

# BIGDATA MIT RASPBERRYPI UND F#

## Seminararbeit

Version 0.92

Funktionale Programmierung  
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Simon Lang, Daniel Brun

20. Juni 2016

## Abstract

### Ausgangslage und Ziel

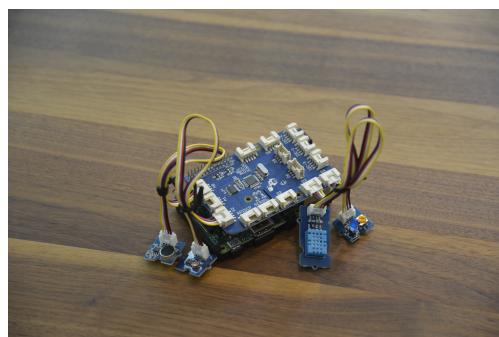
Einer immer grösseren Beliebtheit erfreuen sich kleine Alltagsgegenstände welche mit dem Internet verbunden sind. Dieser Bereich wird Internet of Things (IoT) genannt. Diese Gegenstände / Geräte sind in der Lage Daten zu sammeln, speichern und weiterzuleiten. Da es zukünftig voraussichtlich immer mehr solcher IoT Geräte geben wird fallen immer mehr Daten an. Der Themenbereich des Aufbereiten, Aggregieren, Analysieren und Visualisierens dieser Daten wird auch als „BigData“ bezeichnet.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Überprüfung des Sachverhaltes, ob sich funktionale Programmiersprachen eignen um Sensor-Daten auf einem IoT Gerät zu sammeln und anschliessend auszuwerten. Um diesen Sachverhalt zu prüfen, sollen mit einem IoT Gerät (Raspberry Pi) Sensor-Daten ermittelt und gespeichert werden. Anschliessend folgt eine Aufbereitung und Visualisierung der gespeicherten Daten.

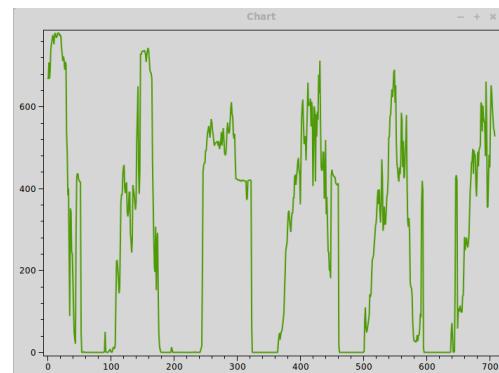
### Sensordaten sammeln

### Sensordaten aufbereiten und auswerten

### Resultat



(a) Raspberry Pi mit GrovePi Board und Sensoren



(b) Visualisierung der Daten

---

## Eigenständigkeitserklärung

---

Hiermit bestätigen wir, dass vorliegende Seminararbeit zum Thema „BigData mit RasperryPi und F#“ gemäss freigegebener Aufgabenstellung ohne jede fremde Hilfe und unter Benutzung der angegebenen Quellen im Rahmen der gültigen Reglemente selbständig verfasst wurde.

Zürich, 20.06.2016

Simon Lang, Daniel Brun



---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1 Hintergrund . . . . .	4
1.2 Ziel . . . . .	4
1.3 Aufgabenstellung . . . . .	4
1.4 Erwartete Resultate . . . . .	5
<b>2 Recherche</b>	<b>6</b>
2.1 Ausgangslage . . . . .	6
2.2 Der Raspberry Pi . . . . .	7
2.2.1 Raspberry Pi Modelle im Überblick . . . . .	9
2.3 F# mit dem Raspberry Pi . . . . .	10
2.3.1 Linux (Raspbian) . . . . .	10
2.3.2 Windows 10 IoT . . . . .	10
2.4 GrovePi Sensoren . . . . .	10
2.5 Verwendete Hardware für die Umsetzung . . . . .	11
2.6 Datenauswertung . . . . .	11
<b>3 Sensordaten sammeln</b>	<b>12</b>
3.1 F# auf dem Raspberry Pi . . . . .	12
3.1.1 Variante 1: Raspbian Jessie . . . . .	12
3.1.2 Variante 2: Windows 10 IoT . . . . .	17
3.2 Speicherung der Sensordaten . . . . .	19
3.3 Umsetzung . . . . .	19
3.3.1 Verwendete Hardware . . . . .	19
3.3.2 Verwendete Software . . . . .	20
3.3.3 Dokumentation der Implementation . . . . .	20
3.3.4 Datentransfer zum Raspberry Pi . . . . .	21
3.3.5 Datentransfer vom Raspberry Pi . . . . .	21
3.3.6 Betrieb & Starten der Applikation . . . . .	21
3.4 Dokumentation der Implementation . . . . .	22
3.4.1 Komponenten . . . . .	22
3.4.2 Source Code . . . . .	23

3.4.3 Raspberry.IO.InterIntegratedCircuit (C# Library) . . . . .	23
3.4.4 Raspberry.GrovePi (C# Library) . . . . .	23
3.4.5 Raspberry.FGrove (F# Applikation) . . . . .	25
<b>4 Sensordaten auswerten und aufbereiten</b>	<b>28</b>
4.1 Verwendete Software . . . . .	28
4.1.1 Mono . . . . .	28
4.1.2 F# Data . . . . .	28
4.1.3 FSharp.Charting . . . . .	29
4.2 Dokumentation der Implementation . . . . .	30
4.2.1 Auslesen . . . . .	31
4.2.2 Aufbereitung . . . . .	31
4.2.3 Darstellung . . . . .	31
4.3 Resultat . . . . .	34
<b>5 Schlusswort</b>	<b>36</b>
5.1 Fazit . . . . .	36
5.1.1 Sensordaten sammeln . . . . .	36
5.1.2 Sensordaten aufbereiten und auswerten . . . . .	37
5.2 Reflexion . . . . .	37
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>39</b>

# KAPITEL 1

---

## Einleitung

---

Diese Arbeit wurde als Seminararbeit zur Vorlesung „Funktionale Programmierung“ verfasst. In diesem Kapitel werden die Aufgabenstellung und die Rahmenbedingungen der Arbeit erläutert.

### 1.1 Hintergrund

Einer immer grösseren Beliebtheit erfreuen sich kleine Alltagsgegenstände welche mit dem Internet verbunden sind. Dieser Bereich wird IoT genannt. Diese Gegenstände / Geräte sind in der Lage Daten zu sammeln, speichern und weiterzuleiten. Da es zukünftig voraussichtlich immer mehr solcher IoT Geräte geben wird fallen immer mehr Daten an. Der Themenbereich des Aufbereiten, Aggregieren, Analysieren und Visualisieren dieser Daten wird auch als „BigData“ bezeichnet.

### 1.2 Ziel

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Überprüfung des Sachverhaltes, ob sich funktionale Programmiersprachen eignen um Sensor-Daten auf einem IoT Gerät zu sammeln und anschliessend auszuwerten. Um diesen Sachverhalt zu prüfen, sollen mit einem IoT Gerät (Raspberry Pi) Sensor-Daten ermittelt und gespeichert werden. Anschliessend folgt eine Aufbereitung und Visualisierung der gespeicherten Daten.

### 1.3 Aufgabenstellung

Die freigegebene Aufgabenstellung lautet wie folgt:

- Projektnname: Seminar BigData mit RaspberryPi und F#

- Ausgangslage: Durch die rasante Entwicklung im Bereich IoT ergeben sich viele neue Anwendungsmöglichkeiten. Da der Raspberry Pi immer leistungsfähiger geworden ist, soll evaluiert werden ob er sich für den Einsatz von funktionalen Sprachen im Bereich BigData eignet.
- Ziel der Arbeit: Es soll gezeigt werden wie F# Sharp auf einem Raspberry Pi im Bereich BigData und IoT eingesetzt werden kann.
- Aufgabenstellung: Es soll gezeigt werden, wie eine funktionale Programmiersprache (F#) im Kontext von BigData und IoT eingesetzt und verwendet werden kann. Es soll eine Anwendung zur Sammlung von Sensordaten auf einem Raspberry Pi und eine Anwendung zur Analyse / Auswertung der gesammelten Daten implementiert werden.

#### 1.4 Erwartete Resultate

Gemäss freigegebener Aufgabenstellung werden folgende Resultate erwartet:

- Dokumentation
- Implementation / Prototyp

# KAPITEL 2

---

## Recherche

---

In diesem Kapitel werden die Grundlagen recherchiert wie die beiden Teilprojekte „Sensordaten sammeln“ und „Sensordaten auswerten (BigData)“ angegangen werden könnten.

### 2.1 Ausgangslage

Die Vorlesung zu diesem Seminar befasst sich mit den Konzepten der Funktionalen Programmierung. Zur Veranschaulichung dieser Konzepte wurde die Programmiersprache F# des .NET-Frameworks verwendet. Aufgrund dessen haben wir uns entschieden auch dieses Seminar mit der uns bekannten funktionalen Programmiersprache F# umzusetzen. Als IoT Gerät wird ein Raspberry Pi<sup>1</sup> verwendet. Der Raspberry Pi ist ein Einplatinencomputer welcher von der britischen Raspberry Pi Foundation entwickelt wurde. Der Raspberry Pi bietet den Vorteil, dass er sehr weit verbreitet ist<sup>2</sup>, er kostengünstig ist und es inzwischen eine sehr grosse Anzahl an verschiedenen Sensoren auf dem Markt gibt mit welchen Daten gesammelt werden können<sup>3</sup>.

---

1 Rasb.

2 Rasd.

3 Rasa.

## 2.2 Der Raspberry Pi



**Abbildung 2.1:** Raspberry Pi 2 Model B

Quelle: [https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2015/01/Pi2ModB1GB\\_-comp.jpeg](https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2015/01/Pi2ModB1GB_-comp.jpeg)

Wie bereits im vorangehenden Kapitel beschrieben, handelt es sich beim Raspberry Pi um einen Einplatinencomputer welcher von der Raspberry Pi Foundation entwickelt und vertrieben wird. Er hat ungefähr die Grösse einer Kreditkarte und bietet zahlreiche On-Board Schnittstellen wie USB-, HDMI und Audio Anschlüsse (Abhängig vom konkreten Modell). Zusätzlich stehen eine bestimmte Anzahl an GPIO-Pins (General Purpose Input / Output) zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Pins lassen sich zum einen Erweiterungs-Boards anschliessen und zum anderen können auch eigene Schaltungen, etc. gebaut und verlötet werden. Die Anzahl und genaue Funktion der einzelnen GPIO-Pins ist vom konkreten Raspberry Pi Modell abhängig.

Am 29 Februar 2016 ist die neuste Version, der Raspberry Pi 3 (Model B), auf dem Markt erschienen<sup>1</sup>. Einige Zahlen zu dem Gerät:

- 1.2GHz 64-bit quad-core ARM Cortex-A53 CPU (Leistungsteigerung: 10x des Raspberry Pi 1 und 1.6x des Raspberry Pi 2)
- Integriertes 802.11n wireless LAN und Bluetooth 4.1
- Vollständige Kompatibilität zu Version 1 und 2 des Raspberry Pi (Model B)

---

<sup>1</sup> Rasc.

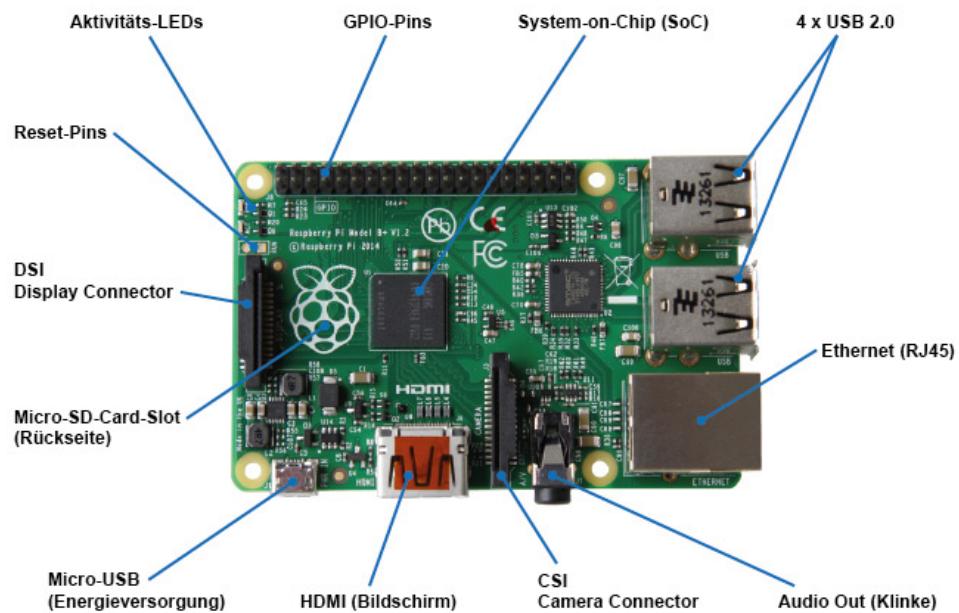


Abbildung 2.2: Raspberry Pi Model B Überblick

Quelle: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/raspberry-pi/bilder/19052512.jpg>

### 2.2.1 Raspberry Pi Modelle im Überblick

	Raspberry Pi Model A		Raspberry Pi Model A+		Raspberry Pi Model B		Raspberry Pi 2 Model B+		Raspberry Pi 3 Model B		Raspberry Pi Compute		Raspberry Pi Zero	
Gewicht in Gramm	31	23	40	45		40		40		40		7		9
System-on-a-Chip (SoC):			BCM2835			BCM2836		BCM2837		BCM2835				
CPU Kerne	1	1	1	1		1		4		1		1		
CPU Takt in MHz			700			900		1200		700		1000		
CPU Architektur			ARMv6 (32-bit)			ARMv7 (32-bit)		ARMv7 (64-bit)		ARMv6 (32-bit)				
GPU Takt in MHz			250					300/400		250				
Arbeitsspeicher in MB	256		256 / 512		512		1024		512					
Pins	26	40	26			40			60		40			
GPIO-Pins	17	26	17			26			48		26			

## 2.3 F# mit dem Raspberry Pi

Um F# auf dem Raspberry Pi auszuführen, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten, welche nachfolgend erläutert werden. Da es sich bei F# um eine Sprache des Microsoft .NET-Frameworks handelt, wird für die Ausführung zwingend eine Implementation des .NET-Frameworks benötigt.

### 2.3.1 Linux (Raspbian)

Ein weit verbreitetes Betriebssystem für den Raspberry Pi ist das Raspbian<sup>1</sup> OS. Bei dem Namen handelt es sich um eine Kombination von Raspberry und Debian. Demnach handelt es sich auch um eine Debian Distribution, welche spezifisch für den Raspberry Pi entwickelt wurde.

Eine Möglichkeit um unter Linux, beziehungsweise Raspbian, F# auszuführen ist das Mono-Framework<sup>2</sup>. Dabei handelt es sich um eine Open Source Implementation von Microsoft's .NET Framework.

### 2.3.2 Windows 10 IoT

Microsoft hat mit Windows 10 IoT eine Version ihres Betriebssystems herausgebracht, welche speziell für leistungsschwächere Geräte entwickelt wurde<sup>3</sup>. Bei der IoT Version von Windows 10 ist das .NET Framework bereits standardmäßig an Bord. Demnach sollte es keine Probleme geben um F# auf dieser Plattform zu betreiben.

## 2.4 GrovePi Sensoren

Für den Raspberry Pi gibt es viele verschiedene Sensoren auf dem Markt. Herauskristallisiert hat sich jedoch das Starter Kit GrovePi+<sup>4</sup>. Dieses beinhaltet unter anderem Ton-, Temperatur-, Feuchtigkeit- und Lichtsensoren. Der Vorteil an den GrovePi Sensoren besteht an den geringen Kosten, dem einfachen Anschluss an den Raspberry Pi und die vielen verfügbaren Beispiele in unterschiedlichsten Programmiersprachen (z.B. Java, Python, C, C++).

Die Recherchen haben ebenfalls gezeigt, dass es eine Library für .NET gibt mit welchem die Sensoren angesprochen werden können<sup>5</sup>.

---

1 [Fro.](#)

2 [Mon.](#)

3 [Win.](#)

4 [Gro.](#)

5 [Nuga.](#)

## 2.5 Verwendete Hardware für die Umsetzung

Wir haben uns entschieden für die Umsetzung die nachfolgend aufgelisteten Hardware-Komponenten zu verwenden:

- Raspberry Pi 2 Model B
- Raspberry Pi 3 Model B
- GrovePi Sensoren
  - Temperature & Humidity Sensor
  - Sound Sensor
  - Light Sensor
  - Blue LED

## 2.6 Datenauswertung

Die von den Sensoren gespeicherten Daten werden in einem noch zu definierenden Format abgespeichert und danach für die Datenauswertung ausgelesen. Dafür wurde vom Dozenten die Library F# Data empfohlen<sup>1</sup>. Diese kann Daten in den Formaten Comma Separated Values (CSV), Hypertext Markup Language (HTML), JavaScript Object Notation (JSON) und Extensible Markup Language (XML) entgegennehmen und verarbeiten.

---

<sup>1</sup> [Fshc.](#)

# KAPITEL 3

---

## Sensordaten sammeln

---

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem Teilprojekt der Sammlung von Sensordaten. Die Auswertung und Aufbereitung der gesammelten Daten wird im Kapitel [4 Sensordaten auswerten und aufbereiten](#) beschrieben.

### 3.1 F# auf dem Raspberry Pi

Im Abschnitt [2.3 F# mit dem Raspberry Pi](#) wurden zwei Möglichkeiten aufgezeigt, welche es ermöglichen F# auf einem Raspberry Pi laufen zu lassen.

Es ist zu erwarten, dass der Weg über Window 10 IoT der einfachere sein wird, da dort das benötigte .NET Framework Teil des Systems ist. In dieser Seminararbeit wurden bewusst beide Varianten (Linux (Raspbian) und Windows 10 IoT) ausprobiert und getestet. Die folgenden Abschnitte erläutern den Setup und die Erkenntnisse aus dem Test der beiden Varianten.

#### 3.1.1 Variante 1: Raspbian Jessie

##### 1: Installation & Konfiguration von Raspbian Jessie

Zuerst wurde Raspbian Jessie auf dem Raspberry Pi installiert. Für die Installation des Betriebssystems wurde NOOBS (New Out Of Box Software)<sup>1</sup> verwendet. NOOBS ist ein Installationsmanager für Betriebssysteme, der es ermöglicht per Klick ein gewünschtes Betriebssystem zu installieren. Es wurde dabei die offizielle Anleitung der Raspberry Pi Foundation verwendet (<https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/noobs.md>).

---

<sup>1</sup> Noo.

Je nach Netzwerk und Setup sind einige kleinere weitere Konfigurationsanpassungen notwendig (z.B. Konfiguration des WLAN oder die Deaktivierung von IPv6 in einem IPv4 Netzwerk).

## 2: Installation des Mono-Frameworks & F#

Im Anschluss wurde die neuste Version des Mono-Frameworks (4.2.3) und der F#-Interactive Shell (F# Version 4.0) über die in den Software-Repositories vorhandenen Pakete installiert. Mono ist eine Open Source implementation von Microsofts .NET Framework und wird benötigt, um F# unter Linux auszuführen.

```
1 sudo apt-get install mono-complete fsharp
```

## 3: Installation & Konfiguration GrovePi

Die Installation und Konfiguration wurde anhand der vom Hersteller (Dexter Industries) zur Verfügung gestellten [Anleitung](#) durchgeführt.

### Schwierigkeiten

Bei der Installation musste ein Git-Repository des Herstellers geklont werden. Dieses beinhaltet die Firmware und verschiedenste Code-Beispiele und Beispiel Scripts. Das Repository scheint jedoch von gewissen Netzwerkknoten nicht erreichbar zu sein. Das Repository konnte nur im Netzwerk der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) geklont werden.

### Testsetup

Die Installation und Konfiguration des GrovePi wurde über ein Testsetup mit Hilfe einer einfachen LED und eines mitgelieferten Python-Scripts getestet.

## 4: Anbindung des GrovePi via GrovePi-NuGet-Library

Nun galt es den GrovePi über F# anzusteuern und entsprechende Sensordaten auszulesen. Während der Recherchen wurden wir auf eine NuGet-Library<sup>1</sup> aufmerksam, welche die entsprechende Funktionalität bereitstellt. In der Entwicklungsumgebung (Monodevelop) wurde eine neues F# Projekt angelegt und das entsprechende NuGet-Paket installiert. Der erste Test-Build mit dem NuGet-Paket schlug fehl. Gemäss der Fehlermeldung weist das Paket eine Abhängigkeit zum Microsoft .NET Framework 5 auf. Beim Microsoft .NET Framework 5 handelt es sich um eine Neuauflage des klassischen .NET Frameworks. Im nachfolgenden Abschnitt werden die wichtigsten Aspekte des .NET Frameworks 5 (beziehungsweise .NET Core) erläutert.

### .NET Core

Ursprünglich war es geplant .NET Core als „.NET Framework Version 5“ auszurollen.

---

<sup>1</sup> [Nuga](#).

Inzwischen wurde von Microsoft entschieden, .NET Core unter einer eigenständigen Versionsnummer zu führen (Ausgehend davon war die im vorangehenden Abschnitt beschriebene Fehlermeldung nicht mehr korrekt). Das reguläre .NET Framework wird vorläufig mit einer eigenständigen Nummerierung fortgeführt. Die nächste Version wird das .NET Framework 4.6 sein.

Nachfolgend eine Auflistung der wichtigsten Aspekte und Ziele von .NET Core:

- Hoher Grad an Portabilität
  - Plattformunabhängigkeit
  - Architekturunabhängigkeit (32-Bit / 64-Bit)
- Open Source Implementation
- Kleine und optimierte Runtime
  - Modularer Aufbau
  - Runtime wird als NuGet Package ausgeliefert
- Default Compiler für x64: „Roslyn“ just-in-time Compiler
- Verfügbare Runtime Varianten:
  - .NET Native (Windows Only)
  - Core CLR (Common Language Runtime, Linux, Mac OS, Windows)
  - Weitere ...

Die folgende Grafik zeigt eine grobe Übersicht über das .NET Framework und .NET Core:

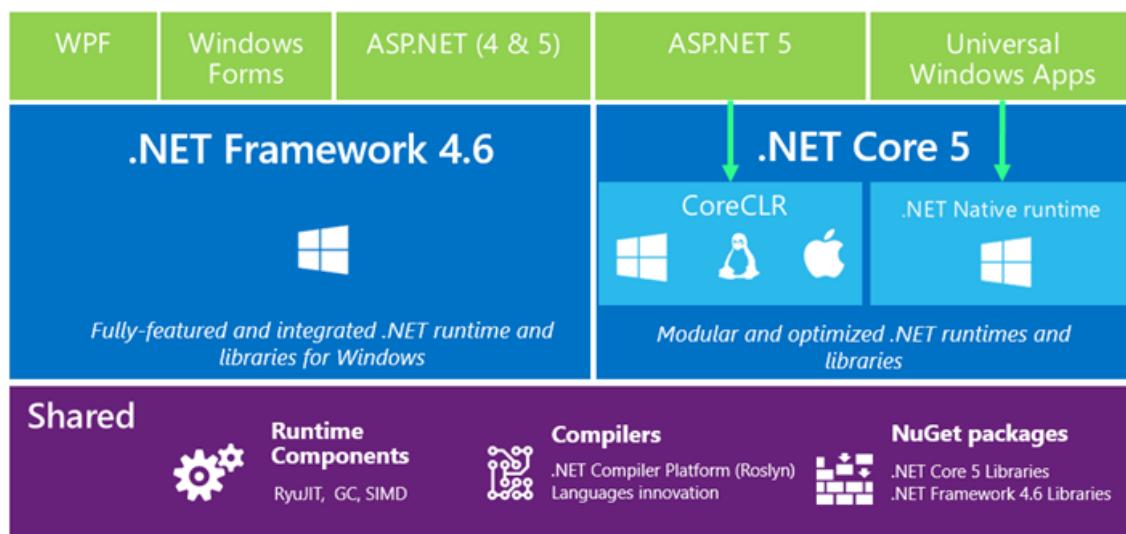


Abbildung 3.1: Übersicht .NET Framework &amp; .NET Core

Quelle: <https://blogs.msdn.microsoft.com/bethmassi/2015/02/25/understanding-net-2015/>

## 5: Installation von .NET Core

Aufgrund der Fehlermeldung haben wir nun versucht .NET Core auf dem Raspberry Pi zu installieren. Zur Zeit, zu dem dieses Setup durchgeführt wurden, existierten keine offiziellen Microsoft-Quellen zur Installation von .NET Core unter Linux.

Um .NET Core unter Raspbian zu installieren, wird das bereits installierte Mono Framework benötigt. Anschliessend kann das .NET / DotNet Execution Environment (DNX) installiert werden. Diese Execution Environment beinhaltet alle notwendigen Libraries, um .NET Core Applikation auszuführen. Um DNX zu installieren ist es am einfachsten den .NET / DotNet VersionManager (DNVM) zu verwenden. Mit dem Version Manager können verschiedene Versionen des .NET Frameworks parallel installiert werden. DNVM bietet auch Möglichkeiten um zwischen den einzelnen Versionen einfach und schnell hin und her zu wechseln.

### Installation DNVM

Um DNVM herunter zu laden und zu installieren wurde folgender Befehl verwendet<sup>1</sup>:

```
1 curl -sSL https://raw.githubusercontent.com/aspnet/Home/dev/dnvminstall.sh |  
DNX_BRANCH=dev sh && source ~/.dnx/dnvm/dnvm.sh
```

### Installation DNX .NET Core

<sup>1</sup> [Installing ASP.NET 5\\_2016-06-19](#).

```
1 sudo apt-get install libunwind8 gettext libssl-dev libcurl4-openssl-dev zlib1g  
libicu-dev uuid-dev  
2 mozroots --import --sync  
3 dnvm upgrade -u  
4 dnvm install latest -r coreclr -u
```

Die beschriebenen Schritte konnten soweit problemlos durchgeführt werden. Anschliessend galt es das Test-Projekt auf das neue Build-System von DNX umzustellen, welches mit .NET Core verwendet werden muss. Während dieser Umstellung hat sich gezeigt, dass der DNVM und die DNX bereits wieder verworfen wurde und direkt durch die .NET Core CLI (Command Line Interface) abgedeckt werden<sup>1</sup>. Diese Umstellung wurde mit dem Wechsel der Version .NET Core RC1 auf .NET Core RC2 eingeführt. Zum Zeitpunkt dieser Arbeit bestand jedoch neben dem DNVM keine andere Möglichkeit .NET Core unter Linux / Mono zu installieren. Glücklicherweise konnte das .NET Core CLI zusammen mit der .NET Core Runtime dennoch via DNVM installiert werden.

Die nächste Herausforderung bestand anschliessend darin im neuen Build-System das korrekte Target-Framework zu definieren. Aufgrund dessen, dass es noch keinen ersten finalen Release von .NET Core CLI gibt, kursierten im Web verschiedenste Definitionen für das Target-Framework. Darunter zum Beispiel „dotnet“ und „dnxcore50“.

Längere Recherchen und Analysen haben anschliessend zwei Fakten zu Tage gebracht, mit welchen wir nicht gerechnet hatten.

- **.NET Core in 32-Bit**

Aktuell gibt es von .NET Core keine 32-Bit Implementation. Sämtliche Raspberry Pi Modelle basieren auf einer ARM 32-Bit Architektur. Ausgenommen davon ist das neuste Model, der Raspberry Pi 3 Model B. Jedoch gibt es Raspbian aktuell nur in einer 32-Bit Version.

- **GrovePi NuGet Paket verwendet Windows-Only Funktionalitäten**

Das GrovePi NuGet Paket hat Abhängigkeiten zur Universal Windows Platform (UAP). Die Universal Windows Platform ist Teil der .NET Native Runtime und gibt es daher nur für Windows, nicht für Linux oder Mac OS. Die Abhängigkeit dieses NuGet Paketes von .NET Native besteht wahrscheinlich deshalb, weil die Library ursprünglich für die Verwendung mit Windows 10 IoT entworfen wurde.

## 6: Finaler Setup

Aufgrund dieser letzten Erkenntnisse haben wir uns entschieden die Umsetzung auf Raspbian Jessie (32-Bit) mit dem regulären Mono-Framework zu realisieren. Aufgrund dessen, dass das GrovePi NuGet Paket nicht verwendet werden kann, muss der Zugriff, beziehungsweise die Kommunikation zwischen Raspberry Pi und GrovePi auf eine andere Art gelöst werden.

---

<sup>1</sup> <http://dotnet.github.io/docs/core-concepts/dnx-migration.html>

### 3.1.2 Variante 2: Windows 10 IoT

Windows 10 IoT ist eine Version des Betriebssystems von Microsoft, welches speziell für kleinere Geräte mit weniger Rechenleistung konzipiert wurde.

#### Installation von Windows 10 IoT

Microsoft bietet zwei Varianten an, um Windows 10 IoT auf einem Raspberry Pi zu installieren. Bei der ersten Variante wird das Betriebssystem direkt auf der SD-Karte installiert<sup>1</sup>. Dazu muss das Windows 10 IoT Core Dashboard auf einem Computer installiert werden. Anschliessend wird eine ISO Datei heruntergeladen, welche eine Installationsdatei beinhaltet welche über ein richtiges Windows 10 gestartet werden muss. Dies Datei kompiliert eine FFU Datei (Full Flash Update, Image-Datei) welche über das Core Dashboard installiert werden muss. Danach sollte der Raspberry Pi mit Windows 10 IoT gestartet werden können.

Leider startete das Raspberry Pi nach dem genannten Prozedere nicht, sondern blieb beim Rainbow Screen<sup>2</sup> hängen. Der Rainbow Screen ist Teil des Boot-Vorgangs und wird im Rahmen des Graphics Processing Unit (GPU)-Tests generiert.

Was bedeutet FFU?



Abbildung 3.2: Raspberry Pi rainbow screen

Die zweite Variante der Installation von Windows 10 IoT arbeitet mit dem NOOBS Installer (siehe [3.1.1 1: Installation & Konfiguration von Raspbian Jessie](#)), welcher von der Raspberry Pi Foundation zur Verfügung gestellt wird. Zuerst muss NOOBS auf einer SD-Karte installiert (entpackt) und diese anschliessend in den Raspberry PI eingelegt werden. Vor dem Start muss der Raspberry Pi ans Internet angeschlossen werden, damit

1 Ins.

2 Rpi.

der Installer die notwendigen Dateien für die Installation herunterladen kann. Nach dem Anschluss des Raspberry Pi an die Stromversorgung startet der Installations-Manager in welchem Windows 10 IoT ausgewählt und installiert werden kann.

Die Installation über NOOBS war einiges einfacher als diejenige über das Core Dashboard und war schlussendlich auch erfolgreich.

### Installation des Mono-Frameworks & F#

Windows 10 IoT wird bereits mit dem .NET Micro Framework ausgeliefert. Deshalb war keine Installation für .NET nötig.

### Installation von .NET Core

Da für die Entwicklung für das GrovePi das .NET Core nötig ist, wurde nach einer Anleitung<sup>1</sup> versucht dieses zu installieren. Als erstes muss DNVM installiert werden, danach die CoreCLR<sup>2</sup>

### Installation DNVM

```
1 @powershell -NoProfile -ExecutionPolicy unrestricted -Command "`&{$Branch='dev';
iex ((new-object net.webclient).DownloadString('https://raw.githubusercontent.com
/aspnet/Home/dev/dnvminstall.ps1'))}"'
```

### Installation CoreCLR

```
1 c:\> dnvm install -r coreclr -arch x64 latest -u
```

Dies installiert die CoreCLR 32bit Version für einen ARM Prozessor, welcher auf dem Raspberry Pi verwendet wird. Leider funktionierte dies nicht.

```
1 Run Build Command:/usr/bin/make "cmTryCompileExec3109069071/fast"
2 /usr/bin/make -f CMakeFiles/cmTryCompileExec3109069071.dir/build.make CMakeFiles/
cmTryCompileExec3109069071.dir/build
3 make[1]: Entering directory `/home/\dfrac{win10iot}{den}/coreclr/bin/obj/Linux.
x64.Debug/CMakeFiles/CMakeTmp'
4 /usr/bin/cmake -E cmake_progress_report /home/win10iot/coreclr/bin/obj/Linux.x64.
Debug/CMakeFiles/CMakeTmp/CMakeFiles 1
5 Building C object CMakeFiles/cmTryCompileExec3109069071.dir/testCCompiler.c.o
6 /usr/bin/clang-3.5 -Wall -std=c11 -o CMakeFiles/cmTryCompileExec3109069071.
dir/testCCompiler.c.o -c /home/win10iot/coreclr/bin/obj/Linux.x64.Debug/
CMakeFiles/CMakeTmp/testCCompiler.c
7 Linking C executable cmTryCompileExec3109069071
```

@Simon:  
Meinsch  
da  
64-Bit  
nimmi  
ah?

1 How.

2 Fou15.

```
8 /usr/bin/cmake -E cmake_link_script CMakeFiles/cmTryCompileExec3109069071.dir/
link.txt --verbose=1
9 /usr/bin/clang-3.5 -Wall -std=c11      CMakeFiles/cmTryCompileExec3109069071.dir
/testCCompiler.c.o -o cmTryCompileExec3109069071 -rdynamic
10 make[1]: Leaving directory `/home/win10iot/coreclr/bin/obj/Linux.x64.Debug/
CMakeFiles/CMakeTmp'
```

Deshalb wurde entschieden, das Projekt mit der Variante 1: Rasbian Jessie fortzusetzen.

Ist das oben die Fehlermeldung?

## 3.2 Speicherung der Sensordaten

Zum Abspeichern der Sensordaten haben sich verschiedene Datenformate angeboten. Um die Komplexität möglichst gering zu halten und maximale Flexibilität zu erreichen, haben wir uns entschieden die Sensordaten File-basiert abzuspeichern.

Neben CSV standen auch JSON oder XML zur Auswahl. Da die Daten in einem kontinuierlichen Stream geschrieben werden müssen haben wir uns schlussendlich für ein klassisches CSV-File entschieden. Dies bietet den Vorteil, dass neue Datensätze ohne Probleme laufend ans Ende der Datei angehängt werden können.

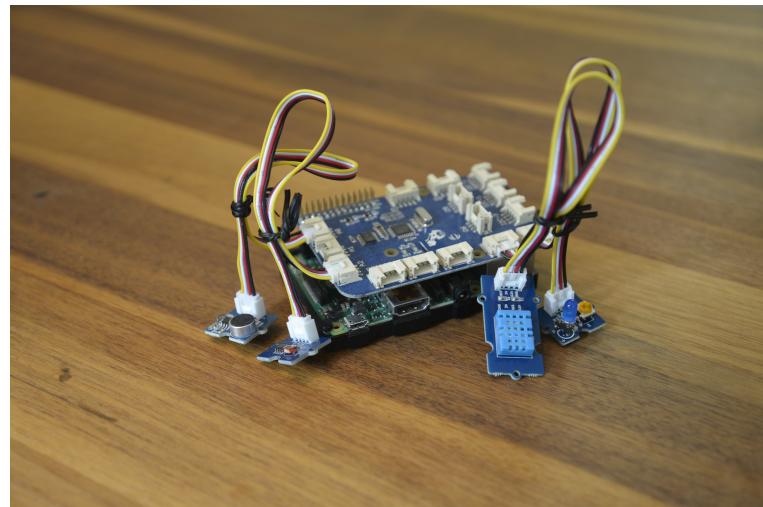
Bei JSON und XML ist dies nicht ohne weiteres möglich, da die Daten dort in Hierarchischer Form abgespeichert werden.

## 3.3 Umsetzung

In diesem Kapitel wird die konkrete Umsetzung der Problemstellung „Sammeln von Sensordaten“ beschrieben.

### 3.3.1 Verwendete Hardware

Für die Realisierung wurden nachfolgend aufgelisteten Hardware-Komponenten verwendet.



**Abbildung 3.3:** Der verwendete Raspberry Pi mit den Sensoren

- Raspberry Pi 2 Model B
- Raspberry Pi 3 Model B
- GrovePi Sensoren
  - Temperature & Humidity Sensor (GrovePi Port D3)
  - Sound Sensor (GrovePi Port A0)
  - Light Sensor (GrovePi Port A2)
  - Blue LED (GrovePi Port D4)

### 3.3.2 Verwendete Software

Für die Realisierung, beziehungsweise den Betrieb, wurden folgende Softwarekomponenten verwendet:

- Raspbian Jessie
- GrovePi Firmware + Beispiele
- Mono 4.2
- NOOBS
- F# Interactive

### 3.3.3 Dokumentation der Implementation

Die konkrete Implementation der Problemstellung „Sensordaten sammeln“ wird im Abschnitt [3.4 Dokumentation der Implementation](#) dokumentiert.

### 3.3.4 Datentransfer zum Raspberry Pi

Die kompilierten Sourcen wurden via Linux-Befehl „scp“ auf den Raspberry Pi übertragen.

```
1 scp -rp ./Raspberry.FGrove pi@raspberrypi.local:/home/pi/Development/FUP/
```

### 3.3.5 Datentransfer vom Raspberry Pi

Der Datentransfer vom Raspberry Pi auf einen anderen Computer wurde durch einen einfachen HTTP-Server auf Python-Basis bewerkstelligt. Python wurde bei der Installation des GrovePi automatisch mitinstalliert. Dadurch konnten wir den „SimpleHTTPServer“ nutzen, welcher standardmäßig mit Python ausgeliefert wird.

```
1 python -m SimpleHTTPServer 8000
```

### 3.3.6 Betrieb & Starten der Applikation

Damit der Raspberry Pi zum Sammeln von Sensordaten theoretisch auch unabhängig von einem Netzwerk betrieben werden könnte, wurde der Raspberry Pi als WiFi-Access-Point konfiguriert. Beim Start wird geprüft, ob ein bekanntes WiFi-Netzwerk verfügbar ist. Ist dies nicht der Fall, werden entsprechend die Konfigurationen für den WiFi-Access-Point geladen. Die Konfiguration dieses Access-Points, beziehungsweise Ad-Hoc-Netzwerkes, wurde anhand der Anleitungen von [Lasse Christiansen](#) und [cretty33](#) durchgeführt.

Mit diesem Setup kann nun jederzeit auf den Raspberry Pi zugegriffen und entweder die Anwendung gestartet / gestoppt oder die Daten heruntergeladen werden.

Für den Start der Anwendung musste ein zusätzliches Tool namens „screen“ installiert werden. Mit diesem Tool ist es einfach möglich mehrere Hintergrundverarbeitungen zu starten, welche nicht automatisch beendet werden, sobald die aktuelle Session (SSH-Verbindung) terminiert wird.

#### Start der Anwendung

```
1 ssh pi@raspberrypi.local (SSH into Raspberry Pi)
2 screen -S rpfs (create new screen session ``rpfs'')
3 python -m SimpleHTTPServer 8000 (start Python HTTP-Server)
4 Ctrl + a + c (create new window in current screen session)
5 sudo fsharp --lib:/home/pi/Development/FUP/Raspberry.FGrove/libs "/home/pi/
Development/FUP/Raspberry.FGrove/Program.fsx" (start F\# application)
6 ctrl + a + d (detach from current screen session)
```

#### Beenden der Anwendung

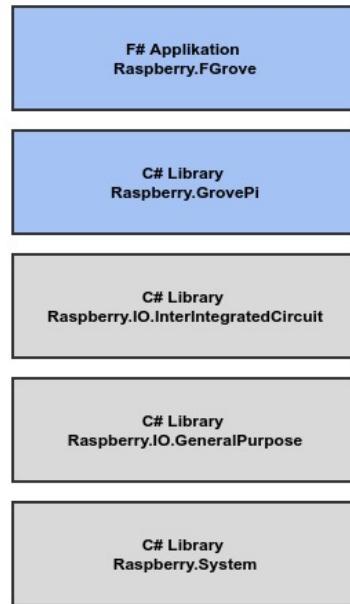
```
1 ssh pi@raspberrypi.local (SSH into Raspberry Pi)
2 screen -r rpfs (attach to the existing screen session ``rpfs'')
3 ctrl + c (terminate F\# application)
4 exit (close current window in screen session)
5 ctrl + c (terminate Python HTTP-Server)
6 exit (closes current window and screen session)
```

### 3.4 Dokumentation der Implementation

Nachfolgend werden die wichtigsten Punkte der einzelnen Komponenten dokumentiert.

#### 3.4.1 Komponenten

Die Anwendung besteht aus den nachfolgend beschriebenen Teilkomponenten.



**Abbildung 3.4:** Komponentenübersicht

- Raspberry.FGrove (F# Applikation)
- Raspberry.GrovePi (C# Library)
- Raspberry.IO.InterIntegratedCircuit (C# Library)
- Raspberry.IO.GeneralPurpose (C# Library)
- Raspberry.System (C# Library)

### 3.4.2 Source Code

Der Source Code wird in folgendem Git-Repository verwaltet: [FUP\\_Sem\\_IOT](#)

### 3.4.3 Raspberry.IO.InterIntegratedCircuit (C# Library)

Bei dieser Komponente handelt es sich um einen Klon / Fork der Teilkomponente „Raspberry.IO.InterIntegratedCircuit“ des Git-Repositories [raspberry-sharp-io](#) von [Raspberry#](#).

Diese Library ist aktuell nicht als NuGet-Packet verfügbar und wurde spezifisch für .NET unter Mono optimiert. Die Library verwendet die NuGet-Packete „Raspberry.IO.GeneralPurpose“ und „Raspberry.System“, welche von [Raspberry#](#) veröffentlicht und im genannten Git-Repository gepflegt werden.

Das Ziel dieser Library ist es, den Zugriff auf den Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C)-Bus des Raspberry Pi zu abstrahieren / vereinfachen.

### 3.4.4 Raspberry.GrovePi (C# Library)

Diese Komponente stellt unter Verwendung der Library „Raspberry.IO.InterIntegratedCircuit“ spezifische Funktionalitäten für den Zugriff auf den GrovePi via I<sup>2</sup>C zur Verfügung.

Die Library besteht aus einer einzigen Wrapper-Klasse, welche die I<sup>2</sup>C und GrovePi spezifischen Elemente für die eingesetzten Sensoren abstrahiert. Über den I<sup>2</sup>C-Bus müssen spezifische Befehle gesendet werden, um die gewünschten Sensordaten auszulesen. Diese Befehle werden von einem Arduino auf dem GrovePi Board interpretiert und verarbeitet. Die zulässigen Befehlssequenzen wurden den Hersteller-Dokumentationen entnommen.

Die Daten, welche von den Sensoren zurückgegeben werden, sind meistens nicht direkt verwendbar, da diese noch in Rohform vorliegen. Der Temperatursensor gibt zum Beispiel keinen absoluten Wert in Grad Celsius oder Kelvin zurück. Die entsprechenden Rohwerte müssten über spezielle Formeln entsprechend den Hardwarekomponenten umgerechnet werden. Die Herstellerdokumentationen sind an dieser Stelle leider lückenhaft, wodurch die entsprechenden Umrechnungen nur teilweise durchgeführt werden konnten.

- [Raspberry Pi GPIO Connector](#)
- [GrovePi Port Description](#)
- [GrovePi Protocol and Adding Custom Sensors](#)
- [GrovePi Firmware Documentation](#)
- [GrovePi Sound Sensor](#)
- [GrovePi Temperature & Humidity Sensor](#)
- [GrovePi Light Sensor](#)

Nachfolgend werden die verwendeten Befehlsfolgen aufgezeigt:

### I2C auf dem Raspberry

- 1 SDA-Pin: P1Pin03 (Nummer des SDA GPIO-Pins auf dem Raspberry Pi Board, notwendig für I2C, Data-Line)
- 2 SCL-Pin: P1Pin05 (Nummer des SCL GPIO-Pins auf dem Raspberry Pi Board, notwendig für I2C, Clock-Line)
- 3 I2C Device Address: 0x04

### Allgemeines Befehlsschema

- 1 Byte 0: 1 (Dummy, statischer Wert)
- 2 Byte 1: Command (ID der auszuführenden Aktion)
- 3 Byte 2: Pin (Nummer des anzusprechenden Pin auf dem GrovePi)
- 4 Byte 3: Data (Optional, Input-Daten)
- 5 Byte 4: Data (Optional, Input-Daten)

### Sound / Noise Sensor

- 1 Byte 0: 1 (Dummy)
- 2 Byte 1: 3 (Command: Analog-Read)
- 3 Byte 2: 0 (Pin: 0)
- 4 Byte 3: 0
- 5 Byte 4: 0
- 6 Result: 3 bytes (Sensordaten: Umgebungslautstärke)

### Temperature & Humidity Sensor

- 1 Byte 0: 1 (Dummy)
- 2 Byte 1: 40 (Command: Read DHT-Sensor)
- 3 Byte 2: 3 (Pin: 3)
- 4 Byte 3: 0
- 5 Byte 4: 0
- 6 Result: 9 bytes (Sensordaten: Temperatur, Luftfeuchtigkeit)

### Light Sensor

- 1 Byte 0: 1 (Dummy)
- 2 Byte 1: 3 (Command: Analog-Read)
- 3 Byte 2: 2 (Pin: 2)
- 4 Byte 3: 0
- 5 Byte 4: 0
- 6 Result: 3 bytes (Sensordaten: Helligkeit / Lichtintensität)

### LED (On)

- 1 Byte 0: 1 (Dummy)
- 2 Byte 1: 2 (Command: Digital-Write)
- 3 Byte 2: 4 (Pin: 4)
- 4 Byte 3: 1 (Data: On)
- 5 Byte 4: 0
- 6 Result: -

### LED (Off)

```

1 Byte 0: 1 (Dummy)
2 Byte 1: 2 (Command: Digital-Write)
3 Byte 2: 4 (Pin: 4)
4 Byte 3: 0 (Data: Off)
5 Byte 4: 0
6 Result: -

```

Der GrovePi verarbeitet die eingehenden Befehle sequentiell. Damit sichergestellt ist, dass zum abgesetzten Befehl auch die korrekten Daten zurückgeliefert werden, wurde der Lock-Mechanismus von C# verwendet. Dadurch wird der Zugriff auf den GrovePi so eingeschränkt, dass kein simultaner Zugriff mehr möglich ist.

```

1 // Byte-Array for results
2 byte[] ret;
3
4 // Create lock, if locked: wait till lock is released
5 lock (_locker) {
6     // Send command to GrovePi
7     connection.Write (new[] { (byte)1, (byte)3, (byte)2, (byte)0, (byte)0 });
8
9     // Wait a few ms (allows the arduino to collect the data)
10    Thread.Sleep (10);
11
12    // Read the response
13    ret = connection.Read (3);
14
15    // release the lock
16 }

```

### 3.4.5 Raspberry.FGrove (F# Applikation)

Diese Komponente realisiert die Kern-Logik der Anwendung, die Sammlung und Speicherung der Sensordaten. Dazu wird die implementierte C# Library „Raspberry.GrovePi“ verwendet.

Pro Sensor wurde ein eigenständiger Timer implementiert, welche periodisch gestartet und anschliessend zurückgesetzt wird. Pro Timer wurde ein Event-Listener registriert, welcher die spezifischen Sensordaten ausliest und anschliessend in ein CSV-File schreibt.

Nachfolgend wird die Implementation exemplarisch für den „Sound Sensor“ aufgezeigt:

```

1 // Create timer for sound / noise sensor
2 let nTimer, nEventStream = startTimerAndCreateObservable 100
3
4 // Subscribe to event
5 nEventStream |> Observable.subscribe (fun _ -> processNoiseEvent())

```

**startTimerAndCreateObservable**

```

1 // Creates and starts a new timer and returns an observable event
2 let startTimerAndCreateObservable timerInterval =
3     // Setup timer
4     let timer = new System.Timers.Timer(float timerInterval)
5
6     // Autoreset and enable
7     timer.AutoReset <- true
8     timer.Enabled <- true
9
10    // Return observable event
11    (timer, timer.Elapsed)

writeData

1 // Writes the sensordata to a file. If the file doesn't exists it will be created
2 . Otherwise the data will be appended to the end of the file.
3 let writeData suffix (data:String) (date:DateTime) (location:String) =
4     let filepath = "./data/SensorData-" + suffix + ".csv"
5
6     if not(File.Exists(filepath)) then
7         printfn "Data-File doesn't exists, creating file"
8         use streamWriter = new StreamWriter(filepath, false)
9         streamWriter.WriteLine "Date;Time;SensorData;Location"
10        streamWriter.Flush()
11        streamWriter.Close()
12
13        use streamWriter = new StreamWriter(filepath, true)
14        [ date.ToString("dd.MM.yyyy");
15          date.ToString("hh:mm:ss.fff");
16          data;
17          location]
18        |> List.fold (fun r s -> r + s + ";") ""
19        |> streamWriter.WriteLine
20
21        streamWriter.Flush()
22        streamWriter.Close()

readNoiseSensor

1 // Reads the data from the sound / noise sensor.
2 let readNoiseSensor() =
3     grovePiWrapper.readNoiseSensorData()

processNoiseEvent

1 // Processes the timer event for the sound / noise sensor.
2 let processNoiseEvent() =
3     let sensorValue = readNoiseSensor()
4     writeData "N" (sensorValue.ToString()) DateTime.Now currentLocation

```

Die Daten werden in folgendem Format in die CSV-Dateien geschrieben:

```
1 Date;Time;SensorData;Location  
2 06.05.2016;11:55:30.344;68;Brun@Home;  
3 06.05.2016;11:55:30.367;70;Brun@Home;  
4 06.05.2016;11:55:30.403;69;Brun@Home;  
5 06.05.2016;11:55:30.426;71;Brun@Home;  
6 [...]
```

# KAPITEL 4

---

## Sensordaten auswerten und aufbereiten

---

Im vorangehenden Kapitel wurde beschrieben, wie die Daten mit Hilfe eines Raspberry Pi und F# gesammelt wurden. Die Aufbereitung, Auswertung und Visualisierung dieser Daten wird in diesem Kapitel beschrieben.

### 4.1 Verwendete Software

Die Daten werden mittels F# auf einem Linux Mint (ein Ubuntu Ableger) dargestellt. Dazu muss ebenfalls Mono und F# Interactive installiert werden. Zusätzlich werden die Daten ebenfalls auf dem Raspberry Pi (via Remote Desktop) mit dem selben Programm

Danach werden die Daten mit F# Data<sup>1</sup> ausgelesen, mit F# aufbereitet und mit FSharp.Charting<sup>2</sup> dargestellt.

#### 4.1.1 Mono

Was Mono ist und wie es installiert wird, wurde im Abschnitt [3.1.1 2: Installation des Mono-Frameworks & F#](#) beschrieben.

.NET Core wird für F# Data und FSharp.Charting nicht benötigt. Dadurch entfällt auch die Installation der entsprechenden Komponenten.

#### 4.1.2 F# Data

F# Data ist eine Library für den Zugriff auf Daten. Unterstützt werden folgende Formate:

- CSV
- HTML

---

<sup>1</sup> [Fshd](#).

<sup>2</sup> [Fsha](#).

- JSON
- XML

In dieser Arbeit wurde als Datenformat CSV gewählt, weshalb die nachfolgenden Erklärungen für dieses Format ausgelegt wurde. Zuerst muss ein Type erstellt werden, welcher für die Zugriff auf die Daten verwendet wird.

```
1 type Weather = CsvProvider<"http://www.some-weather-service.org/data.csv", ";">
```

Dies lädt eine CSV-Datei von der angegebenen Adresse. Es wird erwartet, dass die Erste Zeile die Namen der Spalten enthält. Zum Beispiel:

```
1 City;Temperature;Rain
2 London;6 degree celius;25mm/3h
3 New York;25 degree celius;<1mm/3h
4 [...]
```

Der Zweite Parameter im obigen Code ist ein Semicolon und definiert, welches Zeichen als Trenner der Spalten verwendet wird.

Danach können die Daten geladen werden:

```
1 let weatherData = SensorData.Load("http://www.some-weather-service.org/data.csv")
```

Die Variable weatherData enthält eine Sequenz von dem zuvor erstellten Typen, über welche nun zugegriffen werden kann.

```
1 let londonWeather = weatherData.Rows |> Seq.Head
2 let londonTemperature = londonWeather.Temperature
```

#### 4.1.3 FSharp.Charting

FSharp.Charting ist eine Library zur Visualisierung von Daten. Es werden verschiedene Charts unterstützt:

Um ein Chart darzustellen, müssen zuerst die benötigten Libraries geladen werden:

```
1 #I "packages/FSharp.Charting"
2 #load "FSharp.Charting.fsx"
3
4 open FSharp.Charting
5 open System
```

Danach muss eine Sequenz mit Daten befüllt werden:

```
1 let timesTwo = for x in 1.0 .. 100.0 -> (x, x ** 2.0)
```

Schlussendlich kann das Chart dargestellt werden:

```
1 Chart.Line timesTwo
```

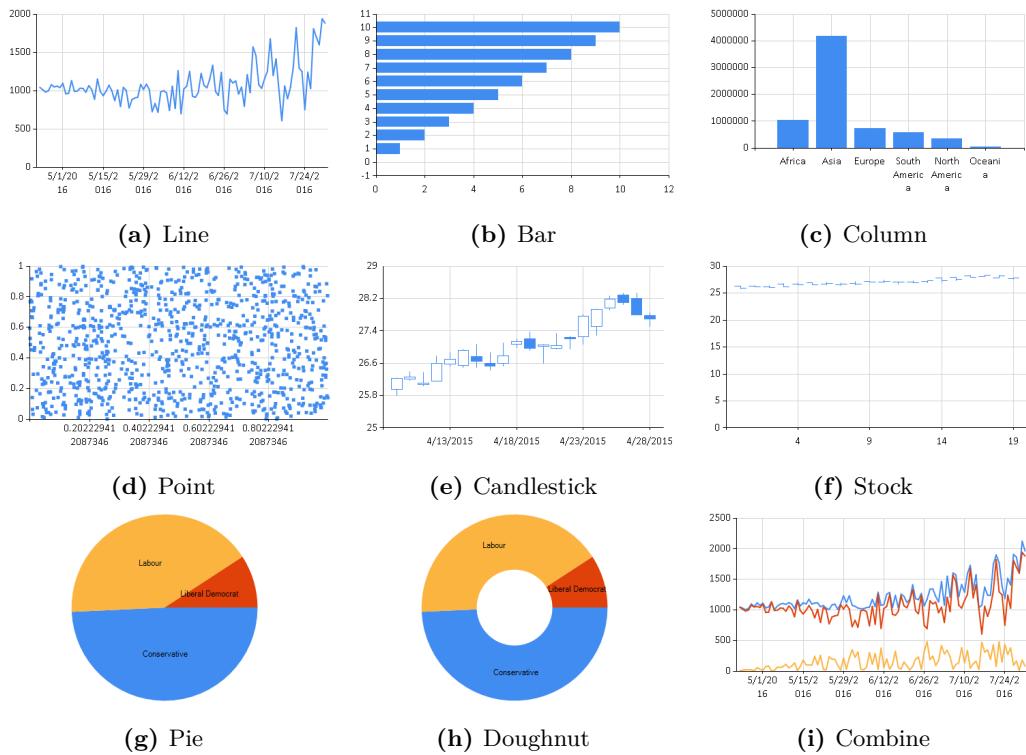


Abbildung 4.1: Chart Typen von FSharp.Charting

Die Ausgabe dieses Codes ist die folgende:

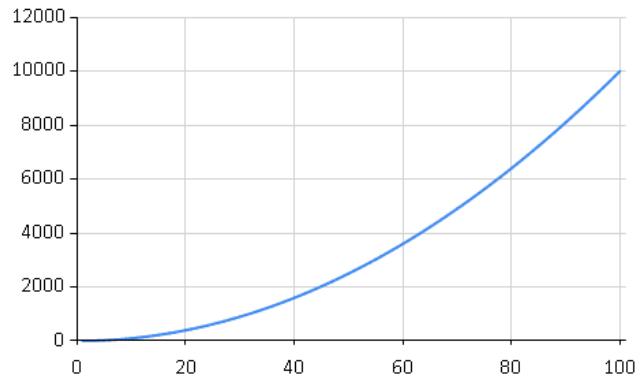


Abbildung 4.2: Beispiel Chart

## 4.2 Dokumentation der Implementation

Im Abschnitt 4.1 Verwendete Software wurde die Software für die Implementation vorgestellt. In diesem Abschnitt wird auf die Umsetzung für dieses Projekt eingegangen. Zuerst wird das Auslesen der Daten, danach die Aufbereitung und zuletzt die Visualisierung erläutert.

### 4.2.1 Auslesen

Das Auslesen der Daten mit F# Data funktionierte wie im Abschnitt [4.1.2 F# Data](#) beschrieben. Die Library konnte über den NuGet Package Manager<sup>1</sup> geladen und installiert werden.

```
1 > Install-Package FSharp.Data -Version 2.3.0
```

Danach wurde der Typ erstellt und die Daten geladen:

```
1 type SensorData = CsvProvider<"SensorData-L.csv", ";">
2 let light = SensorData.Load("SensorData-L.csv")
```

Das Skript wurde „Program.fsx“ genannt und lag im gleichen Ordner wie das File „SensorData-L.csv“. Diese Datei enthält die Daten der Lichtmessung und hatte dieselbe Struktur wie im Abschnitt [3.4.5 Raspberry.FGrove \(F# Applikation\)](#) beschrieben.

### 4.2.2 Aufbereitung

Während der Aufbereitung der Daten wurden zwei Methoden definiert:

```
1 let chunk size list =
2     let chunkedValues = list |> Seq.chunkBySize size
3     chunkedValues |> Seq.map (fun r -> r |> Seq.averageBy (fun e -> e |> float))
4
5 let format (sensorData:SensorData) =
6     let values = sensorData.Rows |> Seq.map (fun r -> r.SensorData)
7     chunk 1000 values
```

*format* nimmt *SensorData* entgegen und erstellt eine Sequenz mit den Daten der Sensoren. Die CSV-Datei, mit welcher getestet wurde, hat über 100'000 Einträge. Deshalb wurden die Einträge mit der Funktion *chunk* gebündelt.

*chunk* nimmt eine Anzahl und eine Sequenz entgegen. Der erste Parameter gibt an, wie viele Elemente der Liste zusammengefasst werden sollen. Um im Chart eine begradigte Linie zu erhalten, wird von den zusammengefassten Einträgen noch der Durchschnitt errechnet.

### 4.2.3 Darstellung

Mit FSharp.Charting wurde nun die zuvor aufbereiteten Daten dargestellt. Das Verwendung dieser Library gestaltete sich jedoch komplizierter als angenommen.

Zuerst wurde die Library über NuGet installiert:

```
1 > Install-Package FSharp.Charting
```

---

<sup>1</sup> Nugb.

Diese funktioniert jedoch nur auf Windows. Deshalb musste sie deinstalliert und statt dessen „FSharp.Charting.Gtk“ verwendet werden.

Nun wurde versucht die Daten mit dem Code für das Auslesen und die Aufbereitung (siehe Abschnitt [4.2.1 Auslesen](#) und Abschnitt [4.2.2 Aufbereitung](#)) darzustellen:

```
1 let lightValues = format light
2 let chart = Chart.Line lightValues
```

Mit dem folgenden Befehl wurde versucht, das Chart darzustellen:

```
1 > fsharpi Program.fsx
```

Es erschien jedoch folgende Fehlermeldung:

```
1 [mono-rt] =====
2 [mono-rt] Got a SIGSEGV while executing native code. This usually indicates
3 [mono-rt] a fatal error in the mono runtime or one of the native libraries
4 [mono-rt] used by your application.
5 [mono-rt] =====
```

Es gab verschiedene Probleme:

1. Falsche Imports
2. Darstellung des Charts
3. 'X' Berechtigung
4. Asynchrone Ausführung

### **1. Falsche Imports**

Es stellte sich heraus, dass das einfache Einbinden von „FSharp.Charting.Gtk.fsx“ nicht genügte. Mit Backtracking der Fehlermeldungen zeigte sich, dass mehrere zusätzliche DLL's benötigt wurden:

```
1 #I "/usr/lib/cli/gtk-sharp-2.0/"
2 #I "/usr/lib/cli/gdk-sharp-2.0/"
3 #I "/usr/lib/cli/atk-sharp-2.0/"
4 #I "/usr/lib/cli/glib-sharp-2.0/"
5 #I "bin/Debug/"
6
7 #r "gtk-sharp.dll"
8 #r "gdk-sharp.dll"
9 #r "atk-sharp.dll"
10 #r "glib-sharp.dll"
11 #r "FSharp.Charting.Gtk.dll"
12 #r "FSharp.Data.DesignTime.dll"
```

### **2. Darstellung des Charts**

Gemäss Dokumentation reicht für die Darstellung des Charts folgender Code:

---

<sup>1</sup> `Chart.Line lightValues`

Dies ist jedoch nur der Fall, wenn über F# Interactive die einzelnen Befehle einzeln ausgeführt werden. Dies führt einen Handler aus welcher das Chart anzeigt<sup>1</sup>. Als fsx Programm muss zusätzlich noch die Methode „ShowChart“ ausgeführt werden.

<sup>1</sup> `Chart.Line(lightValues).ShowChart()`

### 3. X Berechtigung

Das Programm hat keine Berechtigung, um ein neues Fenster zu öffnen. Deshalb muss mit dem Befehl „xhost +localhost“ dem localhost (der eigenen Computer) erlaubt werden, ein Fenster zu öffnen.

### 4. Asynchrone Ausführung

Mit dem Code bis an hin konnte ein Fenster geöffnet werden, und es wurde auch ein Chart angezeigt. Dieses konnte jedoch nicht mehr geschlossen werden, weil der Thread, auf welchem das Programm läuft, vom Chart besetzt war. Deshalb musste das Skript so umgebaut werden, dass die Ausführung asynchron erfolgt.

### Das Resultat

```

1 #I "/usr/lib/cli/gtk-sharp-2.0/"
2 #I "/usr/lib/cli/gdk-sharp-2.0/"
3 #I "/usr/lib/cli/atk-sharp-2.0/"
4 #I "/usr/lib/cli/glib-sharp-2.0/"
5 #I "bin/Debug/"
6 #I "../packages/Rx-Linq.2.2.5/lib/net40/"
7
8 #r "gtk-sharp.dll"
9 #r "gdk-sharp.dll"
10 #r "atk-sharp.dll"
11 #r "glib-sharp.dll"
12 #r "FSharp.Charting.Gtk.dll"
13 #r "FSharp.Data.DesignTime.dll"
14 #r "FSharp.Data.dll"
15 #r "FSharp.Control.Reactive.dll"
16 #r "System.Reactive.Linq.dll"
17
18 #load "../packages/FSharp.Charting.Gtk.0.90.14/FSharp.Charting.Gtk.fsx"
19
20 open FSharp.Charting
21 open System
22 open System.Threading
23 open FSharp.Data
24

```

---

<sup>1</sup> Fshb.

```
25 type SensorData = CsvProvider<"SensorData-L.csv", ";">
26
27 let chunk size list =
28     let chunkedValues = list |> Seq.chunkBySize size
29     chunkedValues |> Seq.map (fun r -> r |> Seq.averageBy (fun e -> e |> float))
30
31 let format (sensorData:SensorData) =
32     let values = sensorData.Rows |> Seq.map (fun r -> section{Verwendete Hardware
33     }> r.SensorData)
34     chunk 1000 values
35
36 let runApp = async{
37     let light = SensorData.Load("SensorData-L.csv")
38     let lightValues = format light
39     let chart = Chart.Line(lightValues).ShowChart()
40     Gtk.Application.Run()
41     ignore 0
42 }
43
44 let runMain  = async{
45     printfn "Starting application"
46     let! app = Async.StartChild runApp
47
48     printfn "Press any key to exit..."
49     let n = Console.ReadKey()
50     Gtk.Application.Quit()
51     printfn "Bye..."
52 }
53
54 // run the whole workflow
55 Async.RunSynchronously runMain
56
57 //1. xhost +localhost
58 //2. fsharpi Program.fsx
```

### 4.3 Resultat

Schlussendlich konnte mit F# Code die vom den GrovePi Sensoren erfassten Daten ausgewertet werden. Das Resultat ist zum Beispiel folgendes Diagramm:

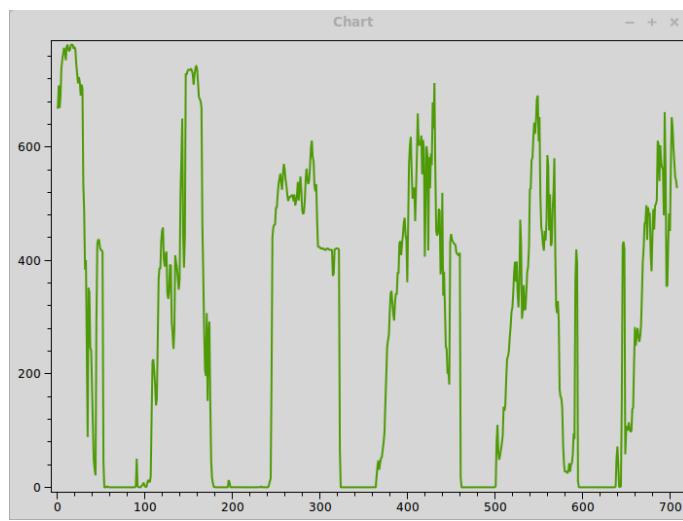


Abbildung 4.3: Resultat: Lichtsensor

Das Chart zeigt die Auswertung eines Lichtsensors, welcher vom 27.05.2016 um 13:16 bis am 01.06.2016 um 17:37 Uhr lief (447'639 Sekunden). Gesammelt wurden 708'204 Messungen. Dies macht pro Sekunde 1.58 Messpunkte. Die Darstellung des Chart-Fensters dauerte 4.92 und die Verarbeitung aller Datensätze 5.88 Sekunden. Wird dieses Programm auf dem Raspberry Pi 2 (Model B) ausgeführt benötigt die Darstellung des Chart-Fensters rund 37 Sekunden und die gesamte Verarbeitung 2 Minuten und 54 Sekunden.

# KAPITEL 5

---

## Schlusswort

---

In diesem Kapitel wird das Fazit zu dieser Seminararbeit gezogen und eine Reflexion über die Arbeit und die bearbeiteten Themengebiete gemacht.

### 5.1 Fazit

Über alles Hinweg kann gesagt werden, dass sich funktionale Programmiersprachen durchaus eignen um im Bereich IoT und BigData verwendet zu werden. Besonders im Bereich BigData bietet F# viele nützliche Funktionalitäten, welche die Aggregierung, Aufbereitung und Auswertung der Daten erleichtert. Etwas anders sieht es hingegen auf dem Raspberry Pi aus. Grundsätzlich können funktionale Programmiersprachen, beziehungsweise F# auch auf dem Raspberry Pi verwendet werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass für die Auswertung der Daten doch eine gewisse Rechenleistung notwendig ist. Je nach Datemenge und Model des Raspberry Pi dauert zum Beispiel die Visualisierung in einem Chart mehrere Minuten. Von daher kann gesagt werden, dass sich eine funktionale Programmiersprache zum Erheben der Daten auf dem Raspberry Pi eignet. Für die anschliessende Auswertung und Analyse sollte hingegen auf einen leistungsfähigeren Rechner zurückgegriffen werden.

#### 5.1.1 Sensordaten sammeln

Ursprünglich sollte der Teilbereich „Sensordaten sammeln“ nur einen kleinen Teil der gesamten Projektarbeit ausmachen. Der grösste Teil der Arbeit sollte für den BigData-Teil, sprich die Aufbereitung, Aggregierung, Auswertung und Visualisierung der gesammelten Sensordaten, aufgewendet werden.

Relativ rasch hat sich gezeigt, dass die Anbindung der Raspberry Pi GrovePi Sensoren mit einer Sprache des .NET Frameworks nicht so einfach zu bewerkstelligen ist. Die vorhandene .NET-Library für den Zugriff auf das Sensorboard erforderte das neue .NET Core Framework. Aufgrund der geringen Dokumentationen und Erfahrungen mit dem neuen .NET Core Framework hat es viel Aufwand gekostet herauszufinden, dass wir die Library unter Linux 32-Bit aktuell nicht verwenden können.

Aufgrund dessen mussten wir eine andere Möglichkeit finden, um die Sensordaten abzugreifen. Am Ende waren wir mit Hilfe von drei allgemeineren Raspberry Pi .NET Libraries in der Lage über den I<sup>2</sup>C-Bus auf das GrovePi-Sensorboard zuzugreifen. Die finale Lösung wurde mit Hilfe dieser .NET Libraries, einem C# Wrapper und einem F# Programm realisiert.

Sobald der Ziel-Setup klar war, war die Arbeit mit den Libraries und F# relativ unkompliziert. Schwierigkeiten bereiteten hauptsächlich unvollständige oder mangelhafte Dokumentationen und Beispiele.

### 5.1.2 Sensordaten aufbereiten und auswerten

Der erste Schritt bei der Aufbereitung und Auswertung der Sensordaten war die Visualisierung von Testdaten in einem Chart. Auch an dieser Stelle hatten wir mit den Eigenheiten von Linux, beziehungsweise des Mono-Frameworks zu kämpfen. Die vorhandenen NuGet-Packages konnten nicht ohne weiteres direkt verwendet werden. Es waren zusätzlich manuelle Referenzen zu den Graphical User Interface Toolkit (GTK) Libraries und weitere Einstellungen notwendig.

Die Libraries F#-Data und F#-Charting haben gut funktioniert. Jedoch waren die Dokumentationen und zur Verfügung gestellten Beispiele der beiden Libraries nur bedingt anwendbar / brauchbar.

## 5.2 Reflexion

Das gewählte Themengebiet war für uns sehr spannend und interessant, da es sich noch um ein relativ neues Themengebiet und eine erst aufkommende Kombination von Technologien handelt. F# kann man nicht mehr unbedingt als „junge Programmiersprache“ bezeichnen (Erscheinungsjahr: 2002), jedoch ist die Verwendung unter einem Nicht-Microsoft / Windwos-System noch nicht so verbreitet. Vor einer grösseren Herausforderung hat uns dann erst die Verwendung einer Library, welche das neue .NET Core Framework benötigt, gestellt. Aufgrund der noch fehlenden, unvollständigen und teilweise bereits wieder veralteten Dokumentationen mussten wir viel Zeit und Energie auf Recherchen und Analysen in diesem Bereich verwenden. Dadurch konnten wir uns mit dem „BigData“ Teil nicht so intensiv auseinandersetzen, wie das ursprünglich geplant und definiert war.

## Akronyme

Bezeichnung	Beschreibung
CSV	Comma Separated Values
DNVM	.NET / DotNet VersionManager
DNX	.NET / DotNet Execution Environment
ERP	Enterprise-Resource-Planning
GTK	Graphical User Interface Toolkit
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IoT	Internet of Things
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

## Glossar

### *IoT*

Unter Internet of Things (IoT) versteht man Alltagsgegenstände, welche mit dem Internet verbunden sind. Im Gegensatz zu normalen Computern, mit denen man sich aktiv beschäftigt, soll IoT den Menschen unterstützen in seinem Tun, ohne dass dieser etwas davon merkt.

---

## Quellenverzeichnis

---

- [Ins] (Siehe S. 17).
- [Win] *Develop Windows 10 IoT apps on Raspberry Pi 3 and Arduino - Windows IoT* (siehe S. 10).
- [Fsha] *F# Charting: Library for Data Visualization.* URL: <http://fslab.org/FSharp.Charting/> (besucht am 17.06.2016) (siehe S. 28).
- [Fshb] *F# Charting: Point and Line Charts.* URL: <http://fslab.org/FSharp.Charting/PointAndLineCharts.html> (besucht am 18.06.2016) (siehe S. 33).
- [Fshc] *F# Data: Library for Data Access* (siehe S. 11).
- [Fshd] *F# Data: Library for Data Access.* URL: <https://fsharp.github.io/FSharp.Data/> (besucht am 17.06.2016) (siehe S. 28).
- [Fou15] FOUNDATION, .NET: *.NET Core Runtime (CoreCLR)*. EN. Microsoft Inc. 2015. URL: <https://github.com/dotnet/coreclr> (siehe S. 18).
- [Fro] *FrontPage - Raspbian* (siehe S. 10).
- [Mon] *Home / Mono* (siehe S. 10).
- [How] *How to run .NET Core Application on Pi2 - Win10 IoT Core? - Damir Dobric Posts - developers.de.* URL: [http://developers.de/blogs/damir\\_dobric/archive/2015/09/22/how-to-run-net-core-application-on-pi2-win10-iot-core.aspx](http://developers.de/blogs/damir_dobric/archive/2015/09/22/how-to-run-net-core-application-on-pi2-win10-iot-core.aspx) (besucht am 17.06.2016) (siehe S. 18).
- [Mas15] MASSI, BETH: *Understanding .NET 2015.* EN. Microsoft Inc. 2015. URL: <https://blogs.msdn.microsoft.com/bethmassi/2015/02/25/understanding-net-2015/>.
- [Edoa] *.NET Core.* EN. .NET Foundation. URL: <https://www.dotnetfoundation.org/netcore>.
- [Ewi] *.NET Core.* DE. Wikimedia Foundation. 2016. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/.NET\\_Core](https://de.wikipedia.org/wiki/.NET_Core).
- [Nuga] *NuGet Gallery / GrovePi for Windows IoT 1.0.6* (siehe S. 10, 13).
- [Nugb] *NuGet Gallery / Home.* URL: <https://www.nuget.org/> (besucht am 18.06.2016) (siehe S. 31).

- [Rasa] *Raspberry Pi - Sensor* (siehe S. 6).
- [Rasb] *Raspberry Pi - Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi* (siehe S. 6).
- [Rasc] *Raspberry Pi 3 on sale now at \$35 - Raspberry Pi* (siehe S. 7).
- [Rasd] *Raspberry Pi: Die Erfolgsgeschichte des Scheckkarten-Computers / Gründerszene* (siehe S. 6).
- [Gro] *Raspberry Pi Internet of Things Kit* (siehe S. 10).
- [Noo] *Raspberry Pi NOOBS Setup* (siehe S. 12).
- [Und] *Understanding .NET 2015* / Beth Massi. URL: <https://blogs.msdn.microsoft.com/bethmassi/2015/02/25/understanding-net-2015/> (besucht am 17.06.2016).
- [Edob] *What is the .NET Core Platform?* EN. .NET Foundation. URL: <https://dotnet.github.io/docs/getting-started/what-is-dotnet.html>.
- [Rpi] *What the Raspberry Pi's Rainbow Boot Screen and Rainbow Box Mean* (siehe S. 17).

---

## Abbildungsverzeichnis

---

0.1 Das Resultat . . . . .	1
2.1 Raspberry Pi 2 Model B . . . . .	7
2.2 Raspberry Pi 2 Model B Überblick . . . . .	8
3.1 Übersicht .NET Framework & .NET Core . . . . .	15
3.2 Raspberry Pi rainbow screen . . . . .	17
3.3 Der verwendete Raspberry Pi mit den Sensoren . . . . .	20
3.4 Komponentenübersicht . . . . .	22
4.1 Chart Typen von FSharp.Charting . . . . .	30
4.2 Beispiel Chart . . . . .	30
4.3 Resultat: Lichtsensor . . . . .	35