

Die Bauwirtschaft beschäftigt sich seit einigen Jahren sehr intensiv mit der digitalen Transformation. Traditionelle Prozesse werden in Frage gestellt und auf Basis von neuen Technologien grundlegend verändert. Künstliche Intelligenz (KI) ermöglicht es gemeinsam mit anderen Ansätzen der Digitalisierung wie dem Building Information Modeling (BIM), dem

Internet of Things (IoT) und der Robotik, die Effizienz in der gesamten Wertschöpfungskette zu steigern – von der Produktion von Baumaterialien über die Entwurfs-, Planungs- und Bauphase bis hin zum Facility Management. Viele Anwendungsgebiete lassen sich teilweise erst jetzt durch neu verfügbare Daten für die Bauwirtschaft erschließen.

Was ist Künstliche Intelligenz?

In den letzten Jahren haben sich KI-Verfahren sehr rasant entwickelt. Eine Software lässt sich dem Bereich KI zuordnen, wenn sie erkennen, folgern, handeln und sich anpassen kann. In vielen Fällen werden Algorithmen entwickelt, die Wissen auf Basis von Erfahrungen – sogenannten Trainingsdaten – generieren. Die Möglichkeiten sind dabei ausgesprochen vielfältig. Objekte lassen sich erkennen, Optimierungen vornehmen oder Vorhersagen berechnen (vgl. Abb. 1). In der Regel kann ein maschinelles Lernverfahren angewendet werden, wenn sehr viele und gut aufbereitete Daten vorhanden sind und in den Datenpool einfließen.

Generell unterscheidet man beim maschinellen Lernen zwischen drei Vorgehensweisen:

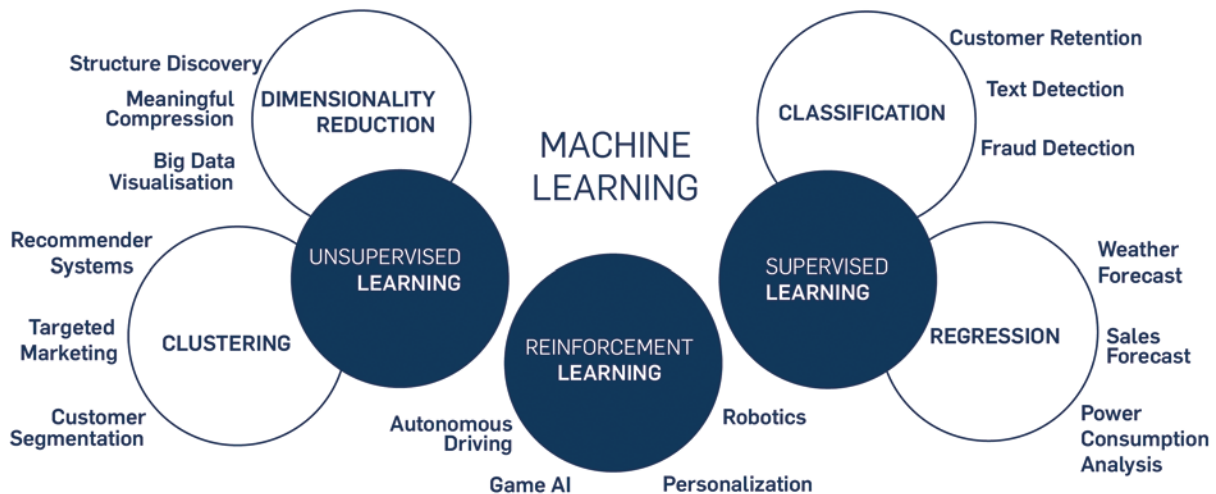
- Beim überwachten Lernen (englisch supervised learning) lernt das System anhand von Trainingsdaten, Gegenständen

de zu kategorisieren. Eine spezielle Ausprägung ist das Deep Learning, das neuronale Netze und große Datenmengen nutzt. Diese Lernmethode richtet sich nach der Funktionsweise des menschlichen Gehirns.

- Beim unüberwachten Lernen (unsupervised learning) wird für eine gegebene Menge von Daten ein statistisches Modell erstellt, das Kategorien und Zusammenhänge erkennt und beispielsweise Vorhersagen ermöglicht.
- Verfahren des bestärkenden Lernens (reinforcement learning) setzen auf Belohnung und Bestrafung, um eine Vorgehensweise zu bestimmen, wie in bestimmten Situationen zu handeln ist. Dies ist die häufigste Lernform eines Menschen.

1

Maschinelle Lernverfahren und ihre Anwendungsgebiete



Quelle: Ruhr-Universität Bochum

Dementsprechend sind auch die Möglichkeiten und Anwendungen für das Bauwesen sehr vielfältig. Sie hängen häufig von den verfügbaren Daten ab, die für das Training einer

Künstlichen Intelligenz zur Verfügung stehen. Im Folgenden zeigt der Autor einige Beispiele entlang der Wertschöpfungskette Bau auf.

Konstruktion und Planung

Architektinnen und Architekten, Konstrukteurinnen und Konstrukteure sowie Ingenieurinnen und Ingenieure übernehmen während der Planungsphase eines Gebäudes oder eines Infrastrukturbauwerks gestalterische Aufgaben. Dafür braucht es ein hohes Maß an Erfahrung und Kreativität. Besonders aufwendig sind Entwurfsvarianten sowie deren Optimierung und Überprüfung bezogen auf Bauvorschriften (Song et al. 2020). Ein Einsatz von KI könnte hier viel Zeit sparen. Beispielsweise lässt sich eine Wissensbasis aufbauen, um Architektinnen und Architekten anhand von ausgewählten Gebäudeparametern ähnliche Gebäudeentwürfe zu empfehlen. Diese Entwürfe enthalten bereits Hinweise zur Gebäudeperformance. Verschiedene Optionen können den Entwurf der Architektin oder des Architekten ergänzen.

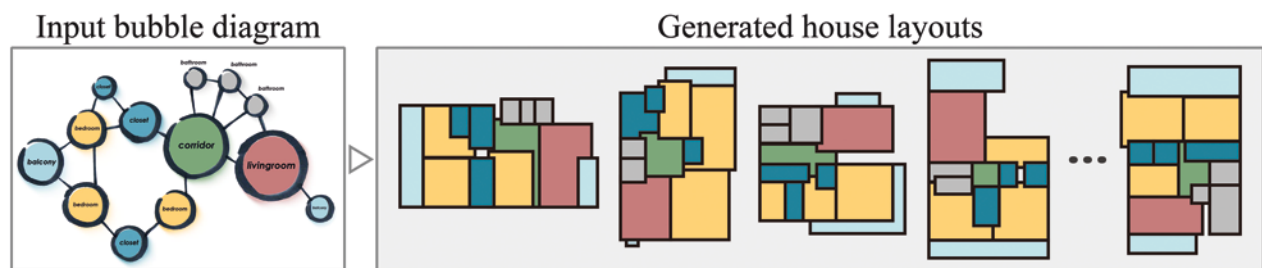
Ein entsprechendes System entwickelte beispielsweise der Lehrstuhl für Architekturinformatik der TU München (Eisenstadt/Langenhan/Althoff 2019). Künstliche neuronale Netze werden hier mit Fachbegriffen aus der Architektur trainiert. So lassen sich Eingaben von Architektinnen und Architekten oder Bauherren auswerten, um Ergänzungen für die Vervollständigung von Grundrissen vorzuschlagen. Nauata et al. (2020) stellen ebenfalls ein KI-Verfahren zur Generierung von Grundrissen vor. Es kann Räume mit ihren Abmessungen erzeugen und dabei gleichzeitig Merkmale der Nachbarschaft berücksichtigen (vgl. Abb. 2). Einen ähnlichen Ansatz hat die Firma Autodesk bei der Planung eines Gebäudes am Standort Toronto verfolgt. Das Team

im Projekt Discover entwickelte einen Workflow für ein generatives Design (Nagy et al. 2017). Ein regelbasiertes geometrisches Entwurfssystem erstellt und bewertet sehr viele Designoptionen, die auf messbaren Zielen basieren (z. B. Behaglichkeit, Energieeffizienz, Arbeitsplatzgestaltung). Mit KI-Verfahren lassen sich viel schneller und deutlich mehr Parameter und Varianten berücksichtigen und bewerten. Über diese Verbesserungen hinaus kann diese Vorgehensweise sogar die Kreativität steigern. Dank ihr ergeben sich Formen und Konstruktionen, die selbst einige Fachleute vorher nicht für möglich gehalten haben.

Natürlich gibt es noch viele weitere Möglichkeiten, Künstliche Intelligenz in der Entwurfsphase zu nutzen. Beispielsweise lässt sich ein Entwurf bezogen auf Normen und Regelwerke automatisiert auswerten. Dabei kommen regelbasierte Systeme (BBSR 2021) in Kombination mit KI-basierten Textanalysen zum Einsatz. Gebäudeinformationen wie Abmessungen, Materialien oder technische Anlagen werden extrahiert, analysiert und automatisch mit textbasierten Regelwerken abgeglichen. Ein weiteres Beispiel ist die Nutzung von KI-basierten Prognosemodellen in frühen Entwurfsphasen. Sie ermöglichen schnell genaue Abschätzungen zum Energiebedarf. Auch hier dienen bestimmte Parameter des geplanten Gebäudes als Eingangsdaten für die Prognosemodelle der maschinellen Lernverfahren (Singaravel/Suykens/Geyer 2019).

2

Generierung von Grundrissen mithilfe von maschinellen Lernverfahren



Quelle: Simon Fraser University; Nauata et al. 2020

Leider wenden die verantwortlichen Akteure aktuell nur sehr selten KI-Verfahren für die Konstruktion und Planung von Bauwerken an, obwohl vielversprechende Ideen und Ansätze existieren. Den Transfer in die Praxis erschwert bislang die mangelnde Erfahrung der Planerinnen und Planer in Bezug auf die Auswahl und Einschätzung von KI-Verfahren. Ebenso

fehlt es an passenden Softwaretools, die sich in bestehenden Planungssysteme integrieren lassen. Schlussendlich führt auch die fehlende Validierung an realen Projekten zu Skepsis, ob und inwieweit solche Ansätze eine Unterstützung bieten können.

Bauausführung und Abnahme

KI-Anwendungen während der Bauausführung sind recht weit entwickelt und teilweise schon im Einsatz. Maschinelle Lernverfahren können bei der Planung der Bauausführung helfen, die Aktualisierung von Bauabläufen vornehmen, Qualitätssicherungen durchführen oder auch zur Baudokumentation beitragen. Im Fokus der Anwendung steht sehr häufig die Auswertung von Realdaten (z. B. Bilder, Videos, Maschinendaten etc.). Kameras, Sensoren oder andere Geräte erfassen diese Daten. Ihre Verarbeitung kann beispielsweise die Produktivität steigern und für mehr Arbeitssicherheit sorgen.

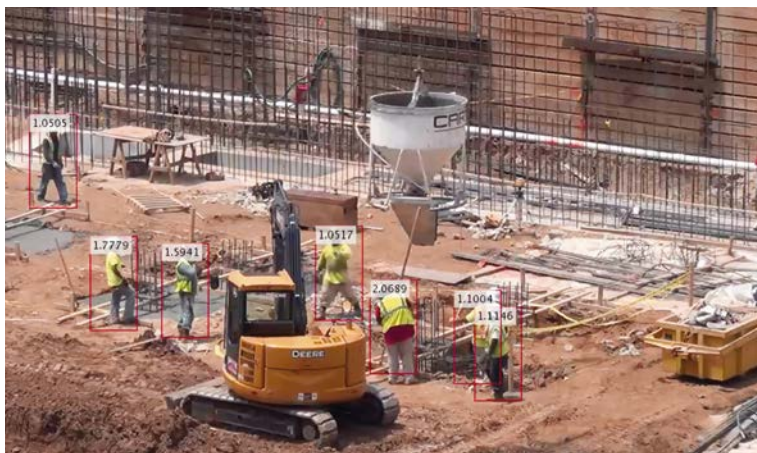
In den vergangenen Jahren sind sehr zuverlässige KI-Verfahren (z. B. Convolutional Neural Networks) zur Auswertung von Bildern entstanden. Sie können Objekte erkennen, klassifizieren und auch Informationen zu Dimension und Material geben. Ein Convolutional Neural Network orientiert sich an den neuronalen Prozessen im Gehirn beim Sehen und besteht aus verschiedenen Schichten. Eine Schicht erkennt

beispielsweise im Rahmen der Bildverarbeitung einzelne Merkmale wie Linien, Kanten oder andere Formen. In den folgenden Schichten werden einfache Merkmale zu immer komplexeren Merkmalen aggregiert (z. B. werden Linien, Kanten und andere Formen zu einem Gesichtsmerkmal bei Erkennung von Personen auf Baustellen). Dafür braucht es jedoch im ersten Schritt sehr viele Bilder für das Training der KI-Verfahren. Objekte werden dementsprechend markiert und mit den gesuchten Informationen versehen. Eine große Herausforderung dabei ist es, die Trainingsdaten möglichst variabel zusammenzustellen und aufzubereiten (z. B. verschiedene Lichtverhältnisse). Häufig unterscheiden sich Schutz-ausrüstungen, Maschinen, Materialien, Hinweisschilder und Hilfsmittel von Land zu Land. Daher müssen für das Training in bestimmten Fällen separate Datensätze erfasst werden.

Ein häufiges Beispiel ist die automatische Erkennung von Arbeiterinnen und Arbeitern sowie Maschinen auf Baustel-

3

Erkennung von Subjekten und Objekten auf Baustellen



Quelle: Teizer/Vela 2009

4

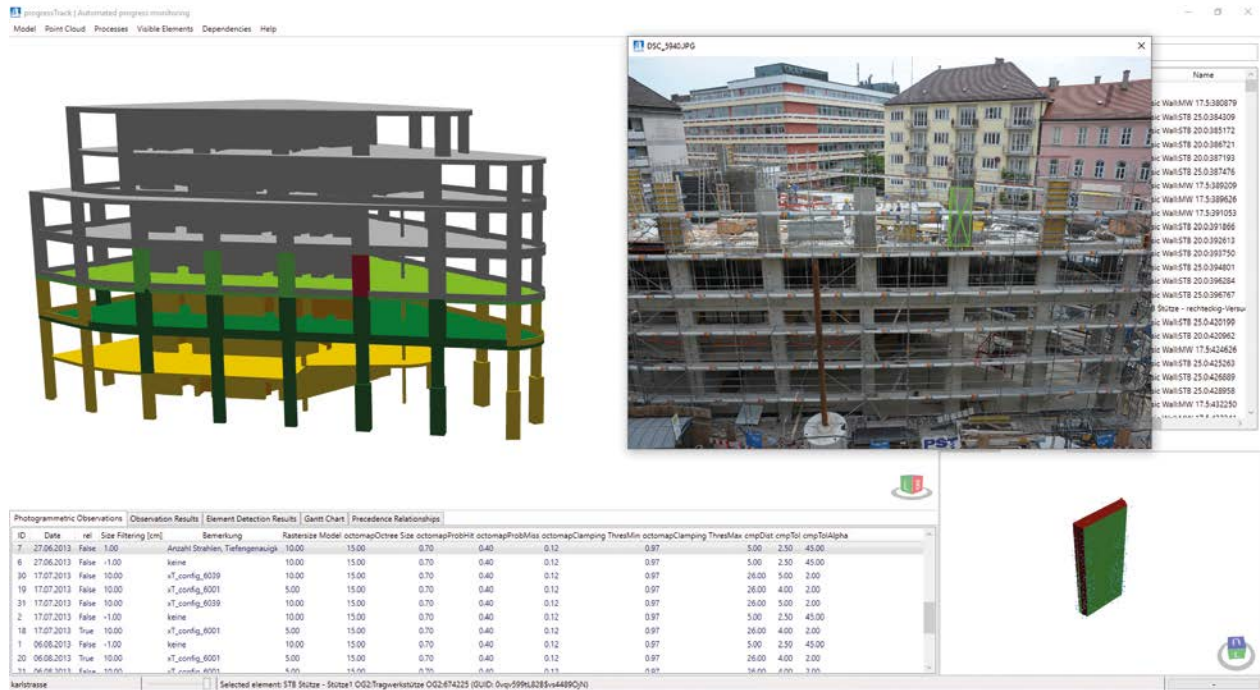
Erkennung von Personen aus großer Höhe



Quelle: Ruhr-Universität Bochum; Neuhausen/Pawlowski/König 2020

5

Baufortschrittserkennung mithilfe von Punktwolken



Quelle: TU München; Braun et al. 2020

len. Damit lässt sich die Position jeder und jedes Einzelnen ermitteln und prüfen, ob sie oder er gerade auch eingesetzt wird. Diese Rückmeldungen dienen beispielsweise dazu, die Suche nach Material und Arbeitsmitteln zu beschleunigen oder Rückschlüsse auf die Produktivität zu geben. Das schafft prinzipiell auch Möglichkeiten zur Überwachung von Arbeiterinnen und Arbeitern. Der Einsatz von KI-Verfahren muss immer hinsichtlich des Datenschutzes und weiterer ethischer Aspekte bewertet werden.

Darüber hinaus können KI-Verfahren auch die Arbeitssicherheit verbessern. Das System kann Arbeiterinnen und Arbeiter, die sich in bestimmten Gefahrenbereichen befinden (z. B. unter schwebenden Lasten eines Krans), sowie die Kolleginnen und Kollegen informieren (Neuhausen/Pawlowski/König 2020). Entsprechende Systeme werden bereits am Markt angeboten und können Unfälle vermeiden (IntSite Ltd. 2021). Solche Verfahren lassen sich natürlich auch für autonome Baumaschinen weiterentwickeln. Beispielsweise hat das Start-up Printstones Anfang 2021 den Prototypen eines Roboters präsentiert, der auf Baustellen zum Einsatz kommen soll (Printstones GmbH 2021). Das Anwendungsspektrum reicht vom Transport von Baumaterial über das Schrauben und Plasmaschneiden bis hin zum Bohren. Daneben kann der BauBot auch Wände streichen, vermessen

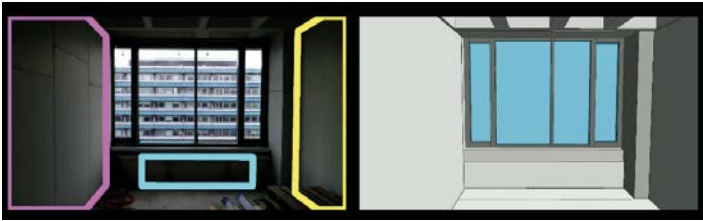
oder schweißen. Kameras und andere Sensoren erkennen Hindernisse.

Manuell oder mittels autonomer Systeme erfasste Bilder und Punktwolken (vgl. Abb. 5) dienen auch zur Qualitätssicherung während der Bauausführung. Beispielsweise werden neuronale Netze trainiert, um die Oberflächenbeschaffenheit zu prüfen, Schäden oder auch Verfärbungen zu erkennen. Ähnliche Verfahren lassen sich auch zur Qualitätssicherung bei der Bewehrung verwenden. Beispielsweise können sie einzelne Bewehrungsseisen erkennen und die Abstände zwischen einzelnen Stäben für die Prüfung ermitteln (Han et al. 2013).

Neben visuellen Daten spielt auch die Sprachverarbeitung eine große Rolle. Zum Beispiel können entsprechende Systeme Spracheingaben des Baustellenpersonals automatisiert verarbeiten. Sie extrahieren wichtige Informationen mittels Natural Language Processing (NLP). Dabei handelt es sich um Verfahren, die natürliche Sprache mit dem Computer algorithmisch verarbeiten. Die so erkannten Wörter und Aussagen können zur semantischen Anreicherung von digitalen Bauwerksmodellen genutzt werden. Dadurch entstehen einheitliche digitale Baudokumentationen, die sich anschließend für Aufgaben im Betrieb verwenden lassen.

6

Erkennung von Ausbaubjekten und Abgleich mit digitalen Bauwerksmodellen



Quelle: Ruhr-Universität Bochum, Kropp/Koch/König 2017

Die semantische Anreicherung von digitalen Bauwerksmodellen während der Bauausführung und später auch im Betrieb ist eine große Herausforderung (Sacks/Girolami/Brilakis 2020). Leider finden sich solche Anwendungen aktuell lediglich im Bereich der Forschung und haben sich in der Praxis noch nicht durchgesetzt. Eine große Herausforderung liegt in der Auswertung der menschlichen Sprache, die sehr komplex und nicht immer eindeutig ist. Es reicht nicht nur, einzelne Wörter zu erkennen. Entscheidend sind Zusammenhänge, die ein System verstehen muss. Wörter und Zusammenhänge sind beispielsweise bei der Baudokumentation sehr fachspezifisch. Ein weiteres Hemmnis sind auch fehlende digitale Bauwerksmodelle aus der Planungsphase, die mittels Spracheingabe angereicht werden sollen.

In den vergangenen Jahren haben viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der automatisierten Baufortschrittserfassung geforscht (Braun et al. 2020). Vereinzelt werden einige Ansätze auch schon in der Praxis angewen-

det. Mit verschiedenen Sensordaten – in vielen Fällen sind es jedoch Bilder – können Material und Maschinen auf der Baustelle erkannt und nachverfolgt werden. Die Auswertung der Daten ermöglicht es, auf den Baufortschritt zu schließen. Einige Anwendungen erkennen Strukturen (z. B. Rohbau oder Fassaden) (Braun et al. 2020), andere auch einzelne Elemente des Ausbaus (z. B. Fenster, Heizkörper und Leitungen) (Kropp/Koch/König 2017). Die Bilder verdeutlichen dann, ob die Elemente auf der Baustelle fertiggestellt wurden. Ist die Position der Kamera bekannt, lassen sich die Elemente in einem digitalen Ausführungsmodell markieren oder auch hinzufügen.

Im Rahmen der Baudokumentation braucht es bei BIM-basierten Projekten häufig ein As-built-Modell (Wie-gelbaut-Modell). Es gibt zwei Möglichkeiten: Entweder müssen die jeweils für den Bau Verantwortlichen ein bestehendes BIM-Modell der Ausführungsplanung so anpassen, dass es dem aktuellen Bauzustand entspricht (Rausch/Haas 2020) oder sie müssen ein vollständig neues As-built-Modell erstellen. Falls die As-built-Modellierung erst später im Lebenszyklus – also nicht im Rahmen der Baudokumentation – vorgenommen werden soll, wird auch von einer Bestandsmodellierung oder dem Bestandsmodell gesprochen. In beiden Fällen lassen sich ähnliche KI-Ansätze verwenden. Die Entwicklung solcher Verfahren ist jedoch sehr aufwendig, da die jeweils Verantwortlichen für alle unterschiedlichen Bauteile, Baustoffe und technischen Systeme geeignete Daten für das Training von maschinellen Lernverfahren bereitstellen müssen. Aktuell gibt es noch keine umfassenden Lösungen oder kommerziellen Systeme, die eine automatisierte Baudokumentation auf Basis eines As-built-Modells ermöglichen würden.

Betrieb und Instandsetzung

In Zukunft sollen digitale Bauwerksmodelle auch in den Betrieb einfließen. Sind diese Modelle nicht vorhanden, braucht es zunächst entsprechende Bestandsmodelle. Neben Verfahren auf Basis von Bildern spielen insbesondere Punktwolken und konventionelle 2-D-Pläne eine große Rolle. Auch wenn Punktwolken ein Bauwerk sehr gut visuell repräsentieren, ist die semantische Information (z. B. welche Bauteile und Materialien) gering. Daher müssen die Punktwolken im ersten Schritt segmentiert und klassifiziert werden. Auch das machen maschinelle Lernverfahren. Wie bei Bildern sind sehr viele Lerndaten – in diesem Fall sehr viele Punktwolken – notwendig.

Aktuell gibt es nur wenige Anwendungen, die eine vollautomatische Erzeugung von semantischen und geometrischen Objekten anhand einer Punktwolke ermöglichen. Bei einfachen und regelmäßigen Geometrien (z. B. ebene Wände oder sichtbare Leitungen mit einem standardisierten Durchmesser) kamen KI-Verfahren bereits zur Anwendung. Wenn das System die Elemente auf Basis einer Bauteilbibliothek erkennen und in das digitale Bauwerksmodell übernehmen kann, braucht es nur eine Übereinstimmung mit einem standardisierten Bauelement, das anschließend in das Bestandsmodell eingesetzt wird (Pang et al. 2015). Besitzen die Standardbauteile veränderliche Parameter, lässt sich das Modell

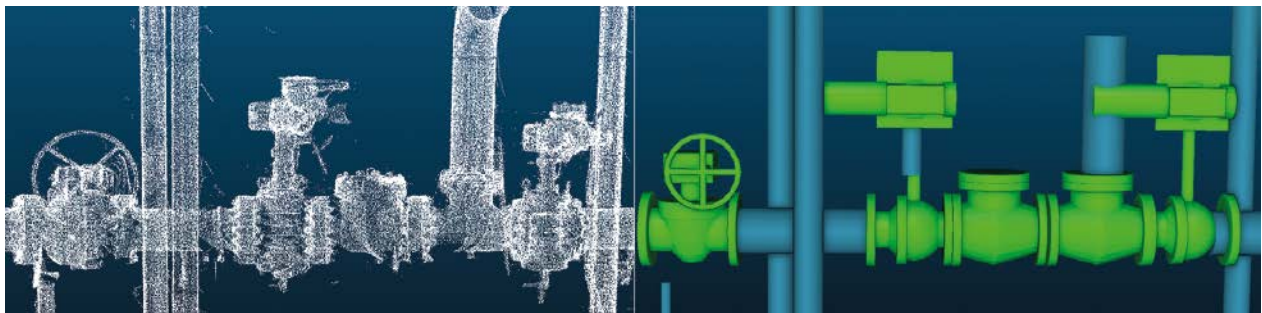
auch anpassen: Wenn erkannt wurde, welches Bauteil vorliegt, wird die Geometrie des Bauteils im Bestandsmodell an die Punktwolke angepasst.

Neben den reinen Punktwolken lassen sich mit KI-Verfahren auch 2-D-Pläne auswerten. Dafür werden Beschriftungen, Maße oder auch die 2-D-Geometrie extrahiert. Eine große Herausforderung dabei ist es, die einzelnen Bauteile korrekt

zu verbinden und mit entsprechenden Höheninformationen zu verknüpfen (Jang/Yu/Yang 2020). Des Weiteren müssen auch verschiedene Ansichten vorliegen und die einzelnen Informationen anschließend sinnvoll kombiniert werden. Auch hier sind noch keine Verfahren verfügbar, die komplexe Grundrisse – wie schräge oder runde Wände oder unterschiedliche Räumhöhen in einem Geschoss – gut extrahieren und in ein digitales Bauwerksmodell überführen können.

7

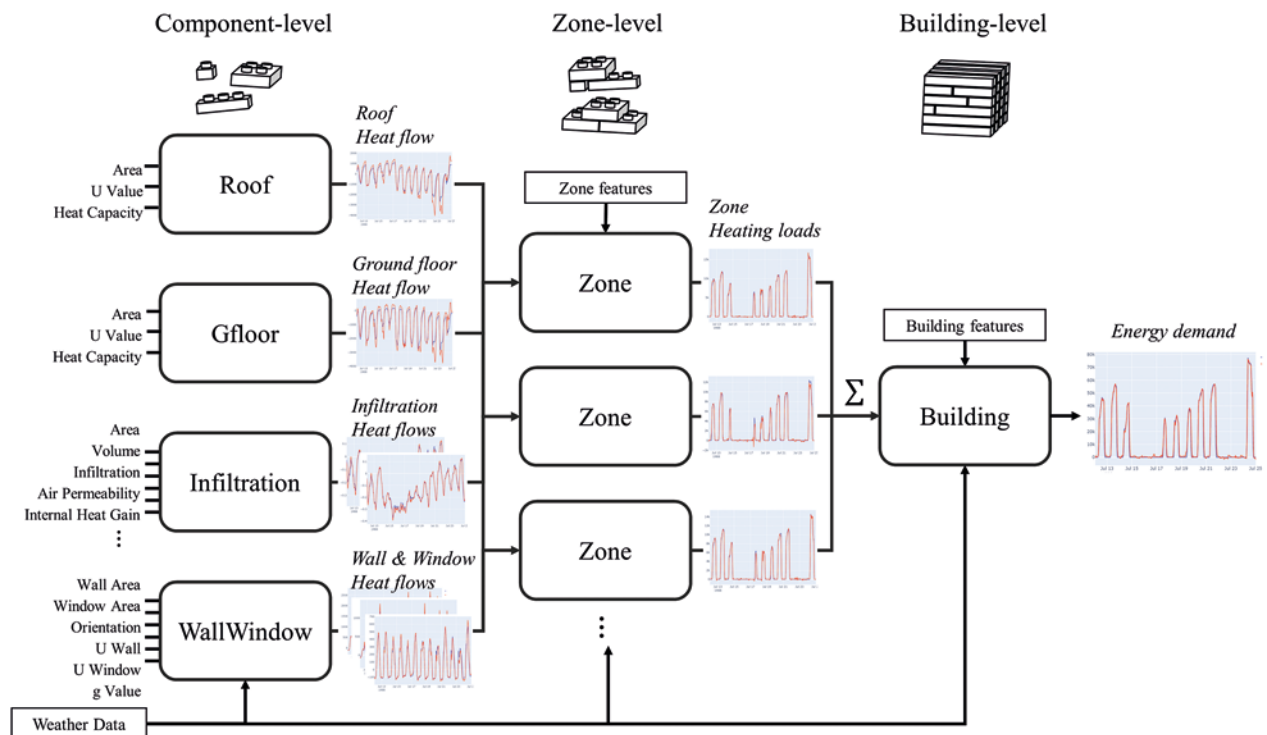
Erzeugung von Leitungen und Ventilen auf Basis einer Punktwolke mithilfe einer Bauteilbibliothek



Quelle: Pang et al. 2015

8

Komponentenbasiertes maschinelles Lernen für die Energievorhersage von Gebäuden



Quelle: TU Berlin; Chen/Singh/Geyer 2021



Quelle: Ruhr-Universität Bochum

Auch wenn keine Bestandsmodelle vorliegen, lassen sich KI-Verfahren in der Betriebsphase einsetzen. Schon seit vielen Jahren untersuchen Fachleute maschinelle Lernverfahren für die Prognose von Energieverbräuchen – und nutzen sie teilweise auch schon. Liegen zu einem Gebäude langjährige Wetter-, Nutzungs- und Energieverbrauchsdaten vor, können sie ein neuronales Netz trainieren, das sich für Prognosen nutzen lässt (Mocanu et al. 2016; Seyedzadeh et al. 2018). Beispielsweise kann das KI-System dann geänderte Nutzungsverhalten oder klimatische Änderungen erkennen und einen möglichen Energieverbrauch berechnen. In einem gewissen Maß können solche Verfahren auch für andere Gebäude verwendet werden, wenn ähnliche Vorausset-

zungen vorliegen, beispielsweise bezogen auf die Gebäudeart, das technische System, das Nutzungsverhalten und das Klima. Ebenso lassen sich KI-Verfahren anhand von sehr vielen realen Betriebsdaten unterschiedlicher Gebäude trainieren. Dafür braucht es jedoch wiederum einheitlich aufbereitete und klassifizierte Trainingsdaten. Insgesamt bieten KI-Verfahren für Prognosen auf Basis von realen Messungen ein sehr großes Potenzial.

Ein weiteres großes Anwendungsgebiet ist die Unterstützung von Wartungsarbeiten sowie die Erfassung des aktuellen Zustands eines Bauwerks. Dafür lassen sich Verfahren verwenden, die automatisch Bilder auswerten. Einige kommerzielle Anwendungen unterstützen die Erkennung von Schäden, insbesondere von Betonstrukturen, schon sehr gut. Sie können unter anderem Risse erkennen und in einem gewissen Maße auch vermessen (z. B. Rissbreite, Risslänge oder Fläche der Fehlstelle). Dies gilt nicht nur für Oberflächenschäden. Ebenso können entsprechende Systeme die Bilder von Wärmebildkameras automatisch auswerten. Prinzipiell können sie mit geeigneten Bildern und manuellen Kennzeichnungen sehr viel erlernen, was der Mensch anhand von bestimmten und eindeutigen Eigenschaften auch mit den Augen erkennt.

KI-Anwendungen zur Wartung von technischen Anlagen stehen gerade im Fokus vieler weiterer Forschungsaktivitäten. Einige Akteure nutzen sie sogar schon. Augmented-Reality-Brillen können Bilder automatisch aufnehmen und auswerten. Anschließend können sie einer Person Hinweise zur Wartung geben oder gefährliche Situationen im Sichtfeld direkt anzeigen. Aktuell sind solche AR-Systeme jedoch sehr teuer und eignen sich teilweise noch nicht für den Außeneinsatz. Mit fortschreitender Entwicklung dieser Technologien werden sich KI-Anwendungen in diesem Bereich weiterentwickeln.

Zukunftsszenarien

Der Beitrag konnte nur auf wenige KI-Verfahren im Bauwesen eingehen, jedoch sind die Möglichkeiten sehr vielfältig. Die vorangegangenen Abschnitte verdeutlichen, dass KI verschiedene Aufgaben vereinfachen und einige Prozesse automatisieren kann. Insbesondere die Bauablaufplanung, das Baustellenmanagement, die Logistik und auch das Facility Management profitieren künftig voraussichtlich im großen Umfang von KI-Verfahren (Roland Berger GmbH

2021). Jedoch gilt dies nicht für alle Aufgaben entlang der Wertschöpfungskette Bau.

Die Entwicklung von KI-Verfahren schreitet stetig voran. Dennoch hängt deren praktischer Einsatz – insbesondere von Deep Learning – von verfügbaren Daten ab. Für das Training zur visuellen Erkennung von Objekten auf Baustellen braucht es sehr viele Bilder. Nicht nur die Aufnahme ist auf-

wendig, vielmehr müssen diese Bilder alle einzeln geprüft und gelabelt werden. Aus diesem Grund versuchen unterschiedliche Firmen, dieser Herausforderung mit Crowd-Sourcing-Ansätzen zu begegnen. Beispielsweise müssen Nutzerinnen und Nutzer beim Einloggen auf einer Webseite Bilder nach gesuchten Objekten klassifizieren. Diese Daten dienen nicht nur zur Abwehr von unberechtigten Zugriffen, sondern auch zum Training von KI-Verfahren. Weltweit versuchen Akteure, geeignete Datensätze für das Training zusammenzustellen. Ein aktueller Ansatz ist auch die Verwendung von synthetisch generierten Daten für das Anlernen von KI-Verfahren. Dafür lassen sich zum einen virtuelle Umgebungen und Situationen nutzen (Neuhausen/Herbers/König 2020). Zum anderen dienen reale Bilder als Basis für ein generiertes Bild. Solche Ansätze werden aktuell verwendet, um künstliche Bilder mit Charakteristiken von großen Malerinnen und Malern oder sogenannte Fake-Bilder realer Personen zu erzeugen.

Neben Bildern, Punktwolken und Messdaten sind auch strukturierte Daten in Form von digitalen Bauwerksmodellen für KI-Anwendungen sehr wichtig. Somit lassen sich nicht nur KI-Verfahren für die Erstellung, Anreicherung und Aktualisierung von BIM-Modellen verwenden. Auch die Informationen

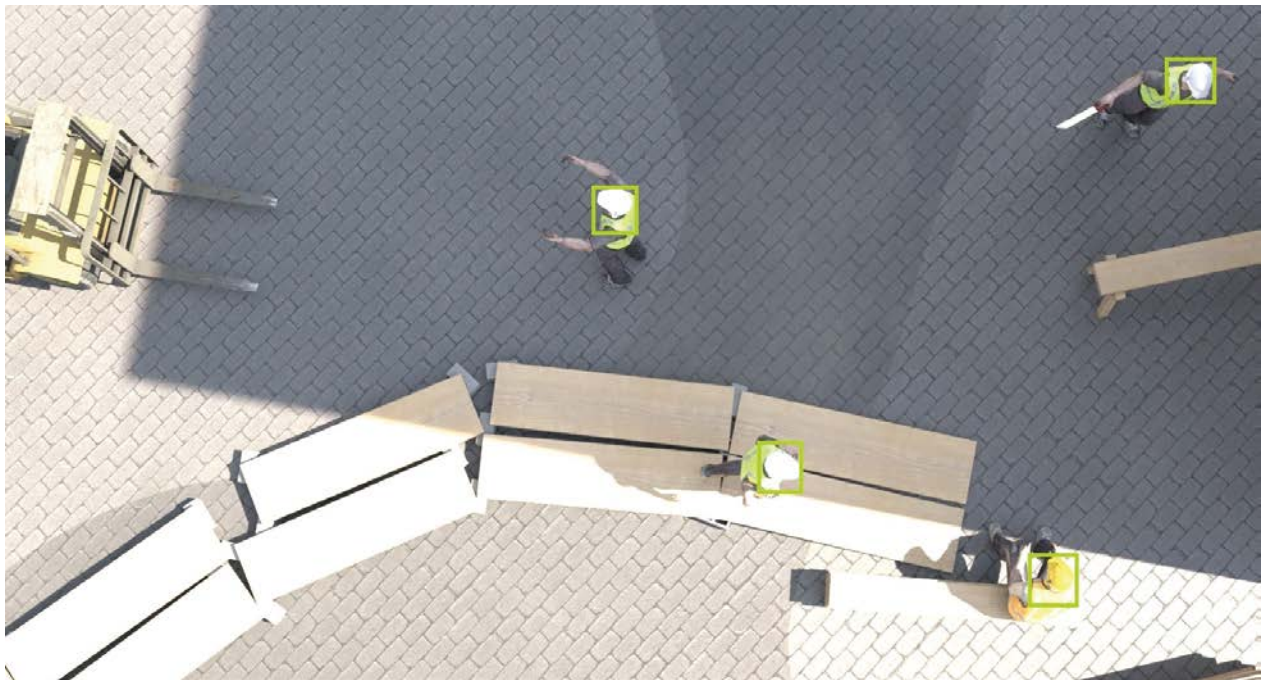
über Geometrien und Semantik können eine Erkennung und einen Abgleich, zum Beispiel von Objekten auf einer Baustelle, deutlich vereinfachen. Anschließend kann eine BIM-basierte Bauablaufplanung aktualisiert werden.

Ebenso bietet das Zusammenspiel zwischen KI-Verfahren und parametrischer Modellierung während der Entwurfsphase ganz neue Möglichkeiten. Durch die einfache Veränderung von Entwurfsparametern und anschließende Generierung eines BIM-Modells entstehen Entwürfe, die KI-Systeme wiederum analysieren können. Somit sind digitale Bauwerksmodelle eine sehr gute Grundlage für die Einführung von KI-Verfahren in Planungs-, Bau- und Betriebsprozesse. Wie bereits dargestellt, ist BIM keine notwendige Voraussetzung. KI-Verfahren können auch ohne BIM bei einigen Aufgaben zielgerichtet und praxisnah eingesetzt werden. Hier liefern dann Sensoren auf der Baustelle und im Gebäude die notwendigen Daten.

An dieser Stelle muss jedoch ein kritischer Blick erfolgen, bezogen auf die Auswirkungen auf die Arbeitswelt. Natürlich kann eine kontinuierliche Erfassung von Personen und Maschinen auf einer Baustelle die Arbeitssicherheit erhöhen. Gleichzeitig kann ein Arbeitgeber dadurch auch die Arbeits-

10

Synthetische Daten unter Verwendung einer virtuellen Umgebung



Quelle: Ruhr-Universität Bochum; Neuhausen/Herbers/König 2020

leistung der Beschäftigten überwachen. Im Einzelfall muss daher geprüft werden können, wer welche Daten erhebt und wie verarbeitet.

Sich ausschließlich auf die KI zu verlassen, kann ebenfalls gefährlich sein. Was passiert, wenn eine autonome Maschine eine Person nicht erkennt? Aktuell muss bei gefährlichen Situationen eine Eingriffsmöglichkeit vorgesehen werden. Vieles hängt dann von den Trainingsdaten ab. In diesem Kontext geht es auch immer wieder um eine erklärbare KI. Insbesondere bei Deep Learning ist es sehr schwierig nachzuvollziehen, was genau ein System gelernt hat und warum es etwas erkennt oder eben nicht.

Festzuhalten ist jedoch, dass aktuell schon einige KI-Verfahren im Bauwesen einsatzbereit wären. Momentan gibt es jedoch zu wenige konkrete Werkzeuge, die eine einfache Integration in die bestehenden Prozesse ermöglichen. Viele der an der Planung und an der Bauausführung Beteiligten beschäftigen sich gerade erst mit der Digitalisierung und der Einführung von BIM. Daher nehmen viele die Möglichkeiten, die die Künstliche Intelligenz für das Bauwesen bietet, noch nicht wirklich wahr. In einigen Bereichen würden KI-Verfahren die Einführung von BIM eventuell vereinfachen und somit beschleunigen. Es braucht jedoch Personen, die dies übernehmen können. Leider gibt es nur sehr wenige KI-Expertinnen und -Experten für das Bauwesen.

Für KI-Anwendungen im Bauwesen besteht daher noch großer Bedarf an praxisnaher Forschung, also an der Ent-

wicklung von Verfahren zusammen mit Unternehmen. Die Weiterentwicklung von KI-Verfahren hängt maßgeblich von verfügbaren Daten ab. Der Zugang zu realen Daten ist für viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine große Hürde. Eine unkomplizierte Bereitstellung wäre sehr hilfreich, um zuverlässige und praxisnahe KI-Verfahren entwickeln zu können. Eine weitere Herausforderung ist die Validierung der entwickelten Systeme zusammen mit Anwenderinnen und Anwendern. Ein aktueller Trend ist die Kombination von verschiedenen KI-Verfahren. Dabei wird sehr häufig spezielles Expertenwissen aufbereitet und integriert. Solche hybriden KI-Systeme eignen sich insbesondere für den Einsatz in sehr komplexen, von Unsicherheit geprägten Anwendungen und Situationen.

In den vergangenen Jahren sind dazu einige große Forschungsprojekte gestartet. Zu nennen sind hier unter anderem die Projekte Kalkulation.KI (Strabag AG 2021), ESKIMO (Actimage GmbH 2021), SDaC (KIT 2021) oder BIMKIT (Hottgenroth Software GmbH & Co. KG 2021). Auch das neue Georg Nemetschek Institute of Artificial Intelligence for the Built World an der TU München wird sich dem Thema künftig widmen (TU München 2021, siehe auch Beitrag Borrmann in diesem Heft). Die Einführung von KI im Zusammenspiel mit BIM und neuen Möglichkeiten der Robotik wird das Bauwesen nachhaltig verändern. Dafür braucht es jedoch neue Kompetenzen. Digitale Transformation bedeutet somit auch immer Weiterbildung.

Literatur

- Actimage GmbH**, 2021: Mit Künstlicher Intelligenz die Baustelle genau im Blick. Zugriff: <https://www.eskimo-projekt.de> [abgerufen am 30.04.2021].
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung** (Hrsg.), 2021: Abschlussbericht. Projekt: Konzept für die nahtlose Integration von Building Information Modeling (BIM) in das behördliche Bauantragsverfahren. Zugriff https://bim-bauantrag.blogs.ruhr-uni-bochum.de/wp-content/uploads/2020/09/Abchlussbericht_2020-09-14_rev1.pdf [abgerufen am 30.04.2021].
- Braun, A.; Tuttas, S.; Borrmann, A.; Stilla, U.**, 2020: Improving progress monitoring by fusing point clouds, semantic data and computer vision. *Automation in Construction* 116 (C): 1–16.
- Chen, X.; Singh, M. M.; Geyer, P.**, 2021: Component-based machine learning for predicting representative time-series of energy performance in building design. 28th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2021, Berlin, Germany.
- Eisenstadt, V.; Langenhan, C.; Althoff, K.-D.**, 2019: Generation of Floor Plan Variations with Convolutional Neural Networks and Case-based Reasoning – An Approach for Unsupervised Adaptation of Room Configurations within a Framework for Support of Early Conceptual Design. eCAADe SIGraDi Conference, Porto.
- Han, K.; Gwak, J. Y.; Golparvar-Fard, M.; Saidi, K.; Cheok, G.; Franaszek, M.; Lipman, R.**, 2013: Vision-based field inspection of concrete reinforcing bars. In 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, London, UK: 272–281.
- Hottgenroth Software GmbH & Co. KG**, 2021: Bestandsmodellierung von Gebäuden und Infrastrukturbauwerken Mittels KI zur Generierung von Digital Twins. Zugriff: <https://bimkit.eu> [abgerufen am 30.04.2021].
- IntSite Ltd.**, 2021: Enhancing Safety and Efficiency of Heavy Machinery through AI-powered Automation. Zugriff: <https://www.intsite.ai> [abgerufen am 30.04.2021].
- Jang, H.; Yu, K.; Yang, J.**, 2020: Indoor reconstruction from floorplan images with a deep learning approach. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(2), 65.
- KIT – Karlsruher Institut für Technologie**, 2021: Intelligente Planung und Realisierung von Bauwerken durch Künstliche Intelligenz. Zugriff: <https://sdac.tech> [abgerufen am 30.04.2021].
- Kropp, C.; Koch, C.; König, M.**, 2018: Interior construction state recognition with 4D BIM registered image sequences. *Automation in construction*, Bd. 86: 11–32.
- Mocanu, E.; Nguyen, P. H.; Gibescu, M.; Kling, W. L.**, 2016: Deep learning for estimating building energy consumption. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 6: 91–99.
- Nagy, D.; Lau, D.; Locke, J.; Stoddart, J.; Villaggi, L.; Wang, R.; Zhao, D.; Benjamin, D.**, 2017: Project Discover: An application of generative design for architectural space planning. In: Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design: 1–8.
- Nauata, N.; Chang, K. H.; Cheng, C. Y.; Mori, G.; Furukawa, Y.**, 2020: House-GAN: Relational generative adversarial networks for graph-constrained house layout generation. In: European Conference on Computer Vision: 162–177.
- Neuhausen, M.; Herbers, P.; König, M.**, 2020: Using synthetic data to improve and evaluate the tracking performance of construction workers on site. *Applied Sciences*, Bd. 10, Nr. 14, 4948.
- Neuhausen, M.; Pawlowski, D.; König, M.**, 2020: Comparing classical and modern machine learning techniques for monitoring pedestrian workers in top-view construction site video sequences. *Applied Sciences*, Bd. 10, Nr. 23, 8466.
- Pang, G.; Qiu, R.; Huang, J.; You, S.; Neumann, U.**, 2015: Automatic 3D Industrial Point Cloud Classification and Modeling. In: SPE Western Regional Meeting. Society of Petroleum Engineers.
- Printstones GmbH**, 2021: The New Standard in Construction Robotics. Zugriff: <https://www.baubot.com> [abgerufen am 30.04.2021].
- Rausch, C.; Haas, C.**, 2021: Automated shape and pose updating of building information model elements from 3D point clouds. *Automation in Construction*, 124, 103561.
- Roland Berger GmbH**, 2021: Artificial Intelligence in the Construction Industry. Zugriff: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Artificial-intelligence-in-the-construction-industry.html> [abgerufen am 30.04.2021].
- Sacks, R.; Girolami, M.; Brilakis, I.**, 2020: Building information modelling, artificial intelligence and construction tech. *Developments in the Built Environment*, 4, 100011.
- Seyedzadeh, S.; Rahimian, F. P.; Glesk, I.; Roper, M.**, 2018: Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review. In: *Vis. in Eng.* 6 (1).
- Singaravel, S.; Suykens, J.; Geyer, P.**, 2019: Deep convolutional learning for general early design stage prediction models. *Advanced Engineering Informatics*, 2019, 42. Jg., 100982.
- Song, J.; Lee, J.-K.; Choi, J.; Kim, I.**, 2020: Deep learning-based extraction of predicate-argument structure (PAS) in building design rule sentences. *Journal of Computational Design and Engineering*, Volume 7, Issue 5, October 2020: 563–576.
- Strabag AG**, 2021: Kalkulation.KI – Forschungsprojekt der STRABAG AG und der Universität Oldenbur. Zugriff: <https://www.kalkulation-ki.com> [abgerufen am 30.04.2021].
- Teizer, J.; Vela, P. A.**, 2009: Personnel Tracking on Construction Sites using Video Cameras. *Advanced Engineering Informatics*, Special Issue, 23(4), 452–462. Zugriff: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2009.06.011> [abgerufen am 17.05.2021].
- TU München**, 2021: Georg Nemetschek Institute of Artificial Intelligence for the Built World. Zugriff: <https://www.mdsi.tum.de/gni/startseite> [abgerufen am 30.04.2021].