

MEMO

Cicerostr. 24
D-10709 Berlin
Germany
Tel +49 (0)30 536 53 800
Fax +49 (0)30 536 53 888
www.kompetenz-wasser.de



Beschreibung der Schlauchliner in Berlin und statistische Analyse zu Zustand und Schäden

M. Riechel

KompetenzZentrum Wasser Berlin, Cicerostraße 24, 10709 Berlin, Germany

Email: mathias.riechel@kompetenz-wasser.de, Tel. +49 (0)30-536-53834

finanziert durch



Berlin, Deutschland; 2017

Important Legal Notice

Disclaimer: The information in this publication was considered technically sound by the consensus of persons engaged in the development and approval of the document at the time it was developed. KWB disclaims liability to the full extent for any personal injury, property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential, or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of application, or reliance on this document. KWB disclaims and makes no guaranty or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of any information published herein. It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications. In addition, KWB disclaims and makes no warranty that the information in this document will fulfill any of your particular purposes or needs. The disclaimer on hand neither seeks to restrict nor to exclude KWB's liability against all relevant national statutory provisions.

Wichtiger rechtlicher Hinweis

Haftungsausschluss: Die in dieser Publikation bereitgestellte Information wurde zum Zeitpunkt der Erstellung im Konsens mit den bei Entwicklung und Anfertigung des Dokumentes beteiligten Personen als technisch einwandfrei befunden. KWB schließt vollumfänglich die Haftung für jegliche Personen-, Sach- oder sonstige Schäden aus, ungeachtet ob diese speziell, indirekt, nachfolgend oder kompensatorisch, mittelbar oder unmittelbar sind oder direkt oder indirekt von dieser Publikation, einer Anwendung oder dem Vertrauen in dieses Dokument herrühren. KWB übernimmt keine Garantie und macht keine Zusicherungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit jeglicher Information hierin. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Publikation gegebenen Informationen und Ergebnisse aufgrund nachfolgender Änderungen nicht mehr aktuell sein können. Weiterhin lehnt KWB die Haftung ab und übernimmt keine Garantie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen der Erfüllung Ihrer besonderen Zwecke oder Ansprüche dienlich sind. Mit der vorliegenden Haftungsausschlussklausel wird weder bezweckt, die Haftung der KWB entgegen den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften einzuschränken noch sie in Fällen auszuschließen, in denen ein Ausschluss nach diesen Rechtsvorschriften nicht möglich ist.

Impressum

Dieses Memo wurde nach den Vorgaben des Qualitätsmanagements gemäß DIN EN ISO 9001:2008 erarbeitet.

Titel:

Beschreibung der Schlauchliner in Berlin und statistische Analyse zu Zustand und Schäden

Autoren:

Mathias Riechel, Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH
(mathias.riechel@kompetenz-wasser.de)

Qualitätssicherung:

Pascale Rouault, Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH
Elke Eckert, Berliner Wasserbetriebe

Berichtsnummer:

Memo zu AP 3.2 und AP 3.3 (SEMA-Berlin)

Endversion

Date: 11.12.2017

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Datengrundlage und -vorbereitung.....	2
3. Beschreibung der Schlauchliner in Berlin.....	3
3.1 Installationsjahr, Alter, Abwassertyp und Material.....	3
3.2 Profil, Breite, Länge, Überdeckung.....	3
3.3 Gefälle, Straßenklasse, Schienenverkehr, Bäume (j/n).....	4
3.4 Anzahl Bäume, Grundwasserüberdeckung (j/n und in m), Bodenart.....	4
3.5 Bezirk, Stadtteil, Betriebsstelle, Wasserschutzzone.....	5
3.6 Düker und Rückstau.....	5
3.7 Detaillierte Analyse der eingesetzten Materialien.....	5
4. Zustandsbewertung.....	7
5. Schadensanalyse.....	10
6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	13
Anhang A: Übersicht der Variablen.....	15
Anhang B: Materialverteilung der Liner.....	17
Anhang C: Einfluss der Variablen auf die Zustandsverteilung.....	19
Anhang D: Beschreibung der Schadenstypen.....	20
Literaturverzeichnis.....	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Installationsjahr, Alter, Abwassertyp und Material der Liner ($n = 3922$).....	3
Abbildung 2: Profil, Breite, Länge und Überdeckung der Liner ($n = 3922$)	4
Abbildung 3: Gefälle, Straßenklasse, Schienenverkehr und Beeinflussung durch Bäume ($n = 3922$).....	4
Abbildung 4: Anzahl Bäume, Grundwasserüberdeckung (j/n und in m) und Bodenart ($n = 3922$).....	4
Abbildung 5: Bezirk, Stadtteil, Betriebsstelle und Wasserschutzzone bei Linern ($n = 3922$).....	5
Abbildung 6: Düker und Rückstau bei Linern ($n = 3922$)	5
Abbildung 7: Zeitliche Entwicklung der Anzahl an Linern und der eingesetzten Materialien.....	6
Abbildung 8: Zustandsverteilung der inspizierten Liner. Wiederholte Inspektionen derselben Haltung (Anteil = 19%) sind berücksichtigt.	7
Abbildung 9: Ranking der Variablen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Zustandsverteilung, quantifiziert über <i>Cramér's V</i>	8
Abbildung 10: Zustandsverteilung für die Variablen mit der höchsten Effektstärke (Ränge 1 bis 6, $n = 2193$)	9
Abbildung 11: Lageabweichungen an einem Liner (Foto: BWB); Lageabweichung erkennbar an Restwasserfüllung	10
Abbildung 12: Abflusshindernisse in einem Liner (Foto: BWB).....	10
Abbildung 13: Anzahl schadhafter Haltungen je Schadenstyp.....	11
Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Schäden und Variablen (quantifiziert über <i>Cramér's V</i>)	11
Abbildung 15: Zusammenhang zwischen den drei häufigsten Schadenstypen und den wichtigsten Variablen. Hellblau – Anteil an Haltungen mit Schaden des entsprechenden Typs („Ja“), Dunkelblau – Anteil an Haltungen ohne Schaden des entsprechenden Typs („Nein“)......	12
Abbildung 16: Materialverteilung der Liner ($n = 3922$)	17
Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der Gesamtanzahl an Linern und der prozentualen Materialverteilung ($n = 3922$).....	17
Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Gesamtlänge der Liner mit Material- verteilung ($n = 3922$).....	18
Abbildung 19: Zustandsverteilung für die weiteren Variablen sortiert nach Effektstärke <i>Cramér's V</i> (Ränge 7 bis 18, $n = 2193$).....	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Filterschritte für die Analyse der Liner- und dazugehörigen Inspektionsdaten.....	2
Tabelle 2: Eingangsvariablen für die Beschreibung der Liner, die Zustands- und die Schadensanalyse.....	15
Tabelle 3: Beschreibung der Berliner Schadenstypen nach Schadenskatalog 11 (BWB 2001)	20

1. Einleitung

Das Schlauchlining-Verfahren gilt als das am häufigsten angewandte Renovierungsverfahren für Sanierungen von kurz- und mittelfristig zu behebenden Schäden an Abwasserkanälen (Sangster und Downey 2006). Dabei wird ein flexibler Schlauch aus einem textilen Trägermaterial mit einem Reaktionsharz getränkt und in der Regel über einen Schacht in die zu renovierende Abwasserhaltung eingebracht. Dort wird der Schlauchliner mit Wasser- oder Luftdruck formschlüssig an die Rohrwandung des Altrohres gepresst. Durch das anschließende Aushärten des Reaktionsharzes mit Warmwasser, Dampf oder UV-Licht entsteht ein neues muffenloses und gewebeverstärktes Kunststoffrohr in der bestehenden Rohrleitung (Bosseler et al. 2003).

Auch in Berlin werden Liner seit ca. 30 Jahren für die Sanierung von schadhafte Abwasserkanälen eingesetzt. Im Rahmen des Forschungsprojektes SEMA-Berlin wurde die dazu vorliegende Datenbasis, bestehend aus Informationen zum gegenwärtigen Umsetzungsstand bezüglich Liner und den Ergebnissen der Kamerainspektionen, umfassend ausgewertet. Ziel der Analysen ist ein Erkenntnisgewinn zu den Eigenschaften und dem Zustand der in Berlin verbauten Liner sowie den auftretenden Schäden.

Im vorliegenden Kurzbericht werden nach einer Erläuterung der Datengrundlage (Kapitel 2) zunächst die Liner in Berlin mit ihrer Altersverteilung, den eingesetzten Materialien, etc. beschrieben (Kapitel 3). Anschließend werden der bauliche Zustand der Liner und ihre Einflussfaktoren analysiert (Kapitel 4). Zuletzt werden die an Linern beobachteten Schadensbilder sowie deren Einflussfaktoren beschrieben (Kapitel 5). Der Kurzbericht schließt mit einer Zusammenfassung und Schlussfolgerung (Kapitel 6). Nicht gezeigte Abbildungen und Tabellen sind in den Anhängen A bis D zu finden.

2. Datengrundlage und -vorbereitung

Die von den Berliner Wasserbetrieben übergebenen Daten bestehen im Wesentlichen aus i) Informationen zu den baulichen und betrieblichen Eigenschaften der Liner, ii) den Umweltfaktoren sowie iii) der auf Kamerainspektionen basierenden Schadenserfassung und Zustandsbewertung.

Die Informationen zu den baulichen und betrieblichen Eigenschaften der Liner wurden in Form einer Excel-Datei mit Informationen zum Baudatum, Abwassertyp, Material und den Abmessungen aller Liner übergeben (Stand: März 2017). Diese Daten wurden über die Objekt-ID mit den Daten zu den Umweltfaktoren aller Haltungen (z.B. Bodenart, Bäume, etc.; Stand: Januar 2017; übergeben in Form einer MS-Access-Datenbank) verschnitten. Diese Daten wurden, wie in Riechel et al. (2017, Kap. 2.2) beschrieben, bereinigt. Basierend auf diesen 3922 Datensätzen wurde die Analyse zu den Berliner Linern durchgeführt (Kapitel 3).

Anschließend wurden diese Daten über die Objekt-ID mit den Ergebnissen der Kamerainspektionen (Stand: Januar 2017, übergeben in Form einer MS-Access-Datenbank) verschnitten. Bei der Verschneidung musste darauf geachtet werden, dass nur Inspektionsdatensätze berücksichtigt werden, die sich auf die Situation nach der Renovierung beziehen (Inspektionsdatum > Liner-Datum). Nach Verschneidung bleiben 2256 Datensätze bestehen. Diese Daten wurden zur Entfernung irrelevanter oder nicht zu bewertender Datensätze nach den in Tabelle 1 gezeigten Schritten gefiltert und anschließend für die Zustandsanalyse (Kapitel 4) verwendet. Nach der Filterung bleiben noch 2193 Datensätze bestehen. Diese Datensätze beziehen sich auf 1785 unterschiedliche inspizierte Liner, 408 Datensätze (19%) beziehen sich auf wiederholte Inspektionen. Es wurden nur die nach BWB-Schadenskatalog 11 erfassten Inspektions- und Schadensdaten verwendet (Zeitraum 2001 bis 2016, BWB 2001).

Zuletzt wurden die 2193 verbleibenden Datensätze über die Inspektions-ID mit den kodierten Einzelschäden verschnitten und hinsichtlich ihrer Schadenshäufigkeit ausgewertet (Kapitel 5).

Tabelle 1: Filterschritte für die Analyse der Liner- und dazugehörigen Inspektionsdaten

Filterschritte	Filterkriterien	n _{gefiltert} ⁴
Ausschluss aller Drainagekanäle	Entwässerungstyp „SD“, „RD“ oder „MD“ ¹	3
Ausschluss von Linern mit unbekanntem Baujahr	Leeres Feld in Spalte „Baujahr/-datum“	29
Ausschluss nicht untersuchter Liner	Untersuchungstyp „A“, „B“, „K“, „N“ oder Unbekannt ²	32
Ausschluss nicht bewerteter Liner	Zustandsklasse 7 oder 0 ³	3
Ausschluss der Doppelinspektionen am selben Tag	Wenn Haltung zweimal am selben Tag inspiziert wurde, behalte nur eine	0
<p><i>Erläuterungen:</i> ¹ Drainageleitungen im Schmutz-, Regen- oder Mischkanal; ² Untersuchungstypen: „A“ – Anschlussnummerierung, „B“ – Begehung, „K“ – Druckprüfung, „N“ – nicht untersucht; ³ Befahrungslänge < 30% der Haltungslänge → Kanäle erhalten Zustandsklasse 7 oder 0; ⁴ Einige Datensätze wurden über mehrere Kriterien gefiltert. Insgesamt wurden 63 (3%) der Daten entfernt.</p>		

3. Beschreibung der Schlauchliner in Berlin

Für die Beschreibung der Schlauchliner in Berlin wurden die Häufigkeitsverteilungen aller verfügbaren Variablen ausgewertet und die zeitliche Entwicklung der verwendeten Materialien detailliert untersucht. Die Ergebnisse für die 3922 inspizierten und nicht inspizierten Liner sind im Folgenden dargestellt. Eine genaue Beschreibung aller Variablen ist in Tabelle 2 (Anhang A) zu finden.

3.1 Installationsjahr, Alter, Abwassertyp und Material

Der älteste Berliner Liner wurde im Jahr 1986 gezogen. Bis zum Jahr 2000 wurden allerdings nur 10% der heute existierenden Liner eingebaut. Demnach gibt es nur wenige Liner die heute älter als 15 Jahre sind. Eine deutliche Zunahme des Schlauchlinings gab es seit dem Jahr 2010. Etwa die Hälfte der heute existierenden Liner wurden seitdem installiert, wobei einige Neudaten zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht in die Datenbank eingepflegt waren. Der Großteil der Liner wurde in der Schmutzwasserkanalisation gezogen (47%). Die Anteile in der Regenwasser- und Mischwasserkanalisation betragen 37% und 16%. Das entspricht in etwa der tatsächlichen Verteilung der Abwassertypen übers gesamte Berliner Kanalnetz (44% Schmutz-, 37% Regen- und 19% Mischwasser). Etwa zwei Drittel aller Liner sind aus harzgetränktem glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) gefertigt. 10% bestehen aus Nadelfilz. Für den Rest (21%) ist das Material unbekannt. Die Datenverteilung für die beschriebenen Variablen ist in Abbildung 1 dargestellt.

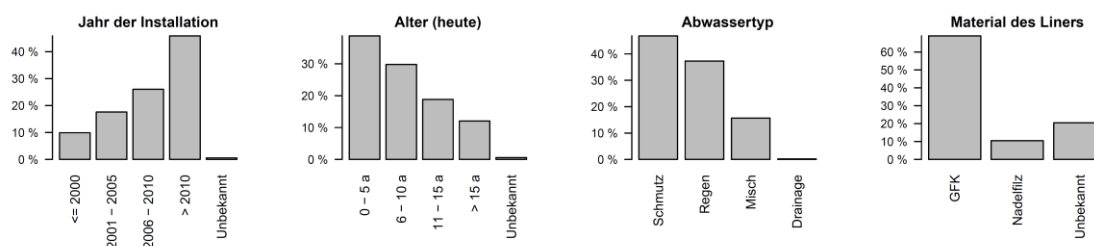


Abbildung 1: Installationsjahr, Alter, Abwassertyp und Material der Liner ($n = 3922$)

3.2 Profil, Breite, Länge, Überdeckung

Liner werden zum großen Teil in Kanälen mit Kreisprofil eingesetzt (97%). Ein Schwerpunkt liegt auf Haltungen mit einem Durchmesser < DN 400 (65%). Der größte in Berlin verbaute Liner hat einen Durchmesser von DN 1700. Etwa die Hälfte aller Liner (48%) ist zwischen 40 und 60 m lang, wobei auch Längen bis zu 118 m vorkommen können. Die Gesamtlänge der Liner beträgt 184 km, d.h. ca. 2% der gesamten Abwasserkanalisation (9710 km; Stand 31.12.2016) sind gelinert. Die Überdeckung mit Boden beträgt für über 70% aller Liner zwischen 1 und 3 m. Geringere Überdeckungen kommen kaum (2%), größere Überdeckungen kommen gelegentlich (25%) vor. Die Datenverteilung für die beschriebenen Variablen ist in Abbildung 2 dargestellt.

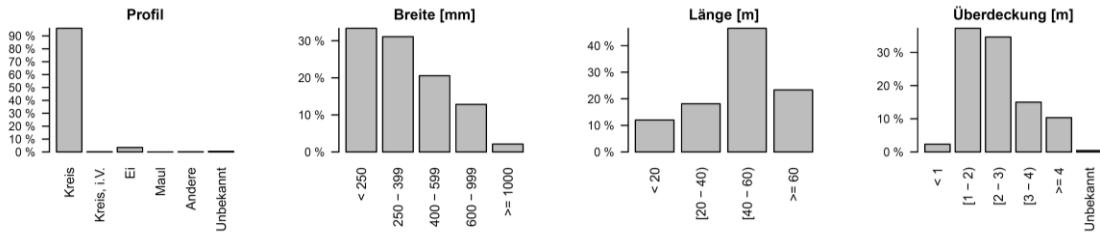


Abbildung 2: Profil, Breite, Länge und Überdeckung der Liner ($n = 3922$)

3.3 Gefälle, Straßenklasse, Schienenverkehr, Bäume (j/n)

Das Gefälle der Berliner Kanalisation ist im Allgemeinen gering. Das spiegelt sich auch bei den gelinerten Kanälen wieder (Median-Gefälle: 0,3%). Mehr als zwei Drittel aller Liner liegen in Nebenstraßen, die nicht durch die Berliner Straßenklassifizierung erfasst sind (Klasse „Andere“). Nur wenige Liner (4%) sind unmittelbar durch Schienenverkehr beeinflusst. Die Beeinflussung durch Bäume in einem Radius von max. 3 m ist mit 53% aller Liner hingegen häufig. Die Verteilungen ähneln sich denen der nicht gelinerten Kanäle (siehe Riechel et al. 2017, Kap. 2.4). Die Datenverteilung für die beschriebenen Variablen ist in Abbildung 3 dargestellt.

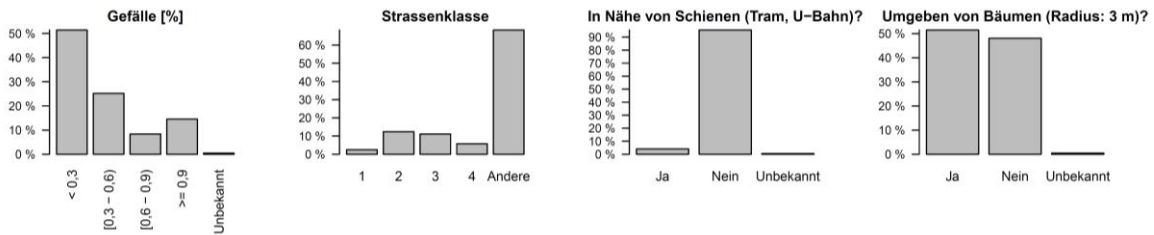


Abbildung 3: Gefälle, Straßenklasse, Schienenverkehr und Beeinflussung durch Bäume ($n = 3922$)

3.4 Anzahl Bäume, Grundwasserüberdeckung (j/n und in m), Bodenart

Bei den meisten der durch Bäume beeinflussten Liner sind im Umkreis von 3 m zwischen 1 und 4 Bäumen zu finden. Mehr als 7 Bäume je Haltung finden sich in 12% der baumbeeinflussten Liner wieder (insgesamt 7%). Etwa 17% aller Liner sind vom Grundwasser überdeckt, wobei Grundwasserüberdeckungen über 2 m (bezogen auf die Kanalsohle) selten sind (24% der vom Grundwasser überdeckten Liner). Die häufigsten Bodenarten sind Aufschüttungen und Sand (zusammen 83%), gefolgt von Sand-Lehm-Gemischen (15%). Die Datenverteilung für die beschriebenen Variablen ist in Abbildung 4 dargestellt.

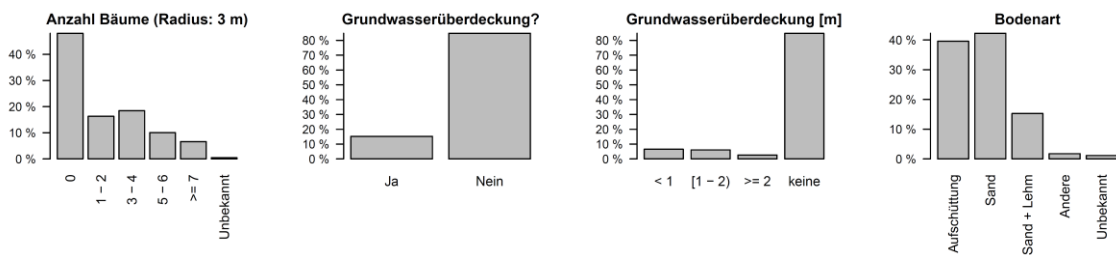


Abbildung 4: Anzahl Bäume, Grundwasserüberdeckung (j/n und in m) und Bodenart ($n = 3922$)

3.5 Bezirk, Stadtteil, Betriebsstelle, Wasserschutzzone

Einen räumlichen Schwerpunkt der Liner gibt es in Treptow-Köpenick. Rund 20% aller Liner sind hier zu finden. Bei den nicht gelinerten Kanälen beträgt der Anteil 11% (Riechel et al. 2017). Das Verhältnis Ost-/West-Berlin ist in etwa ausgeglichen. Der Anteil von Linern in Wasserschutzgebieten beträgt 37% und ist damit überproportional hoch (für nicht gelinerte Kanäle: 13%; Riechel et al. 2017). Jeder 20. Kanal in Wasserschutzgebieten ist gelinert (außerhalb von Wasserschutzgebieten nur 1 von 100). Die Datenverteilung für die beschriebenen Variablen ist in Abbildung 5 dargestellt.

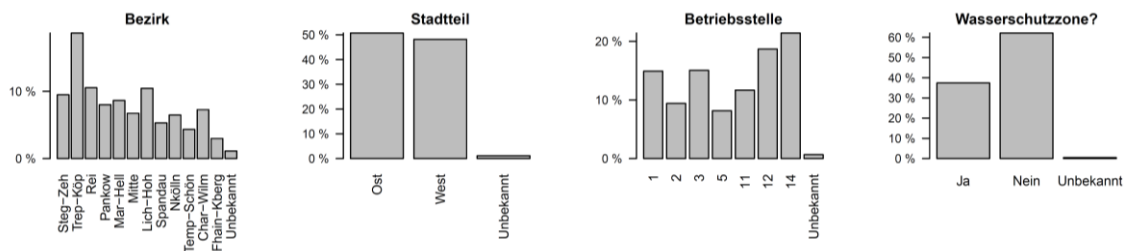


Abbildung 5: Bezirk, Stadtteil, Betriebsstelle und Wasserschutzzone bei Linern (n = 3922)

3.6 Düker und Rückstau

Düker werden nur selten gelinert, es kommt aber dennoch in acht Fällen vor (0,4% aller Liner). Nur wenige Liner sind in dauerhaft rückgestauten Regenkanälen installiert (5%).

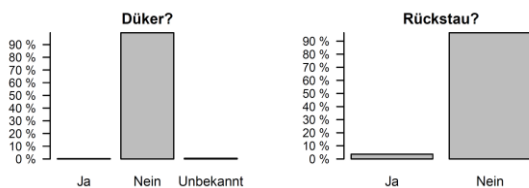


Abbildung 6: Düker und Rückstau bei Linern (n = 3922)

3.7 Detaillierte Analyse der eingesetzten Materialien

Wie oben beschrieben sind mehr als zwei Drittel aller Liner aus GFK gefertigt. Insbesondere seit dem Jahr 2007 hat sich GFK als Material durchgesetzt und wurde in den letzten drei Jahren ausschließlich eingesetzt (Abbildung 7). Der Anteil an Linern mit nicht dokumentiertem Material beträgt bis zum Jahr 2003 über 50%. Danach verbesserte sich der Dokumentationsgrad kontinuierlich. Die abnehmende Anzahl an Linern nach dem Jahr 2015 ist der verzögerten Erfassung von Neu-Linern in der Bestandsdokumentation geschuldet.

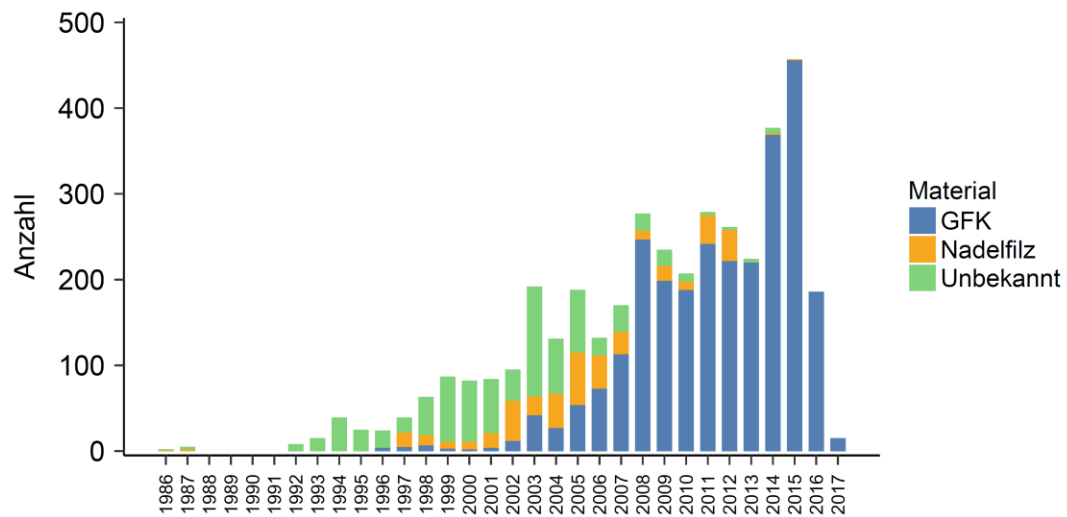


Abbildung 7: Zeitliche Entwicklung der Anzahl an Linern und der eingesetzten Materialien

4. Zustandsbewertung

Der gegenwärtige Zustand der Berliner Liner, bewertet auf Basis von 2193 Inspektionsdatensätzen (Einfach- und Mehrfachinspektionen), kann allgemein als gut bezeichnet werden. Rund 90% der Liner befinden sich im guten Zustand (Abbildung 8), d.h. es besteht kein (Zustandsklasse 6 und 5) oder höchstens ein langfristiger Sanierungsbedarf (Zustandsklasse 4). Allerdings lag das durchschnittliche Alter der Liner zum Zeitpunkt der Inspektion bei nicht einmal 4 Jahren und damit deutlich unter der erwarteten Lebensdauer von 50 Jahren (Wicke 2017). Nur ein kleiner Anteil der Liner (3,5%) befindet sich – unter Vorbehalt von Fehlern in der Datengrundlage – im schlechten Zustand (Zustandsklasse 1 oder 2, Abbildung 8), d.h. die Haltungen müsste umgehend saniert werden.

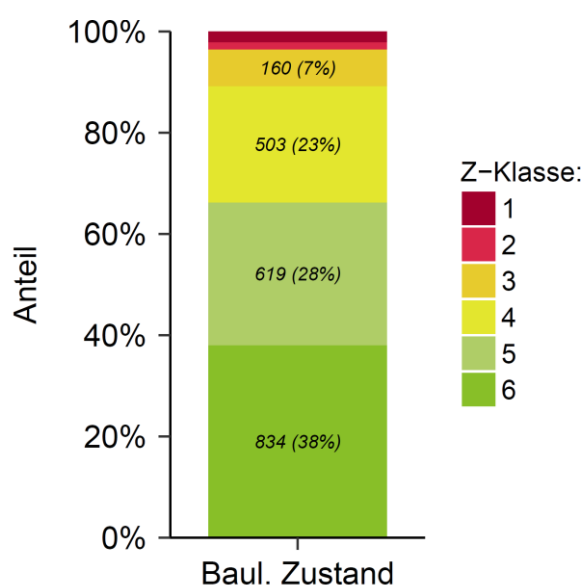


Abbildung 8: Zustandsverteilung der inspizierten Liner. Wiederholte Inspektionen derselben Haltung (Anteil: 19%) sind berücksichtigt.

Es ist hervorzuheben, dass sich die Zustandsbewertung immer auf das Liner-Rohr-Gefüge bezieht. Das heißt, die der Bewertung zugrunde liegenden Schäden können entweder am Liner selbst, am umgebenden Rohr, in den Anschlusskanälen oder am Schachtanschluss aufgetreten sein. Bestimmte Vorschädigungen des Kanals, z.B. horizontale oder vertikale Ausbiegungen, werden mitbewertet.

Über einen Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest (Pearson 1900, Agresti 2007, McHugh 2013) und das Effektmaß *Cramér's V* (Cramér 1946) wurde der Einfluss der Eingangsvariablen auf den baulichen Zustand untersucht. Eine genaue Erläuterung der Methodik ist in Riechel et al. (2017, Kap. 3.1.1.2) zu finden.

Die Variablen mit dem größten Effekt auf die Zustandsverteilung der gelinerten Kanäle sind Bäume (j/n), Breite und Länge gefolgt von Grundwasserüberdeckung, Alter und der Anzahl an Bäumen (Abbildung 9). Bei den nicht gelinerten Kanälen haben Alter, Profil, Länge, Grundwasserüberdeckung, Material und Bäume (j/n) den größten Effekt auf die Zustandsverteilung (siehe Riechel et al. 2017). Der Effekt des Alters ist bei den allgemein jungen Linern (mittleres Alter bei Inspektion: 3,7 Jahre, 90% ≤ 10 Jahre)

deutlich geringer ausgeprägt als bei den nicht gelinerten Kanälen (Cramér's V = 0,09 ggü. 0,27; siehe Riechel et al. 2017). Das Profil ist als Variable bedeutungslos, da 97% der Liner im Kreisprofil eingesetzt sind. Auch das Material spielt eine eher untergeordnete Rolle; GFK und Nadelfilz zeigen ähnliche Zustandsverteilungen (siehe Abbildung 19 in Anhang C).

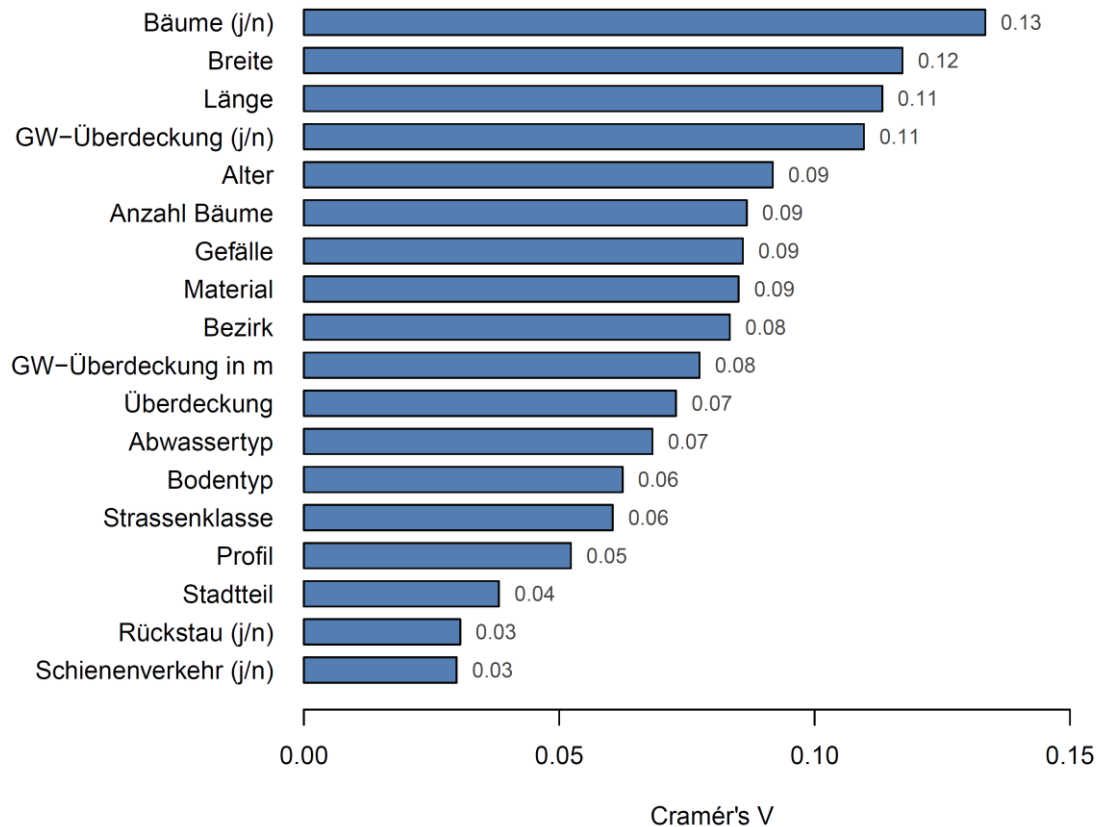


Abbildung 9: Ranking der Variablen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Zustandsverteilung, quantifiziert über *Cramér's V*.

Die Analyse der Zustandsverteilung für die sechs einflussreichsten Variablen ergibt folgende Effekte:

Bäume (j/n): Bei Linern, die im Umkreis von 3 Metern von einem oder mehreren Bäumen umgeben sind, ist der Zustand allgemein schlechter als bei Linern ohne Bäume in der Nähe (Anteil an Linern in Zustandsklasse 1 oder 2: 4,5% ggü. 2,5%, Abbildung 10).

Breite: Schmale Liner (< DN 250) weisen den kleinsten Anteil an Haltungen im guten Zustand auf (Zustandsklasse 4, 5 oder 6). Mit zunehmender Breite erhöht sich dieser Anteil. Den höchsten Anteil an Linern im schlechten Zustand (Zustandsklasse 1 oder 2) gibt es jedoch ebenfalls unter den sehr breiten Linern (DN ≥ 1000, Abbildung 10).

Länge: Mit zunehmender Länge erhöht sich der Anteil an Linern im schlechten Zustand (Zustandsklasse 1 oder 2) und verringert sich der Anteil an Linern im guten Zustand (Zustandsklasse 4, 5 oder 6, Abbildung 10). Hintergrund ist, dass mit zunehmender Länge die Auftretenswahrscheinlichkeit von (schweren) Schäden an einer Haltung zunimmt.

Grundwasserüberdeckung (j/n): Kanäle, die im Grundwasser liegen, sind tendenziell im besseren Zustand als solche, die nicht vom Grundwasser überdeckt sind (Abbildung 10).

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Grundwasserüberdeckung und Bodenüberdeckung, d.h. die Tiefe der Haltung bezogen auf die Kanaldecke, eine gewisse Korrelation zeigen (Riechel et al. 2017). Vom Grundwasser überdeckte Kanäle liegen im Allgemeinen tiefer unter der Erde als nicht vom Grundwasser überdeckte Kanäle.

Alter: Der Anteil an Linern im guten Zustand nimmt innerhalb der ersten 15 Jahre tendenziell ab, erhöht sich aber danach wieder (Abbildung 10). Aufgrund des allgemein geringen Alters - 90% der Liner waren zum Zeitpunkt der Inspektion höchstens 10 Jahre alt und damit deutlich jünger als die erwartete Lebensdauer (50 Jahre) - lässt sich jedoch noch keine klare Aussage zum Einfluss des Alters ableiten. Mögliche Ursache für den besseren Zustand bei den jüngsten Kanälen sind die verbesserten Bedingungen beim Einbau der Liner, z.B. bei der Einbindung von Hausanschlüssen, und die werksseitige Harztränkung des Trägermaterials, die sich in den letzten Jahren etabliert hat (Wicke 2017).

Anzahl Bäume: Neben der Tatsache, ob Kanäle von Bäumen umgeben sind oder nicht, kann auch die Anzahl an Bäumen den Zustand beeinflussen. Tendenziell nimmt der Anteil an Linern im guten Zustand mit zunehmender Baumanzahl ab, der Anteil an Kanälen im schlechten Zustand (Zustandsklasse 1 oder 2) nimmt zu (Abbildung 10).

Abbildung 10 zeigt die Zustandsverteilung für die einzelnen Merkmalsausprägungen der sechs einflussreichsten Variablen. Die Zustandsverteilungen für die anderen Variablen sind in Anhang C dargestellt.

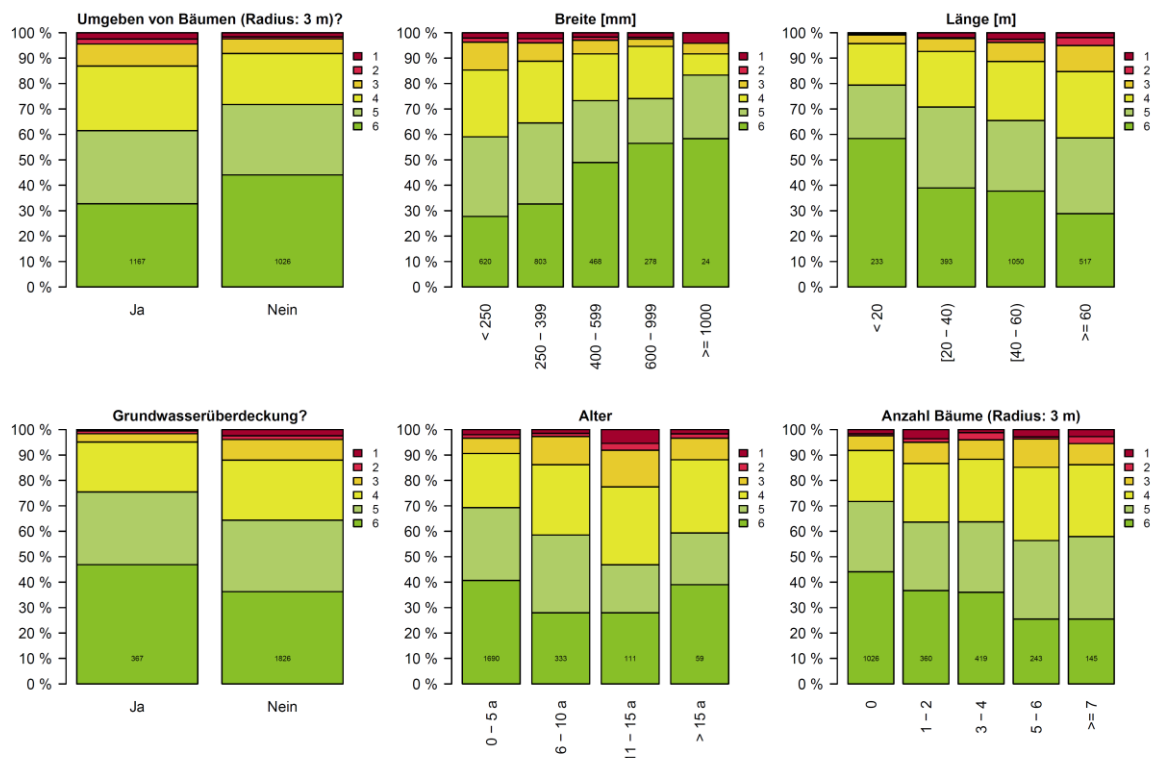


Abbildung 10: Zustandsverteilung für die Variablen mit der höchsten Effektstärke (Ränge 1 bis 6, n = 2193)

5. Schadensanalyse

Über die Zustandsanalyse hinaus wurde für die 2193 Inspektionsdatensätze (Einfach- und Mehrfachinspektionen) untersucht, welche Schäden an Linern und dem umgebenden Rohr am häufigsten vorkommen und welches die relevanten Einflussfaktoren für das Auftreten der Schäden sind. Dabei wurde analog zur Untersuchung der Zustandsverteilung (Kap. 4) ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest zwischen den einzelnen Schadenstypen und den Eingangsvariablen durchgeführt und *Cramér's V* als Maß für die Effektstärke berechnet (Details in Riechel et al. 2017, Kap. 3.1.1.2).

Bei 56% aller inspizierten gelinerten Haltungen wurde mindestens ein Schaden irgendeines Typs festgestellt. Die mit 34% bzw. 33% betroffener inspizierter Haltungen häufigsten Schadenstypen sind Lageabweichungen und Abflusshindernisse (Abbildung 13). Bei den Lageabweichungen, d.h. horizontalen oder vertikalen Ausbiegungen von der eigentlichen Kanalachse, ist jedoch davon auszugehen, dass es sich um Vorschädigungen des Kanals handelt, die durch das Schlauchlining nicht „wegrenoviert“ werden. Abflusshindernisse, d.h. kanalfremde Bestandteile, die eine Einschränkung des Querschnittes darstellen, werden in vielen Fällen durch einragende Hausanschlüsse verursacht, die häufig auf fehlerhafte Anbindung bei der Installation zurückzuführen sind. Auch Falten im Liner, ebenfalls ein häufig installationsbedingter Defekt, können Abflusshindernisse darstellen. Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen typische Schadensbilder für Lageabweichungen (links) und Abflusshindernisse (rechts).

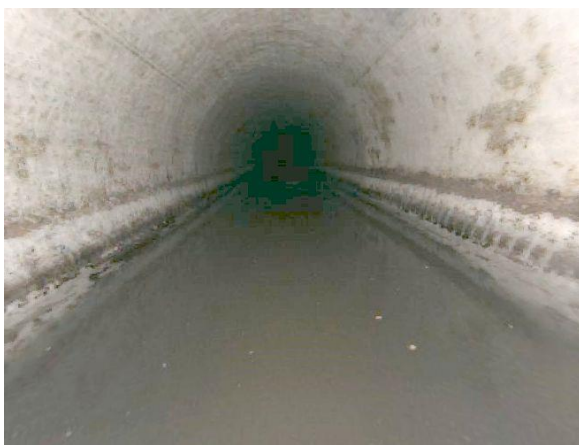


Abbildung 11: Lageabweichungen an einem Liner (Foto: BWB); Lageabweichung erkennbar an Restwasserfüllung



Abbildung 12: Abflusshindernisse in einem Liner (Foto: BWB)

Verwurzelungen, d.h. der Einwuchs von Wurzeln in den Kanal, sind mit 9% betroffener inspizierter Haltungen nach den oben genannten Schäden der dritthäufigste Schadenstyp (Abbildung 13). Häufig treten Verwurzelungen im Bereich der Hausanschlüsse auf. Andere Schäden wie Risse, Scherbenbildung, schadhafte Rohrverbindungen oder mechanischer Verschleiß, die an nicht gelinerten Kanälen relativ häufig beobachtet werden (> 37% der Inspektionen, Riechel et al. 2017), kommen an Linern eher selten vor ($\leq 5\%$ der Inspektionen). Wenn Korrosionsschäden, Rohrbrüche oder Scherbenbildungen vorkommen, so werden sie in der Regel am Schachtanschluss beobachtet.

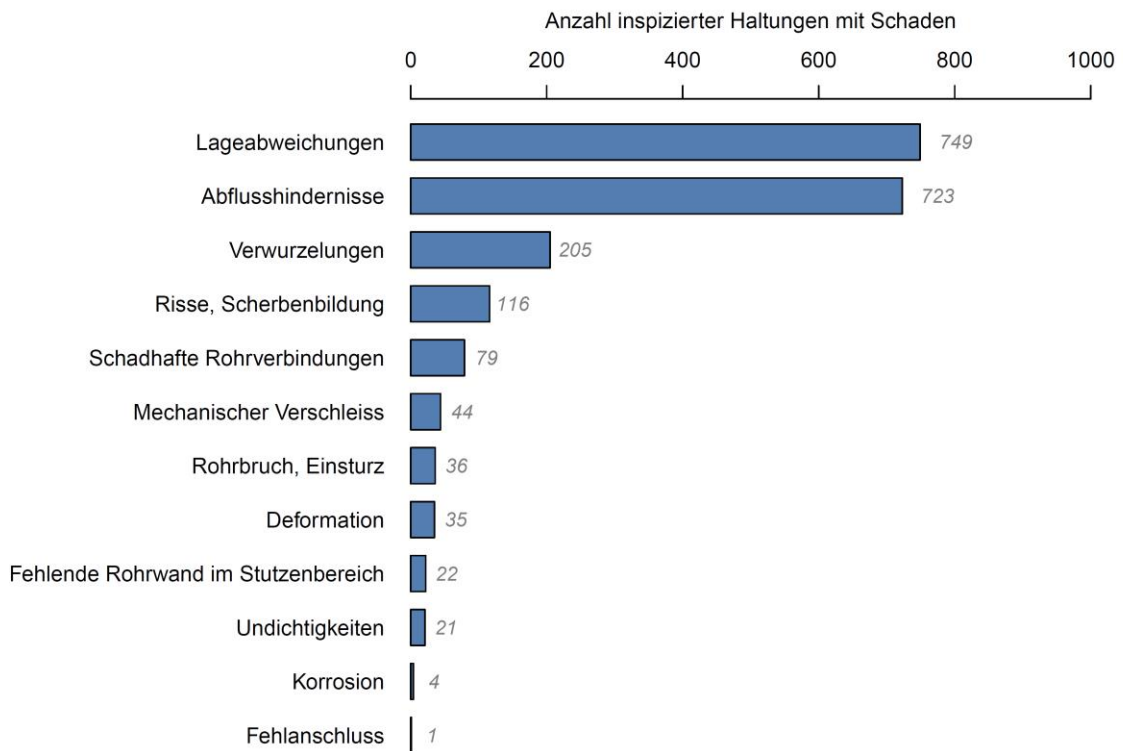


Abbildung 13: Anzahl schadhafter Haltungen je Schadenstyp

Analog zum Effekt auf die Zustandsverteilung haben Bäume, die Breite und die Länge einen relativ großen Einfluss auf das Auftreten von Schäden (dunkle Kästchen in Abbildung 14). Auch der Bezirk spielt - u.a. aufgrund der Korrelation zu den Bäumen - eine gewisse Rolle.

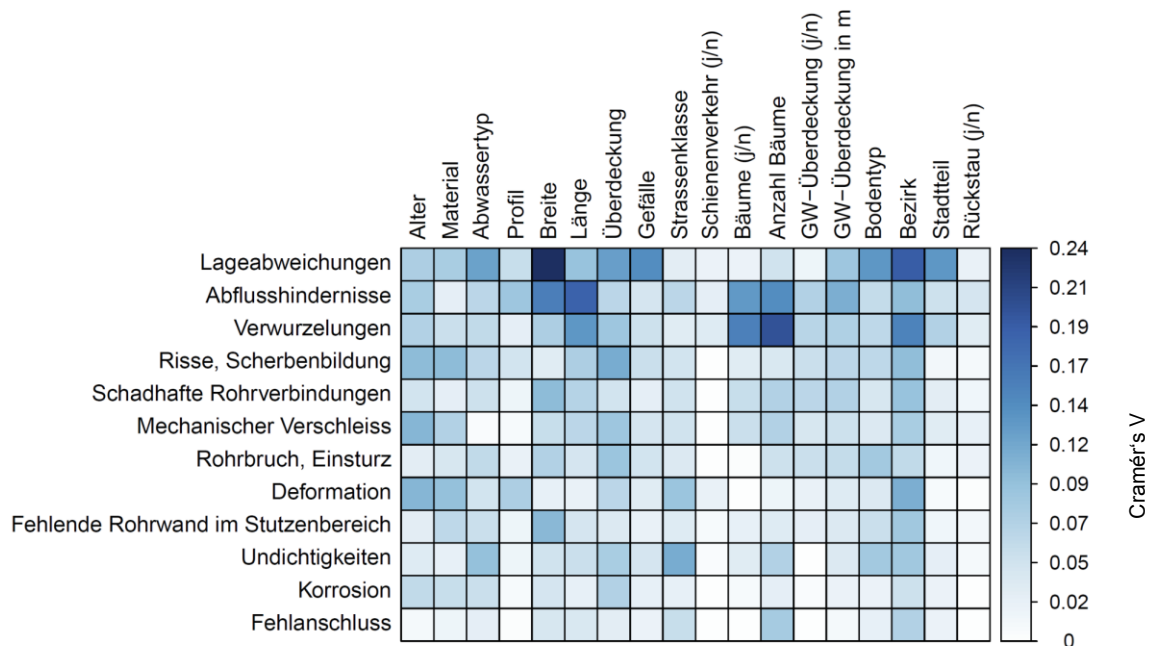


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Schäden und Variablen (quantifiziert über Cramér's V)

Die Zusammenhänge zwischen den drei häufigsten Schadenstypen (Lageabweichungen, Abflusshindernisse und Verwurzelungen) und den wichtigsten Einflussfaktoren sind im Folgenden ausführlicher erläutert:

- Den größten Effekt auf die Häufigkeit von Lageabweichungen hat die Breite: Je schmaler die Haltung, desto größer der Anteil an schadhafte Haltungen (Abbildung 15, links).
- Den größten Effekt auf Abflusshindernisse hat die Länge: Je länger eine Haltung, desto größer die Wahrscheinlichkeit für einen Schaden (Abbildung 15, Mitte). Auch bei schmalen Haltungen sowie in der Nähe von Bäume kommen Abflusshindernisse häufiger vor.
- Den größten Effekt auf Verwurzelungen haben die Bäume (j/n und Anzahl): Wenn Bäume in der Nähe sind und je höher die Anzahl an Bäumen, desto höher die Wahrscheinlichkeit eines Wurzelschadens (Abbildung 15, rechts). Bei langen Haltungen ist dieser Schadenstyp aufgrund der tendenziell höheren Baumzahl ebenfalls relativ häufig.

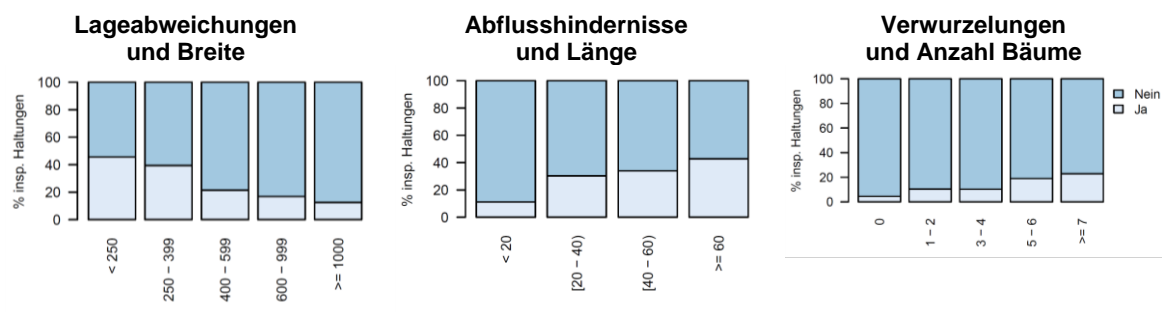


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen den drei häufigsten Schadenstypen und den wichtigsten Variablen. Hellblau – Anteil an Haltungen mit Schaden des entsprechenden Typs („Ja“), Dunkelblau – Anteil an Haltungen ohne Schaden des entsprechenden Typs („Nein“).

Das Alter spielt wie bei der Zustandsverteilung (Kap. 4) zum jetzigen Zeitpunkt eine untergeordnete Rolle für die Häufigkeit der meisten Schäden. Dennoch ist zu beobachten, dass Abflusshindernisse, die häufig auf fehlerhaft eingebundene Hausanschlüsse oder auf Faltenbildung bei der Installation zurückzuführen sind, bei den jüngsten Kanälen etwas seltener vorkommen. Dies ist vermutlich auf verbesserte Einbaustandards (siehe Kap. 4 und Wicke 2017) zurückzuführen. Bei den ältesten Linern (< 15 Jahre) ist der Anteil an Abflusshindernissen ebenfalls relativ gering, was aufgrund der geringen Stichprobenmenge (n = 59) mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist.

6. Fazit

Liner werden in Berlin seit etwa 30 Jahren zur Renovierung defekter Abwasserkanäle eingesetzt. Die Gesamtlänge der gelinerten Kanäle beläuft sich inzwischen auf 184 km, das entspricht 2% der Länge aller Abwasserkanäle (Stand März 2017; Bestandsdokumentation aufgrund verzögerter Erfassung von Neu-Linern unvollständig).

Besonders hoch ist der Anteil an Linern in Wasserschutzgebieten, wo etwa 5% der Kanäle durch Schlauchlining renoviert sind. Das mit einem Anteil von 69% am häufigsten eingesetzte Material ist in Epoxidharz getränkter glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), der sich insbesondere in den letzten zehn Jahren gegenüber Nadelfilz durchgesetzt hat.

Der Zustand der Liner kann allgemein als sehr gut bezeichnet werden (Zustandsklasse 4, 5 oder 6 für 89% der Inspektionen). Damit werden die von Wicke (2017) zusammengetragenen Ergebnisse zur Lebensdauer der Liner zumindest vorläufig bestätigt. Allerdings beträgt das durchschnittliche Alter der Liner zum Zeitpunkt der Inspektion nur 4 Jahre.

Die Haupteinflussfaktoren für den Zustand gelineter Kanäle sind Bäume sowie die Breite und Länge der Liner. Das Alter, der Haupteinflussfaktor für nicht gelinerte Kanäle, spielt aufgrund des geringen Alters der Berliner Liner zum jetzigen Zeitpunkt eine eher untergeordnete Rolle.

Die häufigsten beobachteten Defekte – Lageabweichungen und Abflusshindernisse – lassen sich meist auf Fehler bei der Installation oder auf Vorschädigungen der Kanäle zurückführen. Davon abgesehen, stellen Verwurzelungen mit 9% betroffener inspizierter Liner den häufigsten Defekt dar. Verwurzelungen treten häufig im Bereich der Hausanschlüsse auf.

Bei der Beurteilung des Zustands oder der Schäden sollte berücksichtigt werden, dass sich Inspektionen von Linern immer auf das Liner-Rohr-Gefüge beziehen. Das heißt, bestimmte Vorschädigungen des Kanals, z.B. Lageabweichungen, die auch nach der Renovierung noch sichtbar sind, werden als Schaden kodiert, obwohl der Liner selbst keine Schädigungen aufweist. Andere Schadenstypen, z.B. Korrosion, Scherbenbildung oder Rohrbrüche, betreffen nicht den Liner selbst sondern meist den Anbindungsbereich der Anschlusskanäle und den Anschlussbereich an den Schacht. Derartige Schäden im Schachtanbindungsbereich können beispielsweise dann sichtbar werden, wenn der Liner zu kurz geraten ist bzw. die Anbindung der Anschlusskanäle nicht fachgerecht hergestellt wurde.

Eine getrennte Beurteilung von Schäden am Liner selbst und Schäden am umgebenen Rohr wurde in der Diskussion als sehr aufwändig und zum jetzigen Zeitpunkt als nicht sinnvoll betrachtet. Zudem können Vorschädigungen am Rohr auch nach der Renovierung durch Liner weiter voranschreiten und irgendwann auch zur Beschädigung des Liners führen. Um solche Effekte erfassen zu können, ist es durchaus sinnvoll, das Liner-Rohr-Gefüge gemeinsam zu bewerten.

Für eine gesonderte Beurteilung der Liner und ihrer Lebensdauer wäre es möglich, alternative Schadenskataloge anzuwenden, die beispielsweise von Bosseler et al. (2009) entwickelt wurden. Dort sind beispielsweise geometrische Abweichungen durch Quer- oder Längsfalten, Auffälligkeiten an der Liner-Innenwand durch Blasen oder Farbänderungen, die auf eine unzureichende Aushärtung des Liners hinweisen, erfasst.

Bisher sind solche Bewertungsansätze aber in Berlin noch nicht in die Praxis umgesetzt worden.

Bei der stichpunktartigen Sichtung der Befahrungsprotokolle einzelner Liner ist zudem aufgefallen, dass die Datengrundlage zu den Linern zum Teil unsauber ist. In Einzelfällen war das Linerdatum nicht korrekt in die Datenbank eingetragen, so dass unklar ist, ob sich die Inspektionsergebnisse auf den Zustand vor oder nach der Renovierung beziehen. Andere als Liner deklarierte Haltungen wurden in Wirklichkeit nicht gelinert sondern auf andere Weise repariert oder sogar teilerneuert. Eine vollständige Neudokumentation der Liner wurde zum gegenwärtigen Zeitpunkt als zu aufwändig bewertet.

Anhang A : Übersicht der Variablen

Tabelle 2: Eingangsvariablen für die Beschreibung der Liner, die Zustands- und die Schadensanalyse

Variable	Beschreibung	Typ (n / k) ¹	Klassifizierung
Baujahr	Jahr, in dem die Baumaßnahme abgeschlossen wurde	n, k	< 1900; 1900-1949; 1950-1990; >=1991
Alter	Alter zum Zeitpunkt der Inspektion	n, k	0-25 a; 26-50 a; 51-75 a; 76-100 a; >= 100 a
Material	Werkstoff, aus dem die Haltung gefertigt ist	k	Steinzeug; Beton; Beton mit hoher Tragfähigkeit (wandverstärkter Beton und Stahlbeton); Asbest-Zement; Mauerwerk; PVC-U und Andere (Grauguss, Edelstahl, etc.)
Abwassertyp	Medium, das im Kanal transportiert wird	k	Mischwasser; Regenwasser; Schmutzwasser
Profil	Form des Kanalquerschnitts	k	Kreis; Kreis im Vortrieb; Ei; Maul und Andere (Kasten- und andere Sonderprofile)
Breite	Maximale Breite der Haltung	n, k	< 250 mm; 250-399 mm; 400-599 mm; 600-999 mm; >= 1000 mm
Länge	Länge der Haltung	n, k	< 20 m; 20-40 m; 40-60 m; >= 60 m ²
Überdeckung	Differenz zwischen Geländeoberkante und Kanaldecke	n, k	< 1 m; 1-2 m; 2-3 m; 3-4 m; >= 4 m ²
Gefälle	Höhendifferenz zwischen Kanalsohle am Anfangs- und am Endschacht geteilt durch Länge der Haltung	n, k	< 0,3%; 0,3-0,6%; 0,6-0,9%; >= 1,2% ²
Straßenklasse	Befahrungsgrad der anliegenden Straßen; ermittelt über GIS-Verschneidung mit Straßenkarte; 20 m Puffer um jede Straße (je 10 m rechts und links)	k	Straßenklassen 1, 2, 3 und 4 (viel bis wenig Verkehr) und Andere (nicht in Berliner Klassifizierung erfasste Nebenstraßen)
Schienenverkehr (j/n)	Beeinflussung durch Schienenverkehr: liegen im 3-m-Radius um Haltung Gleise oder kreuzen diese?; ermittelt über GIS-Verschneidung von Informationen zur Lage von Tram- Und U-Bahn-Gleisen	k	Ja; Nein

Variable	Beschreibung	Typ (n / k) ¹	Klassifizierung
Bäume (j/n)	Stehen im 3-m-Radius um Haltung Bäume?; ermittelt über GIS-Verschneidung mit Informationen zu Baumstandorten	k	Ja; Nein
Anzahl Bäume	Anzahl an Bäumen im 3-m-Radius um Haltung; ermittelt über GIS-Verschneidung mit Informationen zu Baumstandorten	n, k	0, 1-2; 3-4; 5-6; >= 7
Grundwasserüberdeckung (j/n)	Ist Haltung dauerhaft von Grundwasser überdeckt?; Ermittelt über GIS-Verschneidung mit Daten zum langjährig mittleren Grundwasserstand	k	Ja; Nein
Grundwasserüberdeckung (m)	Höhe der Grundwasserüberdeckung der Haltung, bezogen auf Kanalsohle; Ermittelt über GIS-Verschneidung mit Daten zum langjährig mittleren Grundwasserstand	n, k	< 1 m; 1-2 m, >= 2 m ³ , keine
Bodentyp	Bodentyp, in dem der Kanal liegt	k	Aufschüttung, Sand, Sand+Lehm, Andere
Bezirk	Berliner Stadtbezirk, in dem der Kanal liegt	k	12 Berliner Stadtbezirke (Unbekannt: Kanäle im Umland)
Stadtteil	Liegt der Kanal im ehemaligen Ost- oder Westteil der Stadt?	k	Ost; West; Unbekannt (Kanäle im Umland)
Betriebsstelle	BWB-Betriebsstelle	k	1; 2; 3; 5; 11; 12; 14; Unbekannt
Wasserschutzzone	Liegt der Kanal in einer Wasserschutzzone (I, II oder III)?	k	Ja; Nein
Düker (j/n)	Ist Kanal ein Düker?	k	Ja; Nein
Rückstau (j/n)	Ist Kanal dauerhaft rückgestaut?; betrifft nur Regenkanäle	k	Ja; Nein
Zustandsklasse	Baulicher Zustand des Liner-Rohr-Gefüges	k	1; 2; 3; 4; 5; 6 (1 – sehr schlecht, 6 – sehr gut)

Erläuterungen: ¹ Typ: n - numerisch; k – kategorisch; ² die linken Grenzen sind in den Intervall eingeschlossen; ³ die rechten Grenzen sind in den Intervall eingeschlossen

Anhang B : Materialverteilung der Liner

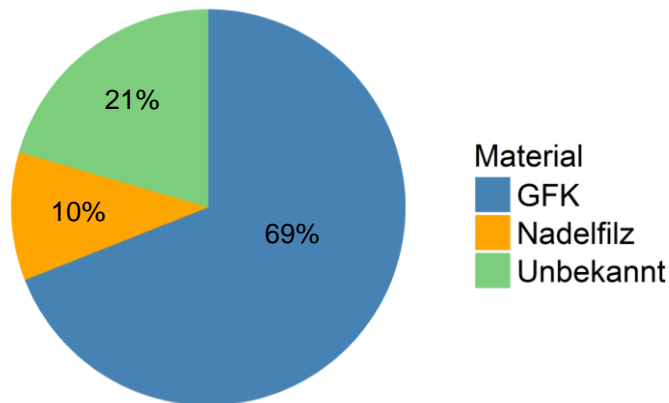


Abbildung 16: Materialverteilung der Liner (n = 3922)

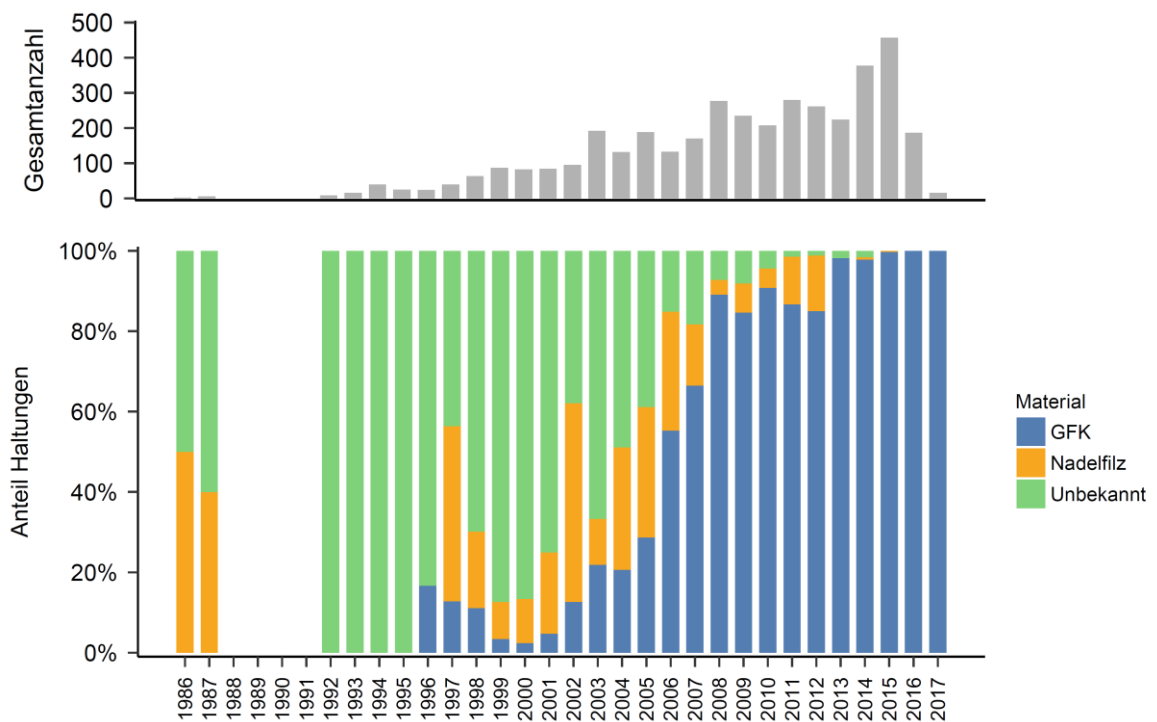


Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der Gesamtanzahl an Linern und der prozentualen Materialverteilung (n = 3922)

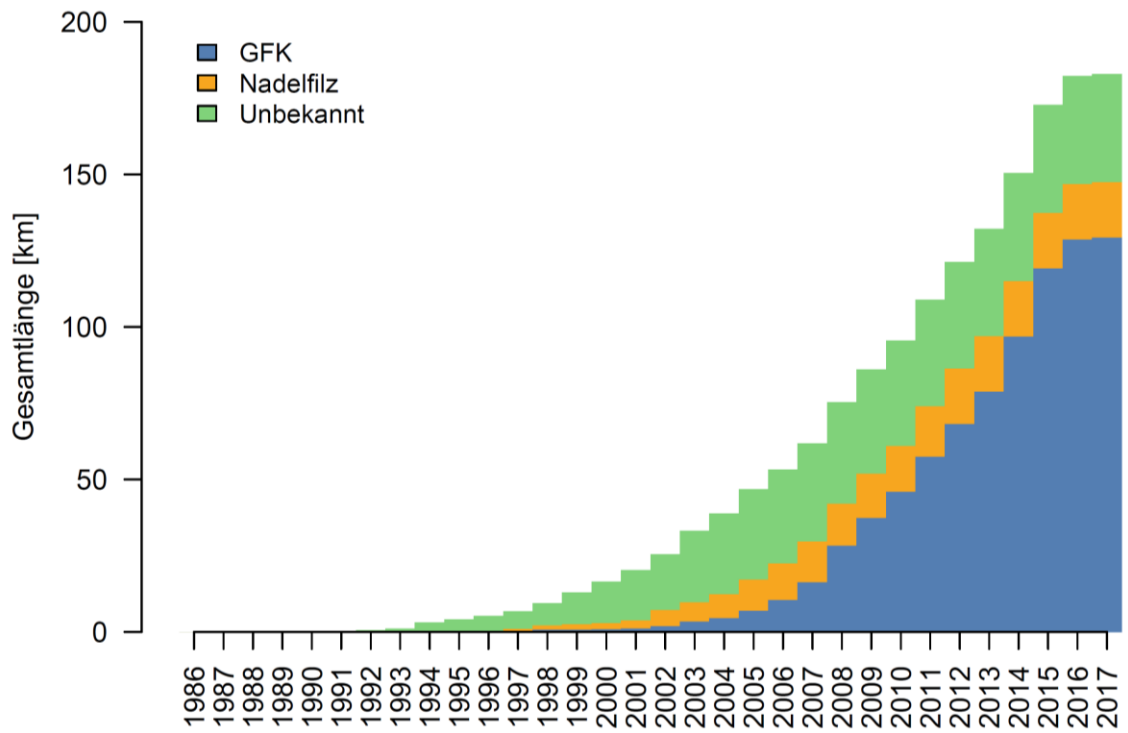


Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Gesamtlänge der Liner mit Materialverteilung (n = 3922)

Anhang C : Einfluss der Variablen auf die Zustandsverteilung

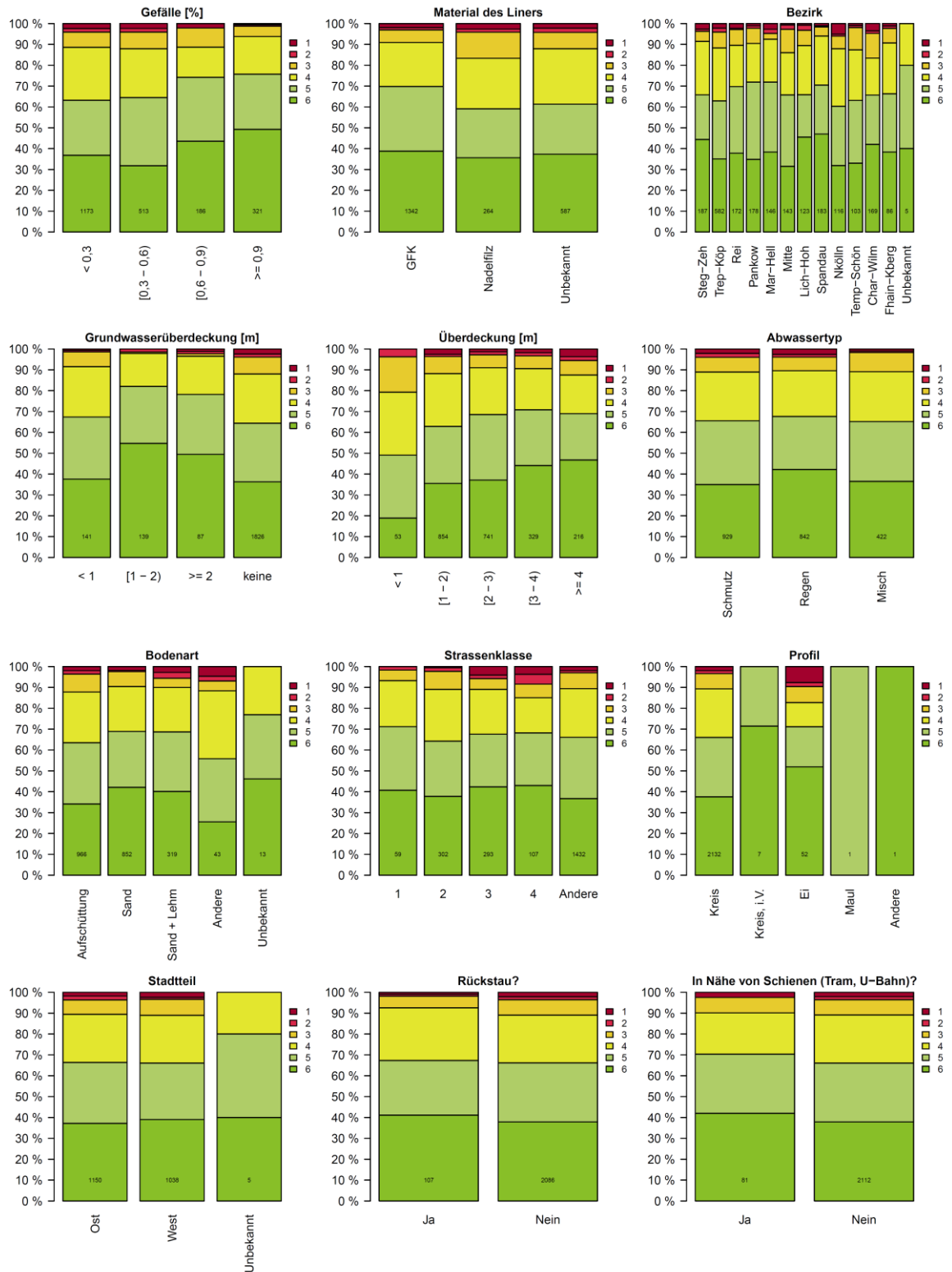


Abbildung 19: Zustandsverteilung für die weiteren Variablen sortiert nach Effektstärke Cramér's V (Ränge 7 bis 18, n = 2193)

Anhang D : Beschreibung der Schadenstypen

Tabelle 3: Beschreibung der Berliner Schadenstypen nach Schadenskatalog 11 (BWB 2001)

Name	Kodierung	Beschreibung
Undichtigkeiten	U	Sichtbare Undichtigkeiten, die auf keinen anderen erkennbaren Schaden zurückgeführt werden können
Abflusshindernisse	H	Kanalfremde Bestandteile, die eine Einschränkung des Querschnittes darstellen (auch nach Kanalreinigung)
Verwurzelungen	W	Einwuchs von Wurzeln in den Kanal
Schadhafte Rohrverbindungen	M	Lageabweichungen oder sichtbare Dichtungsschäden im Verbindungsbereich zweier Rohre
Lageabweichungen	L	Horizontale oder vertikale Ausbiegungen von mehr als einem Kanalrohr von der (idealen) Kanalachse
Mechanischer Verschleiß	V	Materialabtrag der Kanalwandung durch mechanischen Einfluss
Korrosion	C	Materialabtrag der Kanalwandung durch chemischen Einfluß
Deformation	D	Sichtbare Deformation des Rohrquerschnittes
Risse, Scherbenbildung	R	Rissbildungen in der Kanalwandung
Rohrbruch, Einsturz	B	Rohrbruch: Fehlen von Wandungsteilen innerhalb des Kanals; Einsturz: sichtbare Gefährdung der statischen Standsicherheit des Kanals
Fehlanschluss	F	Anschluss eines Regen- an einen Schmutzkanal oder eines Schmutz- an einen Regenkanal
Fehlende Rohrwand im Stützenbereich	E	Rohrwand im Ringraum um den Stützen fehlt; Wasser tritt ein/aus bzw. Boden ist sichtbar

Literaturverzeichnis

- Agresti, A. (2007): An Introduction to Categorical Data Analysis, John Wiley & Sons Hoboken, N.J.
- Bosseler, B., Sokoll, O., Diburg, B., Beck, S. (2003): Qualitätsaeinflüsse Schlauchliner - Stichprobenuntersuchungen an sanierten Abwasserkanälen. IKT - Institut für unterirdische Infrastruktur.
- Bosseler, B., Schlüter, M., und Wade, L. (2009): Abnahme von Liningmaßnahmen - Materialnachweise und Bewertung der Linerqualität (Kurzbericht). IKT - Institut für unterirdische Infrastruktur.
- BWB (2001): Schadenskatalog für Abwasserkanäle, Version 11. Berliner Wasserbetriebe, Grundlagenplanung und Investitionssteuerung.
- Cramér, H. (1946): Mathematical Methods of Statistics. Princeton: Princeton University Press, page 282 (Chapter 21. The two-dimensional case). ISBN 0-691-08004-6
- McHugh, Mary L. (2013): The Chi-square test of independence, Biochem Med (Zagreb). 2013 Jun; 23(2): 143–149. doi: 10.11613/BM.2013.018; PMID: PMC3900058; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3900058/>
- Pearson, K. (1900): On the criterion that a given system of derivations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science 50(5), 157–175.
- Riechel, M., Caradot, N., Lengemann, N. (2017): Analyse und Modellierung des Zustands von Abwasserkanälen in Berlin - Abschlussbericht des Forschungsvorhabens SEMA-Berlin.
- Sangster, T., Downey, D. (2006): 35 Jahre Schlauchlining – Ein Verfahren erobert den Markt., in 4. Deutscher Schlauchlinertag: Nürnberg, 30. März 2006.
- Wicke, D. (2017): Untersuchung der Lebensdauer von Schlauchlinern - Ergebnisse der Literaturrecherche. Bericht des Forschungsvorhabens SEMA-Berlin.