

# Pflichtenheft

## Wireless Controller for Smart Systems

BACHELOR THESIS - ANKLIN, BOBST, HORATH  
25. Februar 2020

**Fachcoach:**

Matthias Meier  
Manuel Di Cerbo

**Team:**

Raffael Anklin  
Robin Bobst  
Cyrill Horath

**Studiengang:**

Elektro- und Informationstechnik

**Semester:**

Frühlingssemester 2020

## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Übersicht</b>                             | <b>1</b>  |
| 1.1 Ausgangslage . . . . .                     | 1         |
| 1.2 Ziel der Arbeit . . . . .                  | 1         |
| <b>2 Lösungskonzept</b>                        | <b>2</b>  |
| 2.1 Punkt zu Punkt Testinfrastruktur . . . . . | 2         |
| 2.2 Test Mesh Netzwerke . . . . .              | 2         |
| 2.2.1 Bluetooth Mesh . . . . .                 | 2         |
| 2.2.2 Thread . . . . .                         | 2         |
| 2.2.3 Zigbee . . . . .                         | 2         |
| 2.3 Steuer und Auswertesoftware . . . . .      | 2         |
| <b>3 Projektziele und Lieferobjekte</b>        | <b>3</b>  |
| 3.1 Punkt zu Punkt Testinfrastruktur . . . . . | 3         |
| 3.2 Test Mesh Netzwerke . . . . .              | 3         |
| 3.3 Steuer und Auswertesoftware . . . . .      | 3         |
| 3.4 Lieferobjekte . . . . .                    | 5         |
| <b>4 Projektmanagement</b>                     | <b>6</b>  |
| 4.1 Projektaufteilung . . . . .                | 6         |
| 4.2 Projektplan . . . . .                      | 6         |
| 4.3 Risikoanalyse . . . . .                    | 6         |
| 4.4 Projektvereinbarung . . . . .              | 6         |
| <b>Literatur</b>                               | <b>8</b>  |
| <b>A Terminplanung</b>                         | <b>9</b>  |
| <b>B Risikoanalyse</b>                         | <b>10</b> |

# 1 Übersicht

In diesem Kapitel soll eine Übersicht über den Inhalt des Projekts 5 des Studiengangs Elektro- und Informationstechnik gegeben werden. Dabei soll auch aufgezeigt werden, welche Ziele erreicht werden sollen und welche Lieferobjekte erstellt werden müssen.

## 1.1 Ausgangslage

Cyrill

Die Bluetooth Technik wurde im Jahr 1998 von der "Bluetooth Special Interest Group"(SIG) als Industriestandard für Datenübertragung herausgebracht. Ursprünglich wurde das Funkverfahren jedoch von Jaap Hartsen und Sven Mattisson für die Firma Ericsson entwickelt. Der Hauptzweck dieser Methode zur Datenübermittlung war das Ersetzen von Kabelverbindungen von Mobiltelefonen, Peripheriegeräte oder Computer. Der Name Bluetooth oder auf Deutsch Blauzahn kommt vom dänischen König Harald Blauzahn. Diesem König gelang es die verfeindeten Länder Dänemark und Norwegen dank seiner Kommunikationsfreudigkeit zu vereinen. Da die skandinavischen Firmen Nokia und Ericsson viel Aufwand in die Bluetooth Technologie gesteckt haben, wurde dieser Name sowie die Runen H (Harald) und B (Blauzahn) für das Logo übernommen.[1] Seit dem Start von Bluetooth gab es eine Vielzahl von Versionen, die von mehreren Firmen ständig weiterentwickelt werden. Im Dezember 2009 wurde von der SIG die Version 4.0 Smart vorgestellt. Mit dieser Version von Bluetooth war es möglich kleine und sparsame Geräte wie z.B. smarte Uhren, Brillen oder sogar Ringe herzustellen.[2] Ab dem Jahre 2017 ist es möglich Bluetooth Komponenten in einem Mesh-Netzwerk zu konfigurieren.[3] Dieses Netzwerk basiert auf einem "many-to-many pairing system"d.h. jeder Teilnehmer ist mit den anderen Teilnehmern verbunden. Dieses dezentralisierte System hat den Vorteil, dass es kein Master Element benötigt. Fällt ein Teilnehmer aus besteht das Netzwerk trotzdem weiter.[4] Genau hier soll das Projekt 5 ansetzen. Da die Programmierung eines Mesh-Netzwerkes sehr kompliziert ist, wird dafür eine "Open Source Software" geschrieben, die es ermöglicht ein Netzwerk vereinfacht aufzubauen und zu konfigurieren.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Cyrill

## 2 Lösungskonzept

Raffael

Im Zentrum soll die Entwicklung einer *Bluetooth Mesh* Plattform stehen. Diese soll für ein weiterführendes Projekt einsetzbar sein (*Home Automation, Agriculture* oder *Industrie*).

### 2.1 Punkt zu Punkt Testinfrastruktur

Raffael

### 2.2 Test Mesh Netzwerke

#### 2.2.1 Bluetooth Mesh

Raffael

#### 2.2.2 Thread

Robin

#### 2.2.3 Zigbee

Cyrill

### 2.3 Steuer und Auswertesoftware

Raffael

### 3 Projektziele und Lieferobjekte

Robin

In den beiden Tabellen 3.1 und 3.2 sind die Pflicht- resp. Wunschziele für dieses Projekt festgehalten.

#### 3.1 Punkt zu Punkt Testinfrastruktur

Robin

#### 3.2 Test Mesh Netzwerke

Robin

#### 3.3 Steuer und Auswertesoftware

Robin

| Pflichtziele |                         |   |
|--------------|-------------------------|---|
| Nr.          | Ziel                    | Beschrieb   |
| P1           | Bluetooth-Mesh-Netzwerk | Eine variable Anzahl an BLE-Nodes bauen ein Mesh-Netzwerk auf um darin Datenaustausch zu ermöglichen.   |
| P2           | UPN                     | Der Universal-Peripheral-Node kann je nach Einsatz als Sensor oder Aktor konfiguriert und bestückt werden.  |
| P3           | Low Power               | Die UPN sind bezüglich Hardware und Software energiesparend konzipiert um sie autonom betreiben zu können.  |
| P4           | Security                | Das Mesh-Netzwerk ist gegen unerlaubten Zugriff und sonstigen Angriffen geschützt.  |
| P5           | Netzunabhängig          | Durch Versorgung mittels Batterie und Energy-Harvesting können die UPN komplett netzunabhängig betrieben werden.  |
| P6           | Energy-Harvesting       | Für die Versorgung der UPN werden verschiedene Varianten für das Energy-Harvesting entwickelt. Das Ergebnis wird eine Variantenstudie sein.               |
| P7           | Gateway                 | Zur Konfiguration des Bluetooth-Mesh-Netzwerks steht ein Gateway basierend auf Standard Hardware (Raspberry-Pi + nRF52840 USB Dongle o.ä.) zur Verfügung. |
| P8           | LAN/WLAN                | Für die Integration in TCP/IP basierte Systeme bietet der Gateway eine entsprechende Schnittstelle.   |
| P9           | CLI                     | Mittels Command-Line-Interface kann das Mesh-Netzwerk verwaltet werden.   |

**Tabelle 3.1:** Pflichtziele

| <b>Wunschziele</b> |   |   |
|--------------------|---|---|
| <b>Nr.</b>         | <b>Ziel</b>                                 | <b>Beschrieb</b>  |
| W1                 | UPN Konfiguration via Mesh                  | Einstellungen des UPN können via Mesh Netzwerk angepasst werden und somit z.B. die Peripheriekonfiguration verändert werden.  |
| W2                 | Firmwareupgrade via Mesh                    | Die Firmware der UPN wird via Mesh-Netzwerk aktualisiert.   |
| W3                 | BLR und BLE                                 | Bluetooth Long Range (BLR) und Bluetooth Low Energy (BLE) ergänzen das Bluetooth Mesh um die Reichweite zu vergrößern oder den Energieverbrauch nochmals zu vermindern.   |
| W4                 | Dedizierte Hardware UPN                     | Das UPN ist als dedizierte Hardware realisiert und somit einsatzbereit.   |
| W5                 | Datenschnittstelle                          | Mittels passender Datenschnittstelle auf dem Gateway können Fremdsysteme wie Apple Homekit, Google Home oder KNX angebunden werden.   |
| W6                 | Datenschnittstelle ohne Zwischenspeicherung | Damit keine Daten auf dem Gateway zwischen gespeichert werden müssen können die Nodes mittels verbindungslosem Protokoll (MQTT, CoAP, usw.) direkt aus dem Mesh Netzwerk mit einem Fremdsystemen kommunizieren. |
| W7                 | HMI   | Ein Human-Machine-Interface in Form einer Webapplikation unterstützt den User bei der Konfiguration des Mesh-Netzwerks und ermöglicht die Anbindung an Fremdsysteme.  |
| W8                 | Dedizierte Gateway Hardware                 | Der Gateway ist auf einer dedizierten Hardware umgesetzt.   |
| W9                 | Onboard Bluetooth                           | Da der Raspberry-Pi 4 bereits ein Bluetooth 5 Chip besitzt soll direkt dieser verwendet werden anstelle eines angeschlossenen Dongles.  |
| W10                | Mobiltelefon                                | Anstelle oder ergänzend zum Gateways kann ein Mobiltelefon ins Mesh-Netzwerk eingebunden werden um Konfigurationen vorzunehmen oder Daten aus zu lesen.   |
| W11                | GSM/LTE                                     | Für Feldanwendungen besitzt der Gateway ein GSM/LTE Modul.  |
| W12                | Versuchsaufbau Energy-Harvesting            | Erfolg versprechende Energy-Harvesting-Systeme werden in einem Versuchsaufbau auf deren Tauglichkeit weiter geprüft.  |

**Tabelle 3.2:** Wunschziele

### 3.4 Lieferobjekte

Robin

Zusätzlich zu den Projektzielen, folgen in diesem Kapitel die Lieferobjekte mit dem jeweiligen Datum. In der Tabelle 3.3 sind diese aufgelistet.

| Nr. | Datum      | Lieferobjekt                             |
|-----|------------|--|
| 1   | 07.10.2019 | Abgabe Pflichtenheft, 1. Version         |
| 2   | 14.10.2019 | Abgabe Pflichtenheft, definitive Version |
| 3   | 13.01.2020 | Projektpräsentation                      |
| 4   | 13.01.2020 | Abgabe Fachbericht                       |
| 5   | 13.01.2020 | Abgabe Testaufbau Mesh-Netzwerk          |

**Tabelle 3.3:** Lieferobjekte

## 4 Projektmanagement

Cyrill

Schlankes Projektmanagement mit Projektplan im Anhang. 3 Teile einzeln plus ein Teil gemeinsam.

Alle 2 Wochen soll eine Projektsitzung mit den Dozenten abgehalten werden.

### 4.1 Projektaufteilung

Cyrill

Evtl. Tabelle mit Definition der Aufteilung. Wer ist für welchen Teil zuständig.

### 4.2 Projektplan

Framework -> Raffi

Einzelprojekte der jeweils Zuständige

Projektpläne erstellen

Verweis auf die Projektpläne Framework und 3 mal Mesh Netzwerke.

### 4.3 Risikoanalyse

Robin: Risikoanalyse erstellen und in den Anhang einfügen

### 4.4 Projektvereinbarung

**Projektcoach**

Di Cerbo Manuel

Ort, Datum:

Unterschrift:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Meier Matthias

Ort, Datum:

Unterschrift:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Projekt: EIT-P-20FS-030**

Anklin Raffael

Ort, Datum:

Unterschrift:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Projekt: EIT-P-20FS-031**



Bobst Robin

Ort, Datum:

---

**Projekt: EIT-P-20FS-032**

Horath Cyril

Ort, Datum:

---

Unterschrift:

---

Unterschrift:

---

## Literatur

- [1] K. Michna, *Entwicklungsgeschichte der Bluetooth-Technologie / Wissen*, de, Jan. 2019. Adresse: <https://www.bluetoothtest.de/wissen/geschichte/> (besucht am 30. Sep. 2019).
- [2] Bluetooth SIG, *Our History*, en-US, Bluetooth, Jan. 2019. Adresse: <https://www.bluetooth.com/about-us/our-history/> (besucht am 30. Sep. 2019).
- [3] M. Eckstein, *Neue Bluetooth-SIG-Gruppe für Mesh-Vernetzung im Smart Home*, de, Jan. 2019. Adresse: <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/neue-bluetooth-sig-gruppe-fuer-mesh-vernetzung-im-smart-home-a-789161/> (besucht am 9. Okt. 2019).
- [4] M. Woolley, *An Intro to Bluetooth Mesh Part 1*, en-US, Juli 2017. Adresse: <https://www.bluetooth.com/blog/an-intro-to-bluetooth-mesh-part1/> (besucht am 30. Sep. 2019).

## A Terminplanung

| Hauptaufgabe       | Aufgabe  | Anfang     | Ende       | Wer    | Review | 30. Sep 19 | 7. Okt 19 | 14. Okt 19 | 21. Okt 19 | 28. Okt 19 | 4. Nov 19 | 11. Nov 19 | 18. Nov 19 | 25. Nov 19 | 2. Dez 19 | 9. Dez 19 | 16. Dez 19 | 23. Dez 19 | 30. Dez 19 | 6. Jan 20 | 13. Jan 20 |
|--------------------|--|------------|------------|--------|--------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|
| Fachbericht        | Strukturierung / Disposition                         | 04.11.2019 | 18.11.2019 | TBD    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Fachbericht        | Schreiben  | 18.11.2019 | 06.01.2020 | Alle   | Alle   |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Fachbericht        | Korrigieren / Gegenlesen                             | 06.01.2020 | 13.01.2020 | Alle   | Alle   |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Fachbericht        | Drucken  | 13.01.2020 | 13.01.2020 | CH     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Fachbericht        | Abgabe Fachbericht                                   | 13.01.2020 | 13.01.2020 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Präsetation        | Präsentation erstellen                               | 06.01.2020 | 10.01.2020 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Präsetation        | Präsentation halten                                  | 13.01.2020 | 13.01.2020 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Pflichtenheft      | Pflichtenheft verfassen                              | 30.09.2019 | 14.10.2019 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Pflichtenheft      | Abgabe Pflichtenheft                                 | 14.10.2019 | 14.10.2019 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Vorstudie          | Lösungsvarianten recherchieren                       | 14.09.2019 | 21.10.2019 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Vorstudie          | Varianten Vergleichen in Tabelle und Entscheidung    | 07.10.2019 | 14.10.2019 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Energie Harvsting  | Berechnungen und Simulationen                        | 07.10.2019 | 11.11.2019 | RA     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Energie Harvsting  | Planen der Testaufbauten                             | 21.10.2019 | 18.11.2019 | RA     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Energie Harvsting  | Material Bestellungen für Testaufbauten              | 11.11.2019 | 11.11.2019 | RA     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Energie Harvsting  | Testaufbauten fertigstellen                          | 25.11.2019 | 30.11.2019 | RA     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Energie Harvsting  | Messungen Durchführen und Vergleichen                | 25.11.2019 | 09.12.2019 | RA     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Energie Harvsting  | Dokumentieren und evt. Optimierungen durchführen     | 09.12.2019 | 23.12.2019 | RA     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Bluetooth Firmware | IDE aufsetzen  | 30.09.2019 | 07.10.2019 | BOB    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Bluetooth Firmware | Mesh Netzwerktest mithilfe Nordic Examples           | 07.10.2019 | 21.10.2019 | BOB    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Bluetooth Firmware | Low Power node und Freind Node Energiebedarf messen  | 14.10.2019 | 21.10.2019 | BOB/RA |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Bluetooth Firmware | Firmware Remote Node Configuration Konzept erstellen | 14.10.2019 | 28.10.2019 | CH/BOB |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Bluetooth Firmware | Firmware Remote Node Configuration programmieren     | 21.10.2019 | 25.11.2019 | BOB    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Gateway            | Gateway Aufbauen und Basic Setup durchführen         | 30.09.2019 | 07.10.2019 | CH     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Gateway            | Mesh Interface mithilfe Example Nordic ausprobieren  | 07.10.2019 | 25.10.2019 | CH     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Gateway            | Webserver (Node Red) aufsetzen                       | 07.10.2019 | 25.10.2019 | CH     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Gateway            | Programm Remote Configuration Konzept erstellen      | 14.10.2019 | 28.10.2019 | CH/BOB |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Gateway            | Programm Remote Configuration programmieren          | 21.10.2019 | 25.11.2019 | CH     |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Hardware uDev      | Schema und PCB Layout erstellen                      | 25.11.2019 | 09.12.2019 | tbd    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Hardware uDev      | Bestellung Material und PCB                          | 12.12.2019 | 23.12.2019 | tbd    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Hardware uDev      | Fertigen und Funktionstest                           | 30.12.2019 | 06.01.2020 | tbd    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Platform Bindings  | Anbindungs Konzepte erstellen                        | 25.11.2019 | 09.12.2019 | tbd    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Platform Bindings  | Tests durchführen und Dokumentieren                  | 09.12.2019 | 06.01.2020 | tbd    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Validierung        | Gesamttest Aufbauen (Gateway+Nodes+Energy Harv.)     | 02.12.2019 | 16.12.2019 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Validierung        | Gesamttest durchführen (Gateway+Nodes+Energy Harv.)  | 16.12.2019 | 23.12.2019 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Validierung        | Resultate dokumentieren                              | 23.12.2019 | 06.01.2020 | tbd    |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |
| Validierung        | Gesamtsystem für Presentation aufbauen und abgeben   | 06.01.2020 | 13.01.2020 | Alle   |        |            |           |            |            |            |           |            |            |            |           |           |            |            |            |           |            |

## B Risikoanalyse

| Ereignis |  |  |   | Risiko ohne Massnahme |    |    | Prävention   | Risiko mit Massnahme |    |    | Verantwortlich | Indikator                                       |
|----------|--|--|---|-----------------------|----|----|--|----------------------|----|----|----------------|---|
| Nr.      | Risiko   | Ursachen   | Konsequenzen  | si                    | pi | pi |  | si                   | pi | pi |                |   |
| A        | Teammitglied fällt kurzfristig aus                                     | Unvorhergesehener Termin, leichte Krankheit, leichter Unfall                         | Weniger Personalressourcen, kleiner Mehraufwand   | 3                     | 2  | 6  | Reservezeit einplanen, Transparenter Informationsfluss im Team                                 | 1                    | 2  | 2  | CH             | Abwesenheit                                     |
| B        | Teammitglied fällt längerfristig aus                                   | Militärdienst, schwere Krankheit, Studienabbruch, schwerer Unfall                    | Grössere Umplanung, Neuverteilung der Arbeiten  | 3                     | 2  | 6  | Strukturierte Datenablage, guter Kommunikationsfluss   | 1                    | 2  | 2  |                | Abwesenheit                                     |
| C        | Datenverlust oder Zugriffsprobleme                                     | Löschung der Projektdaten, Unzugänglichkeit von Onedrive, keine Internetverbindung   | Zugriff auf Daten nicht möglich, Sämtliche Projektdaten nicht mehr vorhanden                  | 2                     | 1  | 2  | Regelmässige Backups, Dokumente zusätzlich lokal abspeichern                                   | 1                    | 1  | 1  |                | Arbeiten auf dem Stand des letzten Backups      |
| D        | Software kann nicht mehr ausgeführt werden                             | Datenverlust, Softwareupdate   | Schlimmstenfalls Verlust der gesamten Arbeit, vorübergehende Arbeitspause bis Update komplett | 2                     | 3  | 6  | Fertige Softwareteile werden zusätzlich im Onedrive gespeichert (Revisionsverwaltung) / Github | 2                    | 1  | 2  |                | Fehlermeldung                                   |
| Ereignis | Softwarekonzept nicht ausführbar                                       | Mangelnde Vorkenntnisse, schlechte Planung   | Überdenken der Arbeit, Verzug der Arbeiten  | 2                     | 2  | 4  | Mit Software-Fachcoach besprechen  | 1                    | 1  | 1  |                | Nicht funktionierendes Skript                   |
| F        | Softwareprojekt von Node Gerät und provisioner Gerät nicht verknüpfbar | Schnittstelle wurde nicht korrekt eingehalten  | Verzögerung der Arbeit, Mehraufwand   | 2                     | 2  | 4  | Kommunikation zwischen Softwareteam  | 1                    | 1  | 1  |                | Softwareteam können Vorhaben nicht weiterführen |
| G        | Zu komplizierter Sachverhalt   | Inhalt kann nicht umgesetzt werden   | Stillstand der Arbeit, Projekt nicht durchführbar   | 1                     | 3  | 3  | Früzeitige Besprechung mit Fachcoaches   | 1                    | 1  | 1  |                | Kein Weiterkommen                               |
| H        | Soziale Spannungen im Team   | Meinungsverschiedenheiten, schlechte Arbeitsaufteilung, keine Kompromissbereitschaft | Motivation sinkt, Arbeitsmoral sinkt, schlechte Projektarbeit, unzufriedener Arbeitgeber      | 2                     | 2  | 4  | Gegenseitige Kontrolle, Fehler offen im Team besprechen, Konstruktive Kritik                   | 2                    | 1  | 2  |                | Schlechte Arbeitsmoral                          |
| I        | Mangelnde Kommunikation  | zu wenig Sitzungen, Angst vor Demütigung   | Schlechtes Zusammenspiel, schlechtere Arbeit  | 2                     | 1  | 2  | Häufigere Sitzungen, höhere Wertschätzung der einzelnen Teammitglieder                         | 1                    | 1  | 1  |                | Zurückhaltung                                   |
| J        | Nicht Termingerechte Abgabe der Arbeiten                               | Faulheit, mangelnder Einsatz, falsche Prioritäten, schlechte Projektführung          | Terminplan kann nicht eingehalten werden  | 2                     | 2  | 4  | striktere Projektführung, gegenseitige Kontrolle, frühzeitiges Melden                          | 2                    | 1  | 2  |                | Schlechte Arbeitsmoral                          |
| K        | Qualitativ minderwertige Arbeit  | Faulheit, mangelnder Einsatz, schlechter Teamgeist                                   | Mehraufwand, Qualitativ ungenügende Arbeit, Zeitliche Probleme                                | 2                     | 2  | 4  | Gegenkontrolle der Arbeiten  | 2                    | 1  | 2  |                | Schlechte Arbeitsmoral                          |
| L        | Schlechte Terminplanung  | Aufwand unterschätzt, keine Reserve eingeplant                                       | Mehraufwand, Überarbeitung des Terminplans, Engpässe  | 3                     | 2  | 6  | Genug Reservezeit einplanen  | 2                    | 1  | 2  |                | Terminverzug                                    |

si= Eintrittswahrscheinlichkeit

pi= Auswirkung