



Realisierte Gleisliegedauern im ÖBB-Netz

Gegenüberstellung des Erwartungswerts auf
Basis der Standardelemente mit der
Ist-Situation

Masterarbeit
2013

Matthias Redtenbacher
Matrikelnummer: 0730802

Betreuer:
Peter Veit
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
+43 873 6217
peter.veit@tugraz.at



Danksagung

Viele Personen haben zum Erfolg dieser Masterarbeit beigetragen, die wichtigsten sollen hier genannt werden:

Besonders möchte ich mich bei Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Veit für die Möglichkeit bedanken, diese Arbeit am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft zu verfassen und so die Kenntnisse über die Nutzungsdauern von Gleisanlagen zu erweitern. Mein Dank gilt weiters Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Marschnig für die gute Betreuung, die wertvolle Unterstützung in Form von fachlichen Gesprächen sowie für die Durchsicht dieser Arbeit. Bedanken möchte ich mich auch bei Dipl.-Ing. Georg Neuper, der sich immer sehr viel Zeit für Fragen und Diskussionen nahm und seine eigentlichen beruflichen Pflichten dafür häufig in die Abendstunden verlegte. Aus demselben Grund bin ich auch Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Enzi, Dipl.-Ing. Fabian Hansmann und Dipl.-Ing. Armin Berghold sehr zu Dank verpflichtet. Außerdem gilt mein Dank dem gesamten Institut für das erstklassige Arbeitsklima, alle gebotenen Hilfestellungen sowie die netten und aufmunternden Gespräche in all den gemeinsamen Kaffeepausen.

Ein besonderes Dankeschön möchte ich an dieser Stelle meinen Eltern, Mathilde und Dipl.-Ing. (FH) Christian Redtenbacher aussprechen, die mir mein Studium erst ermöglicht haben und mir immer zur Seite standen. Durch meine Studienzeit haben mich ebenso meine werten Studienkollegen und Freunde, Stefan Oberwalder, Robert Peheim und Dipl.-Ing. Florian Koppelhuber begleitet, denen ich für die gute Zusammenarbeit sehr dankbar bin. All meinen übrigen Freunden möchte ich für die emotionale Unterstützung während dieser Zeit danken. Weiters haben mich Anton Hörzer sowie Tina und Benedikt Fruhwirth immer tatkräftig unterstützt, wo es ihnen möglich war. Auch ihnen sei dafür herzlichst gedankt.

Der größte Dank gebührt jedoch meiner Lebensgefährtin Madeleine Hörzer, die an zahlreichen Abenden und Wochenenden ohne mich auskommen musste. Sie erteilte mir nicht nur wertvolle grammatikalische Ratschläge bei der Durchsicht dieser Arbeit, sondern war vor allem ein Beistand und eine große Stütze in all den Jahren meines Studiums. Danke!

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 20.12.2012

Kurzfassung

Die Nutzungsdauer von Gleisanlagen wird durch die Qualität des Unterbaus, die im Oberbau verwendeten Komponenten, die Trassierung, die auf das Gleis einwirkenden Belastungen, sowie durch die Instandhaltung bestimmt. Mit Hilfe der in den sogenannten „Standardelementen“ implementierten Erwartungswerte soll die Vorhersage der Haltbarkeit für jede realisierte Oberbaukombination im A-Streckennetz der Österreichischen Bundesbahnen machbar sein. Es wird dabei von einem Unterbau ausgegangen, der eine hohe Qualität aufweist.

Durch die Verschneidung von zwei verschiedenen Versionen der TUG-Datenbank ist die Datenbasis für die Überprüfung dieser Erwartungswerte vorhanden. Anhand dessen ist es möglich für jeden Querschnitt (entspricht 5 m) eine realisierte Liegedauer zu berechnen. Es sind weiters die ausgebauten Komponenten, Radien und Belastungsklassen ersichtlich, mit deren Kombination jedem Querschnitt ein Wert für die erwartete Nutzungsdauer zugeordnet werden kann. Somit kann die Abweichung der realisierten Nutzungsdauer vom Erwartungswert bestimmt werden.

Für die Auswertungen dieser Masterarbeit wurden jene Gleise herangezogen, die in den Jahren 2007 bis 2010 reinvestiert wurden. Dabei wird zuerst auf die Datengesamtheit eingegangen, die anschließend schrittweise, durch Differenzierung der einzelnen Bestandteile der Standardelementeklassifikation in kleinere Datenmengen unterteilt wird. Es werden dadurch nicht nur Erkenntnisse in Bezug auf die Erwartungswerte, sondern auch über Schwellenformen und Belastungsklassen gewonnen.

Es zeigt sich, dass das System Standardelemente grundsätzlich funktioniert. Die Erwartungswerte wurden größtenteils richtig gewählt und entsprechen im Durchschnitt in etwa den realisierten Liegedauern. Lediglich bei wenigen Gleisen mit Holzschwellen in niedrigen Belastungsklassen ergeben sich kleine Unstimmigkeiten. Teilweise sind die Erwartungswerte hierfür etwas zu hoch angesetzt, demnach wären geringfügige Korrekturen sinnvoll.

Abschließend wird auf diese möglichen Änderungen der Erwartungswerte hingewiesen sowie ein Ausblick auf noch zu untersuchende Fragestellungen gewährt, die sich im Zuge der Arbeit ergeben haben.

Abstract

Implemented periods of use of railway tracks in the route network of the ÖBB (Austrian Federal Railways)

Comparison of the expected value based on the standard elements with the current situation

The useful life of railway tracks is mainly influenced by the quality of the substructure, the components used in the superstructure, the laying of the rail beds, the loads which have effects on the railway track and the maintenance. Due to expected values, implemented in the so called "standard elements", it is possible to predict the durability of every realized superstructure combination in the core rail network of the Austrian Federal Railways. It is assumed that the substructure is of high quality.

The uniting of two separate versions of the TUG-Database is the basis for the verification of these expected values. It enables calculating the realized service life for every single cross section (corresponding 5 m). Aside from the used components, the radii and the load-category can be requested. The combinations of these properties enable the assignment to the standard elements and lead to expected useful life durations for each section. As a result, the deviation of the realized useful life duration from the expected value can be set.

The rail tracks, which were subject to reinvestment between 2007 and 2010, were used as base of the analysis in this thesis. Firstly, the whole database was analyzed, afterwards it was subdivided step by step into a smaller data size through distinction into the single parts of the standard element classification. Not only insight can be gained into the expected values, but also into regarding sleepers and load classifications.

The results show, that the system of standard elements basically works. Most of the expected values were well chosen and correspond to the average of the realized service life. There are some slight inconsistencies concerning rails including wooden sleepers at small load classes. Some of their expected values were set too high, so that minor adjustments would make sense.

In conclusion some possible changes of the expected values are demonstrated and further issues arising as a result of the investigation are presented.

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	1
1	Standardelemente	2
1.1	Belastungsklasse.....	5
1.2	Radienklasse	5
1.3	Schienenprofil.....	6
1.4	Schwellenform	7
1.5	Schienengüte.....	8
1.6	Unterbau.....	8
1.7	Geschwindigkeit.....	8
2	Daten	9
2.1	Datenbank und Vernetzung	10
2.2	Modifikationen	13
2.3	Vorgehensweise	15
2.4	Ausscheidungsgründe	17
3	Ergebnisse.....	18
3.1	Längen der Standardelemente	18
3.2	Datengesamtheit.....	21
3.3	Unterteilung Schwellen	25
3.4	Unterteilung Belastungsklassen.....	29
3.5	Unterteilung Schwellen/Belastungsklassen	36
3.6	Standardelemente 30.000-45.000 R>600 54E2 Holz, 30.000-45.000 R>600 49E1 Holz und 15.000-30.000 R>600 49E1 Holz.....	47
3.7	Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten	52
3.8	Unterteilung Ausbaujahre (Gegenüberstellung der alten und neuen Gesamtdatenmenge)	55
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	60

0 Einleitung

„Elemente des Fahrwegs der Eisenbahn sind durch lange Nutzungsdauern gekennzeichnet. Damit dürfen sich wirtschaftliche Überlegungen nicht nur auf die Investitionen oder kurze betrachtete Zeiträume beschränken. Vielmehr muss die gesamte Nutzungsdauer, d.h. von einer (Re-)Investition bis zur nächsten betrachtet werden.“ [1]

Die nachfolgende Arbeit basiert auf den Forschungsprojekten, die das Thema „Strategie Fahrweg“ behandeln. Diese entstanden zwischen 1998 und 1999 an der TU Graz in Zusammenarbeit mit den Österreichischen Bundesbahnen und wurden über die nachfolgenden Jahre weiterentwickelt. Sie beinhalten unter anderem die Entwicklung der sogenannten Norm- oder Standardelemente (siehe Kapitel Standardelemente). [1]

Standardelemente dienen der wirtschaftlichen Bewertung von Gleisanlagen und ermöglichen Oberbaukomponentenstrategien, *„ohne auf besondere örtlichen Eigenheiten des Gleises einzugehen“*. Das Ziel liegt in der Vorgabe der einzubauenden Oberbauprodukte und der Unterbauanforderungen. [2]

„Gelingt es, eine solche netzweite Strategie zu implementieren, entfallen die mittlerweile bei jedem Erneuerungsvorhaben geforderten LCC Auswertungen, da die Wahl der Strategiekomponenten die Umsetzung einer nachhaltigen und damit wirtschaftlich sinnvollen und günstigen Lösung bereits garantiert.“ [2]

Diese Arbeit beschäftigt sich im Besonderen mit der Überprüfung des Systems „Standardelemente“. Es wird die Richtigkeit der angegebenen erwarteten Nutzungsdauern untersucht und in Frage gestellt. Da diese für die Ermittlung der Lebenszykluskosten notwendig sind, sind sie unter anderem in finanzieller Hinsicht von großer Bedeutung. Es sollen daher mögliche Abweichungen von den Erwartungswerten aufgezeigt und eventuelle Verbesserungsvorschläge angegeben werden um die LCC Betrachtung zu detaillieren.

Für die Untersuchung werden Daten aus zwei Versionen der TUG-Datenbank herangezogen und miteinander vernetzt. Somit sind die essentiellen Fakten über die gesamte Nutzungsdauer der Gleise bekannt. Neben der Darstellung der Ergebnisse in verschiedenen Detaillierungsgraden werden auch die Möglichkeiten und Auswirkungen von Korrekturen der Erwartungswerte aufgezeigt.

1 Standardelemente

Die Standardelemente wurden an der TU Graz vom Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft in Zusammenarbeit mit einer Arbeitsgruppe der Österreichischen Bundesbahnen, in deren Auftrag entwickelt. In einer Publikation aus dem Jahr 1998 wurden die ersten sogenannten „Normkilometer“ festgelegt. Diese umfassten, um die wesentlichen Streckentypen des A-Streckennetzes in Österreich abbilden zu können, drei 2-gleisige ebene Strecken (mit verschiedenen Belastungen), eine zweigleisige Bergstrecke und eine eingleisige ebene Strecke. Auch die Qualität des Unterbaus wurde berücksichtigt und floss in die Bewertung mit ein. [3]

Diese Verallgemeinerungen des Gleises sollten Rückschlüsse auf das gesamte A-Streckennetz ermöglichen, vernachlässigten jedoch aufgrund des abweichenden Verhaltens Bahnhofsbereiche und Weichen. Durch die Inkludierung der jeweiligen Erhaltungszyklen sollte die Berechnung von Strategieideen ermöglicht werden. [3]

In einer weiteren Veröffentlichung an der TU Graz aus dem Jahr 2005, ebenso im Auftrag der ÖBB, erhielten die Normkilometer die Namen der konkreten Strecken, denen sie zugeordnet wurden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kontrollabschnitte für Normkilometer [4]

Strecke	Situierung
Westbahn 2	Zweigleisiger Abschnitt St. Valentin – Linz
Südbahn 2	Wiener Neustadt – Gloggnitz
Nordbahn 2	Gänserndorf – Hohenau
Südbahn 1 K	Ehemals eingleisiger Abschnitt St. Valentin – Klagenfurt
Tauernbahn 1	Südrampe
Südbahn 1 S	Wildon – Spielfeld
Ennstalbahn	Liezen - Schladming

Durch diese konnte das Hauptnetz der ÖBB etwas detaillierter abgebildet werden. Da Untersuchungen die höhere Wirtschaftlichkeit eines sanierten Unterbaus bestätigten, wurde hier eine hohe Untergrundqualität vorausgesetzt. Weiters wurde ein Schwellenabstand von 600 mm angenommen. In Tabelle 2 werden die untersuchten Kombinationen ersichtlich. [4]

Tabelle 2: Normkilometer Version 2005 [4]

Normkilometer	Gleisbelastung [GesBt/Tag]	Gleisanzahl	Radienklasse [m]	Schwelle	verschweißt oder Stoßgleis
Westbahn 2	80.000	2	> 600	Beton	verschweißt
			400 – 600		
			250 – 400		
			< 250	Holz	Stoßgleis
Südbahn 2	55.000	2	> 600	Beton	verschweißt
			400 – 600		
			250 – 400		
			< 250	Holz	Stoßgleis
Nordbahn 2	33.000	2	> 600	Beton	verschweißt
			400 – 600		
			250 – 400		
			< 250	Holz	Stoßgleis
Ennstalbahn 1	18.000	2	> 600	Beton	verschweißt
			400 – 600		
			250 – 400		
			< 250	Holz	Stoßgleis
Südbahn 1K	75.000	1	> 600	Beton	verschweißt
			400 – 600		
			250 – 400		
			< 250	Holz	Stoßgleis
Tauernbahn 1	70.000	1	> 600	Beton	verschweißt
			400 – 600		
			250 – 400		
			< 250	Holz	Stoßgleis
Südbahn 1S	33.000	1	> 600	Beton	verschweißt
			400 – 600		
			250 – 400		
			< 250	Holz	Stoßgleis

Standardelemente

Tabelle 3 stellt die Weiterentwicklung von Tabelle 2 dar und beinhaltet den Erwartungswert der Nutzungsdauern. Aufgrund von speziellem Verschleißverhalten in weiten Bögen hinsichtlich der Schienenoberfläche wurden die neuen Radienklassen $600\text{ m} < R < 1000\text{ m}$, $1000\text{ m} < R < 3000\text{ m}$ sowie $R > 3000$ eingeführt (siehe Kapitel Daten/Modifikation/Radius).

Tabelle 3: Standardelementematrix mit Erwartungswerten der Nutzungsdauern (vgl. [4])

		Schienenprofil	60E1			54E2		49E1	
		Schwellenform	Beton	Beton besohlt	Holz	Beton	Holz	Beton	Holz
		Schienengüte	R260/R350HT						
Verkehrsbelastung	Radius	Anzahl Gleise							
>70.000	R>3000	ein-/zweigleisig	26	36	26	20	20	19	19
	1000<R<3000		23	29	23	19	19	18	18
	600<R<1000		21	26	21	18	18	18	18
	400<R<600		-	-	18	-	16	-	16
>70.000 V>200 km/h	R>3000	zweigleisig	21	28					
	1000<R<3000								
45.000 - 70.000	R>3000	ein-/zwei-/viergleisig	30	42	30	25	25	24	24
	1000<R<3000		28	35	28	24	24	23	23
	600<R<1000		25	31	25	22	22	21	21
	400<R<600		-	-	23	-	20	-	19
	250<R<400								
45.000 - 70.000 V>200 km/h	R>3000	viergleisig	31	39					
	1000<R<3000								
30.000 - 45.000	R>3000	ein-/zweigleisig	36	50	35	32	32	32	32
	1000<R<3000		34	43	34	31	31	30	30
	600<R<1000		28	34	28	26	26	25	25
	400<R<600		-	-	25	-	22	-	21
	250<R<400								
15.000 - 30.000	R>3000	ein-/zweigleisig	40	50	35	36	35	35	35
	1000<R<3000		36	47	35	34	34	33	33
	600<R<1000		34	36	34	30	30	29	29
	400<R<600		-	-	32	-	28	-	27
	250<R<400								
8.000 - 15.000	R>600	eingleisig	43	50	35	43	35	43	35
	400<R<600		40	49	35	40	35	40	35
	250<R<400		38	38	35	38	35	38	35
	R<250		-	-	35	-	35	-	35

Wie in Tabelle 3 ersichtlich, wurde für die hochrangigen Belastungen eine Unterteilung für Geschwindigkeiten >200 km/h eingeführt. In dieser Arbeit wird dies nicht berücksichtigt, da in den Standardelementen grundsätzlich keine Geschwindigkeitsabstufungen implementiert wurden (siehe Kapitel Standardelemente/Geschwindigkeit).

Im Folgenden soll nun näher auf die einzelnen Klassifizierungspunkte eingegangen und die Auswirkungen dieser erläutert werden.

1.1 Belastungsklasse

Die Belastung, die mittels der Radlast in das Gleis eingebracht wird, ist für die Nutzungsdauer von großer Bedeutung. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen statischen und dynamischen Lasten. Letztere entstehen durch die Änderung der vertikalen Lasten, die durch das Rad während der Bewegung des Fahrzeuges über das Gleis, ausgeübt werden (*Wanken, Rollen, Neigen des Wagenkastens, asymmetrische Belastung, Sinuslauf, Radunrundheit, Gleislageabweichung, etc.*). Daraus resultieren unterschiedliche Setzungen. [5]

In den Standardelementen ist mit der Belastung nur die statische Last definiert. Diese wird in Bruttotonnen pro Tag und Gleis bei Achslasten von bis zu 22,5 to angegeben und folgendermaßen unterteilt:

- > 70.000 GesBt/Tag,Gleis
- 45.000 – 70.000 GesBt/Tag,Gleis
- 30.000 – 45.000 GesBt/Tag,Gleis
- 15.000 – 30.000 GesBt/Tag,Gleis
- 8.000 – 15.000 GesBt/Tag,Gleis

Für die dynamischen Lasten gibt es in der Klassifizierung der Standardelemente keine eigenständigen Definitionen. Sie werden aber vereinfacht über die Gesamtbruttotonnen abgeschätzt.

1.2 Radienklasse

Je kleiner der Radius eines Bogens ist, desto größer sind die Belastungen, die aufgrund der Führungskräfte (Y-Kräfte) durch den Spurkranz auf die Schiene einwirken. Der Schienenverschleiß bildet sich somit bei der bogeninneren und bogenäußeren Schiene unterschiedlich aus. Erstere erfährt bei einem Überhöhungsfehlbetrag nur einen Verschleiß in der Höhe, während bei der bogenäußeren Schiene auch Abnützungen an den Seite der Schiene auftreten. Durch den Sinuslauf werden diese Kräfte in einer abgeschwächten Form ebenfalls in der Geraden übertragen.

Die Standardelemente unterscheiden demnach die folgenden sechs Radienklassen:

- $R > 3000$
- $1000 < R < 3000$
- $600 < R < 1000$
- $400 < R < 600$
- $250 < R < 400$
- $R < 250$

1.3 Schienenprofil

Die Zeitspanne des sicheren Gebrauches von Schienen ist durch ihre Ermüdungsfestigkeit begrenzt. An der TU Graz wurde eine Abschätzung von diesen Liegedauern mittels neuer weiterentwickelter Schadenshypothesen durchgeführt. Die drei am weitesten verbreiteten Schientypen Österreichs, welche sich auch so in den Standardelementen wiederfinden, sollen nachfolgend aufgelistet werden. [5]

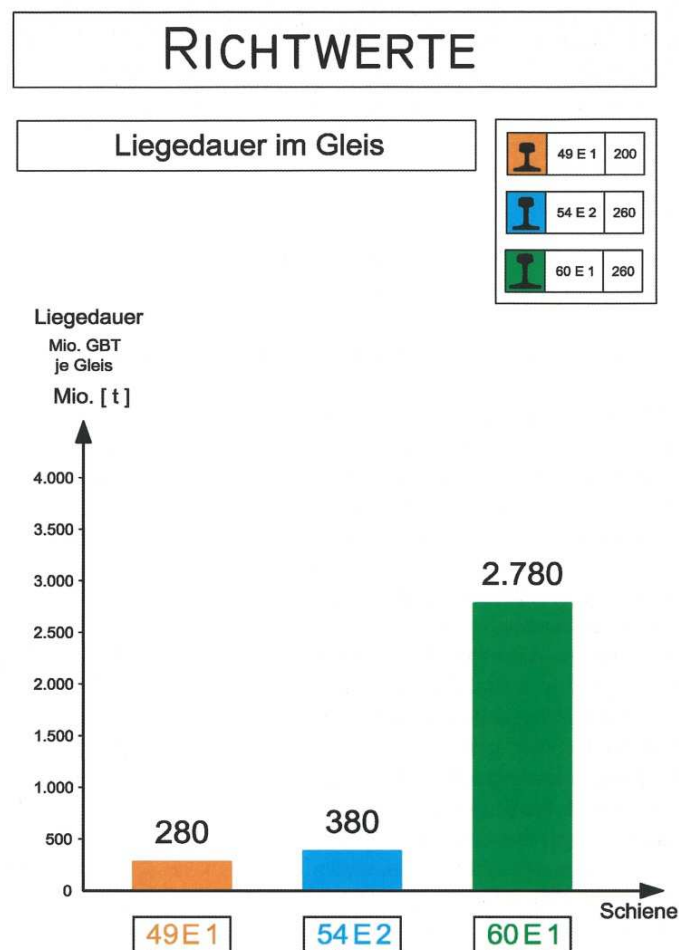


Abbildung 1: Dauerfestigkeit von Schienen im Netz der ÖBB [6]

Während der Schientyp 60E1 als „dauerfest“ bezeichnet werden kann, ist dieser ebenfalls durch Verschleiß und Rollkontaktermüdungsschäden in seiner Liegedauer begrenzt.

Die tatsächliche Liegedauer von Schienen hängt jedoch nicht nur vom Schienenprofil ab. Auch die Schienengüte, die Situierung (Gerade oder Bogen), sowie die Qualität der Fahrzeuge und deren Drehgestelle wirken sich maßgeblich auf die Haltbarkeit aus.

1.4 Schwellenform

In der Liste der Standardelemente werden die folgenden Schwellenarten implementiert:

- Holzschwellen
- Betonschwellen
- Besohlte Schwellen

Weltweit sind etwa drei Milliarden Schwellen auf Eisenbahnstrecken verbaut. 150 Millionen Schwellen werden jährlich erneuert. Mit 20 Prozent der Gesamtheit, also 600 Millionen Stück, liegt die Anzahl der Betonschwellen deutlich hinter der der Holzschwellen. [5]

Der Vorteil von Betonschwellen gegenüber von Holzschwellen liegt in der längeren Lebensdauer sowie in der besseren Lagestabilität durch höheres Gewicht. Allerdings weisen sie eine erhebliche Anfälligkeit auf Schock und Stoß auf und neigen zu Brüchen bei Schwellenreiten. Dies und der Umstand, dass Betonschwellen durch ihr hohes Gewicht einen händischen Tausch fast unmöglich machen, sind die Gründe dafür, dass Holzschwellen auch heutzutage noch Verwendung finden. [5]

Die besohlte Schwelle stellt eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Betonschwelle dar. Die Besohlung verfolgt das Ziel die Auflagefläche der Schwelle auf dem Schotter zu vergrößern. Dadurch wird der Oberbau elastischer und es kommt zu einer Verringerung der Schotterpressung. Dies und weitere Vorzüge führen zu einer höheren Lebensdauer des Gleises. In dieser Arbeit wird jedoch nicht näher auf die besohlte Schwelle eingegangen, da sie aufgrund der Altersverteilung der Gleiskilometer im Betrachtungszeitraum nicht ausgebaut wurde (siehe Kapitel Daten). [5]

Darüber hinaus werden in der Datenbank (siehe Datenbank und Vernetzung) Stahlschwellen, Brückenhölzer und andere Schwellentypen aufgeführt. Nachdem diese in

den Standardelementen nicht definiert sind, werden sie an dieser Stelle auch nicht weiter behandelt.

1.5 Schienengüte

Die heutzutage verbauten Schienen weisen eine Qualität von R260 oder R350HT auf. Sie besitzen also eine Härte von 260 und 350 HBW auf der Fahrfläche und sind teilweise wärmebehandelt (Heat treated). [5]

Da die Schienengüte keinen Einfluss auf die Nutzungsdauer, sondern ausschließlich auf den Schleifzyklus hat, wird sie in der nachfolgenden Arbeit nicht berücksichtigt.

1.6 Unterbau

Der Unterbau wird grundsätzlich in die drei Qualitätsstufen A, B und C unterteilt. Er fließt jedoch nicht in die nachfolgende Arbeit mit ein, da die Erhebung und Bewertung von eben diesem komplex und subjektiv ist. Es wird folglich angenommen, dass der Unterbau im Streckennetz die Qualität A aufweist, also über eine hohe Tragfähigkeit und eine funktionierende Drainage verfügt. Im Vergleich zum Erwartungswert verringerte Liegedauern können daher auf eine schlechte Unterbauqualität zurückgeführt werden.

1.7 Geschwindigkeit

In der Standardelementematrix werden keine Geschwindigkeiten direkt unterschieden, obwohl sie einen hohen Einfluss auf das System Gleis haben. Je größer sie sind, desto höher ist die mechanische Beanspruchung. Diese ist bei der sogenannten kritischen Geschwindigkeit maximal. Folglich ist der Instandhaltungsaufwand bei niedrigen Geschwindigkeiten geringer. Über die Radienklasse (bei $R < 600$ m), sowie die Verkehrsbelastung (bei $R > 600$ m) sind Geschwindigkeiten jedoch trotzdem berücksichtigt. [4]

2 Daten

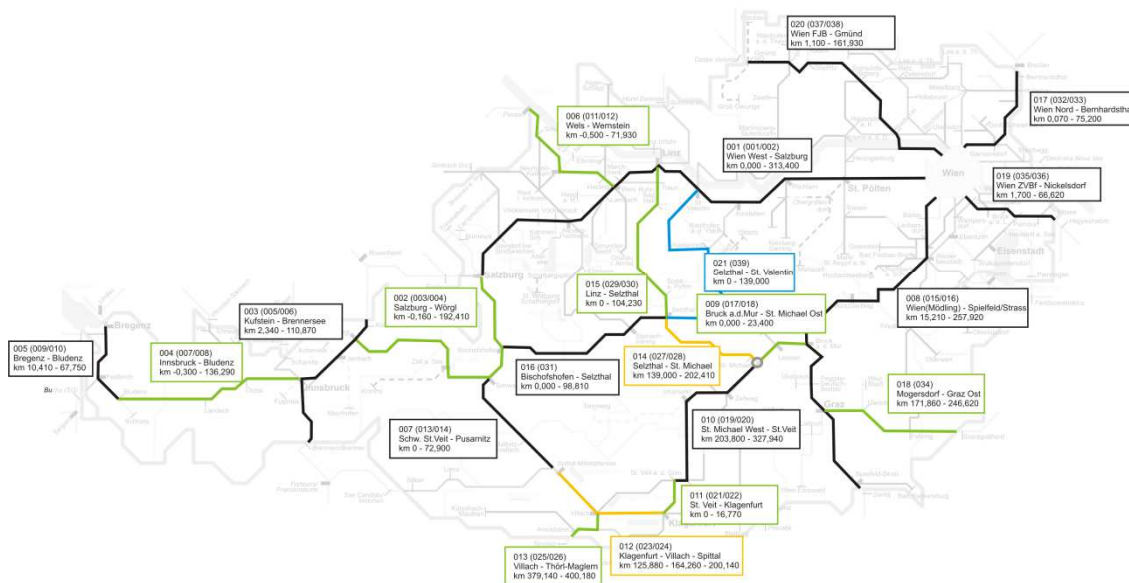
Ziel dieser Arbeit ist es, die Richtigkeit der im Projekt „Strategie Fahrweg“ ermittelten durchschnittlichen Soll-Haltbarkeitsdauer zu überprüfen und gegebenenfalls Vorschläge für Änderungen zu liefern.

Alle verwendeten Daten und erzielten Ergebnisse beziehen sich auf Neulagen im ÖBB-Netz der Jahre 2007 bis 2010.

Die Datenmenge erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Besonders im Jahr 2010 fehlen Werte, die zum Zeitpunkt des Verfassens der Arbeit noch nicht eingetragen wurden. Dies beeinflusst die nachfolgenden Auswertungen jedoch nicht, da keine Geschlossenheit der Angaben erforderlich ist. Es ist lediglich die Vollständigkeit der einzelnen Datensätze vonnöten, um diese verwenden zu können (siehe Kapitel Daten/Ausscheidungsgründe).

2.1 Datenbank und Vernetzung

Ausgangspunkt dieser Untersuchung bilden Daten der Österreichischen Bundesbahnen, welche durch Dr.techn. Robert Hummitzsch und Dr.techn. Jochen Holzfeind im Zuge ihrer Dissertationen an der TU Graz in die sogenannte „TUG-Datenbank“ überführt wurden. Die Zielsetzung bestand in der Bildung von größtmöglichen Abschnitten mit „aufsteigender und vollständiger Kilometrierung“.



Stand: 01.03.2011

Abbildung 2: Übersicht der 21 Abschnitte der TUG-Datenbank [7]

Alle verfügbaren Informationen wurden in diese Datenbank überführt. Durch die Strukturierung in drei Ordnungsebenen (Abschnitt/Gleisnummer/Kilometer) ist jeder Punkt im Hauptnetz der ÖBB eindeutig bestimmbar. [8]

Aus der TUG-Datenbank wurden die von 2007 bis 2010 erneuerten Strecken gefiltert und in eine Excel Datei exportiert. Die Datei umfasst danach 78.097 Zeilen, welche Fünfmeterschritte in der Realität repräsentieren. Daraus ergeben sich somit 390,485 km Neulage.

Nach dem Auslesen beinhaltet die Datei in Form von Spalten folgende Unterteilungen:

- Querschnittsnummer
- TUG Strecke
- Gleisnummer
- Streckenname
- Kilometer
- Radienklasse
- VzG (Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten)
- Bahnhof
- Brücke
- Weiche
- Eisenbahnkreuzung
- Tunnel Gültigkeit
- Einbaujahr Schiene
- Schienenprofil
- Schienengüte
- Einbaujahr Schwelle
- Schwellentyp

Für die weiteren Auswertungen dieser Arbeit sind die Spalten „TUG Strecke“, welche mit „Streckenname“ gleichsetzbar ist, sowie die Kategorien „Kilometer“, „Radienklasse“ und „Einbaujahr Schwelle“ von Wichtigkeit. Alle übrigen Daten wurden der Vollständigkeit halber beibehalten, wirken sich jedoch nicht auf die folgenden Auswertungen aus.

Im nächsten Schritt wurde anhand dieser Neulagen der vorangegangene Zustand ermittelt. Hierfür wurden die gleichen Streckenabschnitte mit einer älteren Version der TUG-Datenbank verschnitten.

Daten

Folgende Punkte wurden ausgelesen:

- Kilometer
- NK¹-Zuteilung
 - Belastungsklasse
 - Radienklasse
 - Schientyp
 - Schwellentyp
- Oberbau
 - Schiene Einbau
 - Schwelle Einbau
 - Schienengüte
- MDZ² Einsätze
- TUG³ Einsätze
- AHM⁴ Einsätze
- SUZ⁵ Einsätze
- RM⁶ Einsätze
- PLM⁷ Einsätze
- Speno⁸-Einsätze
- Einbauten
 - Bahnhof
 - Brücke
 - Weiche
 - Eks⁹
 - Tunnel
- Verschlechterungsfunktion

Für die Auswertungen waren die Punkte NK-Zuteilung, Oberbau und Einbauten von erheblicher Bedeutung. Wie zuvor erwähnt, wurden auch hier die übrigen Kategorien beibehalten, fanden jedoch keine Anwendung in der Arbeit.

Aufbauend auf die Zusammenführung dieser Daten wurden die nachfolgenden Auswertungen vorgenommen. Das Augenmerk wurde dabei auf die einzelnen Querschnitte gelegt, nicht jedoch auf deren Zusammenhang in Form von Projekten.

¹ Normkilometer

² Mechanisierter Durcharbeitszug

³ Automatisch ergänzter Stopfeinsatz aufgrund der vorhandenen Gleisqualität

⁴ Aushubmaschine

⁵ Schnellumbauzug

⁶ Bettungsreinigungsmaschine

⁷ Plassermatic

⁸ Schienenschleifzug

⁹ Eisenbahnkreuzung

2.2 Modifikationen

Es wurden Modifikationen an der Belastungs- und Radienklasse durchgeführt, wie folgt beschrieben.

2.2.1 Belastung

In der TUG-Datenbank wurden den Strecken, welche eine bestimmte Anzahl an Gleisen aufweisen, Belastungen zugeordnet. Die genaue Aufschlüsselung ist in Tabelle 4 ersichtlich:

Tabelle 4: Legende Belastungsklassen aus der TUG-Datenbank

Bezeichnung	Anz. Gleise	Tonnen/Tag	Code
Westbahn-2	2-gleisig	>67500	1
Südbahn-2	2-gleisig	44000-67499	2
Nordbahn-2	2-gleisig	<43999	3
Südbahn-1K	1-gleisig	>73500	4
Tauernbahn-1	1-gleisig	51500-73499	5
Südbahn-1S	1-gleisig	25500-51499	6
Ennstalbahn-1	1-gleisig	<25499	7

Diese Belastungsklassen wurden an jene der Standardelementematrix angepasst (siehe Kapitel Standardelemente/Belastungsklasse), welche sich nur auf die Belastung selbst beschränkt. Da die Strecken der neuen Belastungsklassen verschiedene Gleisanzahlen aufweisen und aus derselben „alten Belastungsklasse“ bestehen können, wurden zur eindeutigen Konvertierung die TUG-Strecken und deren Kilometrierung miteinbezogen.

Daten

Die konvertierten Belastungsklassen setzten sich wie folgt zusammen:

Tabelle 5: Belastungsklassen laut Standardelementematrix

Belastungsklassen neu [Tonnen/Tag]	Bezeichnung alt	Belastungsklassen alt [Tonnen/Tag]	TUG Strecke (Meter)
>70000	Westbahn-2	>67500	
	Südbahn-1K	>73500	
45000-70000	Südbahn-2	44000-67499	
	Tauernbahn-1	51500-73499	
30000-45000	Nordbahn-2	<43999	1, 6, 7, 8 (außer 210000 bis 220000), 12, 17,19 (<41220);
	Südbahn-1S	25500-51499	
15000-30000	Nordbahn-2	<43999	2, 4, 5, 8 (ausschließlich 210000 bis 220000), 10, 15 (<12419), 20 (<43990);
	Ennstalbahn-1	<25499	18 (>15000), 20 (<43990), 21 (<102330)
8000-15000	1-gleisig	<25499	18 (<15000), 20 (>43990), 21 (>102330)

2.2.2 Radius

Die Standardelementematrix weist, bezogen auf die Radienklassen, mehr Unterteilungen auf als die TUG-Datenbank. Der Grund hierfür liegt darin, dass das Standardelement in seiner Entwicklung erweitert wurde, um das Phänomen der Schienenschäden (zum Beispiel „Head Checks“) in weiten Bögen abbilden zu können. Bei dem Erwartungswert der Nutzungsdauer wurde keine Unterteilung vorgenommen (siehe Tabelle 3), wodurch die direkte Übernahme der Werte möglich ist (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Konvertierung Radienklassen

Radius Standardelementematrix	Radius TUG-Datenbank
R>3000	R>600
1000<R<3000	
600<R<1000	
400<R<600	400<R<600
250<R<400	250<R<400
R<250	R<250

2.3 Vorgehensweise

Um mit der Standardelementematrix sinnvoll arbeiten zu können, wurde diese in die Excel-Datei zeilenweise übertragen. Hierfür wurde die Reihung Belastung/Radius/Schientyp/Schwellentyp verwendet, die in dieser Arbeit auch beibehalten wird. Die Summe ergibt 140 mögliche, jedoch nicht immer sinnvolle Kombinationen:

Tabelle 7: Beispiel für Standardelementkombinationen

Beispiel für Standardelementkombinationen
>70.000 R>600 60E1 Beton
>70.000 R>600 60E1 Beton besohlt
>70.000 R>600 60E1 Holz
>70.000 R>600 54E2 Beton
...

In einer gesonderten Spalte wurden für diese Kombinationen die Erwartungswerte der Nutzungsdauern eingetragen. Wie in der Standardelementematrix (siehe Tabelle 3) ersichtlich, wurden auch hier unrealistische Kombinationen nicht mit einem Erwartungswert bedacht. Als Beispiel für solch eine praxisferne Verknüpfung soll das nachfolgende Standardelement angeführt werden:

- >70.000 R<250 49E1 Beton

Im nächsten Schritt wurden für die jeweiligen Auswertungen die Abweichungen des erreichten Alters zum Erwartungswert nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Abweichung} = \text{Liegedauer}_{\text{realisiert}} - \text{Liegedauer}_{\text{erwartet}}$$

Hierfür war das Schwellenalter aus der TUG Datenbank maßgebend (siehe Kapitel Standardelemente/Schwellenform), da ein Schwellentausch in der Regel gleichzeitig eine Kompletterneuerung des Gleises indiziert. Der Grund für diesen Umstand liegt darin, dass die Angabe des Schwellenalters als sicherer eingestuft wird, als die Eintragungen zum Einsatz des „Schienenumbauzuges“ (SUZ).

Für alle in dieser Arbeit angeführten statistischen Auswertungen und Diagramme (mit Ausnahme von Abbildung 3) wurde „The R Project for Statistical Computing“ zur Erstellung verwendet. [<http://www.r-project.org/>]

2.4 Ausscheidungsgründe

Eine Vielzahl an Datensätzen konnte in den Auswertungen keine Verwendung finden. Folgende Gründe waren hierfür verantwortlich:

- Der Datensatz ist nicht vollständig:
Durch fehlende Angaben zu Belastungsklasse, Radienklasse, Schienenprofil, Schwellenform, Schwellenalter, etc., aufgrund von Eintragungsfehlern, konnten diese nicht in den Auswertungen verwendet werden.
- Das Standardelement weist eine durchgehende Länge unter 40 m auf:
Durch die geringe Länge ist mit erheblichen Einflüssen des vorangehenden und nachfolgenden Standardelements zu rechnen. Weiters wirken Steifigkeitsunterschiede an den Übergängen der Standardelemente in nachfolgende Gleisbereiche ein. Aufgrund dieser Umstände wurden als minimale Länge 40 m Gleis gewählt, welches die gleiche Kombination aufweisen muss.
- Das Gleis liegt in einem Tunnel:
Da sich das Gleis im Tunnel aufgrund der divergenten Einflüsse wie zum Beispiel Feuchtigkeit und Temperatur über die Jahre hinweg anders verhält, und Tunnelstrecken in der Standardelementematrix nicht implementiert sind, sollen diese Abschnitte nicht Teil der Betrachtung dieser Arbeit sein.
- Das Gleis liegt in einem Bahnhof:
Standardelemente sind als freie Streckengleise definiert. Aufgrund der außergewöhnlichen Umstände, die für Gleise in Bahnhofs- und Haltestellenbereichen vorherrschen (nicht kontinuierlich durch Weichen, etc.), werden sie nicht in die Auswertung mit einbezogen. Die Nutzungsdauer hängt darüber hinaus nicht ausschließlich vom Material ab, sondern steht in engem Zusammenhang mit anderen Entscheidungen (Erneuerung Bahnhof oder Haltestelle, etc.).
- Das Gleis wurde aufgrund von diversen, nicht-technischen Umständen zu früh ausgebaut:
Extreme Ausreißer wurden im Vorhinein untersucht um Abschnitte nicht in die Untersuchung miteinzubeziehen, bei denen der Reinvestitionsgrund nicht das Erreichen der Nutzungsdauer war (zum Beispiel die umliegenden Gleise bei einer Bahnhofserneuerung oder Streckenbegradigungen).

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der Auswertung näher erläutert werden. Ausgehend von der Datengesamtheit wird diese Schritt für Schritt unterteilt um eine nähere Betrachtung zu ermöglichen. Es wird somit auf die Schwellenarten, auf die Belastungsklassen und anschließend auf die Kombination beider eingegangen. Weiters sollen die Daten, nach den Jahren der Neulage gegliedert, betrachtet werden. Zu Beginn wird ein Überblick über die Längenverteilung der einzelnen Standardelemente gegeben.

3.1 Längen der Standardelemente

In Abbildung 3 werden jene 59 Kombinationen (inklusive Längen) aufgelistet, die von den 140 möglichen der Standardelementematrix tatsächlich ausgebaut wurden. Die bereits erwähnten ausgeschiedenen Längen sind nicht mehr Teil der Auswertung, wodurch die Anzahl der tatsächlich reinvestierten Standardelemente nochmals reduziert wird.

Je größer die Länge des einzelnen Standardelements ist, desto mehr Einfluss hat es auf die nachfolgenden Auswertungen. Das Standardelement „30.000-45.000 R>600 54E2 Holz“, das nachweislich die am häufigsten ausgebaute Kombination im ÖBB-Netz ist, weist auch hier die größte Länge auf. Es soll im Kapitel 3.6 detailliert betrachtet werden. Überdies werden zwei weitere Standardelemente mit einer Länge über 20 km ersichtlich, die ebenfalls von erheblicher Bedeutung sind:

- >70.000 R>600 54E2 Holz
- 15.000-30.000 R>600 49E1 Holz

Letztere Kombination wird ebenfalls in Kapitel 3.6 genau behandelt.

Ergebnisse

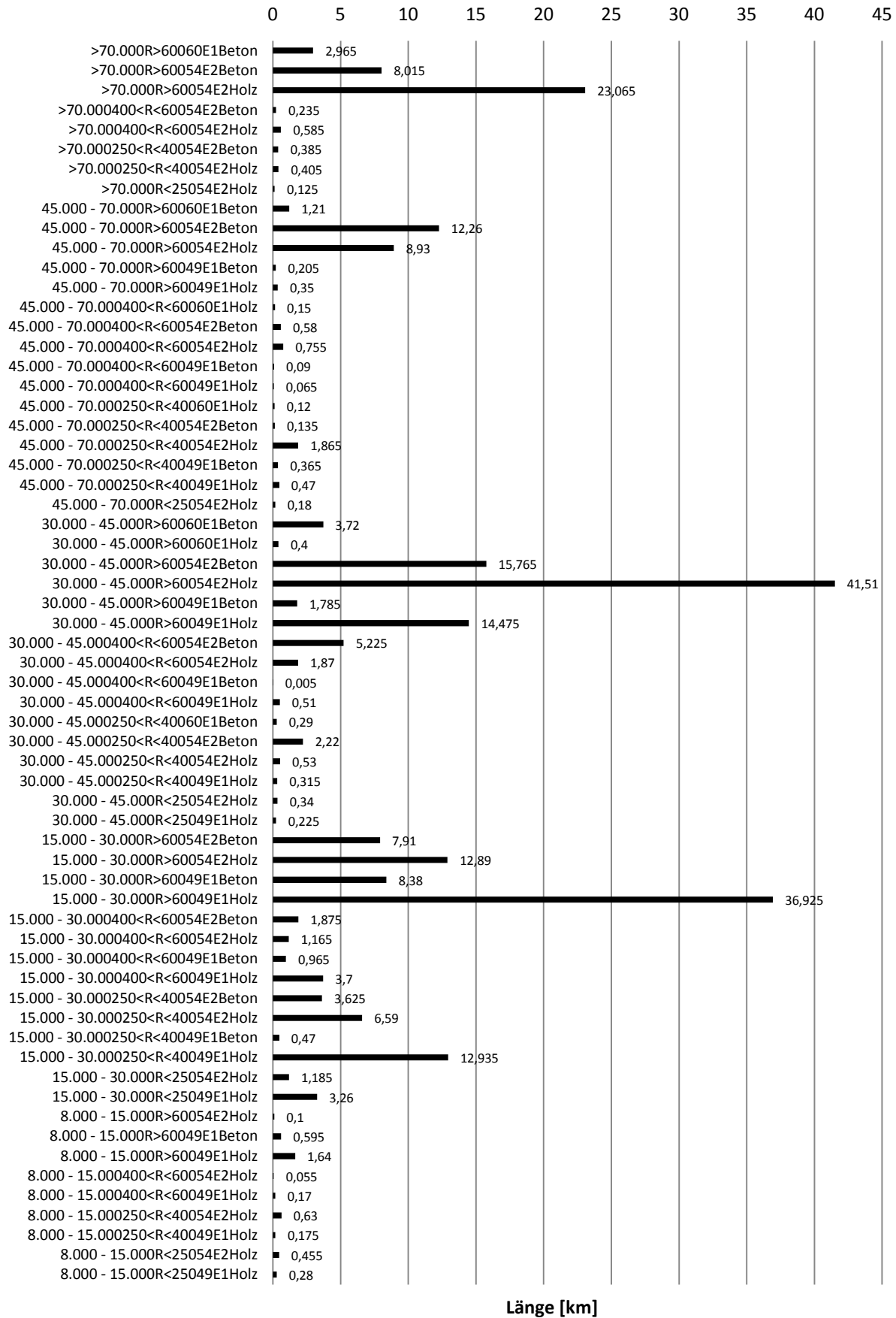


Abbildung 3: Längenverteilung bezogen auf die reinvestierten Standardelemente

Zur Veranschaulichung der Daten werden die nachfolgenden Abbildungen folgendermaßen aufgebaut: Die erwarteten und tatsächlichen Liegedauern sind auf den rechten Seiten der Abbildungen ersichtlich. Diese Datensätze werden in Form von Boxplots abgebildet um so einen Überblick über die Verteilung zu erhalten. Da die Darstellung der erwarteten Liegedauern als Boxplots bei homogeneren Datenmengen nicht sinnvoll ist, entfallen diese ab der Aufteilung in die Belastungsebenen. Auf der linken Seite der Boxplots wird jeweils ein Säulendiagramm situiert, in welchem die Längen über die Abweichungen des Ist-Zustandes vom Erwartungswert aufgetragen wurden (siehe Kapitel Daten/Vorgehensweise). Selbige Daten werden zur besseren Veranschaulichung nochmals in einem Boxplot darüber aufgetragen.

3.2 Datengesamtheit

Durch die Datenausscheidung, aufgrund der bereits angeführten Gründe (siehe Kapitel Daten/Ausscheidungsgründe), wurde die Länge der Gesamtdatenmenge von 390,47 km auf 258,67 km reduziert. Deren mittlere erwartete Liegedauer beträgt 30,13 Jahre. Der tatsächlich mittlere realisierte Wert beläuft sich auf 29,62 Jahre, wodurch sich eine mittlere Abweichung von -0,51 Jahren vom Erwartungswert ergibt.

Um weitere Aussagen über die Datengesamtheit tätigen zu können, ist es notwendig, die Verteilung der Daten zu betrachten (siehe Abbildung 4). Bei den Boxplots der Liegedauern fällt auf, dass der Median der Erwartungswerte über dem der tatsächlichen Liegedauern liegt. Der Boxplot der Erwartungswerte weist jedoch eine rechtsschiefe Verteilung auf. Anhand dessen und der Ausdehnung der Whisker wird weiters deutlich, dass die Daten der tatsächlichen Liegedauer und deren Erwartungswerte im selben Bereich liegen.

Augenscheinlich treffen die Erwartungswerte in Summe auf die Gesamtheit der Liegedauern relativ genau zu. Dies ist an der Verteilung des Säulendiagramms erkennbar, welche einen deutlichen Peak beim Wert 0 aufweist. Der Median des Boxplots der Abweichungen liegt ebenfalls bei 0 Jahren und mittig in der Box. In Kombination mit der Ausdehnung der Whisker kann die Annahme einer relativ symmetrischen Datenverteilung bestätigt werden.

Ein zweiter etwas kleinerer Peak liegt bei -3 Jahren. Dessen Herkunft wird in weiterer Folge noch geklärt.

Ausreißer sind nach unten als auch nach oben hin vorhanden. Das Maximum liegt dabei bei +27, das Minimum bei -24 Jahre. Längen mit mehr als 2 km sind dabei bei einer Abweichung von +17, -17 und -18 Jahren zu finden.

Ergebnisse

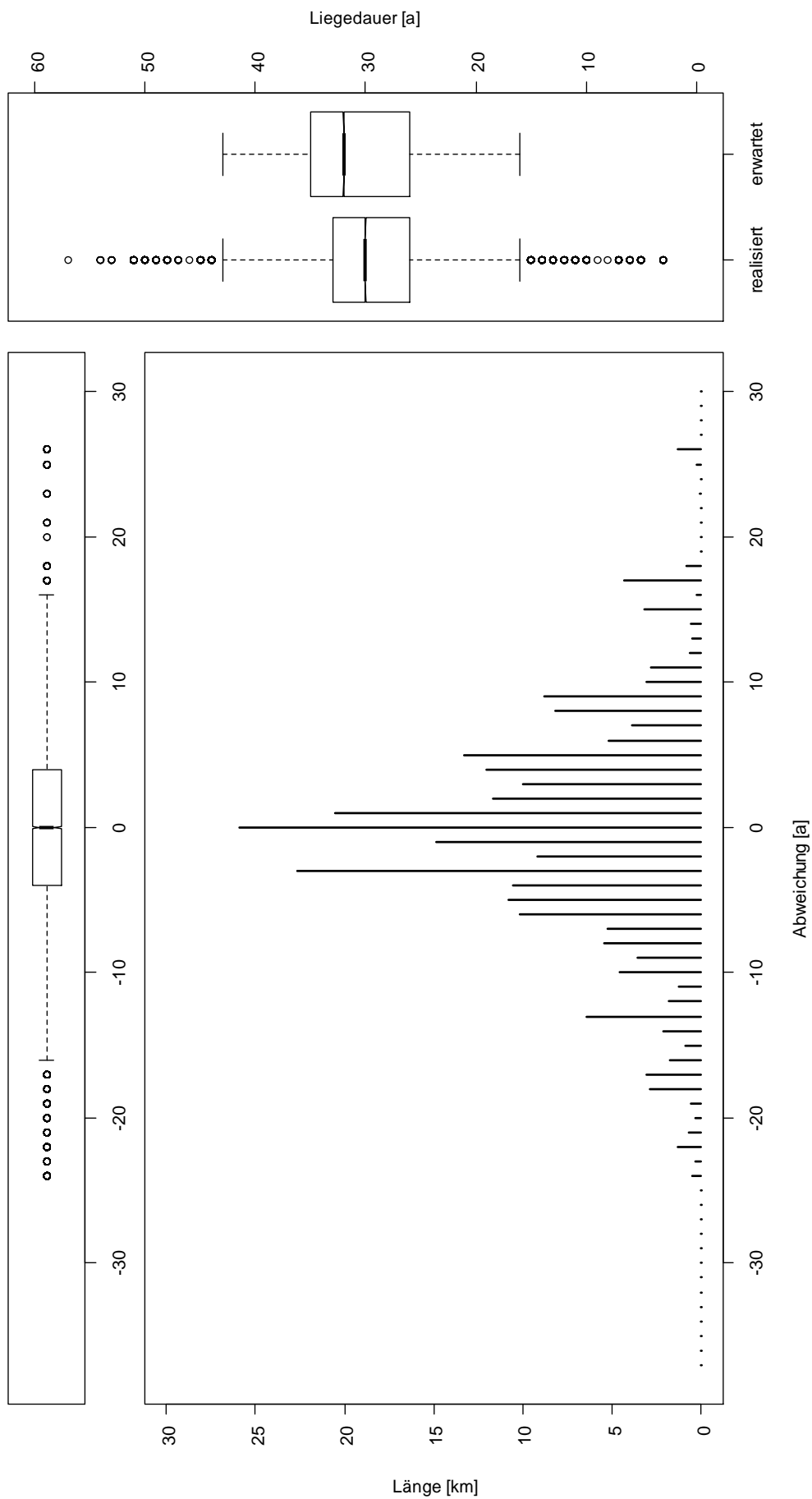


Abbildung 4: Datengesamtheit (258,67 km)

Zusammenfassend sollen nochmals die wichtigsten Kenngrößen in übersichtlicher Form angeführt werden:

Tabelle 8: Kenngrößen der Datengesamtheit

	Datengesamtheit
Mittlere realisiert Liegedauer [a]	29,62
Mittlere erwartete Liegedauer [a]	30,13
Mittlere Abweichung [a]	-0,51
Länge [km]	258,67

Die Boxplots der realisierten und erwarteten Liegedauer sollen mittels Abbildung 5 nochmals genauer betrachtet werden. Hier werden die gleichen Datensätze als Säulendiagramme dargestellt um dadurch die tatsächliche Verteilung ausmachen zu können.

Generell werden große Unterschiede zwischen den beiden Verteilungen ersichtlich. Während jene der realisierten Liegedauern größere Längen um den Wert von 30 Jahren aufweisen und zwei Höhepunkte bei 29 (36,3 km) und 30 Jahren (28,5 km) deutlich hervortreten, beschränkt sich die Verteilung der Erwartungswerte auf vier markante Werte. Diese liegen bei 20, 25, 32 und 35 Jahren, wobei letztere mit 73,54 km und 65,8 km den größten Anteil an der Verteilung besitzen.

Es drängt sich somit die Frage auf, wie aufgrund dieser unterschiedlichen Verteilungen der Liegedauern die relativ symmetrische Abweichungsverteilung zustande kommt (siehe Abbildung 4). Eine genaue Erklärung kann hier bei reiner Betrachtung der Säulendiagramme nicht gegeben werden. Es wird jedoch die Vermutung aufgestellt, dass jene Standardelemente, bei welchen eine geringe Haltbarkeit von zum Beispiel 20 Jahren erwartet wird, deutlich länger als angenommen im Netz genutzt werden. Weiters dürften Standardelemente mit einer hohen Haltbarkeitserwartung diese durchschnittlich nicht erreichen. Anhand dessen kann davon ausgegangen werden, dass Elemente mit einer hohen Belastungsklasse aufgrund ihres geringen Erwartungswertes länger halten, während Elemente mit niedrigen Belastungsklassen den prognostizierten Wert nicht erreichen.

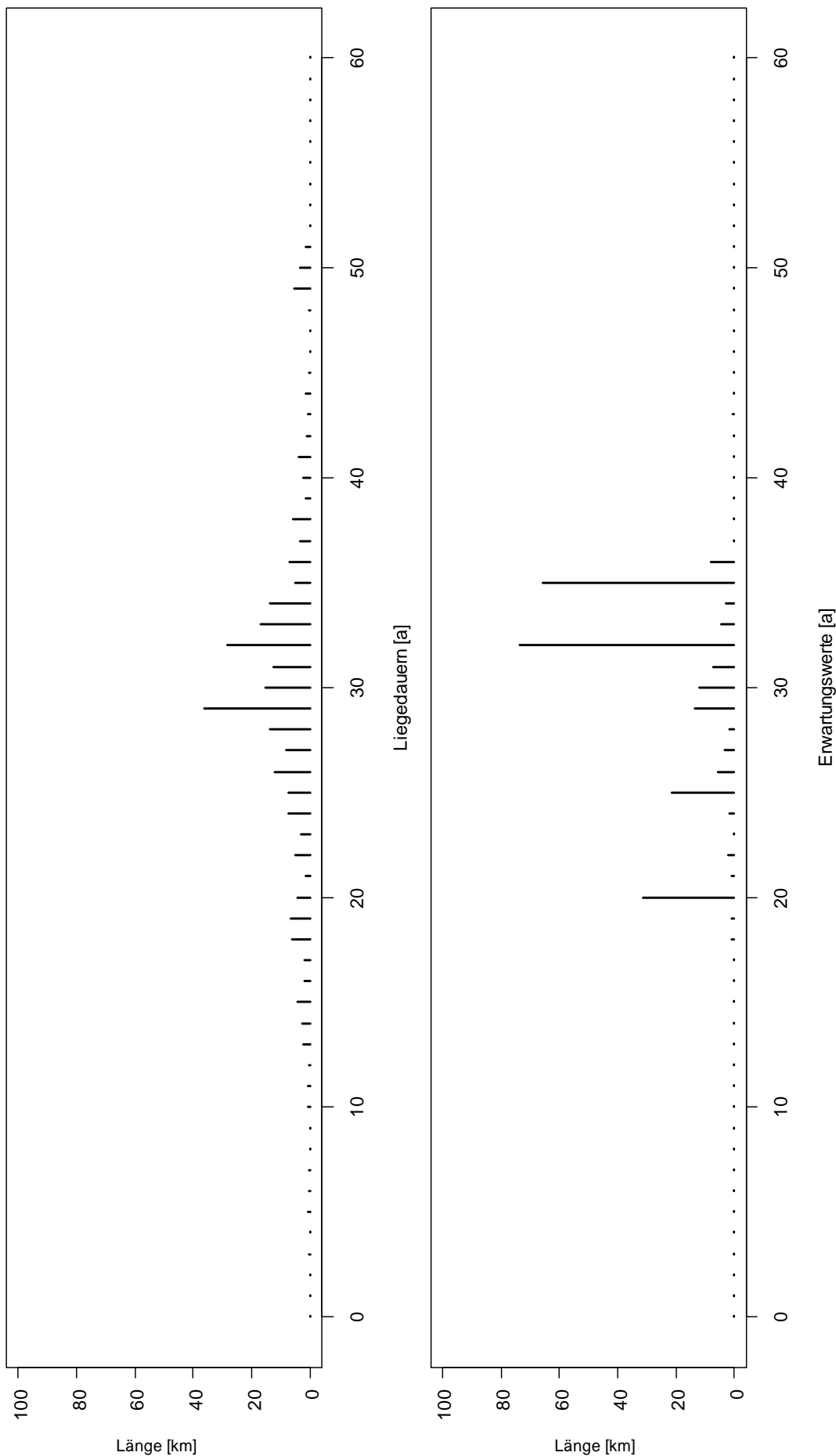


Abbildung 5: Realisierte Liegedauern (oben) und Erwartungswerte (unten) der Datengesamtheit (258,67 km)

3.3 Unterteilung Schwellen

Zur weiteren Betrachtung soll die Datengesamtheit nun anhand der ausgebauten Schwellen aufgeteilt werden. Dabei ergeben sich die zwei Gruppen „Betonschwellen“ und „Holzschwellen“. Andere mögliche Schwellenarten sind entweder in der Standardelementematrix nicht implementiert, oder wurden bei den betrachteten Daten noch nicht ausgebaut (siehe Kapitel Standardelemente/Schwellenform).

Bei dem Vergleich der Abbildung 6 mit Abbildung 7 fällt sofort die geringere Anzahl der Betonschwellen gegenüber von Holzschwellen auf. Erstere belaufen sich auf eine Länge von 79,275 km, die Holzschwellen umfassen 179,395 km.

Anfänglich soll das Augenmerk auf die Betonschwellen gelegt werden: Diese haben eine mittlere erwartete Liegedauer von 29,83 Jahren. Der tatsächlich mittlere realisierte Wert beläuft sich auf 30,5 Jahre, wodurch sich eine mittlere Abweichung vom Erwartungswert von 0,67 Jahren ergibt. Bei der Begutachtung der Boxplots der Liegedauern wird die unterschiedliche Situierung der Mediane erkennbar, die einen Abstand von ca. 2 Jahren zueinander aufweisen. Die Whisker zeigen, dass die Spannweite der realisierten Liegedauern größer ist, als die der erwarteten Liegedauern. Die unteren Quartile befinden sich annähernd auf demselben Niveau. Das obere Quartil der realisierten Liegedauern übersteigt das der Erwarteten, wodurch sich die Verteilung der Abweichung in positiver Richtung erklären lässt. Der Median des Boxplots der Abweichung befindet sich bei +2 Jahren, und weist eine leicht schiefe Verteilung nach rechts auf.

Holzschwellen haben eine mittlere erwartete Liegedauer von 30,3 Jahre. Der tatsächlich mittlere realisierte Wert beläuft sich auf 29,2 Jahre, wodurch sich eine mittlere Abweichung vom Erwartungswert von -1,1 Jahren ergibt. Durch die mittige Lage der Mediane in den Boxen der Boxplots über die Liegedauern ist eine relativ gleichmäßige Verteilung der Daten anzunehmen. Während die Situierungen der Mediane bezogen auf die Altersverteilungen ähnlich der der Betonschwellen sind, weisen die Lagen der Quartile Unterschiede auf. Die Interquartilsabstände sind hier geringer als bei den Betonschwellen, was auf engere Verteilungen um die Mediane schließen lässt. Diese Hypothese wird durch die Verteilungen der Abweichungen unterstützt und ist in den Säulendiagrammen ersichtlich: Die Datenverteilung der Betonschwellen erstrecken sich im Vergleich über eine größere Breite, als die der Holzschwellen. Während bei letzteren wiederum ein Peak bei der Abweichung von 0 Jahren deutlich erkennbar ist, ist bei der Betonschwelle ein wesentlich undeutlicherer Peak bei +5 Jahren zu vernehmen.

Ergebnisse

Der in der Datengesamtheit beobachtete Peak bei -3 Jahren ist fast vollständig auf die Holzschwellen zurückzuführen. Der Median des Boxplot der Abweichung befindet sich daher zwischen den Werten 0 und -3. Dies könnte ein Indiz dafür sein, dass einige Erwartungswerte zu hoch angesetzt wurden. Anhand der Datenauftrennung in die Belastungsklassen soll diesem Umstand nachgegangen werden.

Aus den Grafiken lässt sich somit anhand der Verteilungen der Abweichungen vermuten, dass Betonschwellen durch ihre längere Haltbarkeit nicht der begrenzende Faktor eines Gleises sind. Holzschwellen beeinflussen die Liegedauer eines Gleises jedoch sehr deutlich, was sich anhand der Abweichungsverteilung und dem Peak am Wert 0 zeigt.

Ergebnisse

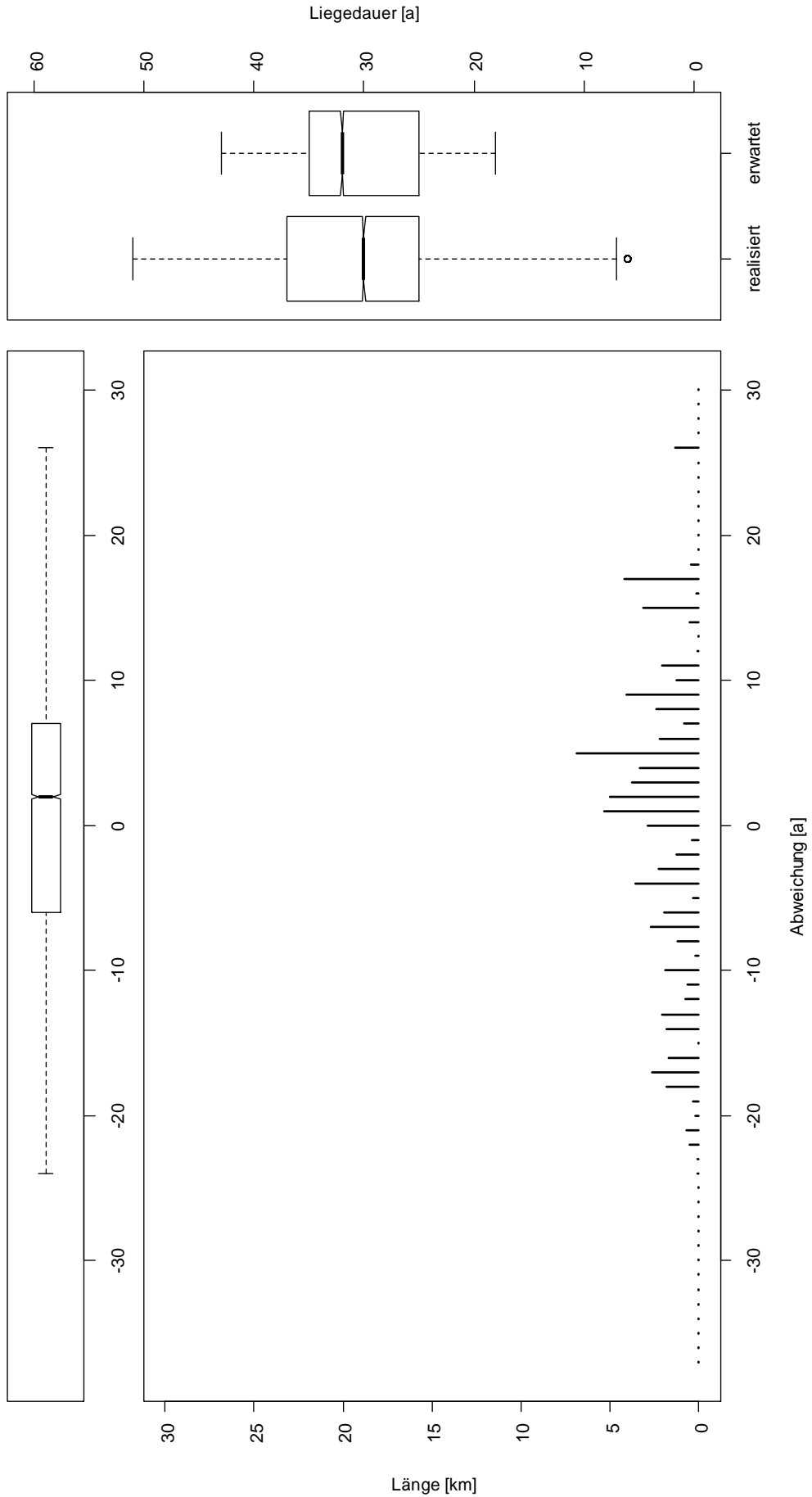


Abbildung 6: Betonschwellen (79,28 km)

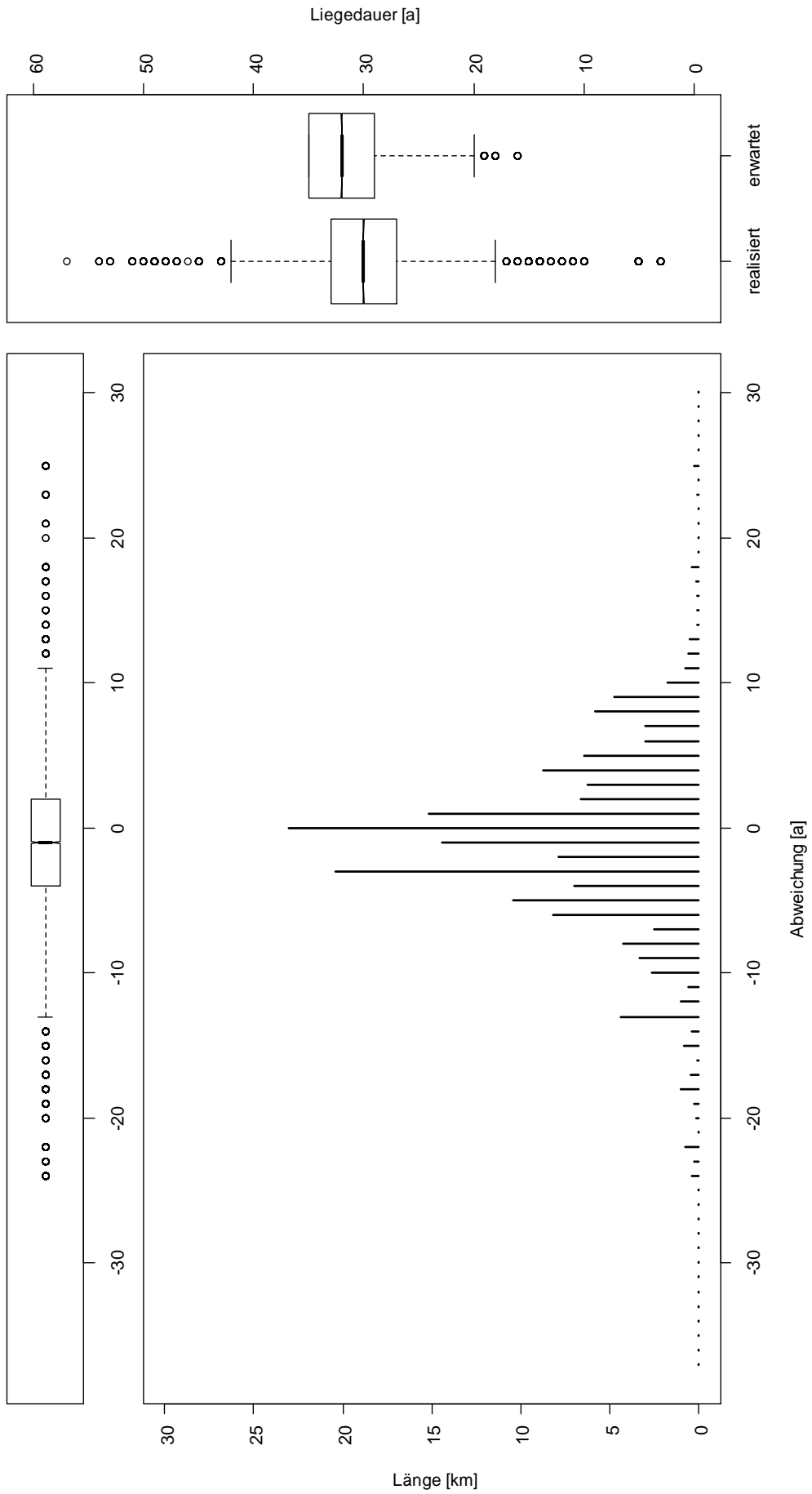


Abbildung 7: Holzschwellen (179,40 km)

In Tabelle 9 sollen die Kenngrößen der Unterteilung in die Schwellenformen nochmals zusammengefasst werden:

Tabelle 9: Kenngrößen der Datengesamtheit aufgeteilt in die Schwellenformen

	Beton	Holz
Mittlere realisiert Liegedauer [a]	30,50	29,20
Mittlere erwartete Liegedauer [a]	29,83	30,30
Mittlere Abweichung [a]	0,67	-1,10
Länge [km]	79,28	179,40

3.4 Unterteilung Belastungsklassen

Die Datengesamtheit wird nun in die Belastungsklassen aufgespalten um so einen differenzierteren Einblick zu ermöglichen. Aufgrund der geringen Länge von 4,1 km und der dadurch schwachen statistischen Aussagekraft, wird die Belastungsklasse „8.000 - 15.000 GesBt/Tag,Gleis“ hier nicht weiter behandelt. Es werden weiters nicht mehr die erwarteten Liegedauern als Boxplots angegeben, da sich diese Form der Darstellung für die Art der Datenverteilung nicht eignet.

Für die Belastungsklasse „> 70.000 GesBt/Tag,Gleis“ errechnet sich eine mittlere realisierte Liegedauer von 24,26 Jahren und ein mittlerer Erwartungswert von 20,42 Jahren, wodurch sich eine mittlere Abweichung von +3,84 Jahren ergibt. Die betrachtete Länge beträgt 35,78 km. In Abbildung 8 ist erkennbar, dass der Median der realisierten Liegedauern bei ca. 25 Jahren liegt und sich zentral zwischen oberem und unterem Quartil befindet. Der Interquartilsabstand beträgt ca. 6 Jahre, 50 Prozent der Daten befinden sich also zwischen den Jahren 22 und 28. Das Säulendiagramm und der Boxplot der Abweichung decken sich mit den Aussagen der Mittelwerte. Der Median befindet sich bei ca. +5 Jahren und ist ebenfalls zentrisch in der Box situiert. Die Mehrheit der Daten liegt hier zwischen 0 und 10 Jahren.

Ein ähnliches Bild zeigt die Belastungsklasse „45.000 – 70.000 GesBt/Tag,Gleis“, wo die mittlere realisierte Liegedauer bei 27,95 Jahren liegt. Eine mittlere Abweichung von +3,16 Jahren ergibt sich durch eine mittlere erwartete Liegedauer von 24,79 Jahren. Die

Gesamtlänge dieser Belastungsklasse beläuft sich auf 27,73 km und stellt somit die Klasse mit der kürzesten Länge dar. Der in Abbildung 9 dargelegte Boxplot der realisierten Liegedauern zeigt, dass diese höher sind als die der Belastungsklasse „> 70.000 GesBt/Tag,Gleis“. Der Median befindet sich dabei bei ca. 29 Jahren, das obere Quartil bei ca. 30 Jahren. Der größere Abstand zum unteren Quartil (ca. 26 Jahre), deutet auf eine schiefe Verteilung der Daten hin. Bei den Darstellungen der Abweichungsverteilung scheinen Affinitäten zur höheren Belastungsklasse auf. Ebenso befindet sich ein Großteil der Datenmenge zwischen den Jahren 0 und 10. Jedoch ist eine leicht schiefe Verteilung nach rechts bemerkbar, was sich auch in der bereits erwähnten, niedrigeren mittleren Abweichung widerspiegelt.

Durch die Differenz der mittleren realisierten Liegedauer (30,15 Jahre) und des mittleren Erwartungswerts (31,76 Jahre) ergibt sich für die Belastungsklasse „30.000 – 45.000 GesBt/Tag,Gleis“ eine mittlere Abweichung von -1,61 Jahren. Die Belastungskategorie umfasst eine Länge von 89,19 km. Im direkten Vergleich mit den höherrangigen Klassen sind Nutzungsdauern jedoch erneut länger. Die Verteilung der realisierten Liegedauern, wie in Abbildung 10 dargestellt, ist rechtsschief, erkennbar an der Position des Medians. In dem Boxplot der Abweichungen befindet sich der Median beim Wert 0, die Verteilung ist jedoch ebenfalls rechtsschief. Dies ist unter anderem auf den, in den Kapiteln „Ergebnisse/Datengesamtheit“ und „Ergebnisse/Unterteilung Schwellen“, bereits beschriebenen Peak bei -3 Jahren zurückzuführen, der hier in etwa die gleiche Größe hat wie der Wert an der Stelle bei 0 Jahren.

Mit einer Länge von 101,88 km ist die Belastungsklasse „15.000 – 30.000 GesBt/Tag,Gleis“ in dieser Aufteilung am stärksten vertreten. Sie weist außerdem die größte, negative, mittlere Abweichung mit -1,92 Jahren auf. Die mittleren realisierten und erwarteten Liegedauer belaufen sich auf 31,41 und 33,33 Jahre. Der Median der realisierten Liegedauer, die wiederum rechtsschief verteilt ist, liegt bei etwa 31 Jahren. Wie der Mittelwert der Abweichungen findet sich auch der Median der Abweichungen im negativen Bereich. Die Verteilung der Daten erscheint aufgrund der Situierung des Medians relativ gleichmäßig.

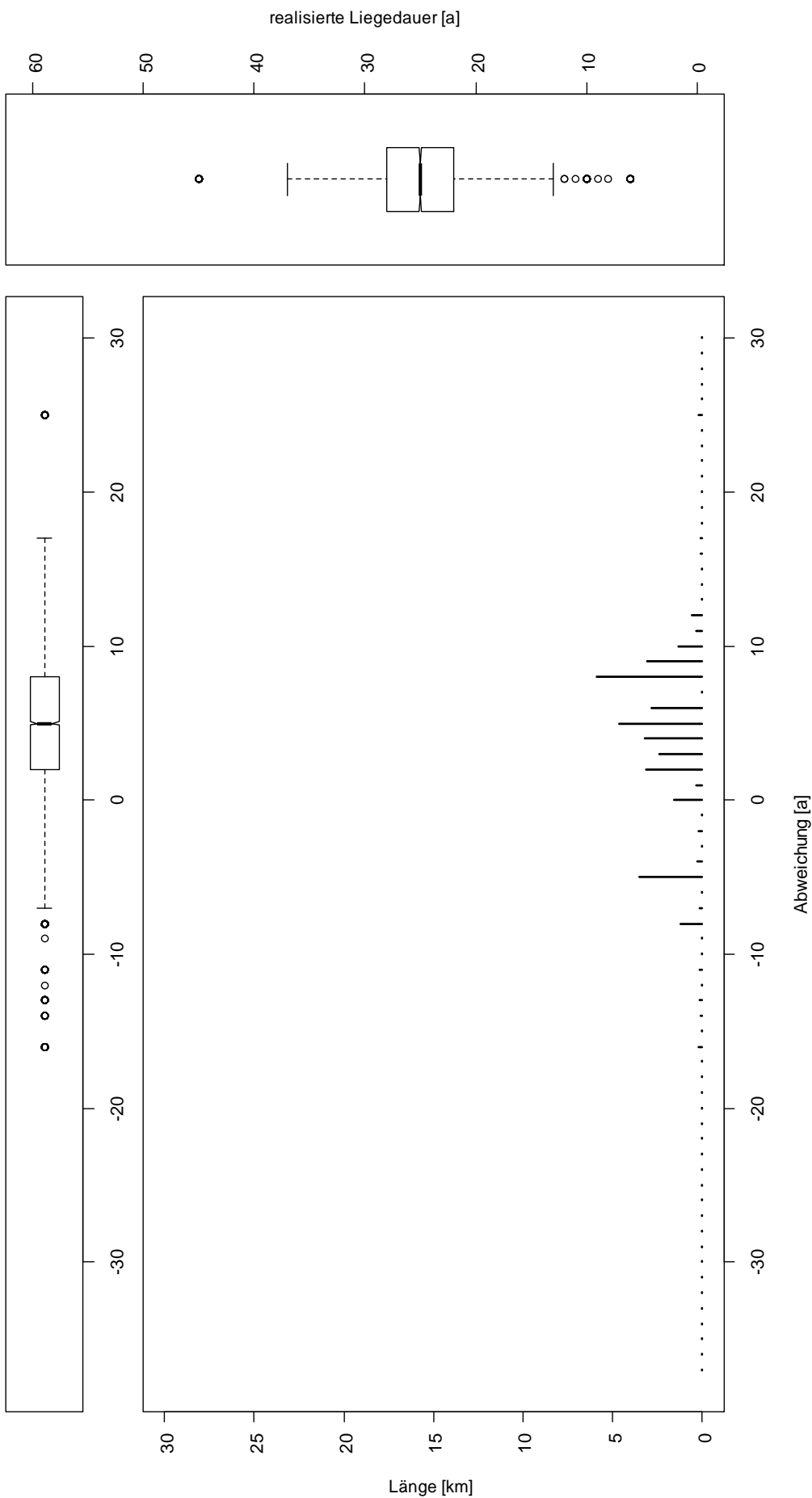


Abbildung 8: > 70.000 GesBt/Tag, Gleis (35,78 km)

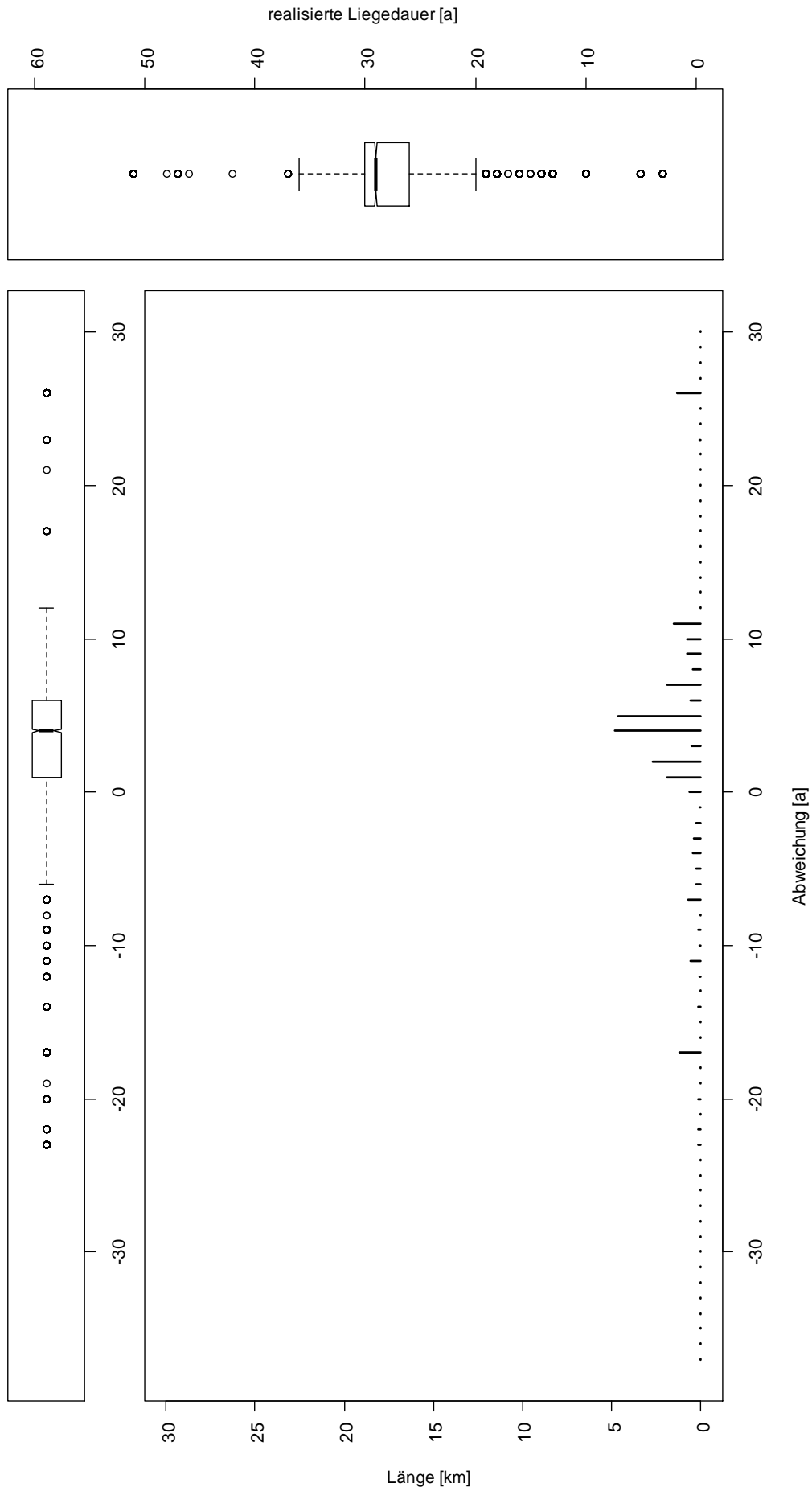


Abbildung 9: 45.000-70.000 GesBt/Tag, Gleis (27,73 km)

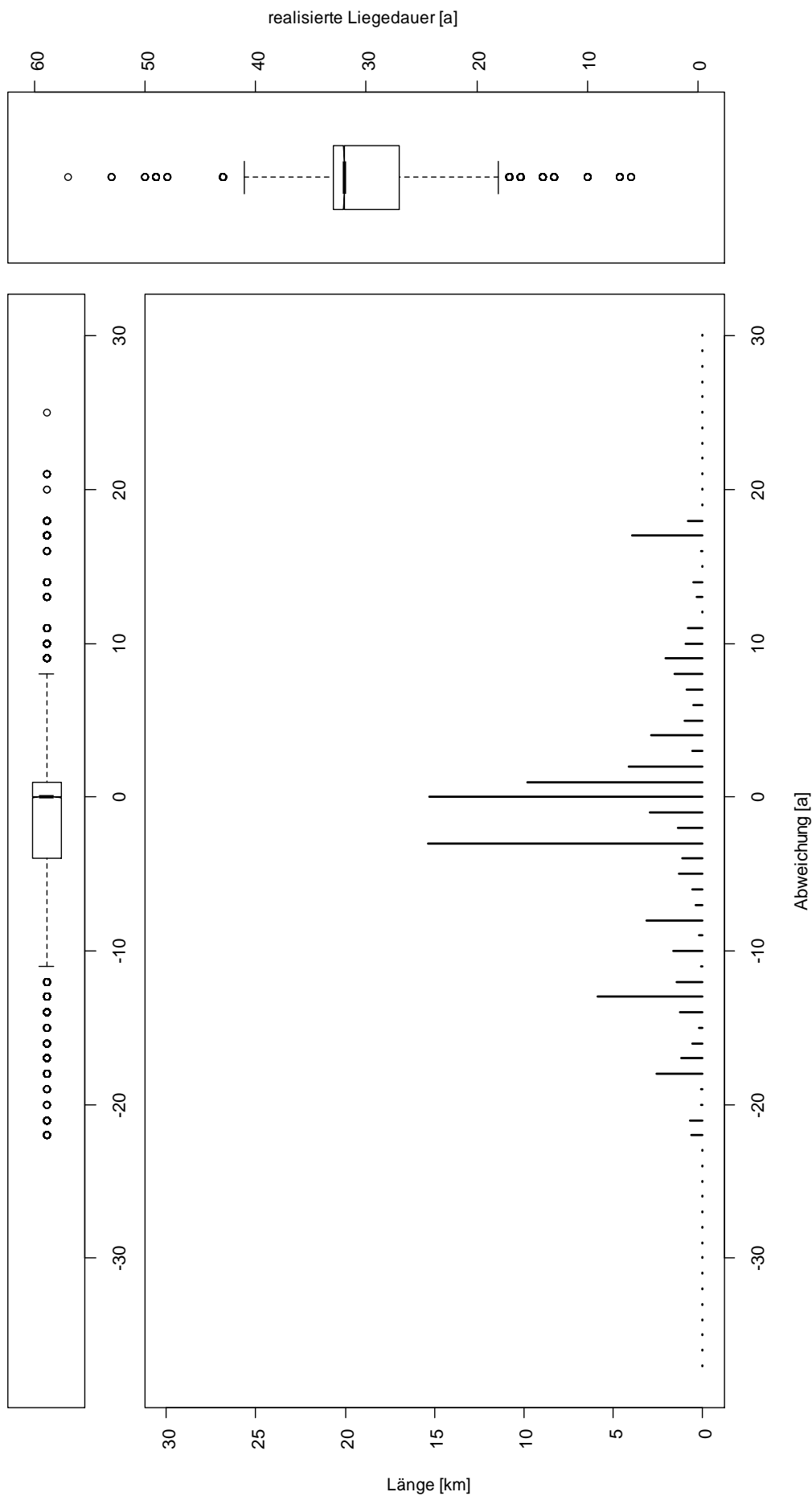


Abbildung 10: 30.000-45.000 GesBt/Tag, Gleis (89,19 km)

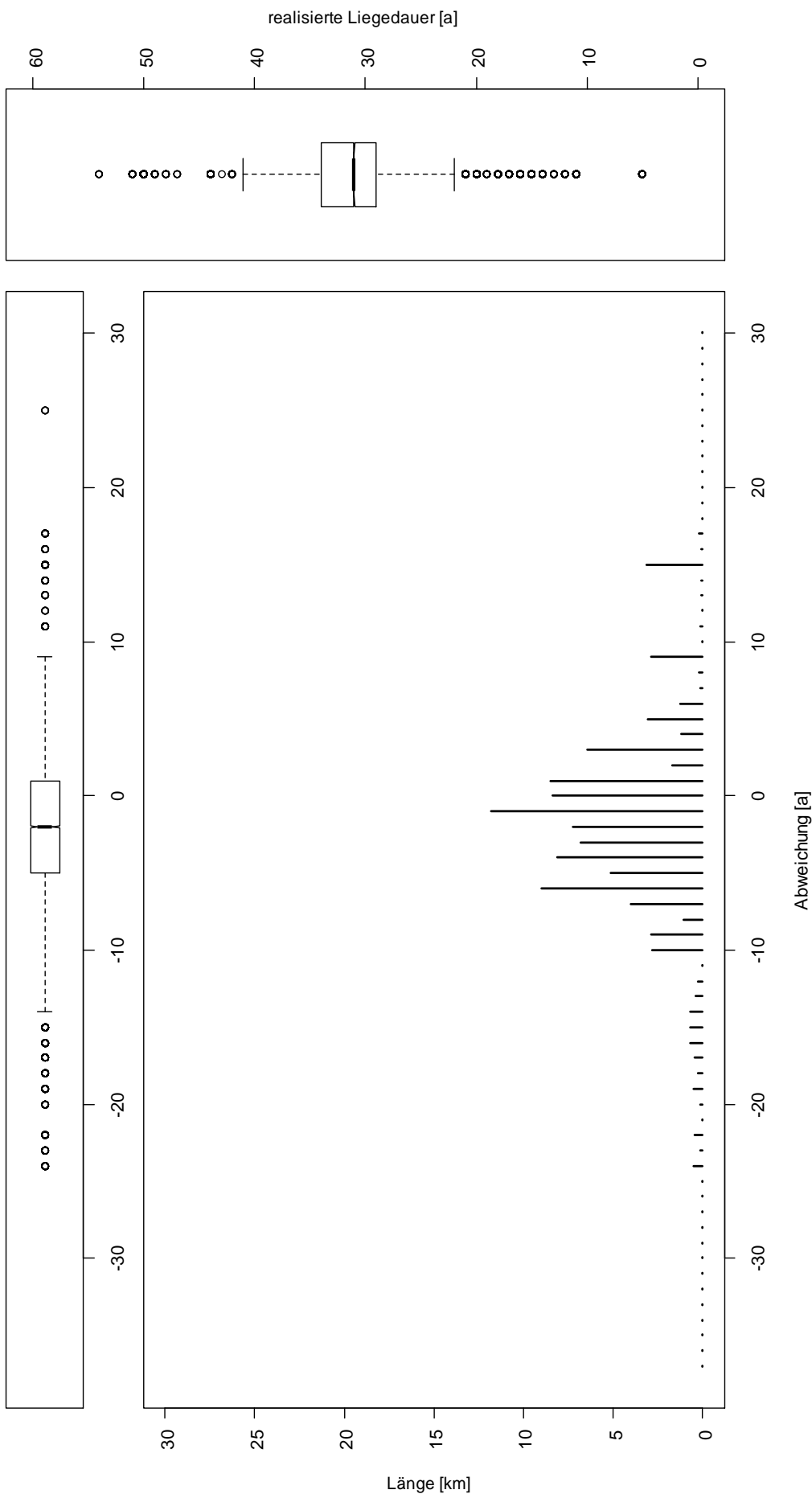


Abbildung 11: 15.000-30.000 GesBt/Tag, Gleis (101,88 km)

Ergebnisse

Zur Übersichtlichkeit sind die Kennwerte der einzelnen Belastungsklassen nachfolgend nochmals aufgelistet:

Tabelle 10: Kenngrößen der Datengesamtheit aufgeteilt in die Belastungsklassen

	>70.000	45.000-70.000	30.000-45.000	15.000-30.000
Mittlere realisierte Liegedauer [a]	24,26	27,95	30,15	31,41
Mittlere erwartete Liegedauer [a]	20,42	24,79	31,76	33,33
Mittlere Abweichung [a]	3,84	3,16	-1,61	-1,92
Länge [km]	35,78	27,73	89,19	101,88

Mit Bedachtnahme auf die Unterteilung in die Schwellenarten ist feststellbar, dass in den höherrangigen Belastungsklassen (> 70.000 GesBt/Tag,Gleis und 45.000 – 70.000 GesBt/Tag,Gleis) mehrheitlich Betonschwellen ausgebaut wurden. In den niederrangigen Belastungsklassen (30.000 – 45.000 GesBt/Tag,Gleis und 15.000 – 30.000 GesBt/Tag,Gleis) ist das Gegenteil der Fall.

Es ist nun zu klären, ob die Haltbarkeit der Schwellen oder andere Umstände für das Nicht-Erreichen der Erwartungswerte verantwortlich sind. Holzschwellen sind in jedem Fall anfälliger für jegliche Art von Wasser im Untergrund. Funktionierende Drainagen sind hier Grundvoraussetzung für das Erreichen des Erwartungswertes. In der Datenbank sind derzeit noch keine Einträge über die Beschaffenheit der jeweiligen Untergründe vorhanden. Mit dieser Ausgangslage lässt sich folgende Frage für zukünftige Analysen formulieren: Nimmt im Schnitt der Zustand des Untergrundes mit sinkender Belastungsklasse ab?

3.5 Unterteilung Schwellen/Belastungsklassen

Um einen tieferen Einblick in die Datengesamtheit zu erlangen, wird diese nun nach Schwellenform und Belastungsklasse unterteilt. Auch in diesem Abschnitt wird aufgrund der geringen Länge die Belastungsklasse „8.000 -15.000 GesBt/Tag,Gleis“ nicht berücksichtigt werden.

Die hochrangigste Klasse „Betonschwellen/>70.000 GesBt/Tag,Gleis“ verfügt mit 11,60 km die geringste Länge dieser Aufteilung. Die Darstellung des Boxplots der realisierten Liegedauern (siehe Abbildung 12) ist aufgrund der Datenverteilung nicht sinnvoll und wird deshalb nicht zur Auswertung herangezogen. Der Boxplot der Abweichung ist leicht rechtsschief, der Median liegt bei etwa 3,5 Jahren. Diese Information deckt sich mit dem Mittelwert der Abweichung (1,83 Jahre). Am Säulendiagramm wird die geringe Anzahl der tatsächlichen Werte sichtbar. Mit etwa 5 km weist die Abweichung bei +6 Jahren die größte Länge auf.

In der Klasse „Holzschwellen/>70.000 GesBt/Tag,Gleis“ (siehe Abbildung 13) ist die Verteilung des Boxplots der Abweichungen ebenfalls rechtsschief. Der Median liegt bei ca. 6 Jahren, der Mittelwert bei 4,81 Jahren. Mehr als 50 Prozent der Daten liegen über dem Erwartungswert. Einzig bei einer Abweichung von -5 Jahren ist ein beachtenswerter Peak im negativen Abweichungsbereich ersichtlich. Die mittlere realisierte Liegedauer beläuft sich auf 24,73 Jahre, die Altersverteilung ist dem entsprechenden Boxplot zu entnehmen.

Mit 14,85 km Länge geht die Klasse „Betonschwellen/45.000-70.000 GesBt/Tag,Gleis“ (siehe Abbildung 14) in die Auswertungen ein. Die Abweichungsverteilung ist breit gefächert, der Großteil der Daten erstreckt sich von 0 bis 11 Jahren. Der Mittelwert beträgt 3,82 Jahre. In der gesamten Verteilung ist kein Peak in deutlicher Form ersichtlich.

Die zweitkürzeste Klasse „Holzschwellen/45.000-70.000 GesBt/Tag,Gleis“ (siehe Abbildung 15) umfasst 12,89 km. Sie weist einen Peak der Abweichungen bei +4 Jahren auf. Weiters findet man bei +5 und +7 Jahren nennenswerte Längen, ansonsten ist die Verteilung ebenfalls breit gestaffelt. Der Mittelwert der Liegedauer beträgt 26,69 Jahre und liegt damit unter dem Median (ca. 29 Jahre).

In der Kategorie „Betonschwellen/30.000-45.000 GesBt/Tag,Gleis“ (siehe Abbildung 16), mit einer Länge von 29,01 km, überschreiten der Median der realisierten Liegedauer mit ca. 33 Jahren und der Mittelwert mit 31,54 Jahren erstmals die Grenze von 30 Jahren.

Die Verteilung der Abweichung ist extrem breit gefächert, was am Säulendiagramm sowie am Boxplot ersichtlich ist. Letzterer weist eine rechtsschiefe Verteilung auf. 50 Prozent der Daten erstrecken sich dabei über eine Spanne von 20 Jahren.

Die zwei Peaks bei den Abweichung von 0 und -3 Jahren, die schon in der Datengesamtheit, in der Schwellenaufteilung (Holzschwellen), sowie in der Belastungsaufteilung (30.000-45.000 GesBt/Tag,Gleis) vermerkt wurden, sind auch in der Klasse „Holzschwellen/30.000-45.000 GesBt/Tag,Gleis“ (siehe Abbildung 17) offenkundig. Im Vergleich zur vorangegangenen Untergruppe ist hier die Altersverteilung wesentlich enger geschichtet. An den Quartilen der realisierten Liegedauer ist erkennbar, dass 50 Prozent der Gleise ein Alter zwischen 29 bis 32 Jahren erreicht haben. Die Erwartungen für die Nutzungsdauern werden hier jedoch knapp nicht erfüllt: Der Median der Abweichung liegt bei -1, der Mittelwert bei -2,31 Jahren. Die Länge beträgt 60,18 km und rangiert somit an zweiter Stelle in dieser Aufteilung.

Die rechtsschiefe Abweichungsverteilung der Gruppe „Betonschwellen/15.000-30.000 GesBt/Tag,Gleis“ (siehe Abbildung 18) ist ebenfalls breit angeordnet und erstreckt sich mit 50 Prozent der Daten über ca. 12 Jahre. Der Mittelwert beträgt -0,44 Jahre und deckt sich somit ungefähr mit dem Median. Über die gesamte Abweichungsverteilung ist kein nennenswerter Peak ersichtlich. Die Gesamtlänge beträgt 23,23 km.

Im Vergleich aller Untergruppen verfügt „Holzschwellen/15.000-30.000 GesBt/Tag,Gleis“ über die gleichmäßigste Abweichungsverteilung, sowie mit 78,65 km die die größte Länge. Die Verteilung ist ebenfalls rechtsschief, es liegen 75 Prozent der Daten unter dem Erwartungswert. Der Peak befindet sich hier bei -1 Jahr. Bei -3 Jahren ist kein Höhepunkt erkennbar, jedoch beträgt die Länge hier beachtenswerte 6,8 km. Der Mittelwert von -2,36 Jahren deckt sich in etwa mit dem Median der Abweichungsverteilung.

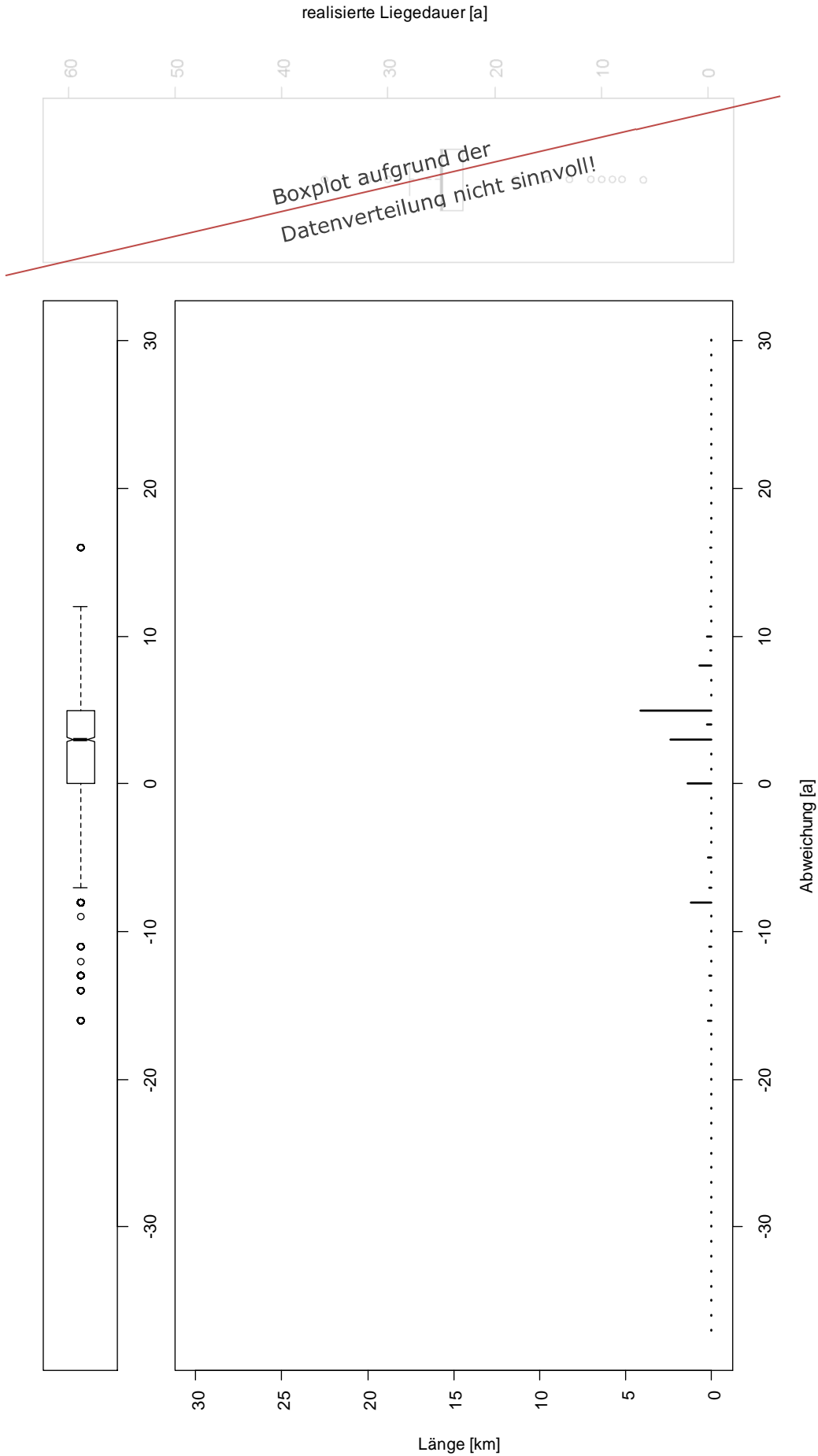


Abbildung 12: Betonschwellen/>70.000 GesBt/Tag, Gleis (11,60 km)

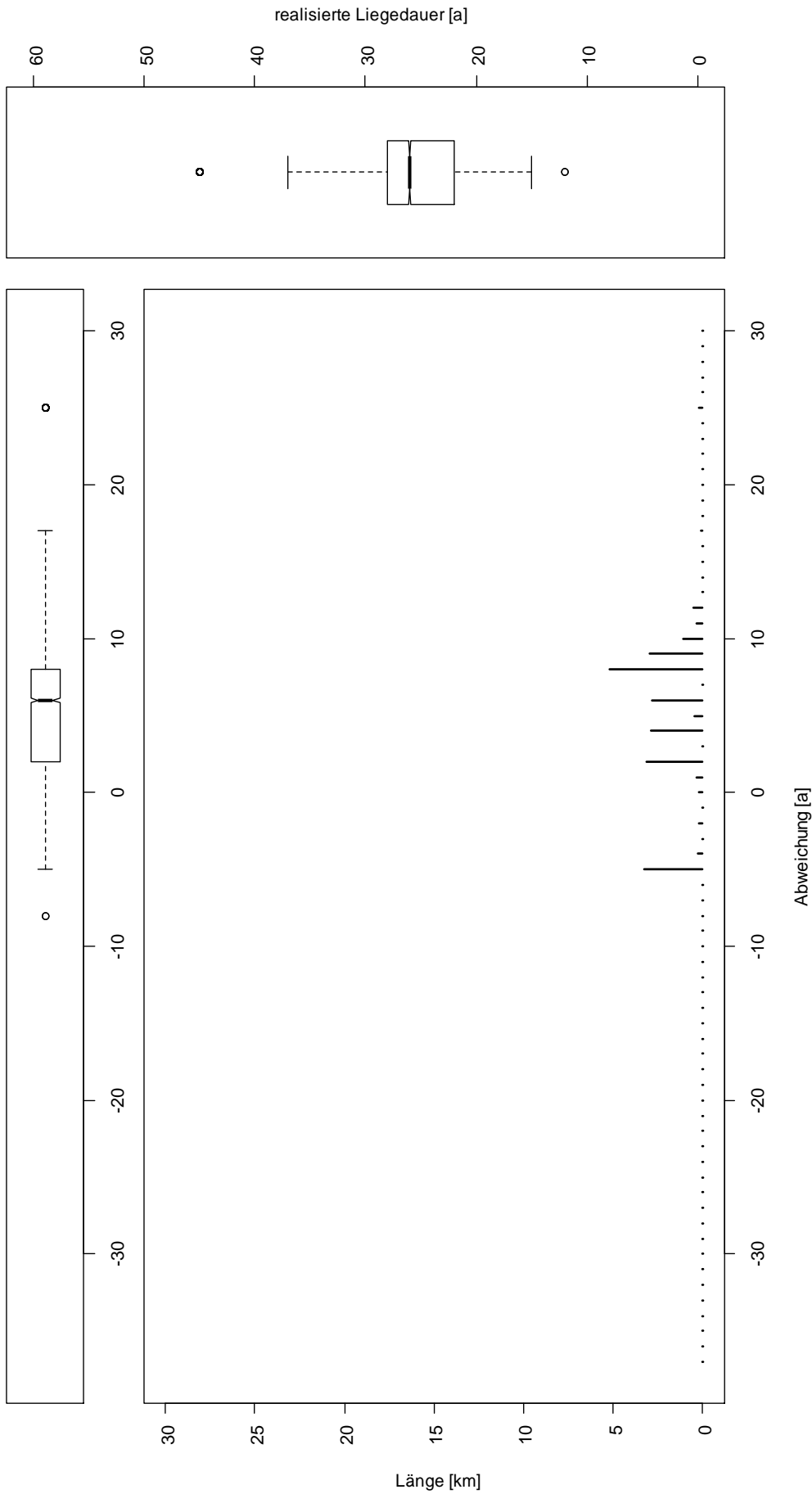


Abbildung 13: Holzschwellen/>70.000 GesBt/Tag,Gleis (24,18 km)

Ergebnisse

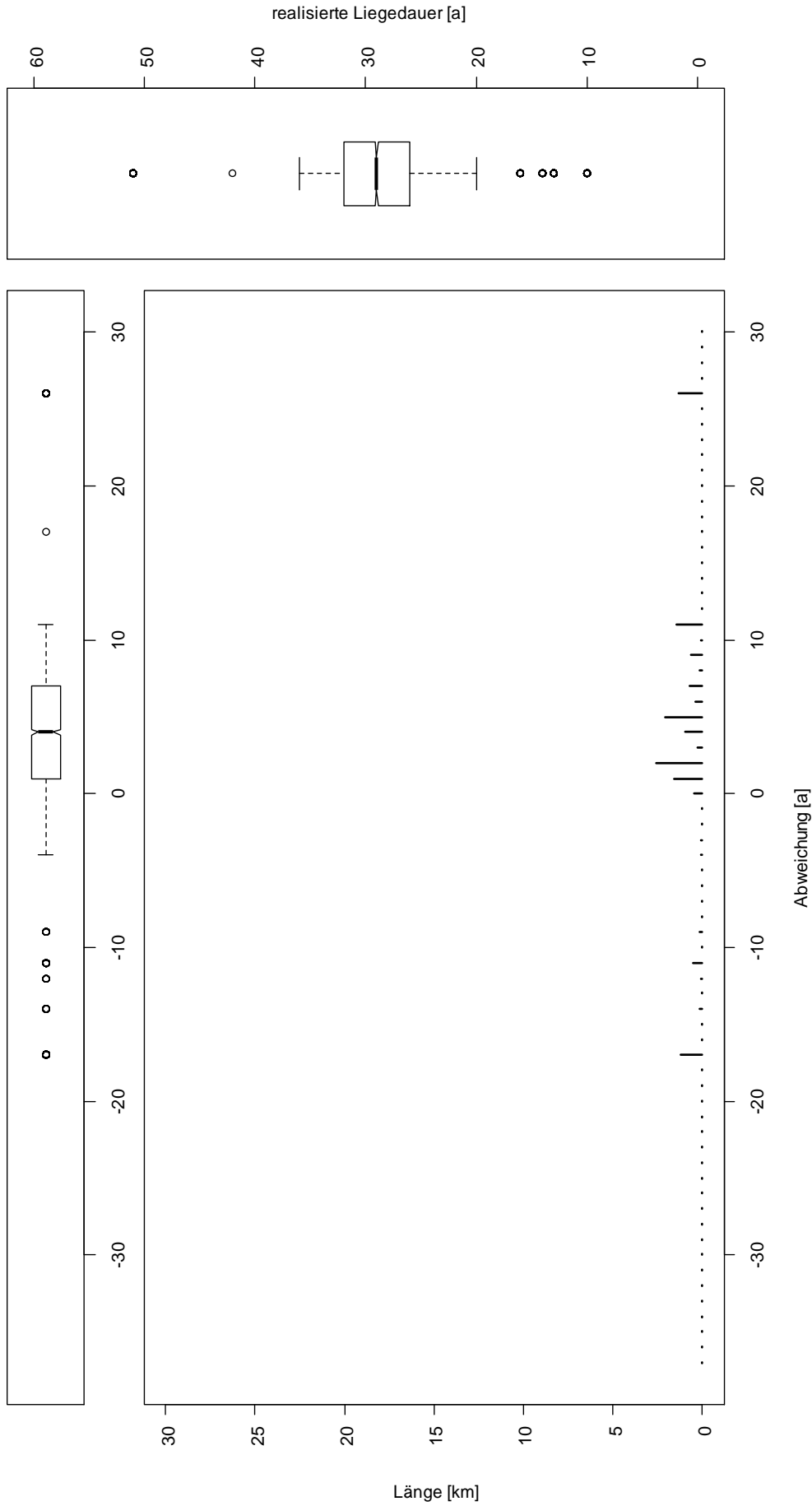


Abbildung 14: Betonschwellen/45.000-70.0000 GesBt/Tag,Gleis (14,85 km)

Ergebnisse

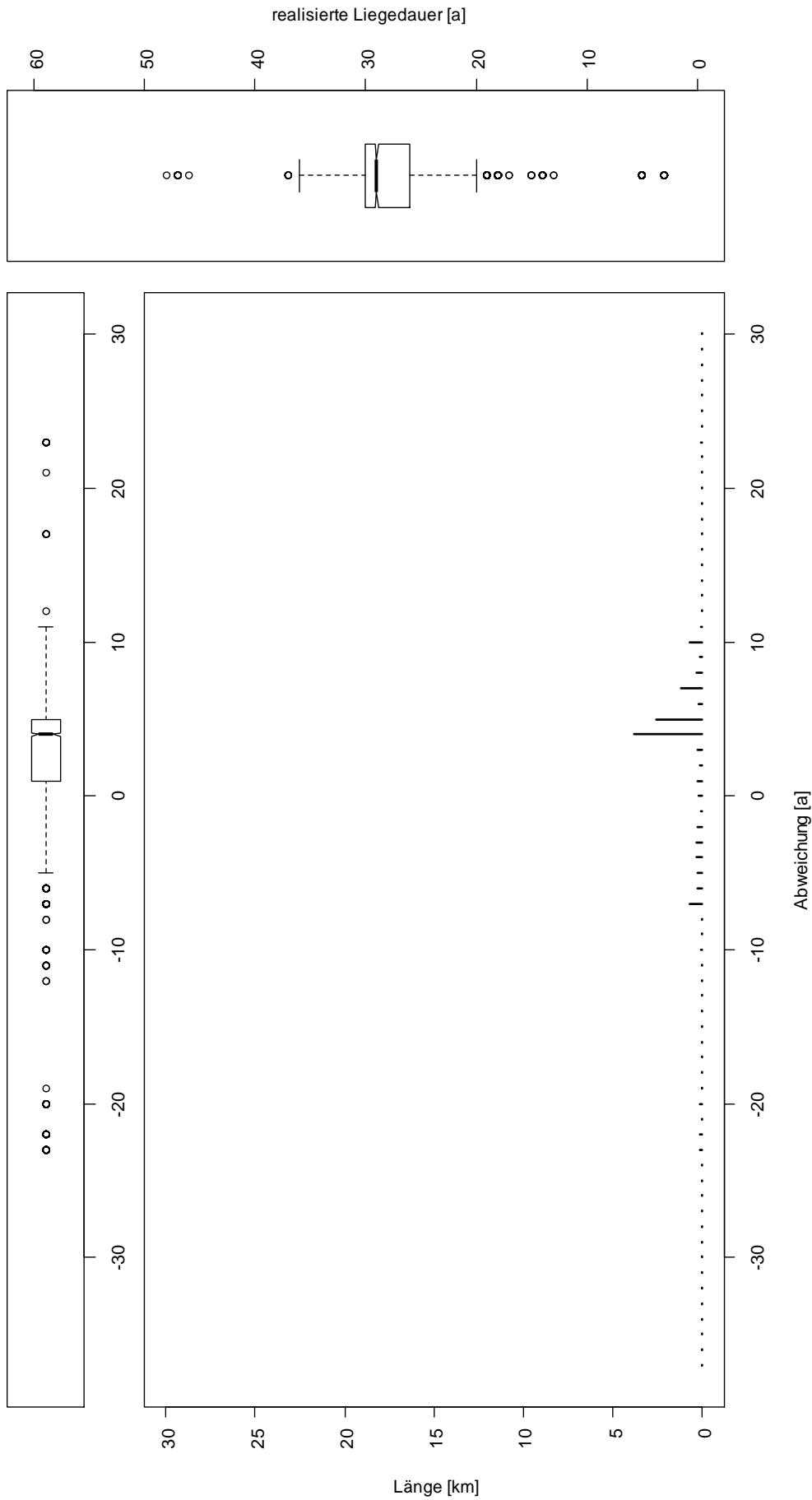


Abbildung 15: Holzschwellen/45.0000-70.000 GesBt/Tag, Gleis (12,89 km)

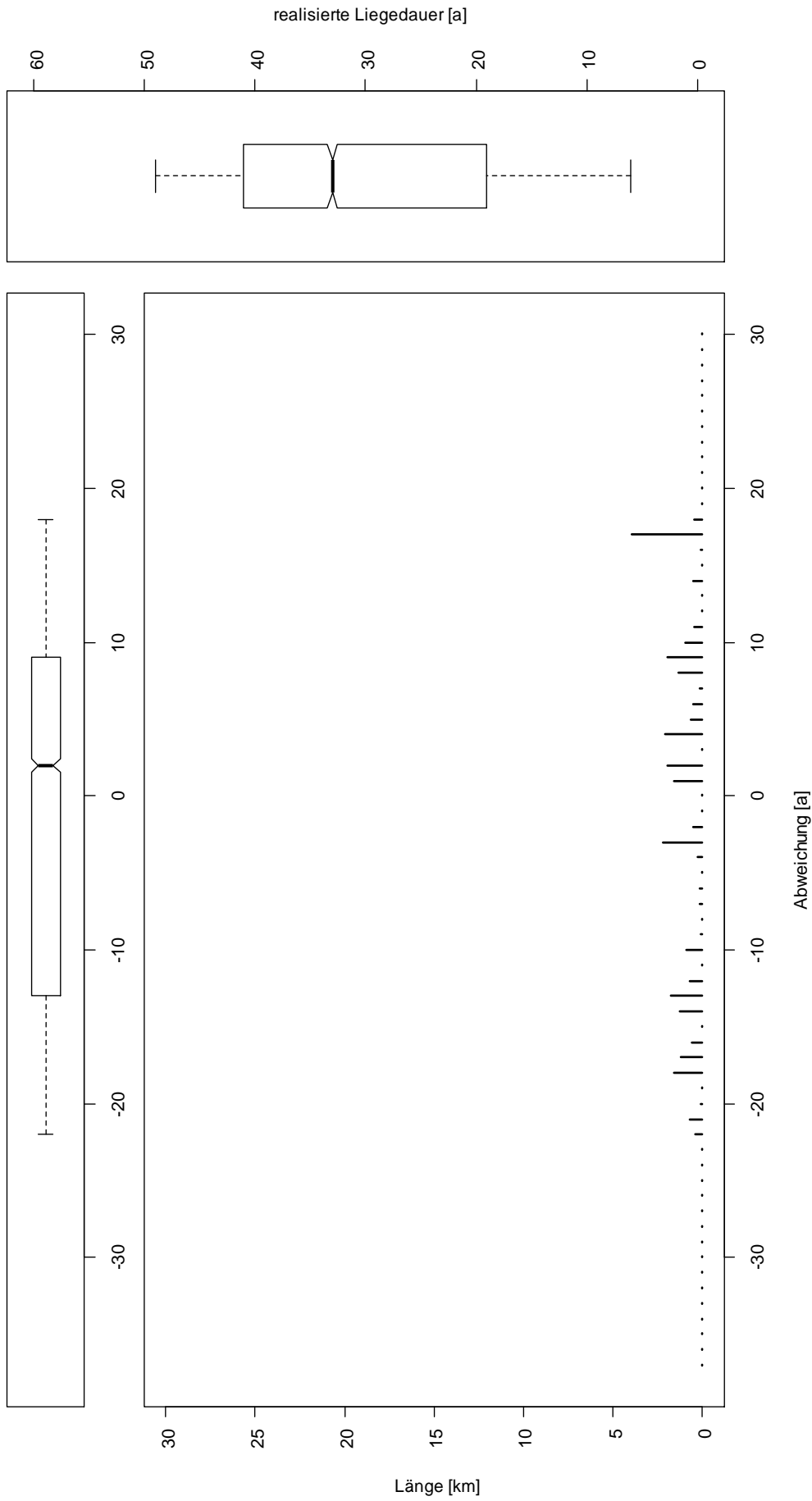


Abbildung 16: Betonschwellen/30.000-45.0000 GesBt/Tag, Gleis (29,01 km)

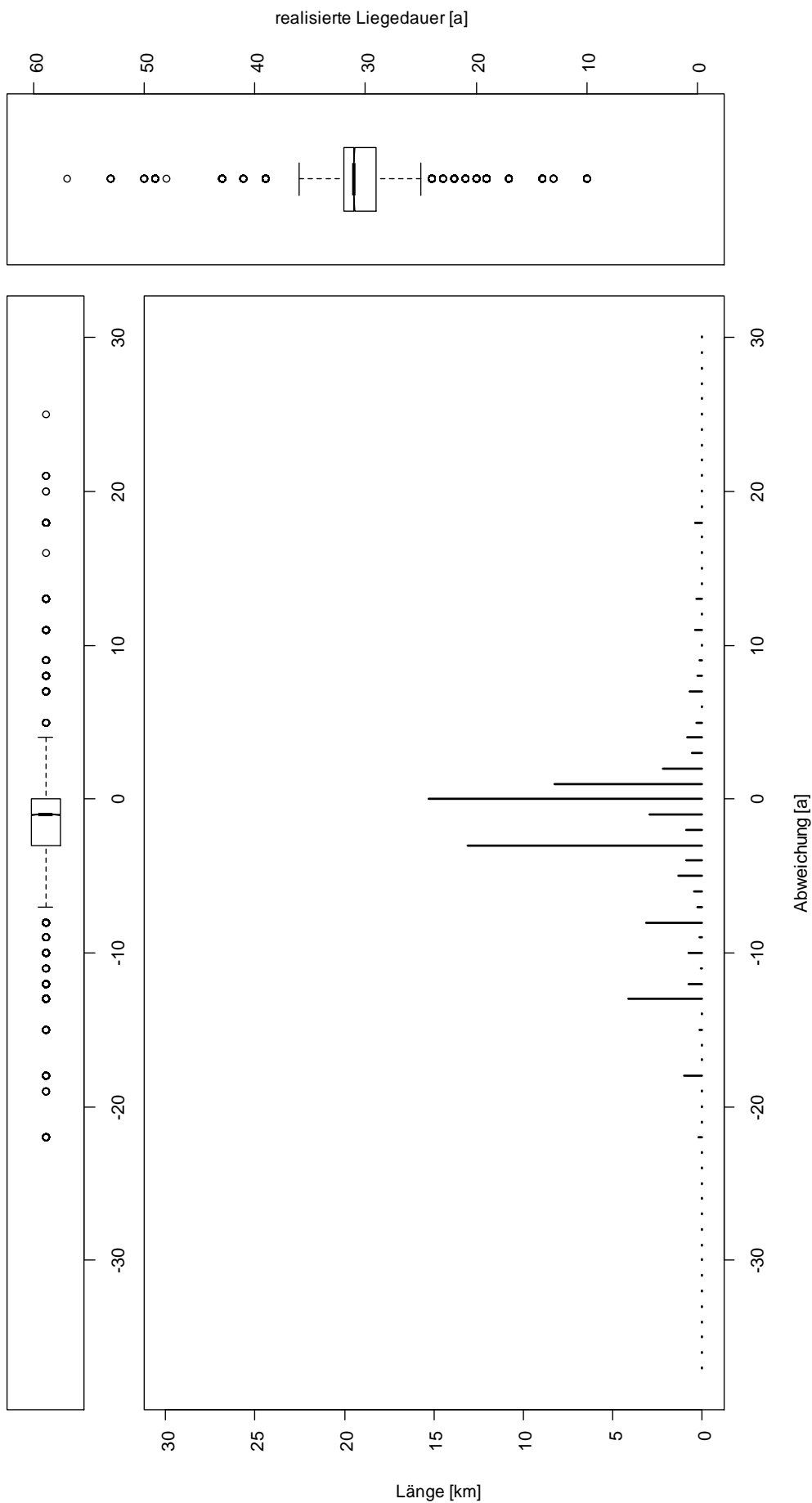


Abbildung 17: Holzschwellen/30.000-45.0000 GesBt/Tag,Gleis (60,18 km)

Ergebnisse

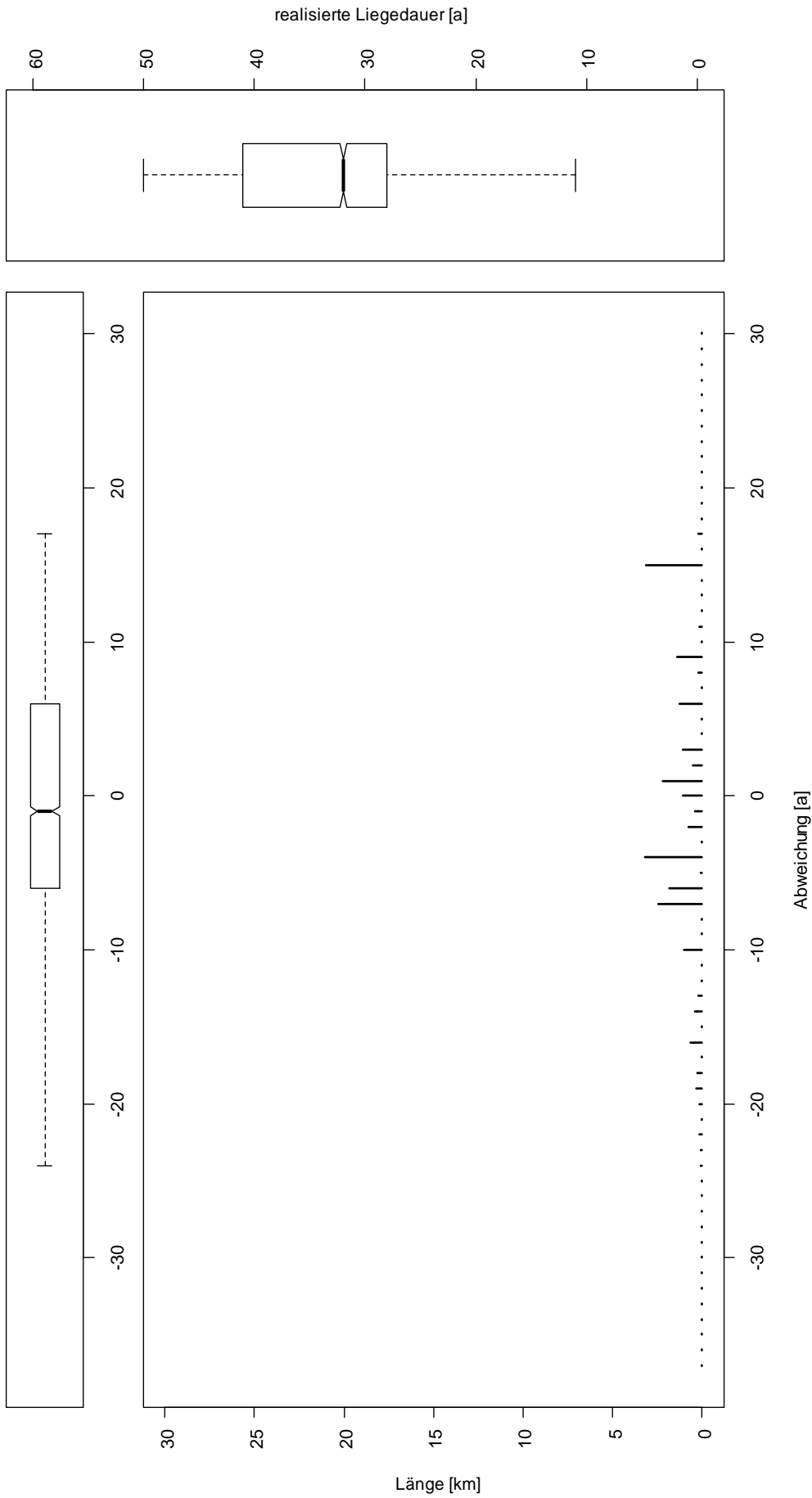


Abbildung 18: Betonschwellen/15.0000-30.0000 GesBt/Tag, Gleis (23,23 km)

Ergebnisse

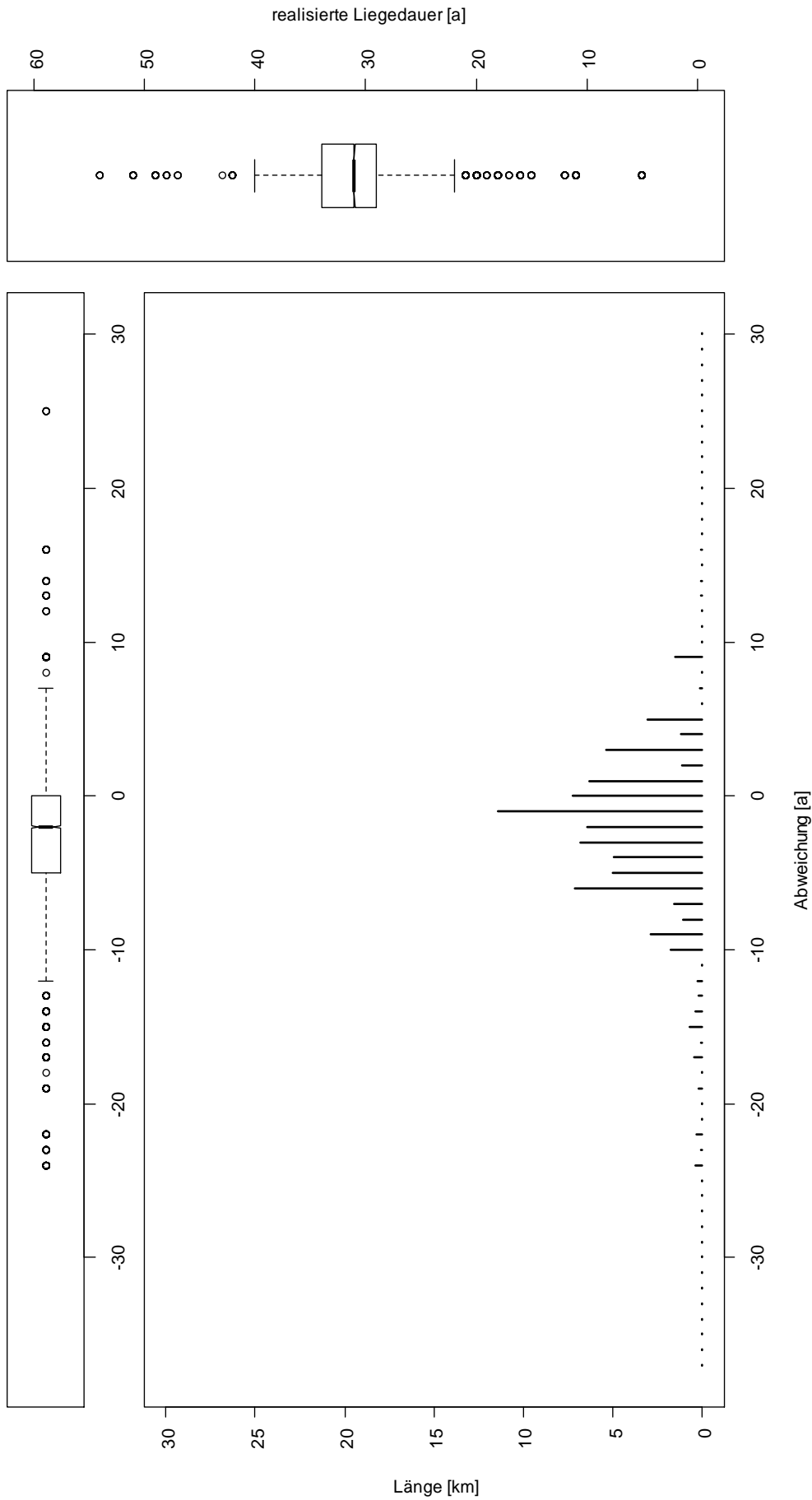


Abbildung 19: Holzschwellen/15.0000-30.0000 GesBt/Tag,Gleis (78,65 km)

Ergebnisse

In Tabelle 11 sollen nochmals die wichtigsten Kenngrößen der Unterteilung Schwellenform/Belastungsklasse angeführt werden:

Tabelle 11: Kenngrößen der Datengesamtheit aufgeteilt in die Schwellenformen und Belastungsklassen

	Beton	Holz	Beton	Holz	Beton	Holz	Beton	Holz
	>70.000		45.000-70.000		30.000-45.000		15.000-30.000	
Mittlere realisierte Liegedauer [a]	23,28	24,73	29,04	26,69	31,54	29,47	33,83	30,69
Mittlere erwartete Liegedauer [a]	21,45	19,92	25,22	24,29	31,71	31,78	34,27	33,05
Mittlere Abweichung [a]	1,83	4,81	3,82	2,40	-0,17	-2,31	-0,44	-2,36
Länge [km]	11,60	24,18	14,85	12,89	29,01	60,18	23,23	78,65

Die Erkenntnisse der Aufteilung Schwellenform/Belastungsklasse decken sich mit den zuvor getätigten Untersuchungen: Während bei Gleisen mit Holzschwellen dichtere Abweichungsverteilungen auszumachen sind, findet man bei Betonschwellen ausgedehntere vor. Bei allen „Beton-Klassen“ ist kein nennenswerter Peak erkennbar.

Rührt dieser Umstand daher, dass Betonschwellen in der Einheit Gleis nicht das begrenzende Element darstellen? Oder ist kein Material, sondern zum Beispiel das Ziel die finanzielle Abschreibungsdauer zu erreichen, Auslöser für diesen Umstand?

Bei Holzschwellen entsteht der Eindruck, dass die Erwartungswerte sehr gut gewählt wurden. Jedoch sprechen jene Werte gegen diese Annahme, welche bei der beschriebenen Abweichung von -3 Jahren einen Peak erzeugen. Mit Hilfe der Aufteilung Schwellenform/Belastungsklasse konnte deren Herkunft geortet werden. Diese werden demnach durch die Belastungen von „30.000-45.000 GesBt/Tag,Gleis“ und „15.000-30.000 GesBt/Tag,Gleis“ verursacht. Mittels einer genauen Untersuchung dieser Klassen konnten drei Standardelemente ermittelt werden, die relevante Längen zum Peak bei der Abweichungsverteilung von -3 Jahren beitragen. Nachfolgend soll auf diese im Detail eingegangen werden.

3.6 Standardelemente 30.000-45.000 R>600 54E2 Holz, 30.000-45.000 R>600 49E1 Holz und 15.000-30.000 R>600 49E1 Holz

In diesem Kapitel wird das Hauptaugenmerk auf drei spezielle Standardelemente gelegt. Dafür wurde jenes gewählt, welches in der Gesamtverteilung die größte Länge aufweist. Außerdem wurden zwei weitere Kombinationen betrachtet, deren Abweichungsverteilung sich nicht wie vorgesehen um den Zielwert von 0 Jahren bewegt.

Das Standardelement „30.000-45.000 R>600 54E2 Holz“ (siehe Abbildung 20) ist in der Datengesamtheit mit der größten Länge von 41,51 km vertreten (siehe Abbildung 3). Der Erwartungswert beträgt 32 Jahre. Im Säulendiagramm der Abweichungen zeigt sich wieder deutlich ein Peak bei 0 Jahren, welcher eine Länge von 14,2 km aufweist. In dieser Hinsicht scheint der Erwartungswert gut gewählt worden zu sein. Der Mittelwert jedoch liegt bei -1,45 Jahren, der gegen Ausreißer resistenter Median leicht unter 0 Jahren. Ein zweiter Peak mit einer Länge von 7,2 km ist bei einer Abweichung von -3 Jahren erkennbar. Würde hier eine Korrektur des Erwartungswertes um -1 Jahr auf 31 Jahre zu einer Verbesserung führen? Dieser Eingriff würde ebenfalls eine Verschiebung des Hauptpeaks auf +1 Jahre bewirken, was die Sinnhaftigkeit dessen in Frage stellt. Vielmehr müssten jene Projekte, welche 3 Jahre zu früh ausgebaut wurden genauer betrachtet werden um weitere Schlüsse ziehen zu können.

Deutlich anders ist der Zustand bei dem Standardelement „30.000-45.000 R>600 49E1 Holz“ (siehe Abbildung 21), das 14,48 km umfasst und dessen Erwartungswert ebenfalls bei 32 Jahren liegt. Grundsätzlich scheint es, als ob diese Kombination von zwei Großbaustellen dominiert wird, welche durch einen zu frühen Ausbau das Erreichen des Erwartungswerts verhindern. Nachdem die genaue Projektbetrachtung in dieser Arbeit nicht vorgesehen ist, sollen die Daten dennoch weiter betrachtet werden.

Der Mittelwert der Abweichungen beträgt hier -6,04 Jahre, wobei mehr als 75 Prozent der Datenmenge unter dem Erwartungswert liegt. Das Maximum der Abweichungsverteilung tritt bei -3 Jahren auf. Der Erwartungswert müsste demnach um 3 Jahre herabgesetzt werden. Um den Mittelwert an den Erwartungswert anzugleichen wäre allerdings eine noch größere Abstufung notwendig.

Ergebnisse

In der Kombination „15.000 - 30.000 R>600 49E1 Holz“, welche das zweitlängste Standardelement der Gesamtdatenmenge ist, erreichen mehr als 75 Prozent der Daten den Erwartungswert ebenfalls nicht. In dem Säulendiagramm wird dieser Umstand deutlich: Lediglich ein Wert (ca. 3,4 km), der eine relevante Länge vorweisen kann, liegt über der Abweichung von 0 Jahren. Auch für diese Kombination wird als Lösungsansatz die Senkung des Erwartungswertes von 35 auf 32 Jahre vorgeschlagen.

Ergebnisse

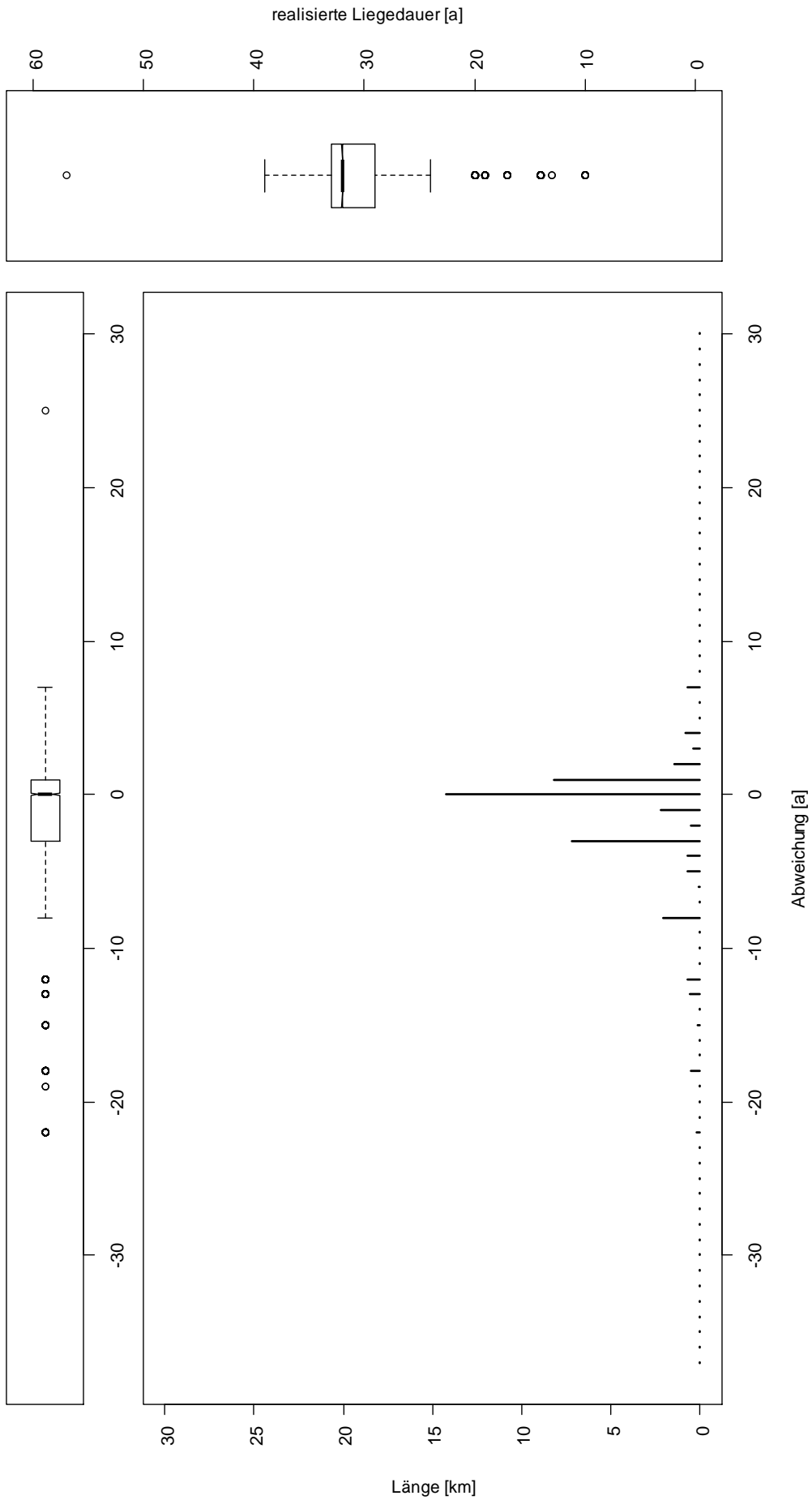


Abbildung 20: 30.000-45.000 R>600 54E2 Holz (41,51 km)

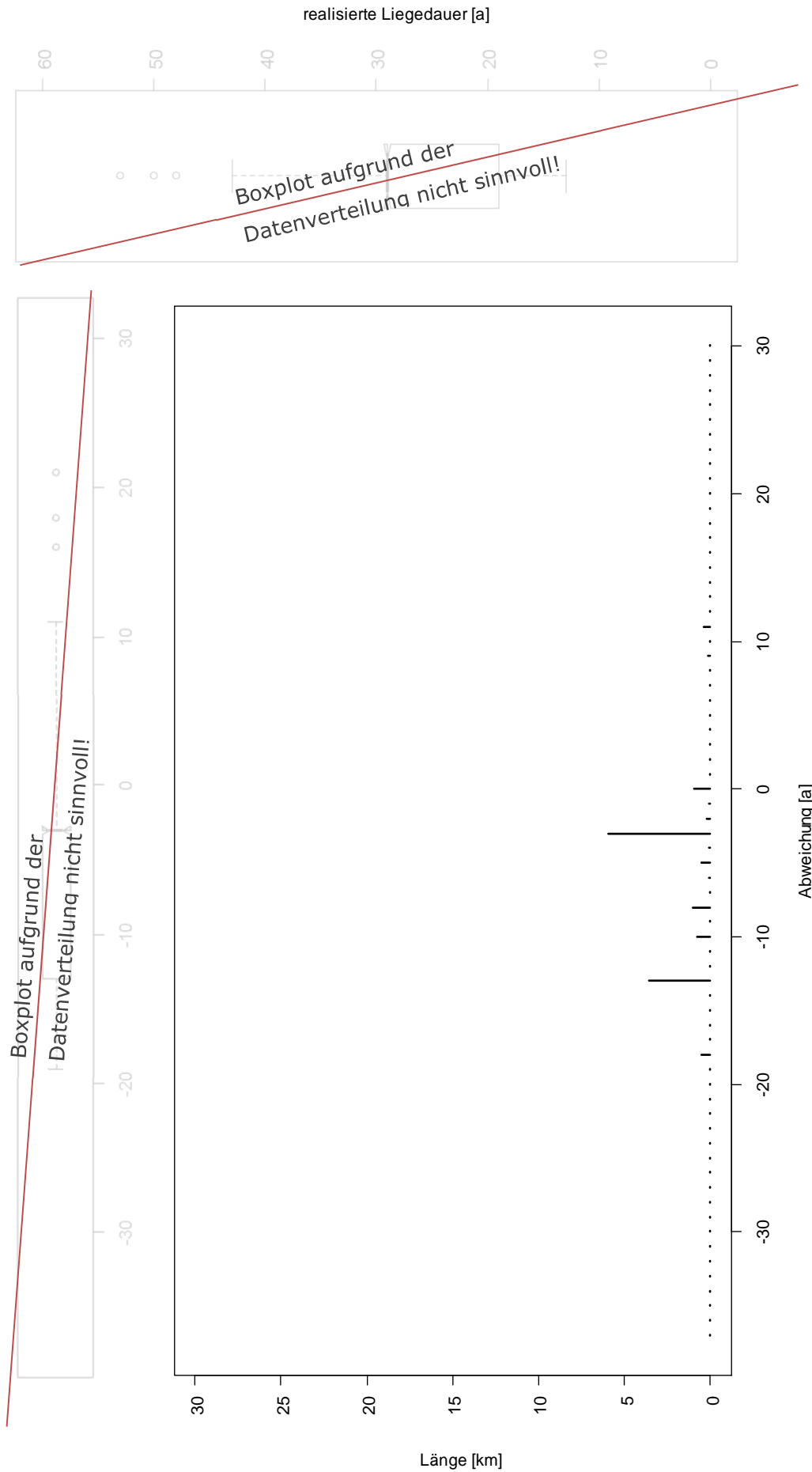


Abbildung 21: 30.000-45.000 R>600 49E1 Holz (14,48 km)

Ergebnisse

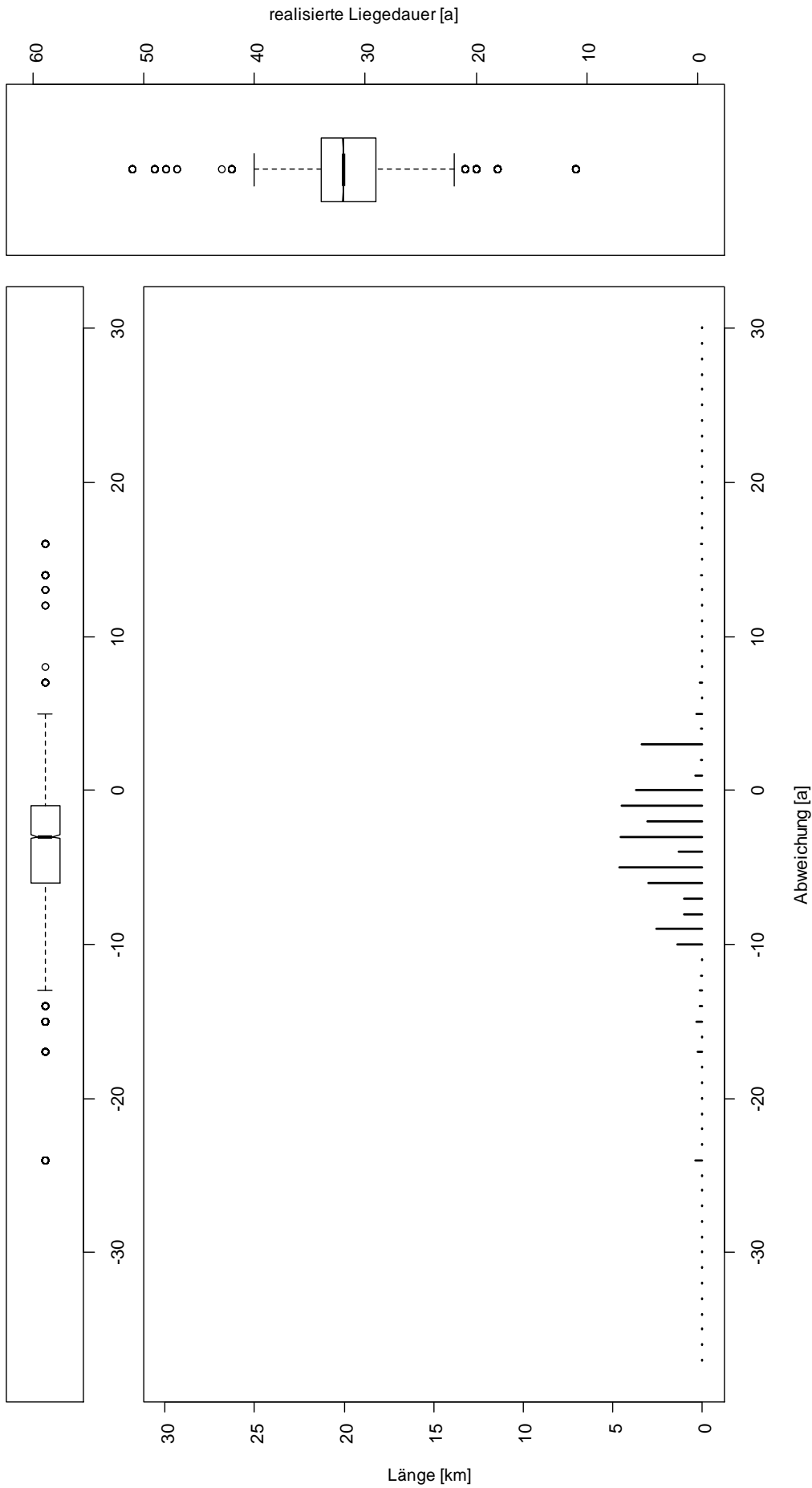


Abbildung 22: 15.000 - 30.000 R>600 49E1 Holz (36,93 km)

In Tabelle 12 werden die wichtigsten Kenngrößen der Standardelemente „30.000-45.000 R>600 54E2 Holz“, „30.000-45.000 R>600 49E1 Holz“, sowie „15.000-30.000 R>600 49E1 Holz“ angeführt.

Tabelle 12: Kenngrößen der Standardelemente „30.000-45.000 R>600 54E2 Holz“, „30.000-45.000 R>600 49E1 Holz“ und „15.000-30.000 R>600 49E1 Holz“

	30.000-45.000 R>600 54E2 Holz	30.000-45.000 R>600 49E1 Holz	15.000-30.000 R>600 49E1 Holz
Mittlere realisierte Liegedauer [a]	30,55	25,96	31,45
Mittlere erwartete Liegedauer [a]	32,00	32,00	35
Mittlere Abweichung [a]	-1,45	-6,04	-3,55
Länge [km]	41,51	14,48	36,93

3.7 Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten

Die Sinnhaftigkeit der Veränderungsvorschläge in Bezug auf die Erwartungswerte wird nun anhand der Gesamtdatenmenge überprüft und erneut dargestellt. Es handelt sich hierbei um fiktive Änderungen. Um diese in der Realität tatsächlich umsetzen und bestätigen zu können werden mehr Daten benötigt. Daher soll die nachfolgende Darstellung nur als Ausblick und Anregung eingestuft werden.

Abbildung 23 zeigt die neue Abweichungsverteilung der Gesamtdatenmenge mit folgenden Änderungen der Erwartungswerte:

Tabelle 13: Änderungen der Erwartungswerte

Standardelement	Erwartungswert Alt [a]	Änderung [a]	Erwartungswert Neu [a]
30.000-45.000R>60049E1Holz	32	-3	29
15.000 - 30.000R>60049E1Holz	35	-3	32

Der Mittlere Erwartungswert sinkt dadurch von 30,13 auf 29,53 Jahre.

Das Säulendiagramm der Abbildung 23 wird mit einer geänderten Skalierung der Y-Achse dargestellt!

Diese Veränderung war notwendig, um den Peak bei der Abweichung von 0 Jahren, welcher 31,75 km beträgt, darstellen zu können. Im Vergleich zur Ausgangslage (25,91 km) hat sich dieser somit drastisch erhöht. Das eigentliche Ziel, den Ausschlag bei der Abweichung von -3 Jahren zu verringern, wurde ebenfalls erreicht. Der Wert sank hier von 22,68 auf 15,28 km. Er ist somit, gegenüber den benachbarten Werten, noch immer leicht erhöht, stellt aber eine sehr gute Korrektur dar. Eine weitere Verbesserung ist die Länge von 6,47 km, die in der unveränderten Datengesamtheit bei -13 Jahren vorliegt. Diese ist durch die veränderten Erwartungswerte bei -10 Jahren mit 6,2 km angesiedelt. Augenscheinlich gibt es keine Veränderung zwischen den Boxplots der Abweichungen: Der Median befindet sich weiterhin bei 0 Jahren, die Verteilung erscheint relativ symmetrisch, der Interquartilsabstand sowie die Ausdehnung der Whisker bleiben unverändert. Der Mittelwert der Abweichung zeigt allerdings eine Verbesserung: Zuvor betrug dieser -0,51 Jahre, jetzt 0,088 Jahre, was beinahe dem Idealwert entspricht.

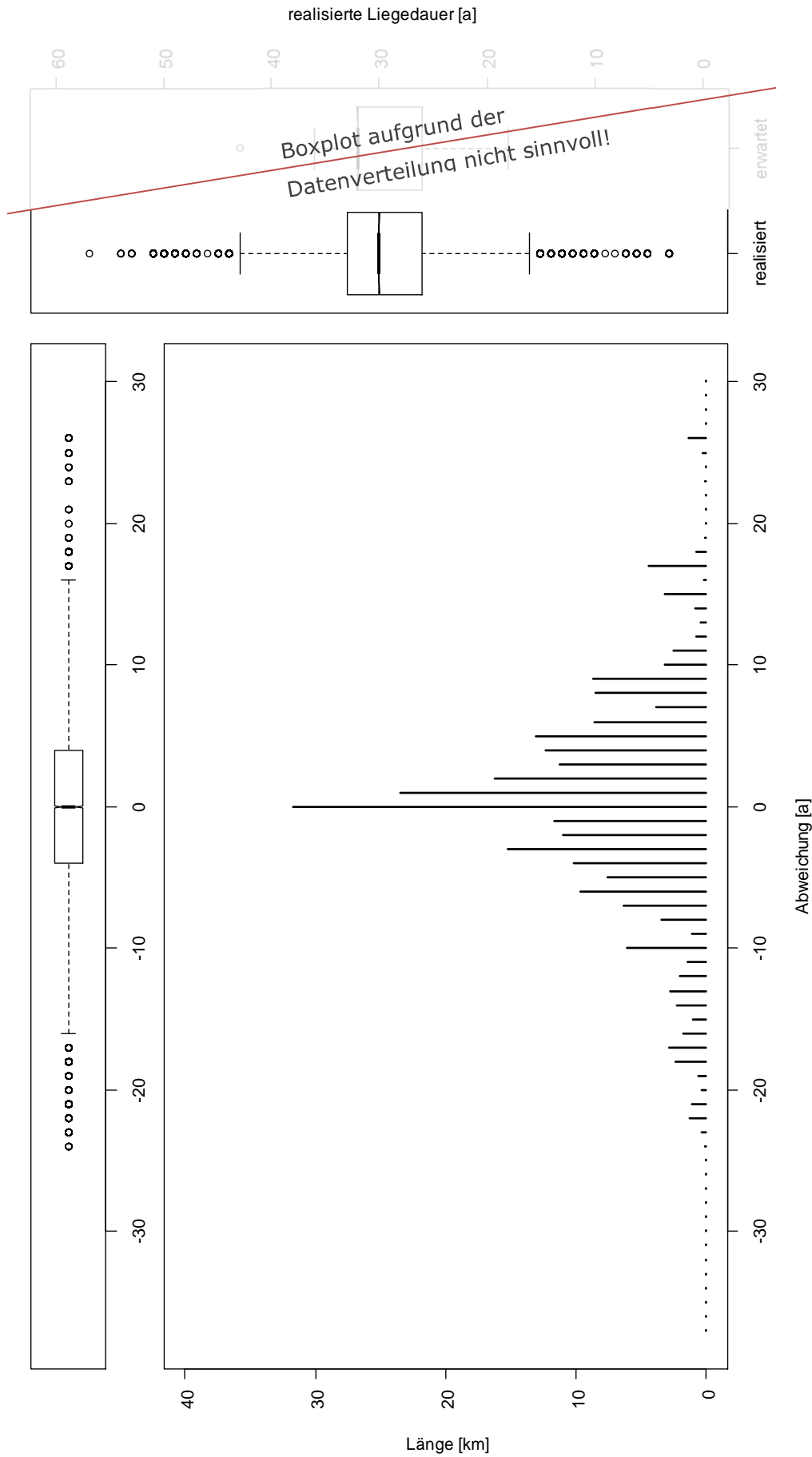


Abbildung 23: Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten (ACHTUNG: Geänderte Skalierung der Y-Achse)

Ergebnisse

In Tabelle 14 werden die wichtigsten Kenngrößen der Datengesamtheit mit veränderten Erwartungswerten im Vergleich mit den Kenngrößen der unveränderten Datengesamtheit angeführt.

Tabelle 14: Vergleich der Kenngrößen der Datengesamtheit mit Kenngrößen der Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten

	Datengesamtheit	Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten
Mittlere realisierte Liegedauer [a]	29,62	29,62
Mittlere erwartete Liegedauer [a]	30,13	29,53
Mittlere Abweichung [a]	-0,51	0,09
Länge [km]	258,67	258,67

Es ist allerdings zu beachten, dass die Änderungen der Erwartungswerte nicht systemkonform durchgeführt wurden. Diese Standardelemente passen somit nicht in das Schema der Standardelementematrix (siehe Tabelle 3). Sie weisen demnach kürzere Nutzungsdauern auf, als dieselben Standardelemente mit geringeren Radien und sollen daher nur die Verbesserungsmöglichkeiten durch die minimalen Modifikationen aufzeigen. Bei etwaigen tatsächlichen Überarbeitungen müsste die gesamte Matrix betrachtet und systematisch geändert werden, um die Konformität zu gewährleisten.

3.8 Unterteilung Ausbaujahre (Gegenüberstellung der alten und neuen Gesamtdatenmenge)

Zum Abschluss der Auswertungen soll die Gesamtdatenmenge der Gesamtdatenmenge mit neuen Erwartungswerten, jeweils unterteilt in die Ausbaujahre, gegenübergestellt werden.

In der tatsächlichen Ausbaudatenmenge sieht die Jahresverteilung (siehe Abbildung 24) folgendermaßen aus:

Im Jahr 2007 wurden 70,22 km Gleis erneuert. Die Abweichungsverteilung ist ungleichmäßig, 50 Prozent der Daten liegen zwischen den Jahren -5 und +2,5. Der Median liegt bei 0 Jahren, die mittlere Abweichung bei -0,43 Jahren. Die größte Länge weist die Abweichung bei -3 Jahren auf, es ist jedoch kein Höhepunkt deutlich auszumachen.

Ergebnisse

Im Jahr 2008 wurden 59,37 km Gleis reinvestiert. Die Datenmenge ist über sehr viele Jahre ungleichmäßig verteilt. Die Hauptmenge liegt hier zwischen -12 und +10 Jahren, der Median befindet sich bei -1 Jahren. Den größten Anteil an den Daten hat die Abweichung von -3 Jahren mit etwa 12 km.

Einzig im Jahr 2009, wo mit 82,89 km die größte Länge erneuert wurde, ist eine Erhöhung der Kilometeranzahl um die Abweichung 0 erkennbar. Der Peak und der Median liegen ebenfalls bei 0 Jahren.

Die geringste jährliche Ausbaumenge (46,20 km) wurde im Jahr 2010 realisiert. Der Median der Abweichung ist bei 0 Jahren situiert. Aufgrund der breit gefächerten Verteilung erstreckt sich auch hier der Großteil der Datenmenge zwischen den Jahren -10 und +10. Es ist kein Peak ersichtlich, allerdings sind vier relativ gleich markante Werte bei -4, 0, +4 und +5 Jahren auffallend.

Im Vergleich dazu unterscheidet sich die Jahresverteilung der Ausbaudatenmenge, die die Neuerungen der Erwartungswerte inkludiert, folgendermaßen:

Im Jahr 2007 verschwindet der ursprüngliche Peak bei der Abweichung von -3 Jahren. Diese Daten finden sich in der neuen Verteilung bei 0 Jahren wieder. Der Median bleibt unverändert bei 0 Jahren, die Verteilung ändert sich von rechtsschief auf linksschief.

Im Vergleich dazu zeigt sich im Jahr 2008 ein ähnliches Bild: Die Erhöhung bei der Abweichung von -3 Jahren bleibt zwar weiterhin, allerdings dezenter, erhalten. Es ist jedoch eine Verschiebung zur Abweichung bei 0 und +2 Jahren erkennbar. Als Konsequenz dessen befindet sich der Median nun ebenfalls auf dem Wert 0.

Auch im Jahr 2009 sind leichte Veränderungen erkennbar. Der Höhepunkt, der in der ursprünglichen Verteilung bei 0 liegt, verschiebt sich hier auf die Abweichung bei +1 Jahr.

2010 liegen augenscheinlich nur geringe Unterschiede zwischen den Datenmengen vor. Jedoch ändert sich die mittlere Abweichung von -0,27 auf 0,11 Jahre und die Verteilung des Boxplots von leicht linksschief auf leicht rechtsschief. Der Median liegt mit den neuen Erwartungswerten nicht mehr bei 0, sondern bei +1 Jahr.

Ergebnisse

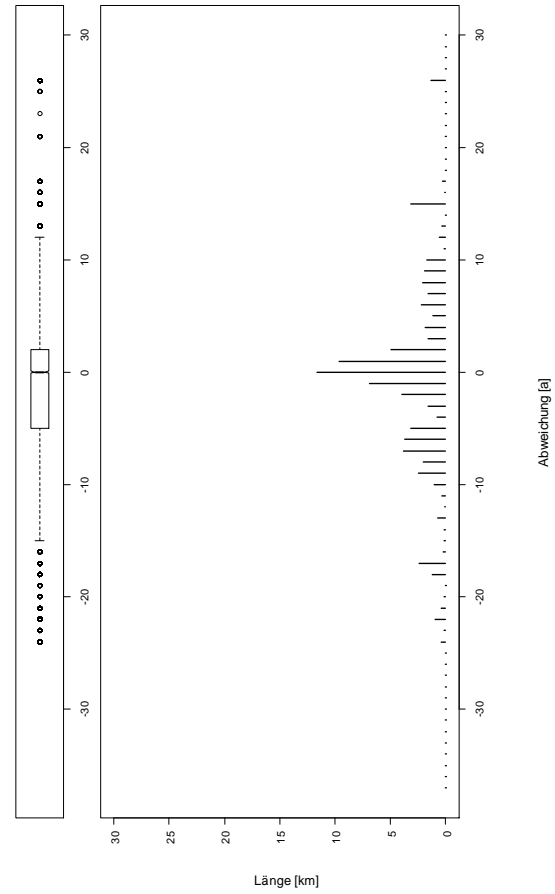
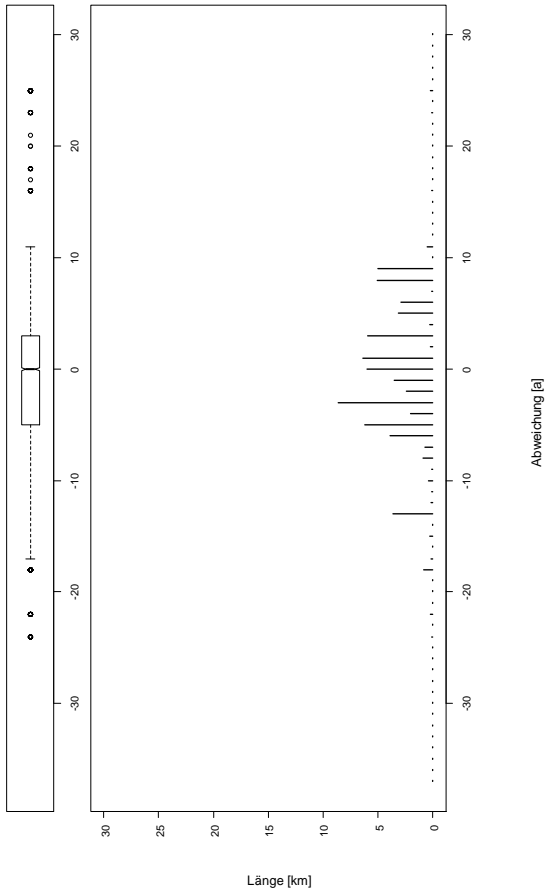
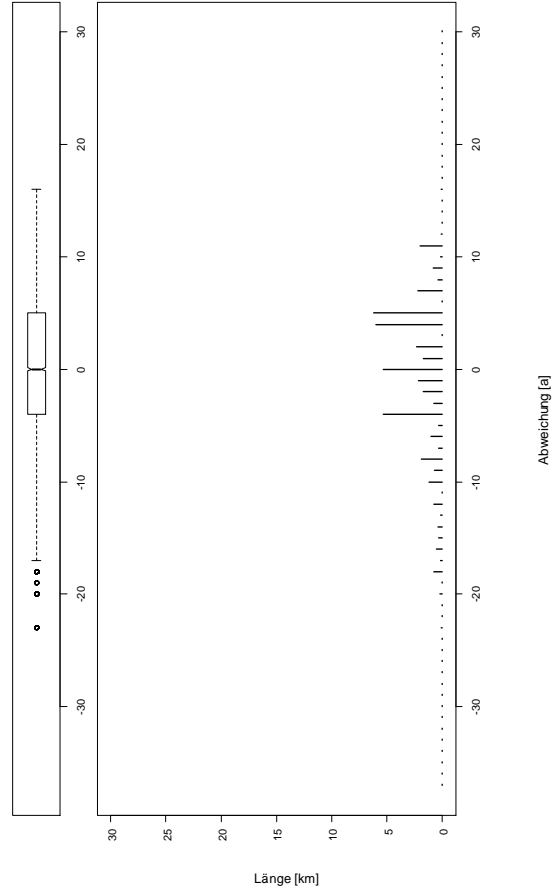
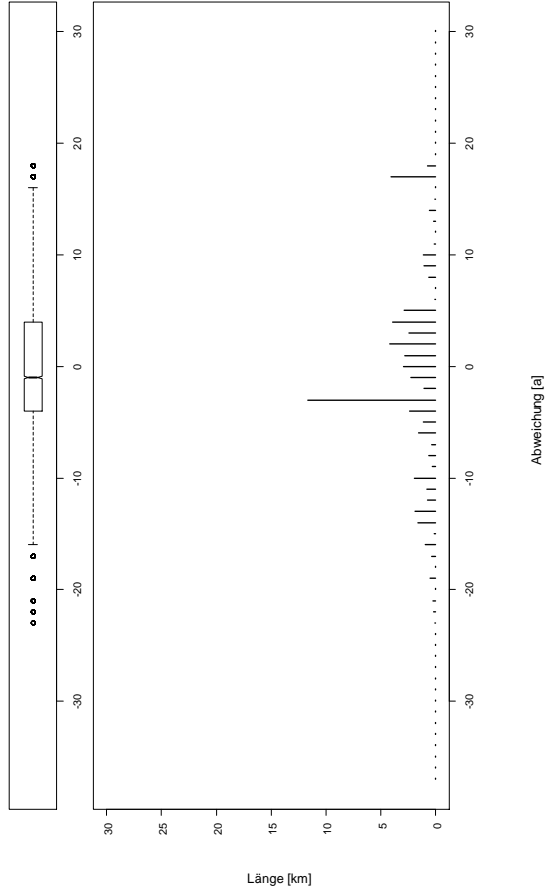


Abbildung 24: 2007 (70,22 km) / 2008 (59,37 km) / 2009 (82,89 km) / 2010 (46,20 km) (links oben nach rechts unten)

Ergebnisse

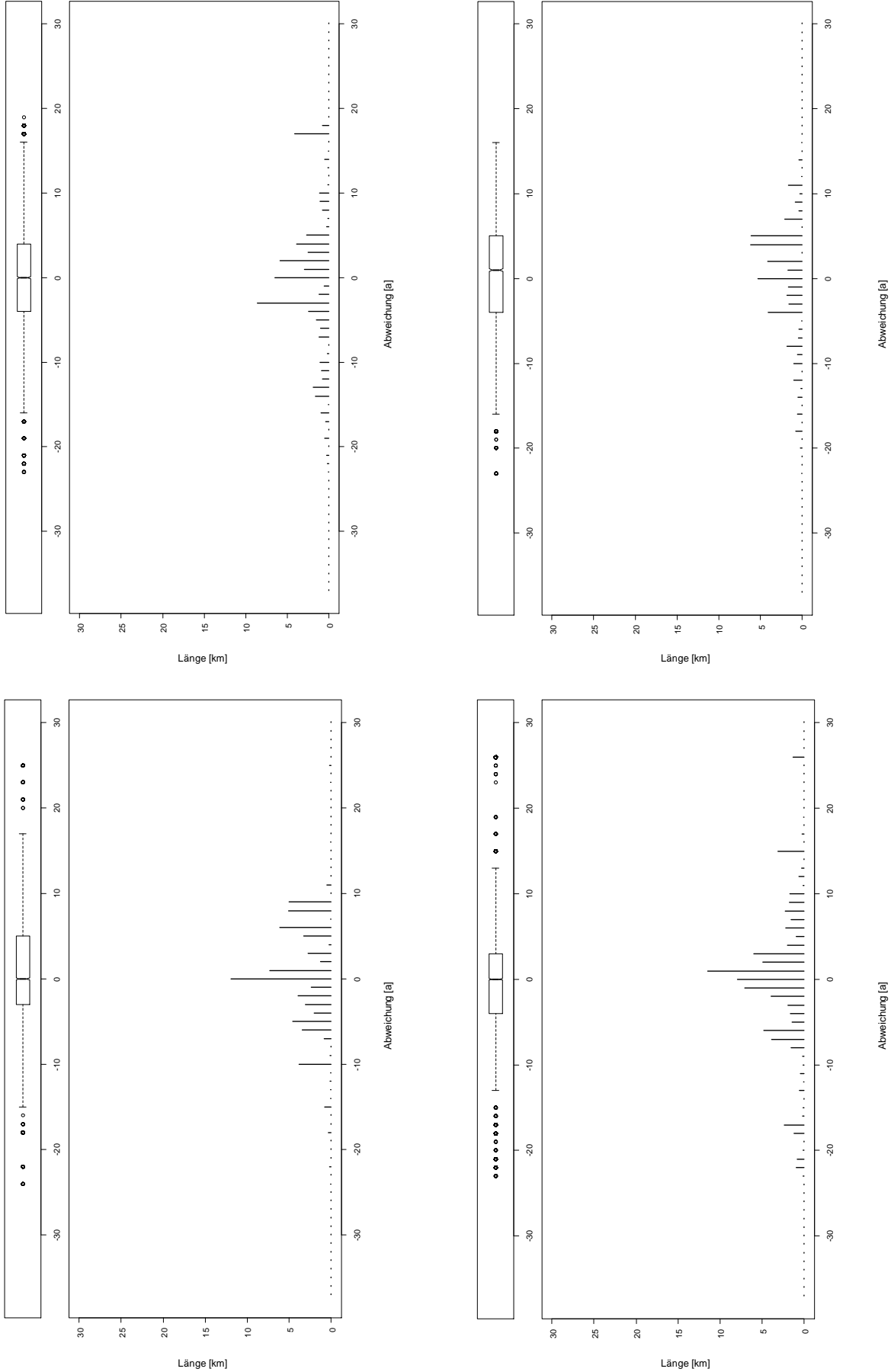


Abbildung 25: Datenverteilung mit neuen Erwartungswerten: 2007 (70,22 km) / 2008 (59,37 km) / 2009 (82,89 km) 2010 (46,20

Ergebnisse

In Tabelle 15 werden die wichtigsten Kenngrößen der Datengesamtheit und der Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten in der Jahresaufteilung gegenübergestellt.

Tabelle 15: Vergleich der Kenngrößen der Ausbaujahresverteilung der Datengesamtheit mit der Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten

	2007		2008		2009		2010	
	Alt	Neu	Alt	Neu	Alt	Neu	Alt	Neu
Mittlere realisierte Liegedauer [a]	28,45		30,37		30,49		28,88	
Mittlere erwartete Liegedauer [a]	28,89	28,05	30,99	30,52	31,12	30,51	29,15	28,77
Mittlere Abweichung [a]	-0,44	0,40	-0,62	-0,15	-0,63	-0,02	-0,27	0,11
Länge [km]	70,22		59,37		82,89		46,20	

Tabelle 15 verdeutlicht nochmals die Änderungen. Durchschnittlich sinkt in allen Jahren die mittlere erwartete Liegedauer um 0,5 Jahre. Die mittleren Abweichungen ändern sich besonders stark in den Jahren 2007 und 2010.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit hatte die Prüfung der den Standardelementen zugeordneten Erwartungswerte zur Aufgabe. Es konnte nur eine Bewertung jener Kombinationen vorgenommen werden, die auch tatsächlich in den Jahren 2007 bis 2010 reinvestiert und in der Datenbank eingetragen wurden. Da die Menge der Daten (258,67 km) als gering bezeichnet werden kann, wird für Änderungen am System Standardelemente auf nachfolgende Untersuchungen verwiesen. Eine globale Überprüfung war jedoch trotzdem möglich und fiel sehr positiv aus.

Im Zuge der Analysen hat sich der Umstand bestätigen lassen, dass Gleise mit Betonschwellen länger als angenommen halten, während die Haltbarkeit von Gleisen mit Holzschwellen leicht unter den Erwartungen liegt. An den Verteilungen ist ersichtlich, dass Holzschwellen die begrenzenden Elemente eines Gleises darstellen, bei Gleisen mit Betonschwellen jedoch andere Faktoren für die Länge der Nutzungsdauer verantwortlich sind (siehe Kapitel Ergebnisse/Unterteilung Schwellen).

In Abbildung 26, welche wiederum die unveränderte Abweichungsverteilung der Datengesamtheit zeigt, ist erkennbar, dass das System Standardelemente in Bezug auf die Prognostizierbarkeit der Nutzungsdauern generell funktioniert. Die Erwartungswerte wurden sinnvoll und vorwiegend richtig gewählt. Die Gleise werden also im Schnitt so reinvestiert, wie durch die Standardelemente abgebildet. Dieser Umstand ist deutlich an der Verteilung sowie am Median erkennbar welche besagen, dass diese Gleise im Schnitt genau die erwartete Nutzungsdauer erreicht haben.

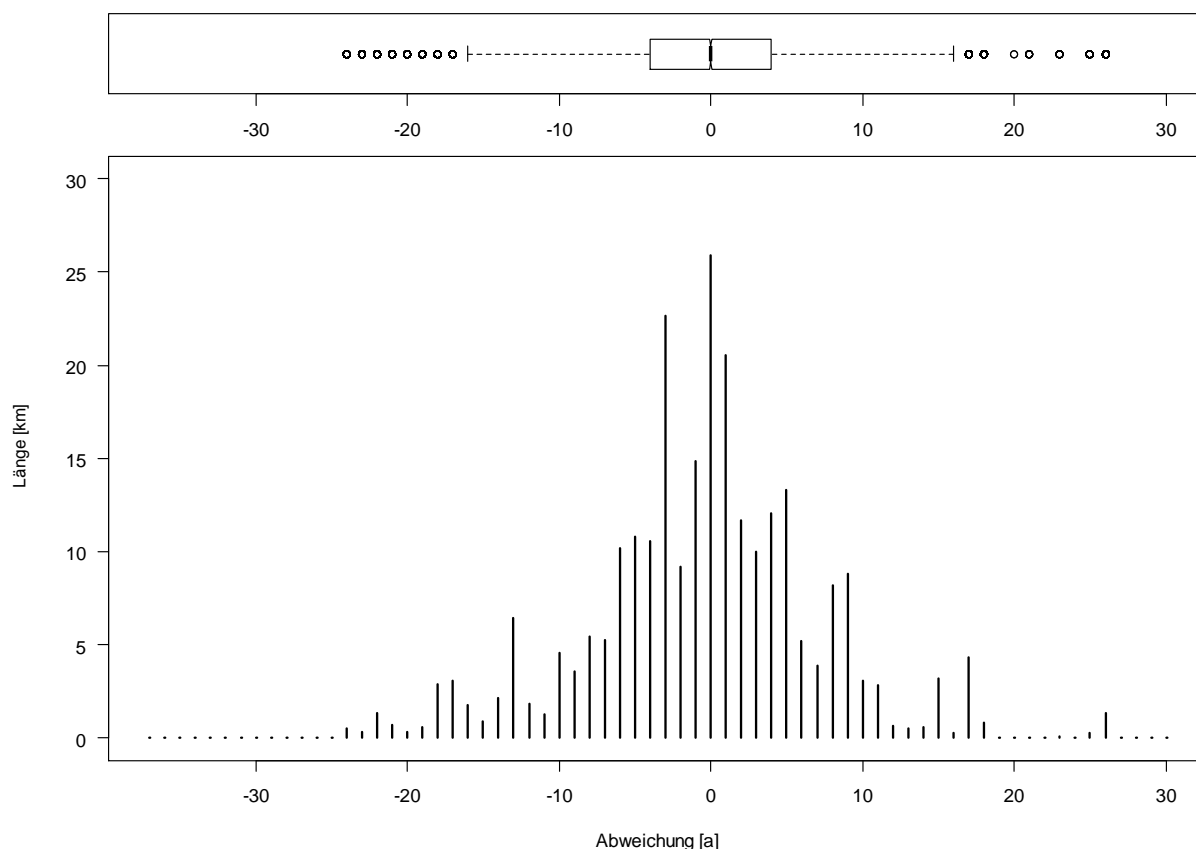


Abbildung 26: Datengesamtheit (258,67 km)

Es hat sich allerdings gezeigt, dass kleine Korrekturen der Erwartungswerte einiger Standardelemente sinnvoll wären. Die mittlere Abweichung von $-0,51$ Jahren ist ein Indiz für geringfügige Unstimmigkeiten. Wie in Kapitel 3.6 und 3.7 beschrieben, würde sich dadurch die mittlere Abweichung positiv beeinflussen lassen. Eine Aussortierung der sogenannten „Ausreißerprojekte“, also jener Projekte, welche bedeutsame Längen in Kombination mit großen Abweichungen vom Erwartungswert aufweisen fand nur teilweise statt. Bei etwaigen Änderungen müssten diese einer genaueren Betrachtung unterzogen werden, da hier andere Umstände für die Differenz verantwortlich sein können (zum Beispiel Langsamfahrstellen bei Überschreitung der erwarteten Nutzungsdauer).

Weiters soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass nicht nur die Haltbarkeit der einzelnen Komponenten die Nutzungsdauer der Gleise beeinflusst, sondern ebenfalls die exekutierte Vorgehensweise der Betreiber der Infrastruktur. Für diese hat das Erreichen der buchhalterischen Nutzungsdauer einen hohen Stellenwert, was teilweise in den realisierten Liegedauern abgebildet wird. Bei Änderungen der Erwartungswerte ist nun darauf zu achten, dass weiterhin die technische und nicht ausschließlich die buchhalterische Nutzungsdauer dargestellt wird.

Nach der Überprüfung der in den Standardelementen implementierten Werte kann die Frage, ob die Standardelementematrix strategisch einsetzbar ist, somit positiv beantwortet werden. Dieser Umstand wird somit einer rascheren und verbesserten Bewertung von Reinvestitionsprojekten, sowie im Optimalfall einer auf Lebenszykluskosten basierenden, netzweiten Streckenstrategie dienen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dauerfestigkeit von Schienen im Netz der ÖBB [6]	6
Abbildung 2: Übersicht der 21 Abschnitte der TUG-Datenbank [7]	10
Abbildung 3: Längenverteilung bezogen auf die reinvestierten Standardelemente	19
Abbildung 4: Datengesamtheit (258,67 km)	22
Abbildung 5: Realisierte Liegedauern (oben) und Erwartungswerte (unten) der Datengesamtheit (258,67 km)	24
Abbildung 6: Betonschwellen (79,28 km)	27
Abbildung 7: Holzschwellen (179,40 km)	28
Abbildung 8: >70.000 GesBt/Tag,Gleis (35,78 km)	31
Abbildung 9: 45.000-70.000 GesBt/Tag,Gleis (27,73 km)	32
Abbildung 10: 30.000-45.000 GesBt/Tag,Gleis (89,19 km)	33
Abbildung 11: 15.000-30.000 GesBt/Tag,Gleis (101,88 km)	34
Abbildung 12: Betonschwellen/>70.000 GesBt/Tag,Gleis (11,60 km)	38
Abbildung 13: Holzschwellen/>70.000 GesBt/Tag,Gleis (24,18 km)	39
Abbildung 14: Betonschwellen/45.000–70.0000 GesBt/Tag,Gleis (14,85 km)	40
Abbildung 15: Holzschwellen/45.0000-70.000 GesBt/Tag,Gleis (12,89 km)	41
Abbildung 16: Betonschwellen/30.000-45.0000 GesBt/Tag,Gleis (29,01 km)	42
Abbildung 17: Holzschwellen/30.000-45.0000 GesBt/Tag,Gleis (60,18 km)	43
Abbildung 18: Betonschwellen/15.0000-30.0000 GesBt/Tag,Gleis (23,23 km)	44
Abbildung 19: Holzschwellen/15.0000-30.0000 GesBt/Tag,Gleis (78,65 km)	45
Abbildung 20: 30.000-45.000 R>600 54E2 Holz (41,51 km)	49
Abbildung 21: 30.000-45.000 R>600 49E1 Holz (14,48 km)	50
Abbildung 22: 15.000 - 30.000 R>600 49E1 Holz (36,93 km)	51
Abbildung 23: Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten (ACHTUNG: Geänderte Skalierung der Y-Achse)	54
Abbildung 24: 2007 (70,22 km) / 2008 (59,37 km) / 2009 (82,89 km) / 2010 (46,20 km) (links oben nach rechts unten)	57
Abbildung 25: Datenverteilung mit neuen Erwartungswerten: 2007 (70,22 km) / 2008 (59,37 km) / 2009 (82,89 km) 2010 (46,20 km) (links oben nach rechts unten)	58
Abbildung 26: Datengesamtheit (258,67 km)	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kontrollabschnitte für Normkilometer [4]	2
Tabelle 2: Normkilometer Version 2005 [4]	3
Tabelle 3: Standardelementematrix mit Erwartungswerten der Nutzungsdauern (vgl. [4])	4
Tabelle 4: Legende Belastungsklassen aus der TUG-Datenbank	13
Tabelle 5: Belastungsklassen laut Standardelementematrix	14
Tabelle 6: Konvertierung Radienklassen	15
Tabelle 7: Beispiel für Standardelementekombinationen	15
Tabelle 8: Kenngrößen der Datengesamtheit	23
Tabelle 9: Kenngrößen der Datengesamtheit aufgeteilt in die Schwellenformen	29
Tabelle 10: Kenngrößen der Datengesamtheit aufgeteilt in die Belastungsklassen	35
Tabelle 11: Kenngrößen der Datengesamtheit aufgeteilt in die Schwellenformen und Belastungsklassen	46
Tabelle 12: Kenngrößen der Standardelemente „30.000-45.000 R>600 54E2 Holz“, „30.000-45.000 R>600 49E1 Holz“ und „15.000-30.000 R>600 49E1 Holz“	52
Tabelle 13: Änderungen der Erwartungswerte	53
Tabelle 14: Vergleich der Kenngrößen der Datengesamtheit mit Kenngrößen der Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten	55
Tabelle 15: Vergleich der Kenngrößen der Ausbaujahresverteilung der Datengesamtheit mit der Datengesamtheit mit neuen Erwartungswerten	59

Literaturverzeichnis

- [1] Marschnig, Stefan; Veit, Peter: *LCC Gleise: Aktualisierung 2010*, Graz
- [2] Marschnig, Stefan; Veit, Peter: *Standardelemente: Gleis*, 2011, Graz
- [3] Marschnig, Stefan; Veit, Peter: *Entwicklung von Oberbaustrategien: A-Strecken*, 1998, Graz
- [4] Marschnig, Stefan; Veit, Peter: *Projekt Strategie Komponenten: Schienen*, 2005, Graz
- [5] Lichtberger, Bernhard: *Handbuch Gleis: Unterbau Oberbau Instandhaltung Wirtschaftlichkeit*, 2010, Media Group GmbH, Hamburg
- [6] Jörg, A.: *Ermüdungsfestigkeit von Eisenbahnschienen*, Diplomarbeit, Graz 2005
- [7] Berghold, Armin: *Zusammenhang zwischen Gleislagequalität und der Verhängung von Langsamfahrstellen*, 2011, Diplomarbeit, Graz
- [8] Holzfeind, Jochen: *Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen: Analyse des Qualitätsverhaltens am Einzelquerschnitt*, 2009, Dissertation, Graz

