

Kurzfassung

96,9 %

Ein großer Teil der bestehenden Wohn- und Geschäftsgebäude hat ein Alter von mehreren Jahrzehnten, teilweise sogar von Jahrhunderten. Zukünftig stehen deshalb in großem Umfang Rekonstruktionsaufgaben an Bauwerken aus unterschiedlichen Errichtungszeiträumen an. Für den Planer besteht die verantwortungsvolle Aufgabe, sich unter Berücksichtigung des damaligen Standes der Technik behutsam dem Bauwerk in seiner Komplexität zu nähern. Die Voraussetzung dafür ist eine umfassende Bestandsaufnahme. In ihrem Ergebnis erhält der Tragwerksplaner Daten, deren Übertragbarkeit auf das gesamte Bauwerk er einschätzen und abgrenzen muss. Hieraus ergeben sich wiederum Fragen hinsichtlich der Einordnung der Qualität der alten Werkstoffe bei der Wahl charakteristischer Festigkeitskennwerte für das einzelne Bauteil. Die vorliegende Arbeit hat sich zum Ziel gesetzt, dem Planer Hilfsmittel für seine Tätigkeit bei der Rekonstruktion von Altbauten zu geben. Damit soll ein Beitrag zu einer direkten Baukostenreduzierung geleistet werden.

Zielstellung

Ausgehend von einer Recherche des Standes der Technik zur Herstellungs- bzw. Errichtungszeit und von Ergebnissen aus Untersuchungen verschiedener alter Bauwerke ist die Verteilung der Materialeigenschaften der zur damaligen Zeit eingesetzten Werkstoffe, den Puddel- und Flusstählen, am Beispiel von Doppel-T-Normalprofilen für einen konkreten Zeitraum darzustellen. Es sind Aspekte der Probenahme für die Einschätzung möglicher Einflüsse des Entnahmeortes, der Probenanordnung sowie der Form und Größe der Proben zu berücksichtigen.

In einem weiteren Schwerpunkt werden statistische Kennwerte für die Bewertung der bei einer Bauwerksprüfung gewonnenen Daten zur Verfügung gestellt. Hierzu wird an einem konkreten Objekt eine komplette Bestandsaufnahme des Stahltragwerkes durchgeführt.

Die Möglichkeit der Differenzierung der Grundgesamtheit alter Flusstähle ist durch eine von Bauteilgröße und Hersteller abhängige Auswertung zu überprüfen. In der vorliegenden Arbeit wird der Versuch einer exemplarischen Darstellung der Qualitätslage eines territorialen - und damit hinsichtlich seiner Produktion überschaubaren - Herstellers für ein definiertes Zeitfenster unternommen. Dabei wird der Rückschluss von der Stichprobe auf eine zu bestimmende Grundgesamtheit (der Produktion des Herstellers in einem begrenzten Zeitraum) gezogen.

Die Ergebnisse werden in einer Datenbank zusammenfassend aufbereitet, die dem Tragwerksplaner helfen soll, gewonnene Daten aus der Bauwerksanalyse zu beurteilen und zu verwalten.

Ergebnisse

Die Grundlage für eine Beurteilung der Eigenschaften alter Stähle ist die Recherche des Standes der Technik zur Herstellungs- bzw. Errichtungszeit. Für die Bewertung und Einordnung der Ergebnisse wurde eine Recherche der Fachliteratur des Zeitraumes von 1880-1920 durchgeführt. Die dabei gewonnenen Informationen, insbesondere aus den seinerzeit führenden Fachpublikationen "Stahl und Eisen" und "Der Eisenbau" werden aufgeführt. Die Entwicklung der Eisen- und Stahlerzeugung im 19. Jahrhundert, der Einfluss der Legierungselemente, aber auch der Stand der Walztechnik bei der Herstellung von Doppel-T-Normalprofilen in Deutschland wird dargestellt. Es wird ferner auf den Einfluss des Walzens auf die Werkstoffeigenschaften und auftretende Fehler im Walzgut eingegangen. Der Stand der Qualitätsüberwachung und die Struktur der Handelsformen zu Beginn des 20. Jahrhunderts wird bewertet. Ein umfangreiches Quellenverzeichnis zu Originalveröffentlichungen bietet die Möglichkeit weiterer Recherchen.

Die Recherche zu Veränderungen der Herstellungsverfahren - verdeutlicht am Übergang von Puddelstahl zu Flusstahl und spezifiziert in den Verfahren nach Bessemer, Thomas und Siemens-Martin - führt zu den ersten statistischen Materialuntersuchungen von Mertens an Thomas- und Siemens-Martinflußstählen der Fordoner Brücke aus dem Jahr 1893. Den Ergebnissen werden neuere Untersuchungen bewertend gegenübergestellt.

Weiterführend wird aus vorliegenden eigenen Ergebnissen an Walzprofilen des Herstellungszeitraumes 1850-1940, die aus Untersuchungen bei der Sanierung und Umwidmung alter Bausubstanz gewonnen wurden, eine statistische Bewertung durchgeführt. Dabei werden die chemische Zusammensetzung sowie die Festigkeits- und Dehnungskennwerte in Abhängigkeit von dem Seigerungsverlauf betrachtet. Bei den untersuchten Bauteilen handelt es sich um Profile aus Puddel- und Flusstahl verschiedener Größen und Typen.

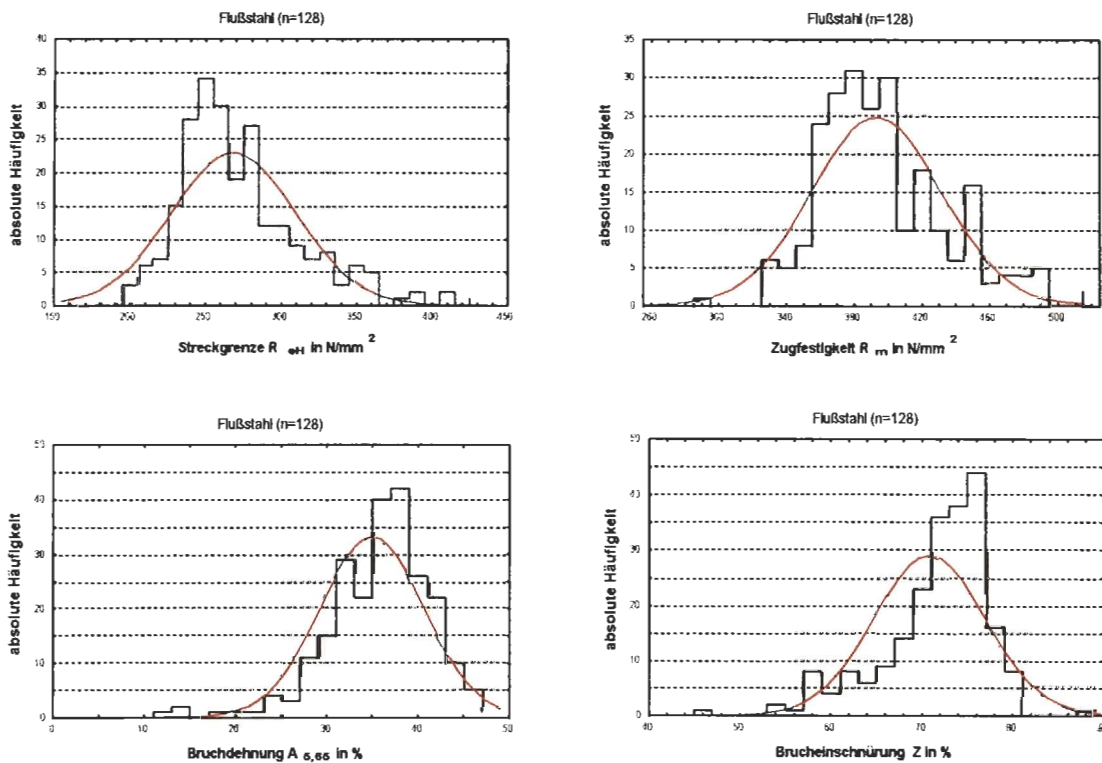


Bild 1: verfahrensneutrale Darstellung der Häufigkeitsverteilung von Flusstahl

Die Ergebnisse von Flusstählen aus Walzprofilen verschiedener Objekte stellen sich in ihrer Häufigkeitsverteilung entsprechend Bild 1 dar. Die Verteilungsform der Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte wird als linksschief, die der Bruchdehnung und Brucheinschnürung dagegen als rechtsschief gefunden.

An 107 Flusstahlprofilen wurde die chemische Zusammensetzung ermittelt (Tab. 1).

statistische Kennwerte	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	N [%]
n	290	290	290	290	290	290
m	0,070	0,020	0,471	0,043	0,042	0,010
s	0,047	0,034	0,130	0,019	0,019	0,008
v	0,671	1,700	0,276	0,442	0,452	0,800
Min	0,010	0,001	0,269	0,001	0,011	0,001
Max	0,215	0,170	1,290	0,092	0,094	0,061

Tab. 1: Statistische Kennwerte der chemischen Zusammensetzung von Flusstählen aus verschiedenen Objekten

Die Werte sind mit den in der Literatur angegebenen Grenzen vergleichbar.

Die mechanischen Kennwerte sind in Tabelle 2 enthalten. Im Verteilungstest ergibt sich für die Messwerte der Streckgrenze, der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung die beste Anpassung bei Zugrundelegen einer Normalverteilung. Einzelne Bereiche werden durch eine logarithmische Normalverteilung besser dargestellt.

statistische Kennwerte	R_{eH} [N/mm ²]	R_m [N/mm ²]	R_m/R_{eH} [-]	$A_{5,65}$ [%]	Z [%]
n	128	128	128	128	128
m	268	393	1,48	34,8	70,7
s	41	37	0,14	5,7	6,1
v	0,152	0,094	0,094	0,163	0,086
Min	192	326	1,03	10,5	44,2
Max	422	513	1,86	46,6	88,6

Tab. 2: Statistische Kennwerte von Mittelwerten der mechanischen Eigenschaften von Flusstählen aus verschiedenen Objekten

Für eine stärkere Differenzierung der Daten alter Flusstähle ist eine von Bauteilgröße und Hersteller abhängige Auswertung erforderlich. Entsprechend wurde an einem Bauwerk eine komplette Bestandsaufnahme des Stahltragwerkes durchgeführt. Die erhaltenen Daten wurden nach statistischen Gesichtspunkten ausgewertet. Für die Untersuchungen wurden die in Wohn- und Geschäftsbauten häufig auftretenden Profilgrößen NP 24, 28, 32, 34 und 36 ausgewählt.

Die Voraussetzung für eine herstellerbezogene Auswertung der Daten ist die Feststellung der Herstellerkennzeichen (Walzzeichen). Die Tabelle 3 enthält die ermittelten Hersteller. Aus entsprechenden Aussagen in der historischen Literatur kann entnommen werden, dass im Errichtungszeitraum des Bauwerkes zwischen 1911-1913 eine Zwischenlagerung der produzierten Bauteile nur in begrenztem zeitlichen Umfang erfolgte.

Walzzeichen	Werkszuordnung
ROMBACH	Rombacher Hüttenwerke
H.F.	Zuordnung nicht gesichert
UNION. HORST	Union Dortmund
GUTEHOFFNUNG	Gutehoffnungshütte Oberhausen, Aktienverein für Bergbau und Hüttenbetrieb
B.	Zuordnung nicht gesichert
N K GEBR · STUMM ·	Gebrüder Stumm G.m.b.H. Neukirchen
ROEHLING	Röchling'sche Eisen- und Stahlwerke, G.m.b.H. Völklingen
RODINGEN	Société Anonyme d'Ougrée-Marhay, Abteilung Rodingen
Ω H G	Zuordnung nicht gesichert
Max H. König Albert W.	Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte Sulzbach-Rosenberg, König-Albert-Werk Lichtentanne bei Zwickau / Sachsen
PEINER WALZWERK	Actien-Gesellschaft Peiner Walzwerk
HOESCH	Eisen- und Stahlwerk Hoesch, Aktiengesellschaft in Dortmund

Tab. 3: Zusammenstellung der Walzzeichen der Herstellwerke

An den entnommenen Doppel-T-Normalprofilen wurde der Seigerungsverlauf über der Flanschhälfte anhand der chemischen Zusammensetzung und der mechanischen Kennwerte untersucht. Bild 2 zeigt beispielsweise den Verlauf der ermittelten Bruchdehnung. Im Ergebnis wurde eine Zunahme der Festigkeitswerte in Richtung zur Flanschmitte festgestellt.

Verlauf der Bruchdehnung

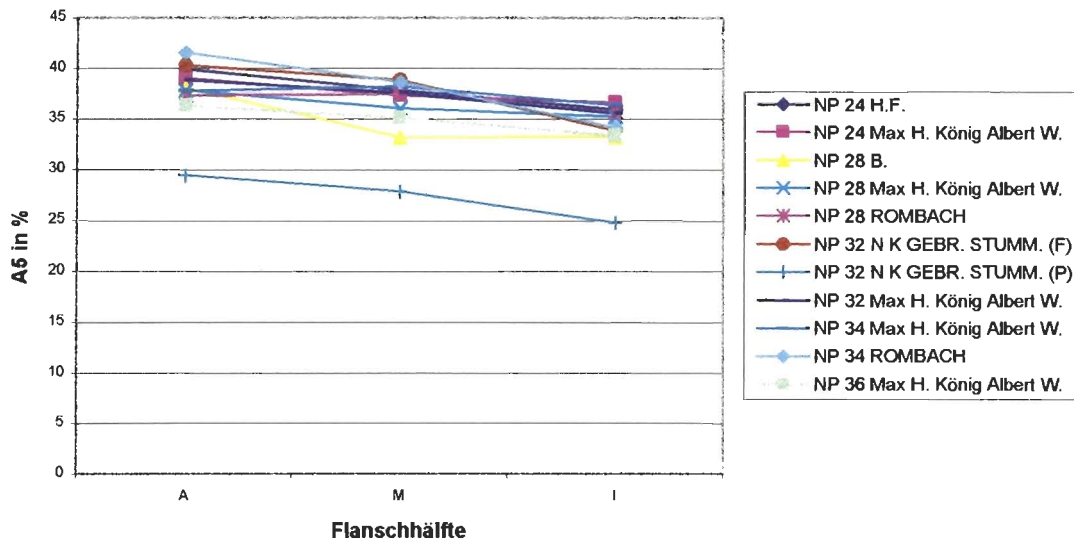


Bild 5: Verlauf der Bruchdehnung in der Flanschhälfte (A-Außenseite, M-Mitte, I-Innenseite(Stegseite))

Anhand der Ergebnisse werden Rückschlüsse auf den Einfluss der Rahmenbedingungen bei einer Probenentnahme an Doppel-T-Normalprofilen gezogen.

Aus den ermittelten Datenmengen wurden unterschiedliche Grundgesamtheiten nach Tabelle 4 definiert und statistisch ausgewertet.

Kriterien	Grundgesamtheit		
	1	2	3
mechan. Kennwert (R_{eH} , R_m , $A_{5,65}$, Z)	x	x	x
Stahlsorte (Flussstahl, Puddelstahl)	x	x	x
Herstellungsverfahren (Bessemer, Thomas, Siemens-Martin)			x
Erzeugnisform (Doppel-T-Walzprofil)	x	x	x
Hersteller		x	x
Dickenbereich (Profilgröße)	x	x	x
Entnahmebereich (nach EURONORM 18.79; Flanschbereiche)	x	x	x
Probengröße (gleiche oder abgestufte Größe)	x	x	

Tab. 4: Bildung von Grundgesamtheiten

Dabei erfolgte die Abgrenzung der Grundgesamtheit durch die Produktion einzelner Hersteller in einem eng begrenzten Zeitfenster. Die Vorgehensweise ermöglichte es, für einen regionalen - und damit in seiner Produktion überschaubaren - Hersteller die Qualitätslage der Produkte hinsichtlich ihrer Festigkeits- und Dehnungseigenschaften zu bestimmen. Damit konnten für die im mitteldeutschen, speziell im sächsischen Raum häufig anzutreffenden Doppel-T-Normalprofile des Zweigwerkes der Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte Sulzbach-Rosenberg, dem König-Albert-Werk in Lichtentanne bei Zwickau, für den Zeitraum 1911-1913 statistische Kennwerte erhalten werden. Anhand einer durchgeführten Recherche der Werksentwicklung und den damit verbundenen Veränderungen wurde der Nachweis der Gültigkeit der Werte für einen längeren Herstellungszeitraum erbracht.

Die Spezifikation der untersuchten Grundgesamtheiten erfolgte nach den Kriterien:

- Hersteller: König-Albert-Werk Lichtentanne bei Zwickau
- Herstellungszeitraum: 1911-1913
- Profilgrößen: 24, 28, 32, 34, 36

Den Ergebnissen wurden die Werte von Produkten anderer Hersteller vergleichend gegenübergestellt.

Das Bild 6 zeigt an einem Beispiel für die Profilgröße 28 des König-Albert-Werk Lichtentanne die Lage der Einzelwerte der oberen Streckgrenze in einem Quantil-Quantil-Plot.

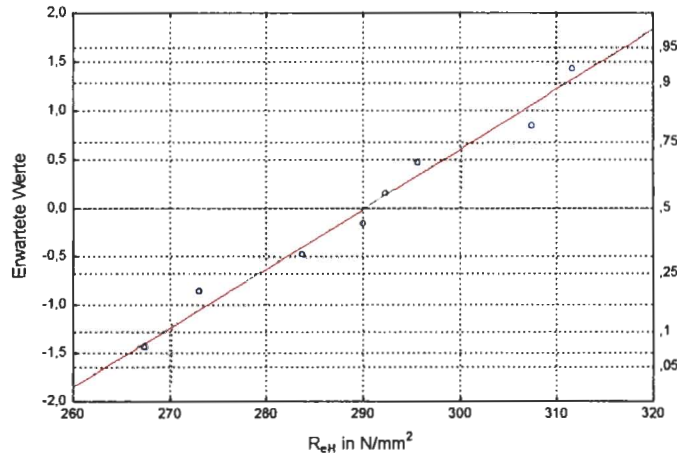


Bild 6: Quantil-Quantil-Plot der Auswertung der Ergebnisse von Bauteilen aus Flussstahl (Doppel-T-Walzprofil NP 28 / Hersteller: König-Albert-Werk Lichtentanne)

Die Tabelle 5 enthält die Zusammenfassung der bauteilgrößenbezogenen Festigkeits- und Dehnungswerte für einzelne Herstellwerke.

Hersteller	Profilgröße	ReH [N/mm ²]			Rm [N/mm ²]			A5,65 [%]			Z [%]		
		n	m	s	n	m	s	n	m	s	n	m	s
mehrere Hersteller	24	26	274	14	26	385	14	26	38,8	1,2	26	75,8	1,1
	28	50	289	21	50	391	18	50	37,1	2,5	50	75,7	1,8
	32	72	270	11	72	394	14	72	37,3	1,2	72	71,8	2,2
	34	68	259	18	68	375	18	68	38,6	2,0	68	74,5	2,2
Max. H. K. Albert W.	24	14	271	12	14	384	13	14	38,8	1,5	14	75,2	1,1
	28	16	290	15	16	388	9	16	37,2	2,0	16	75,3	2,2
	32	36	273	12	36	398	13	36	37,3	1,2	36	70,9	1,8
	34	52	259	18	52	376	17	52	37,9	1,8	52	73,9	2,0
	36	24	268	16	24	389	20	24	35,7	3,2	24	72,5	2,1
H.F.	24	12	277	16	12	385	16	12	38,8	1,0	12	76,4	0,7
ROMBACH	28	26	288	26	26	390	22	26	37,3	2,7	26	75,9	1,8
B.	28	8	290	14	8	403	10	8	36,4	3,4	8	76,5	0,4
N K GEBR. STUMM	32	36	256	3	36	365	10	36	39,8	1,1	36	77,1	0,6
ROMBACH	34	16	258	15	16	371	24	16	40,6	1,0	16	76,3	2,1

Tab. 5: Zusammenfassung der Mittelwerte der Festigkeitskennwerte

Abschließend erfolgte auf der Grundlage der erhaltenen Daten einer Stichprobe eine rechnerische Abschätzung der Erwartungswerte von Mittelwert, Standardabweichung und 5%-Quantilwert für die Grundgesamtheit. Diese Grundgesamtheit ist die Produktion in einem bestimmten Zeitraum. Sie wurde herstellernerneutral und herstellerbezogen untersucht.

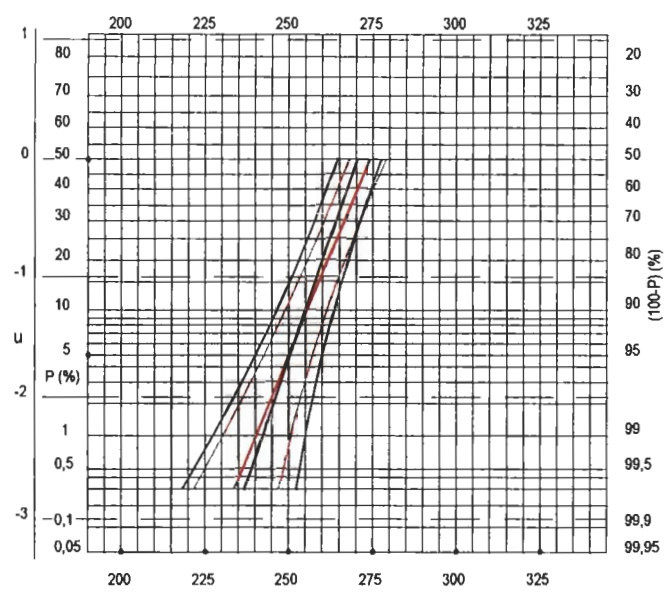


Bild 7: Profilgröße 24

Gegenüberstellung der Summenhäufigkeit der Stichprobe zu den 95%-Vertrauensgrenzen der Grundgesamtheit ($1 - \alpha = 0,95$)
 rot - herstellerneutral
 schwarz - König-Albert-Werk Lichtentanne

In dem Bild 7 wurden die für die Profilgröße 24 errechneten Vertrauensbereiche dargestellt.

Neben der Verfügbarkeit spezifischer Werkstoffkennwerte benötigt der Tragwerksplaner die geometrischen Kenngrößen der vorhandenen Altstahlprofile für eine fundierte Traglastbewertung. In der vorliegenden Forschungsarbeit wird hierzu ein Lösungsansatz zur Bestimmung einer Profilgröße aus wenigen Messwerten dargestellt.

Um die verfügbaren Informationen zu den mechanischen Eigenschaften und zur chemischen Zusammensetzung von Altstahl in übersichtlicher Form zusammenzufassen und zu verwalten, wurde an der MFPA Leipzig e.V. die Datenbank HISMET erstellt. Sie enthält Datensätze zu den untersuchten Bauwerken, zu den entnommenen Bauteilen, zu den gefertigten Proben und, soweit bekannt, zu den Herstellern der untersuchten Bauteile.



Bild 8: Datenbank für historische Metalle

Die Datenbank kann begleitend bei Baumaßnahmen an Altbauten oder bei der Untersuchung alter Brücken als Informationsquelle genutzt werden. Sie bietet die Möglichkeit des Vergleiches und der Einordnung der bei einer Probennahme am Bauwerk erhaltenen Ergebnisse mit den bereits vorliegenden Daten für die häufig eingesetzten Profilgrößen verschiedener Hersteller. Dabei stehen neben den Werten der zu erwartenden chemischen Zusammensetzung, den Festigkeits- und Dehnungseigenschaften auch Angaben zur Bestimmung von Profilgrößen aus einzelnen geometrischen Abmessungen zur Verfügung.

Der Nutzer hat die Möglichkeit einer individuellen Anpassung der Datenbank an die jeweils vorliegenden Erfordernisse. Mit jeder neuen Altstahluntersuchung kann der vorhandene Datenpool erweitert werden.

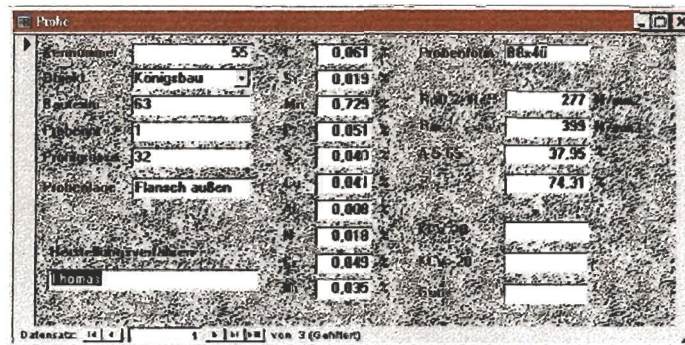


Bild 9: Bild Probe

Mit der erstellten Datenbank wurde ein Werkzeug für den Statiker bzw. Tragwerksplaner geschaffen, das eine unkomplizierte und übersichtliche Verwaltung der Ergebnisse aus Altstahluntersuchungen zulässt.

Fazit

Die Entnahme von Proben im Rahmen einer Bauwerksprüfung ist stets auf einzelne Stichproben reduziert. Diese müssen auf ihre Übertragbarkeit auf die Gesamtheit der im Bauwerk enthaltenen Bauteile gleicher Größe bewertet werden. Einen Ansatz hierzu bietet die Anwendung statistischer Methoden.

Wesentlich für den Rückschluss auf eine Gesamtheit ist die Wahl einer die Stichprobe möglichst genau beschreibenden Verteilungsfunktion. Dabei ist zu beachten, dass verschiedene Bereiche der Häufigkeitsverteilung mit verschiedener Güte durch die gewählte Verteilungsfunktion abgebildet werden können. Interessant für den Rückschluss auf die Grundgesamtheit ist vor allem der Bereich der Häufigkeitsverteilung, in dem die meisten Werte angetroffen werden.

Zugleich kommt der Wahl der Grundgesamtheit, die der entnommenen Stichprobe zugrunde gelegt wird, für die Bewertung eine entscheidende Bedeutung zu. Die Grundgesamtheit kann als Produktion eines abgegrenzten Zeitraumes definiert werden, aber auch als Gesamtheit der in einem Bauwerk vorhandenen gleichartigen Bauteile. Nach Möglichkeit ist eine herstellerbezogene Auswertung anzustreben, da hier eine geringere Streuung der Werte zu erwarten ist.

Ausblick

Die vorgestellten Untersuchungen an Doppel-T-Normalprofilen sollen Anregungen zur weiteren Spezifizierung der Werkstoffkennwerte von metallischen Tragwerkskomponenten liefern. Sie können aufgrund ihres erforderlichen Probenumfangs zunächst nur exemplarischer Natur sein.

Eine weitergehende Differenzierung und Ausweitung auf andere Profilformen (z.B. Breitflanschprofile) ist erforderlich, da ausgehend von den konkreten Herstellungsbedingungen (Werkstoff, Vergießungsart, Walztechnologie, Wärmeführung etc.) Unterschiede in den Bauteileigenschaften zu erwarten sind.