

# **Hintergründe und technische Umsetzung zur Verwen- dung von IoT-gestützten Füllstandssensoren in der Abfall- wirtschaft**

Projektbericht

im Fach

*Seminar Wirtschaftsinformatik*

an der

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Eingereicht von: Christoph Manfred Lehr  
Christoph.Lehr@fau.de  
Matrikelnummer: 22466289  
Studiengang: Wirtschaftsinformatik B.Sc.  
Referentin: Prof. Dr. Kathrin M. Möslein  
Betreuer/in: Spyridon Koustas, Timon Sengewald  
Bearbeitungszeit: 13.05.2024 bis 31.07.2024

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Innovation und Wertschöpfung  
Lange Gasse 20, 90403 Nürnberg, [www.wi1.fau.de](http://www.wi1.fau.de)

**Abstract (max. 150 Wörter)**

Dieser Bericht befasst sich mit der Entwicklung einer IoT-gestützten Lösung zur Überwachung von Füllständen in Müllcontainern als Teil einer smarten Abfallwirtschaft. Angesichts der zunehmenden Urbanisierung und der damit verbundenen Herausforderungen, wie der steigenden Abfallmenge, zielt diese Arbeit darauf ab, eine effizientere und nachhaltigere Abfallentsorgung zu ermöglichen. Das Projekt umfasste die technische Umsetzung einer Webanwendung, die in Echtzeit die Füllstände von Müllcontainern anzeigt und optimierte Entleerungsrouten generiert. Dabei wurden moderne Technologien wie HTML, JavaScript, sowie APIs für die Sensorik und Google Maps integriert. Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz von IoT-Sensorik erhebliche Einsparungen bei Ressourcen und Kosten erzielt werden können. Diese Arbeit stellt somit einen wichtigen Beitrag zur Digitalisierung und Optimierung der Abfallwirtschaft in urbanen Gebieten dar.

## Inhaltsverzeichnis

Abstract (max. 150 Wörter) .....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis .....	VI
1 Einleitung .....	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielstellung und Aufbau der Arbeit .....	2
2 Grundlagen und Vorgehen .....	4
2.1 Grundlagen .....	4
2.1.1 Technische Grundlagen .....	4
2.1.2 Wichtige Begrifflichkeiten und Konzepte .....	4
2.1.3 Aktueller Forschungsstand .....	6
2.2 Vorgehen .....	7
2.2.1 Planung und Durchführung des Projekts .....	7
2.2.2 V-Modell oder Wasserfallmodell?.....	9
2.2.3 Projektzeitplan .....	10
3 Ergebnisse .....	11
3.1 Übersicht der Funktionalitäten .....	11
3.2 Gewonnene Erkenntnisse .....	15
4 Diskussion .....	17
4.1 Stärken und Schwächen des Projekts und Reflexion der eigenen Rolle .....	17
4.2 Kritische Reflexion der eigenen Rolle .....	18
4.3 Empfehlungen für zukünftige Projekte .....	18
5 Fazit .....	19
Literaturverzeichnis.....	VII
Anhang .....	IX
Abschließende Erklärung .....	XI

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Screenshot aus IDE.....	4
Abbildung 2-2: Screenshot aus IDE.....	5
Abbildung 2-3: Screenshot aus IDE.....	5
Abbildung 2-4: Layout Protokoll Seminar WI .....	8
Abbildung 2-5: Darstellung Projektplan .....	9
Abbildung 3-1: Screenshot aus Website .....	11
Abbildung 3-2: Screenshot aus Website .....	11
Abbildung 3-3: Screenshot aus Website .....	12
Abbildung 3-4: Screenshot aus IDE.....	12
Abbildung 3-5: Screenshot aus Website .....	13
Abbildung 3-6: Screenshot aus Website .....	14
Abbildung 3-7: Screenshot aus Website .....	14

---

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 2-1: Fachliche Einteilung .....	8
---	---

---

## Abkürzungsverzeichnis

IoT                      Internet of Things

# **1 Einleitung**

## **1.1 Problemstellung**

Im Rahmen meiner Teilnahme am Modul „Seminar Wirtschaftsinformatik“ habe ich mich für den Lehrstuhl Information Systems 1: Innovation and Value Creation entschieden. Innerhalb dieses Moduls wurden zwei externe Partner eingebunden, und es wurde die Möglichkeit geboten, Entwicklungs- bzw. Lösungsansätze zum Thema „Smart City“ unter Verwendung des „Internet of Things-Labor“ (kurz IoT-Lab) zu erarbeiten.

Ich entschied mich, das Thema „Smart City“ zu vertiefen, und wählte speziell den Bereich „Abfallwirtschaft“ aus. Dieses Thema erschien mir besonders relevant angesichts der zunehmenden Urbanisierung und der damit verbundenen Herausforderungen. Prognosen zufolge werden bis zum Jahr 2050 mehr als zwei Drittel der Weltbevölkerung in Städten leben und dort 75 Prozent der natürlichen Ressourcen verbrauchen. Diese massive Urbanisierung bringt nicht nur eine verstärkte Nachfrage nach Ressourcen und Infrastruktur mit sich, sondern auch eine erhebliche Zunahme des Abfallaufkommens.<sup>1</sup>

Die effiziente Verwaltung und Entsorgung dieses Abfalls werden eine der zentralen Herausforderungen für die Städte der Zukunft darstellen. Eine unzureichende Abfallwirtschaft kann zu schwerwiegenden Umweltproblemen wie der Verschmutzung von Wasser und Boden, der Freisetzung von Treibhausgasen sowie gesundheitlichen Risiken für die städtische Bevölkerung führen. Gleichzeitig stellt die Abfallwirtschaft einen bedeutenden Kostenfaktor für Städte dar, der optimiert werden muss, um den begrenzten finanziellen Ressourcen gerecht zu werden.

Angesichts dieser Entwicklung ist es von zentraler Bedeutung, wie die verfügbaren Human- und Kapitalressourcen möglichst effizient genutzt werden können, um sowohl eine nachhaltige als auch effiziente Abfallwirtschaft in unseren urbanen Ballungsräumen zu gewährleisten. Der Einsatz neuer Technologien wie des Internets der Dinge (IoT) bietet hier eine vielversprechende Lösung. Durch die Integration von Sensorik

und datengetriebenen Systemen kann die Abfallwirtschaft erheblich verbessert werden, indem beispielsweise der Füllstand von Müllcontainern in Echtzeit überwacht und die Entleerungsrouten entsprechend optimiert werden.

Eine solche Digitalisierung der Abfallwirtschaft könnte nicht nur die Effizienz steigern, sondern auch zu einer Reduzierung der Umweltauswirkungen und einer besseren Ressourcennutzung beitragen. Das Thema ist somit nicht nur aus technologischer Sicht, sondern auch aus gesellschaftlicher und ökologischer Perspektive von großer Bedeutung. Es stellt eine Schlüsselkomponente in der Gestaltung der nachhaltigen und lebensfähigen Städte der Zukunft dar.

Gemeinsam mit drei weiteren Gruppenmitgliedern haben wir nach den ersten Besprechungen beschlossen, die Potenziale und Versäumnisse in der aktuellen Abfallwirtschaft zu analysieren. Unser Hauptaugenmerk lag darauf, bestehende Strukturen durch den Einsatz von IoT-Sensorik zu optimieren. Im Speziellen konzentrierten wir uns auf die Abfallentsorgung in Müllcontainern und entwickelten die Grundidee, diese Container mit Füllstandsmessern auszustatten und sie intelligent über eine App bzw. Website mit der städtischen Infrastruktur zu verknüpfen. Diese Idee wurde in mehreren Meetings diskutiert und konkretisiert, wobei die Aufgabenverteilung im Team klar definiert wurde

## **1.2 Zielstellung und Aufbau der Arbeit**

Mein Aufgabenbereich umfasste die technische Umsetzung dieser Idee. Daraus ergibt sich die zentrale Fragestellung dieser Arbeit:

„Wie kann eine einfache technische Lösung entwickelt werden, um Müllcontainer und deren Füllstände zu überwachen und so potenziell Human- und Kapitalressourcen einzusparen?“

Das Ziel meiner Arbeit war es, eine Website zu entwickeln, auf der verschiedene Adresspunkte – symbolisch für Orte wie Müllcontainer, die mit Sensorik ausgestattet sind – und deren Füllstände angezeigt werden können. Darüber hinaus sollte es möglich sein, basierend auf diesen Daten, eine optimierte Entleerungsrouten zu erstellen. In dieser Arbeit werde ich die einzelnen Schritte, die ich unternommen habe, um dieses Ziel zu erreichen, detailliert erläutern und anschließend reflektiert einen Blick darauf



---

werfen, welche Punkte erfüllt wurden, wo Verbesserungspotentiale vorhanden sind und ob es einen potentiellen wirtschaftlichen Nutzen gibt.

## 2 Grundlagen und Vorgehen

### 2.1 Grundlagen

#### 2.1.1 Technische Grundlagen

Für die Entwicklung einer Website sind verschiedene technische Grundlagen erforderlich. Dazu gehört das Erstellen eines Konzeptes, die technische Ausarbeitung sowie die kontinuierliche Evaluierung des Konzeptes. Zu den wesentlichen Technologien zählen HTML und JavaScript. Durch das Modul „Innovation Technology II“ konnte ich bereits erste Erfahrungen sammeln, wie man solche Projekte effektiv angehen und managen kann.

#### 2.1.2 Wichtige Begrifflichkeiten und Konzepte

HTML: ist die Standard-Auszeichnungssprache zur Erstellung von Webseiten. Der Begriff „Hypertext“ bezieht sich auf Links, die Webseiten miteinander verbinden, sei es innerhalb der gleichen Website oder zwischen verschiedenen Websites. Die grundlegende Struktur von HTML besteht aus „Tags“, die Elemente wie Container für Texte oder andere Inhalte definieren. Ein Container wird beispielsweise durch den Starttag `<div>` und den Endtag `</div>` definiert. Diese Container können verschachtelt und durch CSS formatiert werden.<sup>2</sup> Beispiel:

```
<div class="container">
  <div id="addressAddContainer" class="input-section">
    <input type="text" id="addressInput" placeholder="Adresse hinzufügen" />
    <button id="addButton">+</button>
  </div>
```

Abbildung 2-2

Hier wird ein Container mit der Klasse „container“ erstellt, der einen weiteren Container mit der ID „addressAddContainer“ enthält. In diesem Container befindet sich ein Eingabefeld für Adressen und ein Button zum Speichern. Weitere Details zur Interaktivität werden unter „JavaScript“ behandelt.

---

<sup>2</sup> MDN Web Docs. (o. D.). HTML: HyperText Markup Language.

CSS: ist eine Stylesheet-Sprache zur Gestaltung von HTML-Dokumenten. Sie kontrolliert das Layout und das visuelle Erscheinungsbild einer Website.<sup>3</sup> Beispiel zur Klasse „input-section“:

```
.input-section {  
  left: 5%; position: absolute; display: flex; gap: 10px; height: 5%; width: 45%;  
}
```

Abbildung 2-3

Hierbei wurden die Attribute left, position, display, gap, height und width gesetzt.

JavaScript: ist eine vielseitige Programmiersprache, die vor allem zur Erstellung von interaktiven und dynamischen Webseiten verwendet wird. Sie läuft im Browser und ermöglicht die Manipulation von HTML und CSS.<sup>4</sup> Beispiel für das „addressInput“:

```
function addAddress() {  
  const addressInput = document.getElementById("addressInput");  
  const address = addressInput.value.trim();  
  
  if (address) {  
    const addressList = document.getElementById("addressList");  
    const listItem = document.createElement("li");  
    listItem.textContent = address;  
    addressList.appendChild(listItem);  
    addressInput.value = "";  
  }  
}
```

Abbildung 2-4

Hier wird die Eingabe vom Textfeld in als listItem gespeichert und anschließend der Liste adressList hinzugefügt.

API: ist eine Schnittstelle, die es verschiedenen Softwareprogrammen ermöglicht, miteinander zu kommunizieren und Daten auszutauschen. APIs bieten vordefinierte Funktionen, die Entwicklern den Zugriff auf bestimmte Daten oder Dienste erleichtern, ohne die zugrunde liegende Codebasis verstehen zu müssen. Im Rahmen des Pro-

---

<sup>3</sup> MDN Web Docs. (o. D.). CSS: Cascading Style Sheets.

<sup>4</sup> MDN Web Docs. (o. D.). JavaScript Guide.

jekts habe ich die ITII API integriert, um auf die Daten des Füllstandssensors zuzugreifen, sowie die Google Maps API, um Funktionen wie Adresserkennung, Auto-Vervollständigung und Routenerstellung zu nutzen.<sup>5</sup>

KI-Werkzeuge: Zur Unterstützung bei der Ideenfindung, Problemlösung und Generierung von Lösungsansätzen habe ich das KI-Tool ChatGPT verwendet.

Entwicklungsumgebung und Plattform für kollaboratives Arbeiten:

Als Entwicklungsumgebung habe ich Visual Studio Code verwendet und die notwendigen Erweiterungen für HTML, CSS und JavaScript installiert. Zur Versionierung und für kollaboratives Arbeiten habe ich GitHub genutzt, das neben dem Open-Source-Aspekt auch Versionskontrolle und Repository-Management bietet.

### **2.1.3 Aktueller Forschungsstand**

In den letzten Jahren hat die Abfallwirtschaft zunehmend von innovativen Technologien profitiert, die durch das Internet der Dinge (IoT) und digitale Sensorik ermöglicht werden. Diese Entwicklungen bieten neue Ansätze zur Optimierung der Abfallentsorgung und -management, was sowohl ökologische, als auch ökonomische Vorteile mit sich bringen kann.

Ein bedeutendes Beispiel für diese Entwicklungen ist das Startup „Binando“, das digitale Sensoren in Abfallbehältern implementierte, um die Füllstände in Echtzeit zu überwachen. Diese Sensoren ermöglichten eine datenbasierte Routenplanung für Müllabfuhrfahrzeuge, um die Effizienz der Abfallsammlung zu erhöhen und unnötige Fahrten zu vermeiden. Obwohl „Binando“ leider insolvent ging, stellt es einen frühen Versuch dar, moderne Technologie in der Abfallwirtschaft zu integrieren und verdeutlicht die Herausforderungen und Chancen des Marktes.<sup>6</sup>

Ein weiteres Beispiel ist die „Smart Waste“-Lösung von „Lufthansa Industry Solutions GmbH & Co. KG“, einer Tochtergesellschaft der Lufthansa AG. Dieses Unternehmen hat ein Konzept entwickelt, das nicht nur die Füllstände in Müllcontainern überwacht, sondern auch die Möglichkeit bietet, diese Container unter der Erde zu platzieren. Diese Lösung hat den zusätzlichen Vorteil, das Stadtbild zu verschönern und Platz in

---

<sup>5</sup> MDN Web Docs. (o. D.). Introduction to Client-side Web APIs.

<sup>6</sup> Startup Region Stuttgart (Dezember 2019) Startup-Porträt: Binando

urbanen Gebieten zu sparen. Die Kombination aus Sensorik und unterirdischer Lagerung könnte langfristig die ästhetischen und funktionalen Anforderungen an urbane Räume erheblich verbessern.<sup>7</sup>

Das Unternehmen „Sensoneo“ hat bereits erfolgreich in Prag und zehn weiteren tschechischen Städten unterirdische Müllcontainer mit Füllstandssensorik ausgestattet. Diese Lösung trägt zur Verbesserung des städtischen Abfallmanagements bei, indem sie es den Anwohnern und Touristen ermöglicht, ihren Müll bequem zu entsorgen, ohne auf sichtbare Abfallbehälter angewiesen zu sein. Die Verwendung von Sensoren in diesen unterirdischen Containern hilft, die Abfallentsorgung effizient zu gestalten und den Platzbedarf für Abfallbehälter in städtischen Zentren zu minimieren.<sup>8</sup>

Zusätzlich hat die Deutsche Bahn 2017 ein vergleichbares Projekt gestartet, das sich auf die Verbesserung des Abfallmanagements an Bahnhöfen konzentrierte. Hierbei wurden Mülleimer mit Sensoren ausgestattet, die die Füllstände überwachen und die Daten an zentrale Systeme weiterleiten. Diese Informationen ermöglichen es, die Routen der Müllabfuhrfahrzeuge zu optimieren und Überfüllungen der Mülleimer zu vermeiden. Diese Implementierung zeigt, wie große Transportunternehmen Technologien nutzen, um betriebliche Abläufe zu verbessern und gleichzeitig Umweltbelastungen zu reduzieren. Die verschiedenen Implementierungen von Sensoren und Datenanalysen bieten wertvolle Einblicke und eröffnen neue Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung und Kostenreduzierung. Dennoch gibt es weiterhin Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf die Skalierbarkeit der Technologien und die Integration in bestehende Systeme.<sup>9</sup>

## **2.2 Vorgehen**

### **2.2.1 Planung und Durchführung des Projekts**

Am 13. Mai 2024 startete unser Projekt mit der endgültigen Gruppeneinteilung. Unser Team, bestehend aus Valerie, Arian, Martin und Christoph und widmete sich der intelligenten Abfallwirtschaft. Wir organisierten uns über den Kurznachrichtendienst

---

<sup>7</sup> Lufthansa Industry Solutions (o.D.) Smart Waste als digitaler Wegweiser zu mehr Effizienz und Nachhaltigkeit

<sup>8</sup> Sensoneo. (2018, November). Prague Will Monitor Waste with Sensoneo Sensors.

<sup>9</sup> Vodafone (März 2017) Vodafone und DB Systel zeigen den ersten intelligenten Mülleimer

WhatsApp und vereinbarten wöchentliche Treffen, die montags um 17 Uhr via Microsoft Teams stattfanden. Mit Hilfe von Teams konnten wir auch unsere gewonnenen Kenntnisse und Fortschritte kollaborativ erfassen. Da wir anfangs noch keine konkrete Richtung hatten, haben wir mit unseren Seminarbetreuern Spyridon Koustas und Timon Sengenwald am 07.06.2024 ein Treffen via Zoom abgehalten, in dem für jedes Teammitglied ein Teilbereich gefunden wurden, welche mit den jeweiligen fachlichen Kenntnissen und Interessen übereinstimmten.

Teammitglied	Teilbereich
Valerie	Analyse von IoT-Sensor-Technologie Potenziale und Auswirkungen
Arian	Was sind IoT-Füllstandssensoren? Einsparungspotenzial und Wirtschaftlichkeit
Martin	Unternehmen
Christoph	Technische Umsetzung IoT-Füllstandssensoren in der smarten Abfallwirtschaft zu verwenden

Tabelle 2-1: Fachliche Einteilung

Für die üblichen Meetings haben wir uns entschieden, bei größeren Meetings ein Protokoll zu führen, um alle Ergebnisse zu sammeln. Das Protokoll sah wie folgt aus:



### Projektseminar\_Wirtschaftsinformatik

#### Protokoll

Thema:	
Datum:	
Start:	Uhr
Ende:	Uhr
Ort:	Onlinemeeting - Microsoft Teams
Anwesend:	
Entschuldigt:	
Protokollführer:	

#### Tagesordnungspunkte:

1.

<b>1.</b>	
Diskussion:	-
Schlussfolgerung:	-
<b>Aufgaben:</b>	<b>Zuständig:</b>
Aufgabe 1	
Aufgabe 2	

Quelle: [Eigene Darstellung]

### 2.2.2 V-Modell oder Wasserfallmodell?

In der Softwareentwicklung habe ich zwei Modelle kennengelernt. Das V-Modell ist ein Vorgehensmodell in der Softwareentwicklung, welches die Phasen des Entwicklungsprozesses in eine V-Form anordnet. Es ist eine Erweiterung des Wasserfallmodells und betont die Bedeutung von Verifikation und Validierung in jeder Phase. Auf dem linken Schenkel des V sind die Entwurfs- und Entwicklungsphasen, die von der Anforderungsanalyse bis zur Implementierung reichen. Auf dem rechten Schenkel des V sind die entsprechenden Testphasen für die Schritte des linken Schenkels. Aufgrund der Projektgröße, die wir im Auge hatten, schien mir allerdings das Wasserfallmodell als passender, da dieses kürzer und prägnanter ist und im Rahmen des Projekts nicht so viele Testphasen benötigt waren. Hierdurch konnte man den rechten Schenkel mit dem einzelnen Test zu den Entwicklungsphasen zu einem großen Testblock zusammenfassen.

Das Resultat war dann ein Wasserfallmodell, welches ich ebenfalls auf unser Vorhaben spezifisch angepasst habe.

Das Wasserfallmodell ist ein traditionelles Vorgehensmodell in der Softwareentwicklung, das Prozesse in lineare, sequenzielle Phasen unterteilt. Jede Phase muss vollständig abgeschlossen und dokumentiert sein, bevor die nächste beginnt.

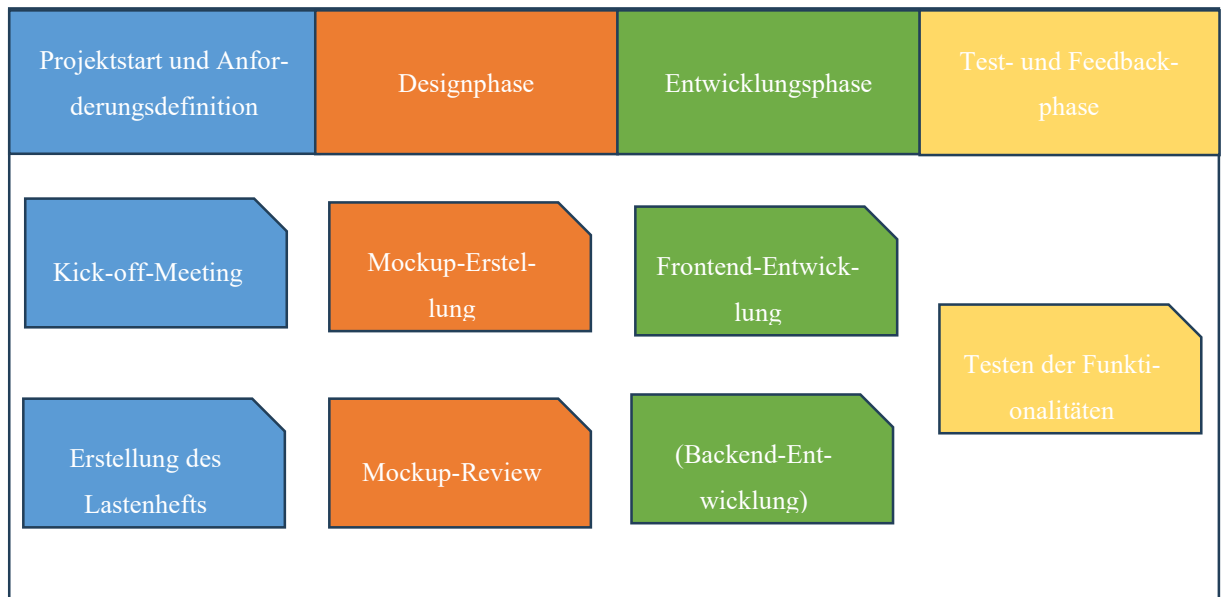
Allgemeine Vorteile des Modells sind die klare Struktur und einfache Planung. Dem steht gegenüber, dass man inflexibel bei Änderungen ist, da man spät Fehler entdeckt und wenig Nutzerfeedback während der Entwicklung einbinden kann.

Die Phasen meines Wasserfallmodells sind:

- Anforderungsanalyse: Sammlung und Dokumentation der Websiteanforderungen
- Systementwurf: Erstellung eines Mockups anhand dieser Anforderungen
- Implementierung: Umsetzung der Anforderungen in der Entwicklungsumgebung
- Testen: Verifikation und Validierung der Funktionalitäten der Website, um Fehler zu erkennen und zu beheben

### 2.2.3 Projektzeitplan

Quelle: [Eigene Darstellung]



Die erste Phase hatte eine Dauer von ca. drei Wochen und enthielt ein Kick-off-Meeting, ein Teammeeting und ein Meeting mit den Seminarbetreuern. Aus diesen Meetings habe ich dann ein Lastenheft erstellt. (siehe Anhang)

In der zweiten Phase habe ich ein erstes Mockup erstellt, welches dann anschließend mit dem Team evaluiert wurde. Der vorgesehene Zeitraum hierfür war eine Woche. Mit den gewonnenen Erkenntnissen habe ich dann das Lastenheft aktualisiert.

In der Entwicklungsphase habe ich dann versucht unsere Ziele umzusetzen. Die Entwicklung beschränkte sich hierbei eher auf das Frontend, die Gründe hierfür werde ich in Kapitel 3 genauer erläutern. Der Zeitraum für diese Phase war ca. drei Wochen

In der letzten Phase habe ich die Funktionalitäten der Website zusammen mit den Teammitgliedern getestet. Der geplante Testzeitraum belief sich auf ca. einer Woche



## 3 Ergebnisse

### 3.1 Übersicht der Funktionalitäten

Das Projekt umfasst die Entwicklung einer Webanwendung, die folgenden Kernfunktionen sind aus den Ergebnissen der vorherigen Schritte und dem stetigen Feedback der Teammitglieder entstanden.

#### Neuen Sensor hinzufügen

Adresse:	API URL:
<input type="text" value="Adresse eingeben"/>	<input type="text" value="https://example.com/php/get-data"/>
<input type="button" value="Sensor hinzufügen"/>	

Abbildung 3-1

Hinzufügen eines Sensors: durch Einfügen der Adresse und eines API-URLs kann man einen neuen Sensor hinzufügen. Die Adresse wird mit Hilfe Google Maps API vervollständigt. Die Autocomplete Funktion der API gewährleistet eine hohe Benutzerfreundlichkeit, da Adressen auf Grund der aktuellen Eingabe vorgeschlagen werden oder vervollständigt werden können. Dies bietet dem Nutzer außerdem die Möglichkeit Typfehler zu vermeiden. Die zweite benötigte Eingabe ist der php/get-data Request auf die Schnittstelle eines Sensors. Ich habe diese Funktion möglichst einheitlich gehalten, damit man später noch andere Schnittstellen, allerdings vom gleichen Füllstandssensormodell, hinzufügen kann. Durch einen Klick auf „Sensor hinzufügen“ wird ein Standortpunkt auf der untenliegenden Karte gesetzt. Diese Funktion erschien mir als sinnvoll, da eine Visualisierung der Adresse und ggf. benötigte Aktualisierungen die Benutzerfreundlichkeit ebenfalls erhöht.



Abbildung 3-2

Auch bietet diese Funktion die Möglichkeit die Funktion „Google Street View“ zu verwenden, welche ebenfalls nützlich im Kontext des Hinzufügens eines neuen Sensors sein könnte. Wenn man einen Sensor hinzugefügt hat, werden die Adresse und verschiedene Attribute in einer Liste angezeigt.

## Sensoren

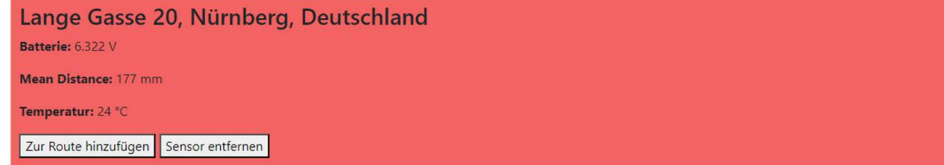


Abbildung 3-3

```
// Sensor hinzufügen
document
.getElementById("add-sensor-button")
.addEventListener("click", async () => {
  const address = document.getElementById("address").value.trim();
  const apiUrl = document.getElementById("api-url").value.trim();

  if (address && apiUrl) {
    const sensorData = await fetchSensorData(apiUrl);

    if (sensorData) {
      // Sensor-Daten anzeigen
      const sensorItem = document.createElement("div");
      sensorItem.className = "sensor-item";

      // Hintergrundfarbe je nach mean_distance setzen
      let backgroundColor;
      if (
        sensorData.mean_distance >= 200 &&
        sensorData.mean_distance <= 400
      ) {
        backgroundColor = "lightyellow"; // Hellgelb
      } else if (sensorData.mean_distance < 200) {
        backgroundColor = "rgb(242, 99, 99)"; // Rot
      } else {
        backgroundColor = "lightgreen"; // Grün
      }

      sensorItem.style.backgroundColor = backgroundColor;

      sensorItem.innerHTML = `
        <h3>${address}</h3>
        <p><strong>Batterie:</strong> <span class="battery">${sensorData.battery}</span> V</p>
        <p><strong>Mean Distance:</strong> <span class="mean-distance">${sensorData.mean_distance}</span> mm</p>
        <p><strong>Temperatur:</strong> <span class="temperature">${sensorData.internal_temp}</span> °C</p>
      `;

      <button class="add-to-route">Zur Route hinzufügen</button>
      <button class="remove-sensor">Sensor entfernen</button>

      document.getElementById("sensor-list").appendChild(sensorItem);

      // Optional: Adresse in die Routenliste hinzufügen
      sensorItem
        .querySelector(".add-to-route")
        .addEventListener("click", () => {
          addToRouteList(address);
        });

      // Sensor entfernen
      sensorItem
        .querySelector(".remove-sensor")
        .addEventListener("click", () => {
          removeSensor(sensorItem, address);
        });
    } else {
      alert("Fehler beim Abrufen der Sensordaten.");
    }
  } else {
    alert("Bitte geben Sie sowohl eine Adresse als auch eine API-URL ein.");
  }
});
```

Abbildung 3-4

Diese JavaScript-Funktion wird verwendet, um Sensoren dynamisch zu einer Liste auf einer Website hinzuzufügen. Der Prozess startet, sobald der Benutzer auf einen Button klickt, der durch die ID `add-sensor-button` identifiziert wird. Nachdem der Button angeklickt wurde, ruft die Funktion die Werte der Felder für die Adresse und die API-URL ab und überprüft, ob diese Eingaben vorhanden und gültig sind. Wenn eine der Eingaben fehlt, wird eine Fehlermeldung ausgegeben, um den Benutzer darauf hinzuweisen.

Wenn sowohl die Adresse als auch die API-URL korrekt eingegeben wurden, wird eine asynchrone Funktion verwendet, um die Sensordaten von der angegebenen API-URL abzurufen. Diese Daten werden in der Variablen `sensorData` gespeichert. Sollte der Abruf erfolgreich sein, erstellt die Funktion ein neues `div`-Element, dem die Klasse `sensor-item` zugewiesen wird, um die Sensordaten anzuzeigen. Die Hintergrundfarbe dieses Elements wird auf Grundlage des Wertes `mean_distance`, der in den Sensordaten enthalten ist, angepasst. Bei einer `mean_distance` zwischen 200 und 400 Millimetern wird das Element hellgelb hinterlegt, bei einer kleineren Entfernung als 200 Millimeter wird die Farbe rot verwendet, und bei einer größeren Entfernung wird es grün hinterlegt.

Das `div`-Element enthält HTML-Code, der die abgerufenen Sensordaten anzeigt, darunter die Adresse, den Batteriestand, die mittlere Entfernung (`mean_distance`) und die Temperatur. Anschließend wird das erstellte Element in die bestehende Liste der Sensoren eingefügt, die durch das Element mit der ID `sensor-list` repräsentiert wird.

Innerhalb des neuen Sensor-Elements sind zwei Buttons enthalten. Der erste Button, `Zur Route hinzufügen`, ermöglicht es, die Adresse des Sensors zu einer Routenliste hinzuzufügen. Diese Funktion wird durch einen weiteren Aufruf innerhalb der Funktion umgesetzt. Der zweite Button, `Sensor entfernen`, entfernt das Sensor-Element aus der Liste, falls dies gewünscht ist. Dies geschieht durch den Aufruf einer separaten Funktion.

Abschließend ist zu beachten, dass die Funktion für eine effektive Fehlerbehandlung sorgt. Tritt ein Fehler beim Abrufen der Sensordaten auf, oder sind die erforderlichen Eingabefelder nicht ausgefüllt, erhält der Benutzer eine entsprechende Fehlermeldung, die ihn auf das Problem hinweist. Diese strukturierte Vorgehensweise ermöglicht es, Sensoren dynamisch und benutzerfreundlich in die Website zu integrieren und gleichzeitig die Daten visuell ansprechend und interaktiv darzustellen.

#### Routenliste

Lange Gasse 20, Nürnberg, Deutschland



Rathenauplatz, Nürnberg, Deutschland



Route erstellen

Abbildung 3-5

Wenn man Sensoren zur Routenliste hinzugefügt hat, kann man sie durch klicken des Buttons „-“ wieder entfernen. Sobald sich mindestens zwei Adressen in der Routenliste befinden, kann man diese per Klick auf den Button „Route erstellen“ zu einer Google Maps Route hinzufügen. Diese Route wird dann anschließend in einem neuen Tab bei Google Maps geöffnet und man kann zu den Zielen navigieren und die Container leeren oder warten.

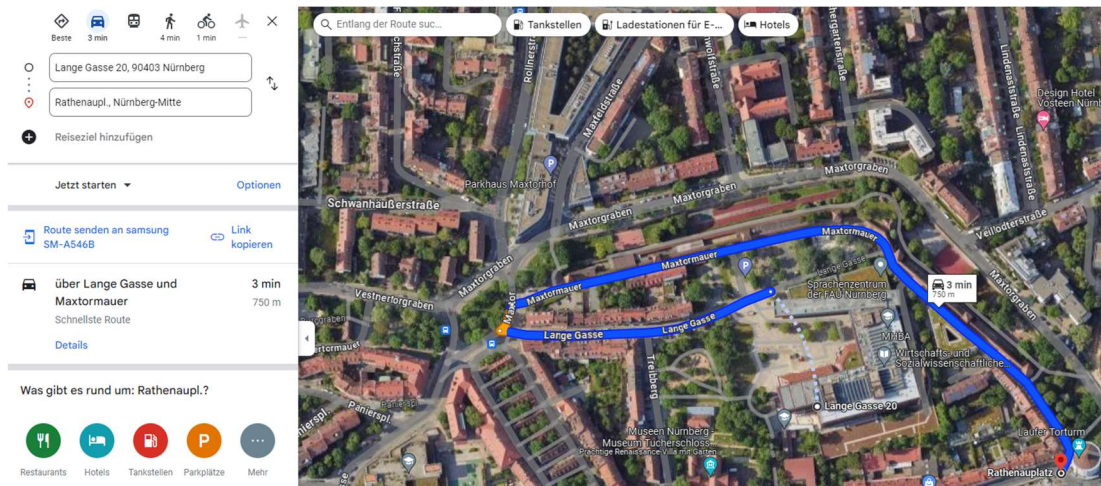


Abbildung 3-6

Meiner Meinung nach ist durch diesen strukturellen und funktionalen Aufbau der Website gezeigt worden, wie man eine simple technische Umsetzung zur Verwendung von Füllstandssensorik in der Abfallwirtschaft umsetzen könnte.

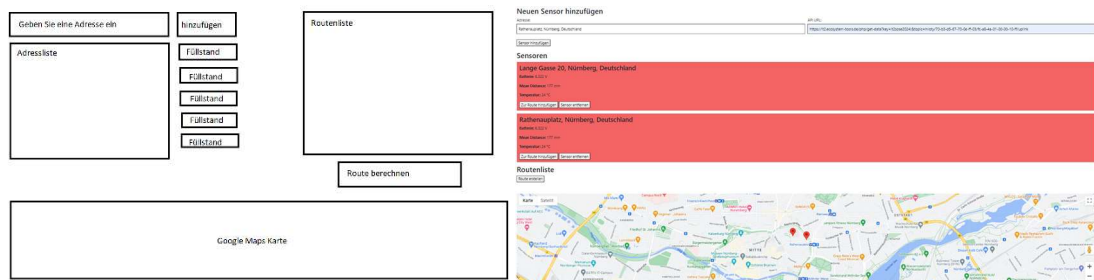


Abbildung 3-7

Hier kann man das erste Mockup, welches ich meinem Team vorgestellt habe im Vergleich zur finalen Website sehen. Die Grundelemente und deren Funktionen wurden durchaus eingehalten und in einigen Teilen evtl. sogar puncto in Praxistauglichkeit noch verbessert.

### 3.2 Gewonnene Erkenntnisse

In diesem Projekt konnte ich die Aufgabenstellung, die wir als Team für mich ausgearbeitet haben, erfolgreich mit meinen Vorkenntnissen und der Unterstützung von KI-Werkzeugen wie ChatGPT umsetzen. Dennoch zeigt die aktuelle Version noch erhebliches Verbesserungspotential. So könnte die Website durch die Integration einer robusten Backend-Programmierung weiter optimiert werden. Insbesondere wäre die Implementierung einer Datenbank von Vorteil, die es ermöglicht, Sensordaten langfristig zu speichern und dauerhaft abzurufen. Dies würde nicht nur die Handhabung verbessern, sondern auch die Möglichkeit eröffnen, zusätzliche Funktionen zu integrieren. Beispielsweise könnte man einen Startpunkt, wie den Standort des Müllabfuhrunternehmens, hinzufügen und die Route von diesem Punkt aus planen. Eine solche Erweiterung würde die Effizienz der Routenplanung erheblich steigern, da die Abholrouten auf Grundlage eines zentralen Ausgangspunkts optimiert werden könnten.

Ein weiteres Risiko, das in der aktuellen Implementierung besteht, ist die starke Abhängigkeit von spezifischen API-Schnittstellen für die Sensoren. Derzeit ist das System auf ein bestimmtes Füllstandssensormodell beschränkt. Um diese Limitation zu überwinden, könnte man die API-Anbindung verallgemeinern. Eine mögliche Lösung wäre, die Methode zur Auslesung der Attribute aus der JSON-Datei so zu gestalten, dass Attributnamen flexibel konfiguriert werden können. Dieser Ansatz würde jedoch zu einer komplexeren Benutzeroberfläche führen, da die Handhabung weniger intuitiv wäre und mehr technisches Know-how erfordert. Es wäre daher notwendig, geeignete Benutzeranleitungen und Schulungen anzubieten, um den Umgang mit der erweiterten Funktionalität zu erleichtern.

Des Weiteren lässt die gegenwärtige Umsetzung der Routenplanung zu wünschen übrig. Aktuell wird die Routenliste linear in die Google Maps Route integriert, was zu suboptimalen Ergebnissen führen kann. Die Implementierung eines Algorithmus zur Optimierung der Routenführung könnte hier Abhilfe schaffen. Die Google Maps API bietet Funktionen, die für die Verbesserung der Routenplanung genutzt werden könnten, wie z.B. die Berücksichtigung von Verkehrsbedingungen oder die Nutzung von Routenoptimierungsalgorithmen. Trotz meiner Bemühungen konnte ich hier bisher keine ideale Lösung finden, was die Notwendigkeit weiterer Tätigkeiten in diesem Bereich unterstreicht.

Ein besonders positiver Aspekt dieser Arbeit war für mich die intensive Nutzung von KI-Werkzeugen. Durch die regelmäßige Anwendung von ChatGPT konnte ich nicht nur schnelle und präzise Antworten auf technische Fragestellungen erhalten, sondern auch kreative Lösungsansätze entwickeln. Diese Tools haben den Entwicklungsprozess erheblich beschleunigt und mir geholfen, innovative Lösungen zu finden. Auch die vertiefte Auseinandersetzung mit APIs zur Datenintegration war äußerst lehrreich. Das Arbeiten mit verschiedenen APIs hat mir die Relevanz und Komplexität der Datenintegration im Kontext von Industrie 4.0 und IoT verdeutlicht. Die Fähigkeit, externe Datenquellen zu integrieren, ist in der heutigen digitalen Welt von entscheidender Bedeutung, und die praktische Erfahrung hat mir ein besseres Verständnis für die Herausforderungen bei der Sicherstellung der Datenqualität vermittelt.

Ein wichtiger Lernpunkt war die Erkenntnis, dass unvollständige oder fehlerhafte Daten die Funktionalität und Genauigkeit der Anwendung erheblich beeinträchtigen können. Daher ist es in der Praxis unerlässlich, Mechanismen zur Sicherstellung der Datenqualität zu implementieren. In zukünftigen Projekten sollte besonders darauf geachtet werden, umfassende Prüfmechanismen und Validierungen einzuführen, um die Verlässlichkeit der Daten zu garantieren und die Gesamtqualität der Lösung zu verbessern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz der erzielten Fortschritte noch viele Aspekte zur Optimierung und Weiterentwicklung vorhanden sind. Die kontinuierliche Verbesserung und Anpassung an neue Anforderungen und Technologien wird entscheidend sein, um die Anwendung weiterzuentwickeln und deren Nutzen zu maximieren.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Stärken und Schwächen des Projekts und Reflexion der eigenen Rolle**

Eine der wesentlichen Stärken des Projekts war die effektive Teamarbeit, die durch regelmäßige und gut organisierte Meetings sowie durch präzises Protokollieren der Treffen unterstützt wurde. Diese Struktur hat zu einer effizienten Zusammenarbeit und einem reibungslosen Informationsaustausch geführt. Zudem spielte die Nutzung kollaborativer Anwendungen wie Microsoft SharePoint eine zentrale Rolle, indem sie den Informationsfluss und die Transparenz über den aktuellen Stand des Projekts gewährleistete. Diese Tools ermöglichten es dem Team, stets auf dem neuesten Stand zu bleiben und gemeinsam an der Weiterentwicklung der Website zu arbeiten.

Ein weiterer positiver Aspekt war die interessensspezifische Aufteilung des Projekts in verschiedene Teilprojekte. Diese Herangehensweise ermöglichte es jedem Teammitglied, sich auf Bereiche zu konzentrieren, in denen es besondere Stärken oder Expertise hatte. Diese Spezialisierung förderte die Effizienz und die Qualität der Arbeit, da jedes Teammitglied sein Wissen und seine Fähigkeiten gezielt einbringen konnte. Die Präsentationen der einzelnen Teammitglieder in den Meetings trugen zudem zur Wissensverbreitung bei und ermöglichten eine umfassende Diskussion über die Fortschritte und Herausforderungen der jeweiligen Teilprojekte.

Die praktische Anwendung von IoT-Sensorik innerhalb des Projekts stellte einen bedeutenden Vorteil dar. Durch die Integration dieser Technologie konnte das technische Verständnis im Bereich „Industrie 4.0“ vertieft werden. Diese praktische Erfahrung war nicht nur lehrreich, sondern auch motivierend, da sie die Relevanz und das Potenzial von IoT-Technologien in der realen Welt verdeutlichte.

Jedoch gab es auch Schwächen, die das Projekt beeinflussten. Eine zentrale Schwäche war die theoretische Ausrichtung des Hauptteils der Arbeit. Der fehlende praktische Ansatz führte dazu, dass bestimmte Aspekte der Implementierung möglicherweise nicht in der Tiefe behandelt wurden, die für eine umfassende Lösung erforderlich gewesen wäre. Die Einbeziehung eines weiteren Entwicklers, insbesondere eines mit mehr Erfahrung in diesem Bereich, hätte möglicherweise zu einem differenzierteren Ergebnis führen können. Eine breitere Perspektive und zusätzliche Fachkenntnisse

hätten dazu beigetragen, die Herausforderungen aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und potenzielle Verbesserungspotenziale besser zu identifizieren.

## **4.2 Kritische Reflexion der eigenen Rolle**

In meiner Rolle als technischer Entwickler war es meine Hauptaufgabe, die technische Umsetzung und Implementierung der Webanwendung zu leiten. Mein Fokus lag auf der Entwicklung einer benutzerfreundlichen und funktionalen Lösung, die den Projektanforderungen entsprach. Während die technische Umsetzung erfolgreich war, hätte ich dennoch intensiver auf die konzeptionelle Planung achten können. Eine umfassendere Planung hätte es ermöglicht, die Projektziele klarer zu definieren.

Eine breitere Einbeziehung von Stakeholdern hätte möglicherweise dazu geführt, dass die Anforderungen und Erwartungen aus verschiedenen Perspektiven besser berücksichtigt worden wären. In der Praxis wäre es von Vorteil gewesen, regelmäßig Feedback von potenziellen Endnutzern oder anderen relevanten Interessengruppen einzuholen, um sicherzustellen, dass die entwickelte Lösung tatsächlich ihren Bedürfnissen entspricht.

## **4.3 Empfehlungen für zukünftige Projekte**

Ein strukturierterer Ansatz zur Einbindung von Stakeholdern, wie regelmäßige Interviews mit Endnutzern und Fachleuten, hätte wertvolle Einblicke in die tatsächlichen Bedürfnisse und Herausforderungen gegeben. Dies hätte dazu beigetragen, die Anwendung noch besser auf die realen Anforderungen anzupassen.



## 5 Fazit

Das Thema „Smart City“ bietet zahlreiche zukunftsorientierte Möglichkeiten zur Optimierung der Abfallwirtschaft durch den Einsatz von Füllstandssensorik. Die Integration solcher Technologien in Abfallsysteme kann den Abfallunternehmen ermöglichen, ihre Ressourcen effizienter zu nutzen, indem sie präzisere Daten über den Füllstand der Mülltonnen erhalten. Dies könnte besonders vorteilhaft für Container in öffentlichen Bereichen sowie für Altglas- und Altmetailcontainer sein.

Die bisherigen Entwicklungen in der Abfallwirtschaft, wie die von „Lufthansa Industry Solutions“ und „Sensoneo“, zeigen, dass der Einsatz von Sensorik und digitalen Plattformen bereits vielversprechende Ergebnisse erzielen kann. Dennoch bleibt das Anwendungsspektrum in Deutschland begrenzt, da die Mülltrennung in privaten Haushalten oft manuell und regelmäßig erfolgt, unabhängig vom tatsächlichen Füllstand der Tonnen.

Wirtschaftlich betrachtet könnte es für Abfallunternehmen kostengünstiger sein, regelmäßige Abholintervalle zu beibehalten, anstatt die Füllstände individuell zu überwachen, insbesondere bei Privathaushalten. Daher könnte der größte Nutzen von Füllstandssensorik in der Überwachung von Altglas- und Altmetailcontainern sowie in großen Mülleimern im öffentlichen Raum liegen. Hier zeigt sich, dass eine Rentabilität insbesondere in Kombination mit unterirdischen Mülleimern und der Integration in größere Systeme gegeben ist.

Der geplante Stadtteil Lichtenreuth in Nürnberg bietet eine hervorragende Gelegenheit, ein neues Abfallsystem zu testen, ohne bestehende Strukturen aufbrechen zu müssen. Dies könnte wertvolle Erkenntnisse über die wirtschaftliche Rentabilität und die praktische Umsetzbarkeit solcher Systeme liefern. Wenn die Tests erfolgreich sind, könnte das Konzept auf andere Stadtbereiche ausgeweitet werden. Die weiteren Forschungen sollten sich auf die Kosten-Nutzen-Analyse, die Skalierbarkeit der Technologien und die Integration in bestehende Systeme konzentrieren, um die Potenziale vollständig auszuschöpfen und auf andere Bereiche der Abfallwirtschaft zu übertragen.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Stadt Nürnberg. (2022, Dezember). Integriertes Entwicklungskonzept für den Stadtteil Lichtenreuth

## Literaturverzeichnis

MDN Web Docs. (o. D.). HTML: HyperText Markup Language. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML>. (zuletzt abgerufen am 28.07.2024).

MDN Web Docs. (o. D.). CSS: Cascading Style Sheets. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>. (zuletzt abgerufen am 28.07.2024).

MDN Web Docs. (o. D.). JavaScript Guide. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>. (zuletzt abgerufen am 28.07.2024).

MDN Web Docs. (o. D.). Introduction to Client-side Web APIs. [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/Client-side\\_web\\_APIs/Introduction](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/Client-side_web_APIs/Introduction). (zuletzt abgerufen am 28.07.2024).

Sensoneo. (2018, November). Prague Will Monitor Waste with Sensoneo Sensors. <https://sensoneo.com/prague-will-monitor-waste-with-sensoneo-sensors-112018/>. (zuletzt abgerufen am 30.07.2024).

Invidis. (2018, November). Signage Sunday: Digitalisierung für die Tonne – IoT und intelligente Mülleimer. <https://invidis.de/2018/11/signage-sunday-digitalisierung-fuer-die-tonne-iot-und-intelligente-muelleimer/>. (zuletzt abgerufen am 30.07.2024).

Umweltbundesamt. (o. D.). Abfallaufkommen in Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfallbilanzen-ab-dem-jahr-2000>. (zuletzt abgerufen am 30.07.2024).

Stadt Nürnberg. (2022, Dezember). Integriertes Entwicklungskonzept für den Stadtteil Lichtenreuth. [https://www.nuernberg.de/imperia/md/stadtentwicklung/dokumente/221214\\_idek\\_lichtenreuth\\_doku\\_final\\_web\\_klein.pdf](https://www.nuernberg.de/imperia/md/stadtentwicklung/dokumente/221214_idek_lichtenreuth_doku_final_web_klein.pdf). (zuletzt abgerufen am 31.07.2024).

Vodafone (März 2017) Vodafone und DB Systel zeigen den ersten intelligenten Mülleimer <https://newsroom.vodafone.de/digitales-leben/vodafone-und-db-systel-zeigen-den-ersten-intelligenten-muelleimer> (zuletzt abgerufen am 31.07.2024)

Lufthansa Industry Solutions (o.D.) Smart Waste als digitaler Wegweiser zu mehr Effizienz und Nachhaltigkeit <https://www.lufthansa-industry-solutions.com/de-de/loesungen-produkte/industrie-40-iot/smart-waste-moderne-entsorgungslogistik-mit-digitalen-loesungen> (zuletzt aufgerufen am 31.07.2024)

Startup Region Stuttgart (Dezember 2019) Startup-Porträt: Binando <https://www.startup-region-stuttgart.de/news/startup-portraet-binando/> (zuletzt aufgerufen am 31.07.2024)

## Anhang

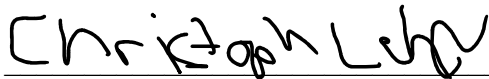
<https://github.com/ChristophLehr/Seminar-WI>



## **Abschließende Erklärung**

Ich versichere, dass ich die Arbeit ohne fremde Hilfe, ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden oder von einer KI erstellt wurden, sind als solche gekennzeichnet. Alle Kernkonstrukte wissenschaftlicher Arbeiten sowie von Projektarbeiten, z.B. Ideen, Gedankengänge, Argumentationen, Prozesse, Abbildungen, Tabellen oder ähnliches, an deren inhaltlicher Erstellung eine KI beteiligt war, sind ebenfalls als solche gekennzeichnet.

Nürnberg, den TT.MM.JJJJ

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Christoph Lehn', written over a horizontal line.

Unterschrift des Verfassers/der Verfasserin