

DFG–Projekt

Validierung eines integrierten, dynamischen Modells des deutschen Häuserbestandes

Antragsteller:

Wolfgang Bischoff, Prof. Dr. rer. nat. habil. Niklaus Kohler, Prof. Dr. ès. sc. tech.
Institut für Mathematische Stochastik Institut für Industrielle
Fakultät für Mathematik Bauproduktion (ifib)
Universität Karlsruhe (TH) Universität Karlsruhe (TH)
und
Mathematisch–Geographische Fakultät
Katholische Universität Eichstätt–Ingolstadt

Förderungszeitraum durch die DFG: September 1999 bis September 2003

Höhe der DFG–Sachbeihilfe: etwa 300 000 Euro

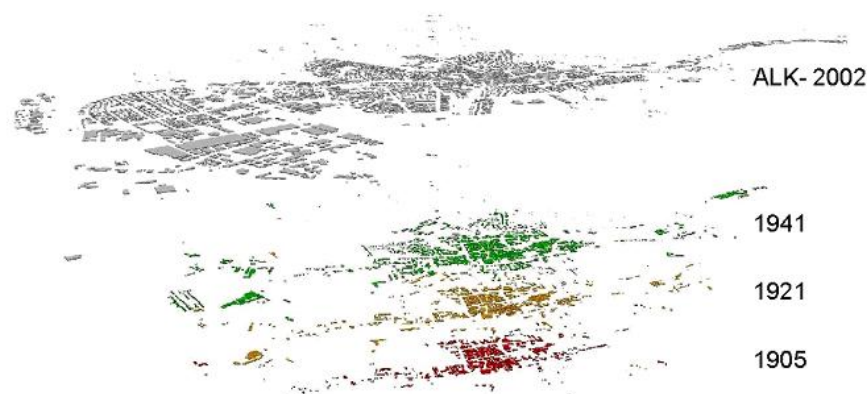


Abbildung 1: *Entwicklung der Stadt Ettlingen: Ausdehnung der Stadt Ettlingen in den Jahren 1905, 1921, 1941, 2002. Dabei ist 2002 mit Hilfe des Automatischen Liegen-schaftskatasters (ALK) dargestellt.*

Projektmitarbeiter

- Dipl.-Math. Guido Bader 1999-2001,
- Dr. rer. nat. Patrick Erik Bradley 2001-2002,
- Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Claudio Ferrara 2001-2002,
- Dipl.-Ing. Bärbel Schwaiger 1999-2001,
- Diverse wissenschaftliche Hilfskräfte.

Kurze Beschreibung des Projektes

In der Diskussion einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland kommt dem deutschen Gebäudebestand eine besondere Bedeutung zu. Er stellt zum Einen das größte physische, ökonomische und soziokulturelle Kapital einer Gesellschaft dar und ist als

solcher nicht reproduzierbar. Zum Anderen ist der Betrieb des Gebäudestandes (Heizung, Warmwasser, Elektrizität) zu rund 30% (Stand 2001) für den bundesdeutschen Endenergieumsatz verantwortlich. Somit kommt seiner Erhaltung und seinem Betrieb eine besondere Rolle zu.

Entgegen der dargestellten Notwendigkeit eines ausreichenden Wissens, gibt es über den deutschen Gebäudebestand nur wenige Informationen, die eine Beschreibung seines Umfangs, seiner stofflichen Zusammensetzung, seiner Dynamik und seiner Lokalisierung erlauben. Ziel des Projektes war sowohl ein Erkenntnisgewinn als auch ein Methoden-
gewinn zu Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Bestandes.

Ein wesentliches Ziel zu Anfang des Projektes war es, eine Methode zur Erfassung von gebäudebestandsbezogenen Daten zu entwickeln und zu erproben. Damit sollten vor Allem gültige Aussagen über Struktur und Dynamik des deutschen Gesamtbestandes ermöglicht werden. Diese Daten sollten des Weiteren der mathematischen und datenbanktechnischen Modellierung des Gebäudebestandes dienen.

Auf der Grundlage eines offenen dynamischen Modells des deutschen Gebäudebestandes, sollte es möglich sein, Prognosen zum Einfluss von verschiedenen Bewirtschaftungsstrategien, gesetzlichen Normen und neuer Technologien zu erstellen und die ökonomischen und ökologischen Einflüsse dieser Faktoren zu berechnen. Offen bedeutet hier, dass das Modell verschiedene Sichten und eine Überlagerung verschiedener Ebenen und Detaillierungsgrade ermöglicht. Durch die zusätzliche Verknüpfung von Daten aus verschiedenen anderen Projekten konnte eine übergreifende Analyse durchgeführt werden.

Das Gebäudebestandsmodell gliedert sich in vier Ebenen: Gebäudebestand, Gebäude, Bauteile und Materialien. Wichtigste Ebene für dieses Projekt war die Gebäudeebene. Sie dient auch der projektübergreifenden Erfassung und Überlagerung von Daten und deren Analyse.

Zusammenfassend ließen sich zwei operative Projektziele formulieren:

- Entwicklung und Verfeinerung einer Methode zur Erfassung von Daten von Gebäudebeständen unter Verwendung einer Datenbank
- Erfassung und statistische Analyse von Daten für Gebäude in der Modellstadt Ettlingen.

Als ergänzende Leistungen wurde die Ausweitung der Erfassungsmethode auf andere Problemstellungen, eine Erweiterung der Untersuchungsmethoden unter Verwendung von Geoinformationssystemen (GIS) und die Untersuchung der Übertragbarkeit der Erkenntnisse vom Modellbestand der Stadt Ettlingen auf einen größeren Bestand erbracht.

Das Arbeitsprogramm sah für das Projekt folgende Arbeitsschritte und Teilziele vor:

- Bestimmung der Datenquellen
- Erfassung der notwendigen Daten
- Aufbau einer Datenbank und einer Anbindung an ein GIS
- Auswertung und Analyse

- Validierung der Ergebnisse und der in der Stichprobe erhobenen Daten
- Schätzung der klassenspezifischen Gebäudelebensdauer und Überlebenswahrscheinlichkeit.

Detaillierte Beschreibung des Projekts

Datenquellen und -erfassung

Die Auswahl und Bewertung der möglichen Datenquellen und die Analyse der in der ersten Projektphase erfassten Daten ergab eine strukturierte Sicht auf den Gebäudebestand der Stadt Ettlingen, siehe Bader et al. (2002).

Hauptziel der zweiten Projektphase war die Dynamik des Gebäudebestandes, die durch die Prozesse Neubau, Um- und Anbau, Nutzungsänderung, Erneuerung und Abbruch erzeugt wird, zu erfassen. Auf Grund der vielseitigen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren (Material-, Bauteilalterung, Obsoleszenzfaktoren) ist eine direkte und exakte Beschreibung der Prozesse derzeit nicht möglich. Der hier verfolgte Ansatz sieht vor, die Prozesse stochastisch auf übergeordneten Ebenen zu analysieren und die daraus gewonnenen Informationen zur mathematischen Modellierung zu nutzen.

Abbildung 2: Eingabemaske Datenbank für die detaillierte Erfassung.

Die Datenbank wurde so aufgebaut, dass nur klassifizierte Antworten eingegeben bzw. ausgewählt werden können (Abb.2). Damit wurden eingabebedingte Inkonsistenzen, die durch die direkte Übertragung der Akteneinträge, z.B. durch unterschiedliche Schreibweisen, Abkürzungen (z.B.: Abbruch, Abriss, Abr. etc.) und Tippfehler vermieden und eine schnellere und korrektere Eingabe und Auswertung gewährleistet.

Die Analyse der im Rahmen der Stichprobe erhobenen dynamischen Daten (vor allem der Abbrüche) förderte eine für statistisch signifikante Aussagen unzureichende Datenmenge zu Tage. Daher wurde eine Gesamterhebung aller im Bauordnungsamt (BOA)

registrierten Abbrüche durchgeführt. Die zur Bestimmung der Gebäudelebensdauer notwendigen Baujahre der als abgebrochen gemeldeten Gebäude wurden in den Unterlagen der Feuerversicherung (FVS) recherchiert. Diese Recherche förderte Inkonsistenzen zwischen den Datenquellen (BOA, FVS) zu Tage, die zum Einen auf dem Genehmigungsverfahren für Abbrüche von Gebäude beruhen und zum Anderen auf dem ökonomischen Anreiz für den Gebäudebesitzer. Auf Grund dieser Inkonsistenz wurde eine adressengenaue Gesamterhebung aller Abbrüche in Ettlingen mit Hilfe der ca. 4000 Akten der FVS durchgeführt, um die bestehenden Widersprüchlichkeiten zu untersuchen. Damit konnte gleichzeitig die Stichprobe validiert werden.



Abbildung 3: *Halbautomatische Methode zur Validierung einer alten Karte (1941) mit Hilfe der ALK-Daten.*

Zu den Schwierigkeiten des Projektes gehörte auch die sehr mangelhafte Datenlage vor dem Jahr 1936 und nach der Auflösung des Versicherungsmonopols 1994. Der Ansatz im Projekt war, die fehlenden Akten durch den Vergleich mit Karten aus verschiedenen Zeiten zu ergänzen, bzw. dort wo Karten und Akten vorhanden waren, die Informationen aus den Akten durch die Karten zu validieren. Die Karten wurden digitalisiert und in das GIS eingelesen (Bsp. s. Abbildung 3). Dies bietet anschließend die Möglichkeit, nach der Anbindung an die Datenbank dieselben Auswertungen (Anzahl, Größe, etc.) vorzunehmen wie an der Datei des Automatischen Liegenschaftskatasters (ALK, Gebäudebestand im Jahr 2000).

Ein Problem war die Identifizierung der einzelnen Gebäude, da bisher die Gebäude immer anhand des Flurstücks zugeordnet wurden. Da sich aber auf einem Flurstück mehrere Gebäude befinden können und umgekehrt ein Gebäude auf mehrere Flurstücken stehen kann, hat dieses System offensichtliche Grenzen (Abbildung 4). Der hier vorgeschlagene Lösungsansatz sieht die strikte Trennung der Ebenen Gebäude und Flurstück vor. Dies geschieht durch die Vergabe von sogenannten GIS-Index-Nummern, die jedes Gebäude, ähnlich einer Personalausweisnummer, einmalig bekommt. Wird das Gebäude abgebrochen, erlischt die Nummer und wird auch nicht wiedervergeben (Abbildung 5). Damit war es möglich, die in der ALK-Datei vorhandenen Daten zusätzlich in die Datenbank zu übertragen und mit auszuwerten.

Schwerpunktverschiebung / -ausweitung

Die Arbeit kann als grundlegend betrachtet werden, insbesondere auch im Hinblick auf Folgeprojekte oder Projekte von anderen Forschern. Wir haben deshalb zu Beginn den Schwerpunkt auf die sehr genaue Erfassung und Dokumentation der erfassten Daten und des Vorgehens gelegt.



Abbildung 4: *Bisheriges Verfahren: Die Gebäude wurden mit den Flurstücken resp. Flurstücknummern verknüpft.*



Abbildung 5: *Neues Verfahren: Jedes Gebäude bekommt eine eigene einmalige GIS-Index-Nummer. Mit ihr lässt sich jedes Gebäude eindeutig bestimmen und zuordnen.*

Zur Validierung der gefundenen Ergebnisse durch Überlagerung und Vergleich verschiedener Quellen war es notwendig, neben den im ersten Projektteil gefundenen Datenquellen weitere zu erschließen (z.B. historische Karten, Bürgerbücher, etc.). Diese Quellen konnten während des Projektzeitraums nur zum Teil genutzt werden, können aber als Basis zukünftiger tiefer gehende historische Forschungen dienen.

Aus Zeitgründen konnte der Anspruch, ein komplett neues dynamisches Modell des deutschen Gebäudebestandes zu erarbeiten nicht erfüllt werden. Zwar ist es möglich, die gefundenen Daten auf Ebene der Gebäudeklassen auf die BRD hochzurechnen, doch wäre das Ergebnis wenig belastbar und nicht signifikant besser als die mit dem schon vorliegenden Modell berechneten Resultate.

Anstelle ungesicherte Resultate vorzulegen wurde der Schwerpunkt auf die Entwicklung einer allgemein gültigen Methode und die Untersuchung und Auswertung der potentiellen Datenquellen gelegt, die dann als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen dienen können.

Ein weiterer neuer Schwerpunkt ergab sich durch die Interpretation der Ergebnisse aus der Stichprobe. So wurden 134 Einträge für Veränderungen auf dem Flurstück mit der Adresse Pforzheimer Strasse 134 (Spinnerei Ettlingen) gefunden. Da dies überproportional viel im Verhältnis zur Gesamtmenge ist und erste Auswertungen bereits eine höhere Dynamik der Gebäude aus der Klasse der Nichtwohngebäude andeuteten, wurde diese Akte komplett erfasst. Dadurch bot sich die Gelegenheit, einen Sonderbestand mit der Gesamtheit der Gebäude der Stadt Ettlingen zu vergleichen und so die Homogenität bzw. Heterogenität von Beständen und den Einfluss ihrer Zugehörigkeit zu untersuchen. Das Ergebnis ist eine unterschiedliche Dynamik zwischen einem Sonderbestand und einem mittleren Bestand einer Stadt wie Ettlingen und ein vertiefter Einblick in die spezielle Dynamik eines Sonderbestandes.

Die detaillierte Erfassung der Daten die zur Modellierung der inneren Dynamik (Umbau, Erneuerung) während der Lebensdauer notwendig waren, erwies sich ebenfalls als sehr aufwendig. Die in der Stichprobe erhobenen Daten waren vom Umfang zu gering, als dass sie hierfür statistisch signifikante Aussagen zugelassen hätten. Grundsätzlich sind die versicherungsrelevanten Veränderungsdaten erfasst und auswertbar. Mit diesen Angaben lassen sich aber nur die großen Änderungen (Umbau, Anbau, Renovierung, Modernisierung, etc.) erfassen und modellieren.

Die erste Projektphase umfasste die Recherche nach geeigneten Datenquellen für die strukturierte Erfassung und anschließende statische Modellierung eines Gebäudebestandes. So wurden zunächst die potentiellen Quellen beschrieben, erfasst, analysiert und bewertet. Zu den ausgewählten Gebäuden wurden Eigenschaften wie die Nutzung, die Größe, etc. und weitere Detaildaten erfasst und anschließend statistisch ausgewertet. Schwerpunkte bei der Analyse waren in der Klasse der Wohngebäude die Untersuchung der Einfamilienhäuser (EFH) und die vergleichende Untersuchungen innerhalb der Klasse der Wohngebäude, die in der Stadt Ettlingen die größte Anzahl in dieser Klasse stellen. In der Klasse der Nichtwohngebäude lag der Fokus auf den nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäuden (NLB).

Die zweite Projektphase (drittes Projektjahr) sah zwei Arbeitspakete vor. Das erste Paket beinhaltet die Erfassung und Analyse der Daten zur stochastischen Modellierung von Abriss, Neu- und Umbau. Ziele des ersten Unterpunktes waren:

- Die Modellierung von Abrissen mit dem Ziel einer mittelfristigen Prognose zu Abrissrate, Abrissvolumen und Bauschutzzusammensetzung zu bekommen.
- Der Zusammenhang zwischen Alter und Abrisswahrscheinlichkeit (resp. Überlebenswahrscheinlichkeit).

Methodischer Schwerpunkt der zweiten Projektphase war die Untersuchung der Dynamik des Gebäudebestandes. Da die Lebensdauer der Gebäude (äußere Dynamik) weitergehende Betrachtungen und Überlegungen zulässt, lag das Hauptaugenmerk der angebotenen Betrachtungen auf der Erfassung und Auswertung der Bau- und Abbruchdaten, um damit die Gebäudelebensdauer und Überlebenswahrscheinlichkeiten zu schätzen. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Gebäude in den verschiedenen Alters- und Bauwerksklassen wurden mithilfe des sog. Kaplan-Meier-Schätzers geschätzt. So können unter Verwendung sogenannter parametrischer Verteilungsfunktionen in Zukunft Prognosen erstellt werden.

Durch die Nacherhebung aller im Rahmen des Projektes erreichbaren Abbruch- und Baujahre, war es möglich, sehr detaillierte Ergebnisse zu den Lebensdauern von Gebäuden zu erhalten. Wesentliche Ergebnisse sind die gebäudeklassenabhängigen Überlebenswahrscheinlichkeiten und die daraus folgende Bestimmung der ebenso gebäudeklassenabhängigen Lebensdauern. Dabei wurde zunächst nur in Wohn- und Nichtwohngebäude und nach Altersklassen unterteilt.

Wohngebäude	AK1	AK2	AK3	AK4	AK5	AK6	AK7	AK8	AK9
Ettlingen	300	159	120	79	65	50	35	23	5
Stichprobe	302	157	121	78	65	50	35	23	5
PF134	—	150	81	—	—	48	—	19	—
Nichtwohngebäude									
Ettlingen	244	147	103	61	50	41	33	23	5
Stichprobe	247	140	106	64	53	41	34	23	5
PF134	155	125	89	55	55	43	20	15	—

Tabelle 1: *Altersklassenabhängige mittlere Lebensdauer von Gebäuden.*

Tabelle 1 zeigt eine tendenzielle Abnahme der altersklassenabhängigen mittleren Lebensdauer von Gebäuden. Zu beachten ist dabei, dass in den jüngeren Altersklassen die Gebäude noch gar nicht so alt sein können (Rechtszensur). Neben der Frage nach der Lebensdauerabnahme bei jüngeren Altersklassen, zeigt sich eine unterschiedliche Dynamik der Bauwerksklassen. Die Wohngebäude weisen in den AK 1 - 7 immer eine höhere mittlere Lebensdauer als die Nichtwohngebäude auf. Als erste Vermutung ergibt sich somit, dass Wohngebäude eine höhere mittlere Lebensdauer haben als gleichaltrige Nichtwohngebäude. Generell zeigt sich, dass die aus finanztechnischen Gründen angenommene und in vielen Publikationen verwendete Lebensdauer (Abschreibungsdauer) von max. 80 Jahren mit den vorliegenden Ergebnissen nicht übereinstimmt. Eher wird die Annahme bestätigt, dass Gebäude mit einer entsprechenden Wartung, Instandhaltung und Erneuerung leicht das zwei- bis dreifache der in der Literatur angenommenen

Lebensdauer erreichen können.¹

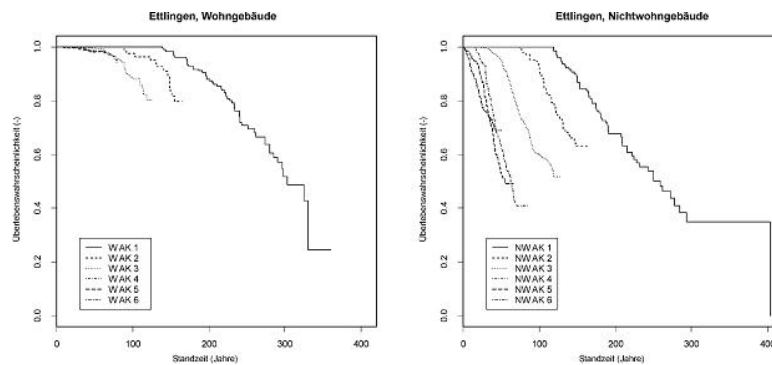


Abbildung 6: Links ist die Überlebenswahrscheinlichkeit für die Klasse der Wohngebäude (W) und rechts der Nichtwohngebäude (NW) in Ettlingen für die Altersklassen 1-6 (AK) dargestellt.

Diese Vermutung wird durch die detaillierte Analyse der Daten bekräftigt. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Diagramme enthalten den Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeiten der Altersklassen 1-6 für die Klasse der Wohn- und Nichtwohngebäude in Ettlingen. In beiden Diagrammen ist ein bauwerksklassenabhängiger Verlauf zu beobachten. So scheint der Verlauf der AK1 bei den Wohngebäuden als konvex, bei den Nichtwohngebäuden hingegen konkav gekrümmt zu sein.

Aus der näheren Betrachtung des anfänglichen Kurvenverlaufs der Überlebenswahrscheinlichkeiten von Wohngebäuden, dargestellt in Abbildung 7, ergibt sich als zweite Vermutung, dass die Anfangsstücke der ersten ca. 100 Jahre der Überlebenswahrscheinlichkeiten von Wohngebäuden aller Altersklassen übereinstimmen.

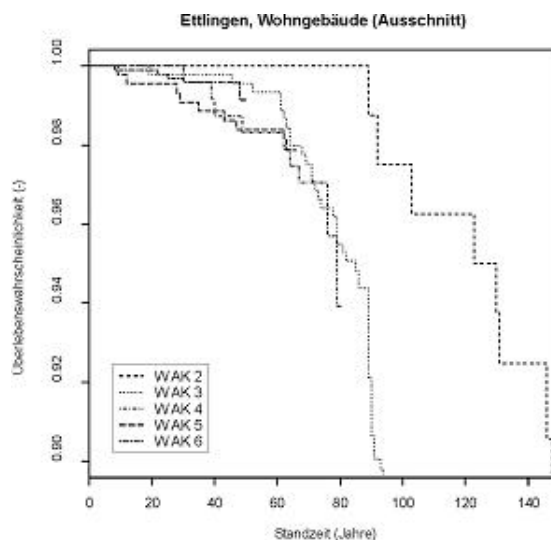


Abbildung 7: Ausschnittvergrößerung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Wohngebäuden in Abhängigkeit von der Lebensdauer.

¹Erreichbar heißt hier, dass es u.U. einige - wenige - sog. tote Akten gibt, von denen trotz Rückfragen bei den zuständigen Stellen keine Informationen zu bekommen waren.

Ziel des zweiten Pakets waren Untersuchungen zur Modellierung von Neubaudaten mit dem Ziel einer mittelfristigen Prognose zu Neubaurate, Neubauvolumen und den verbundenen Energie- und Stoffströmen.

Aus den Daten der Stichprobe wurde die Anzahl der Neubauten für jedes Jahr geschätzt. Die Abbildung 8 zeigt die Entwicklung des Gesamtbestandes, differenziert nach Wohn- und Nichtwohngebäuden. Deutlich zu erkennen ist die unterschiedliche Entwicklung dieser beiden Teilbestände ab dem Jahr 1949. Bis 1949 weisen beide Teilbestände in etwa die gleiche Steigung auf. Nach 1949 steigt die Anzahl der vorhandenen Wohngebäude deutlich schneller an, als die Anzahl der Nichtwohngebäude. So entwickelt sich das Verhältnis von Wohn- zu Nichtwohngebäude von anfänglich 51% zu 49% im Jahr 1936 zu 59% zu 41% im Jahr.

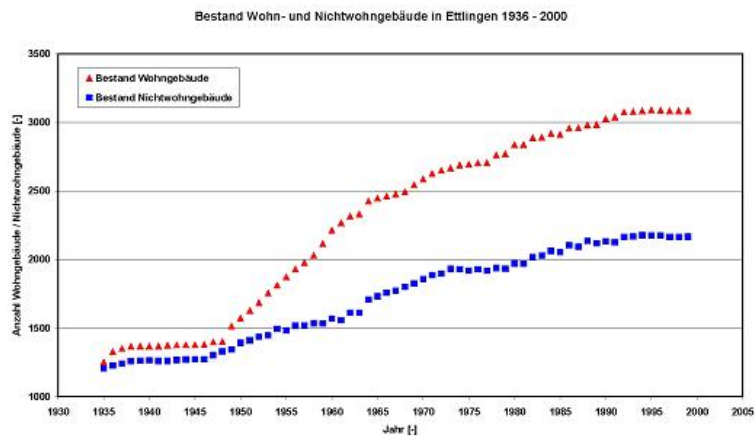


Abbildung 8: *Entwicklung des Gebäudebestandes in Ettlingen von 1936 - 2000.*

Unter Einbeziehung der aus der adressenscharfen Gesamterhebung gefundene Abbrüche und der geschätzten Neubauten lassen sich die Raten für Abbrüche und Neubauten berechnen. Die Ursachen für die oben beschriebene Entwicklung ergibt sich aus der gemeinsamen Betrachtung der Neubau- und Abbruchraten. Während die Neubaurate für Wohngebäude und Nichtwohngebäude für den Grossteil der betrachteten Jahre annähernd gleich ist, ihre Mittelwerte liegen bei 1,5% für Wohngebäude und bei 1,7% für Nichtwohngebäude, zeigen sich bei der Abbruchrate deutliche Unterschiede. Die Abbruchrate für Wohngebäude bleibt über dem gesamten betrachteten Zeitraum nahezu konstant (Mittelwert: 0,1%, Maximalwert: 0,4%). Die Abbruchrate für Nichtwohngebäude hingegen weist deutlich höhere Werte (Mittelwert: 0,8%, Maximalwert: 1,9%) und höhere Schwankungen auf.

Veröffentlichungen

- Bader, G., Bischoff, W., Kohler, N., Schwaiger, B. Statistische Methoden zur Analyse von Gebäudebeständen, Stadtforschung und Statistik, 1/02, S.44-47, 2002.
- Bischoff, W., Bradley, P.E., Ferrara, C., Kohler, N. Überlebensanalyse von Gebäudebeständen am Beispiel der Stadt Ettlingen, Stadtforschung und Statistik, (Heft 1, 2005), 32 - 35.