

DISSERTATION

NUTZUNGSDAUERN VON EISENBAHNBRÜCKEN

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
technischen Wissenschaft unter der Leitung von

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg Jodl
Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, TU Wien

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johann Glatzl
Institut für Betonbau, TU Graz

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Dipl.-Ing. Thomas Simandl
9026338

Wien, März 2011

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Zu aller erst und ganz besonders bedanke ich mich bei meinen Professoren, Herrn O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg Jodl und Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johann Glatzl, die mich nicht nur in fachlicher Hinsicht bestens betreut haben, sondern durch ihre flexible Termingestaltung mir die Möglichkeit gaben, diese Dissertation zur Gänze neben meinem Beruf erstellen zu können. Ebenfalls möchte ich mich sehr herzlich bei Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Horvath für die vielen Fachdiskussionen, die diese Arbeit bereichert haben, bedanken. Aber auch bei den Kollegen der ÖBB, insbesondere den Brückenprüfern, die die Daten für die Detailanalysen der untersuchten Objekte zur Verfügung stellten. Mein größter Dank gilt jedoch meiner Familie, die mir nicht nur die Zeit für diese Dissertationen zugestand, sondern mich auch aktiv durch Korrekturlesungen und Übersetzungen unterstützte. Insbesondere vielen lieben Dank meiner Barbara, die - wie bei allen meinen bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten - zumeist die Lektorin und Übersetzerin war. Aber auch meiner Mutter sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt, die mir mit dem Zuspruch zum Besuch einer höheren technischen Schule vor vielen Jahren den Grundstein für diese Arbeit legte und abschließend sei auch allen anderen Familienmitgliedern und Freunden, die mich auf ihre Weise unterstützt haben, an dieser Stelle recht herzlich gedankt. Es ist sehr schön so eine Familie und solche Freunde zu haben.

Thomas Simandl

Kurzfassung

Die Nutzungsdauern von Brücken sind maßgebend für die lebenszyklusorientierte Maßnahmenfestlegung - Erneuerung, Teilerneuerung (beispielsweise Tragwerkserneuerung), Verbesserung oder Instandsetzung -, für die lebenszyklusorientierte Bewertung von Alternativangeboten im Zuge der Ausschreibung von Brückenerneuerungen, für die Ablösebetragsermittlung beim Wechsel des Brückenerhalters und/oder –eigentümers und für die mittel- und langfristige Finanzplanung des Infrastrukturbetreibers. Die in der Literatur erhobenen Werte der Nutzungsdauern neuer Brücken (diese wird als theoretische Nutzungsdauer oder Plannutzungsdauer bezeichnet) streuen sehr stark, die Grundlagen dieser Werte konnten nicht erhoben werden. Ähnliches gilt auch für die der Plannutzungsdauer zu Grunde gelegten Instandhaltungszyklen (diese werden auch als Planinstandhaltungszyklen bezeichnet). Die am häufigsten in Österreich verwendeten Nutzungsdauern sind jene der Ablöserichtlinie der ÖBB.

In dieser Untersuchung wird auf Basis des Erneuerungsplanes der ÖBB-Eisenbahnbrücken ein Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer ermittelt. Für die Auswertung des Basiswertes werden die Grundlagen wie beispielsweise einheitliche Begriffsdefinitionen und die Entwicklung der Lasteinwirkungen bzw. Zustandsklassenbewertungen erhoben. Im Zuge der Basiswertermittlung und aus der praktischen Erfahrung zeigt sich, dass bestimmte Parameter die Nutzungsdauern der Brücken beeinflussen. Diese Parameter wurden bestimmt und wenn Zusammenhänge abgeleitet werden konnten, zahlenmäßig bewertet. Der Basiswert spiegelt die tatsächliche Nutzungsdauer der Brückenbauweise und der Baumaterialien der Errichtungsepoche der einzelnen Brücken wider. Daher wurde der Faktor zur Berücksichtigung der Errichtungsepoche eingeführt. Dieser berücksichtigt die geänderte Bauausführung und Konstruktion der Brücke sowie die geänderten Umwelteinflüsse der Brücken heutiger Bauweise.

Auf Grundlage dieses Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer und der ermittelten Parametern wird unter Einbeziehung des Faktors zur Berücksichtigung der Errichtungsepoche von heute die Plannutzungsdauer bestimmt. Für die Bestimmung der Restnutzungsdauer der einzelnen Objekte wird ein Rechenmodell erstellt. Dieses enthält zusätzlich zu den Werten der Plannutzungsdauer, den Faktor zur Berücksichtigung der Errichtungsepoche des Objektes und die aktuelle Zustandsklassenbewertung.

Abstract

The utilization times of bridges are relevant for the life cycle oriented establishing of measurements, renewal, partial renewal (i.e. superstructure renewal) or reconstruction of the bridge, for the life cycle oriented evaluation of alternative offers in the course of bridge renewals, for determining the redemption fees in case of change of railway bridge owner and/or operator and for the infrastructure's medium-term and long-term cost planning. The values for the theoretic utilization time given in relevant literature vary over a wide range. The basis of these values could not be identified. The same applies for the theoretic utilization time based on maintenance cycles. The mostly used utilization times in Austria are from the redemption fee guideline of the ÖBB.

In this study a base value of the actual utilization time is determined on the basis of the renewal plan of the ÖBB railway bridges. The fundamentals for example standard definitions and development of load effect respectively condition classes are collected for the analysis of the base value.

During these base value determinations and because of practical experience it is shown that certain parameters influence the bridge utilization time. These parameters have been determined and registered in numbers.

The base value reflects the actual utilization time of the bridge construction and the materials of the building period of these bridges. Hence, a factor that considers the construction period was adopted. This factor allows for the changed construction of the bridge as well as the changed environmental conditions of bridges of today's construction.

Based on these values of the actual utilization time and the determined parameters, the bridge's state of maintenance and the construction era, and the theoretic utilization time of new bridges are being defined. To determine the remaining utilization time of each single object a mathematical model was issued. In addition to the values of the theoretical utilization time this model contains the factor that considers the construction period of the object as well as the actual condition classes.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	2
KURZFASSUNG	3
ABSTRACT	4
1. ALLGEMEINES UND ZIELSETZUNG	10
1.1. Einleitung und Problemstellung	10
1.2. Abkürzungsverzeichnis	12
1.3. Zielsetzung	13
1.4. Aufbau der Arbeit	16
2. GRUNDLAGEN	18
2.1. Begriffsbestimmungen	18
2.1.1. Allgemeine Begriffe	18
2.1.1.1. Ablösebetrag	18
2.1.1.2. Abgangskurve	19
2.1.1.3. Anfahrkkräfte	19
2.1.1.4. Bremskräfte	19
2.1.1.5. Lebenszyklus	19
2.1.1.6. Lebenszykluskosten	20
2.1.1.7. Objekte	20
2.1.1.8. Planmäßiger kontrollierter Verfall	20
2.1.1.9. Seitenstoßkräfte	20
2.1.2. Nutzungsdauern	20
2.1.2.1. Basiswert der Nutzungsdauer	20
2.1.2.2. Brückenalter (Ist-Nutzungsdauer)	21
2.1.2.3. Buchhalterische Nutzungsdauer	21
2.1.2.4. Plannutzungsdauer	21
2.1.2.5. Restnutzungsdauer	21
2.1.2.6. Robustheit	21
2.1.2.7. Tatsächliche Nutzungsdauer	21
2.1.2.8. Theoretische Nutzungsdauer	21
2.1.3. Instandhaltung und Erneuerung	22
2.1.3.1. Dauerhaftigkeit	22
2.1.3.2. Erneuerung	22
2.1.3.3. Inspektion	23
2.1.3.4. Instandhaltung	23
2.1.3.5. Instandsetzung	23
2.1.3.6. Instandsetzungszyklen	24
2.1.3.7. Planinstandhaltung	24
2.1.3.8. Standsicherheit	24

2.1.3.9.	Verbesserung	24
2.1.3.10.	Verkehrs- und Betriebssicherheit	24
2.1.3.11.	Wartung	24
2.1.4.	Brückenbezeichnungen	25
2.1.4.1.	Brückenausrüstung	25
2.1.4.2.	Eisenbahnbrücke	25
2.1.4.3.	Konstruktiver Durchlass	25
2.1.4.4.	Tragwerk	25
2.1.4.5.	Unterbau	25
2.1.4.6.	Stahlvollwandträger	25
2.2.	Lastenzüge und Brückenklassen der österreichischen Eisenbahnbrücken	25
2.2.1.	Historische Entwicklung	26
2.2.1.1.	Verordnung 1870	26
2.2.1.2.	Verordnung 1887	26
2.2.1.3.	Verordnung aus 1904	27
2.2.1.4.	Lastenzug N aus 1922	27
2.2.1.5.	Vorschrift der Deutschen Reichsbahn aus 1938	27
2.2.1.6.	Vorläufige Brückenvorschrift aus 1947	28
2.2.1.7.	Eisenbahnbrückenvorschrift aus 1951	28
2.2.1.8.	ÖNORM B 4003 1.Teil vom 25.1.1956	28
2.2.1.9.	UIC Merkblatt Nr. 702V Lastbild UIC-71	28
2.2.1.10.	ÖNORM B 4003 1.Teil 1984	28
2.2.1.11.	ÖNORM B 4003 1.Teil 1994	29
2.2.1.12.	Tabellarische Aufstellung der historischen Lastenzüge	29
2.2.2.	Derzeitige Brückenklassen gemäß ÖNORM EN 1991-2	30
2.2.2.1.	Lastmodell 71	31
2.2.2.2.	Schwerwagen SW/2	31
2.2.2.3.	Lastmodell „unbeladener Zug“	31
2.2.2.4.	Lastmodell HSLM	31
2.2.3.	Historische Entwicklung der Achslasten	32
2.3.	Brems-, Anfahrkräfte und Seitenstoß	32
2.4.	Streckenklassen und Netzkategorien	35
2.5.	Zustandsklassenbewertung der ÖBB	38
2.5.1.	Historische Entwicklung	39
2.5.2.	Aktuelle Zustandsklassenbewertung	39
3.	ENTWICKLUNG DER BAUMATERIALIEN UND UMWELTBEDINGUNGEN	41
3.1.	Umwelteinflüsse	41
3.1.1.	Einfluss der Karbonatisierung zufolge CO ₂ Emissionen	41
3.1.2.	Einfluss der Chlorideindringung	43
3.1.3.	Einfluss der Anfahrschäden	44
3.1.4.	Einfluss der gesellschaftlichen Veränderungen	46
3.1.5.	Einfluss durch den Eurocode	47
3.2.	Historische Entwicklung der Eisenbahntragwerke aus Stahl	47
3.2.1.	Historische Entwicklung im Stahlbrückenbau	48
3.2.1.1.	Stahlbrückenbau 1870 – 1895	48
3.2.1.2.	Stahlbrückenbau 1895 – 1953	49
3.2.1.3.	Stahlbrückenbau ab 1953	50
3.2.2.	Entwicklung der Fahrbahnart	50
3.2.2.1.	offene Bauweise	51
3.2.2.2.	Fahrbahn mit Schotterbett	51

3.2.3.	Korrosionsschutz-----	52
3.2.3.1.	Beschichtungsstoffe für den Korrosionsschutz-----	52
3.2.3.2.	Aufbau des Korrosionsschutzes-----	53
3.2.4.	Qualitätsüberwachung-----	54
3.3.	Historische Entwicklung der Eisenbahntragwerke aus Stahlbeton -----	55
3.3.1.	Historische Entwicklung des Betons bzw. Stahlbetons-----	56
3.3.1.1.	Zement-----	59
3.3.1.2.	Gesteinskörnungen-----	61
3.3.1.3.	Wasser-----	62
3.3.1.4.	Betoneinbau und Nachbehandlung-----	63
3.3.2.	Historische Entwicklung des Bewehrungsstahls-----	64
3.3.3.	Passivierende Wirkung des Betons-----	65
3.3.3.1.	Betondeckung-----	66
3.3.3.2.	Mindestzementgehalt-----	68
3.3.4.	Qualitätsüberwachung-----	68
3.3.5.	Untersuchung und Analyse ausgewählter Stahlbetontragwerke der ÖBB-----	69
3.3.5.1.	Analyse der Betondeckung der untersuchten Tragwerke-----	70
3.3.5.2.	Analyse des Bewehrungsstahles der untersuchten Tragwerke-----	72
3.4.	Historischer Verlauf des Einsatzes der Spannbeton- und Verbundtragwerke-----	73
3.5.	Historische Entwicklung der Unterbauten aus Naturstein und Beton-----	75
4.	TATSÄCHLICHE NUTZUNGSDAUER, BASISWERT UND PARAMETER DER NUTZUNGSDAUER-----	77
4.1.	Gesamtbestand der ÖBB-Eisenbahnbrücken-----	78
4.2.	Grundlagen und Vorgangsweise bei der Nutzungsdauererhebung-----	82
4.2.1.	Technische Datenbank der ÖBB-----	83
4.2.2.	Ergänzende Eingaben für die Objekte des Erneuerungsplanes-----	85
4.2.3.	Schadenskategorien (SK) und Schädigungsgrade der Objekte des Erneuerungsplanes-----	86
4.2.4.	Schadensgruppen (SG)-----	91
4.3.	Auswertung der Schadenskategorien-----	92
4.3.1.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen der Objekte-----	94
4.3.1.1.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Stahlvollwandträger-----	95
4.3.1.2.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Stahlfachwerke-----	98
4.3.1.3.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Trägerbeton-----	99
4.3.1.4.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Stahlbetonbrücken-----	100
4.3.1.5.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppe für Verbundtragwerke-----	101
4.3.1.6.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppe für Gewölbe-----	101
4.3.1.7.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Natursteinunterbau-----	103
4.3.1.8.	Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Betonunterbau-----	104
4.3.2.	Verteilung der Schadenskategorien strategische Gründe-----	105
4.3.3.	Verteilung der Schadenskategorien bzw. der Schadensgruppe bezogen auf die Netzkategorie 105	
4.3.4.	Zusammenfassung der Schadenskategorien-----	107
4.4.	Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauern-----	108
4.4.1.	Analysegruppen (AG)-----	109
4.4.2.	Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke-----	111
4.4.3.	Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten-----	119
4.4.3.1.	Beispielhafte Ermittlung der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Unterbauten-----	122
4.5.	Basiswerte der tatsächlichen Nutzungsdauer-----	124

4.5.1.	Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlvollwandträger-----	124
4.5.2.	Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlfachwerke -----	130
4.5.3.	Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Trägerbetontragwerke -----	135
4.5.4.	Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke -----	140
4.5.4.1.	Beispielhafte Ermittlung der Anzahl und der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke -----	145
4.5.5.	Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten -----	147
4.5.5.1.	Beispielhafte Ermittlung der Anzahl und der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten -----	152
4.5.6.	Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Betonunterbauten-----	156
4.5.7.	Zusammenfassung der Basiswerte -----	161
4.6.	Parameter der tatsächlichen Nutzungsdauer -----	165
4.6.1.	Parameter Netzkategorie-----	165
4.6.1.1.	Faktor Netzkategorie k_{Netzkat} Tragwerk -----	167
4.6.1.2.	Faktor Netzkategorie k_{Netzkat} Unterbau -----	168
4.6.2.	Parameter Fahrbahnart der Tragwerke -----	169
4.6.2.1.	Faktor Fahrbahn k_{Fahrbahn} Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke -----	170
4.6.3.	Parameter Altersunterschied Tragwerk und Unterbau -----	171
4.6.3.1.	Faktor Altersunterschied Tragwerk und Unterbau k_{Diff} für Stahltragwerke -----	173
4.6.3.2.	Faktor Altersunterschied Tragwerk und Unterbau k_{Diff} für Stahlbetontragwerke-----	175
4.6.4.	Parameter Stützweite -----	175
4.6.4.1.	Faktor Stützweite Tragwerk -----	175
4.6.4.2.	Faktor Stützweite Unterbau-----	176
4.6.5.	Parameter Brückenklasse der Tragwerke -----	177
4.6.6.	Parameter Durchfahrtsnutzung der Brücke -----	180
4.6.6.1.	Durchfahrtsnutzung der Tragwerke -----	180
4.6.6.2.	Faktor k_{DNZ} Durchfahrtsnutzung Unterbau-----	182
4.6.7.	Parameter des Unterbaues in Abhängigkeit des Tragwerkes -----	183
4.6.8.	Parameter Instandhaltungszustand der Brücken -----	185
4.6.8.1.	Instandhaltungszustand Verteilung Tragwerk -----	185
4.6.8.2.	Instandhaltungszustand Verteilung Gewölbe -----	188
4.6.8.3.	Instandhaltungszustand Verteilung Unterbau-----	189
4.6.9.	Zusammenfassung der Parameter -----	191
4.7.	Einfluss der Errichtungsepochen-----	193
4.7.1.	Einfluss der Errichtungsepochen auf den Baustoff Stahl-----	194
4.7.2.	Einfluss der Errichtungsepochen auf den Baustoff Stahlbeton-----	196
4.7.3.	Einfluss der Errichtungsepochen auf die Unterbauten aus Naturstein und Beton-----	198
4.8.	Definition der Planinstandhaltung-----	198
4.8.1.	Befragung zu den Instandsetzungszyklen bei den ÖBB-----	199
4.8.2.	Vergleich der Instandsetzungszyklen-----	201
5.	PLAN- UND RESTNUTZUNGSDAUERN -----	203
5.1.	Ermittlung der Plannutzungsdauer der Eisenbahntragwerke -----	203
5.1.1.	Plannutzungsdauer der Stahlvollwandträger -----	204
5.1.2.	Plannutzungsdauer der Stahlfachwerke -----	205
5.1.3.	Plannutzungsdauer der WIB-Tragwerke -----	206
5.1.4.	Plannutzungsdauer der Stahlbetontragwerke-----	206
5.1.5.	Plannutzungsdauer der Verbundtragwerke mit Stahlbetonplatte -----	207
5.1.6.	Plannutzungsdauer der Spannbetontragwerke -----	207
5.1.7.	Zusammenfassung der Plannutzungsdauern-----	208
5.2.	Rechenmodell zur Bestimmung der Restnutzungsdauer bestehender Eisenbahnbrücken ----	208
5.2.1.	Restnutzungsdauer der Zustandsklasse 5 -----	211
5.2.2.	Restnutzungsdauer der Zustandsklasse 4 -----	211

5.2.3.	Restnutzungsdauer der Zustandsklassen 1, 2 und 3 -----	212
5.2.3.1.	Regel- Reduktions- und Verlängerungsbereich -----	212
5.2.3.2.	Restnutzungsdauer der Zustandsklasse 1 -----	218
5.2.3.3.	Restnutzungsdauer der Zustandsklasse 2 -----	220
5.2.3.4.	Restnutzungsdauer der Zustandsklasse 3 -----	222
5.2.4.	Zusammenfassung der Restnutzungsdauer -----	223
6.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK -----	226
 ANHANG A:		
AUSZUG DER THEORETISCHEN NUTZUNGSDAUER AUS DER ABLÖSERICHTLINIE DER ÖBB		
ANHANG B:		
ERLÄUTERUNG DER AUSWERTETABELLEN (NUR IN ELEKTRONISCHER FORM)		
ANHANG C:		
SCHADENSBILDER EINZELNER SCHADENSKATEGORIEN (NUR IN ELEKTRONISCHER FORM)		
ANHANG D:		
FRAGEBOGEN INSTANHALTUNGSZYKLEN (NUR IN ELEKTRONISCHER FORM)		
ANHANG E:		
HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER LASTENZÜGE BEI DEN ÖBB (NUR IN ELEKTRONISCHER FORM)		

1. Allgemeines und Zielsetzung

1.1. Einleitung und Problemstellung

Die Plannutzungsdauer und die Restnutzungsdauer ist eine wichtige Grundlagen für die lebenszyklusorientierte Bewertung von Alternativangeboten, für die Ermittlung des Ablösebetrages beim Wechsel des Brückeneigentümers und/oder Brückenerhalters, für die Entscheidungsfindung bei der Maßnahmensetzung – Erneuerung, Verbesserung oder Instandsetzung - und für die Planung der Instandhaltungs- und Erneuerungskosten des Infrastrukturbetreibers. Die Plannutzungsdauer ist die theoretische Nutzungsdauer neuer Brücken bei plangemäßer Instandhaltung. Diese Planinstandhaltung legt die Zeitabstände der Inspektionen und Wartungen sowie die erforderlichen Instandsetzungszyklen fest. Weicht die tatsächliche Instandhaltung von der planmäßigen ab, so verkürzt bzw. verlängert sich die Nutzungsdauer entsprechend.

Die aus der Literatur erhobenen Werte der theoretischen Nutzungsdauern sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Diese Werte streuen sehr stark, die Grundlage hierfür konnte nicht ermittelt werden. Ähnliches gilt auch für die der Plannutzungsdauer zugrunde gelegten Instandsetzungszyklen.

In der Ablöserichtlinie der ÖBB [1] sind in der Beilage 1 (auszugsweise im Anhang A angeführt) die theoretischen Nutzungsdauern und die Prozentsätze der jährlichen Instandhaltung (in dieser als Unterhaltungskosten bezeichnet) angeführt. Diese Vereinbarung beruht auf der Richtlinie der Deutschen Bundesbahn für die Berechnung der Ablösebeträge der Erhaltungskosten für Brücken und sonstige Ingenieurbauwerke [2]. Die für die Ermittlung des Ablösebetrags maßgebenden Parameter sind der Zinssatz, die Instandhaltungskosten (diese werden als Prozentsatz der Errichtungskosten angegeben) und die zugrunde gelegten Nutzungsdauern der Brücken. Die theoretische Nutzungsdauer in der Ablöserichtlinie der ÖBB ist in Abhängigkeit des Baustoffes und der Konstruktionsart der Brücke festgelegt.

Brücken- tragwerke	Ablöse- richtlinie ÖBB [1]	Ablöse- richtlinie DB Stand 1980 [2]	Strategie Fahrweg ÖBB [3]	Basler & Partner für DB [4]	Straße Rheinland [4]	Straße Hessen [4]
	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]
Stahlbeton	70	70	90 - 120	> 110	50 – 80 i. M. 67	50 – 100 i. M. 70
Stahl	100	80	80 - 100	100 - 120	50 – 100 i. M. 83	50 – 100 i. M. 80
Stahltragwerk mit Stahlbetonplatte	70	70				
Walzträger in Beton (Trägerbeton)	100	80	100 - 130	100 - 120		50 – 110 i. M. 80
Gewölbe aus Mauerwerk	130	115	150 - 200	150 - 200		

Tabelle 1: Unterschiedliche theoretische Nutzungsdauern von Brückentragwerken in Jahren

Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, sind die theoretischen Nutzungsdauern von Eisenbahnbrücken (dies sind die Werte der Strategie Fahrweg ÖBB und Basler & Partner für DB) höher als jene der Straßenbrücken (dies sind die Werte Straße Rheinland und Straße Hessen). Die theoretischen Nutzungsdauern der Ablöserichtlinien der ÖBB und der DB gelten sowohl für Straßen- als auch für Eisenbahnbrücken und liegen zwischen den Werten der Eisenbahn- und der Straßenbrücken.

Ein maßgebender Grund für die abweichenden Nutzungsdauern bestehender Straßen- und Eisenbahnbrücken liegt in der Entwicklung der Lastansätze. Für Eisenbahnbrücken wurde in Österreich bereits 1922 der Lastenzug N mit 25 to Achslast eingeführt. So wurde beispielsweise der 1933 errichteten Ostbahn Donaubrücke dieser Lastenzug zugrunde gelegt. Diese Achslast entspricht der noch heute maximalen Streckenklasse D4 (22,5 to Achslast und 8,0 to/m) bei den ÖBB. Diese hohen Vertikallasten der Eisenbahnbrücken ergeben auch robustere Bauwerke. Die zulässigen Achslasten für Straßenbrücken haben sich gemäß deutscher Angaben seit 1920 in etwa verdoppelt, das zulässige Fahrzeuggewicht sogar verdreifacht [5].

Ein zweiter wesentlicher Grund für die unterschiedlichen Nutzungsdauern liegt in der Verwendung von Tausalz bei den Straßenbrücken, das sich sehr negativ auf die Nutzungsdauer dieser Brücken auswirkt.

1.2. Abkürzungsverzeichnis

A	.....	Ablösebetrag [€]
AB	.....	Anlagebetrag [€]
AE_{Em}	.....	Kapitalisierten Erhaltungskosten für die Erneuerung [€]
AG	.....	Analysegruppe
A_{TW}	.....	Tragwerkalter [Jahre]
A_{ZK4}	.....	Dauer der Zuordnung des Objektes zur Zustandsklasse 4 [Jahre]
C_{mittel}	.....	mittlere Betondeckung [mm]
E_{ern}	.....	Erhaltungskosten für die Erneuerung [€]
EisbaV	.....	Eisenbahn-ArbeitnehmerInnenschutzverordnung
i. M.	.....	im Mittel
k	.....	betonspezifischer Karbonatisierungsfaktor
K_{Diff}	.....	Faktor zur Berücksichtigung der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau
K_{DNZ}	.....	Faktor zur Berücksichtigung der Nutzung der Durchfahrtsöffnung
K_{ern}	.....	Erneuerungskosten [€]
$K_{Fahrbahn}$	.....	Faktor zur Berücksichtigung der Fahrbahnart (offene Fahrbahn oder Schotterbett)
k_n	.....	Faktor zur Umrechnung der Brückenklasse
$K_{Netzkat}$	.....	Faktor zur Berücksichtigung der Netzkategorie
LCC	.....	Life Cycle Costs [€]
LZ	.....	Lastenzug
LZK	.....	Lebenszykluskosten [€]
m	.....	Plannutzungsdauern (theoretische Nutzungsdauer neuer Brücken) [Jahre]
m_{bth}	.....	berechnete theoretische Nutzungsdauer bestehender Brücken [Jahre]
m_{Basis}	.....	Basiswert der Nutzungsdauer der Tragwerks- und Unterbaugruppen [Jahren]
$m_{Baujahr}$	.....	berechnete Nutzungsdauer des Tragwerkes des betrachteten Baujahres [Jahre]
M	.....	tatsächliche Nutzungsdauer [Jahre]
n	.....	Restnutzungsdauer [Jahre]
M_{DNZ}	.....	tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte in Abhängigkeit der Durchfahrtsnutzung [Jahre]
$M_{Ergänzungsnetz}$	.....	tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte des Ergänzungsnetzes [Jahre]

$M_{\text{geschl. Fahrbahn}}$	..... tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte mit geschlossener Fahrbahn [Jahre]
M_{Kernnetz}}	..... tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte des Kernnetzes [Jahre]
$M_{\text{offene Fahrbahn}}$	..... tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte mit offener Fahrbahn [Jahre]
M_{x-x}	..... tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte mit einer Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau von x bis x Jahren [Jahre]
M_{0-9}	..... tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte mit einer Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau von 0 bis 9 Jahren [Jahre]
p	..... Prozentsatz der jährlichen Instandhaltungskosten [%]
q	..... Zinsfaktor der Kapitalisierung
RG	..... Regelbereich
S	..... Schadenshäufigkeit
SG	..... Schadensgruppe
SK	..... Schadenskategorie
SW	..... Schwerwagen
TW	..... Tragwerk
UB	..... Unterbau
UHPC	..... Ultra High Performance Concrete
UHPFRC	..... Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete
VB	..... Verlängerungsbereich
W/Z - Wert	..... Wasser - Zement - Wert
W/B - Wert	..... Wasser - Bindemittel - Wert
x	..... Verlängerung der berechneten theoretischen Nutzungsdauer
y_{mittel}}	..... Mittelwert der Karbonatisierungstiefe einer Prüfstelle [mm]
ZK	..... Zustandsklasse
α	..... Lastklassenbeiwert
Δ	..... Abminderungsfaktor der berechneten theoretischen Nutzungsdauer
τ	..... Betonalter [Jahren]

1.3. Zielsetzung

Im Zuge dieser Arbeit werden auf Basis des Brückenbestandes der ÖBB die tatsächlichen Nutzungsdauern der Eisenbahnbrücken des Erneuerungsplanes bestimmt. Dazu wurden 458 Brückenobjekte mit einer gesamten Brückenfläche von ca. 50.500 m² - dies entspricht ca. 4% der Gesamteisenbahnbrückenfläche der ÖBB - im Detail untersucht.

Ziel dieser Arbeit ist es, basierend auf diesen tatsächlichen Nutzungsdauern, die Plannutzungsdauer einzelner Tragwerksgruppen zu ermitteln und ein Rechenmodell für die Restnutzungsdauer von Stahl- und Stahlbetonbrücken zu erstellen.

Die Plannutzungsdauer wird für die Tragwerksgruppen Stahl-, Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke sowie Trägerbetone bzw. WIB-Tragwerke ermittelt. Die ersten Stahlbrücken im Bereich der ÖBB wurden bereits 1880 errichtet, ab 1910 dann in großem Umfang errichtet. Daher haben einige Objekte dieser Tragwerksgruppe die Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie bereits erreicht. Die Trägerbetone wurden schwerpunktmäßig in den Jahren 1900 bis 1929 errichtet, demzufolge haben auch Objekte dieser Tragwerksgruppe zum Teil die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie bereits erreicht. Die Stahlbetonbrücken wurden bis 1940 nur in einem sehr geringen Ausmaß errichtet. Erst ab 1960 erfolgte die Errichtung der Stahlbetonbrücken in großem Umfang, daher haben diese das Ende ihrer Nutzungsdauer nur zu einem sehr geringen Teil erreicht. Die ersten Spannbetonbrücken bei den ÖBB wurden 1950, die Verbundbrücken heutiger Bauweise (Stahltragwerk mit Stahlbetonplatte) erst ab 1990 errichtet. Diese Tragwerke sind noch weit vom Ende ihrer Nutzungsdauer entfernt. Die Plannutzungsdauer für diese Tragwerke muss daher in Anlehnung an die Grundwerkstoffe Stahl und Stahlbeton ermittelt werden. Heute werden bei den ÖBB zum weitaus überwiegenden Teil Stahlbetontragwerke, in nennenswertem Ausmaß auch Stahltragwerke und in geringerem Umfang Verbundtragwerke errichtet.

Bei den Unterbauten sind die Baustoffe der untersuchten Brücken Naturstein und Beton. Für diese Unterbauten werden, basierend auf den tatsächlichen Nutzungsdauern, die Basiswerte dieser Unterbaugruppen bestimmt. Unterbauten heutiger Tragwerke werden zum überwiegenden Teil nur noch in Stahlbeton errichtet, die Fundierung erfolgt durch eine Flach- oder Tiefenfundierung. Da im Regelfall bei der Unterbauerneuerung auch die Fundierung – insbesondere bei Flachfundierungen – erneuert wird, wird bei den Berechnungen (Ablöseberechnung, Lebenszyklusberechnungen..) die Nutzungsdauer der Fundierung gleich jener des Unterbaus angesetzt.

Bei der Festlegung der Plannutzungsdauer und der Restnutzungsdauer sind die geänderten Baustofftechnologien, Bauausführungen und Umweltbedingungen gegenüber den Objekten der tatsächlichen Nutzungsdauer zu berücksichtigen. Dies sind beispielsweise die verbesserte Materialtechnologie, die bessere Qualitätsüberwachung, die standardmäßige Ausführung von Stahlbrücken mit geschlossener Fahrbahn aber auch

die Tausalzeinwirkungen bei Unterführungen von Straßen und Gehwegen, die erhöhte Karbonatisierung infolge der CO₂-Zunahme und die zunehmende Häufigkeit und Intensität von Anfahrschäden.

Weiters werden im Zuge dieser Dissertation Parameter, die die Nutzungsdauern beeinflussen können untersucht und wenn Abhängigkeiten gegeben sind, zahlenmäßig festgelegt, sowie ein Faktor zur Berücksichtigung der Errichtungsepoche der Brücke eingeführt.

Der Plannutzungsdauer wird die Planinstandhaltung zugrunde gelegt. Diese planmäßige Instandhaltung beinhaltet die regelmäßige Inspektion, die Wartung – diese wird bei den Brücken zumeist im Zuge der Inspektion oder als Vorarbeit zu dieser umgesetzt -, die Instandsetzung und gegebenenfalls die Verbesserung der Brücke.

Die Zyklen für die Inspektion sind in Vorschriften für den Brückenerhalter geregelt, für die ÖBB gilt der Instandhaltungsplan IS2 Teil 2 [33]. Die Wartung wird, wie bereits erwähnt, zumeist an die Inspektion gekoppelt. Die Abstände, in denen die Instandsetzungen durchgeführt werden, sind die Instandsetzungszyklen. Diese Arbeiten erfolgen derzeit zustandsorientiert. Richtwerte dazu findet man in der Literatur, die Bandbreiten dieser Zeitintervalle sind jedoch sehr groß. Grundsätzlich kann jedoch ein Unterschied zwischen Eisenbahn- und Straßenbrücken festgestellt werden. Dieser Unterschied erscheint infolge der unterschiedlichen Belastungen, insbesondere des Tausalzes, als logisch und nachvollziehbar.

Mittels dieser Instandsetzungszyklen kann jedoch auch die Nutzungsdauer gesteuert werden. Kurze Zyklen bzw. ein hoher Instandsetzungsaufwand erhöhen die Nutzungsdauer der Brücke. Im Gegensatz dazu führt eine unterlassene Instandsetzung – beispielsweise die nicht zeitgerechte Erneuerung des Korrosionsschutzes bei Stahlbrücken – zu einer frühzeitigen Erneuerung dieser. Vereinzelt ist es aber auch eine gesetzliche Vorgabe die Instandsetzung zu erhöhen, beispielsweise bei den Objekten, die unter Denkmalschutz stehen. Hier muss zufolge des Erhaltes des Objektes oftmals ein sehr hoher Instandsetzungsaufwand betrieben werden, welcher aus wirtschaftlicher Gesamtüberlegung nicht sinnvoll wäre.

Nicht Zielsetzungen dieser Dissertation sind:

- Die Ermittlung der Plannutzungsdauer der Gewölbebrücken, da diese zufolge der Strategie der ÖBB für den Neubau von Eisenbahnbrücken nicht mehr vorgesehen sind [3].
- Die Restnutzungsdauer von Gewölbebrücken, da die tatsächlichen Instandsetzungszyklen und – aufwendungen stark schwanken. Dies vor allem auch deswegen, weil viele Objekte bei den ÖBB unter Denkmalschutz stehen.
- Die Ermittlung der Plannutzungsdauer von Sonderbauformen wie Schienentragwerke oder Schienenbetontragwerke. Diese werden nicht berücksichtigt, da diese Bauweise nicht dem heutigen Stand der Technik entspricht und somit nicht mehr errichtet werden.
- Die Ermittlung der Plannutzungsdauer der Unterbauten aus Naturstein und Beton, da diese im Regelfall nicht mehr ausgeführt werden.
- Die Ermittlung der Nutzungsdauern von Straßenbrücken.

Zur Erhebung der Restnutzungsdauer der Stahl- und Stahlbetontragwerke wird ein Rechenmodell erstellt. Dieses basiert auf den tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerksgruppen, den beeinflussenden Parametern und der Zustandsklasse der Brücke.

1.4. Aufbau der Arbeit

Kapitel 1: Allgemeines und Zielsetzung umfasst die Problemstellung und die Zielsetzung der Dissertation sowie das Abkürzungsverzeichnis.

Im Kapitel 2: Grundlagen werden die Grundlagen zur Ermittlung der Nutzungsdauern beschrieben und die Begriffsdefinitionen zusammengefasst.

Im Kapitel 3: Entwicklung der Baumaterialien und Umweltbedingungen wird einerseits die historische Entwicklung der Baustoffe Stahl und Stahlbeton ausgearbeitet, wobei die Auswertung nicht für den Unterbaubaustoff Naturstein erfolgt, da sich diese seit dem Beginn des Einsatzes für Eisenbahnbrücken nicht nennenswert geändert hat und heute nicht mehr eingesetzt wird. Andererseits werden auch die Auswirkungen der geänderten Umweltbedingungen auf die einzelnen Baustoffe analysiert.

Im Kapitel 4: Tatsächliche Nutzungsdauer, Basiswert und Parameter der Nutzungsdauer werden die zur Erneuerung vorgesehenen Eisenbahnbrücken der ÖBB analysiert. Die

sich daraus ergebende tatsächliche Nutzungsdauer dient als Grundlage für die Festlegung der Plannutzungsdauer und des Rechenmodells der Restnutzungsdauer. Weiters werden die Parameter, welche die Nutzungsdauer beeinflussen, ermittelt und zahlenmäßig ausgewertet und für Stahl und Stahlbeton die Einflüsse der Errichtungsepochen und der Umweltbedingungen zahlenmäßig vom Autor festgelegt. Abschließend werden die der Plannutzungsdauer zugrunde gelegten Planinstandsetzungszyklen untersucht.

Im Kapitel 5: Plan- und Restnutzungsdauern werden die Werte der Plannutzungsdauer bestimmt. Diese basiert auf der tatsächlichen Nutzungsdauer, den beeinflussenden Parametern sowie der Entwicklung der Baustoffe und den Umweltbedingungen. Die Plannutzungsdauer für Spannbeton- und Verbundbrücken wird aus Analogieschlüssen zu den Stahl- und Stahlbetonbrücken bestimmt. Zur Ermittlung der Restnutzungsdauer der Brückenobjekte mit einem Stahl- oder Stahlbetontragwerk wird in diesem Kapitel ein Rechenmodell erstellt. Als entscheidende Größe für die Erneuerung des Brückenobjektes wird das Tragwerk angesetzt. Dieses Modell, ausgehend von der tatsächlichen Nutzungsdauer des Tragwerkes, berücksichtigt die beeinflussenden Parameter, den Wissensstand des Baustoffes zum Errichtungszeitpunkt, die geänderten Umweltbedingungen, das Alter des Tragwerkes sowie die Zustandsklassenbewertung des Objektes.

Im Kapitel 6: Zusammenfassung und Ausblick werden die maßgebenden Erkenntnisse aus den Untersuchungen zusammengefasst und Anregungen für weitere Forschungsbereiche rund um das Thema Nutzungsdauern gegeben.

2. Grundlagen

2.1. Begriffsbestimmungen

2.1.1. Allgemeine Begriffe

2.1.1.1. Ablösebetrag

Der Ablösebetrag A entspricht bei der erstmaligen Errichtung der Brücke dem Anlagebetrag AB . Dieser entspricht den abgezinnten Kosten der aufsummierten Instandhaltungskosten (E_{ern}) inklusive den Wiedererrichtungskosten (K_{ern}) am Ende der Plannutzungsdauer und ist in Abbildung 1 dargestellt [34].

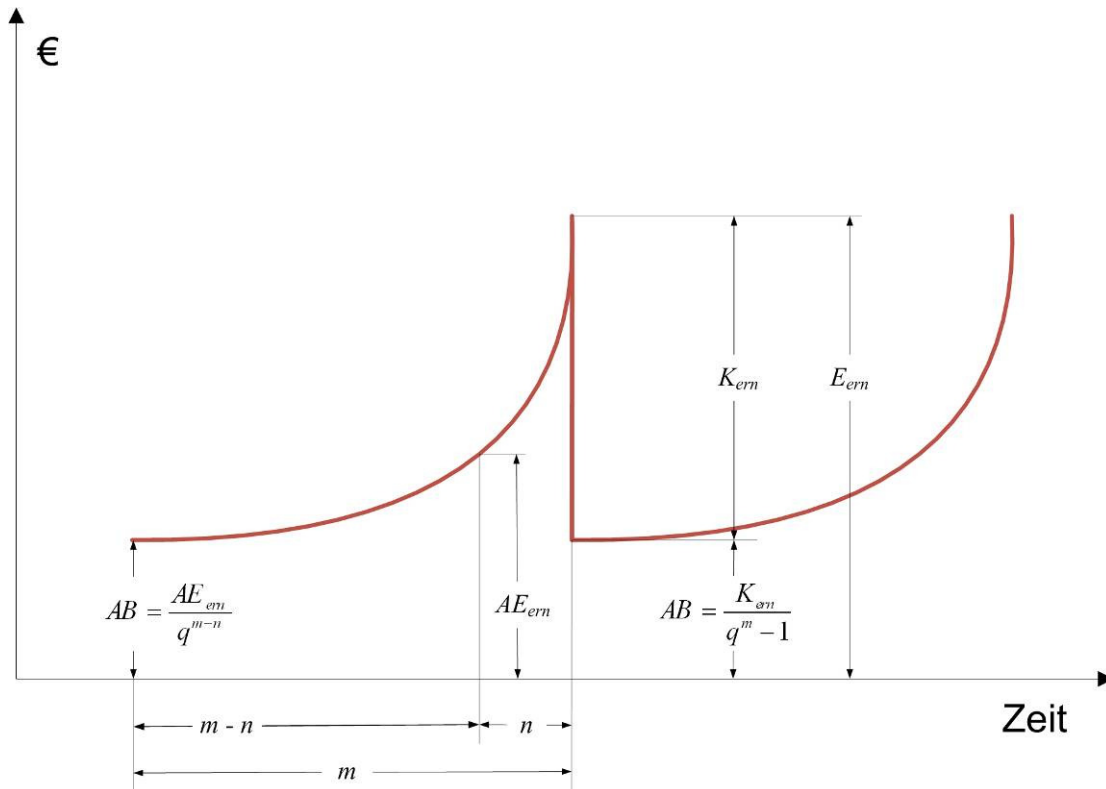


Abbildung 1: Graphische Darstellung der Ermittlung des Ablösebetrages [6]

Der Ablösebetrag stellt somit jenes theoretische Anfangskapital dar, welches erforderlich ist, um den Lebenszyklus einer Brücke immerfort zu finanzieren.

2.1.1.2. Abgangskurve

Der Ausfall von Brücken gleicher Konstruktionsarten und gleichen Errichtungszeitpunktes erstreckt sich über einen längeren Zeitraum. Die Verteilung dieses Brückenausfalls über die Zeit wird als Abgangskurve bezeichnet [7].

2.1.1.3. Anfahrkräfte

Durch das Anfahren und Beschleunigen von Fahrzeugen entstehen an den Antriebsrädern Kräfte, die in Höhe der Schienenoberkante in Längsrichtung des Tragwerkes wirken [52].

2.1.1.4. Bremskräfte

Durch das Bremsen entstehen an den Rädern Kräfte, die in Höhe der Schienenoberkante in Längsrichtung des Tragwerkes wirken [52].

2.1.1.5. Lebenszyklus

Der Lebenszyklus einer Brücke setzt sich, wie aus Abbildung 2 ersichtlich, aus dem Entwurf, der Planung, der Bauumsetzung, der Inspektion, der Wartung, gegebenenfalls der Entstörung, der Instandsetzung, eventuell einer Verbesserung und dem Abbruch zusammen.

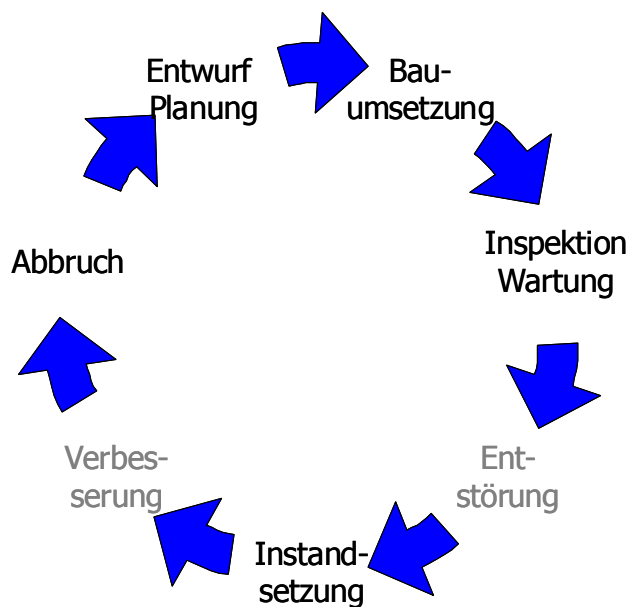


Abbildung 2: Lebenszyklus einer Brücke

2.1.1.6. Lebenszykluskosten

Die Lebenszykluskosten LZK einer Brücke sind die gesamten, verzinsten Kosten eines Bauwerkes über die gesamte Nutzungsdauer dieser Brücke [8].

2.1.1.7. Objekte

Der Begriff Objekte steht in dieser Arbeit in Zusammenhang mit den Tragwerken für ein Tragwerk und in Zusammenhang mit dem Unterbau für den dem Tragwerk zugehörigen Unterbau. Somit besteht beispielsweise eine 2-gleisige Brücke mit separaten Tragwerken aus zwei Objekten.

2.1.1.8. Planmäßiger kontrollierter Verfall

Bei Brücken, die aus bestimmten Gründen – z.B. aus strategischen Gründen oder Gründen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - in absehbarer Zeit erneuert werden müssen, wird die Instandsetzung auf das sicherheitsrelevante Maß reduziert. Dies kann aber auch beispielsweise bei einer Stahlbrücke mit offener Fahrbahn und schadhaftem Widerlager, bei dem die Instandsetzung wirtschaftlich nicht möglich ist, gegeben sein. In diesem Fall würde das bedeuten, dass Korrosionsschäden in einem nicht sicherheitsrelevanten Ausmaß kontrolliert zugelassen werden.

2.1.1.9. Seitenstoßkräfte

Durch Unregelmäßigkeiten der Gleislage werden von den Fahrzeugen Seitenstöße auf die Schienen ausgeübt. Zur Berücksichtigung dieser Seitenstöße wird eine Ersatzkraft mit einem charakteristischen Wert in der Höhe der Schienenoberkante rechtwinkelig zur Gleisachse an ungünstigster Stelle und in der jeweils ungünstigen Richtung, angesetzt [52].

2.1.2. Nutzungsdauern

2.1.2.1. Basiswert der Nutzungsdauer

Die den Basiswert ergebenden Nutzungsdauern beziehen sich schwerpunktmäßig auf eine bestimmte Errichtungsepoche, die durch die relative Häufigkeit – Verhältnis der Tragwerksflächen des Erneuerungsplanes zu den gesamten Tragwerksflächen des Erneuerungsplanes der betrachteten Epoche – bestimmt wird. Der Basiswert entspricht somit der Nutzungsdauer des gehäuften Errichtungszeitpunktes der Objekte des Erneuerungsplanes.

2.1.2.2. Brückenalter (Ist-Nutzungsdauer)

Die Ist-Nutzungsdauer ist die bis zum Betrachtungszeitpunkt gegebene Nutzungsdauer und entspricht dem Brückenalter.

2.1.2.3. Buchhalterische Nutzungsdauer

Die buchhalterische Nutzungsdauer ist die betriebswirtschaftlich definierte Größe des Abschreibungszeitraumes. Für Brücken der ÖBB beträgt diese derzeit 80 Jahre.

2.1.2.4. Plannutzungsdauer

Die theoretische Nutzungsdauer neuer Brücken ist die Plannutzungsdauer. Die zum Erreichen dieser Plannutzungsdauer erforderliche Instandhaltung wird als Planinstandhaltung bezeichnet [3].

2.1.2.5. Restnutzungsdauer

Die Restnutzungsdauer ist der Zeitraum vom Betrachtungszeitpunkt bis zur theoretisch zu erwartenden Erneuerung der Brücke.

2.1.2.6. Robustheit

Unter Robustheit versteht man die Umlagerungsmöglichkeit von Schnittkräften und die Dimensionierung von Bauteilen bei bewusster Schaffung von Reserven zur Verbesserung der Bauwerksqualität [9].

2.1.2.7. Tatsächliche Nutzungsdauer

Die tatsächliche Nutzungsdauer ist die tatsächlich genutzte Zeit einer Brücke. In dieser Arbeit wurde die tatsächliche Nutzungsdauer aus den Objekten des Erneuerungsplanes erhoben. Demzufolge ist der Anteil der Restnutzungsdauer dieser Brücken kurz und damit abschätzbar.

2.1.2.8. Theoretische Nutzungsdauer

Die theoretische Nutzungsdauer beginnt mit dem Jahr der verkehrsbereiten Fertigstellung der baulichen Anlage und endet mit der theoretischen Erneuerung der Brücke. Sie ist, wie in Abbildung 3 dargestellt, die Summe des Brückenalters und der Restnutzungsdauer einer Brücke und ein Erfahrungswert für baugleiche Brücken [3] und [1]. Wenn nicht anders angeführt, entsprechen in dieser Dissertation die theoretischen Nutzungsdauer der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB.

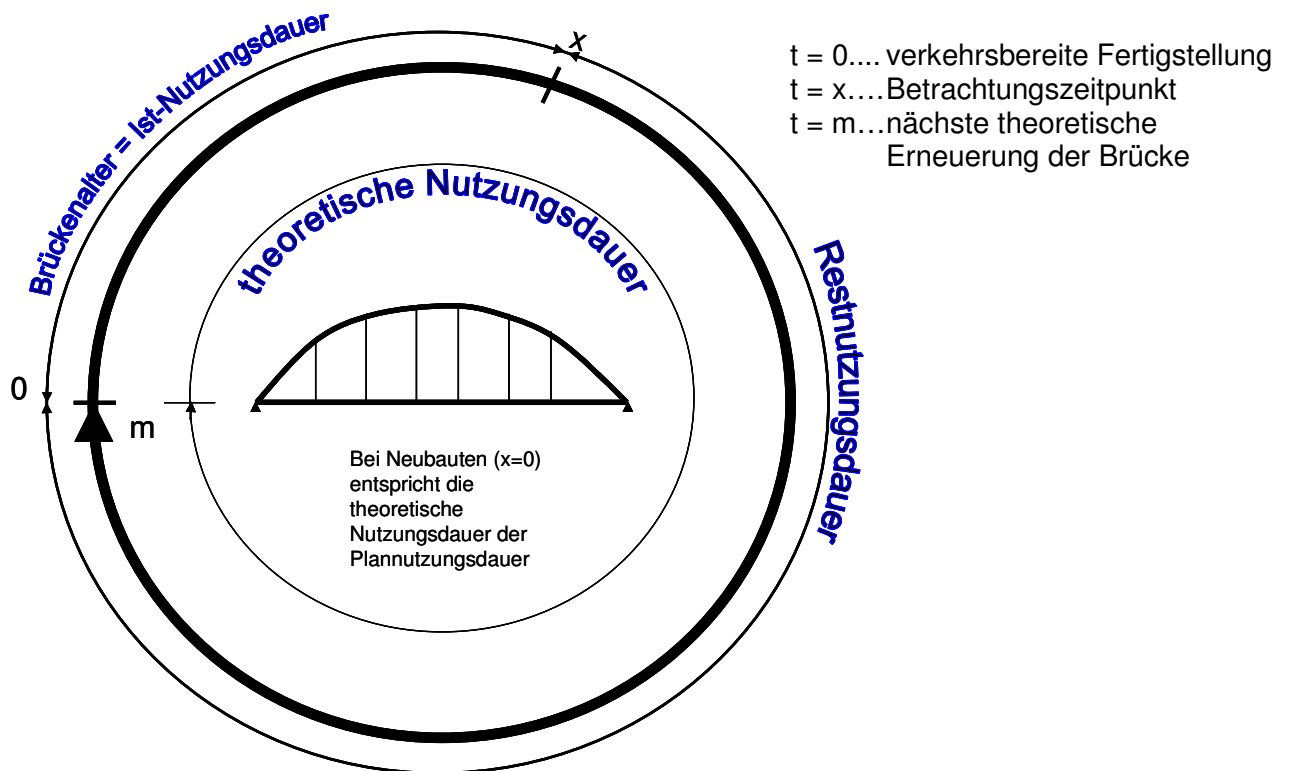


Abbildung 3: Zusammenhänge der Nutzungsdauern

2.1.3. Instandhaltung und Erneuerung

Die Begriffe wurden in Abstimmung mit der DIN 31051 „Grundlagen der Instandhaltung“ [10], der EN 13306 „Begriffe der Instandhaltung“ [11] und dem Entwurf der RVS.15.02.13 „Dauerhaftigkeit Brücken, Grundlagen zur Berechnung der Lebenszykluskosten“ [8] definiert.

2.1.3.1. Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeit umfasst alle zu setzenden Maßnahmen, die in Abhängigkeit von der Brückenart aufgrund herstellungs-, umwelt- und nutzungsbedingter Einflüsse für das Erreichen der angestrebten Nutzungsdauer erforderlich, jedoch für die statische Berechnung nicht unbedingt relevant sind [9].

2.1.3.2. Erneuerung

Der Erneuerungszeitpunkt ist dann gegeben, wenn eine Funktionseinschränkung trotz Planinstandhaltung mit betriebswirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht mehr verhindert werden kann. Die Brücke hat das Ende der Nutzungsdauer erreicht.

2.1.3.3. Inspektion

Die Inspektion dient zur Feststellung des Ist -Zustandes der Brücke. Weicht der Ist-Zustand vom Sollzustand ab, sind gegebenenfalls Maßnahmen einzuleiten. Die Inspektionsfristen sind bei den ÖBB im Instandhaltungsplan [33] festgelegt. Die Inspektion setzt sich im Regelfall aus der Allgemeinen Streckenaufsicht, der Untersuchung, der Begutachtung und gegebenenfalls den Sonderprüfungen zusammen. Sie beinhaltet bei den ÖBB auch die Vorbereitungsarbeiten, Dokumentation, Bewertung und gegebenenfalls die Festlegungen von Maßnahmen einschließlich eventueller Einrüstungen der Brücken, Absicherungen des Personals (Sicherungsposten, technische Warneinrichtung..), etwaige Verkehrsumlegung und Sperren [8].

2.1.3.4. Instandhaltung

Die Instandhaltung ist die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Brücke zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann [10]. Die Instandhaltung setzt sich gemäß Abbildung 4 aus der Wartung, der Inspektion, der Instandsetzung und der Verbesserung zusammen.

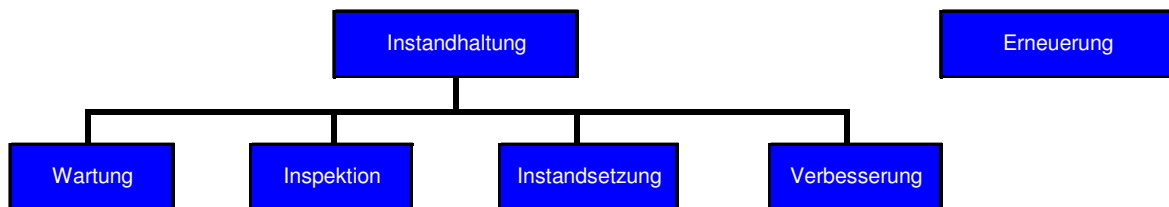


Abbildung 4: Definition der Instandhaltung und Erneuerung

2.1.3.5. Instandsetzung

Durch die Instandsetzung wird eine Funktionseinschränkung verhindert oder beseitigt, ohne die Brücke gegenüber ihrer Errichtung wesentlich zu verbessern. Dies sind beispielsweise Kolkschutzergänzungen, Verfügarbeiten, Mauerwerksinjektionen, Betoninstandsetzungen, Sanierung und Erneuerung des Korrosionsschutzes, Sanierung und Austausch von einzelnen Stahlelementen, Erneuerung von Abdichtungen, Sanierung und Erneuerung von Lagern, Übergangskonstruktionen und Randbalken [8].

2.1.3.6. Instandsetzungszyklen

Die Instandsetzungszyklen sind die Zeitabstände, in denen die einzelnen Instandsetzungsarbeiten erfahrungsgemäß durchzuführen sind. Die in der Literatur angegebenen Erfahrungswerte sind im Kapitel 4.8.2 zusammengefasst.

2.1.3.7. Planinstandhaltung

Die Planinstandhaltung beinhaltet alle Instandhaltungsmaßnahmen, die notwendig sind, damit die Brücke die Plannutzungsdauer erreicht.

2.1.3.8. Standsicherheit

Die Standsicherheit kennzeichnet das Niveau, planmäßige Beanspruchungen schadlos aufnehmen zu können. Dies sind beispielsweise Risse in Trägeranschlüssen, an- und durchgerostete Bewehrungseisen, gebrochene Lagerteile, fehlende Verbindungsmittel und ein Gefügeverbundverlust des Mauerwerks.

2.1.3.9. Verbesserung

Die Verbesserung ist die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit, ohne die geforderte Funktionsart zu verändern [10]. Dies sind beispielsweise Tragwerks-, Pfeiler- und Fundamentverstärkungen sowie die Errichtung eines Rückhaltesystems und eines Anprallschutzes [8].

2.1.3.10. Verkehrs- und Betriebssicherheit

Die Verkehrs- und Betriebssicherheit umfasst sowohl die Sicherheit für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge, als auch die Sicherheit für Personen und Sachen im Bauwerksumfeld. Dies sind beispielsweise zu große Durchbiegungen, Teile die in den Lichtraum ragen, herabfallende lose Teile sowie fehlende Geländer und Verkehrszeichen.

2.1.3.11. Wartung

Die Wartung dient zur Einhaltung der erforderlichen Instandsetzungszyklen. Im Brückenbau ist dies nur ein geringer Anteil und umfasst beispielsweise die Entfernung von Bewuchs, die Reinigung, das Abschlagen von schadhafte Betonteilen und das Spülen von Entwässerungen [8]. Diese Arbeiten werden im Regelfall im Zuge der Inspektion durchgeführt.

2.1.4. Brückenbezeichnungen

2.1.4.1. Brückenausrüstung

Zur Brückenausrüstung zählen Lager, Fahrbahnübergänge, Randbalken, Abdichtungen des Tragwerkes inklusive der Schutzschicht und des Belages sowie die Brückenentwässerung und sonstige Ausrüstungsteile [8].

2.1.4.2. Eisenbahnbrücke

Eisenbahnbrücken sind Objekte für Verkehrslasten von Eisenbahnen [12] mit einer lichten Weite größer als 2,0 Meter.

2.1.4.3. Konstruktiver Durchlass

Konstruktive Durchlässe sind Objekte für Verkehrslasten von Eisenbahnen mit einer maximalen lichten Weite von 2,0 Meter.

2.1.4.4. Tragwerk

Das Tragwerk ist die Tragkonstruktion der Brücke bis zur Oberkante der Lagerplatte oder des Unterbaues.

2.1.4.5. Unterbau

In dieser Dissertation sind im Begriff Unterbau die Widerlager, Pfeiler und Stützen enthalten, nicht jedoch die Fundierung. Wird die Brücke erneuert, so wird im Regelfall auch die Fundierung erneuert. Daher entspricht die Nutzungsdauer des Unterbaues im Regelfall auch der Nutzungsdauer der Fundierung.

2.1.4.6. Stahlvollwandträger

Stahlvollwandträger werden auch Stahl Vollwandbalkenbrücken oder Blechträgerbrücken genannt. Der Hauptträger dieser Tragwerkskonstruktion ist ein Vollwandträger.

2.2. Lastenzüge und Brückenklassen der österreichischen Eisenbahnbrücken

Durch die lange Nutzungsdauer der Brücken sind diese meist maßgebend für die Leistungsfähigkeit der Strecke. Es sind somit Tragreserven in den Lastenzügen einzuplanen, damit zukünftige Entwicklungen in der Transporttechnik möglich sind. Andererseits sollen die Tragreserven möglichst gering sein, damit eine hohe Ausnutzung -

und damit eine hohe Wirtschaftlichkeit - erzielt werden kann. Unter diesem Spannungsfeld wurden und werden Lastenzüge bzw. Lastenbilder festgelegt [35]. Die Lastenzüge bzw. Lastenbilder sind im Anhang E, basierend auf einer graphischen Darstellung der ÖBB aus 1965 [36], dargestellt.

2.2.1. Historische Entwicklung

Die ersten Lastenzüge für eiserne Brücken wurden in Österreich bereits 1870 festgelegt. Die Lastenzüge wurden zufolge der Entwicklung der Baustoffe und der Streckenbelastung, aber auch aus politischen Gründen (z.B. 2. Weltkrieg) immer wieder erneuert bzw. angepasst [35]. Die historische Aufarbeitung der Lastenzüge basiert insbesondere auf der „Entwicklung der Lastenzüge (Lastbilder) bei den österreichischen Eisenbahnen“ aus 1983 [35] und der „Entwicklungsgeschichte der Lastenzüge für die Fachtagung 1992“ [36]. Einen Überblick über die verschiedenen Lastenzüge und deren Lastansätze geben Tabelle 2 und der Anhang E.

2.2.1.1. Verordnung 1870

Die erste Verordnung des Handelsministeriums betreffend Lastenzüge für Eisenbahnbrücken – gültig für eiserne Brücken - trat 1870 in Kraft. Diese legte eine maximale Achslast von 13 to und eine Meterlast in Abhängigkeit der Spannweite fest. Die Materialfestigkeit des Schmiedeeisens (Schweißeisen) für Zug, Pressung oder Schub wurde mit 800 kg/cm² festgelegt. Als Belastungen wurden das Eigengewicht und die „zufällige Belastung“ – diese entspricht heute der Verkehrslast – angesetzt [35].

2.2.1.2. Verordnung 1887

Die zweite Verordnung des Handelsministeriums legte abermals eine Achslast von 13 to und eine Meterlast in Abhängigkeit der Spannweite fest. Es wurde weiters zwischen den verschiedenen Bauteilen und den statischen Systemen unterschieden. Erstmals wurde die Dynamik der Belastung berücksichtigt. Dies erfolgte in der Form, dass Konstruktionen, die den Stößen der Fahrzeuge ohne Vermittlung eines elastischen Zwischenteils direkt ausgesetzt waren, eine um 10% vergrößerte Einwirkung der zufälligen Belastung in Rechnung gebracht werden musste. Die Ermüdung wurde in der Form berücksichtigt, dass die zulässigen Spannungen mit der Spannweite zunehmen [35].

Zusätzlich zu den Belastungen Eigengewicht und „zufällige Belastung“ – diese entspricht heute der Verkehrslast – wurden die Lasten zufolge des Winddruckes und der Temperaturänderungen angesetzt.

2.2.1.3. Verordnung aus 1904

Im Jahre 1904 wurde die Verordnung für Eisenbahnbrücken, Bahnüberbrückungen und Zufahrtsstraßen mit eisernen – Schweißeisen und Flusseisen - und hölzernen Tragwerken vom Eisenbahnministerium eingeführt. In den Verordnungen bis 1887 wurden konkrete Züge als Belastungen angesetzt. In der Verordnung von 1904 wurden erstmals ideale Belastungszüge – für Normalspurbahnen der Lastenzug I und II - als Verkehrslasten angesetzt.

Analog zu der Verordnung aus 1887 wird die dynamische Wirkung und die Ermüdung berücksichtigt. Wenn eiserne Tragwerke den Stößen der Fahrzeuge ohne Vermittlung eines elastischen Zwischenteiles ausgesetzt sind, so muss eine um 10% vergrößerte Einwirkung der Verkehrslast in die Rechnung miteinbezogen werden. Die Ermüdung wird durch stützweitenabhängige, zulässige Spannungen berücksichtigt [35].

2.2.1.4. Lastenzug N aus 1922

Im Jahre 1922 wurde der österreichische N-Zug eingeführt (fallweise auch als N-Zug 1926 bezeichnet). Dabei wurde erstmals eine Achslast von 25 to angesetzt, die Meterlast beträgt 6,67 to/m. Dieser Lastenzug war ein sehr kräftiger – daraus folgten sehr hohe Schnittkräfte – und darf nicht mit dem Lastenzug N aus 1938 verwechselt werden. Bedingt durch die wirtschaftliche Lage zwischen 1922 und 1938 wurden jedoch nur sehr wenige Brücken – beispielsweise die Ostbahn-Donaubrücke in Wien – auf Grundlage dieses Lastenzuges errichtet.

2.2.1.5. Vorschrift der Deutschen Reichsbahn aus 1938

Ab 1938 wurden in Österreich die Vorschriften der Deutschen Reichsbahn übernommen. In dieser waren die Lastenzüge N, E, G, H, J und K enthalten. Der Lastenzug N hatte eine maximale Achslast von 25 to, der Lastenzug E hatte eine maximale Achslast von 20 to (für kleine Stützweiten 25 to) und der Lastenzug G hatte eine maximale Achslast von 18 to (für kleine Stützweiten 20 to) [35]. Der Lastenzug H entsprach 90% des Lastenzuges G, der Lastenzug J 80% des Lastenzuges G und der Lastenzug K war

kleiner als 80% des Lastenzuges G. In der Literatur erfolgt die Jahreszahlbezeichnung oftmals auch mit 1944.

2.2.1.6. Vorläufige Brückenvorschrift aus 1947

In der vorläufigen Brückenvorschrift des Bundesministeriums für Verkehr und verstaatlichte Betriebe - Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahn - aus 1947 wurden die Lastenzüge A und B für Normalspurbahnen eingeführt. Grundsätzlich war der Lastenzug A für Hauptstrecken und der Lastenzug B für alle übrigen Normalspurbahnen anzuwenden [35].

2.2.1.7. Eisenbahnbrückenvorschrift aus 1951

Zufolge der hohen Schnittkräfte wurden die Lastenzüge aus 1947 überarbeitet, die Bezeichnung blieb jedoch dieselben. Dies wurde in der Eisenbahnbrückenvorschrift 1951 des Bundesministeriums für Verkehr und verstaatlichte Betriebe - Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahn – geregelt [35].

2.2.1.8. ÖNORM B 4003 1.Teil vom 25.1.1956

Mit der ÖNORM B 4003 aus 1956 wurden die Lastenzüge S und L eingeführt. Die Achslast des Lastenzuges S betrug 25 to die anschließende Gleichlast 10,4 bzw. 8,0 to/m. Die Lasten des Lastenzug L entsprachen 75% des Lastenzuges S, wobei für kleinere Stützweiten 20 to angesetzt wurden [35].

2.2.1.9. UIC Merkblatt Nr. 702V Lastbild UIC-71

Mit diesem UIC Merkblatt wurde erstmals versucht, die Lastannahmen für Eisenbahnbrücken im europäischen Raum zu vereinheitlichen. Das Ergebnis war das Lastbild UIC 71 [13]. Die Achslast betrug 25 to, die Meterlast 8 to/m.

2.2.1.10. ÖNORM B 4003 1.Teil 1984

Mit der ÖNORM B 4003 [14] wurde die Brückenklassen K(n) eingeführt. Die Lasten gemäß Lastbild Klasse (0) rufen mit vernachlässigbaren Abweichungen die gleiche Wirkung hervor, wie die Lasten gem. UIC 71, Merkblatt Nr. 702V. Die Achslast beträgt 250 kN, die durchgängige Linienlast ist stützweitenabhängig und beträgt maximal 80 kN/m. Für die Klasse K(n) ist das Lastbild der Klasse (0) mit dem Faktor k_n zu vervielfachen.

2.2.1.11. ÖNORM B 4003 1.Teil 1994

Das Lastbild Klasse (0) entsprach dem Lastbild UIC-71 gemäß UIC Merkblatt Nr. 702V mit einer Achslast von 250 kN und einer Linienlast von 80 kN/m. Für die Klasse K(n) war das Lastbild der Klasse (0) mit dem Faktor k_n zu vervielfachen. Zusätzlich zu diesem Lastbild wurde für Brücken, die mit Schwertransporten befahren werden, der Schwerwagen SW eingeführt. Dieser wies eine Linienlast von 150 kN/m auf.

2.2.1.12. Tabellarische Aufstellung der historischen Lastenzüge

In Tabelle 2 sind die Lastansätze der einzelnen Lastenzüge bzw. Brückenklassen der ÖBB, basierend auf den damals gültigen Normen und den Literaturangaben in [36] und [37] auszugsweise zusammengefasst.

	Lasten	Anmerkung
Verordnung 1870	13 to 4 – 20 to/m	Gültig nur für Eisenbrücken; Schweißisen 800 kg/cm ²
Verordnung 1887	13 to	Gültig nur für Eisenbrücken und ist spannweitenabhängig.
Verordnung 1904	LZ I 20 – 11 to LZ II 16 – 11 to	Gültig nur für Eisen- und Holzbrücken.
N-Zug 1922	N-Zug 25 to	Sehr hohe Schnittkräfte, diese unterscheiden sich vom N-Zug aus 1938.
Vorschrift Deutsche Reichsbahn 1938	N Zug 25 to E Zug 20 to G Zug 18 to H Zug $\geq 0,9 \cdot G$ J Zug $\geq 0,8 \cdot G$ K Zug $< 0,8 \cdot G$	In der Datenbank der ÖBB wurde der Lastenzug G und N mit 1944 bezeichnet.
Vorläufige Brückenvorschrift 1947	LZ A 25 to 8 to/m LZ B 22 to	
Eisenbahnbrücken- vorschrift 1951	LZ A 25 to 8 to/m LZ B 22 to	
ÖNORM B 4003 1956	LZ S 25 to 10,4 – 8 to/m LZ L = $0,75 \cdot LZ S$	
UIC 1971 Merkblatt 702 V	LM 71 25 to 8 to/m	
ÖNORM B 4003 1984	K(0) 250 kN 0 - 80 kN/m	
ÖNORM B 4003 1994	K(0) 250 kN 80 kN/m SW 150 kN/m K (+2) 302,5 kN 96,8 kN/m	

Tabelle 2: Zusammenstellung der historischen Lastenzüge bzw. Brückenklassen der ÖBB

2.2.2. Derzeitige Brückenklassen gemäß ÖNORM EN 1991-2

Die der Berechnung neuer Eisenbahnbrücken zugrunde gelegten Belastungen wurden anhand der UIC Untersuchungen des tatsächlichen Zugsverkehrs ermittelt und in Form von Lastmodellen festgelegt.

Gemäß der gültigen ÖNORM EN 1991-2 [16] sind folgende Lastmodelle zu berücksichtigen:

- Lastmodell 71 für die Lasten aus dem Regelverkehr
- Schwerwagen SW/2 für die Lasten aus dem Schwerverkehr
- Lastmodell „unbeladener Zug“
- Lastmodell HSLM für die Lasten aus den Hochgeschwindigkeitsverkehr

2.2.2.1. Lastmodell 71

Das Lastmodell 71 ist identisch mit dem Lastbild Klasse (0) der ÖNORM B 4003, Ausgabe 1994 [15]. Zur Anpassung an den tatsächlich zu erwartenden Verkehr wird das Lastmodell mit dem Lastklassenbeiwert $\alpha = 1,1^n$ multipliziert. Dieser entspricht dem Faktor k_n der ÖNORM B 4003. Gemäß der ÖNORM B 1991-2 [17] ist in Österreich der Nachweis für die Ermüdung mit $\alpha = 1,0$ zu führen.

2.2.2.2. Schwerwagen SW/2

Das Lastmodell SW/2 stellt den statischen Anteil der Vertikallast des Schwerverkehrs dar und beträgt 150 kN/m. Auf Strecken mit Schwerverkehr ist dieses Lastmodell gemäß Norm zusätzlich zum Lastmodell 71 anzusetzen, bei den ÖBB erfolgt dies für alle Normalspurbahnen.

2.2.2.3. Lastmodell „unbeladener Zug“

Dieses Lastmodell ist dann anzusetzen, wenn Verkehrslasten günstig wirken und aus Kontinuitätsgründen erforderlich sind. Der charakteristische Wert ist eine Gleichlast mit 10 kN/m.

2.2.2.4. Lastmodell HSLM

Für Strecken mit hohen Betriebsgeschwindigkeiten ist zusätzlich zu den zuvor beschriebenen Lastmodellen das Lastmodell HSLM anzusetzen. Dieses Lastmodell berücksichtigt, dass keine Resonanz oder übermäßige Schwingungen an der Brücke auftreten, welche zu Instabilitäten des Schotterbettes, übermäßigen Durchbiegungen oder übermäßigen Spannungen führen könnten.

2.2.3. Historische Entwicklung der Achslasten

Die Achslast ist neben dem Achsabstand, der Linienlast und dem dynamischen Faktor nur einer von vier Parametern, jedoch ein sehr aussagekräftiger und vergleichbarer Parameter zur Darstellung der Entwicklung der vertikalen Verkehrslasten.

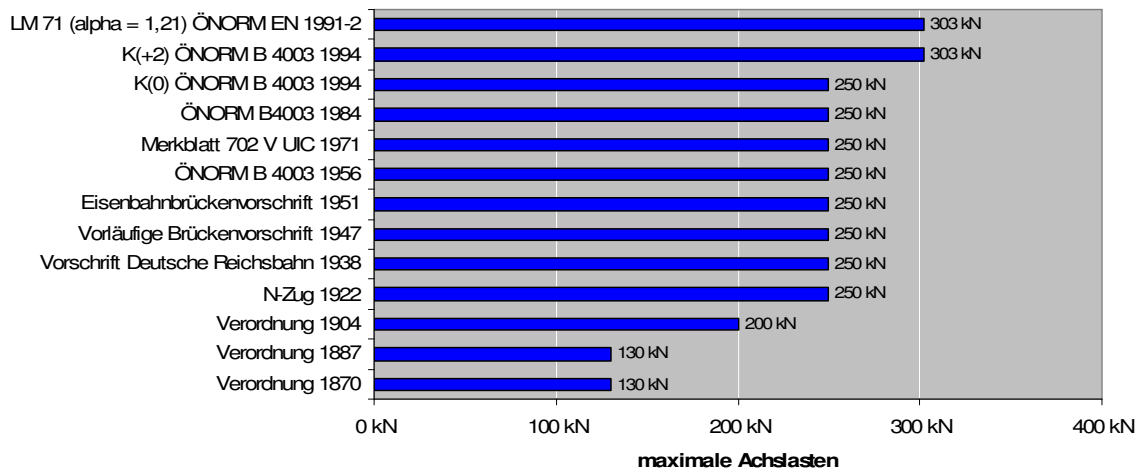


Abbildung 5: Historischer Verlauf der maximalen Achslast der Eisenbahnbrücken im Bereich der ÖBB

Aus der Aufstellung der maximalen Achslasten in Abbildung 5 ist ersichtlich, dass bereits sehr früh hohe Achslasten angesetzt wurden. Dies bedeutet, dass ältere Eisenbahnbrücken nicht zwingend aus dem Grund der Tragfähigkeit vor dem Erreichen des Endes ihrer Nutzungsdauer erneuert werden müssen.

2.3. Brems-, Anfahrkräfte und Seitenstoß

Durch das Anfahren bzw. das Bremsen der Schienenfahrzeuge entstehen an den Antriebsrädern bzw. den bremsenden Rädern Kräfte, die in Höhe der Schienenoberkante in Längsrichtung des Tragwerkes wirken. Diese Kräfte gelangen bei Tragwerken mit einer offenen Fahrbahn direkt in das Tragwerk bzw. bei Tragwerken mit Schotterbett über dieses in das Tragwerk. Die Entwicklung dieser Kräfte zeigt, dass durch die geringe Leistungsfähigkeit der früher von Hand betriebenen Bremsen nur geringe Bremskräfte gegeben waren. Zuzufolge der neuen bzw. verbesserten Technik (verbesserte bzw. neue Brems- und Antriebssysteme) haben sich diese horizontal wirkenden Lasten erhöht.

Durch Unregelmäßigkeiten der Gleislage werden von den Fahrzeugen Seitenstöße auf die Schienen ausgeübt. Zur Berücksichtigung dieser Seitenstöße wird eine Ersatzkraft mit

einem charakteristischen Wert in der Höhe der Schienenoberkante rechtwinkelig zur Gleisachse an ungünstigster Stelle und in der jeweils ungünstigen Richtung, angesetzt [52]. Diese Kräfte gelangen analog den Brems- und Anfahrkräften bei Tragwerken mit einer offenen Fahrbahn direkt in das Tragwerk bzw. bei Tragwerken mit Schotterbett über dieses in das Tragwerk. Auch die Kräfte zufolge Seitenstoßes haben sich stark verändert. In Tabelle 3 ist die historische Entwicklung dieser Kräfte zusammengefasst.

	Bremskraft / Anfahrkraft	Seitenstoß
Winkler 1886 [38]	Kräfte nicht erwähnt	31 kN für Hauptbahnen 24 kN für Nebenbahnen
Verordnung 1904 [38] u. [18]	Bremskraft 10% der Verkehrslast	80 kN für Hauptbahnen 42 kN für Nebenbahnen
ÖNORM B 4003 1956 [38]	Bremskraft 12,5% der Verkehrslast	60 kN
ÖNORM B 4003 1984 [14]	Bremskraft 15% der Verkehrslast Anfahrkraft 20 kN/m bei max. 35 m	60 kN
ÖNORM B 4003 1994 [15]	Bremskraft K(0) 20 kN/m (max. 6.000 kN) K(+2) 24,2 kN/m (max. 6.000 kN) SW 35 kN/m (max. 2.000 kN) Anfahrkraft K(0) und SW 35 kN/m (max. 1.000 kN) K(+2) 42,35 kN/m (max. 1.000 kN)	K(0) 100 kN/m K (+2) 121 kN/m
ÖNORM EN 1991-2 [16]	Bremskraft LM 71 ($\alpha=1,21$) 24,2 kN/m (max. 6.720 kN) SW/2 35 kN/m Anfahrkraft 39,93 kN/m (max. 1.000 kN)	LM 71 (+2) 121 kN/m

Tabelle 3: Zusammenstellung der historischen Entwicklung der horizontal wirkenden Kräfte

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist, wurden die Bremskräfte bis zur ÖNORM, Ausgabe 1984 als Prozentsatz der Verkehrslast angegeben. Mit Einführung der ÖNORM B 4003, Ausgabe 1994 werden die Anfahrkräfte bzw. die Bremskräfte in Abhängigkeit der Brückenlänge festgelegt. Um die historische Entwicklung der Brems- und Anfahrkräfte vergleichen zu können, müssen diese auf eine Brückenlänge bezogen und ausgewertet werden.

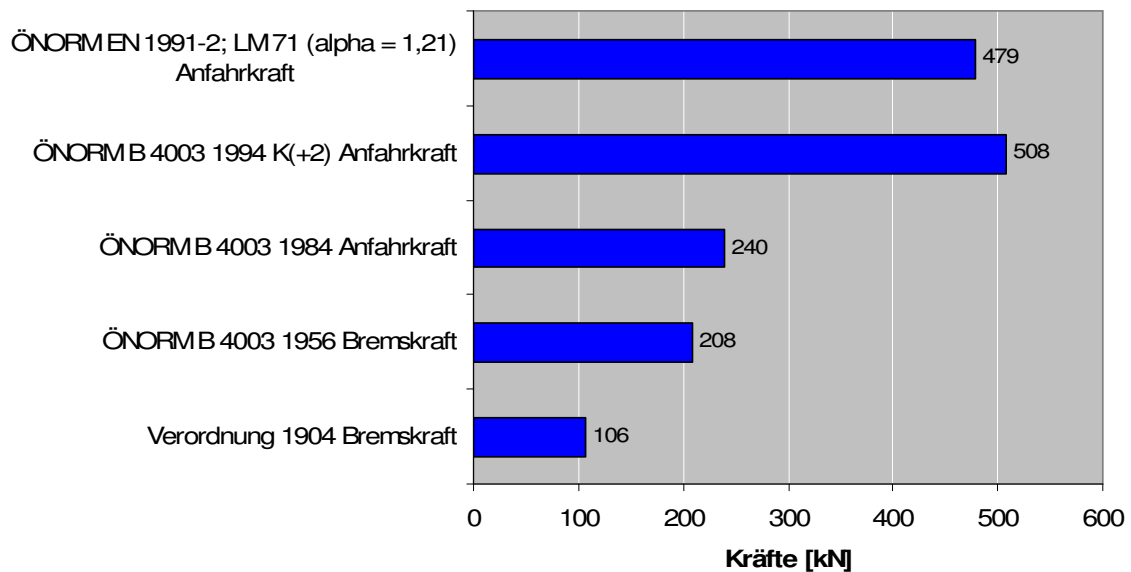


Abbildung 6: Historischer Verlauf der maximalen Brems- bzw. Anfahrkräfte einer 12 m langen Brücke

In Abbildung 6 wurden die maximalen Brems- bzw. Anfahrkräfte der jeweils gültigen Norm mit den damals angesetzten Verkehrsbelastungen für eine 12 m lange Brücke ermittelt. Diese Länge wurde gewählt, da der Großteil der Eisenbahnbrücken in einem kurzen Stützweitenbereich liegt. Aus dieser Auswertung ist sehr schön ersichtlich, dass zufolge der erhöhten relativen Kräfte (Horizontalkräfte bezogen auf die Vertikalkräfte) und der Zunahme der Vertikallasten, sich die maximalen Horizontalkräfte von heute gegenüber von 1904 fast verfünffacht haben.

Vergleicht man den historischen Verlauf der maximalen Achslast der Abbildung 5 mit jenem des Seitenstoßes der Abbildung 7 so ist ersichtlich, dass die Zunahme der Kräfte im Zeitraum von 1904 bis heute jeweils ca. 50% beträgt. Die maximale Achslast stieg von 200 kN (1904) auf 302,5 kN (heute), der Seitenstoß hat sich von 80 kN auf 121 kN erhöht. Der Unterschied ist jedoch, dass die Werte des Seitenstoßes zwischendurch rückläufig waren (die Kräfte des Seitenstoßes in den Vorschriften von 1956 und 1984 waren geringer als jene von 1904).

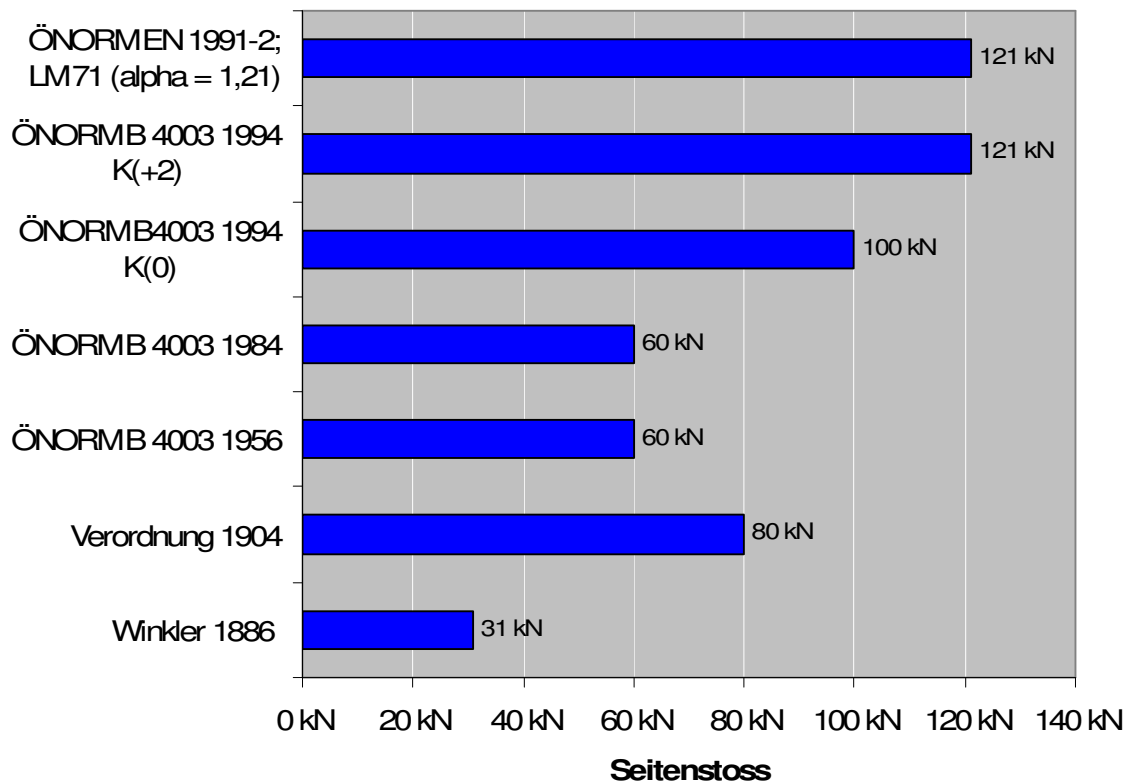


Abbildung 7: Historischer Verlauf des Seitenstoßes im Bereich der ÖBB

Die Zunahme dieser Horizontallasten hat zur Folge, dass ein reiner Tragwerkswechsel insbesondere ohne Widerlagerverstärkung nur noch sehr selten möglich ist. Zumeist ist eine Erneuerung bzw. Verstärkung des Widerlagers und eventuell auch der Fundierung notwendig, auch wenn das Widerlager in einem guten Instandhaltungszustand ist.

2.4. Streckenklassen und Netzkategorien

Die Definition der unterschiedlichen Streckenklassen erfolgt in UIC Merkblatt 700 [19]. Die Streckenklassen definieren die zulässige Radsatz- und Linienlast der einzelnen Streckenabschnitte. Die Brückenobjekte werden auf Basis der Brückenlastbilder bemessen und in die entsprechenden Streckenklassen eingestuft.

In Tabelle 4 sind die verschiedenen Streckenklassen mit den entsprechenden Radsatzlasten, dem Gewicht je Längeneinheit und der geometrischen Merkmale angegeben.

- a = Radsatzabstand
- b = Abstand des Endradsatzes zum nächstgelegenen Pufferende
- c = Abstand der beiden inneren Radsätze
- L = Länge über Puffer

Klasse	Radsatzlast	Gewicht je Längeneinheit	Geometrische Merkmale
A	P = 16 t	p = 5,0 t/m	
B1	P = 18 t	p = 5,0 t/m	
B2	P = 18 t	p = 6,4 t/m	
C2	P = 20 t	p = 6,4 t/m	
C3	P = 20 t	p = 7,2 t/m	
C4	P = 20 t	p = 8,0 t/m	
D2	P = 22,5 t	p = 6,4 t/m	
D3	P = 22,5 t	p = 7,2 t/m	
D4	P = 22,5 t	p = 8,0 t/m	
E4	P = 25 t	p = 8,0 t/m	
E5	P = 25 t	p = 8,8 t/m	

Tabelle 4: Streckenklassen gemäß UIC Merkblatt 700

Der Belastungsumfang der ÖBB Strecken wird zufolge der Netzsegmentierung [39] durch die Netzkategorie dargestellt. Die wichtigsten Kriterien für die Einteilung sind:

- Zug-Kilometer
- Gesamtbruttotonnen-Kilometer

- Anzahl Reisezüge
- Anzahl Güterzüge
- Betriebliche Funktionalität (Umleitungsverkehr)
- Einbindung in internationale Netze
- Streckencharakteristik (eingleisig oder zweigleisig)

Zufolge dieser Kriterien werden die folgenden Netzkategorien unterschieden [39]:

Netzkategorie A (Kernnetz)

- Wichtige Personenverkehrsstrecken
- Wichtige Güterverkehrsstrecken
- Beidseitige Einbindung ins Netz
- Wichtige Verbindungen ins Ausland
- Nahverkehrsstrecken

Netzkategorie B1 (Kernnetz)

- Strecken mit entsprechenden Gesamtbruttotonnen
- Strecken mit entsprechenden Zug-Kilometern
- Umleitungsstrecken

Netzkategorie B2 und C (Ergänzungsnetz)

- Strecken mit geringer Bedeutung für den Güterverkehr und Zubringerstrecken
- Keine maßgeblichen Nahverkehrsstrecken
- Alle Schmalspurbahnen

Die Netzkategorie A und Netzkategorie B1 ergeben in Summe das Kernnetz, das Ergänzungsnetz setzt sich aus der Netzkategorie B2 und der Netzkategorie C zusammen.

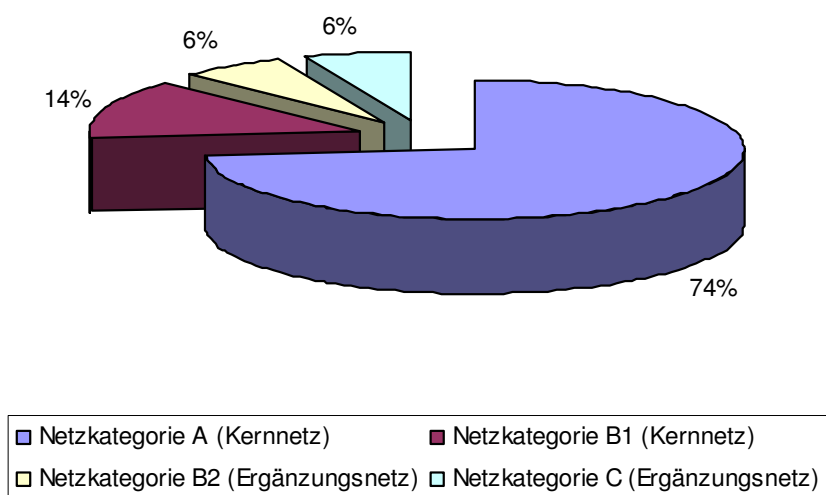


Abbildung 8: Verteilung der Netzkategorien der gesamten Eisenbahnbrückenflächen

Wie aus Abbildung 8 ersichtlich, entfällt der überwiegende Teil (88%) der Brückenflächen auf das Kernnetz und nur 12% auf das Ergänzungsnetz der ÖBB.

2.5. Zustandsklassenbewertung der ÖBB

Die bei den ÖBB in regelmäßigen Abständen durchgeführte Brückeninspektion ist im Instandhaltungsplan [33] geregelt und unterteilt sich in die allgemeine Streckenaufsicht, die Untersuchung, die Begutachtung und gegebenenfalls die Sonderprüfungen.

Bei der allgemeinen Streckenaufsicht sind die Brücken und deren Umgebung augenscheinlich auf einen sicheren Eisenbahnbetrieb zu überprüfen. Im Zuge der Untersuchung wird festgestellt, ob alle für die Verkehrs- und Betriebssicherheit, die Standsicherheit und die Dauerhaftigkeit des Objektes erforderlichen Teile vorhanden sind und diese ihre Aufgabe einwandfrei erfüllen können.

Die Begutachtung stützt sich auf die Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen und der visuellen Begutachtung. Es werden die festgestellten Schäden beurteilt und die zu treffenden Maßnahmen und Veranlassungen festgelegt. Die Dokumentation erfolgt schriftlich in einem Befund und das Objekt wird einer Zustandsklasse zugeordnet. Diese Bewertung dient als Grundlage für die Erstellung des Instandhaltungs- und Erneuerungsplans der Brücken, für allfällige Nutzungseinschränkungen bzw. Erteilung von Ausnahmegenehmigungen für die Überschreitung der zulässigen Streckenklasse (beispielsweise für Sondertransporte und Streckenklassenerhöhungen) und für die Untersuchung von Geschwindigkeitserhöhungen.

2.5.1. Historische Entwicklung

Erstmals in der ÖBB eingeführt wurde die Zustandsklassenbewertung der Brücken mit der Vorschrift DB 745, Ausgabe 1985 [40]. Dabei wurde, wie in Tabelle 5 angegeben, in vier Zustandsklassen unterteilt.

Zustandsklasse	Bewertung
I	Sehr gut (neuwertig)
II	Gut (allgemein guter Zustand)
III	Erhaltungsbedürftig (erforderliche Maßnahmen einleiten)
IV	Schlecht, bedenklich (Sofortmaßnahmen einleiten)

Tabelle 5: Brückenzustandsklassenbewertung der ÖBB, gültig bis 2005

2.5.2. Aktuelle Zustandsklassenbewertung

Seit dem Jahre 2006 liegt der Zustandsbewertung ein Benotungssystem gemäß Instandhaltungsplan [33] zugrunde, welches sich auf alle Komponenten und Sicherheitsrisiken des Objektes bezieht. Dabei wird, wie in Tabelle 6 angegeben, zwischen 5 Zustandsklassen und einer möglichen Sicherheitsbewertung unterschieden.

Klasse	Bewertung
1	Sehr gut Erhaltungszustand, keinerlei Einschränkungen.
2	Gut Erhaltungszustand, keinerlei Einschränkungen. Das Objekt weist kleinere Schäden auf, die längerfristig (>12 Jahre) eine Instandsetzung erfordern.
3	Schlechter Erhaltungszustand, keinerlei Einschränkungen. Das Objekt weist größere Schäden auf, die mittelfristig (5-12 Jahre) zu Einschränkungen und/oder Substanzschädigungen führen. – Eingabe in den Aufwandsplan (große Instandsetzungsmaßnahme).
4	Schlechter Erhaltungszustand, keinerlei Einschränkungen. Das Objekt weist größere Substanzschädigungen auf, die aus technisch/wirtschaftlichen Gründen nicht mehr behoben werden, oder das Objekt entspricht nicht mehr dem technischen Ausbaustandard der Strecke – Eingabe zur Erneuerung.
5	Schlechter Erhaltungszustand, bereits Einschränkungen. Das Objekt weist größere Substanzschädigungen auf, die aus technisch/wirtschaftlichen Gründen nicht mehr behoben werden, oder das Objekt entspricht nicht mehr dem technischen Ausbaustandard der Strecke – Eingabe zur Erneuerung
Zusatz S	Für alle sicherheitsrelevanten, auf Einzelkomponenten bezogenen Schäden oder Zustände, die zu Sofortmaßnahmen oder Behebungen mit Fristen führen. Der Zusatz kann für jede Bewertungsklasse angegeben werden.

Tabelle 6: Derzeit gültige Brückenzustandsklassenbewertung der ÖBB

3. Entwicklung der Baumaterialien und Umweltbedingungen

Der Wissensstand betreffend Baumaterialien der einzelnen Epochen – beispielsweise die Herstellung, Verarbeitung und Berechnung dieser – hat einen Einfluss auf die Nutzungsdauer der Brücken. Der im Kapitel 4.5 ermittelte Basiswert der Nutzungsdauer bezieht sich schwerpunktmäßig auf die Errichtungsepoche der diesem Wert zugrunde gelegten Objekte, mit einem anderen Wissensstand als heute. Insbesondere auf den Zeitraum dieser schwerpunktmäßigen Errichtungsepoche der Objekte des Basiswertes bezieht sich die historische Aufbereitung der Baumaterialien. Aber auch die Umweltbedingungen – zunehmende CO₂ Belastungen, vermehrter Einsatz von Chloriden im Bereich von Straßen und Wegen, sowie vermehrte und folgenschwerere Anfahrtschäden – haben sich geändert.

Für die Bestimmung der Plan- und der Restnutzungsdauer werden die Entwicklungen der Baustoffe aus Nutzungsdauer relevanter Sicht, insbesondere der Dauerhaftigkeit und den geänderten Umweltbedingungen, analysiert.

3.1. Umwelteinflüsse

3.1.1. Einfluss der Karbonatisierung zufolge CO₂ Emissionen

Bei der Karbonatisierung wird die passivierende Wirkung des Betons durch die Absenkung des pH-Wertes aufgehoben. Der im Beton enthaltene Kalkstein Ca(OH)₂ wird mit Kohlendioxid CO₂ und Wasser H₂O in Kalziumkarbonat umgewandelt [22], dabei kommt es zu einer Volumszunahme von ca. 11%. Damit dieser chemische Vorgang stattfinden kann, muss somit Kohlendioxid und Wasser vorhanden sein.

Die Eindringtiefe und Geschwindigkeit der Karbonatisierung ist von folgenden Faktoren maßgeblich abhängig [23]:

- Zeitdauer und Konzentration der CO₂ Einwirkung:
Kohlendioxid ist in der Luft in einem Prozentsatz von ca. 0,036% enthalten. Durch die zunehmende CO₂ –Konzentrationen in der Luft wird dieser Prozess beschleunigt.

- **Feuchteangebot:**
Die Feuchtigkeit ist eine wichtige Voraussetzung, damit dieser Prozess stattfinden kann. Eine Feuchtigkeit ist bei den Brücken fast immer gegeben. Damit dieser Prozess stattfinden kann, ist jedoch die richtige Konzentration an Feuchtigkeit erforderlich. Ist die Konzentration sehr gering, so findet die Reaktion gar nicht oder nur sehr langsam statt. Ist die Luftfeuchtigkeit zu hoch, so wirkt diese hemmend auf den Diffusionsvorgang des CO₂ in die Poren. Am raschesten schreitet die Karbonatisierung bei einer Luftfeuchtigkeit von 50 - 70% voran, dies entspricht dem mitteleuropäischen Klima.
- **Betonzusammensetzung (W/B-Wert, Zuschläge,...):**
Der Wassergehalt hat auch bereits bei der Herstellung des Betons einen Einfluss auf dessen Dauerhaftigkeit im Hinblick auf die Karbonatisierung. Ist der W/B-Wert hoch, so wird nicht das ganze Wasser bei der Erhärtung des Betons gebunden. Das verbleibende Wasser führt zu einem erhöhten Kapillarporenraum. Ab einem W/B-Wert kleiner 0,4 ist praktisch keine Karbonatisierung gegeben.
- **Nachbehandlung (kontrollierte Austrocknung, Porengehalt und Ausschalzeitpunkt) und Verdichtung:**
Bei nicht ausreichender Nachbehandlung besteht beispielsweise die Gefahr, dass der Beton nicht vollständig hydratisiert. Dies bewirkt wiederum eine zusätzliche Porosität und damit einen geringeren Diffusionswiderstand.
- **Betondeckung (Dicke und Qualität):**
Die Dicke der Betondeckung entspricht dem Weg, welchen das CO₂ bis zum Bewehrungsseisen zurücklegen muss, um die Passivierung aufzuheben. Eine größere Betondeckung bedeutet somit einen höheren Schutz der Bewehrung.

Diese Zusammenhänge werden mit dem $\sqrt{\tau}$ – Gesetz gemäß Formel 1 definiert. Das ist das einfachste Modell, mit dem die Karbonatisierung mathematisch beschrieben werden kann. Dabei entspricht y der Karbonatisierungstiefe, k einem betonspezifischen Karbonatisierungsfaktor und τ dem Betonalter.

$$y = k * \sqrt{\tau}$$

Formel 1: Wurzel Tau Gesetz [23]

Diese Formel ist eine grobe Näherung, um Tendenzen ablesen zu können, die Ergebnisse können ohne Interpretation nicht direkt übernommen werden. Die Prüfung der

Karbonatisierungstiefe erfolgt auf einer frischen Bruchfläche mit einer Phenolphthaleinlösung. Um das Messergebnis nicht zu verfälschen, muss die Prüfzelle vor der Prüfung von Betonstaub befreit werden. Die Prüfung erfolgt durch Aufsprühen einer 0,1% Phenolphthaleinlösung. Diese reagiert mit dem Beton und zeigt in alkalischen Bereichen einen violetten bis roten Farbumschlag. In bereits karbonatisiertem Beton kommt es zu keiner Verfärbung. Die Karbonatisierungstiefe lässt sich dann als Abstand zwischen gedachter Bauteiloberfläche und Tiefe der Front des Farbumschlags messen [23].

3.1.2. Einfluss der Chlorideindringung

Bei den Eisenbahntragwerken der ÖBB ist Tausalz, mit Ausnahme der Brücken im Bahnsteigbereich, im Regelfall nicht im Einsatz. Das bei Brückenöffnungen im Straßen- und Wegbereich eingesetzte Tausalz wirkt sich jedoch durch die Sprühnebelbildung auch auf die Eisenbahnbrücken aus. Das Tragwerk ist durch die Sprühnebelbildung - wie die Untersuchung in der Diplomarbeit von Kolar [23] zeigte - nur sehr gering betroffen. An allen im Zuge dieser Untersuchung gemessenen Tragwerken waren die Chloridkonzentrationen am Tragwerk sehr gering und stellten kein Korrosionsrisiko dar. Wenn Korrosion an der Bewehrung festgestellt wurde, konnte diese immer auf eine andere Schadensursache zurückgeführt werden.

Massiv vom Sprühnebel betroffen sind die Unterbauten aus Stahlbeton. Da die Tragwerke nicht betroffen sind und die Unterbauten auch konstruktiv – z.B. durch die Verwendung von geeigneten Betonen oder einem Oberflächenschutz – dagegen geschützt werden können, wird diese Einwirkung in gekürzter Form behandelt.

Die Chloride gehen an der Bauteiloberfläche in Lösung und die Chloridionen dringen über das Porensystem zur Bewehrung vor. Im Unterschied zur Karbonatisierung erfolgt der Eintrag von Chloridionen über die Porenlösung und nicht über Diffusion. Die chloridinduzierte Korrosion basiert auf dem Potentialunterschied an der Stahloberfläche, welche zur Ausbildung eines Makroelements mit Anode und Kathode führt, in dem es zur Korrosion kommt. Die Chloridionen haben dabei die Funktion ähnlich eines Katalysators, sie werden kaum verbraucht und halten den im Makroelement entstehenden Krater aktiv. Das Erscheinungsbild dieser Korrosion wird Lochfraßkorrosion genannt. Während die Korrosion durch Karbonatisierung flächig ist, kommt es bei der chloridinduzierten Korrosion zu einer rasch in die Tiefe fortschreitenden Materialumwandlung [23]. Die Messung des Chloridwertes erfolgt anhand von Bohrmehlproben mittels einer Ionenchromatographie im Labor.

3.1.3. Einfluss der Anfahrschäden

Mit der Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik, sowohl im Straßen-, als auch im Schiffsverkehr, nahmen das zulässige Gesamtgewicht, die Geschwindigkeit und die Abmessung der Fahrzeuge zu. Bei den Abmessungen sind dies neben Sondertransporten häufig auch Transporte von Baufahrzeugen, welche nicht ordnungsgemäß verladen wurden. Dadurch nimmt einerseits die Anzahl der Schäden zu und andererseits verändert sich auch deren Lage. Selbst Brücken mit einer großen lichten Durchfahrtshöhe sind vereinzelt von Anfahrschäden betroffen. Durch die Kombination der höheren Lasten und der höheren Geschwindigkeiten nimmt auch das Schadensausmaß zu.

Ein Schadensausmaß, das zu einer Erneuerung des Tragwerkes oder des Unterbaues führt, kommt nur sehr selten vor. Beispielsweise sei der Schiffsanprall an die Kremser Donaubrücke im Dezember 2005 genannt. Bei diesem rammte das Schiff den Mittelpfeiler der Brücke. Dieser, dargestellt in Abbildung 9, wurde oberhalb der Wasseroberfläche abgeschert und über 2,0 m verschoben.



Abbildung 9: Abgescherter Mittelpfeiler der Kremser Donaubrücke

Bedeutender im Hinblick auf die Nutzungsdauer sind die vielen kleinen Anfahrschäden mit einem geringeren Schadensausmaß. Diese bewirken bei Stahlbetontragwerken Betonausbrüche an der Unterseite oder im Eckbereich des Tragwerkes. Häufig ist eine zeitgerechte Betoninstandsetzung zufolge der großen Anzahl dieser Schäden nicht möglich. Eine korrodierte Bewehrung und damit reduzierte Nutzungsdauer bzw. gegebenenfalls eine eingeschränkte Tragfähigkeit sind die Folgen. In Abbildung 10 ist

eine Stahlbetonbrücke mit deutlich sichtbaren Schleifspuren und Betonausbrüchen zufolge häufiger Anfahrschäden abgebildet.



Abbildung 10: Stahlbetonbrücke mit häufigen Anfahrschäden

Ähnlich verhält es sich bei den Stahltragwerken. Die Schleifspuren von Fahrzeugen führen zu einer Beschädigung des Korrosionsschutzes und fallweise zu Kerben im Stahltragwerk. Werden die Kerben nicht ausgeschliffen, haben diese einen negativen Einfluss auf die Ermüdung des Tragwerkes. Wird der Korrosionsschutz nicht zeitgerecht instandgesetzt, führt dies zu Korrosionsschäden am Tragwerk. In Abbildung 11 ist eine Stahlbrücke mit deutlich sichtbaren Schleifspuren zufolge häufiger Anfahrschäden und daraus resultierenden Korrosionsschäden abgebildet.



Abbildung 11: Stahltragwerk mit häufigen Anfahrtschäden

3.1.4. Einfluss der gesellschaftlichen Veränderungen

Die Instandsetzungsarbeiten bei Brücken sind zumeist personalintensive Arbeiten, wodurch die Lohnkosten der maßgebende Faktor sind, ein Maschineneinsatz ist nur begrenzt möglich. Häufig sind diese Arbeiten an den Standort der Brücke gebunden, eine Vorfertigung und Zulieferung – gegebenenfalls aus Ländern in denen die Fertigung kostengünstiger ist – ist nur vereinzelt bzw. bedingt möglich. Aber auch das Arbeiten unter Betrieb erhöht diese Instandsetzungskosten. Oftmals sind im Eisenbahnbetrieb nur kurze Zeitfenster - Zugspausen, Nachtsperren oder bei sehr umfangreichen Arbeiten Wochenendsperren – gegeben und die Betriebserschwernisse – wie zum Beispiel Schienenersatzverkehr, Umleitungsverkehr und Geschwindigkeitsreduktion – erhöhen ebenfalls die Kosten. Dazu kommt noch der zunehmende Aufwand für die Sicherheitsmaßnahmen bei Bauarbeiten gemäß EisBaV [44].

Im Gegensatz dazu waren bis vor einigen Jahrzehnten nicht die Lohnkosten, sondern die Kosten für die Baustoffe und Baumaterialien die maßgebende Größe. Diese Umstände führen dazu, dass Instandsetzungen, welche früher wirtschaftlich waren, heute unwirtschaftlich sein können. Daher hat auch diese Entwicklung – insbesondere zufolge der langen Nutzungsdauer von Brücken - einen Einfluss auf die Nutzungsdauern.

3.1.5. Einfluss durch den Eurocode

Mit Einführung der Eurocodes wurde eine Vereinheitlichung der Normenlage in Europa angestrebt, wobei durch die nationalen Anhänge in einem gewissen Ausmaß länderspezifische Gegebenheiten berücksichtigt werden können. Eine Auswirkung der Eurocodes auf die Nutzungsdauer ist insofern gegeben, da die Nutzungsdauer im Eurocode als Plangröße eingeht [24]. In diesem wurden Nutzungsdauerklassen definiert und die Brücken wurden der Klasse 5 zugeordnet. Dies entspricht einer geplanten Nutzungsdauer von 100 Jahren. Dieser Wert liegt unter den in Kapitel 5.1 ermittelten Plannutzungsdauern der Eisenbahntragwerke. Die direkte Auswirkung des Eurocodes auf Neuplanungen ist meiner Erfahrung nach gering, da insbesondere Ausführungsdetails – welche bei den ÖBB beispielsweise in den Planungsgrundsätzen geregelt sind – die Nutzungsdauer beeinflussen.

3.2. Historische Entwicklung der Eisenbahntragwerke aus Stahl

Eisenbahntragwerke aus Stahl wurden bereits sehr früh errichtet, das älteste in der Datenbank der ÖBB verzeichnete Stahltragwerk stammt aus dem Jahre 1870. In Abbildung 12 ist der Verlauf der Stahltragwerksflächen für die einzelnen Errichtungsjahrzehnte dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass der Stahlbrückenbau gewissen Schwankungen unterlag. Für die einzelnen Stahltragwerksgruppen, Stahlvollwandträger, Stahlfachwerke und Trägerbetone ist die Verteilung in der Abbildung 36, Abbildung 39 bzw. Abbildung 42 dargestellt.

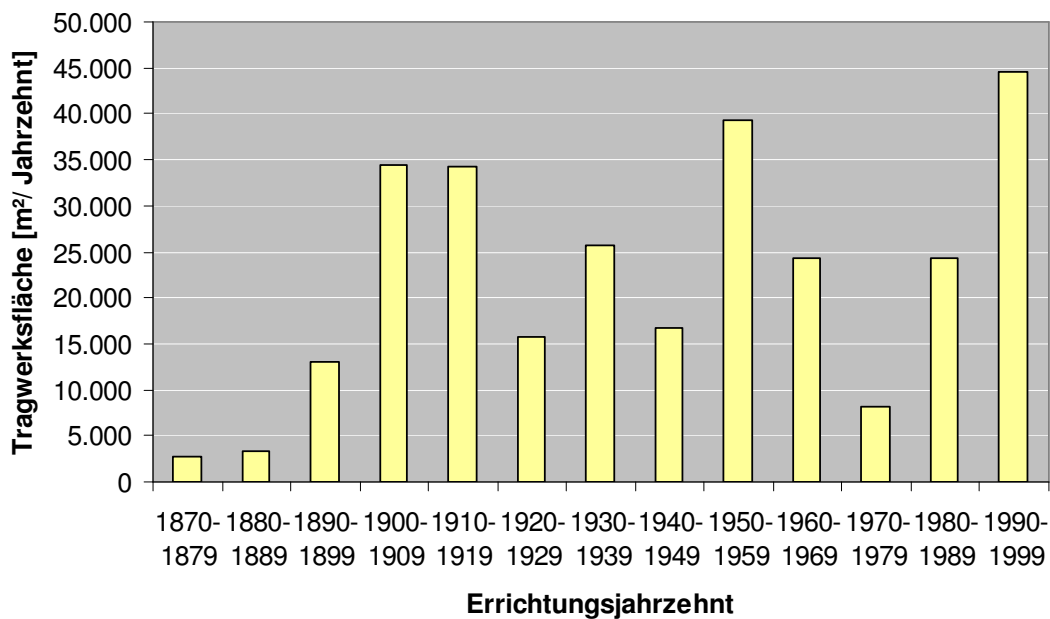


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Errichtung der Stahltragwerksfläche

Seit dem Zeitpunkt des ersten Einsatzes der Stahltragwerke haben sich bis heute am Materialsektor, im Bereich der Verbindungstechnik und der Verarbeitung einige Änderungen ergeben. Diese Entwicklungen werden auf Grundlage der Arbeiten von Ramberger [38], Kronfuß [18], Ramberger/ Schwarz [45], Markworth [25], Stier [26] und der ONR 24008 [27] nachfolgend analysiert.

3.2.1. Historische Entwicklung im Stahlbrückenbau

3.2.1.1. Stahlbrückenbau 1870 – 1895

Bei den Brücken dieser Errichtungsepoche handelte es sich fast ausschließlich um Stahlbrücken aus Schweißstahl, der auch als Schweißisen oder Puddelstahl bezeichnet wird. Schweißstahl wurde aus dem teigigen Zustand nach dem Puddelverfahren gewonnen. Infolge der starken Verunreinigung bei der Herstellung besteht bei diesen Stählen die Gefahr von örtlichen Rissen. Dieser Stahl ist daher auch nicht zum Lichtbogenschmelzschweißen geeignet.

Auffällig im Vergleich zu heutigen Stählen ist der hohe Phosphorgehalt. Dies bedingt eine gewisse Festigkeitssteigerung aber auch eine nicht ausgeprägte Streckgrenze [26].

Wurde in der Untersuchung von Markworth [25] noch empfohlen die Tragwerke insbesondere zufolge der Dauerfestigkeit in absehbarer Zeit auszuwechseln, so wurde im

Artikel von Stier [26] resümiert, dass diese Tragwerke bei Absicherung der Restnutzungsdauer weiter verwendet werden können. Die Absicherung der Nutzungsdauer kann beispielsweise durch verkürzte Inspektionsintervalle oder durch den Einsatz eines Monitoringsystems erfolgen.

3.2.1.2. Stahlbrückenbau 1895 – 1953

Ab 1895 wurde für den Bau von Stahltragwerken hauptsächlich Flusstahl verwendet, der im Gegensatz zum Schweißstahl in flüssigem Zustand gewonnen wird. Durch den im Flusstahl hohen Anteil an Stickstoff ist dem Sprödbruchproblem in Zusammenhang mit der Alterung an den Nieträndern ein besonderes Augenmerk zu schenken [25]. Die Ausführung der Brücken mit offener Fahrbahn war in genieteter Bauweise problemlos möglich. Nach dem Herstellungsverfahren des Flusseisens unterscheidet man Martin-Fluss-Stahl und Thomasflusstahl.

Die erste Verordnung zur Bemessung von Eisenbahnbrücken war die Verordnung des Eisenbahnministeriums vom 28. August 1904. Bei den statischen Berechnungen der Tragwerke wurden im Regelfall folgende Lasten angesetzt:

- Vertikallasten (ständige Lasten und Verkehrslasten)
- horizontale Kräfte (Fliehkräfte und Windlasten)

Die Kräfte zufolge des Seitenstoßes, Anfahrens und Bremsens blieben zumeist unberücksichtigt.

Die erste Eisenbahnbrücke in geschweißter Bauweise wurde in Österreich 1928 über den Weizenbach errichtet. Der große Vorteil dieser Bauweise lag insbesondere in der Gewichtseinsparung. Zuzufolge des Erfahrungsmangels wurde anfangs der für genietete Tragwerke verwendete Stahl auch für die geschweißten Bauteile verwendet. Dies führte zu Schadensfällen und einer beträchtlichen Beunruhigung in der Fachwelt.

Ab ca. 1930 kam der ST 37 zum Einsatz. Durch den stark verminderten Gehalt an Stickstoff ist bei diesen Stählen grundsätzlich die Schweißbarkeit gegeben. In der Dienstvorschrift 804a, Tafel zur Berechnung stählerner Eisenbahnbrücken [46] aus 1934 sind bei den Baustoffen für die Haupt- und Fahrbahnträger die Stahlsorten Flusstahl St 37 und Baustahl St 52 angeführt.

Ab 1934 wurde die Berechnungsgrundlage für stählerne Eisenbahnbrücken der deutschen Reichsbahn Gesellschaft herangezogen. In dieser Vorschrift waren alle Angaben zur Bemessung der Stahlbrücken in einer Vorschrift abgedeckt. In der Dienstvorschrift 848 „Vorläufige Vorschrift für geschweißte, vollwandige Eisenbahnbrücken“ aus 1935 [47] ist betreffend des Werkstoffes folgendes festgehalten: *Der zu geschweißten Eisenbahnbrücken verwendete Werkstoff muss einwandfrei schweißbar sein. Der Gehalt an Phosphor und Schwefel darf nicht größer als je 0,06% und zusammen nicht größer als 0,10% sein. Bei St 37 darf der Kohlenstoffgehalt 0,18% nicht übersteigen.*

Nach einer längeren Ausführungspause, bedingt durch die schlechten Erfahrungen beim ersten Einsatz der geschweißten Eisenbahnbrücken, wurde 1948 über den Stössingbach auf der Strecke Wien – Salzburg wieder eine geschweißte Brücke eingebaut.

3.2.1.3. Stahlbrückenbau ab 1953

In diesem Zeitabschnitt hat sich der Brückenbau gegenüber der vorangegangenen Periode im Hinblick auf Berechnungsmethode, Konstruktionsweise, Fundierung, Baumaterialien und Montagethoden grundlegend geändert. Die entscheidende Neuentwicklung war die Einbindung der Fahrbahn in das Haupttragwerk. Die Fahrbahnplatte trägt ihre Belastung als Flächentragwerk auf die Hauptträger ab, für die sie gleichzeitig der Gurt ist.

Bis in die 60er Jahre waren bedingt durch die hohen Materialkosten und den begrenzten Stahlmengen sehr schlanke (ausgehungerte) Konstruktionen gegeben. Der Nutzen zufolge dieser Veränderungen konnte erst ab dem Beginn der 70er Jahre durch den Bau robusterer Tragwerke gewonnen werden.

3.2.2. Entwicklung der Fahrbahnart

Grundsätzlich unterscheidet man bei der Schienenbefestigung auf der Brücke zwischen Brücken mit offener Fahrbahn und Brücken mit geschlossener Fahrbahn (Schotterbett, feste Fahrbahn oder direkte Schienenbefestigung). Gemäß dem Stand der Technik werden heute bei den ÖBB im Regelfall nur noch Brücken mit Schotterbett errichtet.

3.2.2.1. offene Bauweise

Die Stahlbrücken wurden in etwa bis in die 70er Jahre im Regelfall mit offener Fahrbahn ausgeführt. Insbesondere wirken sich auf Grund dieser Bauweise nachfolgende Punkte negativ aus:

- die Lärmbelastigungen,
- die fahrdynamischen Einschränkungen (Komfort) im Übergangsbereich vom Damm auf die Brücke und
- die Feingliedrigkeit der Konstruktion, die einen erhöhten Instandhaltungsaufwand bedeutet.

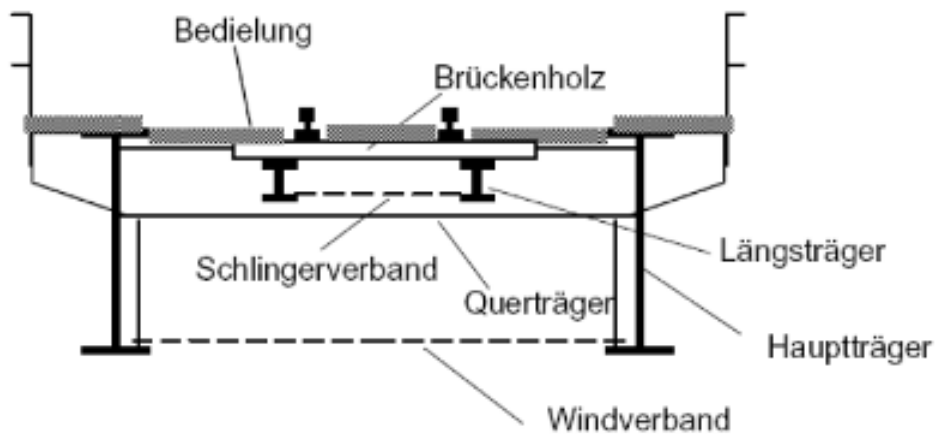


Abbildung 13: Schematische Darstellung einer Fahrbahn in offener Bauweise [52]

In Abbildung 13 ist ein typischer Querschnitt dargestellt, dieser veranschaulicht deutlich die getrennte Wirkungsweise der einzelnen Bauteile. Die Schienen werden auf den Brückenhölzern befestigt, diese liegen auf den Längsträgern auf. Die Längsträger lagern auf den Querträgern, die wiederum ihre Lasten an die Hauptträger abgeben. Die horizontalen Kräfte werden über Verbände abgeleitet.

3.2.2.2. Fahrbahn mit Schotterbett

Die Bauweise der Brücken mit Schotterbett entspricht dem heutigen Stand der Technik. Die im Punkt 3.2.2.1 bei der offenen Bauweise angeführten Nachteile sind bei dieser Bauweise nicht gegeben. Durch diese Bauweise wirken sich aus der Sicht der Nutzungsdauer insbesondere folgende Punkte positiv aus:

- die korrosionsschutzgerechtere Konstruktion zufolge der glatte Oberfläche,
- die lastverteilende Wirkung durch das Schotterbett und
- die robustere Bauweise im Gegensatz zur offenen Bauweise.

3.2.3. Korrosionsschutz

Die Korrosion ist die chemische Veränderung des Stahles ausgehend von der Oberfläche und führt zu einer Volumsvergrößerung von ca. 60% [48]. Der Korrosionsschutz bei Brücken dient dazu, den Stahl vor dem Rosten zu schützen. Die Korrosionsgeschwindigkeit ist stark von den Umwelteinflüssen abhängig und beträgt im Mittel ca. 0,1 mm/Jahr. Der Korrosionsverlust ist in der Regel nicht über die gesamte Oberfläche gleich. Erhöhte Korrosion ist im Bereich von

- Bodenzonen,
- Spalten, durch erhöhte Schadstoffkonzentration und lang anhaltende Feuchtigkeit in den Spalten,
- waagrecht Flächen,
- Unteransichten und
- insbesondere auch in Knotenbereichen gegeben.

Die Instandsetzungszyklen des Korrosionsschutzes hängen von folgenden Faktoren ab:

- Umweltbedingungen (Abgase, Chloreinwirkungen,...)
- Untergrundvorbereitung (Handentrostung, Strahlen,...)
- Korrosionsschutzmittel
- Korrosionsschutzaufbringung

Die Umweltbelastungen durch die Abgase der Industrie bzw. Fahrzeuge und die Salzstreuung in den Wintermonaten beschleunigen die Korrosion.

3.2.3.1. Beschichtungsstoffe für den Korrosionsschutz

Beschichtungsstoffe bestehen grundsätzlich aus 4 Komponenten, dies sind die Bindemittel, die Pigmente und Füllstoffe, die Lösemittel und die Additive [49]. Jede dieser Komponenten hat besondere Aufgaben zu erfüllen.

- Die Bindemittel umhüllen die Pigmente und die Füllstoffe, sorgen für die gute Haftung am Untergrund und bilden den Schutzfilm.
- Pigmente und Füllstoffe geben dem Lack Farbe und Körper und sind im Bindemittel gleichmäßig verteilt.
- Lösemittel machen die Beschichtungsstoffe erst verarbeitbar. Dies sind Wasser oder verschiedene flüchtige organische Flüssigkeiten, die während des Verarbeitens und beim Trocknen verdunsten.

- Additive dienen der Verbesserung der spezifischen Eigenschaften oder den Anwendungsmöglichkeiten eines Beschichtungsstoffes.

3.2.3.2. Aufbau des Korrosionsschutzes

Eine wichtige Voraussetzung für einen guten Korrosionsschutz ist eine ausreichende und lagenweise aufgetragene Schichtdicke. Grundsätzlich besteht der Korrosionsschutz für Eisenbahnbrücken in Österreich aus vier Schichten. Der Korrosionsschutz für Neubauten erfolgt, mit Ausnahme des Kantenschutzes und der letzten Deckschicht, im Werk. Die Aufbringung des Korrosionsschutzes erfolgt in einzelnen Schichten, dabei wird in folgende unterteilt [28]:

- Grundbeschichtung: Diese ist die erste Beschichtung nach der geeigneten Oberflächenvorbereitung und bewirkt im Wesentlichen den Korrosionsschutz.
- Zwischenbeschichtung: Diese dient zur Erzielung der geforderten Schichtdicken.
- Kantenschutzbeschichtung: Diese ist eine zusätzliche Schicht zum Schutz kritischer Stellen wie Kanten, Schrauben, Schweißnähte und Nietköpfe.
- Deckbeschichtungen: Diese ist die letzte Schicht, die die darunterliegenden Schichten vor den Umgebungseinflüssen schützt und das gewünschte Aussehen (Farbgebung) bewirkt.

Ein für alle Schichten universales Korrosionsschutzmaterial gibt es zufolge der unterschiedlichen Anforderungen an die einzelnen Schichten nicht. Die Aufgabe der Grundbeschichtung ist es, wie bereits erwähnt, den Stahl durch Passivierung zu schützen. Passivierend wirken beispielsweise die Pigmente Zinkstaub, Zinkchromat und Bleimennige.

In der Dienstvorschrift für den Rostschutz aus dem Jahre 1931 [50] sind hierzu insbesondere folgende Punkte festgelegt:

- Der Rostschutz besteht in der Regel aus zwei Grund- und zwei Deckanstrichen.
- Für den Grundanstrich darf nur ein Bleimennigeanstrich verwendet werden.
- Im Regelfall ist der erste Deckanstrich in der Werkstatt und der zweite auf der Baustelle aufzubringen.
- Die beiden Berührungsflächen von zusammen zu nietenden Eisenteilen erhalten in der Regel einen einmaligen Grundanstrich.

- In Anlage 3 „Bleivergiftung“ dieser Dienstvorschrift sind Angaben zur Entstehung, Anzeichen und Verhütung einer Bleivergiftung gegeben.

Wurde früher zum überwiegenden Teil Bleimennige verwendet, so kommt heute hauptsächlich Zinkstaub zum Einsatz. Bleimennige hat die positive Eigenschaft, den Rost chemisch zu inaktivieren [51], dadurch wird der Rost relativ ungefährlich, andererseits ist Bleimennige toxisch, wie in der Dienstvorschrift aus 1931 [50] bereits festgehalten wurde.

Ebenfalls von großer Bedeutung ist die Untergrundvorbereitung. Diese wurde auch in der Dienstvorschrift für den Rostschutz [50] intensiv beschrieben. Damals vertrat man noch die Meinung, dass metallisch blanke Entrostung bei Stahlbauten nur in ganz seltenen Fällen durchzuführen ist.

Heute weiß man, dass wenn der Rost nicht zur Gänze entfernt wird, es zu einer Unterrostung und in weiterer Folge zu einer Beschädigung des Korrosionsschutzes durch die Volumsvergrößerung des Rostes kommt. Für die mechanische Oberflächenvorbereitung bestehen folgende Möglichkeiten [28]:

- Handentrostung
- Entrostung mit maschinell angetriebenen Werkzeug (z.B. rotierende Stahlbürsten)
- Strahlen (trocken, nass, sweepen usw.)
- Hochdruckwasserstrahlen
- Flammstrahlen

Der Beginn der neuerlichen Rostung ist durch das Strahlen um den Faktor zwei größer als bei einer Handentrostung [48]. Daher kann auch festgehalten werden, dass der erste unter Werkstättenbedingungen aufgebrauchte Korrosionsschutz, die längste Nutzungsdauer aufweist.

3.2.4. Qualitätsüberwachung

In den ÖBB internen Unterlagen finden sich bereits in der Dienstvorschrift 806 [53] aus dem Jahre 1937 sehr detaillierte Angaben zur Schweißnahtprüfung.

Die Qualitätsüberwachung im Stahlbau wird heute sehr ausführlich betrieben, diese umfasst:

- Die Schweißaufsichten vor Ort,

- die Schwarzabnahme des Stahlbaues inklusive Qualitätsdokumentation in nachvollziehbarer Form und
- die Korrosionsschutzabnahmen.

3.3. Historische Entwicklung der Eisenbahntragwerke aus Stahlbeton

Die Stahlbetontragwerke entwickelten sich aus den immer flacheren und weiter gespannten Gewölben heraus, die ersten Tragwerke hatten nur sehr geringe Stützweiten. Die ältesten bei den ÖBB noch im Einsatz befindlichen Tragwerke aus Stahlbeton stammen aus der Jahrhundertwende. Die rasante Zunahme der Tragwerksflächen der Stahlbetonbrücken ist in Abbildung 14 dargestellt. War die Tragwerksfläche der Brücken aus Stahlbeton Anfangs sehr gering, so kam es ab den 50er Jahren zu einem deutlichen Anstieg von beginnend ca. 20.000 m²/Jahrzehnt, auf bis zu ca. 140.000 m²/Jahrzehnt ab den 80er Jahren.

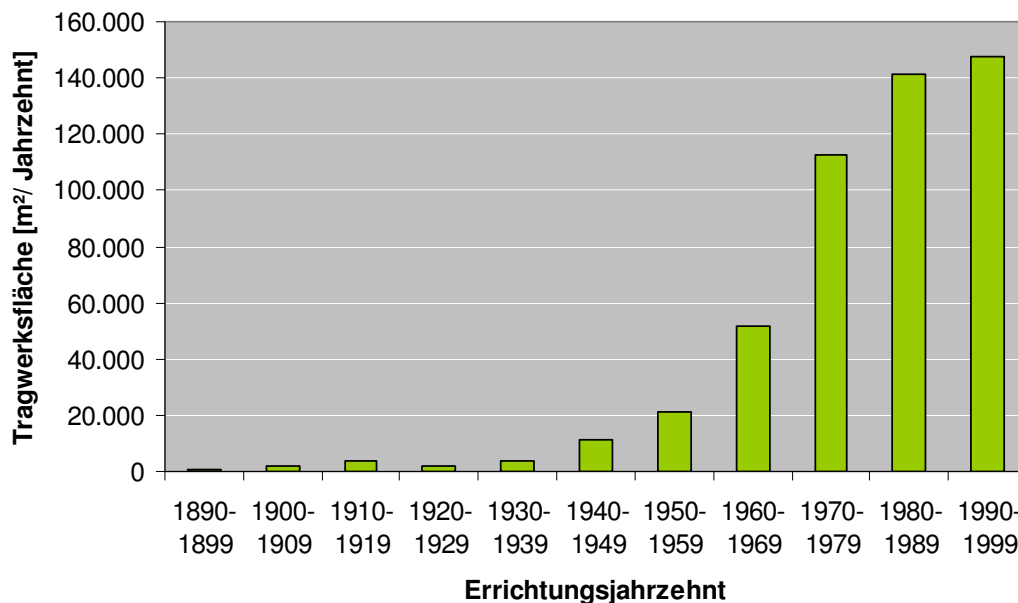


Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf des Einsatzes der Stahlbetontragwerke

Die historische Entwicklung im Stahlbetonbau wird auf Grundlage der Arbeiten von Kolar [23], der ONR 24008 [27], vom Betonverein [29] und dem Skriptum Betonbau I [54] nachfolgend analysiert.

3.3.1. Historische Entwicklung des Betons bzw. Stahlbetons

Zu Beginn des Einsatzes von Beton wurde dieser sehr einfach vor Ort auf Holz- oder Eisenplatten durch das Mischen von Zuschlagstoffen, Zement und Wasser erzeugt. Die Wasserzugabe erfolgte nach persönlicher Einschätzung bzw. Erfahrung, die Gesteinskörnungen wurden zufolge des regionalen Angebotes eingesetzt. Ausgehend von diesem „einfachen Baustoff“ entwickelte sich dieser im 20. Jahrhundert weiter bis hin zum „High-Tech“ Produkt beispielsweise in Form des UHPC-Betons.

Zu Beginn des Einsatzes von Stahlbeton wurden die zu verwendenden Materialien, deren Zusammensetzung und die Verarbeitung auf den Plänen jedes Objektes bzw. auf den Regelplänen vermerkt. Anhand einiger ausgewählter Objekte, wird die anfängliche Entwicklung des Stahlbetonbaus im Bereich der Eisenbahnbrücken bei den ÖBB dargelegt.

- Auszug aus dem Plan von 1902 [54]:

Zur Herstellung des Stampfbetons ist Portlandzement, reiner rescher Flussschotter oder Grubensand und erdfreier Schotter in der Maximalgröße von 4 cm zu verwenden. Das Mischungsverhältnis für den Stampfbeton ist 280 kg Portlandzement zu 1 m³ Sand und Schotter.

- Auszug aus dem Plan von 1927 [56]

Beton aus frühhochfestem Portlandzement mit einer Mindestdruckfestigkeit von 250 kg/cm² nach 7-tägiger Erhärtung.

- Auszug aus dem Regelplan von 1932 [57]

Offensichtlich gab es bereits sehr früh eine Strategie, wo welche Tragwerke bei welchen Verhältnissen eingebaut werden sollten. Im Regelplan hierzu ist folgendes festgehalten:

Brückentragwerke auf Vollspurbahnstrecken sind - wenn Gewölbebrücken nicht in Betracht kommen – bei einer Stützweite von 4 – 12 m tunlichst als Eisenbetonplatten nach Regelplan auszuführen. Trägerbeton- oder Stahltragwerke sind nur bei unzureichender Bauhöhe oder sonstigen ungünstigen örtlichen Verhältnissen vorzusehen. Bei zweigleisigen Brücken ist möglichst eine durchlaufende Platte ohne Trennfuge zwischen den beiden Gleisen auszuführen. Drei- oder mehrgleisige Platten sind unzulässig.

Die Lagerung der Betonplatten erfolgte gemäß diesem Regelplan in Abhängigkeit der Stützweite auf Flächenlager unter Verwendung von Asbesteinlagen oder als Linienlager auf Altschienen. Bei den Stahlbetontragwerken dieser Bauweise waren bereits „wasserdichte Abdeckungen“ geplant.

Der Beton ist im weichen Zustand zu verarbeiten. Um glatte von Nestern freie Sichtflächen zu erzielen, ist auf die Schalung zunächst eine etwa 2 cm starke Zementmörtelschicht im Mischungsverhältnis 1:3 aufzubringen, aus demselben Grund ist die Betonmasse während des Betonierens an die lotrechte Schalungsfläche anzuwerfen.

Die Würfelfestigkeit hat nach 28tägiger Erhärtung zu betragen:

Beim erdfeuchten Beton mit Normalstampfung $We_{28} \geq 350 \text{ kg/cm}^2$ beim weichen Beton (dem Bauwerksbeton entnommen) $Wb_{28} \geq 210 \text{ kg/cm}^2$. Auf die nach 28 Tagen zu erwartenden Festigkeit kann durch eine Vorprobe nach 7 Tage geschlossen werden, hierbei muss mindestens die 0,7-fache Würfelfestigkeit erreicht werden. Die Durchführung dieser Probe entbehrt nicht von der Verpflichtung auf Vornahme der Erprobung nach 28 Tagen. Für jede Versuchsprobe sind mindestens 3 Probewürfel in unmittelbarer Aufeinanderfolge herzustellen und zu erproben.

Zu Beginn des Einsatzes von Stahlbeton waren die wichtigsten Punkte für die Errichtung von Eisenbahntragwerken auf jedem Objekts- bzw. Regelplan festgehalten. Mit zunehmendem Einsatz und Erfahrung mit diesem Baustoff erfolgten die Vorgaben in Normen und Vorschriften, die teilweise durch ÖBB interne Behelfe und Vorschriften ergänzt wurden. In diesem Zusammenhang sind folgende Vorschriften zu nennen:

- Mit der ÖNORM B 2302 im Jahre 1927 erfolgt die Einführung der Konsistenzklassen.
- In der Anweisung für Mörtel und Beton aus 1940 waren folgende die Betoneigenschaft beeinflussenden Größen angeführt [58]:
 - *Art des Bindemittels*
 - *Gesteinsart der Zuschlagstoffe*
 - *Körnung und Kornform der Zuschlagstoffe*
 - *Mischungsverhältnis seiner Bestandteile (Zement, Zuschlagstoffe und Wasser)*

- Die DIN 1045 aus dem Jahre 1943 regelt erstmals die Betonklassenbezeichnung (beispielsweise B 300), wie sie noch lange in Verwendung blieb.
- Im Lernbehelf der ÖBB aus 1950 waren folgende die Betoneigenschaft beeinflussende Größen angeführt [59]:
 - *Die Normfestigkeit des Zementes*
 - *Das Gesamtmischungsverhältnis (Zement, Zuschlag und Wasser):
Mit zunehmendem Wasserzementfaktor W/Z nehmen Betonfestigkeit, Dichtigkeit und Betonraumgewicht ab.*
 - *Die Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe:
Diese ist durch die Sieblinie verdeutlicht und beeinflusst den Zementbedarf.*
 - *Die Kornform der Zuschlagstoffe (rund vorteilhafter als kantig)*
 - *Die Eigenfestigkeit der Zuschlagstoffe*
 - *Die Art des Stampfens oder Verdichtens der Betonmasse in der Schalung (Stampfen, Durchstochern, Rütteln, Gießen oder Schütten)*
 - *Die Güte des Durchmischens*
 - *Der Wärmestand (Temperatur)*
 - *Die Gründlichkeit und Dauer der feuchten Nachbehandlung*
 - *Das Erhärtungsalter des Betons*

Die Druckfestigkeit wurde mit Probewürfel mit 20 cm Seitenlänge überprüft. Dabei sind für jedes Mischungsverhältnis ein Probewürfel herzustellen und jeweils ein weiterer je 100 m³ bewehrtem bzw. je 200 m³ unbewehrtem Beton. Das richtige Einbringen von Pumpbeton und Schüttbodyeton ist in diesem Lernbehelf ebenfalls beschrieben.

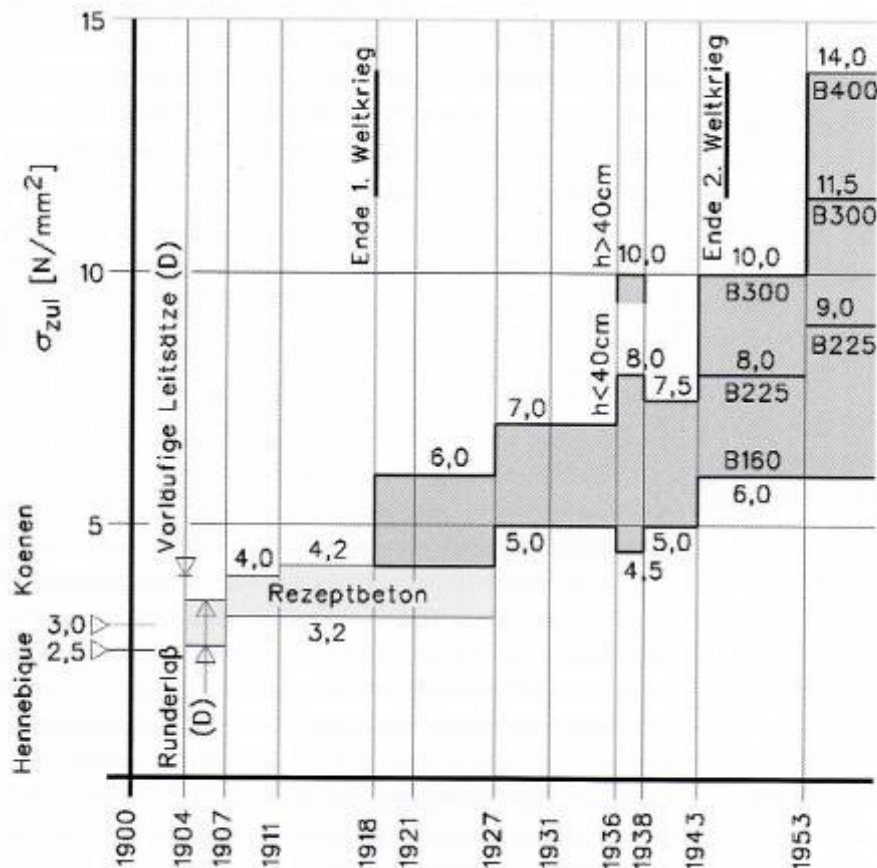


Abbildung 15: Entwicklung der zulässigen Biegedruckspannungen in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts [29]

In Abbildung 15 ist die historische Entwicklung der zulässigen Biegedruckspannungen des Betons in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts dargestellt. Maßgebende Sprünge bei den zulässigen Spannungen gab es in den Jahren 1943 und 1953. Ab 1950 wurde der Stahlbeton in der Normenreihe ÖNORM B 4200 geregelt. Die 1995 eingeführte ÖNORM B 4700 bildete den Übergang zu den heute gültigen Eurocodes.

3.3.1.1. Zement

Bei den ersten, zu Beginn des 20. Jahrhunderts errichteten Eisenbahnbrücken der ÖBB wurde Portlandzement als Bindemittel verwendet. Dieser entsteht durch die künstliche Mischung aus Ton und Kalkstein, die anschließend bis zu Sinterung gebrannt wurde. Etwa zur selben Zeit wurde auch bereits die Verwendung von Hochofenschlacke für die Zementerzeugung erkannt. Die Hochofenschlacke bewirkt eine geringere Hydratationswärme – dies ist insbesondere bei massigen Bauteilen von Bedeutung - und

ist beständiger gegen chemische Angriffe. Je nach Anteil an Hochofenschlacke unterscheidet man Portland-, Eisenportland- und Hochofenzement.

Den Zement betreffend wurde in den ausgewählten Plänen bzw. Regelplänen folgendes vermerkt:

- Auszug aus dem Regelplan von 1930 [60]:
Der Zement muss der geltenden Norm für Portlandzement (ÖNORM B 3311) entsprechen. Für den Beton des Tragwerkes und der Randsteine ist eine Mischung im Verhältnis von 280 kg Portlandzement, für den Beton der Auflagerschichten von 400 kg Portlandzement auf 1 Raummeter trockenen Gemenges von Sand und Schotter zu verwenden.
- Auszug aus dem Regelplan von 1932 [57]:
Es ist langsam bindender Portlandzement zu verwenden; frühhochfester Portlandzement ist nur bei knapp bemessener Bauzeit vorzusehen. Das Betongemenge für die Platten, Randsteine und Auflagerschichten muss zumindest 300 kg Portlandzement auf 1 m³ losen Gemenges von Sand (0 - 8 mm Körnung) und Zuschlagstoffe (8 - 70 mm Körnung) enthalten.
- Auszug aus der Anweisung für Mörtel und Beton aus 1940 [58]:
 - *Der Zement verleiht dem Beton die Festigkeit. Die Menge Zement ist aus wirtschaftlichen Gründen möglichst zu beschränken, indem man eine zweckmäßige Verarbeitungsweise wählt und in ihrer Korngröße zweckmäßig abgestufte Zuschlagstoffe verwendet.*
 - *Zement vermindert die Durchlässigkeit des Betons. Beton, dessen Dichtigkeit besondere Anforderungen erfüllen muss – beispielsweise zum Rostschutz der Bewehrungsstäbe – muss deshalb entsprechend höhere Zementmengen enthalten. Es ist jedoch vor zu fetten (zementreichen) Mischungen zu warnen, weil mit dem Zementgehalt auch das Schwindmaß wächst.*
- Lernbehelf der ÖBB aus 1950 [59]
Für Eisenbahnbrücken war eine Mindestzementmenge von 300 kg Zement/m³ Beton vorgeschrieben. Zur Vermeidung von Schwindrissen war die Höchstmenge an Zement mit 350 bis 400 kg/m³ Beton festgelegt.

3.3.1.2. Gesteinskörnungen

Bei der anfänglichen Betonherstellung wurde vorwiegend der örtlich vorhandene Zuschlagstoff - zumeist Kies - verwendet. Man erkannte jedoch rasch, dass zur Qualitätssteigerung der Betone ein dichtes Gefüge notwendig ist. Demzufolge wurde bereits in einer österreichischen Vorschrift aus dem Jahre 1907 festgehalten, dass das Steinmaterial von ungleicher Körnung sein muss.

In den 20er Jahren wurde festgestellt, dass es beim Zuschlagstoff vor allem auf die Kornzusammensetzung ankommt. In den 30er Jahren wurde die Kornzusammensetzung in den Richtlinien vorgeschrieben. In den ausgewählten Plänen bzw. Regelplänen wurde betreffend der Zuschlagstoffe folgendes festgehalten:

- Auszug aus dem Regelplan von 1930 [60]:
Als Zuschlagstoff sind möglichst gemischtkörnige, natürliche oder künstliche Gemenge von Sand und Grobstoffe zu verwenden, die durch ein 30 mm Rundlochsieb hindurchgehen und auf einem 7 mm Rundlochsieb 50 - 60% Rückstand hinterlassen. Die Zuschlagstoffe dürfen keine schädlichen Beimengungen wie Erde, Lehm, Kohle, Schwefelkies, Gips, Salze oder dergleichen aufweisen.
- Auszug aus dem Regelplan von 1932 [57]:
Sand (0 - 8 mm Körnung) und Zuschlagstoffe (8 - 70 mm Körnung) sollen möglichst gemischtkörnig sein. Sie dürfen keine schädlichen Beimengungen wie Erde, Lehm, Kohle, Schwefelkies, Gips, Salze o. dgl. aufweisen, auch soll das Gemenge von Sand und Zuschlagstoffe möglichst dicht sein. Die größten Stücke müssen sich zwischen den Stahleinlagen einbringen lassen, ohne diese zu verschieben.
- Auszug aus der Anweisung für Mörtel und Beton aus 1940 [58]:
Die Sieblinien geben an, wie viel % des Gewichtes der gesiebten Menge durch das zugeordnete Sieb hindurch fallen.
- Auszug aus dem Lehrbehelf der Österreichischen Bundesbahnen aus 1950 [59]
Für Bauteile mit besonders hohen Güteanforderungen wie beispielsweise Eisenbahnbrücken erfolgte die Trennung der Korngrößen in die Gruppen 0 - 7 mm, 7 - 30 mm und 30 - 70 mm. Weiters wurde festgeschrieben, dass je

feingliedriger die Bauteile sind und je dichter die Eiseneinlagen liegen, desto sandreicher das Gemisch zu wählen ist. Ebenso wird in diesem Behelf auf schädliche Zuschlagstoffe eingegangen.

3.3.1.3. Wasser

Zu Beginn des Betoneinsatzes wurde die Wassermenge nach Gutdünken festgelegt. Es wurde jedoch sehr rasch erkannt, dass die Wassermenge Einfluss auf die Festigkeit hat. Dies wurde durch die Einführung der Konsistenzklassen mit der ÖNORM B 2302 im Jahre 1927 festgelegt. Dabei unterscheidet man folgende Klassen:

- Erdfeuchter Beton: enthält soviel Wasser, dass gegen Ende des Stampfens seine Oberfläche deutlich feucht wird.
- Weicher Beton: eignet sich besonders für Eisenbeton und enthält soviel Wasser, dass die Masse teigig wird.
- Flüssiger Beton darf nur mit ausgesuchter Zusammensetzung der Zuschläge und besonders guten Einrichtungen für das Mischen und Einbringen verwendet werden. Er enthält soviel Wasser, dass er breiig fließt.

Betreffend des zu verwendenden Anmachwassers wurde im Regelplan der Tragwerke für Bahnbrücken mit einbetonierten Walzträgern aus 1930 [60] festgehalten, dass nur reines Wasser zu verwenden ist.

Im Regelplan der Tragwerke aus Eisenbeton für Bahnbrücken aus 1932 [57] wurde betreffend der schadhaften Inhaltsstoffe des Wassers festgehalten:

Das Wasser darf keine die Güte des Betons wie immer beeinträchtigenden Bestandteile wie Humusstoffe, Torffasern, Kohlenteilchen u. dgl. enthalten, ebenso ist die Verwendung von fett-, säure- oder schwefelhaltigem Wasser unzulässig.

In der Anweisung für Mörtel und Beton aus 1940 [58] ist auszugsweise enthalten:

Das zum Abbinden des Zements erforderliche Wasser reicht in der Regel nicht aus, um den Beton so beweglich zu machen, dass er sich einwandfrei verarbeiten lässt. Weiter ist angeführt, dass je mehr Wasser (Wasserzusatz + Eigenfeuchtigkeit der Zuschlagstoffe) ein Betongemenge enthält, desto mehr verschlechtern sich fast alle wertvollen Eigenschaften des abgebundenen Betons. Der W/Z- Wert war bereits bekannt. Der Wasserzusatz wird durch Ermittlung des Steifenmaßes überwacht, bei Eisenbeton dient hierzu der Ausbreitversuch.

Im Lehrbehelf der Österreichischen Bundesbahnen aus 1950 [59] wurden betreffend der Wassermenge festgehalten: *Der Wasserzusatz soll 6 – 8% der Gewichtsmenge betragen. Beton sollte nur erdfeucht sein, durch zu viel Wasser leidet die Druckfestigkeit.* Heute wird der Wassergehalt durch den W/B-Wert ausgedrückt.

3.3.1.4. Betoneinbau und Nachbehandlung

Zu Beginn des Stahlbetoneinsatzes wurde die lagenweise Einbringung des Betons in die Schalung vorgegeben. Die Rütteltechnik wurde ca. in den 30er Jahren eingeführt.

- Auszugsweise waren in der Anweisung für Mörtel und Beton aus 1940 [58] bezüglich Betoneinbau und Nachbehandlung bereits folgende die Betoneigenschaft beeinflussenden Größen bekannt
 - *Der Beton darf sich beim Einbringen nicht entmischen.*
 - *Der eingebrachte Beton ist während der ersten Zeit des Erhärtens gegen schädliche Einflüsse infolge Hitze (Sonneneinstrahlung), Wind (Austrocknung) Kälte, strömenden Wasser, chemische Angriffe und Erschütterungen zu schützen.*
 - *Zur Verringerung des Schwindmaßes ist der Beton je nach Witterung 8 bis 14 Tage lang dauernd feucht zu halten.*
- Im Lehrbehelf der Österreichischen Bundesbahnen aus 1950 [59] wurde betreffend des Einbaus und der Verdichtung des Betons auszugsweise folgendes festgehalten:

Der Beton ist in Lagen einzubringen bis höchstens 0,5 m, gut zu stampfen mit eisernen Stampfern oder Vibrationsmaschinen bis Feuchtigkeit an die Oberfläche tritt (bei erdfeuchten Beton). Wenn größere Tiefen sind, sind Rinnen oder Kübel zu verwenden.

Die Verdichtung wurde anhand des Einstampffaktors überprüft. Dieser Faktor ist definiert durch die lose geschüttete Litermenge an Beton je m³ fertigem Beton dividiert durch 1.000. Durchschnittswerte hierfür sind:

- *Erdfeuchter Beton* 1,50
- *Weicher Beton* 1,45
- *Flüssiger Beton* 1,40

Bei Betonierarbeiten sämtlicher Stahlbetonteile ist heute das Rütteln mittels Flaschen- oder Schalungsrüttler Stand der Technik. Eine Ausnahme stellt der SCC (self compacting concrete) dar, welcher – wie der Name bereits verrät – sich „selbst verdichtet“.

3.3.2. Historische Entwicklung des Bewehrungsstahls

Vom Beginn des Eisenbahnbrückenbaus aus Stahlbeton bis in die späten zwanziger Jahre wurde Flusseisen, zumeist in Form von glatten Rundstählen, verwendet. Der Einsatz von Stahl wurde mit der Einführung der ÖNORM B 2302 im Jahre 1927 vorgegeben. In Hinblick auf die Ermüdung sind diese Stähle sehr gutmütig. In den Unterlagen der ÖBB ist betreffend der Bewehrungsstähle folgendes festgehalten:

- Im Bestandsplan aus 1927 [54] war als Bewehrung noch Flusseisen angeführt.
- Im Regelplan der Tragwerke aus Eisenbeton für Bahnbrücken aus 1932 [57] war basischer Flusstahl, der die für die Tragwerke der Eisenbahnbrücke aus Flusstahl vorgeschriebenen Eigenschaften haben muss, angegeben.

Mit zunehmender Zugfestigkeit der Bewehrungsstähle wurde die Verbundwirkung zwischen Bewehrungsstahl und Beton immer bedeutender. Es begann die Entwicklung weg von den glatten Rundstählen, hin zu den Stählen mit einer Oberflächenform. Durch die Kaltverformung war es möglich sowohl die Zugfestigkeit zu erhöhen, als auch eine Oberflächengestaltung zu erzielen.

Der kaltverformte Stahl aus dem Grundwerkstoff St37 kam im Brückenbau ca. ab dem Jahre 1938 zum Einsatz. Die ersten „Versuche“ wurden mit dem Isteg Stahl durchgeführt, der richtige Durchbruch gelang jedoch mit dem Torstahl. Dieser deckte nach dem 2. Weltkrieg fast 100% des Bewehrungsstahlbedarfes ab.

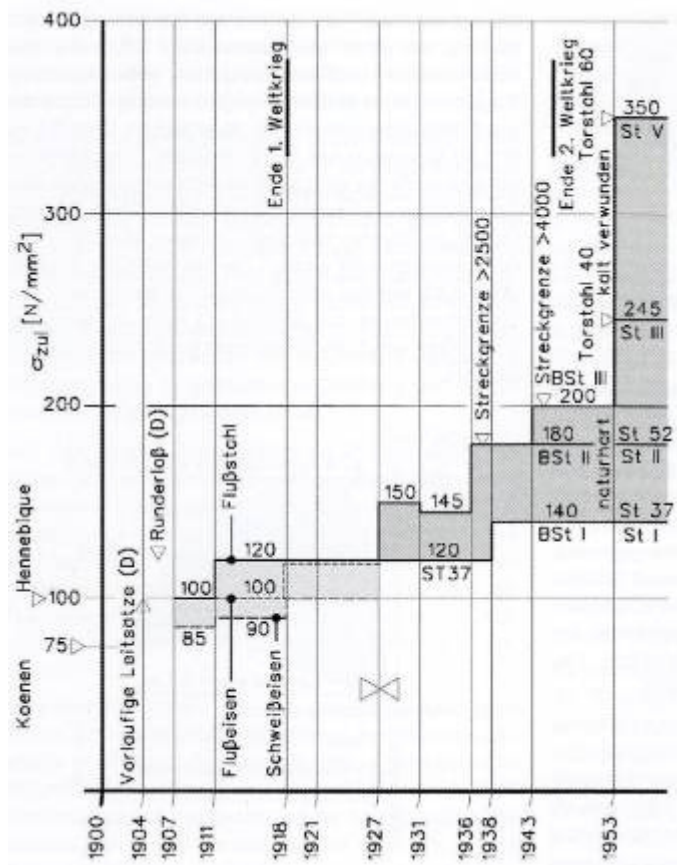


Abbildung 16: Zulässige Stahlspannungen nach österreichischen Vorschriften [29]

Die Entwicklung der zulässigen Zugspannungen der Bewehrungsstähle gemäß den damals gültigen Vorschriften ist in Abbildung 16 dargestellt. In dieser ist der Sprung der zulässigen Spannungen zufolge des kalt verwundenen Torstahls sehr gut ersichtlich. Der Torstahl wirkt sich analog zum Rundstahl nicht negativ auf das Ermüdungsverhalten aus. Im Gegensatz dazu bedingt die von den Rippen ausgehende Kerbwirkung bei den Rippentorstählen eine Reduktion der Ermüdungsfestigkeit.

Ab den 70er Jahren verloren die kaltverformten Stähle zufolge ihrer teureren Produktion gegenüber den naturharten Stählen an Bedeutung und die Rippentorstahlproduktion wurde letztendlich 1987 eingestellt. Im Brückenbau werden heute hochduktilen Bewehrungsstähle beispielsweise B550B gemäß ÖNORM B 4707 [31] eingesetzt.

3.3.3. Passivierende Wirkung des Betons

Die passivierende Wirkung des Bewehrungsstahles im Beton ist durch die Alkalität des Betons gegeben. Um diese Alkalität sicherzustellen, sind ein ausreichender Zementgehalt im Beton und eine ausreichende Schutzschichtdicke erforderlich. Dieser Tatsache wurde

bereits 1907 mit der Vorschreibung eines Mindestzementgehaltes von 280 kg/m^3 [23] und 1911 mit der Vorgabe einer Mindestbetondeckung von 20 mm für Tragwerke [23], Rechnung getragen. Weiters sind auch eine gute Verdichtung des Betons und eine Beschränkung der Rissbreiten in diesem Zusammenhang zu nennen.

3.3.3.1. Betondeckung

Aus der Sicht der Nutzungsdauer ist die maßgebende Aufgabe der Betondeckung die passivierende Wirkung des Bewehrungsstahles. Diese kann durch Umwelteinflüsse chemischer Natur – beispielsweise Karbonatisierung und Chlorideindringung – und mechanischer Natur – beispielsweise Abplatzungen zufolge Anfahrtschäden oder Bränden – beeinflusst werden. Die Bedeutung einer ausreichenden Betondeckung wurde bereits sehr früh erkannt. Im Erlass des k.k. Ministeriums für öffentliche Arbeit von 1911 wurde für Tragwerke eine Betondeckung von 20 mm vorgegeben.

Im Regelplan Tragwerke aus Eisenbeton für Bahnbrücken aus 1932 [57] ist die Betondeckung von der Querschnittsmitte des Rundeisens gemessen und somit vom Stahldurchmesser abhängig. Dieses Maß beträgt bei 20 mm Stabdurchmesser 30 mm und geht bis 40 mm bei einem Stabdurchmesser von 50 mm. Rechnet man diese Werte auf die Betondeckung heutiger Definition um, so ergibt dies zwischen 15 und 22 mm. Die Gewährleistung der Betondeckung sollte durch die Vorschreibung einer Mindestmenge an Abstandhalter – damals zumindest ein Betonklötzchen mit $4 \times 4 \text{ cm}^2$ pro m^2 Grundrissfläche – sichergestellt werden.

In der ÖNORM B 2302 wurden, wie auch im Erlass von 1911, unterschiedliche Betondeckungen für die Platte und das Tragwerk angegeben. Wie Abbildung 17 zu entnehmen ist, wurde in dieser Norm zwischen Werten für innen liegende Bauteile und Bauteile im Freien unterschieden. Diese Norm führte im Bereich des Brückenbaus zu keiner Änderung. In dieser Norm und in dem zuvor beschriebenen Erlass wurde nicht zwischen dem Plan- und dem Baumaß unterschieden.

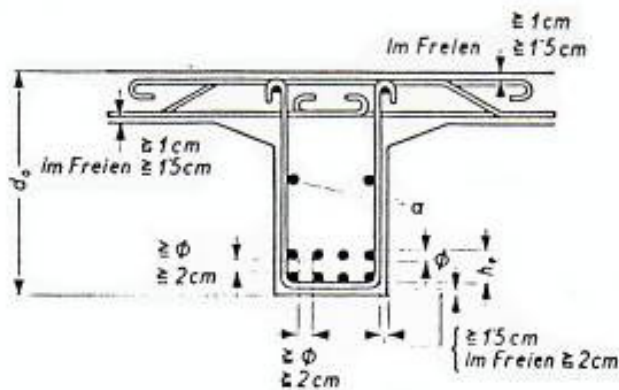


Abbildung 17: Betondeckung nach ÖNORM B 2302 aus 1936 [23]

Mit der ÖNORM B 4200 Teil 10 aus 1953 wurden das Plan- und das Baumaß eingeführt. Die in der Norm festgelegten Werte entsprechen dem Planmaß, die Ausführung dem Baumaß. Das Baumaß darf bei Eisenbahnbrücken um 5 mm geringer sein, als das Planmaß. Gemäß ÖNORM B 4200 Teil 10 beträgt das Planmaß 25 mm und somit das Baumaß 20 mm.

In der ÖNORM B 4700 wurde ebenfalls zwischen Planmindestmaß und Baumindestmaß unterschieden. In dieser Norm wurde der Platzdurchmesser neu eingeführt. Der Platzdurchmesser ist der um 20% vergrößerte Nenndurchmesser des Stabes. Das Planmindestmaß der Betondeckung für Eisenbahnbrücken ist mit 35 mm festgelegt.

Mit der ÖNORM B 1992-1-1 wurde die Betondeckung in Abhängigkeit der Expositionsklassen eingeführt. Diesen Betondeckungen wurde eine Nutzungsdauer von 50 Jahren zugrunde gelegt, für eine planmäßige Nutzungsdauer von 100 Jahren müssen die Tabellenwerte um 5 mm erhöht werden.

Vorschrift	Platte	Tragwerk
Erlass des k.k. Ministeriums für öffentliche Arbeit 1911	10 mm	20 mm bzw. Stabdurchmesser
ÖNORM B 2302 1936	15 mm (im Freien)	20 mm bzw. Stabdurchmesser (im Freien)
ÖNORM B 4200 / 10 1953	Gesamte Brücke 25 mm	
ÖNORM B 4700 1995	Gesamte Brücke 35 mm	
ÖNORM B 1992-1-1 2007	Gesamte Brücke 35 mm im Regelfall	

Tabelle 7: Historischer Verlauf der genormten Mindestbetondeckung

In der Tabelle 7 sind die Planmaße der Betondeckungen der einzelnen Vorschriften zusammengefasst.

3.3.3.2. Mindestzementgehalt

Wie bereits festgehalten, wurde bereits 1907 die Notwendigkeit des ausreichenden Zementgehaltes zur Sicherstellung der Passivierung der Bewehrung erkannt.

Vorschrift	Mindestzementgehalt kg/m ³
Eisenbahnbrücke aus Stahlbeton aus 1902 [54]	280 kg/m ³
Regelplan der Tragwerke für Bahnbrücken mit einbetonierten Walzträgern aus 1930 [60]:	280 kg/m ³
Regelplan der Tragwerke aus Eisenbeton für Bahnbrücken aus 1932 [57]	300 kg/m ³
Anweisung für Mörtel und Beton aus 1940 [58]	300 kg/m ³
Lernbehelf der ÖBB aus 1950 [59]	300 kg/m ³

Tabelle 8: Entwicklung der Mindestzementmenge für Eisenbahnbrücken

In Tabelle 8 ist die historische Entwicklung der Mindestmenge an Zement gemäß den Vorschriften bzw. ÖBB-internen Unterlagen dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass sich die Mindestmenge an Zement nur sehr gering geändert hat.

3.3.4. Qualitätsüberwachung

Für die richtige und qualitativ hochwertige Ausführung der geplanten Brücken ist eine Qualitätsüberwachung von besonderer Bedeutung. Eine Qualitätsüberwachung im Betonbau gab es bereits sehr früh. So war im Hinblick auf die erreichte Betonfestigkeit bereits in den beiden ersten deutschen Vorschriften aus dem Jahre 1904 die Würfelprobe (Kantenlänge 20 cm oder 30 cm) nach einer 28-tägigen Erhärtung als Nachweis vorgeschrieben.

In der Anweisung für Mörtel und Beton aus 1940 [58] waren folgende Überprüfungen der Betoneigenschaften festgelegt:

- Eignungsprüfung: Ermittlung, wie der Beton zusammengesetzt sein muss, um den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen im Einzelfall zu genügen.
- Güteprüfung: Diese soll den Nachweis erbringen, dass der auf der Baustelle hergestellte Beton, nach einer bestimmten Zeit unter bestimmten Lagerungsbedingungen, die geforderten Eigenschaften erlangt.

- Erhärtungsprüfung: Diese soll Aufschluss über die Festigkeit des Betons im Bauwerk zu dem Zeitpunkt geben, an dem der Beton einer gewissen Beanspruchung unterworfen werden soll (z.B. beim Ausrüsten).

Im Hinblick auf die Bauüberwachung wurde damals bereits auszugsweise festgelegt:

- *Im Beton- und Eisenbetonbau ist die Güte der Baustoffe und der Bauausführung durch Prüfungen zu überwachen, die auf der Baustelle, in der Baustoffprüfstelle oder in einer chemischen Prüfanstalt durchzuführen sind.*
- *Jede Zementlieferung muss vor der Verwendung geprüft werden.*
- *Während der Bauausführung sind auf der Baustelle die einzelnen Lieferungen tunlichst vor dem Abladen nachzuprüfen, d.h. die Reinheit nach Augenschein zu beurteilen und die Körnung durch den Siebversuch zu ermitteln.*
- *Für den Stahl muss der Kaltbiegeversuch (Kaltbiegeversuch) auf der Baustelle durchgeführt werden.*
- *Die Wasserzugabe wird über den Ausbreitversuch überprüft.*

Dies stellte einen für die damalige Zeit hohen Qualitätsanspruch dar. Die Qualitätsüberwachung ist heute durch die örtliche Bauüberwachung seitens der Bauherren, durch die Zertifizierungen und Eigenüberwachung der ausführenden Firmen und durch die Qualitätskennzeichnungen von Produkten gegeben.

3.3.5. Untersuchung und Analyse ausgewählter Stahlbetontragwerke der ÖBB

Im Zuge der Diplomarbeit von Kolar an der TU-Wien [23] wurden einzelne, in verschiedenen Epochen errichtete Stahlbetontragwerke untersucht, die in Tabelle 9 dargestellt sind. Dabei wurde – soweit ausreichende Objekte hierfür zur Verfügung standen – jeweils ein Tragwerk einer maßgeblichen Errichtungsepoche mit einer besseren Zustandsbewertung und ein Tragwerk mit einer nicht so guten Zustandsbewertung ausgewählt.

Objekt	Baujahr	Art	Stützweite [m]	Zustandsklasse
1672, km 20,819	1909	Feldwegunterführung	3,46	3*
2053, km 25,753	1927	Straßendurchfahrt	10,29	2
2057, km 114,691	1927	Straßendurchfahrt	10,10	3*
1951, km 37,639	1934	Bachdurchlass	5,00	3
2184, km 57,411	1949	Feldwegunterführung	5,00	3
2057, km 110,084	1950	Feldwegunterführung	3,10	2*
1165, km 31,06	1955	Straßendurchfahrt	8,50	2*
2057, km 116,742	1958	Personendurchgang	4,00	1*
2057, km 114,204	1968	Straßendurchfahrt	8,00	2*
2053, km 24,809	1976	Straßendurchfahrt	14,80	3
2144, km 60,548	1979	Straßendurchfahrt	5,50	3
2143, km 13,305	1984	Straßenunterführung	5,00	1
2012, km 4,278	1985	Straßendurchfahrt	12,04	3
* Die Bewertung erfolgte nach der alten Zustandsbewertung (1-4)				

Tabelle 9: Aufstellung der untersuchten Objekte und deren Zustandklassen

Im Zuge der Diplomarbeit sollte versucht werden herauszufinden, warum vereinzelt alte Tragwerke einen guten Instandhaltungszustand aufweisen, andererseits manche junge Tragwerke bereits eine schlechte Zustandsbewertung haben. Wie Tabelle 9 zu entnehmen ist, erfolgte die Bewertung der Objekte teilweise noch nach dem alten Bewertungssystem (mit * gekennzeichnete Zustandklassen). Dabei entspricht die Klasse 2* in etwa der Klasse 2, die Klasse 3* kann sowohl der Klasse 3 als auch der Klasse 4, gemäß neuer Definition, entsprechen.

3.3.5.1. Analyse der Betondeckung der untersuchten Tragwerke

Ein wichtiger Indikator der Bauqualität und ein bedeutender Parameter für die Dauerhaftigkeit ist die Betondeckung. Daher wurde die Betondeckung der einzelnen Objekte an mehreren Stellen punktuell gemessen.

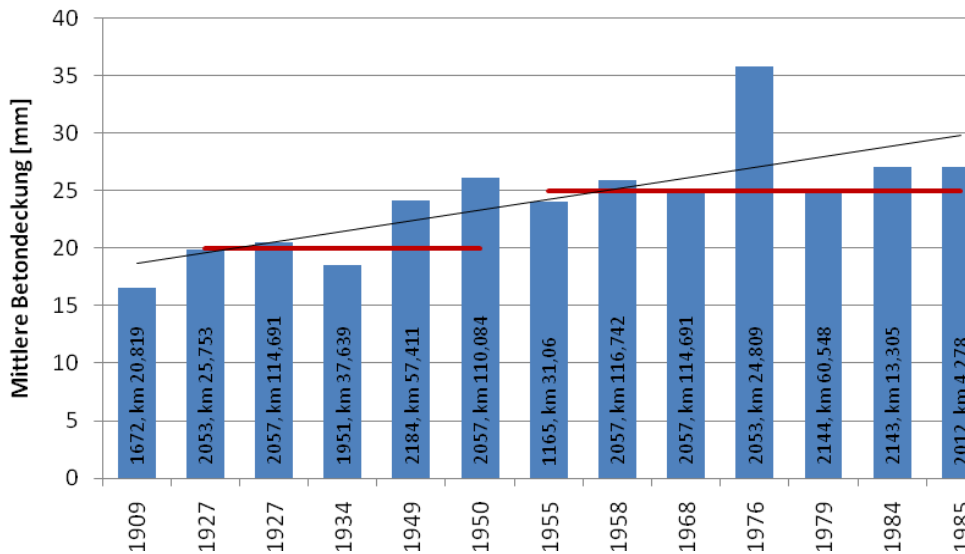


Abbildung 18: Mittelwerte der gemessenen Betondeckungen [23]

In Abbildung 18 ist die mittlere gemessene Betondeckung der Objekte aufgetragen. Die Betondeckung der zum Errichtungszeitpunkt gültigen Vorschrift ist in Abbildung 18 mit einem roten Balken gekennzeichnet. Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass die Mittelwerte der Betondeckung, mit Ausnahme des Objektes aus 1934 und 1955, die in den geltenden Vorschriften angegebene Werte abdecken.

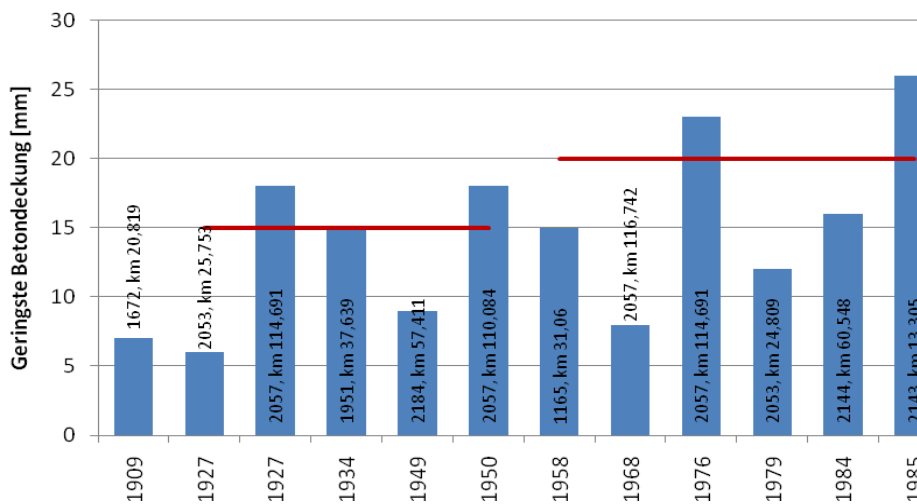


Abbildung 19: Geringsten gemessenen Betondeckungen

In Abbildung 19 sind die gemessenen Minimalwerte der Tragwerke dargestellt. Die gemäß den damals gültigen Vorschriften erforderlichen Baumaße sind mit einem roten Balken gekennzeichnet. Bei den Betondeckungen der Vorschriften vor 1953 wurde als Baumindestmaß ebenfalls der Normwert um 5 mm reduziert. Aus dieser Abbildung ist

ersichtlich, dass die Einhaltung der Vorgaben häufig nicht gegeben ist und die Abweichungen teilweise sehr groß sind. Demzufolge sind die Betondeckungen der einzelnen Objekte gering. Ein eindeutiger Zusammenhang der Ausführungsqualität zu bestimmten Errichtungsepochen kann nicht abgelesen werden, da die Werte schwanken und die Anzahl der untersuchten Objekte gering ist. Die Zunahme der ausgeführten Betondeckung über die Jahre ist jedoch ablesbar.

3.3.5.2. Analyse des Bewehrungsstahles der untersuchten Tragwerke

Durch eine ausreichende Betondeckung und einer Mindestmenge an Zement erfolgt die Passivierung des Bewehrungsstahles im Beton. Kommt es dennoch zu einer Korrosion des Bewehrungsstahles, unterscheidet man generell zwischen flächenhafter und punktueller Korrosion. Die flächenhafte Korrosion entspricht dem Flugrost bzw. ist durch Rosten zufolge von Karbonatisierung gegeben. Punktueller Rost wird vor allem durch Chlorideindringung ausgelöst. Im Gegensatz zur flächenhaften, verursacht die punktuelle Korrosion einen starken Abfall der Ermüdungsfestigkeit.

In der Diplomarbeit von Kolar wurde an fünf Eisenbahntragwerken, die über eine Straße führen, Chloridemessungen durchgeführt. Dabei waren die Chloridwerte dieser Objekte im Bereich des messtechnisch erfassbaren und somit weit unter dem Grenzwert. Eine Korrosion zufolge des Chlorides war an diesen Objekten nicht feststellbar. Bei der Untersuchung der Bestandsobjekte wurde jedoch festgestellt, dass vereinzelt die Passivierung zufolge Karbonatisierung aufgehoben und der Bewehrungsstahl angerostet war. Bei der Bewertung der Korrosionsschäden wurde der Bewehrungsstahl nur punktuell untersucht. Eine chemische Analyse der Bewehrung erfolgte nicht.

Objekt	Bau-jahr	Art	c _{mittel} [mm]	y _{mittel} [mm]	Bewehrungs-stahl	Korrosions-schaden	Zustands-klasse
1672, km 20,819	1909	Feldwegunterführung	17	14	Rundeisen	nein	3*
2053, km 25,753	1927	Straßendurchfahrt	20	23	Rundeisen	nein	2
2057, km 114,691	1927	Straßendurchfahrt	21	1	Rundeisen	nein	3*
1951, km 37,639	1934	Bachdurchlass	19	14	Rundeisen	nein	3
2184, km 57,411	1949	Feldwegunterführung	24	16	Torstahl	ja	3
2057, km 110,084	1950	Feldwegunterführung	26	18	Rundeisen	nein	2*
1165, km 31,06	1955	Straßendurchfahrt	24	20	Rippenstahl	nein	2*
2057, km 116,742	1958	Personendurchgang	26	14	unbekannt	nein	1*
2057, km 114,204	1968	Straßendurchfahrt	25	1	Rippenstahl	nein	2*
2053, km 24,809	1976	Straßendurchfahrt	36	18	Rippenstahl	nein	3
2144, km 60,548	1979	Straßendurchfahrt	25	15	Torstahl	ja	3
2143, km 13,305	1984	Straßenunterführung	27	21	Torstahl	nein	1
2012, km 4,278	1985	Straßendurchfahrt	27	18	Torstahl	nein	3

Tabelle 10: Maßgebende Messergebnisse der untersuchten Objekte

Betrachtet man die Bewehrung der Objekte bis 1934 (ausschließlich Rundstahl) so weisen diese, bei einer vorhandenen mittleren Betondeckung zwischen 17 und 21 mm bzw. bei einer geringsten Betondeckung zwischen 6 und 18 mm gemäß Abbildung 19, keine Korrosion auf. Die mittlere Karbonatisierungstiefe beträgt bis zu 23 mm. Es liegt somit die Vermutung nahe, dass die Korrosivität des Rundstahles gering ist.

Beim Objekt Baujahr 1949 mit einer vorhandenen mittleren Betondeckung von 24 mm bzw. einer geringsten von 9 mm und einer mittleren Karbonatisierungstiefe von 16 mm, ist das Bewehrungsseisen (Torstahl) bereits angerostet. Weiters ist ersichtlich, dass die beiden Objekte mit korrodierter Bewehrung - Baujahr 1949 und 1979 – die geringste Betondeckung ihrer Epoche aufweisen.

3.4. Historischer Verlauf des Einsatzes der Spannbeton- und Verbundtragwerke

Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgte die Einführung des Spannbetons. Wie Abbildung 20 zu entnehmen ist, sind die Spannbetonbrücken bei den ÖBB seit den 50er Jahren mit ca. 10% der Tragwerksfläche der Stahlbetontragwerke im Einsatz.

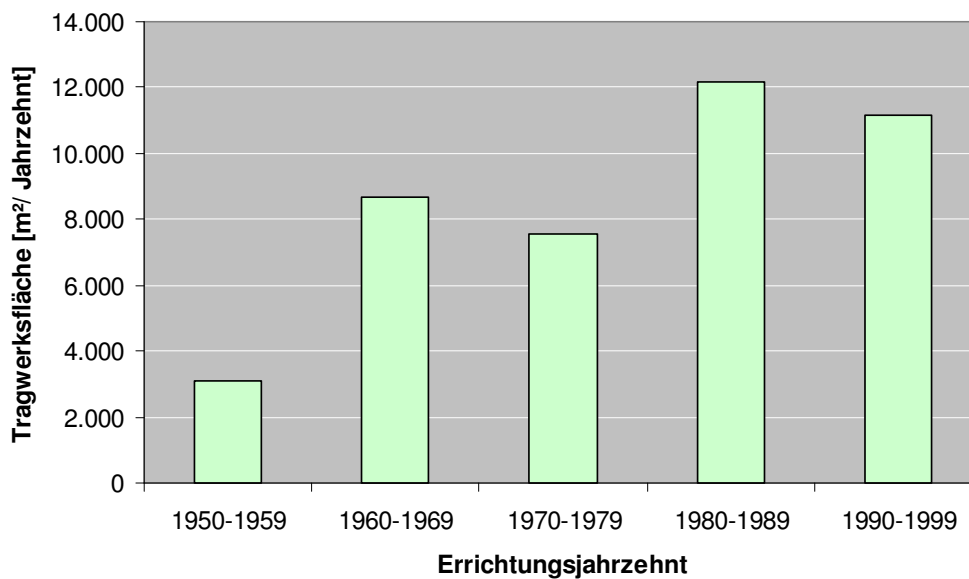


Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf des Einsatzes der Spannbeton Tragwerksfläche

Die in diesem Abschnitt behandelten Verbundtragwerke entsprechen überwiegend der Bauweise Stahltragwerk mit Stahlbetonplatte. Die Tragwerksflächenverteilung in Abhängigkeit der Errichtungsepoche ist in Abbildung 21 dargestellt.

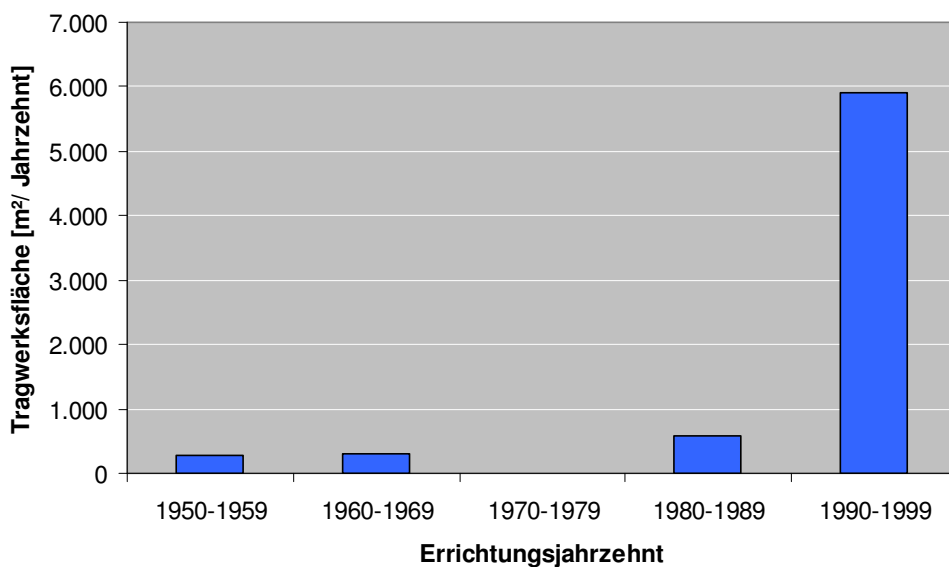


Abbildung 21: Zeitlicher Verlauf des Einsatz der Verbundtragwerksfläche

Die bereits sehr früh eingebauten Trägerbetone sind, wie bereits festgehalten, den Stahltragwerken zugeordnet, da für die rechnerische Lastabtragung ausschließlich die

Stahlträger herangezogen wurden [27]. Zu Beginn des Einsatzes dieser Bauweise wurde diese insbesondere gewählt, um den Hohlraum zwischen den Trägern aufzufüllen und so eine geschlossene Fahrbahn zu ermöglichen.

3.5. Historische Entwicklung der Unterbauten aus Naturstein und Beton

Die Daten für diese Untersuchung der Unterbauten basieren auf der ergänzenden Auswertetabelle [43]. Die Unterbauten aus Naturstein wurden, wie aus Abbildung 22 ersichtlich, zum überwiegenden Teil zwischen 1870 – 1929 errichtet. Das Fachwissen betreffend der Verarbeitung von Naturstein hat sich während der Einsatzperiode nicht nennenswert geändert. Daher erfolgt keine Aufbereitung der historischen Entwicklung der Unterbauten aus Naturstein.

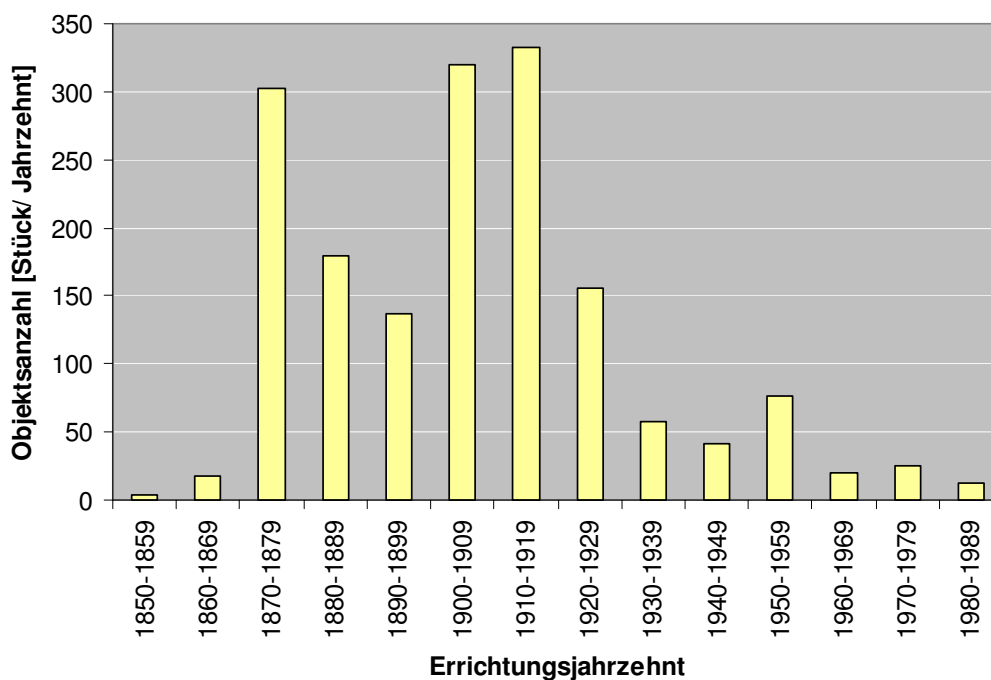


Abbildung 22: Zeitlicher Verlauf des Einsatz der Natursteinwiderlager

Die Unterbauten wurden, wie aus Abbildung 23 ersichtlich ist, bis 1979 sehr häufig in Beton errichtet, danach überwiegend aus Stahlbeton. Die Entwicklung der Betonunterbauten erfolgte in Analogie zu den Stahlbetontragwerke gemäß Abschnitt 3.3.

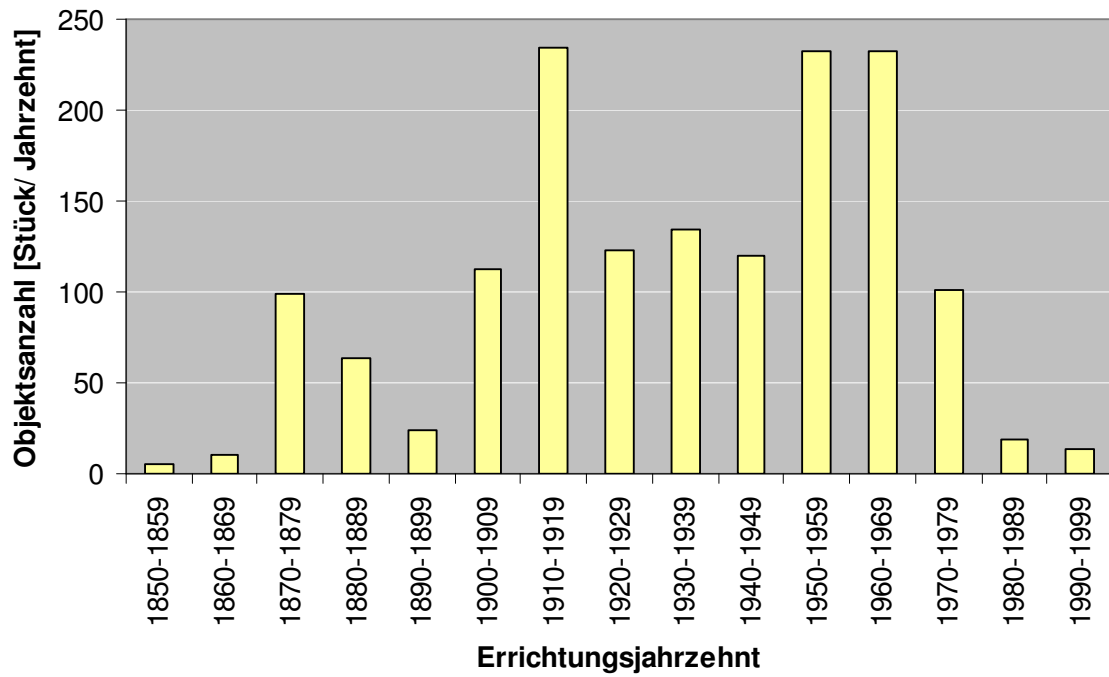


Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf des Einsatz der Betonwiderlager

4. *Tatsächliche Nutzungsdauer, Basiswert und Parameter der Nutzungsdauer*

Wie eingangs bereits erwähnt, konnte die Basis der in der Literatur angegebenen Werte für die theoretischen Nutzungsdauern nicht erhoben werden. Es ist naheliegend und davon auszugehen, dass diese Werte durch erfahrene Brückenprüfer festgelegt wurden.

In dieser Dissertation werden die tatsächlichen Nutzungsdauern auf Grundlage der zu erneuernden Eisenbahnbrücken der ÖBB ermittelt und daraus die Basiswerte für die einzelnen Tragwerks- und Unterbaugruppen bestimmt. Die tatsächliche Nutzungsdauer der bestehenden Eisenbahnbrücken wird anhand der im Erneuerungsplan enthaltenen Objekte erhoben. In diesem sind die geplanten Erneuerungsvorhaben für die nächsten 6 bzw. bei Großvorhaben für die nächsten 10 Jahre eingetragen. Der Basiswert entspricht der Nutzungsdauer des gehäuften Errichtungszeitpunktes der Objekte des Erneuerungsplanes. Diese Basiswerte dienen dann als Grundlage für die Ermittlung der Plan- und Restnutzungsdauern.

Die Brücken des Erneuerungsplanes haben die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserrichtlinie teilweise über- bzw. unterschritten. Die Auswertung des Erneuerungsplanes zeigt weiters, dass Stahlbetontragwerke nur zu einem geringen Anteil die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserrichtlinie der ÖBB erreicht haben. Dies vor allem deshalb, weil Tragwerke aus Stahlbeton erst ab 1960 in großem Umfang errichtet wurden. Nicht enthalten im Erneuerungsplan sind die Tragwerke neuer Bauweise (Spannbeton- oder Verbundtragwerke). Weiters ist aus dieser Auswertung ersichtlich, dass zum weitaus überwiegenden Teil nur Tragwerke mit einer offenen Fahrbahn gegeben sind. Bei den Unterbauten ist nur die Auswertung der Naturstein- und Betonunterbauten möglich. Unterbauten neuer Bauweisen in Stahlbeton mit Flach- oder Tieffundierungen sind im Erneuerungsplan nicht enthalten.

Ebenso werden in diesem Kapitel die Einflüsse der verschiedenen Parameter auf die tatsächliche Nutzungsdauer untersucht und wenn Zusammenhänge gegeben sind, diese zahlenmäßig ausgewertet und für Stahl und Stahlbeton die Einflüsse der Errichtungsepochen und der Umweltbedingungen zahlenmäßig festgelegt. Abschließend

werden die der Plannutzungsdauer zugrunde gelegten Planinstandsetzungszyklen untersucht.

4.1. Gesamtbestand der ÖBB-Eisenbahnbrücken

Die ÖBB verwaltet in Summe ca. 2,0 Mio. m² Brückenflächen. Diese Brücken – mit Ausnahme der Straßenbrücken – sind fast ausschließlich im Eigentum und in der Instandhaltung der ÖBB. Beim überwiegenden Teil dieser Brücken gemäß Abbildung 24 handelt es sich um Eisenbahnbrücken, danach folgen die Straßenbrücken. Die Brückenfläche der Konstruktiven Durchlässe beträgt - zufolge der geringen Stützweite dieser Objekte - nur ca. 10% der Brückenfläche der Eisenbahnbrücken. Würde man die Auswertung auf Basis der Stückanzahl der Tragwerke durchführen, so würde die Anzahl der Konstruktiven Durchlässe ca. 55% der Stückzahl der Eisenbahnbrücken betragen.

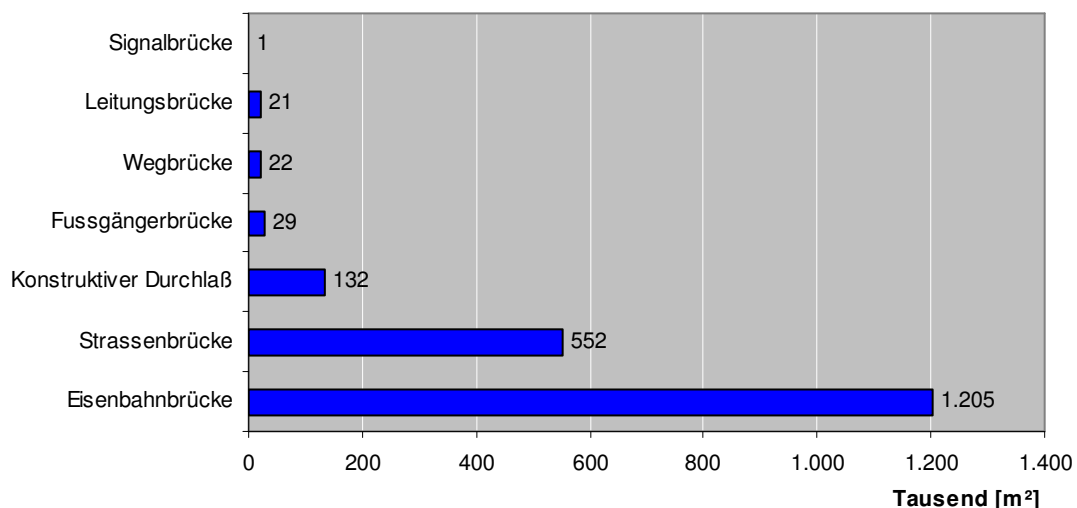


Abbildung 24: Verteilung der Tragwerksfläche der verschiedenen Brückentypen der ÖBB

Im Rahmen dieser Dissertation werden nur Eisenbahnbrücken untersucht. Die Brückenflächenverteilung der Baustoffe in Abbildung 25 zeigt, dass der größte Anteil, nämlich 45% auf Stahlbetonbrücken, 26% auf Stahlbrücken und auf die Gewölbe in Summe 24% entfallen. Der Anteil der Verbundbrücken beträgt lediglich 1%, dies nicht zuletzt deshalb, weil die Trägerbetone alter Bauweise - zufolge ihrer Lastabtragung - in der Datenbank den Stahltragwerken zugeordnet wurden. Der flächenmäßige Anteil der Spannbetonbrücken beträgt 4%.

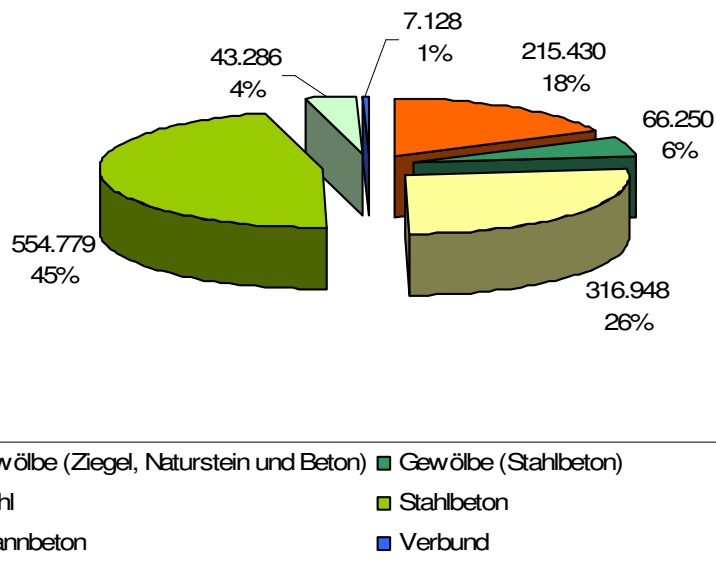


Abbildung 25: Zusammensetzung der gesamten Eisenbahnbrückenflächen der ÖBB

Die Brückenflächenverteilung der Eisenbahnbrücken in Abhängigkeit vom Tragsystem ist in Abbildung 26 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass der Großteil der Brücken Einfeldträger sind.

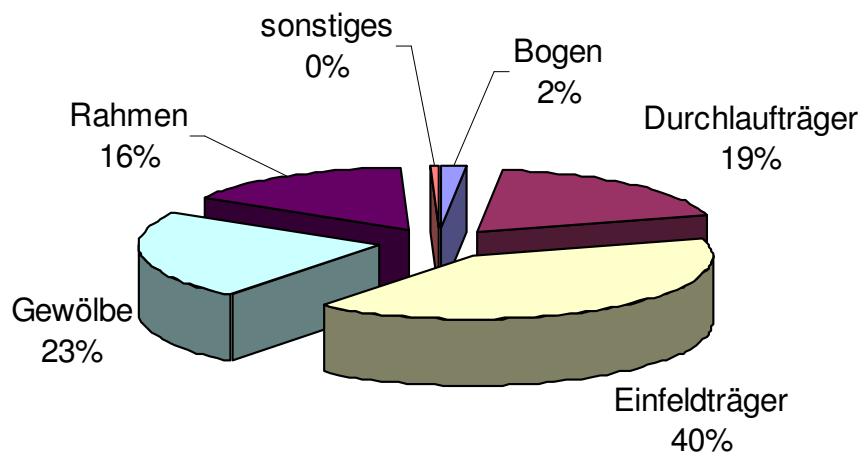


Abbildung 26: Verteilung der ÖBB-Eisenbahnbrückenflächen in Abhängigkeit des Tragsystems

In Abbildung 27 sind der zeitliche Verlauf der verschiedenen Brückengruppen und die Grenzwerte der theoretischen Nutzungsdauer graphisch dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass bis 1870 fast ausschließlich Gewölbe aus Ziegel, Naturstein und Beton errichtet

wurden. Ab ca. 1870 wurden die ersten Stahltragwerke für Eisenbahnbrücken und ab 1940 auch Stahlbetonbrücken in einem nennenswerten Ausmaß eingebaut. Die Verwendung von Spannbetontragwerk für Eisenbahnbrücken erfolgte bei den ÖBB ab 1950.

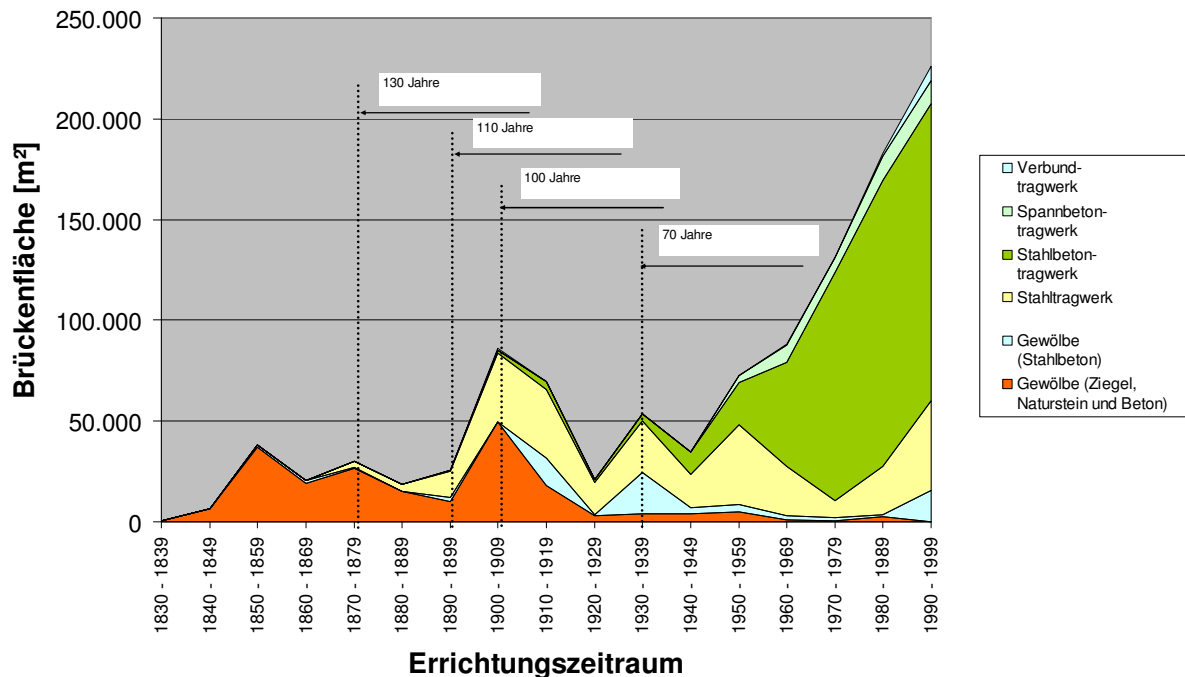


Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der verschiedenen errichteten Brückentragwerke

In Tabelle 11 ist die Verteilung der Brückenflächen der bestehenden Eisenbahnbrücken in Abhängigkeit des Errichtungszeitpunktes in tabellarischer Form aufbereitet. In dieser sind auch die theoretischen Nutzungsdauern gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB für die einzelnen Brückengruppen dargestellt. Diese betragen:

- 70 Jahre für Tragwerke aus Stahlbeton, Spannbeton und Verbundtragwerke (Stahltragwerk mit Stahlbetonplatte)
- 100 Jahre für Tragwerke aus Stahl und Verbundtragwerke (Walzträger in Beton)
- 110 Jahre für Gewölbe aus Stahlbeton
- 130 Jahre für Gewölbe aus Naturstein, Ziegel und Beton

Errichtungs Zeitraum	Gewölbe (Ziegel, Naturstein und Beton) [m²]	Gewölbe (Stahlbeton) [m²]	Stahltragwerk [m²]	Stahlbeton- tragwerk [m²]	Spannbeton- tragwerk [m²]	Verbund- tragwerk [m²]	Summe [m²]
1830 - 1839	527						527
1840 - 1849	6.364	197					6.560
1850 - 1859	37.097	736	192				38.024
1860 - 1869	19.137	1.278					20.416
1870 - 1879	26.310	773	2.819				29.902
1880 - 1889	14.819	275	3.271	28			18.393
1890 - 1899	9.961	2.254	12.990	263			25.467
1900 - 1909	49.431	161	34.113	1.669		768	86.142
1910 - 1919	18.188	13.358	34.042	4.042		72	69.702
1920 - 1929	2.792	730	15.818	1.699			21.038
1930 - 1939	4.033	20.410	25.514	3.631			53.588
1940 - 1949	3.980	3.031	16.761	10.978			34.750
1950 - 1959	4.931	3.785	39.352	21.312	3.088	281	72.749
1960 - 1969	1.182	1.929	24.485	51.519	8.661	307	88.083
1970 - 1979	660	1.516	8.491	113.009	7.548		131.223
1980 - 1989	2.593	836	24.308	141.490	12.171	1.392	182.790
1990 - 1999	118	15.528	44.523	147.443	11.162	7.205	225.980
2000 - 2010	31	67	26.711	56.737	656	2.896	87.098
SUMME	202.154	66.865	313.389	553.820	43.286	7.140	1.186.653

Überschreitung in %	44%	8%	17%	2%	12%
---------------------	-----	----	-----	----	-----

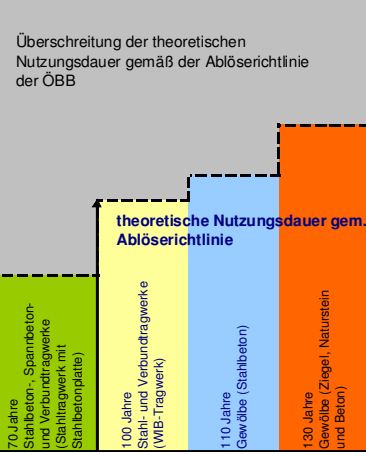


Tabelle 11: Darstellung der die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie überschreitenden Eisenbahnbrückenflächen

In Tabelle 11 sind die Brückenflächen, die die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB bereits überschritten haben, grau hinterlegt. Daraus ist ersichtlich, dass die Gewölbe zu einem großen Teil diese bereits überschritten, moderne Bauweisen wie Spannbeton diese noch gar nicht erreicht haben. Betrachtet man die Objekte, welche die Nutzungsdauer überschritten haben im Detail, so kann folgendes gesagt werden:

Die Gewölbe aus Ziegel, Naturstein und Beton haben zu 44% ihrer Brückenfläche die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie bereits überschritten. Dieser Wert ist sehr hoch, da:

- die theoretische Nutzungsdauer für Gewölbe in der Ablöserichtlinie mit 130 Jahren angesetzt wurde und diese gegenüber anderen Literaturangaben (beispielsweise in [3] und [4] mit bis zu 200 Jahren) eher gering ist,
- die Gewölbe zum überwiegenden Teil bis 1919 errichtet wurden und daher der Prozentsatz der Überschreitung hoch ist,
- jene Objekte mit schlechter Ausgangsqualität bereits erneuert wurden und
- viele Gewölbe (beispielsweise im Bereich der Semmeringbahn) unter Denkmalschutz stehen und daher eine Erneuerung nur sehr eingeschränkt bis gar

nicht möglich ist. Dementsprechend höher ist der Instandhaltungsaufwand dieser Objekte.

Die Stahltragwerke haben bereits zu 17% ihrer Brückenfläche die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie überschritten. Auch diese Bauweise wurde vergleichsweise früh eingesetzt.

Die Verbundtragwerke haben gemäß Tabelle 11 zu 12% ihrer Brückenfläche die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie überschritten, absolut betrachtet ist diese Menge jedoch sehr gering. Die genauere Analyse dieser Werte ergab folgendes:

- Bei der Tragwerksfläche von 768 m² im Zeitabschnitt 1900-1910 handelt es sich um eine Stahlbrücke, die im Jahre 1957 mittels einer Stahlbetonfahrbahn in ein Verbundtragwerk umgebaut wurde.
- Bei den Tragwerksflächen von 72 m² im Zeitabschnitt 1910-1920 handelt es sich um eine Stahlbrücke aus 1913, die im Zuge des zweigleisigen Ausbaues in den 60er Jahren umgerüstet wurde.

Somit entsprechen diese Tragwerke nicht der heutigen Vorstellung einer Verbundkonstruktion und werden daher nicht für die Ermittlung der Nutzungsdauern herangezogen.

Bei den Stahlbetontragwerken haben erst 2% der Brückenflächen die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie überschritten. Dabei ist zu bedenken, dass Stahlbetonbrücken in einem nennenswerten Umfang erst ab 1940 errichtet wurden, aber bereits ab 1960 die Brückenflächen massiv zunahmten. Weiters ist anzumerken, dass die in der Ablöserichtlinie angesetzte Plannutzungsdauer mit 70 Jahren eher gering gegenüber von bis zu 110 bzw. 120 Jahren in anderen Literaturangaben (beispielsweise in [3] und [4]) ist.

4.2. Grundlagen und Vorgangsweise bei der Nutzungsdauererhebung

Es werden die Nutzungsdauern der Stahlvollwandträger, der Stahlfachwerke, der Trägerbetone und der Stahlbetontragwerke sowie der Naturstein- und Betonunterbauten ermittelt.

Basis für die Auswertung ist die technische Datenbank der Bestandsbrücken der ÖBB [32]. Hierin sind die technischen Daten der Brückentragwerke enthalten. Die für die Untersuchungen erforderlichen Daten wurden aus dieser Datenbank in die Tabelle Auswertungstabelle_Sept09.xls [41] übertragen. Nachfolgende Angaben wurden in dieser Tabelle ergänzt:

- Die Erneuerungszeitpunkte der Objekte - für die nächsten 6 bzw. bei Großvorhaben für die nächsten 10 Jahre - wurden vom Brückenprüfer festgelegt und in die Tabelle eingearbeitet.
- Die Unterbaudaten, die Aufbringung des letzten Korrosionsschutzes der Stahltragwerke, die Art der Fahrbahn und die Nutzungsart der Brückenöffnungen werden anhand des analogen Brückenstammblasses eingefügt.
- Die Brückenbefunde der einzelnen zu erneuernden Objekte wurden gemeinsam mit dem Brückenprüfer analysiert. Danach erfolgte die tabellarische Zuordnung des Schädigungsgrades zu den verschiedenen Schadenskategorien in die Tabellen.

Die Tabelle Auswertungstabelle_Sept09.xls [41] stellt somit die Grundlage dieser Arbeit dar. Für einzelne Unterbauauswertungen wurde die ergänzende_Auswertetabelle_Juli10.xls [43] herangezogen, in diesem Fall wurde besonders darauf hingewiesen. Die Beschreibung aller Spalten der Tabellen erfolgt im Anhang B.

4.2.1. Technische Datenbank der ÖBB

In dieser technischen Datenbank sind alle in der Verwaltung der ÖBB befindlichen Brückenobjekte enthalten. Die für die Untersuchung maßgebenden Daten sind nachfolgend beschrieben. Die restlichen für die Ermittlung der Nutzungsdauer erforderlichen Daten sind im Anhang B zusammengefasst.

Die für die Auswertung verwendeten, geometrischen Daten sind in Tabelle 12 angeführt. Es sind dies die Abmessungen des Tragwerkes.

Bezeichnung	Inhalt
Tragwerk Länge [m]	Gesamtlänge des Tragwerkes in Meter
Tragwerk Breite [m]	Gesamtbreite des Tragwerkes in Meter

Tabelle 12: Geometrische Parameter gemäß der technischen Datenbank

Mit Hilfe der Tragwerksparameter der Tabelle 13 können Tragwerksgruppen herausgefiltert und analysiert werden. Die unterschiedliche Einteilung der Tragwerke erfolgt in Konstruktion, verwendeter Tragwerksbaustoff, Tragsystem und Brückentyp.

Bezeichnung	Inhalt
Tragwerk Konstruktion	In folgende Konstruktionen des Tragwerkes wird unterschieden: Behelfsbrücken Stahlvollwandträger (= Blechträger) Stahlfachwerk Fertigteile Hilfsbrücken Hohlkasten Kreisbogen Platte Plattenbalken Schienenbetontragwerk Schienentragwerk Trägerbeton Trog
Tragwerk Baustoff	In folgende Baustoffe des Tragwerkes wird unterschieden: Beton Naturstein Spannbeton Stahl Stahlbeton Verbund Ziegel <u>Anmerkung:</u> Da bei der Bemessung der Trägerbetone ursprünglich nur der Stahl als tragend angesetzt wurde, werden diese Tragwerke dem Baustoff Stahl zugeordnet.
Tragwerk System	In folgende Systeme des Tragwerkes wird unterschieden: Durchlaufträger Einfeldträger Gewölbe Rahmen
Brücken Typ	In folgende Brückentypen wird unterschieden: Eisenbahnbrücken (Lichte Weite größer 2,0 m) Konstruktive Durchlässe (Eisenbahnbrücke mit einer maximalen Lichten Weite von 2,0 m) Straßenbrücken (Bahnüberführungen für den Straßenverkehr) Wegbrücken (bahnparallele Brücken) Fußgängerbrücken (Bahnüberführungen für den Fußgängerverkehr) Signalbrücken Leitungsbrücken

Tabelle 13: Tragwerksparameter gemäß der technischen Datenbank

Die insbesondere für die Instandhaltung wichtigen Daten gemäß Tabelle 14 sind die Zustandsbewertung der Brücke, das Baujahr des Tragwerkes, das Brückenlastbild und die Netzkategorie.

Bezeichnung	Inhalt
Brücken letzter Zustand	Aktuelle Zustandsklassenbewertung der Brücke
Tragwerk Baujahr	Einbaujahr des Tragwerkes. Bei neuen Tragwerken entspricht dieses dem Errichtungszeitpunkt. Beim Einbau alter Tragwerke (dies erfolgte fallweise im Ergänzungsnetz) spiegelt das Einbaujahr nicht das Tragwerkeralter wider.
Tragwerk Lastbild Original	Bemessungslastbild der Brücke (siehe auch Anhang E) Fallweise wurde Brücken auch nachträglich ein Lastbild zugeordnet. Dies ist vor allem dann erkennbar, wenn das Baujahr des Tragwerkes vor dem Gültigkeitszeitpunkt der Brückenklasse liegt.
Netzkategorie	Netzkategorie A (Kernnetz) Wichtige Personen- und Güterverkehrsstrecken Wichtige Nahverkehrsstrecken und Verbindungen ins Ausland Netzkategorie B1 (Kernnetz) Umleitungsstrecken Netzkategorie B2 (Ergänzungsnetz) und Netzkategorie C (Ergänzungsnetz) Zubringerstrecken, kein maßgeblicher Nahverkehr und Schmalspurbahnen
Fahrbahn Bezeichnung	Offene Fahrbahn Schotterbett Direkte Schienenbefestigung
Nutzung in der Brückenöffnung	Die Werte der Datenbank wurden zu den für die Auswertung relevanten Gruppen zusammengeführt: Gewässer Straße Weg Gewässer und Weg Gewässer und Straße Eisenbahn

Tabelle 14: Instandhaltungsrelevante Parameter gemäß der technischen Datenbank

Für die Instandhaltung zusätzlich von Interesse wären auch der Zeitpunkt und die Art der einzelnen Instandsetzungsmaßnahmen. Diese Daten sind derzeit bei den ÖBB nur teilweise und nicht in einer Datenbank erfasst. Mit der Einführung einer mobilen Inspektionsdokumentation können diese dann digital gespeichert werden.

4.2.2. Ergänzende Eingaben für die Objekte des Erneuerungsplanes

Ergänzend zu den Tragwerksdaten der technischen Datenbank der ÖBB [32] wurden für die Auswertungen dieser Arbeit die in Tabelle 15 angegebenen Daten anhand des analogen Brückenstammblasses für die im Erneuerungsplan enthaltenen Eisenbahnbrücken der Auswertetabelle [41] hinzugefügt. Dies sind das Baujahr des Unterbaus, der Baustoff des Unterbaus und der letzte aufgezeichnete Korrosionsschutz des Tragwerkes. Der Erneuerungszeitpunkt wurde vom Brückenprüfer festgelegt. Die Tragwerksfläche und die tatsächliche Nutzungsdauer wurden aus den gegebenen Daten errechnet.

Bezeichnung	Inhalt
Tragwerk Fläche [m ²]	Gesamtfläche des Tragwerkes in Quadratmeter, dies ist das Produkt aus der Tragwerksbreite und der Tragwerkslänge.
Baujahr Unterbau	Errichtungszeitpunkt des Widerlagers bzw. der Stützen.
Baujahr Verstärkung Unterbau	Jahreszahl der Verstärkung oder Generalsanierung. Wenn kein Eintrag erfolgte, gab es diese nicht.
Baustoff Unterbau	In folgende Baustoffe des Unterbaus wird in den analogen Brückenstamblättern unterschieden: Beton Naturstein Naturstein – Beton Stahlbeton Stampfbeton Ziegel Ziegel – Naturstein Anmerkung: Bei dem mit Bindestrich angegebenen Baustoffen besteht das Widerlager aus beiden Baustoffen. In folgende Baustoffe des Unterbaus wird in der Technischen Datenbank unterschieden: Beton Holz Naturstein Spannbeton Stahl Stahlbeton Ziegel
letzter Korrosionsschutz	Jahr des im analogen Brückenstamblatt eingetragenen letzten Korrosionsschutzes.
Geplante Erneuerung	Dies ist der vorgesehene Zeitpunkt der Erneuerung.
Tat ND TW gem. Erneuerungsplan	Dies ist die tatsächliche Nutzungsdauer des Tragwerkes bezogen auf den Erneuerungszeitpunkt.
Tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan	Dies ist die tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues bezogen auf den Erneuerungszeitpunkt.

Tabelle 15: Ergänzende Daten für die zu erneuernden Objekte

4.2.3. Schadenskategorien (SK) und Schädigungsgrade der Objekte des Erneuerungsplanes

Die 13 Schadenskategorien wurden vom Autor so gewählt, dass im Zuge der Datenauswertung der maßgebende Auslöser – Tragwerk, Lager, Unterbau, Gewölbe, Tragfähigkeit & Gebrauchstauglichkeit und strategische Gründe - für die Erneuerung des Objektes bestimmt werden kann. Bei den Tragwerken, Unterbauten und Gewölbe wurden diese nochmals in instandhaltungsbedingte und eher nicht instandhaltungsbedingte Schadenskategorien unterteilt. Wie die Auswertung in Kapitel 4.4.2 zeigt, liefert die instandhaltungsbedingt differenzierte Auswertung keine abweichenden Ergebnisse und wurde daher auch nicht weiterverfolgt. Der Schädigungsgrad beschreibt den Schaden und dient bei der Detailanalyse für die Bestimmung des maßgebenden Auslösers für die Erneuerung.

Die Zuteilung der Schädigungsgrade erfolgte gemeinsam mit dem zuständigen Brückenprüfer im Zeitraum von März bis September 2009. Diese wurden in die Auswertetabelle [41] eingepflegt. Im Anhang C sind beispielhaft Schädigungsgrade einzelner Schadenskategorien dargestellt. Die Festlegung der Schädigungsgrade erfolgt in Anlehnung an den Schadenskatalog der ÖBB [42], demzufolge wurden die Bilder dieses Anhanges dem Schadenskatalog entnommen, bzw. durch vor Ort Aufnahmen ergänzt.

Bei den Stahltragwerken und den Verbundtragwerken - Trägerbetone sind in der technischen Datenbank den Stahltragwerken zugeordnet - wurde in die SK Korrosionsschaden und SK Materialschaden und Risse unterteilt. In Tabelle 16 sind diese Schadenskategorien und Schädigungsgrade beschrieben.

	Schadenskategorie	Beschreibung des Schadens	Schädigungsgrade
Stahl- und Verbundtragwerk	Korrosionsschaden	Korrosionsschäden an den Stahlteilen, welche die Tragfähigkeit des Tragwerkes beeinflussen	Korrosionsschäden massive Korrosionsschäden
	Materialschaden und Risse	Materialschäden und/oder Risse an den Stahlteilen, welche die Tragfähigkeit des Tragwerkes beeinflussen	Anfahrsschäden Kerben Kerben und abgeschlagene Nieten Materialschaden Risse Risse und Abscherung von Schrauben Schäden aus der Kriegszeit Schweißbeisen Schweißnähte fehlen bzw. Risse Verbindungsmitteln locker

Tabelle 16: Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Stahl- und Verbundtragwerke

Bei den Stahlbetontragwerken und den Verbundtragwerken - Trägerbetone sind in der technischen Datenbank den Stahltragwerken zugeordnet - wurden die SK Durchfeuchtung und Aussinterung, SK Risse, Abplatzungen und Ausbrüche und SK freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden eingeführt. In Tabelle 17 sind diese Schadenskategorien und Schädigungsgrade beschrieben.

	Schadenskategorie	Beschreibung des Schadens	Schädigungsgrade
Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke	Durchfeuchtung und Aussinterung	Stahlbeton- und Spannbetontragwerke bzw. der Stahlbeton bei Trägerbetonen und Verbundtragwerken: Durchfeuchtung oder Aussinterungen meist zufolge einer schadhafte Abdichtung.	Aussinterungen Durchfeuchtung Durchfeuchtung und Aussinterung starke Durchfeuchtung und Aussinterung
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche	Stahlbeton- und Spannbetontragwerke bzw. der Stahlbeton bei Trägerbetonen und Verbundtragwerken: Risse und/oder Betonabplatzungen bzw. Betonausbrüche die die Tragfähigkeit des Tragwerkes beeinflussen.	Abplatzungen Ausbrüche Betonausbrüche und Risslinien massive Betonabplatzungen massive Betonabplatzungen und Risslinien massive Rissbildung Randbalken schadhaft Randbalken schadhaft und massive Betonabplatzungen am Tragwerk Risslinien Risslinien und Ausbrüche
	freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden	Stahlbeton- und Spannbetontragwerke bzw. der Stahlbeton bei Trägerbetonen und Verbundtragwerken: Verbundverlust und/oder Bewehrungsabrostungen die die Tragfähigkeit des Tragwerkes beeinflussen.	freiliegende Bewehrung Verbundverlust der Bewehrung Verbundverlust zum Stahlträger

Tabelle 17: Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Stahlbeton- und Verbundtragwerke

Bei den Gewölben unterscheidet man zwischen den SK Risse und Ausbrüche und SK nicht funktionierende Abdichtung und Aussinterung. In Tabelle 18 sind diese Schadenskategorien und Schädigungsgrade beschrieben.

	Schadenskategorie	Beschreibung des Schadens	Schädigungsgrade
Gewölbe	Risse und Ausbrüche	Risse und/oder Verfassungsschäden und/oder Abplatzungen bzw. Ausbrüche, welche die Tragfähigkeit der Gewölbe aus Ziegel, Naturstein und Beton beeinflussen.	Abplatzungen Abplatzungen und Hohlstellen Ausbrüche und Verfassungsschäden Baustoffzerfall, Ausbrüche und Verfassungsschäden Beginnende Auflösung des Gefügeverbandes massive Ausbrüche Risslinien Risslinien und Ablösung der Spritzbetonsicherung Risslinien und Abplatzungen Risslinien und beginnende Auflösung des Gefügeverbandes Risslinien und Verfassungsschäden Risslinien, Baustoffzerfall, Ausbrüche und Verfassungsschäden Verfassungsschäden
	nicht funktionierende Abdichtung und Aussinterungen	Verfassungsschäden und/oder Aussinterungen meist zufolge einer schadhafte Abdichtung bei Gewölben aus Ziegel, Naturstein und Beton	Aussinterungen Durchfeuchtung Durchfeuchtung und Aussinterungen massive Durchfeuchtung

Tabelle 18: Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Gewölbe

Der Schadenskategorie Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit wurden jene Objekte zugewiesen, deren Tragwerke Tragfähigkeits- und/oder Gebrauchstauglichkeitsprobleme aufweisen. Diese Schäden sind auch durch Planungs- und/oder Ausführungsmängel gegeben. Die Beschreibung dieser Schadenskategorie und Schädigungsgrade erfolgt in Tabelle 19.

Schadenskategorie	Beschreibung des Schadens	Schädigungsgrade
Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Die Tragfähigkeit und/oder die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerkes sind eingeschränkt.	Alter des Tragwerkes Alttragwerk wurde eingebaut Bemessungsansätze Gebrauchsfähigkeit eingeschränkt Lastenzug rechnerisch nicht nachgewiesen Standicherheit reduziert Tragfähigkeit gering

Tabelle 19: Schadenskategorie und Schädigungsgrade der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Die Schäden an den Lagern wurden der SK Lagerschaden zugeordnet. In Tabelle 20 sind Schadenskategorie und Schädigungsgrade der Lager beschrieben.

Schadenskategorie	Beschreibung des Schadens	Schädigungsgrade
Lagerschaden	Schäden am Lager oder am Lagerverguss.	Korrosionsschaden Lager schadhaft Lagerbewegung eingeschränkt Lagerverguss Ausbrüche Stelzenlager

Tabelle 20: Schadenskategorie und Schädigungsgrade der Lager

Bei den Unterbauten wurden die SK Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkenschutz, SK Risse Abplatzungen und Ausbrüche und SK Stützen Korrosionsschaden eingeführt. In Tabelle 21 sind die Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Unterbauten angeführt.

	Schadenskategorie	Beschreibung des Schadens	Schädigungsgrade
Unterbau	Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkenschutz	Durchfeuchtung und/oder Aussinterung des Unterbaues, welche die Tragfähigkeit beeinträchtigen bzw. fehlender oder mangelnder Kolkenschutz	Aussinterungen Durchfeuchtung Kolkenschutz schadhaft starke Durchfeuchtung
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche	Risse und/oder Verfassungsschäden und/oder Abplatzungen bzw. Ausbrüche des Unterbaues, welche die Tragfähigkeit beeinträchtigen	Ausbrüche Ausbrüche und Baustoffzerfall Ausbrüche und Verfassungsschäden Ausbrüche, Baustoffzerfall und Verfassungsschäden Baustoffzerfall beginnender Verlust des Gefügeverband Baustoffzerfall, Risslinie und Verfassungsschäden Beginnender Verlust des Gefügeverbandes Hohlstellen und Verformung massive Ausbrüche Risslinie, Verfassungsschäden und Baustoffzerfall Risslinien Risslinien und Ausbrüche Risslinien und Hohlstellen Risslinien und Verfassungsschäden Risslinien und massive Ausbrüche Verfassungsschäden
	Stützen Korrosionsschaden	Korrosionsschäden an den Stützen, welche die Tragfähigkeit beeinträchtigen.	Anrostung im Stützenfuß Anrostung, Anfahrsschäden und Kerben im Stützenfuß

Tabelle 21: Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Unterbauten

Vereinzelt werden Brücken auch zufolge strategischer Gründe erneuert. Dies ergibt sich beispielsweise im Zuge eines Streckenausbaues zufolge Lärmbelästigung oder ähnlichem. In Tabelle 22 sind die erhobenen Auslöser (in dieser Auswertung ebenfalls als Schädigungsgrad bezeichnet) für die Erneuerung von Brücken zufolge strategischer Gründe angeführt.

Schadenskategorie	Beschreibung des Schadens	Schädigungsgrade
Strategische Gründe	Oftmals sind auch strategische Gründe Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung eines Objektes.	Anprallsituation Ausbau der Hilfsbrücke direkte Schienenbefestigung dynamische Schwingungen Fahrdynamik im Übergangsbereich Gefährdung Dritter durch herabfallende Teile im Stadtgebiet Geschwindigkeitseinschränkung gegeben Langhölzer häufige Anfahrschäden Langhölzer im Bogen Lärmschutz Lärmschutz und Fahrdynamik im Übergangsbereich Rückbau Streckenausbau Streckenklassenanhebung ungünstige Konstruktion zu geringer Freibord

Tabelle 22: Schadenskategorie und Schädigungsgrade Strategische Gründe

4.2.4. Schadensgruppen (SG)

Für die Auswertungen werden die Schadenskategorien (SK) der Tragwerke, Unterbauten und Gewölbe in Schadensgruppen (SG) zusammengefasst.

Schadensgruppe Tragwerk

In der Schadensgruppe Tragwerk sind all jene Brücken enthalten, die einer oder mehreren der nachfolgenden Schadenskategorien zugeordnet wurden.

- Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden
- Stahl- und Verbundtragwerk Materialschaden und Risse
- Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung
- Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Risse, Abplatzungen und Ausbrüche

- Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden

Schadensgruppe Gewölbe

In der Schadensgruppe Gewölbe sind all jene Brücken enthalten, die einer oder mehreren der nachfolgenden Schadenskategorien zugeordnet wurden.

- Gewölbe Risse und Ausbrüche
- Gewölbe nicht funktionierende Abdichtung und Aussinterungen

Schadensgruppe Unterbau

In der Schadensgruppe Unterbau sind all jene Brücken enthalten, die einer oder mehreren der nachfolgenden Schadenskategorien zugeordnet wurden.

- Unterbau Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkschutz
- Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche
- Unterbau Stützen Korrosionsschaden

4.3. Auswertung der Schadenskategorien

Im Erneuerungsplan sind 458 Objekte mit einer gesamten Tragwerksfläche von 50.507 m² zur Erneuerung eingegeben, dies entspricht ca. 4% der Gesamteisenbahnbrückenfläche. Die Verteilung der Tragwerksfläche in Stahl-, Stahlbeton- und Verbundtragwerke sowie Gewölbe ist Abbildung 28 zu entnehmen. Daraus ist ersichtlich, dass 75% der Tragwerksflächen auf Stahltragwerke, 22% auf Gewölbe und lediglich 3% auf Stahlbetontragwerke entfallen. Im Erneuerungsplan ist lediglich eine Verbundbrücke – Trägerbetone sind den Stahltragwerken zugeordnet - und keine Spannbetonbrücke enthalten.

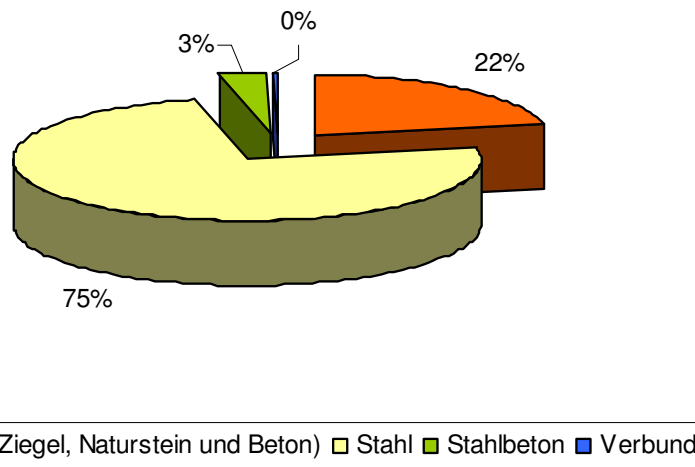


Abbildung 28: Tragwerksflächenverteilung der im Erneuerungsplan enthaltenen Eisenbahnbrücken

Im Vergleich dazu ist in Abbildung 29 die Verteilung der Eisenbahnbrückenflächen der ÖBB, die die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie überschritten haben, angegeben.

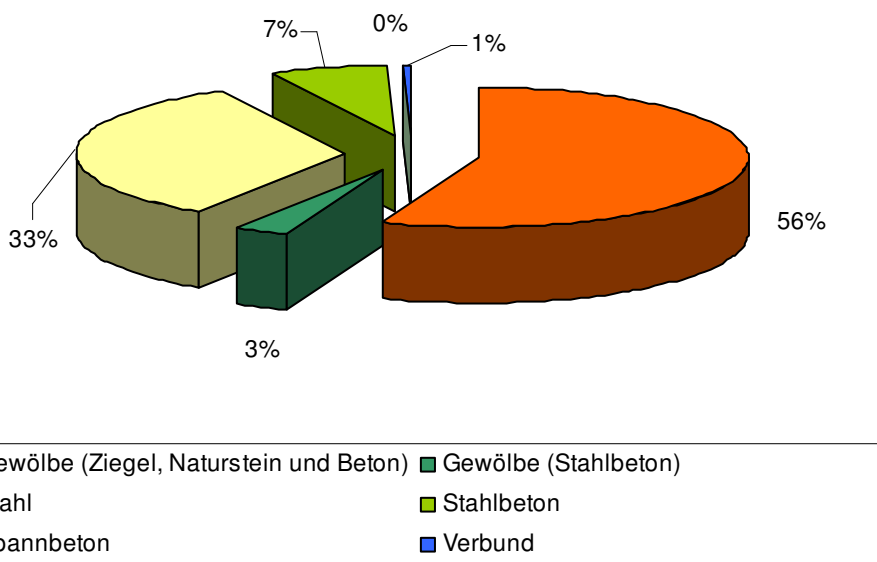


Abbildung 29: Zusammensetzung der die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie überschrittenen Tragwerksflächen der Bestandsbrücken

Vergleicht man die Auswertung der Abbildung 28 mit jener der Abbildung 29 so kann folgendes festgestellt werden:

- Im Erneuerungsplan der ÖBB sind 75% der zu erneuernden Eisenbahnbrücken Stahltragwerke. Bezogen auf die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie würde jedoch nur ein Anteil von 33% auf die Stahltragwerke entfallen. Ein Grund hierfür ist der hohe Anteil an Erneuerungen aus strategischen Gründen, zumeist bedingt durch die offene Fahrbahn (beispielsweise zufolge Lärmschutz und Fahrdynamik).
- Bei den Gewölben ist es gerade umgekehrt. 22% der Tragwerksflächen im Erneuerungsplan entfallen auf Gewölbebrücken, die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie haben jedoch bereits 59% (56% Ziegel Naturstein und Beton sowie 3% Stahlbeton) überschritten. Ein Grund hierfür ist der hohe Instandhaltungsaufwand im Bereich der denkmalgeschützten Gewölbe und Viadukte. Beispielsweise entfallen circa 20% der Gewölbe die die theoretische Nutzungsdauer bereits überschrittenen haben, auf die Semmeringbahnstrecke. Aber auch der für Gewölbe in der Ablöserichtlinie mit 130 Jahren angesetzte Wert ist gering gegenüber von bis zu 200 Jahren in anderen Literaturangaben wie beispielsweise in [3] und [4].

4.3.1. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen der Objekte

Die Verteilung der Anzahl der Schadenskategorien für die einzelnen Objekte ist in Abbildung 30 dargestellt. Die Zuordnung der Schadenskategorien ergab, dass bis zu sechs verschiedene Schadenskategorien für ein Objekt angegeben wurden. Beim Großteil der Objekte waren eine oder zwei Schadenskategorien für die geplante Erneuerung ausschlaggebend, mehr als 3 Schadenskategorien wurden nur sehr selten angegeben. Bei der Nennung mehrerer Schadenskategorien führt zumeist die Summe dieser zur Erneuerung.

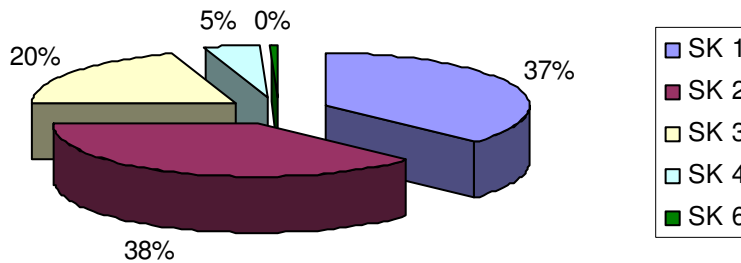


Abbildung 30: Häufigkeit der Anzahl der Schadenskategorien der einzelnen Objekte

Nachfolgend werden die vom Autor in der Auswertetabelle [41] zugeordneten Schadenskategorien für die Stahlvollwandträger, Stahlfachwerke, Trägerbetone, Stahlbetontragwerke, Gewölbe sowie Naturstein- und Betonunterbauten ausgewertet. Da kein Spannbetontragwerk bzw. nur ein Verbundtragwerk gegeben ist, können diese nicht ausgewertet werden.

Im Zuge der Auswertung der Schadenskategorien werden auch die durchschnittliche Anzahl der Schadenskategorien und die durchschnittliche Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk ermittelt. Die teilweise großen Altersdifferenzen sind dadurch entstanden, dass in der Vergangenheit fallweise die Tragwerke auf die bestehenden, zum Zeitpunkt des Tragwerkeinbaues noch intakten, Widerlager errichtet wurden. Zufolge des nunmehr schlechten Instandhaltungszustandes des Unterbaues ist die Erneuerung desselben jetzt jedoch erforderlich. Da sich sowohl die Normenlage (einerseits die technischen Vorschriften andererseits auch die ArbeitnehmerInnenschutzbestimmungen) als auch der Stand der Technik (beispielsweise Fahrbahn mit Schotterbett) verändert haben, werden im Zuge der Unterbautenerneuerungen auch die zugehörigen Tragwerke erneuert.

4.3.1.1. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Stahlvollwandträger

Wie Tabelle 23 zu entnehmen ist, sind im Erneuerungsplan der ÖBB 173 Stahlvollwandträger (diese werden in der technischen Datenbank der ÖBB als Blechträger

bezeichnet) enthalten. In die Spalte „Summe je Schadenskategorie“ ist die Anzahl der Tragwerke angegeben, die der betreffenden Schadenskategorie zugeordnet wurden. Dieser Wert ist auch in Prozenten, bezogen auf die Gesamtanzahl der 173 Verbundtragwerke, dargestellt. Die Werte in der Zeile „Summe und Durchschnitt der SK“ geben die Summe der zu den Stahlvollwandträgern zugeordneten Schadenskategorien sowie die durchschnittliche Anzahl der Schadenskategorien ($344/173 = 2,0$) wider.

In der Spalte „SG Tragwerke und Unterbau“ wird die Anzahl der Objekte und der prozentuelle Wert bezogen auf die Gesamtanzahl der 173 Verbundtragwerke angegeben. Die Anzahl der SG Tragwerke entspricht den Objekten, die der SK Korrosionsschaden und/oder der SK Materialschaden und Risse zugeordnet sind. Die Anzahl der SG Unterbau entspricht den Objekten, die einer oder mehreren der Schadenskategorien Unterbau zugeordnet sind.

In der Spalte „Bausubstanz Summe SG Tragwerk, Unterbau und SK Lagerschaden“ ist die Anzahl der Objekte angegeben, die einer oder mehreren Schadenskategorien der SG Tragwerke, SG Unterbau und SK Lagerschaden zugeordnet sind. Dieser Wert spiegelt wider, wie viele Objekte zufolge der Bausubstanz und nicht beispielsweise durch zu geringe Bemessungsansätze oder zufolge von Lärmschutzmaßnahmen erneuert werden.

Bei der Auswertung der Schadenskategorien wurde auch die Altersdifferenz zwischen dem Tragwerk und dem Unterbau erhoben und daraus das arithmetische Mittel gebildet. Dieser Wert ist in der Zeile „durchschnittliche Altersdifferenz Unterbau- Tragwerk“ angegeben und beträgt für Stahlvollwandträger 19 Jahre.

Schadenskategorie		Summe der Objekte	Summe je Schadens-kategorie		SG Tragwerk und Unterbau		Bausubstanz Summe SG Tragwerk, Unterbau und SK Lagerschaden	
			Stk	%	Stk	%	Stk	%
Stahl- und Verbund-tragwerk	Korrosionsschaden	173	90	52%	97	56%	133	77%
	Materialschaden und Risse		30	17%				
Unterbau	Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolk-schutz		23	13%	105	61%		
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		94	54%				
	Stützen Korrosionsschaden		2	1%				
	Lagerschaden		11	6%				
	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit		45	26%				
	Strategische Gründe		49	28%				
	Summe und Durchschnitt der SK		344	2,0				
durchschnittliche Altersdifferenz Unterbau - Tragwerk					19 Jahre			

Tabelle 23: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Stahlvollwandträger des gesamten Erneuerungsplanes

Wie Tabelle 23 entnommen werden kann, ist bei den Stahlvollwandträger die SG Tragwerk mit 56% etwas weniger ausschlaggebend für die Objekterneuerung, als die SG Unterbau mit 61%. Im Verhältnis sehr hoch mit 28% sind jedoch die strategischen Gründe, wobei die Auswertung zeigt, dass sogar bei 15% der Objekte (dies entspricht 25 Objekten) die strategischen Gründe alleine ausschlaggebend für die Erneuerung sind. Dafür ausschlaggebend ist sicherlich auch, dass die Fahrbahn der Stahlvollwandträger des Erneuerungsplanes zu 96% eine offene Fahrbahn und nur zu 4% ein durchgehendes Schotterbett ist. Bei 26% der Tragwerke sind Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zumindest ein Mitgrund für die Erneuerung.

Die Bausubstanz des Objektes ist zu 77% Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung der Brücke. Die durchschnittliche Anzahl der zugeordneten Schadenskategorien beträgt 2,0, die durchschnittliche Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk ist mit 19 Jahren hoch.

4.3.1.2. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Stahlfachwerke

	Schadenskategorie	Summe der Objekte	Summe je Schadens-kategorie		SG Tragwerk und Unterbau		Bausubstanz Summe SG Tragwerk, Unterbau und SK Lagerschaden	
			Stk	%	Stk	%	Stk	%
Stahl- und Verbund-tragwerk	Korrosionsschaden	52	30	58%	38	73%	50	96%
	Materialschaden und Risse		18	35%				
Unterbau	Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkschutz		0	0%	34	65%		
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		34	65%				
	Stützen Korrosionsschaden		0	0%				
	Lagerschaden		2	4%				
	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit		31	60%				
	Strategische Gründe		3	6%				
	Summe und Durchschnitt der SK		118	2,3				
durchschnittliche Altersdifferenz Unterbau - Tragwerk					8 Jahre			

Tabelle 24: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Stahlfachwerke des gesamten Erneuerungsplanes

Die Erläuterung des Tabellenaufbaus erfolgte in Kapitel 4.3.1.1. Aus Tabelle 24 ist ersichtlich, dass bei den Stahlfachwerken die SG Tragwerk mit 73% gegenüber der SG Unterbau mit 65% geringfügig häufiger für die Erneuerung ausschlaggebend ist und hier wiederum die SK Korrosionsschaden mit 58% die maßgebende ist. Der prozentuelle Anteil der SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ist mit 31% sehr hoch. Dies begründet sich damit, dass die ermittelte, tatsächliche Nutzungsdauer der Fachwerke – wie Kapitel 4.5 zu entnehmen ist – am größten ist. Dies zeigt, dass mit zunehmendem Alter des Tragwerkes die Gründe der Statik und Gebrauchstauglichkeit maßgebender werden.

Die strategischen Gründe sind mit 6% nur von geringer Bedeutung, obwohl die Fahrbahn der Stahlfachwerke des Erneuerungsplanes zur Gänze offene Fahrbahnen sind. Dies lässt sich nur dadurch begründen, dass Großbrücken zur Zeit der Errichtung vorwiegend in un bebauten Gebieten, über Flüsse und tiefere Einschnitte, errichtet wurden und daher beispielsweise in punkto Lärm nicht so zu Buche schlagen. Ebenfalls bremsend wirken die erforderlichen hohen finanziellen Mittel für diese Brücken mit großen Stützweiten. Die Bausubstanz des Objektes ist zu 96% Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung der Brücke. Die durchschnittliche Anzahl der zugeordneten Schadenskategorien ist mit 2,3

höher, als jene der Stahlvollwandträger. Dies ist durch das hohe Alter der Tragwerke und damit dem Nahbereich des Endes der Nutzungsdauer erklärbar. Die durchschnittliche Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk beträgt lediglich 8 Jahre.

4.3.1.3. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Trägerbeton

Schadenskategorie		Summe der Objekte	Summe je Schadens-kategorie		Summe baustoff-spezifisch		SG Tragwerk und Unterbau		Bausubstanz Summe SG Tragwerk, Unterbau und SK Lagerschaden	
			Stk	%	Stk	%	Stk	%	Stk	%
Stahl- und Verbund-tragwerk	Korrosionsschaden	79	40	51%	43	54%	63	80%	77	97%
	Materialschaden und Risse		3	4%						
Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerk	Durchfeuchtung und Aussinterung		27	34%	52	66%				
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		31	39%						
	freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden		5	6%						
Unterbau	Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolk-schutz		12	15%	51	65%				
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		49	62%						
	Stützen Korrosionsschaden		4	5%						
	Lagerschaden		0	0%						
	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit		4	5%						
	Strategische Gründe	4	5%							
Summe und Durchschnitt der SK		179	2,3							
durchschnittliche Altersdifferenz Unterbau - Tragwerk					17 Jahre					

Tabelle 25: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Trägerbetone des gesamten Erneuerungsplanes

Die Erläuterung des Tabellenaufbaus erfolgte in Kapitel 4.3.1.1. Tabelle 25 ist zu entnehmen, dass bei den Trägerbetonen die Tragwerke mit 80% häufiger als der Unterbau mit 65% Auslöser für die Erneuerung sind. Insbesondere fällt auf, dass bei den Tragwerken fast ausschließlich Korrosionsschäden maßgebend sind, insgesamt jedoch die Schäden am Stahlbeton mit 66% häufiger gegeben sind als mit 54% an den Stahlteilen. Strategische Gründe sowie die SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sind nur sehr selten gegeben. Die Bausubstanz des Objektes ist zu 97% Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung der Brücke.

Die durchschnittliche Anzahl der zugeordneten Schadenskategorien beträgt 2,3 die durchschnittliche Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk ist mit 17 Jahren ähnlich hoch wie bei den Stahlvollwandträgern.

4.3.1.4. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Stahlbetonbrücken

Die Auswertung der Anzahl der Schadenskategorien zeigt, dass ein bis drei Schadenskategorien bei den Stahlbetontragwerken ausschlaggebend für die Erneuerung sind, diese ist in Abbildung 31 graphisch dargestellt.

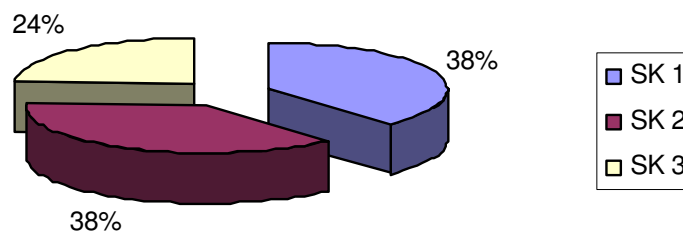


Abbildung 31: Anzahl der Schadenskategorien für die einzelnen Stahlbetonbrücken

Auch bei den Stahlbetontragwerken ist gemäß Tabelle 26 der Auslöser zufolge des Tragwerkes mit 77% häufiger gegeben als zufolge des Unterbaues mit 43%. Der Anteil aus Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ist ähnlich hoch wie bei den Stahlvollwandträgern. Lagerschäden sowie strategische Gründe sind gar nicht bzw. nur sehr selten gegeben. Die Bausubstanz des Objektes ist zu 86% Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung der Brücke.

Der durchschnittliche Altersunterschied zwischen dem Unterbau und dem Tragwerk ist mit 19 Jahren gleich hoch wie bei den Stahlvollwandträgern. Die durchschnittliche Anzahl der zugeordneten Schadenskategorien beträgt 1,9. Die Erläuterung des Tabellenaufbaus erfolgte in Kapitel 4.3.1.1.

	Schadenskategorie	Summe der Objekte	Summe je Schadens-kategorie		SG Tragwerk und Unterbau		Bausubstanz Summe SG Tragwerk, Unterbau und SK Lagerschaden	
			Stk	%	Stk	%	Stk	%
Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerk	Durchfeuchtung und Aussinterung	21	5	24%	15	71%	18	86%
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		12	57%				
	freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden		5	24%				
Unterbau	Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkschutz		2	10%	9	43%		
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		8	38%				
	Stützen Korrosionsschaden		0	0%				
	Lagerschäden		0	0%				
	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	6	29%					
	Strategische Gründe	1	5%					
Summe und Durchschnitt der SK			39	1,9	19 Jahre			
durchschnittliche Altersdifferenz Unterbau - Tragwerk					19 Jahre			

Tabelle 26: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Stahlbetontragwerke des gesamten Erneuerungsplanes

4.3.1.5. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppe für Verbundtragwerke

Im Erneuerungsplan ist nur ein Objekt zur Erneuerung vorgesehen. Bei diesem handelt es sich um eine Stahlbrücke aus dem Jahre 1913. Im Zuge des zweigleisigen Ausbaues in den 60er Jahren wurde die Fahrbahn abgetragen und stattdessen eine Stahlbetonplatte mit Schotterbett eingebaut. Dies entspricht nicht einem Verbundtragwerk im klassischen Sinn, eine Auswertung der Verbundtragwerke zufolge des Erneuerungsplanes ist daher nicht zielführend.

4.3.1.6. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppe für Gewölbe

Die für die Errichtung der Gewölbe in dieser Auswertung verwendeten Baustoffe sind Naturstein, Ziegel und Beton. Die Verteilung der im Erneuerungsplan enthaltenen Gewölbe ist Abbildung 32 zu entnehmen. Demnach sind über 50% der Gewölbe aus Naturstein, sowie ca. jeweils zu einem Viertel aus Ziegel und Beton.

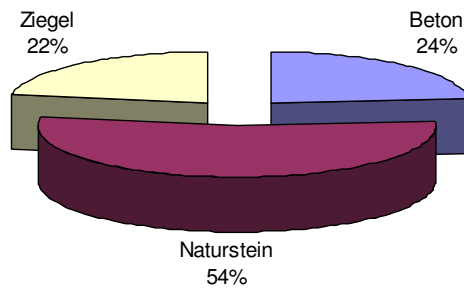


Abbildung 32: Verteilung der Anzahl der verschiedenen Baustoffe der Gewölbe des Erneuerungsplanes

Die Auswertung der Anzahl der Schadenskategorien in Tabelle 27 zeigt, dass die SK Risse und Ausbrüche bei den Gewölben sehr hoch ist. Dies begründet sich sicherlich auch damit, dass bei den Gewölben nicht zwischen Schadenskategorien Tragwerk und Unterbau unterschieden wird.

Schadenskategorie	Summe der Objekte	Summe je Schadens-kategorie		Bausubstanz SG Gewölbe		
		Stk	%	Stk	%	
Gewölbe	85	Risse und Ausbrüche	79	93%	82	96%
		nicht funkt. Abdichtung und Aussinterungen	31	36%		
		Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	2	2%		
		Strategische Gründe	5	6%		
Summe und Durchschnitt der SK		117	1,4			

Tabelle 27: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppe der Gewölbe des gesamten Erneuerungsplanes

Die Zuteilung der Schadenskategorien zeigt, dass bei den Gewölben zu 96% die Bausubstanz des Objektes Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung des Objektes ist. Die Erläuterung des Tabellenaufbaus erfolgte in Kapitel 4.3.1.1.

4.3.1.7. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Natursteinunterbau

	Schadenskategorie	Summe der Objekte	Summe je Schadens-kategorie		SG Unterbau und Tragwerk		Bausubstanz Summe SG Unterbau, Tragwerk und SK Lagerschaden	
			Stk	%	Stk	%	Stk	%
Unterbau	Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkchutz	248	0	0%	156	63%	220	89%
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		156	63%				
Stahl- und Verbund-tragwerk	Korrosionsschäden		141	57%	176	71%		
	Materialschäden und Risse		34	14%				
Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerk	Durchfeuchtung und Aussinterung		29	12%				
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		22	9%				
	freiliegende Bewehrung und Korrosionsschäden		5	2%				
	Lagerschaden		9	4%				
	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit		81	33%				
	Strategische Gründe		30	12%				
	Summe und Durchschnitt der SK	507	2,0					
durchschnittliche Altersdifferenz Unterbau - Tragwerk							19	

Tabelle 28: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Natursteinunterbauten des gesamten Erneuerungsplanes

Die Erläuterung des Tabellenaufbaus erfolgte in Kapitel 4.3.1.1. Wie Tabelle 28 zu entnehmen ist, ist für den Unterbau aus Naturstein ausschließlich die SK Risse, Abplatzungen und Ausbrüche maßgebend. Die SG Unterbau ist geringfügiger maßgebend als die SG Tragwerk. Die Bausubstanz des Objektes ist bei den Natursteinunterbauten zu 89% Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung der Brücke. Im Durchschnitt sind jedem Objekt 2,0 Schadenskategorien zugeordnet. Der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau ist mit 19 Jahren hoch. Dies bedeutet, dass bei einem Teil der Unterbauten bereits das zweite Tragwerk eingebaut wurde.

4.3.1.8. Verteilung der Schadenskategorien und der Schadensgruppen für Betonunterbau

Schadenskategorie		Summe der Objekte	Summe je Schadens-kategorie		SG Unterbau bzw. Tragwerk		Bausubstanz Summe SG Unterbau, Tragwerk und SK Lagerschaden	
			Stk	%	Stk	%	Stk	%
Unterbau	Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkenschutz	84	18	21%	44	52%	65	77%
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		39	46%				
Stahl- und Verbund-tragwerk	Korrosionsschaden		31	37%	45	54%		
	Materialschaden und Risse		6	7%				
Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerk	Durchfeuchtung und Aussinterung		11	13%				
	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche		17	20%				
	freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden		5	6%				
	Lagerschaden		3	4%				
	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit		13	15%				
	Strategische Gründe		29	35%				
	Summe und Durchschnitt der SK	172	2,0					
durchschnittliche Altersdifferenz Unterbau - Tragwerk							24	

Tabelle 29: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Betonunterbauten des gesamten Erneuerungsplanes

Die Erläuterung des Tabellenaufbaus erfolgte in Kapitel 4.3.1.1. Wie Tabelle 29 zu entnehmen ist, ist wie bei den Natursteinunterbauten – jedoch nicht so sehr ausgeprägt – überwiegend die SK Risse, Abplatzungen und Ausbrüche gegeben. Betrachtet man die SG Tragwerk und Unterbau, so ist ersichtlich, dass jeweils ca. die Hälfte der Objekte dieser zugewiesen wurde und zu 35% die Brücken aus strategischen Gründen erneuert werden müssen. Bei den strategischen Überlegungen ist jedoch meist das Tragwerk maßgebend. Die Bausubstanz des Objektes bei den Betonunterbauten ist zu 77% Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung der Brücke. Im Durchschnitt sind jedem Objekt 2,0 Schadenskategorien zugeordnet. Der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau ist mit 24 Jahren sehr hoch.

4.3.2. Verteilung der Schadenskategorien strategische Gründe

Die Auswertung der Aufzeichnungen ergab, dass bei 68 Objekten strategische Gründe für die Erneuerung maßgebend sind, dies entspricht 15% bezogen auf alle zu erneuernden Objekte. Bei 37 Objekten sind die strategischen Gründe ausschließlich Auslöser für die Erneuerung, somit bei ca. 8% der Objekte bezogen auf alle zu erneuernden Objekte. Dies bedeutet, dass bei 8 bis 15% der zu erneuernden Objekte strategische Gründe und nicht das Erreichen des Endes der Nutzungsdauer für die Erneuerung ausschlaggebend sind.

Der Großteil der Schadenskategorie strategische Gründe entfällt auf die Stahlvollwandträger, hier liegt der Anteil bei 28% bzw. 15% wenn diese Schadenskategorie alleine ausschlaggebend ist.

Bei den Brücken des Erneuerungsplanes halten sich die Brücken mit offener Fahrbahn mit 49% und mit Schotterbett mit 51% in etwa die Waage. Auf die aus strategischen Gründen zu erneuernden Objekte entfallen jedoch 92% auf Brücken mit offener Fahrbahn und lediglich 8% auf Brücken mit Schotterbett. Dies bestätigt die Vermutung aus der Praxis, dass Brücken mit offener Fahrbahn häufiger aus strategischen Gründen erneuert werden, als Brücken mit durchgehendem Schotterbett.

4.3.3. Verteilung der Schadenskategorien bzw. der Schadensgruppe bezogen auf die Netzkategorie

In Tabelle 30 ist die Verteilung der unterschiedlichen Schadenskategorien und Schadensgruppen in Abhängigkeit der Netzkategorien dargestellt. Mit dieser Auswertung wird untersucht, ob ein Unterschied der Schadenshäufigkeit der einzelnen Schadenskategorien bzw. Schadensgruppen in Abhängigkeit der Netzkategorien gegeben ist. Für die Tragwerke, Gewölbe und Unterbauten wurden nicht die einzelnen Schadenskategorien sondern deren übergeordnete Schadensgruppe herangezogen, da diese zufolge der größeren Objektsanzahl aussagekräftigere Werte liefern. In der letzten Zeile dieser Tabelle ist die Gesamtanzahl der Objekte des Erneuerungsplanes und die prozentuelle Verteilung bezogen auf die 458 Objekte angegeben. Die restlichen prozentuellen Angaben beziehen sich für das Kernnetz auf die 355 Objekte und für das Ergänzungsnetz auf die 103 Objekte. Der höhere prozentuelle Wert je Schadenskategorie bzw. Schadensgruppe wurde braun, der niedrigere grün hinterlegt.

Aus Tabelle 30 ist ablesbar, dass bei der SG Tragwerk, SK Gewölbe und SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit jeweils die Anzahl der Schadenskategorien des Ergänzungsnetzes geringfügig höher ist als jene des Kernnetzes. Dies ist für die Tragwerke insofern nachvollziehbar, da wie die Auswertung in Kapitel 4.5 zeigt, auch die durchschnittliche Nutzungsdauer der Tragwerke im Ergänzungsnetz größer ist als im Kernnetz. Aber auch die Probleme der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nehmen mit dem zunehmenden Alter der Tragwerke zu.

Schadenskategorie bzw. Schadensgruppe		Kernnetz			Ergänzungsnetz		
		Netz-kategorie A	Netz-kategorie B1	Summe Kernnetz	Netz-kategorie B2	Netz-kategorie C	Summe Ergänzungs-netz
Tragwerk							
Anzahl der Objekte, die dieser SG zugeordnet sind	Stk	150	38	188	14	45	59
prozentueller Anteil*	%	51,4%	60,3%	53,0%	37,8%	68,2%	57,3%
Gewölbe							
Anzahl der Objekte, die dieser SG zugeordnet sind	Stk	55	8	63	11	8	19
prozentueller Anteil*	%	18,8%	12,7%	17,7%	29,7%	12,1%	18,4%
Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit							
Anzahl der Objekte, die dieser SK zugeordnet sind	Stk	54	26	80	10	14	24
prozentueller Anteil*	%	18,5%	41,3%	22,5%	27,0%	21,2%	23,3%
Lagerschaden							
Anzahl der Objekte, die dieser SK zugeordnet sind	Stk	7	5	12	1	1	2
prozentueller Anteil*	%	2,4%	7,9%	3,4%	2,7%	1,5%	1,9%
Unterbau							
Anzahl der Objekte, die dieser SG zugeordnet sind	Stk	136	36	172	9	35	44
prozentueller Anteil*	%	46,6%	57,1%	48,5%	24,3%	53,0%	42,7%
Strategische Gründe							
Anzahl der Objekte, die dieser SK zugeordnet sind	Stk	54	4	58	1	8	9
prozentueller Anteil*	%	18,5%	6,3%	16,3%	2,7%	12,1%	8,7%
Gesamtmenge							
Anzahl der Objekte, die dieser SG zugeordnet sind	Stk	292	63	355	37	66	103
prozentueller Anteil der Netzkategorie	%	63,8%	13,8%	77,5%	8,1%	14,4%	22,5%

* bezogen auf die Gesamtmenge der einzelnen Netzkategorie

Tabelle 30: Verteilung der Schadenskategorien bzw. Schadensgruppen bezogen auf die Netzkategorie

Bei den SK Lagerschaden, SG Unterbau und SK strategische Gründe liegt die Anzahl der Schadenskategorien des Kernnetzes über jenen des Ergänzungsnetzes. Insbesondere bei den strategischen Gründen ist die Anzahl im Kernnetz ca. doppelt so hoch wie im Ergänzungsnetz. Diese Verteilung entspricht auch den eigenen Erfahrungen, da einerseits die Zugsfrequenz im Kernnetz höher ist als jene im Ergänzungsnetz – dadurch wirken sich beispielsweise Lärmbelastigungen stärker aus - und andererseits auch die finanziellen Mittel im Kernnetz eher zur Verfügung stehen als im Ergänzungsnetz.

Wie die Auswertungen in Kapitel 4.5 zeigen, ist die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten im Kernnetz größer als im Ergänzungsnetz, daher ist auch diese Schadenskategorie im Kernnetz häufiger gegeben. Die Aussagekraft der Lager ist zufolge der wenigen Objekte im Ergänzungsnetz gering.

4.3.4. Zusammenfassung der Schadenskategorien

Die Lagerschäden der Objekte des Erneuerungsplans sind sowohl bei den Stahlvollwandträgern mit 6% als auch bei den Stahlfachwerken mit 4% sehr gering. Bei den Stahlbetontragwerken und Trägerbetonen dieser untersuchten Objekte gibt es keine Lagerschäden.

Die Schadenskategorie Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ist bei den robusten Gewölben mit 2% und Trägerbetonen mit 5% gering, bei den Stahlvollwandträgern mit 26% hoch bzw. bei den feingliedrigen Stahlfachwerken mit 60% sogar sehr hoch. Die Stahlfachwerke sind - wie der nachfolgenden tatsächlichen Nutzungsdauerermittlung in Kapitel 4.5 zu entnehmen ist – die Tragwerke mit der höchsten durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer. Dies bedeutet, dass mit zunehmendem Alter des Tragwerkes die Gründe der Statik und Gebrauchstauglichkeit ausschlaggebender werden. Die Vorhersagen der zukünftigen, etwa in den nächsten 100 Jahren, gefahrenen Geschwindigkeiten und Achslasten ist nur bedingt möglich. Es ist aber auch wirtschaftlicher gegebenenfalls Objekte etwas früher zu erneuern, als sie heute mit übermäßigen Lastreserven zu bemessen, die vielleicht nie benötigt werden. Die Ansparung dieser Finanzmittel für die etwas früherer Erneuerung bzw. die Planung des Tragwerkes in der Form, dass eine nachträgliche Verstärkung möglich ist, erscheint sinnvoll. Das bei den ÖBB derzeit der Bemessung der Brückenobjekt zugrunde gelegte Lastbild LM 71 mit $\alpha = 1,21$ und der Schwerwagen SW/2 für alle Normalspurbahnen erscheint jedenfalls sinnvoll.

Der hohe Prozentsatz der Schadenskategorie Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von 29% bei den Stahlbetonbrücken lässt sich einerseits dadurch begründen, dass jene Objekte mit schlechter Ausgangsqualität (Planungs- und Ausführungsmängel) als erstes zu Buche schlagen. Andererseits ist die der Auswertung zugrunde gelegte Objektsanzahl von 6 Stück sehr gering und damit auch deren Aussagekraft.

Die strategischen Gründe sind bei den Objekten mit durchgehendem Schotterbett – Trägerbetone, Stahlbetontragwerke und Gewölbe – mit 5% bis 6% gering. Der geringe

Anteil von 6% bei den Stahlfachwerken lässt sich nur dadurch begründen, dass Großbrücken zur Zeit der Errichtung vorwiegend in un bebauten Gebieten, über Flüsse und tiefere Einschnitte, errichtet wurden und daher beispielsweise in punkto Lärm nicht so zu Buche schlagen. Ebenfalls bremsend wirken die erforderlichen hohen finanziellen Mittel für diese Brücken mit großen Stützweiten. Im Gegensatz dazu sind bei den Stahlvollwandträgern – diese sind zum überwiegenden Teil Tragwerke mit offener Fahrbahn - bei 28% der Objekte strategische Gründe angeführt.

Bei der Schadensverteilung zwischen Tragwerk und Unterbau zeigt sich, dass bei den Stahlvollwandträgern die Häufigkeit der Schadensgruppe Unterbau mit 61% geringfügig größer ist als jene der Schadensgruppe Tragwerke mit 56%. Bei den Stahlfachwerken und Trägerbetonen liegt der Anteil der Schadensgruppe Unterbau jeweils bei 65%, die Schadensgruppe Tragwerke beträgt bei den Stahlfachwerken 73% bzw. bei den Trägerbetonen 80%. Dies bedeutet, dass insbesondere bei den Trägerbetonen das Tragwerk für die Erneuerung des Brückenobjektes maßgebend ist. Am größten ist der Unterschied zwischen den Schadensgruppen Unterbau mit 43% und Tragwerk mit 71% bei den Stahlbetonbrücken. Bei den Betonunterbauten wurde sowohl bei den Tragwerken als auch bei den Unterbauten nur bei ca. 50% das Ende der Nutzungsdauer erreicht.

Vergleicht man die Bausubstanz der einzelnen Auswertungen untereinander, so zeigt sich dass bei den Trägerbetonen (97%), Fachwerken (96%) und Gewölben (96%) diese sehr maßgebend, bei den Natursteinunterbauten (89%) und Stahlbetontragwerken (86%) diese maßgebend und bei den Stahlvollwandträgern (77%) und den Betonunterbauten (77%) diese nur noch bedingt maßgebend für die Erneuerung ist.

Die Verteilung der Schadenskategorie bezogen auf die Netzkategorien zeigt, dass bei den SG Tragwerk, SG Gewölbe und der SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, das Ergänzungsnetz und bei der SG Unterbau und der SK Strategische Gründe das Kernnetz häufiger maßgebend ist. Dies begründet sich damit, dass im Kernnetz häufiger ein Tragwerkstausch durchgeführt wird.

4.4. Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauern

Anhand der Objekte des Erneuerungsplanes werden die tatsächlichen Nutzungsdauern der einzelnen Brücken und daraus die durchschnittliche, tatsächliche Nutzungsdauer der einzelnen Brückengruppen ermittelt. Dazu werden die Brücken den unterschiedlichen Analysegruppen zugeteilt.

4.4.1. Analysegruppen (AG)

Für die Auswertung der Nutzungsdauern werden die nachfolgenden Analysegruppen definiert:

Analysegruppe Sonderbauformen

In der AG Sonderbauformen sind die Sonderbauformen wie Schienen- und Schienenbetontragwerke zusammengefasst. Diese Analysegruppe wird bei den Auswertungen nicht berücksichtigt, da diese Objekte nicht dem Stand der Technik entsprechen und daher auch nicht mehr errichtet werden.

Analysegruppe Gewölbe

In der AG Gewölbe sind alle im Erneuerungsplan enthaltenen Gewölbe zusammengefasst.

Analysegruppe Tragwerk

Die AG Tragwerk enthält all jene Brücken des Erneuerungsplanes, die zumindest der Schadensgruppe Tragwerk zugeordnet wurden. Diese Gruppe entspricht denjenigen Objekten, bei denen das Tragwerk alleine oder zumindest Mitauslöser für die Erneuerung ist. Für die Auswertung wird diese Gruppe oftmals noch in die Analysegruppen Stahlvollwandträger, Stahlfachwerk, Trägerbeton und Stahlbeton unterteilt.

Analysegruppe Tragwerk alleine

Die AG Tragwerk alleine enthält all jene Brücken des Erneuerungsplanes, die ausschließlich der Schadensgruppe Tragwerk zugeordnet wurden. Diese Gruppe entspricht denjenigen Objekten, bei denen das Tragwerk alleine Auslöser für die Erneuerung ist und enthält die Objekte, die jedenfalls für die Bestimmung der Nutzungsdauer herangezogen werden können. Durch die zumeist geringe Anzahl an Objekten ist die Aussagekraft jedoch nur bedingt gegeben.

Analysegruppe Tragwerk instandhaltungsbedingt

In dieser Analysegruppe sind all jene Objekte der Schadensgruppe Tragwerk die nur den unten angeführten Schadenskategorien zugeordnet wurden, zusammengefasst. Die Objekte dieser Analysegruppe lassen auf eine nicht ausreichende Instandsetzung schließen. Diese Schäden können aber auch durch den planmäßigen kontrollierten

Verfall des Objektes gegeben sein. Die Schadenskategorien der Tragwerke sind nachfolgend angeführt:

- Stahl- und Verbundtragwerke Korrosionsschaden
- Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung
- Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden

Analysegruppe Unterbau

Die AG Unterbau enthält all jene Brücken des Erneuerungsplanes, die zumindest der Schadensgruppe Unterbau zugeordnet wurden. Diese Gruppe entspricht denjenigen Objekten, bei denen der Unterbau alleine oder zumindest Mitauslöser für die Erneuerung ist. Für die Auswertung wird diese Gruppe oftmals noch in die Analysegruppen Naturstein- und Betonunterbau unterteilt.

Analysegruppe Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen

Die AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen enthält all jene Brücken der Analysegruppe Unterbau bei denen keine Verstärkungen am Unterbau erfolgten.

Analysegruppe Unterbau alleine

Die AG Unterbau alleine enthält all jene Brücken des Erneuerungsplanes, die ausschließlich der Schadensgruppe Unterbau zugeordnet wurden. Diese Gruppe entspricht denjenigen Objekten, bei denen der Unterbau alleine Auslöser für die Erneuerung ist und enthält die Objekte, die jedenfalls für die Bestimmung der Nutzungsdauer herangezogen werden können. Durch die zumeist geringe Anzahl an Objekten ist die Aussagekraft jedoch nur bedingt gegeben.

Analysegruppe Strategische Objekte

Die AG Strategische Objekte umfasst alle jene Brücken, die ausschließlich aus strategischen Gründen (z.B. Lärmschutz, Fahrdynamik oder Streckenausbau) erneuert werden sollten. Weiters umfasst diese Gruppe auch die Objekte bei denen bereits Hilfs- oder Behelfsbrücken (in Summe 8 Objekte) eingebaut werden mussten.

Analysegruppe Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

In der AG Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sind die Brücken zusammengefasst, die nicht der Schadensgruppe Tragwerk, jedoch der Schadenskategorie Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet wurden. Diese Gruppe spiegelt all jene Objekte wider, die zufolge Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, nicht jedoch zufolge der Bausubstanz das Ende der Nutzungsdauer erreicht haben.

Analysegruppe Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Die AG Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit entspricht den Objekten der AG Tragwerk und der AG Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

4.4.2. Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke

Folgende Tragwerke wurden bei den Brücken des Erneuerungsplans eingebaut, wobei nur für die unterstrichenen Tragwerksgruppen die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer ermittelt wurde:

- Stahlbrücken
 - Stahlvollwandträger
 - Fachwerke
 - Trägerbetone
 - Hohlkastenbrücken
 - Schienentragwerke
 - Schienenbetontragwerke
- Stahlbetonbrücken
- Gewölbe
 - Natursteingewölbe
 - Ziegelgewölbe
 - Betongewölbe

Für die Auswertung der tatsächlichen Nutzungsdauer der Tragwerke werden die Objekte der AG Gewölbe, AG Strategische Objekte, AG Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit und AG Tragwerk bzw. deren Untergruppe AG Tragwerk alleine gemäß Tabelle 31 zugeordnet. Die Zuordnung basiert auf der Auswertetabelle [41] gemäß den Definitionen in Kapitel 4.4.1. Die prozentuellen Angaben beziehen sich auf die 458 Gesamtobjekte des

Erneuerungsplanes. Wie aus Tabelle 31 ersichtlich ist, sind nur 81% der Objekte diesen Analysegruppen zuordenbar. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die restlichen 19% der Analysegruppe Unterbau entsprechen, da das Objekt, das sowohl der Schadensgruppe Tragwerk als auch der Schadensgruppe Unterbau zugeordnet wurde, auch beiden AG zugeordnet wird.

Analysegruppe (AG)	Objekte	
	Stk.	%
Tragwerk	215	47%
Tragwerk alleine	43	9%
Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	32	7%
Gewölbe	85	19%
Strategische Objekte	37	8%
Zwischensumme	369	81%
Gesamtmenge der Brücken des Erneuerungsplanes	458	100%

Tabelle 31: Analysegruppen für die Tragwerke des Erneuerungsplans

In der AG Tragwerk der Tabelle 31 sind all jene Objekte zusammengefasst, die zumindest der Schadensgruppe Tragwerk zugeordnet wurden. Dies sind 215 Objekte bzw. 47% der Gesamtmenge der Objekte des Erneuerungsplanes.

In der AG Tragwerk alleine der Tabelle 31 sind all jene Objekte zusammengefasst, die nur der Schadensgruppe Tragwerk zugeordnet wurden. Dies sind 43 Objekte bzw. 9% der Gesamtmenge des Erneuerungsplanes.

In Abbildung 33 sind die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der einzelnen Tragwerksgruppen für die Gesamtmenge des Erneuerungsplanes, für die AG Tragwerk und für die AG Tragwerk alleine dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass bei den Fachwerken und den Trägerbetonen das Ergebnis sehr stabil ist. Bei den Stahlvollwandträgern ist die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der AG Tragwerk alleine viel größer als jene der Gesamtmenge. Bei den Stahlbetontragwerken ist die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke alleine am geringsten. Bei den Ergebnissen der AG Tragwerk alleine ist jedoch zu beachten, dass nur bei den Trägerbetonen und den Stahlvollwandträgern eine ausreichende Objektanzahl von mindestens 10 Objekten gegeben ist, dementsprechend groß ist der Einfluss des Einzelwertes bei den anderen Tragwerksgruppen. Zuzugle der Differenz der

durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der einzelnen Tragwerksgruppen ist es jedenfalls sinnvoll die Objekte getrennt für die einzelnen Gruppen zu analysieren.

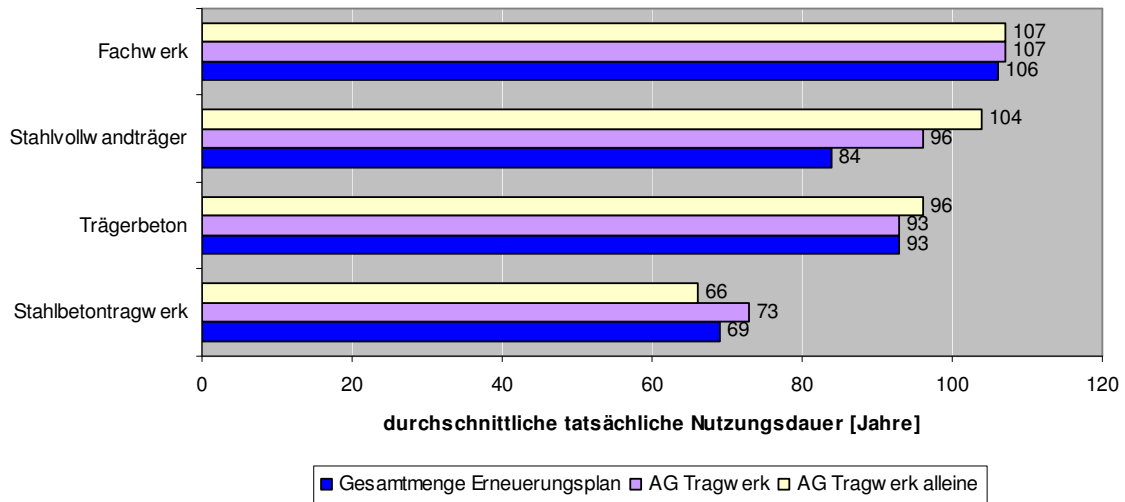


Abbildung 33: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke für die verschiedenen AGs

Der AG Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Tabelle 31 sind all jene Objekte zugeordnet, die der Schadenskategorie Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit jedoch nicht der Schadensgruppe Tragwerk zugeordnet wurden, diese umfasst 32 Objekte bzw. 7% der Gesamtmenge des Erneuerungsplanes.

Für einzelne Auswertungen und Sensitivitätsanalysen wurden die AG Tragwerk und AG Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zur AG Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zusammengefasst.

Die Auswertung der 85 Gewölbe erfolgt getrennt in der AG Gewölbe.

In die AG Strategische Objekte der Tabelle 31 fallen 37 Objekte, dies entspricht 8% der Gesamtanzahl des Erneuerungsplanes. Diese Gruppe umfasst alle Hilfs- und Behelfsbrücken sowie alle restlichen Brücken, die ausschließlich der SK strategische Gründe zugeordnet wurden.

Die Auswertung der Nutzungsdauern der zu untersuchenden Tragwerksgruppen - Stahlvollwandträgern, Stahlfachwerke, Trägerbetone und Stahlbetontragwerke – in Abhängigkeit der verschiedenen Analysegruppen erfolgt in Tabelle 32. Ebenso erfolgt in

dieser Tabelle die Auswertung der Nutzungsdauer für die AG Gewölbe und AG strategische Objekte. Die Anzahl der Objekte, die den einzelnen Analysen zugrunde gelegt wurden, schwanken in dieser Auswertung zwischen 1 und 171 Objekten. Der Wert Δ Nutzungsdauer gibt die Abweichung der tatsächlichen Nutzungsdauer zur theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB [1] (100 Jahre für Stahltragwerke und Trägerbetone sowie 70 Jahre für Stahlbetontragwerke) an.

Im Zuge dieser Arbeit wurde festgelegt, dass repräsentative Nutzungsdauern erst ab einer Anzahl von zumindest 10 Objekten je Auswertung gegeben sind. Diese Werte sind in der Tabelle eingerahmt und fett dargestellt. Die Anzahl der einzelnen Stahltragwerkskonstruktionen ist zumeist ausreichend, um eine Aussage für die einzelnen Analysegruppen treffen zu können. Zuzufolge der geringen Anzahl der Stahlbetontragwerke ist die Aussagekraft für diese Nutzungsdauern nur bedingt gegeben.

Für die Ermittlung der tatsächlichen Nutzungsdauer der Tragwerke können nur jene Objekte verwendet werden, deren Baujahr bekannt ist. Daher ist die Anzahl der Objekte für die Ermittlung der tatsächlichen Nutzungsdauer vereinzelt kleiner als die Summe der Objekte in Tabelle 31.

Analysegruppen Tragwerksgruppen			Gesamtmenge des Erneuerungsplans	Tragwerk	Tragwerk alleine	Tragwerk instandhaltungsbedingt	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Strategische Objekte	Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit
Stahlvollwandträger									
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer	Jahre		84	96	104	97	89	52	95
Anzahl der Objekte	Stk.		171	100	10	90	17	26	117
□ Nutzungsdauer*	□		84%	96%	104%	97%	89%	52%	95%
Stahlfachwerk									
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer	Jahre		106	107	107	105	108	79	107
Anzahl der Objekte	Stk.		52	38	2	30	10	1	48
□ Nutzungsdauer*	□		106%	107%	107%	105%	108%	79%	107%
Trägerbeton									
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer	Jahre		93	93	96	95	101	101	94
Anzahl der Objekte	Stk.		78	63	24	48	2	1	65
□ Nutzungsdauer*	□		93%	93%	96%	95%	101%	101%	94%
Stahlbetontragwerk									
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer	Jahre		69	73	66	70	52	61	70
Anzahl der Objekte	Stk.		21	15	7	8	3	1	18
□ Nutzungsdauer*	□		99%	104%	94%	100%	74%	87%	100%

* Abweichung der tatsächlichen Nutzungsdauer zur theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB

Tabelle 32: Anzahl und durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke bezogen auf die unterschiedlichen AGs

Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Stahlvollwandträger, Stahlfachwerke und Trägerbetone in Tabelle 32 zeigt, dass zufolge der großen Schwankungen eine getrennte Analyse der Stahltragwerke jedenfalls notwendig ist. Es zeigt sich auch, dass die durchschnittliche Nutzungsdauer der Gesamtmenge des Erneuerungsplanes zumeist geringer ist als die durchschnittliche Nutzungsdauer der AG Tragwerk bzw. AG Tragwerk alleine.

Ebenfalls ist der Auswertung in Tabelle 32 zu entnehmen, dass bei der AG Tragwerk alleine – mit Ausnahme der Trägerbetone und der Stahlvollwandträger - nur eine sehr geringe Anzahl an Objekten enthalten ist. Daher wird die AG Tragwerk für die Ermittlung des Basiswertes der einzelnen Tragwerksgruppen herangezogen. Die AG Tragwerk alleine dient für die Rundung der Werte.

Würde die Gesamtmenge des Erneuerungsplanes für die Bestimmung der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer herangezogen werden, würde der im

Zuge dieser Arbeit ermittelte Wert reduziert werden, da auch Objekte mit sehr geringer Nutzungsdauer mitberücksichtigt sind. Die Erneuerung dieser Objekte ist jedoch zumeist nicht zufolge der Bausubstanz, sondern aus strategischen Gründen erforderlich.

Ein Teil der definierten Schadenskategorien lässt auf eine nicht ausreichende Instandsetzung schließen. Diese Schäden können aber auch durch den planmäßigen kontrollierten Verfall des Objektes gegeben sein. Der kontrollierte Verfall kann vor allem dann sinnvoll sein, wenn auch andere Gründe für eine Erneuerung des Objektes sprechen. Diese Schadenskategorien der Tragwerke sind nachfolgend angeführt:

- Stahl- und Verbundtragwerke Korrosionsschaden
- Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung
- Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden

Die Auswertung in Tabelle 32 hat gezeigt, dass der Unterschied der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der AG Tragwerk und AG Tragwerke instandsetzungsbedingt sehr gering ist, daher erfolgt diese Unterteilung für die weiteren Untersuchungen nicht.

Der Unterschied der Nutzungsdauern der AG Tragwerk und die zusammengefasste AG Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ist ebenfalls gering. Die nachfolgende Ermittlung der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer wird daher mit der AG Tragwerk und wie zuvor festgelegt nur vergleichsweise dazu auch mit der AG Tragwerk alleine durchgeführt. Mit dieser Vorgehensweise werden die aussagekräftigsten Werte für die Nutzungsdauer bestimmt, bzw. spiegeln die so erhaltenen Werte das Ende der Nutzungsdauer des Tragwerkes zufolge der Bausubstanz des Objektes am besten wider.

Analysegruppen		
Gewölbe		
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer	Jahre	117
Anzahl der Objekte	Stk.	85
Strategische Objekte		
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer	Jahre	54
Anzahl der Objekte	Stk.	37

Tabelle 33: Anzahl und durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte der AGs Gewölbe und Strategische Gründe.

Die absolut höchste, durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer ergeben gemäß Tabelle 33 die Gewölbe mit 117 Jahren. Vergleicht man diese Werte mit jenen der Literatur von bis zu 200 Jahren, so scheint diese Zahl jedoch eher gering. Andererseits kann zufolge der Erkenntnisse in Kapitel 4.3 – der Prozentsatz der Objekte des Erneuerungsplanes ist viel geringer als der Prozentsatz der Objekte, die die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB überschritten haben - darauf geschlossen werden, dass sich diese Objekte erst am Beginn der Abgangskurve befinden.

Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke der AG Strategische Objekte ist gemäß Tabelle 33 mit 54 Jahren erwartungsgemäß niedriger als jene der restlichen Analysegruppen der Tabelle 32. Die häufigsten Auslöser für die Erneuerung aus strategischen Gründen sind Fahrdynamik im Übergangsbereich, Ausbau der Behelfs- und Hilfsbrücken, Lärmschutz und Streckenausbau. Die Fahrdynamik und der Lärmschutz sind durch die offene Fahrbahn gegeben.

In Tabelle 34 ist die Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der einzelnen Tragwerksgruppen für die AG Tragwerk dargestellt. Am rechten Rand sind die theoretischen Nutzungsdauern der einzelnen Brückengruppen gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB angeführt. Die Auswertung zeigt, dass die tatsächlichen Nutzungsdauern der Stahltragwerke konzentriert im Bereich der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie liegen, die Stahlbetontragwerke und Gewölbe weisen eine größere Streuung auf.

tatsächliche Nutzungsdauer	Stahlvollwand-träger Stk	Stahlfachwerk Stk	Trägerbeton Stk	Stahlbeton Stk
170 - 179				
160 - 169				
150 - 159				
140 - 149				
130 - 139	3			
120 - 129	2	1		
110 - 119	15	15		
100 - 109	30	15	26	2
90 - 99	23	3	21	2
80 - 89	14	4	11	3
70 - 79	4		1	1
60 - 69	2			1
50 - 59	3		2	3
40 - 49	1		1	2
30 - 39				1
20 - 29	2		1	
10 - 19	1			
0 - 9				
Summe der Objekte	100	38	63	15

Überschreitung der Nutzungsdauer gem. Ablöserichtlinie in %

50%	82%	41%	53%
-----	-----	-----	-----

Tabelle 34: Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der Analysegruppe Tragwerk

Betrachtet man die Verteilung der Nutzungsdauern der einzelnen Brückengruppen der Tabelle 34 im Detail, so ist folgendes ersichtlich:

Die Stahlfachwerke überschreiten mit 82% zum überwiegenden Teil die theoretische Nutzungsdauer. Jene Tragwerke, die vor der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB erneuert werden müssen, liegen ebenfalls sehr nahe bei dieser.

Bei den Trägerbetonen liegen die Nutzungsdauern der Tragwerke konzentriert im Bereich der theoretischen Nutzungsdauer der ÖBB vor. Es gibt nur einige Ausreißer deren Nutzungsdauern deutlich unter der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie liegen. Gemäß Tabelle 34 haben 41% der Objekte der AG Tragwerk die theoretische Nutzungsdauer überschritten.

Bei den Stahlvollwandträgern ist analog zu den Trägerbetonen eine Konzentration der Nutzungsdauer rund um die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie

ersichtlich. Vereinzelt sind die tatsächlichen Nutzungsdauern jedoch auch sehr niedrig. Die theoretische Nutzungsdauer der AG Tragwerk haben 50% der Objekte überschritten.

Eine sehr große Streuung weisen die Stahlbetontragwerke auf, 53% der Objekte der AG Tragwerk haben die theoretische Nutzungsdauer überschritten. Hier zeigt sich, dass Stahlbetontragwerke die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie weit übersteigen können, aber teilweise auch sehr früh erneuert werden müssen. Dies erklärt sich damit, dass bis ca. 1940 nur sehr wenige Stahlbetontragwerke errichtet wurden, danach stieg die Anzahl jedoch sehr stark an. Daher ist die relative Anzahl der Erneuerungsobjekte (bezogen auf die Objekte der im betreffenden Jahrzehnt errichteten und noch vorhandenen Tragwerke) die aussagekräftigere Kenngröße. Die Ermittlung und Auswertung dieser erfolgt im Zuge der Basiswertermittlung im Kapitel 4.5.

4.4.3. Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten

Die Unterbauten des Erneuerungsplanes setzen sich aus folgenden Baustoffen zusammen, wobei nur für die unterstrichenen Unterbautengruppen die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer ermittelt wurde:

- Beton
- Naturstein
- Stahlbeton
- Stampfbeton
- Ziegel
- Naturstein - Beton
- Ziegel – Naturstein

Für die Auswertung der tatsächlichen Nutzungsdauer des Unterbaues werden die Objekte gemäß Tabelle 35 den AG Sonderbauformen, AG Gewölbe, AG Strategische Objekte, AG Unterbau, und deren Untergruppen AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen und AG Unterbau alleine zugeordnet. Die Zuordnung basiert auf der Auswertetabelle [41] gemäß den Definitionen in Kapitel 4.4.1. Die prozentuellen Angaben beziehen sich auf die 458 Gesamtobjekte des Erneuerungsplanes.

Wie aus Tabelle 35 ersichtlich ist, sind nur 76% der Objekte diesen Analysegruppen zuordenbar. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die restlichen 24% der Analysegruppe Tragwerk und Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit entsprechen.

Analysegruppe (AG)	Objekte	
	Stk.	%
Unterbau	186	43%
Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen	149	34%
Unterbau alleine	28	6%
Sonderbauformen	39	9%
Gewölbe	85	19%
Strategische Objekte	37	8%
Zwischensumme	347	76%
Gesamtmenge der Brücken des Erneuerungsplanes	458	100%

Tabelle 35: Analysegruppen für die Unterbauten des Erneuerungsplans

Die AG Gewölbe und AG Strategische Gründe wurden bereits im Kapitel 4.4.2 analysiert.

In der AG Unterbau sind all jene Objekte zusammengefasst, die keine Sonderbauformen sind und zumindest der Schadensgruppe Unterbau zugeordnet wurden. Dies sind 186 Objekte bzw. 43% der Gesamtmenge des Erneuerungsplanes.

In der AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen sind all jene Objekte zusammengefasst, die zumindest der Schadensgruppe Unterbau zugeordnet, und an welchen keine Verstärkungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Dieser Gruppe sind 149 Objekte bzw. 34% der Gesamtmenge des Erneuerungsplanes zugeordnet.

In der AG Unterbau alleine sind all jene Objekte zusammengefasst, die nur der Schadensgruppe Unterbau zugeordnet wurden. Dies sind 28 Objekte bzw. 6% der Gesamtmenge des Erneuerungsplanes.

In der AG Sonderbauformen sind die Unterbauten der Schienenbeton- und der Schienentragwerke zusammengefasst. Die Tragwerke dieser Objekte werden einem kontrollierten Verfall zugeführt und die Erneuerung erfolgt dann für das gesamte Objekt. Daher werden diese Unterbauten bei der Ermittlung der theoretischen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt. Diese AG umfasst 39 Objekte bzw. 9% der Gesamtmenge des Erneuerungsplanes.

Unterbau		Gesamtlänge des Erneuerungsplans ohne Gewölbe	Unterbau	Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen	Unterbau alleine	Strategische Objekte	Sonderbauformen
Betonunterbau							
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer	Jahre	95	94	89	109	81	104
Anzahl der Objekte	Stk.	74	38	28	6	16	6
Δ Nutzungsdauer*	%	86%	85%	81%	99%	74%	95%
Natursteinunterbau							
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer	Jahre	113	116	112	105	95	111
Anzahl der Objekte	Stk.	240	131	104	17	13	30
Δ Nutzungsdauer*	%	102%	105%	102%	95%	87%	100%

* Abweichung der tatsächlichen Nutzungsdauer zur theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB

Tabelle 36: Anzahl und durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauern der Unterbauten bezogen auf die einzelnen Analysegruppen

Die Auswertung der tatsächlichen Nutzungsdauer vom Unterbau erfolgt für die Naturstein- und Betonunterbauten in Abhängigkeit der einzelnen Analysegruppen in Tabelle 36. Die Mindestanzahl von 10 Objekten kann bei fast allen Auswertungen eingehalten werden. Der Wert Δ Nutzungsdauer gibt die Abweichung der tatsächlichen Nutzungsdauer zur theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB (110 Jahre für Beton- und Natursteinunterbauten) an. Die Auswertung zeigt, dass die Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten in fast jeder Analysegruppe die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB von 110 Jahren erreicht, die Betonunterbauten jedoch nie.

Unterbauten aus Naturstein liefern in allen Analysegruppen die höchste durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass hier wiederum das verwendete Steinmaterial eine große Rolle spielt und es beispielsweise bei Kalkstein häufiger zu einem Baustoffzerfall kommt. Unterbauten aus Beton liefern in dieser Auswertung zumeist eine geringere tatsächliche Nutzungsdauer. Dabei ist jedoch zu beachten, dass Beton ein verhältnismäßig junger Baustoff ist.

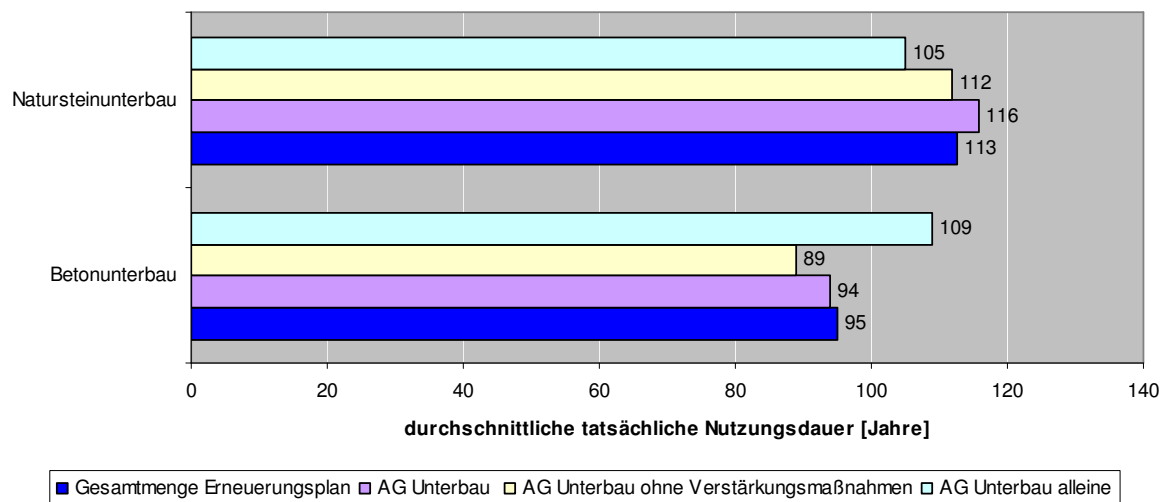


Abbildung 34: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues für die verschiedenen AGs.

Aus Abbildung 34 ist ersichtlich, dass die tatsächliche Nutzungsdauer der AG Unterbau bei Naturstein und Beton nur geringfügig von der tatsächlichen Nutzungsdauer der Gesamtmenge abweicht. Erwartungsgemäß liefert die AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen geringere Werte als die AG Unterbau. Die tatsächliche Nutzungsdauer der AG Unterbau alleine ist bei den Natursteinen geringer und bei den Betonunterbauten größer als bei anderen AGs. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Wert der AG Unterbau alleine für Betonunterbauten nur auf 6 Objekten basiert und daher die Aussagekraft nur bedingt gegeben ist.

Da die Verbesserung ein Bestandteil der Instandhaltung ist und die AG Unterbau alleine keine ausreichende Menge an Objekten liefert, wird in Analogie zu den Tragwerken der Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer auf Basis der AG Unterbau ermittelt. Die AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen und AG Unterbau alleine werden zu Vergleichszwecken und zur Rundung des Ergebnisses herangezogen.

4.4.3.1. Beispielhafte Ermittlung der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Unterbauten

Die Ermittlung der in Abbildung 34 für die Analysegruppe Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen angegebenen Werte, 112 Jahre für den Natursteinunterbau und 89 Jahre für den Betonunterbau, wird nachfolgend erläutert.

Aus der Auswertetabelle [41] wurden, wie in Tabelle 33 dargestellt, folgende Objekte herausgefiltert:

- Der Filter „Brückentyp“ wurde auf Eisenbahnbrücken gesetzt. Dadurch werden nur die Eisenbahnbrücken ausgewertet.
- Der Filter „Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse“ wurde auf u gesetzt. Dadurch werden alle Objekte herausgefiltert, welche der Analysegruppe Unterbau zugrunde gelegt wurde.
- Mittels des Filters „Baustoff Unterbau“ wurden die Objekte des Unterbaus aus Beton und Naturstein herausgefiltert.
- Der Filter „Baujahr Verstärkung Unterbau“ wurde auf Leer gesetzt. In dieser Spalte wurde das Jahr der Verstärkungsmaßnahme eingetragen, ist dieses Feld leer, dann gab es keine Maßnahme. Damit erhält man all jene Objekte, welche der Analysegruppe Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen entsprechen.
- Die Auswertung nach dem Mittelwert erfolgte anhand der Spalte „tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan“. Die tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues errechnet sich aus dem Jahr der geplanten Erneuerung abzüglich des Errichtungsjahrs des Unterbaues. Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer ergibt sich durch die Auswertung des Mittelwertes der gefilterten Daten.

	A	B	C	D
1	Brücken Typ	Eisenbahnbrücke		
2	Zustandbewertung alt oder neu	(Alle)		
3	Dekade Alter Unterbau - TW	(Alle)		
4	Fahrbahn Bezeichnung	(Alle)		
5	Nutzung in Brückenöffnung	(Alle)		
6	Brücken letzter Zustand	(Alle)		
7	Dekade der tat ND Tragwerk	(Alle)		
8	Tragwerk Konstruktion	(Alle)		
9	Netzkategorie	(Alle)		
10	Tragwerk System	(Alle)		
11	Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse	u		
12	Baujahr Verstärkung Unterbau	(Leer)		
13				
14	Mittelwert von tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan			
15	Baustoff Unterbau	Ergebnis		
16	Beton	89,00		
17	Naturstein	111,84		
18	Ziegel	99,31		
19	Gesamtergebnis	106,30		
20				

Abbildung 35: Auswertung der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer des Unterbaues ohne Verstärkungsmaßnahmen

Abbildung 35 zeigt die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer auf ganze Zahlen gerundet. Das sind 112 Jahren für Natursteinunterbauten und 89 Jahren für Betonunterbauten.

4.5. Basiswerte der tatsächlichen Nutzungsdauer

Die Auswertung des Basiswertes beruht auf der Analysegruppe Tragwerk bzw. Unterbau. Die Analysegruppe Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit wird nicht berücksichtigt, da diese insbesondere auch Tragwerke, bei denen Planungs- und Ausführungsmängel vorliegen, beinhaltet. Diese würden die tatsächliche Nutzungsdauer reduzieren. Durch eine detaillierte Untersuchung der Nutzungsdauern insbesondere der Objekte, die die theoretische Nutzungsdauer nicht erreicht haben, wird der Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer ermittelt.

Die den Basiswert ergebenden Nutzungsdauern beziehen sich schwerpunktmäßig auf eine bestimmte Errichtungsepoche, welche durch die relative Häufigkeit – Verhältnis der ausgewählten Tragwerksflächen des Erneuerungsplanes zu den gesamten Tragwerksflächen des Erneuerungsplanes der betrachteten Epoche – bestimmt wird. Der Basiswert entspricht somit der Nutzungsdauer des gehäuften Errichtungszeitpunktes der Objekte des Erneuerungsplanes. Diese Basiswerte dienen dann als Grundlage für die Ermittlung der Plan- und Restnutzungsdauern.

4.5.1. Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlvollwandträger

In Abbildung 36 ist die Verteilung der Brückenflächen der gesamten, noch vorhandenen Stahlvollwandträgern und der zu erneuernden AG Tragwerk für die einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Bei der AG Tragwerk ist eine Häufung der zu erneuernden Tragwerksflächen im Bereich von 1890 bis 1929 ersichtlich. Die Gesamtmenge der Stahlvollwandträger schwankt über die einzelnen Baujahrzehnte.

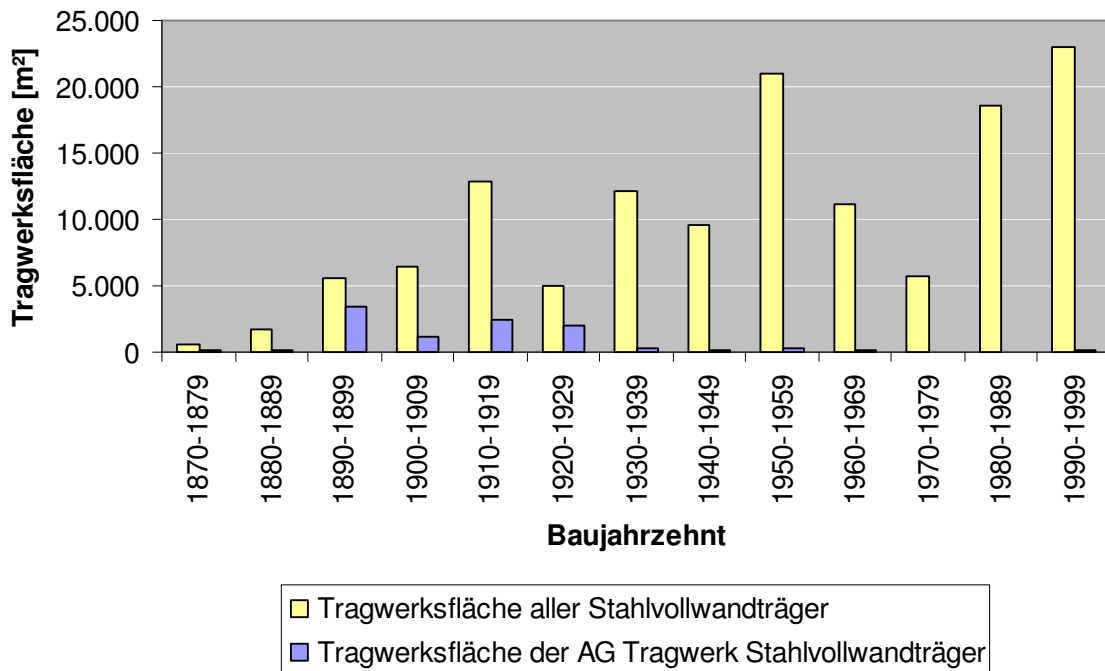


Abbildung 36: Absolute Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlvollwandträger

In Abbildung 37 sind die Tragwerksflächen der AG Tragwerk bezogen auf die noch vorhandenen Stahlvollwandträgerflächen für die einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Aus dieser relativen Betrachtung ist ersichtlich, dass eine Häufung im Bereich zwischen 1890 und 1929 gegeben ist. Die Werte danach sind verschwindend gering. Es ist eine gute Übereinstimmung der maßgeblichen Errichtungsepoche der zu erneuernden Objekte bei absoluter (1890 – 1929) und relativer (1890 – 1929) Betrachtung gegeben. Der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlvollwandträger wird der Bereich der relativen Häufung der Errichtungsepoche von 1890 bis 1929 zugrunde gelegt.

Gemäß Auswertung des durchschnittlichen Erneuerungszeitpunktes der AG Tragwerk Stahlvollwandträger liegt dieser im Jahre 2013. Bezieht man die relative Errichtungsepoche der Stahlvollwandträger auf diesen Erneuerungszeitpunkt, so ergibt dies eine Bandbreite der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlvollwandträgerbrücken von 84 bis 123 Jahren.

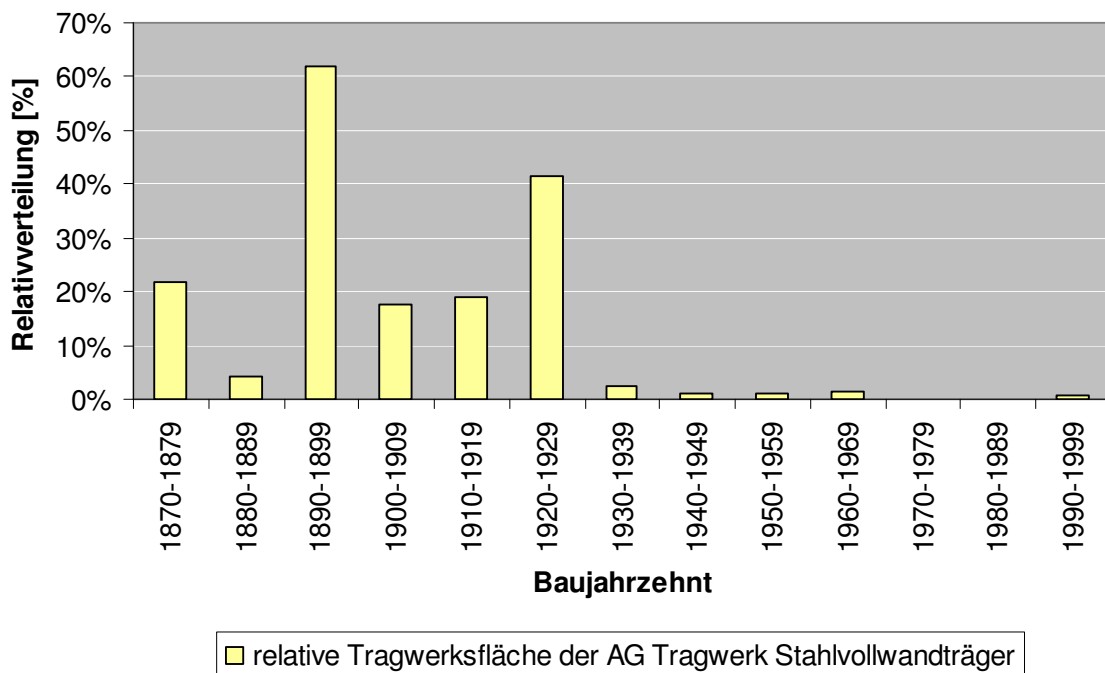


Abbildung 37: Relative Verteilung der Tragwerksfläche der Stahlvollwandträger

In Abbildung 38 sind die Anzahl der Stahlvollwandträger der AG Tragwerk und AG Tragwerk alleine in Abhängigkeit der tatsächlichen Nutzungsdauer aufgetragen. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist, liegt der Großteil der AG Tragwerk Stahlvollwandträger – in absoluter Zahl betrachtet – im Nutzungsdauerbereich von 80 bis 119 Jahren und somit im Bereich der relativen Brückenflächenerneuerung von 84 bis 123 Jahren. Die Auswirkung der wenigen alten Brückenobjekte kommt bei der relativen Auswertung jedoch besser zur Geltung, da diese nur in einer geringen Anzahl gegeben sind.

Die Anzahl der Objekte AG Tragwerk alleine ist sehr gering, dieser Wert wird nur für die Rundung des Basiswertes berücksichtigt. Die maßgebenden Nutzungsdauern liegen im Bereich zwischen 100 und 129 Jahren. Das Objekt mit 20-29 Jahren Nutzungsdauer ist ein Alttragwerk und wird daher für die Auswertung nicht berücksichtigt.

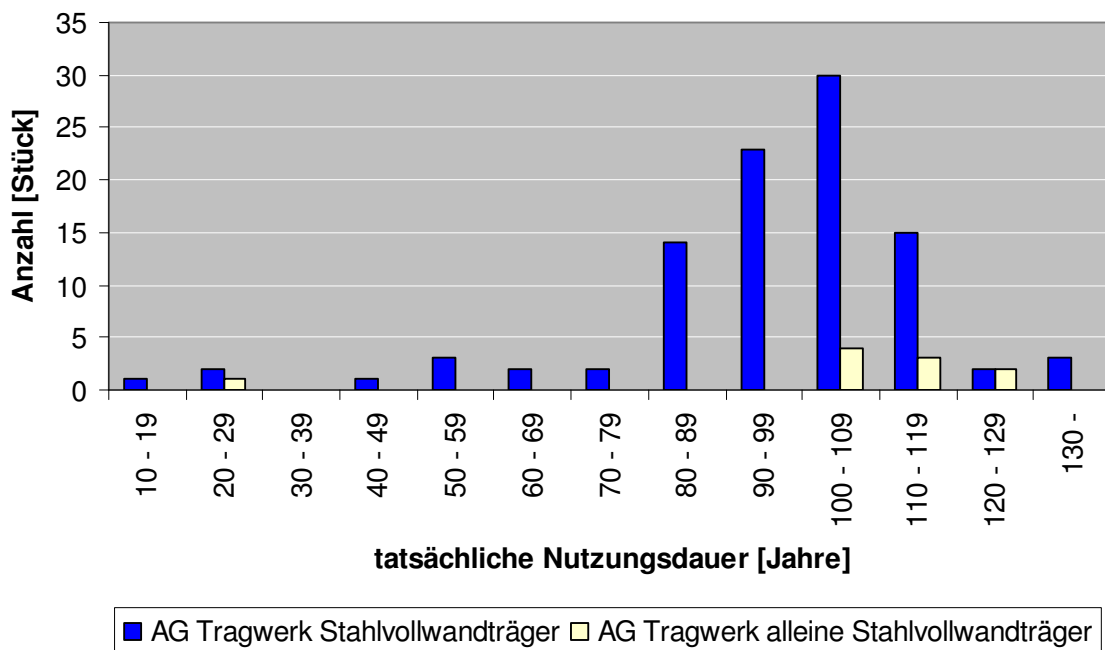


Abbildung 38: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Tragwerk Stahlvollwandträger

Alle Tragwerke, deren Nutzungsdauer kleiner als 80 Jahre ist, werden im Detail betrachtet. Dabei werden all jene Objekte ausgeschieden, bei denen das Tragwerk nur Mitauslöser zufolge eines planmäßigen Verfalles ist. Mit den so ermittelten Objekten wird der Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer anhand von Tabelle 37 erhoben.

- 1 Objekt Nutzungsdauer 10-19 Jahre: Dieses Objekt ist den SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche und SK Lagerschaden zugeordnet. Der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau beträgt 111 Jahre. Zuzufolge der Schäden am Unterbau und des hohen Altersunterschiedes zwischen dem Tragwerk und dem Unterbau wurde dieses Objekt offensichtlich einem planmäßigen Verfall zugeführt. Dieses Objekt wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.
- 2 Objekte Nutzungsdauer 20-29 Jahre: Bei diesen Objekten wurden Alttragwerke eingebaut, das angegebene Alter entspricht somit nicht dem Tragwerksalter, sondern dem Einbauzeitpunkt. Zusätzlich weist ein Objekt massive Ausführungsmängel zufolge des Tragwerkumbaus auf. Da die angegebene Nutzungsdauer nicht der tatsächlichen Nutzungsdauer der Tragwerke entspricht, werden diese Tragwerke für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt. Das Objekt, das nur der SG Tragwerk

zugeordnet wurde, wird, da es eine Alttragwerk ist, auch nicht für die Auswertung der AG Tragwerk alleine berücksichtigt.

- 1 Objekt Nutzungsdauer 40-49 Jahre: Dieses Objekt ist der SK Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden, SK Lagerschaden, SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche und SK Unterbau Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkenschutz zugeordnet. Der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau beträgt 59 Jahre. Zuzufolge der Schäden am Unterbau und dem hohen Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau wurde dieses Objekt offensichtlich einem planmäßigen Verfall zugeführt. Dieses Objekt wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.
- 3 Objekte Nutzungsdauer 50-59 Jahre: Zwei Objekte weisen massiven Korrosionsschäden auf und sind auch der SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugeordnet. Der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau beträgt 82 bzw. 85 Jahre. Das Baujahr des Unterbaus des dritten Tragwerkes ist unbekannt, es erscheint nahe liegend, dass der Unterbau analog zu den vorigen Objekten im Zuge des Bahnbaues errichtet wurde. Da dieses Tragwerk keine massiven Korrosionsschäden aufweist und es auch der SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugeordnet wurde, ist offensichtlich der Unterbau ausschlaggebend für die Erneuerung. Diese drei Objekte werden für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.
- 2 Objekte Nutzungsdauer 60-69 Jahre: Beide Objekte sind der SK Korrosionsschaden und SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet. Bei dem Tragwerk, welches zusätzlich auch der SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugeordnet ist, ist ein Hilfsbrückeneinbau geplant. Daher ist offensichtlich bei diesen Objekten das Tragwerk Auslöser für die Erneuerung. Diese Objekte werden für die Ermittlung der tatsächlichen Nutzungsdauer der Tragwerke verwendet.
- 2 Objekte Nutzungsdauer 70-79 Jahre: Ein Objekt weist massive Korrosionsschäden auf, dieses ist auch der SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugewiesen, der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau beträgt 55 Jahre. Dieses Objekt wurde offensichtlich zuzufolge des Unterbaues einem planmäßigen Verfall zugeführt und wird daher für die Ermittlung des Basiswertes der Tragwerke ebenfalls nicht berücksichtigt.
Das Objekt mit leichten Korrosionsschäden ist auch den SK Tragfähigkeit und

Gebrauchstauglichkeit, SK Lagerschaden und SK Unterbau Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkschutz zugeordnet. Das Alter des Tragwerkes ist analog dem Alter des Unterbaues. Bei diesem Objekt ist offensichtlich das Tragwerk Auslöser für die Erneuerung. Dieses eine Objekt wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.

Die oben angeführten Punkte lassen den Schluss zu, dass Objekte unter 80 Jahren Nutzungsdauer – mit Ausnahme der 3 ermittelten Tragwerke - nicht für die Ermittlung des Basiswertes der Nutzungsdauer berücksichtigt werden sollten. Die sich daraus ergebende durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der selektierten 90 Objekte beträgt 101 Jahre.

Für die Ermittlung des Basiswertes werden nur all jene Tragwerke berücksichtigt, deren Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau kleiner als 10 Jahre ist. Dieser Wert wurde in Analogie zu den Nutzungsdauern der Ablöserichtlinie (100 Jahre Stahltragwerk und 110 Jahre Widerlager aus Naturstein und Beton) vom Autor festgelegt.

Dabei verbleiben 54 Objekte mit einer durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer von 106 Jahren. In Tabelle 37 werden diese Objekte in die Netzkategorie Kern- und Ergänzungsnetz sowie in die Tragwerke mit Schotterbett und Tragwerke mit offener Fahrbahn aufgeteilt.

Ebenfalls erfolgt in dieser Tabelle zum Vergleich die Auswertung dieser selektierten Daten für die AG Tragwerk alleine. Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer dieser AG ist für das Kernnetz größer und für das Ergänzungsnetz ca. gleich dem Wert der AG Tragwerk. Die Anzahl der Brücken der AG Tragwerk alleine ist insbesondere im Kernnetz sehr gering.

Basiswert Stahlvollwandträger	Stk	Jahre	Kernnetz		Ergänzungsnetz	
			Stk.	Jahre	Stk.	Jahre
selektierte Werte AG Tragwerk	90	101				
weilers selektiert Altersdiff. < 10 Jahre	54	106	35	102	19	113
Schotterbett			4	104	1	106
Offene Fahrbahn			31	102	18	113
selektierte Werte AG Tragwerk alleine	9	113				
weilers selektiert Altersdiff. < 10 Jahre	9	113	1	125	8	111
Schotterbett					1	106
Offene Fahrbahn			1	125	7	112

Tabelle 37: tatsächliche Nutzungsdauer der Stahlvollwandträger

Da diese errechneten Zahlen eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, wird der Basiswert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Als Basiswert für Stahlvollwandträgerbrücken im Kernnetz mit offener Fahrbahn wird die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer von 102 Jahre auf $m_{Basis} = 105$ Jahre aufgerundet. Dies deshalb, da die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der AG Tragwerk alleine über alle Netze mit 113 Jahren hoch ist und der Einzelwert für das Kernnetz mit 125 Jahren sogar sehr hoch ist.

Die theoretische Nutzungsdauer der Stahltragwerke beträgt gemäß Ablöserichtlinie 100 Jahre, dies bedeutet, dass der Basiswert der Stahlvollwandträger um 5% höher ist als die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB.

4.5.2. Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlfachwerke

In Abbildung 39 ist die Verteilung der Brückenflächen der gesamten noch vorhandenen Stahlfachwerkbrücken und der zu erneuernden AG Tragwerk für die einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. In dieser ist eine Häufung der zu erneuernden Tragwerksflächen im Bereich von 1890 bis 1919 ersichtlich. Die Gesamttragwerksfläche war in den 60er und 70er Jahren sehr gering.

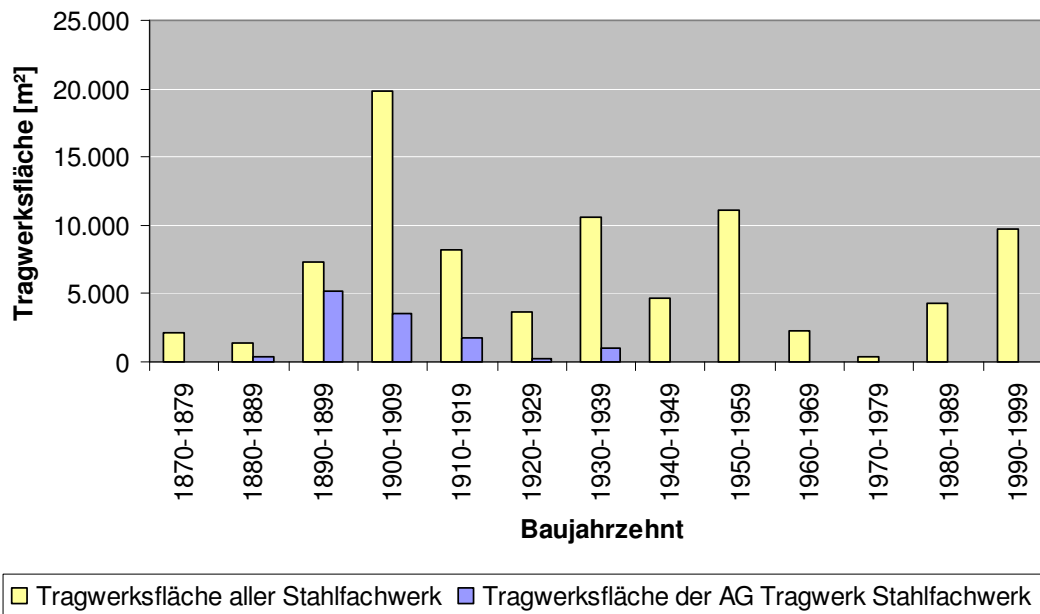


Abbildung 39: Absolute Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlfachwerke

In Abbildung 40 sind die Tragwerksflächen der AG Tragwerk bezogen auf die noch vorhandenen Stahlfachwerksbrückenfläche für die einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Aus dieser relativen Betrachtung ist eine Häufung im Bereich zwischen 1880 und 1919 ersichtlich. Dies bedeutet eine gute Übereinstimmung der maßgeblichen Errichtungsepoche der zu erneuernden Objekte zwischen der absoluten (1890 – 1919) und der relativen (1880 – 1919) Betrachtung.

Gemäß der Auswertung des durchschnittlichen Erneuerungszeitpunktes der Stahlfachwerke AG Tragwerk liegt dieser im Jahre 2013. Bezieht man die relative Errichtungsepoche der Stahlfachwerke auf diesen Erneuerungszeitpunkt, ergibt dies eine Bandbreite der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlfachwerke von 94 bis 133 Jahre.

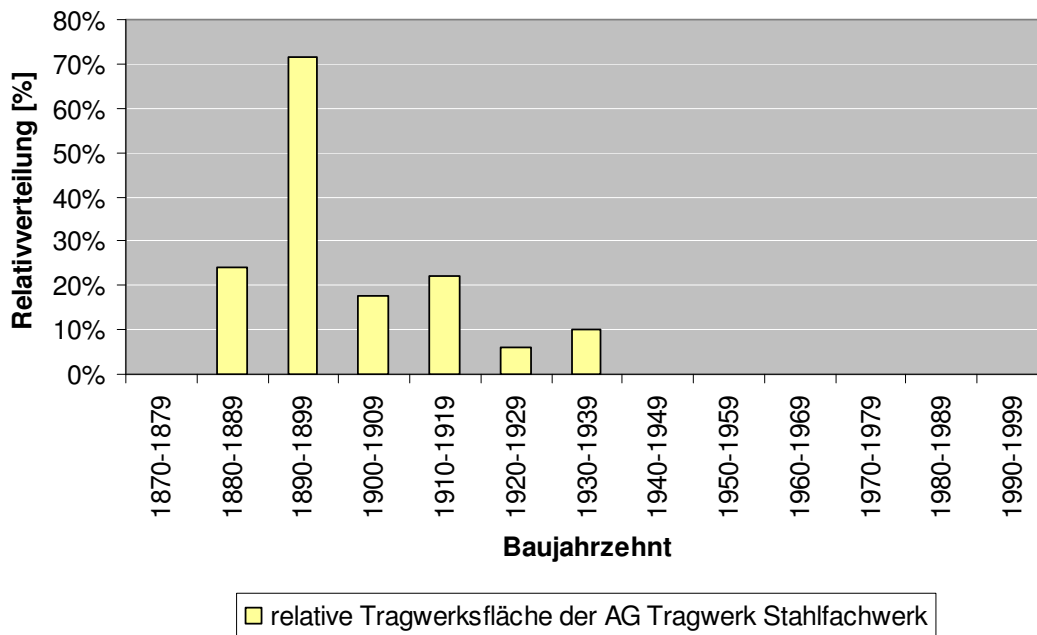


Abbildung 40: Relative Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlfachwerke

In Abbildung 41 sind die Anzahl der Stahlfachwerke der AG Traggerk und die Anzahl der AG Traggerk alleine in Abhängigkeit der tatsächlichen Nutzungsdauer dargestellt. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist, liegt der Großteil der AG Traggerk Stahlfachwerke – in absoluter Zahl betrachtet - im Nutzungsdauerbereich zwischen 100 und 119 Jahren und somit innerhalb des Bereiches der relativen Brückenflächenerneuerung von 94 bis 133 Jahren. Der untere Grenzwert der tatsächlichen Nutzungsdauer ist mit 80 Jahren sehr hoch. Der AG Traggerk alleine sind nur 2 Objekte zugeordnet, dadurch ist diese Auswertung alleine nicht sinnvoll.

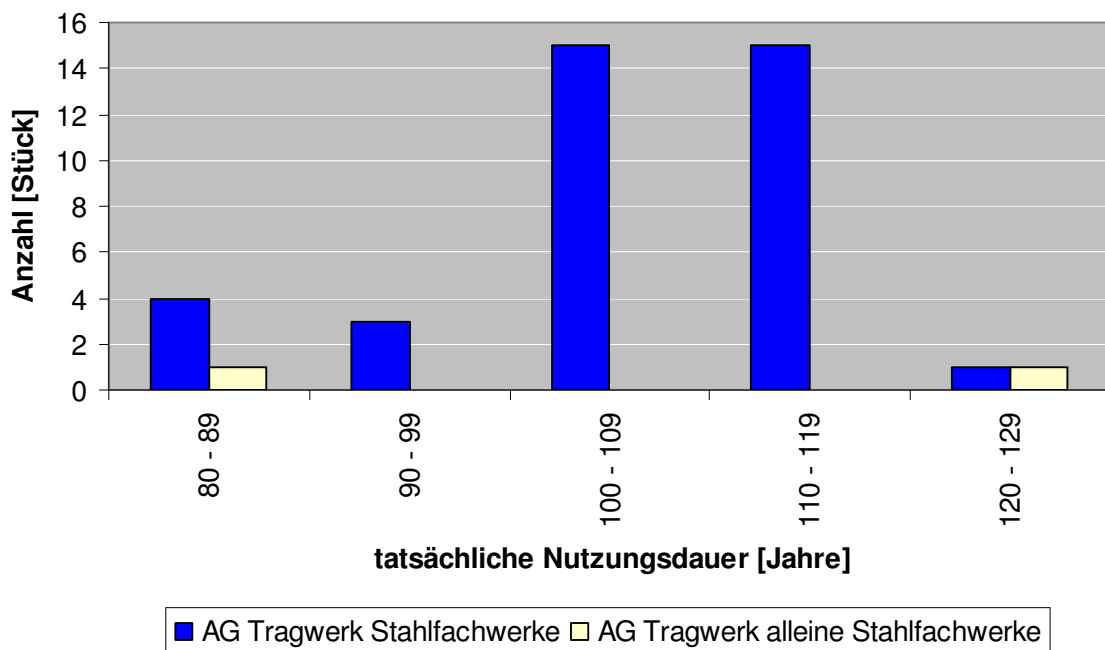


Abbildung 41: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Tragwerk Stahlfachwerke

Alle Tragwerke deren Nutzungsdauer kleiner als 100 Jahre ist, wurden der SK Korrosionsschaden zugeordnet und werden im Detail betrachtet. Dabei werden all jene Objekte ausgeschieden, bei denen das Tragwerk nur Mitauslöser zufolge eines planmäßigen Verfalles ist. Mit den so ermittelten Objekten wird der Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer anhand von Tabelle 38 erhoben.

Betrachtet man diese 7 Objekte im Detail, so sind folgende Zusammenhänge ersichtlich:

- 4 Objekte Nutzungsdauer 80-89 Jahre: Diese Objekte sind alle der SG Tragwerk zugeordnet, drei dieser Tragwerke wurden auch der SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet. Keines dieser Objekte wurde der Schadenskategorie Unterbau zugewiesen. Offensichtlich ist das Tragwerk maßgebender Auslöser für die Erneuerung, daher werden diese 4 Objekte für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.
- 3 Objekte Nutzungsdauer 90-99 Jahre: Alle Objekte sind der SK Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden und auch der SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugeordnet. Das Objekt mit massiven Korrosionsschäden weist einen Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau von 39 Jahren auf, der letzte Korrosionsschutz

wurde im Jahre 1954 aufgebracht. Somit beträgt das Alter des Korrosionsschutzes bezogen auf 2009 55 Jahre. Dieses Objekt wurde für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt, da das Tragwerk zufolge der nicht zeitgerechten Korrosionsschutzerneuerung offensichtlich einem planmäßigen Verfall zugeführt wurde.

Ein Objekt weist zusätzlich zu den zwei zuvor angeführten Schadenskategorien auch die SK Stahl- und Verbundtragwerk Materialschaden und Risse auf. In diesem Fall ist das Tragwerk offensichtlich Hauptauslöser für die Erneuerung und wird daher für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.

Das zweite Objekt mit Korrosionsschäden wird ebenfalls für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt, da diese Brücke neben der SG Tragwerk nur der SK Unterbau zugeordnet wurde und nicht eindeutig eruiert werden kann, ob das Tragwerk Auslöser oder Mitauslöser ist.

Die Analyse ergab, dass nur ein Objekt für die Ermittlung des Basiswertes der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt wird. Die sich daraus ergebende durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der verbleibenden 37 Objekte beträgt 107 Jahre.

Für die Ermittlung des Basiswertes werden nur all jene Tragwerke berücksichtigt, deren Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau kleiner als 10 Jahre ist. Dieser Wert wurde in Analogie zu den Nutzungsdauern der Ablöserichtlinie (100 Jahre Stahltragwerk und 110 Jahre Widerlager aus Naturstein und Beton) vom Autor festgelegt.

Dabei verbleiben 28 Objekte mit einer durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer von 109 Jahren. In Tabelle 38 werden diese Objekte in die Netzkategorie Kern- und Ergänzungsnetz aufgeteilt, diese Tragwerke sind alle mit offener Fahrbahn ausgeführt.

Basiswert Stahlfachwerke	Stk	Jahre	Kernnetz		Ergänzungsnetz	
			Stk.	Jahre	Stk.	Jahre
selektierte Werte AG Tragwerk	37	107				
weitere selektiert Altersdiff. < 10 Jahre Offene Fahrbahn	28	109	22	108	6	113

Tabelle 38: tatsächliche Nutzungsdauer der Stahlfachwerke

Da diese errechneten Zahlen eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, wird der Basiswert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Als Basiswert für Stahlfachwerke im Kernnetz mit offener Fahrbahn wird die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer von 108 Jahre auf $m_{Basis} = 110$ Jahre aufgerundet. Dies deshalb, da die Häufung der Nutzungsdauern der Fachwerke gemäß Abbildung 41 zwischen 100 und 119 Jahren liegt und ein Einzelwert der AG Tragwerk alleine gemäß Abbildung 41 zwischen 120 und 129 Jahren liegt.

Die theoretische Nutzungsdauer der Stahltragwerke beträgt gemäß Ablöserichtlinie 100 Jahre, dies bedeutet, dass der Basiswert für Stahlfachwerke um 10% höher ist als die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB.

4.5.3. Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Trägerbetontragwerke

In Abbildung 42 ist die Verteilung der Brückenflächen der gesamten noch vorhandenen Trägerbetone und der zu erneuernden AG Tragwerk für die einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass insbesondere in den Bereichen von 1900 bis 1929 diese Bauweise in sehr großer Anzahl erfolgte und eine Häufung der zu erneuernden Tragwerksflächen im Bereich von 1900 bis 1919 gegeben ist.

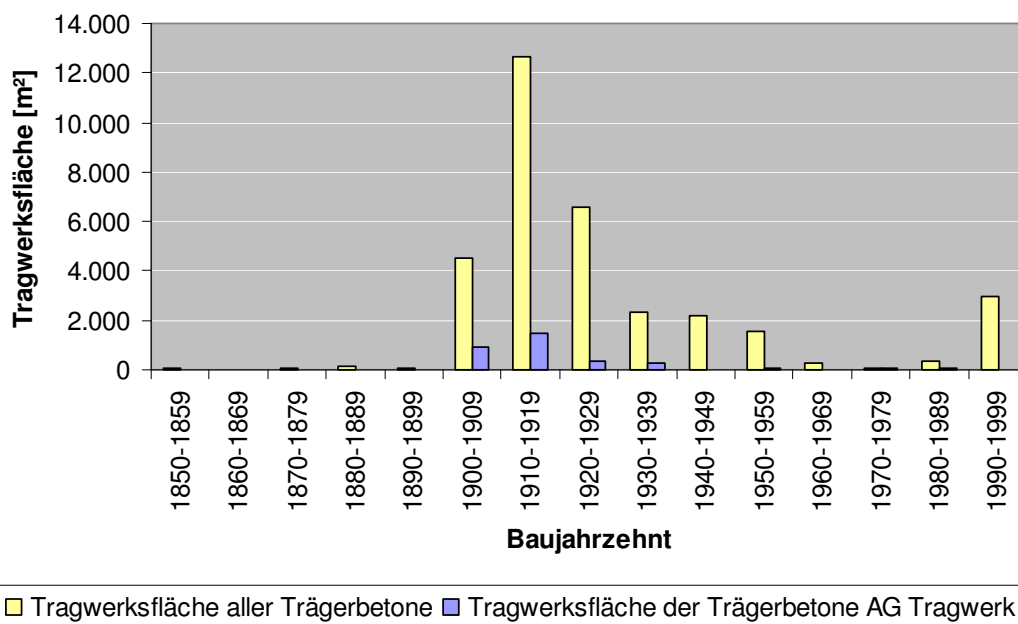


Abbildung 42: Absolute Verteilung der Tragwerksflächen der Trägerbetone

In Abbildung 43 sind die Tragwerksflächen der AG Tragwerk bezogen auf die noch vorhandenen Trägerbetone für die einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Aus dieser relativen Betrachtung ist ersichtlich, dass es zwei Bereiche mit relativer Häufung der Tragwerksflächenerneuerungen gibt. Einerseits der Bereich von 1900 bis 1939, der mit dem absoluten Bereich von 1900 bis 1919 gut übereinstimmt.

Andererseits der Bereich von 1970 bis 1989, der dadurch gegeben ist, dass in diesem Zeitraum nur wenige Flächen errichtet wurden und daher Einzelwerte der Erneuerung maßgebend werden. Gemäß der Auswertung des durchschnittlichen Erneuerungszeitpunktes der Trägerbetone liegt dieser im Jahre 2013. Bezieht man die relative Errichtungsepoche der Trägerbetone auf diesen Erneuerungszeitpunkt, so ergibt dies eine Bandbreite der tatsächlichen Nutzungsdauer der Trägerbetone von 74 bis 113 Jahren bzw. von 24 bis 43 Jahren.

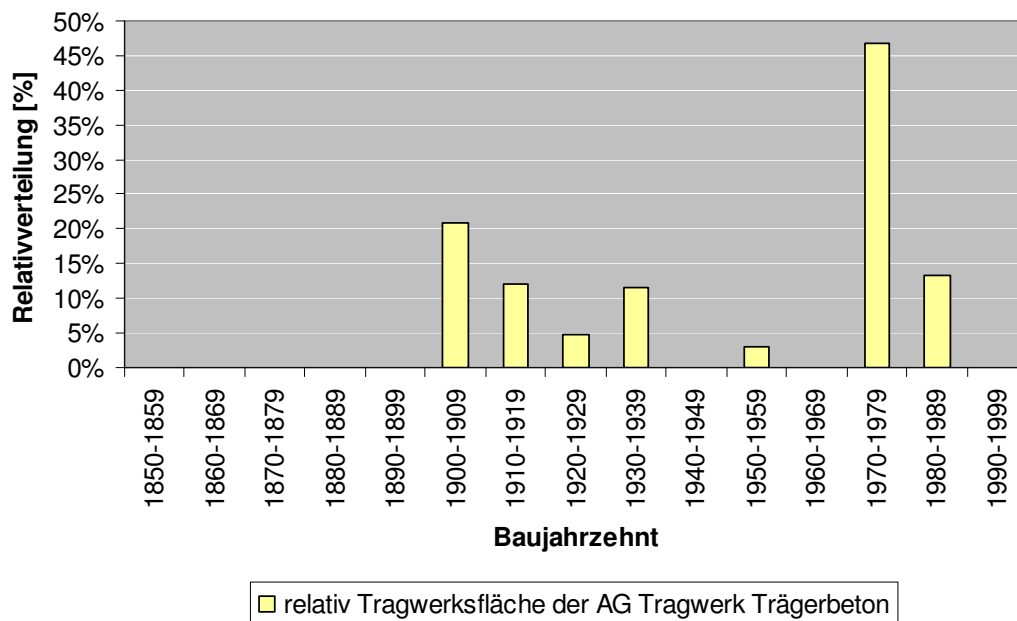


Abbildung 43: Relative Verteilung der Tragwerksflächen der Trägerbetone

In Abbildung 44 sind die Anzahl der Trägerbetone der AG Tragwerk und AG Tragwerk alleine in Abhängigkeit der tatsächlichen Nutzungsdauer dargestellt. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist, liegt der Großteil der AG Tragwerke im Nutzungsdauerbereich von 80 bis 109 Jahren und somit innerhalb des ersten Bereiches der relativen

Brückenflächenerneuerung. Der untere Grenzwert der ausgewerteten Nutzungsdauer liegt bei 20 Jahren.

Die Anzahl der Objekte AG Tragwerk alleine ist sehr gering, die Häufung dieser Nutzungsdauern liegt ebenfalls im Bereich zwischen 80 und 109 Jahren. Dieser Wert wird für die Rundung des Basiswertes herangezogen.

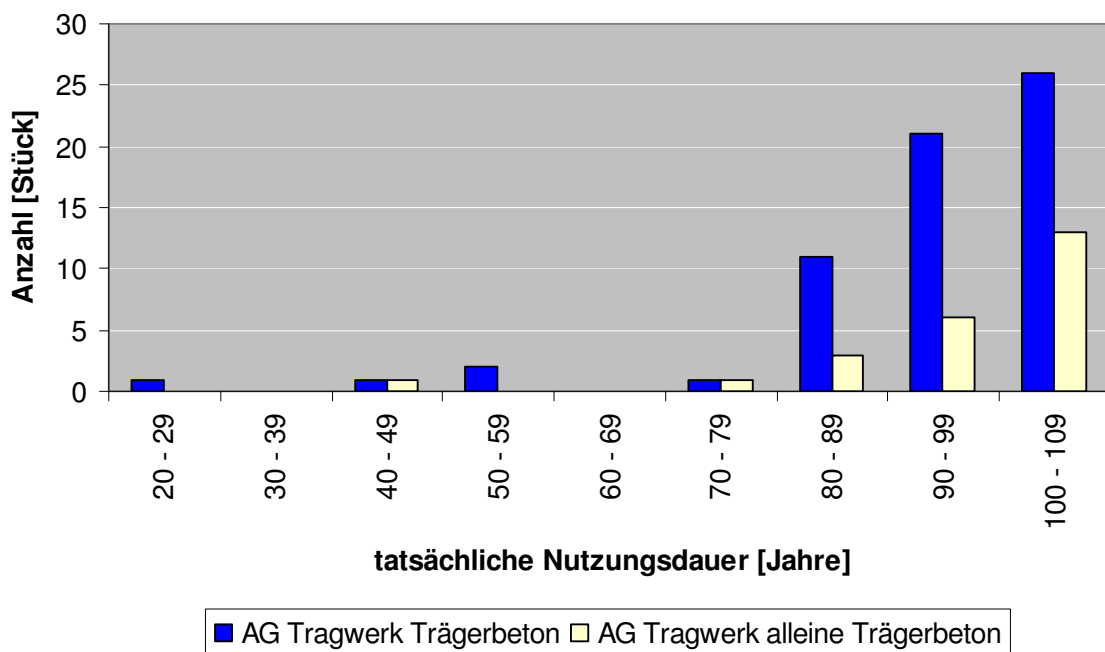


Abbildung 44: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Tragwerk Trägerbetone

Alle Tragwerke deren Nutzungsdauer kleiner 80 Jahre ist werden im Detail betrachtet. Dabei werden all jene Objekte ausgeschieden bei denen das Tragwerk nur Mitauslöser zufolge eines planmäßigen Verfalles ist. Mit den so ermittelten Objekten wird der Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer anhand von Tabelle 39 erhoben.

Betrachtet man diese Objekte im Detail, so sind folgende Zusammenhänge ersichtlich:

- 1 Objekt Nutzungsdauer 20-29 Jahre: Das Tragwerk wurde auf dem bestehenden Widerlager errichtet, der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau beträgt 77 Jahre. Das Objekt hat massive Schäden im Bereich der SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche. Zusätzlich wurde dieses Objekt auch den SK Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden und SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung zugeordnet. Zuzufolge des

großen Altersunterschiedes zwischen Tragwerk und Unterbau sowie den instandhaltungsbedingten Schäden am Tragwerk erscheint ein planmäßiger Verfall des Tragwerkes naheliegend. Dieses Objekt wird daher für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.

- 1 Objekt Nutzungsdauer 40-49 Jahre: Das Tragwerk wurde auf dem bestehenden Widerlager errichtet, der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau beträgt 58 Jahre. Das Objekt wurde nur der SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugewiesen, bei diesem Objekt ist auch kein originales Lastbild angegeben. Daher ist dieses Objekt der AG Tragwerke alleine zugeordnet und wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.
- 2 Objekte Nutzungsdauer 50-59 Jahre: Die Tragwerke wurden auf den bestehenden Widerlagern errichtet. Beim ersten Objekt beträgt der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau 28 Jahre. Das Objekt hat massive Schäden im Bereich der SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche, ist aber auch der SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugewiesen. Zuzufolge der massiven Schäden am Unterbau ist offensichtlich dieser der Hauptauslöser für die Erneuerung der Brücke. Dieses Objekt wird nicht für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.
Das zweite Tragwerk ist den SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit und SK Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden zugeordnet. Diesem Objekt ist kein Originallastbild zugeordnet, das Tragwerk ist zuzufolge der Schäden am Tragwerk Auslöser für die Erneuerung der Brücke. Dieses Objekt wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.
- 1 Objekt Nutzungsdauer 70-79 Jahre: Das Objekt wurde den SK Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden und SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung zugeordnet. Da dieses Objekt lediglich der Schadensgruppe Tragwerk zugeordnet wurde, wird es für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.

Die Analyse ergab, dass die Objekte unter 80 Jahren Nutzungsdauer – mit Ausnahme der drei angeführten Tragwerke - nicht für die Ermittlung des Basiswertes der Nutzungsdauer

berücksichtigt werden. Die sich daraus ergebende durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der verbleibenden 61 Objekte beträgt 95 Jahre.

Für die Ermittlung des Basiswertes werden nur all jene Tragwerke berücksichtigt, deren Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau kleiner als 10 Jahre ist. Dieser Wert wurde in Analogie zu den Nutzungsdauern der Ablöserichtlinie (100 Jahre Trägerbetone und 110 Jahre Widerlager aus Naturstein und Beton) vom Autor festgelegt.

Dabei verbleiben 36 Objekte mit einer durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer von 99 Jahren. In Tabelle 39 werden diese Objekte in die Netzkategorie Kern- und Ergänzungsnetz aufgeteilt. Die Auswertung der AG Tragwerk alleine umfasst nur eine geringe Anzahl von Objekten, zeigt jedoch, dass die durchschnittliche Nutzungsdauer höher ist als jene der AG Tragwerk.

Basiswert Trägerbeton	Stk	Jahre	Kernnetz		Ergänzungsnetz	
			Stk.	Jahre	Stk.	Jahre
selektierte Werte AG Tragwerk	61	95				
weitere selektiert Altersdiff. < 10 Jahre	36	99	27	98	9	100
Werte AG Tragwerk alleine	24	96				
selektiert Altersdiff. < 10 Jahre	13	102	8	101	5	104

Tabelle 39: tatsächliche Nutzungsdauer der Trägerbetontragwerke

Da diese errechneten Zahlen eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, wird der Basiswert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Als Basiswert für Trägerbetone im Kernnetz wird die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer zufolge des hohen Wertes der AG Tragwerk (101 Jahre) von 98 Jahre auf $m_{Basis} = 100$ Jahre aufgerundet.

Die theoretische Nutzungsdauer der Trägerbetone beträgt gemäß Ablöserichtlinie 100 Jahre, dies bedeutet, dass der Basiswert der Trägerbetone gleich der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB ist.

4.5.4. Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke

In Abbildung 45 ist die Verteilung der Brückenflächen der gesamten noch vorhandenen Stahlbetontragwerke und der zu erneuernden AG Tragwerk für die einzelnen Baujahrzehnte in einem logarithmischen Maßstab dargestellt. Die logarithmische Darstellung ist zufolge der geringen zu erneuernden Tragwerksfläche gegenüber der Bestandstragwerksfläche erforderlich. Aus dieser Abbildung ist weiters ersichtlich, dass die Stahlbetontragwerksflächen ständig zunehmen und heute ca. den 10-fachen Wert von 1940 haben. Eine Häufung der zu erneuernden Tragwerksflächen ist nicht ablesbar.

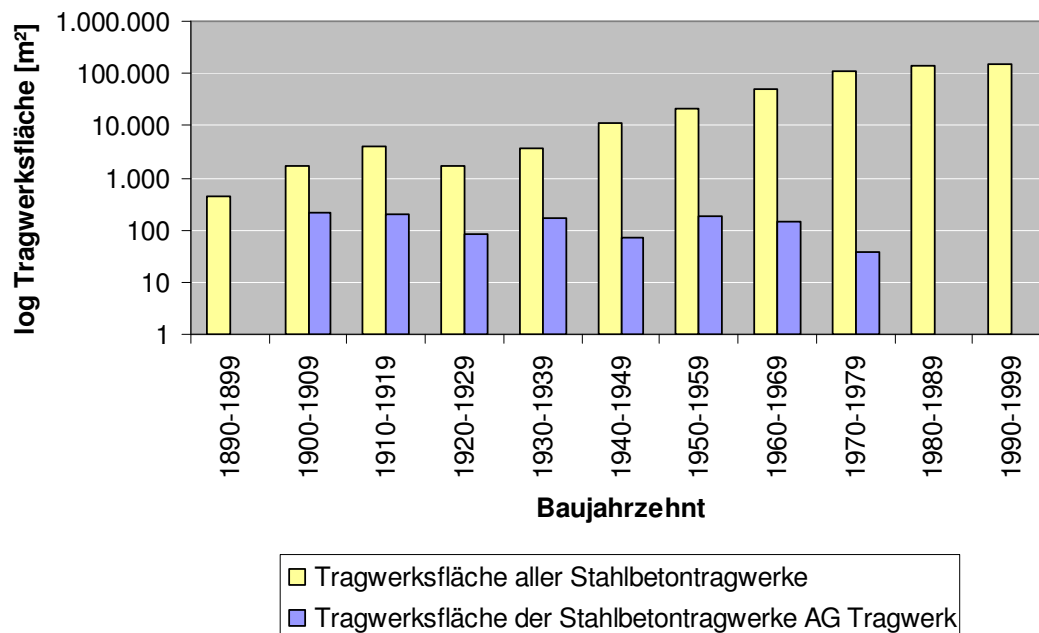


Abbildung 45: Absolute logarithmischer Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlbetontragwerke

In Abbildung 46 sind die Tragwerksflächen der AG Tragwerk bezogen auf die noch vorhandenen Stahlbetonbrückenflächen für die einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Aus dieser relativen Betrachtung ist ersichtlich, dass eine Häufung im Bereich von 1900 bis 1939 gegeben ist, dieser Bereich der relativen Häufung wird der tatsächlichen Nutzungsdauer zugrunde gelegt.

Gemäß der Auswertung des durchschnittlichen Erneuerungszeitpunktes der Stahlbetontragwerke der AG Tragwerk liegt dieser im Jahr 2014. Bezieht man die relative Errichtungsepoche der Stahlbetontragwerke auf diesen Erneuerungszeitpunkt, so ergibt

dies eine Bandbreite der tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke von 75 bis 114 Jahre.

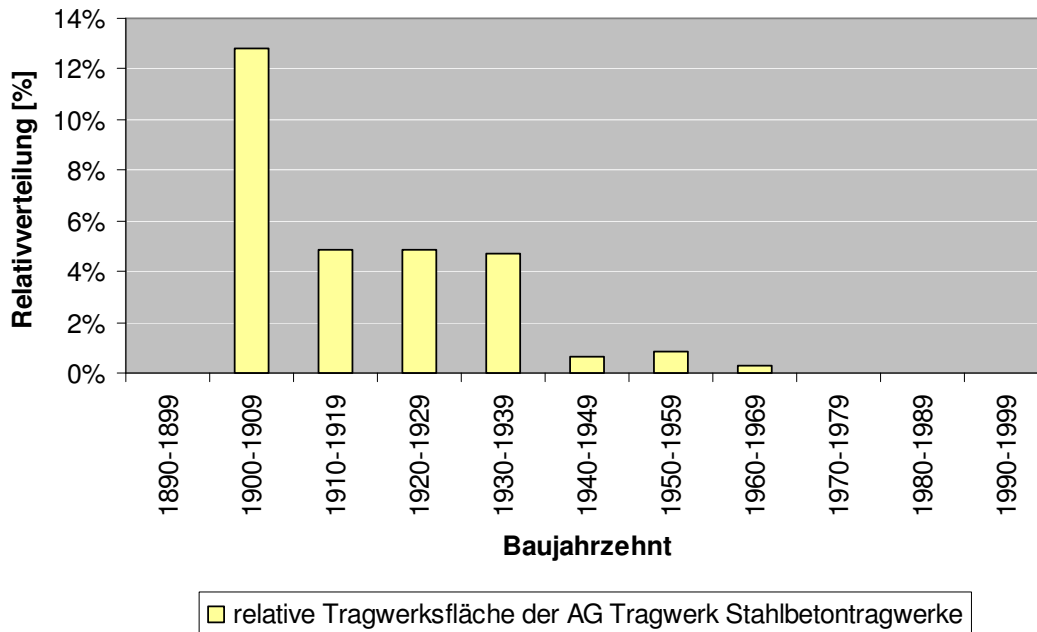


Abbildung 46: Relative Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlbetontragwerke

Die Auswertung des Basiswertes der Stahlbetontragwerke beruht auf der AG Tragwerk. In dieser sind, wie bereits erwähnt, alle Tragwerke enthalten, die zumindest der Schadensgruppe Tragwerk zugeordnet wurden.

In Abbildung 47 sind die Anzahl der Stahlbetontragwerke der AG Tragwerk und der AG Tragwerk alleine in Abhängigkeit der tatsächlichen Nutzungsdauer dargestellt. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist und bereits angeführt wurde, ist keine Häufung der Werte ersichtlich. Im Gegensatz dazu ist bei der relativen Verteilung gemäß Abbildung 46 eine Häufung im Bereich von 1900 bis 1939 ersichtlich.

Die Anzahl der Objekte der AG Tragwerk alleine ist gering und die Nutzungsdauern dieser streut stark. Daher wird dieser Wert nur für die Rundung des Basiswertes berücksichtigt.

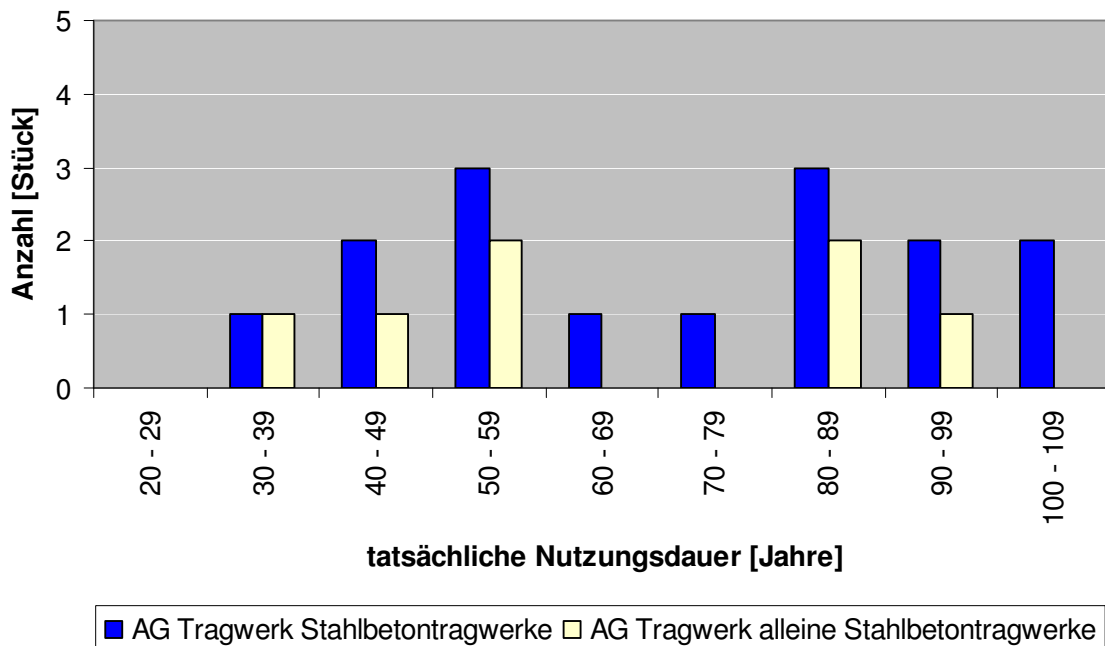


Abbildung 47: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Tragwerk Stahlbetontragwerke

Alle Tragwerke deren Nutzungsdauer kleiner als 70 Jahre ist, werden im Detail betrachtet. Dabei werden all jene Objekte ausgeschieden, bei denen das Tragwerk nur Mitauslöser zufolge eines planmäßigen Verfalles ist. Mit den so ermittelten Objekten wird der Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer anhand von Tabelle 40 erhoben.

Betrachtet man diese Objekte im Detail, so sind folgende Zusammenhänge ersichtlich:

- 1 Objekt Nutzungsdauer 30-39 Jahre: Dieses Objekt wurde der SG Tragwerk alleine zugeordnet und wird daher für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.
- 2 Objekte Nutzungsdauer 40-49 Jahre: Das erste Objekt wurde der SG Tragwerk alleine zugewiesen, dieses Tragwerk wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.

Das zweite Objekt wurde den SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Risse, Abplatzungen und Ausbrüche und SK Unterbau Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkschutz zugeordnet. Da die Schäden am Tragwerk auf eine nicht ausreichende Instandhaltung hindeuten, wurde dieses Objekt offensichtlich einem planmäßigen Verfall zugeführt. Dieses Objekt wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.

- 3 Objekte Nutzungsdauer 50-59 Jahre: Die ersten beiden Objekte wurden der SG Tragwerk alleine zugewiesen, diese Tragwerke werden für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.
Das dritte Tragwerk wurde auf dem bestehenden Widerlager errichtet, der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau beträgt 82 Jahre. Dieses Objekt ist den SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Risse, Abplatzungen und Ausbrüche und SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugewiesen. Da die Schäden am Tragwerk auf eine nicht ausreichende Instandhaltung hindeuten, wurde dieses Objekt offensichtlich einem planmäßigen Verfall zugeführt. Dieses Objekt wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.
- 1 Objekt Nutzungsdauer 60-69 Jahre: Das Objekt ist den SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche und SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet. Die Schäden am Tragwerk sind nur mit Aussinterungen angegeben, diese sind somit nur Mitauslöser für die Erneuerung der Brücke. Dieses Objekt wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.

Die Analyse ergab, dass Objekte unter 70 Jahren Nutzungsdauer – mit Ausnahme der vier angeführten Tragwerke - nicht für die Ermittlung des Basiswertes der Nutzungsdauer berücksichtigt werden. Die sich daraus ergebende durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der verbleibenden 12 Objekte beträgt 78 Jahre.

Für die Ermittlung des Basiswertes werden nur all jene Tragwerke berücksichtigt, deren Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau kleiner als 40 Jahre ist. Dieser Wert wurde in Analogie zu den Nutzungsdauern der Ablöserichtlinie (70 Jahre Stahlbetontragwerke und 110 Jahre Widerlager aus Naturstein und Beton) vom Autor festgelegt.

Dabei verbleiben 9 Objekte mit einer durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer von 79 Jahren, diese Objekte liegen alle im Kernnetz und sind in Tabelle 40 dargestellt. Die Aussagekraft der Werte der AG Tragwerk alleine ist zufolge der geringen Anzahl eher gering und wird nur bei der Rundung des Basiswertes berücksichtigt.

Betrachtet man den Einbau der Tragwerke über die Jahrzehnte, so ist bei keinem anderen ein derartiger Anstieg des Einsatzes erkennbar. Beispielsweise kann eine Zunahme der Tragwerksfläche aus Stahlbeton um das 30-fache von den 30er bis zu den 70er Jahren festgestellt werden. Durch die große Menge an neuen Tragwerken kann es auch bei diesen bereits vereinzelt zu einer Erneuerung des Tragwerkes in jungen Jahren kommen. Diese drücken jedoch die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer nach unten.

Daher wird der Bereich der relativen Häufung (Baujahr 1900 bis 1939 bzw. Nutzungsdauer von 114 bis 75 Jahren) eigens für die Bestimmung des Basiswertes ausgewertet. Hierfür werden die Objekte der Basiswertermittlung herangezogen, deren Nutzungsdauer größer als 70 Jahre ist. Die verbleibenden 6 Objekte ergeben eine Nutzungsdauer von 92 Jahren.

Basiswert Stahlbetontragwerke	Stk	Jahre	Kernnetz	
			Stk.	Jahre
selektierte Werte AG Tragwerk	12	78		
weilers selektiert Altersdiff. < 40 Jahre	9	79	9	79
weilers selektiert Altersdiff. < 40 Jahre und ND-Bereich 70 - Jahre	6	92	6	92
AG Tragwerk alleine	7	66		
selektiert Altersdiff. < 40 Jahre	6	71	6	71

Tabelle 40: tatsächliche Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke

Da diese errechneten Zahlen eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, wird der Basiswert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Als Basiswert für Stahlbetontragwerke im Kernnetz wird die Nutzungsdauer von 92 Jahren auf $m_{Basis} = 90$ Jahre abgerundet. Dies deshalb, weil die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der restlichen Auswertungen gemäß Tabelle 40 geringer ist.

Die theoretische Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke beträgt gemäß Ablöserichtlinie 70 Jahre, dies bedeutet, dass die tatsächlich ausgewertete Nutzungsdauer um 29% höher ist, als die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB.

4.5.4.1. Beispielhafte Ermittlung der Anzahl und der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke

Die Ermittlung der in Tabelle 40 angegebenen Werte „weilers selektiert Altersdiff. < 40 Jahre und ND-Bereich 70 – Jahre“, wird nachfolgend erläutert.

Anzahl der Stahlbetontragwerke

Aus der Auswertetabelle [41] wurden folgende Objekte herausgefiltert:

- Der Filter „Brückentyp“ wurde auf Eisenbahnbrücken gesetzt. Dadurch werden nur die Eisenbahnbrücken berücksichtigt.
- Durch das Setzen des Filters „Basiswert Stahlbeton“ auf „j“ wurden alle Objekte herausgefiltert, die dem Basiswert zugrunde liegen.
- Der Filter „Tragwerk Baustoffe“ wurde auf Stahlbeton gesetzt.
- Im Filter „Dekade Alter Unterbau - TW“ wurden die Werte 0 - 3 herausgefiltert. Dadurch fallen all jene Objekte heraus, bei welchen der Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau 40 Jahre oder mehr beträgt.
- Da nur die Objekte mit einer Nutzungsdauer größer gleich 70 Jahre berücksichtigt werden (diese entsprechen der relativen Häufung der Objekte des Erneuerungsplans), wird der Filter „Dekade der tat Tragwerke“ für alle Objekte kleiner 7 deaktiviert.
- Die Auswertung erfolgte anhand der Anzahl der Spalte „tat ND TW gem. Erneuerungsplan“.

	A	B	C
2	Basiswert Stahlbetontragwerk	j	
3	Tragwerke / Unterbau alleine für die Nutzungsdauer Analyse	(Alle)	
4	Tragwerk Konstruktion	(Alle)	
5	Brücken Typ	Eisenbahnbrücke	
6	Zustandbewertung alt oder neu	(Alle)	
7	Fahrbahn Bezeichnung	(Alle)	
8	Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse	(Alle)	
9	Brücken letzter Zustand	(Alle)	
10	Num geplante Erneuerung	(Alle)	
11	Tragwerk System	(Alle)	
12	Baustoff Unterbau	(Alle)	
13	Tragwerk Baujahr-Dekade	(Alle)	
14	Baujahr Verstärkung Unterbau	(Alle)	
15	Tragwerk Baustoff	Stahlbeton	
16	Basiswert Stahl Vollwandträgerbrücke	(Alle)	
17	Dekade Alter Unterbau - TW	(Mehrere Elemente)	
18	Dekade der tat ND Tragwerk	(Mehrere Elemente)	
19			
20	Anzahl von tat ND TW gem. Erneuerungsplan		
21	Netzkategorie	<input checked="" type="checkbox"/> Ergebnis	
22	Netzkategorie A (Kernnetz)		6,00
23	Gesamtergebnis		6,00
24			
25			

Abbildung 48: Anzahl der Objekte des Basiswertes Stahlbetontragwerke

Daraus ergibt sich gemäß Abbildung 48 die Anzahl der Objekte für das Kernnetz (nur die Netzkategorie A ist gegeben) mit 6 Stück, diese entsprechen auch der Gesamtsumme.

Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke

Für die Basiswertermittlung wurde die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer dieser Objekte ermittelt. Die Filter wurden wie zuvor gesetzt:

- Die Auswertung der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer erfolgte mit dem Mittelwert anhand des Filters „tat ND TW gem. Erneuerungsplan“.

	A	B	C
2	Basiswert Stahlbetontragwerk	j	
3	Tragwerke / Unterbau alleine für die Nutzungsdauer Analyse	(Alle)	
4	Tragwerk Konstruktion	(Alle)	
5	Brücken Typ	Eisenbahnbrücke	
6	Zustandbewertung alt oder neu	(Alle)	
7	Fahrbahn Bezeichnung	(Alle)	
8	Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse	(Alle)	
9	Brücken letzter Zustand	(Alle)	
10	Num geplante Erneuerung	(Alle)	
11	Tragwerk System	(Alle)	
12	Baustoff Unterbau	(Alle)	
13	Tragwerk Baujahr-Dekade	(Alle)	
14	Baujahr Verstärkung Unterbau	(Alle)	
15	Tragwerk Baustoff	Stahlbeton	
16	Basiswert Stahl Vollwandträgerbrücke	(Alle)	
17	Dekade Alter Unterbau - TW	(Mehrere Elemente)	
18	Dekade der tat ND Tragwerk	(Mehrere Elemente)	
19			
20	Mittelwert von tat ND TW gem. Erneuerungsplan		
21	Netzkategorie	Ergebnis	
22	Netzkategorie A (Kernnetz)	92,17	
23	Gesamtergebnis	92,17	
24			
25			

Abbildung 49: Basiswert der Stahlbetontragwerke

Daraus ergibt sich gemäß Abbildung 49 die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer mit 92 Jahren, diese Nutzungsdauer wird wie unter Punkt 4.5.4 angeführt für den Basiswert auf 90 Jahre abgerundet.

4.5.5. Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten

In Abbildung 50 ist die Verteilung der Objektsanzahl der gesamten noch vorhandenen Natursteinunterbauten gemäß ergänzende Auswertetabelle [43] und der zu erneuernden AG Unterbau für die einzelnen Baujahrzehnte gemäß Auswertetabelle [41] dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass insbesondere in den Bereichen von 1870 bis 1929 diese Bauweise in sehr großer Anzahl erfolgte. Eine absolute Häufung der zu erneuernden Objekte ist im Bereich von 1870 bis 1919 ersichtlich.

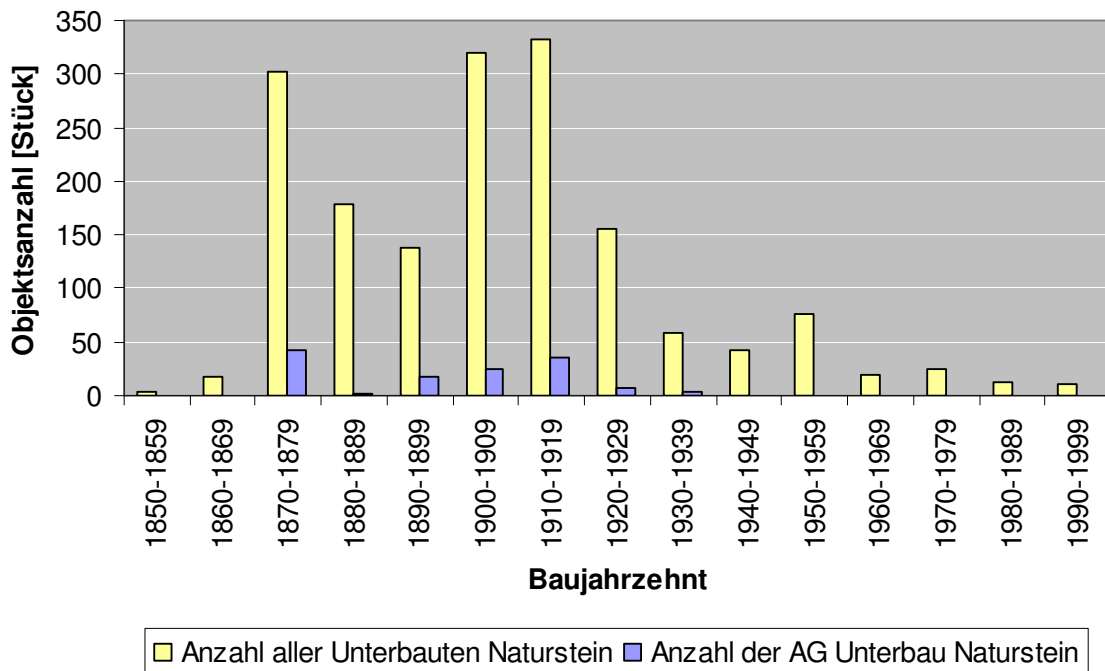


Abbildung 50: Absolute Verteilung der Objektszahl der Natursteinunterbauten

In Abbildung 51 sind die Objekte der AG Unterbau bezogen auf die noch vorhandenen Natursteinunterbauten der einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Aus dieser relativen Betrachtung sind eine Häufung im Bereich von 1870 bis 1919 und das Ende der Erneuerungsobjekte im Jahre 1939 ersichtlich. Es ist eine genaue Übereinstimmung der maßgeblichen Errichtungsepoche der zu erneuernden Objekte bei absoluter (von 1870 bis 1919) und relativer Betrachtung (ebenfalls von 1870 bis 1919) gegeben. Diese ist somit die maßgebliche Errichtungsepoche des Basiswertes.

Gemäß der Auswertung des durchschnittlichen Erneuerungszeitpunktes der Natursteinunterbauten liegt dieser im Jahre 2013. Bezieht man die Errichtungsepoche der Natursteinunterbauten auf diesen Erneuerungszeitpunkt, ergibt dies eine Bandbreite der tatsächlichen Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten von 94 bis 143 Jahren.

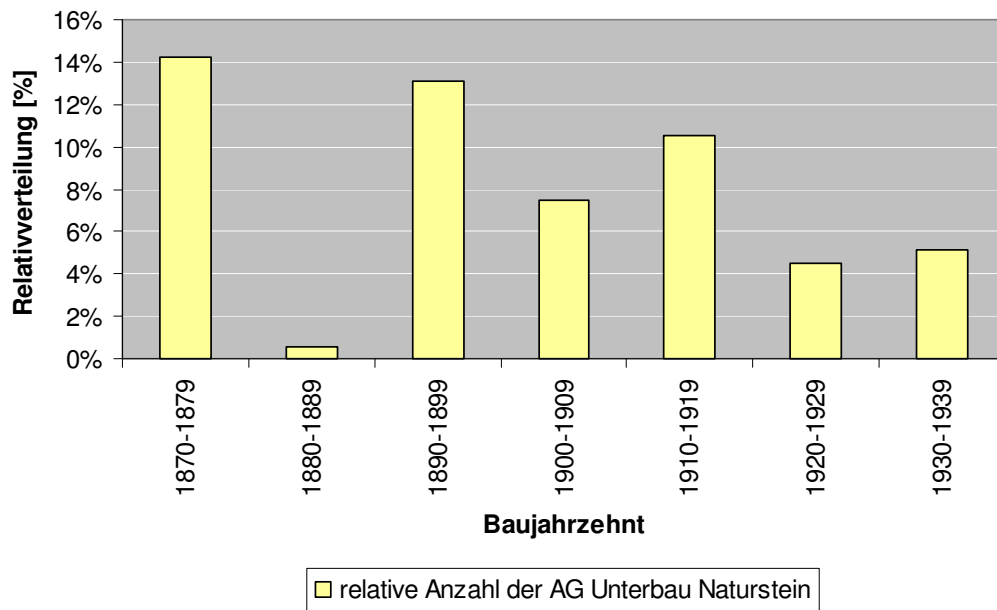


Abbildung 51: Relative Verteilung der Objektsanzahl der Natursteinunterbauten

In Abbildung 52 ist der Verlauf der tatsächlichen Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten für die AG Unterbau, AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen und AG Unterbau alleine dargestellt. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist, liegt der Großteil der AG Unterbau und AG Unterbau ohne Verstärkungen – in absoluter Zahl betrachtet - im Nutzungsdauerbereich von 90 bis 119 Jahre und von 130 bis 149 Jahre.

Weiters ist ersichtlich, dass bei den Objekten unter 80 Jahren Nutzungsdauer lediglich ein Widerlager Schäden aufweist. Die Verstärkungsmaßnahmen wurden erwartungsgemäß insbesondere bei älteren Widerlagern durchgeführt.

Die Anzahl der Objekte AG Unterbau alleine ist sehr gering und die Nutzungsdauer dieser streut sehr stark. Dieser Wert wird nur für die Rundung des Basiswertes berücksichtigt.

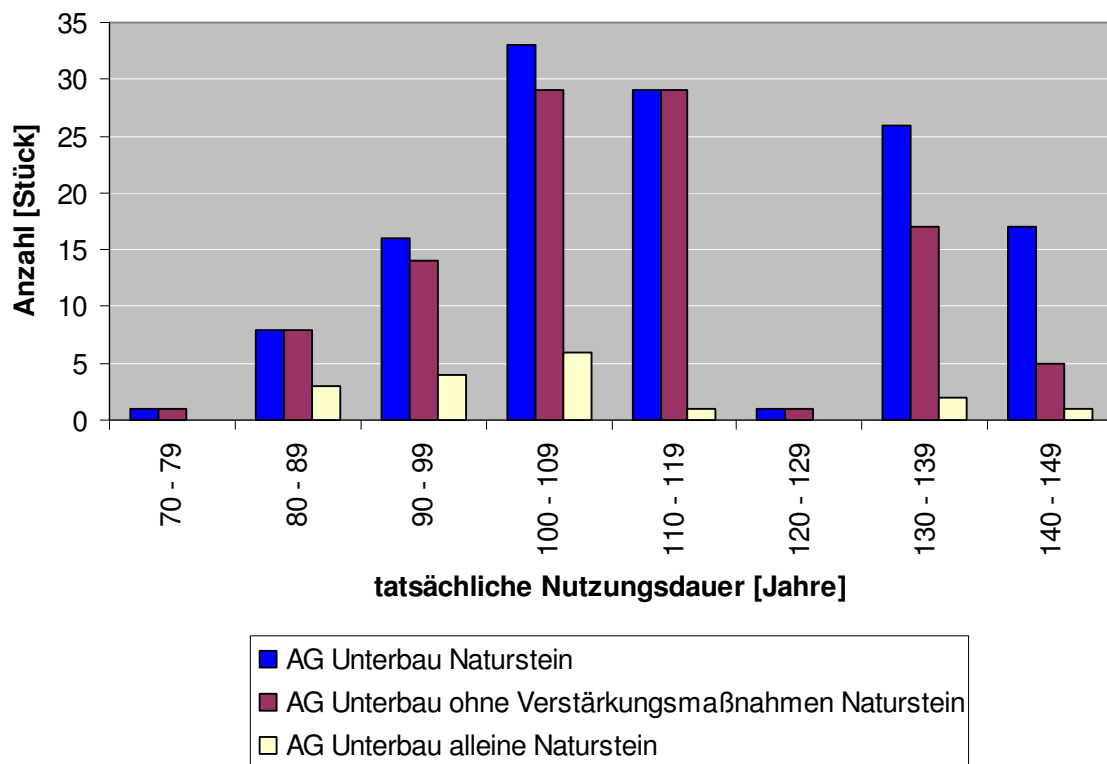


Abbildung 52: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Natursteinunterbau

Alle Unterbauten, deren Nutzungsdauer kleiner 90 Jahre ist, werden im Detail betrachtet. Dabei werden all jene Objekte ausgeschieden, bei denen der Unterbau nur Mitauslöser zufolge eines planmäßigen Verfalles ist. Mit den so ermittelten Objekten wird der Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer anhand von Tabelle 41 erhoben.

Betrachtet man diese Objekte im Detail, so sind folgende Zusammenhänge ersichtlich:

- 1 Objekt Nutzungsdauer 70-79 Jahre: Dieses Objekt wurden 1934 errichtet und den SK Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden, SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, SK Lagerschaden und SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugeordnet. Der Unterbau ist nur einer von insgesamt 4 Auslösern und somit offensichtlich nicht alleine maßgebend. Dieses Objekt wird daher für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.
- 8 Objekt Nutzungsdauer 80-89 Jahre: Diese Objekte wurden entweder nur der Schadensgruppe Unterbau zugeordnet oder maximal einer weiteren Schadenskategorie der Schadensgruppe Tragwerk zugeordnet. Ausschlaggebend für die Erneuerung ist zufolge der Schäden offensichtlich der Unterbau, diese

Objekte werden daher alle für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.

Die Analyse ergab, dass nur das Objekt mit der Nutzungsdauer zwischen 70 und 79 Jahre nicht für die Ermittlung des Basiswertes der Nutzungsdauer berücksichtigt wird.

Die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern ergeben sich gemäß Tabelle 41 für die Analysegruppe Unterbau mit 116 Jahre, für die Analysegruppe Unterbau ohne Verstärkungen mit 112 Jahre bzw. für AG Unterbau alleine mit 105 Jahren. Weiters ist aus dieser Tabelle ersichtlich, dass die Verstärkungen an den Unterbauten nur im Kernnetz durchgeführt wurden und dass die tatsächlichen Nutzungsdauern im Kernnetz größer sind als im Ergänzungsnetz. Dies lässt sich dadurch erklären, dass im Kernnetz häufiger das Tragwerk alleine erneuert und im Zuge dieser Erneuerung der Unterbau instandgesetzt oder verstärkt wird.

Basiswert Natursteinunterbauten	Stk	Jahre	Kernnetz		Ergänzungsnetz	
			Stk.	Jahre	Stk.	Jahre
selektierte AG Unterbau	130	116	110	117	20	110
selektierte AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen	103	112	83	113	20	110
AG Unterbau alleine	17	105	14	108	3	92

Tabelle 41: Tatsächliche Nutzungsdauer des Natursteinunterbaus

Die in Tabelle 41 errechneten Zahlen täuschen eine Genauigkeit vor, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, daher wird der Basiswert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Da die Instandhaltung auch die Verbesserung beinhaltet, wird für den Basiswert der Unterbauten die Analysegruppe Unterbau herangezogen. Als Basiswert für Natursteinunterbauten im Kernnetz wird die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer von 117 Jahre zufolge der geringen Werte der AG Unterbau alleine von 108 Jahren auf $m_{Basis} = 115$ Jahre abgerundet.

Da die theoretische Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten gemäß Ablöserichtlinie 110 Jahre beträgt, bedeutet dies, dass die tatsächlich ausgewertete Nutzungsdauer um 5% höher ist als die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB.

4.5.5.1. Beispielhafte Ermittlung der Anzahl und der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten

Die Ermittlung, der in der Tabelle 41 angegebenen Werte „Anzahl und Nutzungsdauer der selektierten AG Unterbau“, wird nachfolgend erläutert.

Anzahl der Natursteinunterbauten Analysegruppe Unterbau

Aus der Datenbank wurden folgende Objekte herausgefiltert:

- Der Filter „Brückentyp“ wurde auf Eisenbahnbrücken gesetzt. Dadurch werden nur die Eisenbahnbrücken ausgewertet.
- Der Filter „Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse“ wurde auf u gesetzt. Dadurch werden alle Objekte herausgefiltert, die der Analysegruppe Unterbau entsprechen.
- Mittels des Filters „Baustoff Unterbau“ wurden die Objekte des Unterbaus aus Naturstein herausgefiltert.
- Mit dem Filter „Baujahr Unterbau“ wurde das Objekt, welches für die Ermittlung des Basiswertes Unterbau nicht berücksichtigt werden soll (dies ist das Objekt mit dem Baujahr 1934), herausgefiltert.
- Die Auswertung erfolgte anhand der Anzahl der Spalte „tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan“.

	A	B	C
4	Tragwerk Konstruktion	(Alle)	
5	Brücken Typ	Eisenbahnbrücke	
6	Zustandbewertung alt oder neu	(Alle)	
7	Fahrbahn Bezeichnung	(Alle)	
8	Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse	u	
9	Brücken letzter Zustand	(Alle)	
10	Num geplante Erneuerung	(Alle)	
11	Tragwerk System	(Alle)	
12	Baustoff Unterbau	Naturstein	
13	Tragwerk Baujahr-Dekade	(Alle)	
14	Baujahr Verstärkung Unterbau	(Alle)	
15	Tragwerk Baustoff	(Alle)	
16	Basiswert Stahl Vollwandträgerbrücke	(Alle)	
17	Dekade Alter Unterbau - TW	(Alle)	
18	Dekade der tat ND Tragwerk	(Alle)	
19	Baujahr Unterbau	(Mehrere Elemente)	
20			
21	Anzahl von tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan		
22	Netzkategorie	Ergebnis	
23	Netzkategorie A (Kernnetz)	90,00	
24	Netzkategorie B1 (Kernnetz)	20,00	
25	Netzkategorie B2 (Ergänzungsnetz)	7,00	
26	Netzkategorie C (Ergänzungsnetz)	13,00	
27	Gesamtergebnis	130,00	

Abbildung 53: Anzahl der Natursteinunterbauten Analysegruppe Unterbau

Daraus ergibt sich gemäß Abbildung 53 die Anzahl für das Kernnetz aus der Summe Netzkategorie A + Netzkategorie B1 = 110 Stück, bzw. für das Ergänzungsnetz aus der Summe Netzkategorie B2 + Netzkategorie C = 20 Stück. Die Gesamtsumme beträgt 130 Stück.

Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten der Analysegruppe Unterbau

Aus der Datenbank wurden für die Ermittlung der tatsächlichen Nutzungsdauer des Kernnetzes folgende Objekte herausgefiltert:

- Der Filter „Brückentyp“ wurde auf Eisenbahnbrücken gesetzt. Dadurch werden nur die Eisenbahnbrücken ausgewertet.
- Der Filter „Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse“ wurde auf u gesetzt. Dadurch werden alle Objekte herausgefiltert, die der Analysegruppe Unterbau entsprechen.
- Mittels des Filters „Baustoff Unterbau“ wurde die Objekte des Unterbaubaus aus Naturstein herausgefiltert.

- Mit dem Filter „Baujahr Unterbau“ wurde das Objekt, welches für die Ermittlung des Basiswertes Unterbau nicht berücksichtigt werden soll (dies ist das Objekt mit dem Baujahr 1934), herausgefiltert.
- Für das Kernnetz wurden die Netzkategorie A und B1 herausgefiltert.
- Die Auswertung erfolgte anhand des Mittelwertes der Spalte „tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan“.

A	B	Bearbeitungsliste
4	Tragwerk Konstruktion	(Alle)
5	Brücken Typ	Eisenbahnbrücke
6	Zustandbewertung alt oder neu	(Alle)
7	Fahrbahn Bezeichnung	(Alle)
8	Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse	u
9	Brücken letzter Zustand	(Alle)
10	Num geplante Erneuer-ung	(Alle)
11	Tragwerk System	(Alle)
12	Baustoff Unterbau	Naturstein
13	Tragwerk Baujahr-Dekade	(Alle)
14	Baujahr Verstärkung Unterbau	(Alle)
15	Tragwerk Baustoff	(Alle)
16	Basiswert Stahl Vollwandträgerbrücke	(Alle)
17	Dekade Alter Unterbau - TW	(Alle)
18	Dekade der tat ND Tragwerk	(Alle)
19	Baujahr Unterbau	(Mehrere Elemente)
20		
21	Mittelwert von tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan	
22	Netzkategorie	Ergebnis
23	Netzkategorie A (Kernnetz)	117,56
24	Netzkategorie B1 (Kernnetz)	115,75
25	Gesamtergebnis	117,23
26		
27		

Abbildung 54: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten Kernnetz

Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Netzkategorie Kernnetz ergibt sich gemäß Abbildung 54 durch das Herausfiltern der Netzkategorie A und Netzkategorie B1 und beträgt gerundet 117 Jahre.

Für die Ermittlung der tatsächlichen Nutzungsdauer des Ergänzungsnetzes wurden dieselben Filter wie zuvor gesetzt.

- Für das Ergänzungsnetz wurden die Netzkategorie B2 und C herausgefiltert.
- Die Auswertung erfolgte anhand des Mittelwertes der Spalte „tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan“.

	A	B	C
4	Tragwerk Konstruktion	(Alle)	
5	Brücken Typ	Eisenbahnbrücke	
6	Zustandbewertung alt oder neu	(Alle)	
7	Fahrbahn Bezeichnung	(Alle)	
8	Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse	u	
9	Brücken letzter Zustand	(Alle)	
10	Num geplante Erneuerung	(Alle)	
11	Tragwerk System	(Alle)	
12	Baustoff Unterbau	Naturstein	
13	Tragwerk Baujahr-Dekade	(Alle)	
14	Baujahr Verstärkung Unterbau	(Alle)	
15	Tragwerk Baustoff	(Alle)	
16	Basiswert Stahl Vollwandträgerbrücke	(Alle)	
17	Dekade Alter Unterbau - TW	(Alle)	
18	Dekade der tat ND Tragwerk	(Alle)	
19	Baujahr Unterbau	(Mehrere Elemente)	
20			
21	Mittelwert von tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan		
22	Netzkatgorie	Ergebnis	
23	Netzkatgorie B2 (Ergänzungsnetz)		103,57
24	Netzkatgorie C (Ergänzungsnetz)		112,92
25	Gesamtergebnis		109,65
26			
27			

Abbildung 55: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten Ergänzungsnetz

Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Netzkatgorie Ergänzungsnetz ergibt sich gemäß Abbildung 55 durch das Herausfiltern der Netzkatgorie B2 und der Netzkatgorie C gerundet mit 110 Jahre.

Für die Ermittlung der tatsächlichen Nutzungsdauer unabhängig von der Netzkatgorie wurde der Filter „Netzkatgorie“ auf Alle gesetzt.

	A	B	C
4	Tragwerk Konstruktion	(Alle)	
5	Brücken Typ	Eisenbahnbrücke	
6	Zustandbewertung alt oder neu	(Alle)	
7	Fahrbahn Bezeichnung	(Alle)	
8	Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse	u	
9	Brücken letzter Zustand	(Alle)	
10	Num geplante Erneuerung	(Alle)	
11	Tragwerk System	(Alle)	
12	Baustoff Unterbau	Naturstein	
13	Tragwerk Baujahr-Dekade	(Alle)	
14	Baujahr Verstärkung Unterbau	(Alle)	
15	Tragwerk Baustoff	(Alle)	
16	Basiswert Stahl Vollwandträgerbrücke	(Alle)	
17	Dekade Alter Unterbau - TW	(Alle)	
18	Dekade der tat ND Tragwerk	(Alle)	
19	Baujahr Unterbau	(Mehrere Elemente)	
20			
21	Mittelwert von tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan		
22	Netzkategorie	Ergebnis	
23	Netzkategorie A (Kernnetz)		117,56
24	Netzkategorie B1 (Kernnetz)		115,75
25	Netzkategorie B2 (Ergänzungsnetz)		103,57
26	Netzkategorie C (Ergänzungsnetz)		112,92
27	Gesamtergebnis		116,06

Abbildung 56: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten

Gemäß Abbildung 56 beträgt die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer gerundet 116 Jahren.

4.5.6. Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer der Betonunterbauten

In Abbildung 57 ist die Verteilung der Objektsanzahl der gesamten noch vorhandenen Betonunterbauten und der zu erneuernden AG Unterbau für die einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass ab 1870 diese Bauweise in sehr großer Anzahl erfolgte. Der Rückgang in den letzten Jahrzehnten ist durch den vermehrten Einsatz von Stahlbeton gegeben. Eine absolute Häufung der zu erneuernden Objekte ist im Zeitraum von 1900 bis 1939 gegeben.

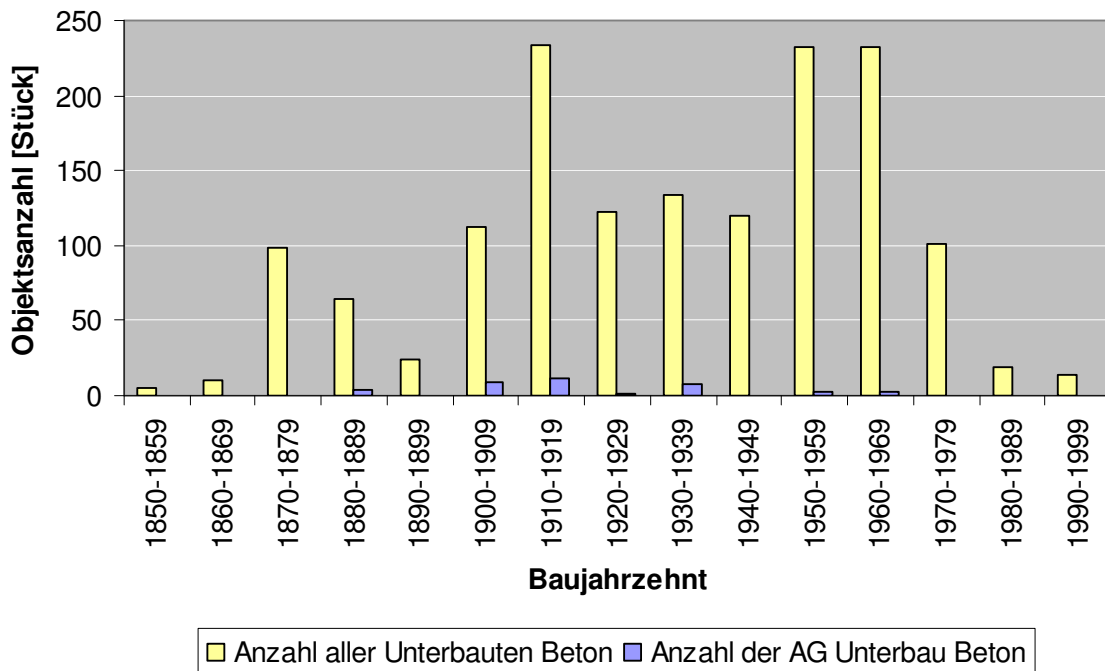


Abbildung 57: Absolute Verteilung der Objektszahl der Betonunterbauten

In Abbildung 58 sind die Objekte der AG Unterbau bezogen auf die noch vorhandenen Betonunterbauten der einzelnen Baujahrzehnte dargestellt. Aus dieser relativen Betrachtung ist eine Häufung im Bereich von 1880 bis 1939 ersichtlich.

Gemäß der Auswertung des durchschnittlichen Erneuerungszeitpunktes der Betonunterbauten liegt dieser im Jahre 2013. Bezieht man die maßgebliche Errichtungsepoche der Betonunterbauten auf diese, ergibt dies eine Bandbreite der tatsächlichen Nutzungsdauer der Betonunterbauten von 74 bis 133 Jahre.

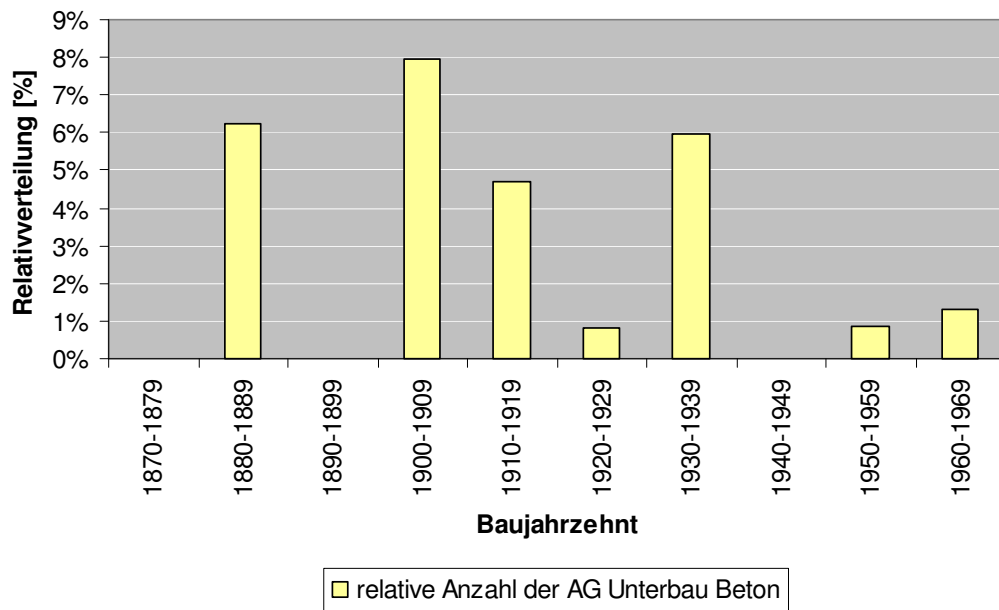


Abbildung 58: Relative Verteilung der Objektsanzahl der Betonunterbauten

In Abbildung 59 ist der Verlauf der tatsächlichen Nutzungsdauer der Betonunterbauten für die AG Unterbau, AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen und AG Unterbau alleine dargestellt. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist, liegt der Großteil der AG Unterbau und AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen – in absoluten Zahlen betrachtet - im Nutzungsdauerbereich von 80 bis 109 Jahren. Der absolute Bereich liegt somit innerhalb der relativen Bandbreite von 74 bis 133 Jahren. Weiters ist aus dieser Abbildung ersichtlich, dass nur an den Unterbauten mit einer tatsächlichen Nutzungsdauer ab 100 Jahre Verstärkungsmaßnahmen durchgeführt wurden.

Die Anzahl der Objekte AG Unterbau alleine ist sehr gering und die Nutzungsdauer dieser streut sehr stark, daher wird dieser Wert nur bei der Rundung des Basiswertes berücksichtigt.

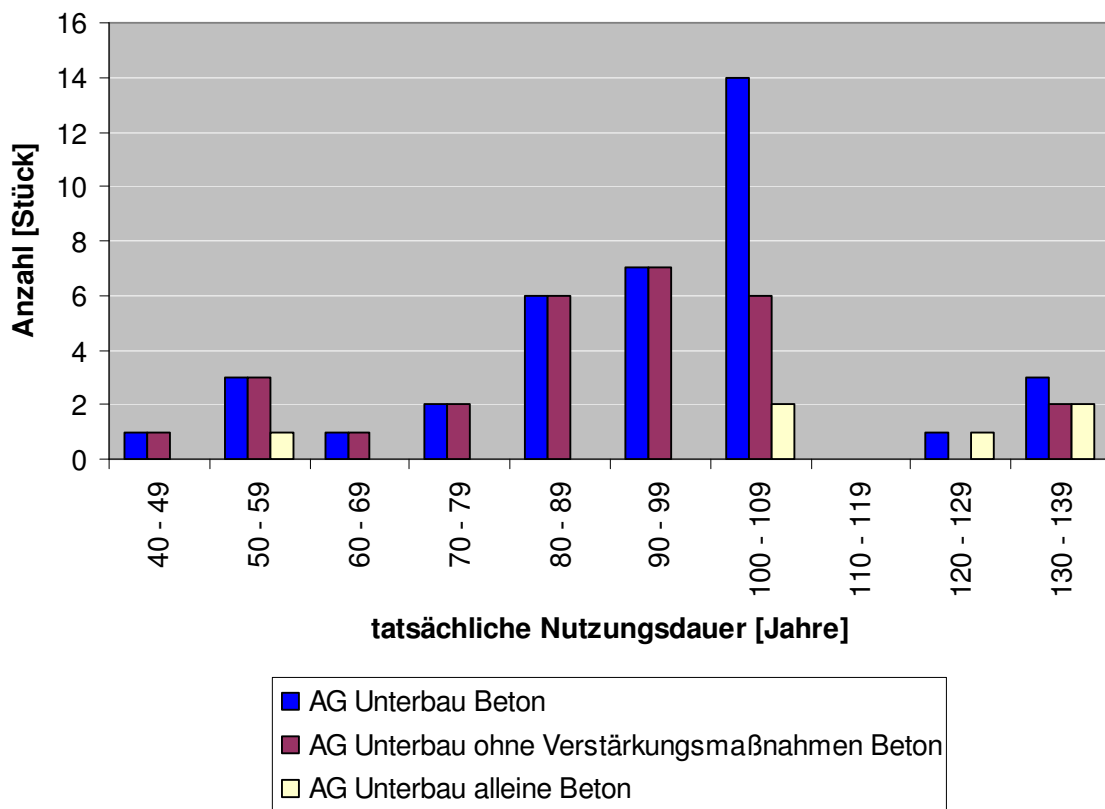


Abbildung 59: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Betonunterbau

Alle Unterbauten, deren Nutzungsdauer kleiner 80 Jahre ist, werden im Detail betrachtet. Dabei werden all jene Objekte ausgeschieden, bei denen der Unterbau nur Mitauslöser zufolge eines planmäßigen Verfalles ist. Mit den so ermittelten Objekten wird der Basiswert der tatsächlichen Nutzungsdauer anhand von Tabelle 42 erhoben.

Betrachtet man diese Objekte im Detail, so sind folgende Zusammenhänge ersichtlich:

- 1 Objekt Nutzungsdauer 40-49 Jahre: Dieses Objekt wurden 1967 errichtet und den SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Risse, Abplatzungen und Ausbrüche und SK Unterbau Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkschutz zugeordnet. Der Schaden im Unterbau wurde mit starker Durchfeuchtung angegeben, bei der Schadenskategorie des Tragwerkes wurden massive Schäden angeführt. Daher ist offensichtlich das Tragwerk maßgebend für die Erneuerung und dieses Objekt wird für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer des Unterbaues nicht berücksichtigt.

- 3 Objekte Nutzungsdauer 50-59 Jahre: Diese Objekte wurden alle der SG Unterbau und zweimal der SK Strategische Gründe zugeordnet. Ausschlaggebend scheint zufolge der Schadensbeschreibung des Unterbaues – Aussinterungen bzw. Risslinien – dieser zu sein. Diese Objekte werden daher für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.
- 1 Objekt Nutzungsdauer 60-69 Jahre: Dieses Objekt wurden den SK Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung, SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit und SK Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche zugeordnet. Der Schaden im Unterbau wurde mit Risslinien und Hohlstellen angegeben, welcher offensichtlich für die Erneuerung maßgebend war. Daher wird dieses Objekt für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.
- 2 Objekte Nutzungsdauer 70-79 Jahre: Diese Objekte wurden alle der SG Unterbau und SK Strategische Gründe zugeordnet. Ausschlaggebend scheint zufolge der Schadensbeschreibung des Unterbaues – Aussinterungen bzw. Risslinien und Ausbrüche– dieser zu sein. Diese Objekte werden daher für die Ermittlung des Basiswertes der tatsächlichen Nutzungsdauer berücksichtigt.

Die Analyse ergab, dass nur das Objekt mit der Nutzungsdauer zwischen 40 und 49 Jahre nicht für die Ermittlung des Basiswertes der Nutzungsdauer berücksichtigt wird.

Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer ergibt sich gemäß Tabelle 42 für die Analysegruppe Unterbau mit 95 Jahren, für die Analysegruppe Unterbau ohne Verstärkungen mit 91 Jahre und für die Analysegruppe Unterbau alleine mit 109 Jahre. Weiters ist aus dieser Tabelle ersichtlich, dass die Verstärkungen an den Unterbauten - analog den Naturseinunterbauten - nur im Kernnetz durchgeführt wurden und dass die tatsächlichen Nutzungsdauern im Kernnetz größer sind als im Ergänzungsnetz. Der Grund hierfür ist analog der Unterbauten aus Naturstein der alleinige Tragwerkswechsel im Kernnetz.

Basiswert Betonunterbauten	Stk	Jahre	Kernnetz		Ergänzungsnetz	
			Stk.	Jahre	Stk.	Jahre
selektiert AG Unterbau	37	95	31	97	6	86
selektiert AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen	27	91	21	92	6	86
AG Unterbau alleine	6	109	6	109		

Tabelle 42: Tatsächliche Nutzungsdauer des Betonunterbaus

Da diese errechneten Zahlen eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, wird der Basiswert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Da die Instandhaltung auch die Verbesserung beinhaltet, wird für den Basiswert der Unterbauten die Analysegruppe Unterbau herangezogen. Als Basiswert für Betonunterbauten im Kernnetz wird die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer von 97 Jahren zufolge der hohen durchschnittlichen Nutzungsdauer der AG Tragwerk Unterbau alleine von 109 Jahren auf $m_{Basis} = 100$ Jahre aufgerundet.

Da die theoretische Nutzungsdauer der Betonunterbauten gemäß Ablöserichtlinie 110 Jahre beträgt, bedeutet dies, dass die tatsächlich ausgewertete Nutzungsdauer um 9% geringer ist als die theoretische Nutzungsdauer der Ablöserichtlinie der ÖBB.

4.5.7. Zusammenfassung der Basiswerte

Der Basiswert der Tragwerke und Unterbauten wurde schrittweise ermittelt. Als erstes wurden die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Gesamtobjekte und der einzelnen Analysegruppen für die einzelnen Tragwerksgruppen – Stahlvollwandträger, Stahlfachwerke, Trägerbetone und Stahlbetontragwerke - und den Unterbauten aus Naturstein und Beton ermittelt. Danach wurden die absoluten und relativen Häufungen der AG Tragwerk bzw. AG Unterbau ermittelt.

Die absolute Häufung zeigt die Objekte an, welche schwerpunktmäßig erneuert werden. Liegt die absolute Bandbreite der Nutzungsdauer im Bereich der relativen, so kann der Basiswert anhand aller zu erneuernden Objekte ermittelt werden. Weichen die Werte voneinander ab, beispielsweise bei den Stahlbetontragwerken, so wird der Basiswert anhand der Objekte im Bereich der relativen Häufung bestimmt.

Die relative Häufung gibt an, wie viele Objekte innerhalb des betrachteten Jahrzehnts im Verhältnis zur Gesamtanzahl in diesem Baujahrzehnt erneuert werden. Diese Zahl spiegelt sehr gut wider, ob die Erneuerung ein Zeichen dafür ist, dass die Objekte das Ende der Nutzungsdauer erreichen (dann ist der relative Wert hoch) oder ob einzelne Objekte frühzeitig erneuert werden müssen (dann ist der relative Wert gering). Die ermittelten Basiswerte liegen gemäß Tabelle 43 alle im Mittelfeld dieser relativen Bandbreite.

In Tabelle 43 sind die Bandbreiten der ausgewerteten tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerke, die selektierten Werte der einzelnen AGs und die Basiswerte, sowie deren zugrunde gelegte Anzahl an Objekten, zusammengefasst.

Die AG Tragwerk wurde im Detail analysiert. Zur Ermittlung der selektierten Werte wurden zuerst all jene Objekte genau betrachtet, deren Nutzungsdauer im unteren Nutzungsdauerbereich liegt. Dabei wurden all jene Tragwerke ausgeschieden, bei denen das Tragwerk nur Mitauslöser für die Erneuerung ist. Danach wurden bei den Tragwerken all jene Objekte ausgeschieden, bei denen die Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau größer ist, als die Differenz der theoretischen Nutzungsdauer der Tragwerke und der Unterbauten gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB (10 Jahre für Stahltragwerke und 40 Jahre für Stahlbetontragwerke).

Der Basiswert wurde in Anlehnung an diese ermittelten durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern festgelegt und in Abhängigkeit der Analysegruppe Tragwerke alleine auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Dies deshalb, da die errechneten Zahlen eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist. Der Basiswert entspricht somit der Nutzungsdauer des gehäuften Errichtungszeitpunktes der Objekte des Erneuerungsplanes. Dieser Wert bezieht sich auf das Kernnetz und bei den Stahlvollwandträgern und den Stahlfachwerken auf die offene Fahrbahn.

tatsächliche Nutzungsdauern der Tragwerke	Stahl-vollwandträger		Stahl-fachwerk		Trägerbeton		Stahlbeton-tragwerk	
	Jahre	Stk	Jahre	Stk	Jahre	Stk	Jahre	Stk
Gesamtmenge der Erneuerung	84	171	106	52	93	78	69	21
Bandbreite der absoluten Werte	80 - 119		100 - 119		80 - 109			
Bandbreite der relativen Werte	84 - 123		94 - 133		24 - 43 74 - 113		75 - 114	
selektierte AG Tragwerk Altersdiff. < 10 bzw. 40 Jahre; Kernnetz	102	90	108	22	98	27	79	9
selektiert AG Tragwerke alleine Altersdiff. < 10 bzw. 40 Jahre; Kernnetz	125	1*			101	8	71	6
selektiert Altersdiff. < 40 Jahre und ND-Bereich 70 - Jahre; Kernnetz							92	6
Basiswert m_{Basis} Kernnetz	105		110		100		90	
Abweichung des Basiswertes von der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB	+ 5%		+ 10%		0%		+ 29%	

* Brücke mit Altragwerk wurde nicht berücksichtigt

Tabelle 43: Zusammenstellung der tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerke

Der Basiswert der Stahlvollwandträger wurde für Tragwerke im Kernnetz mit offener Fahrbahn ermittelt und beträgt 105 Jahre. Der Basiswert der Stahlfachwerke wurde ebenfalls für Tragwerke mit offener Fahrbahn im Kernnetz ermittelt und beträgt 110 Jahre, der Basiswert der Trägerbetone im Kernnetz beträgt 100 Jahre.

Bei den Stahlbetontragwerken wurde der Bereich der relativen Häufung der Tragwerke des Erneuerungsplans (Nutzungsdauer größer 70 Jahre) für die Ermittlung des Basiswertes herangezogen. Dies deshalb, weil Objekte mit geringer Nutzungsdauer Einzelfälle zufolge der großen Anzahl an Erneuerungen sind, die die Nutzungsdauer dieser Tragwerksgruppe reduzieren. Dadurch erhöht sich die Nutzungsdauer von 79 auf 92 Jahren und der Basiswert wird mit 90 Jahren vom Autor festgelegt.

Diese Basiswerte liegen bei den Trägerbetonen im Bereich der theoretischen Nutzungsdauer, bei den Stahltragwerken etwas über dem Wert und bei den Stahlbetontragwerken ist der ermittelte Basiswert um ca. 30% höher als die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie.

In Tabelle 44 sind die Bandbreiten der ausgewerteten tatsächlichen Nutzungsdauern der Unterbauten, die selektierten Werte der einzelnen AGs und die Basiswerte, sowie deren zugrunde gelegte Anzahl an Objekten, zusammengefasst.

tatsächliche Nutzungsdauern der Unterbau	Naturstein Unterbau		Beton Unterbau	
	Jahre	Stk	Jahre	Stk
Gesamtmenge Erneuerung	113	240	95	74
Bandbreite der absoluten Werte	90 - 119		80 - 109	
Bandbreite der relativen Werte	94 - 143		74 - 133	
selektierte AG Unterbau Kernnetz	117	110	97	31
selektierte AG Unterbau ohne Verstärkungen Kernnetz	113	83	92	21
AG Unterbau alleine Kernnetz	108	14	109	6
Basiswert m_{Basis} Kernnetz	115		100	
Abweichung des Basiswertes von der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB	+ 5%		- 9%	

Tabelle 44: Zusammenstellung der tatsächlichen Nutzungsdauern der Unterbauten

Die AG Unterbau wurde analog zur AG Tragwerke im Detail analysiert. Zuerst wurden all jene Objekte genau betrachtet, deren Nutzungsdauer im unteren Nutzungsdauerbereich liegt. Dabei werden all jene Unterbauten aussortiert, bei denen der Unterbau nur Mitauslöser für die Erneuerung war.

Der Basiswert wurde in Anlehnung dieser ermittelten durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer festgelegt, in Abhängigkeit der Analysegruppe Unterbau alleine gerundet und bezieht sich auf das Kernnetz.

Die relative Häufung gibt an, wie viele Objekte innerhalb des betrachteten Jahrzehnts im Verhältnis zur Gesamtanzahl in diesem Baujahrzehnt erneuert werden. Auch bei den

Unterbauten liegen die ermittelten Basiswerte gemäß Tabelle 44 im Mittelfeld dieser relativen Bandbreite.

Der Basiswert der Natursteinunterbauten im Kernnetz beträgt 115 Jahre, der Basiswert der Betonunterbauten im Kernnetz 100 Jahre. Diese Basiswerte liegen im Bereich der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB (110 Jahre für Unterbauten aus Mauerwerk, Beton und Stahlbeton).

Generell zeigt sich, dass die Differenz der Basiswerte zwischen Tragwerk und Unterbau gering ist und somit ein alleiniger Tragwerkstausch bei Beton- und Natursteinunterbauten grundsätzlich nicht zielführend erscheint.

4.6. Parameter der tatsächlichen Nutzungsdauer

Die tatsächliche Nutzungsdauer von Brücken ist nicht nur von den in der Ablöserichtlinie unterschiedenen Baustoffen und Konstruktionen abhängig, sondern auch von anderen Parametern. Im Zuge dieses Kapitels werden verschiedene Parameter für das Tragwerk und den Unterbau untersucht und gegebenenfalls der Einfluss dieser auf die Nutzungsdauern bewertet.

4.6.1. Parameter Netzkategorie

Es scheint naheliegend und es hat sich im Zuge der Basiswertermittlung gezeigt, dass der tatsächliche Belastungsumfang einen Einfluss auf die tatsächliche Nutzungsdauer hat. Der Belastungsumfang der Strecke – und damit auch der Brücke – wird bei den ÖBB mit der Netzkategorie abgebildet. Wie im Kapitel 2.4 angegeben, unterscheidet man in die Netzkategorien Kernnetz (Netzkategorie A und B1) und Ergänzungsnetz (Netzkategorie B2 und C).

Die Auswertung in Abbildung 60 basiert auf der Gesamtmenge der Objekte des Erneuerungsplanes. Es wurden nur jene durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern dargestellt, bei denen zumindest 10 Objekte je Kategorie gegeben waren.

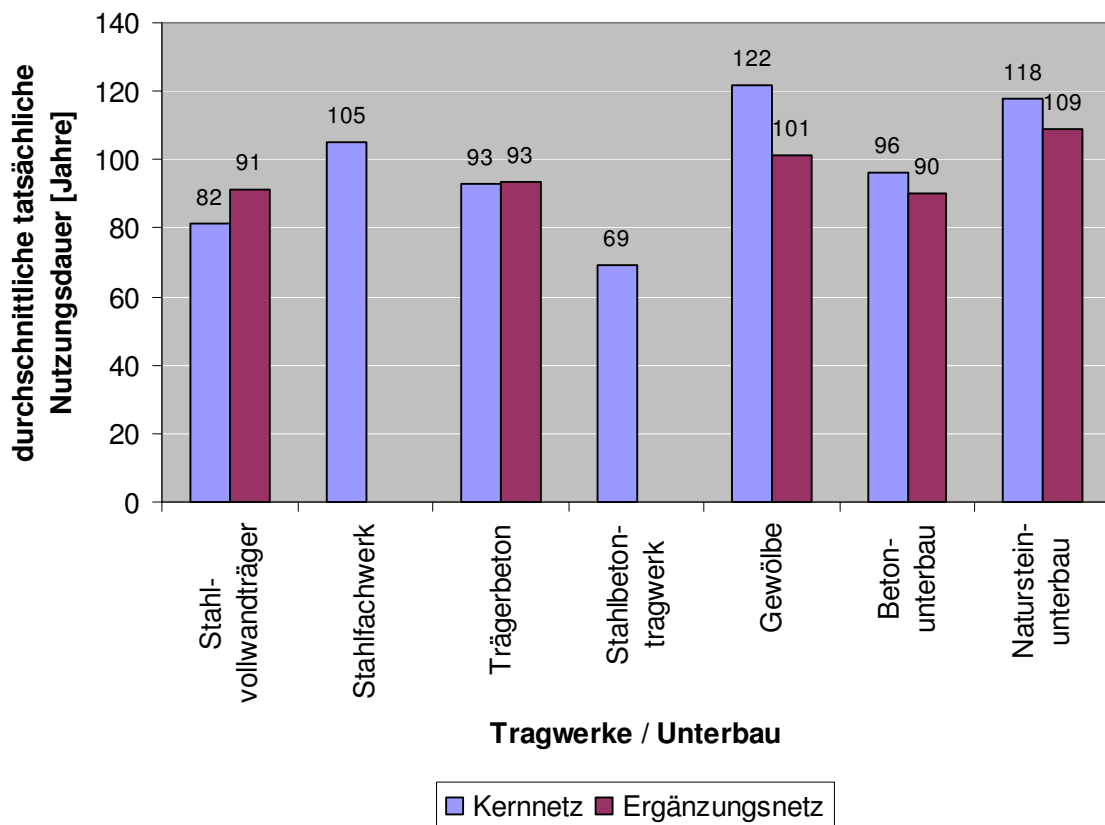


Abbildung 60: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke und des Unterbaues in Abhängigkeit der Netzategorie

Aus Abbildung 60 lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke im Kernnetz ist geringer oder gleich jener im Ergänzungsnetz. Dies ist zufolge der höheren Belastung des Kernnetzes nachvollziehbar.
- Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der im Kernnetz analysierten Gewölbe ist größer als jene im Ergänzungsnetz. Im Gegensatz zu den Tragwerken – insbesondere bei jenen mit offener Fahrbahn – wirken sich die dynamischen Lasten bei den Gewölben geringer aus.
- Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der im Kernnetz analysierten Unterbauten ist größer oder gleich der tatsächlichen Nutzungsdauer im Ergänzungsnetz. Dies ist im Hinblick auf die dynamische Belastung in Analogie zu den Gewölben zu sehen.

Zur Berücksichtigung des Einflusses der Netzategorie wird der Faktor $k_{\text{Netzkategorie}}$ eingeführt, dieser ist in Formel 2 definiert.

$$k_{\text{Netzkat}} = \frac{M_{\text{Ergänzungnetz}}}{M_{\text{Kernnetz}}}$$

Formel 2: Definition des Faktors k_{Netzkat}

Dieser Faktor bezieht sich auf das Kernnetz, da sich der Basiswert der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer ebenfalls auf das Kernnetz bezieht.

4.6.1.1. Faktor Netzkategorie k_{Netzkat} Tragwerk

Die Auswertung der gesamten Objekte des Erneuerungsplanes in Abbildung 60 hat gezeigt, dass Unterschiede zwischen den Netzkategorien gegeben sind. Nunmehr werden die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerke, die der AG Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit und der AG Tragwerk sowie den einzelnen Tragwerksgruppe dieser Analysegruppe zugeordnet wurden, untersucht. Die Auswertung in Abhängigkeit der Netzkategorie ist in Tabelle 45 dargestellt. Die Werte mit einer Mindestanzahl von 10 sind grün, die anderen Werte braun hinterlegt, dies gilt auch für Tabelle 45 bis Tabelle 60. Die Auswertung zeigt, dass bei ausreichender Anzahl an Objekten der AGs Tragwerke der Wert zwischen 1,03 und 1,06 liegt.

Analysegruppe	Kernnetz		Ergänzungnetz		k_{Netzkat}
	Stk.	Nutzungsdauer [Jahre]	Stk.	Nutzungsdauer [Jahre]	
Tragwerk	167	94,00	50	99,40	1,06
Tragwerk Stahlvollwandträgerbrücke	69	94,70	31	98,70	1,04
Tragwerk Stahlfachwerk	31	105,30	7	112,60	1,07
Tragwerk Trägerbeton	52	92,80	11	96,00	1,03
Tragwerk Stahlbeton	14	73,70	1	66,00	0,90

Tabelle 45: Ermittlung des Faktors k_{Netzkat} der Tragwerke

Die AG Tragwerk ergibt einen Wert von 1,06. Eine ausreichende Anzahl an Objekten ist noch bei der AG Stahlvollwandträger und AG Trägerbetone gegeben. Da die errechneten Zahlen eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, wird der Wert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Den Mittelwert liefert die AG Tragwerke (in dieser sind alle Tragwerksgruppen zusammengefasst) mit 1,06. Durch die zuvor beschriebene Rundung wird der Wert mit 1,05 vom Autor angesetzt. Da die

Tragwerksgruppen mit einer ausreichenden Anzahl an Objekten (Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke) im Bandbreitenbereich des Wertes 1,05 (Bandbreite 1,025 – 1,075) liegt und nur die Stahlbetontragwerke als Einzelwert davon abweichen, wird der Faktor für die Netzkategorie für alle Tragwerksgruppen mit 1,05 angesetzt. Daher gelten nachfolgende Werte:

Kernnetz $k_{\text{Netzkat,K}} = 1,00$

Ergänzungsnetz $k_{\text{Netzkat,E}} = 1,05$

4.6.1.2. Faktor Netzkategorie k_{Netzkat} Unterbau

Wie zuvor bei der Analyse der Nutzungsdauer in Abhängigkeit der Netzkategorie bereits festgestellt, ist die Nutzungsdauer des Unterbaues im Kernnetz größer als im Ergänzungsnetz. In Tabelle 46 werden die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern des Unterbaues in die einzelnen Analysegruppen aufgebrochen. Nur für die AGs Unterbau und die AGs Natursteinunterbau sind eine ausreichende Anzahl an Objekten vorhanden, die Tendenz ist jedoch auch bei den restlichen Analysegruppen dieselbe. Die durchschnittliche Nutzungsdauer ist im Ergänzungsnetz geringer als im Kernnetz - also gerade umgekehrt wie bei den Tragwerken - und der Faktor k_{Netzkat} ist bei Unterbauten ohne Verstärkungen größer als bei den gesamten Unterbauten. Zusätzlich wird in Tabelle 46 auch die durchschnittliche Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau ermittelt.

Analysegruppe	Kernnetz			Ergänzungsnetz			k_{Netzkat}
	Stk.	Nutzungsdauer [Jahre]	Altersdiff UB-TW [Jahre]	Stk.	Nutzungsdauer [Jahre]	Altersdiff UB-TW [Jahre]	
Unterbau	159	111,60	20	29	103,80	4	0,93
Unterbau ohne Verstärkung	122	107,60	16	29	103,80	4	0,96
Betonunterbau	32	95,50	22	6	85,70	10	0,90
Betonunterbau ohne Verstärkung	22	89,90	20	6	85,70	10	0,95
Natursteinunterbau	111	116,90	20	22	109,90	2	0,94
Natursteinunterbau ohne Verstärkung	84	112,40	16	22	109,90	2	0,98

Tabelle 46: Ermittlung des Faktors k_{Netzkat} der Unterbauten

Die längere durchschnittliche Nutzungsdauer der Unterbauten im Kernnetz erklärt sich auch durch die größere Altersdifferenz der Unterbauten zu den Tragwerken. Das bedeutet, dass im Kernnetz häufiger die Tragwerke alleine - und wie aus der Auswertung

der Tragwerke ersichtlich, im Kernnetz öfters als im Ergänzungsnetz - erneuert wurden. Im Zuge des Tragwerkstausches wurden die Unterbauten instandgesetzt bzw. verbessert.

Weiters ist aus der Tabelle ersichtlich, dass bei der AG Unterbau nur im Kernnetz Verstärkungen durchgeführt wurden (dies ist daraus ersichtlich, dass die Anzahl der Objekte der AG Unterbau und AG Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen voneinander abweichen). Diese heben die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der AG Unterbau von 108 Jahre – ohne Verstärkungen – auf 112 Jahre der AG Unterbau im Kernnetz an. Demzufolge nimmt der Faktor der Unterbauten gegenüber den Unterbauten ohne Verstärkungsmaßnahmen ab.

Es liegt somit die Vermutung nahe, dass die längere Nutzungsdauer im Kernnetz auf Kosten eines höheren Instandhaltungsaufwandes für den Unterbau geht. Dies kann aber im Einzelfall für die gesamte Lebenszyklusbetrachtung der Brücke die bessere Lösung sein, da dadurch die Nutzungsdauer des zweiten Tragwerkes vermehrt ausgenützt werden kann.

Da die in Tabelle 46 errechneten Zahlen eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, wird der Wert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet. Für die Auswertung wird analog dem Basiswert der Nutzungsdauer die Analysegruppe Unterbau angesetzt. Den Mittelwert über alle Unterbauten liefert die AG Unterbau mit 0,93, dieser wird mathematisch auf 0,95 gerundet. Die über eine ausreichende Anzahl an Objekten verfügenden Natursteinunterbauten liegen mit 0,94 im Bandbreitenbereich des Wertes 0,95 (0,925 – 0,975), die Betonunterbauten mit einer geringen Anzahl an Objekten weichen davon gering ab. Daher wird dieser Faktor sowohl für Naturstein- als auch für Betonunterbauten angesetzt.

Kernnetz $k_{\text{Netzkat,K}} = 1,00$

Ergänzungsnetz $k_{\text{Netzkat,E}} = 0,95$

4.6.2. Parameter Fahrbahnart der Tragwerke

Grundsätzlich unterscheidet man bei der Schienenbefestigung auf der Brücke zwischen Brücken mit offener Fahrbahn und Brücken mit geschlossener Fahrbahn (dies sind Schotterbett, feste Fahrbahn und direkte Schienenbefestigung). Gemäß dem Stand der Technik werden heute im Regelfall nur noch Brücken mit geschlossener Fahrbahn (mit Ausnahme der direkten Schienenbefestigung) errichtet.

Die Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke wurden in der Vergangenheit fast ausschließlich mit offener Fahrbahn errichtet. Daher bezieht sich auch der Basiswert für Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke sowie der Faktor k_{Fahrbahn} gemäß Formel 3 auf die offene Fahrbahn.

$$k_{\text{Fahrbahn}} = \frac{M_{\text{geschl.Fahrbahn}}}{M_{\text{offeneFahrbahn}}}$$

Formel 3: Definition des Faktors k_{Fahrbahn}

4.6.2.1. Faktor Fahrbahn k_{Fahrbahn} Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke

Bei den im Erneuerungsplan enthaltenen Brücken sind alle Stahlfachwerke mit offener Fahrbahn ausgeführt. Bei den Stahlvollwandträgern überwiegen ebenfalls die Tragwerke mit offener Fahrbahn, 10 Objekte weisen jedoch ein durchgehendes Schotterbett auf und ein Objekt wurde mit direkter Schienenbefestigung ausgeführt.

In Tabelle 47 ist für die Stahlvollwandträger die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und deren Objektsanzahl in Abhängigkeit der Fahrbahnart und der Analysegruppe dargestellt. Die Spalte Anteil Kernnetz gibt den Prozentsatz der Stahlvollwandträger im Kernnetz wider.

Stahlvollwandträger	offene Fahrbahn			Schotterbett			k_{Fahrbahn}
	Stk	Nutzungsdauer [Jahre]	Anteil Kernnetz [%]	Stk	Nutzungsdauer [Jahre]	Anteil Kernnetz [%]	
Gesamtmenge Erneuerungsplan	160	84,00	72%	10	98,00	90%	1,17
Tragwerk	93	96,00	68%	7	100,00	86%	1,04

Tabelle 47: Ermittlung des Faktors k_{Fahrbahn} der Stahlvollwandtragwerke

Die Gesamtmenge der Stahlvollwandträger beinhaltet auch die Objekte der AG Strategische Gründe. Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke dieser Analysegruppe liegt gemäß Tabelle 32 bei 52 Jahren. Da diese zum überwiegenden Teil bei den Tragwerken mit offener Fahrbahn vorhanden sind (25 mit offener Fahrbahn und nur 1 Tragwerk mit geschlossener Fahrbahn), sinkt die

durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Gesamtmenge sehr stark ab. Der Faktor 1,17 ist daher nicht repräsentativ. Weiters zu berücksichtigen ist, dass:

- die offene Bauweise zu Beginn des Eisenbahnbrückenbaus die erprobte Standardbauweise für Stahlvollwandträgerbrücken und Fachwerksbrücken war,
- durch den früheren Einsatz dieser Bauweise jene Objekte mit geringerer Nutzungsdauer bereits ausgeschieden sind und
- der prozentuelle Anteil an Brücken mit Schotterbett im Kernnetz höher ist als jener im Ergänzungsnetz. Im Kapitel 4.6.1.1 wurde ermittelt, dass die Nutzungsdauer der Tragwerke im Kernnetz geringer ist, als im Ergänzungsnetz. Der höhere Anteil an Objekten im Kernnetz bei offener Fahrbahn bedeutet, dass die Nutzungsdauer zufolge dieses höheren Prozentsatzes reduziert wird. Wäre das Verhältnis der Objekte zwischen Kernnetz und Ergänzungsnetz ausgeglichen, würde der Faktor k_{Fahrbahn} demzufolge etwas höher sein.

Nur die Gesamtmenge liefert einen Faktor mit einer ausreichenden Objektsanzahl, dieser ist jedoch wie zuvor beschrieben nicht repräsentativ. Da die bei der Basiswertermittlung herangezogene Analysegruppe Tragwerke mit 7 Objekten die Mindestanzahl nur knapp nicht erreicht, wird diese für die Ermittlung des Faktors herangezogen. Da der errechnete Wert von 1,04 eine Genauigkeit vortäuscht die so nicht gegeben ist, wird der Wert auf die Endziffer 5 aufgerundet und beträgt somit für eine Fahrbahn mit Schotterbett 1,05.

Da die Auswirkungen der offenen Fahrbahn auf die Primärkonstruktion der Stahlvollwandträger dieselbe ist wie auf die Stahlfachwerke gilt dieser Faktor sowohl für die Stahlvollwandträger als auch für die Stahlfachwerke.

Offene Fahrbahn $k_{\text{Fahrbahn,O}} = 1,00$

Schotterbett $k_{\text{Fahrbahn,S}} = 1,05$

4.6.3. Parameter Altersunterschied Tragwerk und Unterbau

Im Zuge der Datenaufbereitung wurde festgestellt, dass oftmals ein erheblicher Unterschied zwischen dem Baujahr des Tragwerkes und dem des Unterbaues gegeben ist. Dies begründet sich dadurch, da die Nutzungsdauer von Tragwerken gemäß der Ablöserichtlinie geringer ist als die Nutzungsdauer der Unterbauten. In dieser Auswertung soll analysiert werden, ob die Nutzungsdauer der Tragwerke in einer Abhängigkeit zur Altersdifferenz Unterbau – Tragwerk steht.

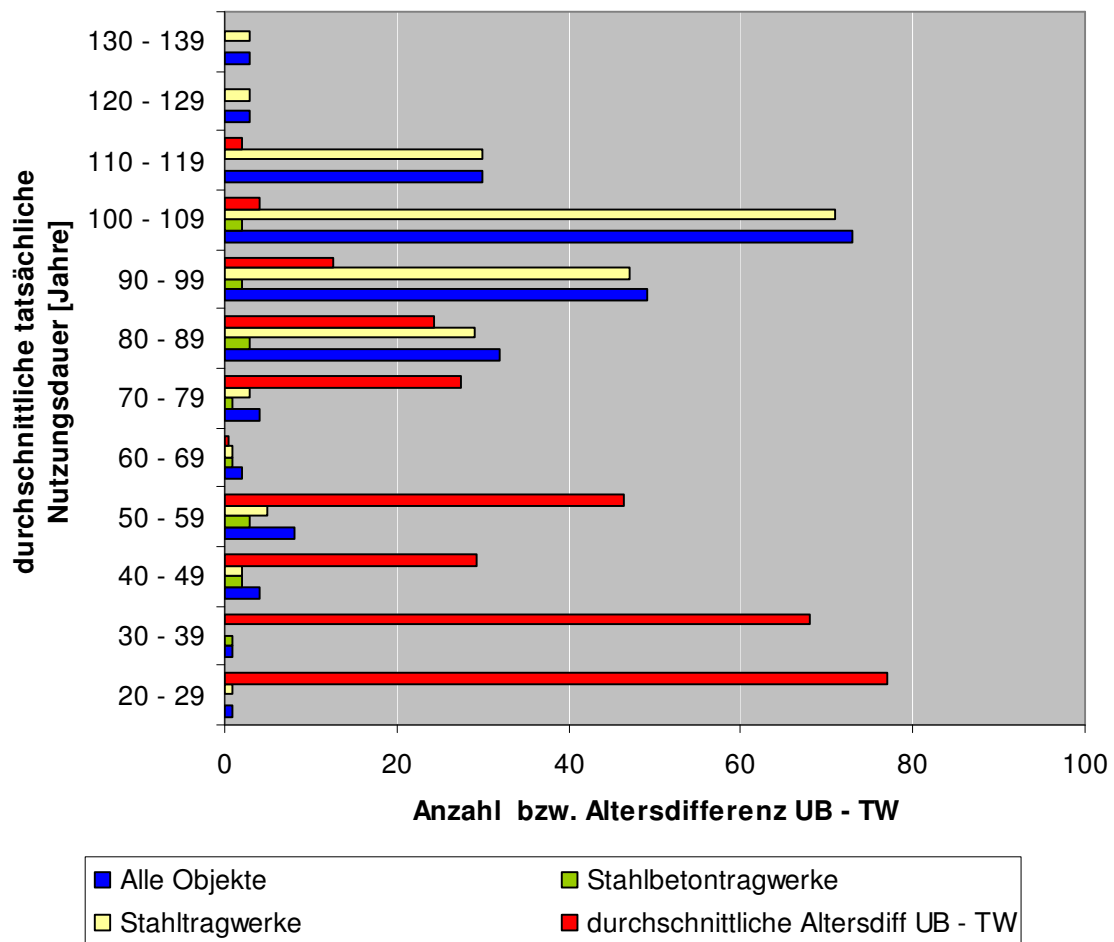


Abbildung 61: Tatsächliche Nutzungsdauer der Analysegruppe Tragwerk und die Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau in Dekadenschritten

In Abbildung 61 sind die Anzahl der verschiedenen Tragwerksgruppen und die durchschnittliche Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk in Abhängigkeit der Dekaden der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer dargestellt. Dieser Abbildung ist zu entnehmen, dass mit Abnahme der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Tragwerke die Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk stark ansteigt. Dies bedeutet, dass bei Brücken des Erneuerungsplanes mit relativ neuen Tragwerken zumeist der Unterbau alt ist.

Nachfolgend wird der Einfluss des Altersunterschiedes zwischen Tragwerk und Unterbau auf die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke ausgewertet. Zur Berücksichtigung der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau wird der Faktor k_{Diff} eingeführt, dieser ist in Formel 4 definiert.

$$k_{Diff} = \frac{M_{x-x}}{M_{0-9}}$$

Formel 4: Definition des Faktors k_{Diff}

Dabei ist M_{0-9} die tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte mit einer Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau von 0 bis 9 Jahren und M_{x-x} die tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte mit vorgegebener Altersdifferenz.

4.6.3.1. Faktor Altersunterschied Tragwerk und Unterbau k_{Diff} für Stahltragwerke

Die Unterteilung erfolgt in die Altersdifferenzgruppen 0 bis 9 Jahre, 10 bis 49 Jahre, 50 bis 69 Jahre und ab 70 Jahre. In Tabelle 48 sind die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und deren Objektanzahl, sowie der ermittelte Faktor k_{Diff} für die einzelnen Jahresepochen in Abhängigkeit der Analysegruppen dargestellt. Alle durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern und Faktoren k_{Diff} , deren Ermittlung zumindest 10 Objekte zugrunde liegen, sind grün, die anderen Werte sind braun hinterlegt. Wie aus Tabelle 48 ersichtlich, liefern alle Werte analog der Abbildung 61 dieselben Tendenzen. Mit zunehmender Altersdifferenz nimmt die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer ab, bzw. ab einer Altersdifferenz von 70 Jahren ist diese Abnahme sehr massiv.

Analysegruppe		0 - 9 Jahre		10 - 49 Jahre		50 - 69 Jahre		ab 70 Jahre	
		Nutzungs-dauer	k_{Diff}	Nutzungs-dauer	k_{Diff}	Nutzungs-dauer	k_{Diff}	Nutzungs-dauer	k_{Diff}
Tragwerk Stahl	Jahre	104	1,00	98	0,94	76	0,73	40	0,39
	Stk.	119		50		14		7	
Tragwerk Stahl-vollwandträger	Jahre	104	1,00	98	0,94	75	0,72	41	0,39
	Stk.	55		25		8		4	
Tragwerk Stahlfachwerk	Jahre	109	1,00	104	0,95	87	0,80		
	Stk.	28		8		2			
Tragwerk Trägerbeton	Jahre	99	1,00	94	0,96	73	0,74	38	0,38
	Stk.	36		17		4		2	

Tabelle 48: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und k_{Diff} der Stahltragwerke in Abhängigkeit der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau

Da die errechneten Werte in der Tabelle 48 eine Genauigkeit vortäuschen, die für das einzelne Objekt nicht gegeben ist, wird der Wert auf die Endziffer 5 bzw. 0 auf- oder abgerundet.

Bereich 10 – 49 Jahre:

Die Reduktion der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Tragwerke ist in diesem Bereich noch sehr gering. Die Werte mit einer ausreichenden Anzahl an Objekten der Analysegruppen liegen zwischen 0,96 und 0,94 und somit im Bandbreitenbereich (0,925-0,975) des vom Autor festgelegten Wertes von 0,95.

Bereich 50 – 69 Jahre:

Ab 50 Jahre Altersunterschied zwischen dem Tragwerk und dem Unterbau nimmt die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke deutlicher ab. Der Wert mit einer ausreichenden Anzahl an Objekten der AG Tragwerk beträgt 0,73, die größte Abweichung zu den restlichen Analysegruppen ist bei den Stahlfachwerken mit 0,80 gegeben. Der Wert wird gerundet, unter Berücksichtigung der Werte ohne ausreichende Anzahl, mit 0,75 angesetzt. Nur die Tragwerksgruppe Stahltragwerke liefert Werte mit einer ausreichenden Anzahl an Objekten, dieser beträgt 0,73 bzw. gerundet 0,75.

Bereich über 70 Jahre:

Ab 70 Jahre Altersunterschied zwischen dem Tragwerk und dem Unterbau nimmt die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke sehr stark ab. Die geringe Anzahl an Objekten zeigt, dass diese große Altersdifferenz eher eine Ausnahme ist und somit auch keine ausreichende Anzahl an Objekten der einzelnen Analysegruppen vorhanden ist. Als Wert wird der gerundete Faktor der AG Tragwerk mit 0,40 vom Autor festgelegt, dieser liegt auch in den Bandbreiten der anderen Analysegruppen.

Zusammenstellung der Faktoren k_{Diff} für die Stahltragwerke.

Altersunterschied bis 9 Jahre	$k_{\text{Diff},-9} = 1,00$
Altersunterschied 10 bis 49 Jahre	$k_{\text{Diff},10-49} = 0,95$
Altersunterschied 50 bis 69 Jahre	$k_{\text{Diff},50-69} = 0,75$
Altersunterschied ab 70 Jahre	$k_{\text{Diff},70-} = 0,40$

4.6.3.2. Faktor Altersunterschied Tragwerk und Unterbau k_{Diff} für Stahlbetontragwerke

Die Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau wird für die Stahlbetontragwerke in Analogie zur Ablöserichtlinie (70 Jahre Stahlbetontragwerke und 110 Jahre Unterbauten) in die Bereiche bis 39 Jahre und darüber unterteilt. Die Auswertung ist in Tabelle 49 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die durchschnittliche Nutzungsdauer ab 40 Jahren Altersdifferenz um ca. 10% abnimmt, eine ausreichende Objektsanzahl ist jedoch nicht vorhanden. Der Faktor wird von 0,92 auf 0,90 abgerundet

Analysegruppe		0 - 39 Jahre		ab 40 Jahre	
		Nutzungs- dauer	k_{Diff}	Nutzungs- dauer	k_{Diff}
Stahlbetontragwerke	Jahre	75	1,00	69	0,92
	Stk.	11		4	

Tabelle 49: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und k_{Diff} der Stahlbetontragwerke in Abhängigkeit der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau

Zusammenstellung der Faktoren k_{Diff} für die Stahlbetontragwerke.

Altersunterschied bis 39 Jahre $k_{Diff,-39} = 1,00$

Altersunterschied ab 40 Jahre $k_{Diff,40-} = 0,90$

Die Auswertungen der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau zeigen, dass bei einem alleinigen Tragwerkstausch die Gefahr gegeben ist, dass die Nutzungsdauer des zweiten Tragwerkes nicht zur Gänze ausgenutzt werden kann.

4.6.4. Parameter Stützweite

Bei dieser Untersuchung wird ausgewertet, ob ein Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Tragwerke bzw. Unterbauten und der Stützweite besteht. Da in der technischen Datenbank der ÖBB die Stützweiten der Tragwerke nicht eingetragen und die Eisenbahnbrücken überwiegend Einfeldtragwerke sind -beispielsweise bei der Analysegruppe Tragwerk 211 der 217 Tragwerke - wird für diese Untersuchung der Parameter der Brückenlänge der Einfeldträger herangezogen.

4.6.4.1. Faktor Stützweite Tragwerk

Bedingt durch die Konstruktion sind Stahlbetontragwerke und Trägerbetone im kurzen, Stahlvollwandträger im kurzen und mittleren und Stahlfachwerke im mittleren und großen

Stützweitenbereich gegeben, dies zeigt auch die Auswertung des Erneuerungsplanes in Tabelle 50. In dieser sind die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und deren Anzahl an Objekten in Abhängigkeit der Tragwerkslänge für die einzelnen Analysegruppen dargestellt.

Analysegruppe		2 - 9 m Nutzungs- dauer	10 - 19 m Nutzungs- dauer	20 - 29 m Nutzungs- dauer	30 - 39 m Nutzungs- dauer	40 - 49 m Nutzungs- dauer	über 50 m Nutzungs- dauer
Gesamtmenge Erneuerungsplan	Jahre	83	84	93	101	108	106
	Stk.	218	64	28	21	12	13
Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Jahre	93	96	96	103	108	110
	Stk.	131	44	22	20	12	10
Tragwerk	Jahre	93	95	98	105	108	110
	Stk.	120	42	15	14	12	8
Tragwerk Stahl- vollwandträgerbrücke	Jahre	97	95	95			
	Stk.	47	39	12			
Tragwerk Stahlfachwerk	Jahre			108	105	108	110
	Stk.			3	14	12	8
Tragwerk Trägerbeton	Jahre	93	106				
	Stk.	62	1				
Tragwerk Stahlbeton	Jahre	74	82				
	Stk.	11	2				

Tabelle 50: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke in Abhängigkeit der Brückenlänge

Betrachtet man die ersten drei Analysegruppen dieser Tabelle, so wäre ein Anstieg der Nutzungsdauer mit zunehmender Brückenlänge erkennbar, dies würde ein Ansteigen der Nutzungsdauer mit zunehmender Stützweite bedeuten. Wird die Analysegruppe Tragwerk jedoch auf die einzelnen Tragwerksgruppen – Stahlvollwandtragwerke, Stahlfachwerke, Trägerbetone und Stahlbetontragwerke – aufgeteilt, so weicht die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer innerhalb dieser Gruppen bei ausreichender Anzahl an Objekten nur gering voneinander ab.

Damit kann festgehalten werden, dass der eventuelle Einfluss der Stützweite bereits bei der Festlegung der unterschiedlichen Basiswerte für Stahlvollwandträger, Stahlfachwerke, Trägerbetone und Stahlbetontragwerke beinhaltet ist. Ein Faktor zur Berücksichtigung der Stützweite für die Nutzungsdauer der Tragwerke wird daher nicht eingeführt.

4.6.4.2. Faktor Stützweite Unterbau

Analog zu den durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerke werden nunmehr die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Unterbauten in Hinblick auf den Einfluss der Stützweite untersucht. In Tabelle 51 sind die durchschnittlichen

tatsächlichen Nutzungsdauern und deren Objektanzahl in Abhängigkeit der Brückenlänge für die einzelnen Analysegruppen dargestellt. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die Schwankungen innerhalb der einzelnen Analysegruppen gering sind und insbesondere keine eindeutigen Tendenzen erkennbar sind.

Analysegruppe		2 - 9 m Nutzungs- dauer	10 - 19 m Nutzungs- dauer	20 - 29 m Nutzungs- dauer	30 - 39 m Nutzungs- dauer	40 - 49 m Nutzungs- dauer	über 50 m Nutzungs- dauer
Gesamtmenge Erneuerungsplan	Jahre	107	105	110	111	116	112
	Stk.	210	57	27	21	12	13
Unterbau	Jahre	109	110	108	115	125	115
	Stk.	102	32	20	14	5	10
Unterbau ohne Verstärkung	Jahre	104	108	105	111	125	109
	Stk.	69	30	18	12	5	8
Betonunterbau	Jahre	94	90				
	Stk.	31	5				
Betonunterbau ohne Verstärkung	Jahre	87	90				
	Stk.	21	5				
Natursteinunterbau	Jahre	117	117	111	115	125	115
	Stk.	61	23	17	14	5	10
Natursteinunterbau ohne Verstärkung	Jahre	112	114	107	111	125	109
	Stk.	42	21	15	12	5	8

Tabelle 51: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten in Abhängigkeit der Brückenlänge

Grundsätzlich ist aus dieser Tabelle jedoch ersichtlich, dass für Brücken mit großer Stützweite ausschließlich Natursteinwiderlager verwendet wurden. Ein Faktor zur Berücksichtigung der Stützweite für die Nutzungsdauer der Unterbauten wird nicht eingeführt.

4.6.5. Parameter Brückenklasse der Tragwerke

Bei der Analyse der Brückenklassen wird untersucht, ob eine Abhängigkeit der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerke zum Bemessungslastbild gegeben ist. Insbesondere soll überprüft werden, ob sich Lastreserven positiv auf die Nutzungsdauer auswirken. Als Kenngröße wurde die Achslast herangezogen.

Setzt man wieder als Voraussetzung für eine aussagekräftige Analyse eine Mindestmenge von 10 Objekten je Lastenzug an, so verbleiben für die Untersuchung lediglich die Lastenzüge LZ I 1904, N-Zug 1922, G- Zug 1938, E- Zug 1938 und S - Zug 1956. In Tabelle 52 ist die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke

und deren Objektsanzahl in Abhängigkeit des Lastenzuges für die einzelnen Analysegruppen angeführt.

Bei der Auswertung gemäß Tabelle 52 ist jedoch zu beachten, dass die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer zumeist höher ist – insbesondere bei den jüngeren Brückenklassen - als die Zeitspanne seit in Kraft treten der Lastenzüge. Dies bedeutet, dass der Lastenzug zumindest teilweise nicht das Originallastbild ist, sondern vielmehr das Tragwerk im Nachhinein in diese eingestuft wurde.

Der Lastenzug aus 1904 ist der älteste Lastenzug dieser Auswertung. Dieser hat eine verhältnismäßig hohe durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer. Dies ist hauptsächlich dadurch bedingt, dass von diesem Lastenzug nur noch die langlebigsten, sich am Ende der Abgangskurve befindlichen Tragwerke vorhanden sind.

Analysegruppe		Lastenzug I 1904 Nutzungs- dauer	Lastenzug N-Zug 1922 Nutzungs- dauer	Lastenzug G-Zug 1938 Nutzungs- dauer	Lastenzug E-Zug 1938 Nutzungs- dauer	Lastenzug S-Zug 1956 Nutzungs- dauer
Achslast	to	20 to	25 to	18 to	20 to	25 to
Zeitspanne seit Inkrafttreten bezogen auf 2009	Jahre	105	87	71	71	53
Gesamtmenge Erneuerungsplan	Jahre	100	95	110	101	64
	Stk	46	130	34	40	61
Strategische Objekte	Jahre		101	73		54
	Stk		1	2		21
Unterbau	Jahre	86	95	103		48
	Stk	5	20	3		7
Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Jahre	101	95	111	101	66
	Stk	35	93	31	37	18
Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Jahre	105	92	100	107	38
	Stk	7	4	5	7	3
Tragwerk	Jahre	100	95	113	99	72
	Stk	28	89	26	30	15
Tragwerk Stahl-vollwandträger	Jahre	94	95	114	99	85
	Stk	9	37	10	25	5
Tragwerk Stahlfachwerk	Jahre	104	96	114	107	104
	Stk	8	9	12	3	3
Tragwerk Trägerbeton	Jahre	100	95	106	95	51
	Stk	11	37	4	2	2
Tragwerk Stahlbeton	Jahre		93			48
	Stk		6			5

Tabelle 52: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke in Abhängigkeit der maßgeblichen Lastenzüge

Die Auswertung in Tabelle 52 zeigt, dass die höchste, durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Lastenzug G aufweist, obwohl dieser die geringste Achslast von 18 to hat. Die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des N-Zuges 1922, mit 25 to Achslast und den sehr hohen Schnittkräfte zufolge seines Bemessungslastbildes, ist geringer.

Um einen aussagekräftigen Vergleich führen zu können, werden die Lastenzüge mit demselben Inkraftsetzungszeitpunkt aber unterschiedlicher Achslast miteinander verglichen. Gemäß Tabelle 52 sind dies der Lastenzug G 1938 und E 1938.

In Tabelle 53 sind die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern und deren zugrunde gelegte Objektanzahl für diese Lastenzüge in Abhängigkeit der Netzkategorie und der Analysegruppe dargestellt.

Analysegruppe		Lastenzug G-Zug 1938			Lastenzug E-Zug 1938		
Achslast		18 to			20 to		
Zeitspanne seit Inkrafttreten bezogen auf 2009		71			71		
Netzkategorie		Summe	Kernnetz	Ergänzungsnetz	Summe	Kernnetz	Ergänzungsnetz
		Nutzungsdauer			Nutzungsdauer		
Gesamtmenge	Jahre	110	110	110	101	103	85
Erneuerungsplan	Stk	34	18	16	40	36	4
Tragwerk + Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Jahre	111	112	110	101	103	85
	Stk	31	16	15	37	33	4
Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Jahre	110	110	113	115	115	
	Stk	5	4	1	7	7	
Tragwerk	Jahre	113	117	109	99	101	85
	Stk	26	12	14	30	26	4
Tragwerk Stahlvollwandträger	Jahre	114	128	109	99	101	85
	Stk	10	3	7	25	21	4

Tabelle 53: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer vom G- Zug und E-Zug in Abhängigkeit der Netzkategorie

Es zeigt sich, dass sowohl im Kernnetz als auch im Ergänzungsnetz – mit Ausnahme der AG Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit – die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Lastenzuges mit der Achslast von 20 to geringere Werte liefert, als der Lastenzug mit 18 to Achslast. Außerdem wurden mehr Tragwerke des Lastenzuges E 20 to (7 von 40) ausschließlich der SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet, als des Lastenzuges G 18 to (5 von 34). Dies widerspiegelt jedoch nicht die allgemeine Erwartung, dass Lastreserven eine höhere Nutzungsdauer ergeben. Bei der detaillierten Betrachtung der einzelnen Objekte der Analysegruppe Tragwerk zeigt sich folgendes:

- Die Nutzungsdauern dieser Lastenzüge liegen alle über der Zeitspanne seit dem Inkrafttreten des Bemessungslastbildes. Daher wurden offensichtlich sehr viele Tragwerke im Nachhinein diesem Bemessungslastbild zugeordnet.
- Den Tragwerken der AG Tragwerk des Lastenzuges G mit 18 to wurde häufiger (13 von 26) als dem Lastenzug E mit 20 to (10 von 30) auch die SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugewiesen. Berücksichtigt man auch die 31 Objekte des Lastenzuges G und die 37 Objekte des Lastenzuges E die der SG Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet wurden so ist die SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bei beiden Lastenzügen ca. gleich oft gegeben.

Eine eindeutige Bewertung der Brückenklasse ist somit jedoch nicht möglich und ein Faktor zur Berücksichtigung der Brückenklasse wird nicht eingeführt.

4.6.6. Parameter Durchfahrtsnutzung der Brücke

Die Nutzung der Brückenöffnung ist zumeist zur Querung eines Gewässers, einer Straße oder eines Weges gegeben. In dieser Auswertung wird überprüft, ob eine Abhängigkeit für die Nutzungsdauer der Tragwerke und Unterbauten gegeben ist. Für die zahlenmäßige Bewertung der Ausnutzung wird der in Formel 5 definiert Faktor k_{DNZ} eingeführt.

$$k_{DNZ} = \frac{M_{DNZ}}{m_{Basis}}$$

Formel 5: Definition des Faktors k_{DNZ}

4.6.6.1. Durchfahrtsnutzung der Tragwerke

In dieser Untersuchung wird überprüft, ob die Art der Durchfahrtsnutzung (Gewässer, Straße oder Weg) eine Auswirkung auf die Nutzungsdauer der Tragwerke hat. In Tabelle 54 sind die durchschnittlichen Nutzungsdauern und deren zugrunde gelegte Objektanzahl der verschiedenen Analysegruppen in Abhängigkeit der Durchfahrtsnutzung und der Netzkategorie dargestellt.

Analysegruppe		Gewässer			Straße			Weg		
		Summe	KN	EN	Summe	KN	EN	Summe	KN	EN
Tragwerk	Jahre	96	92	102	94	93	100	87	83	98
	Stk.	74	48	26	61	57	4	19	14	5
Tragwerk Stah-vollwandträger	Jahre	100	97	105	95	93	112	99	83	109
	Stk.	40	23	17	31	28	3	5	5	3
Tragwerk Stahvollwandträger offene Fahrbahn	Jahre	100	97	105	94	91	112	99	83	109
	Stk.	40	23	17	25	22	3	5	5	3
Tragwerk Stahlfachwerk	Jahre	99	100	89	111	111				
	Stk.	7	6	1	1	1				
Tragwerk Trägerbeton	Jahre	94	91	99	95	95		86	88	80
	Stk.	24	16	8	26	26		8	6	2
Tragwerk Stahlbeton	Jahre	46	46		72	75	66	78	78	
	Stk.	3	3		3	2	1	6	6	

Tabelle 54: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke in Abhängigkeit der Durchfahrtsnutzung

Vergleicht man die tatsächlichen Nutzungsdauern der Tabelle 54 untereinander so ist erkennbar, dass bei den robusten Trägerbetonen und Stahlbetontragwerken (die Objektanzahl dieser Gruppe ist jedoch sehr gering) die Nutzungsdauer bei Straßenquerungen höher sind als bei Gewässerquerungen. Bei den Stahlvollwandträgern, insbesondere denjenigen mit offener Fahrbahn, ist dies gerade umgekehrt der Fall. Auffällig bei dieser Auswertung ist, dass bei der Durchfahrtsöffnung für Wege zumeist die geringste durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke gegeben ist.

Die erreichbare Nutzungsdauer von Tragwerken ist insbesondere auch von Parametern, wie beispielsweise den Zyklen der Korrosionsschutzerneuerung bei Stahlbrücken, abhängig. Daher wird nachfolgend der Korrosionsschutz der Stahltragwerke des Erneuerungsplanes analysiert. In Tabelle 55 sind die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und deren zugrunde gelegte Objektanzahl, die Abweichung der tatsächlichen Nutzungsdauer von der theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie [1], die durchschnittliche aktuelle Zustandsklassenbewertung und die Häufigkeit der Schädigungsgrade Korrosionsschaden in Stück und Prozent angegeben.

Die Aufzeichnungen betreffend der Erneuerungszeitpunkte des Korrosionsschutzes erfolgen in den Inspektionsblättern der einzelnen Objekte. Da nur bei circa der Hälfte der Stahlbrücken Aufzeichnungen des Korrosionsschutzes gegeben sind, liegt die Vermutung nahe, dass diese Aufzeichnungen nicht mit letzter Konsequenz erfolgten.

Analyse Korrosionsschutz		Zeitraum des letzten Korrosionsschutzes						
		nicht angegeben	1950 - 1959	1960 - 1969	1970 - 1979	1980 - 1989	1990 - 1999	2000 -
durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke	Jahre	87	108	88	86	98	91	109
	Stk	177	9	18	25	53	17	1
Δ Nutzungsdauer*	%	87%	108%	88%	86%	98%	91%	109%
durchschnittliche aktuelle Zustandsbewertung		3,5	4,0	3,6	3,7	3,3	3,3	4,0
SK Stahl- und Verbundtragwerk								
kein Korrosionsschaden	Stk	82	2	7	12	24	13	
	%	46%	22%	39%	48%	45%	76%	
Korrosionsschaden	Stk	70	2	3	5	19	4	1
	%	40%	22%	17%	20%	36%	24%	100%
massive Korrosionsschäden	Stk	25	5	8	8	10		
	%	14%	56%	44%	32%	19%		

* Abweichung der tatsächlichen Nutzungsdauer bezogen auf die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie

Tabelle 55: Auswertung der Aufzeichnungen des letzten Korrosionsschutzes der Stahltragwerke

Diese Vermutung erhärtet sich, da gemäß Tabelle 55 bei 46% der Tragwerke ohne Angabe des Korrosionsschutzes keine Korrosionsschäden gegeben sind. Betrachtet man nur die Objekte, bei denen eine Aufzeichnung des letzten Korrosionsschutzes gegeben ist, so ist ersichtlich, dass mit zunehmendem Alter des Korrosionsschutzes die massiven Korrosionsschäden und parallel dazu auch die durchschnittlichen aktuellen Zustandsbewertungen ansteigen. Beispielsweise weisen nur 19% der Objekte massive Korrosionsschäden auf, deren Korrosionsschutz von 1980 bis 1989 aufgebracht wurde, die durchschnittliche Zustandsklasse beträgt 3,3. Bei den Objekten, bei denen der Korrosionsschutz von 1950 bis 1959 aufgebracht wurde, weisen 56% der Objekte massive Korrosionsschäden auf und die durchschnittliche Zustandsklasse beträgt 4,0.

4.6.6.2. Faktor k_{DNZ} Durchfahrtsnutzung Unterbau

Unmittelbar von der Durchfahrtsnutzung betroffen sind die Unterbauten. In dieser Auswertung wird untersucht, ob unterschiedliche Auswirkungen auf die Naturstein- und Betonunterbauten gegeben sind. In Tabelle 56 sind die durchschnittlichen Nutzungsdauern und deren zugrunde gelegte Objektanzahl der verschiedenen Analysegruppen in Abhängigkeit der Durchfahrtsnutzung und der Netzkategorie dargestellt.

Analysegruppe		Gewässer			Straße			Weg		
		Summe	KN	EN	Summe	KN	EN	Summe	KN	EN
Unterbau	Jahre	115	116	111	106	106	103	104	112	83
	Stk.	69	59	10	51	47	4	16	10	6
Unterbau ohne Verstärkung	Jahre	111	112	111	103	104	103	93	103	83
	Stk.	53	43	10	42	38	4	12	6	6
Betonunterbau	Jahre	101	101	99	93	94	67	76	55	83
	Stk.	12	10	2	17	16	1	4	1	3
	k_{DNZ}		1,01			0,94				
Betonunterbau ohne Verstärkung	Jahre	95	94	99	87	89	67	76	55	83
	Stk.	10	8	2	11	10	1	4	1	3
	k_{DNZ}		0,94			0,89				
Natursteinunterbau	Jahre	117	118	114	118	119	115	114	124	83
	Stk.	53	45	8	22	19	3	12	9	3
	k_{DNZ}		1,03			1,03				
Natursteinunterbau ohne Verstärkung	Jahre	114	113	114	114	114	115	102	113	83
	Stk.	39	31	8	19	16	3	8	5	3
	k_{DNZ}		0,98			0,99				

Tabelle 56: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues in Abhängigkeit der Durchfahrtsnutzung

Bei den Natursteinunterbauten ist eine gute Übereinstimmung der Nutzungsdauern mit einer ausreichenden Objektanzahl für die verschiedenen Durchfahrtsnutzungen gegeben. Bei den Betonunterbauten weicht die Nutzungsdauer zwischen der Querung eines Gewässers und einer Straße ab. Daher wurde für diese Analysegruppe der Faktor k_{DNZ} für die Durchfahrtsnutzung als Straße und Gewässer eingeführt. Daraus ergibt sich der Faktor für die Durchfahrtsnutzung Straße auf die Endziffer 0 oder 5 gerundet mit $k_{DNZ} = 0,95$ und für die Durchfahrtsnutzung Gewässer mit $k_{DNZ} = 1,0$. Die Vermutung liegt nahe, dass diese Verkürzung durch die erhöhten Umweltbelastungen wie beispielsweise Abgase, Taumittel und Anfahrtschäden gegeben ist. Die durch Gewässer häufig verursachten Verfassungsschäden sind bei den Betonunterbauten nicht möglich.

Zusammenstellung der Faktoren k_{DNZ} Betonunterbau:

Gewässer $k_{DNZ,G} = 1,00$

Straße $k_{DNZ,S} = 0,95$

4.6.7. Parameter des Unterbaues in Abhängigkeit des Tragwerkes

In diesem Abschnitt wird untersucht, ob sich die Art der Tragwerkskonstruktion auf die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaus auswirkt. Insbesondere soll überprüft werden, ob bei den gemäß Ablöserichtlinie langlebigen Stahltragwerken die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten geringer ist als bei den kurzlebigeren Stahlbetontragwerken, da diese eventuell auf den bestehenden Widerlagern errichtet wurden.

Analysegruppe Unterbau		Summe	KN	EN
Stahlvollwandträger	Jahre	117	117	116
	Stk	64	55	9
Stahlfachwerke	Jahre	115	115	117
	Stk	34	29	5
Trägerbetontragwerk	Jahre	112	118	93
	Stk	27	21	6
Stahlbetontragwerk	Jahre	132	132	
	Stk	5	5	
Mittelwert	Jahre	116	117	110
	Stk	130	110	20

Tabelle 57: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues in Abhängigkeit der Tragwerkskonstruktion

In Tabelle 57 und Tabelle 58 sind die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues und deren zugehörige Objektanzahl in Abhängigkeit der Netzkategorie und der Analysegruppen dargestellt.

Aus diesen Tabellen ist ersichtlich, dass die Unterbauten von Stahltragwerken – Stahlvollwandträger, Stahlfachwerke und Trägerbetone - eine geringere durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer aufweisen, als jene der Stahlbetontragwerke, deren Objektanzahl jedoch sehr gering ist. Bei den Stahltragwerken liegt die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten im Bereich der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Stahltragwerke selbst.

Bei den Stahlbetontragwerken liegt die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten ca. bei der doppelten theoretischen Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie. Zufolge des in dieser Arbeit ermittelten Basiswertes der Stahlbetontragwerke von 90 Jahren, ist eine volle Ausnutzung einer zweiten Tragwerksnutzungsdauer jedoch nicht möglich. Es scheint somit gegebenenfalls sinnvoller die Nutzungsdauer des Tragwerkes durch erhöhte Instandhaltung zu verlängern, um die Nutzungsdauer des Unterbaus voll ausnutzen zu können oder umgekehrt die Instandhaltung bei den Unterbauten zu reduzieren wenn das Tragwerk auf das Ende der Nutzungsdauer zugeht.

Analysegruppe Unterbau ohne Verstärkungsmaßnahmen		Summe	KN	EN
Stahlvollwandträger	Jahre	115	115	116
	Stk	51	42	9
Stahlfachwerke	Jahre	113	112	117
	Stk	30	25	5
Trägerbetontragwerk	Jahre	101	104	93
	Stk	19	13	6
Stahlbetontragwerk	Jahre	128	128	
	Stk	3	3	
Mittelwert	Jahre	112	113	110
	Stk	103	83	20

Tabelle 58: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues ohne Verstärkungsmaßnahmen in Abhängigkeit der Tragwerkskonstruktion

Diese Untersuchung zeigt sehr deutlich, dass nicht nur die Einzelkomponenten Tragwerk und Unterbau für die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Objektes ausschlaggebend sind, sondern vielmehr auch die ganzheitliche Betrachtung der Brücke notwendig ist.

4.6.8. Parameter Instandhaltungszustand der Brücken

Wie im Kapitel 2.5 angeführt, erfolgt die Zustandsklassenbewertung bei den ÖBB seit 2006 mit den Zustandsklassen 1 bis 5. In dieser Auswertung werden daher nur jene Tragwerke berücksichtigt, die zum Zeitpunkt des Datenauszuges für die Auswertetabelle [41] gemäß dieser Bewertung einklassifiziert wurden. Da die Bewertung für das gesamte Objekt (Tragwerk, Lager und Unterbau) mit einer Zahl erfolgt, ist die Komponente mit der schlechtesten Zustandsklasse maßgebend.

Durch diese gesamtheitliche Betrachtung kann es zu folgender Situation kommen: Bei einer mehrgleisigen Brücke wurden die Tragwerke zu unterschiedlichen Zeitpunkten erneuert. Die älteren Tragwerke sind in einem mittelmäßigen Instandhaltungszustand, die neuen Tragwerke in einem sehr guten Instandhaltungszustand. Das gesamte Objekt – und somit auch die neuen Tragwerke – werden mit einem mittelmäßigen Zustand bewertet. Diese Tatsache ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

4.6.8.1. Instandhaltungszustand Verteilung Tragwerk

In Tabelle 59 sind die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerke und deren zugehörige Objektanzahl in Abhängigkeit der aktuellen

Zustandsklassenbewertung und der Basiswert für die einzelnen Analysegruppen dargestellt.

Analysegruppe		Zustands- klasse 1	Zustands- klasse 2	Zustands- klasse 3	Zustands- klasse 4	Zustands- klasse 5	Basis- wert
Tragwerk	Jahre	104	98	89	98	71	
	Stk.	3	6	44	91	2	
Stahl- vollwandträger	Jahre	104	113	91	101		105
	Stk.	3	3	26	45		
Stahlfachwerk	Jahre		106	87	107		110
	Stk.		2	1	10		
Trägerbeton	Jahre			92	95	100	100
	Stk.			15	31	1	
Stahlbeton	Jahre		37	51	67		90
	Stk.		1	2	5		
Strategische Objekte	Jahre		52	36	60		
	Stk.		2	1	3		

Tabelle 59: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und Anzahl der Zustandsklassen der Tragwerke in Abhängigkeit der Analysegruppen

Aus Tabelle 59 ist ersichtlich, dass die überwiegende Anzahl der zu erneuernden Tragwerke der Zustandsklasse 3 oder 4 zugeordnet wurden. Nur sehr vereinzelt weisen Tragwerke des Erneuerungsplanes die Zustandsklasse 1 oder 2 auf. In Abbildung 62 ist die Verteilung der Zustandsklassenbewertung für einzelne AGs graphisch aufbereitet.

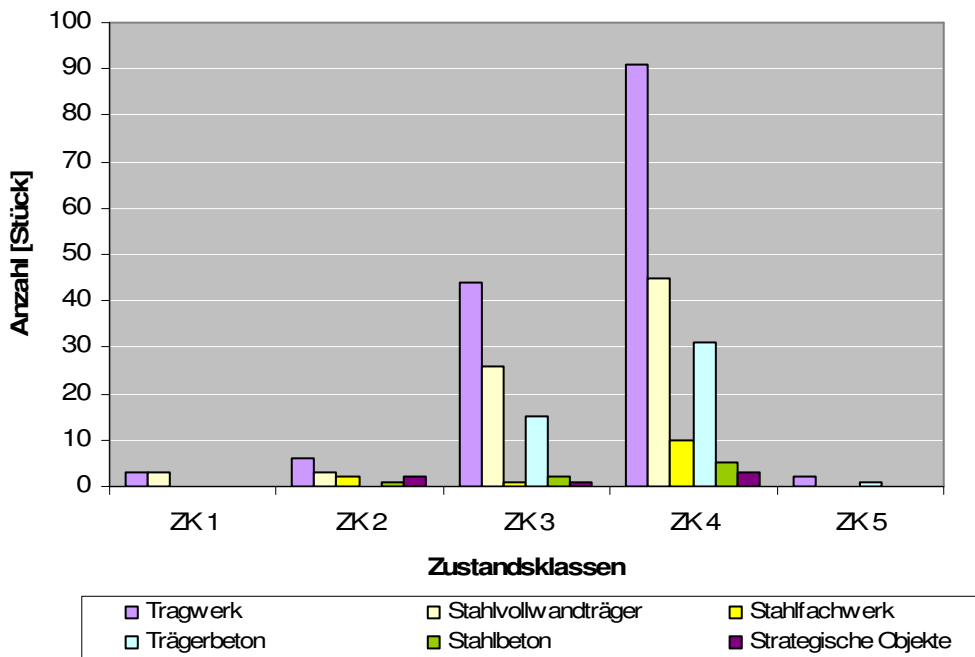


Abbildung 62: Verteilung der Zustandsklassen in Abhängigkeit der AGs

Analysiert man die Auswertung der Abbildung 62 im Detail, so können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die drei Tragwerke mit Zustandsklasse 1 sind Stahlvollwandträgerbrücken im Kernnetz, die neben der SG Tragwerk auch der SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet wurden und offensichtlich zufolge dieser Schadenskategorie erneuert werden.
- Die sechs Tragwerke mit der Zustandsbewertung 2 setzen sich aus zwei Stahlfachwerken, drei Stahlvollwandträger und einer Stahlbetonplatte zusammen. Die Stahlfachwerke und Stahlvollwandträger wurden alle neben der SG Tragwerk auch entweder der SK Strategische Gründe oder der SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet. Demzufolge ist nicht der Instandhaltungszustand, sondern sind vielmehr die SK Strategische Gründe oder SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit maßgebend. Beim Stahlbetontragwerk ist die Zustandsklasse 2 nicht nachvollziehbar, eine Falscheingabe erscheint am plausibelsten.

Es ist jedoch eindeutig ersichtlich, dass für die Erneuerung von Brücken die Zustandsklassen 3 und 4 die ausschlaggebenden sind.

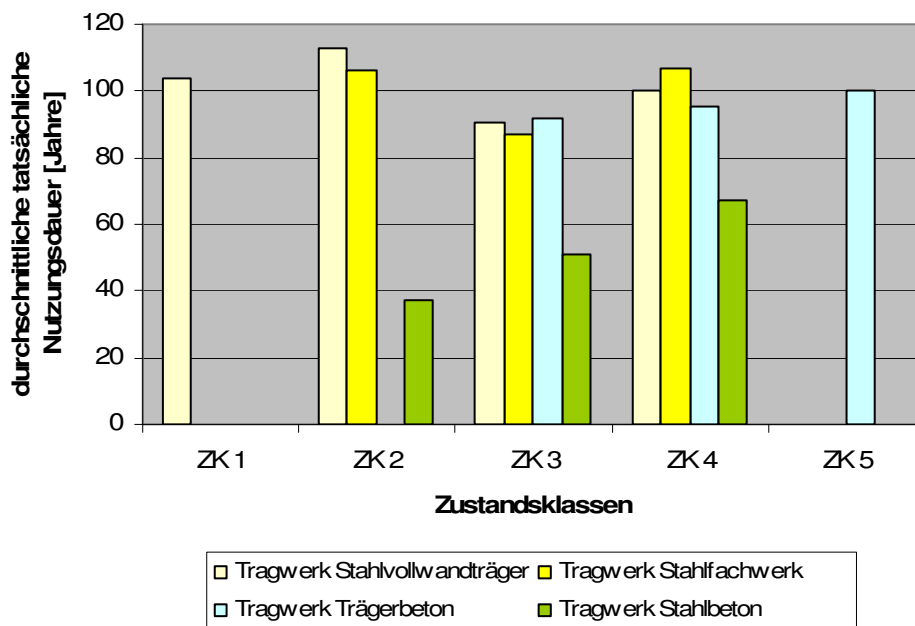


Abbildung 63: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke basierend auf den Zustandsklassen der Objekte

In Abbildung 63 sind die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerke in Abhängigkeit der Zustandsklassen für die verschiedenen Analysegruppen dargestellt. Aus dieser lassen sich folgende Aussagen ableiten:

1. Objekte mit einer Zustandsklassenbewertung von 1 weisen eine hohe Nutzungsdauer auf, dieser Auswertung liegen jedoch nur drei Objekte zugrunde. Für die Erneuerung ist nicht der Instandhaltungszustand, sondern ein anderer Grund – z.B. strategische Gründe oder Gründe der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit – maßgebend.
2. Für die Stahltragwerke der Zustandsklasse 2 gelten dieselben Aussagen wie für die Zustandsklasse 1. Die Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke ist wie voran bereits gesagt, nicht repräsentativ. Auch dieser Zustandsklasse sind nur 9 Objekte zugeordnet.
3. Vergleicht man die Analysegruppen der Zustandsklasse 3 und 4 mit ausreichender Objektanzahl (Stahlvollwandträger und Trägerbetone), miteinander, so zeigt sich, dass die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte der Zustandsklasse 3 kleiner als die der Zustandsklasse 4 ist. Die Definition der Zustandsklasse 3 besagt, dass das Objekt instandgesetzt werden soll, Zustandsklasse 4 besagt, dass das Objekt erneuert werden muss. Somit kann abgeleitet werden, dass bei Objekten mit geringerer Nutzungsdauer (Zustandsklasse 3) auch andere Gründe zur Erneuerung der Brücke führen. Die Nutzungsdauer der Zustandsklasse 4 ist somit die maßgebende Nutzungsdauer zufolge der Bausubstanz des Objektes. Vergleicht man die Nutzungsdauern der Objekte der Zustandsklasse 4 mit ausreichender Objektanzahl mit dem Basiswert der Tragwerke in Tabelle 59 so ist eine gute Übereinstimmung gegeben.

4.6.8.2. Instandhaltungszustand Verteilung Gewölbe

Bei den aktuellen Zustandsklassenbewertungen der Objekte des Erneuerungsplanes sind alle Gewölbe gemäß Tabelle 60 den Zustandsklassen 3 bis 5 zugeordnet.

Analysegruppe		Zustands- klasse 1	Zustands- klasse 2	Zustands- klasse 3	Zustands- klasse 4	Zustands- klasse 5
Gewölbe	Jahre			113,5	124,2	100
	Stk.			15	39	1

Tabelle 60: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und Anzahl der Zustandsklassen der Gewölbe

Analog zu den Tragwerken gilt für die Gewölbe, dass die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte der Zustandsklasse 3 kleiner ist, als die der Zustandsklasse 4.

4.6.8.3. Instandhaltungszustand Verteilung Unterbau

In Tabelle 61 sind die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten, die zugehörigen Objektanzahl der aktuellen Zustandsklassenbewertung und der Basiswert für die einzelnen Analysegruppen dargestellt.

Analysegruppe		Zustands- klasse 2	Zustands- klasse 3	Zustands- klasse 4	Zustands- klasse 5	Basis- wert
Unterbau	Jahre	114	103	114		
	Stk.	1	43	87		
Unterbau ohne Verstärkung	Jahre	114	101	108		
	Stk.	1	41	64		
Betonunterbau	Jahre		86	101		
	Stk.		10	19		
Betonunterbau ohne Verstärkung	Jahre		86	97		
	Stk.		10	12		
Natursteinunterbau	Jahre	114	114	117		
	Stk.	1	20	68		
Natursteinunterbau ohne Verstärkung	Jahre	114	111	110		
	Stk.	1	18	52		
						100
						115

Tabelle 61: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten in Abhängigkeit der AGs

Aus Tabelle 61 ist ersichtlich, dass die überwiegende Anzahl der Unterbauten der Zustandsklasse 3 und 4 zugeordnet sind und nur ein Unterbau aus Naturstein der Zustandsklasse 2 zugeordnet wurde. In Abbildung 64 ist die Verteilung der Zustandsklassenbewertung der einzelnen AGs graphisch aufbereitet.

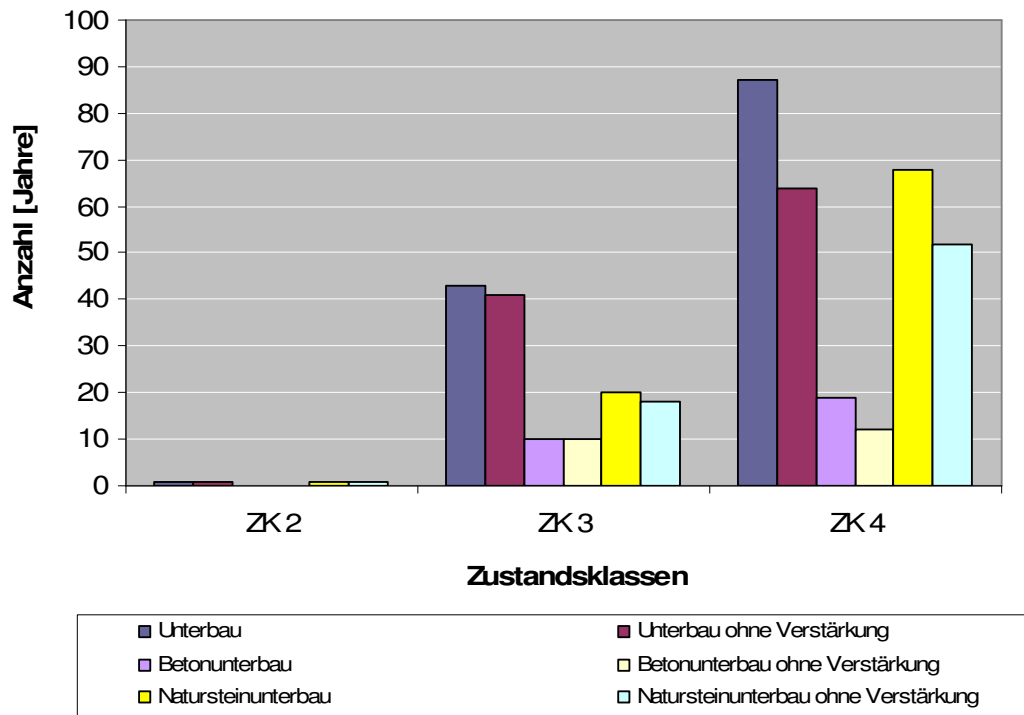


Abbildung 64: Verteilung der Zustandsklassen basierend auf den Unterbau

Analysiert man das Objekt, dass der Zustandsklasse 2 zugeordnet wurde, so ist ersichtlich, dass dieses auch den SK Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden und SK Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zugeordnet ist. Die Erneuerung des Tragwerkes aus statischen Gründen erscheint somit naheliegend.

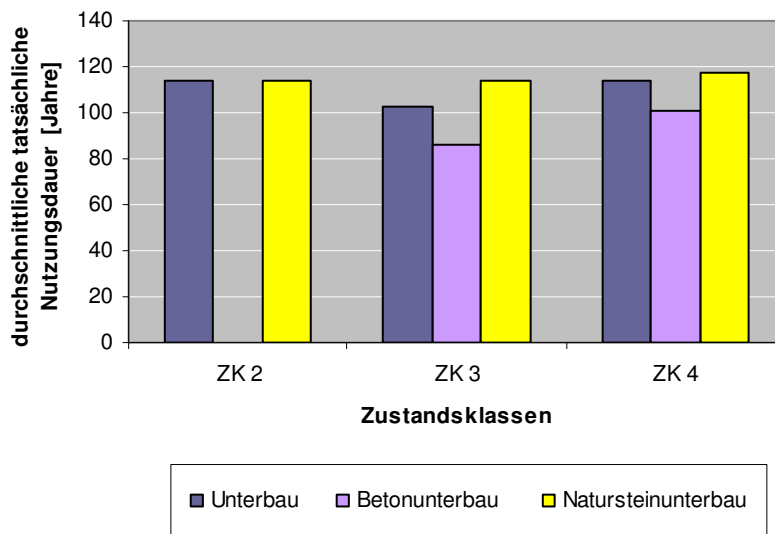


Abbildung 65: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer basierend auf den Zustandsklassen

In Abbildung 65 sind die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern einzelner Analysegruppen in Abhängigkeit der Zustandsklasse dargestellt. Aus dieser lassen sich folgende Aussagen ableiten:

1. Die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Natursteinunterbauten sind die größten und für die Zustandsklassen 2, 3 und 4 in etwa gleich.
2. Bei den Betonunterbauten ist die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Zustandsklasse 3 geringer als die der Zustandsklasse 4. Hier gilt analog der Tragwerksauswertung, dass bei den Objekten der Zustandsklasse 3 offensichtlich auch andere Gründe für die Erneuerung sprechen und die höheren durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der Zustandsklasse 4 der Nutzungsdauer zufolge der Bausubstanz entsprechen. Diese Nutzungsdauern zeigen gemäß Tabelle 61 ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit den Basiswerten.
3. Kein Objekt dieser AGs wurde der Zustandsklasse 1 oder 5 zugeordnet.

4.6.9. Zusammenfassung der Parameter

In Tabelle 62 sind die zufolge der Parameteruntersuchungen ermittelten Faktoren der Tragwerke zusammengefasst. Der Faktor zur Berücksichtigung der Netzkategorie k_{Netzkat} wird bei allen Tragwerken gleich angesetzt und beträgt im Kernnetz 1,00 und im Ergänzungsnetz 1,05. Dies deshalb, da die Tragwerksgruppen mit einer ausreichenden Anzahl an Objekten (Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke) im Bandbreitenbereich des Wertes 1,05 (1,025 – 1,075) liegen. Der die Fahrbahnart betreffende Faktor k_{Fahrbahn} gilt nur für die Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke und beträgt bei offener Fahrbahn 1,00 und bei Tragwerken mit Schotterbett 1,05.

k_{Diff} berücksichtigt die Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk. Bei diesem Faktor ist sehr gut ersichtlich, dass mit zunehmender Altersdifferenz der Faktor und damit die Nutzungsdauer der Tragwerke abnehmen. Bei den Stahltragwerken ist sehr gut erkennbar, dass bei einem Tragwerkstausch (k_{Diff} ab 70 Jahren) die Nutzungsdauer des zweiten Tragwerkes stark reduziert wird.

Faktoren der Tragwerke		Stahl-vollwandträger	Stahl-fachwerk	Trägerbeton	Stahlbeton
k_{Netzkat}	Kernnetz	1,00	1,00	1,00	1,00
	Ergänzungsnetz	1,05	1,05	1,05	1,05
k_{Fahrbahn}	offen	1,00	1,00		
	Schotterbett	1,05	1,05		
k_{Diff}	0-9 Jahre	1,00	1,00	1,00	0 - 39 Jahre 1,00
	10 - 49 Jahre	0,95	0,95	0,95	
	50 - 69 Jahre	0,75	0,75	0,75	ab 40 Jahre 1,00
	ab 70 Jahre	0,40	0,40	0,40	0,90

Tabelle 62: Zusammenstellung der Faktoren der Tragwerke

Die Parameteruntersuchung der Stützweite ergab, dass dieser Einfluss bereits durch die getrennte Ermittlung des Basiswertes für die verschiedenen Tragwerkskonstruktionen berücksichtigt ist. Ebenso ergab die Analyse der Brückenklassen keinen nachvollziehbaren Zusammenhang zwischen den zugrunde gelegten Lastbildern und der Nutzungsdauer der Tragwerke. Dies ist einerseits durch die vielen verschiedenen Lastenzüge und den damit geringen Objektanzahlen für die Auswertung und andererseits durch die nachträgliche Einstufung der Tragwerke gegeben.

Auch bei der Nutzung der Durchfahrtsöffnung für Gewässer, Straßen oder Wege konnte kein zahlenmäßiger Zusammenhang abgeleitet werden. Es zeigt sich jedoch, dass die robusteren Trägerbetone und tendenziell die Stahlbetontragwerke bei der Durchfahrtsnutzung für Straßen höhere Werte aufweisen als bei Gewässern. Bei den Stahlvollwandträgern, insbesondere mit offener Fahrbahn, ist dies gerade umgekehrt der Fall.

Die Auswertung der Zustandsklassen für die einzelnen Analysegruppen Tragwerk zeigt, dass den Objekten des Erneuerungsplanes fast ausschließlich die Zustandsklasse 3 und 4 zugeordnet wurde und die durchschnittliche Nutzungsdauer der Zustandsklasse 4 höher ist als die der Zustandsklasse 3. Dies bedeutet, dass bei Objekten mit geringerer Nutzungsdauer (Zustandsklasse 3) auch andere Gründe zur Erneuerung der Brücke führen und die Nutzungsdauer der Zustandsklasse 4 die maßgebende Nutzungsdauer zufolge der Bausubstanz des Objektes ist. Dies wird auch durch die gute Übereinstimmung der durchschnittlichen Nutzungsdauer der Objekte mit Zustandsklasse 4 mit dem Basiswert der Tragwerke bestätigt.

In Tabelle 63 sind die zufolge der Parameteruntersuchungen ermittelten Faktoren der Unterbauten zusammengefasst. Für den Unterbau aus Naturstein und Beton beträgt der

Faktor zur Berücksichtigung der Netzkategorie k_{Netzkat} im Kernnetz 1,00 und im Ergänzungsnetz 0,95.

Faktoren der Unterbauten		Naturstein	Beton
k_{Netzkat}	Kernnetz	1,00	1,00
	Ergänzungsnetz	0,95	0,95
k_{DNZ}	Straße	1,00	0,95

Tabelle 63: Zusammenstellung der Faktoren der Unterbauten

Die Parameteruntersuchung der Stützweite ergab keine Zusammenhänge der Stützweite mit der durchschnittlichen Nutzungsdauer der Unterbauten. Es zeigt sich jedoch, dass für die Brücken mit großer Stützweite ausschließlich Natursteinunterbauten verwendet wurden. Bei der Nutzung der Durchfahrtsöffnung für Gewässer, Straßen oder Wege konnte ein Zusammenhang der Durchfahrtsnutzung für Straßen mit der durchschnittlichen Nutzungsdauer nachgewiesen werden. Der Faktor k_{DNZ} für Straßen beträgt bei Natursteinunterbauten 1,0 und bei Betonunterbauten 0,95.

Die Auswertung der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer der Unterbauten in Abhängigkeit der Tragwerksgruppen zeigt, dass eine gesamtheitliche Betrachtung der Brücke erforderlich ist. Ein alleiniger Tragwerkstausch ist zufolge der geringen Differenz zwischen den Basiswerten der Tragwerke und der Unterbauten und der nunmehr hohen horizontalen Bemessungslasten für Unterbauten, im Regelfall nicht ziel führend.

Analog den Tragwerken sind auch die Unterbauten des Erneuerungsplanes fast ausschließlich den Zustandsklassen 3 und 4 zugeordnet. Die durchschnittliche Nutzungsdauer der Zustandsklasse 4 ist höher als die der Zustandsklasse 3 und entspricht der maßgebenden Nutzungsdauer zufolge der Bausubstanz des Objektes. Die durchschnittliche Nutzungsdauer der Unterbauten der Zustandsklasse 4 zeigt auch eine gute Übereinstimmung mit dem Basiswert der Unterbauten.

4.7. Einfluss der Errichtungsepochen

Im Kapitel 4.4 wurden die durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauern der verschiedenen Brückengruppen ermittelt und Kapitel 4.5 daraus der Basiswert für diese in Tabelle 43 und Tabelle 44 festgelegt. Diese Basiswerte beziehen sich auf den Zeitraum der relativen Häufung, diese Werte sind in der Tabelle 64 zusammengefasst. Die

Entwicklung der Baumaterialien und Umweltbedingungen wurden im Kapitel 3 ausführliche behandelt.

tatsächliche Nutzungsdauern der Tragwerke	Stahlvollwandträger	Stahlfachwerk	Trägerbeton	Stahlbetontragwerk
	Jahre	Jahre	Jahre	Jahre
Jahre der relativen Häufung	84 - 123	94 - 133	24 - 43* 74 - 113	75 - 114
relativer Erneuerungszeitpunkt	2013	2013	2013	2014
Epochen der relativen Häufung	1890 - 1929	1880 - 1919	1900 - 1939 1970 - 1989 *	1900 - 1939
Basiswert Kernnetz m_{Basis}	105	110	100	90

* Daten nicht repräsentativ

Tabelle 64: Relative Häufung der Objekte des Erneuerungsplanes und der Basiswerte der Tragwerksgruppen

Der Faktor $k_{Baujahr}$ gibt an, wie sich die Nutzungsdauer des betrachteten Baujahrs gegenüber jenen des Basiswertes - zufolge des geänderten Wissensstandes des Baustoffes bzw. den geänderten Umweltbedingungen - geändert hat. Der Faktor $k_{Baujahr}$ ist wie in Formel 6 angeführt definiert.

$$k_{Baujahr} = \frac{m_{Baujahr}}{m_{Basis}} \text{ bzw. daraus } m_{Baujahr} = m_{Basis} * k_{Baujahr}$$

Formel 6: Definition des Faktors $k_{Baujahr}$

Für die Bestimmung der Plannutzungsdauer muss dieser Wissensstand auf die Werte von heute umgelegt werden und für die Restnutzungsdauer auf den Errichtungszeitpunkt des jeweiligen Objektes.

4.7.1. Einfluss der Errichtungsepochen auf den Baustoff Stahl

Wie in Tabelle 64 angeführt, liegt die relative Bandbreite der Nutzungsdauer für Stahlbrücken zwischen 74 Jahre (Trägerbeton) und 133 Jahren (Stahlfachwerk) bzw. in der Epoche von 1880 bis 1939. Die Tragwerke aus dieser Epoche wurden anfangs aus Schweißisen und ab 1895 aus Flusstahl errichtet. Bei Tragwerken aus Flusstahl ist

zufolge des hohen Anteils an Stickstoff insbesondere das Sprödbruchverhalten gegeben. Definitionsgemäß wird für diesen Bereich der Baujahrfaktor mit $k_{\text{Baujahr}} = 1,0$ vom Autor festgelegt.

Ab den 30er Jahren kam vermehrt Stahl (St 37 und St 52) für die Errichtung der Tragwerke zum Einsatz und für die Berechnung wurde die Berechnungsgrundlage der Deutschen Reichsbahn herangezogen. Nach einer gewissen Einführungsphase wurde ab 1940 eine Erhöhung der Nutzungsdauer zufolge der verbesserten Materialien von 5% vom Autor festgelegt, daher ergibt sich der Faktor $k_{\text{Baujahr}} = 1,05$.

Ab etwa 1953 hat sich der Brückenbau gegenüber der vorangegangenen Periode im Hinblick auf Berechnungsmethode, Konstruktionsweise, Baumaterialien und Montagethoden grundlegend geändert, wenngleich die Konstruktionen anfangs ausgehungert waren. Die entscheidende Neuentwicklung war die Einbindung der Fahrbahn in das Haupttragwerk. Die Fahrbahnplatte trägt ihre Belastung als Flächentragwerk auf die Hauptträger ab für die sie gleichzeitig der Gurt ist. Zuzolge dieser Änderungen, jedoch unter Berücksichtigung der Umwelteinflüsse (zunehmende Umweltbelastungen) und der „ausgehungerten“ Konstruktionen, wurde für den Bereich bis 1970 keine Erhöhung der Nutzungsdauer angesetzt.

Bis zum Beginn der 60er Jahre waren, bedingt durch die hohen Materialkosten und begrenzten Stahlmengen, „ausgehungerte“ Konstruktionen gegeben. Die Vorteile der Änderungen in dieser Periode konnten somit erst ab den Beginn der 70er Jahre genutzt werden. Ab etwa 1971 wurden die Tragwerke robuster gebaut und im Regelfall mit durchgehendem Schotterbett ausgeführt. Zuzolge dieser Änderungen und bedingt durch die zunehmenden Umweltbelastungen (beispielsweise zunehmende Anzahl an Anfahrschäden und zunehmender Aufwand für die Instandsetzungsarbeiten vor Ort) wurde ab 1971 eine Erhöhung der Nutzungsdauer um weitere 5% vom Autor festgelegt, daher erhöht sich der Faktor auf $k_{\text{Baujahr}} = 1,10$.

In der Tabelle 65 sind die festgelegten Faktoren der einzelnen Epochen und die maßgebenden Einflüsse hierfür angeführt.

Baujahr	Baustoffentwicklung, Berechnungsansätze und -methoden sowie Umweltbedingungen	k_{Baujahr}
1870	Tragwerke aus Schweißisen (Puddelstahl)	1,00
1895	Tragwerke überwiegend aus Flusstahl mit hohem Anteil an Stickstoff, Ausführung genietet mit offener Fahrbahn	
1930	Ab den 30er Jahren wurde Stahl (ST37 und ST52) mit stark gemindertem Stickstoffgehalt eingesetzt. Der Regelfall der Ausführung sind genietete Tragwerke mit offener Fahrbahn	
1940	Ab den Beginn der 40er Jahren konnten, nach einer Einführungsphase, die Vorteile der Änderungen in den 30er Jahren genutzt werden.	1,05
1948	1948 Einbau der ersten "funktionierenden" geschweißten Stahlbrücke. Der Regelfall war jedoch weiterhin die genietete Ausführung.	
1953	Massive Änderung der Berechnungsmethoden und der Konstruktionsweisen (Einbindung der Fahrbahn in das Haupttragwerk), es wurden jedoch "ausgehungerte" Konstruktionen ausgeführt.	
1971	Die Vorteile der geänderten Konstruktionsweisen durch einen ausreichenden Materialeinsatz konnte ausgenutzt werden und die Ausführung der Fahrbahn als Schotterbett ist der Regelfall.	1,10

Tabelle 65: Zeittafel des Faktors k_{Baujahr} für Stahltragwerke

4.7.2. Einfluss der Errichtungsepochen auf den Baustoff Stahlbeton

Wie in Tabelle 64 angeführt, liegt die relative Bandbreite der Nutzungsdauer für Stahlbetonbrücken zwischen 75 und 114 Jahren. Mit dem durchschnittlichen Erneuerungszeitpunkt von 2014 ergibt dies den Bereich von ca. 1900 – 1939. Bereits 1907 wurde die Mindestzementmenge und 1911 die Mindestbetondeckung zur Passivierung der Bewehrung vorgeschrieben. Die Einführung der Konsistenzklassen erfolgte 1927, die Rütteltechnik und die Richtlinie für die Kornzusammensetzung in den 30er Jahren. Der Baujahrfaktor von 1900 bis 1939 wird definitionsgemäß mit $k_{\text{Baujahr}} = 1,0$ angesetzt.

Aus Abbildung 14 ist ersichtlich, dass bis 1939 Stahlbetontragwerke nur in sehr geringem Umfang errichtet wurden. Aufgrund der minimalen Anzahl an Objekten vor 1900 und da offensichtlich nur die dauerhaftesten noch vorhanden sind, wird der Faktor auch für den Bereich vor 1900 mit $k_{\text{Baujahr}} = 1,0$ angesetzt.

Ab 1937 wurde kalt verformter Bewehrungsstahl eingesetzt und ab 1943 regelt die DIN 1045 die Betonklassenbezeichnung. Ab diesem Zeitpunkt waren auch maßgebliche

Betoneigenschaften und deren beeinflussende Größen, die richtige Einbringung und Nachbehandlung sowie die Überprüfungen in Form von Eignungs-, Güte- und Erhärtungsprüfung des Baustoffs Stahlbeton gegeben. Diese Verbesserungen konnten Anfangs nicht zur Gänze ausgenutzt werden und wie die Auswertungen in der Diplomarbeit von Kolar [23] in Abbildung 19 zeigt, neigen diese Stähle eher zur Korrosion. Daher wird der Faktor für diese Periode bei $k_{\text{Baujahr}} = 1,00$ belassen.

Im Jahre 1950 wurde die Stahlbetonnorm ÖNORM B 4200 eingeführt. Das umfangreiche Wissen betreffend Stahlbeton wurde erweitert, beispielsweise wurden im Lernbehelf der ÖBB aus 1950 die Betoneigenschaften und deren beeinflussende Größen sehr umfangreich angeführt, der Umfang der Beprobungen wurde festgelegt und konnte in die Praxis umgesetzt werden. Andererseits nehmen die Umweltbelastungen beispielsweise die schädlichen Einwirkungen des CO_2 zu und die Ausführung der Mindestbetondeckung gemäß Abbildung 19 ist nicht immer gegeben. Im Jahre 1953 gab es auch einen großen Sprung in der zulässigen Biegedruckfestigkeit wie aus Abbildung 15 ersichtlich ist und die Mindestbetondeckung wurde gemäß ÖNORM B 4200 mit 25 mm festgelegt. Der Faktor wird daher für die Epoche 1950 – 1976 mit $k_{\text{Baujahr}} = 1,05$ angesetzt.

Ab 1970 wurden vermehrt naturharte Stähle eingesetzt, 1976 wurden die ergänzenden Bestimmungen zur ÖNORM B 4203 [30] eingeführt, und die Betonfestigkeiten und damit die Dichtigkeit der Betone nahm zu. Diese erhöhte die Dauerhaftigkeit und führte zu einer weiteren Qualitätssteigerung. Andererseits ist, wie der Abbildung 19 zu entnehmen ist, die Ausführung in Hinblick auf die Betondeckung teilweise mangelhaft. Demzufolge wird der Wert auf $k_{\text{Baujahr}} = 1,10$ angehoben.

Ab 1995 wurde die Betondeckung auf 35 mm erhöht und die Betonzubereitung massiv technologisiert, dies bedeutete eine Zunahme der Dauerhaftigkeit. Daher wird für die Objekte ab 1995 der Faktor $k_{\text{Baujahr}} = 1,15$ angesetzt.

Die Faktoren und die maßgebenden Parameter, die zur Festlegung der Faktoren führten, sind in Tabelle 66 zusammengefasst.

Baujahr	Baustoffentwicklung, Berechnungsansätze und -methoden sowie Umweltbedingungen	k_{Baujahr}
1890	glatter Rundstahl aus Flusseisen als Behrung	1,00
1907	Mindestzementgehalt vorgeschrieben	
1911	Mindestbetondeckung 20 mm gem. Erlass	
1927	Regelung der Konsistenzklassen in der ÖNORM B 2302	
1930	Eine Norm für Portlandzement ist gegeben, die Kornzusammensetzung in einer Richtlinie geregelt und die Rütteltechnik eingeführt.	
1936	Mindestbetondeckung 20 mm gemäß ÖNORM B 2302	
1937	Kalt verformter Stahl ST 37 wird im Regelfall eingesetzt.	
1940	Maßgebende Betoneigenschaften sind bekannt, die Einbringung und Nachbehandlung sowie die Überprüfungen in Form von Eignungs-, Güte- und Erhärtungsprüfung sind Standard.	
1943	Regelung der Betonklassenbezeichnung in der DIN1045	
1950	Einführung der Normenreihe ÖNORM B 4200; Erweiterung des umfangreichen Wissen betreffend Betoneigenschaften, Behandlung von Pump- und Schüttnbeton (z.B. im Lernbefehl der ÖBB festgeschrieben) sowie die Umsetzung in der Praxis	
1953	25 mm Mindestbetondeckung gem ÖNORM B 4200	
1976	Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM B 4203	
1995	35 mm Mindestbetondeckung gemäß ÖNORM B 4700	1,15

Tabelle 66: Zeittafel des Faktors k_{Baujahr} für Stahlbetontragwerke

4.7.3. Einfluss der Errichtungsepochen auf die Unterbauten aus Naturstein und Beton

Wie in 3.5 angeführt wurden die Mauerwerke aus Naturstein fast ausschließlich zwischen 1870 – 1929 errichtet. Das Fachwissen betreffend der Verarbeitung von Naturstein hat sich während der Einsatzperiode nicht nennenswert geändert. Somit kann festgehalten werden, dass der Einfluss des Baujahrs für die Natursteinunterbauten nicht gegeben ist und folglich der Faktor $k_{\text{Baujahr}} = 1,00$ gesetzt wird.

Für den Unterbau aus Beton wird der Faktor k_{Baujahr} analog zu Abschnitt 4.7.2 angesetzt.

4.8. Definition der Planinstandhaltung

Zur Erreichung der Nutzungsdauer der Brücken ist ein gewisser Instandhaltungsaufwand erforderlich. Der Instandhaltungsaufwand zu Erreichung der Plannutzungsdauer wird auch Planinstandhaltung genannt [3]. Die Instandhaltung setzt sich per Definition aus der Inspektion, der Wartung, der Instandsetzung und der Verbesserung zusammen (siehe Abschnitt 2.1.3).

Die Zyklen der Inspektion sind beispielsweise bei den ÖBB im Instandhaltungsplan [33] festgelegt. Die Inspektion setzt sich im Regelfall aus der Allgemeinen Streckenaufsicht, der Untersuchung, der Begutachtung und gegebenenfalls aus der Sonderprüfung zusammen. Sie beinhaltet auch die Vorbereitungsarbeiten, die Dokumentation, die Bewertung und gegebenenfalls die Festlegungen von Maßnahmen einschließlich eventueller Einrüstungen der Brücken, Absicherungen des Personals (Sicherungsstellen, technische Warneinrichtung, etc.), etwaige Verkehrsumlegung, Sperren und Sonderprüfungen [8].

Die Wartung wird im Regelfall im Zuge der Inspektion durchgeführt. Diese umfasst beispielsweise die Bewuchsentfernung, die Reinigung der Brücke, das Abschlagen von schadhafte Betonteilen und das Spülen von Entwässerungen [8].

Die Instandsetzung und Verbesserung erfolgt für langlebige Objekte, wie es die Brücken sind, zustandsorientiert [20]. Die Instandsetzungszyklen sind die Zeitabstände, in denen die einzelnen Instandsetzungsarbeiten erfahrungsgemäß durchzuführen sind.

Instandsetzungsarbeiten sind beispielsweise Kolkzuschüttungen, Verfugungsarbeiten, Mauerwerksinjektionen, Betoninstandsetzungen sowie Sanierung und Erneuerung des Korrosionsschutzes [8]. Die Verbesserung ist beispielsweise eine Tragwerks-, Pfeiler- oder Fundamentverstärkungen und die Errichtung eines Rückhaltesystems oder eines Anprallschutzes [8].

4.8.1. Befragung zu den Instandsetzungszyklen bei den ÖBB

Da bei den ÖBB die Brückenbegutachtungen und Brückenuntersuchungen durch eigene Brückenprüfer und Brückenmeister durchgeführt werden, wurde vom Autor ein Fragebogen betreffend die erfahrungsgemäße Einschätzung der Zyklen für die maßgebenden Instandsetzungs- und Verbesserungsarbeiten erstellt und an 12 erfahrene Kollegen versandt. Der Fragebogen ist im Anhang D angegeben. In Tabelle 67 ist die Auswertung der fünf zurückerhaltenen Fragebögen für die Instandsetzungszyklen wiedergegeben.

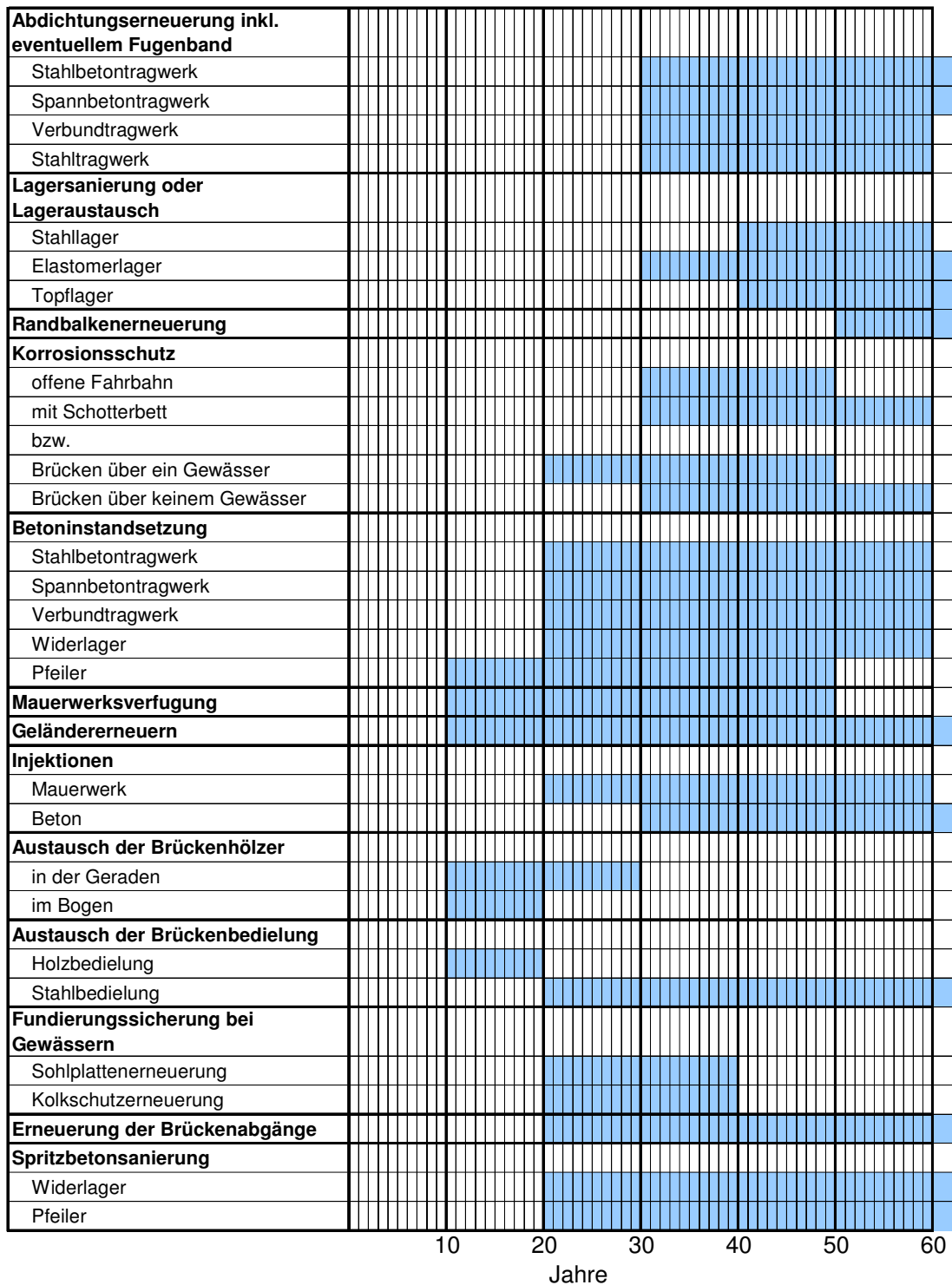


Tabelle 67: Auswertung der Befragung der Instandsetzungszyklen bei den ÖBB

Die Auswertung zeigt eine große Bandbreite der von den Fachleuten abgegebenen Werte. Das bedeutet, dass die Instandsetzungszyklen einer Brücke von verschiedenen Parametern abhängen. Eine zustandsorientierte Instandhaltung, wie sie bei den Brückeninstandhaltern durchgeführt wird, ist somit die zielführende Strategie. Eine

periodische Instandsetzung würde vereinzelt eine zu frühe bzw. eine zu späte Maßnahme darstellen.

4.8.2. Vergleich der Instandsetzungszyklen

Die aus der Literatur erhobenen Werte der Instandsetzungszyklen sind in Tabelle 68 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass diese Werte, analog der ÖBB Befragung, sehr stark streuen. Die Grundlage dieser Werte konnte nicht ermittelt werden. Es erscheint naheliegend, dass diese Werte von erfahrenen Fachleuten festgelegt wurden. Mit diesen Zyklen kann auch die theoretische Nutzungsdauer gesteuert werden. Durch sehr kurze Zyklen kann die theoretische Nutzungsdauer verlängert werden, im Gegensatz führen sehr langgestreckte Zyklen – beispielsweise der Korrosionsschutz bei Stahltragwerken – zu einer frühzeitigen Erneuerung der Tragwerke.

Instandsetzung – maßnahmen	ÖBB Fahrweg Strategie Brücken [3]	ÖBB Befragung 2009	Bestands- untersuchung König [4] u. [21]	Straße Rheinland [4] u. [21]	Straße Hessen [4] u. [21]
	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]
Lagersanierung / -tausch	40	30 -	10 - ...	20 - 40 i. M. 29	25 - 50 i. M. 30
Korrosionsschutz Stahlbrücken	30 – 40	20 - 60		10 - 25 i. M. 18	8 - 35 i. M. 15
Beton- instandsetzung	30	20 – 60			
Abdichtung	60	30 –	8 - 32 i. M. 17	11 - 20 i. M. 15	8 - 35 i. M. 20
Randbalken Erneuerung	60	50 –	22 - ...	10 - 35 i. M. 20	25 - 50 i. M. 30
Geländer	60	20 –	19 - 30 i. M. 23	10 - 40 i. M. 27	10 - 45 i. M. 25
Verfugung	60	10 - 50			

Tabelle 68: Zusammenstellung der unterschiedlichen Instandsetzungszyklen von Brückentragwerken

In Tabelle 69 sind die in Tabelle 68 angegebenen unterschiedlichen Bandbreiten der Instandsetzungszyklen graphisch dargestellt. Dabei wurden für die unterschiedlichen Datenquellen unterschiedliche Farben verwendet. Nur bei den Werten der ÖBB Fahrweg Strategie Brücken wurden auch Einzelwerte festgelegt. Weiters ist erkennbar, dass insbesondere bei den verschleißanfälligen Teilen wie Korrosionsschutz, Abdichtung und Randbalken ein teilweise großer Unterschied zwischen den Werten der

Eisenbahnbrücken (rot ÖBB Strategie Fahrweg und orange Befragung ÖBB 2009) und den Werten der Straßenbrücken (hellblau Rheinland und dunkelblau Hessen) gegeben ist.

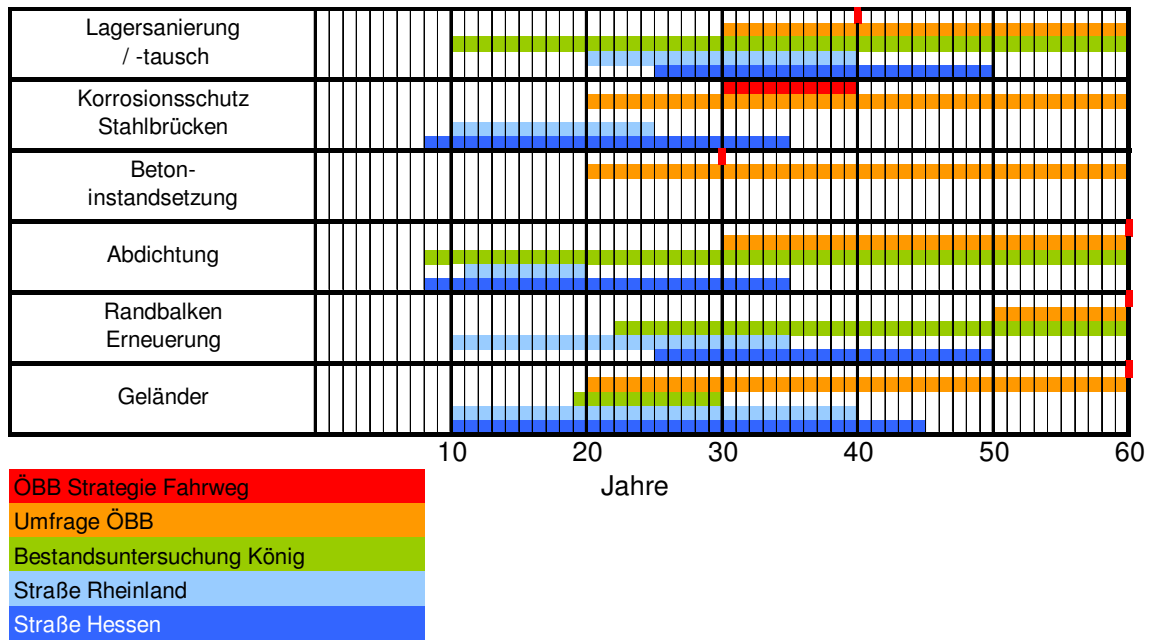


Tabelle 69: Graphische Aufbereitung der verschiedenen Instandsetzungszyklen

Beispielsweise wurden bei der Fahrwegstrategie die Instandsetzungszyklen für den Korrosionsschutz mit 30 bis 40 Jahren angesetzt, die Befragung innerhalb der ÖBB ergab 20 bis 60 Jahre. Bei der Straße wurde dieser Instandsetzungszyklus mit 8 bis 35 Jahren bzw. 10 bis 25 Jahren angegeben. Zuzufolge dieser teilweise großen Bandbreiten der Zyklen kann schlussgefolgert werden, dass die Instandsetzung von Brücken zustandsorientiert erfolgen muss und die Instandsetzungszyklen nur als Grundlage für die mittel- und langfristige Budgetierung zu verwenden sind.

5. Plan- und Restnutzungsdauern

Die für die Ermittlung der Plan- und Restnutzungsdauern maßgebenden Werte – Basiswert m_{Basis} (4.5), Parameter k_{Netzkat} (4.6.1), k_{Fahrbahn} (4.6.2) und k_{Diff} für die Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk (4.6.3) sowie der Faktor k_{Baujahr} zur Berücksichtigung der Errichtungsepoche (4.7) sind in Tabelle 70 zusammengefasst.

Faktoren der Tragwerke		Stahl-vollwandträger		Stahl-fachwerk		Trägerbeton		Stahlbeton	
m_{Basis}		105 Jahre		110 Jahre		100 Jahre		90 Jahre	
k_{Netzkat}	Kernnetz	1,00		1,00		1,00		1,00	
	Ergänzungsnetz	1,05		1,05		1,05		1,05	
k_{Fahrbahn}	offen	1,00		1,00		1,00		1,00	
	Schotterbett	1,05		1,05					
k_{Diff}	0 - 10 Jahre	1,00		1,00		1,00		0 - 39 Jahre 1,00	
	10 - 49 Jahre	0,95		0,95		0,95			
	50 - 69 Jahre	0,75		0,75		0,75		ab 40 Jahre 0,90	
	ab 70 Jahre	0,40		0,40		0,40			
k_{Baujahr}	bis 1939	1,00	bis 1939	1,00	bis 1939	1,00	bis 1949	1,00	
	1940 - 1970	1,05	1940 - 1970	1,05	1940 - 1970	1,05	1950 - 1975	1,05	
	ab 1971	1,10	ab 1971	1,10	ab 1971	1,10	1976 - 1994	1,10	
							ab 1995	1,15	

Tabelle 70: Maßgebende Parameter der Tragwerke für das Rechenmodell der Restnutzungsdauer

5.1. Ermittlung der Plannutzungsdauer der Eisenbahntragwerke

Die Plannutzungsdauer ist gemäß Punkt 2.1.2.4 die durchschnittliche Nutzungsdauer einer neuen Brücke, die bei planmäßiger Instandhaltung im Durchschnitt erreicht wird. Sie ist weder ein Garant dafür, dass alle einzelnen Brücken diese Nutzungsdauer erreichen, noch müssen Brücken zufolge des Erreichens dieses Alters erneuert werden. Zuzufolge der Streckenbelastung wird in dieser Dissertation zwischen der Plannutzungsdauer für das Kernnetz und jener des Ergänzungsnetzes unterschieden.

Die Plannutzungsdauer ist von folgenden Faktoren abhängig:

- der Konstruktionsart, diese ist durch die unterschiedlichen Basiswerte (gemäß Punkt 4.5) berücksichtigt und durch den Wert m_{Basis} ausgedrückt,
- der Netzkategorie (gemäß Punkt 4.6.1), ausgedrückt durch den Faktor k_{Netzkat} ,
- der Fahrbahnart der Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke (gemäß Punkt 4.6.2), ausgedrückt durch den Faktor k_{Fahrbahn} und

Stahlbetontragwerk		Schotterbett
$m_{\text{Basis}} = 90$ Jahre	$k_{\text{Baujahr}} = 1,15$	
Kernnetz	$k_{\text{Netzkat}} = 1,00$	m=104 Jahre
Ergänzungsnetz	$k_{\text{Netzkat}} = 1,05$	m=109 Jahre

Tabelle 74: Ermittlung der Plannutzungsdauer der Stahlbetontragwerke

Damit errechnet sich die Plannutzungsdauer wie in Tabelle 74 angeführt. Die errechneten Zahlen werden auf die Endziffer 0 oder 5 auf- oder abgerundet.

Die Plannutzungsdauer der Stahlbetontragwerke im Kernnetz beträgt gerundet:

$$m = 105 \text{ Jahre}$$

Die Plannutzungsdauer der Stahlbetontragwerke im Ergänzungsnetz beträgt:

$$m = 110 \text{ Jahre}$$

5.1.5. Plannutzungsdauer der Verbundtragwerke mit Stahlbetonplatte

Zufolge der Kombination der Baustoffe Stahl- und Stahlbeton ist die geringere Nutzungsdauer des Stahlbetons maßgebend.

Die Plannutzungsdauer der Verbundtragwerke mit Stahlbetonplatte im Kernnetz beträgt damit gemäß Punkt 5.1.4:

$$m = 105 \text{ Jahre}$$

Die Plannutzungsdauer der Verbundtragwerke mit Stahlbetonplatte im Ergänzungsnetz beträgt somit gemäß Punkt 5.1.4:

$$m = 110 \text{ Jahre}$$

5.1.6. Plannutzungsdauer der Spannbetontragwerke

Spannbetontragwerke unterscheiden sich von den Stahlbetontragwerken vor allem durch die Vorspannung. Zufolge dieser wird der Beton überdrückt, wodurch die für die Bewehrung gefährdeten Risse nicht maßgebend sind. Diesem Vorteil aus der Sicht der Dauerhaftigkeit steht der Nachteil der nicht so robusten Bauweise der

Spannbetontragwerke gegenüber. Es ist daher naheliegend, dass die Plannutzungsdauern dieser Tragwerke gleich den Nutzungsdauern der Stahlbetontragwerke angesetzt werden.

Die Plannutzungsdauer der Spannbetontragwerke im Kernnetz beträgt somit gemäß Punkt 5.1.4 gerundet:

$$m = 105 \text{ Jahre}$$

Die Plannutzungsdauer der Spannbetontragwerke im Ergänzungsnetz beträgt damit gemäß Punkt 5.1.4 gerundet:

$$m = 110 \text{ Jahre}$$

5.1.7. Zusammenfassung der Plannutzungsdauern

Nachfolgend sind die auf den Bestand der Eisenbahnbrücken der ÖBB unter Berücksichtigung der Baustoffentwicklung und der geänderten Umweltbedingungen ermittelten Plannutzungsdauern zusammengefasst.

Tragwerke	Kernnetz	Ergänzungsnetz
Stahlvollwandträger	m=120 Jahre	m=125 Jahre
Stahlfachwerk	m=125 Jahre	m=135 Jahre
Trägerbeton / WIB-Tragwerk	m=110 Jahre	m=115 Jahre
Stahlbetontragwerk	m=105 Jahre	m=110 Jahre
Verbundtragwerk mit Stahlbetonplatte	m=105 Jahre	m=110 Jahre
Spannbetontragwerk	m=105 Jahre	m=110 Jahre

Tabelle 75: Zusammenstellung der Plannutzungsdauer der Tragwerke

5.2. Rechenmodell zur Bestimmung der Restnutzungsdauer bestehender Eisenbahnbrücken

Die Restnutzungsdauer ist gemäß Punkt 2.1.2.5 der Zeitraum vom Betrachtungszeitpunkt bis zur theoretisch zu erwartenden Erneuerung der Brücke. Die Frage nach der Restnutzungsdauer einer einzelnen Brücke kann vergleichsweise mit derselben

Wahrscheinlichkeit beantwortet werden, wie ein Arzt nach einer gründlichen Untersuchung die Restlebensdauer eines Patienten angeben kann [45]. Grundsätzlich kann jedoch gesagt werden, dass mit zunehmendem Alter des Objektes die Zustandsklasse ebenfalls zunimmt. Durch große Instandsetzungsmaßnahmen – dies sind beispielsweise bei Stahltragwerken der Korrosionsschutz und bei Stahlbetontragwerken die Betoninstandsetzung - kann die Zustandsklasse, wie in Abbildung 66 dargestellt, jedoch auch wieder verbessert werden. Dies muss bei der Definition von planmäßigen Zeiträumen der verschiedenen Zustandsklassen berücksichtigt werden.

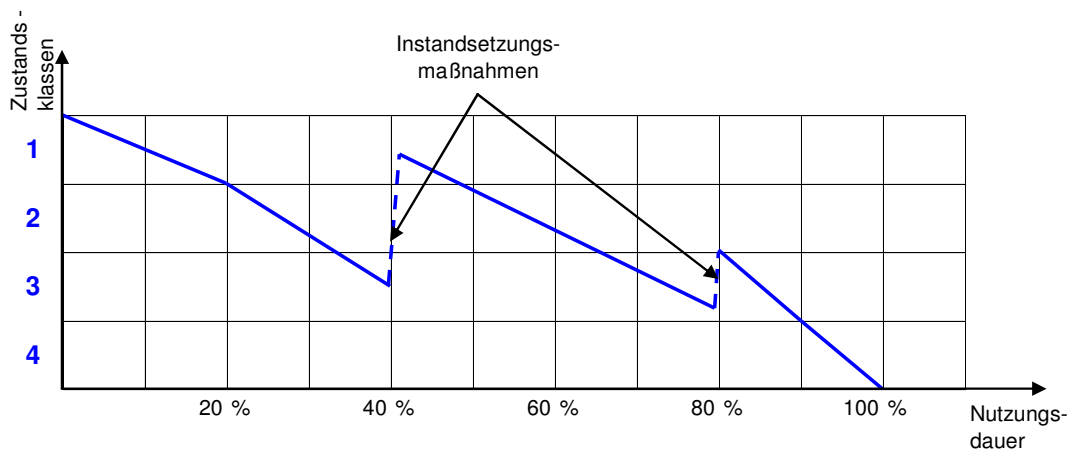


Abbildung 66: Verlauf der Zustandsklasse eines Objektes über die theoretische Nutzungsdauer

Im Zuge des Literaturstudiums hat sich gezeigt, dass es Rechenmodelle für das Einzelobjekt im Bereich von Stahlbetonbrücken gibt. Diese basieren hauptsächlich auf den Modellen der Karbonatisierung und der Chlorideindringung und sind nur in Zusammenhang mit detaillierten Untersuchungen und Probenentnahmen vor Ort für den Einzelfall möglich. Der Aufwand für die Ermittlung der Restnutzungsdauer der Stahlbetontragwerke ist hoch. Die Diplomarbeit von Kolar [23] hat jedoch auch gezeigt, dass dieses Ergebnis nicht einfach als Zahlenwert übernommen werden kann, da die Werte für alte Objekte sehr hoch erscheinen, für jüngere Tragwerke hingegen als zu gering. Die Ergebnisse können jedoch dazu dienen, Tendenzen ablesen zu können. Für Stahltragwerke konnte kein solches Modell in der Literatur erhoben werden.

Das hier erstellte Modell soll mit möglichst geringem Aufwand und aus bestehenden Daten eine Vorhersage für das einzelne Objekt ermöglichen. Alle dafür erforderlichen

Werte müssen aus Datenbanken abrufbar sein. Diese Ergebnisse dienen zur lebenszyklusorientierten Bewertung von Alternativangeboten, für die Ermittlung des Ablösebetrages beim Wechsel des Brückeneigentümers und/oder Brückenerhalters, zur Entscheidungsfindung bei der Maßnahmensetzung – Erneuerung, Verbesserung oder Instandsetzung - und für die Planung der Instandhaltungs- und Erneuerungskosten des Infrastrukturbetreibers. Sie ersetzen auf keinen Fall eine gegebenenfalls erforderliche statische Untersuchung oder Nachrechnung des Brückenobjektes.

Für das Modell zur Bestimmung der Restnutzungsdauer der Brücke wird das Tragwerk als entscheidende Größe angesetzt. Die Zustandsklassenbewertung bei den ÖBB erfolgt für das Gesamtobjekt mit einer Zahl. Im Regelfall ist jedoch die Nutzungsdauer des Tragwerkes geringer als jene des Unterbaues, bzw. erfolgt bei einer Unterbauerneuerung auch eine Tragwerkserneuerung.

Die berechnete theoretische Nutzungsdauer bestehender Tragwerke ist von folgenden Faktoren abhängig:

- der Konstruktionsart, diese ist durch die unterschiedlichen Basiswerte (gemäß Punkt 4.5) berücksichtigt und durch den Wert m_{Basis} ausgedrückt,
- der Netzkategorie (gemäß Punkt 4.6.1), ausgedrückt durch den Faktor k_{Netzkat} ,
- der Fahrbahnart der Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke (gemäß Punkt 4.6.2), ausgedrückt durch den Faktor k_{Fahrbahn} ,
- der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau (gemäß Punkt 4.6.3), ausgedrückt durch den Faktor k_{Diff} und
- der Baustoffentwicklung sowie den Umweltbedingungen von heute gegenüber dem Zeitpunkt der Errichtung (gemäß Punkt 4.7), ausgedrückt durch den Faktor k_{Baujahr} .

Die berechnete theoretische Nutzungsdauer bestehender Tragwerke wird gemäß Formel 8 ermittelt.

$$m_{\text{bth}} = (m_{\text{Basis}} * k_{\text{Netzkat}} * k_{\text{Fahrbahn}} * k_{\text{Diff}} * k_{\text{Baujahr}})$$

Formel 8: Berechnete theoretische Nutzungsdauer bestehender Tragwerke

Die daraus ermittelte Restnutzungsdauer ist gemäß Formel 9 eine Funktion der Einflussfaktoren:

- berechneten theoretischen Nutzungsdauer m_{bth} ,
- des Tragwerksalters A_{TW} und
- der Zustandsklasse des einzelnen Objektes.

$$n = f(m_{bth}, A_{TW} \text{ und } ZK)$$

Formel 9: Restnutzungsdauer als Funktion der Einflussfaktoren eines Tragwerkes

Für die Kalibrierung der Restnutzungsdauern der Zustandsklassen 1, 2 und 3 werden Regel-, Reduktions- und Verlängerungsbereiche definiert. Die Restnutzungsdauern der Zustandsklassen 4 und 5 sind per Definition in Tabelle 6 nur von der Zustandsklassenbewertung abhängig.

5.2.1. Restnutzungsdauer der Zustandsklasse 5

Bei den Objekten, die der Zustandsklasse 5 zugeordnet sind, sind gemäß Definition in Tabelle 6 bereits Einschränkungen gegeben. Dieser Zustand sollte planmäßig vermieden werden bzw. müssen diese Objekte im Regelfall umgehend erneuert werden. Die Restnutzungsdauern für diese Objekte sind somit nicht mehr gegeben.

$$n = 0$$

Formel 10: Restnutzungsdauern der Objekte der Zustandsklasse 5

5.2.2. Restnutzungsdauer der Zustandsklasse 4

Objekte mit der Zustandsklasse 4 sind gemäß Definition in Tabelle 6 für die Erneuerung vorzusehen. Im Regelfall sollte man die Objekte ca. 10 Jahre vor der geplanten Erneuerung in den Erneuerungsplan aufnehmen.

$$n = 10 - A_{ZK4}$$

Formel 11: Restnutzungsdauern der Objekte der Zustandsklasse 4

Die Restnutzungsdauer ist davon abhängig, wie lange dieses Objekt bereits der Zustandsklasse 4 zugeordnet ist, diese Dauer wird mit A_{ZK4} bezeichnet. Die Restnutzungsdauern der Tragwerke errechnen sich für die Zustandsklasse 4 somit gemäß Formel 11.

5.2.3. Restnutzungsdauer der Zustandsklassen 1, 2 und 3

Ausgehend von den aktuellen Zustandsklassenbewertungen und den maßgebenden Instandsetzungszyklen werden der Regel-, Reduktions- und Verlängerungsbereich festgelegt. Den aktuellen Objekten entsprechen die Brücken, der Auswertetabelle [41] mit Stand September 2009 [41] die der neuen Zustandsklassenbewertung zugeteilt wurden. Die maßgebenden Instandsetzungsarbeiten sind der Korrosionsschutz bei den Stahltragwerken und die Betoninstandsetzung bei den Stahlbetontragwerken. Die Restnutzungsdauern der Objekte der Zustandsklassen 1, 2 und 3 errechnen sich in Abhängigkeit des Bereiches – Regel-, Reduktions- oder Verlängerungsbereich -, aus der aktuellen Zustandsklassenbewertung und dem Tragwerksalter.

5.2.3.1. Regel- Reduktions- und Verlängerungsbereich

Die Verteilung der aktuellen Zustandsklassen der Stahl- und Stahlbetontragwerke sind für die einzelnen Errichtungsepochen in Abbildung 67 und Abbildung 68 dargestellt. Ebenso ist die Absolutzahl der Objekte der jeweiligen Zustandsklassen für die einzelnen Errichtungsepochen eingetragen.

Aus der Verteilung der Stahltragwerke in Abbildung 67 ist ersichtlich, dass in den ersten 30 Jahren die Zustandsklassen 1 und 2 die maßgebenden sind. Diese Zustandsklassen sind jedoch auch bei älteren Objekten (bis 1890, dies entspricht einer Nutzungsdauer von 120 Jahren) mit bis zu 20% relativ häufig gegeben, absolut betrachtet ist die Zahl jedoch sehr gering.

Die Zustandsklasse 3 ist mengenmäßig am häufigsten und in jeder Epoche gegeben, obgleich der prozentuelle Anteil in den ersten 20 Jahren gering ist. Wie aus Kapitel 4.6.8 ersichtlich ist, werden auch Objekte mit der Zustandsklassenbewertung 3 erneuert. In Tabelle 59 sind 42 der 136 Objekte (Stahlvollwandträger, Fachwerke und Trägerbeton) des Erneuerungsplans mit der Zustandsklasse 3 bewertet.

Die Zustandsklasse 4 ist ebenfalls fast in jeder Epoche enthalten, innerhalb der ersten 30 Jahre jedoch nur vereinzelt. Gemäß Tabelle 59 sind 86 der 136 Objekte (Stahlvollwandträger, Fachwerke und Trägerbeton) des Erneuerungsplans mit der Zustandsklasse 4 bewertet.

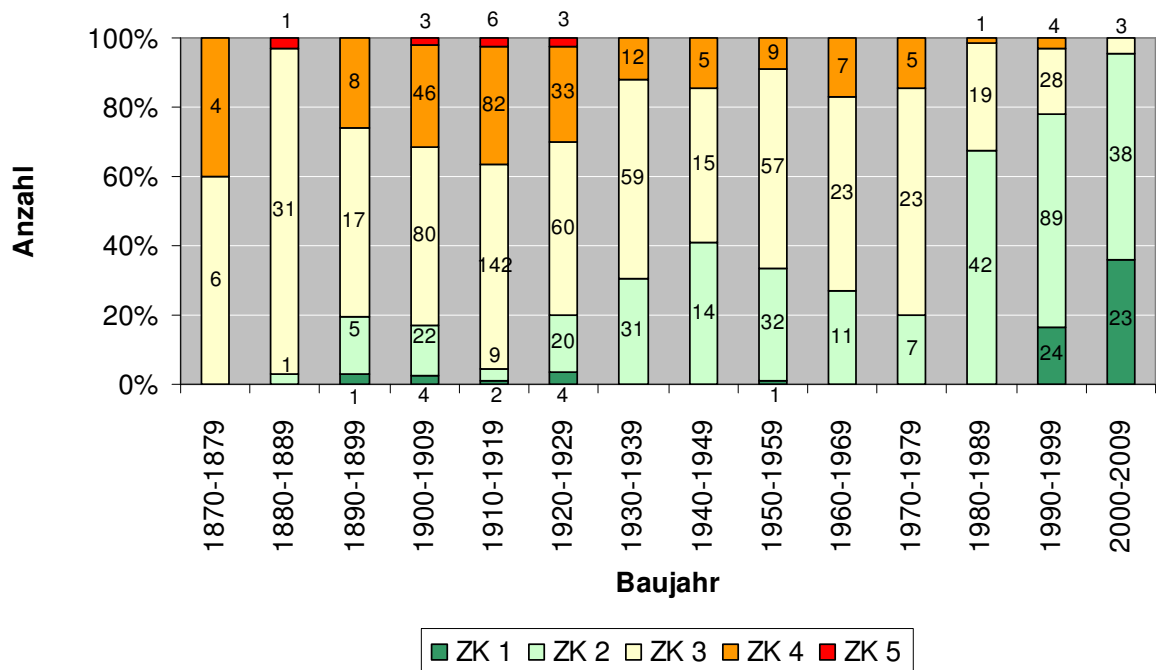


Abbildung 67: Anzahl der Stahltragwerke der verschiedenen Zustandsklassen, verteilt über die einzelnen Errichtungsepochen

Basierend auf diesen Erkenntnissen und der für den Stahlbau maßgebenden Instandsetzungsarbeit – den Korrosionsschutz – werden die Regel-, Reduktions- und Verlängerungsbereiche definiert. Die Instandsetzungszyklen des Korrosionsschutzes werden wie folgt angesetzt:

1. Erneuerung des ersten Korrosionsschutzes nach 40 Jahren, da der erste Korrosionsschutz unter idealen Bedingungen im Korrosionsschutzwerk bei der Herstellung des Tragwerkes aufgebracht wird.
2. Der zweite Korrosionsschutz wird bereits vor Ort aufgebracht, daher wird dieser Zyklus und alle weiteren mit 30 Jahren angesetzt.

Nach der ersten Korrosionsschutzerneuerung ist es möglich, wieder die Zustandsklasse 1 zu erreichen und erfahrungsgemäß für etwa 10 Jahre in dieser zu verbleiben. Daraus ergibt sich der Regelbereich der Zustandsklasse 1 von 0 bis 50 Jahren. Ist ein Tragwerk darüber hinaus der Zustandsklasse 1 zugeordnet, so ist damit zu rechnen, dass dieses Tragwerk eine längere Restnutzungsdauer erreicht.

Wie die Auswertung der Bestandsobjekte zeigt, sind neue Objekte sehr häufig bereits der Zustandsklasse 2 zugeordnet. Damit kann festgehalten werden, dass die Zustandsklasse 2 für neue Objekte durchaus auch dem Regelfall entspricht. In der Regel

sollte das Tragwerk nach der zweiten Korrosionsschutzerneuerung noch ca. 10 Jahre in dieser Zustandsklasse verbleiben. Daraus ergibt sich der Regelbereich der Zustandsklasse 2, von 0 bis 80 Jahren. Ist ein Tragwerk darüber hinaus der Zustandsklasse 2 zugeordnet, so ist damit zu rechnen, dass dieses Tragwerk eine längere Restnutzungsdauer erreicht.

Gemäß der Definition der Zustandsklassenbewertung entspricht das Objekt der Zustandsklasse 3, wenn die Schäden in 5 bis 12 Jahren zu einer Einschränkung und/oder zu einer Substanzschädigung führen. Für die Festlegung des Reduktionsbereiches wird erfahrungsgemäß der Wert von 30 Jahren angesetzt. Dies bedeutet, dass bei den Objekten in den ersten 30 Jahren ein guter bis sehr guter Zustand gegeben sein sollte und dann das Objekt zufolge der ersten erforderlichen Instandsetzung (1. Instandsetzungsarbeit nach 40 Jahre – 10 Jahre gemäß Definition der Zustandsklasse) in den Zustand 3 wechselt.

Damit ergibt sich der Reduktionsbereich der Zustandsklasse 3 von 0 bis 30 Jahren. Da die Objekte, gemäß der Auswertungen der Zustandsklassen des Erneuerungsplanes im Kapitel 4.6.8, häufig direkt vom Zustand 3 in den Erneuerungsplan wandern, wird hier keine Verlängerung angesetzt.

Aus der Verteilung der Stahlbetontragwerke in Abbildung 68 ist ersichtlich, dass in den ersten 40 Jahren die Zustandsklassen 1 und 2 die maßgebenden sind. Diese Zustandsklassen sind jedoch analog den Stahltragwerken auch bei älteren Objekten (bis 1890, dies entspricht einer Nutzungsdauer von 120 Jahren) relativ häufig gegeben, absolut betrachtet ist die Zahl jedoch gering.

Die Zustandsklasse 3 ist fast in jeder Epoche gegeben, obgleich der prozentuelle Anteil in den ersten 30 Jahren gering ist. Wie aus Tabelle 59 im Kapitel 4.6.8 ersichtlich ist, werden auch Stahlbetontragwerke mit der Zustandsklasse 3 (2 der 8 Objekte des Erneuerungsplans) erneuert.

Auffällig in Abbildung 68 ist, dass nur sehr wenige Objekte der Zustandsklasse 4 zugeordnet sind und lediglich ein Objekt der Zustandsklasse 5. Dies deutet darauf hin, dass die Stahlbetontragwerke das Ende der Nutzungsdauer noch nicht erreicht haben. Wie aus Tabelle 59 ersichtlich ist, sind 5 der 8 Stahlbetonobjekte des Erneuerungsplans mit der Zustandsklasse 4 bewertet.

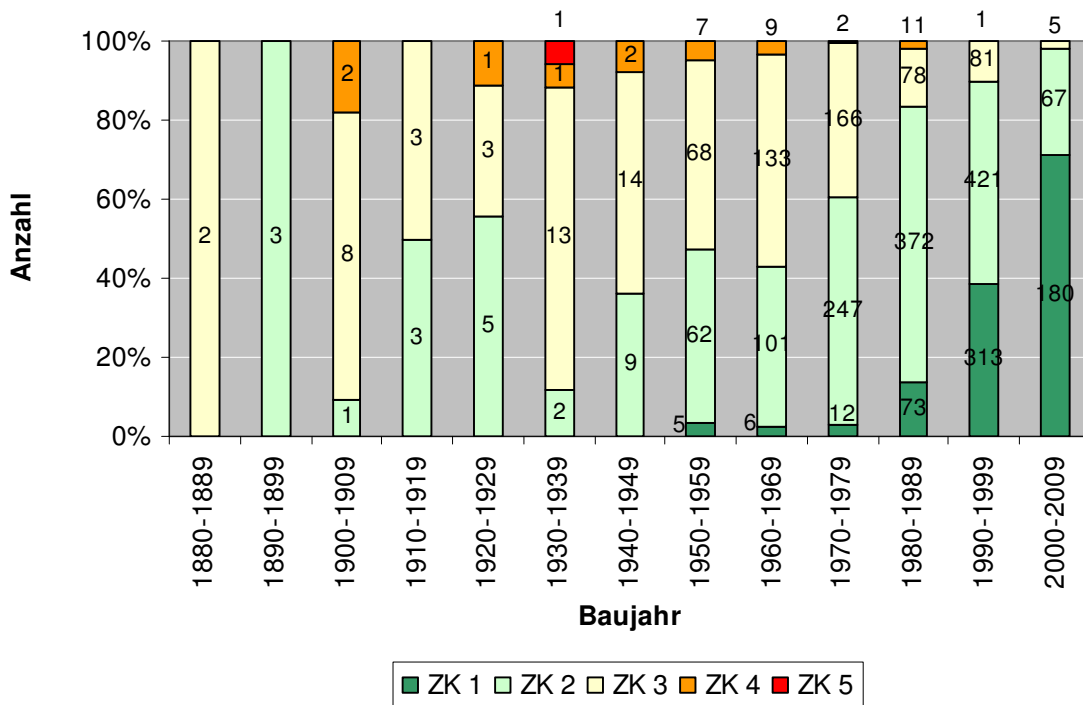


Abbildung 68: Anzahl der Stahlbetontragwerke der verschiedenen Zustandsklassen verteilt über die einzelnen Errichtungsepochen

Basierend auf diesen Erkenntnissen und der für den Stahlbetonbau maßgebenden Instandsetzungsarbeit – der Betoninstandsetzung – werden die Regel-, Reduktions- und Verlängerungsbereiche definiert. Die Instandsetzungszyklen für die Betoninstandsetzung werden wie folgt angesetzt:

- Punktuelle Betoninstandsetzungen sind gemäß der Fahrweg Strategie [3] nach 30 Jahren erforderlich.
- Die in Tabelle 67 zusammengefasste Umfrage betreffend der Instandsetzungszyklen ergab, dass diese im Abstand von 20 bis 60 Jahren erforderlich sind. Geht man analog dem Korrosionsschutz davon aus, dass bei neuen Brücken die Dauer bis zur ersten Instandsetzung länger ist als bei bereits instandgesetzten Bereichen, so ergeben sich 40 Jahre für die erste Instandsetzung. Die nachfolgenden Zyklen werden mit 30 Jahren angesetzt.

Die Instandsetzungszyklen für die Stahl- und Stahlbetontragwerke wurden gleich angesetzt. Die Zustandsklassenbewertungen der Stahlbetontragwerke sind tendenziell besser als die der Stahltragwerke. Die Nutzungsdauern der Stahlbetontragwerke sind jedoch kürzer als die der Stahltragwerke. Daher werden die Regel-, Reduktions- und

Verlängerungsbereiche für die Stahl- und Stahlbetontragwerke gleich angesetzt. Die einzelnen Bereiche - Regel-, Reduktions- und Verlängerungsbereich - sind in Abbildung 69 dargestellt.

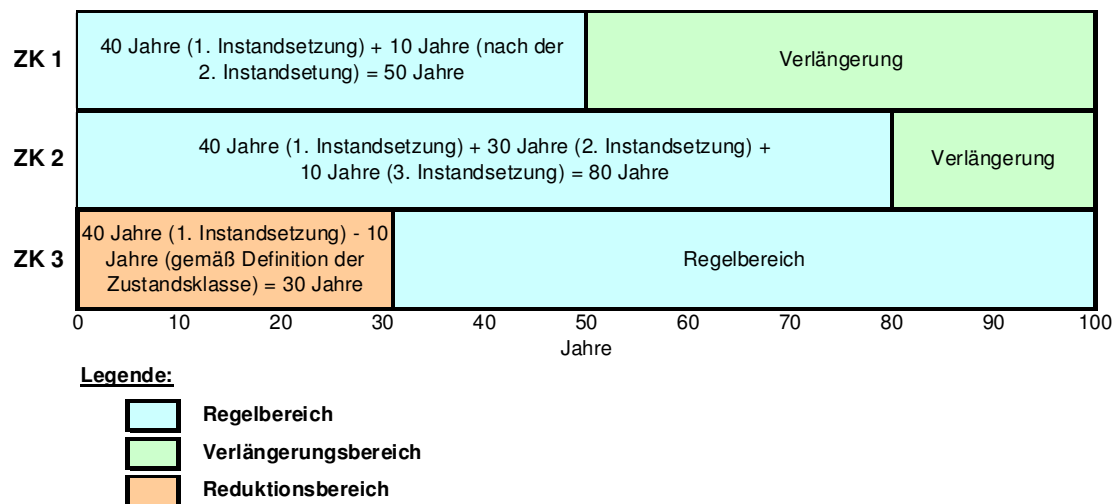


Abbildung 69: Zuordnung der Regel-, Reduktions- und Verlängerungsbereiche

In Tabelle 76 sind alle Stahltragwerke mit aktueller Zustandsbewertung 1 bis 3 den Reduktions-, Regel- oder Verlängerungsbereichen zugeordnet. Daraus ergibt sich, dass die überwiegende Anzahl von 87% der Objekte im Regelbereich und nur 7% im Verlängerungsbereich bzw. 5% im Reduktionsbereich liegen.

Baujahr	Alter (2010) [Jahre]	ZK 1 [Stk.]	ZK 2 [Stk.]	ZK 3 [Stk.]	ZK 4 [Stk.]	ZK 5 [Stk.]	Summe [Stk.]	
1870-1879	140 - 131			6	4		10	
1880-1889	130 - 121		1	31		1	33	
1890-1899	120 - 111	1	5	17	8		31	
1900-1909	110 - 101	4	22	80	46	3	155	
1910-1919	100 - 91	2	9	142	82	6	241	
1920-1929	90 - 81	4	20	60	33	3	120	
1930-1939	80 - 71		31	59	12		102	
1940-1949	70 - 61		14	15	5		34	
1950-1959	60 - 51	1	32	57	9		99	
1960-1969	50 - 41		11	23	7		41	
1970-1979	40 - 31		7	23	5		35	
1980-1989	30 - 21		42	19	1		62	
1990-1999	20 - 11	24	89	28	4		145	
2000-2009	10 - 1	23	38	3			64	
Summe		59	321	563	216	13	1.172	
Verlängerung		12	57				69	7%
Regelbereich		47	264	513			824	87%
Reduktionsbereich				50			50	5%

Tabelle 76: Bereichszuordnung der Stahltragwerke in Abhängigkeit der Zustandklasse je Jahrzehnt

In Tabelle 77 sind alle Stahlbetontragwerke mit aktueller Zustandsbewertung von 1 bis 3 den Regel-, Reduktions- oder Verlängerungsbereichen zugeordnet. Daraus ist ersichtlich, dass der weitaus überwiegende Anteil von ca. 93% der Objekte im Regelbereich, ca. 1% im Verlängerungsbereich und ca. 7% im Reduktionsbereich liegen.

Baujahr	Alter (2010) [Jahre]	ZK 1 [Stk.]	ZK 2 [Stk.]	ZK 3 [Stk.]	ZK 4 [Stk.]	ZK 5 [Stk.]	Summe [Stk.]	
1880-1889	130 - 121			2			2	
1890-1899	120 - 111		3				3	
1900-1909	110 - 101		1	8	2		11	
1910-1919	100 - 91		3	3			6	
1920-1929	90 - 81		5	3	1		9	
1930-1939	80 - 71		2	13	1	1	17	
1940-1949	70 - 61		9	14	2		25	
1950-1959	60 - 51	5	62	68	7		142	
1960-1969	50 - 41	6	101	133	9		249	
1970-1979	40 - 31	12	247	166	2		427	
1980-1989	30 - 21	73	372	78	11		534	
1990-1999	20 - 11	313	421	81	1		816	
2000-2009	10 - 1	180	67	5			252	
Summe		589	1.293	574	36	1	2.493	
Verlängerung		5	12				17	1%
Regelbereich		584	1.281	408			2.273	93%
Reduktionsbereich				164			164	7%

Tabelle 77: Bereichszuordnung der Stahlbetontragwerke in Abhängigkeit der Zustandklasse je Jahrzehnt

5.2.3.2. Restnutzungsdauer der Zustandklasse 1

Im Regelbereich ergibt sich die Restnutzungsdauer rein aus der berechneten theoretischen Nutzungsdauer m_{bth} . Ist ein Objekt über den Regelbereich hinaus noch der Zustandklasse 1 zugeordnet, so erhöht sich die Nutzungsdauer gegenüber dem Regelbereich um den Wert x . Hat das Objekt der Zustandklasse 1 die berechnete theoretische Nutzungsdauer m_{bth} bereits erreicht oder überschritten, so wird eine Restnutzungsdauer von 25 Jahren angesetzt. Die 25 Jahre Nutzungsdauer werden angesetzt, da am Ende der Nutzungsdauer die Objekte nur noch kurz auf den Zustand 1 gehoben werden können. Die Dauer in der Zustandklasse 1 wird mit 5 Jahren angesetzt, zieht man diese von den Instandhaltungszyklen von 30 Jahren ab, verbleiben 25 Jahre. Diese 25 Jahre spiegeln auch erfahrungsgemäß die Dauer eines am Ende der Abgangskurve befindlichen Objektes der Zustandklasse 1 bis zur Erneuerung wider.

In Abbildung 70 sind die Zusammenhänge graphisch dargestellt. Der Bereich zwischen dem Ende des Regelbereiches und der berechneten theoretischen Nutzungsdauer wird linear angesetzt.

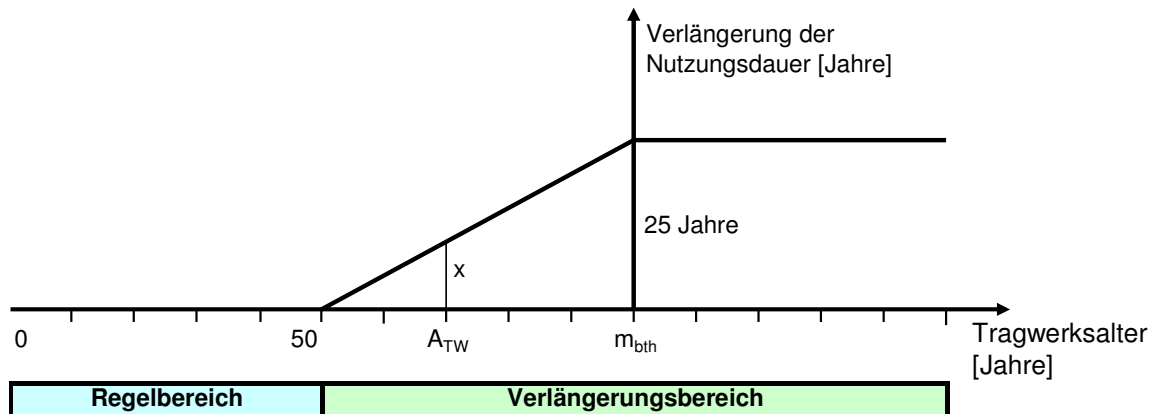


Abbildung 70: Rechenmodell für die Zustandklasse 1

Regelbereich $50 \geq A_{TW} < m_{bth}$:

Dieser Bereich umfasst die Tragwerke mit einem Alter bis 50 Jahre und einer berechneten theoretischen Nutzungsdauer größer dem Tragwerksalter. Die Ermittlung der Restnutzungsdauern erfolgt gemäß Formel 12.

$$n = m_{bth} - A_{TW} = (m_{Basis} * k_{Netzkat} * k_{Fahrbahn} * k_{Diff} * k_{Baujahr}) - A_{TW}$$

Formel 12: Restnutzungsdauern der Zustandklasse 1 mit $50 \geq A_{TW} < m_{bth}$

Verlängerungsbereich $50 < A_{TW} < m_{bth}$:

Das Alter des Tragwerkes ist größer als 50 Jahre, jedoch kleiner als die berechnete theoretische Nutzungsdauer. Die Restnutzungsdauern im Bereich von 50 Jahren bis zur berechneten theoretischen Nutzungsdauer werden um den Betrag x verlängert.

$$n = m_{bth} - A_{TW} + x$$

mit

$$\frac{x}{A_{TW} - 50} = \frac{25}{m_{bth} - 50} \Rightarrow x = \frac{25}{m_{bth} - 50} * (A_{TW} - 50)$$

$$n = m_{bth} - A_{TW} + x = m_{bth} - A_{TW} + 25 \frac{A_{TW} - 50}{m_{bth} - 50}$$

Formel 13: Restnutzungsdauern der Zustandklasse 1 mit $50 < A_{TW} < m_{bth}$

$$A_{TW} \geq m_{bth}$$

Das Tragwerkalter ist größer oder gleich der berechneten theoretischen Nutzungsdauer. Dies ist dann der Fall, wenn das Tragwerk bereits ein hohes Alter erreicht hat und trotzdem der Zustandklasse 1 zugeordnet ist, oder wenn die berechnete theoretische Nutzungsdauer - beispielsweise zufolge einer hohen Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau – sehr gering ist. Die Restnutzungsdauer des Tragwerkes wird gemäß Definition in Abbildung 70 mit 25 Jahren angesetzt.

$$n = 25 \text{ Jahre}$$

Formel 14: Restnutzungsdauern der Zustandklasse 1 mit $A_{TW} \geq m_{bth}$

5.2.3.3. Restnutzungsdauer der Zustandklasse 2

Im Regelbereich errechnet sich die Restnutzungsdauer rein aus der berechneten theoretischen Nutzungsdauer m_{bth} . Ist ein Objekt über den Regelbereich hinaus noch der Zustandklasse 2 zugeordnet, so erhöht sich die Nutzungsdauer gegenüber dem Regelbereich um den Wert x . Hat das Objekt der Zustandklasse 2 die berechnete theoretische Nutzungsdauer m_{bth} bereits erreicht oder überschritten, so wird eine Restnutzungsdauer von 12 Jahren angesetzt. Diese 12 Jahre spiegeln die Dauer wider, die gemäß der Definition der Zustandklasse 2 bis zur nächsten Instandsetzungsmaßnahme oder einer Substanzschädigung gegeben ist.

In Abbildung 71 sind die Zusammenhänge graphisch dargestellt. Der Bereich vom Ende des Regelbereiches bis zur berechneten theoretischen Nutzungsdauer wird linear angesetzt.

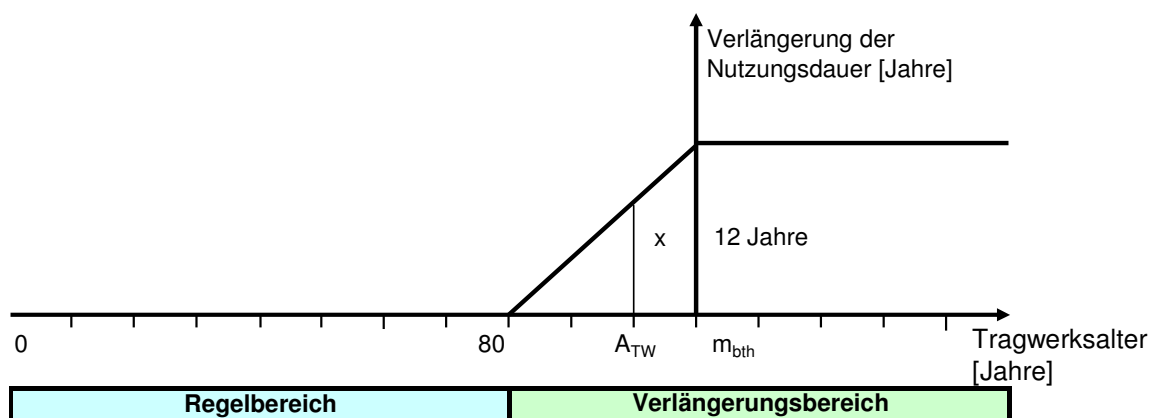


Abbildung 71: Rechenmodell für die Zustandklasse 2

Regelbereich $80 \geq A_{TW} < m_{bth}$:

Dieser Bereich umfasst die Tragwerke mit einem Alter bis 80 Jahre und einer berechneten theoretischen Nutzungsdauer größer dem Tragwerksalter. Die Ermittlung der Restnutzungsdauer erfolgt gemäß Formel 15.

$$n = m_{bth} - A_{TW} = (m_{Basisi} * k_{Netzkat} * k_{Fahrbahn} * k_{Diff} * k_{Baujahr}) - A_{TW}$$

Formel 15: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 2 mit $80 \geq A_{TW} < m_{bth}$

Verlängerungsbereich $80 < A_{TW} < m_{bth}$:

Das Alter des Tragwerkes ist größer als 80 Jahre, jedoch kleiner als die berechnete theoretische Nutzungsdauer. Die Restnutzungsdauer im Bereich von 80 Jahren bis zur berechneten theoretischen Nutzungsdauer wird dadurch um den Betrag x verlängert und berechnet sich gemäß Formel 16.

$$n = m_{bth} - A_{TW} + x$$

mit

$$\frac{x}{A_{TW} - 80} = \frac{12}{m_{bth} - 80} \Rightarrow x = \frac{12}{m_{bth} - 80} * (A_{TW} - 80)$$

$$n = m_{bth} - A_{TW} + x = m_{bth} - A_{TW} + 12 \frac{A_{TW} - 80}{m_{bth} - 80}$$

Formel 16: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 2 mit $80 < A_{TW} < m_{bth}$

$A_{TW} \geq m_{bth}$:

Das Tragwerksalter ist größer oder gleich der berechneten theoretischen Nutzungsdauer. Dies ist dann der Fall, wenn das Tragwerk bereits ein hohes Alter erreicht hat und trotzdem der Zustandsklasse 2 zugeordnet ist, aber auch dann, wenn die berechnete theoretische Nutzungsdauer - beispielsweise zufolge einer hohen Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau – gering ist. Die Restnutzungsdauern der Tragwerke werden gemäß Definition in Abbildung 71 mit 12 Jahren angesetzt und sind in Formel 17 wiedergegeben.

$$n = 12 \text{ Jahre}$$

Formel 17: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 2 mit $A_{TW} \geq m_{bth}$

5.2.3.4. Restnutzungsdauer der Zustandklasse 3

Für die Zustandklasse 3 wird ein Reduktionsbereich, jedoch kein Verlängerungsbereich eingeführt.

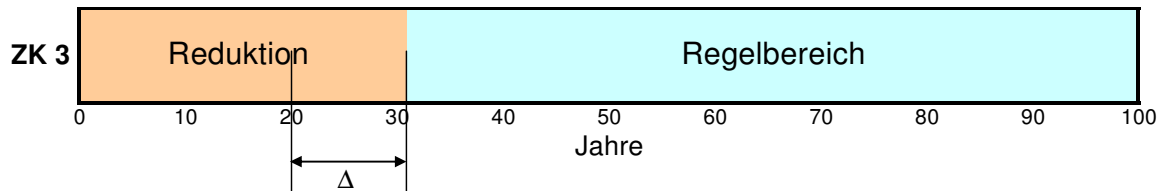


Abbildung 72: Rechenmodell für die Zustandklasse 3

Gemäß der Definition der Zustandsklassenbewertung entspricht das Objekt der Zustandklasse 3, wenn die Schäden in 5 bis 12 Jahren zu einer Einschränkung und/oder zu einer Substanzschädigung führen. Für die Festlegung des Reduktionsbereiches wird erfahrungsgemäß der Wert von 10 Jahren angesetzt, daraus ergibt sich der Reduktionsbereich von 0 bis 30 Jahre.

Regelbereich $30 < A_{TW} < m_{bth}$:

Das Alter des Tragwerkes ist größer als 30 Jahre und die berechnete theoretische Nutzungsdauer ist größer als das Tragwerksalter. Die Ermittlung der Restnutzungsdauern ist in Formel 18 angegeben.

$$n = m_{bth} - A_{TW} = (m_{Basis} * k_{Netzkat} * k_{Fahrbahn} * k_{Diff} * k_{Baujahr}) - A_{TW}$$

Formel 18: Restnutzungsdauern der Zustandklasse 3 mit $30 < A_{TW} < m_{bth}$

Reduktionsbereich $A_{TW} \leq 30$:

Objekte der Zustandsklassenbewertung 3 mit einem Tragwerksalter bis 30 Jahre weisen bereits einen schlechten Instandhaltungszustand auf, der gemäß Definition in Tabelle 6 mittelfristig, in 5 bis 12 Jahren, zu Einschränkungen führt. Die Verkürzung Δ ergibt sich aus dem definierten Restnutzungsbereich von 30 Jahren, abzüglich dem Tragwerksalter. Dies bedeutet, dass sich die Restnutzungsdauer gemäß Formel 19 um den Anteil der verfrühten Objektzugehörigkeit zur Zustandklasse 3 verkürzt.

$$\Delta = 30 - A_{TW}$$

Setzt man diese in die Formel ein, so ergibt sich:

$$n = m_{bth} - A_{TW} - \Delta = m_{bth} - A_{TW} - (30 - A_{TW}) = m_{bth} - 30$$

Daraus folgt:

$$n = (m_{Basis} * k_{Netzkat} * k_{Fahrbahn} * k_{Diff} * k_{Baujahr}) - 30$$

Formel 19: Restnutzungsdauern der Zustandklasse 3 mit $A_{TW} \leq 30$

$A_{TW} \geq m_{bth}$:

Das Tragwerkalter ist größer oder gleich der berechneten theoretischen Nutzungsdauer. Dies ist dann der Fall, wenn das Tragwerk bereits ein sehr hohes Alter erreicht hat und trotzdem der Zustandklasse 3 zugeordnet ist, aber auch dann, wenn die berechnete theoretische Nutzungsdauer gering ist. Die Restnutzungsdauer des Tragwerkes wird in Anlehnung an die Definition der Zustandklassenbewertung 3 mit 10 Jahren angesetzt und ist in Formel 20 wiedergegeben.

$$n = 10 \text{ Jahre}$$

Formel 20: Restnutzungsdauern der Zustandklasse 3 mit $A_{TW} \geq m_{bth}$

5.2.4. Zusammenfassung der Restnutzungsdauer

Das Modell zur Bestimmung der Restnutzungsdauer ist eine Funktion des Basiswertes der einzelnen Tragwerksgruppen, der Netzkategorie, der Fahrbahnart bei Stahlvollwandträger und Fachwerke, der Altersdifferenz zwischen Unterbau und Tragwerk und der Errichtungsepoche des Tragwerkes. Daraus ergibt sich die berechnete Nutzungsdauer m_{bth} des Objektes. In Abhängigkeit der Zustandklassenbewertung, der berechneten Nutzungsdauer und dem Tragwerkalter wird das Objekt dem Regel-, Verlängerungs- oder Reduktionsbereich zugeordnet.

Die Definition dieser Bereiche basiert auf den aktuellen Zustandklassenbewertungen und den maßgebenden Instandsetzungsarbeiten. Diese sind der Korrosionsschutz für Stahltragwerke und die Betoninstandsetzung für Stahlbetontragwerke. In Tabelle 78 sind die Formeln zur Ermittlung der Restnutzungsdauern zusammengefasst. Diese ist – wie bereits angeführt - von der Zustandklasse, dem Tragwerkalter und der berechneten theoretischen Nutzungsdauer des Objektes abhängig.

	Regelbereich [Jahre]	Reduktions- und Verlängerungsbereich [Jahre]	$A_{TW} \geq m_{bth}$ [Jahre]
ZK 1	$50 \geq A_{TW} < m_{bth}$ $n = m_{bth} - A_{TW}$	$50 < A_{TW} < m_{bth}$ $n = m_{bth} - A_{TW} + 25 \frac{A_{TW} - 50}{m_{bth} - 50}$	$n = 25$
ZK 2	$80 \geq A_{TW} < m_{bth}$ $n = m_{bth} - A_{TW}$	$80 < A_{TW} < m_{bth}$ $n = m_{bth} - A_{TW} + 12 \frac{A_{TW} - 80}{m_{bth} - 80}$	$n = 12$
ZK 3	$30 < A_{TW} < m_{bth}$ $n = m_{bth} - A_{TW}$	$A_{TW} \leq 30$ $n = m_{bth} - 30$	$n = 10$
ZK 4	$n = 0 - 10$ (abhängig von der bisherigen Verweildauer in der Zustandsklasse 4)		
ZK 5	$n = 0$		

Tabelle 78: Zusammenfassung der Formeln zur Berechnung der Restnutzungsdauern der Tragwerke

Abschließend erfolgen beispielhafte Berechnungen der Restnutzungsdauern:

Beispiel 1:

Stahlbetontragwerk Baujahr 1980

Zustandsklasse: 2

Widerlager Baujahr 1980

Netzkategorie: Kernnetz

Altersdifferenz Tragwerk – Unterbau = 0 Jahre

Bezugsjahr 2011

$A_{TW} = 2011 - 1980 = 31$ Jahre

Die berechnete Nutzungsdauer m_{bth} errechnet sich gemäß den Faktoren in Tabelle 70 wie nachfolgend angeführt:

$$m_{bth} = (m_{Basis} * k_{Netzkat} * k_{Fahrbahn} * k_{Diff} * k_{Baujahr}) = (90 * 1,00 * 1,00 * 1,00 * 1,10) = 99 \text{ Jahre}$$

Das Objekt mit einem Tragwerkalter von 31 Jahren, einer berechneten theoretische Nutzungsdauer von 99 Jahren und der Zustandsklasse 2, liegt im Regelbereich. Dies ergibt eine Nutzungsdauer von $n = m_{bth} - A_{TW} = 99 - 31 = 68 \text{ Jahre}$

Beispiel 2:

Stahlvollwanträger Baujahr 1980 (geschlossene Fahrbahn)

Zustandsklasse: 2

Widerlager Baujahr 1925

Netzkategorie: Kernnetz

Altersdifferenz Tragwerk – Unterbau = 1980 – 1925 = 55 Jahre

Bezugsjahr 2011

$A_{TW} = 2011 - 1980 = 31$ Jahre

Die berechnete Nutzungsdauer m_{bth} errechnet sich gemäß den Faktoren in Tabelle 70 wie nachfolgend angeführt:

$$m_{bth} = (m_{Basis} * k_{Netzkat} * k_{Fahrbahn} * k_{Diff} * k_{Baujahr}) = (105 * 1,00 * 1,05 * 0,75 * 1,10) = 91 \text{Jahre}$$

Das Objekt mit einem Tragwerksalter von 31 Jahren, einer berechneten theoretische Nutzungsdauer von 91 Jahren und der Zustandsklasse 2, liegt im Regelbereich. Dies ergibt eine Nutzungsdauer von $n = m_{bth} - A_{TW} = 91 - 31 = 60 \text{Jahre}$

6. Zusammenfassung und Ausblick

Diese Dissertation befasst sich mit den tatsächlichen und theoretischen Nutzungsdauern von Eisenbahnbrücken. Insbesondere von Bedeutung sind diese Nutzungsdauern bei der lebenszyklusorientierten Bewertung von Alternativangeboten, bei der Ermittlung des Ablösebetrages infolge des Brückeneigentümer- und/oder Brückenerhalterwechsels, bei der Entscheidungsfindung der Maßnahmensetzung – Erneuerung, Verbesserung oder Instandsetzung - und bei der Planung der Instandhaltungs- und Erneuerungskosten.

Basierend auf den Daten der zu erneuernden Eisenbahnbrücken der ÖBB wurden die tatsächlichen Nutzungsdauern ermittelt. Dabei war es insbesondere notwendig, die genaue Ursache für die Erneuerung zu erheben und nur all jene Objekte zur Bestimmung des Basiswertes zu berücksichtigen, die zufolge der Bausubstanz erneuert werden müssen. Somit wurden all jene Objekte ausgesucht, die aus strategischen Gründen, zufolge von Planungs- und Ausführungsmängel oder außergewöhnlichen Ereignissen erneuert werden müssen, oder einem planmäßigen Verfall zugeführt werden.

Im Zuge der Grundlagenerhebung für die Auswertungen hat sich gezeigt, dass insbesondere die Bemessungsansätze für die horizontalen Lasten stark zunahmen. Dies hat zur Folge, dass ein reiner Tragwerkswechsel insbesondere ohne Widerlagerverstärkung nur noch sehr selten möglich ist. Zumeist ist eine Erneuerung bzw. Verstärkung des Widerlagers und eventuell auch der Fundierung notwendig, wenngleich das Widerlager in einem guten Instandhaltungszustand ist. Bei der Auswertung und Aufbereitung der Daten hat sich gezeigt, dass die Nutzungsdauer eines Objektes auch von der Art und dem Zeitpunkt der Instandsetzungsmaßnahme und gegebenenfalls der Verbesserungsmaßnahme abhängig ist. Diese Daten sind derzeit bei den ÖBB nur teilweise und nicht in einer Datenbank erfasst.

Aufbauend auf der tatsächlichen Nutzungsdauer wurde der Basiswert für die Stahlvollwandträger, Stahlfachwerke, Trägerbetone und Stahlbetontragwerke sowie der Unterbauten aus Naturstein und Beton ermittelt. Dieser Basiswert entspricht der theoretischen Nutzungsdauer der Objekte die schwerpunktmäßig im Zeitraum der Häufung der Objekte des Erneuerungsplanes errichtet wurden. Um nicht eine Genauigkeit vorzutäuschen, die bei der Ermittlung der Basiswerte der Nutzungsdauern nicht gegeben ist, werden diese Werte gerundet.

Der ermittelte Basiswert der Stahlvollwandträger beträgt 105 Jahre und ist somit um 5% höher als die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie der ÖBB. Der Basiswert der Stahlfachwerke hat sich mit 110 Jahre ergeben, somit ein Plus von 10% gegenüber der theoretischen Nutzungsdauer der Ablöserichtlinie und der Basiswert der Trägerbetone ist mit 100 Jahren analog dem Wert der Ablöserichtlinie der ÖBB [1].

Bei den Stahlbetontragwerken sind nur sehr wenige Objekte im Erneuerungsplan enthalten, eine absolute Häufung der Errichtungszeitpunkte dieser Tragwerke konnte nicht festgestellt werden. Zuzufolge der großen Menge an neuen Stahlbetontragwerken - die Tragwerksfläche der neuen Stahlbetontragwerke hat sich gegenüber 1940 um den Faktor 10 erhöht - drücken vereinzelte frühzeitige Tragwerkserneuerungen die Nutzungsdauer nach unten. Anhand der relativen Verteilung der Objekte des Erneuerungsplanes (zu erneuernde Tragwerksfläche eines Jahrzehnts bezogen auf die Gesamttragwerksfläche dieses Jahrzehnts) ist eine Häufung der Erneuerungszeitpunkte sehr wohl erkennbar. Dementsprechend wird insbesondere dieser Zeitraum für die Ermittlung des Basiswertes der Stahlbetontragwerke herangezogen. Der so ermittelte Basiswert beträgt 90 Jahre und liegt um ca. 30% über dem Wert der theoretischen Nutzungsdauer der Ablöserichtlinie.

In weiterer Folge wurden Parameter untersucht, die die Nutzungsdauer beeinflussen und soweit Zusammenhänge nachgewiesen werden konnten, diese zahlenmäßig bewertet. Bei der Festlegung des Basiswertes wurden die Werte bereits in Abhängigkeit der Netzkategorie und bei den Stahlvollwandträgern und den Stahlfachwerken auch in Abhängigkeit der Fahrbahnart bestimmt. Die Auswertung des Parameters Netzkategorie ergab, dass die Tragwerke im Kernnetz eine durchschnittlich um 5% geringere Nutzungsdauer haben, als jene im Ergänzungsnetz. Die im Erneuerungsplan enthaltenen Stahltragwerke entsprechen fast ausschließlich der älteren Bauweise mit einer offenen Fahrbahn. Die Auswertung der Daten zeigte, dass Brücken mit Schotterbett eine um ca. 5% längere Nutzungsdauer aufweisen. Der Einfluss der Altersdifferenz konnte ebenfalls zahlenmäßig bewertet werden. Dieser beginnt bei einer Altersdifferenz von 10 Jahren mit einer Reduktion von 5% und geht bis zur Altersdifferenz ab 70 Jahren mit 60%iger Reduktion.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Bemessungslast konnten keine eindeutigen Zusammenhänge abgeleitet werden. Dies vor allem deshalb, da sehr viele verschiedene Lastbilder bei diesen Objekten angegeben waren und eine dementsprechend geringe Anzahl an Objekten für die Auswertung zur Verfügung stand aber auch, da einige

Tragwerke im Nachhinein einem Bemessungslastbild zugeordnet wurden. Die Analyse der Nutzungsdauer der Tragwerke in Hinblick auf die Durchfahrtsnutzung ergab, dass die robusteren Trägerbetone und Stahlbetontragwerke im Straßenbereich eine höhere Nutzungsdauer aufweisen, als im Bereich von Gewässern. Bei den Stahlvollwandträgern, insbesondere mit offener Fahrbahn, ist dies gerade umgekehrt der Fall, eine zahlenmäßige Bewertung war jedoch nicht möglich.

Bei den Unterbauten sind die Parameter der Netzkategorie und der Durchfahrtsnutzung die maßgebenden. Die Auswertung der Netzkategorie ergab, dass der Unterbau im Ergänzungsnetz eine durchschnittlich um 5% geringere Nutzungsdauer hat, als jener im Kernnetz. Bei der Nutzung der Durchfahrtsöffnung konnte eine Reduktion der Nutzungsdauer der Betonunterbauten im Bereich von Straßen mit 5% ermittelt werden.

Maßgebend für die Ableitung der Plannutzungsdauer von den Nutzungsdauern der bestehenden Brücken ist auch die historische Entwicklung betreffend Baustofftechnologie von Stahl und Stahlbeton und umweltbedingten Veränderungen. Daher wurde für die Baustoffe Stahl und Stahlbeton ein Faktor zur Berücksichtigung der Errichtungsepoche eingeführt.

Damit die Brücken die theoretische Nutzungsdauer erreichen ist eine Instandhaltung erforderlich, diese setzt sich aus der Inspektion, der Wartung, der Instandsetzung und gegebenenfalls der Verbesserung zusammen. Die Zyklen für die Inspektion sind in Vorschriften für den Brückenerhalter geregelt, die Wartung wird zumeist an die Inspektion gekoppelt. Die Abstände, in denen die Instandsetzungen durchgeführt werden, sind die Instandsetzungszyklen. In dieser Dissertation konnte bestätigt werden, dass diese Zyklen zustandsorientiert festgelegt werden müssen. Mittels dieser Instandhaltungszyklen kann jedoch auch die Nutzungsdauer gesteuert werden. Kurze Zyklen erhöhen die Nutzungsdauer der Brücke, eine unterlassene Instandsetzung hingegen führt zu einer frühzeitigen Erneuerung der Brücke.

Mit den erhobenen Daten ist es möglich, die Plannutzungsdauer für Stahlvollwandträger, Stahlfachwerke, Trägerbetone bzw. WIB-Tragwerke, Stahlbetontragwerke und Verbundtragwerke von Eisenbahnbrücken zu ermitteln und mit dem entwickelnden Modell ist es möglich die Restnutzungsdauer von Stahl- und Stahlbetontragwerken zu bestimmen.

Die Plannutzungsdauer ist die durchschnittliche Nutzungsdauer einer neuen Brücke, die bei planmäßiger Instandhaltung im Durchschnitt erreicht wird. Sie ist von der Konstruktionsart, der Netzkategorie, der Fahrbahnart bei den Stahlvollwandträger und Stahlfachwerke sowie der Baustoffentwicklung und den geänderten Umweltbedingungen abhängig. Die Plannutzungsdauer ist weder ein Garant dafür, dass jedes Objekt diese erreicht, noch muss eine Brücke bei Erreichung dieser für die Erneuerung vorgesehen werden. Die ermittelten Plannutzungsdauern im Kernnetz betragen für Stahlvollwandträger 120 Jahre, für Stahlfachwerke 125 Jahre, für Trägerbetone 110 Jahre sowie für Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke 105 Jahre.

Die Ermittlung der Restnutzungsdauer ist von der Konstruktionsart, der Netzkategorie, der Fahrbahnart bei den Stahlvollwandträgern und den Stahlfachwerken, der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau, der Baustoffentwicklung und den geänderten Umweltbedingungen, dem Tragwerksalter und der Zustandsklasse des einzelnen Objektes abhängig.

In dieser Dissertation konnte auch aufgezeigt werden, dass für ein aussagekräftiges Ergebnis, die Untersuchung sich auf die gesamte Brücke zu beziehen hat. Es können und müssen die einzelnen Komponenten – Tragwerk, Unterbau inkl. Fundierung und Ausrüstung – analysiert werden. Eine Abstimmung der Nutzungsdauern der einzelnen Komponenten (selbe Nutzungsdauer oder ein ganzzahliges Vielfaches) ist unbedingt erforderlich.

Die im Zuge dieser Untersuchung aufgeworfenen offenen Fragen werden aus der Sicht des Verfassers mit nachfolgend angeführten Änderungsvorschlägen belegt:

- Eine getrennte Zustandsklassenbewertung für das Tragwerk, den Unterbau und die Ausrüstungen sollte eingeführt werden. Danach wäre das Modell auf die getrennten Bauteile zu adaptieren, und die Beurteilung, Erneuerung, Verbesserung oder Instandsetzung (insbesondere bei den Ausrüstungen) wäre präziser möglich.
- Der Bedarf der tatsächlichen erforderlichen Instandsetzungsarbeiten für die einzelnen Tragwerksgruppen sollte genauer erhoben werden und die Evaluierung der Kosten für diese erfolgen.
- Das Korrosionsverhalten der Bau- und Bewehrungsstähle der verschiedenen Epochen sollte untersucht werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Graphische Darstellung der Ermittlung des Ablösebetrages [6]	18
Abbildung 2: Lebenszyklus einer Brücke	19
Abbildung 3: Zusammenhänge der Nutzungsdauern	22
Abbildung 4: Definition der Instandhaltung und Erneuerung	23
Abbildung 5: Historischer Verlauf der maximalen Achslast der Eisenbahnbrücken im Bereich der ÖBB	32
Abbildung 6: Historischer Verlauf der maximalen Brems- bzw. Anfahrkräfte einer 12 m langen Brücke	34
Abbildung 7: Historischer Verlauf des Seitenstoßes im Bereich der ÖBB	35
Abbildung 8: Verteilung der Netzkategorien der gesamten Eisenbahnbrückenflächen	38
Abbildung 9: Abgescherter Mittelpfeiler der Kremser Donaubrücke	44
Abbildung 10: Stahlbetonbrücke mit häufigen Anfahrsschäden	45
Abbildung 11: Stahltragwerk mit häufigen Anfahrsschäden	46
Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Errichtung der Stahltragwerksfläche	48
Abbildung 13: Schematische Darstellung einer Fahrbahn in offener Bauweise [52]	51
Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf des Einsatzes der Stahlbetontragwerke	55
Abbildung 15: Entwicklung der zulässigen Biegedruckspannungen in der 1. Hälfte des 19 Jahrhunderts [29]	59
Abbildung 16: Zulässige Stahlspannungen nach österreichischen Vorschriften [29]	65
Abbildung 17: Betondeckung nach ÖNORM B 2302 aus 1936 [23]	67
Abbildung 18: Mittelwerte der gemessenen Betondeckungen [23]	71
Abbildung 19: Geringsten gemessenen Betondeckungen	71
Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf des Einsatzes der Spannbeton Tragwerksfläche	74
Abbildung 21: Zeitlicher Verlauf des Einsatz der Verbundtragwerksfläche	74
Abbildung 22: Zeitlicher Verlauf des Einsatz der Natursteinwiderlager	75
Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf des Einsatz der Betonwiderlager	76
Abbildung 24: Verteilung der Tragwerksfläche der verschiedenen Brückentypen der ÖBB	78
Abbildung 25: Zusammensetzung der gesamten Eisenbahnbrückenflächen der ÖBB	79
Abbildung 26: Verteilung der ÖBB-Eisenbahnbrückenflächen in Abhängigkeit des Tragsystems	79
Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der verschiedenen errichteten Brückentragwerke	80
Abbildung 28: Tragwerksflächenverteilung der im Erneuerungsplan enthaltenen Eisenbahnbrücken	93
Abbildung 29: Zusammensetzung der die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöserichtlinie überschrittenen Tragwerksflächen der Bestandsbrücken	93
Abbildung 30: Häufigkeit der Anzahl der Schadenskategorien der einzelnen Objekte	95
Abbildung 31: Anzahl der Schadenskategorien für die einzelnen Stahlbetonbrücken	100
Abbildung 32: Verteilung der Anzahl der verschiedenen Baustoffe der Gewölbe des Erneuerungsplanes	102
Abbildung 33: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke für die verschiedenen AGs	113
Abbildung 34: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues für die verschiedenen AGs	122
Abbildung 35: Auswertung der durchschnittlichen tatsächlichen Nutzungsdauer des Unterbaues ohne Verstärkungsmaßnahmen	123
Abbildung 36: Absolute Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlvollwandträger	125
Abbildung 37: Relative Verteilung der Tragwerksfläche der Stahlvollwandträger	126
Abbildung 38: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Tragwerk Stahlvollwandträger	127
Abbildung 39: Absolute Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlfachwerke	131
Abbildung 40: Relative Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlfachwerke	132
Abbildung 41: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Tragwerk Stahlfachwerke	133
Abbildung 42: Absolute Verteilung der Tragwerksflächen der Trägerbetone	135
Abbildung 43: Relative Verteilung der Tragwerksflächen der Trägerbetone	136
Abbildung 44: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Tragwerk Trägerbetone	137
Abbildung 45: Absolute logarithmischer Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlbetontragwerke	140
Abbildung 46: Relative Verteilung der Tragwerksflächen der Stahlbetontragwerke	141
Abbildung 47: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Tragwerk Stahlbetontragwerke	142
Abbildung 48: Anzahl der Objekte des Basiswertes Stahlbetontragwerke	146
Abbildung 49: Basiswert der Stahlbetontragwerke	147

Abbildung 50: Absolute Verteilung der Objektsanzahl der Natursteinunterbauten	148
Abbildung 51: Relative Verteilung der Objektsanzahl der Natursteinunterbauten	149
Abbildung 52: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Natursteinunterbau	150
Abbildung 53: Anzahl der Natursteinunterbauten Analysegruppe Unterbau	153
Abbildung 54: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten Kernnetz	154
Abbildung 55: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten Ergänzungsnetz	155
Abbildung 56: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Natursteinunterbauten	156
Abbildung 57: Absolute Verteilung der Objektsanzahl der Betonunterbauten	157
Abbildung 58: Relative Verteilung der Objektsanzahl der Betonunterbauten	158
Abbildung 59: Absolute Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der AGs Betonunterbau	159
Abbildung 60: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke und des Unterbaues in Abhängigkeit der Netzkategorie	166
Abbildung 61: Tatsächliche Nutzungsdauer der Analysegruppe Tragwerk und die Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau in Dekadenschritten	172
Abbildung 62: Verteilung der Zustandsklassen in Abhängigkeit der AGs	186
Abbildung 63: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke basierend auf den Zustandsklassen der Objekte	187
Abbildung 64: Verteilung der Zustandsklassen basierend auf den Unterbau	190
Abbildung 65: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer basierend auf den Zustandsklassen	190
Abbildung 66: Verlauf der Zustandsklasse eines Objektes über die theoretische Nutzungsdauer	209
Abbildung 67: Anzahl der Stahltragwerke der verschiedenen Zustandsklassen, verteilt über die einzelnen Errichtungsepochen	213
Abbildung 68: Anzahl der Stahlbetontragwerke der verschiedenen Zustandsklassen verteilt über die einzelnen Errichtungsepochen	215
Abbildung 69: Zuordnung der Regel-, Reduktions- und Verlängerungsbereiche	216
Abbildung 70: Rechenmodell für die Zustandsklasse 1	219
Abbildung 71: Rechenmodell für die Zustandsklasse 2	220
Abbildung 72: Rechenmodell für die Zustandsklasse 3	222

Formelverzeichnis

Formel 1: Wurzel Tau Gesetz [23].....	42
Formel 2: Definition des Faktors k_{Netzkar}	167
Formel 3: Definition des Faktors k_{Fahrbahn}	170
Formel 4: Definition des Faktors k_{Diff}	173
Formel 5: Definition des Faktors k_{DNZ}	180
Formel 6: Definition des Faktors k_{Baujahr}	194
Formel 7: Ermittlung der Plannutzungsdauer	204
Formel 8: Berechnete theoretische Nutzungsdauer bestehender Tragwerke	210
Formel 9: Restnutzungsdauer als Funktion der Einflussfaktoren eines Tragwerkes	211
Formel 10: Restnutzungsdauern der Objekte der Zustandsklasse 5.....	211
Formel 11: Restnutzungsdauern der Objekte der Zustandsklasse 4.....	211
Formel 12: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 1 mit $50 \geq A_{\text{TW}} < m_{\text{bth}}$	219
Formel 13: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 1 mit $50 < A_{\text{TW}} < m_{\text{bth}}$	219
Formel 14: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 1 mit $A_{\text{TW}} \geq m_{\text{bth}}$	220
Formel 15: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 2 mit $80 \geq A_{\text{TW}} < m_{\text{bth}}$	221
Formel 16: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 2 mit $80 < A_{\text{TW}} < m_{\text{bth}}$	221
Formel 17: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 2 mit $A_{\text{TW}} \geq m_{\text{bth}}$	221
Formel 18: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 3 mit $30 < A_{\text{TW}} < m_{\text{bth}}$	222
Formel 19: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 3 mit $A_{\text{TW}} \leq 30$	223
Formel 20: Restnutzungsdauern der Zustandsklasse 3 mit $A_{\text{TW}} \geq m_{\text{bth}}$	223

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Unterschiedliche theoretische Nutzungsdauern von Brückentragwerken in Jahren</i>	11
<i>Tabelle 2: Zusammenstellung der historischen Lastenzüge bzw. Brückenklassen der ÖBB</i>	30
<i>Tabelle 3: Zusammenstellung der historischen Entwicklung der horizontal wirkenden Kräfte</i>	33
<i>Tabelle 4: Streckenklassen gemäß UIC Merkblatt 700</i>	36
<i>Tabelle 5: Brückenzustandsklassenbewertung der ÖBB, gültig bis 2005</i>	39
<i>Tabelle 6: Derzeit gültige Brückenzustandsklassenbewertung der ÖBB</i>	40
<i>Tabelle 7: Historischer Verlauf der genormten Mindestbetondeckung</i>	67
<i>Tabelle 8: Entwicklung der Mindestzementmenge für Eisenbahnbrücken</i>	68
<i>Tabelle 9: Aufstellung der untersuchten Objekte und deren Zustandklassen</i>	70
<i>Tabelle 10: Maßgebende Messergebnisse der untersuchten Objekte</i>	73
<i>Tabelle 11: Darstellung der die theoretische Nutzungsdauer gemäß Ablöseerichtlinie überschreitenden Eisenbahnbrückenflächen</i>	81
<i>Tabelle 12: Geometrische Parameter gemäß der technischen Datenbank</i>	83
<i>Tabelle 13: Tragwerkparameter gemäß der technischen Datenbank</i>	84
<i>Tabelle 14: Instandhaltungsrelevante Parameter gemäß der technischen Datenbank</i>	85
<i>Tabelle 15: Ergänzende Daten für die zu erneuernden Objekte</i>	86
<i>Tabelle 16: Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Stahl- und Verbundtragwerke</i>	87
<i>Tabelle 17: Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Stahlbeton- und Verbundtragwerke</i>	88
<i>Tabelle 18: Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Gewölbe</i>	89
<i>Tabelle 19: Schadenskategorie und Schädigungsgrade der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit</i>	89
<i>Tabelle 20: Schadenskategorie und Schädigungsgrade der Lager</i>	90
<i>Tabelle 21: Schadenskategorien und Schädigungsgrade der Unterbauten</i>	90
<i>Tabelle 22: Schadenskategorie und Schädigungsgrade Strategische Gründe</i>	91
<i>Tabelle 23: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Stahlvollwandträger des gesamten Erneuerungsplanes</i>	97
<i>Tabelle 24: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Stahlfachwerke des gesamten Erneuerungsplanes</i>	98
<i>Tabelle 25: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Trägerbetone des gesamten Erneuerungsplanes</i>	99
<i>Tabelle 26: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Stahlbetontragwerke des gesamten Erneuerungsplanes</i>	101
<i>Tabelle 27: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppe der Gewölbe des gesamten Erneuerungsplanes</i>	102
<i>Tabelle 28: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Natursteinunterbauten des gesamten Erneuerungsplanes</i>	103
<i>Tabelle 29: Verteilung der Schadenskategorien und Schadensgruppen der Betonunterbauten des gesamten Erneuerungsplanes</i>	104
<i>Tabelle 30: Verteilung der Schadenskategorien bzw. Schadensgruppen bezogen auf die Netzkategorie</i>	106
<i>Tabelle 31: Analysegruppen für die Tragwerke des Erneuerungsplans</i>	112
<i>Tabelle 32: Anzahl und durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke bezogen auf die unterschiedlichen AGs</i>	115
<i>Tabelle 33: Anzahl und durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Objekte der AGs Gewölbe und Strategische Gründe</i>	117
<i>Tabelle 34: Verteilung der tatsächlichen Nutzungsdauer der Analysegruppe Tragwerk</i>	118
<i>Tabelle 35: Analysegruppen für die Unterbauten des Erneuerungsplans</i>	120
<i>Tabelle 36: Anzahl und durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauern der Unterbauten bezogen auf die einzelnen Analysegruppen</i>	121
<i>Tabelle 37: tatsächliche Nutzungsdauer der Stahlvollwandträger</i>	130
<i>Tabelle 38: tatsächliche Nutzungsdauer der Stahlfachwerke</i>	134
<i>Tabelle 39: tatsächliche Nutzungsdauer der Trägerbetontragwerke</i>	139
<i>Tabelle 40: tatsächliche Nutzungsdauer der Stahlbetontragwerke</i>	144
<i>Tabelle 41: Tatsächliche Nutzungsdauer des Natursteinunterbaus</i>	151
<i>Tabelle 42: Tatsächliche Nutzungsdauer des Betonunterbaus</i>	161
<i>Tabelle 43: Zusammenstellung der tatsächlichen Nutzungsdauern der Tragwerke</i>	163
<i>Tabelle 44: Zusammenstellung der tatsächlichen Nutzungsdauern der Unterbauten</i>	164
<i>Tabelle 45: Ermittlung des Faktors k_{Netzkat} der Tragwerke</i>	167

Tabelle 46: Ermittlung des Faktors k_{Netzkat} der Unterbauten	168
Tabelle 47: Ermittlung des Faktors k_{Fahrbahn} der Stahlvollwandtragwerke	170
Tabelle 48: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und k_{Diff} der Stahltragwerke in Abhängigkeit der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau	173
Tabelle 49: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und k_{Diff} der Stahlbetontragwerke in Abhängigkeit der Altersdifferenz zwischen Tragwerk und Unterbau	175
Tabelle 50: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke in Abhängigkeit der Brückenlänge	176
Tabelle 51: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten in Abhängigkeit der Brückenlänge	177
Tabelle 52: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke in Abhängigkeit der maßgeblichen Lastenzüge	178
Tabelle 53: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer vom G- Zug und E-Zug in Abhängigkeit der Netzkategorie	179
Tabelle 54: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Tragwerke in Abhängigkeit der Durchfahrtsnutzung	181
Tabelle 55: Auswertung der Aufzeichnungen des letzten Korrosionsschutzes der Stahltragwerke	182
Tabelle 56: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues in Abhängigkeit der Durchfahrtsnutzung	183
Tabelle 57: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues in Abhängigkeit der Tragwerkskonstruktion	184
Tabelle 58: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues ohne Verstärkungsmaßnahmen in Abhängigkeit der Tragwerkskonstruktion	185
Tabelle 59: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und Anzahl der Zustandsklassen der Tragwerke in Abhängigkeit der Analysegruppen	186
Tabelle 60: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer und Anzahl der Zustandsklassen der Gewölbe	188
Tabelle 61: Durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer der Unterbauten in Abhängigkeit der AGs	189
Tabelle 62: Zusammenstellung der Faktoren der Tragwerke	192
Tabelle 63: Zusammenstellung der Faktoren der Unterbauten	193
Tabelle 64: Relative Häufung der Objekte des Erneuerungsplanes und der Basiswerte der Tragwerksgruppen	194
Tabelle 65: Zeittafel des Faktors k_{Baujahr} für Stahltragwerke	196
Tabelle 66: Zeittafel des Faktors k_{Baujahr} für Stahlbetontragwerke	198
Tabelle 67: Auswertung der Befragung der Instandsetzungszyklen bei den ÖBB	200
Tabelle 68: Zusammenstellung der unterschiedlichen Instandsetzungszyklen von Brückentragwerken	201
Tabelle 69: Graphische Aufbereitung der verschiedenen Instandsetzungszyklen	202
Tabelle 70: Maßgebende Parameter der Tragwerke für das Rechenmodell der Restnutzungsdauer	203
Tabelle 71: Ermittlung der Plannutzungsdauer der Stahlvollwandträger	204
Tabelle 72: Ermittlung der Plannutzungsdauer der Stahlfachwerke	205
Tabelle 73: Ermittlung der Plannutzungsdauer der Trägerbeton	206
Tabelle 74: Ermittlung der Plannutzungsdauer der Stahlbetontragwerke	207
Tabelle 75: Zusammenstellung der Plannutzungsdauer der Tragwerke	208
Tabelle 76: Bereichszuordnung der Stahltragwerke in Abhängigkeit der Zustandklasse je Jahrzehnt	217
Tabelle 77: Bereichszuordnung der Stahlbetontragwerke in Abhängigkeit der Zustandklasse je Jahrzehnt	218
Tabelle 78: Zusammenfassung der Formeln zur Berechnung der Restnutzungsdauern der Tragwerke	224

Literaturverzeichnis:

- [1] ÖBB Asfinag: Vereinbarung 2002 zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösebeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen
- [2] Richtlinie der Deutschen Bundesbahn für die Berechnung der Ablösebeträge der Erhaltungskosten für Brücken und sonstige Ingenieurbauwerke, Ablöserichtlinie 1980
- [3] Veit, P.: ÖBB Projekt „Strategie Fahrweg“ Basisuntersuchung Brücken, Graz 2001, nicht veröffentlicht
- [4] Lünser, H.: Ökobilanz im Brückenbau, Eine umweltbezogene ganzheitliche Bewertung, Bau Praxis, ISBN 3-7643-5946-3
- [5] Marx, St., Schlaich J.: Gestalten von Eisenbahnbrücken, Stahlbau 78 (2009) Heft 3:
- [6] Jodl, H., G.: Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB), Bauingenieur Sonderdruck aus Heft 5, 2010
- [7] Bundesministerium VIT: Kostenmodell für den Funktionserhalter von Straßenbrücken, Schlussbericht August 2000
- [8] RVS.15.02.13: Dauerhaftigkeit Brücken, Grundlagen zur Berechnung der Lebenszykluskosten, Entwurf
- [9] RVS 15.01.11: Qualitätskriterien für die Planung von Brücken, Ausgabe Juni 2003
- [10] DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung, Ausgabe Juni 2003
- [11] EN 13306: Begriffe der Instandhaltung, Ausgabe April 2001
- [12] ÖBB B 45: Technische Richtlinie für Eisenbahnbrücken, Bahnüberbrückungen und verwandte Bauwerke Ausgabe 1. Januar 2009
- [13] UIC Kodex 702 V 2.: Lastbild für die Berechnung der Tragwerke der internationalen Strecken, Ausgabe 1. Januar 1974
- [14] ÖNORM B 4003 1.Teil: Eisenbahnbrücken Allgemeine Grundlagen für die Berechnung und Ausführung, Ausgabe 1. Dezember 1984
- [15] ÖNORM B 4003 1.Teil: Eisenbahn- und Straßenbahnbrücken Allgemeine Grundlagen für die Berechnung und Ausführung, Ausgabe 1. April 1994
- [16] ÖNORM EN 1991-2:2003: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2 Verkehrslasten auf Brücken
- [17] ÖNORM B 1991-2: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2 Verkehrslasten auf Brücken, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-2 und nationale Ergänzungen, Ausgabe 1. August 2004

- [18] Kronfuss, C.: Dissertation Beitrag zur Beurteilung stählerner Eisenbahnbrücken unter besonderer Berücksichtigung der Restnutzungsdaueranalyse und des Betriebszeitintervallnachweises, Wien, November 2009
- [19] UIC Kodex 700 VE: Klasseneinteilung der Strecken – Zugehörige Lastgrenzen der Güterwagen, 10. Ausgabe November 2004
- [20] Grüter, R., Schacknies, H., O: Wenn neue Bauwerke alt werden, Beurteilung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahnbrücken, ETR 37 (1988 H9-September) Hestra-Verlag Darmstadt.
- [21] König, G., Maurer, R., Zichner, T.: Spannbeton: Bewährung im Brückenbau. Analyse von Bauwerksdaten, Schäden und Erhaltungskosten. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris 1986
- [22] Schnell, A.: Diplomarbeit, Einfluß der Carbonatisierung auf den Frost – Tausalz – Widerstand von Beton mit mineralischen Zusatzstoffen, Bauhaus Universität Weimar, Institut für Baustoffkunde
- [23] Kolar, G: Entwicklung des Betons im Bereich des Eisenbahnbrückenbaus, Diplomarbeit am Institut für Baustofflehre, Werkstofftechnik und Brandschutz, TU Wien
- [24] ÖNORM EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 1. März 2003
- [25] Markworth, E.: Festigkeit alter Brückenbaustähle, Dtsch. Eisenbahntechnik, 1968
- [26] Stier, W., Kostas, D., Graf, U.: Ermüdungsverhalten von Brücken aus Schweißstahl, Der Stahlbau 5 , Ausgabe 1983
- [27] ONR 24008: Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken, Österreichische Normungsinstitut, Ausgabe 1. Dezember 2006
- [28] RVS 15.05.11: Korrosionsschutz Stahlkonstruktionen
- [29] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik: 100 Jahre Beton- und Bautechnik, Vom Eisenbeton zum Spannbeton, ISBN 978-3-9502387-0-9
- [30] Ergänzenden Bestimmungen zur ÖNORM B 4203, Ausgabe 1. Juli 1976
- [31] ÖNORM B 4707: Bewehrungsstahl, Anforderungen, Klassifizierungen und Konformitätsnachweis Ausgabe 15. August 2010
- [32] Technische Datenbank der Bestandsbrücken der ÖBB, öffentlich nicht zugänglich

Verzeichnis sonstiger ergänzender Literatur

- [33] ÖBB: Dienstbehelf IS 2 Instandhaltungsplan Teil 2: Konstruktiver Ingenieurbau, Ausgabe 1. Januar 2009, nicht veröffentlicht
- [34] Jodl, H., G., Jurecka, A., Schranz, Ch., Dejmek D.: Forschungsvorhaben Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB) Teil 1 Anforderungen Stand 19. März 2009
- [35] Brunner, H.: Entwicklung der Lastenzüge (Lastbilder) bei den österreichischen Eisenbahnen, erstellt 1983, nicht veröffentlicht
- [36] Lastenzüge (graphische Darstellung), Wien, März 1965, nicht veröffentlicht
- [37] Brunner, H.: Entwicklungsgeschichte der Lastenzüge für die Fachtagung 1992, nicht veröffentlicht
- [38] Ramberger, G.: Beurteilung der Tragfähigkeit alter Stahlbrücken; Ausgabe 11. November 1998, nicht veröffentlicht
- [39] ÖBB: Netzsegmentierung Neu, Stand 12. Dezember 2000, nicht veröffentlicht
- [40] ÖBB: DB 745: Dienstbehelf für Eisenbahnbrücken, Bahnüberbrückungen und verwandte Bauwerke, Ausgabe 1985, nicht veröffentlicht
- [41] Simandl: Auswertetabelle_Sept09.xls, nicht veröffentlicht
- [42] ÖBB iBW-Brücken, Mängel- und Schadenskatalog, Stand 2009, nicht veröffentlicht
- [43] Simandl: Ergänzende_Auswertetabelle_Juni10.xls, nicht veröffentlicht
- [44] EisbaV: Eisenbahn-ArbeitnehmerInnenschutzverordnung, Versicherungsanstalt für Eisenbahnen und Bergbau
- [45] Ramberger, G., Schwarz L.: Instandhaltung und Adaptierung von Stahl- und Verbundbrücken, nicht veröffentlicht
- [46] Deutsche Reichsbahn: Dienstvorschrift 804a: Tafeln zur Berechnung stählerner Eisenbahnbrücken nach den Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken, Köln, Ausgabe 27. Jänner 1934
- [47] Deutsche Reichsbahn: Dienstvorschrift 848: Vorläufige Vorschrift für geschweißte, vollwandige Eisenbahnbrücken, 2. Ausgabe 1939, Zwickau
- [48] Oeteren, K., A.: Korrosions-Schutzanstriche auf Rost ohne Entrostung- Utopie oder Wirklichkeit? Sonderdruck aus Fette - Seifen – Anstriche, Die Ernährungsindustrie, Industrieverlag von Hernhaussen KG, Hamburg
- [49] Österreichische Lackindustrie: Unsere Zukunft unser Lack, Fachverband der Chemischen Industrie, Wien, 4. Auflage Juni 2008

- [50] Deutsche Reichsbahn: Dienstvorschrift 807: Technische Vorschrift für den Rostschutz von Stahlbauwerken, Köln, Ausgabe 1936
- [51] Lincke, G., Mahn, W., D.: Warum wirkt Menningegrundierung auf Stahl korrosionsschützend, wenn Stahl noch Restrost an der Oberfläche enthält, Korrosionsschutz Nr. 5, Ausgabe 1975
- [52] ÖBB: Skriptum Bautechnischer Kurs, Ausgabe 2008, nicht veröffentlicht
- [53] Deutsche Reichsbahn: Dienstvorschrift 806: Anleitung für die Bauüberwachung von Stahlbauwerken auf der Baustelle, 2. Ausgabe, 1. Oktober 1937, Stuttgart
- [54] Institut für Stahlbeton- und Massivbau: Skriptum zur Vorlesung Betonbau I Stahlbetonbau, Technische Universität Wien, 2. Auflage März 2000
- [55] Regelplan 1003 aus 1902 mit der Erlasszahl 39791/18 ex 1902 vom k. u. k. Eisenbahnministerium, nicht veröffentlicht
- [56] Plan 6610 aus 1927, Brücke über den Fröschnitzbach, km 114,691 Strecke Wien – Spielfeld – Strass, nicht veröffentlicht
- [57] Generaldirektion der österreichischen Bundesbahnen: Regelplan 1007a aus 1932 Auflage 1932, nicht veröffentlicht
- [58] Deutsche Reichsbahn: Dienstvorschrift 824 Anweisung für Mörtel und Beton, 2. Ausgabe, Berlin, Ausgabe 1940
- [59] Österreichische Bundesbahnen: Lehrbehelf Nr. 54 Unterbau, Ausgabe 1950, Wien, nicht veröffentlicht
- [60] Generaldirektion der österreichischen Bundesbahnen: Regelplan 1005a aus 1930 Auflage 1930, nicht veröffentlicht

ANHANG A

AUSZUG DER THEORETISCHEN NUTZUNGSDAUER AUS DER ABLÖSERICHTLINIE DER ÖBB

Wien, März 2011

Zusammenstellung der theoretischen Nutzungsdauern und der Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten

m... theoretische Nutzungsdauer in [Jahren]
p... [Prozentsatz] der jährlichen Unterhaltungskosten

Zeilennummer	Gliederung der Begriffe Bauliche Anlagen	Vereinbarung 2002	
		m	p
1	1. Ingenieurbauwerke		
2			
3	1.1 Brücken		
4			
5	1.1.1 Brücken mit Unter- u. Überbau		
6	1.1.1.1 Unterbau		
7	Widerlager, Flügelwände, Pfeiler,		
8	Stützen, Pylone (jew. inkl. Gründung)		
9	1.1.1.1.1 aus MWK, Beton, Stahlbeton	110	0,5
10	1.1.1.1.2 aus Pfahlwänden, Schlitzwänden	90	0,5
11	1.1.1.1.3 aus Stahlspundwänden		
12	1.1.1.1.3.1 ohne Korrosionsschutz	50	0,6
13	1.1.1.1.3.2 mit Korrosionsschutz	70	0,5
14	1.1.1.1.4 aus Stahl	100	0,8
15	1.1.1.1.5 aus Holz	50	2,0
16	1.1.1.2 Überbau		
17	1.1.1.2.1 Tragwerkskonstruktionen		
18	Balken, Platten, Bögen, Kastenquerschnitte		
19	1.1.1.2.1.1 aus Stahlbeton	70	0,8
20	1.1.1.2.1.2 aus Spannbeton		
21	1.1.1.2.1.2.1 mit internen Spanngliedern	70	1,3
22	1.1.1.2.1.2.2 mit externen Spanngliedern	70	1,1
23	1.1.1.2.1.3 aus Stahl	100	1,5
24	1.1.1.2.1.4 aus Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen		
25	1.1.1.2.1.4.1 Stahltragwerke mit Betonplatte	70	1,2
26	1.1.1.2.1.4.2 Walzträger in Beton	100	0,8
27	1.1.1.2.1.4.3 Stahltr. in Beton im Doppelverbund (z. B. Preflexträger)	100	0,6
28	1.1.1.2.1.5 aus Holz		
29	1.1.1.2.1.5.1 für Geh- und Radwege		
30	1.1.1.2.1.5.1.1 ohne Schutzdach	40	2,5
31	1.1.1.2.1.5.1.2 mit Schutzdach	50	2,0
32	1.1.1.2.1.5.2 für Straßen	40	2,5

Tabelle 1: Auszug aus der Vereinbarung 2002 zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösebeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen Beilage 1, Seite 19/1

Zusammenstellung der theoretischen Nutzungsdauern und der Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten

m... theoretische Nutzungsdauer in [Jahren]
p... [Prozentsatz] der jährlichen Unterhaltungskosten

Zeilennummer	Gliederung der Begriffe Bauliche Anlagen	Vereinbarung 2002	
		m	p
59	1.1.2 Rahmenartige Tragwerke (einschl. Gründungen)		
60	Geschlossene Rahmen, unten offene Rahmen		
61	vergleichbare Rahmenkonstruktionen		
62	1.1.2.1 aus Stahlbeton	70	0,8
63	1.1.2.2 aus Spannbeton	70	1,2
64	1.1.2.3 aus Stahl	100	1,5
65			
66	1.1.3 Gewölbe (einschl. Gründungen)		
67	1.1.3.1 aus MWK, Beton	130	0,6
68	1.1.3.2 aus Stahlbeton	110	0,5
69			
70	1.1.4 Wellstahlrohre einschl. Flügelwände		
71	und Gründungen	70	0,8
72			
73	1.1.5 Sonstige Bauwerksteile von Brücken		
74	1.1.5.1 Schutzerdungsanlagen		
75	Kontaktschienen, Bügelanschlagschienen, Erdleitungen	30	5,0
76	1.1.5.2 Fahrleitungseinrichtungen und		
77	sonstige Verankerungen v. Leitungen		
78	an Straßenbr., Leitungen der Bahn (einschl. Fahrdrähtaufhängern)	30	5,0
79	1.1.5.3 Berührungsschutzanlagen		
80	1.1.5.4.1 Schutzplatten aus Stahlbeton	30	0,8
81	1.1.5.4.2 Schutzplatten aus Stahl	30	1,2
82	1.1.5.4.3 Aufhöhung von Geländern u. lückenlose		
83	Verkleidungen der Geländerteile	30	1,5
84	1.1.5.4 Entgleisungsschutz	20	1,0
85			
86			

Tabelle 2: Auszug aus der Vereinbarung 2002 zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösebeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen Beilage 1, Seite 19/3

ANHANG B

ERLÄUTERUNG DER AUSWERTETABELLEN

Wien, März 2011

Inhaltsverzeichnis

1.	AUSWERTETABELLE_SEPT09.XLS -----	3
2.	ERGÄNZENDE_AUSWERTETABELLE_JUNI10.XLS -----	9

1. Auswertetabelle_Sept09.xls

Die Auswertung der Ergebnisse dieser Dissertation beruht auf den Objekten der Auswertetabelle_Sept09.xls. Ein Auszug aus dieser Tabelle ist in Abbildung 1 abgebildet.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Tragwerk Konstruktion	Tragwerk Länge [m]	Dekade Brückenlänge	Tragwerk Breite [m]	Tragwerk Fläche [m²]	Strecken Code	Kmsys Code	Brücken Km	IS Center	Tragwerk Baustoff	Brückenmeister	Brücken Typ	Brücken letzter Zustand	Brücken letzter Zustand Datum
1														
2	Kreisbogen	3,00		16,86	50,58	1021	99	3,035	BE-ISC Amstetten	Naturstein	BRM St Pölten	Konstruktiver Durchlaß		
3	Blechträger	61,80		5,50	339,90	1021	69	6,033	BF-ISC Amstetten	Stahl	BRM St Pölten	Eisenbahnbrücke	2.001.2002	

Abbildung 1: Auszug aus der Auswertetabelle_Sept09.xls

Nachfolgend sind die einzelnen Spalten der Auswertetabelle_Sept09.xls beschrieben.

	Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung
B	Tragwerk Konstruktion	In folgende Konstruktionen des Tragwerkes wird unterschieden: Behelfsbrücken Stahlvollwandträger (= Blechträger) Stahlfachwerk Fertigteile Hilfsbrücken Hohlkasten Kreisbogen Platte Plattenbalken Schienenbetontragwerk Schienentragwerk Trägerbeton Trog	
C	Tragwerk Länge [m]	Gesamtlänge des Tragwerkes in Meter	
D	Dekade Brückenlängen	Darstellung der Brückenlängen in 10er Schritten.	Die Daten sind für die dekadenweisen Auswertungen der Brückenlängen erforderlich.
E	Tragwerk Breite [m]	Gesamtbreite des Tragwerkes in Meter	
F	Tragwerk Fläche [m²]	Gesamtfläche des Tragwerkes in Quadratmeter, dies ist das Produkt aus der Tragwerksbreite und der Tragwerkslänge.	
G	Strecken Code	Dieser Code gibt die numerische Bezeichnung der Strecke an.	
H	Kmsys Code	In dieser Spalte ist der kmsys Code angegeben.	Mit dem kmsys Code kann die Brückendatenbank mit anderen technischen Datenbanken der ÖBB verknüpft werden.
I	Brücke km	In dieser Spalte ist der Brückenkilometer angegeben.	
J	IS Center	Diese Spalte gibt die für die Instandhaltung ausführende Stelle an.	

Anhang B: Erläuterung der Auswertetabellen

	Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung
K	Tragwerk Baustoff	In folgende Baustoffe des Tragwerkes wird unterschieden: Beton Naturstein Spannbeton Stahl Stahlbeton Verbund Ziegel	Da bei der Bemessung der Trägerbetone ursprünglich nur der Stahl als tragend angesetzt wurde, werden diese Tragwerke dem Baustoff Stahl zugeordnet
L	Brückenmeister	Diese Spalte gibt den für die Brücke verantwortlichen Brückenmeister an.	
M	Brücken Typ	In folgende Brückentypen wird unterschieden: Eisenbahnbrücken (Lichte Weite größer 2,0 m) Konstruktive Durchlässe (Eisenbahnbrücke mit einer maximalen Lichten Weite von 2,0 m) Straßenbrücken (Bahnüberführungen für den Straßenverkehr) Wegbrücken (bahnparallele Brücken) Fußgängerbrücken (Bahnüberführungen für den Fußgängerverkehr) Signalbrücken Leitungsbrücken	
N	Brücken letzter Zustand	Aktuelle Zustandsklassenbewertung der Brücke	
O	Brücken letzter Zustand Datum	In dieser Spalte wird die letzte an der Brücke durchgeführte Inspektion eingetragen.	
P	Zustandsbewertung alt oder neu	In dieser Spalte wird eingetragen, ob die Bewertung der Brücke nach den aktuellen 5 Zustandsklassen erfolgte.	Vor 2006 erfolgte die Bewertung des Zustandes in 4 Klassen, seit 2006 in 5 Zustandsklassen.
Q	Tragwerk Baujahr	Einbaujahr des Tragwerkes. Bei neuen Tragwerken entspricht dieses dem Errichtungszeitpunkt. Beim Einbau alter Tragwerke (dies erfolgte fallweise im Ergänzungsnetz) spiegelt das Einbaujahr nicht das Tragwerksalter wider.	
R	Tragwerk Baujahr-Dekade	In dieser Spalte wird das Tragwerksalter in 10er Schritten angegeben.	Die Daten sind für die dekadeweisen Auswertungen des Tragwerksalters erforderlich.
S	Tragwerk System	In folgende Systeme des Tragwerkes wird unterschieden: Durchlaufträger Einfeldträger Gewölbe Rahmen	

Anhang B: Erläuterung der Auswertetabellen

Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung	
T	Tragwerk Lastbild Original	Bemessungslastbild der Brücke (siehe auch Anhang E) Fallweise wurde Brücken auch nachträglich ein Lastbild zugeordnet. Dies ist vor allem dann erkennbar, wenn das Baujahr des Tragwerkes vor dem Gültigkeitszeitpunkt der Brückenklasse liegt	
U	Netzkategorie	Netzkategorie A (Kernnetz) Wichtige Personen- und Güterverkehrsstrecken Wichtige Nahverkehrsstrecken und Verbindungen ins Ausland Netzkategorie B1 (Kernnetz) Umleitungsstrecken Netzkategorie B2 (Ergänzungsnetz) und Netzkategorie C (Ergänzungsnetz) Zubringerstrecken, kein maßgeblicher Nahverkehr und Schmalspurbahnen	
V	Streckenklasse	In dieser Spalte erfolgt die Zuordnung zur Streckenklasse gemäß UIC Merkblatt 700.	
W	Tragwerksalter 2009	In dieser Spalte wird das Tragwerksalter bezogen auf 2009 angegeben.	Das Alter errechnet sich aus 2009 – Tragwerk Baujahr.
X	Tat ND TW gem. Erneuerungsplan	Dies ist die tatsächliche Nutzungsdauer des Tragwerkes bezogen auf den Erneuerungszeitpunkt.	
Y	Dekade der tat ND Tragwerk	Darstellung der tatsächlichen Nutzungsdauer des Tragwerkes in 10er Schritten.	Die Daten sind für die dekadenweisen Auswertungen der tatsächlichen Nutzungsdauer des Tragwerkes erforderlich.
Z	Tat ND Unterbau gem. Erneuerungsplan	Dies ist die tatsächliche Nutzungsdauer des Unterbaues bezogen auf den Erneuerungszeitpunkt.	
AA	Dekade der tat ND Unterbau	Darstellung der tatsächlichen Nutzungsdauer des Unterbaues in 10er Schritten.	Die Daten sind für die dekadenweisen Auswertungen der tatsächlichen Nutzungsdauer des Unterbaues erforderlich.
AB	Baujahr Unterbau	Errichtungszeitpunkt des Widerlagers bzw. der Stützen.	
AC	Dekade Baujahr Unterbau	Darstellung des Baujahres des Unterbaues in 10er Schritten.	Die Daten sind für die dekadenweisen Auswertungen erforderlich.
AD	Baujahr Verstärkung Unterbau	Jahreszahl der Verstärkung oder Generalsanierung. Wenn kein Eintrag erfolgte, gab es diese nicht.	

Anhang B: Erläuterung der Auswertetabellen

	Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung
AE	Baustoff Unterbau	In folgende Baustoffe des Unterbaus wird in den analogen Brückenstammblätern unterschieden: Beton Naturstein Naturstein – Beton Stahlbeton Stampfbeton Ziegel Ziegel – Naturstein <u>Anmerkung:</u> Bei dem mit Bindestrich angegebenen Baustoffen besteht das Widerlager aus beiden Baustoffen.	
AF	Geplante Erneuerung	Dies ist der vorgesehene Zeitpunkt der Erneuerung.	Die Summe der Objekte mit einem eingetragenen Erneuerungszeitpunkt ergibt die Objekte des Erneuerungsplans.
AG	letzter Korrosionsschutz	Jahr des im analogen Brückenstammblatt eingetragenen letzten Korrosionsschutzes.	
AH	Dekade Korrosionsschutz	Darstellung des Aufbringungsjahres des letzten Korrosionsschutzes in 10er Schritten (z.B. 1998 entspricht 199).	Die Daten sind für die dekadeweisen Auswertungen des Korrosionsschutzes erforderlich.
AI	Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden	Korrosionsschäden an den Stahlteilen, welche die Tragfähigkeit des Tragwerkes beeinflussen	
AJ	Stahl- und Verbundtragwerk Materialschaden und Risse	Materialschäden und/oder Risse an den Stahlteilen, welche die Tragfähigkeit des Tragwerkes beeinflussen	
AK	Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung	Stahlbeton- und Spannbetontragwerke bzw. der Stahlbeton bei Trägerbetonen und Verbundtragwerken: Durchfeuchtung oder Aussinterungen meist zufolge einer schadhafte Abdichtung.	
AL	Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Risse, Abplatzungen und Ausbrüche	Stahlbeton- und Spannbetontragwerke bzw. der Stahlbeton bei Trägerbetonen und Verbundtragwerken: Risse und/oder Betonabplatzungen bzw. Betonausbrüche die die Tragfähigkeit des Tragwerkes beeinflussen.	
AM	Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke freiliegende Bewehrung und Korrosionsschaden	Stahlbeton- und Spannbetontragwerke bzw. der Stahlbeton bei Trägerbetonen und Verbundtragwerken: Verbundverlust und/oder Bewehrungsabrostungen die die Tragfähigkeit des Tragwerkes beeinflussen.	
AN	Gewölbe Risse und Ausbrüche	Risse und/ oder Verfassungsschäden und/ oder Abplatzungen bzw. Ausbrüche, welche die Tragfähigkeit der Gewölbe aus Ziegel, Naturstein und Beton beeinflussen.	
AO	Gewölbe nicht funktionierende Abdichtung und Aussinterungen	Verfassungsschäden und/oder Aussinterungen meist zufolge einer schadhafte Abdichtung bei Gewölben aus Ziegel, Naturstein und Beton	

Anhang B: Erläuterung der Auswertetabellen

	Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung
AP	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Die Tragfähigkeit und/oder die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerkes sind eingeschränkt.	
AQ	Lagerschaden	Schäden am Lager oder am Lagerverguss.	
AR	Unterbau Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolksschutz	Durchfeuchtung und/oder Aussinterung des Unterbaues, welche die Tragfähigkeit beeinträchtigt bzw. fehlender oder mangelnder Kolksschutz.	
AS	Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche	Risse und/oder Verfugungsschäden und/oder Abplatzungen bzw. Ausbrüche des Unterbaues, welche die Tragfähigkeit beeinträchtigen.	
AT	Unterbau Stützen Korrosionsschaden	Korrosionsschäden an den Stützen, welche die Tragfähigkeit beeinträchtigen.	
AU	Strategische Gründe	Oftmals sind auch strategische Gründe Auslöser oder Mitauslöser für die Erneuerung eines Objektes.	
AV	Anmerkungen	Es wurden Besonderheiten der Objekte, welche sich im Zuge der Detailuntersuchung ergaben, angeführt.	
AW	Num Baujahr Unterbau	Numerische Erfassung des Baujahrs Unterbau, wenn im Feld Baujahr Unterbau ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
AX	Num Baustoff Unterbau	Numerische Erfassung des Baustoffs Unterbau, wenn im Feld Baustoff Unterbau ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
AY	Num Geplante Erneuerung	Numerische Erfassung der geplanten Erneuerung, wenn im Feld der geplanten Erneuerung ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
AZ	Num letzter Korrosionsschutz	Numerische Erfassung des letzten Korrosionsschutzes, wenn im Feld letzter Korrosionsschutz ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BA	Num Stahl- und Verbundtragwerk Korrosionsschaden	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BB	Num Stahl- und Verbundtragwerk Materialschäden und Risse	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BC	Num Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Durchfeuchtung und Aussinterung	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	

Anhang B: Erläuterung der Auswertetabellen

	Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung
BD	Num Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke Risse, Abplatzungen und Ausbrüche	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BE	Num Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke freiliegende Bewehrung und Korrosionsschäden	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BF	Num Gewölbe Risse und Ausbrüche	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BG	Num Gewölbe nicht funktionierende Abdichtung und Aussinterungen	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BH	Num Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BI	Num Lagerschaden	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BJ	Num Unterbau Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkenschutz	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BK	Num Unterbau Risse, Abplatzungen und Ausbrüche	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BL	Num Unterbau Stützen Korrosionsschaden	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BM	Num Strategische Gründe	Wenn in dieser Schadenskategorie ein Eintrag erfolgte, wird dieses Feld auf 1 gesetzt.	
BN	Alter Unterbau - TW	Diese Spalte gibt den Altersunterschied zwischen Tragwerk und Unterbau an.	Dieser Wert errechnet sich aus Tragwerk Baujahr – Baujahr Unterbau.
BO	Dekade Alter Unterbau - TW	Darstellung des Altersunterschieds zwischen Unterbau und Tragwerk in 10er Schritten.	Die Daten sind für die dekadenweisen Auswertungen der Altersdifferenz Tragwerk – Unterbau erforderlich.
BP	Anzahl der Schadenskategorie	Gibt an, wie viele Schadenskategorien dem Objekt zugeordnet wurden.	
BQ	Tragwerk für die Nutzungsdauer Analyse	Zuordnung der Tragwerke zu den Analysegruppen: t Tragwerk tg Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit st Strategische Objekte g Gewölbe so Sonderbauform x keine Zuordnung Tragwerke.	
BR	Tragwerke / Unterbau alleine für die Nutzungsdauer Analyse	Zuordnung der Tragwerke bzw. Unterbauten, die der AG Tragwerke alleine zugeordnet sind: ta Tragwerk alleine ua Unterbau alleine.	

Anhang B: Erläuterung der Auswertetabellen

	Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung
BS	Unterbau für die Nutzungsdauer Analyse	Zuordnung des Unterbaus zu den Analysegruppen: u Unterbau st Strategische Objekte g Gewölbe so Sonderbauform x keine Zuordnung Unterbau	
BT	Instandhaltungsbedingte Schadenskategorie Trägerbetone	Diese Spalte gibt an, welche Objekte offensichtlich instandhaltungsbedingt erneuert werden müssen.	j Schaden offensichtlich instandhaltungsbedingt gegeben; n Schaden offensichtlich nicht instandhaltungsbedingt gegeben.
BU	Instandhaltungsbedingte Schadenskategorie Stahlbetontragwerke	Diese Spalte gibt an, welche Objekte offensichtlich instandhaltungsbedingt erneuert werden müssen.	j Schaden offensichtlich instandhaltungsbedingt gegeben; n Schaden offensichtlich nicht instandhaltungsbedingt gegeben.
BV	Basiswert Stahl Vollwandträgerbrücke	Diese Spalte gibt an, ob das Objekt bei der Ermittlung des Basiswertes berücksichtigt wurde.	j Objekt wurde bei der Basiswertermittlung berücksichtigt.
BW	Basiswert Stahl Fachwerke	Diese Spalte gibt an, ob das Objekt bei der Ermittlung des Basiswertes berücksichtigt wurde.	j Objekt wurde bei der Basiswertermittlung berücksichtigt.
BX	Basiswert Trägerbetone	Diese Spalte gibt an, ob das Objekt bei der Ermittlung des Basiswertes berücksichtigt wurde.	j Objekt wurde bei der Basiswertermittlung berücksichtigt.
BY	Basiswert Stahl Stahlbetontragwerk	Diese Spalte gibt an, ob das Objekt bei der Ermittlung des Basiswertes berücksichtigt wurde.	j Objekt wurde bei der Basiswertermittlung berücksichtigt.
BZ	Nutzung in der Brückenöffnung	Die Werte der Datenbank wurden zu den für die Auswertung relevanten Gruppen zusammengeführt: Gewässer Straße Weg Gewässer und Weg Gewässer und Straße Eisenbahn	
CA	Fahrbahn Bezeichnung	Offene Fahrbahn Schotterbett Direkte Schienenbefestigung	

2. Ergänzende_Auswertetabelle_Juni10.xls

Einige wenige Auswertungen – auf diese wurde in der Dissertation eigens hingewiesen – beruhen auf der Ergänzende_Auswertetabelle_Juni10.xls. Ein Auszug aus dieser Tabelle ist in Abbildung 2 abgebildet.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Brücken Typ	Strecken Code	Kmsys Code	Brücken Km	Tragwerk System	Tragwerk Konstruktion	Tragwerk Baustoff	Tragwerk Baujahr	Tragwerk Länge (m)
1	Konstruktiver Durchlaß	1551	55	19.33	Rahmen	Rahmenstiel	Stahlbeton	1.998.00	1.00
2	Eisenbahnbrücke	1095	9	91.68	Gewölbe	Kreisbooen	Naturstein	1.904.00	7.40

Abbildung 2: Auszug aus der ergänzenden Auswertetabelle_Juni10.xls

Anhang B: Erläuterung der Auswertetabellen

Nachfolgend sind die einzelnen Spalten der Ergänzende_Auswertetabelle_Juni10.xls beschrieben.

	Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung
B	Brücken Typ	In folgende Brückentypen wird unterschieden: Eisenbahnbrücken (Lichte Weite größer 2,0 m) Konstruktive Durchlässe (Eisenbahnbrücke mit einer maximalen Lichten Weite von 2,0 m) Straßenbrücken (Bahnüberführungen für den Straßenverkehr) Wegbrücken (bahnparallele Brücken) Fußgängerbrücken (Bahnüberführungen für den Fußgängerverkehr) Signalbrücken Leitungsbrücken	
C	Strecken Code	Dieser Code gibt die numerische Bezeichnung der Strecke an.	
D	Kmsys Code	In dieser Spalte ist der kmsys Code angegeben.	Mit dem kmsys Code kann die Brückendatenbank mit anderen technischen Datenbanken der ÖBB verknüpft werden.
E	Brücke km	In dieser Spalte ist der Brückenkilometer angegeben.	
F	Tragwerk System	In folgende Systeme des Tragwerkes wird unterschieden: Durchlaufträger Einfeldträger Gewölbe Rahmen	
G	Tragwerk Konstruktion	In folgende Konstruktionen des Tragwerkes wird unterschieden: Behelfsbrücken Stahlvollwandträger (= Blechträger) Stahlfachwerk Fertigteile Hilfsbrücken Hohlkasten Kreisbogen Platte Plattenbalken Schienenbetontragwerk Schienentragwerk Trägerbeton Trog	
H	Tragwerk Baustoff	In folgende Baustoffe des Tragwerkes wird unterschieden: Beton Naturstein Spannbeton Stahl Stahlbeton Verbund Ziegel	Da bei der Bemessung der Trägerbetone ursprünglich nur der Stahl als tragend angesetzt wurde, werden diese Tragwerke dem Baustoff Stahl zugeordnet.

Anhang B: Erläuterung der Auswertetabellen

	Spaltenbezeichnung	Inhalt der Spalte	Anmerkung
I	Tragwerk Baujahr	Einbaujahr des Tragwerkes. Bei neuen Tragwerken entspricht dieses dem Errichtungszeitpunkt. Beim Einbau alter Tragwerke (dies erfolgte fallweise im Ergänzungsnetz) spiegelt das Einbaujahr nicht das Tragwerksalter wider.	
J	Tragwerk Länge [m]	Gesamtlänge des Tragwerkes in Meter	
K	Tragwerk Breite [m]	Gesamtbreite des Tragwerkes in Meter	
L	Brücken letzter Zustand Datum	In dieser Spalte wird die letzte an der Brücke durchgeführte Inspektion eingetragen.	
M	Zustandsbewertung alt oder neu	In dieser Spalte wird eingetragen, ob die Bewertung der Brücke nach den aktuellen 5 Zustandsklassen erfolgte.	Vor 2006 erfolgte die Bewertung des Zustandes in 4 Klassen, seit 2006 in 5 Zustandsklassen.
N	Brücken letzter Zustand	Aktuelle Zustandsklassenbewertung der Brücke	
O	Tragwerk Lastbild Original	Bemessungslastbild der Brücke (siehe auch Anhang E) Fallweise wurde Brücken auch nachträglich ein Lastbild zugeordnet. Dies ist vor allem dann erkennbar, wenn das Baujahr des Tragwerkes vor dem Gültigkeitszeitpunkt der Brückenklasse liegt	
P	Streckenklasse	In dieser Spalte erfolgt die Zuordnung zur Streckenklasse gemäß UIC Merkblatt 700.	
Q	Netzkategorie	Netzkategorie A (Kernnetz) Wichtige Personen- und Güterverkehrsstrecken Wichtige Nahverkehrsstrecken und Verbindungen ins Ausland Netzkategorie B1 (Kernnetz) Umleitungsstrecken Netzkategorie B2 (Ergänzungsnetz) und Netzkategorie C (Ergänzungsnetz) Zubringerstrecken, kein maßgeblicher Nahverkehr und Schmalspurbahnen	
R	Fahrbahn Bezeichnung	Offene Fahrbahn Schotterbett Direkte Schienenbefestigung	
S	Baustoff Unterbau	In folgende Baustoffe des Unterbaus wird in der Technischen Datenbank unterschieden: Beton Holz Naturstein Spannbeton Stahl Stahlbeton Ziegel	
T	Dekade Baujahr Unterbau	Darstellung des Baujahres des Unterbaues in 10er Schritten.	Die Daten sind für die dekadeweisen Auswertungen erforderlich.
U	Baujahr Unterbau	Errichtungszeitpunkt des Widerlagers bzw. der Stützen.	

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Auszug aus der Auswertetabelle_Sept09.xls</i>	3
<i>Abbildung 2: Auszug aus der ergänzenden Auswertetabelle_Juni10.xls</i>	9

ANHANG C

SCHADENSBILDER EINZELNER SCHADENSKATEGORIEN

Wien, März 2011

Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEIN	3
2	STAHL- UND VERBUNDTRAGWERKE	3
2.1	Korrosionsschaden	3
2.2	Materialschaden und Risse	4
3	STAHLBETON-, SPANNBETON- UND VERBUNDTRAGWERKE	6
3.1	Durchfeuchtung und Aussinterung	6
3.2	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche	7
3.3	Freiliegende Bewehrung Korrosionsschaden	8
4	GEWÖLBE	8
4.1	Risse und Ausbrüche	8
4.2	Nicht funktionierende Abdichtung und Aussinterung	11
5	LAGERSCHADEN	12
6	UNTERBAU	13
6.1	Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkschutz	13
6.2	Risse, Abplatzungen und Ausbrüche	14
6.3	Stützen Korrosionsschäden	16

1 Allgemein

Die Festlegung der Schädigungsgrade erfolgt in Anlehnung an den Schadenskatalog der ÖBB. Die Bilder dieses Anhangs wurden aus dem Schadenskatalog [1] entnommen, bzw. durch Vorortaufnahmen [2] ergänzt.

2 Stahl- und Verbundtragwerke

2.1 Korrosionsschaden



Abbildung 1: Korrosionsschäden [1]



Abbildung 2: Massive Korrosionsschäden [1]

2.2 Materialschaden und Risse



Abbildung 3: Anfahrtschaden [1]



Abbildung 4: Riss im Stahlträger [2]



Abbildung 5: Schäden aus der Kriegszeit [2]



Abbildung 6: Abgescherte Schrauben [1]

3 Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundtragwerke

3.1 Durchfeuchtung und Aussinterung



Abbildung 7: Aussinterungen [1]



Abbildung 8: Durchfeuchtung und Aussinterungen[2]

3.2 Risse, Abplatzungen und Ausbrüche



Abbildung 9: Risslinien [2]

3.3 Freiliegende Bewehrung Korrosionsschaden



Abbildung 10: Freiliegende Bewehrung teilweise angerostet [1]

4 Gewölbe

4.1 Risse und Ausbrüche



Abbildung 11: Ziegelausbrüche Gewölbe [2]



Abbildung 12: Massive Ziegelausbrüche [1]



Abbildung 13: Beginnende Auflösung des Gefügeverbandes [1]



Abbildung 14: Verfungsschäden [1]



Abbildung 15: Ablösung der Spritzbetonsicherung [1]

4.2 Nicht funktionierende Abdichtung und Aussinterung

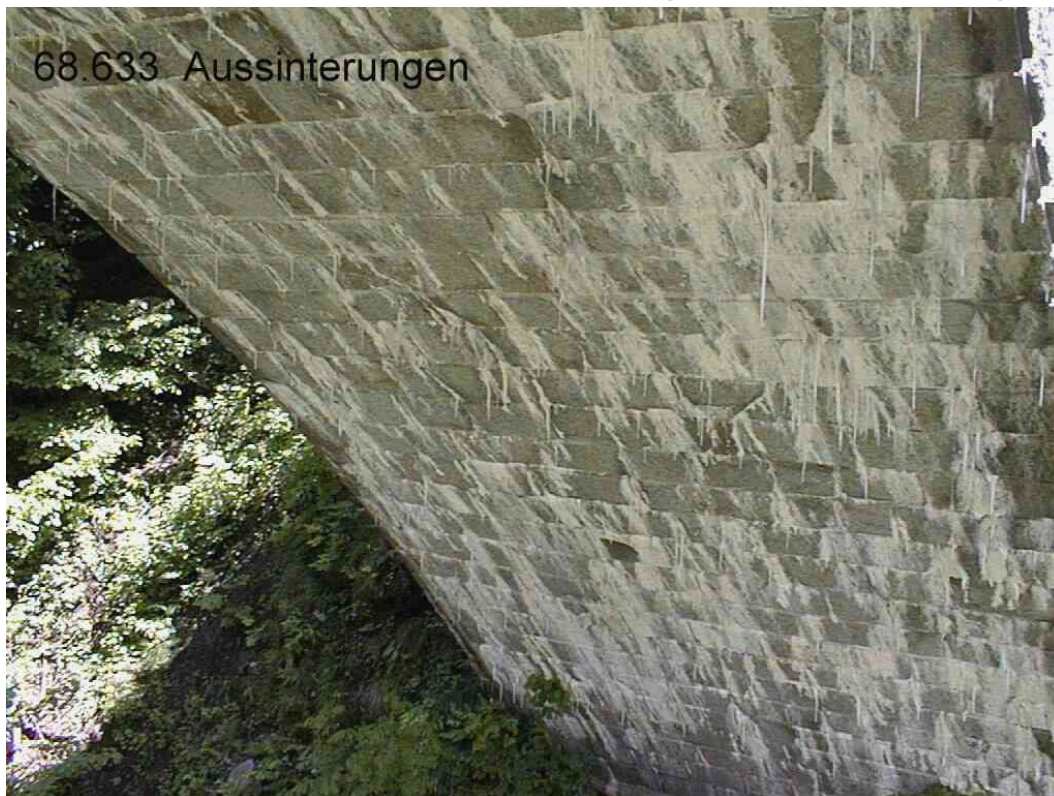


Abbildung 16: Aussinterungen [1]



Abbildung 17: Durchfeuchtung [1]

5 Lagerschaden



Abbildung 18: Korrosionsschaden [2]



Abbildung 19: Lagerbewegung eingeschränkt [2]



Abbildung 20: Lagerverguss Ausbrüche [2]

6 Unterbau

6.1 Durchfeuchtung, Aussinterung und Kolkschutz



Abbildung 21: Durchfeuchtung und Aussinterung im Widerlagerbereich [2]



Abbildung 22: Kolkschutz schadhaft [1]

6.2 Risse, Abplatzungen und Ausbrüche



Abbildung 23: Betonausbrüche [2]



Abbildung 24: Verfugungsschäden [1]



Abbildung 25: Risslinie [1]

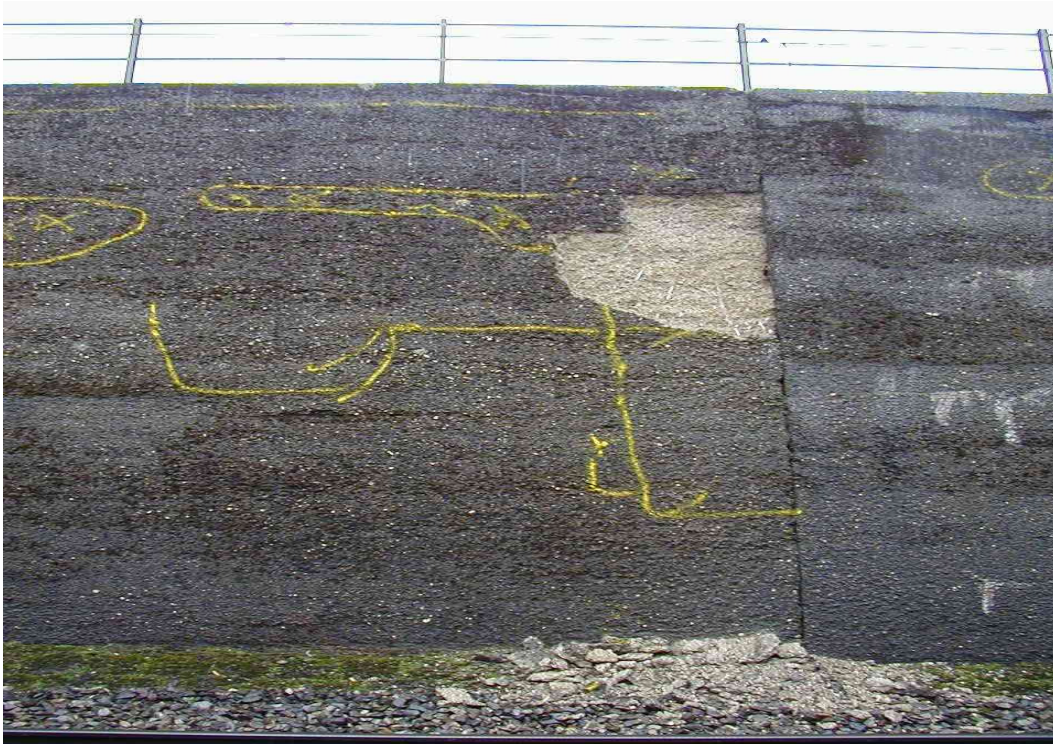


Abbildung 26: Risslinien und massive Ausbrüche [1]

6.3 Stützen Korrosionsschäden



Abbildung 27: Anrostung im Stützenfuß [2]

Abbildungsverzeichnis:

<i>Abbildung 1: Korrosionsschäden [1]</i>	3
<i>Abbildung 2: Massive Korrosionsschäden [1]</i>	4
<i>Abbildung 3: Anfahrtschaden [1]</i>	4
<i>Abbildung 4: Riss im Stahlträger [2]</i>	5
<i>Abbildung 5: Schäden aus der Kriegszeit [2]</i>	5
<i>Abbildung 6: Abgescherte Schrauben [1]</i>	6
<i>Abbildung 7: Aussinterungen [1]</i>	6
<i>Abbildung 8: Durchfeuchtung und Aussinterungen [1][2]</i>	7
<i>Abbildung 9: Risslinien [2]</i>	7
<i>Abbildung 10: Freiliegende Bewehrung teilweise angerostet [1]</i>	8
<i>Abbildung 11: Ziegelausbrüche Gewölbe [2]</i>	8
<i>Abbildung 12: Massive Ziegelausbrüche [1]</i>	9
<i>Abbildung 13: Beginnende Auflösung des Gefügeverbandes [1]</i>	9
<i>Abbildung 14: Verfungungsschäden [1]</i>	10
<i>Abbildung 15: Ablösung der Spritzbetonsicherung [1]</i>	10
<i>Abbildung 16: Aussinterungen [1]</i>	11
<i>Abbildung 17: Durchfeuchtung [1]</i>	11
<i>Abbildung 18: Korrosionsschaden [2]</i>	12
<i>Abbildung 19: Lagerbewegung eingeschränkt [2]</i>	12
<i>Abbildung 20: Lagerverguss Ausbrüche [2]</i>	13
<i>Abbildung 21: Durchfeuchtung und Aussinterung im Widerlagerbereich [2]</i>	13
<i>Abbildung 22: Kolkschutz schadhaf [1]</i>	14
<i>Abbildung 23: Betonausbrüche [2]</i>	14
<i>Abbildung 24: Verfungungsschäden [1]</i>	15
<i>Abbildung 25: Risslinie [1]</i>	15
<i>Abbildung 26: Risslinien und massive Ausbrüche [1]</i>	16
<i>Abbildung 27: Anrostung im Stützenfuß [2]</i>	16

Bildnachweis:

- [1] ÖBB iBW-Brücken, Mängel- und Schadenskatalog, Stand 2009, (nicht veröffentlicht)
- [2] Vor Ortaufnahmen ÖBB

ANHANG D

FRAGEBOGEN INSTANHALTUNGSZYKLEN

Wien, März 2011

Anhang D: Fragebogen Instandhaltungszyklen

Fragebogen betreffend die erforderlichen Instandhaltungszyklen zur Erreichung der theoretischen Nutzungsdauer von Brücken

Maßnahme	Instandhaltungszyklus in Jahren						
	10	20	30	40	50	60	nie
Abdichtungserneuerung inkl. eventuellem Fugenband							
Stahlbetontragwerk							
Spannbetontragwerk							
Verbundtragwerk							
Stahltragwerk??							
Lagersanierung oder Lageraustausch							
Stahllager							
Neoprenlager							
Topflager							
Randbalkenerneuerung							
Korrosionsschutz							
offene Fahrbahn							
mit Schotterbett							
bzw.							
Brücken über Gewässer							
Brücken über keinem Gewässer							
Betoninstandsetzung							
Stahlbetontragwerk							
Spannbetontragwerk							
Verbundtragwerk							
Widerlager							
Pfeiler							
Mauerwerksverfugung							
Geländererneuern							
Injektionen							
Mauerwerk							
Beton							
Austausch der Brückenhölzer							
in der Geraden							
im Bogen							
Austausch der Brückenbedielung							
Holzbedielung							
Stahlbedielung							
Tragwerkserneuerungen							
Tragwerksverstärkungen							
Stahlbetonbrücke							
Spannbetonbrücke							
Verbundbrücken							
Stahlbrücken							
Fundierungssicherung bei Gewässern							
Sohlplattenerneuerung							
Kolksschutzerneuerung							
Erneuerung der Brückenabgänge							
Spritzbetonsanierung							
Widerlager							
Pfeiler							

ANHANG E

HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER LASTENZÜGE BEI DEN ÖBB

Wien, März 2011

Inhaltsverzeichnis

Blatt 1

Lastenzug LM71 $\alpha=1,0$, LM71 $\alpha=1,21$, SW/0 und SW/2 sowie der unbeladene Zug
gemäß Ö-Norm EN 1991-2

Lastenzug SW, K(+2) und K(0)
gemäß Ö-Norm B4003 Teil 1 1994

Blatt 2

Lastenzug K(0)
gemäß Ö-Norm B 4003 Teil 1 1984

K0=UIC 1971
gemäß Merkblatt Nr. 702V UIC 1971

Lastenzug S, L, M und 0,8xS
gemäß Ö-Norm B 4003 1. Teil vom 25.01.1956

Blatt 3

Auszug Lastenzug A, B und C
gemäß Eisenbahnverordnung 1951

Auszug Lastenzug A und B
gemäß Vorläufige Brückenvorschrift 1947

Blatt 4

Auszug Lastenzug N, E, G, H und J
gemäß Vorschrift der deutschen Reichsbahn 1938

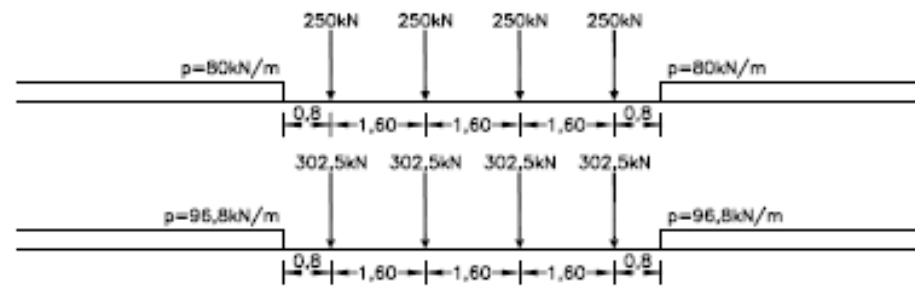
Blatt 5

Auszug Lastenzug N-Zug 1922

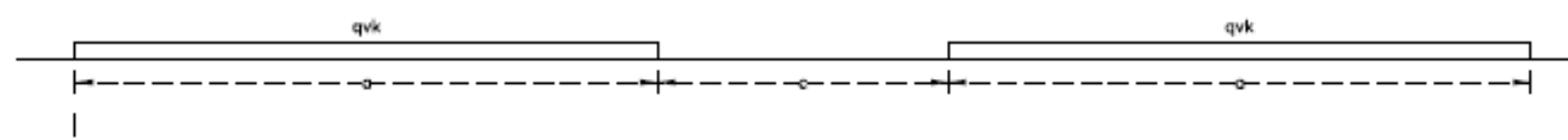
Auszug Lastenzug I, II, IIIa und IIIb
gemäß Verordnung des Eisenbahnministeriums vom 28.08.1904

LM71 $\alpha=1,0$

LM71 $\alpha=1,21$

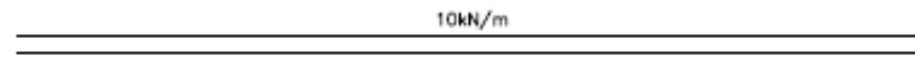


SW/0
SW/2

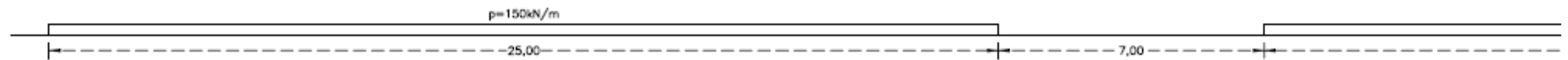


Lastmodell SW/0	qvk=133kN/m	a=15,0m	c=5,3m
Lastmodell SW/2	qvk=150kN/m	a=25,0m	c=7,0m

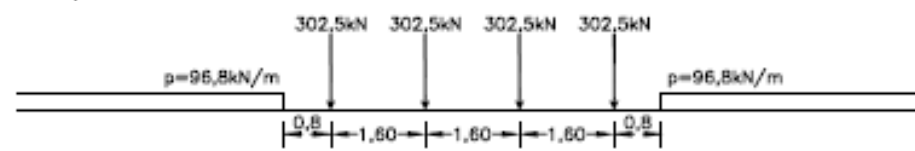
unbelastener Zug



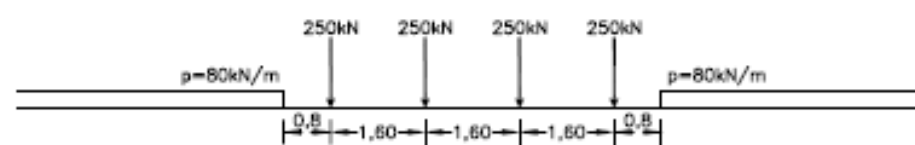
SW



K(+2)



K(0)



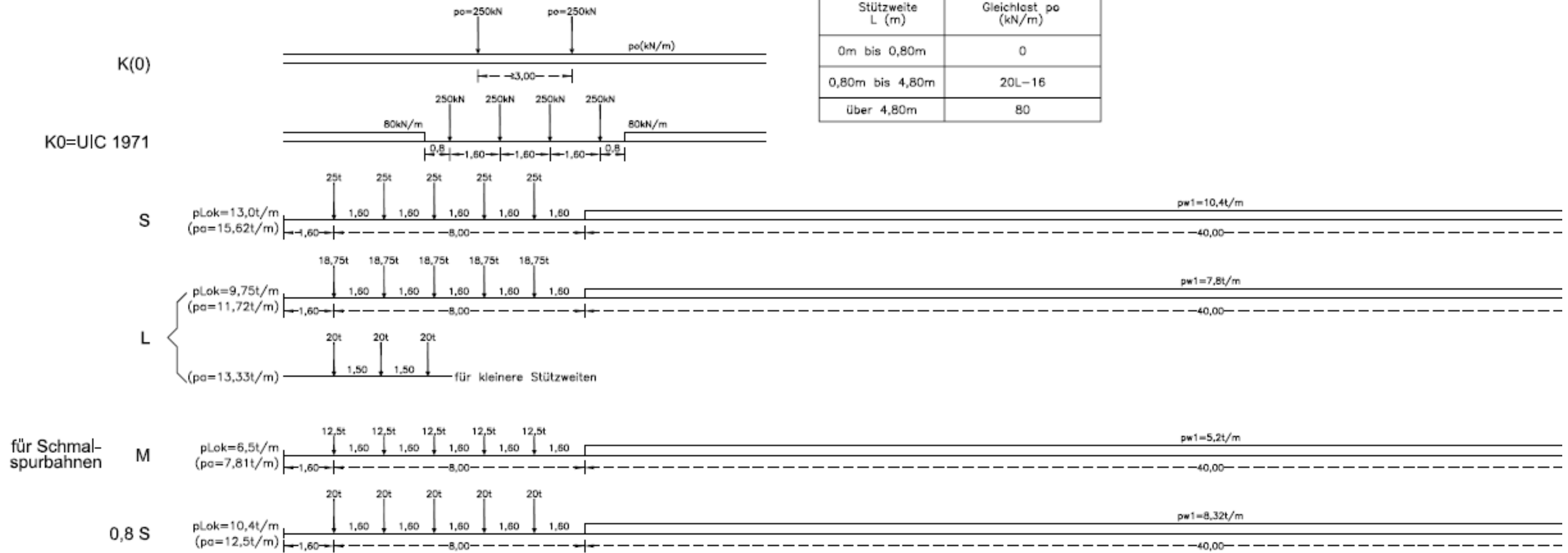
Anhang E

Blatt 1

Lastenzug LM71 $\alpha=1,0$, LM 71 $\alpha=1,21$, SW/0 und SW/2 sowie der unbelastene Zug
gemäß Ö-Norm EN 1991-2

Lastenzug SW, K(+2), und K(0)
Gemäß Ö-Norm B4003 Teil 1 1994

Stützweite L (m)	Gleichlast p_0 (kN/m)
0m bis 0,80m	0
0,80m bis 4,80m	20L-16
über 4,80m	80



Anhang E

Blatt 2

Lastenzug K(0)

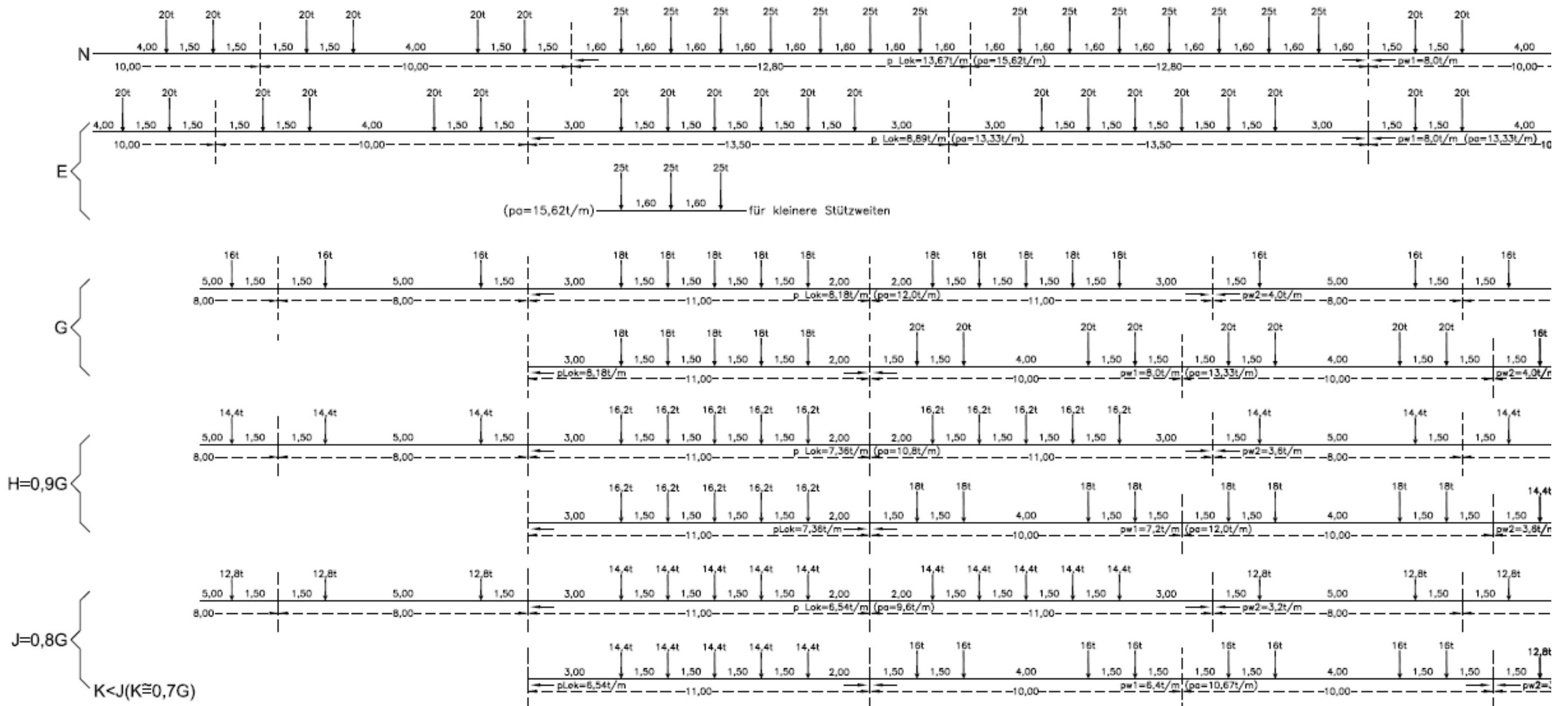
gemäß Ö-Norm B4003 Teil 1 1984

K0=UIC 1971

gemäß Merkblatt Nr. 702V UIC 1971

Lastenzug S, L, M und 0,8xS

gemäß Ö-Norm B4003 1. Teil vom 25.01.1956

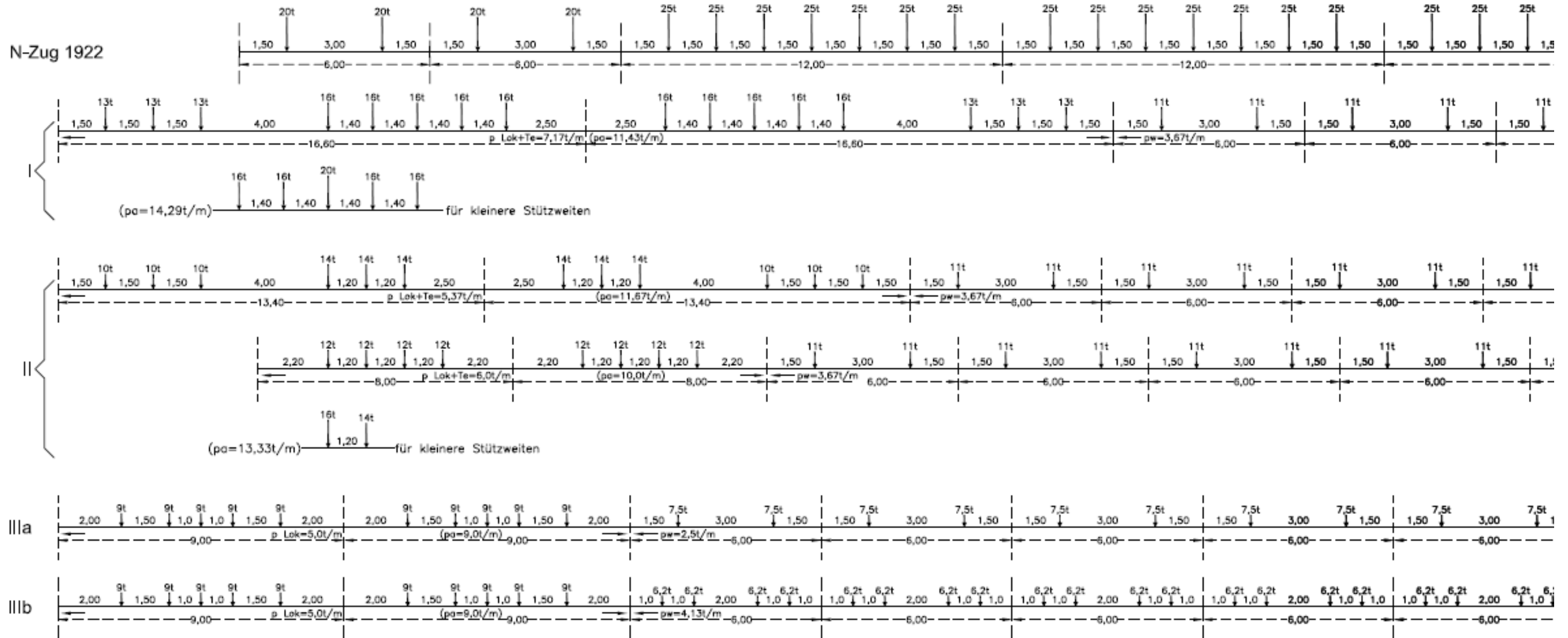


Anhang E

Blatt 4

Auszug Lastenzug N, E, G, H und J
gemäß Vorschrift der deutschen Reichsbahn 1938

N-Zug 1922



Auszug Lastenzug N-Zug 1922

Auszug Lastenzug I, II, IIIa und IIIb

gemäß Verordnung des Eisenbahnministeriums vom 28.08.1904