

Seminararbeit zum Thema:

# Sensorlose Indoor-Lokalisierung

Artemij Voskobochnikov, Benjamin Swiers

Matrikelnummer: 4557770, ??

Modul: Seminar Technische Informatik

Dozent: ??

Semester: Sommersemester 2015

Berlin, den 17. Juni 2015

# Abkürzungsverzeichnis

**AP** Access Point

**DfP** Device-free Passive

**DfL** Device-free Localization

**MP** Monitoring Point

**PIL** Passive Infrarot-Lokalisierung

**RSSI** Radio Signal Strength Indication

**RFID** Radio Frequency Identification

**UWB** Ultra-wideband

# Abbildungsverzeichnis

1	Unterkategorien von Indoor-Lokalisierung (Deak G., Curran K. & Condell J., S. 2) . . . . .	2
2	RFID Indoor-Lokalisierung (Matthew Mah, S. 2) . . . . .	3
3	Testergebnisse (Mah M., S. 9) . . . . .	4
4	Wärmestrahlung einer Person (Technische Universität Dortmund (2015))	5
5	Lokalisierung durch Triangulation (Technische Universität Dortmund (2015)) . . . . .	6
6	Detektion von Bewegungen durch Luftdruckänderungen( Patel Shwetak N., Reynolds Matthew S., Abowd Gregory D., S. 7) . . . . .	6
7	Detektion von Bewegungen durch Luftdruckänderungen( Patel Shwetak N., Reynolds Matthew S., Abowd Gregory D., S. 7) . . . . .	7

## **Zusammenfassung**

In der heutigen Gesellschaft kommen in vielen Bereichen Indoor-Lokalisierungssysteme zum Einsatz. Die Nischen können dabei grundverschieden sein. Neben der Feuerwehr, die Methoden zur Indoor-Lokalisierung verwendet, um Einsatzkräfte oder auch mögliche Opfer in Gebäuden ausfindig zu machen, können Lokalisierungsmethoden auch zur Überwachung von Kindern oder auch älteren Personen verwendet werden. In dieser Ausarbeitung wird zu Beginn zwischen aktiven und passiven Lokalisierungsmethoden unterschieden und es wird gesagt, was genau passive Lokalisierung ausmacht und welche Vorteile diese gegenüber aktiven Methoden haben. Im weiteren Verlauf werden verschiedene Methoden der passiven Lokalisierung erläutert. Diese werden beschrieben und die Anwendungsgebiete werden genannt, sowie Vor- und Nachteile der jeweiligen Systeme. Abschließend wird ein Fazit gezogen und es wird auf mögliche Entwicklungen in diesem Forschungsbereich eingegangen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Indoor-Lokalisierung</b>	<b>1</b>
1.1	Aktive Lokalisierung . . . . .	1
1.2	Passive Lokalisierung . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Sensorlose Indoor-Lokalisierung</b>	<b>2</b>
2.1	Radiosignale . . . . .	2
2.1.1	Radio Frequency Identification . . . . .	2
2.1.2	Ultra-wideband . . . . .	4
2.2	Passive Infrarot-Lokalisierung . . . . .	5
2.3	Differential Air Pressure . . . . .	6
2.4	Physical Contact . . . . .	7
2.5	Projekt: GravitySpace . . . . .	7
2.6	Computer-Vision . . . . .	7
2.7	Fazit und Ausblick . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>9</b>

# 1 Indoor-Lokalisierung

In dieser Ausarbeitung wird die Indoor-Lokalisierung von Personen betrachtet. Lokalisierung von Objekten ist ebenfalls denkbar, jedoch werden in den heutzutage verwendeten Systeme hauptsächlich Personen lokalisiert. Im Folgenden werden die Begriffe der *aktiven Lokalisierung* und *passiven Lokalisierung* eingeführt und kurz erläutert.

## 1.1 Aktive Lokalisierung

Unter einer *aktiven Lokalisierung* versteht man Lokalisierungsmethoden, welche eine aktive Mitwirkung der Teilnehmer benötigt. Zumeist bedeutet dabei eine aktive Mitwirkung das Tragen eines Gerätes, welches mit den Sensoren im Raum in einer bestimmten Art und Weise kommuniziert.<sup>1</sup>

Solche Systeme sind weit verbreitet, jedoch können Teilnehmer in manchen Situationen keine Gerätschaften bei sich tragen. Ein Beispiel dafür wäre eine Brandsituation. Die Einsatzkräfte der Feuerwehr würden mit aktiven Lokalisierungsmethoden im Regelfall nicht die Opfer ausfindig machen können, was im schlimmsten Fall Menschenleben kosten könnte.

Darüber hinaus können Personen selbst kleinste sichtbare Sensoren als unkomfortabel empfinden, sodass in solchen Situationen zu *passiven Lokalisierungsmethoden* gegriffen werden muss.<sup>2</sup>

## 1.2 Passive Lokalisierung

Im Gegensatz zur *aktiven Lokalisierungsmethoden* wird bei einer *passiven Lokalisierung* (auch *sensorlose Lokalisierung*) keine aktive Mitwirkung der Teilnehmer verlangt.<sup>3</sup> Ein großer Vorteil solcher Systeme ist die Benutzerfreundlichkeit, da keinerlei Gerätschaften sich am Teilnehmer selbst befinden müssen. Ebenfalls bieten *sensorlose Lokalisierungsmethoden* neue Anwendungsbereiche wie zum Beispiel Alarmanlagen in Gebäuden. So können Einbrecher lokalisiert werden, was bei *aktiver Lokalisierung* nur schwer vorstellbar ist.

Die folgende Abbildung zeigt nochmals die Unterkategorien von *Indoor-Lokalisierung* auf:

---

<sup>1</sup>Vgl. Deak G., Curran K. & Condell J., S. 1

<sup>2</sup>Vgl. Kivimäki T., Vuorela T., Peltola P. & Vanhala J., S.1

<sup>3</sup>Vgl. ebd.

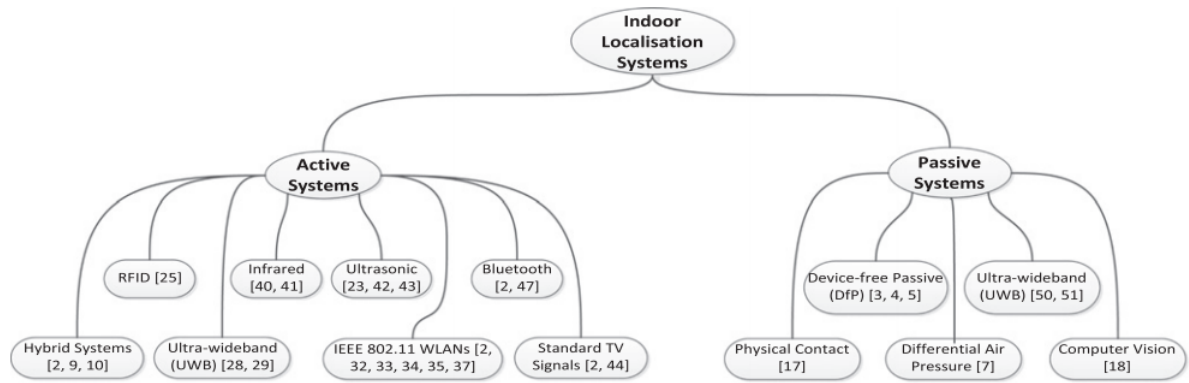


Abbildung 1: Unterkategorien von Indoor-Lokalisierung (Deak G., Curran K. & Condell J., S. 2)

Im weiteren Verlauf wird jedes *passive System* näher untersucht. Es wird die Funktionsweise sowie die Vor- und Nachteile des jeweiligen Systems erläutert.

## 2 Sensorlose Indoor-Lokalisierung

### 2.1 Radiosignale

#### 2.1.1 Radio Frequency Identification

Unter *Radio Frequency Identification* (**RFID**) versteht man eine kontaktlose Identifikation mittels Funkübertragung. Oftmals kann man hierfür bereits vorhandene Wi-Fi-Netzwerke verwenden.<sup>4</sup>

Ein solches DfL-System (**Device-free Localization**) nutzt die Tatsache aus, dass die Präsenz eines menschlichen Körpers die Radiosignale beeinflusst.<sup>5</sup> Die verwendete Frequenz der Knotenpunkte liegt hierbei bei 2.4Ghz, weil dies die Resonanzfrequenz von Wasser ist und der Mensch bekanntermaßen aus 70% aus Wasser besteht.<sup>6</sup> Ein weiterer Pluspunkt ist auch, dass die Frequenz von 2.4 Ghz bei *IEEE Standards* wie 802.11b und 802.11g verwendet wird.<sup>7</sup>

Das *DfP-System* (*Device-free Passive*) auf Grundlage von *RFID*, welches im Folgenden vorgestellt wird, misst die Änderungen von der erhaltenen *Received Signal Strength Indication* (**RSSI**). Der Anwendungsbereich des vorgestellten Systems ist die Haussicherheit. Das System soll als Alarmanlage agieren und Eindringlinge lokalisieren bzw. detektieren können.<sup>8</sup> Ein solches System besteht aus zwei Komponenten, den *Access Points* (**AP**)<sup>9</sup> und den *Monitoring Points* (**MP**)<sup>10</sup>. Einen guten Überblick bietet die folgende Abbildung:

<sup>4</sup>Vgl. Kivimäki T., Vuorela T., Peltola P. & Vanhala J., S. 16

<sup>5</sup>Vgl. ebd.

<sup>6</sup>Vgl. Deak G., Curran K. & Condell J., S. 11

<sup>7</sup>Vgl. Pirzada N., Nayan Y., Subhan F., Hassan F., Khan M., S. 3

<sup>8</sup>Vgl. Mah M., S. 2

<sup>9</sup>Z. Dt. Zugriffsknoten

<sup>10</sup>(Z. Dt. Kontrollknoten)

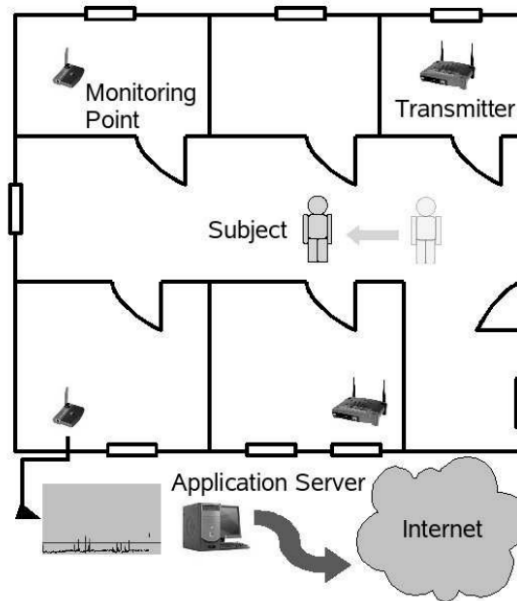


Abbildung 2: RFID Indoor-Lokalisierung (Matthew Mah, S. 2)

In der obigen Abbildung erkennt man zwei **AP**, sowie einen **MP** und einen **DfP Server**, der die Berechnungen auf Grundlage der erhaltenen Signale durchführt. Als **MP** können dabei beliebige Computer verwendet werden.<sup>11</sup> Neben der eigentlichen Detektion (*Monitoring Mode*) unterstützt das System noch zwei weitere Modi, welche nun näher beschrieben werden.

- **Monitoring Mode:** Dieser Modus nimmt jegliche Aktivität wahr, eignet sich somit für eine nächtliche Überwachung.
- **Tracking mode:** Dieser Modus kann einen Eindringling orten und zusätzlich noch anhand der Daten der, die von den **MP** verzeichnet werden, verfolgen. Es kann nur ein Eindringling zu einem bestimmten Zeitpunkt geortet werden.
- **DfP Mode:** Der *DfP-Modus* kann mehrere Eindringlinge gleichzeitig orten und verfolgen.

Sobald ein Eindringling von einem **MP** detektiert wird, werden zusätzlich noch weitere *Monitoring Points* kontaktiert und auf mögliche Detektionen überprüft. Erst danach kommt es zu einem Alarm des Gesamtsystems.<sup>12</sup> Tests in kontrollierten Umgebungen ergaben zufriedenstellende Ergebnisse mit einer niedrigen Rate von *False Positives*<sup>13</sup> und einer hohen *Detektionsrate*. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen dies nochmals graphisch auf.

Dieses *DfP-System* schnitt in den Tests zufriedenstellend ab, jedoch muss man auch auf mögliche Schwachstellen eingehen. Viele Parameter, die in den Algorithmen für die Detektion von Eindringlingen gebraucht werden haben direkten Einfluss auf die

<sup>11</sup>Vgl. ebd.

<sup>12</sup>Vgl. ebd., S. 2 f.

<sup>13</sup>Z. Dt. Falschpositiv



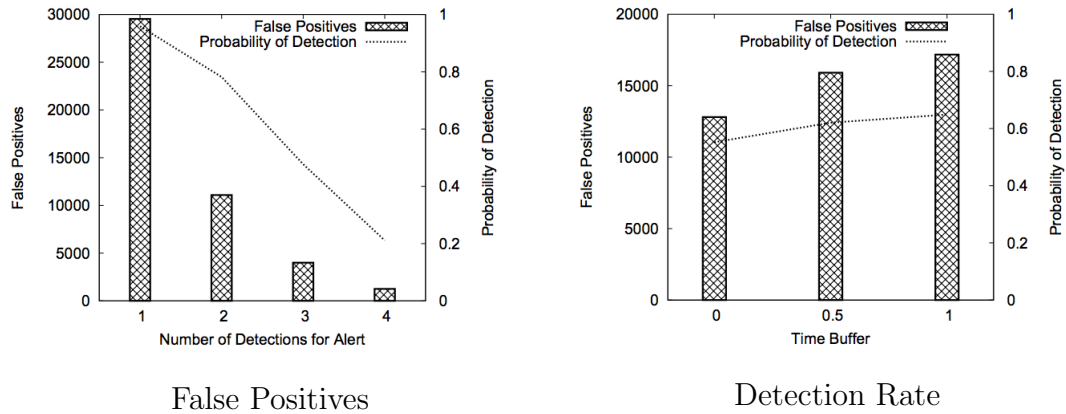


Abbildung 3: Testergebnisse (Mah M., S. 9)

Sensibilität des Systems. Will man die Wahrscheinlichkeit eine Detektion zu verzeichnen erhöhen, wird gleichzeitig die Anzahl der *False Positives* erhöht. Das Finden von Parametern, welche die Wahrscheinlichkeit von Detektionen erhöhen und gleichzeitig die Anzahl der *False Positives* minimieren, ist ein Optimierungsproblem.<sup>14</sup>

### 2.1.2 Ultra-wideband

*Ultra-wideband*<sup>15</sup> (**UWB**) ist eine weitere Methode Objekte zu lokalisieren. Bei **UWB** werden sehr große Frequenzbereiche zur Nahbereichskommunikation verwendet. Dabei werden vier Arten von UWB-Imaging<sup>16</sup> unterschieden:<sup>17</sup>

- **Ground Penetrating Radar:** Detektion vergrabener Objekte
- **Wall Imaging:** Detektion von Objekten innerhalb dichter Wände
- **Through-wall Imaging:** Detektion von Objekten oder Personen auf der anderen Seite einer Wand
- **Medical Imaging:** Verwendung für medizinische Zwecke

Das erste System, was eine Überwachung durch Wände ermöglichte, verwendete Signale mit einer Frequenz zwischen 902 und 928 MHz. Dieses System war in der Lage sich bewegende Objekte mit bis zu 1.5 m/s zu detektieren. Wurde eine Bewegung detektiert, so wurde vom Empfänger ein akustisches Signal ausgelöst. Der Nachteil dieses Systems war jedoch, dass das Signal Wände mit Spiegeln oder allgemein nasse Wände nur schlecht penetrieren konnte. Systeme, die hingegen auf **UWB** basieren, verwenden Frequenzen von 3.1 bis 10.6 GHz, die eine Penetration von Wänden ermöglichen. Darüber hinaus sind diese Systeme resistenter gegenüber Interferenz sowie Multipath-Fading<sup>1819</sup>

<sup>14</sup>Vgl. ebd. S. 9

<sup>15</sup>Z. Dt. Ultrabreitband

<sup>16</sup>Z. Dt. Darstellung

<sup>17</sup>Vgl. Deak G., Curran K. & Condell J., S. 12

<sup>18</sup>Z. Dt. Mehrwegempfang

<sup>19</sup>Vgl. ebd.

**UWB**-Systeme beheben viele der Probleme, die bei *Narrowband*-Systemen<sup>20</sup> entstehen können, gleichzeitig gibt es, wie bei jedem System, aber auch Kehrseiten. Zwar wurden Experimente mit **UWB**-Lokalisierungssystemen durchgeführt, es gibt jedoch keine einheitlichen Methoden zur Detektion von Objekten und zur Verarbeitung der Signale. Ebenso muss in der Mehrheit der existierenden Systeme eine Lerndatenbank gepflegt werden, die erstellt werden muss bevor die eigentliche Lokalisierung vonstattengehen kann.<sup>21</sup>

Abschließend kann man sagen, dass Systeme, die auf Radiosignalen basieren ihren Zweck erfüllen, es jedoch kein universelles System gibt und man je nach Einsatzgebiet ein passendes Verfahren auszuwählen hat.

## 2.2 Passive Infrarot-Lokalisierung

Die passive Infrarot-Lokalisierung (**PIL**) basiert auf der Körperwärmestrahlung einer Person bzw. eines Objektes. Der thermische Unterschied eines Objektes im Vergleich zu seiner Umgebung kann dabei zur Lokalisierung und Bewegungsverfolgung (Tracking) ausgenutzt werden. Die untere Abbildung zeigt die unterschiedliche Wärmestrahlung einer Person und gegenüber seiner Umgebung.



Abbildung 4: Wärmestrahlung einer Person (Technische Universität Dortmund (2015))

Die Detektion der Wärmestrahlung wird durch sogenannte Thermopiles<sup>22</sup> realisiert.<sup>23</sup> Dabei handelt es sich um elektronische Bauelemente, welche thermische Energie in elektrische Energie umwandeln.<sup>24</sup> Um eine Person zu lokalisieren bzw. zu tracken, werden mehrere dieser Sensoren im Raum positioniert, um die thermischen Unterschiede zu messen. Auf Grundlage der so ermittelten Daten können anschließend mit Hilfe spezieller Algorithmen die Sichtwinkel auf die entsprechende Person berechnet werden. Durch Triangulation kann durch diese Winkel die Position eines Objektes bestimmt werden.<sup>25</sup> Die untere Abbildung skizziert dieses Verfahren.

<sup>20</sup>Z. Dt. Schmalband

<sup>21</sup>Vgl. Kilic Y., Wymeersch H., Meijerink A., Bantum M. & Scanlon W., S. 1

<sup>22</sup>Z. Dt. Thermosäulen

<sup>23</sup>Vgl. Technische Universität Dortmund 2015

<sup>24</sup>Vgl. Kemper 2010, S. 33

<sup>25</sup>Vgl. Technische Universität Dortmund 2015

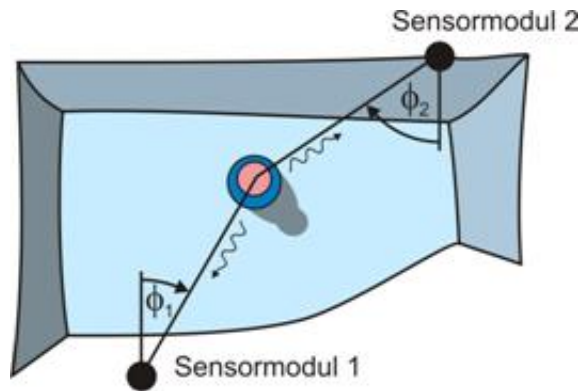


Abbildung 5: Lokalisierung durch Triangulation (Technische Universität Dortmund (2015))

Der Vorteil dieser Methode liegt nicht nur in der Tatsache, dass ein zu lokalisierendes Objekt keine zusätzliche Hardware mitführen muss. Durch den Verzicht bildgebender Sensoren wird zusätzlich ein Schutz der Privatsphäre gewährleistet.<sup>26</sup> Weiterhin ist diese Art der Lokalisierung gegenüber anderen Methoden vergleichsweise kostengünstig.<sup>27,28</sup> Da sich die Kosten für Bauteile und Sensoren rasant verändern, ist diese Aussage keinesfalls allgemeingültig.

## 2.3 Differential Air Pressure

Eine weitere Möglichkeit der Lokalisierung bietet die Messung der Luftdruckschwankungen, die durch ein sich bewegendes Objekt ausgelöst werden. Wenn eine Person eine Tür öffnet, hat dies eine, durch entsprechende Sensoren messbare, kurzzeitige Veränderung des Luftdrucks innerhalb eines Systems zur Folge.<sup>29</sup> Dieser Effekt tritt, in abgeschwächter Form, auch beim Passieren eines Engpasses, z.B. eines Türrahmens, auf. Die folgende Abbildung zeigt die Veränderung der Messwerte beim Öffnen/Schließen einer Tür (links) und beim Durchschreiten des Türrahmens (rechts).

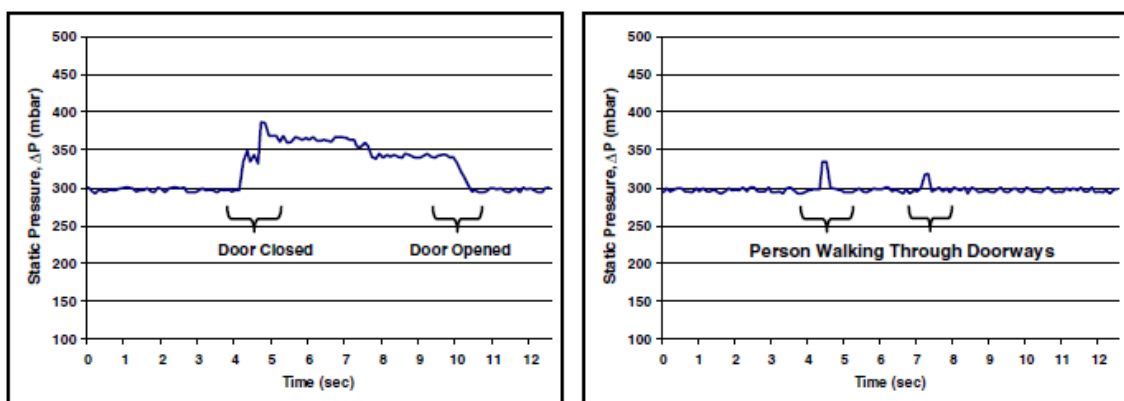


Abbildung 6: Detektion von Bewegungen durch Luftdruckänderungen( Patel Shwetak N., Reynolds Matthew S., Abowd Gregory D., S. 7)

<sup>26</sup>Vgl. Kemper 2010, S. 149

<sup>27</sup>Vgl. Kemper 2010, S. 149

<sup>28</sup>Vgl. Deak G., Curran K. & Condell J., S. 7

<sup>29</sup>Vgl. Deak G., Curran K. & Condell J., S. 13

Im Gegensatz zu vielen anderen Lokalisierungsmethoden müssen die Sensoren zur Datenerfassung nicht an vielen Stellen des Raumes angebracht werden. Die meisten modernen Häuser verfügen über eine Klimaanlage, welche die Bewohner des Hauses einerseits mit Frischluft versorgt und andererseits die verbrauchte Luft aus dem Haus leitet.<sup>30</sup> Dieses Lüftungssystem wird bei der Differential Air Pressure-Methode genutzt, um die Veränderungen des Luftdrucks an einer zentralen Stelle zu erfassen. In der folgenden Abbildung ist ein Klimaanlage-System eines Hauses abgebildet.

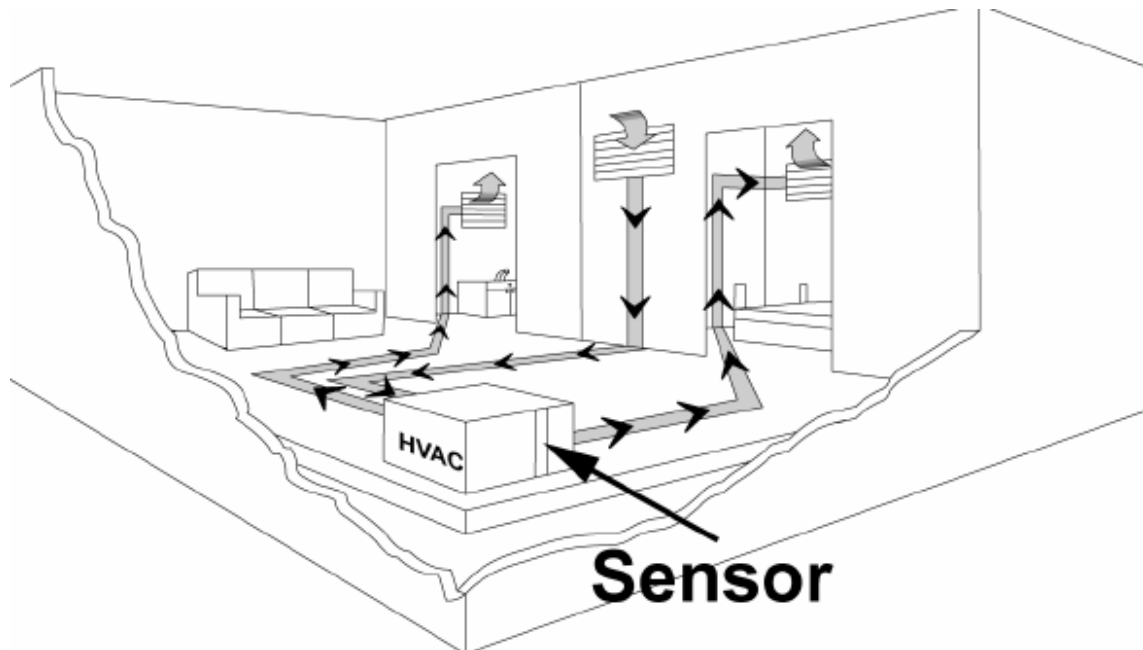


Abbildung 7: Detektion von Bewegungen durch Luftdruckänderungen( Patel Shwetak N., Reynolds Matthew S., Abowd Gregory D., S. 7)

Da die Sensoren in der zentralen Stelle angebracht werden können, kann auf die Installation zusätzlicher Hardware innerhalb des Wohnbereichs verzichtet werden. Der Nachteil dieser Methoden liegt in der relativ geringen Genauigkeit bei der Positionsbestimmung. Man kann zwar sagen, in welchem Raum sich eine Person befindet, nicht jedoch an welcher Stelle des Raumes.

## 2.4 Physical Contact

Die naheliegendste Lösung zur Lokalisierung einer Person stellt der physische Kontakt einer solchen zu seiner Umgebung dar.

## 2.5 Projekt: GravitySpace

## 2.6 Computer-Vision

Auch Computer-Vision kann als **DfP**-System betrachtet werden, da ein potentieller Nutzer keine zusätzliche Hardware am Körper tragen muss. Das Ziel dieses Systems ist, eine Umgebung zu schaffen, die auf die Position und das Verhalten einer Person

<sup>30</sup>Patel Shwetak N., Reynolds Matthew S., Abowd Gregory D., S. 2

reagiert (intelligente Umgebung).<sup>31</sup>  
Es ist beispielsweise vorstellbar, dass  
Test

## 2.7 Fazit und Ausblick

In dieser Ausarbeitung wurden verschiedene Methoden zur Lokalisierung und Bewegungsverfolgung von Person innerhalb von Gebäuden vorgestellt. Dabei wurden die Funktionsweisen der jeweiligen Methoden erläutert und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass jede Methode seinen Einsatzzweck hat und der Vergleich der Technologien untereinander nur bedingt sinnvoll ist. Abhängig vom Einsatzzweck liegt das Augenmerk auf unterschiedlichen Eigenschaften und Anforderungen. Nicht jede Methode kann den entsprechenden Anforderungen gerecht werden. Obwohl die vorgestellten Systeme im Grunde die gleiche Aufgabe erfüllen, so unterscheiden sie sich doch in vielerlei Punkten. Die Genauigkeit, der Installationsaufwand und letztlich auch der Preis stellen hier nur einige dieser Punkte dar.

Im Laufe der Zeit werden die Bauteile für solche Systeme voraussichtlich immer günstiger, wodurch der finanzielle Aspekt zunehmend vernachlässigbar werden wird. Der technologische Fortschritt wird weiterhin präzisere und kleine Sensoren mit sich bringen, wodurch eine Bewertung der verschiedenen Systeme in einigen Jahren deutlich andere Ergebnisse liefern würde.

---

<sup>31</sup>Vgl. Deak G., Curran K. & Condell J., S. 13

### 3 Quellenverzeichnis

#### Literaturquellen

Sample

#### Sonstige Quellen

**Deak G., Curran K. & Condell J.** A survey of active and passive indoor localisation systems (2012), Online unter URL : <http://scisweb.ulster.ac.uk/~kevin/comcomsurvey.pdf>

**Ehrlich, I.:** Indoor Localization (2006), Online unter URL: <http://ifgi.uni-muenster.de/~muellerj/lbs06/proceedings/3-IndoorLocalization.pdf>

**Kemper J.:** Passive Infrarot-Lokalisierung (2010), Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Technischen Universität Dortmund, Dortmund, Online unter URL: <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/27428/1/PIL.pdf>

**Kilic Y., Wymeersch H., Meijerink A., Bentum M. & Scanlon W.:** Online unter URL: <http://arxiv.org/pdf/1303.4092.pdf>

**Kivimäki T., Vuorela T., Peltola P. & Vanhala J.:** A Review on Device-Free Passive Indoor Positioning Methods (2014), Online unter URL: [http://www.se-rsc.org/journals/IJSH/vol8\\_no1\\_2014/9.pdf](http://www.se-rsc.org/journals/IJSH/vol8_no1_2014/9.pdf)

**M. Mah:** Device-Free Passive Localization (2007), Online unter URL: [https://www.cs.umd.edu/sites/default/files/scholarly\\_papers/MatthewMah\\_1.pdf](https://www.cs.umd.edu/sites/default/files/scholarly_papers/MatthewMah_1.pdf)

**Pirzada N., Nayan Y., Subhan F., Hassan F., Khan M.:** Device-Free Localization Technique for Indoor Detection and Tracking of Human Body (2013), Online unter URL: [http://ac.els-cdn.com/S187704281402878X/1-s2.0-S187704281402878X-main.pdf?\\_tid=7bc6ad0e-12a4-11e5-95f4-00000aab0f02&acdnat=1434293516\\_4a2274a0ebfb932cf57c3f4f652c668f](http://ac.els-cdn.com/S187704281402878X/1-s2.0-S187704281402878X-main.pdf?_tid=7bc6ad0e-12a4-11e5-95f4-00000aab0f02&acdnat=1434293516_4a2274a0ebfb932cf57c3f4f652c668f)

**Patel Shwetak N., Reynolds Matthew S., Abowd Gregory D.:** Detecting Human Movement by Differential Air Pressure Sensing in HVAC System Ductwork: An Exploration in Infrastructure Mediated Sensing (2008), College of Computing, School of Interactive Computing, & GVU Center Georgia Institute of Technology, Online unter URL: <https://dub.washington.edu/djangosite/media/papers/tmpqiqC-3.pdf>

**Technische Universität Dortmund:** TU Dortmund, Fakultät ETIT, IRF, IT, Forschung, Embedded Systems, Projekte, PIL, DFG-Projekt: Passive Infrarot-Lokalisierung, Online unter URL: [http://www.irf.tu-dortmund.de/cms/de/IT/Forschung/Embedded\\_Systems/Projekte/PIL/index.html](http://www.irf.tu-dortmund.de/cms/de/IT/Forschung/Embedded_Systems/Projekte/PIL/index.html), Abruf: 2015-06-15