



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. KURZFASSUNG .....</b>	<b>2</b>
<b>2. GRUNDLAGE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 AUSBLICK .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 PROBLEME UNSERES PRODUKTS.....</b>	<b>4</b>
<b>3.3 VERSCHIEDENE ARTEN DER ZUSTANDSERMITTLUNG .....</b>	<b>5</b>
<b>3.4 SCHWARMINTELLIGENZ IN DER THEORIE .....</b>	<b>5</b>
3.4.1 Natur als Basis .....	5
3.4.2 Merkmale eines Schwarms .....	6
3.4.3 Schwarmintelligenz beim Menschen .....	7
3.4.3 Kollektive Intelligenz .....	7
<b>4. FORSCHUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1 SCHWARMINTELLIGENZ VERSUS SENSORIK .....</b>	<b>8</b>
4.1.1 Informationsaggregation durch Schwarmintelligenz.....	8
4.1.2 Informationsaggregation durch Sensorik.....	8
4.1.3 Gegenseitige Ergänzung beider Methoden.....	9
<b>4.2 ERLANGUNG VERLÄSSLICHER DATEN .....</b>	<b>9</b>
4.2.1 Gamifizierung .....	9
4.2.2 Anderweitige Belohnung.....	10
4.2.3 Qualitätssicherung.....	10
<b>4.3 UMSETZUNG.....</b>	<b>10</b>
4.3.1 User Interface .....	10
4.3.2 Server .....	11
<b>5. FAZIT .....</b>	<b>11</b>
<b>5.1 AUSBLICK .....</b>	<b>11</b>
<b>6. ANHANG.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1 LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>12</b>
<b>6.2 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>	<b>13</b>

## 1. KURZFASSUNG

Unser Ziel ist es, in öffentlichen Gebäuden die Digitalisierung möglichst vieler Prozesse zu ermöglichen. Dabei soll keine neue Hardware mit entsprechenden Schnittstellen angeschafft werden müssen, da eine Nachrüstung sowohl aus ökonomischen als auch aus ökologischen Gesichtspunkten der Neuanschaffung überlegen sein kann. Wegen der anhaltenden Covid-19-Pandemie spezialisierten wir uns bisher überwiegend auf die Hygiene in Räumen. Primär ging es uns darum, den Füllstand von Papiertuchspendern zu ermitteln, damit einfacher zu erkennen ist, wann und wo diese nachgefüllt werden müssen, sodass eine ständige Verfügbarkeit von Papierhandtüchern gewährleistet werden kann. Im weiteren Verlauf möchten wir Software entwickeln, die durch Informationsaggregation mithilfe von Schwarmintelligenz unsere Möglichkeiten ausweitet, analoge Zustände digital zu erfassen und auszuwerten. Des Weiteren soll eine Benutzeroberfläche, welche eine anwenderfreundliche Bedienung ermöglicht, programmiert werden.

## 2. GRUNDLAGE

Unsere Arbeit baut auf dem Projekt des letzten Jahres mit dem Namen „Internet Of Stupid Things“, einer praktischen Internet Of Things (IoT) Anwendung auf. Details zur Umsetzung können den schriftlichen Fassungen, welche 2021 für den Jugend forscht Regionalwettbewerb und dem VDI Bezirksverein Schülerforum eingereicht wurden und auf unserer schulischen Projektseite [1] zu finden sind, entnommen werden.

Als Anlass für das Thema nahmen wir die noch immer aktuelle Covid-19-Pandemie. Weltweit kämpft die Bevölkerung gegen das immer wieder mutierende Coronavirus an. Um die Pandemie eindämmen zu können, sind vor allem die AHA-Regeln und inzwischen das Impfen von großer Bedeutung. Ein gründliches Waschen und Desinfizieren der Hände sind nötig. Damit dies möglich ist, muss überall eine optimale Versorgung mit Seife, Papiertüchern und Desinfektionsmittel gewährleistet sein. Da das leider nicht immer der Fall war, überlegten wir uns, wie solch eine Versorgung und auch anderweitig die Hygiene in Räumen sichergestellt werden kann.



Abbildung 1: Handelsüblicher Papiertuchspender

Mit Hilfe eines Mikrocontroller versuchten wir, vorhandenes Equipment in öffentlichen Gebäuden zu digitalisieren, sodass keine neuen Hardware angeschafft werden muss. Um die Versorgung sicherstellen zu können, ohne alle Räumlichkeiten regelmäßig zur Überprüfung aufsuchen zu müssen, werden Objektbetreuende automatisch vom System benachrichtigt, sobald ein Füllstand ein kritisches Level erreicht. Dies spart Zeit ein und entlastet das Personal. Durch ein digitales System kann eine Meldung nicht verloren gehen und die Arbeitszeit effizienter genutzt werden. Da wir uns zuerst nur einem realisierbaren Ziel widmen wollten, entschieden wir uns dafür, das Problem der fehlenden Papiertücher beim Abtrocknen zu lösen und Papiertuchspender (Abb. 1) zu digitalisieren bzw. in ein IoT-Netzwerk einzubinden.

Unser Gerät sollte möglichst klein und kompakt, damit es gut in einem Papiertuchspender platzierbar ist, günstig, damit man viele Einheiten davon einsetzen kann, und energieeffizient sein, um Batterien nur selten wechseln zu müssen. Wir entschieden uns dementsprechend dafür, einen Mikrocontroller (ESP8266) [2, pp. 176-187] zu verwenden. Da unsere Schule bereits über die nötige WLAN-Infrastruktur verfügt, nahmen wir den

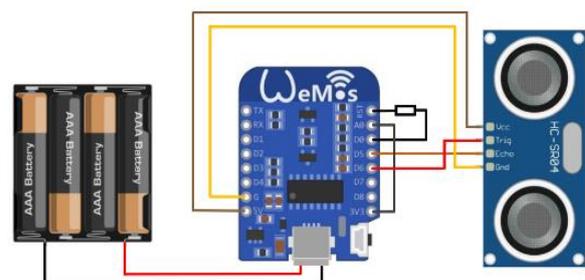


Abbildung 2: Schaltplan unserer Hardware



Abbildung 3: durch 3D-Drucker  
hergestelltes Gehäuse

vergleichsweise hohen Energieverbrauch in Kauf und nutzen diese [2, pp. 194-197]. Um den Füllstand eines Papiertuchspenders zu messen, wählten wir einen Ultraschall-Abstandssensor (HC-SR04), mithilfe dessen die genaue Entfernung zwischen Spenderdecke und Papiertüchern ermittelt werden kann [3, pp. 59-61 & 75-89]. Geplant war es, später die gesammelten Daten auszuwerten und unter Verwendung von neuronalen Netzen beispielsweise bevorstehende Spenderauffüllungen zu planen. Daher stand die Verwendung eines binären Sensors außer Frage. Als besonders flexible Spannungsversorgung kam für uns lediglich eine kabellose Lösung in Form einer handelsüblichen Batterie bzw. eines Akkumulators in Frage. Damit unsere Sensoren so energieeffizient wie möglich agieren, wacht der Mikrocontroller nur in regelmäßigen Abständen kurz auf und geht dann für längere Zeit in den sogenannten Deep Sleep (dt. „Tiefschlaf“) [2, pp. 86-88]. Dadurch kann extrem viel Energie eingespart werden, was ein Wechseln der Stromversorgung in größeren zeitlichen Abständen erlaubt. Um unseren Prototyp so klein wie möglich zu halten und ihn gut im Papiertuchspender befestigen zu können, haben wir unsere Hardware bestehend aus Mikrocontroller, Sensor und Batterien bzw. Akkumulatoren in ein Gehäuse (Abb. 3) eingebaut. Dieses wird im Papierspender oben an der Decke im rechten Winkel zur Wand befestigt, damit der Ultraschallsensor senkrecht in Richtung der Papiertücher den Abstand messen kann.

Die Firmware des Mikrocontrollers haben wir in C++ geschrieben [2, pp. 166-173]. Ziel hierbei war es, nur die zwingend notwendigen Funktionen auf diesem auszuführen, um die Rechenzeit auf ein Minimum zu beschränken. Beim ersten Start des Mikrocontrollers wird temporär ein WLAN-Hotspot erzeugt, über welchen man den Sensor konfigurieren kann. Nach der Einrichtung lädt der Mikrocontroller beim Start die gespeicherte Konfiguration aus dem nicht flüchtigen Flash-Speicher. Nach dem Aufwachen des Mikrocomputers werden mehrere Messungen getätigt und der Median dieser ermittelt, um Fehler auszumerzen. Das bereinigte Messergebnis wird neben einigen Statusinformationen anschließend über die API [2, pp. 198-205 & 252-256] an den Server übermittelt. Danach geht der Mikrocontroller wieder so lange in den Tiefschlaf, wie es seine Konfiguration vorgibt. Unsere Hardware kommuniziert über eine REST-API [4, p. 10] mit einem Server, der an eine MongoDB Datenbank angebunden ist. So wird eine zentrale Konfiguration und Verwaltung der Sensoren ermöglicht. Der in Java geschriebene Server interpretiert deren Anfragen und speichert sowie liest Daten in bzw. aus der Datenbank. Zusätzlich berechnet der Server beispielsweise die Länge des nächsten Tiefschlafs, um Funktionen wie geplante Messungen zu ermöglichen.

```

TellMe - Report.h | Arduino 1.8.16
TellMe Config.h Flash.h Report.h Rest.h

int doMeasurement() { //Mittelwert mehrerer Distanzen als Messung
  int distances[quantity];
  for (int i = 0; i < quantity; i++) { //Array mit mehreren (quantity) Distanzen
    distances[i] = doUltrasonicC();
    delay(measureDelay);
  }
  sorting(distances, quantity); //Sortieren für Median
  if (quantity % 2 == 0) { //Median
    return (distances[quantity / 2 - 1] + distances[quantity / 2]) / 2;
  } else {
    return distances[quantity / 2];
  }
}

int doUltrasonicC() { //Distanzermittlung
  digitalWrite(TrigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  noInterrupts();
  digitalWrite(TrigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TrigPin, LOW);
  interrupts();
  return pulseIn(EchoPin, HIGH) / 5.8; //in mm
}

PROGMEM, 4MB (FS:2MB OTA~1019KB), v2 Lower Memory, Disabled, None, Only Sketch, 921600 on /dev/cu.usbserial-1310

```

Abbildung 4: Auszug der Firmware in Arduino IDE

### 3. EINLEITUNG

An diesem Punkt des bisherigen Projektes überlegten wir, inwiefern wir unsere Hardware und das zugehörige System weiterentwickeln und verbessern können. Zudem kamen immer wieder Überlegungen und Diskussionen darüber auf, ob Sensoren letztendlich ein gutes Mittel sind, um unser ursprüngliches Ziel, die Digitalisierung möglichst vieler Prozesse in (öffentlichen) Gebäuden zu

ermöglichen und dabei keine neue Hardware mit entsprechenden Schnittstellen anschaffen zu müssen, zu erreichen.

### 3.1 AUSBLICK

Bezüglich des Webinterfaces war geplant, dass dieses visuell an den Raumplan des jeweiligen (öffentlichen) Gebäudes angelehnt sein sollte. Jedem Standort bzw. Raum des Gebäudes kann man einen oder auch mehrere unserer Produkte für jeweilige Aufgaben zuweisen. Man sollte die Sensoren dahingehend verwalten können, dass eine Konfiguration, beispielsweise bezogen auf das Messintervall oder Inaktivitätszeiten, ermöglicht wird. Außerdem könnten die Messdaten zur Visualisierung und Erstellung geeigneter Statistiken interpretiert werden und durch neuronale Netze [5, pp. 11-17] ausgewertet werden. Durch Betätigen eines Tasters sollte es dem Nutzer zudem möglich sein, den entsprechenden Sensor im Webinterface zu identifizieren. Aktuell identifiziert sich unser Produkt durch eine Identifikationsnummer, anhand derer Mess- und Konfigurationsdaten den jeweiligen Sensoren zugeordnet werden. Im Sinne der Sicherheit sollten wir die Kommunikation um eine Authentifizierung erweitern. Auch der generelle Datenaustausch mit der REST-API sollte per HTTPS [2, pp. 205-212] verschlüsselt ablaufen.

Im Hinblick auf die Klimaneutralität unserer Hardware wollen wir es schaffen, dass wir nur Akkumulatoren für die Stromversorgung nutzen. Es ist noch ungewiss, wie ein Akkuwechsel ablaufen soll. Momentan muss der Hausmeister einzelne AA-Batterien oder -Akkus mit sich tragen, den Papiertuchspender öffnen und unser Gehäuse aufschrauben. Sinnvoll ist die Verwendung eines leicht wechselbaren Akkumoduls. Außerdem gäbe es die Möglichkeit, anstelle eines Breakout Boards ein eigenes PCB (Printed Circuit Board) zu entwickeln und alle Komponenten dafür zu kaufen sowie zusammenbauen zu lassen, um die Energieeffizienz und Kompaktheit zu steigern und bei hohen Stückzahlen dabei geringere Produktionskosten zu erzielen.

Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, unser System mithilfe anderer Sensoren auf andere Einsatzzwecke anzuwenden und dabei verschiedene analoge Zustände in unser „Internet Of Stupid Things“ einzubinden. Beispielsweise können offene Fenster und Türen gemeldet, der Zustand von Statuslampen in naturwissenschaftlichen Fachräumen ermittelt oder der Füllstand weiterer, auf Hygiene spezialisierter Produkte wie Seifen- und Desinfektionsmittelspender übermittelt werden.

### 3.2 PROBLEME UNSERES PRODUKTS

Aktuell basiert unsere Hardware auf einem Mikrocontroller, der einen Sensor ansteuert und dessen Messdaten per REST-API an unser System weitergibt – ein klassischer Anwendungsfall der Sensorik. Mit den Papiertuchspendern haben wir uns eine durchaus geeignete Gerätschaft für diese Thematik ausgesucht, denn diese sind aufgrund des vorhandenen Platzes hervorragend dafür geeignet, die Sensortechnik innerhalb dieser zu verstauen und somit größtenteils von äußeren, ungewollten Einflüssen wie Beschädigung oder Diebstahl fernzuhalten. Es wäre natürlich ein guter Schritt, unser Projekt hinsichtlich der im Ausblick (siehe 3.1) beschriebenen Ansätze weiterzuentwickeln. Wir stellten uns aber die Frage: Macht das überhaupt Sinn? Können wir mit unserem Produkt die Digitalisierung möglichst viele Prozesse in (öffentlichen) Gebäuden ermöglichen?

Die klare Antwort war leider „Nein“. Unser bisheriger Lösungsansatz lässt sich nicht einfach auf andere Bereiche anwenden. Wenn man sich die weiteren sinnvollen Einsatzzwecke am Ende des Ausblicks anschaut, sieht man, dass sich diese grundlegend von den Eigenschaften der Papiertuchspender unterscheiden. Man kann unseren Sensor nicht einfach innerhalb eines Desinfektions- oder Seifenmittelspender montieren, da dort kein Platz vorhanden ist. Somit müsste er genauso wie bei den Fenstern, Türen und Statuslampen außerhalb des zu digitalisierenden Geräts angebracht werden. Das ist in der Theorie nicht unbedingt schlimm – in der Praxis aber schon, da man in einem öffentlichen Gebäude, insbesondere einer Schule, damit rechnen muss, dass frei zugängliche Hardware sehr schnell aus Versehen oder mutwillig beschädigt oder sogar gestohlen wird.

Diese unangenehme Wahrheit einsehend suchten wir einen neuen Weg, wie wir unser ursprüngliches Ziel erreichen können. Wir besonnen uns darauf zurück, was die grundlegende Aufgabe unserer Lösung

sein sollte: Die Mitteilung der analogen Zustände an den Objektbetreuenden. Im Folgenden gilt es zu überlegen, welche verschiedenen Möglichkeiten der Zustandsermittlung es in diesem Bereich gibt.

### 3.3 VERSCHIEDENE ARTEN DER ZUSTANDSERMITTLUNG

Die wohl trivialste der Ermittlungsarten bezieht ausschließlich den Objektbetreuenden oder andere Mitarbeitende wie eine Putzkraft ein. Ein Teil deren Aufgabenbereichs ist die Ermittlung von analogen Zuständen und entsprechende Reaktionen darauf, wie beispielsweise das Leeren eines vollen Abfalleimers. Die Arbeitszeit könnte dazu genutzt werden, dauerhaft die Füllstände verschiedener Einrichtungen für eine gute Hygiene oder analoge Zustände wie offene Fenster zu überprüfen. Bei dieser Art kann er sich vollkommen auf seine Beurteilungsfähigkeit verlassen, da diese Person ausgebildet ist, genau solche Dinge in einem Gebäude zu erkennen. In der Praxis ist dies natürlich nicht gerade eine effiziente Möglichkeit, da Objektbetreuer meist nur eine sehr knapp bemessene Zeit haben, was beispielsweise zu vollen Mülleimern oder leeren Papiertuchspendern führt. Dies ist trotzdem die häufigste Lösung in (öffentlichen) Gebäuden, welche wir mit unserem Projekt schon seit Anfang an zu verbessern versuchen.

Deshalb hat es auch hochgradig Sinn gemacht, die zweite Zustandsermittlungsart Sensorik einzusetzen. Letztendlich haben wir es bei den verschiedenen Einsatzmöglichkeiten nämlich mit einfachen Problemen zu tun: Mülleimer, Papiertuchspender und Desinfektions- oder Seifenmittelspender können „voll“ oder „leer“ sein, eine Statuslampe kann „an“ oder „aus“ sein und eine Tür oder ein Fenster kann „auf“ oder „zu“ sein. Den Füllstand ersterer kann man natürlich auch prozentual ermitteln, wie wir es in den Papierspendern getan haben. Diese simplen Zustände sind durch Sensorik durchaus sehr einfach ermittelbar, wenn es da nicht die Problematik bezüglich des Platzes gäbe, welche wahrscheinlich letztendlich durch die äußere Anbringung eine unnötige Schädigung unserer Hardware hervorruft. Um wirklich jeden analogen Zustand in unser System einzubinden, müsste unsere Sensorik zudem unzählige Male angepasst werden, was zeitlich einfach nicht tragbar ist und unnötige Kosten und Mühen hervorruft.

Also kam uns die Frage in den Sinn: Welche schon vorhandenen Zustandsermittler haben wir in einem (öffentlichen) Gebäude am meisten? Die Antwort lautete ganz klar „Menschen“ – und so war unsere Idee, eine Informationsaggregation, also eine Anhäufung von Informationen, mithilfe von Schwarmintelligenz zu ermöglichen, geboren.

### 3.4 SCHWARMINTELLIGENZ IN DER THEORIE

Eine grundlegende und wissenschaftlich eindeutige Definition für die Schwarmintelligenz gibt es nicht. Es existieren unzählige Vorstellungen und Ansichten dazu, weshalb oft über sie unter Verwendung verschiedener Synonyme wie kollektive Intelligenz, Gruppen- oder Teamintelligenz, Intelligenz der Massen und „Weisheit der Vielen“ gesprochen wird, um dem Menschen nähere Definitionen zu finden [6, p. 16f]. Meist wird das Phänomen der Schwarmintelligenz dabei als übertrieben schillernd und mit Hinweis auf zahlreiche Vorteile dargestellt. Es besteht trotzdem größtenteils Einigkeit dahingehend, dass Schwarmintelligenz eine dezentrale Intelligenzform ist, die erst durch das Zusammenwirken Vieler entsteht. Dabei ist sie mehr als die Summe der einzelnen Intelligenzleistungen, weil beim Schwarm die Intelligenz in der Gesamtheit des Systems selbst liegt. Die Fähigkeiten einzelner Mitglieder sind dabei vernachlässigbar, weil das Phänomen der Schwarmintelligenz keine Intelligenz des Einzelnen voraussetzt [6, p. 18].

#### 3.4.1 Natur als Basis

Die Schwarmintelligenz beruht grundlegend auf biologischen Schwärmen, welche ein in der Natur erkennbares Schwarmverhalten an den Tag legen. Ein Schwarm im Generellen ist eine Aggregation, also eine Anhäufung, von Tieren, die sich kollektiv bewegen [7, p. 24]. Das Schwarmverhalten sollte hierbei aber nicht auf reine Bewegungsmuster reduziert werden, da es auch in einer subtileren Form vollzogen werden kann. Eigenschaften davon können zum Beispiel die gemeinsame Nutzung von



Abbildung 5: Vogelschwarm am Himmel

Informationen durch die verschiedenen Akteure, eine eigene Selbstorganisation oder Entwicklung und eine effiziente gemeinsame Weiterbildung sein [8, p. 3]. Insbesondere verläuft diese kollektive Bewegung geordnet ab. Es ist wissenschaftlich schwierig zu definieren, was hierbei „geordnet“ heißt. Trotzdem dürften wir alle ein gutes intuitives Verständnis von geordneten Bewegungen haben, was daran zu erkennen ist, dass wir sehr schnell merken, wenn sich beispielsweise Vögel im Schwarm (Abb. 5), Ameisen auf Ameisenstraßen oder flüchtende Menschen gemeinsam in die gleiche Richtung bewegen [7, p. 24]. Wir lassen uns von Schwärmen faszinieren, was daran liegen kann, dass unser Gehirn darauf trainiert ist, geordnete Strukturen als solche schnell zu erkennen. Tiere schließen sich also zu Aggregationen zusammen und erzielen dadurch einen Mehrwert, der vorwiegend in höhere Überlebenschancen, besserem Schutz vor Fressfeinden, verbesserter Futtersversorgung und Energieeinsparung besteht. Durch den selbstorganisierten Zusammenschluss der Tiere und deren Verhalten, welches zu Ergebnissen orientiert und auf Regeln basiert, entwickelt der Schwarm als Ganzes nicht zu unterschätzende Fähigkeiten, zu denen keines der einzelnen Individuen allein in der Lage gewesen wären [6, p. 20]. Auf Schwarmintelligenz basierende Algorithmen werden aufgrund der Herkunft aus der Natur bioinspirierte Algorithmen genannt [8, p. 3].

### 3.4.2 Merkmale eines Schwarms

Der natürliche Schwarm als Ideal eines agilen und adaptiven Systems funktioniert, obwohl niemand einen Gesamtüberblick oder ein Verständnis über das große Ganze hat. Somit kann es auch von keinem Einzelnen allein zentral gesteuert werden. Seine Komplexität ist dabei das Ergebnis der Evolution und die Bedingung, um ambitionierte Ziele erreichen zu können [6, p. 25]. Der Effekt der Schwarmintelligenz beruht auf der Vernetzung der Eigenschaften aller Mitglieder und wird im Gegensatz zwischen Erwartung und Freiraum geschaffen. Neben einem verbindlichen Verhaltenskodex, welcher durch einen von der Natur gegebenen genetischen Code erschaffen wird, verfügen die Mitglieder des Schwarms über einen Autonomiebereich, also die Freiheit vom erwähnten Kodex abzuweichen [6, p. 27].

Ein Schwarm wird dezentral angepasst und agiert ohne zentrales Kommando und ohne vorherige Planung. Durch die ständigen lokalen Interaktionen ist der Schwarm in der Lage, zunächst ungeordnete Bewegungen der Einzelnen in eine geordnete Bewegung aller Mitglieder zu übertragen, was dem Schwarm eine hochgradige Ordnungsstruktur verleiht [6, p. 29]. Die Tiere agieren im Schwarm auf engem Raum und stehen nachbarlich in direktem Kontakt, was auf einer Kommunikation der Mitglieder nach bestimmten Regeln basiert. Diese gegenseitige Beeinflussung ruft eine Abhängigkeit hervor, die wiederum positive und negative Rückkopplungen erzeugt. Die permanenten Wechselwirkungen hierbei sorgen für eine rasante Ausbreitung von Informationen innerhalb des Schwarms [6, p. 36]. Aufgrund einer fehlenden zentralen Entscheidungsinstanz hat sich im Schwarm die Methode der Mehrheitsbildung entwickelt, um basierend auf einer Gleichberechtigung die bestmögliche kollektive Entscheidung ohne Zögern zu treffen [6, p. 42].

Trotz der großen Anzahl an Mitgliedern ist ein Tierschwarm dazu fähig, als Einheit schnell und dynamisch auf Veränderung zu reagieren. Durch solch eine ausgeprägte Anpassungsfähigkeit können alle Anstrengungen ohne Einbrüche bezüglich der Leistung auf demselben Niveau weitergeführt werden [6, p. 44]. Eine Gruppe sollte möglichst heterogen sein, damit durch diese Diversität eine Herangehensweise nach gleichen Mustern und Methoden zur Problemlösung vermieden wird und somit viele unterschiedliche Denkweisen und Kompetenzen in die Entscheidungen einfließen können, was in einer Intelligenz der Massen resultiert [6, p. 51f]. Durch die sehr hohe Mitgliederzahl ist jedes Mitglied austauschbar, ohne das die Funktionstüchtigkeit oder Existenz des Schwarms gefährdet ist, was eine Robustheit durch Redundanz darstellt [6, p. 55].

### 3.4.3 Schwarmintelligenz beim Menschen

Beim Betrachten des Sozial- und Schwarmverhaltens verschiedener Tiere liegt die Frage nahe, ob Ähnliches beim Menschen zu beobachten ist. Menschen haben zwar ein sehr ausgeprägtes Sozialverhalten, jedoch ist dieser ein hochkognitives Wesen, welches kaum mit oben erwähnten Tieren vergleichbar ist, und vor allem viel komplexere Verhaltensweisen als nur reaktives Verhalten an den Tag legt [7, p. 17]. Sobald der Mensch aber ähnlich wie ein Tier, also reaktiv, agiert, was insbesondere in Paniksituationen, wenn eine große Menschengruppe gleichzeitig einen Raum oder ein Gebiet zu verlassen versucht, eintritt, sind sehr simple Verhaltensmodelle auffallend, die Modellen zum reaktiven Schwarmverhalten sehr ähnlich sind, was bedeutet, dass Personen beispielsweise einfach anderen Personen folgen. Dadurch sind vor allem bauliche Maßnahmen in Gebäuden ableitbar, welche den Strom der Menschen auch in Paniksituationen besser lenken sollen [7, p. 18]. Etwas heikler wird der Vergleich, wenn man Meinungsbildungsprozesse betrachtet, da auch die Menschen nur lokal auf ihren Nachbarn reagieren [7, p. 20f].

### 3.4.3 Kollektive Intelligenz

Das Synonym für Schwarmintelligenz wird schon seit Jahrzehnten genutzt und fand besonders durch das Aufkommen neuer Kommunikationstechnologien zunehmend Anwendung. Möglicherweise legt der Begriff zwar Gedanken über ein gemeinsames Bewusstsein oder übernatürliche Phänomene nah. Letztendlich geht es hinsichtlich der Technologie aber eher um eine Kombination aus Verhalten, Vorlieben und Ideen einer Gruppe von Leuten, um durch das Kollektiv neue Einblicke zu erhalten, was natürlich aber auch schon möglich war, bevor es das Internet gab [9, p. 2].

Eine der einfachsten Formen davon ist eine Umfrage oder Zählung, bei denen das Sammeln von Antworten großer Personengruppen es ermöglicht, statistische Schlussfolgerungen über die Gruppe zu ziehen, welche kein Einzelner hätte selbst herausfinden können. Ebenfalls ein bekanntes Beispiel bieten die Finanzmärkte, bei denen der Preis nicht durch einzelne Personen oder koordinierte Aktivitäten festgelegt wird, sondern durch das Handelsverhalten vieler unabhängiger Personen, die nach ihrem besten Willen agieren.

Zwei weitere uns täglich begegnende Beispiele spendet uns das Internet. Wenn wir eine Antwort auf eine Frage suchen oder einen Begriff definieren wollen, landen wir sehr schnell bei Wikipedia, welches ausschließlich durch Beiträge von Anwendern entstanden ist. Google als weltweit beliebteste Suchmaschine für das Internet auf der anderen Seite bewertet die Priorität ihrer Sucheinträge unter anderem aufgrund der Anzahl der Seiten, die auf diese verweisen, was ebenfalls durch die Nutzung kollektiver Intelligenz geschieht [9, p. 3].

## 4. FORSCHUNG

Als Beispiel kam uns bei unserer neuen Idee insbesondere ein Mülleimer (Abb. 6) in den Sinn. Hier haben wir bezüglich der Sensorik mehrere Probleme. Einerseits ist es für einen Sensor schwer innerhalb eines Abfalleimers anständige Daten zu ermitteln, da dieser logischerweise nicht aus der Mitte im oberen Bereich den Füllstand prüfen kann, weil dort der Abfall eingeführt wird. Somit müsste er seitlich montiert werden, was schnell zu Problemen mit den Messwerten führen könnte. Andererseits sahen wir die Problematik, dass Mülltonnen manchmal innerhalb kürzester Zeit sehr voll werden, sodass eventuell unser Sensormodul beim Hineindrücken weiteren Abfalls beschädigt werden könnte. Somit sahen wir eine neue Vision und eine entscheidende Wende für unser Projekt. Wir möchten nun insbesondere Gerätschaften, die nicht auf einfache Weise mit Sensorik versehen werden können, mit einem QR-Code, hinter dem sich meist ein Link zu einer Webadresse versteckt und welcher sehr einfach mit



Abbildung 6: Abfallbehälter unseres Schulgebäudes mit QR-Code

mobilen Endgeräten, die unter den potenziellen Nutzern sehr weit verbreitet sind, gescannt werden kann, ausstatten, damit die Menschen an einem (öffentlichen) Gebäude, also meist Schüler, Studierende und Lehrende, uns mit ihrer Schwarmintelligenz eine Informationsaggregation ermöglichen, indem sie den QR-Code scannen und uns auf einer Benutzeroberfläche den Zustand der einzelnen Gerätschaft mitteilen, der dann in einer Datenbank gesichert wird und dadurch später oder in Echtzeit von einem Objektbetreuenden in einer erweiterten Benutzeransicht eingesehen werden kann und damit eine Handlungsaufforderung für den Hausmeister darstellt.

## 4.1 SCHWARMINTELLIGENZ VERSUS SENSORIK

Im eben erwähnten Anwendungsfall kann man durchaus sagen, dass die Datenerfassung durch Schwarmintelligenz der Datenerfassung durch Sensorik überlegen ist. Weiterhin glauben wir aber an unsere anfängliche Lösung und wollen diese mit den neuen Projektentwicklungen nicht vollkommen verwerfen. Um einen geeigneten Überblick zu erhalten, werden im Folgenden die Vorteile und Nachteile der jeweiligen Art der Informationsaggregation differenziert.

### 4.1.1 Informationsaggregation durch Schwarmintelligenz

Zunächst erscheint die Datenerfassung durch Schwarmintelligenz als die allumfassende Lösung, da dadurch wirklich jede Gerätschaft und jeder analoger Zustand in das IoT-Netzwerk eingebunden werden kann. Dabei entstehen außerdem nur vernachlässigbare Anschaffungskosten und ein nicht nennenswerter Bereitstellungsaufwand, weil bei diesem System ausschließlich QR-Codes nach einem bestimmten Schema gedruckt und an den richtigen Stellen an oder in der Nähe des zu digitalisierenden Falles aufgehängt werden müssen. Das ist zudem ein entscheidender Vorteil hinsichtlich unseres Aspektes der Ökologie, da als „Hardware“ ausschließlich Druckerpapier und -farbe nötig ist. Dass es auf Menschen, welche das System nutzen, angewiesen ist, sehen wir wiederum als das große Problem unserer neuen Lösung, denn der Erfolg dieser ist vollständig abhängig von der Teilnahmebereitschaft der Nutzer. Zudem tritt dabei die Problematik auf, dass die „Zustandsermittler“ falsche Angaben tätigen könnten und dadurch geringere Genauigkeiten zu erwarten sind. Es dürfte also häufiger der Fall sein, dass der Objektbetreuende eine Meldung erhält, welche sich in der Realität letztendlich als nicht wahrheitsgemäß herausstellt. Es gilt hier also die Frage zu klären, mit welchen Maßnahmen, also beispielsweise mit finanziellen Anreizen wie Essengutscheinen in der Cafeteria, welche die Ausgaben steigern würden, man die Teilnahmequote erhöht und inwiefern eine höchstmögliche Genauigkeit der Daten sicherzustellen ist. Im Generellen ist erwähnenswert, dass die Einbindung von Menschen in alltägliche Prozesse, einen positiven Effekt auf deren Sozialverhalten und das Gemeinschaftsgefühl in der jeweiligen Gebäudegruppierung haben kann. Eine Informationsaggregation durch Schwarmintelligenz benötigt also eine eher geschlossene Umgebung bzw. Räumlichkeit, welche jeden Tag von denselben oder ähnlichen Menschen besucht wird wie Schulen oder Firmengebäude, in denen sich die Leute mehr oder weniger untereinander kennen und dementsprechend für die Gemeinschaft zur Verbesserung der Umgebung beitragen möchten. Je anonymere die Menschen zueinander erscheinen, desto niedriger wird die Teilnahmequote an unserem System ausfallen, was insbesondere in (großen) Universitäten oder Einkaufszentren der Fall sein dürfte.

### 4.1.2 Informationsaggregation durch Sensorik

Beim Einsatz von Sensortechnik auf der anderen Seite erhalten wir bei der Ermittlung von Messdaten sehr genaue Werte, welche dadurch anschließend als Grundlage für eine Auswertung der Datensätze durch neuronale Netze agieren können. Da aber nennenswerte Hardware erworben und eingesetzt werden muss, entstehen dadurch vergleichsweise hohe Anschaffungskosten, weitere laufende Kosten durch defekte oder abhanden gekommene Sensortechnik und ein großer Instandhaltungsaufwand, welcher die Arbeitskraft des Objektbetreuenden verringert, insbesondere bezüglich des Wechsels der Stromversorgung. Die ökologischen Gesichtspunkte sind zwar denen einer vollständigen Neuanschaffung vorzuziehen, aber trotzdem noch ein ganzes Stück schlechter zu bewerten als die der Schwarmintelligenz, da hier Hardware, welche außerdem meist unter niedrigeren Bedingungen in

verschiedenen Billiglohnländern gefertigt wird, angeschafft werden muss. Als großer Vorteil dürfte sich wiederum herausstellen, dass eine Informationsaggregation durch Sensorik keine Teilnahmebereitschaft von Nutzern erfordert, weil diese vollautomatisch und ohne Einbeziehung der Mitmenschen, abgesehen natürlich der Personen, welche für die Verwaltung zuständig sind, brauchbare Messwerte liefert. Dies dürfte vorwiegend in sehr großen Einrichtungen wie Universitäten und Einkaufszentren sinnvoll sein, da hier, wie vorhin (4.1.1) schon angerissen, eine hohe Anonymität der Besuchenden zueinander besteht, welche kein wirkliches Gemeinschaftsgefühl entwickelt haben und somit zu einer niedrigen Teilnahmequote führt. Als großes Problem ist weiterhin erwähnenswert, dass durch Sensortechnik nicht jeder analoger Zustand in ein IoT-Netzwerk eingebunden werden kann.

### 4.1.3 Gegenseitige Ergänzung beider Methoden

Da es keinen wirklichen Gewinner gibt, dürfte es hochgradig Sinn machen, beide Methoden zur Datenerfassung parallel einzusetzen, weil es analoge Zustände gibt, die einerseits sehr einfach mit halbwegs günstiger Sensortechnik und andererseits sehr simpel mithilfe der Schwarmintelligenz durch die menschliche Beobachtungsgabe feststellbar sind. Wie wir bereits in vorausgegangenen schriftlichen Arbeiten festgestellt und durchgeführt haben, lassen sich in (öffentlichen) Gebäuden insbesondere die Füllstände von Papiertuchspendern leicht mit bestimmten Sensoren ermitteln. Andere analoge Zustände, bei denen zur Ermittlung nur sehr schwer und aufwendig Sensortechnik eingesetzt werden kann, wie fehlende Kreide im Klassenraum (Abb. 7) oder der überlaufende Abfalleimer können hervorragend mithilfe der menschlichen Schwarmintelligenz ermittelt werden.



Abbildung 7: QR-Code neben Behälter mit Tafelkreide

## 4.2 ERLANGUNG VERLÄSSLICHER DATEN

Um von der Datengewinnung durch Mitarbeit einfacher nicht dafür dedizierten Personen profitieren zu können, ist es von oberster Priorität, dass die gewonnenen Daten gewissen Qualitätsansprüchen genügen und Verunreinigungen durch mutwillige Angabe von Falschinformationen und Irrtümern möglichst verhindert bzw. herausgefiltert werden. Außerdem ist ein auf Schwarmintelligenz basierendes System nur dann sinnvoll, wenn genug Personen dazu beitragen. Gerade, weil die Verlässlichkeit besonders durch hohe Datenmengen gewährleistet werden kann, ist es also wichtig, gewisse Maßnahmen zu ergreifen, welche die potenziellen Beiträger dazu animieren mitzuwirken.

### 4.2.1 Gamifizierung

Durch die Verwendung von aus der Spieleindustrie bekannten Elementen, ist es möglich, die breite Masse dazu zu mobilisieren, mitzuwirken. Mithilfe eines Punktesystems, welches die Teilnehmer für Qualität und Quantität der Beiträge belohnt, können sie sich untereinander vergleichen und miteinander messen. So wird ein Anreiz geschaffen, besser als andere Mitspieler zu performen und damit folglich das eigentliche Ziel, die Datengewinnung, gefördert. Gleichzeitig kann ein solches Punktesystem verwendet werden, um den Nutzer für absichtliche Falschangaben mit Punktabzug oder temporärem Ausschluss zu bestrafen.

Unmittelbar nach einer Meldung durch den Nutzer sollte dieser ein positives visuelles Feedback erhalten. In diesem Zusammenhang wird die Wichtigkeit einer ansprechenden Benutzerschnittstelle mit dem Ziel einer belohnenden Nutzererfahrung deutlich. Neue Nutzer müssen die Möglichkeit haben, schnell Erfolgserlebnisse zu erfahren, da diese sonst die Motivation verlieren könnten. Außerdem ist es sinnvoll, auch nicht registrierten Gästen die Teilnahme zu ermöglichen, da so die Einstiegshürde geringer und damit die Wahrscheinlichkeit der Neugewinnung eines wiederkehrenden Teilnehmers größer ist. Je nach Umfeld, in dem das System eingesetzt wird, macht es daher Sinn, ein Spiel wiederkehrend über einen beschränkten Zeitraum stattfinden zu lassen. In einer Schule wäre es

naheliegender, Punktestände nach einem Jahr zurückzusetzen, sodass beispielsweise Schüler, die bereits länger die Schule besuchen anderen gegenüber nicht bevorteilt sind.

Zu beachten ist bei der Implementierung eines solchen Systems, dass es insofern robust sein muss, dass es Teilnehmern nicht möglich ist zu betrügen und Punkte zu erlangen, ohne tatsächlich Arbeit zu leisten.

## 4.2.2 Anderweitige Belohnung

Neben dem positiven psychologischen Effekt spieltypischer Elemente ist es vor allem in geschlossenen Einrichtungen wie Schulen möglich, die geleistete Arbeit auch anderweitig zu würdigen. In Frage käme hier beispielsweise eine Ehrung besonders aktiver Teilnehmer am Ende des Schuljahres oder sogar eine materielle Belohnung im Sinne von Gutscheinen. Dies macht gerade in Kombination mit dem Zurücksetzen der Punktestände Sinn, da so die geleistete Arbeit im Rahmen des Spiels nicht vergebens wäre.

## 4.2.3 Qualitätssicherung

Um aus den Meldungen der Teilnehmer genaue Vorhersagen über den tatsächlichen Zustand der beobachteten Entität treffen zu können, müssen, wie bereits erwähnt, Falschmeldungen möglichst vermieden werden. Da fehlerhafte Angaben jedoch nicht auszuschließen sind, muss eine Strategie erarbeitet werden, die ebendiese herausfiltert.

Meldungen können nutzerabhängig unterschiedlich gewichtet werden. Bei der Einreichung solcher Statusübermittlungen lässt sich für einen gewissen Zeitraum die jeweils am höchsten gewichtete Meldung auswählen, was jedoch von einer entsprechend hohen Anzahl an aktiv Teilnehmenden abhängig ist.

In der Praxis könnte eine solche Gewichtung vom Punktestand des jeweiligen Nutzers, um dessen langzeitliche Beitragsqualität einzubeziehen, und dessen Punkteveränderung in der näheren Vergangenheit abhängig gemacht werden. Letzteres hat den Zweck, dass es langfristig inaktiven Nutzern mit dennoch vergleichsweise hohem Punktestand nicht möglich sein sollte, aus willkürlichen Gründen das System zu boykottieren. Daten aus anonymer Quelle sind dabei grundsätzlich tendenziell geringer zu bewerten. Inwieweit es realistisch ist nur Meldungen von Personen, die sich in einem entsprechenden Radius um das betroffene Objekt befinden, zu akzeptieren, ist aus datenschutz- und technischen Gründen fraglich. Eine Möglichkeit wäre jedoch, dass die Kommunikation mit dem Webserver nur innerhalb des lokalen Netzwerks ermöglicht wird.

## 4.3 UMSETZUNG

Um die soeben beschriebene Methodik zur Datenerfassung zu realisieren, werden mehrere Komponenten im Rahmen einer komplexen Webapplikation benötigt. Einerseits muss eine webbasierte Nutzerschnittstelle programmiert werden, andererseits wird eine Serversoftware benötigt, welche die Daten verarbeitet und diese in einer Datenbank speichert.

### 4.3.1 User Interface

Mit dem System vertraute Personen, wie unter anderem der Hausmeister und weitere Systembetreuer müssen über eine Administrationsoberfläche zu beobachtende Zustände verwalten und QR-Codes erstellen können. Auch ausgewertete Daten (Abb. 9) müssen in diesem Bereich und möglicherweise auch öffentlich eingesehen werden können.

Scannt man einen solchen QR-Code (Abb. 8/10) und ruft die Webseite, auf welche die darin codierte URL verweist, muss es bestenfalls mit nur einer Aktion möglich sein, den aktuellen Zustand zu melden. Möchte sich der Besucher anmelden oder registrieren, sollte auch dies hierüber möglich sein.

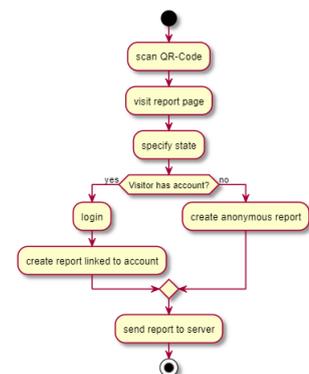


Abbildung 8: Schema eines Meldevorgangs

Nutzer können sowohl ihr eigenes, als auch das Profil anderer Nutzer, Punktestände, Bestenlisten und gegebenenfalls einen Verlauf der abgesetzten Meldungen und Statistiken zu diesen. Putzkräften und Objektbetreuenden sollte es möglich sein, sich über vordefinierte Zustände benachrichtigen zu lassen, sodass sie zeitnah auf diese reagieren können.

Mülleimer Cafeteria #1			Mülleimer Cafeteria #2		
		Voll			Unbekannt
Voll	01-13-2022-15:34	■ ■ ■ ■	Voll	01-13-2022-15:34	■ ■ ■ ■
Leer	01-13-2022-12:11	■ ■ ■ ■	Leer	01-13-2022-15:30	■ ■ ■ ■
Leer	01-13-2022-10:45	■ ■ ■ ■	Leer	01-13-2022-15:25	■ ■ ■ ■
Voll	01-13-2022-10:20	■ ■ ■ ■	Voll	01-13-2022-10:20	■ ■ ■ ■

Abbildung 9: Entwurf der Ansicht der Meldungen der Nutzer

### 4.3.2 Server

Die Serversoftware dient dazu, das Userinterface bereitzustellen. Des Weiteren ist sie für die Bearbeitung der eingehenden Meldungen, deren Bewertung und der Verwaltung der daraus einhergehenden Datensätze zuständig. Die Berechnung von Punkteständen und die Nutzerverwaltung sind eine weitere Aufgabe des Servers.

Damit Daten auch langfristig effizient gespeichert werden können und jederzeit zugriffsbereit sind, wird ein Datenbankmanagementsystem eingesetzt, welches die Speicherung von Daten in einer speziell für unseren Anwendungsfall entwickelten Datenbankstruktur (Abb. 11) [10, pp. 42-48] ermöglicht.

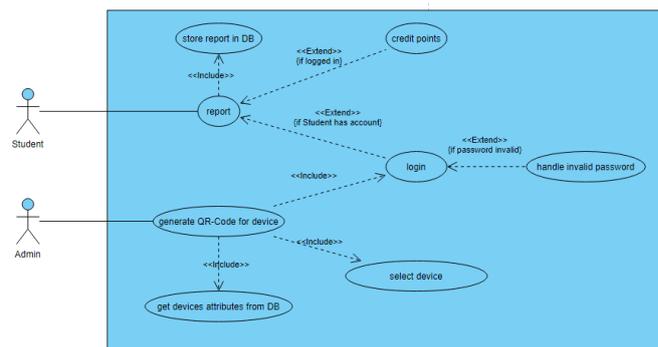


Abbildung 10: Anwendungsfalldiagramm zur Nutzerinteraktion

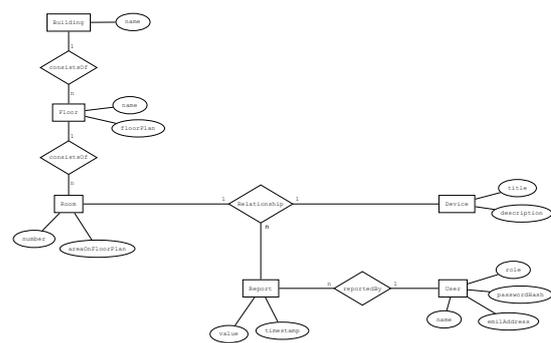


Abbildung 11: Grundlegendes ER-Diagramm der Datenbank

## 5. FAZIT

Mit unserer aktuellen Arbeit verfolgen wir das Ziel, die Probleme der sensorbasierten Datenerfassung, welche uns im letzten Jahr sehr deutlich vor Augen geführt wurden, zu lösen und eine günstige Alternative, beziehungsweise ergänzende Technik zu schaffen. Besonders in unserem schulischen Umfeld hat eine Anwendung, die auf der Zusammenarbeit der Gemeinschaft basiert, abgesehen von den offensichtlichen Vorteilen, gegenüber Sensoren einige Vorzüge. Wir sind davon überzeugt, dass das Potential des Einzelnen ausgeschöpft und gebündelt werden sollte, um gemeinsam Probleme zu lösen. So können der Verbrauch von Ressourcen verringert, Gelder gespart und eine bestehende Gemeinschaft gestärkt werden.

### 5.1 AUSBLICK

Um zu evaluieren, inwieweit ein Programm, welches kollektive Intelligenz nutzt, um Prozesse effizienter gestalten zu können, an unserer Schule realistisch ist, werden wir zuerst in einem Teil des

Schulgebäudes an geeigneten Stellen einzigartige QR-Codes anbringen, die auf einen einfachen Server verweisen, mithilfe dessen wir über die Anzahl der Anfragen eine Einschätzung über die Teilnahmebereitschaft der Schüler- und Lehrerschaft treffen möchten.

Im Folgenden möchten wir beginnen, die eigentlichen Daten zu sammeln, indem wir es ermöglichen, beispielsweise auszuwählen, ob ein Mülleimer voll oder leer ist. Auch Hausmeister und Putzkräfte sollen dazu aufgefordert werden, beim Leeren eine Meldung zu tätigen. Außerdem könnte es sinnvoll sein, das System auf nicht-binäre Werte zu erweitern.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse werden Algorithmen zur Bereinigung der Daten entwickelt.

Ist dies geschehen, beginnt die Umsetzung der weiteren Aspekte einer vollständigen Software, wie wir sie in unserer Arbeit beschrieben haben. Zu diesem Zeitpunkt kann auch damit begonnen werden, weitere Teile des Schulhauses zu digitalisieren.

## 6. ANHANG

### 6.1 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] M. Weih, F. Hauptmann und N. Krieger, „Webartikel unseres Projekts“ 25.06.2021. [Online]. Available: <https://projekte.lgsit.de/2021/06/25/internet-of-stupid-things/>. [Zugriff am 14.01.2022].
- [2] T. Brühlmann, Heimautomation mit Arduino, ESP8266 und Raspberry Pi - Das eigene Heim als Smart Home für Heimwerker, Bastler und Maker, Wiesbaden: Springer Gabler, 2019, pp. 23-280.
- [3] B. Heinrich, P. Linke und M. Glöckler, Grundlagen Automatisierung - Sensorik, Regelung, Steuerung, Wiesbaden, Deutschland: Springer Vieweg, 2015, pp. 1-114.
- [4] J. Konopka, „Entwicklung einer REST-Schnittstelle zum Zugriff auf Bibliotheksinformationssysteme unter Berücksichtigung des Einsatzes im mobilen Umfeld,“ Jülich, 2017.
- [5] U. Lämmel, „Data Mining mittels künstlicher neuronaler Netze,“ Hochschule Wismar, Wismar, 2003.
- [6] A. Steuck, Mit einer schwarmintelligenten Verwaltung agil und stabil in die Zukunft - Eine empirische Untersuchung am Beispiel der Bundesverwaltung, Wiesbaden: Springer Gabler, 2019, pp. 16-63.
- [7] H. Hamann, Schwarmintelligenz, Berlin: Springer Spektrum, 2019, pp. 23-40.
- [8] Aboul Ella Hassanien und Eid Emary, SWARM INTELLIGENCE - Principles, Advances, and Applications, Boca Raton, Florida: CRC Press, 2015, pp. 1-14.
- [9] T. Segaran, Kollektive Intelligenz: analysieren, programmieren und nutzen, Köln: O'Reilly Verlag, 2008, pp. 1-8.
- [10] V. Janßen, Datenbanken - Relationale Datenbanken entwerfen und realisieren, Braunschweig: Westermann Schroedel, 2011, pp. 38-55.

## 6.2 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Langfassung für den Jugend forscht Wettbewerb im Jahr 2022 mit dem Titel „Internet Of Stupid Things – Vernetzen statt Wegwerfen“ selbständig verfasst haben, dass wir sie zuvor bei keinem anderen Wettbewerb eingereicht haben und dass wir keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderweitigen fremden Äußerungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Hanau, 14. Januar 2022

Mirko Weih

Felix Hauptmann