

Diploma Thesis

Capturing existing buildings for a BIM-based approach in operation

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Aufnahme von Bestandsgebäuden für eine BIM-basierte Arbeitsweise im Betrieb

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Mustafa Elbizanti, BSc

Matr.Nr.: 01128671

unter der Anleitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

Oleksandr Melnyk, MSc

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/235-1, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Mai 2023



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

In jüngster Zeit hat die BIM-Methode einen bedeutenden Beitrag zur Digitalisierung von Geschäftsprozessen im Bauwesen geleistet. Im Neubauprojekten dienen BIM-Modelle als zentrale Datenbanken. Trotz ihres Potenzials bleibt die Aktualisierung von BIM-Modellen während der Betriebsphase, insbesondere bei älteren Bestandsgebäuden, die den BIM-Standard nicht erfüllen, weitgehend aus. Dieses Problem erfordert die Entwicklung geeigneter Datenerfassungsverfahren, die den BIM-Standard erfüllen und somit einen reibungslosen Datenaustausch in Computer-Aided Facility Management (CAFM)-Systemen ermöglichen. Daher besteht ein Forschungsbedarf in Bestandsaufnahmeverfahren für den Gebäudebetrieb.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, ein Bestandsaufnahmeverfahren zu entwickeln, das eine Datengrundlage für die Implementierung von CAFM-Systemen bildet und aus den erfassten Daten ein BIM-Modell erstellen kann. Demzufolge wurde ein Workflow entwickelt, der es ermöglicht, Bestandsdaten für den Gebäudebetrieb zu erheben und in ein CAFM-System zu transferieren.

Zu Beginn erfolgt eine umfassende Literaturrecherche, um die Grundlagen der bisherigen Methoden zu erarbeiten. Dabei werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Bestandserfassungsmethoden berücksichtigt und als Input für einen neuen Workflow genutzt. Die Methoden stammen aus den Bereichen 3D-Laserscanning, CAFM-Systeme und BIM im Betrieb. Zur anschaulichen Darstellung des Workflows kommt die Business Process Model and Notation (BPMN) zum Einsatz. Um die Praxistauglichkeit des Workflows zu evaluieren, wird er qualitativ anhand einer Bestandserfassung an einem Gründerzeithaus in der Wiener Innenstadt sowie an einem Bürogebäude in Wien angewendet. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der technischen Gebäudeausrüstung.

Die Datenerhebung erfolgte durch die Verbindung von alphanumerischen und geometrischen Daten mithilfe einer App und einem mobilen 3D-Laserscanner. Der Workflow wurde erfolgreich an zwei Bestandsgebäuden in Wien getestet, jedoch gab es bei der Verknüpfung beider Datenbanken einige Fehler. Es wurde eine Datengrundlage für eine BIM-Modellierung geschaffen, jedoch blieb offen, wie aus den erzeugten Daten BIM-Modelle generiert werden können.

Die Ergebnisse dieser Arbeit können in der Praxis dazu beitragen, Geschäftsprozesse im Betrieb von Bestandsgebäuden zu digitalisieren und zukünftige Forschungsbereiche in diesem Bereich zu erschließen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

Recently, the Building Information Modeling (BIM) method has made a significant contribution to the digitisation of business processes in the construction industry. In new construction projects, BIM models serve as central databases. Despite their potential, the updating of BIM models during the operational phase, especially for older existing buildings that do not meet the BIM standard, remains largely neglected. This problem requires the development of suitable data acquisition methods that meet the BIM standard and thus enable smooth data exchange in Computer-Aided Facility Management (CAFM) systems. Therefore, there is a need for research in inventory procedures for buildings during operation phase.

The aim of this thesis is to develop an inventory procedure that provides a data basis for the implementation of CAFM systems and can create a BIM model from the collected data. Accordingly, a workflow has been developed that allows for the collection of existing building data for building operation and its transfer to a CAFM system.

A comprehensive literature review is carried out at the beginning to develop the basics of the existing methods. The advantages and disadvantages of the various inventory methods are considered and used as input for a new workflow. The methods come from the areas of 3D laser scanning, CAFM systems, and BIM in operation. The Business Process Model and Notation (BPMN) is used to illustrate the workflow. To evaluate the practicality of the workflow, it is applied qualitatively to an inventory of an old building in the Vienna city center and an office building, also in Vienna, with a focus on the technical building equipment.

The data was collected using an app and a mobile 3D laser scanner, combining alphanumeric and geometric data. The workflow was successfully tested on two existing buildings in Vienna, but there were some errors in linking the two databases. A data basis for BIM modeling was created, but it remained unclear how BIM models could be generated from the generated data.

The results of this thesis can contribute to the digitization of business processes in the operation of existing buildings in practice and open up future research areas in this field.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Problemstellung	9
1.2	Ziel der Arbeit	10
1.3	Methodik	10
2	Grundlagen	12
2.1	Gegenwärtige Methoden zur Erfassung grafischer Daten	12
2.2	Gegenwärtige Methoden zur Erfassung grafischer Daten	15
2.3	3D-Laserscanning	16
2.3.1	Terrestrisches Laserscanning	16
2.3.2	Impulslaufzeitverfahren	16
2.3.3	Phasenvergleichsverfahren	17
2.3.4	Kinematisches Laserscanning (Mobile Mapping)	17
2.4	Photogrammetrie	18
2.5	Facility-Management und CAFM-Systeme	18
2.6	Anlagenkennzeichnungssystem (AKS)	21
2.7	KI-gestützte Auswertung von Punktwolken und Bildern	23
2.8	BIM im Betrieb	25
2.9	BPMN: Business Process Model and Notation	27
2.10	Zusammenfassung	29
3	Ist- und Soll-Bestandsaufnahmeprozesse für den Gebäudebetrieb	30
3.1	Ist-Prozesse	30
3.1.1	Datenausgangslagen	30
3.1.2	Ist-Bestandserfassung: Vorgehensweise	32
3.1.3	Ist-Bestandserfassung: BPMN	35
3.2	Soll-Prozesse	38
3.2.1	Begehung	38
3.2.2	Soll-Bestandserfassung: BPMN	39
3.3	Zusammenfassung	41
4	Datenprozessierung	42
4.1	Verknüpfung von geometrischen und alphanumerischen Daten	42
4.2	Verknüpfung der prozessierten Daten mit den Strukturdaten	46
4.3	Zusammenführung von 3D-Raumkoordinaten mit anlagenspezifische Sachdaten	48
4.4	Verknüpfung von Strukturdaten mit Bauteildaten	51
4.5	Zusammenfassung	53
5	Praktische Anwendung des Workflows	54
5.1	Beispiel 1: Gründerzeithaus	54

5.2	Beispiel 2: Neubau	59
5.3	Zusammenfassung	61
6	Zusammenfassung	63
	Abkürzungen	67
	Anhang	72
	Anhang A Pläne	73
	A.1 Gründerzeithaus	73
	Anhang B Tabellen	92

Kapitel 1

Einleitung

Der Großteil des Immobilienportfolios in Österreich besteht aus Bestandsgebäuden, welche nicht digital erfasst sind. Zum Beginn des Millenniums, im Jahr 2001 gab es in Österreich 2.046.712 Bestandsgebäude [18], diese Gebäude lassen sich in Wohngebäuden, nicht Wohngebäuden und Gebäuden für Gemeinschaften kategorisieren, zusätzlich werden Wohngebäuden nach Anzahl der Wohnungen unterschieden. In dieser Zeit hat ein Übergang von der klassischen Handzeichnung zur CAD-Planung stattgefunden. Oft sind die analogen Gebäudedokumente, von den so geplanten Gebäuden unvollständig bzw. nicht aktuell. Der Informationsstand und das Alter der Bestandsgebäude sind unterschiedlich[27]. Zum Teil haben Gebäudebetreiber keine CAFM-Systeme zur Verwaltung ihrer Immobilien und arbeiten lediglich mit vereinfachten Tabellen.

Sehr oft kommt es während der Betriebsphase zum Wechsel des Gebäudebetreibers[8], in der Praxis kommt dies im privaten Bereich alle zwei bis fünf Jahre zustande. Daher können Daten bei der Übernahme verloren gehen, wenn diese zuvor nicht strukturiert und digital erfasst und übergeben werden. Die Hauptproblematiken in den bisherigen Arbeitsweisen bei der Bestandsaufnahme sind das Fehlen von analogen und digitalen Informationen, sowie nicht vorhandene digital gestützte Aufnahmeprozesse. Bei Neubauten werden die für den Betrieb relevanten Informationen aus dem BIM-Modell herangezogen[7]. Da die BIM-Planung erst in den letzten Jahren an Relevanz gewonnen hat, gibt es für mehr als 90 % Bestandsgebäude keine Datenmodelle, geschweige denn BIM-Modelle[26][27][8][37]. Ein Grund für den geringeren Anteil vorhandener Bauwerksmodelle in Bezug auf die Gesamtanzahl an Bestandsgebäuden könnte darin liegen, dass die meisten Wohngebäude in Österreich älter als 25 Jahre sind. Aus den Daten von Statistik Austria[19], ergibt sich ein Anteil von 77 % an Wohngebäuden, die älter als 25 Jahren sind, in Deutschland beläuft sich der Anteil auf 80 % [8].

Aktuell gibt es einige Technologien, die die Bestandserfassung erleichtern können. Dazu zählen 3D-Laserscanning und die Photogrammetrie[27]. Die Nutzung von 3D-Laserscanner hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Der Einsatz dieser Technologie für die Aufnahme von geometrischen Gebäudedaten, Weiterverarbeitung im Zuge der Objekterkennung ist Gegenstand vieler Forschungsarbeiten. Mittlerweile gibt es Unternehmen, die diese Technologie in Ihren Softwareprodukten nutzen[8]. Die Problematik dahinter ist, dass rein geometrische Daten für den Aufbau eines CAFM-Systems nicht ausreichend sind. Die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) enthält viele Anlagen mit verschiedenen Metadaten, wie zum Beispiel: Hersteller, nächster Wartungstermin, beauftragte Firma für die Wartung sowie technische Angaben, wie der Luftvolumenstrom bei Lüftungsanlagen. Diese alphanumerischen Daten, die beispielsweise in den Typenschilder der Anlagen angegeben sind, müssen während der Behebung erfasst werden. Ohne eine Zuweisung der geometrischen Daten (Punktwolken) mit den alphanumerischen Daten der Anlagen, ist eine Verortung der Anlagen in einer automatisieren Arbeitsweise nicht möglich. Das Ziel der Arbeit ist es, diese zwei Datensätze durch einen geeigneten Workflow zu verknüpfen.

1.1 Problemstellung

Die Bestandserfassung ist eine kosten- und zeitaufwendige Dienstleistung[27]. Ss besteht somit ein Bedarf nach einem Workflow, in dem eine Bestandserfassung für den Betrieb möglichst schnell und effizient erfolgt. Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, gibt es grundsätzlich bei einer Bestandserfassung für den Betrieb zwei maßgebliche Datentypen, zum einen sind es die geometrischen Daten, zum anderen die alphanumerischen Daten (in der Literatur Sachdaten genannt)[26]. Grundlage für die geometrischen Daten sind Bestandspläne, während die Sachdaten hauptsächlich in Listen, Tabellen, Datenbanken oder Dokumente zu finden sind, die wiederum Bestandteil der Gebäudedokumentation sind, die der Bauleiter nach Errichtung dem Eigentümer zur Verfügung stellt.

Bei den bisherigen Methoden zur Bestandserfassung liegt der Fokus hauptsächlich darin, während der Erhebung entweder geometrischen Daten, oder Sachdaten zu erfassen. Es stellt sich somit der Bedarf, einen Workflow auszuarbeiten, in dem sämtliche Gebäudedaten in einem Zug erhoben werden können. Somit werden redundante Daten vermieden, und der Output bildet den Single Source Of Truth.

Ein Bestandsgebäude kann mittel 3D-Laserscanning erfasst werden. Bei dieser Methode entsteht eine Punktwolke durch ein berührungsloses, dreidimensionales Abtasten von Objekten im Raum[26]. Bei jedem Punkt in der Punktwolke sind die x-, y- und z-Koordinaten bekannt. Diese Raumkoordinaten können dann im Zuge der Datenprozessierung in anderen Koordinatensystemen transformiert werden. Der Einsatzbereich vom 3D Laserscanning ist groß, je nach verwendete Laserscanningtechnologie, sei es stationär oder mobil, können neben der Bestandserfassung und der Gebäudevermessung, ein Fassadenaufmaß erstellt werden. Neben dem geometrischen Abbild der erfassten Räumlichkeiten, können mit 3D Laserscanner, die mit einer 360°-Kamera ausgestattet sind, zusätzlich die Oberflächentexturen erfasst werden. Mithilfe von Algorithmen ist es möglich, Punktwolken einzufärben, damit ist gemeint, Punktwolken mit den erfassten Panoramabilder zu überlagern, dadurch wird jedes in der Punktwolke ein Pixel zugewiesen. Damit das Einfärben der Punktwolke korrekt gelingt, ist es ratsam, die Fotos vom selben Scanstandpunkt aufzunehmen, da es schwierig ist, Punktwolken nachträglich einzufärben[5].

Um Gebäude betreiben zu können, bedarf es weit mehr als nur ein geometrisches Abbild der Räumlichkeiten. Die Erfassung von Sachdaten während der Bestandserfassung ist unerlässlich. Moderne Laserscanner sind nicht dafür ausgelegt, diese Sachdaten während der Aufnahme zu erfassen, das gilt vor allem für mobile Laserscanner. Der Grund dafür liegt an der Herstellerphilosophie, deren Hauptziel es ist, einen möglichst schnelle und effizienten 3D Laserscanner auf dem Markt zu bringen, um schlussendlich an dem stark wachsenden Markt mithalten zu können. Eine Erfassung von Sachdaten während des Scans würde die Scandauer wesentlich verlängern, was im Widerspruch mit der Herstellerphilosophie stehen würde. Außerdem können die Hersteller nicht für jeden Anwendungsfall ein modifiziertes Gerät zur Verfügung stellen.

Eine Bestandserfassung zur Planung von Umbauprojekten unterscheidet sich wesentlich von einer Bestandserfassung für den Betrieb. Für die Planer ist eine exakte Vermessung der Gebäudegeometrie ein wichtiger Aspekt, aus diesem Grund erfolgt die Erfassung vom Bestand für Planungsarbeiten meistens mit einem terrestrischen 3D Laserscannern, die wesentlich genauer als mobile 3D Laserscanner sind. Für den Betreiber sind exakte geometrische Daten nicht von wesentlicher Bedeutung, vielmehr sind Sachdaten von TGA-Anlagen wichtiger, da dieses Angaben für den ordnungsgemäßen Betrieb unerlässlich sind.

Ein Beispiel von Sachdaten sind die Angaben vom nächsten Wartungstermin der technischen Anlagen. In der Theorie könnten diese Angabe von Panoramafotos abgelesen werden, die während der Bestandserfassung entstanden sind, und die Typenschilder oder Prüfplaketten beinhalten. Gemäß [] ist die Bildqualität oft nicht ausreichend, die Sachdaten aus den Typenschilder abzulesen.

Um diese Problematiken zu lösen, müssen Sachdaten und hochauflösende Detailfotos von den Anlagen samt Typenschilder in einem separaten Gerät aufgenommen werden. Da in CAFM-Systeme die Anlagen raumbezogen sind, ist eine richtige Verortung der Anlagen erforderlich. Deswegen muss eine Anbindung von den Sachdaten aus dem Zweitgerät mit den geometrischen Daten aus dem Scan erstellt werden, um die erfassten Anlagen richtig verorten zu können.

1.2 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, mithilfe des Einsatzes digitaler Technologien (3D Laserscanner, 360°-Kamera), sowie mit geeigneten mobilen Applikationen, eine systematische Herangehensweise zu erarbeiten, um einen möglichst schnellen, effizienten und qualitativ guten Aufnahmeprozess durchzuführen. Der Hauptfokus liegt bei der Aufnahme von technischen Gebäudeanlagen. Der Workflow soll aus Prozessen bestehen, die ausgehend von Punktwolken, Fotos und Sachdaten, Informationen für ein CAFM-System liefern. Der erarbeitete Workflow soll bestimmte Anforderungen erfüllen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei, die Verfügbarkeit der Daten zu jeder Zeit an jedem Ort zu gewährleisten. Weiters muss die Analysierbarkeit der Daten zur Problemstellung ermöglichen sein.

Ein Beispiel dafür ist das Abrufen bestimmter Objektklassen, wie etwa brandschutzrelevante Objekte in einem bestimmten Geschoss oder Sektor. Fehler beim Datenaustausch der aufgenommenen Daten zwischen den Projektbeteiligten sollten möglichst vermieden werden, dasselbe gilt für Eingabefehler bei der Datenerhebung. Wenn diese Anforderungen erfüllt sind, dann sind die Aufnahmeergebnisse im Vergleich zur konventionellen Methode übersichtlicher. Weiters kommt es zu Einsparungen an der Projektabwicklungszeit, wenn alle erforderlichen Daten bereits bei der ersten Begehung erfasst sind. Somit wird eine zweite Begehung vermieden.

Ein anderer Aspekt ist das Anreichern der Daten, dies muss in dem Workflow nachträglich erfolgen können, um die Eintragungszeit der erfassten Parameter in dem möglichst gering zu halten, beziehungsweise in Gänze nachträglich einzutragen. Daraus ergibt sich folgende *Forschungsfrage*:

Wie müsste eine digital gestützte Bestandsaufnahme erfolgen, um die erfassten TGA-Daten strukturiert in ein CAFM-System übertragen zu können?

Durch die Ausarbeitung der Forschungsfrage lässt sich ein Workflow bzw. Prozessdiagramm herleiten, der die einzelnen Prozesse und alle wesentlichen Zusammenhänge bei der digital gestützten Bestandsaufnahme grafisch darstellt.

Letztendlich soll ein Einblick geschaffen werden, der die Mehrwerte, die eine BIM-basierten Bestandsaufnahme mit sich bringt, im Vergleich zur herkömmlichen Methode darlegt. BIM ist aktuell sowohl in der Planung als auch Ausführung zum Standard geworden. Es ist nicht auszuschließen, dass BIM in naher Zukunft im Betrieb eine wesentliche Rolle spielen wird. Im skandinavischen Raum findet die BIM-Methode im Betrieb bereits Anwendung, beispielsweise in Dänemark, wo unter anderem Krankenhäuser nach einer groben BIM-Modellierung, mit dem Programm DALUX FM betrieben werden.

1.3 Methodik

Um einen Workflow zur Bestandserfassung von Gebäuden zu entwickeln, müssen zunächst die Grundlagen der bisherigen Methoden herausgearbeitet werden. Es gibt zurzeit viele Möglichkeiten, Gebäudebestandsdaten zu erfassen und zu digitalisieren. Die verschiedenen Methodiken werden in dieser Arbeit durch eine Literaturrecherche herausgearbeitet. Die Vor- und Nachteile der bisherigen Verfahren liefern dabei einen guten Input für den neuen Workflow, der in dieser Arbeit entwickelt wird. Diese Grundlagen kommen aus den Bereichen: 3D-Laserscanning, CAFM

Systeme und BIM-im Betrieb. Zu grafischen Darstellung der ausgearbeiteten Workflows wird die BPMN in der aktuellen Version (BPMN 2.0) angewendet.

Um zu beurteilen, ob der hergeleiteter Workflow Praxis tauglich ist, erfolgt eine qualitative praktische Anwendung des Workflows in Form einer Bestandserfassung von einem Bestandsgebäude. Dabei handelt es sich beim Gebäude um ein Gründerzeithaus in der Wiener Innenstadt. Dieses Gebäude ist ein Idealobjekt, dass vor allem bei Gründerzeithäusern vollständige und aktualisierte Dokumente rar sind. Der Fokus bei der Bestandserfassung liegt in beiden Gebäuden auf der Aufnahme der technischen Gebäudeausrüstung.

In der Literatur wird der Einsatz von 3D-Laserscanner zwecks Bestandserfassung erwähnt, allerdings wird nicht genau beschrieben, wie neben den geometrisch erfassten Daten, Sachdaten von Anlagen erfasst werden[26]. Der Hauptfokus bei den bisherigen, Scan-basierten Bestandserfassungsmethoden liegt entweder darin, einen Soll-Ist-Vergleich zwischen Bestand und BIM-Modell zu bekommen, oder die gewonnene Punktwolke als Grundlage für Gebäudemodellierung für Umbauplanung zu nutzen.

Nachdem in diesem Kapitel die Methodik zur Entwicklung eines Workflows zur Bestandserfassung von Gebäuden beschrieben wurde, bildet das folgende Kapitel die Grundlage für die theoretischen Konzepte, die für die Umsetzung des Workflows erforderlich sind.

Kapitel 2

Grundlagen

In den folgenden Kapiteln werden die Grundlagen herausgearbeitet, die essenziell für die Herleitung eines Workflows zu Bestandserfassung sind. Dazu zählen die bisherigen Bestandserfassungsmethoden, sowie das 3D-Laserscanning. Um eine zielführende Datenbank aufzubauen, wird auf die Grundlagen des Facility-Management und das CAFM eingegangen. Am Ende dieses Kapitels wird die gegenwärtige Nutzung von BIM-Modellen im Betrieb beschrieben. Die Erstellung von BIM-Modellen von Bestandsgebäuden, um diese dann modellbasiert zu Betrieb, nicht Gegenstand dieser Masterarbeit ist.

Der hergeleitete Workflow soll dazu dienen, Bestandsdaten mit einer entsprechenden Qualität zu erheben, die es erlaubt, die Daten in einem späteren Arbeitsschritt in ein CAFM-System überführen zu können. Dies kann zusätzlich ohne BIM-Modellierung erfolgen. Sollte eine BIM-Modellierung gefordert werden, so sollten die erfassten Daten die Grundlage dazu bilden. Die KI-gestützte Auswertung von Punktwolken könnte in zwei Hinsichten hilfreich sein. Zum einen bei einer halbautomatischen Erfassung von für den Betrieb relevanten Objekten. Zum anderen könnte diese Technologie der Erstellung von BIM-Modellen – wenn diese gefordert sind – wesentlich erleichtern.

2.1 Gegenwärtige Methoden zur Erfassung grafischer Daten

Bei Gründerzeithäusern sind oft lediglich Papierpläne vorhanden, die als Grundlage der verschiedenen Datenerfassungsmethoden dienen. Eine direkte Übernahme der Pläne, ohne eine vorherige Überprüfung auf Richtigkeit, ist nicht zu empfehlen. Da die Planstände aufgrund von Umbauarbeiten während der Betriebszeit des Gebäudes, oft nicht aktuell sind, und den tatsächlichen IST-Stand nicht entsprechen. Somit bleibt eine Begehung vor Ort unumgänglich. Gegenwärtig gibt es verschiedene Ansätze, bestehende Pläne zu digitalisieren, bzw. wenn keine Pläne vorhanden sind, diese von Grund auf neu zu zeichnen. Die folgenden Erläuterungen zu den gegenwärtigen Methoden zur Erfassung von grafischen Daten basieren überwiegend auf die Arbeiten von May [26] und Donath [15].

Scannen und Skalieren von Papierplänen

In diesem Verfahren werden die vorhandenen Pläne eingescannt. Da nicht garantiert werden kann, dass die eingescannten Pläne dem angegebenen Maßstab entsprechen, bedarf es immer einer Überprüfung der Längeneinheiten in einem CAD-Programm[26][15]. Wenn die gemessenen Längen nicht mit den angegebenen Plankotierungen übereinstimmen, müssen die Pläne mit einem passenden Faktor skaliert werden. Um Sachdaten später in ein CAFM-System überführen zu können, müssen Raumpolygone erstellt werden. In den Attributen des Raumpolygons können die Daten für den Raumstempel eingetragen werden. In Abhängigkeit des Detaillierungsgrades und der Lesbarkeit der Papierpläne richtet sich der Informationsgehalt der Metadaten des Raumstempels. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt bei der kurzen Bearbeitungszeit. Da in diesem Verfahren

zusätzlich Sachdaten erfasst werden, handelt es sich um eine hybride Datenerfassungsmethode, allerdings ist die Datenquelle in diesem Fall ein Teil von der Gebäudedokumentationen (Bestandspläne). In diesem Workflow müssen die Daten vor Ort validiert und gegebenenfalls angepasst werden, bevor ein Datentransfer in ein CAFM-System stattfinden kann.

Vektorisieren von Papierplänen

Im Gegensatz zum Scannen und Skalieren wird bei diesem Verfahren nach dem Scannen die Platinhalte vektorisiert[28][26][15]. Dies geschieht durch geeignete mathematische Verfahren, welche Bitmaps in Vektorgrafiken konvertiert. Die Semantik der vektorisierten Objekte können durch Bilderkennungsmethoden automatisch erkannt werden, dadurch können nicht nur einfache Objekte wie Linien, Bögen und Kreise und Texte erkannt werden, sondern komplexere Strukturen wie Schraffuren oder Bemessungslinien. Die Problematik bei diesem Verfahren ist die lange Nachbereitungszeit, da die Genauigkeit abhängig von den gescannten Plänen ist, weiters kommt es zu einer Beeinträchtigung der Maßhaltigkeit aufgrund des Scannens, der Detaillierungsgrad ist ebenfalls vom Platinhalt abhängig. Aufgrund der genannten Nachteile wird dieses Verfahren selten angewendet.

Manuelle Digitalisierung von Papierplänen

Ähnlich zum Vektorisierungsverfahren bei einem CAD-Programm, werden in dieser Methodik durch einen Digitizer analoge Daten vektorisiert, der Unterschied zu diesem Verfahren liegt somit beim verwendeten Werkzeug[3][26][15]. Die Erfassung erfolgt durch das Nachzeichnen von den verschiedenen geometrischen Objekten. Als Vorlage zum Nachzeichnen können skalierte Papierpläne herangezogen werden. Die Zuordnung der einzelnen Objekte in passende Layern erleichtert das spätere Überführen der Daten in ein CAFM-System. Der Aufwand ist vergleichbar mit dem Neuzeichnen in einem CAD-Programm unter der Voraussetzung, dass die CAD-Software nutzerfreundlich und leicht zu bedienen ist.

Neuzeichnen oder Neumodellieren in einer CAD-Software

Wie die Bezeichnung des Verfahrens schon beschreibt, erfolgt die Digitalisierung der Bestandspläne durch das Neuzeichnen in einer CAD-Software. Zunächst erfolgt eine Skalierung der eingescannten Papierpläne, danach erfolgt – im Falle einer 2D-Modellierung, die Erfassung der Raumumrisse durch das Nachzeichnen von Raumpolygonen, in denen die Speicherung der Raumstempeldaten erfolgt[26][15]. Als Basis für das Nachzeichnen in CAD-Programmen können auf skalierte Fotoaufnahmen dienen[29]. Bei einer 3D-Modellierung erfolgt dasselbe Prozedere, mit dem Unterschied, dass Raumpolyeder statt Raumpolygone Einsatz finden. Es können nicht nur Räume definiert werden, sondern verschiedene Objekte wie Türen und Fenster, welche mit einer CAFM-Datenbank verknüpfbar sind, diese Verknüpfung ist mit den Raumstempeldaten herstellbar. Die Vorteile dieses Verfahrens liegt an den effektiven Transfermöglichkeiten der Sachdaten in einer CAFM-Software, unter der Voraussetzung, dass Datenstruktur der eingetragenen Sachdaten in der CAD-Software, für das Ziel-CAFM-System in Einklang ist. Diese Methodik liefert die höchste Genauigkeit, allerdings ist sie am aufwendigsten.

Übernahme von digitalen Daten

Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist das Arbeiten mit den vorhandenen digitalen Daten, dabei handelt es sich bei den Daten um CAD-Pläne. Um einen reibungslosen Transfer in ein CAFM-System zu gewährleisten, bedarf es einer einheitlichen Strukturierung der Daten[26]. Es

gibt bereits Softwarelösungen, die den Datentransfer zwischen CAD und CAFM bewerkstelligen können[9][24]. Diese Verfahren erfolgt in zwei Blöcken. Beim ersten Block müssen die vorhandenen digitalen Daten aufbereitet werden. Damit ist im Wesentlichen das „Bereinigen“ der Pläne von den unerwünschten Objekten gemeint, die die Planübersichtlichkeit beeinträchtigen. Dieser Schritt ist besonders wichtig, da sich dadurch die einfachere Nutzung der Pläne in der Betriebsphase erwiesen hat. Des Weiteren erfolgt eine Zuweisung der CAFM-relevanten Objekte in separate Layer, um einen Datentransfer zu erleichtern. Im zweiten Block kommt es zu einer Kontrolle und gegebenenfalls zu einer Ergänzung der übernommenen Daten vor Ort, dabei gibt es drei Methoden, die angewendet werden können, die Sichtkontrolle, das Prüfmaß und das Neuaufmaß. Bei der Sichtkontrolle wird überprüft, ob der Plan mit den vorhandenen Gegebenheiten übereinstimmt, dabei kommt es zu einer Eintragung der Veränderungen im Bestand, welche beispielsweise aus Umbauarbeiten entstanden sind, die nicht in einem neuen Planstand eingepflegt wurden. Beim Prüfmaß werden die im Plan angegebenen Hauptabmessungen des Gebäudes auf Ihrer Genauigkeit überprüft, dies erfolgt durch das Messen der Länge und Breite des Gebäudes, bei einer Abweichung von 10%–15% ist es ratsam, einen Neuaufmaß durchzuführen. Wenn ein Neuaufmaß erforderlich ist, kann dies in zwei verschiedenen Technologien durchgeführt werden, beim generalisierten Aufmaß wird ein Geschoss detailliert aufgenommen, und als Grundlage für die weiteren Geschosse verwendet, dabei erfolgt das Zeichnen in ein CAD-Programm. In Abb. 2.1 ist FM-Gerechter CAD-Plan zu sehen.

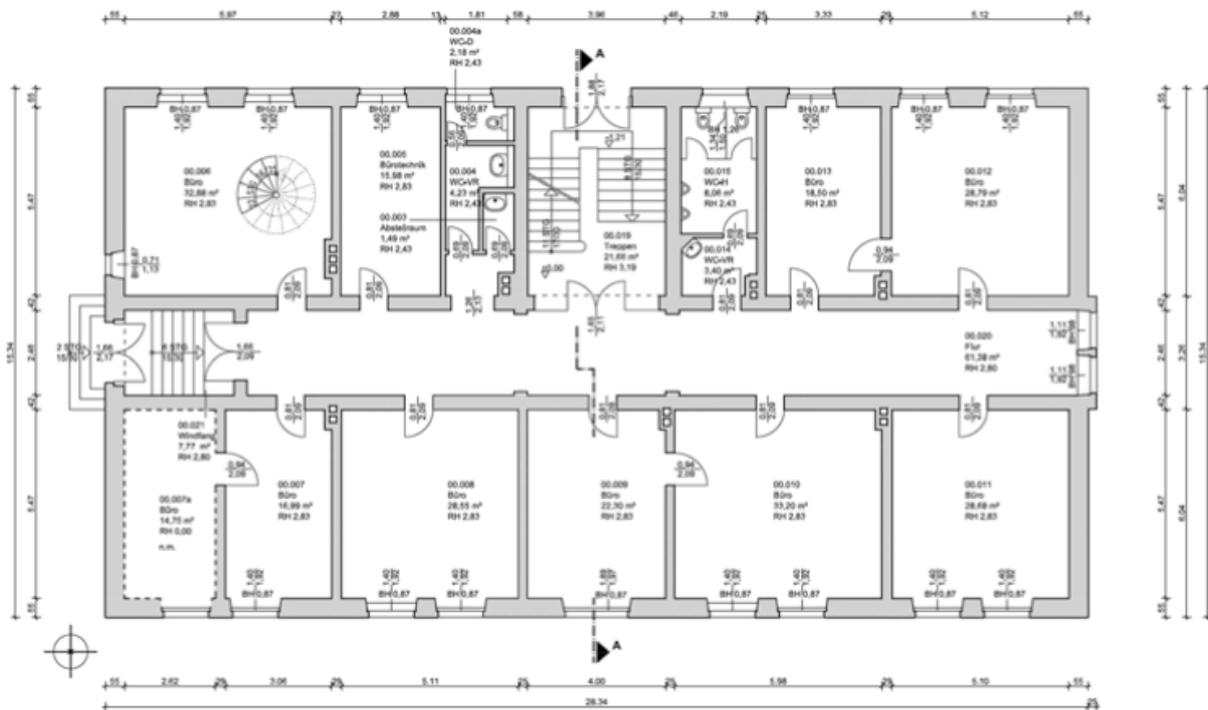


Abb. 2.1: FM-gerechter CAD-Plan. (Quelle: [26])

Bei einfachen Tragstrukturen können die tragenden Elemente in den anderen Geschossen übernommen werden. Sollten Innenwände in den darüberliegenden Geschossen versetzt sein, so lässt sich dies mit grafischen Anpassungen korrigieren. Beim verformungstreuen Aufmaß hingegen, wird ein exaktes Abbild des Gebäudes erstellt. Aufgrund der hohen Anforderungen und den Kosten findet diese Technologie lediglich bei der Dokumentation von Bauschäden, im Zuge der Detailsanierung von denkmalgeschützten Gebäuden Anwendung.

2.2 Gegenwärtige Methoden zur Erfassung grafischer Daten

Gegenwärtige Methoden zur Erfassung von Sachdaten May beschreibt in[26] zwei bekannte Verfahren, Sachdaten für einen Import in einer CAFM-Software aufzuarbeiten.

Überführung von Daten aus CAD-Plänen in einer CAFM-Software

In dieser Methode werden die alphanumerischen Daten in den Attributen der Raumpolygone im CAD-Software gespeichert. Ein Datentransfer von der CAD-Software in die CAFM-Software kann nur dann erfolgen, wenn die Raum-ID im CAD-Programm mit der Raum-ID der CAFM-Software übereinstimmt[26]. Der Nachteil diese Methodik liegt an der geringen Anzahl an Parametern, die gespeichert werden können. Weiters muss ein geometrisches Objekt im CAD-Plan vorhanden sein, um entsprechende Sachdaten an den Objektparametern anhängen zu können. Daher Anwendung dieser Methodik bei großflächigen Immobilien, mit geringer Anzahl an zu erfassenden Merkmalen tendenziell sinnvoller. Ein Richtwert sind ca. 10 Merkmale.

Tabellarische Bestandsaufnahme

Die tabellarische Bestandsaufnahme ist aktuell eine gängige Bestandserfassungsmethode. Das Verfahren erfolgt durch eine raumweise tabellarische Erhebung der Gebäudedaten, entweder über eine App, mit vorgefertigten Parameterfeldern für die jeweilige Anlage, oder im Form von ausgedruckten Tabellen. Diese Daten werden an den jeweiligen Feldern vor Ort ausgefüllt. Die erhobenen Daten variieren, beispielsweise können diese von TGA-Anlagen stammen, oder raumbezogene, wie Angaben zu den Bodenbelägen oder der Raumnutzung sein[26]. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt an der einfachen und nutzerfreundlichen Eingabe von Sachdaten, ohne Einschränkung an der Anzahl an einzutragende Parametern. Ein weiterer Vorteil ist die Tatsache, dass kein CAD-Plan benötigt wird, um die Daten zu erheben. Falls ein CAD-Plan vorhanden ist, und gewünscht ist, die Objekte samt Sachdaten mit dem CAD-Plan zu verknüpfen, ist ein automatisierter Bezug zu den CAD-Daten nicht möglich. Demnach muss eine eindeutige Raum-ID oder Raumnummer in einer Tabelle eingetragen werden, welche mit der Raum-ID im CAD-Plan übereinstimmt.

Das Problematische an dieser Arbeitsweise ist, dass es keinen Modellbezug zum Gebäude gibt, dadurch müssen sämtliche Anlagen innerhalb des Gebäudes manuell verortet werden. Dieses Fehlen an einem Bezug kann vor allem bei komplexen Gebäude dazu führen, dass einige Anlagen nicht korrekt den Räumen zugewiesen werden können, außerdem können nachträgliche Ergänzungen nur mit einem erheblichen Aufwand durchgeführt werden.

Bestandserfassungssoftware

Mobile Datenerfassungssystem im FM haben das Potenzial, Daten von Gebäuden, Räumen und TGA-Anlagen zu verarbeiten[27]. Es gibt geeignete Software, die die Nachteile der beiden zuvor beschriebenen Verfahren kompensieren können. Diese Programme sind so ausgelegt, dass der CAFM-Datentransfer möglichst reibungslos in das Zielsystem erfolgen kann. Im Idealfall erfolgt die Erfassung direkt im CAFM-Zielsystem, was aber nicht praktikabel ist, da CAFM-Systeme zu komplex sind, und die Handhabung diese Systeme nicht einfach ist. Eine Lösung dieser Problematik bieten Schnittstellen an, die auf Mobilgeräte wie Smartphones oder Tablets in Form von Apps installiert werden können, und bestimmte Funktionen haben, die die Bedienung erleichtern. Zu

den Funktionen zählen: Die Zugriffsmöglichkeit auf bereits erfasste Daten, Assistenzsysteme wie Dropdown-Menüs, Plausibilitätskontrollen, Such- und Filterfunktionen, Informationsübernahme von vorhandenen Bestandsdaten. Des weiteren können diese Apps ans Ziel-CAFM-System andocken.

2.3 3D-Laserscanning

Für eine geometrische Erfassung von Bestandsgebäuden sind 3D-Laserscanner nützliche Geräte. Im folgenden Kapitel werden die Anwendungsbereiche dieser Technologie sowie deren Funktionsweise erläutert. Weiters wird ein kurzer Überblick über die aktuellen, gängigen Modelle im Markt verschaffen. 3D-Laserscanner sind Geräte, welche die gescannte Umgebung durch Punktwolken dreidimensional abbilden. Das physikalische Prinzip der Messung ist wie folgt: Ein Lichtsignal wird aus dem Laserscanner gesendet, und an einer Oberfläche reflektiert, ein Teil des gestreuten Lichtstrahls wird von einem Sensor am Laserscanner empfangen[35][15].

2.3.1 Terrestrisches Laserscanning

Terrestrische Laserscanner haben in der Vermessung von Bauwerken stark an Bedeutung gewonnen, obwohl dieses Messverfahren – ähnlich zur Photogrammetrie, für den Innenbereich aufwendig ist, findet es im Innenraum von Gebäuden Anwendung, da in der Thematik der Objekterkennung aus Punktwolken aktuell geforscht und entwickelt wird, und zahlreiche Hersteller von Laserscanner eigene Applikation anbieten, in der das Modellieren von BIM-Modellen aus den Punktwolken erleichtert wird. Bei der Aufnahmen von großen Flächen sind terrestrische Laserscanner optimal ausgelegt[35], da sie große und komplexe Strukturen flächenhaft abtasten können, dementsprechend können Fassaden von Gebäuden schnell und effizient erfasst werden.

2.3.2 Impulslaufzeitverfahren

Ein Lichtimpuls wird von einem Sender gesendet, und an einer Oberfläche reflektiert, das reflektierte Impuls wird anschließend von einem Sensor am Gerät aufgenommen. Über der durchlaufenen Zeit, von senden bis empfangen, und über der Lichtgeschwindigkeit lässt sich die Distanz zurückrechnen[35]. Somit bestehen Laserscanner aus drei wesentlichen Komponenten: Sender, Empfänger (Sensor) und Laufzeitmesse. In Abb. 2.2 wird das Messerverfahren illustriert.

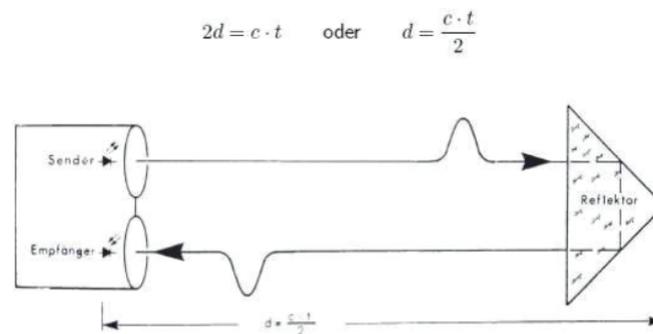


Abb. 2.2: Systemschema des Impulszeitverfahrens (Quelle: Ajlani [1])

2.3.3 Phasenvergleichsverfahren

Die Distanz (s) zwischen Sender und dem zu messenden Objekt, entspricht in diesem Verfahren die Anzahl (N) der vollständig zurückgelegte Schwingungen (λ), und einem Reststück ($\Delta\lambda_M$), welches sich aus der gemessenen Phasenverschiebung (φ) am Empfänger errechnet. Dabei ist die Phasenverschiebung proportional zur Distanz. Die Distanz (s) errechnet sich in Gleichung (2.3) zu [35]:

$$s = \frac{1}{2} \cdot (N \cdot \lambda_M + \Delta\lambda_M) \quad (2.1)$$

Das Reststück ($\Delta\lambda_M$) errechnet sich in Abhängigkeit der Phasenverschiebung (φ) zu:

$$\Delta\lambda_M = \lambda_M \cdot \frac{\varphi}{2\pi} \quad (2.2)$$

Durch Einsetzen von (2.2) in (2.3) und Herausheben ergibt sich die Distanz (s) zu:

$$s = \frac{1}{2} \cdot \lambda_M \cdot \left(N + \frac{\varphi}{2\pi}\right) \quad (2.3)$$

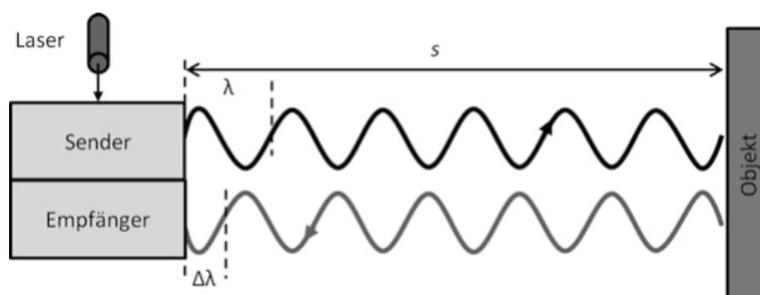


Abb. 2.3: Systemschema des Phasenvergleichsverfahrens (Quelle: Schwarz [35])

2.3.4 Kinematisches Laserscanning (Mobile Mapping)

Wie der Name schon sagt, erfolgt beim kinematischen Laserscanning der Scanvorgang aus der Bewegung heraus [36]. Dabei wird durch das Bewegen einer zweidimensionalen Messebene, welche durch das Rotieren oder Ablenken des Lasers entsteht, eine dreidimensionale Raumvermessung bewerkstelligt. Die Genauigkeit dieses Verfahrens hängt von der Bewegungsgeschwindigkeit ab. Je langsamer das Gerät geführt wird, desto dichter ist die erzeugte Punktwolke. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt an dem Entfall einer nachträglichen Justierung der Punktwolke, da der Scanvorgang kontinuierlich erfolgt, und ausreichend Überlappung zwischen den Punktwolkensegmenten vorhanden ist. Ein weiterer Vorteil liegt bei der kürzeren Scandauer verglichen mit dem terrestrischen Laserscanning (vergl. Kap. 2.3.1).

Aus praktische Gesichtspunkte von 3D-Laserscanning-Verfahren wird davon ausgegangen, dass ein mobiler Laserscanner besser für den zu untersuchenden Anwendungsfall geeignet ist als ein terrestrischer 3D-Laserscanner. Diese ist auf der einfacheren Handhabung im Vergleich zum terrestrischen 3D-Laserscanner zurückzuführen. Außerdem bietet der mobile Laserscanner eine höhere Geschwindigkeit und Flexibilität bei der Erfassung, insbesondere bei komplexen Gebäudegeometrien.

Aktuell bekannte Geräte in diesem Segment ist der *VLX* von dem Hersteller NavVis [34], sowie das *BLK2GO* von der Firma Leica [25].

2.4 Photogrammetrie

Bei der Photogrammetrie erfolgt die Vermessung auf Basis von aufgenommenen Bildern. In der Praxis findet die Photogrammetrie besonders im Außenbereich Anwendung, da das Messverfahren auf großflächige Aufnahmen ausgerichtet ist, zum Beispiel zur Aufnahme der Gebäudefassaden. Im Innenbereich würde dieses Verfahren zu keiner Relation zum Aufnahmearbeit stehen. Ausnahme wären besonders große Gebäude, wie Kirchen oder Hallen.[35]. Da die untersuchten Gebäude in dieser Arbeit hauptsächlich Wohn- und Bürogebäude sind, wird die Verwendung dieses Aufnahmeverfahrens für den Anwendungsfall nicht weiter untersucht.

2.5 Facility-Management und CAFM-Systeme

Die Drei Säulen des FM

Es gibt keine einheitliche Bezeichnung für FM, allerdings beschreibt eine allgemein bekannte Definition von Jens Nävy im Jahr 1998, welches auf die drei Säulen Ganzheitlichkeit, Lebenszyklus und Transparenz basiert (siehe Abb. 2.4)[30], das FM als:

„ein strategisches Konzept zur Bewirtschaftung, Verwaltung und Organisation aller Sachressourcen innerhalb eines Unternehmens“ [30]

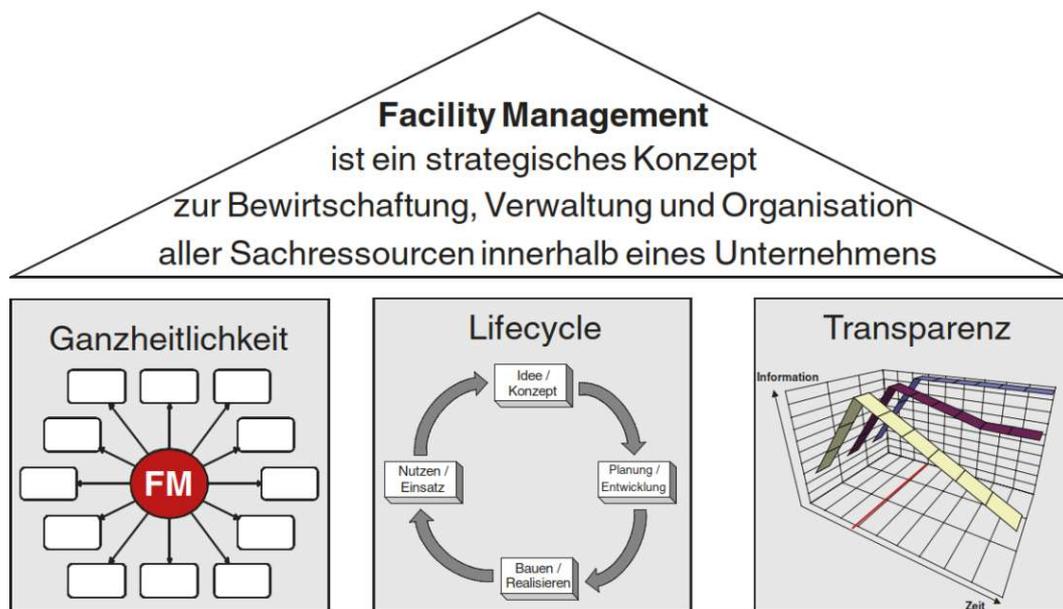


Abb. 2.4: Säulen des Facility-Managements (Quelle: [30])

Die Drei Säulen des FM werden in folgendem Abschnitt beschrieben.

Ganzheitlichkeit

Laut Nävy setzen sich Sachressourcen zusammen aus: Grundstücke, Gebäude, Räume, Infrastrukturen, Anlagen, Maschinen und Versorgungseinrichtungen[30]. Diese Sachressourcen stehen im Mittelpunkt einer ganzheitlichen Betrachtungsweise von FM, bei der nicht nur die einzelnen Fachabteilungen eines Unternehmens separat betrachtet werden, sondern über deren Verantwortungsbereich hinaus. Diese Ganzheitlichkeit bildet die erste Säule von FM.

Lebenszyklus

Die zweite Säule von FM beruht darauf, dass FM über den gesamten Lebenszyklus von Sachressourcen (z. B. einem Gebäude), die einzelnen Phasen leitet und begleitet[30]. Die Lebenszyklusphasen gliedert sich in: Konzeption-, Planung-, Ausführung-, Nutzungsphase und Abbruch. Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer eines Gebäudes von 50 Jahren beträgt die Nutzungsphase 45 Jahre, somit stellt sie die längste Zeitspanne im Lebenszyklus dar. Aufgrund dieser Tatsachen fallen die meisten Kosten eines Gebäudes in der Nutzungsphase aus, sie betragen durchschnittlich 80 % der Lebenszykluskosten, die restlichen 20 % fallen auf Planung, Ausführung und Abbruch.

Transparenz

Die Transparenz innerhalb der Unternehmensprozesse bei den Informationen der Sachressourcen bildet die dritte FM-Säule[30]. Der Autor hat bewusst den Begriff Informationen statt Daten verwendet, da Daten ohne Kontext keine Bedeutung haben und nicht brauchbar sind, außerdem können sie einen Spielraum für Missinterpretationen hervorrufen. Eine allgemeinere Definition liefert die ÖNORM EN ISO 41011[32] und beschreibt das Facility-Management als eine:

„organisatorische Funktion, die Personen, Ort und Prozess innerhalb der bebauten Umgebung zu dem Zweck integriert, die Qualität des Lebens von Personen und die Produktivität des Kerngeschäfts zu verbessern dienen“[32]

Anhand der ÖNORM Definition ist zu erkennen, dass das Hauptziel von FM nicht die Durchführung der Kerngeschäftsprozesse von Unternehmen ist, sondern gewissen Rahmenbedingungen zu schaffen, damit sich diese Unternehmen auf Ihr Kerngeschäft konzentrieren und effizienter umsetzen können. In Abb. 2.5 ist die Trennung der FM-Leistungen von den Unternehmenskerngeschäften ersichtlich.

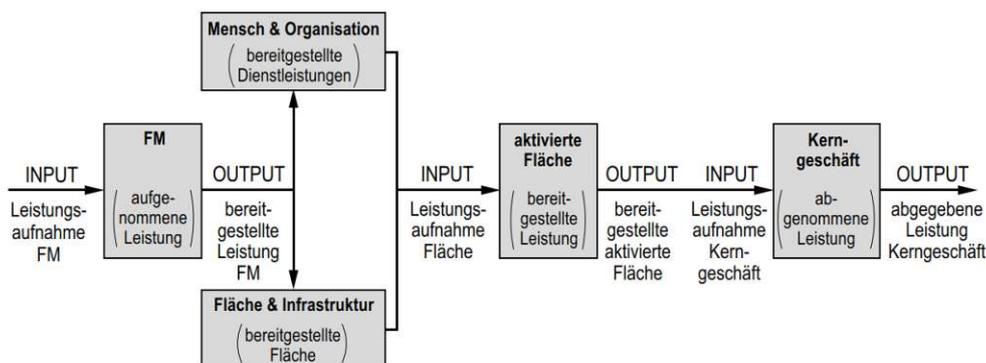


Abb. 2.5: Input-Output-Leistungsmodell vom Facility-Management (Quelle: [22])

Um diese Rahmenbedingungen zu schaffen, stellen Unternehmen dem FM Flächen und Infrastruktur sowie Menschen und Organisation zur Verfügung. Um eben diese Flächen nutzen zu können, müssen diese durch Personal aktiviert werden. Ab dem Zeitpunkt, in dem die Flächen aktiviert wurden, können Unternehmen diese Flächen für Ihr Kerngeschäft nutzen[22].

DAS FM-Modell

Die Norm stellt die Vereinbarung zwischen dem FM und dem Auftraggeber (AG), dabei stellt der AG ein Bedarf fest, das FM liefert dem AG ein Angebot, welches auf die Ziele und Anforderungen des AG ausgerichtet ist, diese Ziele und Anforderungen werden in strategischer, taktischer und operative-Ebene im Angebot für den AG-Bedarf berücksichtigt, in Abb.2.6 ist dieser Zusammenhang grafisch dargestellt[22][32].

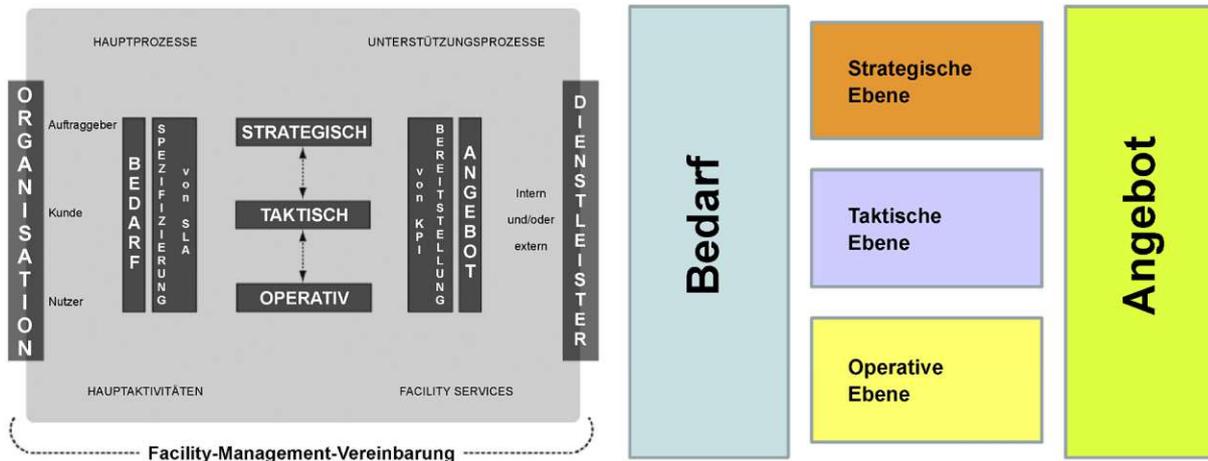


Abb. 2.6: FM-Modell nach EN 15221-1 (li.) und entsprechendes Piktogramm (re.) nach EN 15221-4 (Quelle: EN 15221-4[31])

Da die FM-Dienstleistungen mit den Zielen und Bedürfnissen des AG in Einklang sein sollte, muss die Bestandsaufnahme mit seinen Anforderungen übereinstimmen. So können Mehraufwände, die bei der Erfassung von Daten, die der AG nicht gefordert hat und dementsprechend nicht honoriert, vermieden werden.

CAFM-Systeme

CAFM steht für *Computer Aided Facility Management* und ist das Werkzeug vom Facility-Management, mit dem die FM-Prozesse bewerkstelligt werden können[26]. Sämtliche Informationen der Facilities werden in der CAFM-Datenbank gespeichert. Analog zum CAD, welches das klassische Werkzeug von Planer ist für das Entwerfen von Plänen wie z. B. Einreichsplänen, Polierplänen etc. ist, können mittels eines CAFM-Systems die verschiedenen Aufgaben im FM durchgeführt werden. Im Kern vom CAFM steht das Informationsmanagement und die Digitalisierung der Sachressourcen (z. B. Immobilien)

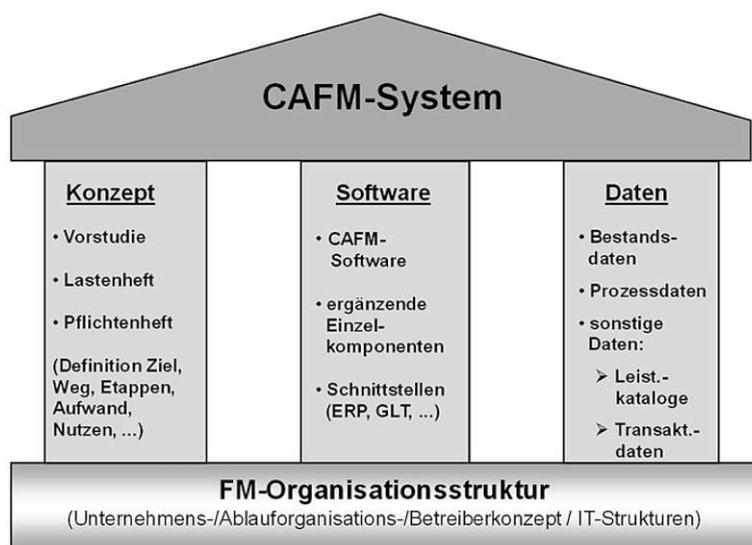


Abb. 2.7: Säulen des CAFM-Systems. (Quelle: [26])

May unterscheidet CAFM-Systeme von CAFM-Software mit folgender einfachen Beschreibung:

„CAFM-Software ist das, was man von einem CAFM-Anbieter an Software erwirbt, während ein CAFM-System das ist, was ein Nutzer im Rahmen eines CAFM-Projektes aus dieser Software entwickelt – ein anwendungsbereites und auf die jeweilige Organisation zugeschnittenes IT-System basierend auf den eigenen Daten und Prozessen“ [27].

Im Immobilienbetrieb wiederholen sich die Prozesse ständig[7], ein klassisches Beispiel dafür sind die wiederkehrenden Wartungen von technischen Anlagen. Das CAFM hilft dabei, diese Prozesse zu automatisieren und standardisieren.

2.6 Anlagenkennzeichnungssystem (AKS)

Mit dem Anlagenkennzeichnungssystem (AKS) können Anlagen eindeutig identifiziert werden[21][14]. Das Zuweisen von AKS-Ziffern für jede Anlage bringt viele Vorteile mit sich, es verhindert das Doppelvorkommen von Anlagen, erleichtert das Aufsetzen eines CAFM-Systems für die Gebäudebewirtschaftung, verkürzt die Kommunikationszeit, ermöglicht das Auswerten und das Berichtswesen[21]. Durch Möglichkeit einer Datenauswertung profitieren vor allem Unternehmen mit großen Immobilienportfolios, die in verschiedenen Regionen verteilt sind. Es können beispielsweise verschiedene Anlagenklassen länder- oder städteübergreifend gefiltert werden. Ein weiterer Vorteil vom AKS ist die Möglichkeit, Dokumenten mit den Anlagen verknüpfen. Abb.2.8 zeigt, wie das AKS als Bindeglied zwischen realer Anlage, analoge und/oder digitale Dokumentation, sowie CAD-Pläne fungiert[14]. Ein BIM-Modell könnte, wenn vorhanden, als Ergänzung zu den CAD-Plänen dienen.

Es gibt Normen, die sich mit der Erstellung von AKS-Richtlinien beschäftigen, dazu zählt die DIN 6779-1[13][21].

Der Einsatz vom AKS schränkt sich nicht nur auf Neu- oder Umbauprojekten, sondern findet zusätzlich bei der Digitalisierung von Bestandsgebäuden Anwendung[14]. Der Zweck liegt in der Schaffung einer gewerkübergreifenden Kennzeichnungsstruktur für alle Anlagen, sowie für die mit den Anlagen verknüpften Dokumentationsunterlagen.

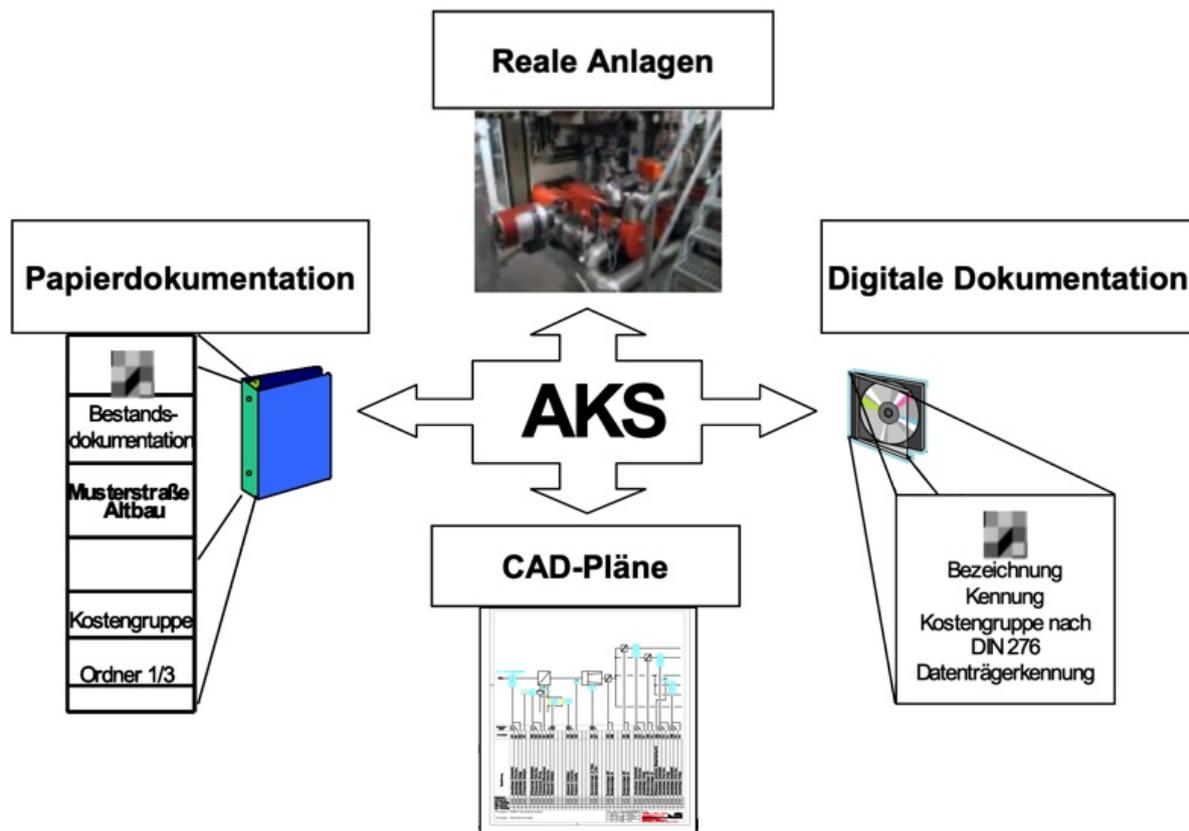


Abb. 2.8: Das AKS als Bindeglied von Anlagen, Plänen und Dokumenten. (Quelle: [14])

Wie in Abb.2.9 zu entnehmen, besteht der AKS-Schlüssel aus 31 Ziffern, die in 11 Ebenen unterteilt sind. Die Ziffern können projektspezifisch erweitert werden. Jede Ebene gibt eine Information wieder.

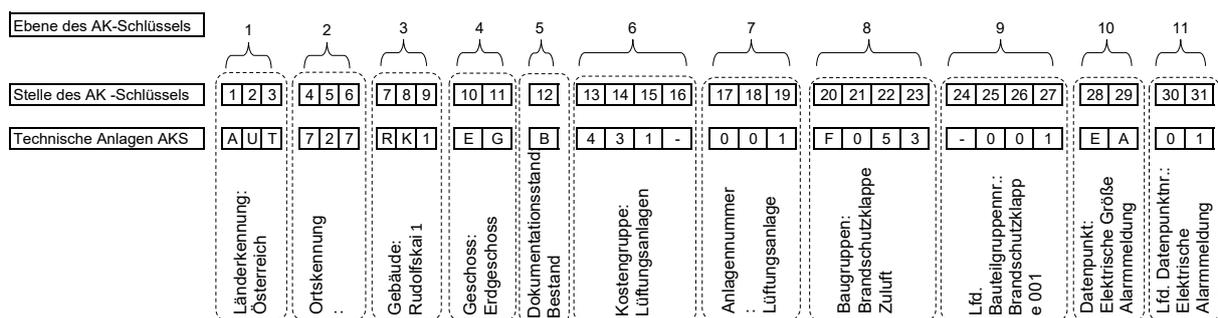


Abb. 2.9: Aufbau des AKS-Schlüssels anhand eines Beispiels. (Quelle: Bearbeitete Darstellung aus[14])

- Ebene 1 ist durch die ersten drei Ziffern gekennzeichnet, die den Ländercode bilden. Die Ländercodes für die verschiedenen Ländern sind in [14] tabellarisch zusammengefasst.

- Ebene 2 (Ziffer 4–6) für die Ortskennung: Die Ortskennung ist Stadt, in dem das Gebäude liegt.
- Ebene 3 (Ziffer 7–9) für das Gebäude: Kann beliebig gewählt werden, meist deuten die Ziffern 7 und 9 auf die Straße, wo das Gebäude liegt, die 10 Ziffer auf Gebädetrakt.
- Ebene 4 (Ziffer 10–11) für das Geschoss.
- Ebene 5 (Ziffer 12) : Dokumentationsstand (vergl. B.2).
- Ebene 6 (Ziffer 13–16): Kostengruppe. Angelehnt an der deutschen DIN 276[12] bzw. in Österreich die ÖNORM B 1801-1[]
- Ebene 7 (Ziffer 17–19): Anlagennummer.
- Ebene 8 (Ziffer 20–23): Baugruppen.
- Ebene 9 (Ziffer 24–27): Laufende Bauteilgruppennummerierung.
- Ebene 10 (Ziffer 28–29): Datenpunkt.
- Ebene 11 (Ziffer 30–31): Laufende Datenpunktnummerierung.

Es stellt sich die Fragen, ob bei der Erfassung eines Bestandsgebäudes, bei dem die Anlagen nicht systematisch gekennzeichnet ist, ein gesondertes AKS zu vergeben. Aufgrund des beträchtlichen Aufwands und den damit verbundenen Kosten gilt es dies vorab mit dem AG abzustimmen. Der AG ist in diesem Fall der Gebäudeeigentümer, der einen FM-Dienstleister beauftragt, seine Immobilie zu betreiben.

2.7 KI-gestützte Auswertung von Punktwolken und Bildern

Die künstliche Intelligenz (KI) , in Englisch Artificial intelligence (AI), ist ein traditionelles Forschungsgebiet der Informatik, das neben einem großen Potenzial Risiken mit sich bringt[27]. Die KI bestrebt, die menschliche Handlung und Entscheidungsfindung zu imitieren. Der Begriff Intelligenz ist bis heute nicht abschließend definiert[27], er wurde im Zusammenhang mit der KI deswegen in Verbindung gebracht, da für die Lösung kognitiver Probleme, wie z. B. die Mustererkennungen, ein gewisses Ausmaß an „Denkvermögen“ erforderlich ist.

Als Teildisziplin der KI beschäftigt sich das Machine learning (ML) mit dem Lernen von Maschinen. Dabei sollen Maschinen in der Lage versetzt werden, nach einer gewissen Lernzeit, selbständig Aufgabe zu lösen. Ein klassisches Beispiel dafür ist die Mustererkennung[27]. Die Grundlage für die verschiedenen Formen des ML bilden die künstliche neuronale Netze (KNN), die mit Software und Hardwareverfahren versuchen, das Nervensystem des menschlichen Gehirns nachzuahmen. Die KNN ist ein Typ Algorithmus[39]. Das neuronale Netz besteht aus einer Eingabeschicht, mehreren möglichen Zwischenschichten und einer Ausgabeschicht. Die Ausgabeschicht stellt die Lösung der Problemstellung dar. Abb.2.10 zeigt ein Beispiel eines KNN.

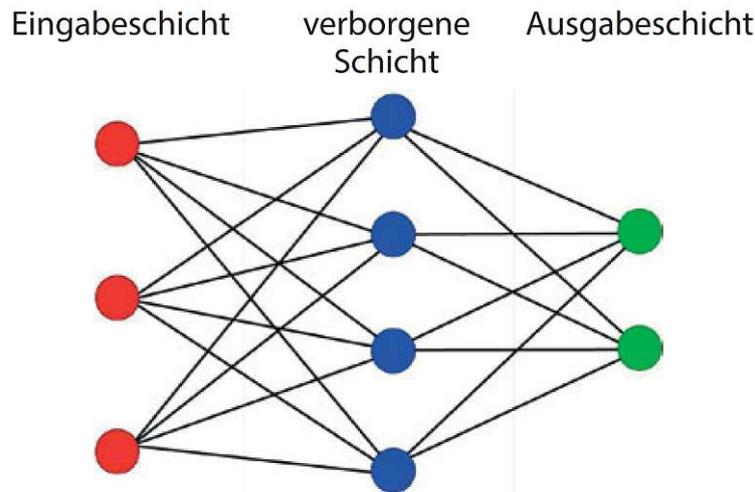


Abb. 2.10: Schematische Darstellung des künstlichen Neuronennetzes. (Quelle: [39])

Der Informationsaustausch erfolgt innerhalb des KNN, ähnlich wie beim Menschen über Neuronen, mit dem Unterschied, dass es sich hierbei um „künstliche“ Neuronen handelt[27].

Die Einsatzmöglichkeiten der KI im Bauwesen strecken sich von der Planung, Bauausführung, bis hin zum Betrieb und Instandsetzung[23]. Durch maschinelle Lernverfahren gelingt es Algorithmen, Grundrisse zu generieren. In der Ausführung können Bauarbeiter und Objekte aus großer Höhe auf Baustellen erkannt werden. Für dies Einsatz autonome Baufahrzeuge ist dies eine wichtige Voraussetzung. Ein weiterer Anwendungsfall ist Baufortschrittserkennung anhand Punktwolken, Erkennung von Ausbaubjekten und Abgleich mit digitalen Bauwerksmodellen. In der Betriebsphase erleichtert KI-Verfahren das Erstellen von Bestandsmodellen, sofern diese nicht vorhanden sind[23]. Bei der Erstellung von Bestandsmodellen dienen Bilder, Punktwolken und 2D-Pläne als Grundlage. Eine reine Punktwolke reicht nicht aus, um ein Bauwerksmodell zu erstellen, es fehlen semantische Information (z. B. Bauteiltyp).

Damit die KI ein Punktwolkensegment eines Bauteils automatisch klassifiziert und in ein Objekt eines Bestandsmodells überführt, müssen vielen Lerndaten erzeugt werden, sprich manuelle Segmentierung und Klassifizierung von Punktwolkensegmenten[23]. Das Gleiche gilt für die Segmentierung und Klassifizierung von Bauteilen in Bildern, wobei hier die KI Verfahren fortgeschrittener sind. Die erlernten Bauteile landen für eine zukünftige Auswertung in einer Bauteilbibliothek. Abb.2.11 zeigt ein Beispiel für eine Generierung von 3D-Elemente aus einem Punktwolkensegment einer Leistung samt Ventilen. Neu zu erfassende Bauteile aus Punktwolkendaten werden bei der Auswertung mit den Bauteilen aus der Bauteilbibliothek auf Überweinstimmung überprüft.

Es gibt zurzeit Start-ups und Forschungsprojekte, die sich mit dem Thema KI-Auswertung von Punktwolken, Bildern, 2D-Pläne und Textdokumenten auseinandersetzen. Eines der Ziele vom Projekt *BIMKIT* ist das Entwickeln von KI-Verfahren zur Auswertung von heterogenen Bestandsinformationen, sowie das Generieren von Bestandsmodellen[37]. Das Unternehmen *aurivus* hat eine Software entwickelt, die den Scan-to-BIM Prozess beschleunigt, indem es BIM-Attribute direkt der Punktwolke der Objekte zuordnet. Das führt zu Verkürzung der Modellierungszeit[2].

Aus heutiger Sicht fehlen an Lerndaten für eine automatisierte Auswertung von TGA-Objekte, die Form von Punktwolken und Bildern erfasst sind. Diese Arbeit soll den Grundstein für das

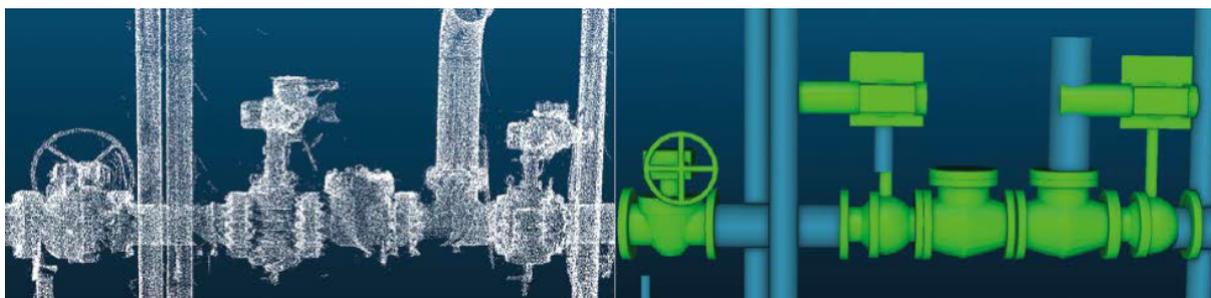


Abb. 2.11: Generierung von 3D-Bauteilen aus einem Punktwolkensegment. (Quelle: [23])

Sammeln dieser Lerndaten sein, um in Zukunft zumindest halbautomatisch Objekte klassifizieren zu können.

KI-Verfahren helfen beim Erstellen von BIM-Modellen. Welche Relevanz die BIM-Methode im Betrieb hat, wird im nächsten Kapitel diskutiert.

2.8 BIM im Betrieb

Die Nachfrage nach einer Verwendung von BIM-Modellen in der Betriebsphase nimmt aktuell stark zu[7]. Bei der Einführung der BIM-Methode im Betrieb, leisten moderne IT-Anwendungen wie das CAFM, eine wichtige Hilfestellung. Sie unterstützen dabei, die systematischen und technologischen Hürden, die bei der Implementierung entstehen, zu überbrücken. Die Umsetzung der BIM-Methode in der Betriebsphase erfüllt einen wichtigen Grundgedanken von BIM: das Nutzen und Pflegen von BIM-Modellen während des gesamten Lebenszyklus einer Immobilie[37], dasselbe gilt für das FM (vergl. 2.5 in Seite 18). Trotz der Tatsache, dass die FM-Prozesse nicht direkt über BIM-Modell laufen, helfen 3D-Visualisierungen, wie in Abb.2.12 zu sehen, bei der Orientierung im Gebäude[20].



Abb. 2.12: BIM im Betrieb (Quelle: [7])

Der Gebäudeinformationsverlauf nimmt über die Lebenszyklusphasen linear zu[6]. Beim Übergang zwischen den einzelnen Projektphasen kommt es zu einem Datenverlust, wie es bei typischen Bauprojekten ohne BIM vorkommen kann. Die Sprünge in Abb.2.13 in der durchgezogenen Linie deuten auf die Datenverluste hin. Informationen, die sich in der Planungs- und Ausführungsphase

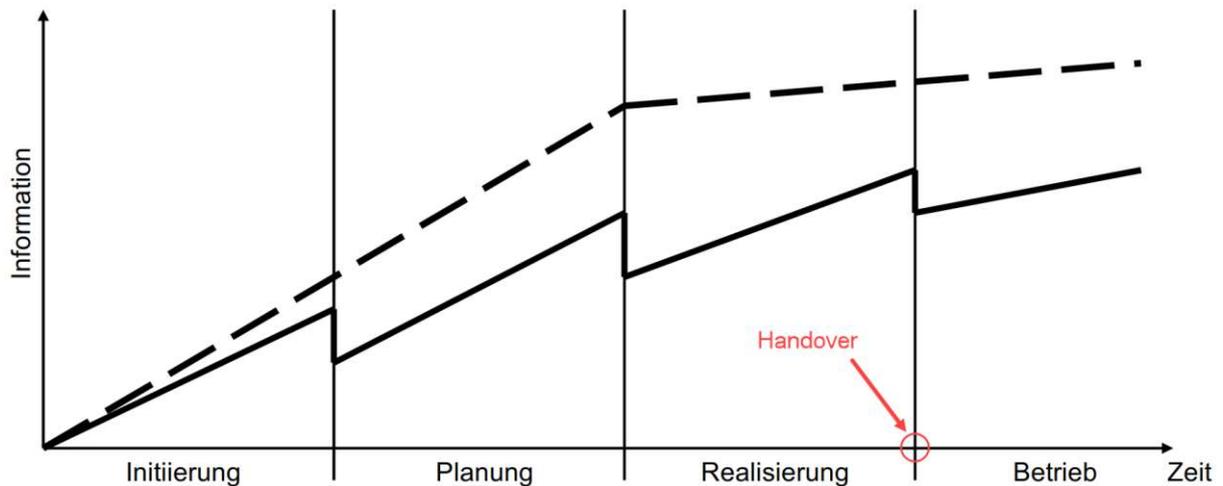


Abb. 2.13: Informationsverläufe in den Lebenszyklusphasen eines Gebäudes, mit und ohne BIM. (Quelle: bearbeitete Darstellung aus [6])

am BIM-Modell anhäufen, sind wichtig für den Gebäudebetrieb. Der Datentransfer zwischen BIM und CAFM sollte möglichst verlustfrei erfolgen[20], nicht nur beim Handover, sondern zusätzlich beim Betreiberwechsel (der ggf. ein eigenes CAFM-System verwendet), mit BIM als zentraler

Datenspeicher. Das BIM-Modell sollte während der Betriebsphase gepflegt werden, damit der Datentransfer ins neue Ziel-CAFM-System des Folge-Gebäudebetriebsunternehmens lückenlos stattfindet. Bei einem standardisierten Datenformat, wie Industry Foundation Classes (IFC), könnte der Datentransfer über Construction Operations Building Information Exchange (COBie) oder CAFM-Connect erfolgen. COBie ist ein Datenschema, mit dem ein FM relevanter Teil aus einer IFC-Datei extrahiert werden kann[11]. CAFM-Connect ist eine offene BIM-Schnittstelle, die es ermöglicht, Gebäude-Bauteile und Dokumente aus einem BIM-Modell zu erfassen[10].

Bei Neubauten erfolgt im Handover ein Datentransfer vom BIM-Modell ins Ziel-CAFM-System. Das Pflegen der BIM-Daten in der Betriebsphase, also nach dem Handover, rentierte sich für Unternehmen nicht, da die FM-Prozesse weitgehend über CAFM-Systeme laufen, spielten BIM-Modelle bisher in der Praxis keine wesentliche Rolle in der Betriebsphase[27]. Erst bei der nächsten Umbauplanung werden sie wieder herangezogen.

2.9 BPMN: Business Process Model and Notation

Mit der BPMN können Geschäftsprozesse über grafische Notationen modelliert werden[4]. Das Modell basiert auf das XML-Format[17][4]. Um BPMN verstehen zu können, ist es sinnvoll, sich erst mit dem Begriff Business Process Management (BPM) auseinander zu setzen[17]. BPM wird angewendet, wenn bestehende Prozesse organisatorisch und/oder durch IT zu verbessern, bestehende Prozesse zu dokumentieren und neue Prozesse einzuführen [17]. All diese drei Anwendungsfälle werden in dieser Arbeit herangezogen. Die European Association of BPM (EABPM) definiert das BPM wie folgt:

Die englische Bezeichnung „Business Process Management“ oder BPM wird synonym verwendet für Geschäftsprozessmanagement oder auch einfach Prozessmanagement. Als Prozess wird eine Reihe von festgelegten Tätigkeiten (Aktivitäten, Aufgaben) definiert, die von Menschen oder Maschinen ausgeführt werden, um ein oder mehrere Ziele zu erreichen. Letztlich geht es darum, einen Kundennutzen zu schaffen und damit auch für das Unternehmen Wert zu generieren. Business Process Management (BPM) ist ein systematischer Ansatz, um sowohl automatisierte als auch nicht automatisierte Prozesse zu erfassen, zu gestalten, auszuführen, zu dokumentieren, zu messen, zu überwachen und zu steuern und damit nachhaltig die mit der Unternehmensstrategie abgestimmten Ziele zu erreichen. BPM umfasst die bewusste und zunehmend IT-unterstützte Bestimmung, Verbesserung, Innovation und Erhaltung von End-to-end-Prozessen. [16]

Die Symbole der Prozessdiagramme in BPMN werden in Kategorien zusammengefasst, diese Kategorien bilden die BPMN Basiselemente[17]. Ein Prozess besteht aus *Aktivitäten*, ggf. *Gateways* und *Ereignissen*. Wenn Flussobjekte innerhalb eines *Pools* oder *Lane* platziert sind, werden sie mit *Sequenzflüsse* miteinander verbunden. Sequenzflüsse beschreiben die zeitliche und logische Reihenfolge der einzelnen Flusselemente. Über der Lane- bzw. Flussgrenze hinaus, dienen *Nachrichtenflüsse* als Verbindungselemente. Ein Pool symbolisiert den jeweiligen Teilnehmer eines Prozesses. Teilnehmer sind nicht zu verwechseln mit Rollen, Abteilungen oder Mitarbeiter, sie sind als logische Elemente zu betrachten, für die bestimmte Regeln gelten. Für einen Teilnehmer gilt:

1. Pro Prozess existiert nur ein Teilnehmer
2. Er hat die Kontrolle über den Prozess

3. Andere Teilnehmer können sein Prozess nicht beeinflussen. Die Funktionsweise des Prozesses muss nicht für andere ersichtlich sein
4. Die Verantwortung des Prozesses liegt beim Teilnehmer
5. Der Austausch mit anderen Teilnehmern erfolgt über Nachrichtenflüsse, die die anderen Teilnehmer in Ihren Prozessen unterstützen müssen.

Die verwendeten Basiselemente sind in Abb.2.14 dargestellt.

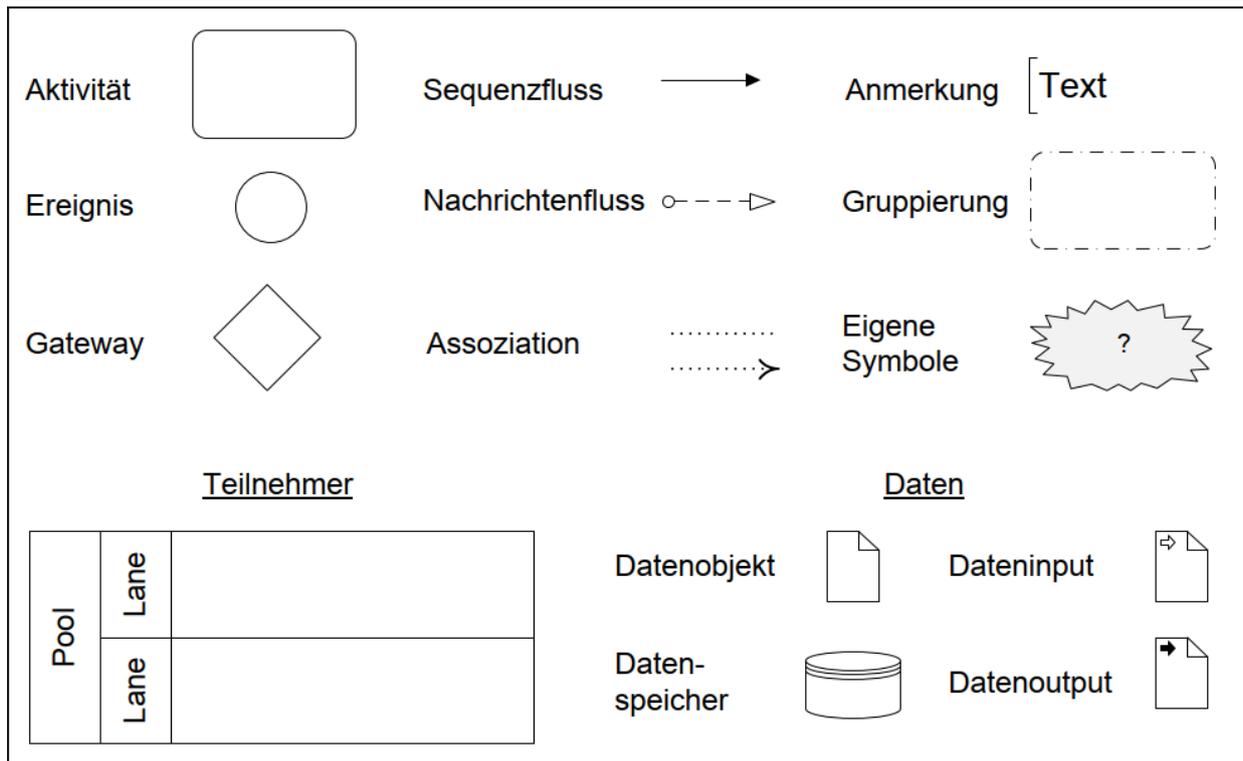
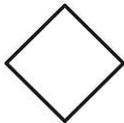
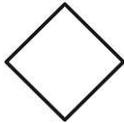
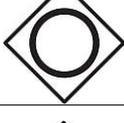


Abb. 2.14: Basiselemente der BPMN. (Quelle: [17])

Es gibt verschiedene Arten von Gateways[17]. Zu unterscheiden sind *XOR-Gateways* und *parallele-Gateways*. Das Symbol eines Gateways ist die Raute (siehe Abb.2.14). Wenn die Raute leer oder mit einem „X“ versehen ist, deutet dies auf Exclusive OR (XOR)-Gateway hin, ein „+“ hingegen auf ein paralleles-Gateway. XOR-Gateways teilen den Sequenzfluss in mehreren möglichen Ausgängen, bei dem nach einer Entscheidung ein Pfad durchlaufen wird. Parallele Gateways erlauben hingegen, dass ein oder mehrere Aktivitäten gleichzeitig stattfinden können, was zu einer Prozessoptimierung führen kann.

Symbol	Beschreibung
	Gateways werden verwendet, um zu steuern, wie Prozesspfade konvergieren und divergieren innerhalb eines Prozesses.
 	Das Gateway leitet in Abhängigkeit der Bedingungen bei der Aufteilung den Sequenzfluss an nur einen der ausgehenden Zweige. Beim Zusammenführen wartet es, bis ein eingehender Zweig abgeschlossen ist, bevor es den Fluss fortsetzt. Das Gateway kann mit oder ohne „X“-Markierung angezeigt werden.
	Bei der Aufteilung leitet das parallele Gateway den Datenfluss über alle ausgehenden Zweige. Beim Zusammenführen wartet es, bis alle Zweige abgeschlossen sind, bevor es den Fluss fortsetzt.
	Das inklusive Gateway erlaubt beim Aufteilen die Aktivierung von einem oder mehreren Zweigen, die auf Bedingungen basieren. Alle aktiven eingehenden Zweige müssen vor dem Zusammenführen abgeschlossen sein.
	Auf das Ereignis-Gateway folgt immer das Abfangen von Ereignissen oder der Empfang von Aufgaben. Der Prozessfluss wird an das nachfolgende Ereignis/die nachfolgende Aufgabe weitergeleitet, das/die zuerst eintritt. Bei der Zusammenführung verhält es sich wie ein Event Gateway.

Tab. 2.1: Gateways nach der BPMN 2.0.2-Notation. (Quelle: Bearbeitete Darstellung aus [33])

In dieser Arbeit kommen hauptsächlich XOR-Gateways zu Anwendung. Der nächste Abschnitt liefert eine Zusammenfassung dieses Kapitels.

2.10 Zusammenfassung

Es konnte in diesem Kapitel ein Überblick über die bisherigen Bestandserfassungsmethoden geschaffen werden. Weiters wurde sowohl auf technische als auch praktische Aspekte der 3D-Laserscanning-Verfahren eingegangen. Es stellte sich heraus, dass ein mobiler Laserscanner für den zu dem untersuchenden Anwendungsfall geeigneter ist. Grund dafür ist die einfachere Bedienung im Vergleich zu einem terrestrischen 3D-Laserscanner, sowie die Schnelligkeit und der Flexibilität bei der Erfassung, vor allem bei komplexen Gebäudegeometrien.

Grundlagen des Facility-Managements, CAFM- und AKS-Systeme wurden ebenfalls in diesem Kapitel erläutert. Die letzten Abschnitte dieses Kapitels widmeten sich dem KI-Verfahren und dessen Potenziale, den Bestandserfassungsprozess zu erleichtern, sowie dazu beitragen, aus den erfassten Daten, BIM-Modelle halb automatisiert zu generieren. Abschließend wurden die BPMN-Notation zur Visualisierung von Geschäftsprozessen erläutert. Die grafischen Prozessdarstellungen in dieser Arbeit basieren auf BPMN 2.0 Notation.

Im nächsten Kapitel werden die IST-Bestandsaufnahmeprozesse (IST-BA) untersucht, und SOLL-Bestandsaufnahmeprozesse (SOLL-BA) entwickelt, die die Erkenntnisse aus diesem Kapitel und des IST-BA berücksichtigen.

Kapitel 3

Ist- und Soll-Bestandsaufnahmeprozesse für den Gebäudebetrieb

In folgendem Kapitel wird die Erfassung von Ist-Prozessen im Bereich CAFM behandelt. Dabei werden die verschiedenen Datenausgangslagen erläutert, die sich je nach Ausgangslage unterscheiden. Es gibt vier Wege, Bestandsdaten in ein CAFM-System zu überführen, die jeweils unterschiedliche Probleme aufweisen. Im Fokus dieser Arbeit steht die Entwicklung eines digital gestützten Workflows für die Datenausgangslage 3, da hier der größte Aufholbedarf hinsichtlich Digitalisierung der Prozesse besteht. Die Ist-Bestandserfassung wird anhand eines Projekts in einem Hotel in Wien erläutert, bei dem die Gebäudebetreiber sämtliche TGA-Anlagen im Technikraum erfasst haben. Im Rahmen der Projektvorbereitung wurde ein Projekt in einer CAFM-Software angelegt und die Struktur definiert.

3.1 Ist-Prozesse

Die Ist-Prozesse hängen von der Ausgangslage ab. Es macht einen Unterschied, ob der AG für das zu erfassende Objekt eine präzise formulierte Leistungsverzeichnis (LV) zur Verfügung stellt, oder lediglich eine ungenaue Freitextformulierung vorhanden ist. Im LV beschreibt der AG jede einzelnen vom Auftragnehmer (AN) auszuführende Leistung[22]. Die verschiedenen Ausgangslagen werden im Folgenden erläutert.

3.1.1 Datenausgangslagen

Es gibt vier Wege, Bestandsdaten in ein CAFM-System überzuführen(siehe Abb. 3.1), sie unterscheiden sich von den Datenausgangslagen:

- Weg 1: Als Ausgangslage liefert ein Ingenieurbüro ein nicht präzise formuliertes LV im GAEB-Format oder als Freitext. GAEB-Dateien sind standardisierte Daten-Austauschformate, die Informationen zum Bauprozess beinhalten, wie beispielsweise ein LV. Der gemeinsame Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB) hat dieses Format entwickelt[38]. Ein Beispiel zum Sachverhalt: „1 Stk. Lüftungsanlage“. Eine Strukturierung dieser unsystematischen Daten in Excel-Vorlagetabellen, sowie eine Validierung vor Ort (Qualitätssicherung) muss erfolgen, bevor ein Datentransfer in eine FM-Datenbank stattfinden kann.
- Weg 2: Hier besteht bereits ein CAFM-basiertes LV, dass der AG den Betreiber zur Verfügung stellt. Eine Abweichung in der Anlagenbezeichnung zwischen AG- und AN-Datenmodell kann mit einem *Daten-Mapping* gelöst werden. Eine Qualitätssicherung ist bei diesem Weg notwendig.
- Weg 3: Wenn kein LV vorhanden ist und die Bestandsdokumentationen unvollständig bzw. nicht aktuell sind, müssen die für den Gebäudebetrieb relevanten Daten vor Ort neu aufge-

nommen werden. Im Vergleich zu den anderen Szenarien ist der Datenbeschaffungsaufwand bei diesem Weg am Höchsten.

- Weg 4: Bei Neubauten fungieren BIM-Modelle als Datengrundlage, mit sämtlichen Informationen der TGA-Anlagen, die im jeweiligen Gebäude vorkommen. Um beim *Handover* Daten aus einem BIM-Modell in ein CAFM-System überführen zu können, sind Schnittstellen wie COBie oder CAFM-Connect notwendig (vgl. Kap. 2.8). Nachdem die TGA-Bauteile aus dem BIM-Modell extrahiert sind, müssen sie nur mehr vor Ort im Rahmen der *as-built*-Dokumentation validiert werden.

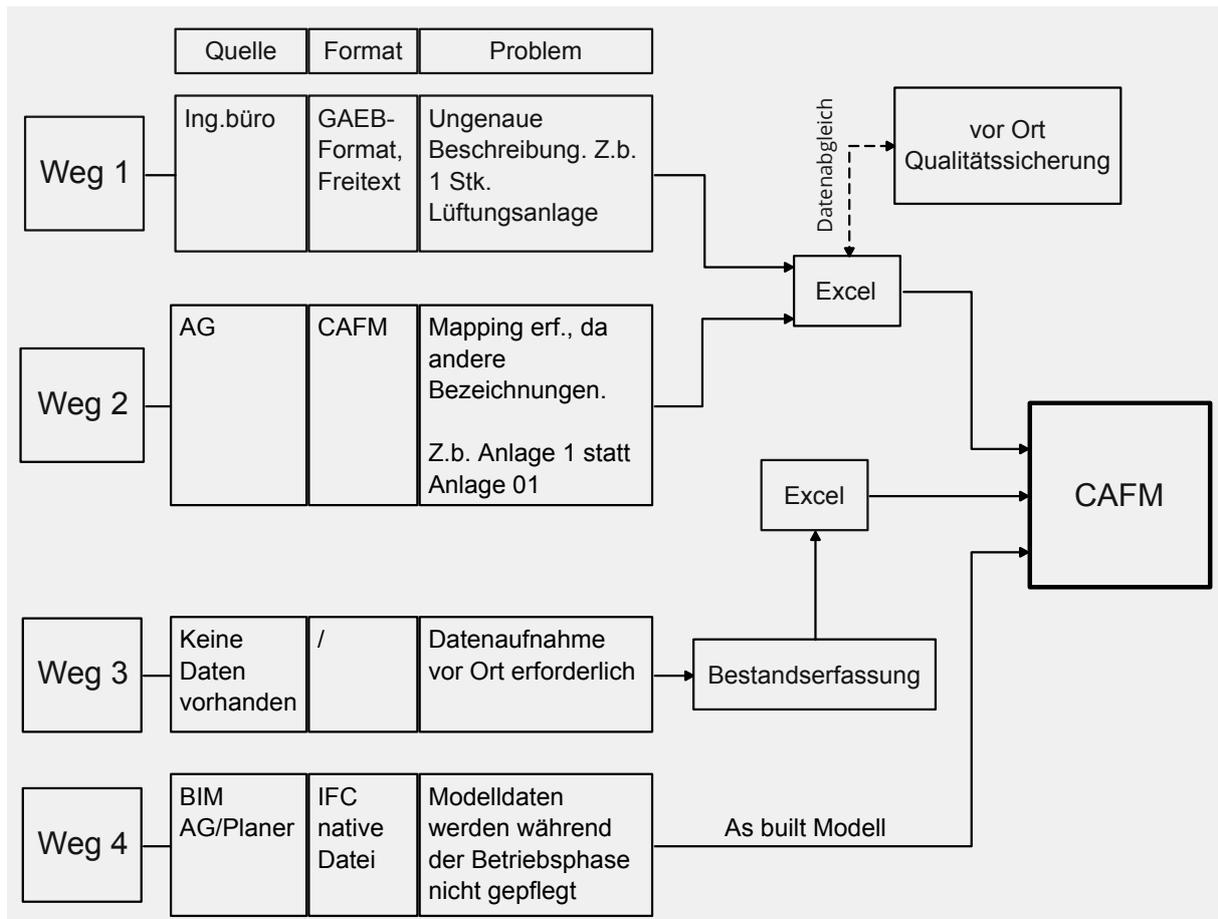


Abb. 3.1: Datenausgangslage: Vom Bestand zum CAFM

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf die Entwicklung eines digital gestützten Workflows für den Weg 3, da hier der größte Aufholbedarf hinsichtlich Digitalisierung der Prozesse besteht. Die vier Szenarien haben Gemeinsamkeiten, so erfolgt beispielsweise die Erfassung der Bauteile vor Ort in allen Verfahren ähnlich. In Anbetracht dieser Tatsache lässt sich im Zuge der Ist-Prozess-Dokumentation ein Projekt mit einer beliebigen Ausgangslage heranziehen, das demnächst dokumentiert wird. Bei der folgenden Ist-Bestandserfassung war die Ausgangslage das vierte Szenario (Weg 4).

3.1.2 Ist-Bestandserfassung: Vorgehensweise

Bei dem Objekt handelt es sich um ein Hotel in Wien 1220. Die Fertigstellung erfolgte im Jahr 2022. Bei der ersten Begehung, die im Mai 2022 stattgefunden hat, haben die Gebäudebetreiber sämtliche TGA-Anlagen im Technikraum erfasst. Der Technikraum lag im Untergeschoss und beinhaltete verschiedene Anlage wie zum Beispiel: Zu- und Abluftanlagen, eine Brandrauchabsaugungsanlage (BRA), Stromsicherungskästen, eine Pumpanlage, Brandschutzklappen.

Im Rahmen der Projektvorbereitung wurde ein Projekt in einer CAFM-Software angelegt und die Struktur definiert. Die Definition einer Struktur ist wichtig, um die Anlagen, die während der Gebäudebetriebsphase gewartet werden, lokalisieren zu können. Sie enthält folgende Instanzen: Kunde, Baulos, Gebäude, Stockwerk und Raum oder Raumteil. Ein Anlagenverzeichnis lag bereits vor, somit musste im Rahmen der Projektvorbereitung lediglich die Bauteilliste ins Projekt eingespielt werden. Die eingespielten Daten enthalten Bauteileigenschaften. Es muss im Zuge der Begehung validiert werden, ob die Bauteile aus der Bauteilliste vor Ort vorhanden sind, und die Bauteileigenschaften richtig sind.

Auf Grundlage der Beobachtung der operativen Mitarbeiter während der Bestandserfassung lässt sich das BPMN-Diagramm (Abb.3.8) herleiten. Ein *Bauteil* ist eine allgemeine Bezeichnung für TGA-Element, es kann sich dabei um eine komplexe, zusammenhängende Lüftungsanlage samt Ventilen handeln, als auch ein einzelnes Objekt, wie beispielsweise eine Brandschutztür.

Die Bestandserfassung erfolgte mittels einer App, die eine Schnittstelle zu CAFM-System hat. Die App kann sowohl auf ein Tablet als auch auf ein Smartphone installiert werden. In diesem Projekt aufgrund der einfacheren Bedienung ein Tablet verwendet.

Der erste Schritt in der Begehung ist die zu erfassende Anlage aus einer Liste auszuwählen (siehe Abb.3.2), und dem jeweiligen Raum zuzuordnen. Falls die räumliche Zugehörigkeit für sämtliche Anlagen bereits in der Vorbereitungsphase bekannt sind, entfällt dieser Schritt. Es müsste dann nur validiert werden, ob die jeweilige Anlage tatsächlich vor Ort liegt. Sollte ein Bauteil nicht in der Liste auftauchen, müsste dieser in der App angelegt werden.

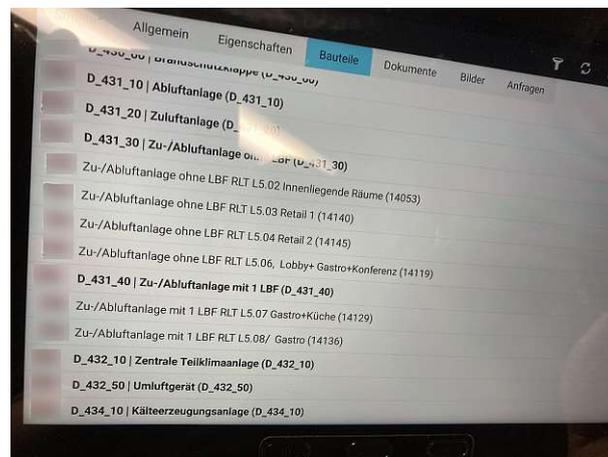


Abb. 3.2: Auswahl eines Bauteils aus einem Bauteilverzeichnis

Im zweiten Schritt werden die Pflichtfelder ausgefüllt, das ist essenziell, da sie Informationen beinhalten, die für die Wartungsarbeiten erforderlich sind. Sollte es aus Zeitgründen nicht möglich sein, sämtliche Pflichtmerkmale vor Ort auszufüllen, so müsste dies spätestens bei der Datennachreichung im Büro stattfinden. Wenn die Pflichtmerkmale bereits in der Projektvorbereitung ausgefüllt sind, und von den Angaben abweichen, die an den Bauteilen angebracht sind, so kann ebenfalls eine nachträgliche Anpassung im Büro durchgeführt werden. In Abb.3.3 ist ein Beispiel

von einer Lüftungsanlage zu sehen. Im Idealfall sollten zu den Pflichtfeldern, Nichtpflichtfelder erfasst werden.

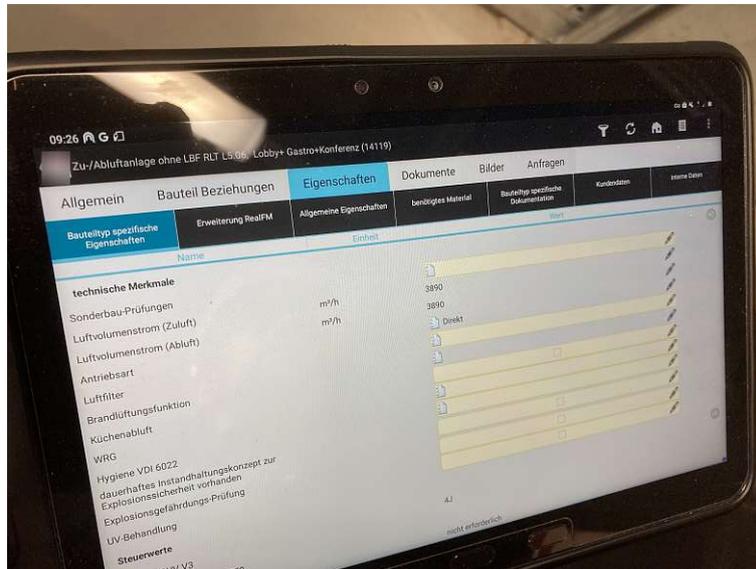


Abb. 3.3: Eigenschaften einer Lüftungsanlage samt Pflichtfelder

Im nächsten Schritt wird ein vorgefertigter QR-Code an das Bauteil angebracht (siehe Abb.3.4). Es dient der eindeutigen Identifizierung der Anlage und ermöglicht es, im Zuge der Wartungsarbeiten auf die Anlagendaten zuzugreifen. Um eine Anbindung zwischen dem QR-Code und der CAFM-Datenbank herstellen zu können, muss der QR-Code erstmalig mit der Tablet-Kamera gescannt werden.



(a) Vorgefertigte QR-Codes



(b) QR-Code anbringen

Abb. 3.4: Anbringen von QR-Codes an einem Bauteil zwecks eindeutige Identifizierung

Im weiteren Verlauf werden Weit- und Detailbilder vom Bauteil aufgenommen. Weitbilder liefern eine ganzheitliche Ansicht des Bauteils, Detailbilder hingegen zeigen alphanumerische Daten, die beispielsweise in Typenschilder oder Prüfplaketten zu finden sind (siehe Abb.3.5).



(a) Typenschild einer Lüftungsanlage



(b) Typenschild einer BRA-Anlage fotografieren

Abb. 3.5: Typenschilder Abfotografieren

Bei einem schwer zugänglichen Bauteil, wie es z. B. bei einer Sumpfpumpe der Fall ist (siehe Abb. 3.6), sollte auf die Erfassung des Typenschildes nicht vergessen werden.



(a) Weitbild einer Sumpfpumpe



(b) Detailfoto vom Typenschild

Abb. 3.6: Schwer zugängliche Typenschilder am Beispiel einer Sumpfpumpe

Wenn Namensschilder von Bauteilen vorhanden sind, sollten diese abfotografiert werden (siehe Abb. 3.7).



Abb. 3.7: Bauteilbezeichnung einer Lüftungsanlage

Diese beschriebenen Schritte werden wiederholt, bis sämtliche Anlagen im jeweiligen Raum erfasst sind. Nach der Begehung erfolgt im Büro eine Überprüfung der erfassten Daten auf Vollständigkeit, ggf. kommt es zu einer Datenergänzung. Das folgende BPMN-Diagramm zeigt die einzelnen Ist-Bestandserfassungsprozesse grafisch.

3.1.3 Ist-Bestandserfassung: BPMN

Um das Verständnis der einzelnen Prozessschritte aus Kap. 3.1.2 zu erleichtern, wurden die einzelnen Prozessschritte grafisch in ein BPMN-Diagramm übergeführt (Abb. 3.8). Die wesentlichen Schritte werden im Folgenden erläutert:

Im Rahmen der Begehung ist der erste Schritt die Auswahl der zu erfassenden Anlage aus einer vordefinierten Liste und ihre Zuordnung zu dem entsprechenden Raum. Sofern die räumliche Zugehörigkeit sämtlicher Anlagen bereits in der Vorbereitungsphase bekannt ist, entfällt dieser Schritt. In diesem Fall muss lediglich überprüft werden, ob die jeweilige Anlage auch tatsächlich vor Ort vorhanden ist. Sollte ein Bauteil nicht in der vordefinierten Liste enthalten sein, ist es erforderlich, dieses in der entsprechenden App anzulegen.

Im zweiten Schritt der Begehung werden die Pflichtfelder ausgefüllt, da sie wesentliche Informationen enthalten, die für die Durchführung von Wartungsarbeiten erforderlich sind. Sollte es aufgrund von Zeitmangel nicht möglich sein, alle Pflichtmerkmale vor Ort zu erfassen, müssen diese spätestens bei der Datennachreichung im Büro vervollständigt werden. Wenn die Pflichtmerkmale bereits in der Projektvorbereitung ausgefüllt wurden und von den Angaben an den Bauteilen abweichen, kann auch im Büro eine entsprechende Anpassung vorgenommen werden. Im Idealfall sollten auch Nicht-Pflichtfelder erfasst werden.

Im anschließenden Schritt wird ein vorher erstellter QR-Code an dem Bauteil angebracht, um eine eindeutige Identifikation der Anlage zu gewährleisten und den Zugriff auf die Anlagendaten

während der Wartungsarbeiten zu erleichtern. Zur Verknüpfung des QR-Codes mit der CAFM-Datenbank muss dieser erstmals mithilfe der Tablet-Kamera gescannt werden.

Im weiteren Verlauf der Begehung werden sowohl Weit- als auch Detailaufnahmen des Bauteils gemacht. Die Weitbilder dienen dazu, eine ganzheitliche Ansicht des Bauteils zu liefern, während die Detailbilder alphanumerische Daten zeigen, die beispielsweise auf Typenschildern oder Prüfplaketten zu finden sind.

Die beschriebenen Schritte werden für jede Anlage im jeweiligen Raum wiederholt, bis alle Anlagen erfasst sind. Nach Abschluss der Begehung werden die erfassten Daten im Büro auf Vollständigkeit überprüft und gegebenenfalls ergänzt.

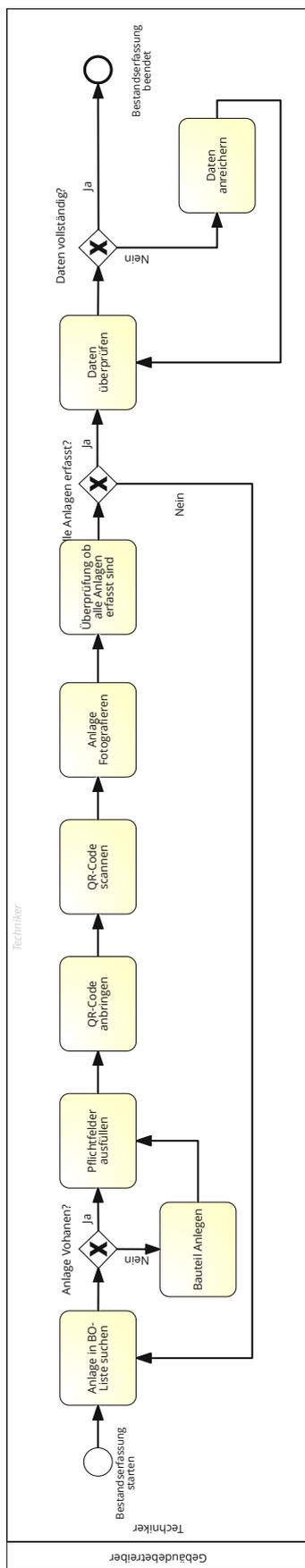


Abb. 3.8: Bestandserfassung Ist-Prozesse: Begehung vor Ort und Nachreichung im Büro

3.2 Soll-Prozesse

Die Bestandserfassung erfolgt in zwei Abschnitten: Begehung und Datenprozessierung. Für beide Abschnitte wurde in dieser Arbeit jeweils ein BPMN-Diagramm erstellt.

3.2.1 Begehung

Wie bei den Ist-Prozessen erfolgt die Bestandserfassung raumweise. Abb.3.9 zeigt ein BPMN-Diagramm mit den einzelnen Soll-Prozessen. Es gibt bei den Prozessen zwei Teilnehmer: ein Vermesser und ein Techniker. Der Vermesser erzeugt mit einem mobilen 3D-Laserscanner eine Punktwolke, parallel dazu nimmt er mit der integrierten 360°-Kamera Panoramabilder auf. Der zweite Teilnehmer ist ein Techniker, der die alphanumerischen Daten der TGA-Anlagen mittels einer App erfasst. Die Bestandserfassungs-App, welche auf einem Mobilgerät (Smartphone oder Tablet) installiert werden kann, wurde bereits im Vorfeld mit einer Datenbank eingespeist, die die Eigenschaften von TGA-Anlagen hat. Um den Entwicklungsaufwand in Grenzen zu halten, wurden lediglich vier Bauteile in der App integriert: Feuerlöscher, Sprinkleranlagen, zentrale Sicherheitsbeleuchtungen und ortsfeste Einzelsicherheitsbeleuchtungen.

Beim Betreten des Raumes nimmt der Vermesser zunächst ein Panoramabild vom Raumschild auf, dabei erfasst der Laserscanner automatisch die x,y,z-Koordinate des Raumschildes. Aus dem Bild kann dann im Zuge der Datenauswertung die Raumnummer abgelesen werden. Hier könnte in Zukunft eine Optical Character Recognition (OCR) die Information automatisch ablesen. Die Koordinate des Raumschildes liefert die örtliche Lage des Raumes innerhalb der Punktwolke.

Ungünstigen Lichtverhältnisse können die Bildqualität der Panoramabilder beeinträchtigen, dadurch ist die Lesbarkeit von den Raumnummern gefährdet ist. Um dem entgegenzuwirken, nimmt der Techniker im nächsten Schritt, mit einem Smartphone oder Tablet, ein Detailfoto vom Raumschild auf.

Im weiteren Verlauf nimmt der Vermesser ein Panoramabild von dem zu erfassendem Bauteil auf. Das Bild liefert eine visuelle Klarheit vom Bauteil. Der Laserscanner erfasst zwecks Lokalisierung des Bauteils die Koordinate auf.

Da in den Panoramabildern das gesamte Umfeld zu sehen ist, muss zwecks Identifizierung des Bauteils ein Foto vom Mobilgerät des Technikers erfasst werden. Analog zum Ist-Prozess, werden Typenschilder, Prüfplaketten etc. erfasst.

Als Nächstes wird ein Bauteil angelegt, indem der Techniker aus einem Dropdown-Menü die Bauteilbezeichnung ausgewählt wird. In Abhängigkeit der Auswahl tauchen Arbeitsanweisungen auf, sie dienen als Hilfestellung für den Techniker, um die Bauteile vollständig und richtig zu erfassen. Die Arbeitsanweisungen können variieren, beispielsweise schreiben Sie vor, welche zusätzlichen Fotos vom Bauteil aufgenommen werden müssen (z. B. Typenschild, Prüfplakette etc.). Weiters geben sie vor, welche Parameter für den jeweiligen Bauteil zu befüllen sind, darunter Pflichtparameter. Die Parameter bestehen aus Freitextfelder und Auswahllisten, die die technischen Eigenschaften des jeweiligen Bauteils beschreiben.

Die Parameterwerte können zwar mittels OCR digitalisiert werden, allerdings gibt es aus heutiger Sicht keine globale KI-Lösung, um die zu erfassenden Parameterwerte an der richtigen Stelle zu identifizieren, und in dem vorgesehenen Feld in der App zu befüllen. Das lässt sich mit der Tatsache begründen, dass unterschiedliche Hersteller andere Begriffe für die technischen Bezeichnungen verwenden können, außerdem kann die Position der Parameter im Typenschild variieren.

Diese Schritte werden wiederholt, bis sämtliche Anlage im jeweiligen Raum erfasst sind. Damit die spätere Datenprozessierung zu richtigen Ergebnissen führen, müssen sowohl Techniker als

auch Vermesser die Reihenfolge der Prozesse so befolgen, wie es im BPMN-Diagramm (Abb. 3.9) vorgesehen ist.

3.2.2 Soll-Bestandserfassung: BPMN

Um das Verständnis der einzelnen Prozessschritte aus Kap. 3.2.1 zu erleichtern, wurden die einzelnen Prozessschritte grafisch in ein BPMN-Diagramm übergeführt (Abb. 3.9). Im Folgenden werden die wesentlichen Schritte beschrieben:

Wie bei den Ist-Prozessen erfolgt die Bestandserfassung raumweise. Es gibt bei den Prozessen zwei Teilnehmer: ein Vermesser und ein Techniker. Der Vermesser erzeugt mit einem mobilen 3D-Laserscanner eine Punktwolke, parallel dazu nimmt er mit der integrierten 360°-Kamera Panoramabilder auf. Der zweite Teilnehmer ist ein Techniker, der die alphanumerischen Daten der TGA-Anlagen mittels einer App erfasst.

Die Bestandserfassungs-App, welche auf einem Mobilgerät (Smartphone oder Tablet) installiert werden kann, muss im Vorfeld Vorfeld mit einer Datenbank eingespeist, die die Eigenschaften von TGA-Anlagen enthält.

Beim Betreten des Raumes nimmt der Vermesser zunächst ein Panoramabild vom Raumschild auf, dabei erfasst der Laserscanner automatisch die x,y,z-Koordinate des Raumschildes. Aus dem Bild kann dann im Zuge der Datenauswertung die Raumnummer abgelesen werden. Hier könnte in Zukunft eine OCR die Information automatisch ablesen. Die Koordinate des Raumschildes liefert die örtliche Lage des Raumes innerhalb der Punktwolke.

Ungünstigen Lichtverhältnisse können die Bildqualität der Panoramabilder beeinträchtigen, dadurch ist die Lesbarkeit von den Raumnummern gefährdet. Um dem entgegenzuwirken, nimmt der Techniker im nächsten Schritt, mit einem Smartphone oder Tablet, ein Detailfoto vom Raumschild auf.

Im weiteren Verlauf nimmt der Vermesser ein Panoramabild von dem zu erfassendem Bauteil auf. Das Bild liefert eine visuelle Klarheit vom Bauteil. Der Laserscanner erfasst zwecks Lokalisierung des Bauteils die Koordinate auf.

Da in den Panoramabildern das gesamte Umfeld zu sehen ist, muss zwecks Identifizierung des Bauteils ein Foto vom Mobilgerät des Technikers erfasst werden. Analog zum Ist-Prozess, werden die Typenschilder, Prüfplaketten etc. erfasst.

Als Nächstes wird ein Bauteil angelegt, indem der Techniker aus einem Dropdown-Menü die Bauteilbezeichnung ausgewählt wird. In Abhängigkeit der Auswahl tauchen Arbeitsanweisungen auf, sie dienen als Hilfestellung für den Techniker, um die Bauteile vollständig und richtig zu erfassen. Die Arbeitsanweisungen können variieren, beispielsweise schreiben Sie vor, welche zusätzlichen Fotos vom Bauteil aufgenommen werden müssen (z. B. Typenschild, Prüfplakette etc.). Weiters geben sie vor, welche Parameter für den jeweiligen Bauteil zu befüllen sind, darunter Pflichtparameter. Die Parameter bestehen aus Freitextfelder und Auswahllisten, die die technischen Eigenschaften des jeweiligen Bauteils enthalten. Der Prozess endet, wenn die Bauteile sämtlicher Räume geschossübergreifend aufgenommen wurden.

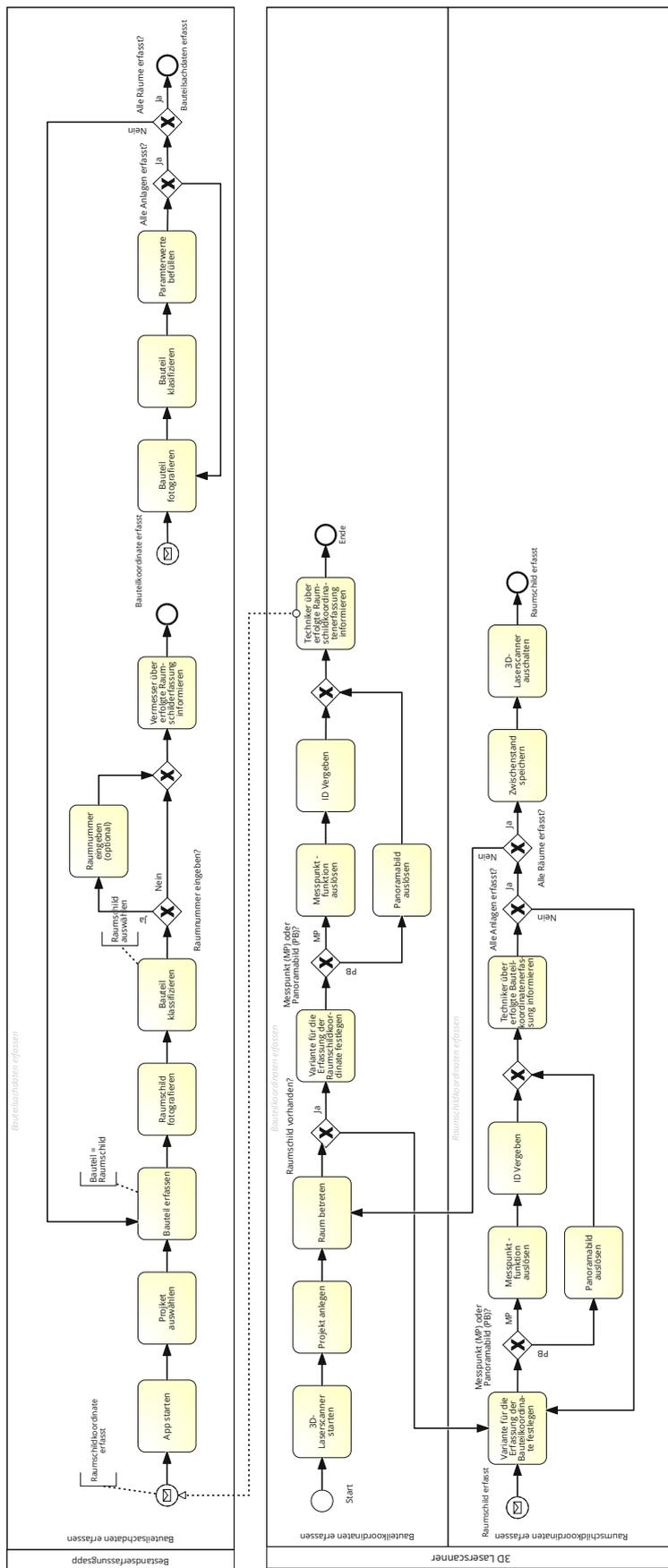


Abb. 3.9: Bestandserfassung Soll-Prozesse: Bauteil erfassen in einem Raum

3.3 Zusammenfassung

Im vorliegenden Kapitel wurden zunächst die IST-Bestandsaufnahmeprozesse analysiert, um Schwachstellen zu identifizieren und Optimierungspotenziale aufzudecken. Hierbei wurden alle relevanten Geschäftsprozesse systematisch erfasst und bewertet. Auf Basis der Ergebnisse wurde anschließend die SOLL-Bestandsaufnahme entwickelt, die eine zukunftsorientierte und effiziente Gestaltung der Geschäftsprozesse ermöglicht. Im nächsten Kapitel wird der Fokus auf die Entwicklung von Softwarelösungen gelegt, die notwendig sind, um die SOLL-Bestandsaufnahmeprozesse erfolgreich umzusetzen.

Kapitel 4

Datenprozessierung

Nach Abschluss der Begehung wird die erfasste Punktwolke in eine Cloud hochgeladen und anschließend bearbeitet. Hierbei werden die Teilsegmente der aufgenommenen Punktwolke relativ zueinander ausgerichtet, indem KI-gestützte Verfahren Überlappungen bei den einzelnen Teilaufnahmen erkennen und korrigieren. Das Ergebnis ist eine bearbeitete, nahtlos zusammenhängende Punktwolke, die in einer Cloud-basierten Anwendung betrachtet werden kann. Diese Anwendung bietet verschiedene Tools und Funktionen zur Verfügung, darunter Messwerkzeuge zur Bestimmung von Einzelstreckenlängen und Flächen, die Platzierung von Point of Interest (PoI), das Importieren und Exportieren von PoI-Positionen über CSV- oder JSON-Dateien sowie die Definition der Gebäudestruktur und den Export als JSON-Datei. Darüber hinaus bietet die Anwendung eine Application Programming Interfaces (API)-Schnittstelle zum Abrufen von bearbeiteten Daten, wie zum Beispiel Koordinaten von aufgenommenen Panoramabildern.

4.1 Verknüpfung von geometrischen und alphanumerischen Daten

Zu Beginn erfolgt ein Datenexport der prozessierten Daten aus der Webanwendung des Laserscanners. Der Export beinhaltet einen Ordner mit aufgenommenen Panoramabildern, sowie JSON-Dateien mit den Zeitstempel und Koordinaten des Laserscanners zum Aufnahmezeitpunkt des jeweiligen Bildes. Parallel dazu liefert ein Export aus der Webanwendung der Bestandserfassungs-App eine CSV-Tabelle, die die zuvor erhobenen Daten der TGA-Bauteile beinhaltet. Beide Exportdateien liefern den Input für ein selbst entwickeltes Python-Skript. Dabei verknüpft eine *SQL-Query* beide Tabellen, und erzeugt so eine Gesamttabelle, die sowohl geometrische als auch alphanumerische Daten enthalten. Das *key* bei der query ist in diesem Verfahren der Zeitstempel. SQL-queries sind über das Python-Paket *Pandasql* abrufbar.

Wie bereits in Kap. 3.2.1 erwähnt, muss die zeitliche Abfolge der Prozesse mit der Reihenfolge des BPMN-Diagramms 3.9 übereinstimmen, damit das Zusammenführen der Tabellen korrekt erfolgt. Abb.4.1 verdeutlicht, wie die Zuweisung der Datensätze über den Zeitstempel erfolgt.

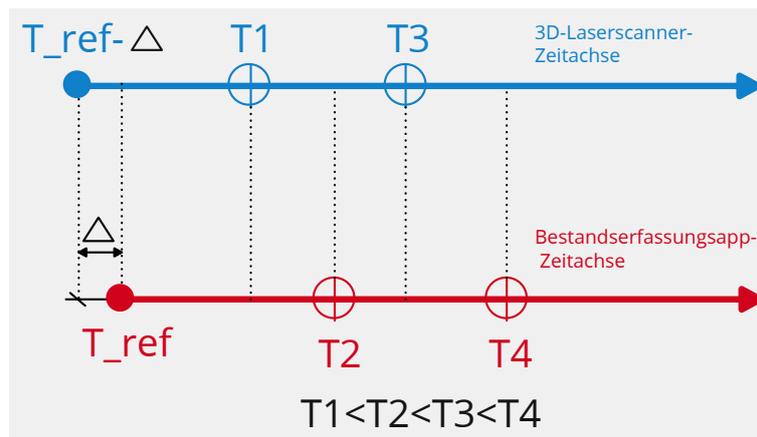


Abb. 4.1: Datenbanken zusammenführen, mit einem Zeitstempel als Schlüssel

Bei den Zeitstempel T_1 und T_2 handelt es sich jeweils um Erfassungszeitpunkte von Bauteilen, welche mit einem 3D-Laserscanner erzeugt wurden. Zeitlich versetzt davon bilden T_3 und T_4 Erfassungszeitpunkte derselben Anlagen, allerdings erfolgte hier die Erfassung mit einer Bestandserfassungapp. Eine richtige Datenzusammenführung gelingt nur dann, wenn für jedes Bauteil (B_k) folgende Konvention befolgt wird:

$$\forall T_i, T_{i+1} : T_{i+1} > T_i \quad (4.1)$$

Die *mapping*-Konvention mit dem Zeitstempel als *key* ist wie folgt:

$$B_k : T_{i+1} \mapsto T_i \quad (4.2)$$

mit $k =$ Anzahl der Bauteile und $i = 1$ bis $2 \cdot k - 1$

Nach der Konvention aus(4.2) bedeutet dies, dass für jedes Bauteil (B_k), die Datensätze aus T_{i+1} (Bestandserfassungapp) mit den Daten aus T_i (3D-Laserscanner) gemappt werden. Anders ausgedrückt: Jeder erfasste App-Datensatz in der Zeit (T_{i+1}) wird mit jenem Zeitstempel des Laserscanners verknüpft, dessen Zeitstempel am nächsten in der Vergangenheit liegt (T_i). Mit dem Parameter *backward* oder *forward* lässt sich in *Python* einstellen, ob Datensätze mit zeitlichen Vorgängern oder Nachfolgern verknüpft werden sollen. Je nach gewählter Reihenfolge bei der Begehung muss die passende Einstellung bei der Datenbankzusammenführung gewählt werden.

Angewendet auf das Beispiel in der Abb. 4.1 ist die Zuweisung der Datensätze wie folgt:

- $B_1 : T_2 \mapsto T_1$
- $B_2 : T_3 \mapsto T_2$
- .
- .
- .
- $B_k : T_{2 \cdot k - 1} \mapsto T_{2 \cdot k - 2}$

Das Δ in Abb. 4.1 weist auf den möglichen zeitlichen Versatz zwischen dem 3D-Laserscanner und des Mobilgeräts, auf dem die Bestandserfassungapp installiert ist. Dieses Fehlerpotential

tritt bei Laserscanner auf, die kein Global Positioning System (GPS) Signal empfangen können, und sich somit die Gerätezeit nicht automatisch kalibrieren kann. Die Differenz muss berechnet und bei der Datenauswertung berücksichtigt werden.

Nach dem Daten-Mapping erfolgt ein Export des Zwischenstands im xlsx-Format. Das *Pandas*-Paket enthält die dafür notwendigen Funktionen. Abschließend wird der Zwischenstand in Excel eingespielt, um fehlende Angaben zu ergänzen. Fehlende Daten können in MS-Excel ergänzt werden, wobei die Datenquelle beispielsweise von den aufgenommenen Detailfotos der Typenschilder stammen kann. Nachdem sämtliche Daten vervollständigt sind, liefert ein zweiter .xlsx-Export das endgültige Ergebnis. Abb.4.2 zeigt die geschilderten Prozessschritte grafisch.

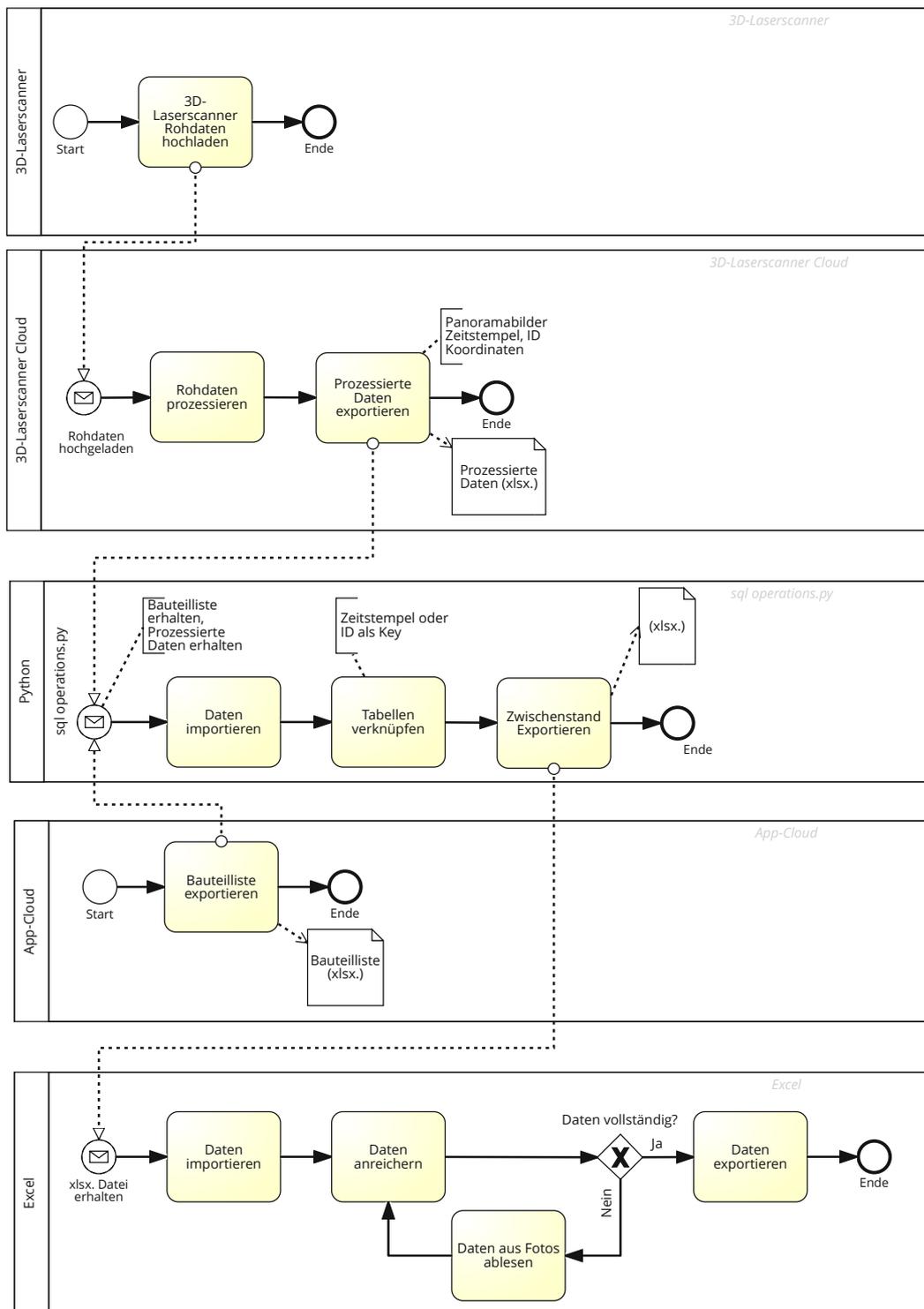


Abb. 4.2: Bestandserfassung Soll-Prozesse: Datenprozessierung nach Begehung

4.2 Verknüpfung der prozessierten Daten mit den Strukturdaten

Nach der Verknüpfung der alphanumerischen Daten der TGA- Komponenten mit den geometrischen Daten aus dem 3D-Laserscanner verbleibt das Anhängen der verarbeiteten Daten an die Gebäudestrukturdaten. Die erforderlichen Schritte für diesen Prozess sind in Abbildung 4.3 dargestellt.

Zunächst wird die Gebäudestruktur definiert. Die Strukturebenen sind in Gebäude, Geschoss und Raum oder Raumteil unterteilt. Danach wird pro definiertem Raum die Raumgrenzen mit einem Tool nachgezeichnet. Beide Schritte finden in der Webanwendung des Herstellers des 3D-Laserscanners statt(im BPMN-Diagramm mit *Cloud* bezeichnet). Der nächste Prozessschritt in der Cloud wäre der Import der *PoI-Importdatei* im .CSV-Format. Jedes importierte PoIs stellt ein TGA-Bauteil samt Eigenschaften dar. Ein Python-Skript liefert die PoI-Importdatei.

Ein prozedurales Python-Skript liest die prozessierte Daten, welche aus dem Produkt des Verfahrens gemäß 4.2 stammen, und befüllt die Eigenschaften der TGA-Bauteile in einer CSV.-Vorlagedatei. Die erzeugte PoI-Importdatei wird dann in die Cloud eingespielt.

Anschließend werden die Strukturdaten und die PoI-Datenbank aus der Cloud jeweils als JSON-Datei exportiert und in das Python-Skript importiert. Ein Algorithmus im Skript überprüft anhand der Koordinaten der Raumpolygone und der PoIs, welche TGA-Bauteile(PoI) in welchen Räumen liegen, und schreibt die zugehörige Raumnummer in einen Datensatz. Das erzeugte Anlagenverzeichnis bildet die Grundlage für einen Import in ein beliebiges CAFM-System.

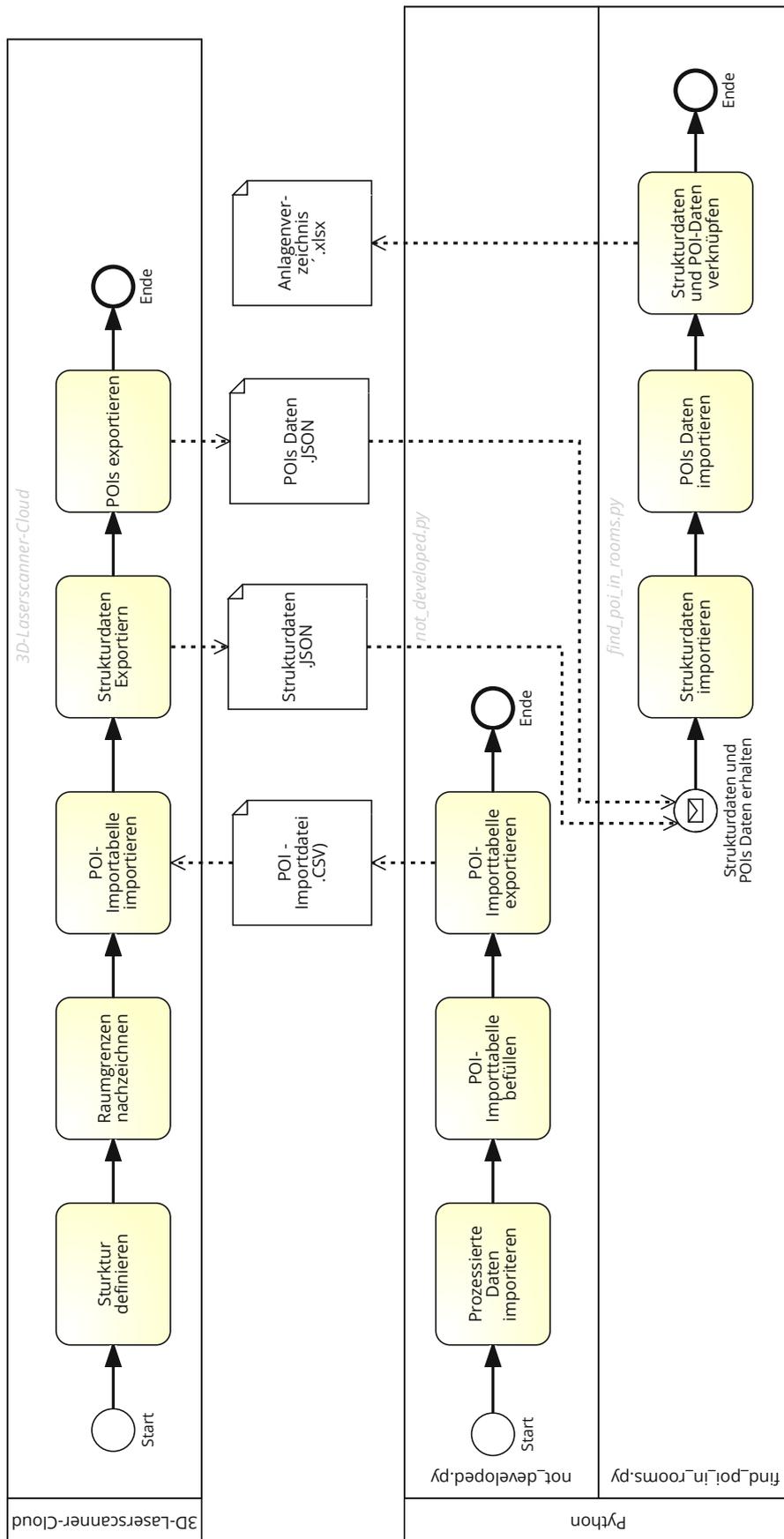


Abb. 4.3: Bestandserfassung Soll-Prozesse: POIs mit Strukturdaten verknüpfen

4.3 Zusammenführung von 3D-Raumkoordinaten mit anlagenspezifische Sachdaten

Die nachfolgende Beschreibung und Grafik (Abb. 4.4) dienen der Erläuterung des Schritts *Tabellen verknüpfen* aus dem BPMN-Diagramm (Abb. 4.2).

Im ersten Schritt liest das Python-Skript die erfassten TGA-Koordinaten. Dabei sind die Koordinatenquellen unterschiedlich. Diese stammen zum einen aus Messpunkt (MP)-Aufnahmen, zum anderen aus Panoramabildaufnahmen (PANs). Bei der Verwendung der ersten Variante ist zusätzlich die während des Scanvorgangs eingegebene Identifier (ID) im jeweiligen Datensatz enthalten.

Nachdem die 3D-Laserscannerdaten eingespielt wurden, werden beide Tabellen kombiniert. Dieser Schritt ist nicht mit einer Datenzusammenführung zu verwechseln, da lediglich Spalten erweitert werden. Das Datenmodell erweitert sich somit auf: [Zeitstempel(Unixzeit), ID, x-koord(MP), y-koord(MP), z-koord(MP), x-koord(PAN),y-koord(PAN), z-koord(PAN)]. Der Zeitstempel ist in der *Unixzeit* angegeben und wird für Lesezwecke in das Standardformat (Jahr/Monat/Tag Stunden/Minuten/Sekunden) konvertiert.

Im weiteren Verlauf werden die Bauteildaten aus der Bestandserfassungs-App eingespielt. Die Bauteilliste aus der App besteht in der aktuellen Fassung (25.04.2023) aus 40 Spalten. Diese sind:

- Datum und Zeit: `date_time`, `survey_datetime`, `survey_date`, `survey_time`, `utcoffset`, `created_user`, `created_date`, `last_edited_user`, `last_edited_date`,
- Bauteilidentifikation: `objectid`, `globalid`, `id_poi`
- Bauteilklassifikation: `bauteiltyp`, `kommentar`
- Bauteilparameter: `loescher_art`, `loescher_inhalt`, `brandklasse_feuerloescher`, `transportart_feuerloesch`, `typ_ausloesevorrichtung`, `loeschmittel_medium`, `anzahl_nassalarmventilstat`, `anzahl_trockenalarmventilstat`, `anzahl_ausspeisepunkte`, `volumen_wasserbehaelter`, `volumen_loeschmittelbehaelter`, `netzart`, `ausloesart_sprinkler`, `druckerhoehungsanlage_vorhd`, `trennstation_vorhanden`, `anzahl_zonenchecks`, `anlagenselbsttest`, `anz_leuchten_230v`, `anz_leuchten_24_60v`, `unterverteilungen_anzahl`, `anz_stromkreise`, `stromversorgung_sibe`, `schaltung_sibe`, `sonderbau_pruefungen`
- Fotos: `file_name`, `data_size`

Der entwickelte *Code* verwendet nicht alle aufgezählten Spalten. Die im Code angesprochenen Spalten sind: `bauteiltyp`, `kommentar`, `file_name` und `survey_datetime`.

- Spalte `survey_datetime`: Bauteilerfassungszeitpunkt in der Unixzeit.
- Spalte `file_name`: Fotoname des jeweiligen Bauteils. Pro Bauteil können mehrere Fotos vorhanden sein.
- Spalte `bauteiltyp`: per Dropdown-Menü ausgewählte Bauteile in der Bestandserfassungsapp
- Spalte `kommentar`: händisch eingegebenen Bauteilbezeichnungen, der nicht in der Dropdown-Liste zur Auswahl stehenden Bauteile in der Bestandserfassungsapp. Es sind nicht alle möglichen Bauteile in der Datenbank modelliert. Es sollte allerdings immer die Möglichkeit geben sein, nicht vorhanden Bauteile händisch einzugeben, unabhängig vom Datenmodell. So kann sichergestellt werden, dass, selbst wenn ein Bauteil nicht vorhanden ist, zumindest ein Hinweis hinterlassen werden kann.

Von Interesse, aber in ersten Softwareversion nicht verwendete Spalten, sind die Parameterspalten, `objectid`, `globalid`. Die restlichen Spalten sind aus heutiger Entwicklungsstandhinsicht irrelevant.

Im nächsten Schritt liest das Programm die Fotodateinamen aus der Spalte `Dateiname` (`file_name`) aus und konvertiert die Zeitangaben in das zuvor beschriebene Standardformat. So können Bauteilfotos bei Bedarf nach Datum und Uhrzeit gefiltert werden. Sollte der Zeitstempel bei der Erfassung eines neuen Bauteils nicht stimmten, helfen die Zeitangaben aus den Fotos dabei, die zuvor beschriebene Datenzusammenführung über den Zeitstempel zu bewerkstelligen. Sie bilden somit eine alternative Zeitquelle.

Im weiteren Verlauf erfolgt eine Datenbankzusammenführung zwischen den 3D-Laserscanner-Daten und den Daten aus der Bestandserfassungsapp. Bei Bauteilen, die mit der Messpunktfunktion erfasst werden, erfolgt der *Merge* mit einer ID als Schlüssel. Für Panoramabildern erfasste Bauteile dient der Zeitstempel der Erfassung als Schlüssel. Die erzeugten Tabellen werden im nächsten Schritt kombiniert und anschließen als `xlsx`-Tabelle exportiert.

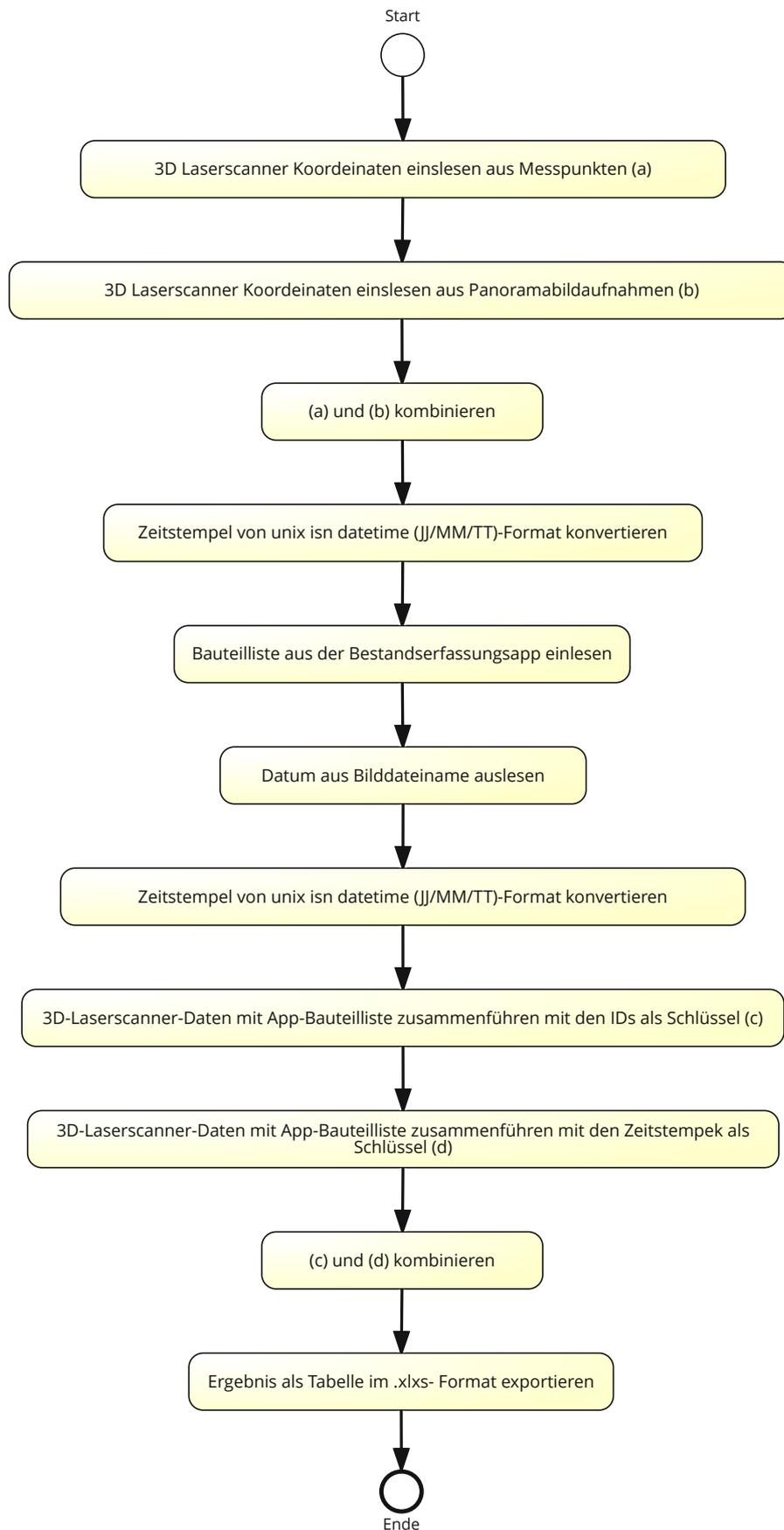


Abb. 4.4: UML-Diagramm eines Python-Skripts zur Zusammenführung von 3D-Raumkoordinaten mit anlagenspezifische Sachdaten

4.4 Verknüpfung von Strukturdaten mit Bauteildaten

Beim entwickelten Python-Skript handelt es sich um ein prozedurales Code. Die Aufgabe ist es, Gebäudestrukturdaten und PoI-Daten aus der cloudbasierten Anwendung des Laserscanners einzulesen, und anhand der Koordinaten festzustellen, welches PoI in welchem Raum liegt.

Der erste Schritt beginnt mit dem Einlesen der Gebäudestrukturdaten (.JSON), welche die Koordinaten der gezeichneten Raumpolygone gemäß dem BPMN-Diagramm 4.3, sowie die Raumbezeichnung beinhalten. Die Angaben sind Geschoss-übergreifend. Die Strukturdaten sind einer verschachtelten .JSON gespeichert.

Im zweiten Schritte werden Ebenen-Polygone aus den eingespielten Ebenen-Koordinaten erzeugt. Diese Ebenen stellen das jeweilige Geschoss dar.

Als nächstes erfolgt das Einspielen der PoIs. Das Datei-Format ist ebenfalls das .JSON. Ein PoI stellt ein Bauteile dar mit x,y,z-Koordinate, mit entsprechenden Parametern. Die im nächsten Schritt in einer Liste gespeichert werden

Im weiteren Prozedere werden die x,y-Koordinaten der einzelnen PoI in einer Liste gespeichert. Auf den z-Koordinaten wird verzichtet, da eine Projizierung auf der x-y-Ebene (Geschoss) stattfindet. PoI. Es langt somit, wenn die Höhe (z-Komponente) des jeweiligen PoI zwischen zwei Geschossebenen liegt, um die richtige Ebene zuzuweisen. Es sei angemerkt, dass der Code in der aktuellen Version, keine Deckensprünge berücksichtigt. Dies müsste in zukünftigen Entwicklungen bedacht werden.

Darauffolgend erzeugt das Programm aus den Raumkoordinaten Raumpolygone. Die als Input für den nächsten Schritt dienen.

Anschließend wird anhand der PoI- und der Raumpolygonkoordinaten überprüft, welches PoI in welchem Raum liegt. Durch entsprechende Iterationsschritte können so automatisiert sämtliche Bauteile mit den Räumen verknüpft werden.

Zum Schluss erfolgt ein Export in formt eine .xlsx-Tabelle. Die Spalten der beinhalten die Bauteilbezeichnung, Raumnummer und die x,y-Koordinaten der PoI(Bauteile).

Der Vorteil des entwickelten Skripts liegt in der geringeren Fehleranfälligkeit bei der Raumnummerzuweisung. Im Vergleich zur konventionellen tabellarischen Methode ohne Raumbezug, besteht das Potenzial zur händischen Fehleingabe der Raumnummer, in der sich die jeweiligen Anlagen befinden. Einen geometrischen Bezug zur Punktwolke hilft dabei, dieses Fehlerpotential zu reduzieren. Außerdem kommt es zu Zeiteinsparungen, da die Auswertungsdauer des Skripts im Sekundenbereich liegt, und somit auch hunderte Räume geometrisch mit den erfassten Bauteilen verknüpft werden können.

Die beschriebenen Prozessschritte sind im Flussdiagramm (Abb. 4.5) grafisch dargestellt.

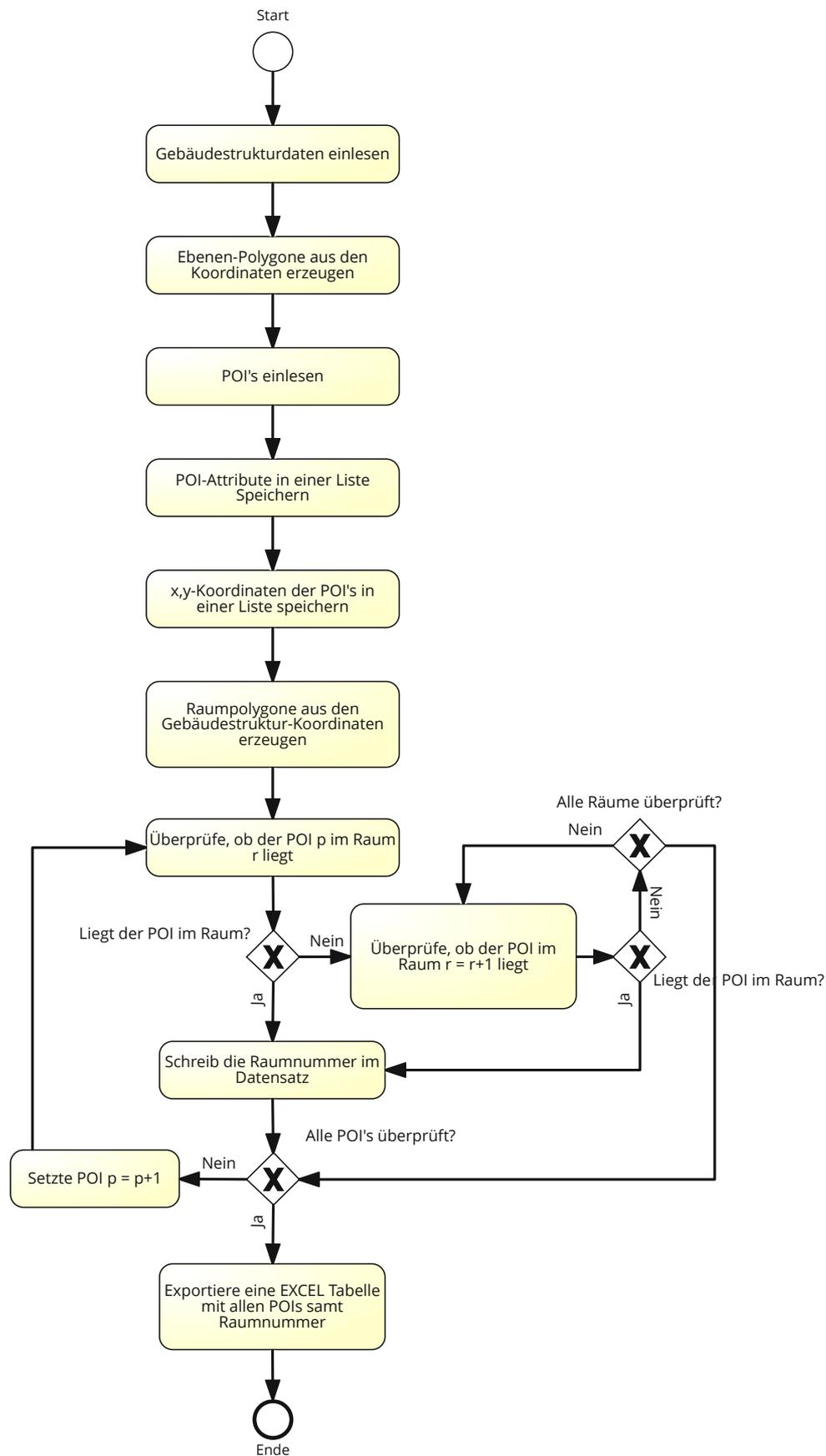


Abb. 4.5: Flussdiagramm-Diagramm eines Python-Skripts zur Verknüpfung von Strukturdaten mit Bauteildaten

4.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden entwickelte Workflows und prozedurale Pythonskripte beschrieben, welche geometrische Anlagendaten (GAD), in Form von Raumkoordinaten (x-, y-, z-Koordinaten), mit alphanumerischen Sachdaten, die die Semantik der erfassten Anlagen beschreiben, über SQL-Querys verknüpft. Dabei stammen die GAD aus Aufnahmen eines mobilen 3D-Laserscanners, die alphanumerischen hingegen aus Erhebungen einer mobilen Bestandserfassungssapp, eingespeist mit einem Ausschnitt eines FM-Datenmodells. Der Gesamtprozess wurde in Form eines BPMN-Diagramm (Abb. 4.2), der zugehörige Code im Unified Modeling Language (UML)-Diagramm (Abb. 4.4), beschrieben.

Im zweiten Abschnitt wurde ein Workflow zur Verknüpfung der prozessierten Daten mit den Strukturdaten grafisch über dem BPMN-Diagramm (Abb. 4.3) beschrieben. Der Verknüpfungsprozess ist über ein Python-Skript bewerkstelligt worden. Die einzelnen Algorithmus Schritte sind im Abflussdiagramm (Abb. 4.5) grafisch dargestellt. Das nächste Kapitel befasst sich der Erprobung der Workflows und Codes an reale Bestandsobjekte.

Kapitel 5

Praktische Anwendung des Workflows

Um die Praxistauglichkeit des entwickelten Prototyps zu validiert, erfolgte eine Bestandserfassung an zwei Gebäuden in Wien, die sich von der Bauweise, Nutzung und Bauperiode unterscheiden.

5.1 Beispiel 1: Gründerzeithaus

Das am Ende des 20. Jahrhunderts in geschlossener Bauweise errichtete Gebäude liegt in der Wiener Innenstadt. Es besteht aus zwei unterirdischen und fünf oberirdischen Geschossen. Die Technikräume befinden sich bei diesem Objekt in den Untergeschossen. In den oberen Geschossen befinden sich diverser Büros, unter anderem Rechtskanzleien. Der verwinkelte Grundriss des Eckhauses, wie in Abb. 5.1 zu sehen ist, stellt eine besondere Herausforderung für die Bestandserfassung dar.

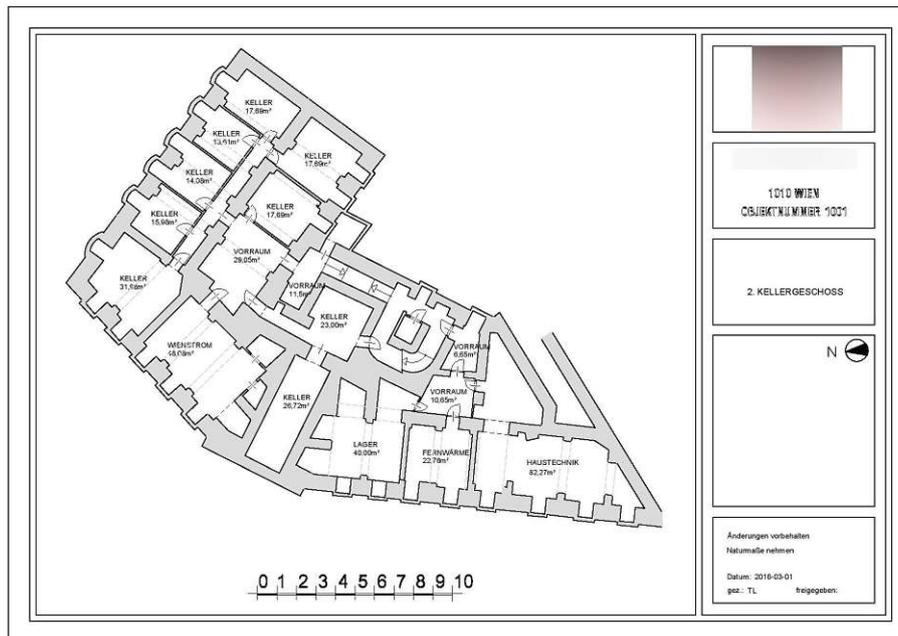


Abb. 5.1: Grundriss des zweiten Untergeschosses eines Bestandsgebäudes in Wien 1010

Die Bestandserfassung fand am 20.12.2022 statt. Um möglichst ohne Hindernissen zu arbeiten, erfolgten die notwendigen Vorbereitungsmaßnahmen bereits am Vortag. Dabei haben sich die Projektbeteiligten vor Ort über den Pfad der Begehung und den zu erfassenden Bauteilen abgestimmt. Der gewählte Pfad richtet sich nach den Räumlichkeiten, in denen sich TGA-Bauteile vorhanden sind. Türen, die den Pfad blockieren, wurden, sofern es sich nicht um Brandschutztüren

handelt, aufgesperrt und offen gelassen. Die Reihenfolge der Begehung war wie folgt: zweites Untergeschoss, erstes Untergeschoss, Stiegenhaus und das Dachgeschoss (Aufzugstriebwerksraum).

Beteiligt an der Begehung waren ein Bauingenieur, ein Vermesser und der zuständige Haustechniker des Gebäudes. Die Aufgabe des Bauingenieurs war es, mithilfe einer App die TGA-Bauteile mit deren alphanumerischen Daten zu erfassen. Der Vermesser erzeugte mit einem mobilen 3D-Laserscanner eine Punktwolke vom Gebäude. Weiters nahm er die Raumkoordinaten der erfassten Bauteile auf, dabei lieferte eine Variation von Einzelmesspunkten und Panoramabildern die gewünschten Raumkoordinaten der Bauteile. Zutritt zu den Räumlichkeiten verschaffte der Haustechniker des aktuellen Gebäudebetreibers, der mit den Gebäudeanlagen vertraut ist.

Die Bestandserfassung umfasste neben dem Anlagen in den unterirdischen Technikräumen, die Bauteile im Stiegenhaus und im Triebwerksraum des Aufzugs. Laut dem Haustechniker sind Anlagen mit Zähler jedenfalls zu erfassen, da sich Zählerstandlesung in wiederkehrenden Intervallen wiederholen. So ist es beispielsweise bei einem Wasserzähler der Fall (siehe Abb. 5.2). Um eine bessere Punktwolkenüberlappung zu schaffen, begann und endete der Scan im Bereich des Stiegenhauses.



(a) Wasserzuleitung



(b) Wasserzähler

Abb. 5.2: Wasserzuleitung mit Wasserzähler

Der Begehungsablauf lehnte sich an den Schritten aus dem BPMN-Diagramm (3.9). Danach erfolgte die Datenprozessierung gemäß den Prozessen in (4.2).

Herausforderungen der Bestandserfassung

Während des Scanvorgangs musste sichergestellt werden, dass die Projektbeteiligten möglichst nicht vom Scanner erfasst werden. Zwar können Algorithmen erfasste Personen aus der Punktwolke

automatisch filtern, allerdings sind Fehler bei der Prozessierung nicht auszuschließen. Somit bieten sich präventive Maßnahmen an, wie das Verbergen hinter Objekten, die vom Lichtstrahl des Laserscanner undurchdringlich sind (z. B. Wände oder Stützen). Dies ist nicht immer gelungen (siehe Abb. 5.3).



Abb. 5.3: Panoramabild von einem Heizraum

In Abb. 5.3 ist links der Bauingenieur zu sehen, der die alphanumerischen Anlagendaten mit der mobilen App sammelt. Ideal wäre es, wenn der Laserscanner und das Mobilgerät von demselben Techniker bedient wird. So können zum einen Kosten gespart werden, zum anderen reduziert sich die Anzahl an Personen, die versehentlich vom Laserscanner erfasst werden, dazu zählt der Haustechniker, der in den Panoramaaufnahmen zu sehen ist, auf dessen Dienste während der Bestandserfassung unter gewissen Voraussetzungen verzichtet werden kann. Dies ist der Fall, wenn der Zutritt zu allen relevanten Räumlichkeiten gegeben ist, und wenn die mobile Bestandserfassungs-App über einer KI Bauteile erkennen und Vorschläge geben kann, um welche Anlage es sich handelt. Dazu fehlt es aber aus heutiger Sicht an ausreichend Lerndaten, die von den verschiedenen Anlagen gesammelt werden müssten.

Die Vergabe von ID verlief nicht ohne Fehler. Wie in Tab. B.4 zu sehen, wurde die ID 758 zweimal vergeben. Es wird davon ausgegangen, dass es zu einem Kommunikationsproblem zwischen dem Bauingenieur und dem Vermesser gekommen ist, was zu dieser Fehleingabe geführt hat. Hier könnte eine W-LAN Verbindung das Problem lösen, indem ein Signal vom 3D-Laserscanner an das Mobilgerät gesendet wird, dass die vergebene ID enthält.

Ergebnisse

Das Zusammenführen der Datenbanken aus der mobilen Bestandserfassungsapp (Tab. B) und dem 3D-Laserscanner (Tab. B.5 bis Tab. B.8) verlief erfolgreich. Dabei diente zum einen der Zeitstempel als Schlüssel (Tab. 5.1 und Tab.5.2), zum anderen die zugewiesene IDs (Tab. 5.3). Die Beurteilung der Richtigkeit der erzeugten Tabelle, welche mit dem Zeitstempel als Schlüssel zusammengeführt wurde, erfolgte über einen Abgleich zwischen den Bauteilaufnahmen, die mit dem Mobilgerät aufgenommen sind, und mit den Panoramaaufnahmen des 3D-Laserscanners.

Tab. 5.1: Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungssapp mit dem Zeitstempel als Schlüssel (Ausschnitt). Koordinaten aus den Panoramabildaufnahmen

bauteiltyp	kommentar	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
Sicherheitsbeleuchtung	-	2022-12-20 07:56:13	3.244596	-0.445394	1.028221
Nicht klassifiziert	Stromzähler	2022-12-20 08:00:04	7.166877	-10.373196	1.019552
Nicht klassifiziert	Stromzähler	2022-12-20 08:01:25	7.166877	-10.373196	1.019552
Feuerlöscher	-	2022-12-20 08:03:12	6.892219	-10.921468	0.997566
Nicht klassifiziert	Stromzähler	2022-12-20 08:04:41	7.034022	-10.604258	0.988204

Bei der Tab. 5.1 haben zwei verschiedene Bauteile (Stromzähler) die selbe Koordinate. Dies ist auf die nicht Einhaltung der vorgegebenen Prozessschritte aus dem BPMN-Diagramm (Abb. 3.9) zurückzuführen. Dieselbe Problematik kommt in der Tab. 5.2 vor.

Tab. 5.2: Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungssapp mit dem Zeitstempel als Schlüssel. Koordinaten aus den Messpunkten

bauteiltyp	kommentar	timestamp	pos-x	pos-y	pos-z
Nicht klassifiziert	Umformer (UFO)	2022-12-20 08:57:47	-2.801060	-9.552910	-0.098030
Nicht klassifiziert	-	2022-12-20 08:58:02	-2.801060	-9.552910	-0.098030
Nicht klassifiziert	Heizungsventil	2022-12-20 09:11:09	-14.550150	-8.024310	19.337930
Nicht klassifiziert	Geschoßschild	2022-12-20 09:11:46	-15.271850	-9.662580	17.213730
Nicht klassifiziert	Wasserzähler	2022-12-20 09:14:44	-15.291340	-9.774170	22.006500
Nicht klassifiziert	Geschossschild	2022-12-20 09:20:14	-14.544510	-8.136270	27.258740
Nicht klassifiziert	Wasserzähler	2022-12-20 09:22:02	-14.544510	-8.136270	27.258740
Nicht klassifiziert	Wasserzähler	2022-12-20 09:22:12	-14.544510	-8.136270	27.258740

In der Tab. 5.3 erfolgte die Datenzusammenführung mit IDs als *key*.

Tab. 5.3: Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungssapp mit IDs als Schlüssel

id-poi	bauteiltyp	kommentar	pos-x	pos-y	pos-z
755	Nicht klassifiziert	-	-4.960100	-8.648260	0.794710
756	Nicht klassifiziert	Trafo	-2.801060	-9.552910	-0.098030

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. 5.3: Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungsapp mit IDs als Schlüssel

id-poi	bauteiltyp	kommentar	pos-x	pos-y	pos-z
757	Nicht klassifiziert	UFO	-1.914010	-9.716170	-0.092310
758	Nicht klassifiziert	-	-1.162990	-9.931400	-0.085780
758	Nicht klassifiziert	Schoß Schild	-1.162990	-9.931400	-0.085780
758	Nicht klassifiziert	-	-14.550150	-8.024310	19.337930
758	Nicht klassifiziert	Schoß Schild	-14.550150	-8.024310	19.337930
759	Nicht klassifiziert	Heizungs Ventil	-15.271850	-9.662580	17.213730
760	Sicherheitsbeleuchtung	Heizungsventil	-13.412160	-6.520320	17.276650
761	Nicht klassifiziert	Geschoßschild	-14.579660	-8.138690	22.975890
762	Nicht klassifiziert	Heizungsventil	-15.291340	-9.774170	22.006500
763	Nicht klassifiziert	Wasserzähler	-13.505820	-6.614490	22.080980
764	Nicht klassifiziert	Geschossschild	-14.544510	-8.136270	27.258740
765	Nicht klassifiziert	Wasserzähler	-15.246630	-9.715990	26.337510
766	Nicht klassifiziert	Wasserzähler	-13.442900	-6.604270	26.397580
767	Nicht klassifiziert	-	-10.306970	-9.011410	35.480700
769	Nicht klassifiziert	Dokument Rauchfangkehrer	-8.720850	-11.498170	35.374590

Aufgrund der Übereinstimmung lässt sich feststellen, dass die Datenzusammenführung über den die vergebenen IDs überwiegend zu richtigen Ergebnissen geführt hat. Ausnahme dabei bildet Datensatz in der Tab. 5.3 mit der ID 758. Dies lässt sich auf den zuvor beschriebenen Eingabefehler zurückführen.

5.2 Beispiel 2: Neubau

Bei dem Objekt handelt es sich um ein Bürogebäude in Wien mit einer Nutzfläche von 17.000 m^2 , pro Geschoss sind es 1.700 m^2 . Die Fertigstellung erfolgte Anfang des gegenwärtigen Jahrhunderts. Hier stellt der Z-förmige Grundriss (siehe Abb. 5.4) aufgrund der Komplexität der Geometrie eine Herausforderung für herkömmliche Bestandserfassungsverfahren. Die Gestaltung des Großraumbüros ist modern und dem Open Space gewidmet. Im Vergleich zu konventionellen Büros, gibt es keine Barrieren in Form von Trennwänden zwischen den Arbeitsplätzen. Einzelnen Telefonzellen für Online-Meetings, sowie Besprechungsräume sind baulich von Wänden umschlossen, um eine Lärmbelastung zu vermeiden.



Abb. 5.4: Grundriss: Open Space Großraumbüro

Der Scan erfolgte wie beim vorherigen Beispiel mit einem mobilen 3D-Laserscanner. Zur Erfassung der TGA-Bauteile diente eine mobile Bestandserfassungsapp, dabei schränkte sich die Erhebung auf 3 Bauteile: Feuerlöscher, Sprinkler und Brandmelder. Im Gegensatz zum vorherigen Versuch beim Gründerzeithaus stehen bei diesem Objekt keine Scanner-Rohdaten zur Verfügung. Somit muss ein fiktiver Zeittempel samt Koordinaten erzeugt werden, damit Ergebnisse generiert werden können.

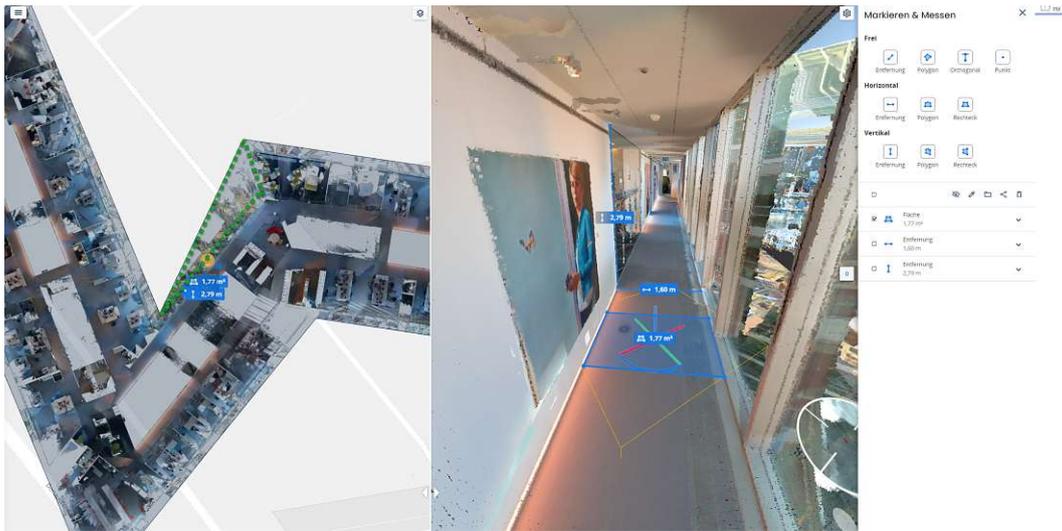


Abb. 5.5: Längen- und Flächenmessungen an einer Punktwolke in einer cloudbasierten Webanwendung

Reflektierende Flächen wie Glasfassaden können zu Fehlern beim Prozessieren der Punktwolke führen. Die Abweichung ist zwischen dem realen Grundriss und dem generierten Grundriss aus der Punktwolke ist Abb. 5.5 grün strichliert markiert.

Ergebnisse

Das Konzept mit dem Zeitstempel als Schlüssel zur Datenzusammenführung ist Monate nach der Bestandserfassung mit dem 3D-Laserscanner zustande gekommen. Somit sind die Bauteilkoordinaten und der Zeitstempel der Erfassung mit Scanner nicht bekannt. Die Scanner Rohdaten müssten somit für eine Datenauswertung generiert werden. Reale App-Rohdaten mit alphanumerischen Daten sind hingegen vorhanden. Bei diesem Versuch erfolgte der *merge* der Datenbanken ausschließlich mit dem Zeitstempel zwischen Erfassung mit Laserscanner und App als *key*. In Tab. 5.4 zusammengefasst.

Tab. 5.4: Beispiel 2 Neubau: Datenbanken zusammenführen, mit dem Zeitstempel als Schlüssel

bauteiltyp	timestamp-app	timestamp-scanner	pos-x	pos-y	pos-z
Feuerlöscher	1670940027099	1670940027109	-9.92020	-17.29652	1.58942
Sprinkleranlage	1671015608469	1671015608480	-5.60212	-19.10582	-0.19606
Brandmelder	1671020861052	1671020861065	-2.32598	-19.86280	-0.17156
Feuerlöscher	1671026687825	1671026687836	-29.10030	-16.04862	38.67586
Sprinkleranlage	1671027258469	1671027258480	-30.49326	-19.43198	52.67502

Die Zeitangaben in der zweiten und dritten Spalte der Tab. 5.4 sind in der *Unix* Zeitdefinition angeben. Die Zahl entspricht der Anzahl an Sekunden, die seit dem 01.01.1970 vergangen sind. Der Zeitstempel der Laserscanner-Messpunkte wurde so gewählt, dass die Sekundenangaben zwischen zwei hintereinander folgenden App-Zeitstempel liegt. So konnte zur Gänze richtige Ergebnisse erzielt werden. Der Datensatz von der App enthält Bauteilparameter. Diese sind aufgrund der Zeilenlänge in einer separaten Tabelle dargestellt. In Tab. 5.5 sind die erfassten

Feuerlöscher-Parameter zu finden. Die Attribute der Sprinkleranlagen sind dem Anhang (Tab. B.9 und Tab. B.10) zu entnehmen.

Tab. 5.5: Ergebnisse Bürogebäude: Erfasste Feuerlöscher-Parameter

timestamp-app	bauteiltyp	Löscherart	Löscherinhalt	Brandklasse	Transportart
1670940027099	Feuerlöscher	CO2	1 kg	B	fahrbar
1671026687825	Feuerlöscher	Wasser	9 l	A	tragbar

Die Sachdaten des Feuerlöschers mit dem Zeitstempel 1670940027099 stammen vom den Angaben des Typenschildes(Abb. 5.6).



Abb. 5.6: Typenschild eines Feuerlöschers

Der nächste Abschnitt fasst die wesentlichen Punkte dieses Kapitels zusammen.

5.3 Zusammenfassung

In Kapitel 5 der Diplomarbeit wird die praktische Anwendung des entwickelten Workflows zur Bestandserfassung von TGA-Anlagen anhand von zwei Wiener Gebäuden beschrieben. Das erste Beispiel betrifft ein Gründerzeithaus in der Innenstadt mit einem komplexen Grundriss, bei dem die Technikräume in den Untergeschossen liegen und diverse Büros in den oberen Geschossen untergebracht sind. Die Bestandserfassung fand mit einem Bauingenieur, einem Vermesser und dem Haustechniker des Gebäudes statt. Der Bauingenieur nutzte eine App, um die alphanumerischen Daten der TGA-Bauteile zu erfassen, während der Vermesser eine Punktwolke mit einem mobilen 3D-Laserscanner erzeugte und die Raumkoordinaten der Bauteile aufnahm. Die Erfassung umfasste auch die Anlagen in den Technikräumen sowie im Stiegenhaus und im Triebwerksraum des Aufzugs. Es wurden Schwierigkeiten bei der Erfassung von Personen während

des Scanvorgangs festgestellt. Um dies zu vermeiden, wurden präventive Maßnahmen wie das Verbergen hinter Objekten empfohlen.

Das Kapitel zeigt, dass der entwickelte Prototyp zur Bestandserfassung in der Praxis erfolgreich eingesetzt werden kann. Es wurden präventive Maßnahmen getroffen, um Fehler bei der Prozessierung zu vermeiden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Erfassung von TGA-Bauteilen und Zählern in wiederkehrenden Intervallen wiederholt werden sollte.

Zukünftige Forschungen könnten sich auf die Integration des Prototyps in bestehende Systeme und Prozesse konzentrieren. Eine weitere Möglichkeit wäre, den Prototypen auf andere Gebäudearten und -größen anzuwenden, um die Praxistauglichkeit unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen. Es könnte auch untersucht werden, ob die Erfassung von Bauteilen und Zählern mit Künstlicher Intelligenz verbessert werden kann. Schließlich könnten weitere präventive Maßnahmen entwickelt werden, um Fehler bei der Prozessierung zu minimieren.

Kapitel 6

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde ein Workflow entwickelt, der die Erhebung von geometrischen und alphanumerischen Bestandsdaten ermöglicht. Der Schwerpunkt des Workflows lag dabei auf der Erfassung von TGA-Anlagen. Zwei Bestandsgebäude in Wien wurden als Testobjekte für die praktische Anwendung des Verfahrens ausgewählt. Zur Erfassung der Gebäudegeometrie und der Anlagenpositionen kam ein 3D-Laserscanner zum Einsatz, während die Anlagensachdaten mit einer Bestandserfassungsapp erhoben wurden. Der Workflow ist einfach und effizient anwendbar und stellt somit ein wertvolles Instrument für die Bestandserfassung dar.

Die Entwicklung des Workflows ermöglicht eine strukturierte Übertragung von TGA-Daten in ein CAFM-System und beantwortet somit die Forschungsfrage, wie eine digital gestützte Bestandsaufnahme erfolgen sollte. Eine Herausforderung bestand darin, die zeitliche Abfolge der Prozessschritte einzuhalten, da sonst Fehler bei der Zusammenführung der Datenbanken auftreten können. Die begrenzte Anzahl von Bauteilen, die aus einem CAFM-Datenmodell in einer Bestandserfassungs-App nachmodelliert wurden, sowie der hohe manuelle Aufwand bei der Übertragung der Daten zwischen den beiden Systemen, stellen Einschränkungen dar und erfordern die Entwicklung von Automatisierungslösungen.

Die vorliegende Arbeit stellt einen bedeutenden Beitrag für die Digitalisierung von Bestandsgebäuden dar und hat darüber hinaus eine hohe Relevanz für die zukünftige Entwicklung von intelligenten Gebäudemanagementsystemen. Die Umsetzung des Workflows zur digital gestützten Bestandsaufnahme ermöglicht eine effiziente und strukturierte Übertragung von TGA-Daten in ein CAFM-System und kann somit zu einer erheblichen Zeit- und Ressourceneinsparung beitragen. Dieser praktische Nutzen der Arbeit wird durch die erfolgreiche Anwendung des Workflows in einem realen Projekt untermauert. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen zudem das Potenzial von Automatisierungsverfahren auf, um zukünftig noch effizientere und präzisere Bestandserfassungen zu ermöglichen.

Die Entwicklung eines digital gestützten Workflows zur Bestandsaufnahme von TGA-Daten und deren Übertragung in ein CAFM-System kann zu erheblichen Kosteneinsparungen im Betrieb und der Wartung von Bestandsgebäuden führen. Die Bestandserfassungsapp ermöglicht eine präzise und schnelle Datenerhebung, insbesondere in Kombination mit der 3D-Laserscanning-Technologie. Die automatisierte Übertragung der erfassten Daten in das CAFM-System könnte in Zukunft weitere Effizienzsteigerungen ermöglichen.

Jedoch gibt es Einschränkungen bei der vorliegenden Arbeit, wie beispielsweise die begrenzte Anzahl der getesteten Bestandsgebäude und die begrenzte Nutzung der generierten Daten für die BIM-Modellierung. Es bleibt auch eine Frage für zukünftige Forschungsarbeiten, wie aus den erfassten TGA-Daten BIM-Modelle für den Betrieb generiert werden können. Ebenso ist die automatisierte Datenübertragung in das CAFM-System ein Thema, das weiterer Forschung bedarf.

Literatur

- [1] Ajlani. „Dreidimensionale Erfassung der beiden Hallen der Fahrzeugwerk FWW GmBH in Neubrandenburg mit einem 3DLaserscannersystem HDS6000“. Diplomarbeit. Hochschule Neubrandenburg, 2008.
- [2] *aurivus - From scanning to digital twin*. Zugriff am 05.03.2023. URL: <https://aurivus.com/>.
- [3] *AutoCAD LT 2023 Help | About Digitizing Tablets | Autodesk*. Zugriff am 03.05.2023. März 2022. URL: <https://help.autodesk.com/view/ACDLT/2023/ENU/?guid=GUID-01586010-0E5B-4440-A273-5E253D474961>.
- [4] T. Barton, C. Müller und C. Seel. *Geschäftsprozesse : Von der Modellierung zur Implementierung*. ger. Angewandte Wirtschaftsinformatik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-658-17297-8.
- [5] T. Baumgärtel, T. Horenburg, Y. Ji, M. Obergriößer, C. Plank, M. Schorr, B. Strackenbrock und J. Wimmer. *Die Umsetzung der Digitalen Baustelle*. ger. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. ISBN: 9783642164859.
- [6] F. Berner, B. Kochendörfer und R. Schach. *Grundlagen der Baubetriebslehre 2 : Baubetriebsplanung*. ger. 2. Aufl. 2013. Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013. ISBN: 978-3-658-03227-2.
- [7] *BIM im Betrieb: Die Schnittstelle zwischen der BIM- und CAFM-Anwendung*. Zugriff am 27.01.2023. Apr. 2022. URL: <https://www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital/kos/WNetz?art=News.show&id=1186>.
- [8] A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz. *Building Information Modeling : Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. ger. 2nd ed. 2021. VDI-Buch. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg, 2021. ISBN: 3658333618.
- [9] *CAD | Computer-aided Design*. Zugriff am 03.05.2023. Okt. 2022. URL: <https://www.loyhutz.de/anwendungen/computer-aided-design-cad/>.
- [10] *CAFM-Connect - Gebäudedaten einfach austauschen*. Zugriff am 02.04.2023. Mai 2013. URL: cafmsconnect.org.
- [11] *Construction Operations Building Information Exchange / COBie › buildingSMART Austria*. Zugriff am 02.04.2023. Dez 2020. URL: <https://www.buildingsmart.co.at/glossar-entries/construction-operations-building-information-exchange-cobie/>.
- [12] *DIN 276:2018 12: Kosten im Bauwesen*. Berlin: Deutsches Institut für Normungen, Dez. 2018.
- [13] *DIN 6779-1:1995 07: Kennzeichnungssystematik für technische Produkte und technische Produktdokumentation*. Berlin: Deutsches Institut für Normungen, Juli 1995.
- [14] *Dokumentationsrichtlinie des BBR DRL 02/2008*. Bonn, Feb. 2008.
- [15] D. Donath. *Bauaufnahme und Planung im Bestand : Grundlagen — Verfahren — Darstellung — Beispiele*. ger. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2008. ISBN: 9783834892362.

- [16] European Association of Business Process Management (EABPM), Hrsg. *Business Process Management Common Body of Knowledge - BPM CBOK: Leitfaden für das Prozessmanagement*. Zweite. Wetzlar: Schmidt, 2009. ISBN: 9783921313800. URL: <http://www.goetzschmidt-verlag.de/index.php?id=87>.
- [17] J. Freund und B. Rücker. *Praxishandbuch BPMN : mit Einführung in DMN*. ger. 6., aktualisierte Auflage. München: Hanser, 2019. ISBN: 9783446461123.
- [18] *Gebäudebestand-STATISTIK AUSTRIA - Die Informationsmanager*. Zugriff am 12.12.2022. Dez. 2013. URL: https://www.statistik.at/fileadmin/pages/354/Ergebnisse_im_Ueberblick_Gebaeude_1971_2011.ods.
- [19] *Gebäudebestand-STATISTIK AUSTRIA - Die Informationsmanager*. Zugriff am 05.12.2022. Dez. 2013. URL: <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/wohnen/gebaeudebestand>.
- [20] J. Hirschner, H. Hahr und K. Kleinschrot. *Facility Management im Hochbau : Grundlagen für Studium und Praxis*. ger. 2. Aufl. 2018. Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg, 2018. ISBN: 978-3-658-21630-6.
- [21] M. Hofbauer. „Das operative Facility Management im Lebenszyklus einer Immobilie“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2012.
- [22] C. Kaiser, J. Nusser und F. Schrammel. *Praxishandbuch Facility Management*. ger. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg, 2018. ISBN: 9783658193140.
- [23] M. König. „Künstliche Intelligenz im Bauwesen“. In: *Informationen zur Raumentwicklung* 48.3 (2021), S. 38–49. ISSN: 0303-2493. URL: <https://biblioscout.net/article/99.140005/izr202103003801>.
- [24] *Korasoft - CAFM with CAD and BIM directly in SAP*. Zugriff am 03.05.2023. Okt. 2021. URL: <https://www.korasoft.net/en/cad-with-sap/>.
- [25] *Leica BLK2GO - Mobile Mapping*. Zugriff am 30.04.2023. URL: <https://shop.leica-geosystems.com/de/de-DE/leica-blk/blk2go/overview>.
- [26] M. May. *CAFM-Handbuch : Digitalisierung im Facility Management erfolgreich einsetzen*. ger. 4. Aufl. 2018. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg, 2018. ISBN: 9783658213572.
- [27] M. May, M. Krämer und M. Schlundt. *BIM im Immobilienbetrieb : Anwendung, Implementierung, Digitalisierungstrends und Fallstudien*. ger. 1st ed. 2022. Wiesbaden, 2022. ISBN: 3658362669.
- [28] M. Miller. „BIM-basierte Digitalisierung von Bestandsgebäuden aus Sicht des FM am Beispiel von Heizungsanlagen“. In: (2022).
- [29] R. Möll und P. Stangenberg. „Die Sanierung der stählernen Wagenhalle des Bornheimer Depots–Teil 2: Demontage der großen Wagenhalle und Wiederaufbau (Fortsetzung aus Heft 12/2008)“. In: *Stahlbau* 78.1 (2009), S. 11–24.
- [30] J. Nävy und M. Schröter. *Facility Services : Die operative Ebene des Facility Managements*. ger. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN: 9783642395444.
- [31] *ÖNORM EN 15221-4:2012 03 15: Facility Management - Teil 4: Taxonomie, Klassifikation und Strukturen im Facility Management*. Wien: Austrian Standards, März 2012.
- [32] *ÖNORM EN ISO-41011:2019 03 15: Facility Management–Begriffe*. Wien: Austrian Standards, März 2019.

- [33] M. von Rosing, S. White, F. Cummins und H. de Man. „Business Process Model and Notation—BPMN“. eng. In: *The Complete Business Process Handbook*. Bd. 1. United States: Elsevier Inc, 2015, S. 433–457. ISBN: 0127999590.
- [34] *Schnell und flexibel scannen mit NavVis VLX / NavVis* — *navvis.com*. Zugriff am 30.04.2023. URL: <https://www.navvis.com/de/vlx>.
- [35] Schwarz. *Ingenieurgeodäsie : Handbuch der Geodäsie*. 14. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer, 2017. ISBN: 9783662471883.
- [36] M. Thiel, P. Wojtkowiak, J. Hinckeldeyn und J. Kreutzfeldt. *3D-Datenaufnahme und Objekterkennung auf Baustellen und in Gebäuden*. ger. Hamburg: TU Hamburg Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2020. ISBN: 9783000667442.
- [37] *Unsere Ziele - Optimierung durch BIM*. Zugriff am 05.03.2023. Jan. 2021. URL: <https://bimkit.eu/ziele>.
- [38] *Was ist eine GAEB-Datei?* Zugriff am 01.04.2023. Jan. 2023. URL: <https://www.gaeb-online.de/gaeb-datei.html>.
- [39] R. Weber und P. Seeberg. *KI in der Industrie : Grundlagen, Anwendungen, Perspektiven*. ger. München: Hanser, 2020. ISBN: 9783446464278.

Abkürzungen

AG Auftraggeber	19 f., 23, 30
AI Artificial intelligence	23
AKS Anlagenkennzeichnungssystem	21, 23, 29
AN Auftragnehmer	30
API Application Programming Interfaces	42
BIM Building Information Modeling	5, 8, 10 f., 16, 21, 24–27, 29, 31
BPM Business Process Management	27
BPMN Business Process Model and Notation	3, 5, 10, 27, 29, 32, 35, 38 f., 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57
BRA Brandrauchabsaugungsanlage	31
BSK Brandschutzklappe	31
CAD Computer-Aided Design	8, 13, 20
CAFM Computer-Aided Facility Management	3, 5, 8 ff., 12 f., 15, 20 f., 25 ff., 29–33, 35, 46, 63
COBie Construction Operations Building Information Exchange	26, 31
EABPM European Association of BPM	27
FM Facility-Management	12, 15, 18, 20, 23, 25 ff., 30, 53
GAD geometrische Anlagendaten	53
GAEB gemeinsame Ausschuss Elektronik im Bauwesen	30
GPS Global Positioning System	43
ID Identifier	48 f., 56 ff.
IFC Industry Foundation Classes	26
IST-BA IST-Bestandsaufnahmeprozesse	29
KI künstliche Intelligenz	23 ff., 29, 38, 42, 56
KNN künstliche neuronale Netze	23 f.
LV Leistungsverzeichnis	30
ML Machine learning	23

MP Messpunkt	48
OCR Optical Character Recognition	38 f.
PAN Panoramabildaufnahme	48
PoI Point of Interest	42, 46, 51
SOLL-BA SOLL-Bestandsaufnahmeprozesse	29
TGA Technische Gebäudeausrüstung	8, 24, 31 f., 38 f., 42, 46, 48, 54 f., 59, 61 ff.
UFO Umformer	57
UML Unified Modeling Language	53
XML Extensible Markup Language	27
XOR Exclusive OR	28 f.

Abbildungsverzeichnis

2.1	FM-gerechter CAD-Plan	14
2.2	Systemschema des Impulszeitverfahrens	16
2.3	Systemschema des Phasenvergleichsverfahrens (Quelle: Schwarz [35])	17
2.4	Säulen des Facility-Managements (Quelle: [30])	18
2.5	Input-Output-Leistungsmodell vom Facility-Management (Quelle: [22])	19
2.6	FM-Modell nach EN 15221-1 (li.) und entsprechendes Piktogramm (re.) nach EN 15221-4 (Quelle: EN 15221-4[31])	20
2.7	Säulen des CAFM-Systems. (Quelle: [26])	21
2.8	Das AKS als Bindeglied von Anlagen, Plänen und Dokumenten. (Quelle: [14]) . .	22
2.9	Aufbau des AKS-Schlüssels anhand eines Beispiels	22
2.10	Schematische Darstellung des künstlichen Neuronennetzes	24
2.11	Generierung von 3D-Bauteilen aus einem Punktwolkensegment. (Quelle: [23]) . .	25
2.12	BIM im Betrieb	26
2.13	Informationsverläufe in den Lebenszyklusphasen eines Gebäudes, mit und ohne BIM.	26
2.14	Basissymbole der BPMN	28
3.1	Datenausgangslage: Vom Bestand zum CAFM	31
3.2	Auswahl eines Bauteils aus einem Bauteilverzeichnis	32
3.3	Eigenschaften einer Lüftungsanlage samt Pflichtfelder	33
3.4	Anbringen von QR-Codes an einem Bauteil zwecks eindeutige Identifizierung . .	33
3.5	Typenschilder Abfotografieren	34
3.6	Schwer zugängliche Typenschilder am Beispiel einer Sumpfpumpe	34
3.7	Bauteilbezeichnung einer Lüftungsanlage	35
3.8	Bestandserfassung Ist-Prozesse: Begehung vor Ort und Nachreichung im Büro . .	37
3.9	Bestandserfassung Soll-Prozesse: Bauteil erfassen in einem Raum	40
4.1	Datenbanken zusammenführen, mit einem Zeitstempel als Schlüssel	43
4.2	Bestandserfassung Soll-Prozesse: Datenprozessierung nach Begehung	45
4.3	Bestandserfassung Soll-Prozesse: POIs mit Strukturdaten verknüpfen	47
4.4	UML-Diagramm eines Pythons-Skripts zur Zusammenführung von 3D-Raumkoordinaten mit anlagenspezifische Sachdaten	50
4.5	Flussdiagramm-Diagramm eines Pythons-Skripts zur Verknüpfung von Strukturdaten mit Bauteildaten	52
5.1	Grundriss des zweiten Untergeschosses eines Bestandsgebäudes in Wien 1010 . .	54
5.2	Wasserzuleitung mit Wasserzähler	55
5.3	Panoramabild von einem Heizraum	56
5.4	Grundriss: Open Space Großraumbüro	59
5.5	Längen- und Flächenmessungen an einer Punktwolke in einer cloudbasierten Webanwendung	60
5.6	Typenschild eines Feuerlöschers	61

A.1	Gründerzeithaus: 2. Kellergeschoss	74
A.2	Gründerzeithaus: 2. Kellergeschoss-Lager	75
A.3	Gründerzeithaus: 1. Kellergeschoss	76
A.4	Gründerzeithaus: 1. Kellergeschoss-Lager 01	77
A.5	Gründerzeithaus: 1. Kellergeschoss-Lager 02	78
A.6	Gründerzeithaus: Erdgeschoss	79
A.7	Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Lokalgeschäft-1	80
A.8	Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Lokalgeschäft-2	81
A.9	Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Zwischengeschoss-Wohnung	82
A.10	Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Zwischengeschoss-Lokalgeschäft-3-5	83
A.11	Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Zwischengeschoss-Lokalgeschäft-7-9	84
A.12	Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Zwischengeschoss-Lokalgeschäft-10-11	85
A.13	Gründerzeithaus: Zwischengeschoss	86
A.14	Gründerzeithaus: 1. Obergeschoss	87
A.15	Gründerzeithaus: 2. Obergeschoss	88
A.16	Gründerzeithaus: 3. Obergeschoss	89
A.17	Gründerzeithaus: 4. Obergeschoss	90
A.18	Gründerzeithaus: Dachgeschoss	91
B.1	Statistik zu Bestandsgebäuden in Österreich. (Quelle: bearbeitete Darstellung aus [18])	93

Tabellenverzeichnis

2.1	Gateways nach der BPMN 2.0.2-Notation	29
5.1	Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungsapp mit dem Zeitstempel als Schlüssel (Ausschnitt). Koordinaten aus den Panoramabildaufnahmen	57
5.2	Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungsapp mit dem Zeitstempel als Schlüssel. Koordinaten aus den Messpunkten	57
5.3	Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungsapp mit IDs als Schlüssel	57
5.4	Beispiel 2 Neubau: Datenbanken zusammenführen, mit dem Zeitstempel als Schlüssel	60
5.5	Ergebnisse Bürogebäude: Erfasste Feuerlöscher-Parameter	61
B.1	Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungsapp mit dem Zeitstempel als Schlüssel. Koordinaten aus den Panoramabildaufnahmen	94
B.2	Abkürzungen beim Dokumentationsstand	96
B.3	Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandserfassungsapp	97
B.4	Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einer ID als Identifikator	108
B.5	Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator. Datenbank 1	108
B.6	Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator. Datenbank 2	110
B.7	Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator. Datenbank 3	111
B.8	Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator. Datenbank 4	113
B.9	Ergebnisse Bürogebäude: Erfasste Sprinkleranlagen-Parameter Teil 1	115
B.10	Ergebnisse Bürogebäude: Erfasste Sprinkleranlagen-Parameter Teil 2	116

Anhang

Anhang A

Pläne

A.1 Gründerzeithaus

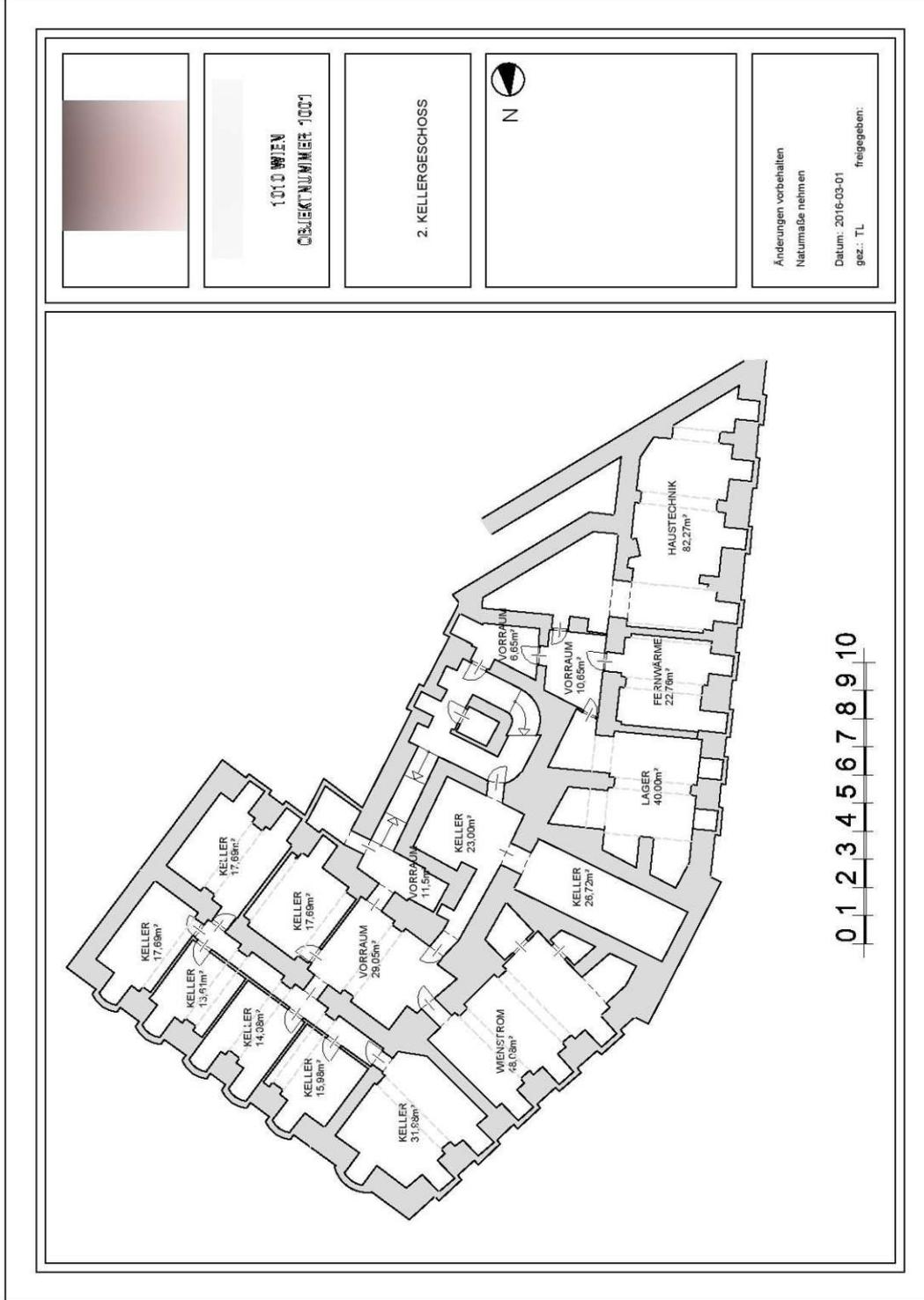


Abb. A.1: Gründerzeithaus: 2. Kellergeschoss

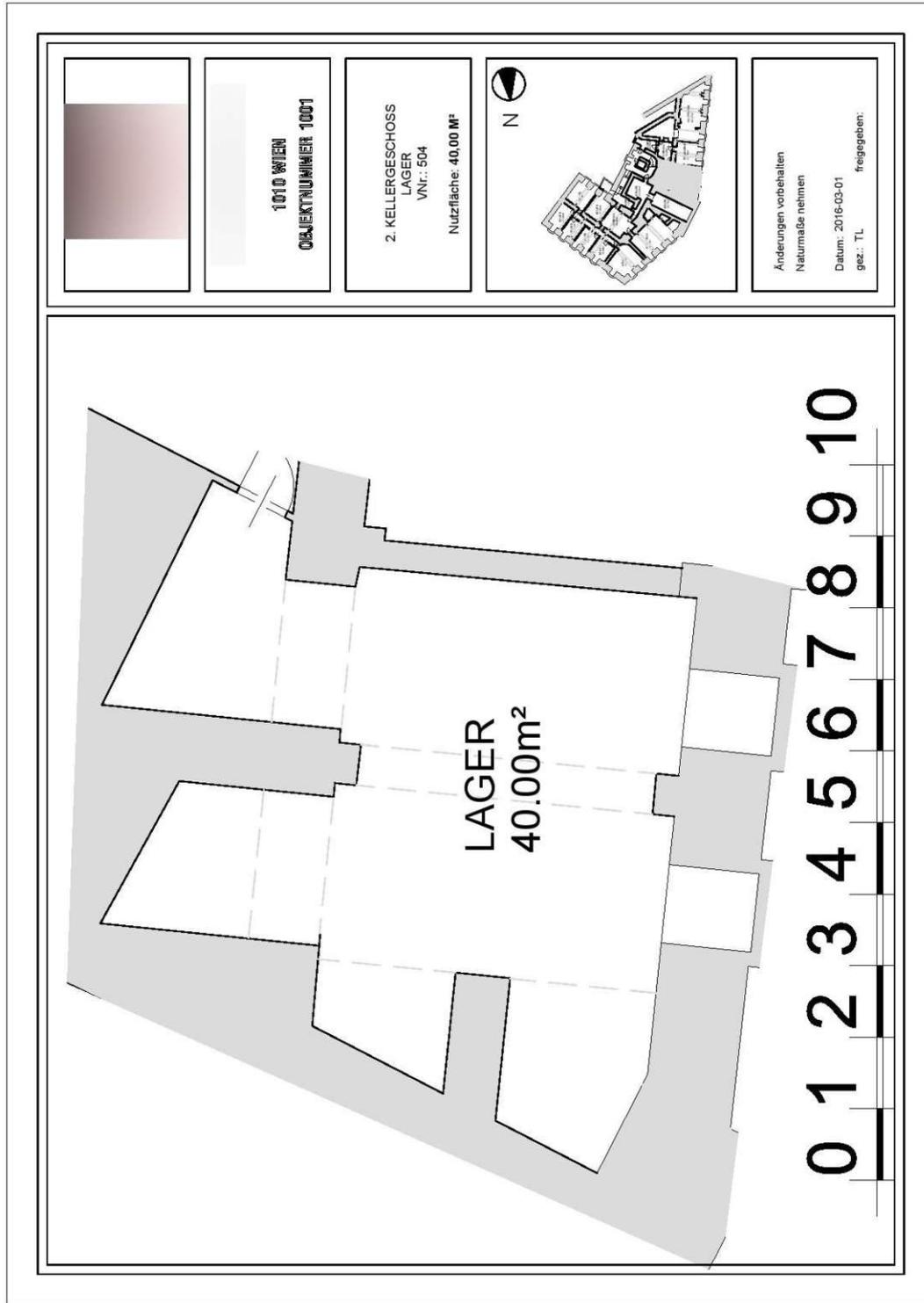


Abb. A.2: Gründerzeithaus: 2. Kellergeschoss-Lager

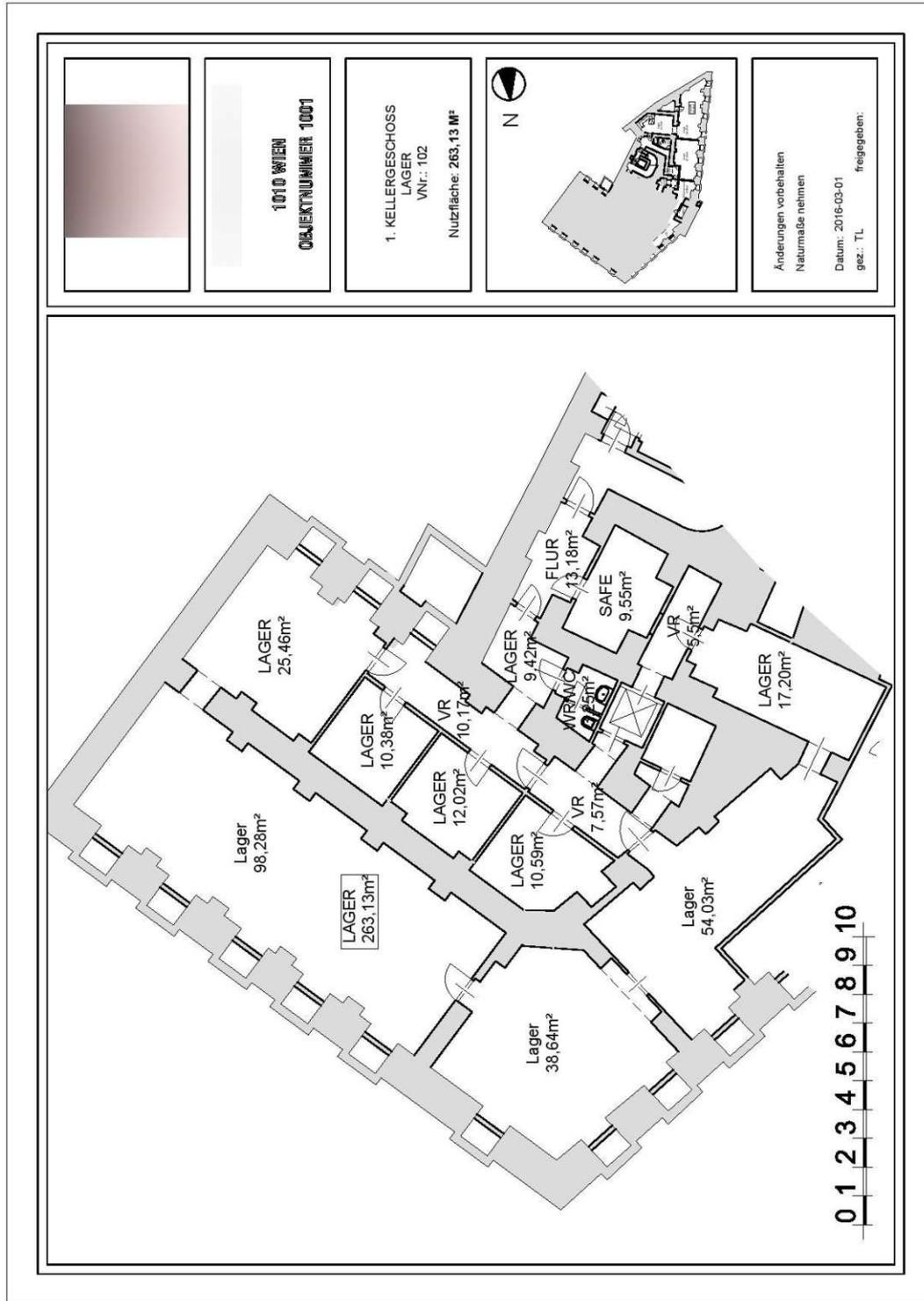


Abb. A.4: Gründerzeithaus: 1. Kellergeschoss-Lager 01

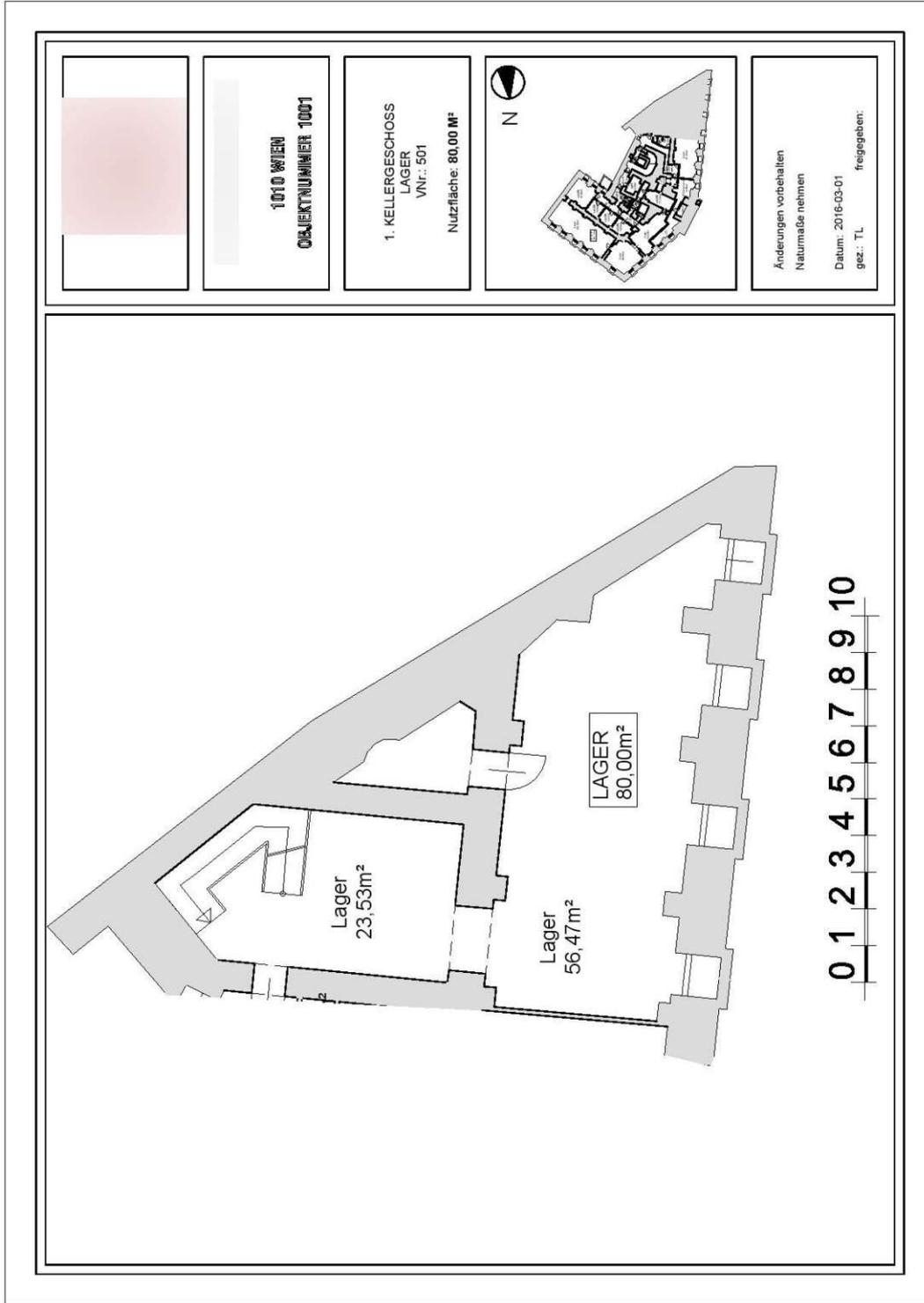


Abb. A.5: Gründerzeithaus: 1. Kellergeschoss-Lager 02

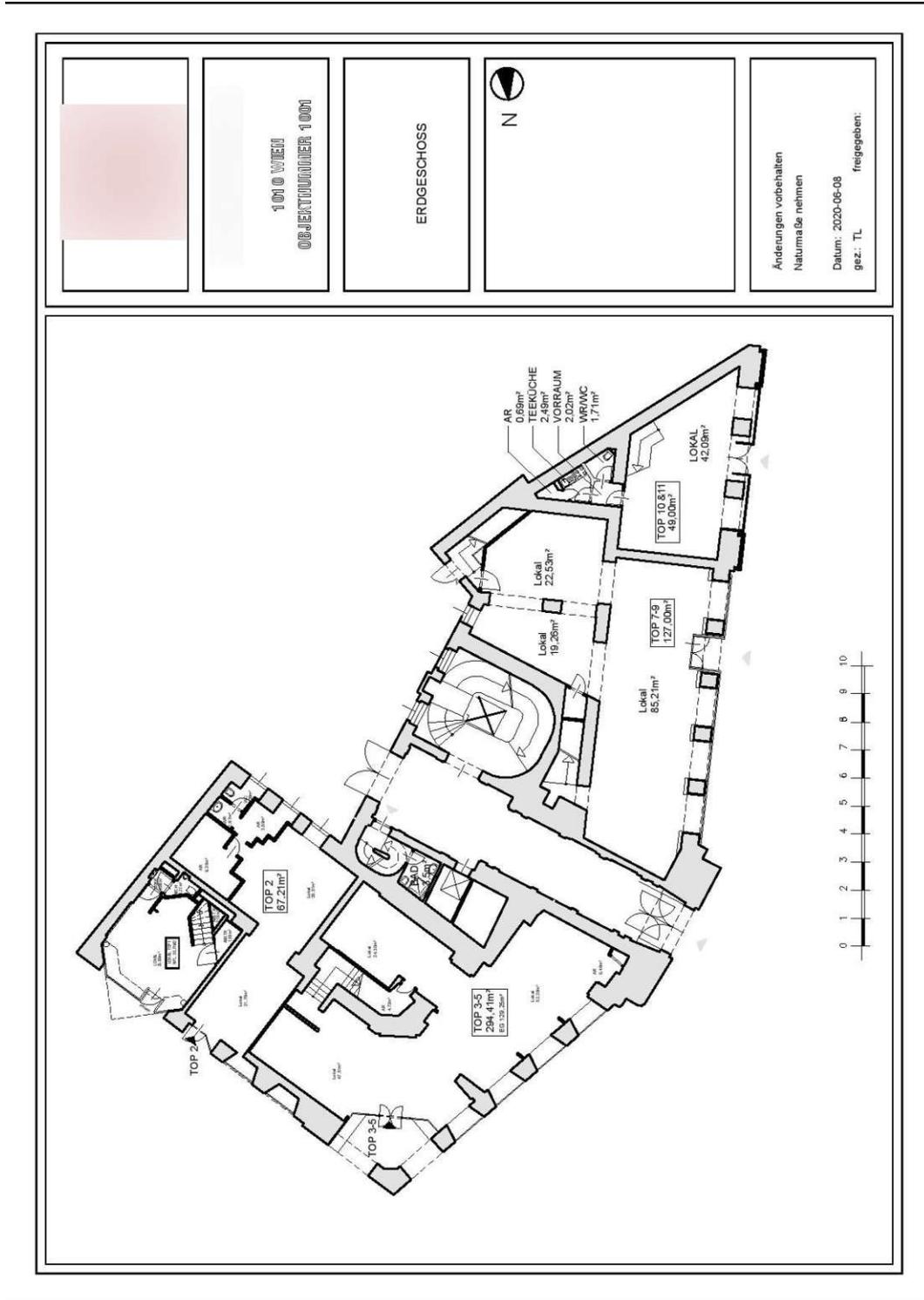


Abb. A.6: Gründerzeithaus: Erdgeschoss

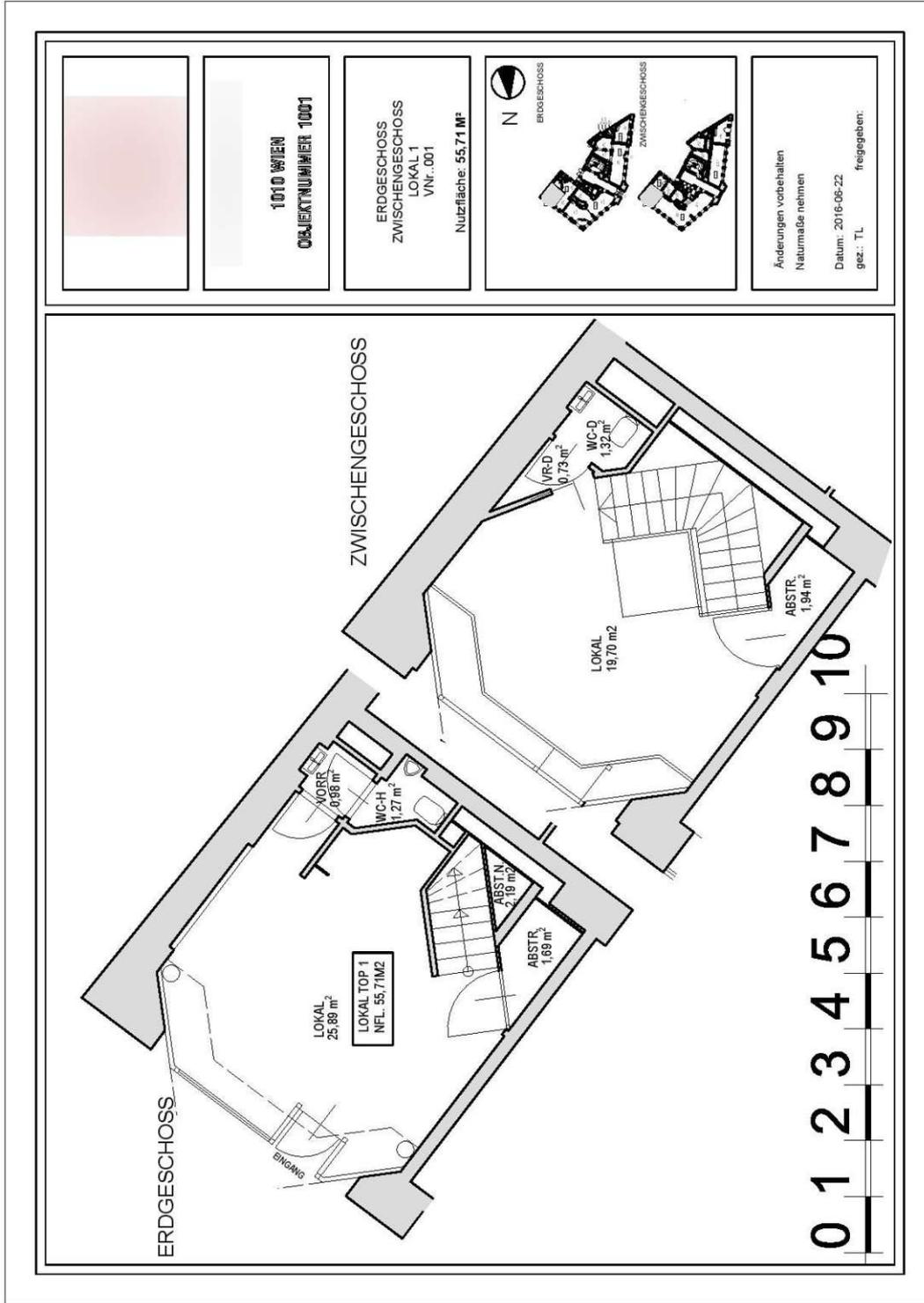


Abb. A.7: Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Lokalgeschäft-1

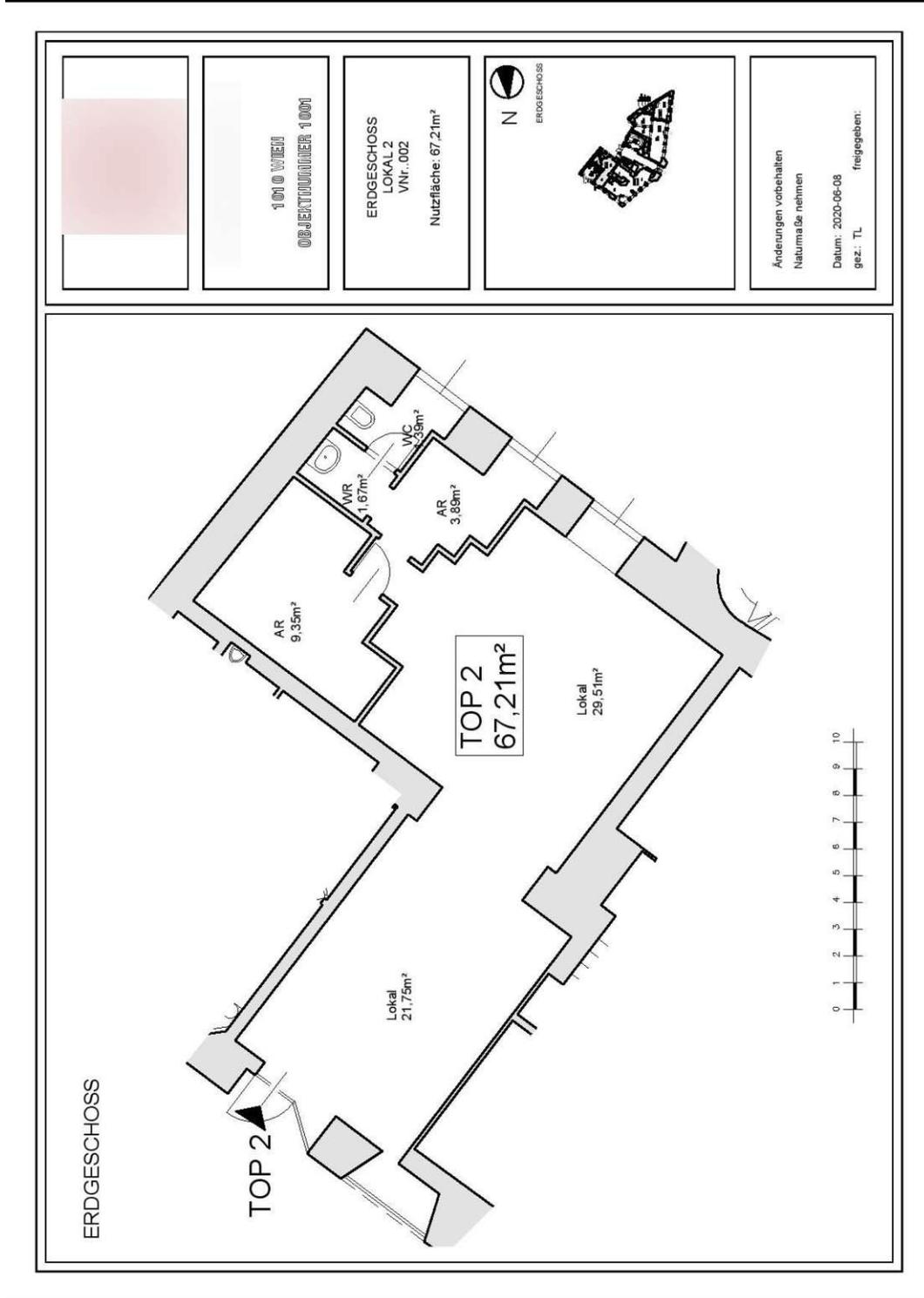


Abb. A.8: Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Lokalgeschäft-2

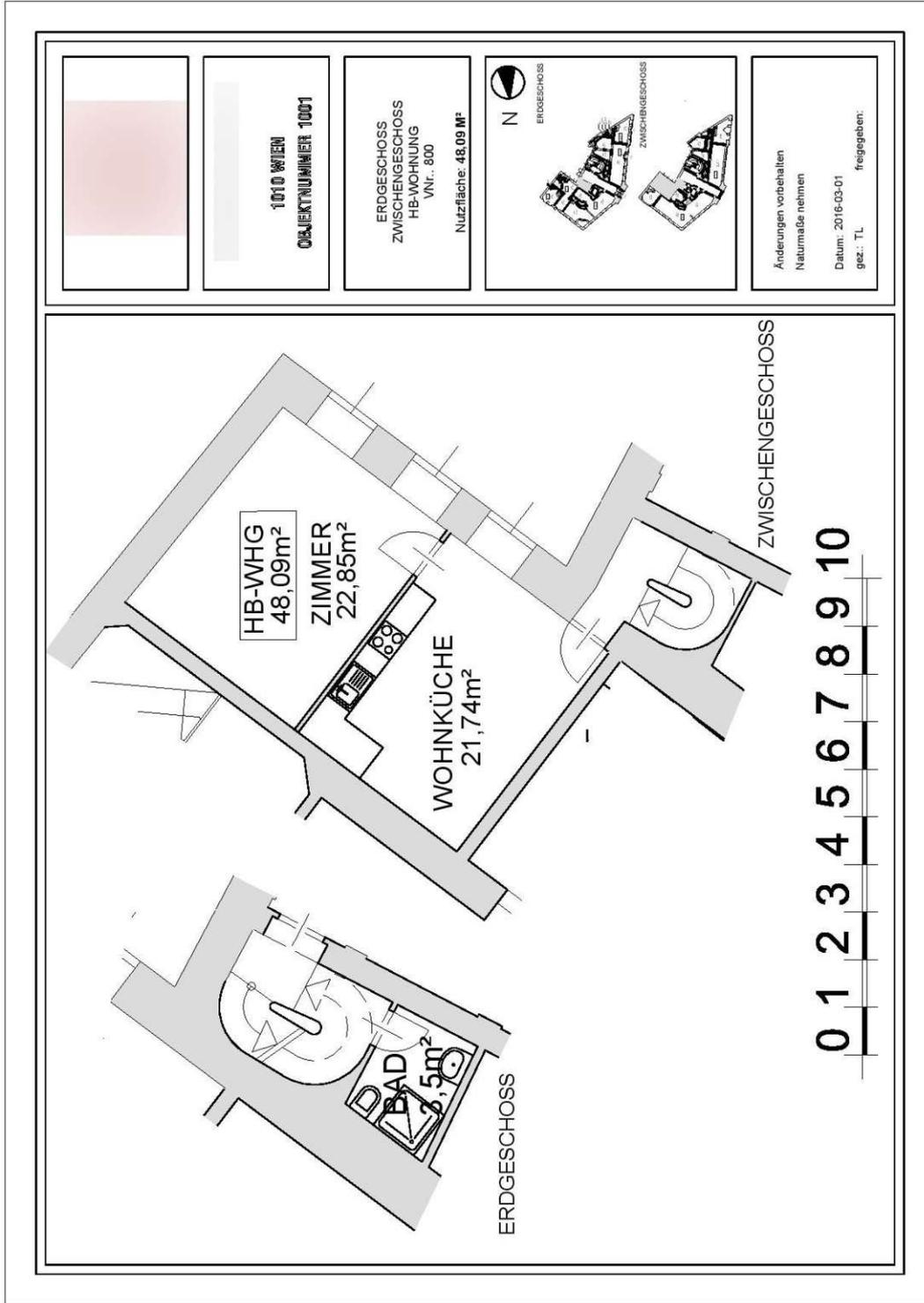


Abb. A.9: Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Zwischengeschoss-Wohnung

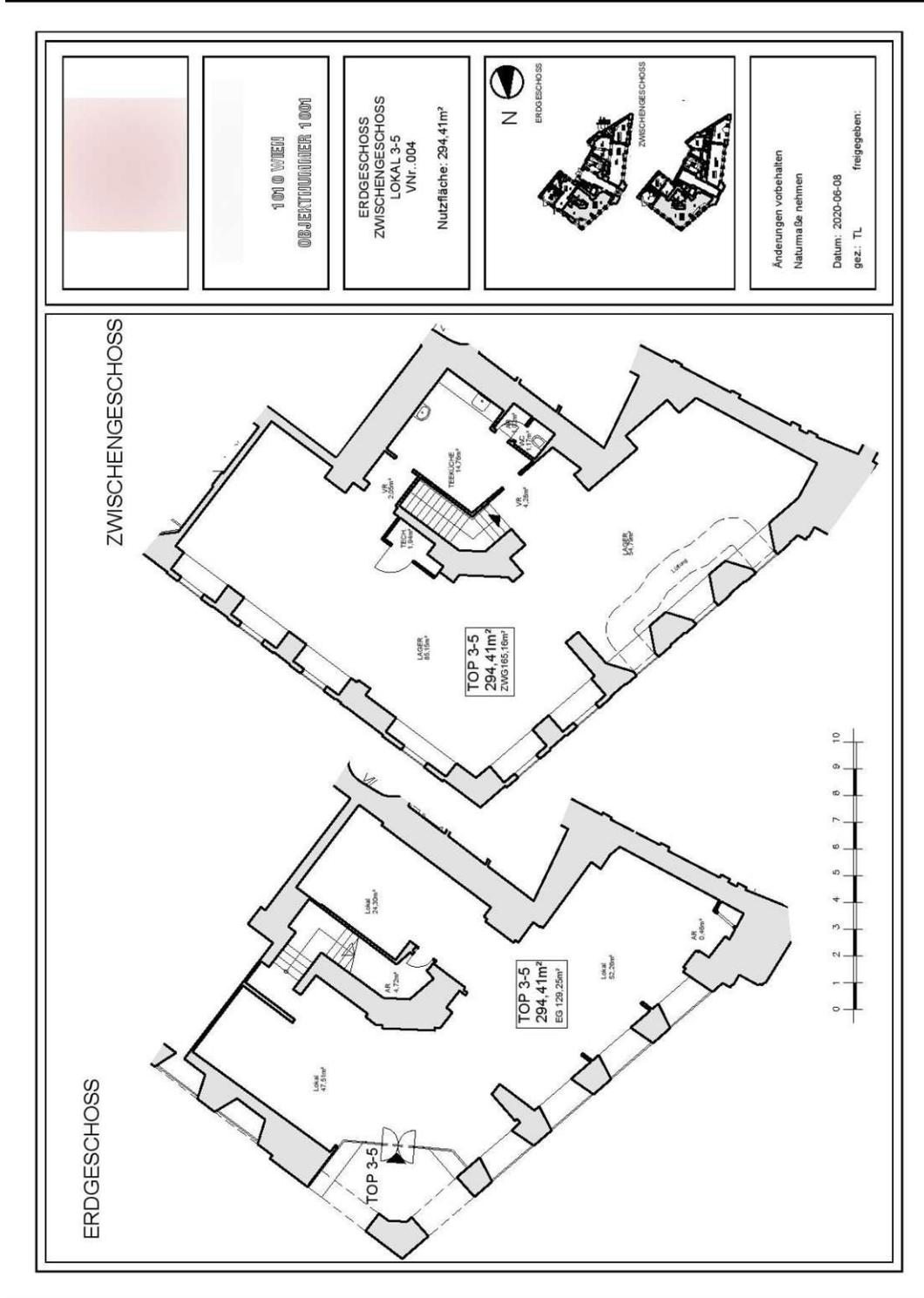


Abb. A.10: Gründerzeit haus: Erdgeschoss-Zwischengeschoss-Lokalgeschäft-3-5

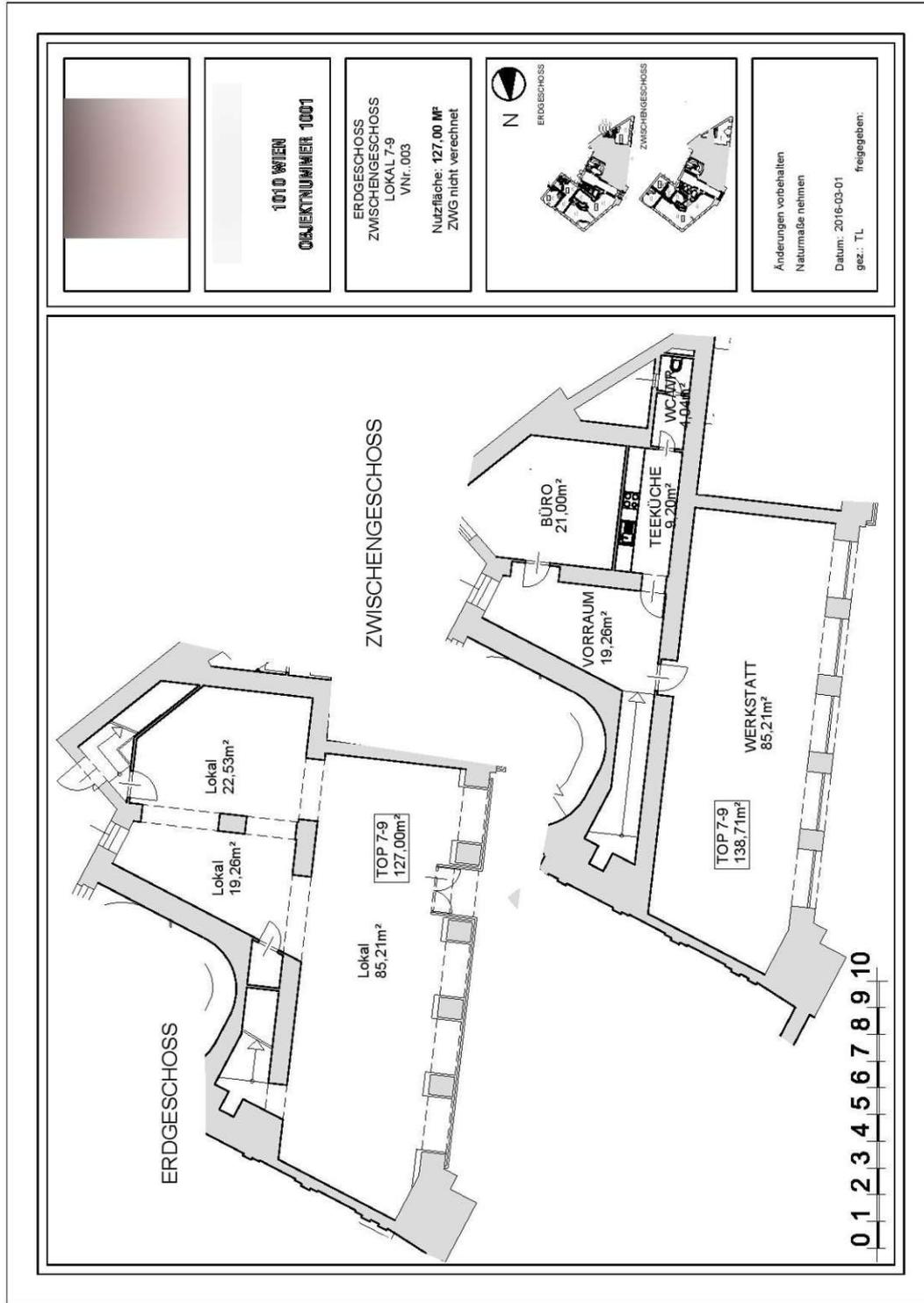


Abb. A.11: Gründerzeit haus: Erdgeschoss-Zwischengeschoss-Lokalgeschäft-7-9

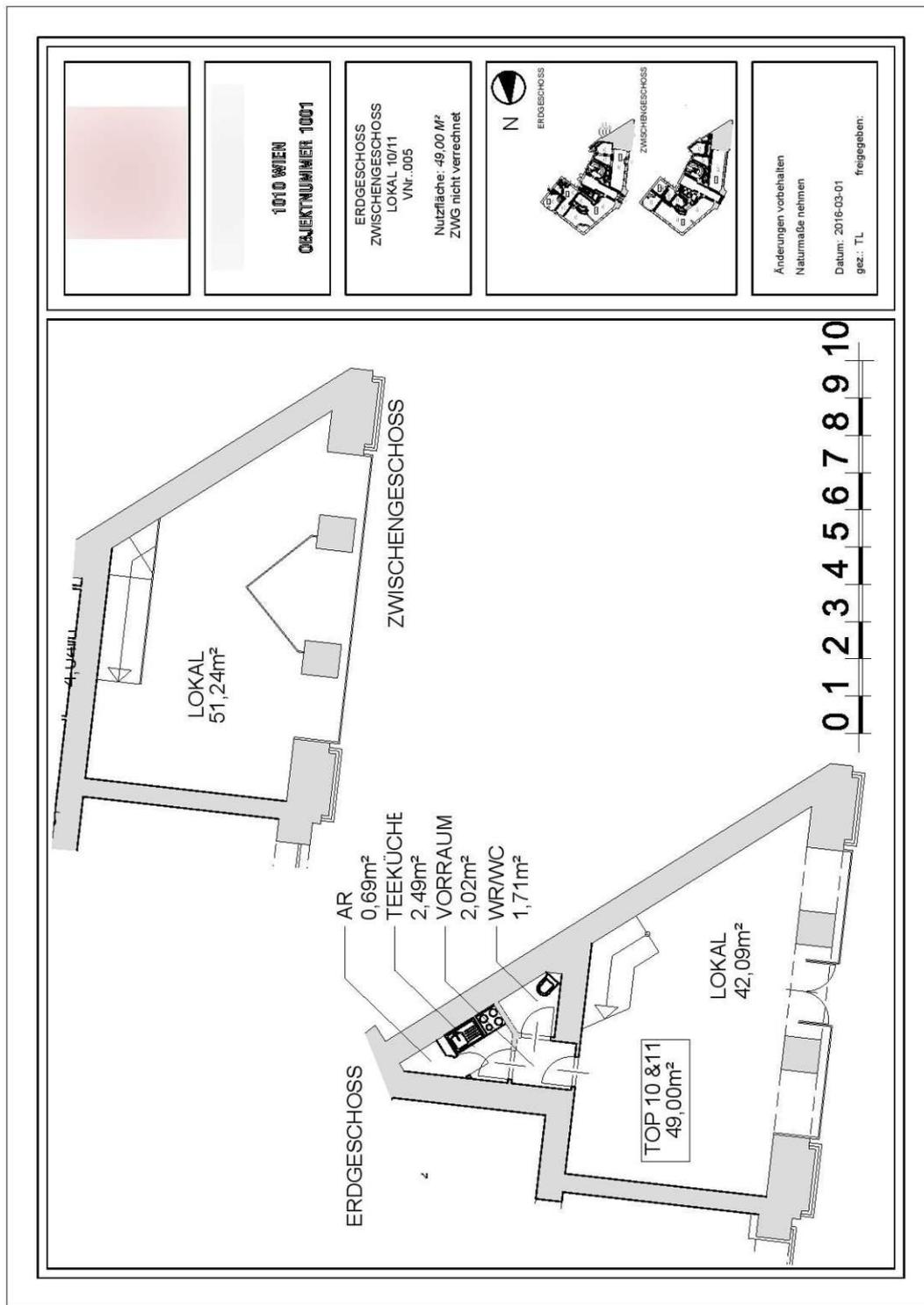


Abb. A.12: Gründerzeithaus: Erdgeschoss-Zwischengeschoss-Lokalgeschäft-10-11

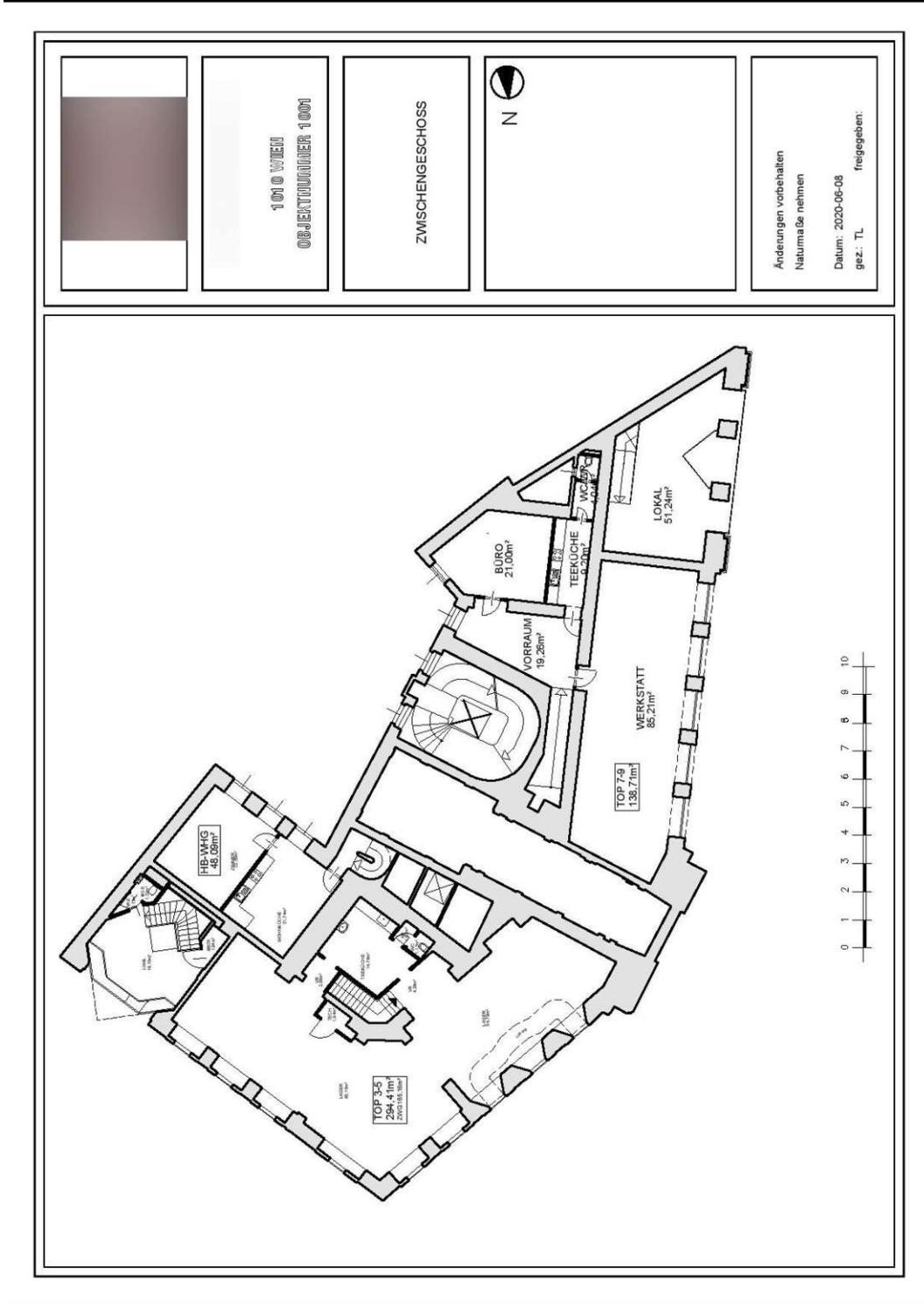


Abb. A.13: Gründerzeithaus: Zwischengeschoss

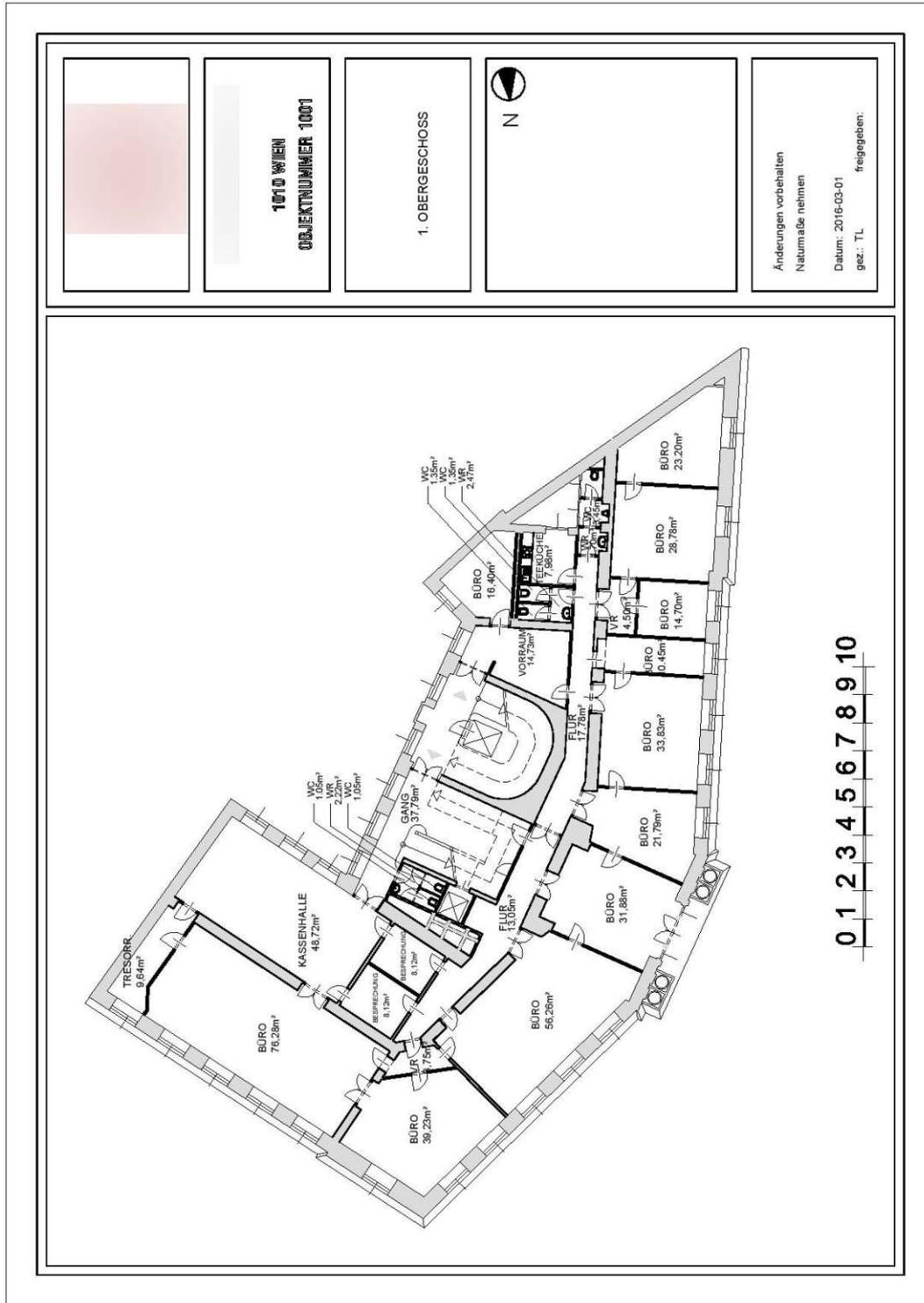


Abb. A.14: Gründerzeithaus: 1. Obergeschoss

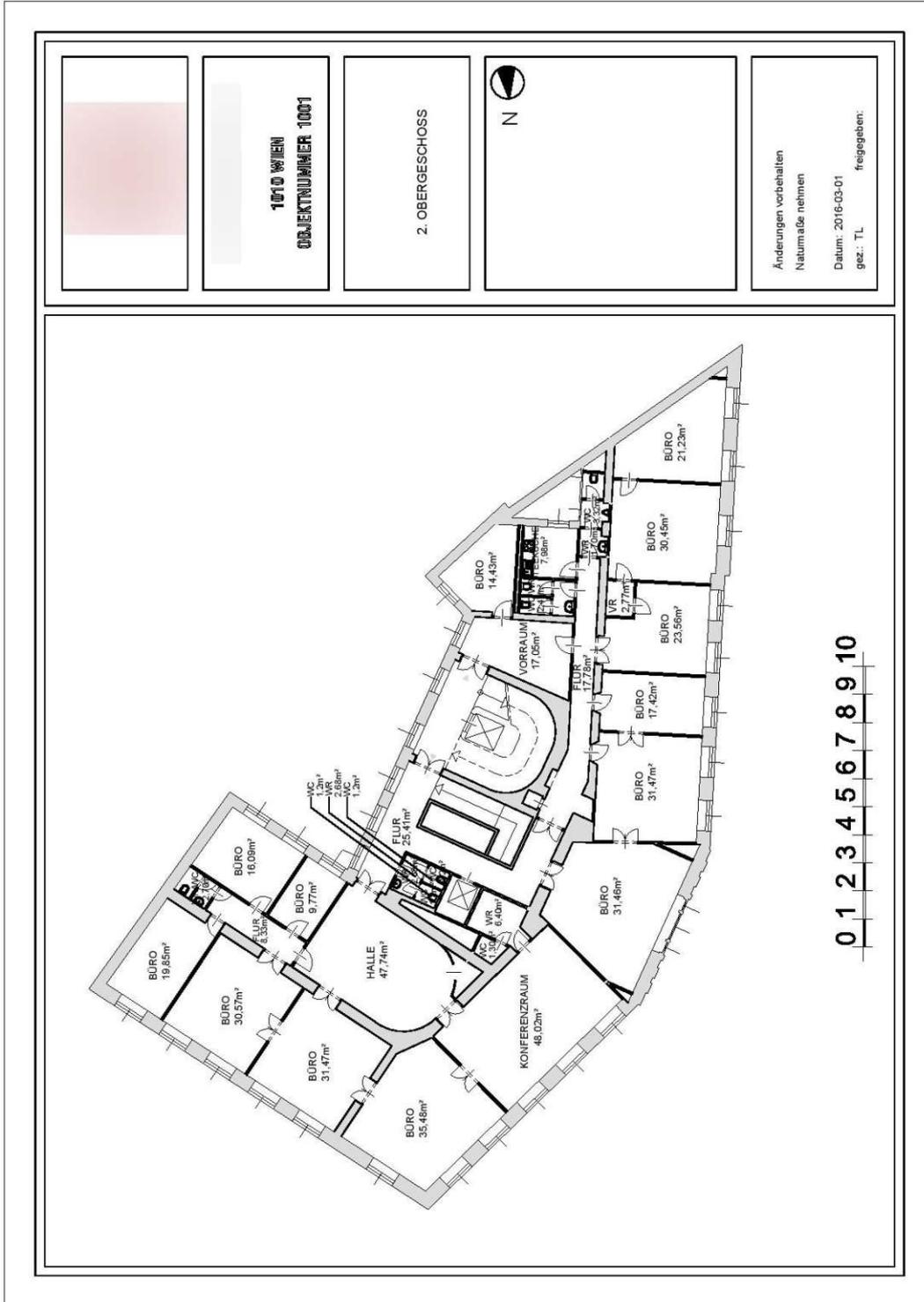


Abb. A.15: Gründerzeithaus: 2. Obergeschoss

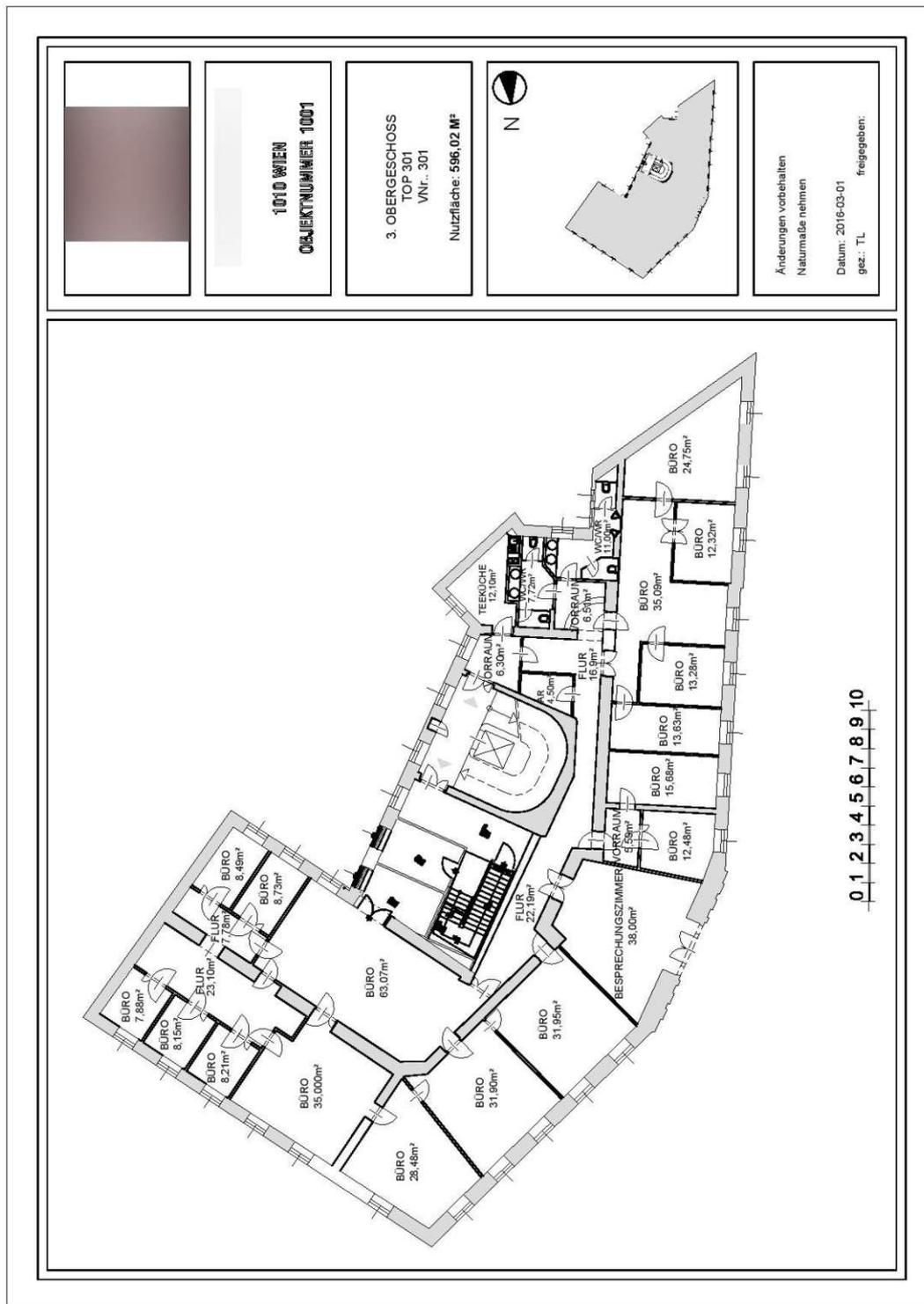


Abb. A.16: Gründerzeithaus: 3. Obergeschoss

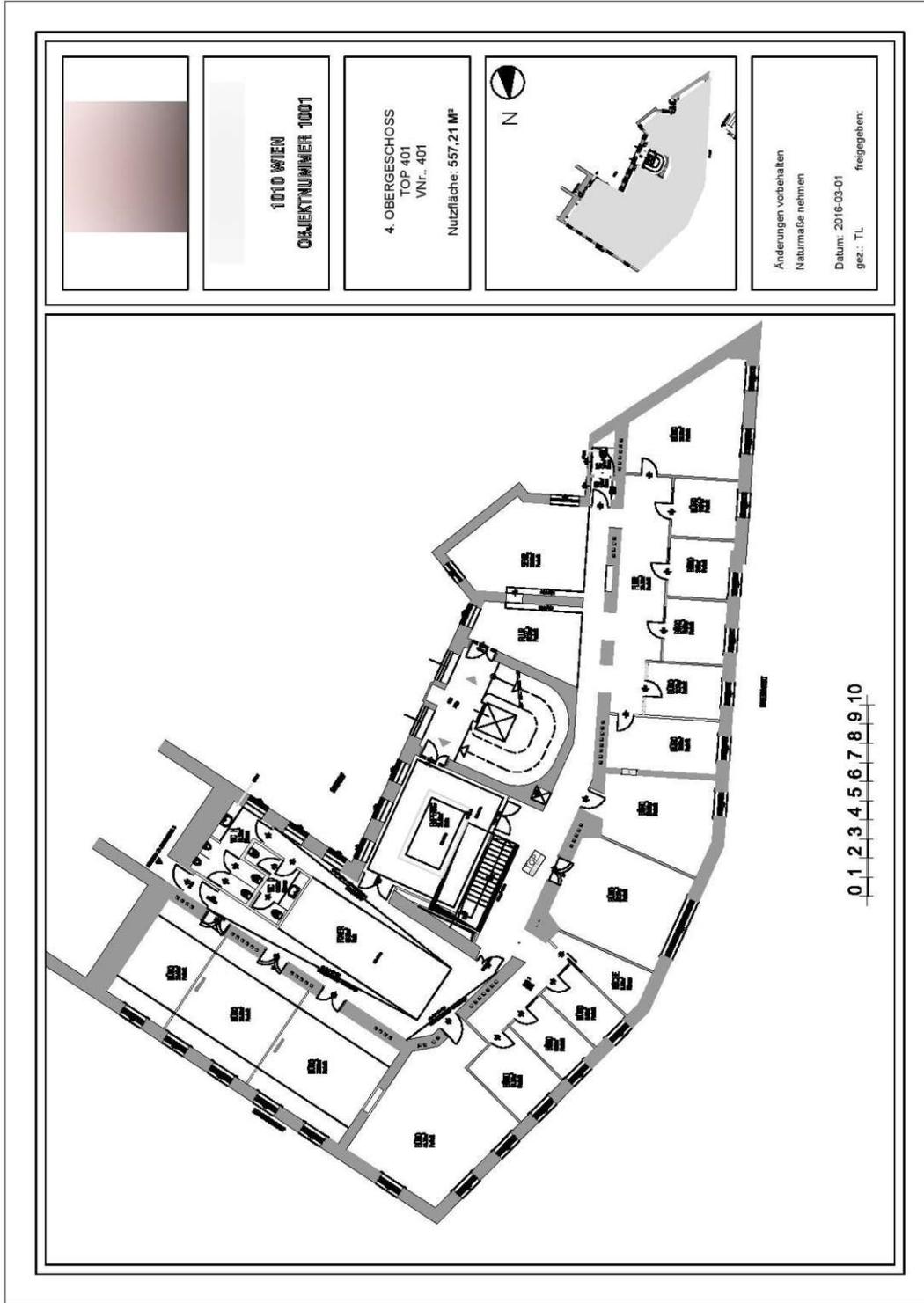


Abb. A.17: Gründerzeithaus: 4. Obergeschoss

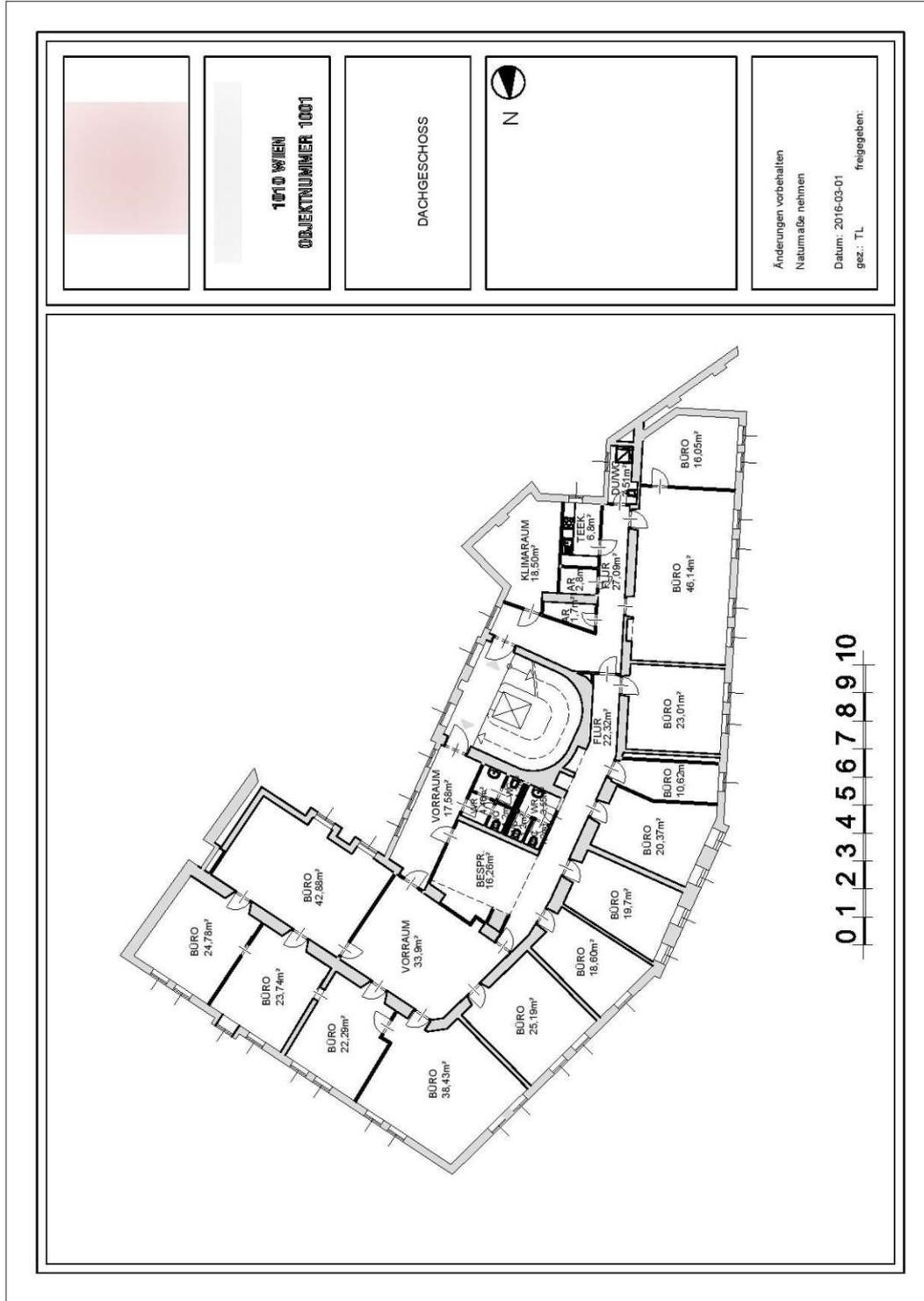


Abb. A.18: Gründerzeithaus: Dachgeschoss

Anhang B

Tabellen

1971 bis 2011 nach ausgewählten Merkmalen

Merkmal	1971	1981	1991	1997	2001	2011	2022
Insgesamt	1.281.114	1.586.841	1.809.060		2.046.712	2.191.280	2.206.758
Steigerung in % i.V. zum Jahrzehnt davor		23,86%	14,00%		13,14%	7,06%	
Steigerung in % p.a.*		2,39%	1,40%		1,31%	0,71%	0,71%
Anzahl der Wohnungen							
Keine Wohnung	71.468	150.011	168.457		216.659	143.377	
1 Wohnung	882.552	1.068.596	1.231.861		1.354.020	1.491.566	
2 Wohnungen	189.098	205.231	230.848		264.017	298.766	
3 bis 5 Wohnungen	62.486	64.358	68.090		80.496	102.236	
6 bis 10 Wohnungen	36.895	46.683	54.945		69.886	83.537	
11 bis 20 Wohnungen	25.287	37.809	40.753		46.189	53.487	
21 oder mehr Wohnungen	13.328	14.153	14.106		15.445	18.311	
Summe Wohngebäude			1.640.603	1.754.273	1.830.053	2.047.903	2.291.686
Steigerung in % i.V. zum Jahrzehnt davor					11,55%	11,90%	
Steigerung in % p.a.*				1,15%	1,15%	1,19%	
Anteil Wohngebäude älter als 25 Jahre							77%
Eigentümerin bzw. Eigentümer des Gebäudes							
Privatperson/en	1.139.701	1.423.595	1.610.044		1.814.044	1.944.590	
Gebietskörperschaft	52.968	67.223	79.971		78.848	70.736	
Gemeinnützige Bauvereinigung	39.153	37.828	44.489		52.478	71.822	
Sonstige juristische Person ¹	49.292	58.195	74.556		101.342	104.132	
Errichtungsjahr							
Vor 1919	531.046	460.729	377.373		353.379	327.350	
1919 bis 1944	193.755	184.389	186.849		175.946	165.930	
1945 bis 1960	281.329	264.887	265.015		252.984	243.616	
1961 bis 1980	274.984	636.670	638.092		619.134	608.614	
1981 bis 1990 ²	-	40.166	341.731		296.528	305.125	
1991 bis 2000 ³	-	-	-		149.120	264.146	
2001 oder später	-	-	-		-	276.499	
Unbekannt ⁴	-	-	-		199.621	-	

77% **gesuchter Wert**

*Annahme: Lineare Verteilung innerhalb des jeweiligen Jahrzehnts

Legende:

- Anmerkungen, Ergänzungen
- Berechnungen

Q: STATISTIK AUSTRIA, Gebäude- und Wohnungszählungen 1971 bis 2001, Registerzählung 2011. Erstellt am 04.12.2013.
 1) Schließt andere öffentlich-rechtliche Körperschaften ein. - 2) Für die Zählung 1991: 1981 oder später. - 3) Für die Zählung 2001: 1991 oder später. - 4) Nicht rekonstruierbar.

Abb. B.1: Statistik zu Bestandsgebäuden in Österreich. (Quelle: bearbeitete Darstellung aus [18])

Tab. B.1: Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungssapp mit dem Zeitstempel als Schlüssel. Koordinaten aus den Panoramabildaufnahmen

bauteiltyp	kommentar	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	2022-12-20 07:56:13	3.244596	-0.445394	1.028221
Nicht klassifiziert	Stromzähler Gesamt	2022-12-20 08:00:04	7.166877	-10.373196	1.019552
Nicht klassifiziert	Stromzähler 2	2022-12-20 08:01:25	7.166877	-10.373196	1.019552
Feuerlöscher	-	2022-12-20 08:03:12	6.892219	-10.921468	0.997566
Nicht klassifiziert	Stromzähler	2022-12-20 08:04:41	7.034022	-10.604258	0.988204
Nicht klassifiziert	-	2022-12-20 08:08:54	-0.448449	-20.995114	1.074868
Nicht klassifiziert	Brandschutztür	2022-12-20 08:11:02	2.685554	-8.208491	0.982260
Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	2022-12-20 08:13:06	-0.499581	-1.030063	0.944504
Nicht klassifiziert	Brandschutztür	2022-12-20 08:14:21	-3.153132	-3.966932	0.914834
Nicht klassifiziert	Heizungszähler	2022-12-20 08:15:09	2.662550	-2.706623	-2.077158
Nicht klassifiziert	Brandschutztür	2022-12-20 08:17:12	-1.416412	-1.949319	-2.193537
Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	2022-12-20 08:18:20	0.157172	-0.308052	-2.197537
Nicht klassifiziert	Brandschutztür	2022-12-20 08:18:51	0.157172	-0.308052	-2.197537
Nicht klassifiziert	Brandschutzklappe	2022-12-20 08:20:02	3.362732	0.645887	-2.165977
Nicht klassifiziert	Plan	2022-12-20 08:21:32	4.278493	3.237176	-2.018534
Nicht klassifiziert	Verteiler	2022-12-20 08:22:45	5.388005	3.661660	-2.011668
Nicht klassifiziert	Brandschutzklappe	2022-12-20 08:25:55	11.121629	1.181611	-2.020732
Nicht klassifiziert	-	2022-12-20 08:26:35	11.121629	1.181611	-2.020732
Nicht klassifiziert	Stromverteiler	2022-12-20 08:27:48	11.561844	1.255693	-2.024130
Nicht klassifiziert	Verteiler	2022-12-20 08:29:17	12.953637	1.679267	-1.979699
Nicht klassifiziert	Kalt Wasserpumpe	2022-12-20 08:31:02	12.383670	3.747007	-2.430584
Nicht klassifiziert	Kalt Wasserpumpe	2022-12-20 08:31:50	12.383670	3.747007	-2.430584
Nicht klassifiziert	Kaltwasser VL	2022-12-20 08:34:16	12.494181	6.058992	-2.871124
Nicht klassifiziert	Kältemaschine	2022-12-20 08:35:32	12.494181	6.058992	-2.871124
Nicht klassifiziert	Ausdehnungsgefäß	2022-12-20 08:38:26	14.076609	9.781871	-1.981185
Nicht klassifiziert	Ventilator	2022-12-20 08:39:29	14.076609	9.781871	-1.981185

Continued on next page

Tab. B.1: Zusammenführung der Datenbanken aus dem 3D-Laserscanner und der mobilen Bestandserfassungssapp mit dem Zeitstempel als Schlüssel. Koordinaten aus den Panoramabildaufnahmen

bauteiltyp	kommentar	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
Nicht klassifiziert	Kältemaschine 1	2022-12-20 08:40:55	14.819491	9.675022	-2.436147
Nicht klassifiziert	Kältemaschine	2022-12-20 08:43:09	14.396761	7.652273	-1.963311
Nicht klassifiziert	Brandschutztür	2022-12-20 08:47:00	-8.014783	-1.915394	0.798309
Nicht klassifiziert	Expansionsbehälter	2022-12-20 08:49:51	-4.123091	-5.555964	0.703649
Nicht klassifiziert	Heizungsvorlauf / Rücklauf	2022-12-20 08:51:23	-2.501222	-5.712002	0.264181
Nicht klassifiziert	Pumpsumpf	2022-12-20 08:52:36	-0.027208	-6.117129	0.767317
Nicht klassifiziert	-	2022-12-20 08:53:43	-0.027208	-6.117129	0.767317
Nicht klassifiziert	-	2022-12-20 08:54:56	-0.027208	-6.117129	0.767317
Nicht klassifiziert	Trafo	2022-12-20 08:56:23	-2.773871	-7.281347	0.769274
Nicht klassifiziert	Heizungsventil	2022-12-20 09:06:20	-14.321627	-9.616939	14.106545
Nicht klassifiziert	Schoß Schild	2022-12-20 09:08:52	-9.124468	-10.323264	16.463637
Sicherheitsbeleuchtung, einzeln ortsfest	Heizungsventil	2022-12-20 09:10:09	-9.124468	-10.323264	16.463637
Nicht klassifiziert	Heizungsventil	2022-12-20 09:13:23	-13.457147	-10.399930	23.594028
Nicht klassifiziert	Geschossschild	2022-12-20 09:24:12	-11.475304	-7.024495	28.367011
Nicht klassifiziert	WZ (Wasserzähler)	2022-12-20 09:24:34	-11.475304	-7.024495	28.367011
Nicht klassifiziert	WZ	2022-12-20 09:25:15	-9.413829	-10.752409	30.119399
Nicht klassifiziert	Stromverteiler	2022-12-20 09:26:34	-13.543005	-8.099156	32.055667
Nicht klassifiziert	-	2022-12-20 09:27:45	-11.087572	-6.893700	32.575482
Nicht klassifiziert	Dokument Rauchfangkehrer	2022-12-20 09:29:24	-10.403655	-9.267329	35.587401
Nicht klassifiziert	Klimagerät	2022-12-20 09:41:46	0.863846	1.009821	1.747611
Nicht klassifiziert	-	2022-12-20 09:43:18	8.104776	-3.300259	4.642260
Nicht klassifiziert	Zuluft	2022-12-20 09:44:14	2.449180	-12.501027	4.637811
Nicht klassifiziert	Abluft	2022-12-20 09:45:14	-0.858225	-7.395005	4.522923
Nicht klassifiziert	Straßenschild	2022-12-20 10:16:28	63.782497	-5.147824	0.199325

Dokumentationsstand	Bezeichnung
V	Vorplanung
E	Entwurfsplanung
G	Genehmigungsplanung
A	Ausführungsplanung
M	Werk- und Montageplanung
B	Bestandsdokumentation

Tab. B.2: Abkürzungen beim Dokumentationsstand. (Quelle: [14])

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
18	-	-	Schaden am Rohr	1671522916515	2022-12-20	08:55
19	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671522973141	2022-12-20	08:56
19	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671522973141	2022-12-20	08:56
19	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671522973141	2022-12-20	08:56
19	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671522973141	2022-12-20	08:56
20	-	-	BST	1671523034661	2022-12-20	08:57
20	-	-	BST	1671523034661	2022-12-20	08:57
20	-	-	BST	1671523034661	2022-12-20	08:57
20	-	-	BST	1671523034661	2022-12-20	08:57
20	-	-	BST	1671523034661	2022-12-20	08:57
22	-	Unbekannt	Stromzähler 2	1671523285378	2022-12-20	09:01
22	-	Unbekannt	Stromzähler 2	1671523285378	2022-12-20	09:01
21	-	Unbekannt	Stromzähler Gesamt	1671523204986	2022-12-20	09:00
21	-	Unbekannt	Stromzähler Gesamt	1671523204986	2022-12-20	09:00
21	-	Unbekannt	Stromzähler Gesamt	1671523204986	2022-12-20	09:00
23	-	-	Stromzähler 6	1671523322379	2022-12-20	09:02
23	-	-	Stromzähler 6	1671523322379	2022-12-20	09:02
25	-	Feuerlöscher	-	1671523392700	2022-12-20	09:03
24	-	-	Stromzähler 8	1671523361932	2022-12-20	09:02
24	-	-	Stromzähler 8	1671523361932	2022-12-20	09:02
25	-	Feuerlöscher	-	1671523392700	2022-12-20	09:03
25	-	Feuerlöscher	-	1671523392700	2022-12-20	09:03
26	-	Unbekannt	Stromzähler	1671523481505	2022-12-20	09:04
26	-	Unbekannt	Stromzähler	1671523481505	2022-12-20	09:04
26	-	Unbekannt	Stromzähler	1671523481505	2022-12-20	09:04
27	-	-	Wasserzähler	1671523552019	2022-12-20	09:05
27	-	-	Wasserzähler	1671523552019	2022-12-20	09:05

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
27	-	-	Wasserzähler	1671523552019	2022-12-20	09:05
28	-	-	-	1671523658574	2022-12-20	09:07
28	-	-	-	1671523658574	2022-12-20	09:07
28	-	-	-	1671523658574	2022-12-20	09:07
29	-	Unbekannt	-	1671523734265	2022-12-20	09:08
29	-	Unbekannt	-	1671523734265	2022-12-20	09:08
29	-	Unbekannt	-	1671523734265	2022-12-20	09:08
29	-	Unbekannt	-	1671523734265	2022-12-20	09:08
29	-	Unbekannt	-	1671523734265	2022-12-20	09:08
30	-	-	BST	1671523815312	2022-12-20	09:10
30	-	-	BST	1671523815312	2022-12-20	09:10
30	-	-	BST	1671523815312	2022-12-20	09:10
30	-	-	BST	1671523815312	2022-12-20	09:10
30	-	-	BST	1671523815312	2022-12-20	09:10
31	-	Unbekannt	BST	1671523862106	2022-12-20	09:11
31	-	Unbekannt	BST	1671523862106	2022-12-20	09:11
31	-	Unbekannt	BST	1671523862106	2022-12-20	09:11
33	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671523986698	2022-12-20	09:13
33	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671523986698	2022-12-20	09:13
32	-	-	BST	1671523902618	2022-12-20	09:11
32	-	-	BST	1671523902618	2022-12-20	09:11
34	-	Unbekannt	BST	1671524061290	2022-12-20	09:14
34	-	Unbekannt	BST	1671524061290	2022-12-20	09:14
34	-	Unbekannt	BST	1671524061290	2022-12-20	09:14
34	-	Unbekannt	BST	1671524061290	2022-12-20	09:14
34	-	Unbekannt	BST	1671524061290	2022-12-20	09:14
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
35	-	Unbekannt	Heizungszähler	1671524109893	2022-12-20	09:15
36	-	Unbekannt	BST	1671524232049	2022-12-20	09:17
36	-	Unbekannt	BST	1671524232049	2022-12-20	09:17
36	-	Unbekannt	BST	1671524232049	2022-12-20	09:17
36	-	Unbekannt	BST	1671524232049	2022-12-20	09:17
37	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671524300630	2022-12-20	09:18
37	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671524300630	2022-12-20	09:18
37	-	Sicherheitsbeleuchtung, zentral	-	1671524300630	2022-12-20	09:18
38	-	Unbekannt	BST	1671524331564	2022-12-20	09:18
38	-	Unbekannt	BST	1671524331564	2022-12-20	09:18
38	-	Unbekannt	BST	1671524331564	2022-12-20	09:18
38	-	Unbekannt	BST	1671524331564	2022-12-20	09:18
39	-	Unbekannt	BSK	1671524402318	2022-12-20	09:20
39	-	Unbekannt	BSK	1671524402318	2022-12-20	09:20
39	-	Unbekannt	BSK	1671524402318	2022-12-20	09:20
39	-	Unbekannt	BSK	1671524402318	2022-12-20	09:20
39	-	Unbekannt	BSK	1671524402318	2022-12-20	09:20

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
40	-	Unbekannt	Plan	1671524492038	2022-12-20	09:21
40	-	Unbekannt	Plan	1671524492038	2022-12-20	09:21
40	-	Unbekannt	Plan	1671524492038	2022-12-20	09:21
40	-	Unbekannt	Plan	1671524492038	2022-12-20	09:21
40	-	Unbekannt	Plan	1671524492038	2022-12-20	09:21
41	-	Unbekannt	Verteiler	1671524565197	2022-12-20	09:22
41	-	Unbekannt	Verteiler	1671524565197	2022-12-20	09:22
41	-	Unbekannt	Verteiler	1671524565197	2022-12-20	09:22
41	-	Unbekannt	Verteiler	1671524565197	2022-12-20	09:22
41	-	Unbekannt	Verteiler	1671524565197	2022-12-20	09:22
41	-	Unbekannt	Verteiler	1671524565197	2022-12-20	09:22
42	-	-	BSK	1671524747719	2022-12-20	09:25
42	-	-	BSK	1671524747719	2022-12-20	09:25
42	-	-	BSK	1671524747719	2022-12-20	09:25
42	-	-	BSK	1671524747719	2022-12-20	09:25
43	-	Unbekannt	BSK	1671524755701	2022-12-20	09:25
43	-	Unbekannt	BSK	1671524755701	2022-12-20	09:25
43	-	Unbekannt	BSK	1671524755701	2022-12-20	09:25
44	-	Unbekannt	-	1671524795507	2022-12-20	09:26
44	-	Unbekannt	-	1671524795507	2022-12-20	09:26
44	-	Unbekannt	-	1671524795507	2022-12-20	09:26
44	-	Unbekannt	-	1671524795507	2022-12-20	09:26
44	-	Unbekannt	-	1671524795507	2022-12-20	09:26
45	-	Unbekannt	Stromverteiler	1671524868239	2022-12-20	09:27
45	-	Unbekannt	Stromverteiler	1671524868239	2022-12-20	09:27
45	-	Unbekannt	Stromverteiler	1671524868239	2022-12-20	09:27
45	-	Unbekannt	Stromverteiler	1671524868239	2022-12-20	09:27

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
45	-	Unbekannt	Stromverteiler	1671524868239	2022-12-20	09:27
46	-	Unbekannt	Verteiler	1671524957576	2022-12-20	09:29
45	-	Unbekannt	Stromverteiler	1671524868239	2022-12-20	09:27
46	-	Unbekannt	Verteiler	1671524957576	2022-12-20	09:29
47	-	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525062277	2022-12-20	09:31
47	-	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525062277	2022-12-20	09:31
47	-	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525062277	2022-12-20	09:31
47	-	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525062277	2022-12-20	09:31
47	-	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525062277	2022-12-20	09:31
47	-	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525062277	2022-12-20	09:31
48	750	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525110265	2022-12-20	09:31
48	750	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525110265	2022-12-20	09:31
48	750	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525110265	2022-12-20	09:31
48	750	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525110265	2022-12-20	09:31
48	750	Unbekannt	Kalt Wasserpumpe	1671525110265	2022-12-20	09:31
49	751	Unbekannt	Kaltwasser VL	1671525256888	2022-12-20	09:34
49	751	Unbekannt	Kaltwasser VL	1671525256888	2022-12-20	09:34
49	751	Unbekannt	Kaltwasser VL	1671525256888	2022-12-20	09:34
49	751	Unbekannt	Kaltwasser VL	1671525256888	2022-12-20	09:34
49	751	Unbekannt	Kaltwasser VL	1671525256888	2022-12-20	09:34
50	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525332480	2022-12-20	09:35
50	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525332480	2022-12-20	09:35
50	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525332480	2022-12-20	09:35
50	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525332480	2022-12-20	09:35
50	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525332480	2022-12-20	09:35
51	-	-	-	1671525442418	2022-12-20	09:37
51	-	-	-	1671525442418	2022-12-20	09:37

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
51	-	-	-	1671525442418	2022-12-20	09:37
51	-	-	-	1671525442418	2022-12-20	09:37
51	-	-	-	1671525442418	2022-12-20	09:37
52	-	Unbekannt	Ausdehnungsgefäß	1671525506299	2022-12-20	09:38
52	-	Unbekannt	Ausdehnungsgefäß	1671525506299	2022-12-20	09:38
52	-	Unbekannt	Ausdehnungsgefäß	1671525506299	2022-12-20	09:38
52	-	Unbekannt	Ausdehnungsgefäß	1671525506299	2022-12-20	09:38
52	-	Unbekannt	Ausdehnungsgefäß	1671525506299	2022-12-20	09:38
52	-	Unbekannt	Ausdehnungsgefäß	1671525506299	2022-12-20	09:38
53	752	Unbekannt	Ventilator	1671525569402	2022-12-20	09:39
53	752	Unbekannt	Ventilator	1671525569402	2022-12-20	09:39
53	752	Unbekannt	Ventilator	1671525569402	2022-12-20	09:39
53	752	Unbekannt	Ventilator	1671525569402	2022-12-20	09:39
53	752	Unbekannt	Ventilator	1671525569402	2022-12-20	09:39
54	753	Unbekannt	Kältemaschine 1	1671525655394	2022-12-20	09:40
54	753	Unbekannt	Kältemaschine 1	1671525655394	2022-12-20	09:40
54	753	Unbekannt	Kältemaschine 1	1671525655394	2022-12-20	09:40
54	753	Unbekannt	Kältemaschine 1	1671525655394	2022-12-20	09:40
54	753	Unbekannt	Kältemaschine 1	1671525655394	2022-12-20	09:40
54	753	Unbekannt	Kältemaschine 1	1671525655394	2022-12-20	09:40
55	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525789294	2022-12-20	09:43
55	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525789294	2022-12-20	09:43
55	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525789294	2022-12-20	09:43
55	-	Unbekannt	Kältemaschine	1671525789294	2022-12-20	09:43
56	-	Unbekannt	BST	1671526020806	2022-12-20	09:47
56	-	Unbekannt	BST	1671526020806	2022-12-20	09:47
56	-	Unbekannt	BST	1671526020806	2022-12-20	09:47
57	-	-	-	1671526166487	2022-12-20	09:49
57	-	-	-	1671526166487	2022-12-20	09:49

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
57	-	-	-	1671526166487	2022-12-20	09:49
57	-	-	-	1671526166487	2022-12-20	09:49
57	-	-	-	1671526166487	2022-12-20	09:49
58	754	Unbekannt	Expansionsbehälter	1671526191472	2022-12-20	09:49
58	754	Unbekannt	Expansionsbehälter	1671526191472	2022-12-20	09:49
58	754	Unbekannt	Expansionsbehälter	1671526191472	2022-12-20	09:49
58	754	Unbekannt	Expansionsbehälter	1671526191472	2022-12-20	09:49
59	-	Unbekannt	Heizungsvorlauf /Rücklauf	1671526283298	2022-12-20	09:51
59	-	Unbekannt	Heizungsvorlauf /Rücklauf	1671526283298	2022-12-20	09:51
59	-	Unbekannt	Heizungsvorlauf /Rücklauf	1671526283298	2022-12-20	09:51
59	-	Unbekannt	Heizungsvorlauf /Rücklauf	1671526283298	2022-12-20	09:51
60	-	Unbekannt	Pumpsumpf	1671526356566	2022-12-20	09:52
60	-	Unbekannt	Pumpsumpf	1671526356566	2022-12-20	09:52
60	-	Unbekannt	Pumpsumpf	1671526356566	2022-12-20	09:52
60	-	Unbekannt	Pumpsumpf	1671526356566	2022-12-20	09:52
61	-	Unbekannt	-	1671526423463	2022-12-20	09:53
61	-	Unbekannt	-	1671526423463	2022-12-20	09:53
61	-	Unbekannt	-	1671526423463	2022-12-20	09:53
61	-	Unbekannt	-	1671526423463	2022-12-20	09:53
62	755	Unbekannt	-	1671526496333	2022-12-20	09:54
62	755	Unbekannt	-	1671526496333	2022-12-20	09:54
62	755	Unbekannt	-	1671526496333	2022-12-20	09:54
62	755	Unbekannt	-	1671526496333	2022-12-20	09:54
63	756	Unbekannt	Trafo	1671526583369	2022-12-20	09:56
63	756	Unbekannt	Trafo	1671526583369	2022-12-20	09:56
63	756	Unbekannt	Trafo	1671526583369	2022-12-20	09:56

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
64	757	Unbekannt	UFO	1671526667567	2022-12-20	09:57
64	757	Unbekannt	UFO	1671526667567	2022-12-20	09:57
65	758	Unbekannt	-	1671526682989	2022-12-20	09:58
65	758	Unbekannt	-	1671526682989	2022-12-20	09:58
65	758	Unbekannt	-	1671526682989	2022-12-20	09:58
65	758	Unbekannt	-	1671526682989	2022-12-20	09:58
66	-	-	Heizungsventil	1671527089629	2022-12-20	10:04
66	-	-	Heizungsventil	1671527089629	2022-12-20	10:04
66	-	-	Heizungsventil	1671527089629	2022-12-20	10:04
66	-	-	Heizungsventil	1671527089629	2022-12-20	10:04
66	-	-	Heizungsventil	1671527089629	2022-12-20	10:04
68	758	Unbekannt	Schoß Schild	1671527332122	2022-12-20	10:08
67	-	Unbekannt	Heizungsventil	1671527180294	2022-12-20	10:06
67	-	Unbekannt	Heizungsventil	1671527180294	2022-12-20	10:06
67	-	Unbekannt	Heizungsventil	1671527180294	2022-12-20	10:06
67	-	Unbekannt	Heizungsventil	1671527180294	2022-12-20	10:06
67	-	Unbekannt	Heizungsventil	1671527180294	2022-12-20	10:06
69	759	Unbekannt	Heizungs Ventil	1671527469798	2022-12-20	10:11
69	759	Unbekannt	Heizungs Ventil	1671527469798	2022-12-20	10:11
69	759	Unbekannt	Heizungs Ventil	1671527469798	2022-12-20	10:11
69	759	Unbekannt	Heizungs Ventil	1671527469798	2022-12-20	10:11
69	759	Unbekannt	Heizungs Ventil	1671527469798	2022-12-20	10:11
71	761	Unbekannt	Geschoßschild	1671527506399	2022-12-20	10:11
70	760	Sicherheitsbeleuchtung, einzeln ortsfest	Heizungsventil	1671527409954	2022-12-20	10:10
70	760	Sicherheitsbeleuchtung, einzeln ortsfest	Heizungsventil	1671527409954	2022-12-20	10:10
70	760	Sicherheitsbeleuchtung, einzeln ortsfest	Heizungsventil	1671527409954	2022-12-20	10:10
70	760	Sicherheitsbeleuchtung, einzeln ortsfest	Heizungsventil	1671527409954	2022-12-20	10:10
72	762	Unbekannt	Heizungsventil	1671527603997	2022-12-20	10:13

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
72	762	Unbekannt	Heizungsventil	1671527603997	2022-12-20	10:13
72	762	Unbekannt	Heizungsventil	1671527603997	2022-12-20	10:13
72	762	Unbekannt	Heizungsventil	1671527603997	2022-12-20	10:13
72	762	Unbekannt	Heizungsventil	1671527603997	2022-12-20	10:13
72	762	Unbekannt	Heizungsventil	1671527603997	2022-12-20	10:13
72	762	Unbekannt	Heizungsventil	1671527603997	2022-12-20	10:13
73	763	Unbekannt	Wasserzähler	1671527684267	2022-12-20	10:14
73	763	Unbekannt	Wasserzähler	1671527684267	2022-12-20	10:14
73	763	Unbekannt	Wasserzähler	1671527684267	2022-12-20	10:14
74	764	Unbekannt	Geschlossschild	1671528014941	2022-12-20	10:20
73	763	Unbekannt	Wasserzähler	1671527684267	2022-12-20	10:14
73	763	Unbekannt	Wasserzähler	1671527684267	2022-12-20	10:14
73	763	Unbekannt	Wasserzähler	1671527684267	2022-12-20	10:14
75	765	Unbekannt	Wasserzähler	1671528122212	2022-12-20	10:22
75	765	Unbekannt	Wasserzähler	1671528122212	2022-12-20	10:22
75	765	Unbekannt	Wasserzähler	1671528122212	2022-12-20	10:22
75	765	Unbekannt	Wasserzähler	1671528122212	2022-12-20	10:22
75	765	Unbekannt	Wasserzähler	1671528122212	2022-12-20	10:22
77	-	Unbekannt	Geschlossschild	1671528252457	2022-12-20	10:24
76	766	Unbekannt	Wasserzähler	1671528132060	2022-12-20	10:22
76	766	Unbekannt	Wasserzähler	1671528132060	2022-12-20	10:22
76	766	Unbekannt	Wasserzähler	1671528132060	2022-12-20	10:22
76	766	Unbekannt	Wasserzähler	1671528132060	2022-12-20	10:22
76	766	Unbekannt	Wasserzähler	1671528132060	2022-12-20	10:22
76	766	Unbekannt	Wasserzähler	1671528132060	2022-12-20	10:22
76	766	Unbekannt	Wasserzähler	1671528132060	2022-12-20	10:22
78	-	Unbekannt	WZ (Wasserzähler)	1671528274999	2022-12-20	10:24

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestandsfassungssapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
78	-	Unbekannt	WZ (Wassersähler)	1671528274999	2022-12-20	10:24
78	-	Unbekannt	WZ (Wassersähler)	1671528274999	2022-12-20	10:24
78	-	Unbekannt	WZ (Wassersähler)	1671528274999	2022-12-20	10:24
80	-	Unbekannt	Stromverteiler	1671528394094	2022-12-20	10:26
79	-	Unbekannt	WZ	1671528315901	2022-12-20	10:25
80	-	Unbekannt	Stromverteiler	1671528394094	2022-12-20	10:26
79	-	Unbekannt	WZ	1671528315901	2022-12-20	10:25
79	-	Unbekannt	WZ	1671528315901	2022-12-20	10:25
81	767	Unbekannt	-	1671528465379	2022-12-20	10:27
81	767	Unbekannt	-	1671528465379	2022-12-20	10:27
81	767	Unbekannt	-	1671528465379	2022-12-20	10:27
81	767	Unbekannt	-	1671528465379	2022-12-20	10:27
81	767	Unbekannt	-	1671528465379	2022-12-20	10:27
81	767	Unbekannt	-	1671528465379	2022-12-20	10:27
81	767	Unbekannt	-	1671528465379	2022-12-20	10:27
82	769	Unbekannt	Dokument Rauchfangkehrer	1671528564030	2022-12-20	10:29
82	769	Unbekannt	Dokument Rauchfangkehrer	1671528564030	2022-12-20	10:29
82	769	Unbekannt	Dokument Rauchfangkehrer	1671528564030	2022-12-20	10:29
82	769	Unbekannt	Dokument Rauchfangkehrer	1671528564030	2022-12-20	10:29
83	-	Unbekannt	Klimagerät	1671529306712	2022-12-20	10:41
83	-	Unbekannt	Klimagerät	1671529306712	2022-12-20	10:41
83	-	Unbekannt	Klimagerät	1671529306712	2022-12-20	10:41
83	-	Unbekannt	Klimagerät	1671529306712	2022-12-20	10:41
83	-	Unbekannt	Klimagerät	1671529306712	2022-12-20	10:41
83	-	Unbekannt	Klimagerät	1671529306712	2022-12-20	10:41
83	-	Unbekannt	Klimagerät	1671529306712	2022-12-20	10:41
84	-	Unbekannt	-	1671529398547	2022-12-20	10:43
84	-	Unbekannt	-	1671529398547	2022-12-20	10:43

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Ausschnitt aus den Rohdaten aus der mobilen Bestanderfassungsapp

objectid	id-poi	bauteiltyp	kommentar	survey-datetime	survey-date	survey-time
84	-	Unbekannt	-	1671529398547	2022-12-20	10:43
84	-	Unbekannt	-	1671529398547	2022-12-20	10:43
86	771	Unbekannt	Abluft	1671529514005	2022-12-20	10:45
86	771	Unbekannt	Abluft	1671529514005	2022-12-20	10:45
85	770	Unbekannt	Zuluft	1671529454623	2022-12-20	10:44
85	770	Unbekannt	Zuluft	1671529454623	2022-12-20	10:44
87	-	Unbekannt	Straßenschild	1671531388951	2022-12-20	11:16

Tab. B.4: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einer ID als Identifikator

id-poi	pos-x	pos-y	pos-z	timestamp
755	-4.960100	-8.648260	0.794710	1671526662.722052
756	-2.801060	-9.552910	-0.098030	1671526747.843894
757	-1.914010	-9.716170	-0.092310	1671526796.984326
758	-1.162990	-9.931400	-0.085780	1671526848.857795
758	-14.550150	-8.024310	19.337930	1671527501.260874
759	-15.271850	-9.662580	17.213730	1671527530.567463
760	-13.412160	-6.520320	17.276650	1671527564.883395
761	-14.579660	-8.138690	22.975890	1671527649.356188
762	-15.291340	-9.774170	22.006500	1671527709.203022
763	-13.505820	-6.614490	22.080980	1671527844.618530
764	-14.544510	-8.136270	27.258740	1671528177.770170
765	-15.246630	-9.715990	26.337510	1671528220.577954
766	-13.442900	-6.604270	26.397580	1671528250.284026
767	-10.306970	-9.011410	35.480700	1671528621.459085
769	-8.720850	-11.498170	35.374590	1671528735.658127

Tab. B.5: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator.
Datenbank 1

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
0000-pano.jpg	1671523059.842352	3.244596	-0.445394	1.028221
00001-pano.jpg	1671523074.223292	5.464103	-2.166095	1.061584
00002-pano.jpg	1671523098.455042	6.403705	-6.134697	1.037339
00003-pano.jpg	1671523114.227949	4.971471	-5.531328	1.036879
00004-pano.jpg	1671523131.805797	5.421335	-6.158419	1.036187
00005-pano.jpg	1671523152.784636	4.079466	-8.403818	0.990032
00006-pano.jpg	1671523161.180568	2.878745	-8.029336	0.975430
00007-pano.jpg	1671523185.927395	6.070735	-9.841589	0.991652
00008-pano.jpg	1671523287.019650	7.166877	-10.373196	1.019552
00009-pano.jpg	1671523292.146610	7.197156	-10.353617	1.016229
00010-pano.jpg	1671523299.590559	7.110305	-10.322315	1.021133
00011-pano.jpg	1671523364.304112	7.092250	-10.778855	1.033882
00012-pano.jpg	1671523442.416635	6.892219	-10.921468	0.997566
00013-pano.jpg	1671523474.015416	6.992815	-10.687616	1.005968
00014-pano.jpg	1671523520.956061	7.034022	-10.604258	0.988204
00015-pano.jpg	1671523551.669860	6.866000	-9.850932	0.998161
00016-pano.jpg	1671523621.603415	3.684589	-15.724479	0.509407
00017-pano.jpg	1671523636.750365	3.528254	-17.146324	0.981036
00018-pano.jpg	1671523677.605007	2.860029	-18.109638	0.997133
00019-pano.jpg	1671523706.470882	0.361367	-19.298720	1.050041
00020-pano.jpg	1671523767.134543	-0.448449	-20.995114	1.074868

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.5: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator.
Datenbank 1

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
00021-pano.jpg	1671523806.426268	6.889838	-10.237343	1.004773
00022-pano.jpg	1671523892.282766	2.685554	-8.208491	0.982260
00023-pano.jpg	1671523945.674427	6.631033	-6.498578	0.978149
00024-pano.jpg	1671523994.007151	-0.499581	-1.030063	0.944504
00025-pano.jpg	1671524020.800969	-2.106745	-2.831529	0.944551
00026-pano.jpg	1671524066.638700	-3.153132	-3.966932	0.914834
00027-pano.jpg	1671524098.288474	0.387658	-5.966069	0.916216
00028-pano.jpg	1671524119.810338	2.662550	-2.706623	-2.077158
00029-pano.jpg	1671524144.039149	0.588648	-1.148275	-2.164939
00030-pano.jpg	1671524215.482775	-1.554021	-1.906619	-2.186968
00031-pano.jpg	1671524269.004353	-1.416412	-1.949319	-2.193537
00032-pano.jpg	1671524385.597658	0.157172	-0.308052	-2.197537
00033-pano.jpg	1671524446.869211	3.362732	0.645887	-2.165977
00034-pano.jpg	1671524476.895062	4.579509	1.258911	-2.067756
00035-pano.jpg	1671524547.977709	4.278493	3.237176	-2.018534
00036-pano.jpg	1671524579.982100	5.388005	3.661660	-2.011668
00037-pano.jpg	1671524592.611560	5.487156	3.326773	-2.051549
00038-pano.jpg	1671524626.848324	7.219615	2.579450	-2.032531
00039-pano.jpg	1671524644.903235	8.122199	2.469602	-2.024437
00040-pano.jpg	1671524724.089826	9.833265	1.567533	-2.043282
00041-pano.jpg	1671524830.717254	11.121629	1.181611	-2.020732
00042-pano.jpg	1671524892.024950	11.561844	1.255693	-2.024130
00043-pano.jpg	1671524952.396674	11.737079	1.531989	-1.993094
00044-pano.jpg	1671525028.046404	12.953637	1.679267	-1.979699
00045-pano.jpg	1671525183.776637	12.383670	3.747007	-2.430584
00046-pano.jpg	1671525404.835708	12.494181	6.058992	-2.871124
00047-pano.jpg	1671525490.485314	12.198321	6.502901	-2.561057
00048-pano.jpg	1671525596.165932	14.076609	9.781871	-1.981185
00049-pano.jpg	1671525659.565650	14.819491	9.675022	-2.436147
00050-pano.jpg	1671525752.498364	15.703220	10.477253	-1.896851
00051-pano.jpg	1671525784.300333	14.534552	8.755602	-1.930878
00052-pano.jpg	1671525888.260783	14.396761	7.652273	-1.963311
00053-pano.jpg	1671525927.913606	14.222665	5.588098	-2.730676
00054-pano.jpg	1671525999.426422	13.318141	4.042305	-1.936900

Tab. B.6: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator.
Datenbank 2

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
00000-pano.jpg	1671526134.867805	-8.014783	-1.915394	0.798309
00001-pano.jpg	1671526158.008773	-7.864839	-5.311008	0.778266
00002-pano.jpg	1671526178.992624	-6.158857	-5.573628	0.778379
00003-pano.jpg	1671526223.856441	-4.123091	-5.555964	0.703649
00004-pano.jpg	1671526333.587142	-2.501222	-5.712002	0.264181
00005-pano.jpg	1671526515.280818	-0.027208	-6.117129	0.767317
00006-pano.jpg	1671526553.832772	-2.181384	-7.435264	0.769718
00007-pano.jpg	1671526604.706711	-2.773871	-7.281347	0.769274
00008-pano.jpg	1671526800.727828	-1.928334	-9.695081	0.796656
00009-pano.jpg	1671526935.523754	-10.448626	-7.584896	0.605453
00010-pano.jpg	1671526962.715732	-12.774903	-10.867326	3.828937
00011-pano.jpg	1671526985.334785	-12.303111	-6.591174	3.847427
00012-pano.jpg	1671526993.465771	-11.293147	-7.205589	4.477436
00013-pano.jpg	1671527029.228739	-13.303291	-11.149293	7.643580
00014-pano.jpg	1671527046.015646	-13.988592	-8.521622	8.369795
00015-pano.jpg	1671527062.283640	-10.374599	-8.100085	10.060732
00016-pano.jpg	1671527069.738635	-8.857408	-9.206870	10.924514
00017-pano.jpg	1671527078.229595	-9.869600	-11.097209	11.918358
00018-pano.jpg	1671527092.213943	-12.391146	-11.131702	13.372973
00019-pano.jpg	1671527099.140551	-13.767982	-10.291799	14.103030
00020-pano.jpg	1671527118.690488	-13.785939	-8.470937	14.107720
00021-pano.jpg	1671527239.721026	-14.321627	-9.616939	14.106545
00022-pano.jpg	1671527313.489949	-13.217767	-8.142413	14.102306
00023-pano.jpg	1671527323.930717	-12.349970	-6.808261	14.083439
00024-pano.jpg	1671527413.409328	-9.124468	-10.323264	16.463637
00025-pano.jpg	1671527587.094570	-9.732097	-7.931354	20.226610
00026-pano.jpg	1671527623.905319	-13.457147	-10.399930	23.594028
00027-pano.jpg	1671527871.735044	-8.618589	-9.084951	25.268449
00028-pano.jpg	1671527886.789011	-10.725929	-12.042322	26.513612
00029-pano.jpg	1671527901.701077	-13.806706	-10.450943	28.056416
00030-pano.jpg	1671528284.212269	-11.475304	-7.024495	28.367011
00031-pano.jpg	1671528330.357732	-9.413829	-10.752409	30.119399
00032-pano.jpg	1671528344.883657	-12.605037	-11.338076	31.405700
00033-pano.jpg	1671528414.906239	-13.543005	-8.099156	32.055667
00034-pano.jpg	1671528431.842178	-14.364839	-9.448720	32.058764
00035-pano.jpg	1671528462.739962	-12.458915	-6.483597	32.068941
00036-pano.jpg	1671528472.283950	-11.087572	-6.893700	32.575482
00037-pano.jpg	1671528487.614899	-8.458753	-9.432196	34.936013
00038-pano.jpg	1671528507.235770	-9.403171	-11.258549	35.605020
00039-pano.jpg	1671528541.006410	-10.426599	-10.873017	35.591335
00040-pano.jpg	1671528558.225458	-10.018965	-9.703005	35.592459

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.6: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator.
Datenbank 2

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
00041-pano.jpg	1671528590.013305	-10.403655	-9.267329	35.587401
00042-pano.jpg	1671528640.095071	-12.130179	-7.910396	35.862173
00043-pano.jpg	1671528696.238739	-11.502420	-10.148289	35.761343
00044-pano.jpg	1671528746.302404	-9.249178	-11.146020	35.633641
00045-pano.jpg	1671528767.302281	-9.174709	-7.942225	34.122736
00046-pano.jpg	1671528807.930403	-14.243634	-9.740619	32.019927
00047-pano.jpg	1671528926.222409	-9.256082	-10.792203	21.442711
00048-pano.jpg	1671529061.978482	-14.955483	-13.400248	7.527968
00049-pano.jpg	1671529074.057405	-10.711666	-16.802761	7.489170
00050-pano.jpg	1671529082.229872	-6.705292	-19.034885	7.443826
00051-pano.jpg	1671529094.700262	-3.893881	-19.868744	7.393709
00052-pano.jpg	1671529111.044197	-8.100458	-18.015637	7.456535
00053-pano.jpg	1671529130.165003	-15.535897	-14.274147	7.521055
00054-pano.jpg	1671529135.947959	-15.681403	-13.130163	7.524236
00055-pano.jpg	1671529140.760343	-14.055953	-13.051876	7.510000

Tab. B.7: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator
Datenbank 3

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
00000-pano.jpg	1671529355.791485	0.863846	1.009821	1.747611
00001-pano.jpg	1671529362.225368	1.834389	2.119238	2.534313
00002-pano.jpg	1671529369.715333	3.573894	2.825343	3.637511
00003-pano.jpg	1671529375.593292	4.710948	1.625395	4.426999
00004-pano.jpg	1671529382.448329	4.506128	-0.670019	4.752017
00005-pano.jpg	1671529387.476280	5.903342	-2.152047	4.746430
00006-pano.jpg	1671529392.847238	6.808223	-3.794267	4.648172
00007-pano.jpg	1671529398.318277	8.104776	-3.300259	4.642260
00008-pano.jpg	1671529404.075204	7.984469	-1.803885	4.628922
00009-pano.jpg	1671529451.760805	3.335343	-9.829535	4.575761
00010-pano.jpg	1671529462.973742	2.449180	-12.501027	4.637811
00011-pano.jpg	1671529504.348494	2.831007	-8.755448	4.572904
00012-pano.jpg	1671529516.231323	-0.858225	-7.395005	4.522923
00013-pano.jpg	1671529529.109202	-1.369520	-3.296057	4.475121
00014-pano.jpg	1671529560.007107	-3.105900	-1.503735	4.504447
00015-pano.jpg	1671529583.909811	-1.224628	-4.329488	4.408962
00016-pano.jpg	1671529612.600673	4.714012	-9.156149	4.616453
00017-pano.jpg	1671529746.994390	8.617866	-1.880005	4.629371
00018-pano.jpg	1671529758.391306	11.098545	0.978848	4.595625

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.7: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator
Datenbank 3

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
00019-pano.jpg	1671529764.513248	12.477942	2.683957	4.571433
00020-pano.jpg	1671529771.494211	14.341065	4.752231	4.517956
00021-pano.jpg	1671529777.771133	15.040822	6.438346	4.515871
00022-pano.jpg	1671529782.974128	15.874086	7.484573	4.533449
00023-pano.jpg	1671529789.199110	18.387536	7.657735	4.513555
00024-pano.jpg	1671529798.694006	21.585747	3.991667	4.493604
00025-pano.jpg	1671529808.505883	23.706035	-0.624733	4.506902
00026-pano.jpg	1671529817.346838	25.906330	-5.241043	4.538340
00027-pano.jpg	1671529826.988744	28.751508	-9.494861	4.541582
00028-pano.jpg	1671529837.507587	26.099826	-13.951365	4.490811
00029-pano.jpg	1671529847.181514	23.083676	-17.640438	4.436309
00030-pano.jpg	1671529854.841518	22.587021	-20.941543	4.464772
00031-pano.jpg	1671529861.409409	23.570645	-23.231890	4.426923
00032-pano.jpg	1671529868.250355	25.701193	-22.406734	4.428747
00033-pano.jpg	1671529874.996311	26.002495	-20.456760	4.464503
00034-pano.jpg	1671529885.369184	22.457825	-23.222469	4.430175
00035-pano.jpg	1671529892.937103	19.329701	-26.038942	4.363404
00036-pano.jpg	1671529902.870978	14.637108	-29.717199	4.320232
00037-pano.jpg	1671529909.395988	11.916570	-29.104765	4.306993
00038-pano.jpg	1671529915.175886	11.147182	-27.090118	4.279506
00039-pano.jpg	1671529922.337854	11.908676	-24.545623	4.348745
00040-pano.jpg	1671529931.384753	14.906931	-22.183722	4.390996
00041-pano.jpg	1671529938.630719	17.900993	-20.298636	4.401715
00042-pano.jpg	1671529949.743587	22.402249	-17.202041	4.434035
00043-pano.jpg	1671529955.825553	24.741410	-15.903735	4.441095
00044-pano.jpg	1671529964.934528	29.088468	-14.161636	4.552328
00045-pano.jpg	1671529972.425361	32.271925	-11.645880	4.526349
00046-pano.jpg	1671530006.024037	32.877124	-5.060304	4.566203
00047-pano.jpg	1671530018.826100	31.162165	0.635459	4.567926
00048-pano.jpg	1671530027.968824	30.105253	4.275463	4.561028
00049-pano.jpg	1671530034.798419	28.829657	7.227870	4.544054
00050-pano.jpg	1671530039.642757	27.593854	7.964654	4.520350
00051-pano.jpg	1671530049.289024	25.868628	8.240267	4.470281
00052-pano.jpg	1671530062.767912	21.222195	4.465649	4.492606
00053-pano.jpg	1671530084.373258	23.126352	4.244333	4.467655
00054-pano.jpg	1671530112.482037	24.671287	8.763000	4.438062
00055-pano.jpg	1671530124.146899	20.200602	13.498503	4.485450
00056-pano.jpg	1671530133.851790	16.466339	16.506461	4.536097
00057-pano.jpg	1671530139.915715	14.045649	17.895200	4.530961
00058-pano.jpg	1671530149.208850	12.729912	15.217075	4.476145
00059-pano.jpg	1671530155.790654	14.656594	13.672722	4.494429
00060-pano.jpg	1671530172.960405	10.572018	17.079829	4.465706

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.7: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator
Datenbank 3

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
00061-pano.jpg	1671530182.733362	6.465154	18.705165	4.422617
00062-pano.jpg	1671530191.958210	2.565613	20.708260	4.390836
00063-pano.jpg	1671530199.425146	-0.031145	22.803552	4.375868
00064-pano.jpg	1671530207.719032	-3.432729	24.577173	4.296296
00065-pano.jpg	1671530216.663992	-6.209484	22.001351	4.267229
00066-pano.jpg	1671530222.055883	-5.227005	21.045212	4.242258
00067-pano.jpg	1671530231.251767	-1.231979	19.117479	4.299154
00068-pano.jpg	1671530239.361712	-0.146427	21.507272	4.348599
00069-pano.jpg	1671530266.021379	0.615396	19.401425	4.333470
00070-pano.jpg	1671530275.222326	3.258954	16.287978	4.335751
00071-pano.jpg	1671530285.925154	8.533940	17.907995	4.439443
00072-pano.jpg	1671530298.781043	8.309473	13.741997	4.418143
00073-pano.jpg	1671530315.618453	12.409332	16.958241	4.491093
00074-pano.jpg	1671530327.245733	17.639044	14.267335	4.487296
00075-pano.jpg	1671530332.776751	18.394020	12.177925	4.480676
00076-pano.jpg	1671530338.068623	17.296508	10.072811	4.493394
00077-pano.jpg	1671530347.690524	16.836282	8.127480	4.524185

Tab. B.8: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator
Datenbank 4

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
00000-pano.jpg	1671530577.044666	6.002552	-1.179671	0.935762
00001-pano.jpg	1671530594.533174	15.199334	-1.876666	0.784612
00002-pano.jpg	1671530608.031104	17.832050	2.324617	0.816567
00003-pano.jpg	1671530628.993930	24.934790	1.540329	0.720557
00004-pano.jpg	1671530644.851774	33.981891	-0.260533	0.610227
00005-pano.jpg	1671530662.371627	37.812854	0.750902	0.550832
00006-pano.jpg	1671530677.956594	42.961151	-2.125818	0.487383
00007-pano.jpg	1671530697.597257	54.804788	-4.181695	0.306159
00008-pano.jpg	1671530721.316031	62.216901	-2.857111	0.285626
00009-pano.jpg	1671530760.097673	70.607385	-5.223800	0.225381
00010-pano.jpg	1671530766.859616	72.684708	-7.598312	0.198320
00011-pano.jpg	1671530773.197508	74.727477	-7.843524	0.155780
00012-pano.jpg	1671530779.014458	74.985662	-5.929416	0.155705
00013-pano.jpg	1671530787.098425	73.180793	-5.760806	0.180003
00014-pano.jpg	1671530796.206348	74.627842	-5.611165	0.155257
00015-pano.jpg	1671530801.284252	73.508534	-6.366355	0.175914
00016-pano.jpg	1671530825.230024	72.723635	-11.343650	0.206269

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.8: Raumkoordinaten der erfassten Objekte mit einem Zeitstempel als Identifikator
Datenbank 4

filename	timestamp	pano-pos-x	pano-pos-y	pano-pos-z
00017-pano.jpg	1671530997.261286	71.942176	-11.233540	0.154991
00018-pano.jpg	1671531138.119826	76.855938	-21.738714	0.132729
00019-pano.jpg	1671531169.615562	88.440856	-22.500075	0.022051
00020-pano.jpg	1671531189.050552	91.435276	-16.035051	-0.079614
00021-pano.jpg	1671531201.355146	92.293969	-10.858589	-0.122073
00022-pano.jpg	1671531210.543049	93.323638	-7.345774	-0.173444
00023-pano.jpg	1671531224.075934	92.643604	-3.008649	-0.169976
00024-pano.jpg	1671531242.056778	86.094752	0.210015	-0.171543
00025-pano.jpg	1671531254.345596	81.254812	-1.283393	-0.058163
00026-pano.jpg	1671531266.868515	76.628625	-4.791681	0.038952
00027-pano.jpg	1671531285.666257	75.385257	-7.512454	0.065617
00028-pano.jpg	1671531403.066018	63.782497	-5.147824	0.199325
00029-pano.jpg	1671531409.195137	62.659340	-5.409161	0.205448
00030-pano.jpg	1671531422.322917	59.850913	-5.358696	0.212394
00031-pano.jpg	1671531517.168822	9.718740	-1.555226	0.830773
00032-pano.jpg	1671531547.370506	-1.810443	0.304550	0.983701
00033-pano.jpg	1671531609.902814	-26.081101	5.875471	1.277884
00034-pano.jpg	1671531668.513659	-27.402502	6.179444	1.300817
00035-pano.jpg	1671531750.753301	-35.415803	-17.469106	1.252642

Tab. B.9: Ergebnisse Bürogebäude: Erfasste Sprinkleranlagen-Parameter Teil 1

timestamp-app	bauteiltyp	Löschmittelmedium	Nassalarmventilstation	Trockenalarmventilstation	Wasserbehälter
1671015608469	Sprinkleranlage	Wasser	1.000000	2.000000	3m3
1671027258469	Sprinkleranlage	Wasser	2.000000	1.000000	4m3

Tab. B.10: Ergebnisse Bürogebäude: Erfasste Sprinkleranlagen-Parameter Teil 2

timestamp-app	bauteiltyp	Löschmittelbehälter	Netzart	Auslöseart	Druckerhöhungsanlage	Trennstation	Zonenchecks
1671015608469	Sprinkleranlage	2m3	nass	automatisch	nein	nein	23.000000
1671027258469	Sprinkleranlage	1m3	nass	automatisch	nein	nein	21.000000