

FRAMEWORK v1.1.1

ROBOT-READY ARCHITECTURE

Ein Leitfaden für **roboterbereite Gebäude**

Roboter ziehen in Gebäude ein, die für menschliche Augen, Beine und Urteilskraft geplant wurden. Acht Domänen, fünf Strategien, sechs Stufen, elf Umgebungen und fünf Phasen: das Framework auf zehn Seiten.

Omar Alayli · Future Space Architecture · Berlin

DOI 10.5281/zenodo.21870159

futurespacearchitecture.com/rra



Symbolbild

WARUM DIESER LEITFADEN

Jedes Gebäude wurde **für eine Art von Nutzer geplant**

Jedes Gebäude, in dem Sie je gearbeitet haben, wurde um einen einzigen Nutzer herum geplant: einen Menschen, mit menschlichen Augen, menschlichen Beinen und menschlicher Urteilskraft. Treppenhöhen, Flurbreiten, Beleuchtung, Beschilderung und Türklinken verankern diese Annahme so tief, dass niemand mehr darüber nachdenkt.

Roboter brechen diese Annahme leise. Sie sehen mit Lasern und Kameras, für die Glas leere Luft ist. Sie rollen auf Rädern, die an einer zwei Zentimeter hohen Türschwelle scheitern. Sie laufen mit Akkus, die einen Platz, einen Ladeplan und einen Stromkreis brauchen, der nicht auslöst. Und wenn sie ausfallen, dann genau dort, wo sie gerade stehen.

Eine roboterbereite Umgebung ist eine, in der diese Unterschiede im Voraus eingeplant wurden, statt mitten im Einsatz entdeckt zu werden.

Extrem ist kein Ort.

Extrem ist ein Missverhältnis zwischen dem, was eine Umgebung voraussetzt, und dem, was ihr Nutzer kann. Für einen Roboter ist Ihr Flur die extreme Umgebung. Die Methode dieses Leitfadens stammt aus der Raumfahrt- und Extremumgebungsarchitektur, wo dieses Missverhältnis tägliche Arbeit ist.

EIN FRAMEWORK, FÜNF FRAGEN



1

Was bewerten wir?

Acht Bereitschaftsdomänen
D1 bis D8 · S. 3



2

Wie teilen wir den Raum?

Fünf Strategien
S1 bis S5 · S. 5



3

Wie weit sind wir?

Sechs Bereitschaftsstufen
RRL 0 bis 5 · S. 6



4

Wo sind wir?

Elf Umgebungen
Profile · S. 7



5

Wann ist es wichtig?

Fünf Lebenszyklusphasen
P0 bis P4 · S. 8

Dieser Leitfaden ist die Kurzfassung zum englischsprachigen Working Paper *Robot-Ready Architecture: A Readiness Framework for Buildings in the Age of Physical & Embodied AI*. Er gibt Orientierung; er bewertet nicht.



Symbolbild

1 · WAS BEWERTET WIRD · D1 BIS D8

Acht Dinge, die Roboter **von einem Gebäude brauchen**

Jede Domäne benennt etwas, das die Umgebung leistet, nicht etwas, das der Roboter ist. Lesen Sie sie als Linsen auf ein Gebäude, mit Ihren eigenen Wegen im Kopf, zu Betriebszeiten und noch einmal nachts.



D1

Erkennen, wo sie sind

WAHRNEHMUNGSUMGEBUNG

Glas, Glanz und Nachtbeleuchtung entscheiden, was ein Roboter wahrnehmen kann.



D2

Sich bewegen und greifen

BEFAHRBARKEIT & GEOMETRIE

Schwellen, Rampen, Breiten und Regalhöhen bestimmen, wohin ein Roboter fahren und was er tun kann.



D3

Türen passieren, Aufzug fahren und nutzen, was sie vorfinden

SCHNITTSTELLEN & KONNEKTIVITÄT

Türen, Aufzüge und Netzwerke machen einen Roboter zum Nutzer des Gebäudes oder zum begleiteten Gast.



D4

Laden, ruhen und repariert werden

ENERGIE- & FLOTTENINFRASTRUKTUR

Jeder Roboter ist ein Akku im Fahrplan des Gebäudes; Flotten brauchen Nebenflächen.



D5

Nachweislich sicher unter Menschen sein

SICHERHEIT & COMPLIANCE IM RAUM

Sicherheitsabstände, Fallzonen und Sperrzonen werden zu Linien im Plan.



D6

Von den Menschen akzeptiert werden, mit denen sie arbeiten

MENSCH-ROBOTER-KOEXISTENZ

Akzeptanz wird an Ecken, Türen und in der Nachtschicht gewonnen oder verloren.



D7

Ausfallen, ohne Chaos zu verursachen

BETRIEB & RESILIENZ

Ein liegengebliebener Roboter im Lager ist ein Ticket, im Fluchtweg ein Vorfall.



D8 NEU IN v1.1

Das Raumklima überstehen und den Raum sauber verlassen

UMGEBUNGS- & PROZESSBEDINGUNGEN

Kälte, Feuchte, Nassreinigung und Reinheitsanforderungen verschleißen Maschinen, und Maschinen können Räume verunreinigen.

DOI 10.5281/zenodo.21870159



Symbolbild

1 · WAS BEWERTET WIRD · IM DETAIL

Ein Gebäude, **acht Linsen**

Eine Glastür ist ein Wahrnehmungsproblem (D1), ein Schnittstellenproblem (D3) und im falschen Moment ein Sicherheitsproblem (D5). Die Domänen sind Linsen auf ein Gebäude, keine Aufteilung davon.

D1 WAHRNEHMUNGSUMGEBUNG

Roboter sehen ein Gebäude nicht, sie tasten es ab. Eine Glastür erscheint dem Lidar als offener Durchgang, eine dunkle Ladestation vor dunkler Wand ist nicht zu finden, und die Beleuchtung um 2 Uhr nachts hat niemand geprüft.

D2 BEFAHRBARKEIT & GEOMETRIE

Böden, Schwellen, Rampen und Breiten entscheiden, ob sich ein Roboter überhaupt bewegt, und die Toleranzen sind Maschinentoleranzen. Bei Robotern mit Armen gehört auch die Reichweite zur Geometrie: Regalhöhen, Arbeitsflächen, die oberste Ebene eines Regals.

D3 SCHNITTSTELLEN & KONNEKTIVITÄT

Türen, Aufzüge und Netzwerke sind die Bürgerrechte eines maschinellen Nutzers. Wo sie gewährt sind, ist der Roboter Nutzer, wo nicht, ist er ein Gast, der Begleitung braucht. Ein Humanoid muss zudem die Klinke bedienen und erbt jeden Türschließer, der für eine menschliche Schulter ausgelegt ist.

D4 ENERGIE- & FLOTTENINFRASTRUKTUR

Jeder Roboter ist ein Akku mit Fahrplan, und der Fahrplan gehört dem Gebäude. Ein Ladegerät in einer geliehenen Ecke genügt für einen Roboter. Bei zehn ist es ein Grundriss-, ein Elektro- und manchmal ein Brandschutzproblem.

D5 SICHERHEIT & COMPLIANCE IM RAUM

Die Regeln betrachten den Roboter heute in seinem tatsächlichen Gebäude. Sicherheitsabstände werden zu Flurbreiten, ein balancierender Roboter braucht geplanten Raum zum Fallen, und Sperr-, Schutz- und Erfassungszonen werden zu Linien im Plan.

D6 MENSCH-ROBOTER-KOEXISTENZ

Niemand sabotiert den Roboter. Man weicht ihm aus, gibt ihm keine Aufgaben mehr und schickt ihn zurück. Akzeptanz entsteht oder schwindet in alltäglichen Raummomenten: eine unübersichtliche Ecke, eine Begegnung im Flur ohne Regeln, eine Nachtschicht, die nie gefragt wurde.

D7 BETRIEB & RESILIENZ

Die ehrliche Frage lautet: Wo steht der Roboter, wenn er ausfällt? Ein liegengebliebener Roboter im Lager ist ein Wartungsticket, im Fluchtweg ein Sicherheitsvorfall. Aus Pilotprojekten werden Flotten, und was drei Roboter trug, bricht unter zwanzig zusammen.

D8 UMGEBUNGS- & PROZESSBEDINGUNGEN

Jeder Roboter ist für ein Klima spezifiziert, die meisten für ein Büro. Kühlhäuser, Nassreinigungsbereiche und Anbauräume verschleißen Maschinen langsam. Im Reinraum, auf der Station oder im Hangar gilt die Frage auch umgekehrt: Was verliert, trägt oder emittiert die Maschine?

Warum eine achte Domäne

Version 1.0 hatte sieben Domänen und nannte sie vollständig. Kühlhäuser, Reinräume, Krankenhäuser, Hangars und Anbauräume zeigten das Gegenteil: Klima, Reinheit und Atmosphäre eines Raums hatten keinen Platz. Version 1.1 ergänzt sie als D8 und behält die Nummern von D1 bis D7 bei.



Symbolbild

2 · WIE DER RAUM GETEILT WIRD · S1 BIS S5

Fünf Arten, **ein Gebäude zu teilen**

Sobald ein Gebäude Menschen und Roboter aufnehmen muss, muss jemand entscheiden, wie sie es teilen. Die Antwort prägt Grundriss, Technik, Sicherheitsdokumentation und wie sich der Einsatz für die Menschen darin anfühlt.



S1
Vollständige Trennung

Roboter erhalten ein eigenes Territorium: Flure, Schächte und Zonen, die Menschen nur unter kontrollierten Bedingungen betreten. Am sichersten und am einfachsten zu beurteilen, aber am teuersten in der Fläche.



S2
Zeitliche Trennung

Gleiche Räume, verschiedene Uhrzeiten. Den Robotern gehört die Nacht, wenn die Menschen weg sind. Kaum Baumaßnahmen, aber jemand muss wissen, was die Flotte um 3 Uhr nachts getan hat.



S3
Zonierter Mischbetrieb

Menschen und Roboter teilen sich den Raum nach festgelegten Regeln: Geschwindigkeitszonen, markierte Fahrwege, definierte Kreuzungspunkte. Das Arbeitspferd in Lagern und in Krankenhausfluren am Tag.



S4
Volle Koexistenz

Roboter überall, mit jedem, zu menschlichen Bedingungen. Das Versprechen des Humanoiden und der schwierigste Fall: Jede Begegnung wird zur Gestaltungsaufgabe.



S5
Rekonfigurierbar

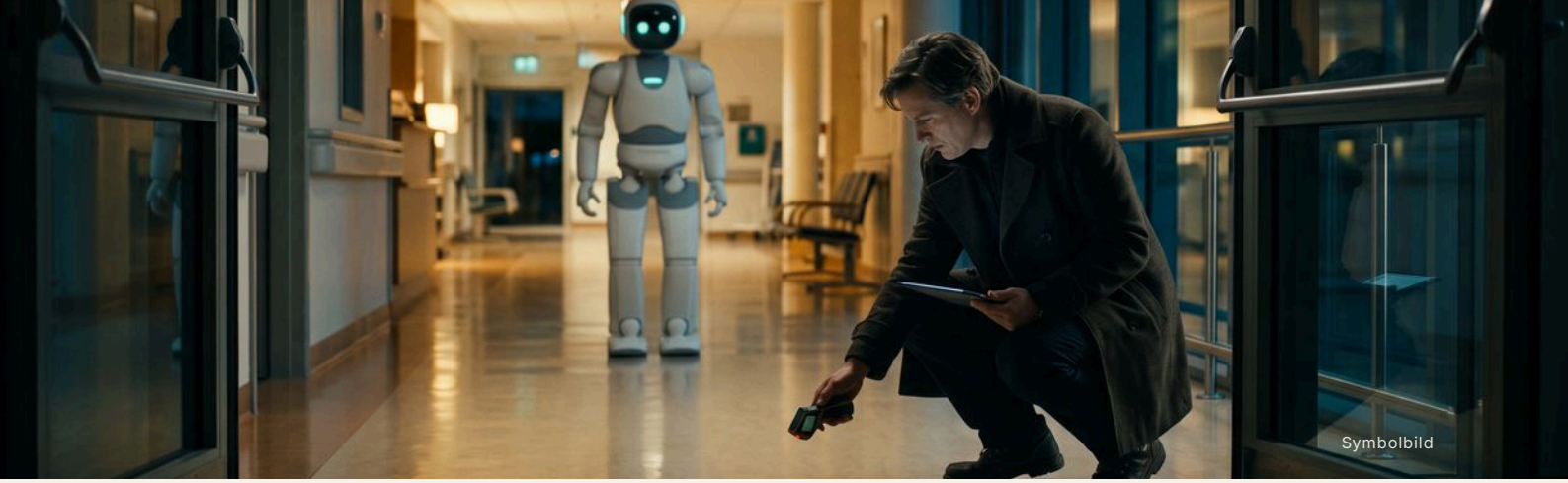
Die Strategie selbst ändert sich: nach Tageszeit, nach Saison oder wenn ein Pilotprojekt zur Flotte wächst. Die Disziplin liegt im Steuern dieser Wechsel.

Portfolios, keine Entscheidungen

Ein Krankenhaus kann S1 im Logistikuntergeschoss betreiben, S3 tagsüber in den Fluren, S2 für das nächtliche Auffüllen und einen sorgfältig gestalteten S4-Moment an der Stationstür. Dieses Portfolio zusammenzuhalten ist die eigentliche Planungsaufgabe.

Was die Wahl beeinflusst

Die Roboterklasse, die Kritikalität der Funktion, wer sich im Raum aufhält, das Haftungsregime, die Flächenkosten, Bestand oder Neubau und der Raum selbst. S2 braucht eine leere Stunde, und ein Flughafen oder ein Akutkrankenhaus hat keine.



3 · WIE WEIT · RRL 0 BIS 5

Wie bereit ist **Ihr Gebäude?**

Sechs Stufen beschreiben, wie weit sich eine Umgebung von Ablehnung hin zur selbstverständlichen Aufnahme maschineller Nutzer bewegt hat. Ein Pilotprojekt braucht RRL 2. Eine Flotte braucht RRL 3.

	STUFE	WAS SIE BEDEUTET	NACHWEIS HINTER DER AUSSAGE
RRL 0	**Roboterfeindlich**	Das Gebäude verhindert den Einsatz aktiv.	**Beobachtet**
RRL 1	**Robotertolerant**	Ein Roboter überlebt, dank Umwegen, Begleitung und der Geduld einzelner Fürsprecher.	**Begangen**
RRL 2	**Roboterkompatibel** PILOT-GATE	Pilotfähig: Die größten Reibungspunkte auf festgelegten Routen sind bekannt und lokal behoben.	**Begangen und gemessen**
RRL 3	**Roboterbereit** FLOTTEN-GATE	Flottenfähig: Reibung herausgeplant, Infrastruktur dimensioniert, Compliance dokumentiert.	**Bewertet und dokumentiert**
RRL 4	**Roboteroptimiert**	Die Umgebung verbessert die Wirtschaftlichkeit der Flotte und das Erleben der Menschen und wird an beidem gemessen.	**Betrieben und überwacht**
RRL 5	**Roboternativ**	Vom ersten Entwurf an für gemischte Nutzung geplant.	**Eingeplant und in Betrieb genommen**

Bereit für wen?

Eine Stufe gilt für eine Nutzerklasse. Derselbe Flur kann für A2 RRL 3 und für A3 RRL 1 sein.



A1
Geführt und skriptgesteuert



A2
Aufgabenautonom



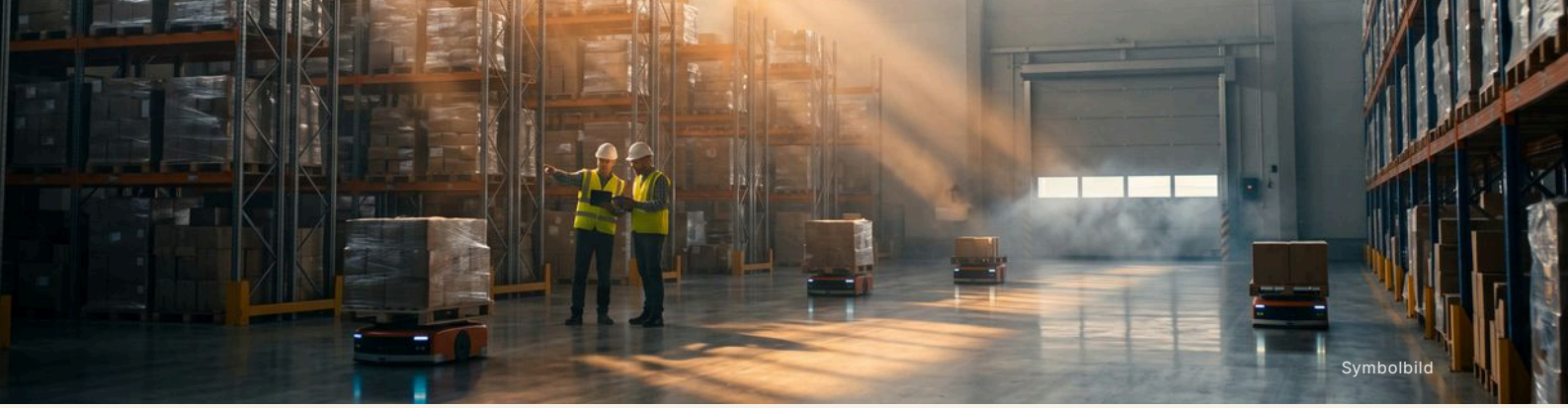
A3
Generalistische verkörperte KI



A4
Ferngesteuert und geteilte Autonomie

Eine Aussage hat ein Datum

Eine Bereitschaftsaussage nennt vier Dinge: eine Stufe, eine Nutzerklasse, den Nachweis dahinter und ein Datum. Gebäude werden umgeplant, Maschinen aktualisiert. Die meisten Bestandsgebäude beginnen bei ehrlicher Begehung in einigen Domänen bei 1 oder 2 und in mindestens einer bei 0.


Symbolbild

4 · WO · PROFILE NACH GEBÄUDETYP

Elf Umgebungen, **ein Spektrum**



ROBOTER ALS GÄSTE

Logistik & Lager D2 D4 D5

Skalierung: Improvisierte Ladeplätze und Verkehrsregeln brechen irgendwo zwischen Roboter fünf und Roboter zwanzig zusammen.



ROBOTER ALS GÄSTE

Produktion D5 D7

Verfall der Beurteilung: Die Risikobeurteilung verliert mit jeder Umplanung stillschweigend an Gültigkeit.



ROBOTER ALS GÄSTE

Gesundheitswesen D6 D3

Ablehnung durch das Personal und eine zu spät begonnene Beteiligung.



ROBOTER ALS GÄSTE

Labore & Reinräume D8 D5

Die Grenze: in einem Raum bewährt, an der Schleuse gestoppt.



ROBOTER ALS GÄSTE

Gewerbe & Büro D1 D6

Gestalterischer Konflikt: Maßnahmen für Roboterbereitschaft treffen auf Corporate-Design-Vorgaben.



ROBOTER ALS GÄSTE

Luftfahrt: Hangars, Terminals & Vorfelder D5 D8 D1 D6

Die Genehmigungskette: viele Vetos, lange bevor eine technische Grenze erreicht ist.



ROBOTER ALS GÄSTE

Wohngebäude D6 D2

Die Musterwohnungslücke: makellos in der Vorführwohnung, gescheitert in einer bewohnten.



MENSCHEN ALS MINDERHEIT

Rechenzentren & technische Anlagen D7 D5 D3

Vertrauen statt Traktion: Der Roboter muss sich die Freigabe in einem Sicherheitsbereich erst verdienen.



MENSCHEN ALS MINDERHEIT

Indoor-Landwirtschaft D8

Übertragung: Eine Lagerplattform trifft gleichzeitig auf Feuchte, Lichtspektrum und Nassreinigung.



MENSCHEN ALS MINDERHEIT

Bergbau & Untertage D3 D7

Die Nahtstellen: Übergangszonen, in denen automatisierte auf bemannte Bereiche treffen.



VON ALLEN GETEILT

Freiräume & städtische Umgebungen D1 D2 D5 D6

Entzogene Duldung: Pilotprojekte enden durch Beschwerden, lange bevor die Maschinen verschlissen sind.

So lesen Sie die Karten

Die farbigen Codes sind die dominanten Domänen jeder Umgebung, dort ballt sich die Reibung. Die Zeile darunter ist das Fehlermuster, das dort immer wiederkehrt.

- Roboter als Gäste oder Kollegen
- Menschen als Minderheit
- Von allen geteilt



5 · WANN · P0 BIS P4

Bereitschaft hat **einen Kalender**

Einsätze werden beschlossen, ausgewählt, vorbereitet, übergeben, gelebt und erneuert, und dasselbe Gebäude stellt bei jedem Schritt andere Fragen.

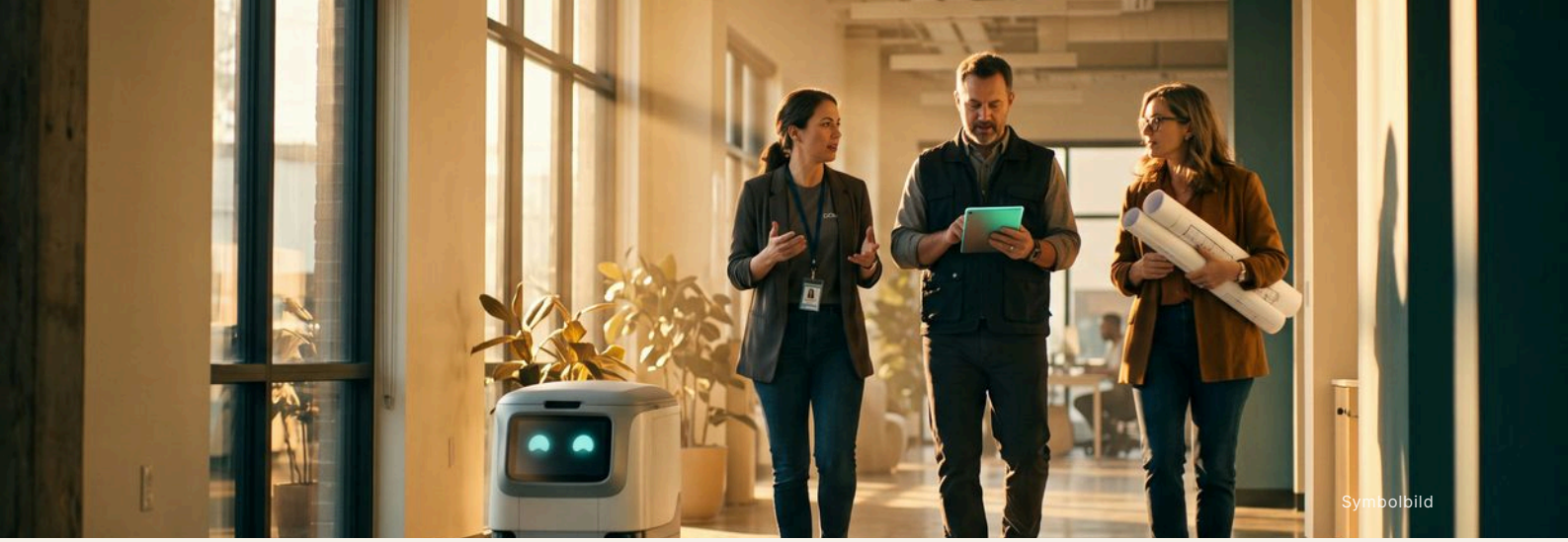
	**P0** Bedarf	**Sollte hier überhaupt ein Roboter diese Aufgabe übernehmen?**	Die Aufgabe und ihre Alternativen; die heutige Ausgangslage; die Nutzerklasse; wer zustimmen muss.	**Die Entscheidung zur Bewertung**
	**P1** Auswahl	**Welche Maschine, in welchen Zonen, mit welcher Strategie?**	Ausgangsniveau je Domäne; Strategie-Portfolio; Passung zum Einsatzbereich der Maschine; Vertrags- und Ausstiegsbedingungen.	**Ausgangs-RRL je Domäne**
	**P2** Ertüchtigung	**Was muss das Gebäude werden, bevor der erste Roboter kommt?**	Nachrüstung und Schnittstellen; Nebenflächen; Zonen eingezeichnet; Personal geschult; Abnahmekriterien vereinbart.	**RRL 2: das Pilot-Gate**
	**P3** Betrieb	**Was bewirken Gebäude, Menschen und Maschine im Betrieb aneinander?**	Übergabe und Gewährleistungsphase; Eingriffe, Vorfälle und Verschleiß protokolliert; Anpassungen auf beiden Seiten.	**RRL 2 im Betrieb gehalten**
	**P4** Erneuerung	**Was ändert sich, wenn die Flotte wächst, der Roboter ersetzt wird oder seine Software dazulernt?**	Vorkehrungen für Skalierung; Regeln für mehrere Flotten; Neubewertung nach jeder Änderung; Ausstieg aus dem Herstellervertrag.	**RRL 3: das Flotten-Gate**

Der Wohnungstest

Wer eine Wohnung vom Plan gekauft hat, kennt den Ablauf: die Wahl der Einheit, die Musterwohnung, dann die Übergabe und die Monate, in denen sich Bewohner und Gebäude aneinander gewöhnen. Der Robotereinsatz hat dieselben Phasen und bisher kaum etwas von dieser Disziplin.

Die Kosten steigen mit jedem Schritt

Ein Türantrieb, der in der Bedarfsphase festgelegt wird, ist eine Zeile im Leistungsverzeichnis. Derselbe Antrieb, entdeckt in P3, ist ein Nachtrag, ein Betriebsstillstand und ein Termin mit dem Vermieter.


Symbolbild

DAS FRAMEWORK ANWENDEN

Drei Zugänge, **vier Schritte**

Dasselbe Gebäude wird von mehr als einer Seite gelesen. Die Einheit des Frameworks ist das Gebäude: das eine Element eines Einsatzes, mit dem jede Partei arbeiten muss, wem auch immer es gehört.

Betreiber und Facility Manager

Finden Sie Ihre Umgebung auf Seite 7 und notieren Sie ihre dominanten Domänen. Begehen Sie dann Ihre eigenen Wege mit den acht Domänen als Linse, zu Betriebszeiten und nachts.

Roboterhersteller und Einsatzteams

Lesen Sie die Domänen als die Hälfte Ihres Einsatzbereichs, die beim Kunden liegt: D8 für das Klima, D2 und D3 für das, worauf Räder, Beine und Hände treffen, D7 für Taktzeiten und Eingriffe.

Architekten und Projektentwickler

Beginnen Sie bei RRL 5 und bei P0. Bereitschaft ist in der Bedarfsphase am günstigsten, und ein Gebäude, das für gemischte Nutzung geplant ist, muss nie dafür nachgerüstet werden.

VIER SCHRITTE, UM DIESEN LEITFADEN ANZUWENDEN

1

Verorten

Finden Sie Ihren Gebäudetyp unter den elf Umgebungen.

2

Begehen

Nehmen Sie die acht Domänen mit auf Ihre echten Wege, tags und nachts.

3

Skizzieren

Zeichnen Sie Ihr Strategie-Portfolio: welche von S1 bis S5 Sie heute nutzen und welche Sie brauchen.

4

Festhalten

Formulieren Sie das Ergebnis als Aussage: eine Stufe, eine Nutzerklasse, der Nachweis und ein Datum.

Was dieser Leitfaden nicht ist

Dies ist Orientierung, kein Bewertungsinstrument. Die Bewertungsmethode hinter den Stufen ist ein eigenes Instrument und wird hier nicht veröffentlicht. Die im Working Paper genannten Normen sind Hinweise für eine fachkundige Prüfung, keine Compliance-Beratung.

Warum jetzt

Die Revision 2025 der Sicherheitsnorm für Industrieroboter hat die Beurteilung von der Maschine auf die Anwendung verlagert, also in das Gebäude. Die EU-Maschinenverordnung gilt ab Januar 2027.

WOHER DAS KOMMT

In der Schwerkraft weiter entfernt **als im Prinzip**

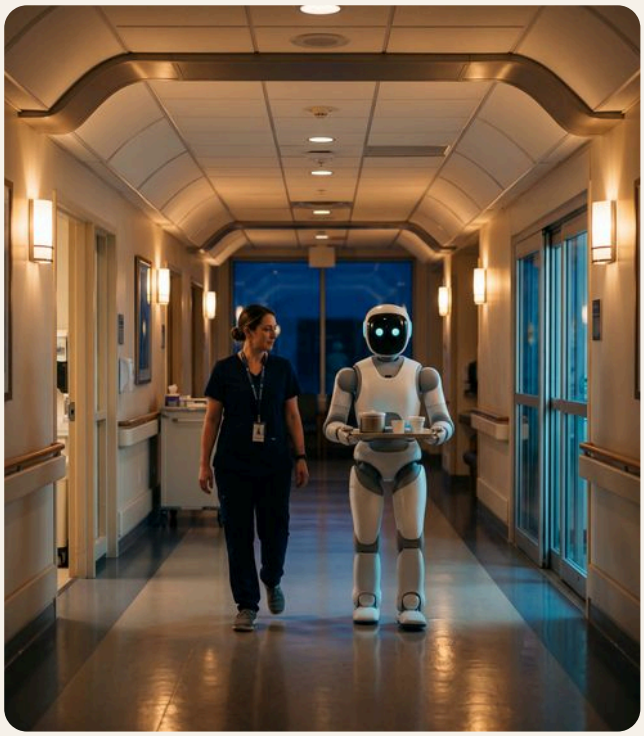
Die Methode hinter diesem Leitfaden wurde nicht für Roboter erfunden. Sie stammt aus der Extremumgebungs- und Raumfahrtarchitektur, wo jede Oberfläche, jedes Volumen und jedes System nach seinen Folgen für Leistungsfähigkeit, Gesundheit und Psyche der Menschen darin beurteilt wird.

Gebäude, die Roboter aufnehmen, sind die neueste Fassung eines alten Problems: eine Umgebung trifft auf einen Nutzer, für den sie nicht geplant wurde, und das menschliche Wohlbefinden ist die Bedingung, die nicht verhandelbar ist.

Das Working Paper (Englisch)

Alayli, O. (2026). *Robot-Ready Architecture: A Readiness Framework for Buildings in the Age of Physical & Embodied AI*. Zenodo.
doi.org/10.5281/zenodo.21870159
Dieser DOI öffnet immer die neueste Version. Lizenz: CC BY-ND 4.0.





Über den Autor

Omar Alayli ist Architekt mit mehr als zwanzig Jahren Erfahrung in Planung und Realisierung von Gebäuden und spezialisiert auf Umgebungen, in denen Leistungsfähigkeit, Physiologie und Psyche zentrale Planungsparameter sind: Raumfahrzeug-Innenräume, Habitate für Extremumgebungen und nun die Gebäude, in die Roboter einziehen. Er ist Host des Omar Alayli Podcast.

Das Framework ist versioniert und wird durch Korrekturen aus der Praxis besser. Wenn Ihr Gebäude oder Ihr Einsatz nicht hineinpasst, möchte der Autor erfahren, warum.

Alle Bilder sind Symbolbilder und KI-generiert; das Framework, seine Konzepte und seine Fehler stammen vom Autor. Bei Abweichungen gilt die englische Fassung.