



Fraunhofer
IPK

Von der Digitalisierung bis zur
intelligenten Prozessunterstützung

AR-Assistenzsysteme als
Schlüsseltechnologie für
agile Produktion

Inhaltsverzeichnis

Management Summary	2	Adaptive AR-Assistenzsysteme in der Praxis	5
AR-Assistenzsysteme im Unternehmenskontext ..	3	Vorgehensmodell zur Umsetzung	6
KI-unterstützte Erweiterung von AR-Assistenz ..	4	Unterstützung durch Fraunhofer	7

Management Summary

AR als Wettbewerbsvorteil in agilen Produktionsumgebungen

Augmented Reality (AR) hat sich von einer Zukunftsvision zur entscheidenden Technologie für resiliente Produktionsumgebungen entwickelt. Dieses Whitepaper erklärt, wie AR-Assistenzsysteme konkrete Wettbewerbsvorteile schaffen: Sie reduzieren Fehlerquoten, verkürzen Einarbeitungszeiten und steigern die Prozesssicherheit – ohne umfassende Neuqualifizierung der Mitarbeitenden. Kernnutzen liegt in der intuitiven Verbindung physischer Arbeit mit digitalen Daten, die Expertenwissen unmittelbar am Arbeitsplatz verfügbar macht. Zentral ist dabei eine nutzerzentrierte Gestaltung, die AR nahtlos in Arbeitsabläufe integriert – beispielsweise durch situative Unterstützung bei komplexen Aufgaben, ohne kognitive Überlastung zu verursachen.

KI-unterstützte Erweiterungen bieten langfristig Potenziale, sind für den Einstieg jedoch nicht zwingend. Unternehmen etablieren zunächst KI-freie Basis-Systeme wie digitale Checklisten und qualitätsgesicherte Arbeitsanweisungen, um schrittweise Nutzerakzeptanz zu stärken und die Integration in PLM- und MES-Systeme zu sichern.

Fraunhofer Vorgehensmodell

Das Fraunhofer IPK unterstützt Unternehmen ganzheitlich bei der Konzeption und Implementierung adaptiver AR-Assistenzsysteme. Als unabhängige Forschungseinrichtung vereint das Fraunhofer IPK Methodenkompetenz, technologische Neutralität und branchenspezifisches Know-how. Eine strukturierte Umsetzung eines solchen Systems ist in einem sechsstufigen Vorgehensmodell beschrieben:

- Erhebung der Nutzeranforderungen: Fokusgruppen, Identifikation von Pain Points und Anforderungen, Erstellung einer Roadmap
- Konzeption und Mockup: HMD-Auswahl, nutzerzentriertes High-Fidelity-Design
- AR-Prototyp: Agiler Funktionsdemonstrator für Live-Validierung
- Backend-Integration: Nahtlose Anbindung an PLM/MES-Systeme über Echtzeit-Schnittstellen
- Evaluation: KPI-basierte Nutzertests (Fehlerquote, Durchlaufzeiten) und iterative Optimierung
- Roll-out und Skalierung: Risikoarmer Pilotstart, Schulungen und modulare Roadmap für unternehmensweite Einführung

AR-Assistenzsysteme im Unternehmenskontext

Motivation

Augmented Reality (AR) revolutioniert operative Prozesse durch die Echtzeitüberlagerung digitaler Informationen mit der physischen Arbeitsumgebung. Von der Industrie über die Medizin bis hin zur Logistikbranche ermöglichen AR-Assistenzsysteme präzisere Abläufe, eine deutliche kognitive Entlastung des Bedien- und Fachpersonals, verkürzte Einarbeitungs- und Schulungszeiten sowie eine nachweisbare Reduktion von Fehlern. Durch die direkte Verknüpfung physischer Tätigkeiten mit digitalen Daten bieten AR-Assistenzsysteme insbesondere in produzierenden Unternehmen klare Wettbewerbsvorteile – vor allem dort, wo das Zusammenspiel von menschlicher Expertise und Maschinendaten eine zentrale Rolle spielt. Hierbei macht die breite Anwendbarkeit von Augmented Reality entlang der gesamten Wertschöpfungskette diese zu einer tragenden Technologie in agilen Produktionsumgebungen.

Mehrwerte AR-Assistenzsysteme

■ Verbesserte Wissensvermittlung

Komplexe Prozesse werden durch visualisierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen intuitiv vermittelt. Dies verkürzt Einarbeitungsphasen signifikant, da neue Mitarbeitende direkt während der Ausführung lernen, was besonders dem Fachkräftemangel entgegenwirkt.

■ Kognitive Entlastung

AR entlastet durch situative Informationen im Sichtfeld – z. B. visuelle Markierungen bei kritischen Schritten. Vermeidet statisches Merken und Dokumentenwechsel, reduziert Fehler in komplexen Prozessen.

■ Produktivitätssteigerung

AR reduziert Bearbeitungszeiten und Fehlerquoten durch kontextsensitive digitale Anleitungen, welche die physischen Arbeitsschritte präzise begleiten. Branchenübergreifend zeigen sich deutliche Effizienzzuwächse, da Mitarbeitende visuelle Anweisungen direkt im Arbeitsfeld nutzen können.

■ Effizientere ortsunabhängige Prozesse

Durch AR-Assistenzsysteme können remote zugeschaltete Fachleute visuelle Anleitungen in Echtzeit direkt ins Sichtfeld des vor Ort arbeitenden Technikpersonals projizieren. So werden zum Beispiel in Wartungsprozessen Stillstandszeiten verkürzt, da Fehler schneller erkannt und behoben werden – ohne dass Fachkräfte physisch anwesend sein müssen.

■ Logistikoptimierung

Durch AR-unterstützte Pick-by-Vision-Systeme werden Kommissionierwege optimiert und Fehler minimiert. Mitarbeitende erhalten visuelle Routenanweisungen direkt im Lagerumfeld, was die Geschwindigkeit und Genauigkeit bei der Warenausgabe erhöht.

■ Ergonomie

AR-Assistenzsysteme als Headmounted-Displays (HMD) bieten Nutzenden freihändige Interaktion und individuelle Positionierung von Interfaces. Das ist flexibler und kostengünstiger als statische Setups, welche durch Monitore oder Aufprojektionen gestaltet sind.

■ Kostensenkung

Als Konsequenz aus den genannten Mehrwerten amortisieren sich AR-Systeme langfristig durch reduzierte Schulungsaufwände, geringere Fehlerkosten in der Produktion und optimierte Wartungsprozesse. Die Investition lohnt sich besonders in arbeitsintensiven Bereichen mit hohen Qualifikationsanforderungen.

Die aufgezeigten Mehrwerte belegen, dass AR-Assistenzsysteme durch die nahtlose Integration digitaler Unterstützung in physische Arbeitsprozesse nicht nur unmittelbare Effizienzsteigerungen erzielen, sondern auch den Grundstein für zukunftsfähige, adaptive Produktionssysteme legen – und sich damit als strategischer Hebel für messbare Wettbewerbsvorteile in einer stark datengetriebenen Industrie etablieren.



Abb. 1: Adaptive AR-Montageassistentz – Werk 4.0, Fraunhofer IPK

KI-unterstützte Erweiterung von AR-Assistenz

Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) in AR-Assistenzsystemen ergeben sich weitere erhebliche Mehrwerte: KI-Methoden erweitern die Grenzen operativer Prozesse, indem sie intelligente Anpassungsfähigkeit und vorausschauende Unterstützung in die physische Arbeitswelt integrieren. Durch die Analyse von Nutzerverhalten wie Blickrichtung oder Handbewegungen bei gleichzeitiger Erkennung der physischen Umgebung durch maschinelles Sehen versteht das System nun konkrete Kontexte und kann darauf reagieren, indem AR-Inhalte dynamisch angepasst werden. Das kann beispielsweise in vereinfachte Darstellungen bei Unsicherheiten sowie detailliertere Informationen für erfahrene Mitarbeitende dargestellt werden. Je nach Kontext reduziert dies die kognitive Belastung und steigert die Präzision in komplexen Abläufen.

Weiterhin nutzen KI-Algorithmen Sensordaten aus der Produktion, um Maschinenzustände kontinuierlich zu bewerten und potenzielle Störungen frühzeitig zu erkennen. Statt reaktiv zu

handeln, erhalten Mitarbeitende, die für Technik verantwortlich sind, proaktive Handlungsempfehlungen, bevor kritische Ausfälle eintreten. Die Systeme agieren somit nicht nur als Informationsquelle, sondern als lernfähige Partner, die Prozesse durch prädiktive Analyse und datenbasierte Entscheidungshilfen optimieren.

Aktuelle Herausforderungen liegen vor allem in der Sicherstellung zuverlässiger Trainingsdaten für die KI, in der Entwicklung transparenter und nachvollziehbarer Entscheidungslogiken zur Steigerung der Nutzerakzeptanz sowie in der Bereitstellung ausreichend leistungsfähiger Hardware für Echtzeitanalysen. Dennoch zeigt die Technologie bereits deutlich ihr Potenzial: Durch die gezielte Verknüpfung menschlicher Expertise mit maschineller Intelligenz entstehen assistive Lösungen, die Fehlerquoten signifikant senken, Wartungsprozesse beschleunigen und Ressourcen wesentlich effizienter einsetzen.

Adaptive AR-Assistenzsysteme in der Praxis

Projekt Werk 4.0 – Case Study

Das am Fraunhofer IPK entwickelte intelligente AR-System, welches im Rahmen des Forschungsprojekts Werk 4.0 als Teil einer resilienten Produktionsumgebung entstanden ist, demonstriert praxisnah, wie KI-unterstützte AR-Systeme Montageprozesse transformieren.

Im Rahmen der Fertigung werden Montagewagen mit den nötigen Teilen bestückt und fahren via AGV autonom in die Montagestation (siehe Abbildung 1). Über die Auftragssteuerung wird der Prozess erfasst, sodass die AR-Unterstützung zur Montage entsprechend starten kann. Der Montageprozess umfasst Pick-and-Place-Aufgaben mit drei verschiedenen Spulentypen sowie dem Innen- und Außenring – exemplarisch dargestellt am Zusammenbau eines AFM-Motors.

Im Kern steht eine adaptive Assistenz durch KI-basierte Szenenerkennung: Statt starrer Schritt-für-Schritt-Anleitungen analysiert das System mittels Computer Vision kontextbezogen, ob ein Bauteil korrekt gegriffen oder positioniert wurde (Abbildungen 2 und 3). Dadurch entfällt das manuelle Navigieren zwischen Arbeitsschritten – Anweisungen werden dynamisch im Sichtfeld des Nutzers eingeblendet, sobald die Situation es erfordert. In jedem Prozessschritt werden benötigte Bauteile durch einen grünen Rahmen visuell hervorgehoben. Die Erkennung einer Greifgeste löst den nächsten Montageschritt automatisch aus (Abbildung 2). Beim Platzieren der

Bauteile gibt es ebenfalls eine visuelle Unterstützung in AR. Die halbdurchsichtige CAD-Überlagerung zeigt dem Werkenden die exakte Platzierungsposition des Bauteils an (Abbildung 3). Nach dem Ablegen wechselt der Montageprozess automatisch zum nächsten Arbeitsschritt.

Ein Schlüsselement ist die Integration in die zentrale Prozesssteuerung sowie die Anbindung an unterliegende Datenmanagementsysteme, beispielsweise dynamische Arbeitsanweisungen aus Standard-Arbeitsblättern (SAB). Ändert sich die Montagereihenfolge oder ein Prozessschritt, passt sich das System nahtlos an, ohne Neuprogrammierung. Dies erhöht die Resilienz bei Produktionsänderungen und reduziert die kognitive Belastung, da die Werkenden nur relevante Informationen erhalten. Erste Nutzerstudien und Interviews mit Mitarbeitenden in der Fertigung belegen, dass vor allem beim Neulernen von Prozessen oder bei abgelenkten Momenten die AR-Unterstützung besonders wertvoll ist.

Durch diese situationsbasierte Adaptivität wird die AR-Assistenz nicht zum starren Hilfsmittel, sondern zum intelligenten Partner, der Fehler vorbeugt und die Prozesssicherheit steigert. Das Projekt zeigt damit einen konkreten Weg, wie Industrie-4.0-Technologien in der täglichen Fertigung wirksam umgesetzt werden können.



Abb. 2: Kontext Greifen



Abb. 3: Kontext Platzieren

Vorgehensmodell zur Umsetzung

Jedes Unternehmen verfügt über eigene Kontexte, Prozesse und Anforderungen. Daher müssen Assistenzsysteme stets an die spezifischen Gegebenheiten des jeweiligen betrieblichen Umfelds angepasst werden: One-Fits-All-Lösungen sind nicht zielführend. Vielmehr sollte die Entwicklung und technologische Integration im engen Austausch mit den Verantwortlichen erfolgen, um gezielt auf individuelle Anforderungen einzugehen. Zudem ist bei der Entwicklung interaktiver Systeme die menschenzentrierte Gestaltung und Konzeption ein zentraler Erfolgsfaktor, um eine erfolgreiche Integration zu ermöglichen.

Nachfolgend ist in einem 6-stufigen Vorgehensmodell dargestellt, wie ein modernes AR-Assistenzsystem im Unternehmen implementiert werden kann.

Phase 1: Erhebung der Nutzeranforderungen

Die erste Phase umfasst die systematische Erhebung der konkreten Bedürfnisse und Herausforderungen der Endnutzer, ergänzt durch die Identifikation der bereits im Unternehmen integrierten Systemarchitektur. Ziel ist es, durch ein tiefes Verständnis der bestehenden Handlungsfelder mit dringendem Verbesserungsbedarf gezielte Lösungsstrategien mittels AR-Assistenz zu entwickeln. Diese Analyse sollte von einer Fokusgruppe begleitet werden, um konkrete Anforderungen zu validieren und praxisnahe Einsatzszenarien für die AR-Lösung abzuleiten. So entsteht eine fundierte Basis für die anschließende technische und organisatorische Umsetzung.

Phase 2: Konzeption und Mockup

Zunächst wird ein detailliertes Konzept für das AR-Assistenzsystem entwickelt, das auf einem vollumfänglichen Verständnis der aktuellen Ausgangslage basiert, um alle betrieblichen Anforderungen präzise abzubilden. Anschließend erfolgt die Erstellung eines High-Fidelity-Mockups, das die Interaktion mit dem AR-Assistenzsystem sowie dessen visuelle und funktionale Elemente prototypisch darstellt. Weiterhin wird in dieser Phase das geeignete Head-Mounted-Display (HMD) ausgewählt, um sicherzustellen, dass die Technologie optimal in die bestehende Infrastruktur integriert ist und für die Nutzer intuitiv bedienbar bleibt. So entsteht ein praxisgerechtes Design, das als Grundlage für die technische Implementierung und abschließende Validierung der AR-Lösung dient.

Phase 3: AR-Assistenzsystem-Prototyp

Die dritte Stufe des Umsetzungsmodells umfasst die Erstellung eines ersten funktionalen Software-Prototyps. Hierbei wird ein interaktiver Demonstrator zur Erprobung im realen Anwendungsfall entwickelt, um die Systemleistung und Nutzerinteraktion unter praxisnahen Bedingungen zu validieren. Dabei werden die Funktionalitäten bereits anhand des Prototyps intensiv getestet und iterativ an Usability-Kriterien sowie die Zielerreichung des Systems angepasst. Die Entwicklung basiert konsequent auf den Erkenntnissen der vorherigen Phasen, insbesondere auf den identifizierten Problemstellen und dem konzipierten Mockup. Durch diese eng an den Anwenderbedürfnissen ausgerichtete Vorgehensweise entsteht ein praxisgerechter Prototyp, der als entscheidende Grundlage für die finale Implementierung und die skalierbare Einführung der AR-Lösung im Unternehmen dient.

Phase 4: Backend-Integration AR-Assistenzsystem

In dieser Phase wird der AR-Demonstrator nahtlos in die vorhandene Systemarchitektur des Unternehmens eingebunden, um eine stabile, sichere und kompatible Funktionalität zu gewährleisten. Ein zentraler Schritt besteht in der Ermittlung und detaillierten Analyse der bestehenden Schnittstellen, um Datenflüsse zwischen der AR-Lösung und den Unternehmenssystemen präzise zu definieren. Abschließend wird eine strategische Vorgehensweise zum Import relevanter Prozessartefakte zur Laufzeit entwickelt, sodass die AR-Anwendung kontextbezogene Informationen – wie beispielsweise Maschinendaten oder Arbeitsanweisungen – dynamisch und in Echtzeit bereitstellen kann. Durch diese systematische Integration entsteht eine betriebsfeste Lösung, die nahtlos in die Produktionsprozesse eingebettet ist und die Grundlage für die skalierbare Einführung der AR-Technologie im Unternehmen bildet.

Phase 5: Evaluation und Nutzertests, Refining

Wie in den vorherigen Phasen dargelegt, sollen die Softwareprototypen kontinuierlich in einem iterativen und menschenzentrierten Prozess evaluiert und weiterentwickelt werden. In dieser Phase liegt der Fokus jedoch auf systematische Nutzertests im realen Einsatzumfeld, um die Effektivität, Usability und Prozessintegration des AR-Assistenzsystems zu validieren. Basierend auf strukturierten Testszenarien werden quantitativen Metriken und Kennzahlen (zum Beispiel Zeitersparnis,

Fehlerreduktion) sowie qualitatives Feedback der Endnutzer erhoben. Die Ergebnisse fließen in einen iterativen Verbesserungsprozess ein, bei dem Schwachstellen im Workflow, der Benutzeroberfläche oder der Systemstabilität behoben werden. Zudem wird die langfristige Anpassungsfähigkeit der Lösung an zukünftige Anforderungen geprüft. Durch enge Abstimmung mit allen Stakeholdern sichert diese Phase die finale Abstimmung der AR-Lösung auf betriebliche Abläufe und Nutzerbedürfnisse.

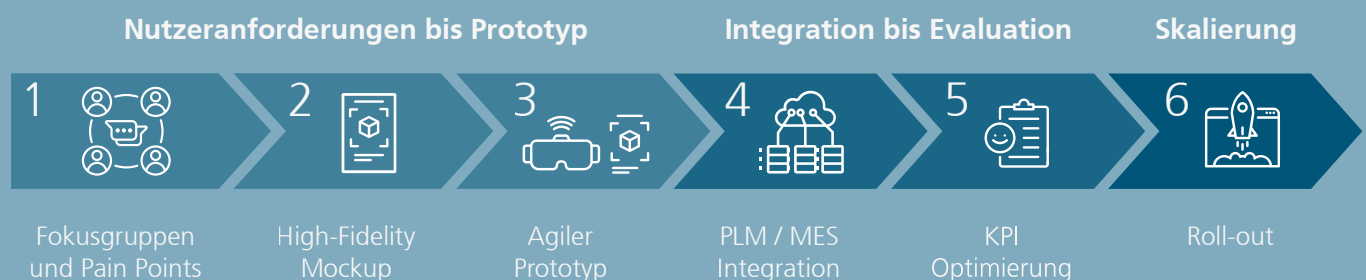
Phase 6: Roll-out, Produktivnahme der Software und Skalierung

In dieser Phase erfolgt die schrittweise Einführung des validierten AR-Assistenzsystems in die produktive Umgebung, begleitet von gezielten Schulungen für alle Nutzergruppen sowie kontextspezifische Unterstützung zur Sicherstellung eines reibungslosen Übergangs. Ein risikominimierter Roll-out-Plan

sieht initial die Implementierung in ausgewählten Pilotbereichen vor, um praktische Erfahrungen zu sammeln und letzte Optimierungen vor der unternehmensweiten Einführung vorzunehmen.

Gleichzeitig wird ein Monitoring-System etabliert, das KPIs wie Systemstabilität, Prozessdurchlaufzeiten, Fehlerquoten und Nutzerakzeptanz kontinuierlich erfasst und bewertet. Für die Skalierung werden modulare Integrationsbausteine definiert, die eine flexible Erweiterung auf weitere Standorte, Produktionslinien oder Abteilungen ermöglichen. Zudem wird eine langfristige Wartungsstrategie ausgearbeitet, einschließlich klarer Verantwortlichkeiten für Updates, technischen Support und zukünftige Erweiterungen.

Phasen zur Integration von AR-Assistenzsystemen





Adaptive AR-Montageassistentz – Fraunhofer IPK, Leistungszentrum Digitale Vernetzung

Unterstützung durch Fraunhofer

Das Fraunhofer IPK begleitet Unternehmen ganzheitlich bei der Entwicklung und strategischen Integration adaptiver Augmented-Reality-Assistenzsysteme. Dies umfasst die systemische Integration in bestehende Unternehmensarchitekturen, die technologiegestützte Konzeption und Entwicklung auf Grundlage präziser Nutzeranforderungen sowie die Validierung der AR-Lösungen durch praxisnahe Studien und Nutzertests. Von der Konzeption über die Erstellung des Proof of Concept bis hin zur ersten produktionsnahen Systemintegration unterstützt das Fraunhofer IPK alle Projektphasen aktiv und umsetzungsorientiert (Phase 1 – 5).

In der anschließenden Phase der produktiven Einführung und unternehmensweiten Skalierung steht das Fraunhofer IPK weiterhin beratend zur Seite und begleitet zugleich den gezielten Kompetenzaufbau für die nachhaltige Adoption der Technologie. So wird sichergestellt, dass die Lösung nicht nur fachlich fundiert, sondern auch betriebsfest in die bestehende Infrastruktur integriert wird.

Je nach Unternehmensgröße und digitaler Ausgangslage verlaufen die Zeithorizonte unterschiedlich:

- Kurzfristig: Fokus auf standardisierte AR-Workflows, beispielsweise digitale Checklisten und qualitätsgesicherte Arbeitsanweisungen, um Akzeptanz, Prozessvertrautheit und Reduktion kognitiver Belastung schrittweise aufzubauen.
- Langfristig: Integration intelligenter und modularer Erweiterungen, beispielsweise prädiktive Wartungslösungen auf Basis von Digital Twins oder KI-unterstützter Teileidentifikation. Diese ermöglichen eine weitere Senkung von Fehlerquoten, steigern die Agilität und ermöglichen eine effizientere Nutzung vorhandener Ressourcen.

Kritisch ist die klare Ausrichtung auf konkrete und wiederkehrende Anwendungsszenarien, da sich der Einsatz hochentwickelter KI-Funktionen erst bei stabil etablierten Prozessstrukturen wirtschaftlich und organisatorisch sinnvoll realisieren lässt. Entsprechend empfiehlt sich zunächst die Einführung robuster Basis-AR-Lösungen, bevor adaptiv-intelligente Funktionen ergänzt werden. Dadurch entsteht ein realitätsnaher und sozial verträglicher Übergang von der klassischen Digitalisierung hin zu lernfähigen Assistenzsystemen, die langfristig zur Steigerung von Qualität, Resilienz und Wettbewerbsfähigkeit beitragen.

Impressum

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK

Pascalstraße 8–9
10587 Berlin
Tel: +49 30 39006-0
info@ipk.fraunhofer.de
www.ipk.fraunhofer.de

Herausgeber

Dr. Kai Lindow

Autoren

Erik Freydank, Dr. Maiara Rosa Cencic,
Dr. Kai Lindow

Abbildungen

© Fraunhofer IPK

DOI: 10.24406/publica-6621

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vollständiger Quellenangabe und nach Rücksprache mit der Redaktion. Belegexemplare werden erbeten.

© Fraunhofer IPK, Berlin 2025

Über Fraunhofer IPK

Unser Ziel ist eine zukunftsfähige Produktion – erfindungsreich, humanzentriert und ressourcenschonend.

Das Fraunhofer IPK bietet Systemlösungen mit starkem Digitalfokus für die gesamte Bandbreite industrieller Aufgaben – vom Produktionsmanagement über Produktentwicklung und Fertigung bis zur Instandhaltung von Investitionsgütern. Zudem übertragen wir produktionstechnische FuE-Lösungen in Anwendungsgebiete außerhalb der Industrie, etwa in die Bereiche Verkehr und Sicherheit.

Kontakt

Erik Freydank

Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung

erik.freydank@ipk.fraunhofer.de

Tel: +49 30 39006-108

Dr. Maiara Rosa Cencic

Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung

maiara.rosa.cencic@ipk.fraunhofer.de

Tel: +49 30 39006-417

Dr. Kai Lindow

Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung

kai.lindow@ipk.fraunhofer.de

Tel: +49 30 39006-204

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen
und Konstruktionstechnik IPK

Pascalstrasse 8–9

10587 Berlin