

KI IN DER BAUWIRTSCHAFT

EINSATZMÖGLICHKEITEN FÜR PLANUNG, REALISIERUNG UND BETRIEB VON BAUWERKEN

HRSG.: WILHELM BAUER | OLIVER RIEDEL | THOMAS RENNER | MATTHIAS PEISSNER





Alexandros Giannakidis, Bianca Weber-Lewerenz, Dennis Stolze

KI IN DER BAUWIRTSCHAFT

Einsatzmöglichkeiten für Planung, Realisierung und Betrieb von Bauwerken

Herausgeber

Wilhelm Bauer, Oliver Riedel, Thomas Renner, Matthias Peissner

VORWORT

Künstliche Intelligenz (KI) ist eine der zentralen Technologien für die Zukunft. Ihre Einführung und der Einsatz fordern Unternehmen im besonderen Maß heraus. Es gilt, das Potenzial zu erkennen und dieses wirtschaftlich nutzbar zu machen. Lassen Sie sich dabei durch Europas größte Forschungsk Kooperation auf dem Gebiet der KI, Cyber Valley, begleiten.

Mit dem KI-Fortschrittszentrum von Fraunhofer IAO und Fraunhofer IPA unterstützen wir Unternehmen dabei, das Potenzial von KI nutzbringend einzusetzen. An der Schnittstelle zwischen anwendungsorientierter Wirtschaft und exzellenter Forschung des Cyber-Valley-Konsortiums entwickeln wir innovative KI-Anwendungen für die Praxis und treiben damit die Kommerzialisierung von KI voran. Erklärtes Ziel ist dabei, menschenzentrierte KI-Lösungen zu entwickeln. Denn nur wenn Menschen mit einer neuen Technologie intuitiv interagieren und vertrauensvoll zusammenarbeiten, kann ihr Potenzial optimal ausgeschöpft werden.

Die Studienreihe »Lernende Systeme« des KI-Fortschrittszentrums gibt Einblick in die Potenziale und die praktischen Einsatzmöglichkeiten von KI. Dabei werden übergreifende Themen wie Zuverlässigkeit, Erklärbarkeit (xAI), cloudbasierte Plattformen, Technologien und Einführungsstrategien diskutiert. Zudem werden einzelne Anwendungsbereiche in der Wissensarbeit, Bauwirtschaft, Produktion und dem Kundenservice im Detail beleuchtet.



In der vorliegenden Studie »KI in der Bauwirtschaft« werden die Anwendungsbereiche von Bauprojekten identifiziert, die schon jetzt vom Einsatz von KI-Lösungen profitieren können. Eine umfangreiche Interviewreihe mit Expert*innen aus Industrie und Forschung ermöglicht es, bereits in der Praxis erprobte Einzellösungen in allen Lebenszyklusphasen, also in der Planung, Realisierung und dem Betrieb von Bauwerken, vorzustellen. Zusätzlich werden einige Anwendungen präsentiert, die sich noch in der Entwicklung befinden. Im Rahmen von Gesprächen mit Entscheidungsträgern aus Politik und Lehre wird über die ethischen Aspekte von KI aufgeklärt.

Diesen Fragen gehen wir auf den nächsten Seiten nach und formulieren zum Abschluss Reflexionsfragen, mit denen Sie Ihre eigenen Ideen, Konzepte oder Ihr eigenes System überprüfen können.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre, und freuen uns, wenn wir in Zukunft auch Sie mit unserer Expertise auf Ihrem Weg zur menschenzentrierten KI unterstützen dürfen.

Wilhelm Bauer, Oliver Riedel, Thomas Renner, Matthias Peissner
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

INHALT

1	Management Summary	8
2	Einleitung	10
3	Ethische Prinzipien für Digitalisierung und KI in der Bauwirtschaft	12
3.1	Einführung	12
3.2	Die Evolution von Ethik in der Technologiewelt: Philosophische Ursprünge	15
3.3	Baukultur 4.0 – wie setzen wir verantwortlich Werteakzente?	17
3.4	Wegweiser im Diskurs um werteführende Digitalisierung und KI: Ethikstrategie für die digitale Transformation im Bauwesen	18
3.5	Fazit und Ausblick	22
3.6	Ethikstatement	23
4	Potenziale für KI-Anwendungen – welche Bereiche profitieren?	24
4.1	Projektmanagement	24
4.2	Generative Stadtplanung	27
4.3	Sicherheit und Gesundheit	30
4.4	Öffentliche Verwaltung	31
4.5	Facility-Management	32
4.6	Bestandserfassung	33

5	Bürolayouts automatisiert planen	34
5.1	Einleitung	34
5.2	Entwicklung von neuen Arbeitsumgebungen	35
5.3	Parametrisches und generatives Design	38
5.4	Haworth Codesigner	39
5.5	Autodesk Revit	40
5.6	Fazit	42
6	Anwendungsfälle und Expertenwissen	43
6.1	AF Gruppen	43
6.2	Apleona	44
6.3	EMB Wertemanagement Bau e. V.	45
6.4	Engineering Data Intelligence (EDI GmbH)	45
6.5	Fraunhofer IAO	46
6.6	Hemminger Ingenieurbüro	46
6.7	HRS Group	48
6.8	IG BAU, Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt	49
6.9	Lehre und Ingenieurausbildung	49
6.10	PERI Digital Transformation & Corporate Development	50
6.11	Smart Design and Construction (SDaC)	53
6.12	User Generated Design (UGD)	54
6.13	Vollack Gruppe	55
6.14	VTT	56
6.15	Wayss & Freytag Digital Construction	57
7	Fazit und Handlungsempfehlungen	60
	Literatur	62
	KI-Fortschrittszentrum	69
	Fraunhofer-Gesellschaft	70

ABBILDUNGEN

<i>Abbildung 1: Verteilung der KI-Ausgaben in der deutschen Wirtschaft 2019 nach Branchengruppen (in Mrd. Euro).</i>	11
<i>Abbildung 2: Wechselwirkung der Schlüsselemente im unternehmerisch verantwortungsvollen Umgang mit Digitalisierung und KI im Bauwesen.</i>	13
<i>Abbildung 3: Typische Datenquellen eines Bauprojekts.</i>	25
<i>Abbildung 4: Arbeitsunfälle abhängig Beschäftigter je 1000 Vollarbeiter*innen.</i>	30
<i>Abbildung 5: Einflussfaktoren auf die Zufriedenheit mit der Büroumgebung.</i>	36
<i>Abbildung 6: Büroplanungsprozess.</i>	37
<i>Abbildung 7: Generative Design Framework, nach Autodesk.</i>	39
<i>Abbildung 8: Screenshot Codesigner, Einstellung der Unternehmenskultur.</i>	40

TABELLEN

<i>Tabelle 1: KI-Lösungen für das Baustellenprojektmanagement.</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 2: KI-Lösungen für die generative Stadtplanung.</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 3: KI-Lösungen für Sicherheit und Gesundheit.</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 4: KI-Lösungen für Facility Management.</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 5: KI-Lösungen für die Bestandserfassung.</i>	<i>33</i>

1 MANAGEMENT SUMMARY

Die Studie zeigt den aktuellen Stand der Entwicklung und erste Anwendungserfahrungen mit KI in der Bauwirtschaft auf. Es sind Technologien, die die Menschen sinnvoll entlasten und unterstützen, Prozesse und Kommunikation effizienter machen, Entscheidungen beschleunigen, bessere Einblicke in Problemstellen schaffen und Arbeitsabläufe sicherer gestalten.

Es geht um das Potenzial der Künstlichen Intelligenz für die Bauwirtschaft: Bereits von der Industrie eingesetzte Einzellösungen in allen Lebenszyklusphasen, also in der Planung, Realisierung und dem Betrieb von Bauwerken werden identifiziert und es wird von ihren Auswirkungen berichtet. Sich in der Entwicklung befindende Anwendungen aus der Forschung oder den FuE-Abteilungen von Unternehmen werden vorgestellt und von Expert*innen beurteilt.

Die Studie basiert hauptsächlich auf über 30 Interviews von ausgewählten internationalen Experten aus Wirtschaft, Politik, Forschung und Lehre, die von November 2019 bis Februar 2021 durchgeführt wurden. Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen einzelnen Befragten wurden herausgearbeitet, abschließende Verallgemeinerungen und Tendenzen basieren auf Gruppenvergleichen.

Zusammenfassend ergeben sich diese Schlussfolgerungen:

1. Das größte Spannungsfeld ist die Herkunft von – und der Umgang mit Daten. Digitale oder digitalisierte Daten sind nicht geeignet für KI aufbereitet, und Datenschutz ist insbesondere bei Cloud-Lösungen oft strittig.
2. Es herrscht ein Mangel an Fachexpert*innen. Softwareentwickler*innen oder Datenwissenschaftler*innen, die wenig vom Bau verstehen, können nur limitierte Ergebnisse erreichen.
3. Die Haftung ist nicht geklärt. Wer ist verantwortlich, wenn etwas schiefgeht? Kann einem Algorithmus oder der Blackbox des Maschinellen Lernens die Schuld übertragen werden?
4. Projektmanagementlösungen werden international eingesetzt. Branchenübergreifend gibt es eine Vielfalt von Anwendungen, die die Verwaltung von Großprojekten optimieren. Einige von ihnen sind auf die Bauwirtschaft spezialisiert.

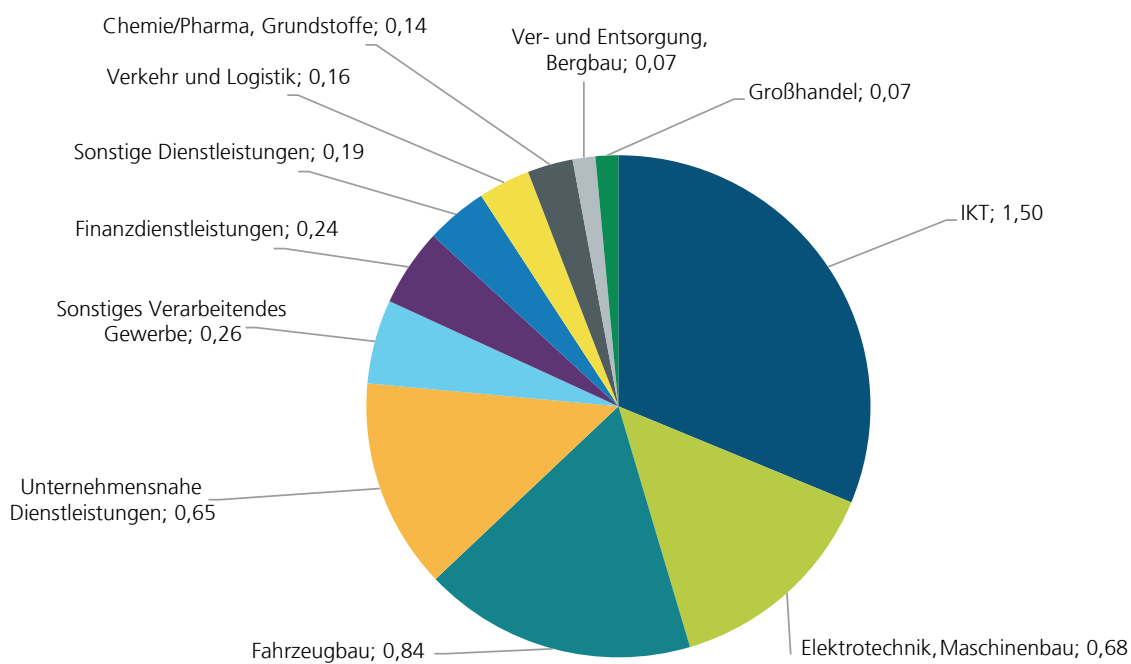
5. Generative Planungswerkzeuge erleben eine Renaissance. Parametrische und generative Methoden (die früher nur als Eigenentwicklungen von Unternehmen zu finden waren), werden breit als Software as a Service angeboten.
6. Das Potenzial wird nicht richtig wahrgenommen. Da sich KI für die Bauwirtschaft noch in der Entwicklungsphase befindet, fällt es Unternehmen schwer, auf lange Sicht in KI zu investieren.
7. Ethik wird für die KI im Bauwesen nicht als Hemmschuh betrachtet, und der Diskurs darüber wird weitergeführt. Menschliche Autonomie soll gewahrt bleiben und gesellschaftlicher Schaden vermieden werden.
8. Der Nachholbedarf der Bauwirtschaft ist riesig. Im Gegensatz zu anderen Branchen vollzieht sich die digitale Transformation in der Bauwirtschaft nur langsam. KI-Ansätze können als Katalyse, also beschleunigend wirken.
9. Die Vernetzung von Anwendungen ist unbedingt nötig. Je größer die Datenmengen, desto besser die Ergebnisse der KI. KMUs können nur dann wirklichen Nutzen aus KI ziehen, wenn der Zugang zu historischen Daten und vortrainierten Anwendungen gewährleistet ist.
10. Stadtsysteme, öffentliche Verwaltung und Kommunen können umfassend von KI-Lösungen profitieren. Es steht an, dass Bürgerkontakt, Sachbearbeitung, Citylogistik und Mobilitätssysteme assistiert oder automatisiert werden.

2 EINLEITUNG

Der Diskurs über Künstliche Intelligenz (KI) wird derzeit noch oft konfus geführt, auch wird zu viel hinterfragt. Das liegt daran, dass es keine eindeutige Definition von KI gibt. Sicherlich geht es bei KI um die Fähigkeit von Computern, intuitive Berechnungen zu tätigen und dahin gehend zu agieren. Aber es ist wichtig zu wissen, dass die heutige KI als »schwach« eingestuft wird und nur für konkrete Probleme von Nutzen ist. Eine superintelligente Identität, die alle kognitiven Fähigkeiten eines Menschen besitzt, problemübergreifend selbstständig denkt und agiert, ist nur dort zu finden, wo sie auch erfunden wurde, nämlich in der Mythologie und der Science-Fiction. Es ist unklar, wann und ob solch eine »starke« KI überhaupt zustande kommen wird.

Heutige KI-Methoden sind hauptsächlich automatisierte Statistikmethoden. Wo früher Datenwissenschaftler*innen mit großem Aufwand in einem Haufen von heterogenen Daten Muster erkennen konnten, werden jetzt lernende Algorithmen eingesetzt, die in einem Bruchteil der Zeit abstrakte Modelle erstellen und diese ggf. auf ähnliche Problemstellungen anwenden. Die Qualität dieser Modelle hängt überwiegend von der Menge und Qualität der eingegebenen Daten ab.

Ein vollständiges Bild zum Wertschöpfungspotenzial der KI ist nur auf Basis von Fakten und Zahlen verständlich. Insgesamt erzielten die Unternehmen der deutschen Wirtschaft im Jahr 2019 aus Produkten und Dienstleistungen mit direktem KI-Einsatz einen Umsatz von annähernd 60 Mrd. Euro. Im Jahr 2019 hatten 30 Prozent der Unternehmen der deutschen Wirtschaft, die KI im Unternehmen eingesetzt haben, Stellen im Bereich KI zu besetzen. Ansätze in der Bauwirtschaft befinden sich meist erst in einer frühen Implementierungsphase. Die Ausgaben der Bauunternehmen in diesem Bereich sind so niedrig, dass sie in der Statistik des BMWi über den Einsatz von KI in der Deutschen Wirtschaft nicht erfasst worden sind (Abbildung 1) [1].



Durch diese Studie zu KI in der Bauwirtschaft wird versucht, umfassende Aufklärungsarbeit für alle im Bauwesen Beschäftigten zu leisten. Somit erhoffen sich die Autor*innen, das Expansions-tempo in der Branche verantwortungsvoll und wettbewerbsfähig zu erhöhen.

Abbildung 1: Verteilung der KI-Ausgaben in der deutschen Wirtschaft 2019 nach Branchen-gruppen (in Mrd. Euro).

3 ETHISCHE PRINZIPIEN FÜR DIGITALISIERUNG UND KI IN DER BAUWIRTSCHAFT

3.1 Einführung

*Ein Beitrag von
Bianca Weber-Lewerenz*

Die digitale Transformation im Bauwesen birgt hohes Potenzial für den wirtschaftlicheren und effizienteren Lebenszyklus von Bauprojekten, erfordert jedoch einen verantwortungsvollen Umgang. Die Studie setzt bei der Einbettung der ethischen Aspekte ab Beginn der KI-Entwicklung an und leitet praxisnahe, strategische Wegweiser für die werteführte Digitalisierung und KI her. Groß-, mittlere und kleine Unternehmen tragen Verantwortung, den digitalen Wandel mitzugestalten und Vertrauen in Innovationen zu bilden, bei allen Chancen und Risiken. Verbindliche Regeln des ethischen Rahmens von KI sieht die Studie als Lösungsoption. Hochschulen und Ausbildungszentren sind gefordert, die Bildungslandschaft so anzupassen, dass die nächste Generation von Ingenieur*innen und Fachkräften über ethische und fachübergreifende Kompetenzen in Digitalisierung und KI verfügt. Die Umsetzung dieser Voraussetzungen stellt eine Schlüsselkompetenz in Deutschland dar, damit »KI – made in Germany« zu einem weltweit anerkannten Qualitätssiegel wird. Die Autorin nutzt den ganzheitlichen, inklusiven, interdisziplinären Ansatz, um aufzuklären, Bewusstsein zu bilden und Orientierung im Umgang mit der digitalen Transformation zu geben. Die Wechselwirkung der Schlüsselemente lässt sich auf einen Blick anhand der Abbildung 2 darstellen (Quelle: Bianca Weber-Lewerenz, Forschungsarbeit).

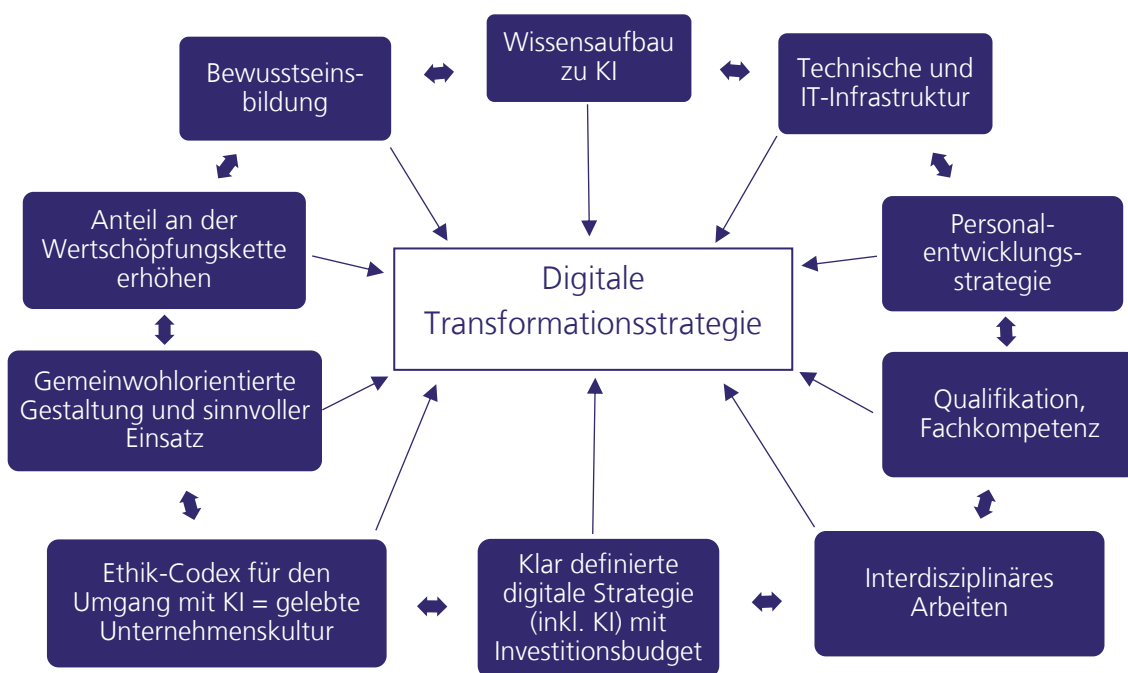


Abbildung 2: Wechselwirkung der Schlüsselemente im unternehmerisch verantwortungsvollen Umgang mit Digitalisierung und KI im Bauwesen.

Die vier ethischen Grundprinzipien zur KI sind für das Bauwesen aktueller denn je: KI soll die menschliche Autonomie wahren, gesellschaftlichen Schaden vermeiden, fair agieren und erklärbar bleiben. Insgesamt erzielten 2019 die Unternehmen mit direktem KI-Einsatz einen Umsatz von annähernd 60 Mrd. Euro [1], Tendenz steigend. Für 92 Prozent der deutschen Unternehmen ist die digitale Transformation der wichtigste Wettbewerbsvorteil. 88 Prozent messen der Unternehmensethik, der Wertschätzung und dem Gemeinwohl entscheidende strategische Bedeutung für den Erfolg bei [2] – ein starkes Signal an die Baubranche. Wie wollen wir Menschen diese Technik gestalten? Welche Erwartungen haben wir an sie? Wo soll sie uns unterstützen? Welche Arbeiten geben wir nicht an Maschinen ab? Welche Probleme sehen wir an welchen Stellen, und wie lösen wir diese? Können Werte Leitlinien für diese Technikgestaltung sein? Wie machen wir uns am besten mit ihr vertraut [3]?

Algorithmen, die die KI erst möglich machen, sind für Informatiker *innen Alltag, d. h. ein verschwindend geringer Anteil der Gesellschaft kennt sich mit KI aus und spricht diese Expertensprache. Vertrauen in diese neue Technik kann nur hergestellt und aufgebaut werden, indem sie erklärt und Bewusstsein gebildet wird. Digitalisierung und KI sind ethische Herausforderungen, die wir mit unseren menschlichen Werte- und Moralvorstellungen als wichtigsten Werkzeugkoffer anpacken können.

Die Autorin vertritt die Notwendigkeit einer sinnvollen, menschengerechten KI in der Bauindustrie und bringt diese erstmals in die allgemeine Debatte über Ethik in der KI mit ein. Dabei steht der von ihr eingeführte Terminus »iEthics« für die ethischen Grundsätze einer unternehmerisch verantwortungsvollen Digitalisierung.

Die von der Unternehmensführung vorgelebte Ethik ist ökonomischer, sozialer sowie ökologischer Dreh- und Angelpunkt, um sich als Unternehmen im schnellen globalen Wandel vom Wettbewerb abzuheben und technologischen Fortschritt am Gemeinwohl auszurichten. Algorithmen gehen von Annahmen aus, die Wertungen enthalten. Menschen führen Daten zu und geben Werte vor. Kann zwischen Ethik und KI eine Partnerschaft zum moralischen Handeln geschlossen werden [4]?

In dieser Gesellschaftsdebatte suchen Kirchen, Politiker, Führungskräfte, Personalabteilungen nach Methodik, Richtlinien, Kontrollmechanismen und den richtigen Umgang. Über 53 Prozent geben hohe ethische Bedenken als Risiko in der KI an [5]. »Entscheidend ist das Führungsverhalten, das Vorbild des Topmanagements und die klare Kommunikation der Wertekultur«, sagt Prof. Dr. Josef Wieland [6]. Die Ethik ist gefragter denn je und liefert maßgebliche Stichworte für öffentliche Auseinandersetzungen um Wissenschaft und Technik [7]. Es braucht Mitspieler*innen, Plattformen, visionäre Kräfte und Macher*innen aus Lehre, Bildung, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft.

Die Querschnittsthemenbrisanz zeigt sich u. a. in der Bündelung an Referatsstellen zur »Digitalisierung im Bauwesen«, wie die des BBR und BBSR Mitte 2020 [8], »denn Digitalisierung und KI ... wirken sich ... umfassend in alle Lebens- und Arbeitsbereiche aus. Als großes Manko in der kleinteilig organisierten Baubranche gelten die fehlenden durchgängigen, digitalen Prozessstrukturen, die die Einführung von KI-Applikationen erschweren. Wir sehen einen starken Bedarf am Diskurs, nur so kann auch der Frage nach dem Qualifikationsprofil ... des ‚Ingenieurs von morgen‘, die Digitalisierung und KI erfordern, konstruktiv nachgegangen werden. Entscheidungsträger stehen in der Verantwortung. Gewisse Selbstverständlichkeiten aus der Vergangenheit werden zukünftig nicht mehr gelten ... Innovative Technologien – Hand in Hand mit ethischen Fragen – müssen generell in die Lehre miteingebunden werden. Das ist bisher noch nicht geschehen. Fehler dabei und problematisch: Es ist ein Prozess, in dem sich alle, und nicht nur einzelne, mit den Auswirkungen der Digitalisierung und KI auseinandersetzen müssen. Vorbehalte, Ablehnungshaltung, Abwarten oder die Haltung ‚brauchen wir nicht‘ haben in diesem, alle betreffenden Prozess keine Chance.«

Dass zum Erfolg einer Wertekultur der fachübergreifende Diskurs geführt werden muss, wird noch nicht überall gesehen. Die tiefen Einschnitte dieser Technologien auf Arbeitswelt und Gesellschaft erfordern die Berücksichtigung der Aspekte Mensch – Technik – Gesellschaft. Technik

ist eine Frage des Könnens, und des Sollens und Dürfens. Zur erfolgreichen KI-Strategie in Unternehmen zählen das Erklären von Vorteil und Mehrwert und das Schulen ethischer Grundsätze im Umgang. Ethische Rahmenbedingungen können Führungs- und Fachkräfte dabei unterstützen, agiler zu handeln, sich auf neue Ziele und Geschäftsmodelle zu fokussieren. Hohmann-Dennhardt [9] kennt kein wertfreies Handeln: »Wir müssen eine Wertediskussion auf allen Ebenen führen...und uns am Nutzen der Gesellschaft ausrichten.« Hagemann-Miksits pflichtet dem bei [10]: »Ethik und Rahmenbedingungen für die Digitalisierung am Bau sind noch weit weg. Es bedarf enormer Aufklärungsarbeit zu Wissen, Chancen und Risiken, Datensicherheit in der unternehmerisch verantwortungsvollen Digitalisierung und Künstlichen Intelligenz. Diese Pionierarbeit (hier: die Forschungsarbeit der Autorin) verdient vollste flächendeckende Unterstützung...und setzt ein höchst positives Signal an die Baubranche.«

3.2 Die Evolution von Ethik in der Technologiewelt: Philosophische Ursprünge

Der Begriff KI wurde 1955 von John McCarthy geprägt. Führende US-Computerwissenschaftler, Mathematiker und Linguisten für ein Forschungsprojekt trafen sich für eine Vision: Selbstlernende Maschinen lösen Aufgaben, für die menschliche Intelligenz vorausgesetzt wird – die KI. Seither gehören »Wahrnehmen« und »Erkennen« zu den größten Fortschritten, wie z. B. Bild- und Spracherkennung, Sprachassistenten. Seit 2010 wurde KI weltweit zu einer boomenden Technologie mit dem Ziel, die kognitiven Fähigkeiten zunehmend abzubilden [11]. Das Deutsche Forschungszentrum für KI (DFKI, gegründet 1988) legte den Grundstein für anwendungsorientierte Forschung, z. B. für Lernende Systeme. Die Aufgabe lautet daher: KI gestalten – zum Wohl der Gesellschaft. So nahm die wissenschaftliche Forschung zu einer menschengerechten KI an Fahrt auf, insbesondere in Philosophie, Theologie, Rechts-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften.

Die in Politik und Gesellschaft aufkommenden ethischen Fragestellungen rund um Gentechnologie, Bioethik und KI führten zum Begriff der Technikethik, auch als »Ethik in der Technik« bezeichnet. Technikethik ist als eigenständige Wissenschaft der Philosophie zuzuordnen und Grunwald [12] federführend mit seiner Forschung zur Ethik in der Technikgestaltung. Einhergehend mit der Forschung zu einem vertrauensvollen Umgang mit KI wurden branchen- und unternehmensspezifische Ethik-Codexe entwickelt, nicht zuletzt um dem rechtlichen Druck aufgrund von Diskriminierungsvorwürfen zu begegnen. Mit zunehmenden digitalen und KI-Technologien wird verstärkt auf Feldern der Ethik in diesen technischen Bereichen geforscht, d. h. das Interesse an der von Menschen geführten Technik ist gestiegen, zur Erfüllung der Nachhaltigkeitsziele wird der ethische Umgang mit der Technik zunehmend bewertet.

Die Feststellung, dass Vertrauen in die neue Technik und Verständnis ihrer Funktion nur durch Aufklärung, Bewusstseinsbildung und Transparenz geschaffen werden können, führte zu Begriffen wie »Erklärbarbarmachung von KI«, »Vertrauenswürdige KI«, »Verantwortungsvolle KI«, »Menschzentrierte KI«. Federführend forscht der IEEE 2019 zu »Ethisch ausgerichtetes Design: Eine Vision zur Priorisierung des menschlichen Wohlbefindens mit autonomen und intelligenten Systemen.« Der IEEE, weltgrößter Ingenieursverband, erarbeitete den ersten Ethikstandard für die Technikentwicklung. Der Verband implementiert so ein ethisch ausgerichtetes Design von KI in autonomen und intelligenten Systemen. Die Fachdisziplin Bau ist im Forschungsfeld der ethischen Aspekte in Digitalisierung und KI erstmals mit der Forschung der Autorin vertreten.

Das Institut für Ethik in der KI der TU München (IEAI), das Internationale Zentrum für Ethik in den Wissenschaften an der Eberhard Karls Universität Tübingen (IZEW), der Forschungsverbund »Cyber Valley« Tübingen-Stuttgart (gehört zu den TOP 10 KI-Forschungszentren in Deutschland, gilt als Top-Standort für Machine Learning in Deutschland), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sind praktische Beispiele für die interdisziplinären Untersuchungen zu Ethik in der KI in den meisten Fachdisziplinen.

Auf internationaler Ebene forschen u. a. die Stanford University California mit ihrem »Institute for Human-Centered AI« (Stanford HAI). Im Silicon Valley begleiten ethische Aspekte den Technikfortschritt. Risiken, die die KI birgt, und Konsequenzen, die sich für Menschen ergeben, werden auf das Gemeinwohl geprüft und Zukunftsvisionen der entsprechende ethische Rahmen gegeben. D. h. angewandte Ethik in Forschung und Entwicklung, fest verankert auf Basis einer menschenzentrierten Geisteshaltung, begleitet von regelmäßigen Tagungen mit Jesuiten.

Regeln, Moral und Werte helfen, die KI-Technologien werteorientiert zu entwickeln. Der Mensch im Zentrum der Technik. Dass die Technik menschengeführt entwickelt, in der Praxis angewandt und den neuen Anforderungen angepasst wird, und sich an moralisch ethischen Werten und konkreten Handlungsprinzipien orientieren sollte, wusste bereits Immanuel Kant im Ansatz (1791) [13]. Die Ethik (von griech. ethos: sittlich, vernünftig, moralisch) als eigenständige philosophische Disziplin, geht auf ihren Begründer Aristoteles im 4. Jh. v. Chr. zurück. Hier bilden die Tugenden die innere Richtschnur jedes Handelns [14]: »Jedes Handlungswissen (technē) und jedes wissenschaftliche Vorgehen (methodeos), ebenso jedes Handeln (praxis) und Vorhaben (prohairesis) strebt, so die verbreitete Meinung, nach einem Gut (agathon ti).«

Ethische Handlungsempfehlungen aus Kirche, Politik und Forschung stellen Menschen und deren Werte in den Mittelpunkt des gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Forschungsdiskurses im Umgang mit der Digitalisierung und KI. Die zentrale Stellungnahme der römisch-katholischen Kirche mit dem »Rome Call for AI Ethics« legt 2020 den Unternehmen erstmals eine verbindliche Erklärung zum Schutz der ethischen und Werteprinzipien in der Künstlichen Intelli-

genz nahe [15]. Die EU-Kommission fordert in ihrem »Weißbuch zur KI – ein europäisches Konzept für Exzellenz und Vertrauen« den wachsam Umgang mit den Gefahren, die Digitalisierung und KI mit sich bringen. Sie fordert die Berücksichtigung und den Schutz von Werten und Grundrechten und das Abgrenzen von maschineller, künstlicher und menschlicher Intelligenz durch den achtsamen Umgang. Die Deutsche Ethikkommission der deutschen Bundesregierung (DEK) weist mit ihren ethischen Handlungsempfehlungen im Gutachten dem Staat die Verantwortung zu, ethische Maßstäbe für den digitalen Raum zu formulieren. Die Allgemeine Europäische Datenschutzverordnung 2016 hat den Schutz der Persönlichkeit, den Schutz von Daten und Privatsphäre zur Priorität im Umgang mit Digitalisierung und KI gemacht.

3.3 Baukultur 4.0 – wie setzen wir verantwortlich Werteakzente?

Die Befragung ergab, dass bei der praktischen Umsetzung von Aufklärung, Wissens- und Bewusstseinsbildung noch viel Unwissen, eine Geschäftsplanung »auf Sicht«, Ablehnung und Vorbehalte gegenüber wissenschaftlicher Schnittstellenarbeit besteht, und dass diese Missstände beim Namen genannt werden müssen. Sie behindern nicht nur den Austausch zwischen Fachdisziplinen und die Suche nach ganzheitlichen Lösungsansätzen in der Gestaltung des digitalen Transformationsprozesses, sondern den innovativen Fortschritt und digitalen Wandel am Bau am Standort Deutschland. »In den Technikwissenschaften ist es längst noch nicht angekommen, dass mit Werten und Prinzipien gearbeitet wird und die Ethikschulung bereits in der Ausbildung verankert sein muss [16].« Fachexperten bestätigen: Nur durch kritisches Hinterfragen und neue Denkanstöße gelingen Fortschritt und Reformen im digitalen Wandel. Die Gestaltung der Unternehmensverantwortung in der digitalen Gesellschaft erfordert eine neue Qualität der Auseinandersetzung.

Die Studie sieht die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen und die Forderungen der EU-Kommission im »Weißbuch zur KI« [17] als Wegweiser in der Gestaltung einer wertebasierten, nachhaltigen Digitalisierung und KI und der Stärkung der verantwortlichen Rolle der Baubranche. Ethische Werte und Verhaltenskodizes müssen weiterentwickelt werden, um Vertrauen in neue Technologien und den sinnvollen Umgang zu stärken, und Orientierung zu schenken [18] [19]. »Die unternehmerische Verantwortung und Einbettung einer wertebasierten Unternehmensführung – in einer zunehmend durch Digitalisierung und KI-Technologien sich grundlegend wandelnden Gesellschaft – gehen damit einher«, so Detlef Lupp [20]. Matthias Schäfer [21], stellvertretender Vorstandsvorsitzender (EMB Wertemanagement Bau e. V.), unterstreicht: »Unternehmen sind produktive Sinngemeinschaften, die nur durch ein starkes WIR dem ökonomischen Faktor erfolgreich und nachhaltig gerecht werden können.«

Die ethischen Leitlinien der EU-Kommission in der KI für ihre Mitgliedstaaten (April 2018) und das KI-Strategiepapier der deutschen Regierung (Juli 2018) zusammen mit ihrem 3-Milliarden-Euro-Plan im November 2018 [22] setzen Signale. Wichtige Akteure sind u. a. die Enquete-Kommission »KI – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche Potenziale« des Deutschen Bundestages, die Alexander-von-Humboldt-Stiftung, Plattform Lernende Systeme, Fraunhofer-Gesellschaft, Max-Planck-Gesellschaft, Helmholtzgemeinschaft. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages gibt mit ihrem Abschlussbericht [23] Handlungsempfehlungen für eine menschenzentrierte KI. »Cyber Valley Stuttgart-Tübingen« und der »KI-Innovationspark Baden-Württemberg« bilden global wettbewerbsfähige Forschungs- und Hightech-Standorte. Das Institute of Ethics and AI der Oxford University lehrt das Fach »Ethik in KI für Ingenieure«; Ethik ist fester Bestandteil des Ingenieursprofils. Der ethisch verantwortliche Umgang mit KI wird für die Entscheidungsprozesse im Ingenieursalltag geschult. Die Studie zeigt: Auf deutschem, europäischem und internationalem Level (u. a. Roman Catholic Church [15]) wird »Ethik in der KI« gestärkt. Der wissenschaftliche Diskurs »Ethik in der KI« findet bisher in Bereichen wie z. B. Automotive, IT, Recht, Medizin, Theologie, Philosophie und Sozialwissenschaften statt.

Die Mehrheit der Unternehmen sucht sinnvolle Einsatzfelder von KI. Investitionen sind nach wie vor mit einem erheblichen Kostenfaktor verbunden. »Erfahrungswerte tragen zu einem Augenöffnungseffekt bei. Die Anregung zu einer ... Werte-Rückkehr zu handwerklichem Können und Herzensbildung pflichtet dem digitalen Transformationsprozess am Bau bei [24].« Ethische Grundsätze im Umgang mit digitalen Technologien und KI ermöglichen die nachhaltige, wertebasierte Gestaltung von Lebens- und Stadtwelten von morgen, Raum und Gesellschaft. Angesprochen sind der öffentliche und private Sektor, die Wirtschaft, Industrie, Politik, Forschung, Gesetzgebung, Bildungswesen und alle an Bauprojekten Beteiligte. Der digitale Wandel braucht Vertrauen, Technologiebeurteilungs- und Umsetzungskompetenz und die Veränderung hin zur offen begegnenden Unternehmenskultur. Die Technik ist mehr denn je Schlüssel zu einer neuen europäischen Innovationskultur.

3.4 Wegweiser im Diskurs um werteführte Digitalisierung und KI: Ethikstrategie für die digitale Transformation im Bauwesen

Um neue ganzheitliche Stadtsysteme, effiziente Citylogistik, Mobilitäts- und Innovationssysteme zu gestalten, stellt sich die Frage: Wer sind die Akteure, die Vordenker*innen und Gestalter*innen, wer sind die Ausführenden? Kommunale Klimaanpassungsstrategien, digitale Strategien, zukunftsfähige urbane Infrastrukturen gelingen nur mithilfe von Expert*innen und Wissen. Die Ethikstrategie in der KI im Bauwesen könnte dergestalt aussehen:

- Aufklärung und Bewusstseinsbildung für Potenziale, Chancen und Risiken der KI zu unterstützen,
- die Wettbewerbsfähigkeit des Bauwesens in Deutschland zu sichern,
- die Nachhaltigkeitsziele zu erfüllen,
- eine gemeinwohlorientierte Entwicklung und Nutzung von KI sicherzustellen,
- KI im Rahmen eines breiten gesellschaftlichen Dialogs und einer aktiven politischen Gestaltung ethisch, rechtlich, kulturell und institutionell in die Gesellschaft einzubetten,
- mit gezielter Förderung der Bewusstseinskultur und Ausrichtung von KI an ethischen Werten, unterstützt von zugehörigen Gesetzesregelungen Deutschland und Europa zum führenden Standort für die Entwicklung und Anwendung wertebasierter KI-Technologien zu machen,
- ein auf alle europäischen Mitgliedstaaten bezogenes Konzept zu den ethischen Standards in der KI (Gemeinsamer Europäischer Weg).

Die Use Cases belegen: Die Interaktion Mensch – Technik, Mensch – Maschine ist eine Partnerschaft, aber zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz muss klar differenziert werden. Wenn es um die Kontrollinstanz der Einhaltung ethischer Standards geht, appelliert der Großteil der befragten Expert*innen an die unternehmerische Eigenverantwortlichkeit bzw. fordert eine unabhängige Kontrolle.

Die Forderung der Befragten nach einer einheitlichen Regelung durch den Gesetzgeber wird hauptsächlich im Bereich Datenschutz laut. Armin Grunwald [25] rät zu einem Diskurs über die wirtschaftliche Effizienz mit den ethischen Fragestellungen: »Unternehmen können von ihren Kunden, den Nutzern, gezwungen werden, ethische Verantwortlichkeiten zu erfüllen. Ethik sollte den Prozess der KI-Entwicklung und Entscheidungsfindung von Anfang an begleiten. Die Denkweise, dass sich die KI in einem sehr frühen Stadium befindet und der ethische Teil ‚später‘ benötigt wird, ist eine völlig falsche Wahrnehmung.« Regina Ammicht Quinn [26] meint: »unternehmerische ethische Selbstverpflichtung ist kein Ersatz für klare rechtliche Gesetzesregelungen ... die Politik muss sich ihrer Verantwortung stellen. Denn, in welcher Gesellschaft wollen wir leben?«

Thomas Kiefer [27] setzt bereits in der Einbindung von Ethik in der Ingenieurausbildung und Lehre an: » ... Vom Ingenieur wird die ganzheitliche, d.h. die moralische, wertebasierte, fachübergreifende Betrachtungsweise gefordert. Die digitale Transformation ändert das Ingenieurprofil ... Verantwortlichkeit und ethisches Handeln bedeutet, dass sich Hochschulausbildung und Lehre adäquat anpassen ... müssen. Ethik und der fachübergreifenden, interdisziplinären Zusammenarbeit kommt ... ein sehr hoher Stellenwert zu. Aufklärung und Bewusstseinsbildung sind Dreh- und Angelpunkt zur Erklärbarkeit, Transparenz und Vertrauen in die neuen Technologien.«

Für Ursula Nothelle-Wildfeuer [28] muss der Mensch im Mittelpunkt technologischer Entwicklungen stehen. Das bildet den entscheidenden Erfolgsbaustein für eine menschengerechte, sinnvolle und nachhaltige Anwendung der KI. Zentral ist die gegenseitige Ergänzung von Mensch und Technik und die Diskussion zwischen Ingenieurwissenschaften einerseits und Ethik, Philosophie, christliche Lehre andererseits. Es geht um die Menschen. Technik ist nicht mehr Selbstzweck.

Peter Mendler [29] weiß: »Vertrauen schaffen, Offenheit und Fairness sind Schlüsselfaktoren, denn ethisch vertretbare Produkte sind regelmäßig wettbewerbsfähiger. Sie kommen beim Kunden meist besser an. Für den Erfolg und die Akzeptanz sind in Projekten des KI-Innovationsparks ethische Aspekte von wesentlicher Bedeutung.«

Thomas Gebhardts Kernaufgabe liegt im Transfer zwischen Lehre, Forschung und Handwerk [30]. Für ihn besteht die unternehmerische Verantwortung in der digitalen Transformation besonders im gemeinsamen Umdenken, in der Prozess- und Kommunikationsverbesserung sowie in einer Anpassung des Geschäftsmodells, um wettbewerbsfähig zu bleiben. »Handwerker haben generell eine hohe Ethik wie Wertvorstellungen und einen hohen Anspruch an Wertschätzung. In der Transferberatung zeigt sich, dass Bewusstseinsbildung, Aufklärung und Wissensaustausch entsprechender Sprachumstellung bedarf. Verantwortungsvolle, wertebasierte Unternehmensführung im Handwerk erfordert strategische Weiterentwicklung und nicht mehr nur auf kurze Sicht zu fahren. Digitalisierung/KI und vor allem BIM bedeutet Philosophie des Bauens und ist mehr als ein Softwareprodukt. Das Handwerk selbst kann KI nicht entwickeln, aber es kann KI nutzen; und das Handwerk kann aber Datenlieferant sein. Denn um Algorithmen zu trainieren, braucht es immense Mengen an Daten. Ein Miteinander ist gefordert, keine Insellösungen, mehr Vernetzung.«

Die Ergebnisse der Befragungen zeigen, dass Politik, Lehre, Forschung und Wissenschaften, Berufskammern und berufliche Verbände in ihrer Vorbildfunktion bei der ethischen Auseinandersetzung der Entwicklung verbindlicher Regeln nachkommen sollten. Diese Studie lässt deutlich erkennen, dass Wissenschaft neue Wege ermöglichen und signalisieren muss und die fachüber-

greifende Diskussion braucht. Die Konkretisierung des europäischen Regulierungsrahmens für die KI, mit verbindlichen europäischen Rechtsvorschriften, könnte die europäische Datenstrategie zur weltweit sichersten machen.

»Ein wertschätzender Umgang in der Baubranche ist wichtig für den Erfolg bei der Digitalisierung«, betont Thomas Schmid [31]. Sogenannte »Ethic Boards« in Großunternehmen überwachen die Einhaltung. Oft ist ein CDO (Chief Digital Officer) oder CIO (Chief Information Officer) Indikator für die strukturelle Verankerung der digitalen Transformation im Unternehmen. Eine derartige Aufstellung ist aber nur mit entsprechendem finanziellem Hintergrund leistbar, und wird oft gefordert um ethisch korrektes Verhalten gegenüber Investoren zu demonstrieren. Ein weiterer Grund ist die unternehmensinterne FuE, um technologischen Fortschritt selbst mitzugestalten und die eigene Vorbildrolle im Wettbewerb zu stärken.

KMUs dagegen fehlt diese finanzkräftige Aufstellung. Mehrheitlich damit beschäftigt, im Tagesbusiness zu bestehen, sind sie weder an Forschungsk Kooperationen beteiligt, noch entwickeln sie Technologien selbst. Es besteht eine hohe Unzufriedenheit zum Digitalisierungsgrad im eigenen Unternehmen. Aufgrund zunehmender und unübersichtlicher Datenflut ist es längst überfällig – unabhängig von der Unternehmensgröße – eine für alle Beteiligten zugängliche, einheitliche Datenplattform durchzusetzen, damit Daten jederzeit, jedem, in der zu jeder Zeit aktualisierten Version und in vollem Umfang, d. h. ohne Datenverluste, verfügbar sind. Die Unternehmen wollen den Anschluss an die digitale Zeit nicht verpassen, effizient wirtschaften, wettbewerbsfähig bleiben, das Kundenvertrauen steigern und Neuaufträge generieren. Stabil, zukunftsfähig und nachhaltig, und im Wissen um Datensicherheit.

Unternehmen wollen Wissen und Kompetenzen aufbauen, zur CO₂-Reduktion beitragen, die Arbeit künftig ressourcen- und zeiteffizienter und zum Wohl der Gesellschaft nachhaltiger gestalten. Aber der Großteil hat noch keine eigene Digitalisierungsstrategie. Noch sehen sich viele Unternehmen in gesättigter Umgebung, profitieren vom Erfolg des letzten Jahres, planen auf Sicht. Sie sehen keine Notwendigkeit, sich umzustellen oder innovative Wege zu gehen; KI spielt dabei keine Rolle. Es sind aber gerade diese Unternehmen, die sich selbst von digitalen Projektaufträgen ausschließen, weil sie nicht auf bestehende digitale Projektinfrastrukturen aufspringen können.

Auftraggeber vergeben Projekte jedoch an zeitgemäß aufgestellte Unternehmen, die mit dem investierten Budget verantwortungsvoll, wirtschaftlich, nachvollziehbar, transparent und mit hoher Qualität umgehen. Genau diese Faktoren gelten auch bei Absolventen und hochqualifizierten Arbeitskräften als Auswahlkriterien bei ihrer Jobsuche. Zwischen Wunsch und Wirklichkeit klafft ein Graben: viele Bauunternehmen und Lieferanten sind nur Zuschauer und nicht Mitgestalter. Skepsis kann sich nur durch Wissen auflösen.

Die Zusammenarbeit von Industrie und KMU mit Technologie-Start-ups sowie Bildung von regionalen Netzwerken und Clustern wird als wichtigster Lösungsansatz gesehen, denn sie hat sich in den letzten Jahren positiv entwickelt. Gerade für KMUs bieten sich Start-ups an, die KI-Einsatzfelder lokalisieren und die zum Unternehmen passende technologische Lösung einführen und schulen.

Der Schlüssel zum Erfolg [32] ist für alle Unternehmen der Aufbau von Wissen zu sinnvoller, menschengerechter Digitalisierung und KI. Krisenzeiten beweisen einmal mehr, dass die digital gut aufgestellten Unternehmen handlungsflexibel sind und ihre Arbeit weiterführen können. Bauunternehmen tragen hohe moralische und digitale Verantwortung um den gemeinsamen Mehrwert für Unternehmen und Gesellschaft. Was hilft Offenheit und technische Grundausstattung, wenn Wissen und Fachkenntnisse fehlen? Hier richtet sich der Blick auf die Bildungslandschaft, die die gezielte Ausbildung zu Spezialwissen in der KI ermöglichen muss.

Studien belegen, dass Unternehmen dringend Fachpersonal benötigen, um die neuen digitalen Techniken in die Unternehmen zu bringen und Potenziale ausschöpfen zu können. »Wir befinden uns mitten in einer Renaissance der Werteorientierung«, unterstreicht Josef Wieland. Ein langjähriger Leiter der Universitätsfakultät Bauingenieurwesen sieht Werte und Ethik als integralen Lehrbestandteil in der Ingenieurausbildung, denn bereits dort werden die Weichen für den Erfolg von Bauprojekten gestellt – durch bestens ausgebildete und auf die digitale Transformation vorbereitete Ingenieur*innen.

3.5 Fazit und Ausblick

KI ist Innovationsmotor. Use Cases belegen: Sie kann nur in dem Maße nachhaltig, verantwortungsvoll, sicher und den Menschen unterstützend sein, als die Menschen, die sie entwickeln und anschließend praktisch anwenden, diese sinnvoll führen und an Ethik und Moral ausrichten. In ihren ganzheitlichen, inklusiven Ansätzen der Enquête-Kommission deckt sich die hier vorliegende Studie insbesondere durch die ausgewogene Bewertung von Chancen und Risiken von KI. Am Standort Deutschland lässt sich das von anderen Nationen als hochwertig, nachhaltig angesehene Bauhandwerk mit seiner zuverlässigen Qualitäts- und Wertekultur im globalen Wettbewerb leben und weiter innovativ ausbauen. Entwicklung und Anwendung von KI sollten fest an ethische Standards geknüpft sein. Im Grundsatz sind sich alle einig: KI soll dort eingesetzt werden, wo sie sinnvoll ist, die Menschen unterstützt, die menschliche Arbeit sicherer macht und Arbeitsabläufe effizienter gestaltet.

3.6 Ethikstatement

Die Erlaubnis zur Veröffentlichung wurde von allen Befragten erteilt. Einige öffentliche Statements, die aus Internet-, Literatur- und Archivrecherchen stammen, unterstreichen Qualität und Statistikwerte der gewonnenen Umfragewerte, Eingrenzungen sowie dringend notwendige Maßnahmen. Die Autorin forscht extern, ist unternehmensunabhängig und wird nicht von Drittmitteln, Unternehmen oder sonstigen Einrichtungen finanziell gefördert. Sie teilt ihre Erkenntnisse an der Schnittstelle »Anwendungspraxis– angewandte technikwissenschaftliche Forschung – wirtschaftlich-gesellschaftlicher Transfer« mit dem Ziel, neutral, kritisch und inklusiv den verantwortungsvollen Umgang mit Digitalisierung und KI zu erforschen, auf Herz und Nieren zu analysieren und den Ethikdiskurs um diese bahnbrechende Technologie »KI« voranzutreiben.

4 POTENZIALE FÜR KI-ANWENDUNGEN – WELCHE BEREICHE PROFITIEREN?

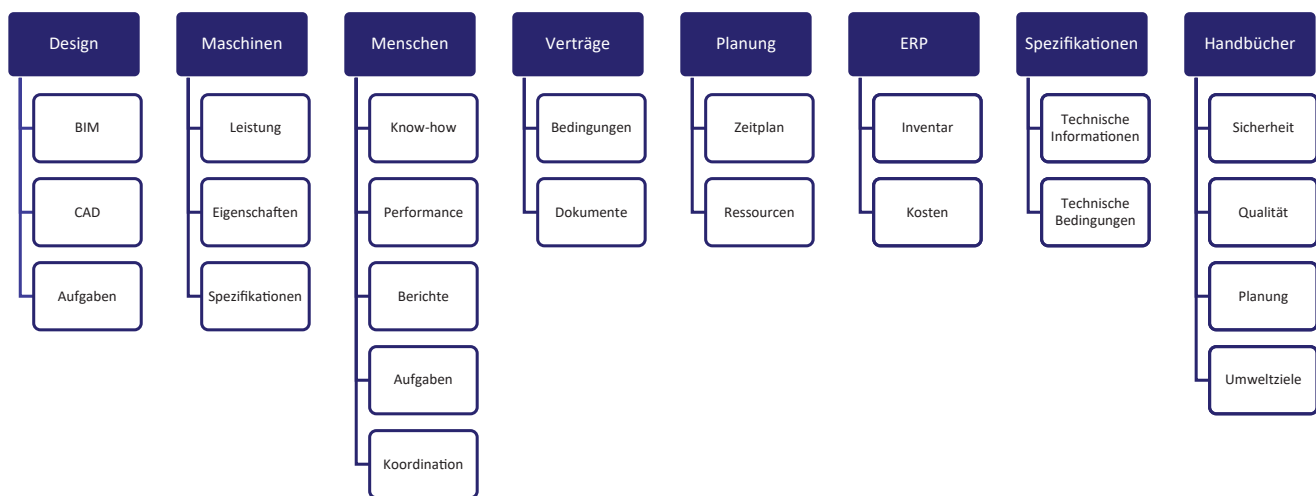
4.1 Projektmanagement

In allen Bereichen der Verwaltung eines Bauprojekts kann KI eingesetzt werden. Von der Erstellung eines Angebots bis hin zur Koordinierung von Lieferketten können Prozesse automatisiert werden. Viele repetitive Abläufe, die bisher manuell und mit viel Zeitaufwand durchgeführt werden, können von KI-Anwendungen übernommen bzw. unterstützt werden. Mithilfe von historischen und Echtzeitdaten (aus der Baustelle) wird gerade Maschinelles Lernen eingesetzt, um:

- den Fortschritt eines Projekts zu verfolgen,
- effizientere Zeitpläne zu erstellen und fortlaufend zu korrigieren,
- Engpässe an Arbeitskräfte und Material vorherzusagen,
- alternative Strategien bei Bestellungsänderungen oder Verspätungen vorzuschlagen,
- Controlling mit Baufortschritt (fortlaufende Rechnungsstellung) durchzuführen,
- BIM auf den neusten Stand zu halten,
- verschiedene Szenarien für den erfolgreichen Abschluss des Bauprojekts zu simulieren,

- das Risiko zu vermindern, insbesondere bei kurzfristigen Veränderungen im Zeitplan oder der Materiallieferung, weil alternative Baupläne, die schon erfolgreich simuliert sind, immer zur Verfügung stehen. Unternehmen, die in der ersten Phase der Pandemie schnell auf die neuen Import-Export-Regelungen reagieren konnten, und mit kleinem Risiko Entscheidungen getroffen haben, konnten den Schaden geringer halten.

Bauunternehmen, die schon heute KI-Anwendungen für das Projektmanagement einsetzen, berichten von signifikanter Produktionszeitsenkung und Kostenminderung. Trotzdem könnte sich die Situation noch verbessern.



Weil es sich aber bei Bauprojekten meistens um einzigartige und sehr komplexe Vorhaben handelt, leidet die KI aufgrund von fehlenden historischen Daten. Bauunternehmen veröffentlichen nur selten wertvolle Verwaltungsinformationen über abgeschlossene Projekte. Wissen dieser Art wird als Know-how des Unternehmens verstanden, nicht regelgerecht dokumentiert und bleibt unstrukturiert in der eigenen Datenbank »versteckt« oder wird als Expertise den Projektmanager*innen angerechnet. Das ist auch verständlich, denn wenn es darum geht, Probleme mit hoher Priorität zu lösen, hat man wenig Zeit, das eingesetzte Wissen für später zu sichern. Jedoch sollten Entscheidungen nicht intuitiv getroffen werden, sondern basierend auf Daten und auf erfolgreichen oder gut verstandenen gescheiterten Situationen der Vergangenheit beruhen [33].

Abbildung 3: Typische Datenquellen eines Bauprojekts.

Nicht nur KMUs, sondern auch größere Unternehmen oder Konzerne der Bauwirtschaft haben keine eigene Datenbank, von der ausreichend nützliches Wissen durch KI abgeleitet werden kann. Diese Situation weist auf das Bedürfnis nach gut strukturierten, öffentlich (oder gegen

POTENZIALE FÜR KI-ANWENDUNGEN – WELCHE BEREICHE PROFITIEREN?

Aufpreis) zugänglichen Daten, von denen alle Beteiligten profitieren würden. Ob das in der Zukunft gelingt, bleibt zum größten Teil eine Frage der Vernetzungskultur von Organisationen und Entscheidungsträgern. Die Datenquellen einer herkömmlichen Baustelle sind in Abbildung 3 zu sehen [34].

Bei vielen Baukonzernen ist schon lange KI fester Bestandteil der IT. Letztlich wird auch darüber berichtet. AF GRUPPEN aus Norwegen benutzte eins der bekanntesten KI-Projektmanagementsysteme, »ALICE«, um einen Bid für ein Wohnbauprojekt zu optimieren [35]. Das Unternehmen hatte mit Touchplan, einer kollaborativen (field-office) Projekterstellungssoftware, das initiale Angebot für das Bauprojekt erstellt (Kosten: 560 Mio US-Dollar, Dauer: 500 Tage). ALICE wurde eingesetzt, um:

- zu bestätigen, dass der von Touchplan-erstellte Bauplan realisierbar ist,
- in vier Tagen 300 alternative Szenarien zu erstellen, sieben von ihnen waren dem Original überlegen,
- hauptsächlich durch Teambildungsvariationen und einen anderen Umgang mit Schalungsequipment, die Kosten und Dauer gegenüber dem Originalplan erheblich zu senken:
 - Die Projektdauer wurde um 18 Prozent kürzer.
 - Es wurden 15 Prozent Kostensenkung erzielt.

Mittlerweile florieren Projektmanagementsysteme, die KI einsetzen, im Angebot. Ihre Prognosen basieren auf eine bestehende Datenbank von historischen (öffentlichen oder exklusiven) Daten in Kombination mit gängigen Statistik-Algorithmen, die zusätzliche Daten zur Verfügung stellen und dabei auch die historische Datenbank erweitern. Neben ALICE spezialisieren sich auch andere Dienste auf die Bauwirtschaft (Tabelle 1). Ob diese Cloud-Lösungen deutschen Organisationen reibungslos zur Verfügung stehen, ist wegen Datenschutzgründen nicht geklärt. Wayss & Freytag Ingenieurbau aus Frankfurt lässt sich davon nicht abschrecken, und macht auch erste Erfahrungen mit ALICE [36].

Viele Start-ups spezialisieren sich exklusiv auf das Baustellenprojektmanagement. Einsite aus San Francisco bietet ein Early-Access-Programm, um ihre Lösung vorzustellen. Kameras und smarte Sensoren werden eingesetzt, um das ganze Geschehen auf der Baustelle zu digitalisieren. Diese Daten werden dann in Echtzeit KI-Algorithmen zur Verfügung gestellt. AIFORSITE, ein finnisches Start-up, bietet eine »datengesteuerte Verwaltung einer Baustelle« an unter der Voraussetzung, dass ein Digital Engineer mit im Bauprojekt vorgesehen sein muss, um den Datenfluss zwischen Sensorik und KI immer instand zu halten und ggf. zu optimieren.

Name	Herkunft	Link
Aiforsite	Finnland	https://aiforsite.com
Alice Technologies	USA	https://www.alicetechnologies.com
Archilyse	Schweiz	https://www.archilyse.com
Buildsafe	Schweden	https://www.buildsafe.se
Construct AI	USA	https://construct-ai.com
Doxel	USA	https://www.doxel.ai
Einsite	USA	https://www.einsite.com
Fira Smart Services	Finnland	https://firasmart.com
Kreo Software	England	https://www.kreo.net
NPlan	England	https://www.nplan.io
Nucon	Singapur	https://www.nucon.io
Qualis Flow	England	https://qualisflow.com
Tenera	Deutschland	https://www.tenera.io

Tabelle 1: KI-Lösungen für das Baustellenprojektmanagement.

4.2 Generative Stadtplanung

Generatives Design ist besonders effektiv bei Bauprojekten in Wohngebieten oder anderen Bauzonen, wo die beteiligten Entscheidungsträger aus vielen und verschiedenen Bereichen der Gesellschaft kommen. Im Fall von Quartieren und im öffentlichen Raum koordinieren Stadtplaner mit der Stadtverwaltung und Bauherren mit den Bürger*innen, um im besten Falle eine gemeinsame Lösung als Plan anzubieten, mit der es sich »leben lässt«, die aber im Laufe des Projekts oft infrage gestellt wird. Hier liegt der eigentliche Wert der generativen Stadtplanung, sie operiert in der Konzeptionsphase, in der noch vieles unter Formulierung ist. Die Möglichkeit, Designalternativen früh in der Konzeption des Designs (für Brainstorming und Koordinierung zwischen den Beteiligten) anzubieten, ist sehr viel effektiver, als erst in den engen späten Phasen der Planung zu optimieren [37].

Der Stadt und ihren Einwohner*innen mit einfachen KI-Algorithmen zusätzliche Lebensqualität zuzusichern, hat sich als eine empfehlenswerte Planungsmethode erwiesen. Parametrisches Design ist zum generativen Design gewachsen. Wie bei vielen Software-Technologien ist auch hier in den letzten fünf Jahren vieles zugänglicher geworden. Wissenschaftliche Demonstratoren oder zeitaufwendige Inhouse-Anwendungen mit einem niedrigen Wiederverwendungswert (Bauprojekte sind so komplex und einzigartig, dass sie ein neu trainiertes neuronales Netz benötigen) sind nicht mehr die Regel. Auch in diesem Bereich hat eine Demokratisierung der Software Tools stattgefunden. Generatives Design für regelgerechte Stadtplanung wird mittlerweile

POTENZIALE FÜR KI-ANWENDUNGEN – WELCHE BEREICHE PROFITIEREN?

als »Software as a Service« angeboten und kann mit einem kleinen Team, wenn gewünscht, im Co-Design mit der Community oder im Auftrag eines Real Estate Developers, auf Quartiere am Rand oder im gebauten Zentrum der Stadt angewandt werden.

Dichte, Tageslicht, Zugang zu Annehmlichkeiten, Infrastruktur, Fußgängerzonen, Parkmöglichkeiten, Energieverbrauch, Projektkosten, Lärmbelästigung, Baugesetz, lassen sich mit generativen Design-Werkzeugen, die einfach von Informatiker*innen und fachlichen Expert*innen zu bedienen sind, als Regeln oder Ziele in generativen neuronalen Netzen festlegen. So sind bessere datenbasierte Entscheidungen schneller möglich, die außerdem noch den Baugesetzen gerecht werden.

Die Akquisition des norwegischen Startups Spacemaker von Autodesk für 240 Mio US-Dollar Anfang dieses Jahres zeigt, dass Bedarf besteht und dass die Tools reifer sind. Das aus 115 Personen bestehende Spacemaker-Team entwickelt und verkauft cloudbasierte Software, die KI anwendet, mit deren Hilfe Architekten, Stadtplaner und Immobilienmakler datenbasierte Entscheidungen treffen können. Spacemaker's Service ermöglicht eine reibungslose Einbindung von allen Beteiligten auf einer einzigen Datenplattform. NREP, ein führender nordischer Real Estate Developer hat sich ein einfaches Ziel gesetzt: 6 Prozent mehr Wohnungen und bedeutend mehr Stunden Sonnen- und Tageslicht mithilfe von Spacemaker's generativer KI zu gewinnen [38].

Google ist mit dem eigenen Start-up Sidewalk Labs dabei, Quartiere unter Beteiligung der Öffentlichkeit zu gestalten und plädiert für einen holistischen Ansatz, der eine gute Akzeptanz der Trade-offs in der gebauten Umwelt voraussetzt. Die Bevölkerung wird viele Jahre damit leben müssen und soll informiert entscheiden können, um dann auch die Konsequenzen zu tragen. Sidewalk Labs Tool »Delve« soll »Stadtplanerteams mittels Cloud Computing und Maschinellen Lernen ermöglichen, bessere Städte schneller und mit weniger Risiko zu gestalten« [39].

Für Testfit, ein Start-up aus Texas, heißt das, »Durchführbarkeitsstudien in wenigen Stunden zu erledigen und somit die Erschließung von Real Estate Deals zu beschleunigen«. Testfit bietet eine jährliche Lizenz pro Mitarbeiter für ca. 1000 Euro.

Ob die oben genannten Standardlösungen als SaaS-Cloud-Software für deutsche Bauunternehmen überhaupt infrage kommen, ist jedoch fraglich. Datenschutzrechtlich, nach deutschem Maß, versagen alle spektakulär. Die erforderliche Integrität der Daten kann nicht gewährleistet werden. Wo all die Daten gespeichert werden und wer Zugriff darauf hat, ist noch eine Grauzone.

Eine Eigenentwicklung einer generativen KI für Stadtplanung ist in Deutschland immer noch der »way to go«. Damit können die Systeme dann inhouse auf einer privaten Cloud installiert werden (oder auch auf andere Speicherarchitekturen) und somit Datenintegritätsvorschriften befriedigen. Eigenentwicklungen bieten aber auch:

- mehr Kontrolle und Knowhow über die KI,
- keine Abhängigkeiten von Dritten, Lock-ins vermeiden,
- offenen Code, das heißt bessere Wartbarkeit und Adaptierbarkeit

Die verfügbaren Software-Entwicklertools, um generative KI für Stadtplanung »from scratch« aufzubauen, florieren hauptsächlich in zwei Open Source Communities:

- Grasshopper für Rhino
- Dynamo BIM für Revit Autodesk

Ein Vier-Personen-Team (KI-Expert*in, Stadtplaner*in, Softwareentwickler*in und Visualisierungsexpert*in) kann in einem Jahr verantwortungsvoll ein eigenes generatives KI-Tool zur Verfügung stellen. Dieses Tool sollte einen hohen Wiederverwendungswert anstreben. Software-Eigenentwicklungen gehen mit erhöhten Kosten- und Zeitaufwänden einher und sollten nur in Betracht gezogen werden, wenn eine längere und wiederholte Nutzung des »Base Codes« vorgesehen ist und auch genügend Ressourcen vorhanden sind, um einen Technologiewechsel zu »überleben«.

Expert*innen in der Entwicklung von generativen Designlösungen behaupten sogar, dass Eigenentwicklungen »language agnostic« (programmiersprachenunabhängig) sein sollten, um einen längeren Lebenszyklus zu gewährleisten und die Unabhängigkeit der Software zu bewahren [40].

Name	Herkunft	Web
Hypar	USA	https://hypar.io
Parallelo	Norwegen	https://www.parallelo.io
Sidewalk Labs	Canada	https://www.sidewalklabs.com
Spacemaker	Norwegen	https://www.spacemakerai.com
TestFit	USA	https://testfit.io
Urbano	USA	https://urbano.io

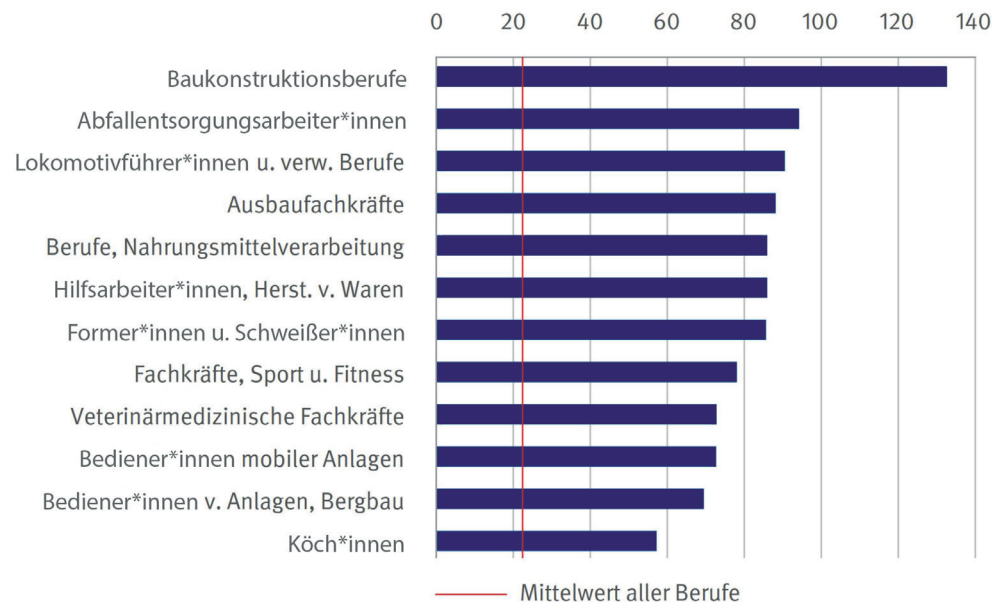
Tabelle 2: KI-Lösungen für die generative Stadtplanung.

4.3 Sicherheit und Gesundheit

Beschäftigte in Bauberufen arbeiten unter höchstem Risiko, einen Unfall zu erleiden. Auf 1000 Vollarbeiter*innen wurden in diesen Berufen im Jahr 2019 in Deutschland 132 Arbeitsunfälle registriert. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) stellt auch fest, dass bei etwa einem Drittel der meldepflichtigen Unfälle auf Baustellen die Verunglückten die Kontrolle über ein Werkzeug oder eine Maschine verloren haben. In knapp 9 Prozent der Fälle kam es zu einem Absturz. Bei den tödlichen Unfällen sind sogar 42 Prozent der Unfälle auf einen Absturz zurückzuführen [41].

KI kann einen Beitrag leisten, um Arbeitsunfälle auf Baustellen zu verringern. Mittels smarter Sensoren, Maschinellem Vision, Objekterkennung und -klassifizierung werden u. a.:

Abbildung 4: Arbeitsunfälle
abhängig Beschäftigter je 1000
Vollarbeiter*innen.



- ungeschützte Gefahrzonen identifiziert (z. B. nicht vorhandene Auffangnetze, Nässe oder Rutschigkeit),
- fehlerhaft aufgebaute Gerüste erkannt,
- Vermessungen an riskanten Stellen durchgeführt, ohne Menschen gefährden zu müssen,
- fehlende Sicherheitsausrüstung bei Arbeiter*innen identifiziert,
- unmittelbar bevorstehende Kollisionen zwischen Menschen, Fahrzeugen und andere sich bewegende Maschinen vorhergesagt.

All das wird dann dem Sicherheitsbeauftragten gemeldet oder direkt den Arbeiter*innen über ihre mobilen Geräte mitgeteilt. Im Endeffekt helfen KI-Anwendungen dabei, für den Bereich des Arbeitsschutzes eine fortlaufende und ununterbrochene Sicherheitsinspektion auf Baustellen durchzuführen. Davon profitieren nicht nur Beschäftigte, sondern auch das Bauprojekt im Ganzen.

Im Forschungsprojekt ConIoT (siehe 6.14) werden sogar durch am Körper angebrachte Sensoren die Aktivitäten der Arbeiter*innen ermittelt und somit bevorstehenden Unfällen oder nicht-ergonomischen Körperhaltungen vorgebeugt.

Name	Herkunft	Link
Intsite	Israel	http://intsite.ai
Kwant.ai	USA	https://www.kwant.ai
Smartvid	USA	https://www.smartvid.io

Tabelle 3: KI-Lösungen für Sicherheit und Gesundheit.

4.4 Öffentliche Verwaltung

Für die erfolgreiche Entwicklung von nützlicher Software für die öffentliche Verwaltung wäre die beste Ausgangssituation die im Rahmen der dritten KI-Zukunftsvision, wie sie in der Studie »Künstliche Intelligenz in der öffentlichen Verwaltung« des Fraunhofer IAO beschrieben wird:

- Eine konstruktive Kombination von menschlicher und künstlicher Intelligenz ist vorausgesetzt.
- Die Privatsphäre von Bürger*innen wird nicht verletzt.
- Die Maschinen dominieren den Verwaltungsprozess nicht, und die KI wird als Entscheidungsunterstützung wahrgenommen.
- Die finalen Entscheidungsrechte bleiben bei den Kommunen.

Jenseits von Stadtplanung kann KI übergreifend bei Smart-Government- und Smart-Citys-Ansätzen helfen. Insbesondere Anwendungsfelder wie Bürgerkontakt oder Sachbearbeitung können davon profitieren.

Software, die in der Stadt- und Kommunalverwaltung eingesetzt wird, sollte folgende Stärken anstreben:

- Entlastung der Verwaltungsmitarbeiter*innen bei Routineentscheidungen
- Automatisierte Bearbeitung von Routinefällen
- Aussonderung und manuelle Bearbeitung von Sonderfällen

- Entscheidungen unabhängig von Öffnungszeiten
- Erhöhte Effizienz des Verwaltungshandelns
- Kombination der Stärken des menschlichen und des algorithmischen Handelns
- Steigerung der Qualität der Entscheidung durch verbesserte Datennutzung
- Verkürzung der Bearbeitungsdauer durch Automatisierung und Schaffung freier Kapazitäten
- Entlastung der Entscheider *innen bei komplexen Datenauswertungen
- Letztliche Entscheidung wird vom Menschen erwogen und getroffen
- Erhöhte Gleichmäßigkeit der Entscheidungen [42]

Die Realisierung von Digitalisierungsprojekten, zu denen auch KI-Lösungen zählen, hat häufig gerade erst begonnen, ist in einem prototypischen Umsetzungsstand oder wurde im Einzelfall kürzlich erfolgreich abgeschlossen und muss sich nun im Praxistest bewähren [43].

Taiwan stellt ein vorbildliches Beispiel für den Umgang mit persönlichen und öffentlichen Daten dar. Fast die Hälfte der Bevölkerung hat bei einer nationalen Data Governance Plattform teilgenommen und öffentliche Dienstleistungen als Gegenleistung (für das Freigeben von persönlichen Daten) verlangt. Werkzeuge, die aus dieser Plattform entstanden sind, sollen entscheidend für den erfolgreichen Umgang Taiwans mit der Covid-19-Pandemie gewesen sein [44].

4.5 Facility-Management

Beim Betrieb von Gebäuden kann durch KI erheblich an Kosten gespart werden. Gebäudemanager*innen haben durch Sensoren, die heutzutage an vielen Stellen installiert sind, eine Unmenge an qualitativen digitalen Daten zur Verfügung. In ihrem Arbeitsalltag müssen sie verschiedene Entscheidungen treffen: ersetzen oder reparieren, handeln oder warten, jetzt oder später bestellen? Entscheidungen, die Zeit brauchen und fehleranfällig sind. Durch »vorausschauende Wartung« (engl. predictive maintenance) können z. B. Teile eines Gebäudes identifiziert werden, die nicht besetzt sind, und dort Heizung, Durchlüftung und Klimatisierung deaktiviert werden. Ebenso kann der Reinigungsplan entsprechend angepasst werden [45].

Bei Co-Working-Ansätzen oder in Zeiten, in denen Büromitarbeiter*innen das Gebäude nicht täglich aufsuchen (oder es zum Teil wegen Maßnahmen nicht dürfen), können gewünschte Arbeitsplätze an bestimmten Tagen gebucht oder von einer KI, die Kapazitäten voraussagt, vorgeschlagen werden.

Viele KI-Lösungen im Bereich Facility-Management kommen mit eigenen Sensoren, können aber auch an die bestehenden Systeme angepasst werden.

Name	Herkunft	Web
Kapatool	Deutschland	https://www.kapatool.com
PointGrab	Israel	https://www.pointgrab.com
Recogizer	Deutschland	https://recogizer.com
Verdigris	USA	https://verdigris.co

Tabelle 4: KI-Lösungen für Facility Management.

4.6 Bestandserfassung

Wenn es darum geht, bestehende oder sich in der Konstruktion befindende Gebäude zu erfassen, wurde in den letzten Jahren mit Laser oder Photogrammetrie gescannt. Um die erworbenen Punktwolken in CAD-Modelle umzuwandeln, ihnen Bedeutung zuzuordnen und sie im BIM-Kontext zu nutzen, wird ein großer Aufwand an Fleißarbeit benötigt, der sich nicht immer lohnt. Dieser Prozess, also die Überführung einer Punktwolke in ein BIM-Modell, wird auch Scan2BIM oder Scan-to-BIM genannt und als Dienstleistung von Ingenieur- oder Vermessungsbüros angeboten.

Die automatische Erkennung von großen Bauteilen (Wände, Stützen usw.) aber auch von kleineren Bauteilen (Fenster, Türen, Griffe, Steckdosen usw.) gelingt kürzlich auch durch trainiertes Maschinelles Lernen. Dabei werden hauptsächlich Bilderkennung und Objektklassifizierung benutzt. Diese KI-Lösungen sind noch in der Entwicklungsphase oder in Forschungsprojekten zu finden.

Das Start-up Airteam aus Berlin spezialisiert sich auf die Digitalisierung von Gebäudehüllen mit dem Einsatz von Drohnen und Photogrammetrie. KI soll auch im Prozess mitwirken. Mit ihrer standardisierten Methode können Dächer in weniger als 15 Minuten inspiziert und vermessen werden. »Niemand muss aufs Dach«, wenn es nicht sein muss. Auch Fassaden, Straßen oder Baustellen können damit zuverlässig erfasst werden. Dachdecker- und Malerbetriebe können davon schon jetzt profitieren. [46]

Name	Herkunft	Link
Airteam	Deutschland	https://www.airteam.ai
Aurivus	Deutschland	https://aurivus.com
Avvir	USA	https://avvir.io
Headlight	England	https://www.headlight.ai
NavVis	Deutschland	https://www.navvis.com
Openspace	USA	https://www.openspace.ai
Scaled Robotics	Spanien	https://scaledrobotics.com
Sensat	England	https://www.data.sensat.co.uk
Snapkin	Frankreich	https://www.snapkin.fr

Tabelle 5: KI-Lösungen für die Bestandserfassung.

5 BÜROLAYOUTS AUTOMATISIERT PLANEN

5.1 Einleitung

Ein Beitrag von Dennis Stolze

Die Antwort auf die Frage, wie ein Büro konzipiert und gestaltet sein muss, damit Mitarbeiter*innen dort bestmöglich ihrer Arbeit nachgehen können, hat sich über die Jahre immer wieder gewandelt. Vor allem digitale und mobile Technologien ermöglichen Arbeitsweisen, die den Arbeitsort Büro und auch dessen Bedeutung für eine Organisation laufend verändern und – erst recht seit der Coronapandemie – teilweise auch völlig infrage stellen. Ergänzend dazu entwickeln sich wissenschaftliche Erkenntnisse, welche Faktoren bei der Bürokonzeption dafür sorgen, dass Wohlbefinden, Motivation und Produktivität gesteigert werden können, weiter.

Kommt ein Unternehmen zu der Ansicht, dass die Arbeitsumgebung für die Mitarbeiter*innen neu geplant und an eine veränderte Arbeitswelt angepasst werden muss, werden zunächst Anforderungen des Unternehmens und der Mitarbeiter*innen erhoben, die als Grundlage für die weitere Konzeption dienen.

Sowohl Analyse- als auch die Konzeptentwicklung sind Prozesse, die mit erheblichem Zeitaufwand einhergehen. Während für die Analyse immer öfter onlinebasierte Befragungen und Auswertungen eingesetzt werden, ist die Übersetzung der Analyseergebnisse, unter Berücksichtigung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse, in ein zeichnerisches Konzept mit viel (computerunterstützter) Handarbeit verbunden. Diese Einschränkung führt dazu, dass am Ende nur wenige Entwurfsvarianten vorliegen, die gegenübergestellt werden können. Ob ein Konzept schlussendlich zuvor definierten Zielen gerecht werden kann, hängt von der Kreativität der beteiligten Planer*innen ab und deren Fähigkeit, komplexe Anforderungen und Wirkungszusammenhänge in das Konzept zu integrieren.

Parametrische und insbesondere generative Design-Software kann diese Limitationen aufheben, indem sie in kurzer Zeit eine Vielzahl an Layoutvarianten generieren und im Falle von Generative Design sogar bewerten, inwiefern zuvor definierte Zielgrößen mit dem Entwurf erreicht wurden. Im Idealfall entwickelt die Software Varianten, die die Ziele optimal unterstützt oder entwickelt neuartige Details, die menschlichen Planer*innen vermutlich nicht in den Sinn gekommen wären, und die diese als Inspiration für die weitere Arbeit am Entwurf nutzen können [47].

In diesem Abschnitt möchten wir die Potenziale generativer Designtools für die Entwicklung von Bürolayout betrachten. Da die Definition von Zielgrößen für die Anwendung dieser Werkzeuge elementar für den erfolgreichen Einsatz ist, sollen im nächsten Kapitel zunächst ein Planungsprozess sowie Erfolgsgrößen für die Büroplanung dargestellt werden. Der dann folgende Abschnitt erläutert die Grundlagen von generativem Design, bevor abschließend zwei Software-Tools genauer betrachtet werden.

5.2 Entwicklung von neuen Arbeitsumgebungen

Die Eignung eines Bürokonzepts hängt vor allem davon ab, welche Tätigkeiten dort ausgeübt werden [48]. Jedes grundsätzliche Bürokonzept, wie z. B. Einzelbüro, Kombibüro oder Multi Space Office, unterscheidet sich hinsichtlich verschiedener Parameter wie der Anzahl der räumlichen Umschließungen, der Transparenz und den damit möglichen Sichtbeziehungen (Glaswände oder geschlossene Wände), oder welche Arten von Möbeln und weiteren Arbeitsmitteln in den Räumen positioniert werden. Jede dieser Bürotypologien geht mit einer unterschiedlichen Anzahl typischer Raummodule einher. Räume für den Rückzug, Besprechungsräume in unterschiedlichen Größen, Break-out-Areas, Kaffeeküchen, Projektzonen und Projekträume. Je nach Branche oder einzelner Unternehmensbereiche können weitere Module wie Werkstattflächen oder Messarbeitsplätze notwendig sein. Hinzu kommen allgemeine Infrastrukturmodule wie Garderoben oder Serverräume.

Weiterhin existieren konzeptionelle und psychologische Faktoren, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Beispielsweise zeigt die hierarchische Ordnung von Einflussfaktoren, dass die »akustische Situation« und die »Zufriedenheit mit der Möblierung« den größten positiven Einfluss auf die insgesamt empfundene »Zufriedenheit mit der Büroumgebung« haben. Ein »zu geringer Abstand zu anderen« oder »Störungen durch vorbeigehende Personen« wirken sich dagegen negativ aus. Während bei den anderen negativ wirkenden Faktoren vor allem Aspekte aufgeführt sind, die auf schlechte klimatische Bedingungen oder unzureichende Beleuchtung zurückzuführen sind, sind es bei den positiv wirkenden Aspekten Punkte, die originär mit der Struktur einer Bürofläche im Zusammenhang stehen. Beispielsweise eine ausreichende Anzahl an »Rückzugsmöglichkeiten für konzentriertes Arbeiten« oder auch vielfältige und verfügbare »Besprechungsmöglichkeiten« [48]

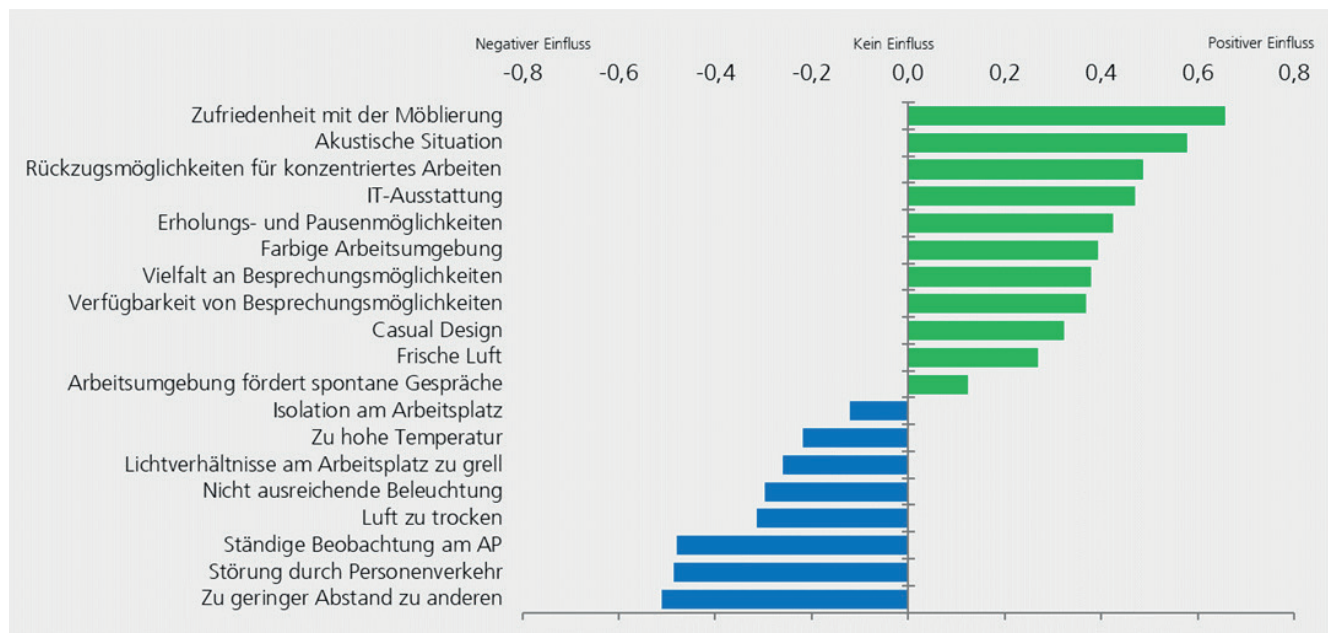


Abbildung 5: Einflussfaktoren auf die Zufriedenheit mit der Büroumgebung.

Und um nur ein Beispiel aus der Architekturpsychologie zu nennen; hier ist bekannt, dass sich die Raumhöhe auf die Art der Tätigkeit auswirken kann. So ist bei kreativen Tätigkeiten ein hoher Raumeindruck hilfreich, bei konzentrierten Tätigkeiten hingegen eine niedrigere Deckenhöhe [49].

Zusammengenommen ist also eine Vielzahl an Faktoren in einem Planungsprozess zu beachten. Einerseits allgemeingültige Faktoren, wie die Wirkung des Raumes auf den einzelnen Menschen in seinem jeweiligen Aufgabenkontext, andererseits unternehmens- und aufgabenbezogene Faktoren, wie die der erwähnten Arbeitstypen. Um zu einem Konzept zu kommen, das die Anforderungen einer Organisation optimal berücksichtigt, haben sich in Wissenschaft und Praxis Vorgehensmodelle etabliert, wie auch in Abbildung 6 dargestellt ist. Wie zu erkennen ist, kann der Prozess in eine Analyse-, eine Konzeptions- sowie eine Umsetzungsphase unterteilt werden. Der für diesen Beitrag entscheidende Prozessschritt, in dem parametrische oder generative Designsoftware zum Einsatz kommen können, betrifft den Schritt 4. Die davorliegenden Schritte sind jedoch für die erfolgreiche Nutzung der Werkzeuge unverzichtbar.



Abbildung 6: Büroplanungsprozess.

So werden in der Analysephase Zahlen, Daten und Fakten, d. h. die unternehmensindividuellen Grundlagen erfasst. Hier geht es darum, welche strategischen Ziele mit einer neuen Arbeitsumgebung verfolgt werden, welche Tätigkeitstypen in der Organisation vorkommen oder ob spezielle Anforderungen hinsichtlich einiger Arbeitsplätze existieren. Der Löwenanteil der dabei ermittelten Daten sind quantitativer Natur, die im Zusammenhang mit qualitativen Angaben der Nutzer*innen und den arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen die Grundlagenermittlung abschließen.

Die Erkenntnisse aus der Analysephase werden dann in ein beschreibendes Arbeitsszenario und in einen Raummodulkatalog überführt. Das bedeutet, dass Raummodule entwickelt werden, die bestmöglich die definierten Anforderungen unterstützen und somit einen Baukasten für die weitere Layoutplanung bereitstellen. Liegt aufgrund der Analyse eine Anzahl der notwendigen Module vor, können diese – zunächst unabhängig von der tatsächlichen, innenräumlichen Möblierung und Ausstattung – in einem Gebäudegrundriss verteilt werden. Dabei werden selbstverständlich bereits Differenzierungen gemacht, beispielsweise kann ein Besprechungsraummodul für bis zu vier Personen als »Besprechung klein, offen«, als »Besprechung klein, vertraulich« und als »Besprechung klein, kreativ« definiert werden.

Üblicherweise werden für die Layoutplanung die Raummodule primär über ihren Flächenbedarf und die Anzahl der Umschließungen definiert. Aus der Anzahl der Umschließungen leiten sich weitere Anforderungen an das Gebäude ab – oder andersherum können sich bereits festgeleg-

te Eigenschaften eines Gebäudes einschränkend auf die Position eines Moduls auswirken. Hier gehören beispielsweise die Art und Lage der klimatechnischen Ausstattung, insbesondere der Belüftung oder das Brandschutzkonzept dazu.

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass eine ganze Reihe unterschiedlicher Parameter die Passung eines Bürokonzpts bestimmen.

5.3 Parametrisches und generatives Design

Mit der Verbreitung von Computern seit ungefähr den 1980er-Jahren werden in der Architekturplanung CAD-Werkzeuge (Computer Aided Design) eingesetzt [50]. Die Nutzung von CAD hat zwar dazu geführt, dass Designer*innen und Planer*innen Konzepte schneller als mit traditionellen Methoden in einen Plan umsetzen können, insgesamt betrachtet wurde der eigentliche Arbeitsprozess hierdurch nur geringfügig verändert [47]. Traditionell versuchen Planer*innen anhand der definierten Ziele und Anforderungen (z. B. Arbeitsweisen oder Schaffung einer kommunikationsorientierten Arbeitsumgebung) sowie vorhandenen Restriktionen wie der Gebäudetiefe oder der Geschosshöhe, eine bestmögliche Lösung zu entwickeln. Gelegentlich werden noch wenige Variationen dieser Lösung erstellt [47].

Etwas anders sieht das durch die Einführung von parametrischer Designsoftware aus, die seit etwa 15 Jahren zum Einsatz kommt. Hier können Planer*innen das gesamte System hinter einer Lösung beschreiben, indem Abhängigkeiten über Parameter definiert werden. Beispielsweise, dass die Seite b eines Raumes immer doppelt so lang sein soll wie die Seite a. Während also bei der konventionellen CAD-Modellierung eine Repräsentation eines Gegenstands oder Bauwerks erstellt wird, werden bei der parametrischen Darstellung sowohl das Artefakt als auch ein logisches System modelliert und dadurch Variationen ermöglicht [51]. Diese Vorgehensweise ermöglicht es den Nutzer*innen, deutlich schneller Variationen eines Entwurfs zu erstellen. Diese Entwürfe sind aber nicht nur durch explizite Vorgaben wie die Geschosstiefe beschränkt, sondern auch durch die Fähigkeit der Planer*innen, die einzelne Parameter variieren und die daraus entstehenden Entwürfe bewerten müssen.

Generative Entwicklungswerkzeuge wiederum heben die Einschränkungen der parametrisierten Planung auf, da diese (halb-)automatisch Varianten für einzelne Entwürfe erstellt, basierend auf zuvor definierten Zielen. Das können beispielsweise bauliche Eigenschaften wie die maximal mögliche Geschosshöhe oder Kostenziele oder die Anzahl von Meetingräumen sein. Idealerweise werden natürlich alle in Kapitel 5.2 erwähnten Einfluss- und Erfolgsfaktoren berücksichtigt.

Die einzelnen Iterationen werden dann von der Software automatisch auf die Umsetzbarkeit analysiert [52] [53]. Im Gegensatz zu den klassischen Methoden wird der Entwurf also automatisiert durch einen Algorithmus entwickelt [54], und es können im Prinzip Tausende Varianten erstellt werden.

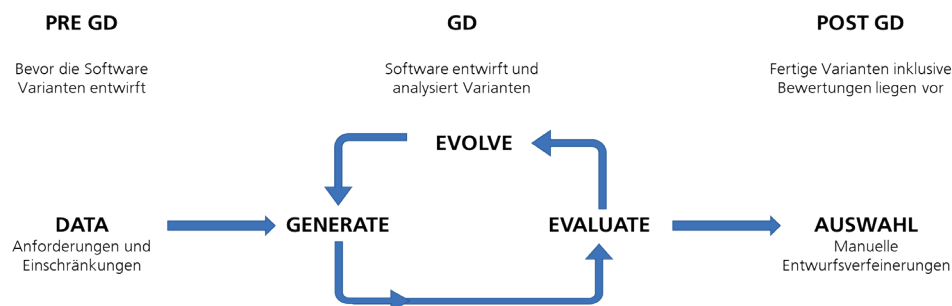


Abbildung 7: Generative Design Framework, nach Autodesk.

5.4 Haworth Codesigner

Der Codesigner des Büromöbelherstellers Haworth ist laut Eigenbeschreibung ein »KI-basiertes parametrisches Planungstool ..., das auf die einzigartige Kultur und Arbeitsweise Ihres Unternehmens zugeschnitten ist« [55]. Unter Berücksichtigung der Architektur können mit dem Codesigner Module definiert werden (z. B. Layout und Möblierung eines Besprechungszimmers). Als Nächstes werden Informationen zur Organisation hinterlegt, d. h. die Namen von Bereichen und Abteilungen, inklusive der dahinter stehenden Anzahl an Mitarbeiter*innen, der Anzahl an Arbeitsplätzen, die für die Einheit vorzusehen sind und der vorzusehenden Quadratmeter pro Kopf bzw. pro Arbeitsplatz. Weiterhin werden Rahmenbedingungen erfasst, wie sie z. B. auch in den Arbeitsstättenrichtlinien vorgesehen sind, d. h. Abstände hinter Tischen oder zur Fassade oder zu der Breite von Verkehrswegen. Die erfassten Abteilungen und Bereiche können nach dem Upload eines Gebäudeplans über eine »Stacking« genannte Funktion auf Etagen verteilt werden.

Abbildung 8: Screenshot Codesigner, Einstellung der Unternehmenskultur.



Die Besonderheit des Werkzeugs ist darin zu sehen, dass eine Zuordnung des Unternehmens zu einer gewünschten Organisationskultur vorgenommen werden kann. Dazu nutzt der Hersteller eine angepasste Version des als »The Competing Values Framework« bekannt gewordenen Instruments von Quinn et al., welches vier Kulturtypen einer Organisation definiert [56] [57]. Über eine grafische Oberfläche kann der Kultur-Schwerpunkt zwischen den vier Polen »Corporate«, »Create«, »Control« und »Compete« definiert werden. Für Haworth sind beispielsweise Teams, die der »Collaborate«-Gruppe zugeordnet werden, solche Gruppen, die sich stark in der Gemeinschaft engagieren, sehr flexibel agieren und intern fokussiert sind. Hierfür werden vor allem Räume vorgesehen, die Gruppenarbeit ermöglichen – sowohl für den geplanten als auch für spontanen Austausch.

Mithilfe der erfassten Parameter generiert der Codesigner dann automatisiert Flächenlayouts, die über die Adaption weiterer Parameter (z. B. Anzahl der Verkehrswege) neu berechnet werden. Somit können in kurzer Zeit Szenarien für ein Bürolayout erstellt werden. Die Bewertung der generierten Layouts obliegt aber am Ende den Nutzer*innen des Tools.

5.5 Autodesk Revit

Autodesk als Hersteller von 2D- und 3D-Software für die Konstruktion und Entwicklung bietet mit Revit eine Lösung, die auch BIM unterstützt und durch das integrierte Werkzeug »Dynamo« visuell programmiert und somit zur Erstellung generativer Entwürfe genutzt werden kann [58]. Anhand des eigenen Unternehmensbüros in Toronto hat Autodesk zusammen mit einem Dienstleister die Potenziale der Software demonstriert [59].

Zunächst wurden einige einschränkende Parameter für die Planung hinterlegt:

- Die verfügbare Fläche sowie die Anzahl der Etagen
- Die Anzahl der Mitarbeiter*innen, die auf den Flächen arbeiten sollten
- Die gewünschte Anzahl an Besprechungsräumen sowie Gemeinschaftsbereichen wie Kaffeeküchen
- Die Lage der Gebäudekerne und der Technikräume
- Das Gebäuderaster, das vor allem den möglichen Innenausbau bestimmt (z. B. an welcher Stelle Wände an die Fassade angeschlossen werden können).

Weiterhin wurden für die Entwicklung der Planalternativen Ziele festgelegt:

- Die räumliche Nähe der Teams zueinander sollte anhand der Organisationsstruktur berücksichtigt werden («Adjacency Preference»).
- Eine gute Ausleuchtung mit Tageslicht und der Blick nach draußen sollte sichergestellt werden.
- Störungen sollten gering gehalten werden.
- Wobei auf der anderen Seite das Layout dafür sorgen sollte, dass die Mitarbeiter*innen sich vernetzen und dabei eine vibrierende und anregende Atmosphäre entsteht.
- Auch der Arbeitsstil und die Vorlieben einzelner Abteilungen hinsichtlich der Bürostruktur sollten berücksichtigt werden. Beispielsweise präferierten einige Abteilungen eher kleinteilige und geschlossene Einheiten, andere wiederum größere, zusammenhängende Flächen.

Für jedes der vorab definierten Ziele wurde ein eigener Algorithmus aufgesetzt, und diese in einen weiteren, zusammenfassenden Algorithmus integriert. Der zusammenfassende Algorithmus entwickelte dann rund 10 000 mögliche Layoutvarianten für die Bürofläche, inklusive einer Bewertung anhand der Zieldefinitionen.

Im weiteren Planungsprozess konnten dann die zehn am besten bewerteten Layouts mit den verschiedenen Stakeholdern diskutiert werden. Nach Auswahl einer Variante wurde diese auf Basis weiterer Anmerkungen der späteren Nutzer*innen verfeinert und später zur Umsetzung gebracht.

5.6 Fazit

Insbesondere für die Einführung und Nutzung von Generative Design Tools gilt es noch einige Barrieren zu überwinden. Die erste ist, Mitarbeiter*innen zu finden, die mit derartigen Werkzeugen umgehen können. Die Technologie und Anwendung ist im Architekturbereich noch nicht sehr verbreitet. Allgemein zugänglich ist Generative Design in Revit sogar erst mit der Veröffentlichung von Revit 2021. Wie in Kapitel 3 gezeigt wurde, können bei der Anforderungserhebung noch viele weitere Parameter und damit Zielgrößen ermittelt werden, die in den bekannten Use Cases in ihrer Fülle noch nicht integriert wurden. Und eine weitere, wiederum menschliche Hürde hat McKinsey kürzlich beschrieben: Gerade generative Design-Software kann Varianten erzeugen, die im Ergebnis radikal anders aussehen können als vergleichbare, menschengemachte Entwürfe. Auf manche Person mag das befremdlich wirken und somit Ablehnung erzeugen [60].

Grundsätzlich ist der Mehrwert parametrischer und generativer Design-Tools für die Bürokonzption darin zu sehen, dass entweder schnell eine Basisvariante für die weitere Planung entwickelt wird oder mehrere Alternativen für einen ausführlichen Vergleich erzeugt werden. Durch die höhere Anzahl an möglichen Entwürfen in kürzerer Zeit ist zudem davon auszugehen, dass sich darunter Varianten befinden, die durch menschliche Planer*innen nicht entstanden wären. Letztendlich steckt das große Potenzial aber in der Zusammenarbeit von Menschen und Maschine. Der Algorithmus entwickelt kreative und außergewöhnliche Varianten, Menschen verfeinern diese und geben den Entwürfen den letzten Schliff.

6 ANWENDUNGSFÄLLE UND EXPERTENWISSEN

6.1 AF Gruppen

BIM und Digitalisierung der Bauwirtschaft sind in Norwegen sehr verbreitet. Die meisten öffentlichen Bauprojekte setzen seit 2011 BIM-Deliverables vor. Alle Subunternehmer, Architekten und Ingenieurteams, die mit AF Gruppen zusammenarbeiten, müssen BIM-Vorschriften einhalten. Viele Bereiche einer Baustelle sind und werden fortlaufend digitalisiert. In so einer Umgebung fällt es Øyvind Kjøllesdal von der Innovationsabteilung des Unternehmens leichter, KI-Lösungen zu erproben und Mehrwert zu schaffen. In den letzten Jahren ist viel in der Richtung geschehen. Mit folgenden Anwendungen wird zurzeit gearbeitet:

- Immer häufiger wird Scaled Robotics in der Qualitätssicherung während der Realisierung eines Projekts eingesetzt. Die KI-Lösung basiert auf Scans einer Baustelle, um Fehler zu identifizieren. So können z. B. falsch aufgebaute Säulen erkannt werden, um sie frühzeitiger im Projekt und dadurch kostengünstiger zu ersetzen.
- Seit mehreren Jahren werden mittels Spacemaker (das norwegische Start-up, das kürzlich von Autodesk erworben wurde) Gebäudelayouts optimiert.
- In letzter Zeit werden parametrische und generative Design-Lösungen auch mittels Parallelo, eines norwegischen Start-ups, eingesetzt, um Grundrisse zu optimieren.
- Parametrisches und generatives Design wird für die statischen Berechnungen von Gebäuden erprobt, um den Stahlverbrauch zu optimieren. Die dafür genutzte Software wird leider noch geheim gehalten.
- Die Lösung von Alice Technologies wurde in einigen Bauprojekten benutzt, um den Zeitplan zu optimieren. Die Software für Projektmanagement wird meistens in der Planungsphase eingesetzt. Aber die Komplexität von Bauprojekten behindert das Anwenden in der Konstruktionsphase eines Projekts.

Datenschutzbeschränkungen und Sicherheitsangelegenheiten von BIM- und KI-basierten Cloud-Lösungen halten AF Gruppen selten davon ab, ein Projekt damit abzuwickeln. Solange eine KI- oder Cloud-Lösung Mehrwert bringt, wird Sie auch getestet und ggf. eingesetzt (mit Ausnahmen, wie z. B. in Militärprojekten), um datengestützte Entscheidungen treffen zu können. [61]

6.2 Apleona

In der Praxis zeigen sich Hemmnisse für die Adaption von digitalen und KI-Lösungen. Grund dafür sind u. a. in Deutschland noch übliche Leistungsverzeichnis-basierte Vertragsmodelle zwischen FM-Unternehmen und deren Kunden. Der Aufklärungsbedarf an dieser Stelle ist hoch. Für Apleona bedeutet Digitale Transformation »ein Win-Win-Win in der Partnerschaft zwischen unseren Kunden, uns und unseren Nachunternehmern. Darüber hinaus sehen wir die Möglichkeit, durch digitale Lösungen das Dienstleistungsportfolio zu erweitern (immer in erster Linie ausgerichtet am Business Case: Lösung eines Kundenproblems, wirtschaftlich effizient (schnelle Amortisationsphase, hohe Energieeinsparung)«. Wo spielt Ethik mit hinein? »Es geht immer um Problemlösung. Ausgangspunkt jeder Überlegung zu einer digitalen Lösung: Mensch im Mittelpunkt, Design Thinking zum ‚Use Case‘: und hier gelten besonders die User als Dreh- und Angelpunkt.« Wo liegen die Schwierigkeiten des FM im Umgang mit Daten? »Der Umgang mit den Daten von Kunden stellt eine Herausforderung dar. Hier bildet die Datenschutzgrundverordnung den Rahmen. Grundsatz ist, dass bei Kunden erzeugte Daten auch den einzelnen Kunden gehören.«

Die KI-Methoden, an denen und mit denen Apleona arbeitet, auch bereits teilweise anwendet, sind selbstlernende Technologien in der Energie- und CO₂-Optimierung. Dabei zielt Apleona auf eine »vollautomatisierte Gebäudetechniksteuerung« (Predictive Control, bereits realisiert). Durchschnittlich können ca. 20 Prozent Energieeinsparung erreicht werden, bei verhältnismäßig geringem Aufwand. Die Realität zeigt jedoch, dass Gebäudeeigentümer in einigen Fällen die Gebäudesteuerung nicht aus der Hand geben wollen; darüber hinaus ist für eine erfolgreiche Umsetzung ein initialer Aufwand notwendig, eine Investition, die von einem der Stakeholder getragen werden muss. Idealerweise sollte das auch derjenige sein, der von den Einsparungen profitiert.

»Techniker und Ingenieure müssen das Potenzial und die Funktionsweise der digitalen Lösungen (User Interface) verstehen, aber nicht zwingend die KI-Technologie dahinter.« In der Anwendung von Digitalisierung und KI hat für Apleona hohe Priorität, dass sich der Business Case rechnet. Investitionen werden dann getätigt, wenn der Investor auch derjenige ist, der von der Investition profitiert – was im Gebäudebetrieb nicht selbstverständlich ist (Beispiel: Gebäudeeei-

gentümer investiert in die Haustechnik, Mieter profitiert von geringeren Nebenkosten). Hier müssen geeignete Incentivierungsstrukturen geschaffen werden. Ähnlich verhält es sich auch bei anderen Use Cases von Digitalisierung/KI (z. B. BIM). Eine Lösung wäre, dass der Gesetzgeber durch Vorgaben regelt.

Apleona investiert in eine auf KI basierende, selbstlernende Technologie zur Energie- und CO₂-Optimierung über ihre Beteiligung an dem Bonner GreenTech Recogizer. Mit seiner KI-Lösung »energyControl« schafft Recogizer digitale Zwillinge von Gebäuden und deren technischen Anlagen und kann so in Echtzeit Wärme-, Klima- und Lüftungstechnik unter der vorausschauenden Berücksichtigung von Umweltbedingungen und Nutzungsparametern von Gebäuden vollautomatisiert steuern (»Predictive Control«) – mit durchschnittlich 20 Prozent Energieeinsparungen. [62]

6.3 EMB Wertemanagement Bau e. V.

Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie hat 2007 das EMB-Wertemanagement Bau zu einer Initiative für Zertifizierung der Unternehmensethik in der deutschen Bauindustrie erhoben. Die Studie kommt zum Ergebnis, dass dem EMB eine Vorreiterrolle zukommt, die ethischen Grundsätze um diejenigen zu erweitern, die für Digitalisierung und KI erforderlich sind. Nur so kann der verantwortlichen Rolle der Baubranche in der digitalen Weichenstellung bewusst nachgekommen werden. Dies könnte ein wichtiges Signal an Wirtschaft, Politik, Gesellschaft und an das Werte- und Ethikmanagement im Bauwesen senden. [20]

6.4 Engineering Data Intelligence (EDI GmbH)

Ihr Alleinstellungsmerkmal sieht das Unternehmen in Semantic Web, KI-basierten Hybridmodellen (AutoML kombiniert mit Expertenwissen), intelligenter Produktentwicklung, KI-unterstützter Produktgenerationen-Entwicklung, automatischer Angebotserstellung und Kapazitätsplanung, sowie Prozessautomatisierung. EDI sieht für die Baubranche KI-basierte Angebotserstellung, KI-basiertes Datenauswerten und den Aufbau von digitalen Geschäftsmodellen als passenden Einstieg. Mut, Innovationswille und das interdisziplinäre Zusammenarbeiten werden als die Erfolgsbausteine für neue digitale Geschäftsmodelle im Bauwesen gesehen. Denn Mensch und Technik bedingen sich im technischen Fortschritt gegenseitig. [63]

6.5 Fraunhofer IAO

Am Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (Forschungsbereich Stadtsystemgestaltung), beschäftigt sich René Hellmuth im Rahmen der Digitalisierung der Baubranche mit dem aufstrebenden Forschungsgebiet Scan-to-BIM, das KI-basierte Algorithmen zur automatisierten Überführung von Punktwolken in BIM-Modelle nutzt. Der Fokus seiner Forschung liegt auf der Analyse, Bewertung und Evaluation von bestehenden Lösungen und dem Transfer an kooperierende Industrieunternehmen.

Aktuelle Scan-to-BIM-Ansätze in der Forschung gehen nach seinen Angaben dazu über, die Erkennung von tragenden Strukturbauteilen (Wände, Stützen usw.) auf kleinteiligere Bauteile auszuweiten. Auch der dem Scan-to-BIM vorgelagerte Aufnahmeprozess findet in Forschungsprojekten mit der Industrie durch Technologievergleiche Beachtung. Dabei wird die Hardware zur photogrammetrischen Aufnahme und von Laserscannern bewertet und den unterschiedlichen Anforderungen von Anwendungsfällen zugewiesen. Außerdem wird der Einfluss unterschiedlicher Aufnahmegeräte auf den nachfolgenden Scan-to-BIM-Prozess identifiziert.

Aufbauend auf bereits entwickelten Aktualisierungsprozessen für digitale Gebäudemodelle [64] soll nicht nur der Aktualisierungsprozess durch KI-gestützte Objekterkennung angestoßen werden, sondern zukünftig durch Scan-to-BIM-Prozesse weiter automatisiert werden. Die prototypische Umsetzung von Pilotprojekten mit Startups wie Snapkin aus dem Scan-to-BIM-Bereich können stellvertretend für Evaluationstätigkeiten genannt werden. [65]

6.6 Hemminger Ingenieurbüro

Das Hemminger Ingenieurbüro entwickelt aktuell eine Lösung für einen automatisierten Prozess zur Erkennung von 3D-Geometrien in Gebäuden. Diese Lösung deckt zwei Aufgabenbereiche ab: 1. Visuelle Objekterkennung in der Punktwolke und 2. Automatische Platzierung von Points-of-Interest (POI) auf Basis von Bildern. Die ersten Prototypen funktionieren seit Oktober 2020 und beinhalten folgende Ideen und Lösungen:

1. Visuelle Objekterkennung:

Mit der Verwendung eines neuronalen Netzes können Objekte in verschiedenen Punktwolken erkannt und lokalisiert werden. Diese Objekterkennung kann momentan sowohl in Büro- als auch in Fabrikumgebungen eingesetzt werden. Im Folgenden können damit Objekte aus der Punktwolke durch CAD-Objekte ersetzt werden. Dadurch wird der Prozess des händischen 3D-Modellierens beschleunigt und effektiver gestaltet. Fachplaner*innen, Bau-

leiter*innen und anderen interessierten Projektbeteiligten steht so in kürzerer Zeit ein aktueller digitaler Zwilling des gesamten Gebäudes für die Begehung und zur weiteren Planung zur Verfügung. Realitätsbeispiel: Vermessungstechnisch werden die Gebäude im Außendienst mit statischen Laserscannern, mobilen 3D-Laserscannern und Drohnen aufgenommen. Die daraus generierten Punktwolken werden aufbereitet und zueinander referenziert. Mithilfe der KI erfolgt nun die Analyse und Generierung von 3D-Objekten im Raum. Ein erster dreidimensionaler Eindruck im CAD entsteht. Mit diesem Modell können im besten Fall erste Aussagen getroffen werden, zum Beispiel ob genügend Platz für eine neue Produktionslinie vorhanden ist.

2. Automatische Platzierung von Points-of-Interest (z. B. IoT-Daten):

Mit der Grundidee der visuellen Objekterkennung lassen sich noch weitere Anwendungsfälle bestimmen. Einer davon ist die automatische Platzierung von Points-of-Interest (POI). Dazu läuft, wie beschrieben, die KI über eine Umgebung und erkennt Objekte. Dieses Mal wird die KI allerdings auf realistische Bilder angewandt. Das hat den Vorteil, dass die KI weniger Trainingsdaten braucht, um gute Erkennungsraten zu generieren.

Bei einer Umgebungsaufnahme werden außerdem Kugelpanoramen erstellt, die neben den Bildinformationen keine weitere »Intelligenz« besitzen. Durch die Verwendung der KI können auf den Panoramabildern Points-of-Interest gesetzt werden. Diese POI können dann mit Metadaten wie Objekttyp, Eigenschaften oder IoT-Daten angereichert werden. Somit wird ein intelligenter Viewer erzeugt, der z. B. Informationen über den aktuellen Zustand, wie Besucheranzahl, Raumtemperatur oder Luftqualität besitzt.

Die Entwicklungsprojekte starteten ungefähr im April 2020. Fortlaufend sollen zum einen den Algorithmen immer mehr wichtige und wiederkehrende Objekte beigebracht werden. Zum anderen soll auf den Ergebnissen aufbauend ein vollautomatischer Algorithmus entwickelt werden, der es erlaubt, Objekte zu erkennen (existiert bereits), diese als 3D-Modell an Referenzpunkten zu platzieren (Prototyp existiert) und abschließend noch auszurichten, damit das 3D-Modell sich an der richtigen Stelle befindet und auch die gleiche Orientierung besitzt wie vor Ort [66].

6.7 HRS Group

Der Schweizer Immobiliendienstleister HRS ist offen für KI-Anwendungen und hat schon einige angebotene Cloud-Lösungen ausprobiert. Testfit, die generative Quartierdesign-Software, wurde mehrmals genutzt, um Brainstorming Sessions zu unterstützen. ALICE und KREO, die KI-Projektmanagementlösungen, wurden nach den ersten Tests aus Datenschutzgründen aufgegeben. Schweizer Unternehmen haben, wie in Deutschland, starke Bedenken und Vorschriften, wie mit ihren Daten umgegangen wird.

Die »low hanging fruit« von KI will sich HRS aber nicht entgehen lassen. Intern hat Hr. Palomero eine KI-Lösung entwickelt, um einem langjährigen Problem des Unternehmens zu begegnen: Es geht um den enormen Aufwand für die manuelle Zuordnung von Kundenrechnungen im CRM-System (Kundenbeziehungsmanagement).

Das Problem:

- HRS erhält ca. 40 000 Rechnungen auf Papier pro Jahr. Jede Rechnung hat drei wichtige Parameter, die für das CRM-System von Bedeutung sind: Projektnummer, Mehrwertsteuer-ID und Mehrwertsteuer-Prozent.
- Jede Firma, die Rechnungen schreibt, hat ihre eigene Art und Weise, diese drei Parameter schriftlich niederzulegen. Bei 40 000 Rechnungen sind das ungefähr 900 verschiedene Vorgehensweisen.
- Das erschwert nicht nur die Arbeit der Sachbearbeiter*innen, sondern auch die einfacher OCR-Systeme, die hier helfen könnten.

Die KI-Lösung:

- Durch Hinzufügen eines standardisierten Stempels auf den Rechnungen kann eine Charaktererkennungssoftware (OCR) mit Maschinellern Lernen trainiert werden.
- Das OCR Model wurde mithilfe von 100 Rechnungen trainiert, um die drei wichtigen Parameter zu erkennen und jeder Rechnung eine Textdatei mit diesen Infos anzuhängen.
- Microsoft Azure OCR wurde eingesetzt, um den ganzen Prozess zu betreiben.
- Das Modell weist eine Genauigkeit von 96 Prozent auf.
- Nächster Schritt ist die Anbindung an das ERP-System und die vollautomatische Zuordnung von Rechnungen darin [67].

6.8 IG BAU, Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt

Der Projektgeber der 2019 geschaffenen Projektstelle »Digitalisierung in der Bauwirtschaft« ist der »Verein zur Förderung des Bauhauptgewerbes«; er unterstützt Beschäftigte aus dem Baugewerbe finanziell bei Fortbildungen und mit Schulungen. Die Stelle ist zuständig für Informationsrecherche zu Digitalisierung und KI, Erkennen von Trends, Schwachstellen und Auswirkungen auf die Menschen, Lokalisierung des KI-Potenzials zur Erleichterung von Routineabläufen und harter physischer Arbeit, aber auch Risiken wie Datensicherheit und Mitbestimmungsrechte von Mitarbeiter*innen sowie Vernetzung und Transfer in die Baugewerkschaft. Ethik ist wichtiger Ausbildungsbestandteil, um vorbereitet zu sein auf den Arbeitsalltag und ethisch-moralische Fragestellungen. Die technischen Fragen gehen oft mit Themen und Entscheidungsabwägungen zu Werten und Ethik einher. Große Unterstützung für uns wäre die Aufklärung zu den Grundsätzen der Digitalisierung und KI, sodass es Baufachhelfer*innen verstehen, aber auch die Betriebsräte Erkenntnisse gewinnen. Werte und Moral sind stark ins Blickfeld gerückt, da die Menschen im Mittelpunkt stehen. Digitale Transformation und Unternehmenskultur sind eng verknüpft, weil Digitalisierung und KI, die die Menschen unterstützt, das Arbeitsumfeld sicherer macht, die Menschen entlastet, ohne Qualifikationen abzuwerten. Die Politik ist gefordert, einheitliche Standards, z. B. für die Implementierung von BIM, zu schaffen. Denn ungeklärt ist: Wohin fließen die Daten? Was passiert mit den Daten, und wie wird mit ihnen umgegangen? Wie werden diese geschützt? Wie werden Mitspracherechte und die Privatsphäre der Arbeitnehmer*innen erhalten? [68]

6.9 Lehre und Ingenieurausbildung

»In der Ingenieurausbildung entscheidet jeder Lehrende selbst über die Einbindung von Ethik in seine Vorlesung (Freiheits- und Rechtsgrundsatz der freien Lehrgestaltung). Ethische Ansätze sollten mit in die Vorlesung einfließen ... Der Bedarf von neuen Digitalisierungstechnologien und KI im Bau zieht einen sehr hohen, darauf zugeschnittenen Ausbildungsbedarf des Ingenieurs von morgen mit sich. Lehr- und Vorlesungskapazitäten fehlen. Bisher gibt es noch keine Wissensteilung zur KI mit den Studenten. Ich selbst kenne nur Ansätze, wo bereits mit KI gearbeitet wird oder KI unterstützt ... BIM/KI sollten meiner Meinung nach nicht nur ein Fach sein, sondern in jedes Fach der Bauingenieurwesen-Vorlesungen fest miteingebunden werden, sodass ganzheitlich, fachübergreifend gelehrt wird. Zu Recht und Ethik greifen wir auf Lehrbeauftragte aus der Praxis zu ... KI spielt sich aktuell ausschließlich im Forschungsbereich ab ... Dieses Wissen haben wir nicht und auch keinen Zugriff an unserer Hochschule. Zu den zugehörigen ethischen Grundsätzen fallen mir Fragen ein wie: Ist mein Arbeitsplatz sicher? Wird mein Handeln von Maschinen beeinflusst? Der Stellenwert der Ethik in Zeiten der Digitalisierung ist sehr hoch. Die ausgebildeten Ingenieure müssen in ihrem ersten Job damit umgehen

können, müssen Potenziale und Risiken der Technologien erkennen, hinterfragen und damit umgehen können. Ethische Rahmenbedingungen mit gesetzlichen Vorgaben zu regeln, ist immer schwierig. Idealerweise hält sich jedes Individuum von Hause aus an Werte und Ethik.« [69]

6.10 PERI Digital Transformation & Corporate Development

Digitale Transformation beinhaltet im Unternehmen alle relevanten Aspekte, so spielt auch die Personalentwicklung eine entscheidende Rolle: Menschen »mitnehmen«, und für neue Ansätze wie KI begeistern. Die passende KI-Lösung soll Mehrwert stiften, Menschen unterstützen. »Mitarbeiter*innen sind Humankapital, man möchte die Expert*innen und deren Wissen optimal einsetzen. Standardisierte und repetitive Tätigkeiten können und sollen über Automatisierung schneller und effizienter gelöst werden. Die Menschen sollen Aufgaben lösen, die ihr Können, ihre Kreativität fordern und fördern. Die Integration der Wertschöpfungsketten, auch unternehmensübergreifend, ist der kritische Pfad zum Erfolg der Digitalisierung in der Baubranche. Wichtig ist hier ein sinnvoller Einsatz von Methoden wie KI, ausgerichtet am Nutzen für alle am Prozess Beteiligten. Wir haben die »ethischen« Aspekte in unseren Führungsprinzipien verankert, die auch maßgeblich unsere Unternehmenskultur prägen.« Welche Risiken und Probleme sehen Sie in der Anwendung von Digitalisierung und KI? »Die verfügbaren Technologien und Methoden müssen sinnvoll und verantwortungsbewusst eingesetzt werden. Die Hauptfrage lautet dabei: An welcher Stelle ergibt es Sinn, ein Problem durch Nutzung dieser Ansätze zu adressieren? Aktuell mangelt es an der Synchronisation dieser Fragestellung zwischen den unterschiedlichen Prozessbeteiligten der Bauwertschöpfungskette. Ein großer Schwachpunkt: Es besteht hoher Aufklärungsbedarf zu KI. Das Aufklärungsbedürfnis zu den Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Technologien und KI ist signifikant hoch, was ausgewogene durchdachte Entscheidungsfindungswege ethisch stark bedenklich macht. Unter KI subsumieren viele Menschen Dinge, die die Künstliche Intelligenz nicht ausmachen. Das liegt auch an der – oftmals falschen – Begriffsverwendung in den Medien und in Diskussionen. Ethik und Missbrauch liegen nah beieinander: sich damit auseinander zu setzen und wertebasiert Lösungen zu suchen, gehört zur unternehmerischen Selbstverpflichtung. Ziel ist und bleibt dabei die Problemlösung (insbesondere bei Ressourcenengpässen und zu hohen Kosten). An oberster Stelle steht eine Problemlösung zum Nutzen aller Beteiligten – gemäß dem Kooperationsgedanken, um auch nachhaltige Lösungen entwickeln zu können!«

PERI arbeitet aktuell in zwei Themengebieten an Einsatzmöglichkeiten von KI: 1. Visuelle Objek-
tidentifizierung und 2. Automatisierung von Engineering-Aufgaben. Welche methodischen Ansätze das dann genau sind, werden die entsprechenden Untersuchungen zeigen. Prototypen sind seit 2020 vorhanden, fertig für die Operationalisierung in den nächsten 12 bis 24 Monaten:

1. Visuelle Objekterkennung:

»Im Bereich der visuellen Objekterkennung arbeiten wir aktuell mit neuronalen Netzen daran, dass Teile aufgrund spezifischer Charakteristika erkannt werden können. Die Vorteile liegen hier in der nicht notwendigen Kennzeichnung der Teile. Diese kann aufgrund des Materialeinsatzes auf Baustellen besonders herausfordernd sein. Hier existieren bereits Prototypen/Modelle, die auch in einer Anwendung (Applikation) getestet werden können. Beispiel aus der Praxis: QR-Code/Tagging am Material oft nicht ausreichend beständig. Zur Lokalisierung des Baumaterials sind GPS-Sender eine Lösung, aber stellen u. U. einen zu hohen Kostenfaktor dar. Aktuell werden Fotoaufnahmen zusammen mit weiteren Daten zur Teiledefinition genutzt (beispielsweise Anker, Schalttafel), sowie RFID-Chips zur Identifikation des Teils. Ist kein QR/Tag vorhanden, erkennt der Algorithmus durch das Foto und den Daten das entsprechende Bauteil.«

2. Automatisierung

»Im Bereich der Engineering-Automatisierung versuchen wir über historische Daten (d.h. mithilfe bereits verfügbaren Engineering Lösungen für bestimmte Geometrien) durch Nutzung entsprechender Modelle die Engineering-Aufgaben (datengetrieben) zu lösen. Dieses Thema ist sehr komplex, da wir hier auch an Grenzen der Rechenkapazitäten stoßen. Ansätze für KI gibt es u. a. in der Grundrissplanung, Schalungsplanung per räumliche Abbildung und Regeldefinition.«

Die interne Forschung läuft seit ca. einem Jahr. Die Abteilung zur Fokussierung der Digitalen Transformation besteht seit 2017. Das Potenzial für den Einsatz von KI entlang des gesamten Gebäude- und Objektlebenszyklus eines Bauwerks ist sehr groß; insbesondere TGA und FM könnten effizienter gestaltet werden. Sehr hilfreich sind Methoden der KI auch in der Gefahrenerkennung via Sensorik, z. B. im Tunnel- und Brückenbau (z. B. Brückenzusammensturz in Genua). Ein weiterer Anwendungsfall ist die Erkennung/Identifikation von Mustern, um Logiken für die Automatisierung/Robotik zu entwickeln. KI unterstützt wesentlich die erhöhte Arbeitssicherheit: Menschen aus Gefahrensituationen herausnehmen, Baustellen sicherer und smarter machen.

»Insgesamt besteht ein sehr hoher Aufklärungsbedarf zur KI. Wichtig ist auch die klare Trennung und Begriffsdefinition zu: Was ist BIM? Was bedeutet Digitalisierung? Was ist KI? Unter KI subsumieren viele Menschen Dinge, die die KI nicht ausmachen. Das liegt auch an der Begriffsverwendung in den Medien. Wenn Probleme gelöst werden, z. B. durch KI, können die Anwen-

dungsmöglichkeiten auch viel pragmatischer kommuniziert werden. Die Bereitschaft der Bauunternehmen, die Digitalisierung zu integrieren, ist sehr hoch, oft stellt sich jedoch die Frage nach dem WIE.

Die größten Hürden, auf die ein Unternehmen bei der Implementierung der Digitalisierung im Allgemeinen und KI im Speziellen stößt, sind die Veränderungsbereitschaft und die Kosten, obwohl beide ein Investment in die Zukunft darstellen. Es ist eine Change-Management-Aufgabe, diese neuen Aufgabenfelder für Menschen klar zu definieren. Der Bau besteht aus vielen Einzelgewerken; jeder probiert für sich aus, kleineren Betrieben fehlt oft der finanzielle Hintergrund, große Konzerne haben ein ausreichend finanzkräftiges Polster für Forschung, Technik, Expert*innen, bis hin zu eigenständigen Abteilungen und Verantwortlichkeiten. Am wichtigsten ist die Frage, die jede Unternehmung für sich klären sollte: Wie besteht man im engen Wettbewerb? Die Fragmentierung der Gewerke stellt eine große Herausforderung dar, die Wertschöpfungskette muss weiter integriert werden, der Einbezug von BIM-Ansätzen muss weiter verbessert werden.

Bestimmte Risiken im Datenumgang liegen darin, dass Mechanismen genutzt werden können, um Profite zu maximieren, ohne dass Kunden hier ausreichend entgegenwirken können. Beispiele aus dem B2C-Bereich verdeutlichen ein solches Risiko: die Erstellung von Nutzerprofilen. Sie können das Entscheidungs-/Kaufverhalten durch den Einbezug bestimmter psychologischer Mechanismen von Käufer*innen/Nutzer*innen signifikant begünstigen: Stichwort ‚behavioural pricing‘. Hier muss – teilweise geschieht dies bereits – ggf. der Gesetzgeber einschreiten. Wichtige Voraussetzung dabei ist die vorhandene Datenschutzverordnung. Die vertrauensvolle Beziehung zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer*innen sowie zwischen den Unternehmen und seinen Kunden hat oberste Priorität im vertrauensvollen Umgang mit Daten.

Der Bedarf an qualifizierten Arbeitskräften für die Bauindustrie, vor allem indiziert durch neue (digitale) Technologien wie z. B. KI, ist sehr hoch und bedarf neuer Ansätze im Recruiting und Personalmarketing. Im Sinne einer strategischen Personalplanung sollten Firmen Aufgaben- und Stellenprofile definieren und an Hochschulen adressieren. Neue Berufsbilder erfordern die Einbindung neuer fachlicher Kompetenzen. Eine weitere Perspektive ist, dass HS/Unis für Studenten attraktiv sein und sich in der Bildungslandschaft innovativ abheben sollen. Der Bau hat an Attraktivität verloren, vielleicht gelingt über neue spannende Technologien eine Wiederbelebung? Zudem erfährt die Baubranche einen Fachkräftemangel, diesem kann u. U. über neue Berufsbilder und Einsatz von Technologien und/oder alternativer Fertigungsverfahren (z. B. 3-D-House-Printer-Operator) entgegengewirkt werden [70].«

6.11 Smart Design and Construction (SDaC)

Das vom BMWi geförderte Forschungsprojekt SDaC (Smart Design and Construction), soll über die nächsten drei Jahre eine Plattform aufbauen, von der sich KMUs mit teil-fertigen KI-Lösungen für ihre Bauvorhaben bedienen können. Svenja Oprach aus dem KIT (Karlsruher Institut für Technologie) und Projektleiterin hat sich über die Ausgangssituation und die Vision von SDaC geäußert.

»Die vorhandenen Datenbestände in der Bauwirtschaft sind sehr heterogen und unstrukturiert, sodass sie nur mit einem hohen manuellen Aufwand Mehrwerte für neue Projekte bringen. Diese Fragmentierung der Daten ist das größte Hindernis, um maschinelles Lernen (das Auswertungen, Schlussfolgerungen und Vorhersagen erstellt) darauf zugreifen zu lassen. Als erster Schritt soll den Unternehmen mit der richtigen Datenaufbereitung geholfen werden. Das geschieht unter anderem auch durch KI-Anwendungen für:

- Datenformatoptimierung (Kontraste, Helligkeiten korrigieren, um der Objekterkennung zu helfen)
- Datenanonymisierung (Gesichter verdecken, in Textabschnitten den Firmennamen oder den Namen der Mitarbeiter*innen anonymisieren)
- Langfristiges Ziel des Moduls »Datenaufbereitung« ist die IFC-Befähigung von Bauunternehmen. Industry Foundation Classes (IFC), entwickelt von BuildingSMART, ist ein offenes und neutrales Datenmodell, das Interoperabilität, im Kontext BIM, verschiedener Akteure im Bau ermöglicht.

Im nächsten Schritt wurden Personas im Baugeschäft identifiziert und deren Customer Journey untersucht:

- Bauwerksplanern wird mit Grundrisserkennung, Objektidentifizierung und generativem Design geholfen, erste Vorschläge zu erstellen. Die eingesparte Zeit kann dann in die Optimierung des Plans eingesteckt werden.
- Bauausführungsplanern wird mit Terminplanung und Mängelprädiktion assistiert. Ein Szenario kommt der Wareneingangskontrolle zugute. Lieferscheine aus dem Themenbereich Beton können erkannt werden und dann der Materialrechnungsprüfung oder dem Bauleiter weitergegeben.
- Bei der Baurealisierung wird der Fortschritt mit dem ursprünglichen Plan verglichen, Risikostellen erkannt und alternative Strategien angeboten.

Die Vision ist, eine Art Appstore aufzubauen, in dem datenschutzkonforme vortrainierte KI-Module zur Verfügung gestellt werden. Diese könnten dann von Softwareunternehmen oder -Abteilungen erworben werden, um eigene Anwendungen zu entwickeln. Das Geschäftsmodell zur Fortführung dieses App Stores sowie seiner Anwendungen wird innerhalb der Projektlaufzeit erarbeitet. Es könnte bspw. von einem Joint Venture oder als Verein betrieben werden.

In Richtung Öffentlichkeitsarbeit wird auch viel getan. Es wird versucht, der KI-Vorstellung der Medien von einer superintelligenten Entität zu begegnen. Den Menschen wird durch KI lediglich assistiert und es entstehen »keine Gebäude auf Knopfdruck« [71].«

6.12 User Generated Design (UGD)

Als Mitgründer von Kaisersrot, einer Forschungsgruppe der ETH Zürich, hat Prof. Oliver Fritz schon vor 20 Jahren Stadtteile und Gebäude mit generativen Methoden geplant. Als junge Architekten hatte man sich damals gefragt, ganz nach Alan Turings Prinzip, ob computergenerierte Architekturen wie üblich aussehen sollten oder von gezeichneten Entwürfen hervorstechen sollten. Nach vielen ähnlichen Design-Fragestellungen und reichen Erfahrungen von abgeschlossenen Projekten in Zürich haben Oliver Fritz und Kollege Markus Braach aus Kaisersrot das Softwarehaus User Generated Design in Konstanz gegründet, um Nicht-Architekten und Nicht-Spezialisten generative KI-Werkzeuge zur Verfügung zu stellen:

- Kapatool – Büromitarbeiter*innen können damit ihren gewünschten oder einen vorgeschlagenen Arbeitsplatz für eine bestimmte Zeit buchen. Dies ermöglicht Prognosen für die Raumkapazitäten eines Unternehmens und macht die Skalierung einfacher.
- Panelizer – Ein Werkzeug, mit dem verschiedene Fassadenstile auf einem bestehenden Gebäude ausprobiert werden. Es wird hauptsächlich für die Angebotserstellung benutzt, die sich damit von Tagen auf Stunden reduzieren lässt.
- Codesigner – Mit dem generativen Tool der Firma Hayworth werden von UGD Bürolayouts von Unternehmen entworfen oder optimiert.
- Maßgeschneiderte Anwendungen, die besondere Kundenwünsche erfüllen (z. B. beleuchtungsoptimierte Layouts von Schaufenstern)

UGD ist nutzerzentriert. Die Leute sollen sich abgeholt fühlen und die Dinge betreibend verstehen. Digitale Tools sollen die Designer entlasten und nicht belasten. Auch wenn diese Tools Zeit und Kosten einsparen – endgültiges Ziel ist immer, ein besseres Design zu schaffen und Co-Design zu fördern. Die Herausforderung liege darin, Probleme und Ziele zu verstehen, die Algorithmen seien eigentlich nur ein kleiner Teil der Lösung. Eine Grundlage des Maschinellen Lernens, also »von fremden Daten« zu lernen, sei für Design nicht richtig. Ungefilterte Daten von

unbekannter Herkunft zu benutzen, kann ein Risiko darstellen, denn »die Hälfte der Grundrisse, die man im Internet findet, sind fehlerhaft«. Wenn es aber um Bilderkennung geht, dann würde er vortrainierte KI-Module nutzen. Um einen Stuhl oder ein Fenster zu identifizieren, sollte man natürlich auf fertige Lösungen zugreifen können.

Als einer der Autoren und Editor des »Atlas of Digital Architecture« [72] redet Professor Fritz von einer Bewegung, die im Bereich Generatives Design angekommen ist. Architekt*innen und Designer*innen, die mehr Wert auf die Baukunst legen (und nicht auf die große Menge des Bauens) sollten sich eigentlich keine Sorgen machen, von einer KI ersetzt zu werden. Generatives Design assistiert und quasi optimiert menschliches Entwerfen. Diese Angst wäre aber berechtigt, falls Riesen wie Google oder Autodesk »es ernst meinen würden« und Tools entwickeln, die viel radikaler in den Entwurfsprozess eingreifen. [73]

6.13 Vollack Gruppe

»Die neue Generation der »Digital Natives« denkt Planung tatsächlich neu. Sie will den Kundenwert steigern, Prozessabläufe verbessern – über die gesamte Wertschöpfungskette und technologische, prozessorientierte, vertragliche, nicht zuletzt sozial-kulturelle Dimensionen hinweg. Vernetzt arbeiten, Verschwendung erkennen, Stabilität und Prozessfluss immer wieder neu organisieren und optimieren, mit dem einen gemeinsamen erklärten Ziel, das Projekt für alle Beteiligten zu verbessern. Unser KI-Positionspapier war Wegmarker für den Proof of Concept. Dabei ging es um Fragestellungen wie: Was ist möglich? Was ist sinnvoll? Wo stecken Potenziale? Wie hoch ist der Aufwand im Vergleich zum Nutzen (80/20-Regel = 80 Prozent Wirkung, 20 Prozent Aufwand)?

Die digitale Transformation hin zu Algorithmen und KI bedarf vor der Implementierung eines grundsätzlichen Dialogs und des Commitments von Führungskräften und Mitarbeiter*innen im Unternehmen. Mit der Präambel wurden der Sinn und Zweck sowie die Voraussetzung zur Veränderungsbereitschaft aller mit der Zusage der Aus- und Weiterbildung manifestiert. Es ist eine Art Pakt zwischen Unternehmen und Mitarbeiter*innen zur gemeinsamen Zukunftssicherung. Gerade im Bauwesen mit seinem Unikatsdenken, demgemäß jedes Gebäude ein (kreatives) Werk für sich darstellt, liegen enorme Potenziale in der Anwendung digitaler Werkzeuge. Und dies ist kein Widerspruch. Mit der Digitalisierung erfolgt ein Wandel weg vom klassischen hin zu einem zukunftsweisenden, flexibleren Arbeiten. Hierbei sind die Unternehmenskultur und -werte sowie das Vertrauen einer entsprechenden Führungspraxis maßgeblich mitentscheidend. Das Bewusstsein für die Wichtigkeit von KI kann nur gebildet werden, wenn Mehrwert, Nutzen, Potenziale, Risiken und Wertschöpfung anschaulich in Bezug gesetzt werden [74]. «

6.14 VTT

Im Rahmen des ConIoT Projekts, des finnischen Forschungsinstituts VTT, ermittelt Satu-Marja Mäkelä in Richtung einer sichereren Baustelle mittels smarten Sensoren und maschinellem Lernen. Neben üblichen Daten wie den Positionen und der Aktivität von Fahrzeugen und Equipment werden in diesem Projekt auch Daten der Bauarbeiter*innen analysiert. Mit Beschleunigungsmessern und Barometern, die an der Kleidung der Personen angebracht sind (»Smart Clothing«) können typische Aktivitäten auf der Baustelle, ohne die Hilfe von Videoaufnahmen, von der KI klassifiziert werden:

- Jemand streicht eine Wand.
- Jemand kniet für längere Zeit (Ergonomie, Körperhaltung).
- Jemand läuft rund um ein Objekt.
- Jemand arbeitet auf einem Gerüst.
- Jemand arbeitet in großer Höhe.
- Jemand läuft die Treppen hoch oder runter.
- Jemand ist erschöpft.
- Jemand ist in Eile.

Obwohl im ConIoT Projekt keine Thermometer oder Herzfrequenzmesser benutzt werden, könnten diese Sensoren weitere Daten über das momentane Wohlbefinden der Personen liefern. Es handelt sich jedoch um empfindliche Gesundheitsdaten, die einen verantwortlicheren Umgang voraussetzen und mehr Verwaltungsaufwand benötigen, um sie zu bekommen.

Auch wenn alle Daten im Projekt anonymisiert bzw. pseudonymisiert sind, gab es bei den Gewerkschaften Bedenken. Bei einer Befragung von 4000 Arbeiter*innen der finnischen Bauwirtschaft zu Beginn des ConIoT Projekts wurden diese Bedenken wie folgt geäußert:

- Arbeitgeber, Vorgesetzte oder Kolleg*innen könnten die Daten gegen mich nutzen,
- Arbeitgeber könnte private oder empfindliche Informationen über mich erhalten,
- Externe Parteien könnten Zugriff auf meine Daten bekommen,
- Datenbezogene Lösungen könnten meine Arbeit stören.

Nach der Aufklärung hatten die Arbeiter*innen Gewissheit, dass die erhobenen Daten für die eigene Sicherheit und Gesundheit (und die der Kolleg*innen) genutzt werden (und nicht für den Arbeitsablauf). So waren viele Arbeiter*innen dann damit einverstanden, am Körper angebrachte Sensoren zu tragen. Über die Hälfte würden dann zustimmen [75].

Satu-Marja Mäkelä hat auch vor einem verantwortungslosen Umgang mit KI gewarnt. Es sei sehr leicht, eine KI fehlerhaft zu trainieren und Bias einzubauen. Da beim Maschinellen Lernen, eine Blackbox mit im Spiel ist, sollten Menschen »in the loop« bleiben. [76]

6.15 Wayss & Freytag Digital Construction

»Die Baubranche ist traditionell konservativ. Strukturelle Probleme bestehen bei Verträgen, zerstückelten Wertschöpfungsketten, es gibt keine Vernetzung, und die Einflussnahme bestimmter Akteure fehlt.

KI soll helfen, Probleme der Menschen zu lösen. Das bedeutet, ein sinnvoller, menschengerechter Einsatz von KI, ausgerichtet am Gemeinwohl. Ethik bedeutet Richtschnur; bei uns sind das die Ausrichtung an Effizienz, Gewährleistung bester Qualität und höchster Arbeitssicherheit. Ethik hat in Zeiten der Digitalisierung einen hohen Stellenwert. W&F's Richtschnur ist dabei der Code of Ethics und Code of Conduct. Wir verfügen über keinen zusätzlichen Ethik-Codex oder Ethik-Richtlinien speziell auf Digitalisierung und KI zugeschnitten. Es gibt auch keinen Ethik-Experten. Es gehört zur unternehmerischen Selbstverpflichtung, sich mit wertebasierten Lösungen auseinanderzusetzen. Eine Problemlösung zum Nutzen der Gemeinschaft! Gemeinwohl ist die Richtschnur! Wertschöpfungsketten müssen immer mehr integriert werden. Gesetzliche Regeln sind als unterstützende Funktion für die ethischen Rahmenbedingungen wichtig. Am wichtigsten bleibt der Appell an die unternehmerische Verantwortung und ein vertrauensvolles Miteinander zwischen allen Akteuren am Bau. Es bedarf keiner zusätzlichen rechtlichen Regularien oder Gesetzesvorgaben; diese sind eher hinderlich bei Innovation. Wir sehen das in Deutschland, als Teil der BAM Gruppe, im Vergleich zu UK und NL.«

Wayss & Freytag (Teil der BAM Gruppe) hat 2016 die Unternehmenseinheit »Digital Construction« gegründet. Auslöser war, dass Digitale Transformation und Unternehmerkultur ein Querschnittsthema bilden. Das damit einhergehende Change Management ist eingebettet in die tägliche Arbeit, und trägt zur Akzeptanz und Denkkultur aller im Unternehmen tätigen bei.

»Der Bedarf an neuen Digitalisierungstechnologien und KI im Bau zieht neue Berufsbilder nach sich; diese sind eng verknüpft mit einem daran neu ausgerichteten Qualifikationsprofil der Fachkräfte und Ingenieur*innen von morgen. Firmen müssen Aufgaben- und Stellenprofile definieren, an Hochschulen adressieren, sie durch Gastvorlesungen den Student*innen nahe bringen und eine enge Beziehung zu Student*innen zum fachlichen Kompetenzaufbau pflegen. In Zukunft M U S S z. B. ein Arbeitsvorbereiter usw. mit BIM umgehen können; die fachliche Qualifikation ergänzt die bestehenden Aufgabenprofile.

Universitäten sind in Vorbereitung für die adäquaten Lehrinhalte, eigenständige Professuren für das Wissen zu BIM und KI sind ausgeschrieben und nehmen zu. Ich selbst bin aktiv im Berufungsausschuss einer Universität, Vorteil: gewisse Einflussnahme und aktive Mitgestaltung der Lehre und Bildungslandschaft. Wir stellen Gastdozenten von unserer Unternehmenseite, um Praxiserfahrung direkt in die Lehre/Vorlesungen zu implementieren. Die in unserer Stabsabteilung mitwirkenden Student*innen sind der Grund, um fachliche Kompetenzen heranzubilden, da es kaum freie Marktverfügbarkeit gibt. Noch sind sehr wenige BIM- und KI-Experten in Deutschland vorhanden.

Die KI-Methoden, an denen und mit denen wir arbeiten, sind:

1. Workflow bis 7-D als durchgängiger Projektfluss
2. Modellierung: Deep-Learning-Ansatz bei Modellerstellung, z. B. für Basis (teil)automatischer Bauteilerkennung aus Punktwolken
3. Parametrischer Entwurf (Architektur) Ziele: Material einsparen, Vorgaben zu Lichtdurchlässigkeit und nach Sonnenstand ausgerichtet
4. Generative Design, das einen Gestaltungsprozess beschreibt, bei dem das Ergebnis durch einen programmierten Algorithmus erzeugt wird
5. Visuelle Bilderkennung von Schadensaufnahmen bei Autobahnen (Risserkennung)

Den größten Nutzen bietet die Terminplanung (4-D) auf Basis von Prozessbausteinen, die mit dem Modell verknüpft sind oder daraus abgeleitet werden. Vorgänge können zugewiesen werden, sowie Sequenzen und Abfolgen. Zu einer Optimierung kann auf Big Data und Algorithmen zurückgegriffen werden. Verläufe können auf mögliche Abweichungen analysiert werden, bei neuen Terminplänen können Risikostellen identifiziert werden.

Einen sehr hohen Stellenwert bei der Suche nach sinnvollen KI-Anwendungsfeldern ist die Arbeitssicherheit: Menschen aus Gefahren herausnehmen, Baustellen sicherer und smarter machen. Um jedoch sinnvolle KI-Techniken zu entwickeln, muss die Problemstellung und das Einsatzfeld definiert werden. Die Hauptfrage lautet dabei: An welcher Stelle ergibt es Sinn, ein Problem zu adressieren? Es fehlt die Verbindung, diese Frage unter den Akteuren zu vernetzen. Risiken und Probleme sehe ich im:

- Entwicklungsbedarf: Durchgängigkeit des digitalen Prozesses
- Datenmanagement auf der Baustelle: bisher benötigt Administratives zu viel Zeit

- Datensicherheit und Datenschutz: enger unternehmensinterner Austausch mit entsprechenden Expert*innen (rechtliche Komponente wird durch unsere Rechtsabteilung im Unternehmen abgedeckt)
- Größte Hürden für KI: Datenquellen, Datenverfügbarkeit, Big Data weit weg, Weiterverwendung und Nutzung der Daten, Lokalisierung offen.

Insgesamt schätze ich das bestehende Un-Wissen zu den Anwendungsmöglichkeiten und den Aufklärungsbedarf zur Digitalisierung und KI als sehr hoch ein. Eine der Kernfrage ist auch die des Wettbewerbs: Wie sticht man als Unternehmen hervor? Wo hebt man sich ab? Wie hat man die Nase weiterhin vorn? Am wichtigsten: Wie besteht man als Unternehmen im engen Wettbewerb? Es stellt sich ein weiterer wichtiger Punkt, der großes Risiko birgt: Wie gehe ich mit den Daten um? Wichtiger Grundstock bildet die vorhandene Datenschutzverordnung [36].«

7 FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Digitalisierung und KI entwickeln sich schnell und werden in den nächsten drei bis fünf Jahren leistungsstarke Werkzeuge für die Planung, Realisierung und den Betrieb von Bauwerken sein. Praktische Anwendungsfälle bieten schon jetzt Erfahrungswerte, auf denen sich aufbauen lässt; sie sind Wegweiser in der digitalen Transformation im Bauwesen. Obwohl sich Methoden der KI noch im Entwicklungsstadium bewegen, suchen Großunternehmen und KMUs gleichermaßen nach Ansätzen, um die sich ihnen bietenden Potenziale zu nutzen und ihre Wettbewerbsfähigkeit mithilfe der Nutzung technologischer Innovationen auszubauen.

Es wird behauptet, dass Chinas größter Vorteil in der Verwertung von KI für ihre Wirtschaft darin liegt, dass sie uneingeschränkt von Regulierungen ständig neue Daten in die KI-Algorithmen füttern können. Die Qualität dieser Daten ist aber nicht immer gewährleistet. Der Datenschutz in Europa könnte durch seinen Zwang zur Datenqualität zum »besten Freund« einer jeden KI werden [77].

Es ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen, um den Adaptionprozess von KI-Lösungen in der Bauwirtschaft zu beschleunigen:

- **Datenaufbereitung – Anonymisierung**

Eine qualitative Aufbereitung von digitalen Daten und eine darauffolgende Anonymisierung ist der Grundstein, um KI zu ermöglichen.

- **Möglichkeit, bestehende Cloud-Lösungen lokal zu betreiben**

Technisch ist es möglich, Cloud-Services auf der lokalen Infrastruktur zu installieren und zu betreiben. So wird es kein Misstrauen gegenüber der umstrittenen Cloud geben, da eine Datenintegrität gewährleistet ist.

- **Anwendungen vernetzen**

Historische Daten und vortrainierte KI-Modelle sind ein wertvolles Wissen. Das Teilen dieses Wissens durch breit zugängliche Datenbanken wird den Einstieg in KI, besonders für den Mittelstand, erleichtern.

■ **Fördermittel ausschöpfen**

Die Adaption von KI wird für Unternehmen reichlich gefördert. Europaweite oder nationale Ausschreibungen bieten die Gelegenheit, eigene KI-Projekte, auch nur für die Erprobung und das Gewinnen von Know-how, aufzustellen. Das KI-Fortschrittszentrum bietet auch die Möglichkeit, sich für kostenfreie »Quick Checks« und »Exploring Projects« zu bewerben.

■ **Beteiligte und Öffentlichkeit über Potenzial aufklären**

Informierte Mitarbeiter*innen haben eine erhöhte Motivation, sich an KI-Ansätzen im Unternehmen zu beteiligen. Öffentlichkeitsarbeit und Aufklärung der Bürger*innen den Medien zu überlassen, ist verantwortungslos und führt zu einer fehlgeleiteten Wahrnehmung von KI.

■ **Fachexpertise aufbauen**

Unternehmen im Bau benötigen dringend Fachpersonal, um die neuen digitalen Technologien in der Praxis umzusetzen und Potenziale auszuschöpfen. Vielen Hochschulen fehlen jedoch entsprechende Lehr- und Vorlesungskapazitäten sowie fachlich qualifiziertes Lehrpersonal. Die fundamentale fachliche Ingenieurausbildung sollte darunter nicht leiden.

LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi, „Statistik KI Einsatz in deutschen Unternehmen,“ BMWi, 2019.
- [2] Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, „State of AI in the Enterprise, 3rd Edition,“ Deloitte , 2020.
- [3] K. P. Marshall, „Has technology introduced new ethical problems,“ Journal of Business Ethics, p. 19, 1999.
- [4] S. M.-H. C. Kirn, „Technische und rechtliche Betrachtungen zur Autonomie kooperativ-intelligenter Softwareagenten,“ KI - Künstliche Intelligenz , pp. 59-74, 2015.
- [5] Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, „Studie zu Mittelstand Axia Best Managed Companies Award,“ Deloitte , 2020.
- [6] J. Wieland, „Gelebte Ethik und Moral in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft,“ Bosch Global, 2014.
- [7] M. Decker, „Mein Roboter handelt moralischer als ich? Ethische Aspekte einer Technikfolgenabschätzung der Servicerobotik,“ Ethisierung der Technik - Technisierung der Ethik, pp. 215-232, 2013.
- [8] M. Lautwein und J. Fox, Interviewees, Digitalisierung, KI und zugehörige Ethik im Bauwesen. Umgang im Referat für Digitalisierung im Bauwesen beim Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 04 12 2020.
- [9] C. Hohmann-Dennhardt, „Arena „Werte und Wirtschaft«,“ Friedrich Ebert Stiftung, Berlin, Vortrag mit Podiumsdiskussion, Wertekongress, 2012.
- [10] R. Hagemann-Miksits, Interviewee, Digitalisierung und KI im Bauwesen – Organigramm der Deutschen Bauindustrie, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 25 03 2020.

- [11] B. Irrgang und J. Klawitter, „Wissenschaftliche Broschüre, Künstliche Intelligenz. Technologischer Traum oder gesellschaftliches Trauma?“, Würzburg, 1998.
- [12] A. Grunwald, „Zum Handlungsbegriff in Technikphilosophie und Technikethik,“ 12 03 2009. [Online]. Available: <https://www.widerstreit-sachunterricht.de/>.
- [13] I. Kant, Kritik der reinen Vernunft, London: Palgrave Macmillan, 1929.
- [14] Aristoteles, Nikomachische Ethik, Köln: Anaconda, 2009.
- [15] Lebensakademie des Vatikans des Erzbischofs Vincenzo Paglia in Rom, „Rome Call for AI Ethics,“ Römisch-Katholische Kirche, Rom, 2020 .
- [16] J. Loh, Künstliche Intelligenz und Ethik: Alles gut, oder was? Podiumsdiskussion, Telekom Zentrale, Bonn, 2018 .
- [17] Europäische Kommission, Weißbuch zur Künstlichen Intelligenz - ein europäisches Konzept für Exzellenz und Vertrauen, Brüssel, 2020 .
- [18] G. Walsham, „Ethical theory, codes of ethics and IS practice,“ Information Systems Journal , 1996.
- [19] D. Wright, „A framework for the ethical impact assessment of information technology,“ Ethics and Information Technology, 2011 .
- [20] D. Lupp, Interviewee, Ethik, Digitalisierung und KI am Bau, Interviewerin, B. Weber-Le-werenz. [Interview]. 02 03 2020.
- [21] M. Schäfer, Interviewee, Ethik, Digitalisierung und KI am Bau, Interviewerin, B. Weber-Le-werenz. [Interview]. 12 08 2020.
- [22] HolonIQ, „Global AI Strategy Landscape,“ 2020 .
- [23] Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages, „Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale,“ 2020 .
- [24] S. Spiekermann, Digitale Ethik: Ein Wertesystem für das 21. Jahrhundert, München: Droemer HC, 2019 .

- [25] A. Grunwald, Virtual AI Roadshow USA-Baden-Württemberg-Canada, 2020 .
- [26] R. Ammicht Quinn, „Das Gehirn der Zukunft – KI und Ethik“, Stuttgart: Public Advisory Boards Cyber Valley, 2019 .
- [27] T. Kiefer, Interviewee, Digitalisierung, KI und zugehörige Ethik im Bauwesen. Umgang im VDI, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 03 12 2020.
- [28] U. Nothelle-Wildfeuer, Interviewee, Digitalisierung, KI und zugehörige Ethik im Bauwesen, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 14 12 2020.
- [29] P. Mendler, Interviewee, Digitalisierung, KI und zugehörige Ethik im Bauwesen. Umgang beim Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 17 12 2020.
- [30] T. Gebhard, Interviewee, Digitalisierung, KI und zugehörige Ethik im Bauwesen. Umgang bei der HWK Stuttgart, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 16 12 2020.
- [31] T. Schmid, Interviewee, Ethik, Digitalisierung und KI am Bau, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 02 03 2020.
- [32] Staufen AG und Staufen Digital Neonex GmbH, „Digitalisierung 2020., Internationale Studie,“ Verlag Staufen AG, 2020.
- [33] W. Eber, „Artificial Intelligence in Construction Management – a Perspective,“ in Proceedings of the Creative Construction Conference, Budapest, 2019 .
- [34] A. F. Özçekiç, „Data Sources in a Construction Project,“ Botmore Technology, 12 11 2018. [Online]. Available: <https://medium.datadriveninvestor.com/data-sources-in-a-construction-project-fac6b952c453>. [Zugriff am 14 03 2021].
- [35] Alice Technologies, „AF Gruppen Reduces Midrise Project Duration by 18% and Costs by 30% with ALICE,“ [Online]. Available: <https://blog.alicetechnologies.com/case-studies/af-gruppen>. [Zugriff am 09 03 2021].
- [36] D. Krause, Interviewee, Digitale Transformation und KI Erfahrungswerte aus der Anwenderpraxis bei Wayss & Freytag, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 04 11 2020.

- [37] S. K., „A practical generative design method,” *Computer-Aided Design*, p. Volume 43, 2011 .
- [38] Spacemaker Website, „NREP pioneers artificial intelligence in real estate using Spacemaker,” 15 12 2020. [Online]. Available: <https://www.spacemakerai.com/blog/nrep-pioneers-artificial-intelligence-in-real-estate-using-spacemaker>. [Zugriff am 14 03 2021].
- [39] Sidewalk Labs, „Discover Radically Better Design,” 2021. [Online]. Available: <https://hello.delve.sidewalklabs.com/>. [Zugriff am 14 03 2021].
- [40] T. Galanos, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer, A. Giannakidis. [Interview]. 29 10 2020.
- [41] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), „Statistik Arbeitsunfallgeschehen,” 2019.
- [42] J. Etscheid, J. v. Lucke und F. Stroh, „Studie: Künstliche Intelligenz in der öffentlichen Verwaltung,” *Fraunhofer Publica* , Stuttgart, 2020.
- [43] G. V. Tabea Hein, *Künstliche Intelligenz für die Smart City*, Berlin: Verlag K&T Knowledge&Trends, 2020.
- [44] J. Lanier und G. Weyl, „AI is an Ideology, Not a Technology,” *Wired*, 15 03 2020. [Online]. Available: <https://www.wired.com/story/opinion-ai-is-an-ideology-not-a-technology/>. [Zugriff am 14 03 2021].
- [45] K.-S. Schober, „Artificial intelligence in the construction industry,” *Roland Berger*, 18 02 2020. [Online]. Available: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Artificial-intelligence-in-the-construction-industry.html>. [Zugriff am 14 03 2021].
- [46] T. Gorski, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer, A. Giannakidis. [Interview]. 25 11 20.
- [47] D. Nagy, D. Lau, J. Locke, J. Stoddart, L. Villaggi und R. Wang, „Project Discover: An Application of Generative Design for Architectural Space Planning,” in *Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, Toronto, 2017 .

- [48] M. Jurecic, S. Rief, D. Stolze und W. Bauer, „Office analytics. Erfolgsfaktoren für die Gestaltung einer typbasierten Arbeitswelt = Office analytics ; success factors for designing a work type-based working environment,“ Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2018.
- [49] W. Bauer, Y. Pan und S. Rief, „Raumpsychologie für eine neue Arbeitswelt, Environmental Psychology for a New World of Work,“ Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2019.
- [50] B. E. A. Abanyie SA, „The Impact of Computer Aided Architectural Design Tools on Architectural Design Education. The Case of KNUST,“ Journal of Architectural Engineering Technology, 01 2015.
- [51] R. Aish und R. Woodbury, „Multi-level Interaction in Parametric Design,“ in Smart Graphics, 5th International Symposium, SG 2005, Frauenwörth Cloister, Germany, August 22-24, 2005, Proceedings, 2005 .
- [52] K. Walmsley, „Project Rediscover: Generatively Designing the Autodesk Toronto Office,“ Autodesk, . [Online]. Available: <https://www.autodesk.de/solutions/generative-design>. [Zugriff am 06 02 2021].
- [53] Autodesk, „Was ist generatives Design – Tools und Software,“ , [Online]. Available: <https://www.autodesk.de/solutions/generative-design>. [Zugriff am 06 02 2021].
- [54] S. Abrishami, J. Goulding und F. Rahimian, „Generative BIM workspace for AEC conceptual design automation. Prototype development,“ Engineering Construction & Architectural Management, 06 2020.
- [55] Haworth, „CoDesigner - AI based parametric planning tool,“ 2020. [Online]. Available: <https://info-codesigner.haworth.com/>. [Zugriff am 07 02 2021].
- [56] R. E. Quinn, S. R. Faerman, M. P. Thompson, M. R. McGrath und D. S. Bright, Becoming a master manager. A competing values approach, Wiley, 2015 .
- [57] Haworth, „Culture | Haworth,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.haworth.com/na/en/expertise/research/organizational-culture/culture.html>. [Zugriff am 06 02 2021].
- [58] Autodesk, „Visuelle Programmierung mit Dynamo | BIM Blog,“ [Online]. Available: <https://blogs.autodesk.com/bimblog/visuelle-programmierung-mit-dynamo/>. [Zugriff am 06 02 2021].

- [59] The Living, „Autodesk MaRS Office,“ The journal of the American Institute of Architects, 2018.
- [60] M. Brossard, G. Gatto, A. Gentile, T. Merle und C. Wlezien, „How generative design could reshape the future of product development,“ McKinsey, [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-generative-design-could-reshape-the-future-of-product-development>. [Zugriff am 10 02 2021].
- [61] Ø. Kjøllestad, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer, A. Giannakidis. [Interview]. 20 11 2020.
- [62] M. Lange, Interviewee, Digitale Transformation und KI Erfahrungswerte aus der Anwenderpraxis bei APLEONA, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 05 11 2020.
- [63] T. Freudenmann, Interviewee, KI im Bauwesen. Unterstützung mit KI-Beratung im Bauwesen, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 08 02 2021.
- [64] R. Hellmuth, F. Wehner und A. Giannakidis, „Approach for an Update Method for Digital Factory Models,“ in 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems 2020, 2020.
- [65] R. Hellmuth, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer, A. Giannakidis. [Interview]. 22 02 2021.
- [66] C. Wintrup, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer Hellmuth, R.. [Interview]. 10 03 2021.
- [67] A. P. Prada, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer, A. Giannakidis. [Interview]. 18 11 2020.
- [68] S. Gerbig, Interviewee, Digitalisierung, KI und zugehörige Ethik im Bauwesen. Umgang bei der IG BAU, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 19 11 2020.
- [69] L. Schmidt, Interviewee, Digitalisierung, KI und zugehörige Ethik im Bauwesen. Umgang an der HAW München, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 29 10 2020.
- [70] D. Stadel, Interviewee, Digitale Transformation und Erfahrungswerte aus der Anwenderpraxis bei PERI Digital Transformation & Corporate Development, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 04 11 2020.

- [71] S. Oprach, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer, A. Giannakidis. [Interview]. 20 11 2020.
- [72] L. Hovestadt, U. Hirschberg und O. Fritz, Atlas of Digital Architecture, Birkhäuser, 2020 .
- [73] O. Fritz, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer, A. Giannakidis. [Interview]. 26 11 2020.
- [74] K. Teizer, Interviewee, Digitalisierung, KI und zugehörige Ethik im Bauwesen. Umgang bei der Vollaack Gruppe, Interviewerin, B. Weber-Lewerenz. [Interview]. 21 12 2020.
- [75] J. Häikiö, J. Kallio, S.-M. Mäkelä und J. S. Keränen, „IoT-based safety monitoring from the perspective of construction site workers,“ International Journal of Occupational and Environmental Safety, 20 04 2020.
- [76] S.-M. Mäkelä, Interviewee, Expert Interview about AI in Construction, Interviewer, A. Giannakidis. [Interview]. 23 11 2020.
- [77] P. A. Hanania, N. Horn und T. Knobloch, „DSGVO: Fluch oder Segen für Europas Wettrennen um Künstliche Intelligenz?,“ Bertelsmann Stiftung, 11 03 2021. [Online]. Available: <https://algorithmenethik.de/2019/10/18/datenschutzgrundverordnung-fluch-oder-segen-fuer-europas-wettrennen-um-kuenstliche-intelligenz/>. [Zugriff am 14 03 2021].



FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 74 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 28 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,8 Milliarden Euro. Davon entfallen mehr als 2,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kund*innen hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

Fraunhofer IAO

Mensch und Technik in der digitalen Arbeitswelt, Wirtschaft und Gesellschaft

Digitale Technologien verändern unsere Arbeitswelt und haben tiefgreifende Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft. Lang etablierte Methoden und Prozesse werden in kurzer Zeit modernisiert und revolutioniert. Das Fraunhofer IAO kooperiert eng mit dem Partnerinstitut IAT der Universität Stuttgart und entwickelt gemeinsam mit Unternehmen, Institutionen und Einrichtungen der öffentlichen Hand wirksame Strategien, Geschäftsmodelle und Lösungen für die digitale Transformation.

Die digitale Transformation und neue IT-Technologien eröffnen für Unternehmen viele Chancen: innovative Produktangebote für neue Zielgruppen, bessere und kostengünstigere Prozesse, eine »intelligentere« Kundenkommunikation und höhere Automatisierung. Dafür kommen innovative, vernetzte IT-Lösungen auf Basis von Big Data, Künstlicher Intelligenz, Cloud und Internetplattformen zum Einsatz.

Die richtige Strategie und IT sind eine wesentliche Grundlage für den Erfolg und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Voraussetzung für erfolgreiche Anwendungen ist ein klarer Nutzen für das Unternehmen, seine Kund*innen und seine Partner.

Unsere Leistungen basieren auf fundierter Technologie- und Marktkenntnis sowie branchenübergreifenden Erfahrungen. Durch den Einsatz unserer praxiserprobten Methoden und erfahrenen Mitarbeitenden sichern wir den Projekterfolg. Unser Fraunhofer-Netzwerk ermöglicht uns den Zugriff auf ein umfassendes Kompetenzspektrum.

Das Fraunhofer IAO und das IAT der Universität Stuttgart beschäftigen gemeinsam mehr als 650 Mitarbeitende und verfügen über rund 15 000 Quadratmeter Büroflächen, Demonstrationen sowie Entwicklungs- und Testlabors.

Kontaktadresse

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Autorinnen und Autoren

Alexandros Giannakidis
Telefon +49 711 970-2306
alexandros.giannakidis@iao.fraunhofer.de

Bianca Weber-Lewerenz
bianca.christina@gmx.de
<https://www.bwl-engineering.com>

Dennis Stolze
Telefon +49 711 970-5475
dennis.stolze@iao.fraunhofer.de

Herausgeber

Wilhelm Bauer, Oliver Riedel, Thomas Renner, Matthias Peissner

Satz und Gestaltung

Franz Schneider, Fraunhofer IAO

URN-Nummer

[urn:nbn:de:0011-n-630669](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0011-n-630669)

Online verfügbar als Fraunhofer-ePrint

<http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-630669.html>

**Gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und
Wohnungsbau Baden-Württemberg**



