following equations govern the motion for a left turn:



(1) $R_{RR} = W + R_{RL}$

(2) $R_{FR}^2 = B^2 + R_{RR}^2$

(3) $R_{FL}^2 = B^2 + R_{RL}^2$

(4) $B = R_{RR} \tan \theta_R$

(5) $B = R_{RL} \tan \theta_L$

Please note that any pair of velocities changes in proportion to the related curve radiuses

(6) $V_x / V_y = R_x / R_y$ for any x,y from {RR, RL, FR, FL}

A drop in tire pressure of a single wheel results in an increase of the respective velocity of that wheel since it will be a little smaller then.

2. Requirements and Deliverables

Please refer to "ID" column in your documentation. A * denotes extra tasks / requirements.

ID	Check
R1	A tire pressure monitor allows observation of the four wheel speeds to detect an unexpected imbalance for a vehicle with sizes B=1.53 m and W=2.65 m.
R2	An imbalance of a wheel speed of 0.5 % of one of the wheels concerning the expected consistent wheel speeds will be regarded as an indication of a tire pressure drop.
R3	Detecting a tire pressure drop, some warning lamp shall be switched on and some "SOS" (three times short, three times long, three times short) sound shall appear (base rate 0.8 seconds).
R4*	The system shall allow "re-calibration" after inflation.
R5	Design the solution mainly with appropriate graphical modeling elements (i.e. block diagrams and/or state machines) or with scripts or ESDL and document all your decisions, reasoning, and results clearly with screenshots and text.

D1	Plan all necessary tasks based on three point estimates and monitor progress according to below requirements.
D2	Use the provided example data “curve.mat” to calculate, display, and analyze curve radiuses for selected situations. It contains the wheel speeds (vfl, vfr, vrl, vrr) in [km/h] and the steering wheel signal sw (without direction) in [degree] with time base tv in [s], plus the corresponding lateral acceleration q in [g] (with different time base tq again in [s]).
D3	Create a Simulink model that calculates the driving distance for each wheel and analyze the provided “curve.mat” data in this regard. Remember to analyze and document settings. Are there imbalances according to requirement R2?
D4	Set-up a simple tire pressure monitor in Simulink that detects a deviation according to requirement R1 and R2 by observing driving distances of the individual wheels for straight driving i.e. driving without curves.
D5	Code, configure, and apply a simple “linear congruential” random number generator like `X(i) = (a * X(i-1) + c) mod m` with suitable parameters `a`, `c`, and `m` to test the tire pressure monitoring without the provided “curve.mat” data.
D6	Execute some system tests in Simulink with the number generator from D6 to check the tire pressure monitoring function feasibility.
D7	Transfer the tire pressure monitoring function to ASCET.
D8	Provide unit tests for all designed tire pressure monitoring components.
D9	Design a warning function according to requirement R3.
D10	Provide the random number generator designed in D5 in ASCET with unit tests.
D11	Create a system test with the aid of the number generator and some error model i.e. simulating some pressure drop over a certain time to demonstrate the tire pressure monitoring.
D12*	Think about the way to calibrate the system by means of requirement R4. Which parts of the implementation shall change in order to support such a feature? How long does one need to drive for calibration?
D13*	Shall the analysis incorporate curve driving or just analyze segments driving straight?
D14*	Reflect: Which other observations or comments are in place concerning the model, the requirements, the prescribed functions, or your solution, the testing, and the selected graphical approach.

1 Aufgabe D2

1.1 Berechnung der Radien

Im folgenden werden die in der Aufgabenstellung gegebenen Gleichungen verwendet, um die Kurvenradien der einzelnen Räder zu berechnen.

Mit (6) folgt: $\frac{R_{RR}}{R_{RL}} = \frac{V_{RR}}{V_{RL}}$

$R_{RL} = R_{RR} * \frac{V_{RR}}{V_{RL}}$

Mit (1) folgt: $R_{RL} = \frac{V_{RR}}{V_{RL}} * (W + R_{RL})$

$R_{RL} - \frac{V_{RR}}{V_{RL}} * R_{RL} = \frac{V_{RR}}{V_{RL}} * W$

$R_{RL} * (1 - \frac{V_{RR}}{V_{RL}}) = \frac{V_{RR}}{V_{RL}} * W$

$R_{RL} = \frac{\frac{V_{RR}}{V_{RL}} * W}{1 - \frac{V_{RR}}{V_{RL}}}$

$R_{RL} = \frac{W}{\frac{V_{RR}}{V_{RL}} - 1}$

Mit (1) folgt: $R_{RR} = W + R_{RL} = W + \frac{W}{\frac{V_{RR}}{V_{RL}} - 1}$

Mit (2) folgt: ${R_{FR}}^2 = B^2 + (W + \frac{W}{\frac{V_{RR}}{V_{RL}} - 1})^2$

$R_{FR} = \sqrt{B^2 + (W + \frac{W}{\frac{V_{RR}}{V_{RL}} - 1})^2}$

Mit (3) folgt: ${R_{FR}}^2 = B^2 + (\frac{W}{\frac{V_{RR}}{V_{RL}} - 1})^2$

$R_{FR} = \sqrt{B^2 + (\frac{W}{\frac{V_{RR}}{V_{RL}} - 1})^2}$

Die erstellten Gleichungen stellen die Grundlage für die folgenden Analysen dar.

1.2 Analyse der ausgewählten Situationen

Im Folgenden wird anhand einiger Graphiken das Verhalten bei Kurvenfahrten analysiert.

In der nachfolgenden Abbildung 1.1 werden zuerst die Geschwindigkeiten der vier Räder des Fahrzeugs dargestellt. Es ist erkennbar, dass es Abweichungen zwischen den Geschwindigkeiten gibt. Diese werden nachfolgend genauer erläutern.

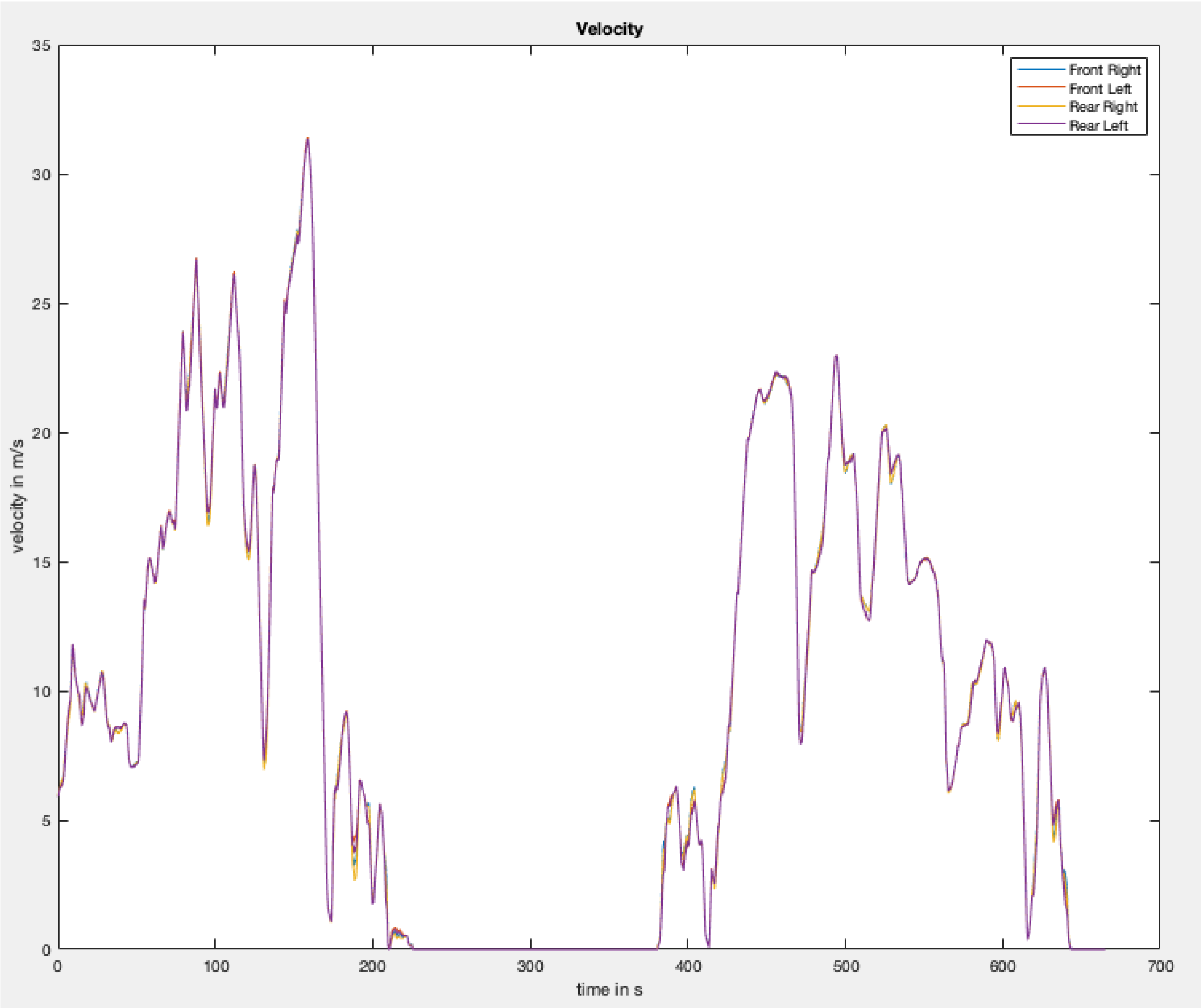


Abbildung 1.1: Übersicht der Geschwindigkeiten der vier Räder

Die Abbildung 1.2 zeigt einen Ausschnitt zwischen 495s und 550s. Die Abbildung wurde in einzelne Abschnitte zur Analyse unterteilt. Im ersten Abschnitt, vor 500ms, ist der Lenkradwinkel sehr klein. Man sieht dort kaum keinen Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten der linken und rechten Rädern. Im zweiten Abschnitt ist der Lenkwinkel wesentlich höher. Das hat zur Folge, dass die Geschwindigkeit der rechten Räder über der Geschwindigkeit der linken Räder liegt. Beim Wechel vom zweiten in den dritten Abschnitt ist der Winkel kurz Null und steigt dann wieder. Dort liegt die Geschwindigkeit der linken Räder über der Geschwindigkeit der rechten Räder. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Fahrt von einer Links- in eine Rechtskurve ändert. Im vorletzen Abschnitt ist wieder eine Linkskurve erkennbar. Im letzten Abschnitt wird kaum gelenkt, aus diesem Grund weichen die Geschwindigkeiten nur sehr gering voneinander ab.

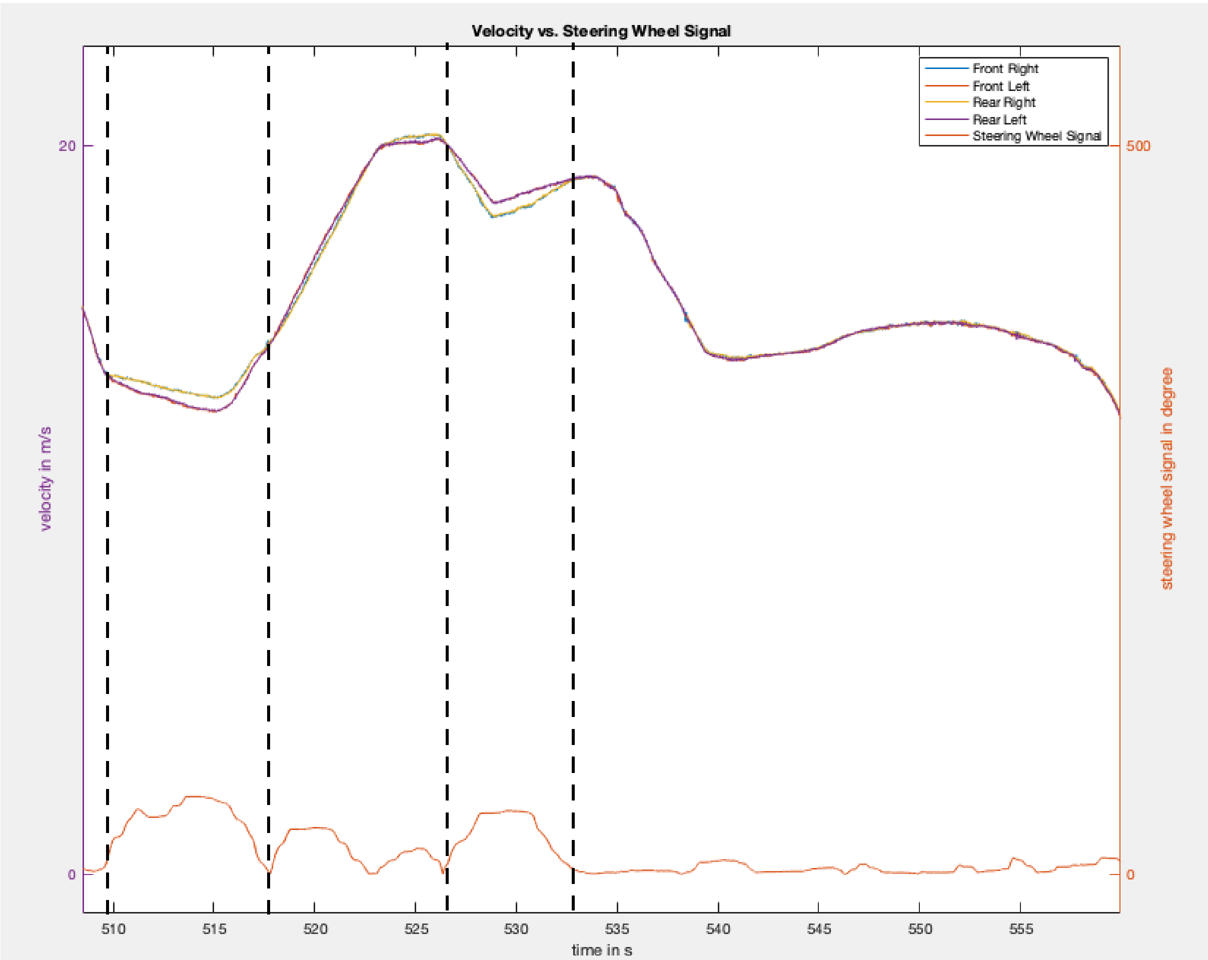


Abbildung 1.2: Übersicht der Geschwindigkeiten mit Drehwinkel des Lenkrads

Die Abbildung 1.3 zeigt den Ausschnitt von ca. 510ms bis 517ms. Dieser entspricht dem dem zweiten Abschnitt der Abbildung 1.2. Hier werden die Radien der beiden Vorderräder verglichen. Es ist erkennbar, dass der Radius des Rechten Vorderrads immer über dem Radius des Linken liegt. Dies zeigt nochmal, dass es sich hier um eine Linkskurve handelt.

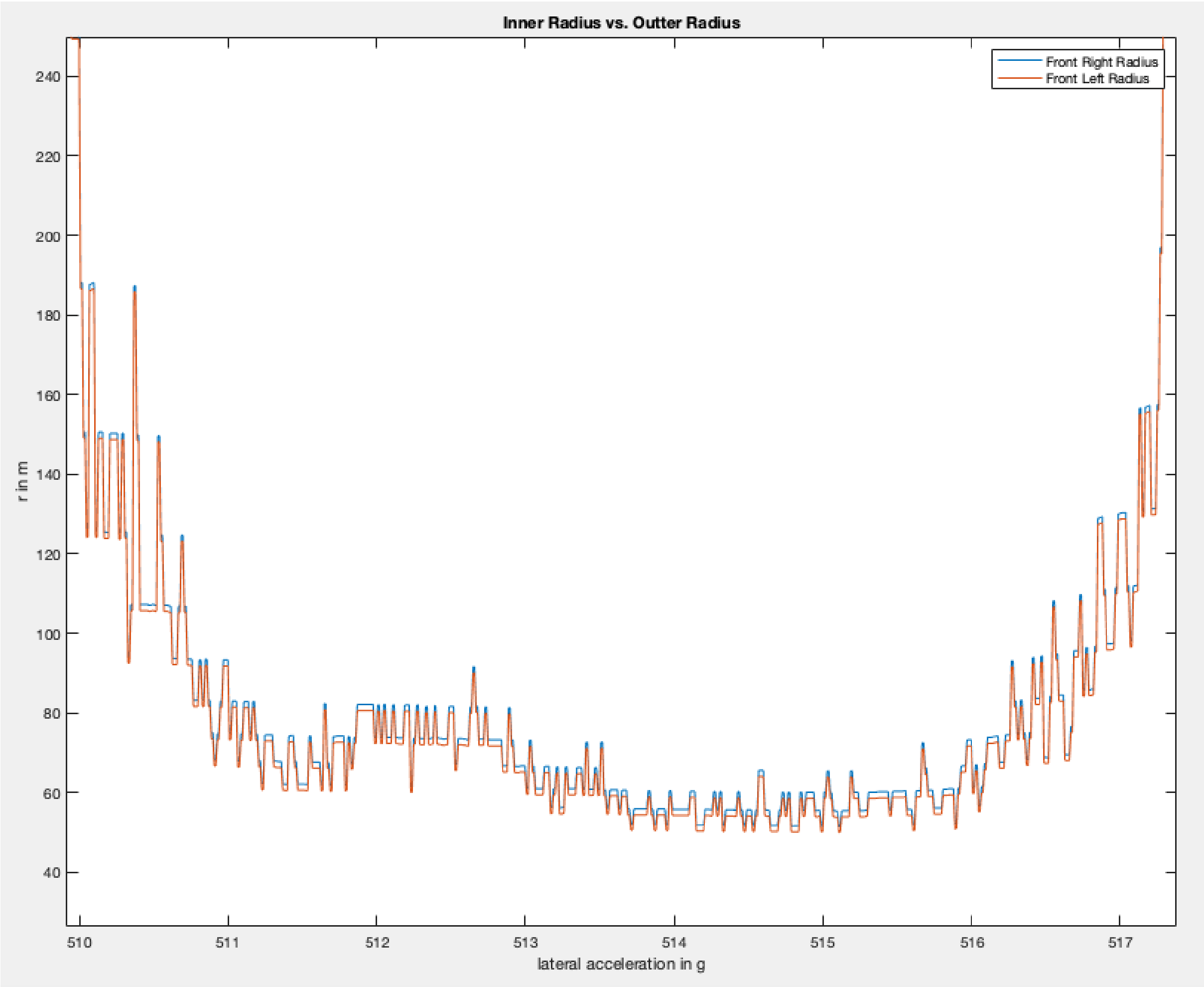


Abbildung 1.3: Vergleich des linken und rechten Radius bei Kurvenfahrt

In der nächsten Abbildung 1.4 wird der Radius in Abhängigkeit des Drehwinkels abgebildet. Es zeigt, dass mit steigendem Drehwinkel der Radius immer kleiner wird. Stellen, an denen das Fahrzeug nicht fährt, können hierbei vernachlässigt werden. Allgemein gilt, dass bei Kurvenfahrten der Radradius abnimmt.

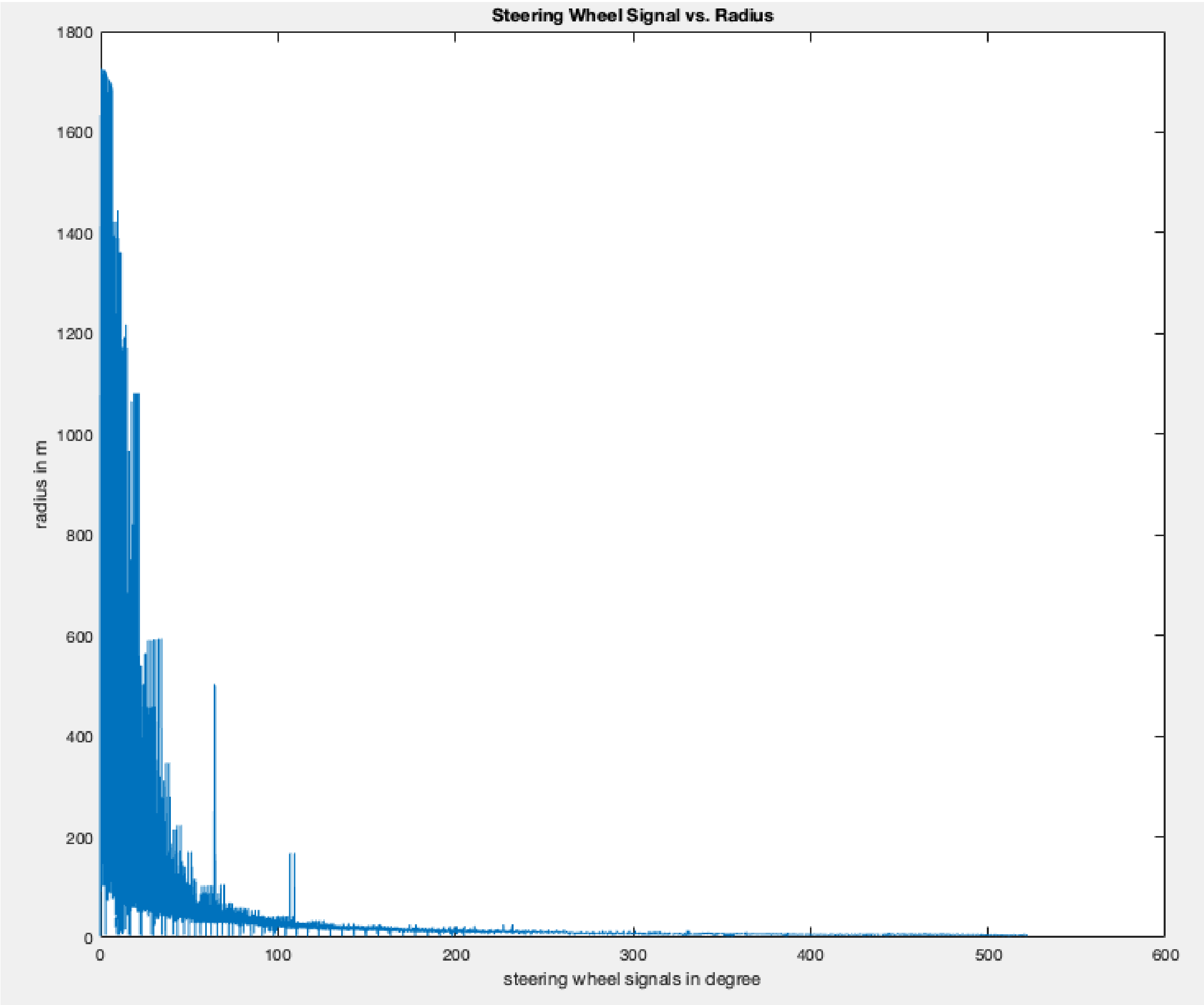


Abbildung 1.4: Lenkraddrehwinkel gegenüber Radius

In der folgenden Abbildung 1.5 wird der Radius in Abhängigkeit der Geschwindigkeit dargestellt. Es zeigt, dass bei gleichem Drehwinkel des Lenkrads bei steigender Geschwindigkeit der Radius immer größer wird.

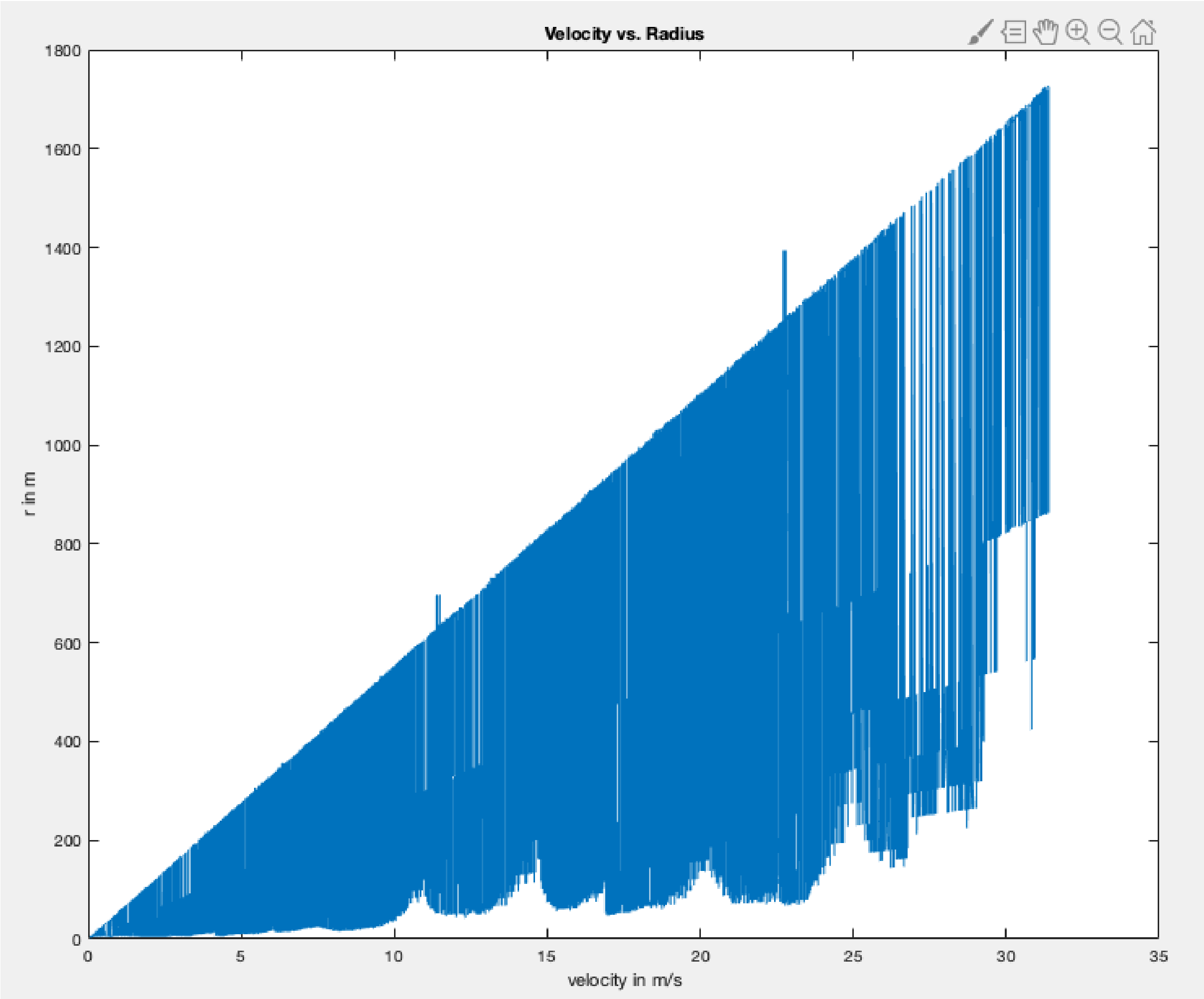


Abbildung 1.5: Geschwindigkeit gegenüber Radius

2 Aufgabe D3

2.1 Simulink-Modell

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das Simulink-Modell zur Berechnung der Distanzen der einzelnen Räder.
Das Modell in Abbildung 2.1 hat die vier Geschwindigkeiten (in km/h) der Räder als Eingänge. Diese werden mit dem „From Workspace“ Block mit ihrer zugehöhrigen Referenzzeit tv in das Model importiert.
Danach werden sie in m/s umgerechnet und integriert, um die Strecke zu erhalten.
Zur Simulation wird ein FixedStep von 0.01 mit dem ode3-Solver verwendet. Der ode-Solver wurde durch die SImulink „automatic solver selection“ ausgewählt. Das Ergebnis

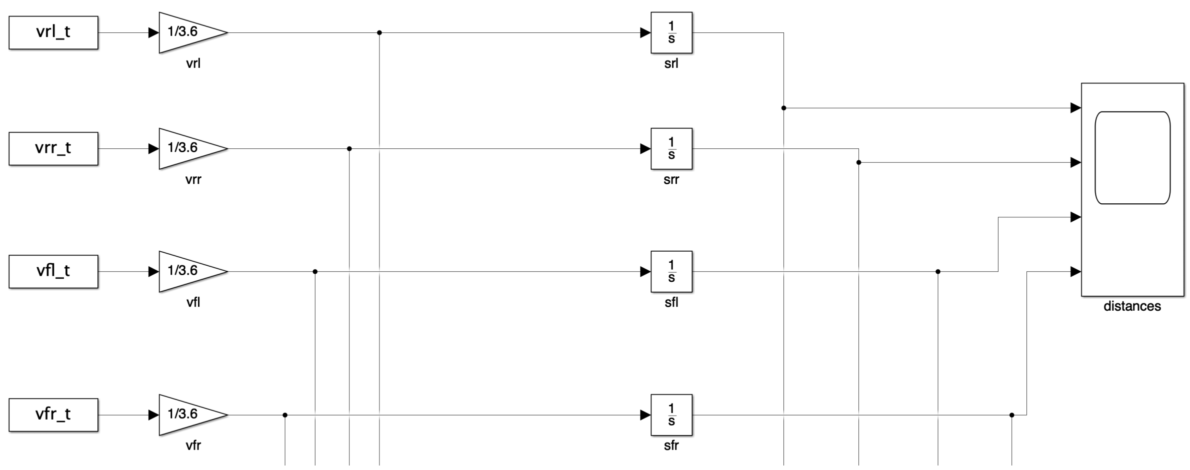


Abbildung 2.1: Tire Driving distances

der Integration sind die Distanzen der einzelnen Reifen, die gegenüber der Zeit aufgetragen sind.

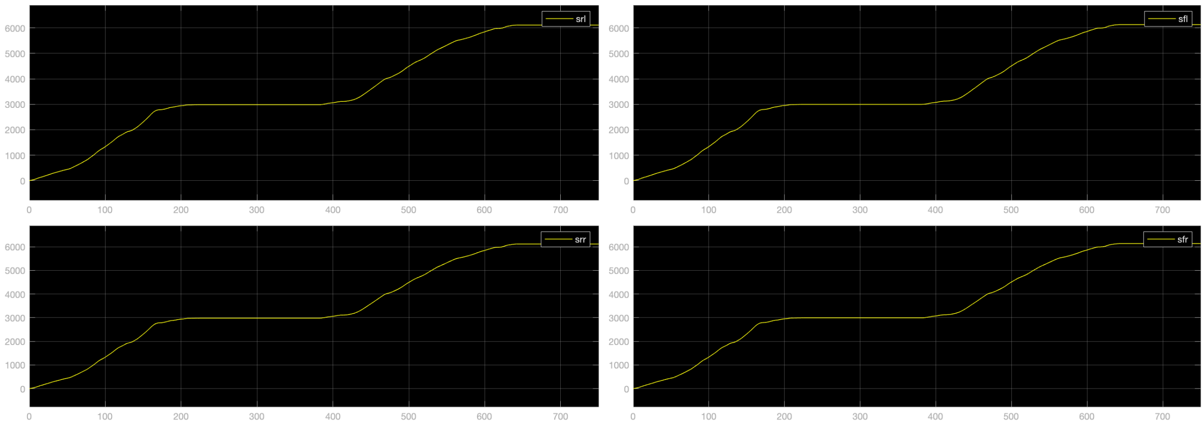


Abbildung 2.2: Tire Driving distances plot

Zur Überprüfung ob es Imbalancen in den Daten gibt wird das Modell wie in Abbildung 2.4 zu sehen ist erweitert. Der Mittelwert der vier integrierten Distanzen gilt als Referenzwert, ob ein Reifendruckabfall vorliegt. Die Berechnung ist ebenfalls im erweiterten Modell Abbildung 2.4 zusehen. Anschließend wird die prozentuale Abweichung vom Einzelsignal zum Mittelwert berechnet, weicht die Abweichung um mehr als 0.5% ab handelt es sich um einen Reifendruckabfall. Die Berechnung ist in Abbildung 2.3 dargestellt.

Zur Berechnung wird jedoch nicht das original integrierte Signal der einzelnen Geschwin-

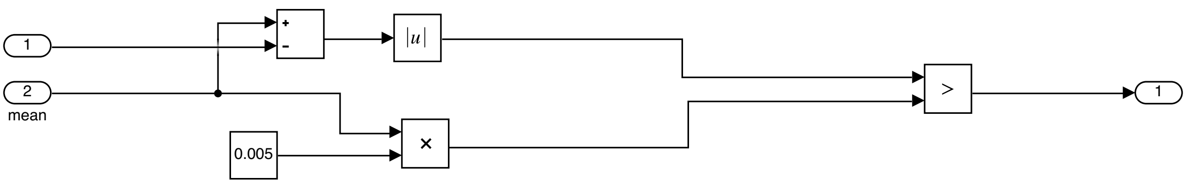


Abbildung 2.3: Prozentuale Abweichung nach R2

digkeiten verwendet, sondern die Differenz des integrierten Geschwindigkeitssignals mit dem gleichen Signal um 10 Sekunden nach rechts verschoben. Dadurch werden zur Betrachtung, ob eine Abweichung vorliegt immer nur 10 Sekunden Deltas verwendet. Diese Verschiebung wird mittels des, in Abbildung 2.4 verwendeten, „Transport Delay“ mit einem festen Delay von 10 Zeiteinheiten erzeugt. Danach wird das verspätete Signal von Originalsignal abgezogen um die Deltas zu erhalten.

Die Berechnungen für die Abweichungen werden für jeden Reifen einzeln berechnet und anschließend, wie in Abbildung 2.4 zu sehen, verodert, um ein Überblick über das Gesamtsystem zu erhalten.

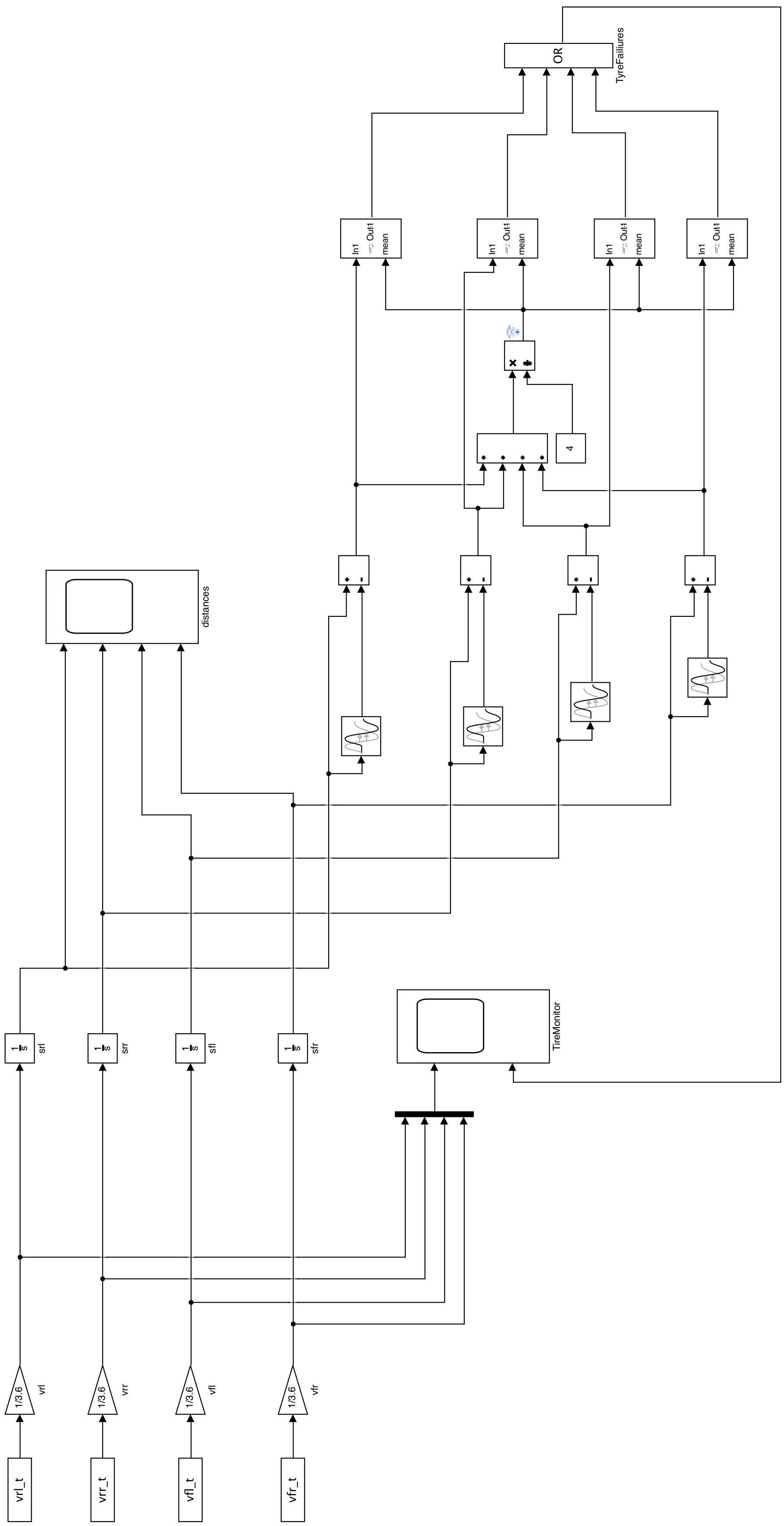


Abbildung 2.4: Simulink Tire Distance Model with Curves Data

Für die Kurvenfahrt entsteht die folgende Datenaufzeichnung über die Reifendruckabweichungen.

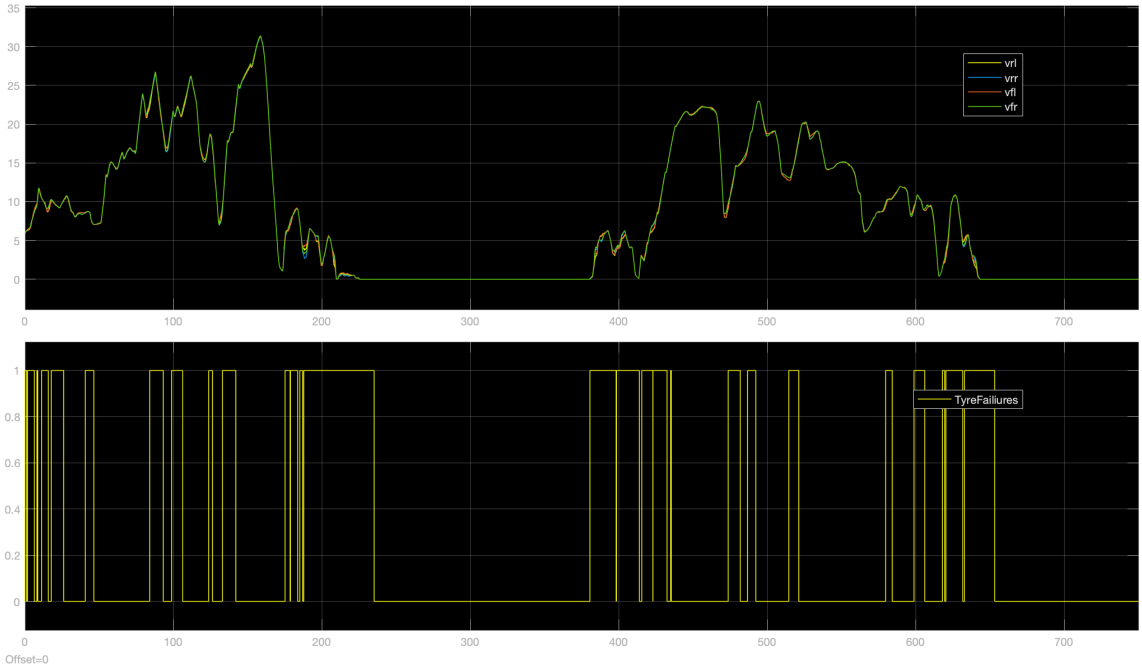


Abbildung 2.5: Tire Monitor für Kurvenfahrt

Ein Wert von 1 entspricht einer Beobachtung einer Imbalance und ein Wert von 0 entspricht keiner Anomalie.

3 Aufgabe D4

4 Aufgabe D5

Die untenstehende Abbildung 4.1 zeigt den "Random Number Generator".
Die Daten werden nach der Vorschrift

$$X(i) = (a * X(i-1) + c) \mod m$$

generiert.
Die Parameter a,c und m sowie X(0) sind hierfür frei wählbar, um optimale Zufallsazahlen zu erhalten.
Dafür sind einige Vorschriften zu beachten:
$Modul\, m \in \{2, 3, 4, \ldots\}$
$Faktoren\, a_1, \ldots, a_n \in \{0, \ldots, m-1\}\, mit\, a_n > 0$
$Inkrement\, b \in \{0, \ldots, m-1\}$
$Startwerte\, y_1, \ldots, y_n \in \{0, \ldots, m-1\} \qquad (nicht\, alle\ 0,\ wenn\, b = 0)$

Nach diesen Vorschriften wurde a = 253 und b = 89 gewählt. Beide Zahlen sind Primzahlen und teilen somit keinen gemeinsamen Teiler mit m = 2^{31}. M als Zweierpotenz zu wählen ist besonders effizient, da so die Moduloperation durch das abscheiden der Zahl in Binärdarstellung berechnet werden kann.
Zur Generierung von 4 Datensätzen werden unterschiedliche Startwerte X(0) gewählt. Die Rechenoperation wurde darüber hinaus noch ergänzt. Wie in Abbildung Abbildung 4.1 dargestellt wird die nach der Generierung der Zufallszahl nach oben genannter Vorschrift, noch die Hälfte von m subtrahiert, um auch negative Zufallswerte zu erhalten. Des Weiteren wird danach die Zufallszahl noch mit einem Wert multipliziert, um die Amplitude, um die die Zufallszahlen um 0 oszillieren zu setzen. Abschließend wird noch ein Zielwert addiert, um die Zufallszahlen um einen Zielwert oszillieren zu lassen.

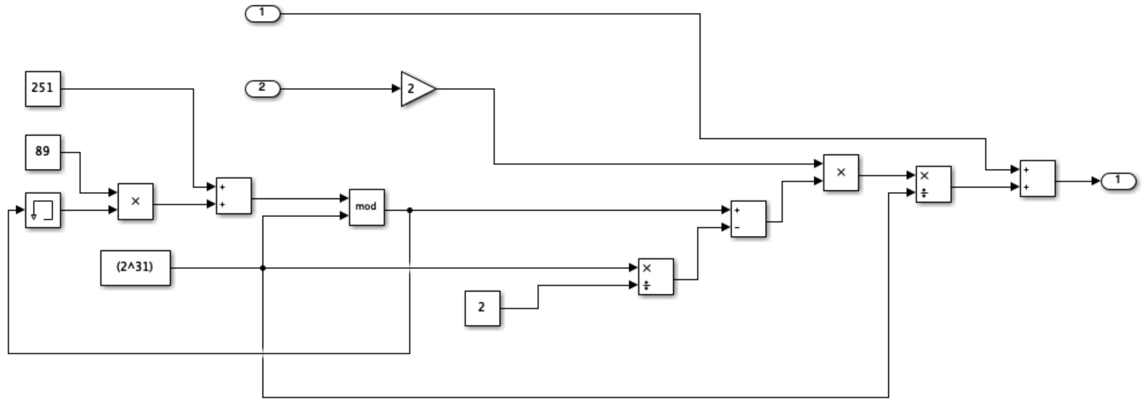


Abbildung 4.1: Random Number Generator

5 Aufgabe D6

6 Aufgabe D7

Die folgenden Graphiken zeigen die Umsetzung des Simulink Modells in ASCET. Die Abbildung 6.1 berechnet die Strecken der einzelnen Räder. Dafür wird ein RingBuffer mit Werten befüllt. Dieser wurde mit folgendem Code umgesetzt:

```
package components;
class RingBuffer{

s_array buffer[1000];
real c;
real swap;

public void put(real element){
  swap = element;
  for(i in 0 .. 999){
    c = buffer[i];
    buffer[i] = swap;
    swap = c;
  }
}

public real getLast(){
return buffer[999];
}

public real getIndex(integer i){
  return buffer[i];
  }
}
```

Die Abbildung 6.2 zeigt die Berechnung des Durchschnitts der vier Strecken.

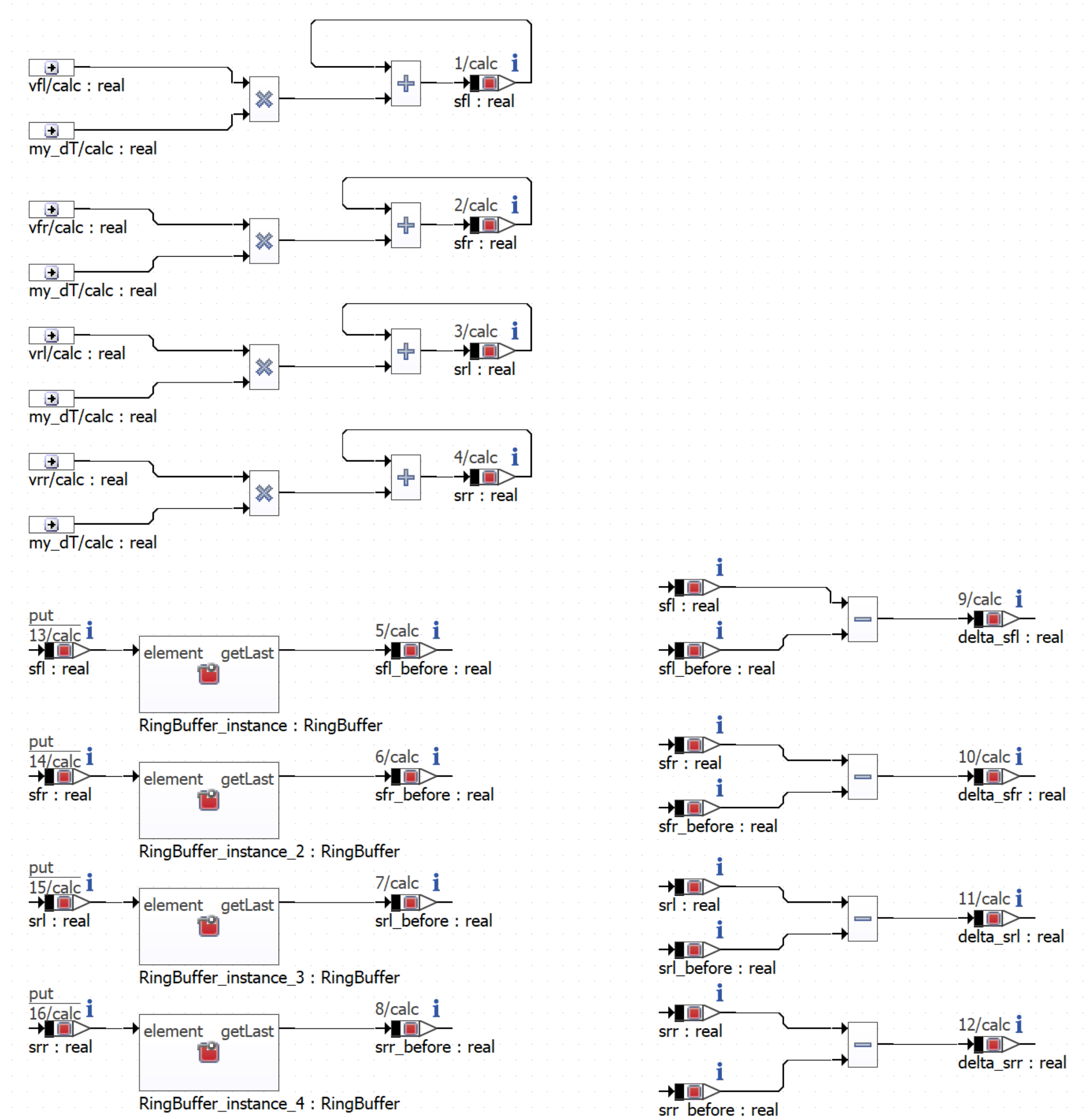


Abbildung 6.1: Model

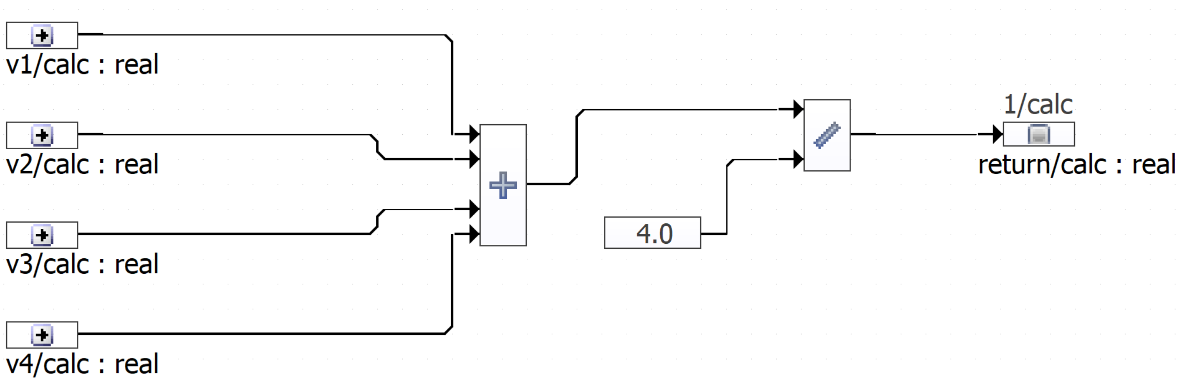


Abbildung 6.2: Tire Mean

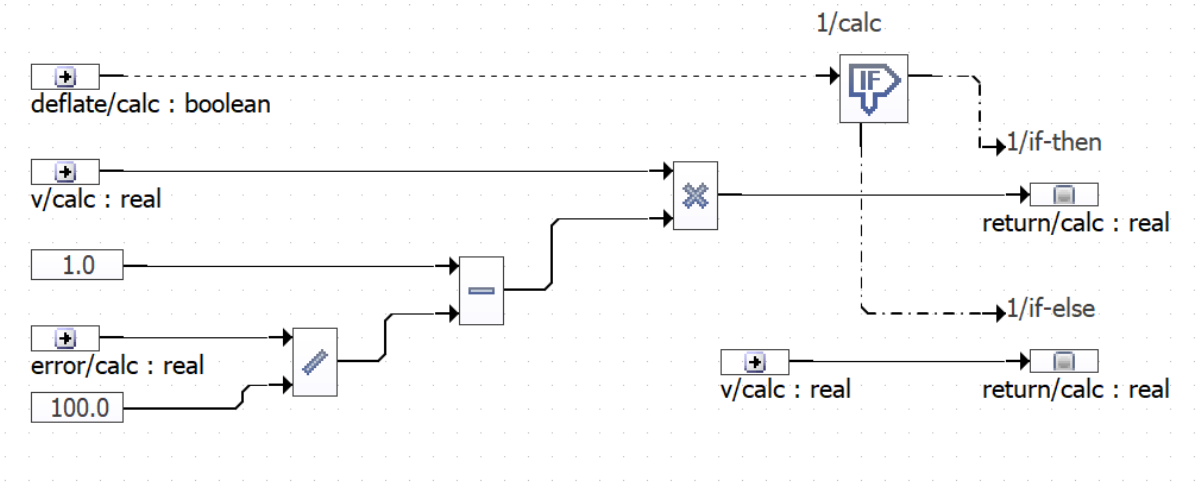


Abbildung 6.3: Error Module

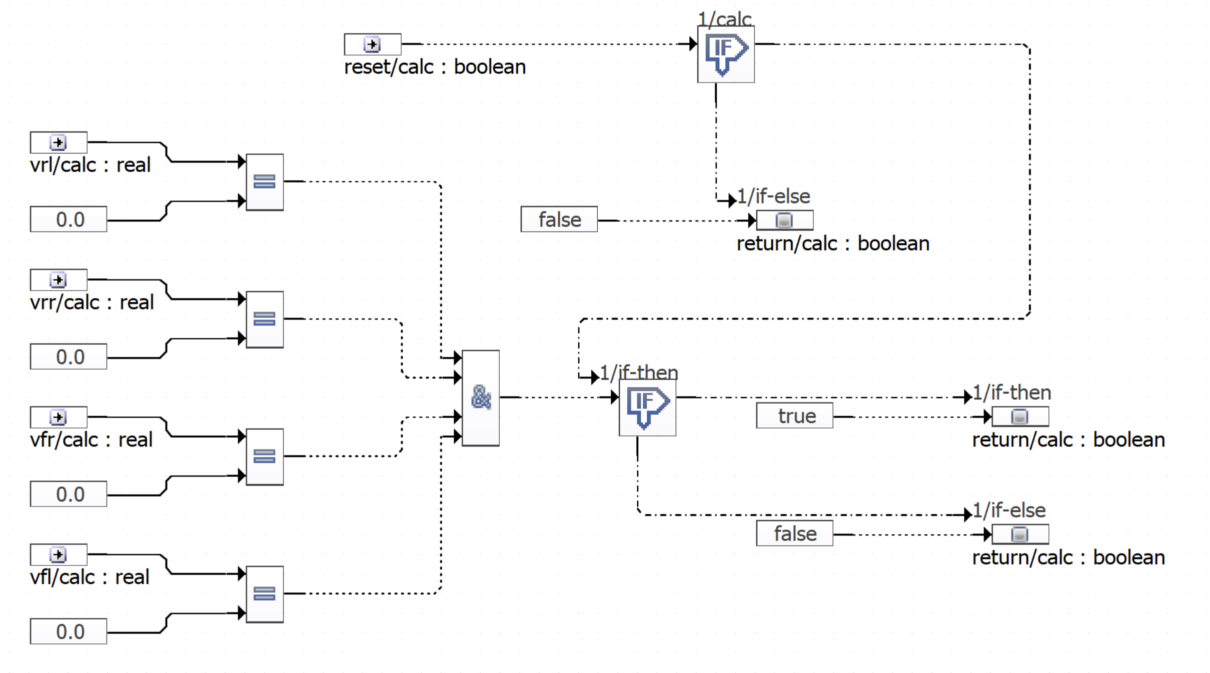


Abbildung 6.4: Reset

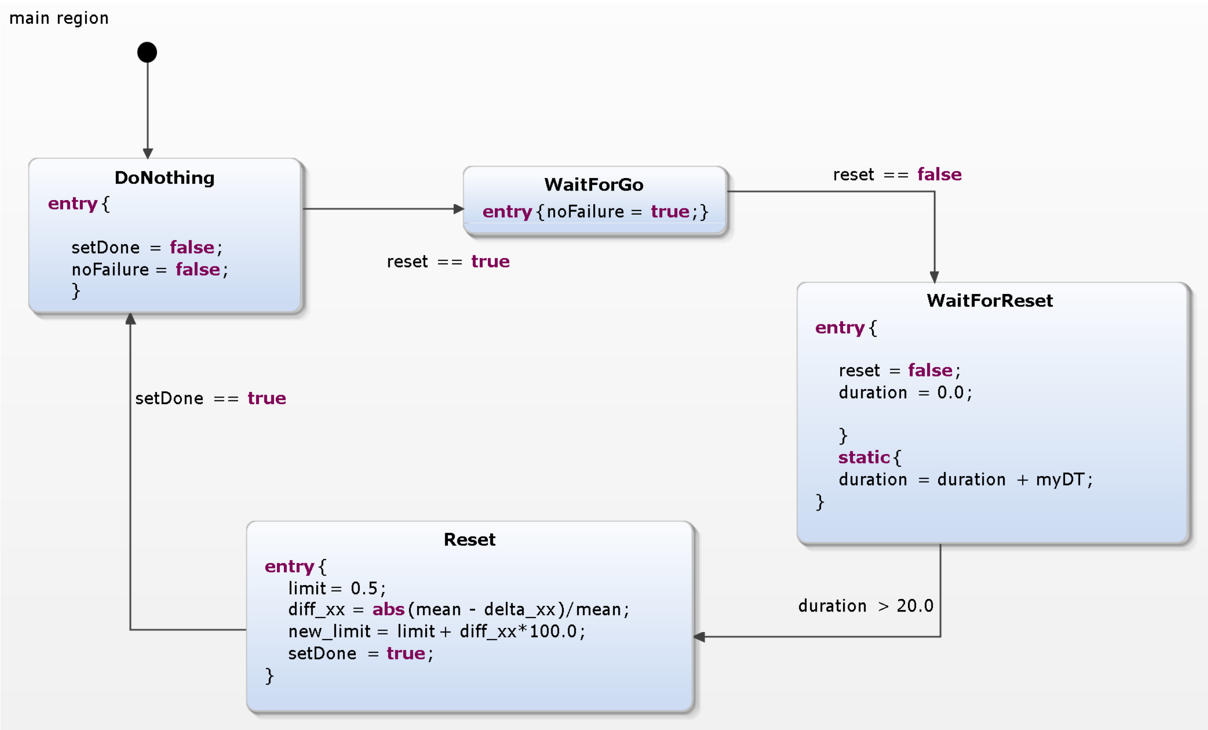


Abbildung 6.5: Reset Statemachine

7 Aufgabe D8

Hier werden die Codes der Unit-Tests für alle vorhandenen Funktionalitäten dargestellt.

8 Aufgabe D9

Für die Umsetzung der Warnfunktion durch eine LED, die erst einen Druckabfall-/anstieg signalisiert, wurde eine Statemachine verwendet. Diese besteht aus insgesamt fünf Stati, vier die jeweils 0,8 bzw. 1,6s dauern und die LED aus- bzw. einschalten und dem Off-Status.

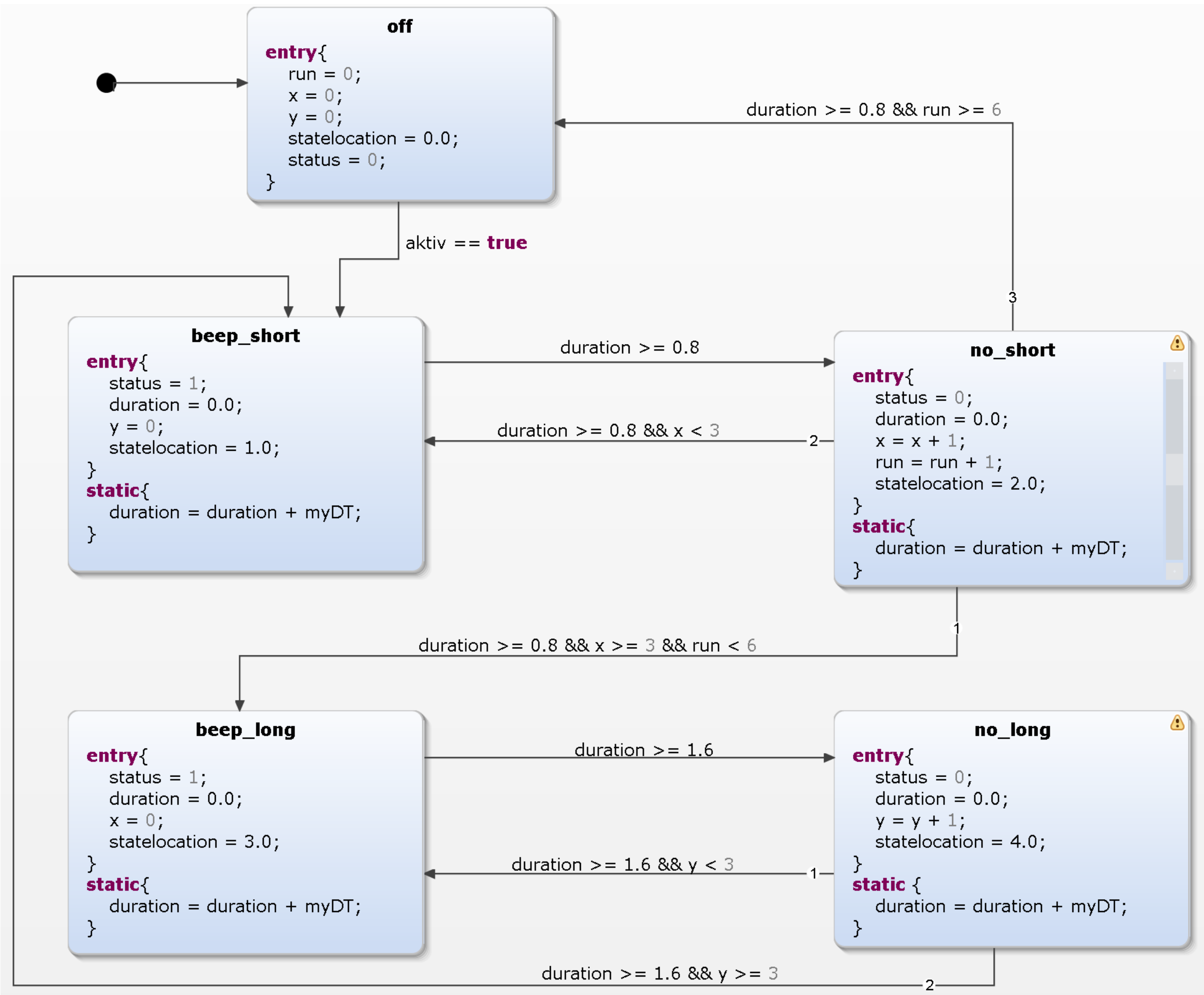


Abbildung 8.1: SOS Statemachine

9 Aufgabe D10

Die Abbildung 9.1 zeigt den „Random Number Generator“ umgesetzt in ASCET.

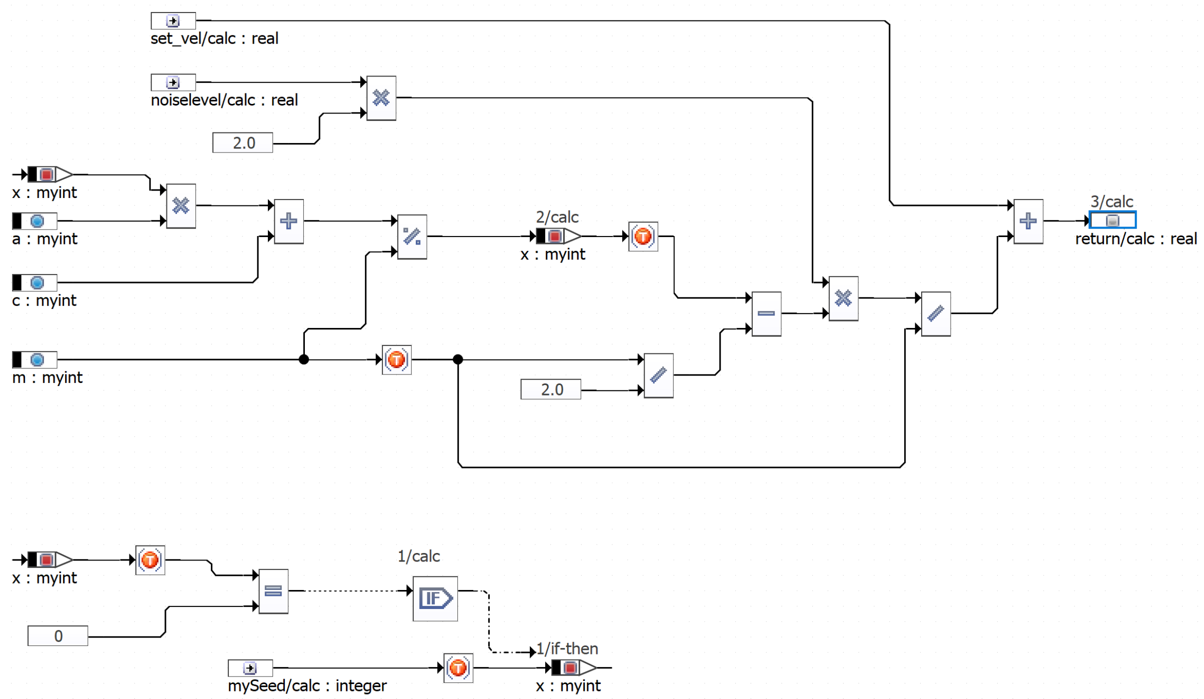


Abbildung 9.1: Random Number Generator

Der Code des Unittests für den „Random Number Generator“ wird im Folgenden dargestellt.

```
package components;
import assertLib.Assert;
static class RandomGeneratorTest {

  RandomGenerator rg;
  RingBuffer rb;

  @Test
  public void testcalc() {
    real set_vel = 100.0;
    real noiselevel = 5.0;
    integer mySeed = 10;
```

```
    real erg = rg.calc(set_vel, noiselevel, mySeed);
    Assert.assertNear(erg, 96.1425781, 0.01);
  }

  @Test
  public void testcalc2() {
    real set_vel = 100.0;
    real noiselevel = 5.0;
    integer mySeed = 10;
    for(i in 0 .. 99){
      real erg = rg.calc(set_vel, noiselevel, mySeed);
      rb.put(erg);
      for(j in 1 .. 999){
        real act = rb.getIndex(0);
        Assert.assertNotEqual(act, rb.getIndex(j));
      }
    }
  }
}
```

10 Aufgabe D11

11 Aufgabe D12