

6 Robotik in der Pflege

Inhalt

6	Robotik in der Pflege	233
6.1	Bemerkungen zur unterrichtlichen Behandlung von Robotik in der Pflegeausbildung	234
6.2	Modell zur didaktischen Strukturierung von Lerneinheiten im Kontext der Pflegerobotik	234
6.3	Technische Grundlagen der Pflegerobotik	236
6.4	Quellen	248

6.1 Bemerkungen zur unterrichtlichen Behandlung von Robotik in der Pflegeausbildung

Jan Landherr, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Der zunehmende Einsatz von technischen Innovationen im pflegerischen Handeln wird Arbeitsprozesse und Arbeitsinhalte nachhaltig verändern. Dies wirkt sich auch auf die Qualifikationsanforderungen im gesamten Pflegebildungsbereich aus. Der berufliche Umgang und die professionelle Interaktion mit neuen und innovativen Pflegetechnologien setzt die angemessene Qualifikation von Pflegefachpersonen heraus. Neben den Qualifikationswegen durch Fort- und Weiterbildungen müssen die Voraussetzungen für den Umgang mit diesen Technologien bereits in der Ausbildung gelegt werden. Die Einführung der neuen Ausbildungs- und Prüfungsverordnung für die Pflegeberufe auf Grundlage des Pflegeberufgesetzes regelt hierbei die Ausbildungsinhalte und -strukturen und formuliert Kompetenzen für die Zwischen- und Abschlussprüfungen und kann daher als Anforderungskatalog an die Auszubildenden verstanden werden.

Bei genauer Betrachtung der Kompetenzen fällt auf, dass innovative und digitale Technologien in der Ausbildungs- und Prüfungsverordnung nur in geringem Maße berücksichtigt wurden. Weiter gehen die Rahmenlehrpläne der Fachkommission nach §53 des Pflegeberufgesetzes, in denen zum Beispiel die Nutzung digitaler Informations- und Kommunikationstechnologien für den Wissenserwerb, digitale Pflegedokumentationssysteme, digitale Notfall-Informations- und Frühwarnsysteme, digitale Assistenzsysteme, Smart-Home-Technik und digitale Hilfsmittel thematisiert werden. Robotische Systeme finden hingegen keine Berücksichtigung, weshalb die Implementierung jener Themen und deren Verortung in den schuleigenen Curricula den Pflegeschulen überlassen wird. Wippich und Klein (2022, S. 824) fassen die Lage so zusammen: „Trotz des offensichtlichen Bedarfs fehlen bis dato pflegewissenschaftlich und pädagogisch legitimierte Unterrichtsinhalte und Unterrichtskonzepte zum Thema ‚Robotik in der Pflege‘.

Herausfordernd ist hierbei nicht nur das Einräumen eines adäquaten zeitlichen Rahmens und die Verortung in die eigenen Lehrpläne, sondern auch das Einarbeiten in ein neues Thema, dessen inhaltliche Seite sehr stark technisch und erst einmal weniger pflegerisch geprägt ist. Dies kann zu Berührungängsten und Unsicherheiten führen, sowohl auf Seiten der Lernenden als auch bei den Lehrenden.

Aufgabe der Lehrkräfte ist es, Kontexte zu schaffen, in denen Roboter unterrichtlich behandelt und entsprechend den curricularen Einheiten eingesetzt werden können. Während Roboter wie Pepper von der Konstruktion und Funktionalität her leicht in pflegerische Settings integriert werden können, ist die Nutzung kollaborativer Roboter(-arme) eine durchaus nicht zu unterschätzende Aufgabe: Ursprünglich nicht für die Arbeit im körpernahen Bereich vulnerabler Personen entwickelt, ergeben sich für den Unterricht dadurch besondere ethische, rechtliche, soziale und ökonomische Implikationen. Das Ziel der unterrichtlichen Thematisierung sollte daher sein:

“Um Auszubildende dazu zu befähigen, aktuelle Entwicklungen von Robotik in der Pflege einschätzen, reflektiert, umsetzen und ggf. mitgestalten zu können, ist es erforderlich, relevante Unterrichtsinhalte zu ermitteln, die grundlegend zur Erlangung dieser Fähigkeiten beitragen.“ (vgl. Wippich und Klein, 2022, S. 824)

Um die Entwicklungen in der Robotik, der erste der genannten Punkte, richtig einschätzen zu können, kann im Unterricht die Geschichte der Robotik thematisiert werden: Seit wann gibt es Roboter, wo wurden sie eingesetzt und weshalb treten sie bisher vor allem in bestimmten industriellen Bereichen auf? Zudem sollten die Auszubildenden etwas über verschiedene robotische Systeme erfahren und welche Kategorien von Robotern es gibt: Gleichen sich alle „Pflegeroboter“ oder gibt es für bestimmte Einsatzzwecke besondere Roboter? Was unterscheidet sie? In dieser Frage steckt bereits ein antizipatorisches Moment, wenn die Auszubildenden er- und begründen, für welche pflegerischen Tätigkeiten welche Funktionen und technische Ausführungen benötigt werden. So ist für die Lagerung von zu Pflegenden Personen ein anderer Endeffektor vonnöten als für die Unterstützung bei der Nahrungsaufnahme. Damit zusammen hängen weitere technische Fragestellungen: Woher „weiß“ ein Roboter, dass er es mit einem Menschen zu tun hat und wo sich dessen Körper im Raum befindet? Die Thematisierung von Sensoren und Lösungen zur Kollisionsvermeidung soll Auszubildenden ein möglichst realistische Bild von Robotern liefern, die nicht, wie in Filmen oder Videospiele, denkende oder womöglich fühlende und intelligente Systeme sind, sondern Werkzeuge, die vom Menschen programmiert und für bestimmte Aufgaben hin konstruiert und gefertigt werden müssen.

Mit dem Wissen über unterschiedliche Roboterarten, Endeffektoren, verschiedene Sensoren und Bewegungsarten lässt sich bereits reflektieren, welchen Restriktionen der Einsatz von Robotern in pflegerischen Settings unterworfen sind.

Dieses Kompendium möchte diesen Umstand daher zum Anlass nehmen, interessierten Pflege-Lehrkräften Informationen und Anregungen für den eigenen Unterricht zu geben. Neben der zusammenfassenden Darstellung der internationalen Normen für den Einsatz von Assistenzrobotern werden auch die technischen Anforderungen an Assistenzroboter erläutert. Zudem werden verschiedene Systeme von unterschiedlichen Herstellern präsentiert.

6.2 Modell zur didaktischen Strukturierung von Lerneinheiten im Kontext der Pflegerobotik

Dani Hamade, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Die Thematisierung von Robotern in der Pflege bedingt, wie zuvor bereits angedeutet, dass eine multiperspektivische Auseinandersetzung mit der Thematik erfolgt. Man interagiert in einem interdisziplinären Handlungsfeld, in welchem es neben ökonomischen und soziokulturellen Bedingungsfaktoren viele weitere Perspektiven zu berücksichtigen gilt. Aus konstruktivistischer Sicht macht es hierbei Sinn, sich mit den subjektiven Theorien von Auszubildenden auseinanderzusetzen, um eine didaktische Strukturierung der Unterrichtsinhalte vorzunehmen. So rücken Wippich und Klein in ihrer Untersuchung (2022) die subjektiven Theorien von Auszubildenden im Hinblick auf professionelle Pflege, Anwendungsbereiche robotischer Systeme und ethische Aspekte der Pflegerobotik in den Vordergrund, um Rückschlüsse auf unterrichtsrelevante Inhalte ziehen zu können (vgl. Wippich und Klein, 2022, S. 825 ff.).

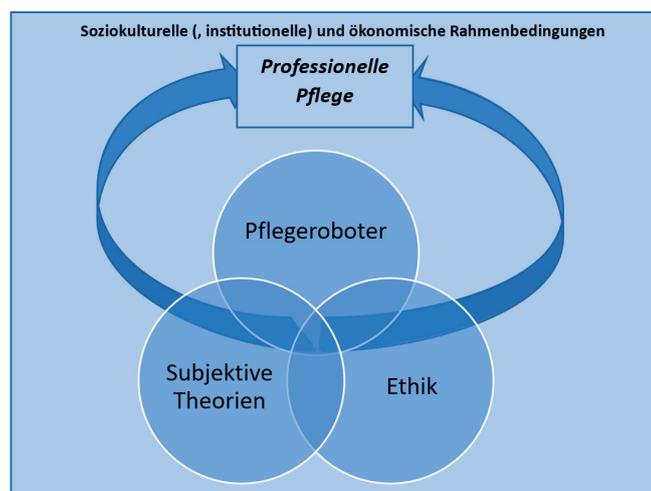


Abbildung 1: Modell zur didaktischen Strukturierung im Kontext der Pflegerobotik. In Anlehnung an die Dimensionen subjektiver Theorien von Auszubildenden nach Wippich und Klein (2022). [eigenes Werk]

Diese drei Perspektiven sollen in dem hier konstruierten Modell in den Vordergrund gerückt werden (s. Abbildung 1).

Bei den drei Perspektiven handelt es sich um unterrichtsrelevante Spannungsfelder, welche dazu genutzt werden können, die Pflegerobotik als Unterrichtsgegenstand didaktisch zu rekonstruieren. Der Perspektiven der subjektiven Theorien liegt hierbei eine zentrale Rolle inne, da diese in ständiger Wechselwirkung mit den anderen Perspektiven steht und diese maßgebend beeinflusst. So müssen subjektive Theorien im Kontext ethischer Fragestellungen in die Unterrichtsgestaltung ebenso einbezogen werden wie die Vorstellungen der Auszubildenden im Kontext des technologisch Machbaren.

Für die didaktische Strukturierung von Lernsituationen ist hierbei zunächst die Frage nach dem Verständnis von **professioneller Pflege** in den Vordergrund zu rücken. Die Pflegearbeit ist ein komplexes Unterfangen, welche insbesondere dadurch gekennzeichnet ist, dass sie äußerst situativ ist. Als ein zentrales Element professioneller Pflege kann damit einhergehend beispielsweise das hermeneutische-analytische Fallverstehen gesehen werden, welches die komplexe Fähigkeit des situativen Verstehens in Pflegesituationen bezeichnet (vgl. Dütthorn, Hülsken-Giesler und Pechuel, 2018, S. 86). Nimmt man diesen zentralen Aspekt professionellen Handelns in der Pflege und stellt ihn den einzelnen Perspektiven im Kontext der Pflegerobotik gegenüber, so ergeben sich diskussionswürdige Fragestellungen für den Unterricht. Die Schnittmengen der einzelnen Perspektiven sind hierbei als Spannungsfelder zu verstehen, müssen aber auch im Hinblick auf Synergien analysiert werden, um sinnstiftende Rückschlüsse für die didaktische Strukturierung von Lernsituationen ziehen zu können.

Bezogen auf Pflegeroboter ist hierbei zunächst die Frage der subjektiven Theorien zu klären. Welche Vorstellungen haben die Auszubildenden in der Pflege im Hinblick auf die Möglichkeiten und Limitationen von Robotern im Kontext des situativen und explorativen pflegerischen Handelns? Diese subjektiven Theorien sind der theoretischen Auseinandersetzung mit Robotern in der Pflege gegenüberzustellen, sodass Schnittmengen aber auch Dissonanzen ausgemacht und thematisiert werden können. Blickt man den subjektiven Theorien gegenüberstellend auf die Robotik und das Leistungsspektrum von Robotern, so ergeben sich zum Beispiel mögliche unterrichtsrelevante Fragestellungen im Hinblick auf die Machbarkeit im Kontext von Echtzeitanforderungen respektive im Zusammenhang zur Möglichkeit des Emotionsempfindens („Deep Acting vs. Surface Acting“) von Robotern (vgl. Afflerbach, 2021, S. 15). Weitere unterrichtsrelevante Kontexte ergeben sich beispielsweise durch die Möglichkeiten und Limitationen im Hinblick auf die sogenannte „Lernfähigkeit“ von Robotern. Hier sind insbesondere die Kontexte „Roboterlernen in der sozialen Welt“ (z. B. Körpersprache, Dialogfähigkeit und Aufmerksamkeit), „Roboterlernen in der physikalischen Welt“ (z. B. „[...]“ Regelung, Sensorik, Echtzeitanforderungen, Sicherheit, Bewegungsplanung und Energiemanagement.“ (Steil, 2019, S. 21)) und „Roboterlernen in der virtuellen Welt“ (z. B. Deep Learning Verfahren und damit einhergehende Limitationen durch Datenmengen) von Bedeutung (siehe hierzu z.B. (Steil, 2019, S. 20 f.; Mainzer und Mainzer, 2016, S. 7 f.; Zech, 2020, S. 29)). Neben der rein technologischen Betrachtung im Zusammenhang zum Leistungsspektrum von Robotern ist aber auch darauf hinzuweisen, inwiefern solche Systeme in der Praxis bereits Einsatz finden, um damit einhergehend zu beleuchten, welche ökonomischen Einflussfaktoren hierbei ebenfalls zum Tragen kommen (s. hierzu z. B. Wahl, Mombaur und Schubert, 2021, S. 64).

Hat man ein Bewusstsein dafür geschaffen, was auf dem Gebiet der Pflegerobotik technisch möglich ist, so kann man sich mit der ethischen Perspektive als bewertende Perspektive im Hinblick auf das professionelle pflegerische Handeln auseinandersetzen. Auch hier sind subjektive Theorien zu berücksichtigen. Welche ethischen Aspekte stellen die Auszubildenden im Kontext der Robotik in den Vordergrund und wie kann man an diese anknüpfen, um einen ethisch verantwortlichen Umgang mit Robotern in der Pflege zu diskutieren? Wippich und Klein (2022) haben im Zuge ihrer Untersuchung folgende Schwerpunkte auf Seiten der subjektiven Theorien von Auszubildenden im ethischen Zusammenhang herausgestellt:

”

1. Beziehungsgestaltung durch robotische Systeme
2. Roboter als mögliche Interaktionspartner und Informationsgeber
3. Beschäftigungs- und Aktivierungsangebote durch Robotik
4. Übernahme von Körperpflege durch Robotik
5. Unterstützung für zu Pflegende, Angehörige und Pflegende
6. Sicherheit des Patienten
7. Datenschutz
8. Ersatz von Pflegepersonal durch Robotik
9. Entwicklung im und Auswirkungen auf den Pflegeberuf

” (Wippich, Klein, 2022, S. 829)

Es zeigt sich, dass sich hier durchaus Schnittmengen mit der Auseinandersetzung der technologischen Perspektive auf Pflegeroboter ergeben. Insbesondere die Aspekte der Sicherheit, Roboter als Interaktionspartner oder Beziehungsgestaltung durch robotische Systeme docken unmittelbar an die vorherige Auseinandersetzung mit der technischen Machbarkeit an.

Als geeignete Anknüpfungspunkte an diese subjektiven Theorien schlagen Wippich und Klein im Zusammenhang zur unterrichtlichen Auseinandersetzung den Bezug zur Stellungnahme des Deutschen Ethikrates im Hinblick auf Pflegeroboter und zu dem MEESTAR-Modell her, welche hier ebenfalls als geeignet angesehen werden (vgl. Wippich und Klein, 2022, S. 830).

Diese Schnittstellen zwischen ethischer und technologischer Perspektive sind auf das hermeneutisch-analytische Fallverstehen pflegerischen Handelns als zentrales Element zurück zu beziehen, um das Wirkungsgeflecht aus den verschiedenen Perspektiven zu einer professionsbezogenen Einheit zu schließen. Es zeigt sich, dass die Wirkungsdimension eng miteinander zusammenhängen und sich diskussionswürdige Spannungsfelder während der Durchleuchtung der einzelnen Perspektiven in Verbindung mit der Auseinandersetzung im Kontext subjektiver Theorien von Auszubildenden ergeben können. Das Modell bietet demnach eine Möglichkeit, die Pflegerobotik im Kontext der Unterrichtsgestaltung, bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Prinzipien professionellen pflegerischen Handelns, aus konstruktivistischer Sichtweise sinnstiftend und vor allem umfassend zu integrieren.

6.3 Technische Grundlagen der Pflegerobotik

Yves Korte-Wagner, Tobias Neiß-Theuerkauff, Frank Wallhoff, Jade Hochschule Studienort Oldenburg

Das Thema Robotik in der Pflege unterliegt gegenüber der gewöhnlichen, industriell genutzten Robotik zusätzlichen Herausforderungen. Die dort eingesetzten Systeme sollen unmittelbar mit Menschen interagieren. Unabhängig davon, ob es sich bei dem interagierenden Menschen um die pflegende oder um die gepflegte Person bzw. Patientin oder Patient handelt. Es gibt also mindestens zwei zu berücksichtigende Anwenderebenen an die das robotische Assistenzsystem angepasst werden muss. Akzeptanz, Ethik und Sicherheit spielen dabei eine große Rolle. Der demografische Wandel, der Fachkräftemangel und die besonderen Arbeitsbedingungen in der Pflege sind nur einige Gründe, warum Robotik in der Pflege unterstützen kann (vgl. Wallhoff, Vox und Theuerkauff, 2019).

Ein technisches Assistenzsystem kann dabei viele verschiedene Formen annehmen. Je nach Aufgabe, Umgebung und Umsetzung des Assistenzsystems, müssen auch entsprechende Sicherheitsfunktionen vorhanden sein, die eine Gefährdung des Menschen im besten Fall ausschließen oder minimieren. Daher unterliegt jedes Assistenzsystem einer Risikobeurteilung. Welche Risiken entstehen können und unter welchen Bedingungen eine Sicherheitsfunktion entwickelt und getestet werden muss, wird von den internationalen Normen vorgegeben.

Die Anforderungen und verfügbaren Technologien zeigen den anwendenden Personen auch die Grenzen der Assistenzroboter auf. Das Wissen über diese Limitierungen hilft das Verhalten eines Systems zu verstehen und auf unvorhersehbares Verhalten richtig zu reagieren. Bei ungünstigen Situationen könnte es sonst zu Gefährdungen kommen, was vermieden werden muss. In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Sicherheitstechniken betrachtet und vorgestellt, die in Assistenzrobotern typischerweise wiederzufinden sind.

6.3.1 Internationale Normen

Die Sicherheitskonzepte von Maschinen, Robotern oder Assistenzsystemen unterliegen, wie es auch bei anderen Maschinen oder Geräten der Fall ist, den internationalen Normen. Angefangen von der allgemeinen Maschinensicherheit, der Sicherheitsanforderung von Industrierobotern, Flurförderfahrzeugen und Servicerobotern, bis hin zum sichereren Betrieb von kollaborierenden Robotern und Assistenzsystemen.

In Abbildung 2 ist eine Übersicht der relevanten Normen für den Bereich Robotik dargestellt. Zu sehen ist, dass es sich bei einigen DIN-Normen um Ableitungen bzw. Ergänzungen einer vorigen Norm handelt. Bekanntermaßen wird im Bereich der Pflege kein Industrieroboter verwendet. Dennoch ist es sinnvoll, die Ergänzungen und Ableitungen der allgemein gültigen Normen für Industrieroboter zu betrachten, da viele der Sicherheitsanforderungen auch für Assistenzsysteme gelten.

Die Normen werden vor finaler Herausgabe bereits als Entwurf zur Verfügung gestellt. Finalisierte Normen können weiterentwickelt und Ergänzt werden, was den Jahreszahlen hinter der Normbezeichnung zu entnehmen ist.

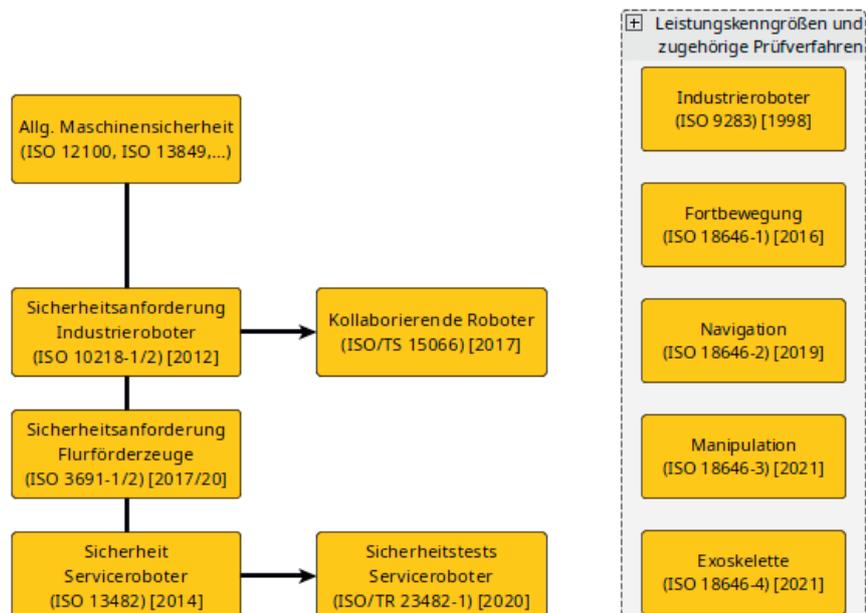


Abbildung 2: Übersicht der relevanten Normen im Bereich Robotik [eigenes Werk]

Im Folgenden werden zunächst die allgemeinen Sicherheitstechniken aus Sicht der internationalen Normen betrachtet, die für Industrieroboter und Assistenzsysteme gelten. Der besondere Fall des kollaborierenden Betriebs wird danach im Abschnitt *Mensch-Roboter-Kollaboration* genauer betrachtet.

6.3.1.1 Mögliche Gefährdungen durch Assistenzroboter

Die Norm DIN ISO 13482 befasst sich mit den Sicherheitsanforderungen und mit den ausgehenden Gefährdungen von Assistenzrobotern (vgl. DIN e.V. (Hrsg.), 2014).

Energiespeicherung und Versorgung

Bei batteriebetriebenen Assistenzrobotern sollte stets die Betriebsanleitung herangezogen werden. Bspw. sollte der Anwender sich bewusst machen, ob das System bei vollem Akku von der Ladestation genommen werden muss oder ob die Akkus in irgendeiner Weise gewartet werden müssen. Es existieren auch Assistenzroboter, die zum Laden in einen bestimmten Betriebsmodus geschaltet werden müssen. Die Ladkontakte am Roboter sowie an der Ladestation sollten vor unbeabsichtigtem Kontakt mit dem Menschen geschützt sein. Auch die Art in welcher Umgebung (Luftfeuchtigkeit, Raumtemperatur, drinnen oder draußen) geladen werden darf, könnte eingeschränkt sein. Im Bezug auf die Pflege sollte der Ladevorgang nicht in einem Aufenthaltsraum stattfinden, sondern besser in einem separaten Raum, der nur befugtem Personal zugänglich ist. Es ist davon auszugehen, dass die gepflegten Personen bzw. Patienten keine Sicherheitseinweisung erhalten haben und Gefährdungen durch falsche Bedienung hervorgerufen werden könnten.

Einschalten und Wiederaufnahme des Normalbetriebs

Ebenfalls sollte sich bewusst gemacht werden, was beim Einschalten des Assistenzroboters in Bezug auf eine mögliche Anfahrtsbewegung passiert, oder auch wie sich das System bei Rückstellung eines Sicherheitsstopps oder Not-Halte-Stopp verhält. Der/die Anwender*innen dürfen nicht von plötzlichen Bewegung überrascht werden.

Form des Roboters

Je nach Einsatzgebiet des Roboters müssen scharfe und spitze Kanten vermieden werden. Je nach Konstruktion können gerade bei beweglichen Teilen Quetschungen o.ä. auftreten. Dies lässt sich nicht immer zuverlässig bei der Konstruktion vermeiden.

Emissionen und fehlende Wahrnehmung durch den Menschen

Der Assistenzroboter darf im Betrieb nicht so laut werden, dass Personen im Umfeld beeinträchtigt werden. Andererseits sollte bspw. ein Transportsystem akustisch auf sich aufmerksam machen, damit es von anderen Menschen wahrgenommen werden kann und die Gefahr von möglichen Zusammenstößen verringert wird.

Lichtsignale können bei Personen mit eingeschränktem Hörvermögen zusätzlich hilfreich sein. Hier muss im Rahmen der Pflege ein besonderes Bewusstsein dafür entwickelt werden, welche Personen mit dem Assistenzroboter in Kontakt treten und wie diese den Roboter wahrnehmen.

Umgebungsbedingungen

Nicht jeder Assistenzroboter wird für alle prinzipiell möglichen Umgebungsbedingungen entwickelt. Staubige oder sandige Umgebungen könnten Luftschlitze verstopfen oder Lüfter blockieren. Auch der Transport oder das Hantieren mit Flüssigkeiten kann zu Gefährdungen führen, sollte der Assistenzroboter dafür nicht geeignet sein. Es muss im Voraus festgelegt werden, unter welchen Umgebungsbedingungen der Roboter agieren soll und ob der Roboter dafür geeignet ist. Auch Hinweise in der Betriebsanleitung im Bezug auf Reinigung und Wartung sollten zu Kenntnis genommen werden.

Lokalisierungs- und Navigationsfehler

Ein mobiler Assistenzroboter nimmt seine Umgebung technisch nicht unbedingt so wahr, wie man es intuitiv erwartet. Je nach Einsatzort muss überprüft werden, ob das System auch dafür ausgelegt ist, um zu funktionieren. Als Beispiel sollte vor dem Betrieb eines Systems in einem Obergeschoss überprüft werden, wie das System mit Treppen umgeht bzw. ob es diese überhaupt erkennt, um ein mögliches Herabfallen zu vermeiden. Im Kapitel *Self Location and Mapping (SLAM)* wird etwas genauer auf die Techniken zur Wahrnehmung der Umgebung eingegangen.

Falsche autonome Entscheidungen

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein autonomes System falsche Entscheidungen trifft. Objekte könnten falsch identifiziert oder Personen nicht erkannt werden. Bei einer Objektidentifizierung wird meistens auf künstliche Intelligenz (siehe *Mustererkennung & Künstliche Intelligenz*) zurückgegriffen. Es ist abhängig davon, wie gut die Algorithmen trainiert worden sind. Sicherheitsrelevante Objekte werden daher auch meist gesondert, über optische Marker (Bar-Code, QR-Code o.ä.), markiert, um eine erfolgreiche Identifizierung sicher zu stellen. Auch bei mobilen Systemen, die autonom durch den Raum navigieren, stellt sich die Frage, wie sie auf Hindernisse reagieren. Es gibt die Möglichkeit anzuhalten ohne das Ziel zu erreichen oder alternativ ein Ausweichmanöver zu vollziehen. Je nach System kann Letzteres aufgrund von rutschigen oder unebenen Böden zu Gefährdungen führen. Welche Entscheidung das System bei bestimmten Ereignissen trifft, sollte in den Benutzerinformationen wiederzufinden sein.

6.3.1.2 Risikobeurteilung und Leistung einer Sicherheitstechnik

Je nach Risiko einer möglichen Gefährdung unterteilen diese Stufen den Zuständigkeitsbereich der Sicherheitstechnik. Wie in Kapitel Verschiedene Arten von Systemen dargestellt wird, können Assistenzsysteme viele verschiedene Formen haben, sodass es stark abhängig von der Aufgabe und der Umgebung ist, ob eine Sicherheitstechnik bereits bei der Konstruktion oder erst bei der Anwendung vor Ort notwendig ist. Im niedrighwelligen Fall kann eine Sicherheitstechnik auch aus Warnhinweisen bestehen.

1. **Unmittelbare Sicherheitstechnik:** Es handelt sich dabei um Sicherheitstechniken, die bereits bei der Konstruktion des Roboters angewendet werden, um Gefährdungen zu beseitigen oder möglich stark einzuschränken.
2. **Mittelbare Sicherheitstechnik:** Dies sind Sicherheitstechniken, die in der Arbeitsumgebung angewendet werden. Das können z.B. Schutzkabinen oder Lichtschranken sein. Die mittelbaren Sicherheitstechniken müssen angewendet werden, wenn nicht alle Gefahren bereits bei der Konstruktion beseitigt werden konnten.
3. **Hinweisende Sicherheitstechnik:** Hier wird der Anwender über mögliche Restrisiken hingewiesen. Dies kann durch Hinweise in der Betriebsanleitung, durch Anbringung von Hinweisschildern oder durch optische bzw. akustische Warnsignale umgesetzt werden.

Wenn eine Gefährdung nicht direkt bei der Konstruktion des Systems minimiert werden kann, so muss die nächste Stufe angewendet werden, um die Gefährdung durch ergänzende Schutzmaßnahmen weiter zu verringern. Dieses kann zum Beispiel durch externe Peripheriegeräte im Einsatzgebiet des Systems erfolgen. In der letzten Stufe muss der Benutzer über die verbleibenden Risiken informiert werden. Gerade die hinweisenden Sicherheitstechniken sollten den anwendenden Personen des Systems vertraut sein, um zu entscheiden, ob die verbleibenden Restrisiken zumutbar sind.

Sicherheitstechniken müssen verlässlich funktionieren und ausfallsicher sein. Die Norm EN ISO 13849-1 definiert hierfür fünf sog. *Performance-Level* (PL) von *a* bis *e*. Die PL sind durchschnittliche Zeiten, in der

eine Sicherheitstechnik ausfallen könnte ($MTTF_d^1$) (vgl. DIN e.V. (Hrsg.), 2016a, S. 16).

Um die Ausfallsicherheit einer Sicherheitstechnik zu erhöhen, können z.B. redundante Geber (Sensoren) eingesetzt werden. Das heißt, dass eine physikalische Größe von zwei unabhängigen Sensoren gemessen wird. Die Werte der Sensoren werden verglichen und müssen übereinstimmen, um die Plausibilität der Werte sicherzustellen.

Zur Klärung der Fragestellung, welche Sicherheitstechnik welchen Performance-Level (Beitrag zur Risikominimierung) besitzen muss (PL_r^2), wurde in den internationalen Normen ein Risikograph definiert (Abbildung 3), mit dem ein Risiko nach dem Schweregrad des Schadens (S), der Schadenshäufigkeit (F) und der Schadensvermeidung (P) einem Performance-Level zugewiesen werden kann (vgl. Maier, 2016, S. 168; DIN e.V. (Hrsg.), 2016a, S. 60 ff.).

1 Mean Time to Failure (danger): mittlere Zeit bis zu einem gefährbringenden Ausfall

2 Performance-Level required

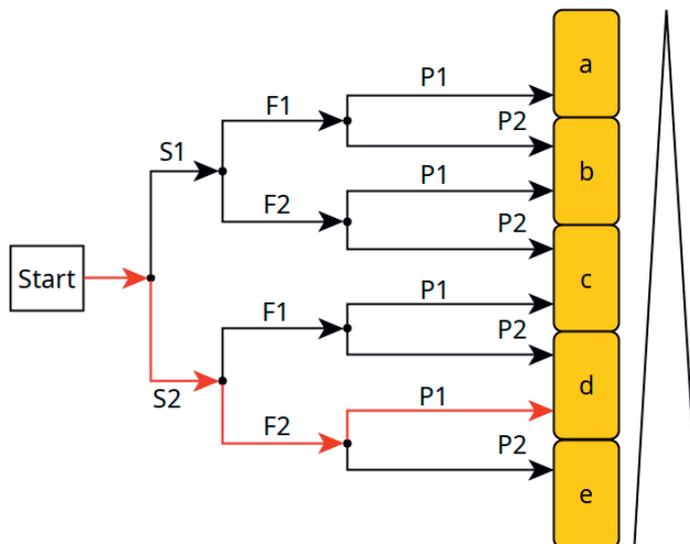


Abbildung 3: Risikograph nach DIN13849-1 zur Ermittlung des PL_r .
Der Pfeil rechts gibt eine abnehmende Schwere des Risikos von unten nach oben an.

Parameter	Beschreibung
S1	leichte, reversible Verletzungen
S2	schwere, irreversible Verletzungen oder Tod
F1	selten bis weniger häufig und/oder die Zeit der Gefährdungsexposition ist kurz
F2	häufig bis dauernd und/oder die Zeit der Gefährdungsexposition ist lang
P1	Vermeidung möglich, unter bestimmten Bedingungen
P2	Vermeidung kaum möglich

In der Abbildung 3 ist als Beispiel ein Pfad eingezeichnet: S2 → F2 → P1. Ein Risiko kann eine schwere irreversible Verletzung hervorrufen, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit häufig ist und nur unter bestimmten Bedingungen vermieden werden kann. Die Zuverlässigkeit der Sicherheitstechnik muss dem PL_d entsprechen.

6.3.1.3 Das Stillsetzen von Systemen nach Stopp-Kategorien

In den Normen sind ebenfalls verschiedene Haltevorgänge nach Kategorien festgelegt. Dabei ist es wichtig zu wissen, wann bzw. wie eine Maschine anhält und wann und unter welchen Umständen eine Maschine die Arbeit wieder aufnimmt. Ein unerwarteter Anlauf einer Maschine kann wiederum zu einer Gefährdung führen. Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Haltevorgängen: beim Auslösen einer Sicherheitsfunktion (Sicherheitshalt) oder beim Betätigen eines Not-Aus-Schalters (Not-Halt).

In der DIN EN ISO 13850 werden drei Stopp-Kategorien definiert (vgl. DIN e.V. (Hrsg.), 2016b, S. 12 ff.):

Kategorie 0

Bei der Stoppfunktion nach der Kategorie 0 wird die gesamte Energiezufuhr zu den Antriebselementen sofort unterbrochen. Man spricht von einem *ungesteuerten Stillsetzen*. Ungesteuert, da beim Unterbrechen der Energiezufuhr nicht mehr aktiv gebremst werden kann. Je nach Geschwindigkeit, Last und Trägheit trudelt der Roboter aus. Dabei ist es egal, ob es sich bei der Bewegung um einen Roboter-Arm oder ein fahrendes Transportsystem handelt.

Kategorie 1

Gegenüber dem ungesteuerten Stillsetzen der Kategorie 0 wird bei der Kategorie 1 ein *gesteuertes Stillsetzen* angewendet. Das heißt, dass die Energiezufuhr zu den Aktoren erst nach Erreichen der Ruhelage getrennt wird. Dies ist sinnvoll, wenn das System aktiv gebremst werden soll, um den Anhaltweg zu verkürzen.

Kategorie 2

Das System wird, wie in Kategorie 1, gesteuert stillgesetzt. Die Energiezufuhr zu den Antrieben bleibt im Anschluss jedoch bestehen.

Welche Stopp-Kategorie angewendet werden soll, hängt in erster Linie davon ab, wie sich potentielle Risiken minimieren lassen. Ein Stopp nach Kategorie 0 kann gefährlich sein, wenn ein Roboter-Arm bspw. zu dem Zeitpunkt der Aktierung etwas transportiert. Die Abschaltung der Energiezufuhr kann bewirken, dass ein Gegenstand fallengelassen wird oder der gesamte Arm erschlafft und herunterfällt. Es darf also durch die Trennung der Energiezufuhr keine zusätzliche Gefährdung entstehen. Andererseits kann ein Stopp nach Kategorie 0 auch gewünscht sein. In der Industrie können die Roboter so mit verschiedensten Werkzeugen ausgestattet werden. Angefangen vom einfachen Greifer bis hin zu Sägen, Bohrmaschinen oder Schweißgeräten. Ein Kategorie-0-Stopp kann daher erforderlich sein, um die Werkzeuge stromlos zu schalten. Auch wenn eine Person vom Roboter eingequetscht werden sollte, ist es notwendig, dass die Motoren keine weitere Kraft mehr erzeugen und blockierende Getriebe freigeschaltet werden. Die Stopp-Kategorien sind zwar aus industriellen Anwendungsfeldern entstanden. Sie gelten aber auch für alle anderen Assistenzsysteme (vgl. DIN e.V. (Hrsg.), 2012, S. 15f).

Not-Halt

Der Not-Halt wird beim Auslösen des Not-Halt-Schalters manuell vom Benutzer ausgelöst. Der Schalter muss immer gut erreichbar sein und wird in der Regel nur im Notfall betätigt. Die Rückstellung des Schalters kann nur manuell durch den Benutzer erfolgen, bis zur manuellen Rückstellung des Schalters ist die Maschine nicht einsatzbereit. Die Maschine muss nach Stopp-Kategorie 0 oder 1 halten.

Sicherheitshalt

Ein Sicherheitshalt kann manuell oder automatisch, falls eine Sicherheitsfunktion anschlägt, ausgelöst werden. Die Rückstellung geschieht manuell oder automatisch. Die Maschine muss mind. eine Stoppfunktion nach Stopp-Kategorie 0 oder 1 besitzen. Sie kann auch nach Stopp-Kategorie 2 halten, solange der Stillstand überwacht wird (siehe Kapitel *Sicherheitsbewerteter überwachter Halt*).

6.3.1.4 Mensch-Roboter-Kollaboration

Eine Maschine kann nur genau vorgegebene Abläufe vollautomatisiert wiederholt durchführen. Doch existieren Aufgaben, die nur durch einen Mensch mit seinen speziellen motorischen Fähigkeiten gelöst werden können. Der Mensch kann auch auf unvorhersehbare Situation intuitiv und situationsbezogen reagieren. Einer Maschine hingegen muss genau und in kleinen Schritten ein Ablaufprozess einprogrammiert werden. Die Wiederholgenauigkeit, Kraft, Geschwindigkeit und Präzision eines Roboters sollen mit der Flexibilität, Intelligenz und Kreativität des Menschen kombiniert werden. Der Mensch und die Maschine besitzen einen gemeinsamen Arbeitsraum bzw. stehen im direkten Kontakt miteinander.

Da die direkte Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine immer mehr zunimmt, müssen auch die Normen an neue mögliche Gefährdungen und Sicherheitstechniken angepasst werden. Nicht-Kollaborative Industrieroboter können durch Kabinen oder Schutzzäune vom Menschen isoliert werden. Dieser Schutz fällt bei der Mensch-Roboter-Kollaboration weg.

Seit 2006 haben die internationalen Normen das Thema kollaborierender Roboter aufgegriffen und in der Norm DIN EN ISO 10218-1/2 erstmals Anforderungen festgelegt. Die Norm wurde mehrmals erneuert. Ebenfalls wurde ergänzend eine technische Spezifikation entworfen (EN ISO/TS 15066), in der u.a. auch zulässige Kräfte zwischen Mensch und Maschine definiert wurden, um echte Kollaboration zu ermöglichen.

Welche Sicherheitstechniken am besten angewendet werden können, hängt stark von der Art der Interaktion mit dem Roboter zusammen (Maier, 2016, S. 179ff; vgl. Bendel und Daimler und Benz Stiftung, 2018, S. 6).

Ko-Existenz

Bedeutet, dass Mensch und Roboter getrennt von einander arbeiten und nicht ständig im Kontakt stehen.

Kooperation

Mensch und Roboter verfolgen ein gemeinsames Ziel. Aktionen und Arbeitsvorgänge von Roboter und Mensch sind klar voneinander getrennt.

Kollaboration

Mensch und Roboter sind im ständigen Kontakt. Sie bearbeiten gemeinsam eine Aufgabe. Hier sollen die Vorteile eines Menschen und einer Maschine kombiniert werden.

Im weiteren Verlauf wird kurz auf die Anforderung für einen kollaborierenden Betrieb eingegangen.

Sicherheitsbewerteter überwachter Halt

Ein sicherheitsbewerteter überwachter Halt ist eine Funktion, bei der der Roboter anhalten muss, sobald bspw. eine Person in den Aktionsraum des Roboters eindringt, wenn es sich um die Interaktionsform der Ko-Existenz handelt. Alternativ kann erst die Geschwindigkeit bis zum Stopp reduziert werden (Stopp-Kategorie 2), welches einem Sicherheitshalt entspricht. Die Überwachung des Kollaborationsraumes kann mit Hilfe von Kameras oder Lichtschranken umgesetzt werden. Dabei muss die Sicherheitstechnik ständig prüfen, ob das System wirklich anhält und stehenbleibt. Sollte die entsprechende Sicherheitstechnik zur Überwachung des Stillstands feststellen, dass das System nicht still steht, so muss die nächste Stopp-Kategorie angewendet werden und das System stromlos schalten. Verlässt die Person den Arbeitsraum wieder, so kann der Roboter automatisch seine Aufgaben wieder aufnehmen. (vgl. DIN e.V. (Hrsg.), 2012, S. 21f)

Handführung

Die Handführung eines Roboters wird meist angewendet, um dem Roboter Bewegungen beizubringen. Es muss dafür eine Vorrichtung am Endeffektor (Werkzeug am Ende eines Roboterarms) angebracht sein, die auch mit einem Not-Halt und Zustimmschalter ausgestattet ist. Durch die Betätigung des Zustimmschalters lässt sich der Roboter bewegen. Die Bewegungen werden vom Roboter aufgenommen und können anschließend abgespielt werden (Teach-and-Playback). Ein gutes Beispiel dafür ist das System *Robert der Firma KUKA*.

Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung

Die Verwendung der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung sieht vor, einen festgelegten Abstand und eine Geschwindigkeit zu der Bedienperson einzuhalten. Sobald die festgelegte Geschwindigkeit überschritten oder der Abstand unterschritten wird, muss ein Sicherheitshalt durchgeführt werden.

Leistungs- und Kraftbegrenzung

Die Leistungs- und Kraftbegrenzung (PFL¹) ist eine Technik, in der die von den Aktoren aufgenommene Energie begrenzt wird. Das heißt, dass auftretende Kräfte einen Grenzwert nicht überschreiten dürfen. Eine Kraftbegrenzung kann passiv, über einen federnden Greifer oder eine Polsterung, umgesetzt werden. Bei einer aktiven Kraftbegrenzung werden Kraft- und Drehmomentsensoren eingesetzt.

Die Grenzwerte wurden vom Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) experimentell ermittelt und in die technische Spezifikation für kollaborierende Roboter (DIN ISO/TS 15066) übernommen. Dafür wurden relevante Punkte am Körper definiert (Abb. X). Eine Messgerät übte mit steigender Kraft Druck auf die Körperpunkt aus. Der Proband konnte über eine Fernbedienung das Gerät bei der Schwelle zum Schmerzempfinden anhalten. Es wurden verschiedene Personengruppen (männlich, weiblich) und mit unterschiedlichen Body-Mass-Indexen für die Untersuchung herangezogen (vgl. Behrens und Pliske, 2019).

1 Power and Force Limiting (PFL)

Das entstandene Körpermodell hat aber auch seine Grenzen. Es wird davon ausgegangen, dass die Kontaktfläche zwischen Mensch und Maschine unelastisch und eben ist. Die Kontaktfläche hatte eine Größe von 1,4 x 1,4 cm. Bei einer kleineren oder anderen geometrisch geformten Kontaktfläche können die Grenzwerte abweichen, weil die über die Kontaktfläche auf den Körper ausgeübte Kraft anders verteilt sein kann. Die ermittelten Werte sollen als Richtwerte für die Risikobeurteilung im Sinne der Normen dienen (vgl. DIN e.V. (Hrsg.), 2017, S. 30ff).

Es ist daher zu empfehlen, solche Mensch-Maschinen-Kontakte am eigenen Körper zu testen und die Zumutbarkeit unter realen Bedingungen selbst zu entscheiden. Dies wird an dem Umstand klar, dass ein spitzer Gegenstand schmerzhafter ist als ein stumpfer Gegenstand bei gleicher Kraft, weil das Verhältnis von Kraft zu Fläche größer ist.

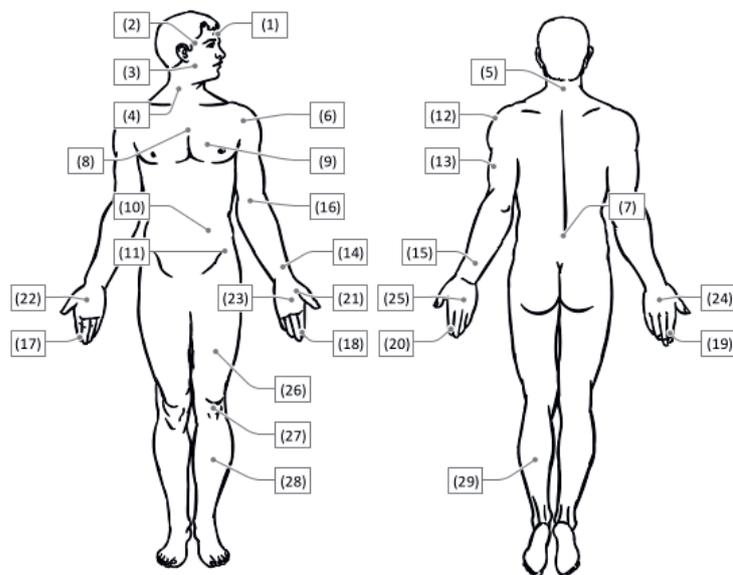


Abbildung 4: Punkte am Körper zur Ermittlung der biomechanischen Schmerzgrenzen (Behrens und Pliske, 2019, S. 6)

6.3.2 Technische Herausforderungen an Assistenzrobotern

Um zu verstehen, wieso ein Roboter bestimmte Handlungen durchführt oder auf bestimmte Situationen reagiert, sollte bei der Verwendung eines Assistenzroboters geklärt werden, wie dieser die Umgebung wahrnimmt und verarbeitet. Gerade bei Assistenzrobotern, die zum Teil autonom handeln oder navigieren, macht es durchaus Sinn, "die Welt durch die Augen eines Roboters" zu sehen und nachzuvollziehen, auf welchen Daten seine Entscheidungen beruhen.

Um selbständig Aufgaben zu übernehmen, muss ein System über diverse Sensorik verfügen und die Daten interpretieren. Sensoren, wie Kameras, Mikrofone oder Laserscanner, überwachen die Umwelt. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass es sich bei den Daten für den Roboter um reine Messdaten und Zahlen handelt (Winkel, Längen, Bildpunkte oder Spannungen), die über einen Computer und mathematische Verfahren gedeutet werden müssen.

Wie aber kann ein Roboter, z.B. aus den Bildpunkten, ein Gesicht oder irgendein anderes Objekt erkennen? Die Antwort lautet, dass ein Roboter dies mit Methoden der so genannten Mustererkennung als Teilgebiet der künstlichen Intelligenz kann, bei der gewisse Merkmale und Muster (sog. Features) aus einem Bild extrahiert und mit bereits vorhandenen Merkmalen verglichen werden. Das heißt auch, dass der Roboter auf Modelle, Fakten oder Daten zurückgreifen muss, die ihm zuvor in irgendeiner Form einprogrammiert wurden. Auch das selbständige Navigieren durch Räume bedarf der Wahrnehmung und Interpretation der Umgebung, um Routen zu planen und Ziele zu erreichen (siehe *SLAM*). Die Eigenschaften solcher Systeme ergänzen sich immer mehr zu einem kognitiven Verhalten.

Ein kognitives System ist ein System, das in der Lage ist, komplexe Aufgaben auszuführen, die normalerweise menschliche kognitive Fähigkeiten erfordern, wie z. B. Sprachverarbeitung, visuelle Wahrnehmung, Entscheidungsfindung und Problemlösung. Dabei werden meist *Mustererkennung & künstliche Intelligenz* eingesetzt, um die Aufgaben zu lösen. Eine Schematische Darstellung ist in Abbildung 5 zu sehen.

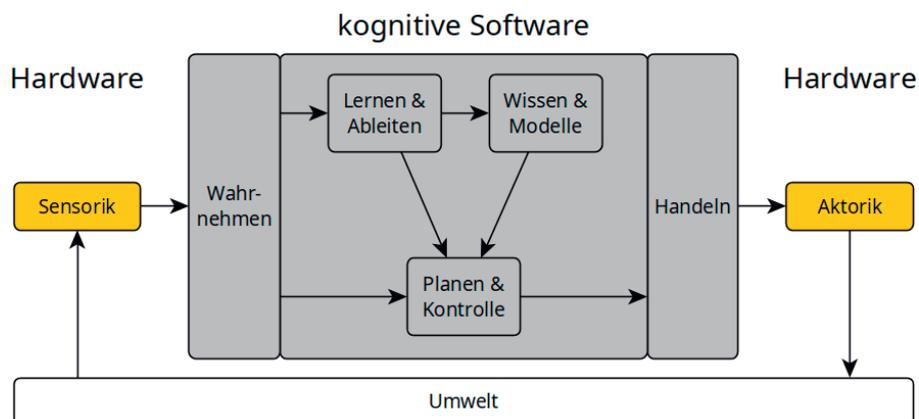


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines kognitiven Systems [eigenes Werk]

6.3.2.1 Self Location And Mapping (SLAM)

Das "Simultaneous Localization and Mapping" (SLAM) ist ein Verfahren, bei dem es darum geht, eine Karte der Umgebung zu erstellen, und gleichzeitig die Position innerhalb dieser Karte zu bestimmen. Das Verfahren ist eine Grundvoraussetzung für das autonome Navigieren. In den meisten Fällen wird die Umgebung optisch, z.B. über ein sog. Light Detection and Ranging Sensor (Lidar), erfasst (Abb. X). Lidar-Systeme messen die Entfernung zu einem Punkt im Raum, z.B. indem ein rotierender Spiegel einen Laserstrahl seitlich ablenkt, nicht nach unten oder oben (2D-Abtastung). Trifft der Strahl auf ein Objekt, so wird der Strahl reflektiert. Das Lidar-System misst dabei die vergangene Zeit zwischen dem Aussenden des Strahls und der Reflektion. Dadurch entsteht ein schmales Abbild vom Raum. Lidar-Systeme führen diesen Prozess mehrere Male pro Sekunde durch (Abbildungen 6 und 7).

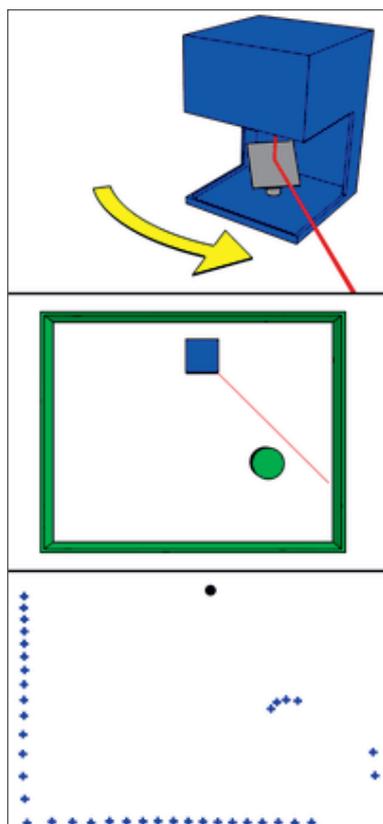


Abbildung 6: Darstellung der 2D-Abtastung eines Lidars²



Abbildung 7: Ein Lidar in einem mobilen Roboter von der Firma SICK¹

¹ S. Winkvist, Mobile robot with a LIDAR Sensor. 2008. Zugegriffen: 21. April 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LIDAR_equipped_mobile_robot.jpg

² Mike1024, Animation der 2D Abtastung LIDAR. 2008. Zugegriffen: 29. März 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LIDAR-scanned-SICK-LMS-animation.gif>

Bewegt sich ein Roboter durch den Raum, müssen die einzelnen Aufnahmen des Lidar von einem Prozessor zu einer Karte zusammengesetzt werden. Dazu muss das System bestimmen, wie weit sich der Roboter bewegt hat. Bei radbetriebenen Plattformen kann, bspw. über ein Inkrementalgeber (Verweis noch oben vom gesamten Kompendium), die Drehung der Räder nachvollzogen und Rückschlüsse auf die geänderte Position berechnet werden, die sog. Odometrie.

Rutschige oder unebene Böden können die Odometrie verfälschen. Es gibt Materialien, die Licht gar nicht (Glas) bis vollständig (Spiegel) reflektieren oder brechen. Bodentiefe Fenster könnten fälschlich als Durchgang wahrgenommen werden. Auch Reflektionen können die Messung verfälschen. Meist sind diese Scanner nahe am Boden angebracht und würden von einem Tisch oder Stuhl nur die Beine als Punkte auf der Karte erkennen, nicht aber die höher gelegene Tischkante. Ebenfalls problematisch ist das Ausschalten und Versetzen des Systems. Hier müssen die Position und Orientierung auf der Karte wieder korrigiert werden. Ein Sensor ist zudem nie zu 100 % präzise und besitzt eine nicht zu vermeidende Ungenauigkeit.

Zusammengefasst gleicht das SLAM Verfahren einer Schätzung über den Raum und die Position in diesem. Es gibt verschiedene SLAM Algorithmen um eine möglichst genaue Karte und die Position darin zu berechnen. Die Karten werden meist statisch hinterlegt und müssen zuvor angelernt werden (Offline SLAM). Bei Änderungen in der Umgebung sollte die Karte stets aktualisiert werden, um Fehler in der Navigation zu verringern (siehe *Mögliche Gefährdungen*). Beim Online SLAM hingegen wird die Karte und die Position permanent bei der Fahrt aktualisiert.

6.3.2.2 Mustererkennung & künstliche Intelligenz

Objekt-, Sprach- oder Gesichtserkennung sind technische Entwicklungen, die den Aufgabenbereich eines Assistenzroboter erweitern. Die Interaktion mit Systemen über Sprache lassen andere und intuitive Möglichkeiten zu. Diese Techniken können unter dem Begriff Künstliche Intelligenz (KI), oder Artificial Intelligence (AI), zusammengefasst werden. Dabei wird versucht, Maschinen, durch das Beobachten und Interpretieren der Umgebung, autonomes Handeln zu ermöglichen: Maschinen sollen intelligent auf neue, unbekannte Situationen reagieren, ohne dass eine situationspezifische Programmierung vorgenommen werden muss.

Doch wann ist eine Maschine "intelligent"? Festzustellen ist, dass der Begriff der Intelligenz nicht genau definiert ist. Künstliche Intelligenzen sind daher als mathematische Modelle und Algorithmen zu verstehen, die statistische Zusammenhänge in Daten finden und vergleichen (Lämmel und Cleve, 2020, S. 9; vgl. Bunte, 2022, S. 85).

Je nach zu verarbeitenden Daten gibt es verschiedene mathematische Modelle, die angewendet werden können, um Zusammenhänge zu beschreiben. Klassische Beispiele dafür wären die sogenannten *Support Vector Machines* (SVM), *k-nearest Neighbor Algorithmen* (kNN), *Decision Trees* oder *Markov-Modelle*. Je nach oben genannten Anwendungsfall ist das eine oder andere Modell besser geeignet. Vorher der Anwendungsphase muss jedoch jedes Modell trainiert werden. Ein Modell stellt nur ein Grundgerüst dar, das mit Informationen und Daten gefüllt werden muss. Die Qualität der Daten, mit denen ein Modell trainiert wird, ist entscheidend für die Aussagegenauigkeit der KI. In der Informatik wird dieser Umstand als *Garbage In, Garbage Out* (GIGO) bezeichnet und beschreibt im übertragenen Sinne: "Wenn (Daten-)Müll in ein Programm importiert wird, kann auch nur (Daten-)Müll herauskommen". Das Problem hierbei ist, dass eine Maschine nicht entscheiden kann, was Müll ist und was nicht, was jedoch bei der Entwicklung berücksichtigt wird.

Wie ein Modell trainiert werden kann, lässt sich grob in drei Verfahren einteilen:

Supervised learning

Das überwachte Lernen beschreibt den Vorgang, bei dem einem Modell Daten eingespielt werden und zusätzlich mitgeteilt wird, um welche Daten es sich dabei handelt. Bspw. wird dem Modell ein Bild von einer Katze gezeigt und gleichzeitig mitgeteilt, dass es sich um eine Katze handelt. Den Daten wird somit ein sog. Label mitgegeben.

Unsupervised learning

Bei dem Verfahren werden die Daten ohne Label verwendet. Das Modell muss selber Strukturen in den Daten erkennen (Clustering).

Reinforcement learning

Beim Reinforcement learning (RF-Learn) werden demgegenüber keine Daten für das Training benötigt. Hier lernt das Modell durch "Ausprobieren", durch Erfolg und Misserfolg. Ähnlich wie ein Mensch das Fahrradfahren erlernt, so lernt das Modell beim RF-learning durch Interaktionen mit der Umgebung. Diese Lernmethode wird z. B. bei Videospiele angewendet, in denen gegen ein Computer gespielt werden kann. Beim Lernvorgang spielt der Computer das Spiel und probiert eine große Zahl an Möglichkeiten aus, um das Ziel zu erreichen. Dazu muss das Modell erst einmal herausfinden, wie z. B. die Spielfigur bewegt wird. Eine KI versucht Korrelationen zwischen den unbekanntem Eingangsdaten und dem bereits antrainierten "Wissen" zu finden. Korrelation bedeutet allerdings nicht immer auch Kausalität. Ein einfaches Beispiel: Wird das Wort *Kuh* in einer Bildersuchmaschine eingegeben, werden viele Kühe entweder auf grünen Wiesen oder im Stall angezeigt. Würde man nun diese Bilder verwenden und eine KI damit trainieren, so würde bspw. eine Kuh am Strand nicht erkannt werden. Die Korrelation besteht darin, dass eine Kuh fast immer auf einer grünen Wiese steht. Für den Menschen ist klar, dass die Kuh an sich nichts mit dem Hintergrund zu tun hat, dem KI-Modell hingegen nicht.

In dem Beispiel müssten die Trainingsdaten für eine erfolgreiche Erkennung stattdessen so gewählt werden, das möglichst viele unterschiedliche Kühe hinter verschiedenen Hintergründe stehen, um der Korrelation, dass Kühe immer auf grünen Wiesen stehen, zu entgehen. Auch Anweisungen über Sprache kann für eine KI zur Herausforderung werden. Es gibt sehr viele Varianten über Sprache, einen Sachverhalt darzustellen, wodurch eine große Anzahl an Variationen möglich ist. Zudem entscheiden Kontext, Mimik und Gestik sowie Lautstärke und Betonung, wie etwas Gesagtes gemeint ist.

Neuronale Netze

Mit den häufig eingesetzten Neuronalen Netzen (NN) als einem weiteren Mustererkennen wird versucht, ein generisches, also nicht auf ein spezifisches Problem zugeschnittenes Modell für auftretende Probleme zu erstellen. Im menschlichen Gehirn wird die Lösung der o.g. Problemstellung auf eines einzigen physiologischen Bausteins zurückgeführt — das Neuron. Über ein mathematisches Modell wird das Funktionsprinzip eines Neuron nachgebildet (Abbildung 8). Damit es für komplexe Aufgaben funktioniert, müssen, wie in einem Gehirn, eine sehr hohe Anzahl dieser Neuronen zusammenschaltet werden, sodass die Lernphasen des NN eine sehr hohe Rechenleistung erfordern. Ebenfalls werden sehr viele Daten zum Trainieren des NN benötigt.

NN können in Schichten eingeteilt werden. Die erste Schicht, bei der die Daten eingehen, wird Input-Layer und die letzte Schicht als Output-Layer bezeichnet. Die Schichten zwischen Input- und Output-Layer werden Hidden-Layer genannt. Sobald ein Netzwerk mehr als einen Hidden-Layer hat, wird es als DeepNN bzw. tiefes neuronales Netzwerk bezeichnet.

In der Abbildung 8 ist ein einfaches mathematisches Modell eines künstlichen Neurons dargestellt. Unterschiedliche Parameter, wie Gewichtung, Schwellwert usw., werden über den Lernprozess mithilfe verschiedener Verfahren justiert. Der Ausgang des Neurons wird wieder mit einem Eingang eines oder mehrerer Neuronen verbunden, wie in Abbildung 9 zu sehen ist.

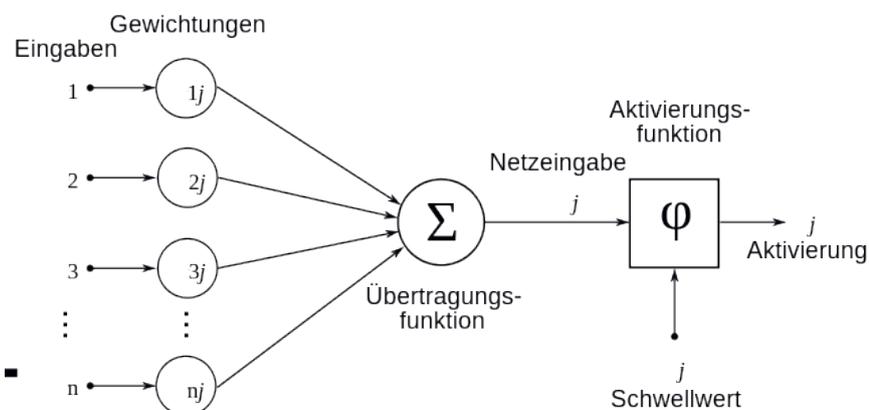


Abbildung 8: Darstellung eines Neuron-Modells¹

¹ Perhelion, Schematische Darstellung eines künstlichen Neurons mit dem Index j. 2010. Zugegriffen: 11. April 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NeuronModel_deutsch.svg

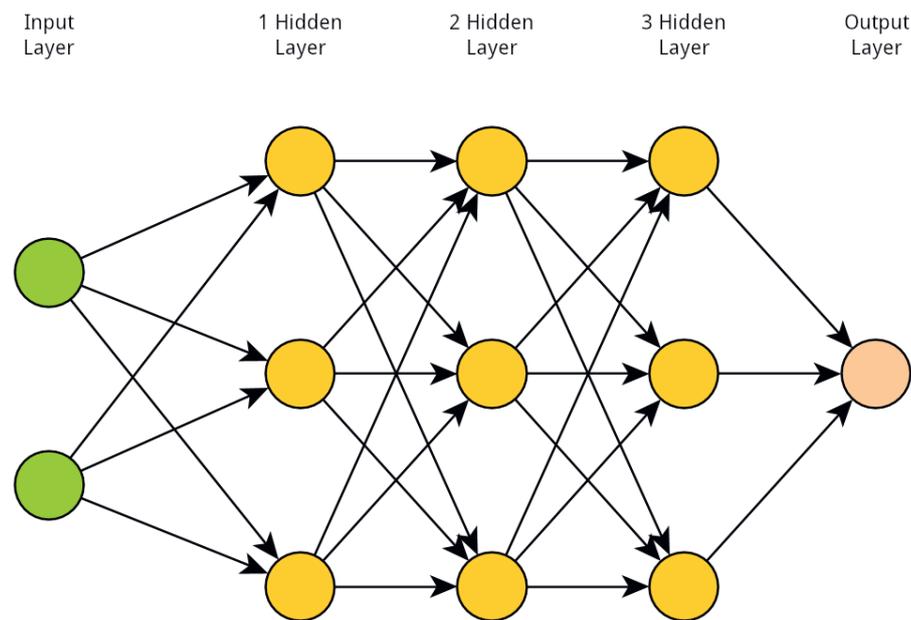


Abbildung 9: Darstellung eines NN [eigenes Werk]

6.3.3 Verschiedene Arten von Robotiksystemen

Viele Menschen denken bei dem Begriff Robotik oft zunächst an eine Maschine, die sich auf zwei Beinen bewegt, oder an einen Roboter-Arm, der etwas bearbeitet oder montiert. Dabei umfasst Robotik eine deutlich größere Spannweite an Systemen, wie beispielsweise Transportsysteme oder auch Exoskelette. Sie sollen mühselige oder sich oft wiederholende Aufgaben möglichst automatisch erledigen, um den Menschen ihre Arbeit oder ihren Alltag zu erleichtern. Systeme, die im Alltag unterstützende Aufgaben verrichten, werden als Assistenzsysteme bezeichnet, dazu zählen mobile Assistenzroboter, bewegungsunterstützende Roboter und Personenbeförderungsroboter für eine oder mehrere Personen.

Im Folgenden werden beispielhaft einige Projekte kurz vorgestellt, die sich mit Assistenzsystemen im Bereich der Pflege beschäftigen, um darzustellen, welche Formen und Funktionen Assistenzroboter haben können.

6.3.3.1 SeRoDi

Das Projekt SeRoDi ("Servicerobotik für personenbezogene Dienstleistungen") war ein Verbundprojekt, das in der Zeit von 2014 bis 2018 durchgeführt wurde. Das Ziel des Projekts war es herauszufinden, welche Auswirkung der Einsatz verschiedener Serviceroboter auf das Personal in stationären Einrichtungen hat.

Dabei entstand ein *intelligenter Pflegewagen*, der über ein Smartphone gerufen werden kann. Dem Pflegewagen wurde zuvor die Anzahl der Utensilien beim Befüllen mitgeteilt und alle entnommenen Utensilien werden gescannt. Der Wagen registriert daher, wann welche Materialien zu Neige gehen und fährt nach Freigabe des Pflegepersonals zur Auffüllstation. Weite Laufwege und das Führen einer Dokumentation über die verbrachten Materialien soll der Pflegewagen den Pfleger*innen abnehmen. Der Pflegewagen ist modular aufgebaut und kann für den Einsatz im Pflegeheim (Transport von Müll oder Wäsche) oder im Krankenhaus (Transport von Verbandsmaterialien etc.) angepasst werden (Christian Schiller u. a., 2019).

6.3.3.2 KUKA Robert

Der Roboter Robert der Firma KUKA (Abbildung 10) ist ein sehr gutes Beispiel für einen handgeführten Roboter (s. *Handführung*). Er wird für die Mobilisierung von Patientinnen und Patienten eingesetzt, bei denen Gelenke und Muskeln nach einer Operation bewegt werden müssen. Dafür wird eine Manschette um das zu bewegende Körperteil gewickelt und an einem Rotoberarm befestigt.

Die Pflegekraft kann nun über einen Griff am Roboterarm eine Bewegung durchführen und diese anschließend beliebig oft vom Roboter wiederholen lassen.

Der Roboter selbst ist mobil und kann von einer/einem Patienten*innen zum anderen geschoben werden. Ziel ist es, die Rehabilitationsmaßnahmen zu automatisieren und den Pflegekräften mehr Zeit für andere Aufgaben zu verschaffen (vgl. KUKA Group, ohne Datum).

6.3.3.2 RoboBed

Ein etwas anderes System ist das RotoBed. Gegenüber einem gewöhnlichen Pflegebett mit Motoren zum Aufrichten, kann dieses Bett sich über ein Kopfdruck zu einem Stuhl umformen. Dabei dreht sich das Bett um 90 Grad und unterstützt die Nutzer*innen beim Ein- und Aussteigen. Das Bett kann in den eigenen vier Wänden verwendet werden, um einen möglichst langen Verbleib der Pflege empfangenden Person im eigenen Haushalt zu gewährleisten und so die Lebensqualität und Autonomie zu erhöhen. Nutzer*innen sind so nicht mehr auf die Hilfe von Angehörigen oder Pflegekräften angewiesen (vgl. RotoBed, ohne Datum).

6.3.3.3 Pepper

Pepper wurde im Jahre 2014 von den Firmen Aldebaran und Softbanks entwickelt und ist ein ca. 1,20 m großer humanoider Roboter (Abbildung 11). Im Bereich der Pflege wird Pepper eingesetzt, um ältere Menschen oder Patient*innen zu unterhalten, ihnen Gesellschaft zu leisten und einfache Aufgaben, wie das Erinnern an die Medikamenteneinnahme, zu übernehmen. Über zahlreiche Sensoren ist es möglich, mit Pepper zu interagieren, sei es über Sprache, Gesten oder Gesichtsausdrücke. Ein Tablet an der Vorderseite erlaubt zudem weitere Interaktionsmöglichkeiten (vgl. „Pepper the Robot: All the Figures | Aldebaran“, 2015; „Pepper - ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics“, ohne Datum).

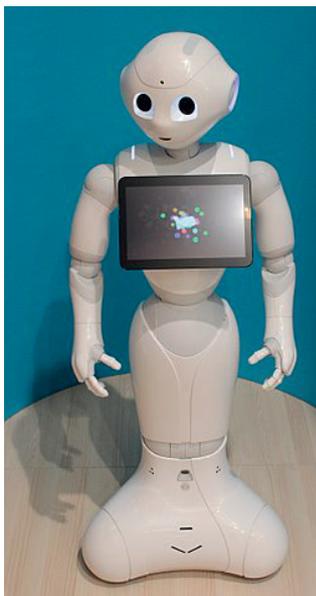


Abbildung 11: Der humanoider Roboter Pepper¹

¹ Xavier Caré, Aldebarans Pepper-Roboter bei Innorobo in Lyon im Jahre 2015. 2015. Zugriffen: 20. April 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Innorobo_2015_-Aldebaran_-Pepper.JPG

6.4 Quellen

Afflerbach, T. (2021) *Serviceroboter: Digitalisierung von Dienstleistungen Aus Kunden-, Mitarbeiter-Und Managementperspektive*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Behrens, R. und Pliske, G. (2019) *Human-Robot Collaboration: Partial Supplementary Examination [of Pain Thresholds] for Their Suitability for Inclusion in Publications of the DGUV and Standardization*. FF-FP 0430. Magdeburg: Fraunhofer IFF. Verfügbar unter: <https://www.dguv.de/ifa/forschung/projektverzeichnis/ff-fp0430.jsp> (Zugegriffen: 9 März 2023).

Bendel, O. und Daimler und Benz Stiftung (Hrsg.) (2018) *Pflegeroboter*. Wiesbaden: Springer Gabler (OPEN).

Bünthe, C. (2022) „Künstliche Intelligenz Ein Überblick über die aktuelle und zukünftige Bedeutung von KI in der Wirtschaft und im Gesundheitswesen in Europa“, in M.A. Pfannstiel (Hrsg.) *Künstliche Intelligenz im Gesundheitswesen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 81–100. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-33597-7_3.

Christian Schiller u. a. (2019) „Servicerobotik bei personenbezogenen Dienstleistungen“. Verfügbar unter: <https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Projekte/Forschungsprojekte/Abschlussbrosch%C3%BCre%20Servicerobotik%20in%20der%20Pflegerobotik.pdf> (Zugegriffen: 28 April 2023).

DIN e.V. (Hrsg.) (2012) „DIN EN ISO 10218-1“. Beuth-Verlag Berlin.

DIN e.V. (Hrsg.) (2014) „DIN EN ISO 13482“. Beuth-Verlag Berlin.

DIN e.V. (Hrsg.) (2016a) „DIN EN ISO 13849-1“. Beuth-Verlag Berlin.

DIN e.V. (Hrsg.) (2016b) „DIN EN ISO 13850“. Beuth-Verlag Berlin.

DIN e.V. (Hrsg.) (2017) „DIN ISO/TS 15066“. Beuth-Verlag Berlin.

Dütthorn, N., Hülsken-Giesler, M. und Pechuel, R. (2018) „Game Based Learning in NursingDidaktische Und Technische Perspektiven Zum Lernen in Authentischen, Digitalen Fallsimulationen“, *Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen IV: Impulse für die Pflegeorganisation*, S. 83–101.

KUKA Group (ohne Datum) „ROBERT Rehab Robot Life Science Robotics Patient Nurse 2“. Verfügbar unter: <https://assets.kuka.com/share/3E22A888-791C-4527-9AF103634EA222D2/?mediaId=2679DC01-5E01-4F85-ADBB51449291845B> (Zugegriffen: 13 April 2023).

Lämmel, U. und Cleve, J. (2020) *Künstliche Intelligenz: Wissensverarbeitung - neuronale Netze*. 5., überarbeitete Auflage. München: Hanser.

Maier, H. (2016) *Grundlagen der Robotik*. Berlin Offenbach: VDE Verlag GmbH (Lehrbuch Studium).

Mainzer, K. und Mainzer (2016) *Künstliche Intelligenz-Wann Übernehmen Die Maschinen?* Springer.

„Pepper - ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics“ (ohne Datum). Verfügbar unter: <https://robots.ieee.org/robots/pepper/> (Zugegriffen: 3 Mai 2023).

„Pepper the Robot: All the Figures | Aldebaran“ (2015). Verfügbar unter: <https://web.archive.org/web/20150910140352/https://www.aldebaran.com/en/a-robots/pepper/more-about-pepper> (Zugegriffen: 3 Mai 2023).

RotoBed (ohne Datum) „RotoBed Home Brochure“. Verfügbar unter: <https://rotobed.com/en/wp-content/uploads/2020/08/RotoBed%C2%AEHome-US-Brochure.pdf> (Zugegriffen: 26 April 2023).

Steil, J.J. (2019) „Roboterlernen Ohne Grenzen? Lernende Roboter Und Ethische Fragen“, *Roboter in der Gesellschaft: Technische Möglichkeiten und menschliche Verantwortung*, S. 15–33.

Wahl, H.-W., Mombaur, K. und Schubert, A. (2021) „Robotik Und Altenpflege: Freund Oder Feind?“, *Pflegezeitschrift*, 74(11), S. 62–66.

Wallhoff, F., Vox, J.P. und Theuerkauff, T. (2019) „Assistenz- und Servicerobotik die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle als Grundlage des Anwendungserfolgs“, in R. Haring (Hrsg.) *Gesundheit digital*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 99–122. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-662-57611-3_7.

Wippich, A. und Klein, M. (2022) „„Robotik Und KI in Der Pflege “als Lerneinheit in Der Generalistischen Pflegeausbildung, Bedarf Und Pflegerische Wirklichkeit“, in Mario A. Pfannstiel (Hrsg.) *Künstliche Intelligenz Im Gesundheitswesen: Entwicklungen, Beispiele Und Perspektiven*. Wiesbaden: Springer, S. 821–833. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-33597-7>.

Zech, H. (2020) „Risiken Digitaler Systeme: Robotik, Lernfähigkeit Und Vernetzung Als Aktuelle Herausforderungen Für Das Recht“, *Weizenbaum Series* [Preprint]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.34669/WI.WS/2>.