

5 Zusammenfassung und Ausblick

Aus einer umfassenden Literaturrecherche ergibt sich eine Aufzählung von Eigenschaften und Körperfunktionen des Menschen, welche zur Personenerkennung genutzt werden können. Aufbauend darauf werden einige Sensorklassen zur Untersuchung ausgewählt, wobei hier auch praktische Punkte, wie ein begrenztes Budget oder ein vertretbarer Aufwand bei der Implementierung, berücksichtigt werden. Verwendet werden pyroelektrische Sensoren, Thermosäulen(arrays), Radar, ein CO₂-Sensor und die Messung der Raumkapazität. Bei den Infrarotsensoren wird zunächst eine Flächenbetrachtung durchgeführt, nach der eine Person einen möglichst großen Anteil innerhalb der Detektionsfläche einnehmen sollte, damit sie möglichst sicher erkannt werden kann. Um beim Radar die Anforderungen an die Signalauswertung abschätzen zu können, wird eine Simulation des erwarteten Ausgangssignals durchgeführt. Das daraus resultierende Ergebnis lässt erwarten, dass die Atemfrequenz im Spektrum identifiziert werden kann, sofern sich eine Person im Erfassungsbereich des Radars aufhält. Da das Mischerausgangssignal zur direkten Auswertung eine zu kleine Amplitude hat, werden Überlegungen zu Verstärkerschaltungen mit OPVs angestellt. Diese ergeben, dass die Verstärkerschaltungen nicht in Sättigung gehen sollten, wenn man beabsichtigt das Spektrum des Signals auszuwerten. Gewöhnliche Bewegungen rufen am Mischerausgang eine weitaus größere Amplitude (Störsignal) als Atmung oder Herzschlag (Nutzsignal) hervor. Eine Sättigung der Verstärkerschaltungen tritt also vor allem durch das Störsignal auf. Daher wird eine Überlegung zu einer Logarithmierschaltung angestellt, die das Nutzsignal gegenüber dem Störsignal anheben soll. Es zeigt sich jedoch, dass dies real nur dann möglich wäre, wenn Nutz- und Störsignal zeitlich versetzt am Mischerausgang auftreten würden, was jedoch nicht der Fall ist. Auch beim CO₂-Sensor und der Raumkapazität wird dargelegt, weshalb diese in Versuchen näher auf ihre Tauglichkeit zur Personenerkennung untersucht werden sollen.

Der Aufwand zur Inbetriebnahme ist beim Thermosäulenarray MLX90621 und beim Radar-Transceiver K-LC1a deutlich höher als bei den anderen Sensoren. Beim MLX90621 sind Initialisierung und Berechnungsprozeduren relativ aufwendig, außerdem ist die werkseitige Kalibrierung nicht zufriedenstellend. Um eine akzeptable Kalibrierung zu erreichen, wird ein numerischer Optimierungsalgorithmus angewendet. Beim K-LC1a sind sowohl analoge als auch digitale Signalverarbeitung mit erhöhtem Aufwand verbunden. Die zunächst aufgebaute Verstärkerschaltung stellt sich als untauglich heraus, sodass eine andere, dreistufige OPV-Verstärkerschaltung entwickelt wird. Mit dieser ist die Messung des Mischerausgangssignals in angemessener Weise möglich, sodass es mittels Frequenzanalyse ausgewertet werden kann.

Eine Person, die sich nicht bewegt, kann mit einem pyroelektrischen Sensor nicht detektiert werden. Verwendet man jedoch einen Sensor wie den AMN22111, mit analogem Ausgang, so können am Ausgangssignal bereits Bewegungen, wie sie bei gewöhnlicher Büroarbeit auftreten, detektiert werden. Mit entsprechender Empfindlichkeit und Zeitsteuerung können mit pyroelektrischen Sensoren also auch relativ still sitzende Personen erkannt werden. Diese Sensorklasse funktioniert passiv. Bei den Versuchen konnten keine Querempfindlichkeiten festgestellt werden. Günstige Sensoren haben zudem relativ große Erfassungsbereiche. Mit *einem* pyroelektrischem Sensor ist es jedoch nicht möglich, die Position einer Person näher zu bestimmen. Er kann lediglich erkennen ob sich eine Person im Erfassungsbereich bewegt oder nicht.

Die Thermosäulen(arrays) haben hingegen den Vorteil, dass auch unbewegte Personen erkannt werden können. Es existieren jedoch problematische Querempfindlichkeiten zu „warmen“ Geräten (z.B. Labornetzteil). Berücksichtigt man die Empfindlichkeit und den Erfassungsbereich, so erreichen die verwendeten Thermosäulen(arrays) nicht das Preis-Leistungs-Verhältnis von pyroelektrischen Sensoren. Aufgrund ihrer Fähigkeit zur Temperaturmessung von unberührten Objekten kann man mit den Arrays jedoch die Temperaturverteilung im Raum sichtbar machen. Eine Positionsbestimmung der Person ist bereits mit *einem* Array möglich.

Beim Radar ist, wie auch bei den pyroelektrischen Sensoren, die Variante mit analogem Ausgangssignal zu bevorzugen, da diese mehr nutzbare Informationen liefert. Auch beim Radar existieren Querempfindlichkeiten zu anderen bewegten Objekten. Über die Analyse des Spektrums des verstärkten Mischerausgangssignals ist es jedoch in gewissen Grenzen möglich, zwischen menschlichen und nichtmenschlichen Bewegungen zu unterscheiden. Das Radar hat bei den verwendeten Sensorprinzipien das größte Produkt aus Reichweite und Empfindlichkeit. Außerdem kann es Materialien (z.B. Holz) ohne Funktionsverlust durchdringen, durch welche Infrarotstrahlung nicht hindurchtritt. Seine Stärke zeigt das Radar besonders bei der Erkennung von unbewegten Personen, wobei bewegte Personen ohnehin erkannt werden. Im Spektrum des Ausgangssignals kann bei 5 m Abstand zwischen Sensor und Person die Atemfrequenz der Person als deutlicher Peak identifiziert werden. Es tritt hier weder die Querempfindlichkeit einer Thermosäule zu anderen „warmen“ Objekten auf, noch die Problematik des pyroelektrischen Sensors, welcher unbewegte Personen nicht erkennen kann. Mit *einem* Radar-Transceiver kann hier jedoch ebenso nicht festgestellt werden, wo im Erfassungsbereich des Sensors sich die Person befindet.

Die Personenerkennung mittels CO₂-Sensor ist prinzipiell möglich. Da das ausgeatmete CO₂ jedoch zunächst den Sensor erreichen muss und dieser an sich relativ träge reagiert, ist dieses Messsystem für den geplanten Anwendungsfall der Raumklimatisierung zu träge.

Weiterhin wird die Möglichkeit der Personenerkennung über die Änderung der Raumkapazität praktisch nachgewiesen. Die Kapazitätsänderung steigt mit der Frequenz und bei 2 MHz beträgt die maximale Kapazitätsänderung durch eine Person zwischen Heizmatten an der Decke und Stahlblech am Boden 30 pF.

Außer beim Radar beschäftigt sich diese Arbeit nicht näher mit der Entwicklung von Auswerte- bzw. Entscheidungskriterien, anhand derer Algorithmen aus den Messdaten ermitteln können, ob und wo sich eine Person im Raum befindet. Die Entwicklung solcher Kriterien und Algorithmen ist ein notwendiger Schritt für ein funktionierendes Gesamtsystem. Dazu ist es weiterhin zielführend mehrere Sensoren zu verwenden und auszuwerten, was auch einen konkreten Hardwareaufbau voraussetzt. Bei der Kombination der Systeme aus Raumklimatisierung und Personenerkennung ist es erstrebenswert, Sensordaten für die Personenerkennung auch für die Regelung der Raumklimatisierung verwenden zu können. Welches Sensorprinzip oder welche Sensorprinzipien unter der Berücksichtigung dieses Aspekts am geeignetsten sind, bleibt ebenfalls zu untersuchen.

Abstrahiert man die Aufgabenstellung von der vorliegenden Arbeit, so besteht die Aufgabe des Gesamtsystems darin, den Willen der Person (angenehm klimatisierter Raum), ohne dass diese ihren Willen aktiv äußern muss (automatisch), zu erkennen und umzusetzen. In [73] kann bereits drahtlos über Elektroenzephalografie (EEG) ermittelt werden, ob eine Person die Augen geöffnet oder geschlossen hat. In [74] wird versucht unterschiedliche Gehirnaktivitäten mit Mikrowellenradiometrie zu erkennen und auf dem Gebiet der Verbindung zwischen dem menschlichen Gehirn und einer Maschine wird intensive Forschung betrieben [75–77]. Der Einsatz solcher oder vergleichbarer Technologien ist für die nahe Zukunft daher durchaus denkbar.