FE-Projekt-Nr. 21.0054/2012

Erhaltungsbedarfsprognose

(BVWP) 2016 – 2030

der Bundesfernstraßen

- Schlussbericht -

Dipl.-Ing. G. Maerschalk
Dr.-Ing. G. Krause
Dipl.-Ing. K. Hinsch

SEP Maerschalk GmbH

München, März 2017

Im Auftrag des
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 AUSGANGSSITUATION, AUFGABENSTELLUNG UND UNTERSUCHUNGSABLAUF 5
1.1 Ausgangssituation 5
1.2 Aufgabenstellung 6
1.3 Untersuchungsablauf 7
1.3.1 Zeitlicher und arbeitstechnischer Ablauf 7
1.3.2 Ablauf der Daten- und Verfahrensaktualisierungen 9
2 GEGENSTAND UND ZIELE DER STRASSENERHALTUNG 13
2.1 Anlagenaggregate und Maßnahmekategorien 13
2.2 Ziele der Straßenerhaltung 16
3 DATEN- UND MODELLGRUNDLAGEN 19
4 BESTAND UND ZUSTAND DER FAHRBAHNEN UND INGENIEURBAUWERKE 21
4.1 Fahrbahnbefestigungen 21
4.1.1 Längen- und Flächenbestand der durchgehenden Fahrbahnen 21
4.1.2 Bestand der Äste, Seitenstreifen, Betriebsflächen und der Radwege 25
4.1.3 Altersstruktur der durchgehenden Fahrbahnen 27
4.1.4 Zustand der durchgehenden Fahrbahnen aus der ZEB 34
4.1.5 Substanzwert-Bestand, ZEB-Auswerteabschnitte und homogene Abschnitte 38
4.1.6 Zustand der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen 46
4.1.7 Verkehrsbelastungen der Bundesfernstraßen 46
4.2 Ingenieurbauwerke 47
4.2.1 Bestand der Ingenieurbauwerke 47
4.2.2 Altersstruktur der Ingenieurbauwerke 50
4.2.3 Zustand der Ingenieurbauwerke 52
4.3 Sonstige Anlagenteile und Nebenanlagen 59
5 ERHALTUNGSBEDARF DER FERNSTRASSENINFRASTRUKTUR 61
5.1 Ablauf der Berechnungen 61
5.2 Finanzmittelvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 63
5.3 Erhaltung und Erweiterung bzw. Um-/Ausbau 65
5.4 Erhaltungsbedarf der Fahrbahnen und der Radwege 67
5.4.1 Finanzbedarf für die bauliche Unterhaltung der durchgehenden Fahrbahnen, der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen 67
5.4.2 Finanzbedarf zur Instandsetzung und Erneuerung der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen 70
5.4.3 Finanzbedarf zur Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen 72
5.4.4 Finanzbedarf zur Erhaltung der Radwege an Bundesstraßen 83
5.5 Finanzbedarf für die Instandsetzung/Erneuerung und die Ertüchtigung der Ingenieurbauwerke 84
5.5.1 Erhaltungsbedarf der restlichen Ingenieurbauwerke 84
5.5.2 Erhaltungsbedarf der Brücken 87
5.5.2.1 Finanzbedarf zur Ertüchtigung des Brückenbestands 87
5.5.2.2 Finanzbedarf zur Instandsetzung und Erneuerung des Brückenbestands 88
5.6 Finanzbedarf für die sonstigen Anlagenteile von Straßen und die Nebenanlagen 95
6 GESAMTER FINANZBEDARF FÜR DIE BAULICHE ERHALTUNG DER FERNSTRASSENINFRASTUKTUR 99
LITERATUR (SCHLUSSBERICHT) 105

ANLAGE: VERFAHRENSBESCHREIBUNG 107
1 DATENGRUNDLAGEN FÜR DIE PMS-ANWENDUNG 117
2 VERFAHRENSABLAUF DES PMS 118
2.1 Bildung homogener Abschnitte 119
2.2 Zustandsprognose und Eingreifzeitraum 120
2.3 Schadensursachen und mögliche Erhaltungsmaßnahmen 124
2.4 Bewertung der möglichen Erhaltungsmaßnahmearten 125
2.5 Netzweite Optimierung der bewerteten Erhaltungsmaßnahmearten 131
LITERATUR ZUM PMS: 134
1 BESTANDSDATEN DER INGENIEURBAUWERKE 136
2 SCHADENS- UND ZUSTANDSBEWERTUNG DER INGENIEURBAUWERKE 136
3 FINANZBEDARFSERMITTLUNG FÜR DIE INGENIEURBAUWERKE 138
3.1 Beschreibung der Zustandsentwicklung 139
3.2 Maßnahmearten und Maßnahmekosten 140
LITERATUR ZUM BMS 142

ANHANG: HANDBUCH ZUR DOKUMENTATION 143
ANHANG 1: DATENDOKUMENTATION 145
ANHANG 2: ERGEBNISDOKUMENTATION 161

1 AUSGANGSSITUATION, AUFGABENSTELLUNG UND UNTERSUCHUNGSABLAUF

Im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung 2003 (BVWP 2003) wurde der Erhaltungsbedarf der Fernstraßeninfrastruktur für den Zeitraum von 2001 bis 2015 ermittelt. Für die dazu erstellte Prognose (*Hinsch, Krause, Maerschalk, Rübensam 2002*) waren bei den durchgehenden Fahrbahnen neben den Netzdaten (Stand 1.1.2000), den Querschnittsdaten, der Altersstruktur und den Bauweisen auch die Ergebnisse der bundeseinheitlichen messtechnischen Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) 1997/1998 der Bundesautobahnen und 1999/2000 der Bundesstraßen verfügbar. Für die Astfahrbahnen, die Brücken und die restlichen Ingenieurbauwerke konnte auf die Bauweisen und die Altersstrukturen zurückgegriffen werden. Belastungen im Gesamt- und Schwerverkehr (DTV, DTV-SV) wurden aus einer um die Jahrtausendwende durchgeführten Verkehrsprognose übernommen.

Die ZEB erfolgt im 4-Jahres-Turnus für alle durchgehenden Fahrstreifen der Bundesautobahnen und für eine Fahrtrichtung der Bundesstraßen. Auf Basis der ermittelten Daten der ZEB 2009/2010 der Bundesautobahnen und 2007/2008 der Bundesstraßen, aktualisierten Bestandsdaten und zwischenzeitlich nahezu vollständig vorliegenden Zustandsdaten der Ingenieurbauwerke wurde der für den BVWP 2003 ermittelte Erhaltungsbedarf überprüft und für den 15-Jahres-Zeitraum von 2011 bis 2025 fortgeschrieben (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*). Zielvorgabe dabei war, den Status- quo des Jahres 2010 im Fahrbahn- und Brückenzustand zu halten.

1.1 Ausgangssituation

Als wesentlicher Bestandteil des neuen BVWP 20130 sollte der Erhaltungsbedarf der Bundesfernstraßen für den Zeitraum von 2016 bis 2030 ermittelt werden. Dieser Bedarf sollte mit den Ergebnissen der ZEB 2013/2014 der Bundesautobahnen, der ZEB 2011/2012 der Bundesstraßen, aktuellen Bestands- und Verkehrsdaten, fortgeschriebenen Bestands- und Zustandsdaten der Ingenieurbauwerke sowie einer verbesserten Bestandsstatistik sonstiger Anlagenteile ermittelt werden. Dabei sollten aktualisierte Prognoseverfahren zur Anwendung kommen (s. Kap. 1.3.2 sowie Verfahrensbeschreibung des PMS in der **ANLAGE**).

Für die Erstellung einer validen Datengrundlage kann auf den für die Überprüfung und Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs der Bundesfernstraßen verwendeten Datenbestand zurückgegriffen werden (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*). Die herangezogenen Daten dieser Aktualisierung für den Prognosezeitraum von 2011 bis 2025 weisen den Zeitstand 31.12.2010 auf. Die Prognoseverfahren für die wichtigsten Straßenverkehrsanlagen, die Fahrbahnen und die Ingenieurbauwerke, basieren auf den Planungstools „Pavement Management System (PMS)“ und „Bauwerks-Management-System (BMS)“.

Das PMS für die Fahrbahnen wurde Ende der 1990-er-Jahre eingeführt und anschließend in allen 13 Flächenländern einer Erstanwendung unterzogen (*Maerschalk, Krause 2004*). Bei der Konfiguration mussten vielfach pragmatische Festlegungen getroffen werden, die bis

2010 in einer Reihe von Forschungsprojekten überprüft wurden (Zusammenstellung s. *Krause, Maerschalk 2010*). Die Ergebnisse dieser Forschungsprojekte wurden teils vorab, teils bei der Bearbeitung der vorliegenden Bedarfsprognose im PMS umgesetzt.

Das BMS für die Ingenieurbauwerke (*Haardt 2002*) wird derzeit einem Praxistest in verschiedenen Bundesländern unterzogen. Eine Weiterentwicklung des Systems, die erst nach Abschluss dieser Tests möglich wird, kann im Zeitrahmen des vorliegenden Projekts voraussichtlich nicht berücksichtigt werden. Das hier verwendete Prognoseverfahren basiert auf Adaption von Modul „BMS-SB“ (*Holst 2005)*), das ohnehin nicht im Mittelpunkt des Praxistests steht.

1.2 Aufgabenstellung

Bei der Ermittlung des Finanzbedarfs für die Erhaltung der Fernstraßeninfrastruktur über einen 15-jährigen Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 müssen alle Anlagenaggregate berücksichtigt werden, d. h. die

- Fahrbahnen (durchgehende Fahrbahnen und Astfahrbahnen),
- Brücken und die restlichen Ingenieurbauwerke (Verkehrszeichenbrücken, Tunnel-/Trogbauwerke, Stützbauwerke, Lärmschutzbauwerke),
- sonstigen Anlagenteile von Straßen (Entwässerungseinrichtungen, Erdkörper, Bepflanzung, Ausstattung, Zubehör, Durchlässe),
- Radwege an den Bundesstraßen,
- Nebenanlagen (Betriebsflächen, Hochbauten).

Um bei der Berechnung des Erhaltungsbedarfs die gewünschte und erforderliche hohe Ergebnisqualität zu erreichen, waren für alle o. g. Anlagenaggregate die verfügbaren Daten zu aktualisieren bzw. neu zu erfassen. Zudem waren die Prognoseverfahren auf den neuesten Erkenntnisstand fortzuschreiben. Mit den aktualisierten und validierten Prognoseverfahren sollten drei Rechenläufe für definierte Szenarien durchgeführt werden.

Ein sehr wesentliches Ziel des BVWP 2030 besteht darin, ein den Verkehrsanforderungen genügendes Bundesfernstraßennetz im Zeitraum von 2016 bis 2030 bereitzustellen und abzusichern. Bei den Prognoserechnungen zum Erhaltungsbedarf waren dazu die aus der Zustandsentwicklung resultierenden Auswirkungen im Straßennetz abzuschätzen. Dies ist ausschließlich bei Anwendung abschnitts- bzw. objektbezogener Prognoseverfahren möglich, die für die Fahrbahnen auf dem PMS und für die Brücken und den restlichen Ingenieurbauwerke auf dem BMS basieren (s. Kap. 1.1). Für die sonstigen Anlagenteile und die Nebenanlagen war zu prüfen, welche Prognoseverfahren für eine Anwendung in Betracht kommen.

Da Prognoseergebnisse nur über kürzere Zeitabstände von ca. 5 Jahren abgesichert sind, sollen künftig anlagenbezogen auch kurzzeitigere Aktualisierungen als bisher möglich sein. Dazu war der auf Plausibilität und Vollständigkeit überprüfte Datenbestand zu dokumentieren und zu übergeben. Zusätzlich zur Dokumentation und Übergabe des Datenbestands sollten alle Verfahrensabläufe der Rechenmodelle so beschrieben werden, dass sie vom Auftragge-

ber (AG) selbständig weiter genutzt werden können. Um die Rechenmodelle nachvollziehen zu können, müssen auch alle Rechenergebnisse der Erhaltungsbedarfsprognose 2016 bis 2030 in geeigneter Form dokumentiert und an den AG übergeben werden.

Zur zusammenhängenden Darstellung der methodischen Grundlagen und der Prognoseergebnisse war ein ausführlicher Schlussbericht (Hintergrundbericht) zu erstellen, der auch Konsequenzen der Prognoserechnungen aufzeigt. Zusätzlich sollten in Abstimmung mit dem AG Sachstandberichte und ein abschließender Kurzbericht erstellt werden. Alle Berichte waren auch in digitaler Form zu übergeben.

1.3 Untersuchungsablauf

Entsprechend der Aufgabenstellung gemäß Kap. 1.2 kann der Untersuchungsablauf in die folgenden 4 Arbeitsschritte untergliedert werden:

- Bereitstellung einer aktuellen Datenbasis;
- Weiterentwicklung, Validierung und Anwendung der Prognoseinstrumentarien;
- Dokumentation der Datengrundlagen und der Prognoseergebnisse;
- Berichtswesen mit den erforderlichen Abstimmungsgesprächen, Zwischenberichten, einem Kurzbericht und einem ausführlicheSchlussbericht.

1.3.1 Zeitlicher und arbeitstechnischer Ablauf

Die Prognose des Finanzbedarfs für die Erhaltung der Fernstraßeninfrastruktur soll entsprechend den Vorgaben zum BVWP 2030 für den 15-Jahres-Zeitraum von 2016 bis 2030 erfolgen, das erste Prognosejahr ist somit 2016. Der optimale Zeitstand für die Bereitstellung der Datengrundlagen gemäß AP 1 wäre dementsprechend der 31.12.2015; die entsprechenden Daten standen jedoch frühestens im ersten Quartal 2016 zur Verfügung. Die Ergebnisse eines ersten Rechenlaufs wurden jedoch bis spätestens Ende September 2015 benötigt, da der Finanzbedarf für die Erhaltung von den Gesamtmitteln für den Straßenbau subtrahiert werden sollte, um den verfügbaren Finanzrahmen für Um-/Ausbau und Neubau abzugrenzen. Aufgrund dieser Zeitvorgabe mussten die Datenerhebungen und -aufbereitungen bereits im ersten Halbjahr 2015 abgeschlossen werden. Somit wurde folgender Ablauf vereinbart:

- Erhebung und Aufbereitung der Datengrundlagen in enger Abstimmung mit den Auftragsverwaltungen der Bundesländer im ersten Halbjahr 2015 für den Zeitstand 31.12.2014. Bei den Bundesautobahnen mit Betondecken sollten zusätzlich bereits sichtbare bzw. künftig zu erwartende Schäden infolge von Alkali-Kieselsäure-Reaktionen (AKR) abgefragt werden.
- Durchführung und Auswertung eines 1. Rechenlaufs bis Ende September 2015.
  Ausgehend von einem in den 5 Jahren von 2016 bis 2020 vorgegebenen festen Finanzrahmen (Gesamtbeträge der Finanzplanung-Erhaltung) sollte der Finanzbedarf über den gesamten Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 für ein zu definierendes Szenario (s. Kap. 5.4.3) mit dem Kostenstand 1.1.2015 unter Berücksichtigung eventueller Sonder-

aufwendungen für AKR (s. o.) bestimmt werden. Für den Zeitraum von 2016 bis 2020 sollte die Mittelaufteilung zwischen den Anlagenaggregaten entsprechend den Erhaltungsausgaben von 2011 bis 2014 erfolgen.

Bei den Fahrbahnen musste beim 1. Rechenlauf für die Zustandsbeschreibung noch die bis 2014 praktizierte Zustandsbewertung zugrundegelegt werden, da zum Zeitpunkt der Berechnungen noch nicht alle für die fortgeschriebene, ab 2015 anzuwendende Zustandsbewertung benötigten Größen in den Ergebnisdateien der ZEB verfügbar waren.

Für Brücken mit Tragfähigkeitsdefiziten oder anderen konstruktiven Defiziten wurde vom zuständigen Fachreferat des BMVI ein Programm zur Brückenertüchtigung entwickelt, Die für 2016 bis 2030 ermittelte Gesamtsumme zur Brückenertüchtigung von rund 12,9 Mrd. Euro war bei fest vorgegebenen Beträgen für die Jahre 2016 bis 2020 gesondert zu berücksichtigen.

- Durchführung und Auswertung eines 2. Rechenlaufs bis Ende Januar 2016.

  Unter Berücksichtigung des Datenstands 31.12.2014 sollte die Gesamtsumme des Erhaltungsbedarfs für den Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 aus dem 1. Rechenlauf gemäß eine Vorgabe des AG möglichst genau beibehalten werden (Kostenstand 1.1.2015).

  Für die Darstellung der Zustandsentwicklung der Fahrbahnen war beim 2. Rechenlauf die ab 2015 zugrunde zu legende Zustandsbewertung anzusetzen.

  Da bei der Mittelaufteilung gemäß den Erhaltungsausgaben von 2011 bis 2014 relativ wenig Finanzmittel für die Brückenertüchtigung anfielen, sollte die Mittelaufteilung zwischen Fahrbahnen und Ingenieurbauwerken in der ersten Halbdekade von 2016 bis 2020 überprüft und ggf. modifiziert werden.

- Erhebung und Aufbereitung der Datengrundlagen bis Ende Mai 2016 für den Zeitstand 31.12.2015.

- Durchführung und Auswertung eines 3. Rechenlaufs bis zur Jahresmitte 2016.

  Dieser abschließende 3. Rechenlauf sollte sich auf den Netz- und Datenstand 31.12.2015 beziehen (Kostenstand weiterhin 1.1.2015). Dabei sollten insbesondere die im Jahr 2015 durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Die Gesamtsumme des Erhaltungsbedarfs für den Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 aus dem 1. und 2. Rechenlauf war möglichst genau einzuhalten. Ebenso waren die Finanzmittelvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 zu übernehmen.

  Wie bereits beim 2. Rechenlauf war für die Darstellung der Zustandsentwicklung der Fahrbahnen die ab 2015 zugrunde zu legende Zustandsbewertung anzusetzen.

  Der Mittelsplitt zwischen den Straßenkategorien und den Anlagenaggregaten aus den ersten beiden Rechenläufen sollte nochmals überprüft werden. Bezüglich der Brückenertüchtigung war der aktuelle Stand zu berücksichtigen.

- Dokumentation der Daten, Verfahren und Ergebnisse sowie Erstellung der Berichte nach Abschluss des 3. Rechenlaufes.

1.3.2 Ablauf der Daten- und Verfahrensaktualisierungen

Die benötigten Datengrundlagen der Straßenverkehrs- und Nebenanlagen finden sich überwiegend in den Straßendatenbanken (z. B. TTSIB, NWSIB) und den Bauwerksdatenbanken (SIB-Bauwerke) der Bundesländer. Die durch die Auftragsverwaltungen der Bundesländer übermittelten Daten werden grundsätzlich hinsichtlich ihrer Vollständigkeit und ihrer Qualität bzw. Plausibilität beurteilt. Die bei der Datenaufbereitung im Hinblick auf die Vollständigkeit zunächst noch einbezogenen ÖPP-Projekte (bisher vergebene Ausbau- bzw. Verfügbarkeitsmodelle) der Bundesautobahnen werden bei den Prognoserechnungen zum Erhaltungsbedarf nicht berücksichtigt.

Fehlende Daten führen zum Ausschluss von Fahrbahnabschnitten oder Teilbauwerken aus den Prognoserechnungen. Fehlerhafte Daten können, vor allem in größeren Mengen, die Ergebnisqualität beeinträchtigen. Für die Beurteilung der Datenvollständigkeit wird das aus den Straßendatenbanken der Länder übernommene, mit den Netzkenngrößen beschriebene Bestandsnetz für einen vorgegebenen Zeitstand als „Soll-Netz“ definiert (s. dazu Kap. 4.1.1). Aus der Zuordnung der Querschnitts-, Aufbau-, Maßnahme-, Verkehrs- und ZEB-Daten zu diesem „Soll-Netz“ ergeben sich evtl. vorhandene Datenlücken, die häufig einzelne kurze Streckenabschnitte betreffen. Um die Datenlücken und die meist schwieriger ermittelbaren falschen bzw. nicht plausiblen Daten weitestgehend zu bereinigen und das Bestandsnetz möglichst vollständig und korrekt abzubilden, werden alle als sinnvoll eingestuften Ergänzungen und Korrekturen vorgenommen und mit ihren Verfahrensweisen dokumentiert. Anzumerken ist, dass nicht alle Korrekturen automatisiert erfolgen können.

Da die von den Auftragsverwaltungen übermittelten Daten in den Länderdatenbanken hinterlegt sind, wird im Rahmen der Bedarfsprognose nur der Gesamtdatenbestand mit den Ergänzungen und Korrekturen gesichert und archiviert. Wenn, wie im vorliegenden Fall (s. Kap. 1.3.1), die Daten auf bestimmte Zeitstände zu beziehen sind, muss der archivierte (ergänzte/korrigierte) Datenbestand wie folgt fortgeschrieben werden:

- Der gesamte Bestand der benötigten Netz-, Bestands- und Verkehrsdaten wird aus den Datenbanken der Bundesländer übernommen.
- Mit den vorhandenen und dokumentierten Verfahren erfolgt ein Abgleich des aktuell übermittelten Datenbestands mit dem archivierten (ergänzten/korrigierten) Datenbestand.
- Evtl. Ergänzungen/Änderungen werden ermittelt, geprüft und zusammen mit den jeweiligen ZEB-Daten in den vorhandenen und nunmehr mit neuem Zeitstand archivierten Datenbestand eingearbeitet.

Dieser Abgleich auf Basis des Gesamtbestands ist erforderlich, da in den Datenbanken der Bundesländer immer wieder auch ältere Daten ergänzt oder korrigiert werden. Für die Vorhaltung der ergänzten/korrigierten Daten ist Standard-Software (z. B. MS-Access, MS-Excel) völlig ausreichend. Für die weitere Bearbeitung werden alle benötigten Daten auf die Rasterung der ZEB bezogen („Raster-ZEB“-Datei).

Der benötigte Datenbestand der Ingenieurbauwerke wird als Auslagerungsdatei von SIB-Bauwerke der Bundesländer für den jeweiligen Zeitstand übernommen und in das System SIB-Bauwerke des AN überführt. Aufgrund der regelmäßigen Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 ist die Vollständigkeit des Bestands sehr gut gewährleistet. Hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Daten werden Prüfungen durchgeführt. Verfahrensweisen zur Identifizierung offensichtlicher Fehlangaben bei den für die Bedarfsermittlung benötigten Daten liegen vor (z. B. vorhandene Zustandsnoten für ein nicht vorhandenes Bauteil bzw. umgekehrt). Für die Brücken wird die aktuelle „BASt-Liste“ mit den zur Brückenertüchtigung anstehenden Bauwerken abgefragt. Dabei sind prinzipiell nicht nur die betroffenen Bauwerke, sondern auch die vorgesehenen Ertüchtigungszeitpunkte (Jahre) von Interesse.

Die Vorhaltung, Archivierung und Dokumentation der Daten für die Teilbauwerke der Brücken und der restlichen Ingenieurbauwerke erfolgt sowohl bei den einzelnen Bundesländern als auch, für die Bundesfernstraßen insgesamt, bei der Bundesanstalt für Straßenwesen im System SIB-Bauwerke. Anders als bei den Fahrbahnen (s. o.) ist eine zusätzliche separate Datenhaltung für Bedarfsprognosen oder vergleichbare Aufgabenstellungen nicht erforderlich.

Bei den sonstigen Anlagenteilen sind im Gegensatz zu den früheren Prognoserechnungen differenziertere Betrachtungen möglich, sofern Angaben zu den Mengenbeständen (Anzahl, Länge, Fläche) verfügbar sind.

Im Vorfeld der eigentlichen Berechnungen sollte das Prognoseinstrumentarium soweit wie möglich und nötig aktualisiert und anschließend validiert werden. An den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik anzupassen war dazu das im Zeitraum von 1999 bis 2002 mit seinen Modellparametern in einer Erstanwendung getestete und im entsprechenden Bericht (*Maerschalk, Krause 2004*) ausführlich erläuterte PMS, das in einer für Netzbetrachtungen modifizierten Version bereits für die Bedarfsermittlung der Fahrbahnbefestigungen bei der Prognose zum BVWP 2003 (*Hinsch, Krause, Maerschalk, Rübensam 2002*) und bei der Bedarfsaktualisierung für 2011 bis 2025 (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*) herangezogen wurde.

Für das PMS liegen Verbesserungsvorschläge vor, die in diversen Forschungsprojekten entwickelt und für die Umsetzung aufbereitet wurden (*Krause, Maerschalk 2010*). Bezogen auf das Prognoseverfahren sind die folgenden Änderungen zu berücksichtigen:

- Zeitliche Fortschreibung des Zustands für die mit physikalischen Dimensionen quantifizierten Zustandsgrößen und nicht mehr für die bereits normierten Zustandswerte. Dafür müssen neue Verlaufsfunktionen zur Beschreibung der Zustandsentwicklung integriert werden. Ebenso müssen die Algorithmen für die nunmehr innerhalb des Prognoseverfahrens erforderliche Zustandsbewertung hinterlegt werden.
- Einbeziehung des in einem Forschungsprojekt (*Krause, Maerschalk 2014*) überarbeiteten und wesentlich verbesserten Berechnungsverfahrens für den Substanzwert-Bestand. Der Substanzwert-Bestand, der großen Einfluss auf die Auswahl insbesondere von Erneue-

rungsmaßnahmen hat, ergibt sich aus einer Bewertung der Arten, Dicken und des Alters der vorhandenen gebundenen Befestigungsschichten des Straßenoberbaus.

Aufgrund der großen Bedeutung dieser doch gravierenden Änderungen wurden die Auswirkungen bereits im Vorfeld zur Erhaltungsbedarfsprognose zum BVWP 2030 für überschaubare Teilnetze einzelner Bundesländer analysiert und validiert (Zustandsprognose s. *Krause 2013* und *Krause 2014*, Substanzwert-Bestand s. *Krause 2015*).

Flankierende Untersuchungen zur Validierung der Prognoseergebnisse zum Erhaltungsbedarf für die Äste und die Radwege, der aufgrund weitestgehend fehlender Zustandsdaten mit dem Strategiemodellverfahren ermittelt wird, wurden ebenfalls im Vorfeld zur Erhaltungsbedarfsprognose zum BVWP 2030 (Äste: *Maerschalk, Krause 2014*) oder begleitend (Radwege: *Maerschalk, Oertelt 2016*) durchgeführt.

Eine Beschreibung der Abläufe der Prognoseverfahren findet sich in der Anlage. Dabei wird, soweit möglich, auf bestehende Unterlagen des PMS und des BMS zurückgegriffen. Es wird darauf eingegangen, welche Datenvoraussetzungen erforderlich sind, um die verwendeten Software-Tools für die Ermittlung und Optimierung von Maßnahmealternativen anwenden zu können. Das im Anhang wiedergegebene Handbuch zur Dokumentation beinhaltet die

- plausibilisierten Daten der Fahrbahnen mit Beschreibung der Algorithmen zur Datenplausibilisierung und die
- Prognoseergebnisse mir Erläuterungen zu den Inhalten der Datenfelder.

2 GEGENSTAND UND ZIELE DER STRASSENERHALTUNG

Bei der nachfolgenden Beschreibung von Gegenstand und Zielen der Straßenerhaltung wird zum besseren Verständnis auf die grundlegenden Begriffe der systematischen Straßen- und Bauwerkserhaltung eingegangen.

2.1 Anlagenaggregate und Maßnahmekategorien

Abb. 2.1 zeigt zusammenfassend die Anlagenaggregate und Anlagenteile der Fernstraßeninfrastruktur, die, soweit in Baulast des Bundes, erhalten werden müssen.

STRASSENVERKEHRSANLAGEN		
Straßenbefestigung	Fahrbahnen	durchgehende Fahrstreifen Äste, Beschleunigungs-/Verflechtungsstreifen
	Radwege	selbstständige und straßenbegleitende Radwege
Ingenieurbauwerke	Brücken	rechtwinklig zwischen den Widerlagern oder Wandungen gemessene Öffnungen von mindestens 2 m lichter Weite
	Verkehrszeichenbrücken	Tragkonstruktionen zur Befestigung von Schildern bzw. Zeichengebern über dem Verkehrsraum
	Tunnel-/ Trogbauwerke	Tunnelbauwerke: Bauwerke in geschlossener Bauweise oder in offener Bauweise mit einer Länge von mehr als 80 m Trogbauwerke: Stützbauwerke (auch Rampenbauwerke) und/oder Grundwasserwannen, die aus Stützwänden mit einer geschlossenen Sohle bestehen.
	Stützbauwerke	Stützmauern, Stützwände (sichtbare Höhe ≥ 1,50 m) Hangverankerung u. ä.
	Lärmschutzbauwerke	Lärmschutzwände (sichtbare Höhe ≥ 2,00 m) Einhausungen (sofern kein Tunnel)
Sonstige Anlagenteile von Straßen	Entwässerungseinrichtungen	Abläufe, Tiefenentwässerung und Sickerstränge Entwässerungsleitungen, Gerinne, Gräben, Mulden
	Erdkörper Unterbau	Dammschüttungen, Böschungen Bankette, Lärmschutzwälle
	Bepflanzung	Begrünung, Baumreihen, Baumgräben, Hecken
	Ausstattung Zubehör	Leit-/Schutzeinrichtungen, Verkehrsleitsysteme, Markierung, Beschilderung, Fernmeldeanlagen, u. ä.
	Durchlässe	rechtwinklig zwischen den Widerlagern oder Wandungen gemessene Öffnungen von weniger als 2 m lichter Weite
NEBENANLAGEN		
Betriebsflächen		Flächen von Rastanlagen, Parkanlagen u. ä.
Hochbauten		Gebäude von Bauämtern und Meistereien

Abb. 2.1: Anlagenaggregate und -teile der Straßeninfrastruktur

Gemäß Abb. 2.1 wird grundsätzlich unterschieden zwischen

- Straßenverkehrsanlagen und
- Nebenanlagen.

Bei den Straßenverkehrsanlagen wird unterteilt zwischen (s. Beispiele in Abb. 2.1)

- Befestigungen der Fahrbahnen und Nebenflächen (Straßenbefestigungen),
- Brücken und weiteren Ingenieurbauwerken und
- sonstigen Anlagenteilen von Straßen.

Zu den im Kontext mit den in Abb. 2.1 aufgeführten Anlagenaggregaten anfallenden Leistungen gehören die Erhaltung des Bestands, der Um- und Ausbau zur Modernisierung sowie die Erweiterung und der Neubau zur Kapazitätserweiterung (s. Erläuterungen und Kurzbeispiele in Abb. 2.2). Der Bereich Erhaltung wird noch unterteilt in betriebliche Unterhaltung (Wartung) sowie Instandsetzung/Erneuerung.

<table>
<tr><td rowspan="6">E
R
H
A
L
T
U
N
G</td><td colspan="3">BETRIEBLICHE UNTERHALTUNG (WARTUNG)
(z. B. Bankettschneiden, Straßenreinigung, Winterdienst)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">BAU-
LICHE

ERHAL-
TUNG</td><td colspan="2">(örtlich-punktuelle oder kleinflächige Maßnahmen)
BAULICHE UNTERHALTUNG (INSTANDHALTUNG)
(z. B. Vergießen von Rissen, kleinflächige Flickarbeiten)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">INSTAND-
SETZUNG
(größerflächige
Maßnahmen)
ERNEUE-
RUNG</td><td>I1 - auf der Deckschicht
(z. B. Oberflächenbehandlung, Dünnschichtbelag)</td></tr>
<tr><td>I2 - an der Deckschicht
(z. B. Hoch- bzw. Tiefeinbau der Deckschicht)</td></tr>
<tr><td>E1 - an der Decke
(z. B. Hoch- oder Tiefeinbau der Decke)</td></tr>
<tr><td>E2 - an Tragschicht(en) / am Oberbau
(z. B. Verstärkung, Tiefeinbau der Tragschicht)</td></tr>
<tr><td colspan="4">(über Instandsetzung/Erneuerung hinausgehende Veränderungen, noch keine Kapazitätserweiterung)
UM - UND AUSBAU (MODERNISIERUNG)
(z. B. Anbau-Standstreifen, Verbreiterung, Anpassung im Lage-/Höhenplan, Umprofilierung)</td></tr>
<tr><td colspan="4">(Erweiterung der vorhandenen Kapazität)
ERWEITERUNG
(Anbau eines Fahrstreifens an eine bestehende Straße, z. B. sechsstreifiger Ausbau)</td></tr>
<tr><td colspan="4">(Erweiterung der Kapazität)
NEUBAU
(völliger Neubau einer Straße)</td></tr>
</table>

Abb. 2.2: Leistungen im Straßenbau

Bei der Ermittlung des Finanzbedarfs zur Erhaltung der Fernstraßeninfrastruktur bis 2030 werden die Maßnahmen der baulichen Erhaltung betrachtet. Wie die in Abb. 2.2 in erster Linie auf Fahrbahnbefestigungen zugeschnittenen Kurzbeispiele zeigen, werden Maßnahmen der baulichen Erhaltung im Wesentlichen zur Verbesserung des baulichen Zustands der Oberfläche und der darunter liegenden Befestigungsschichten durchgeführt. Anlass und Auslöser für Maßnahmen der baulichen Erhaltung ist somit i. d. R. der bauliche Zustand.

Mit einem Teil der Maßnahmen der betrieblichen Unterhaltung (Wartung, s. Abb. 2.2) soll verhindert werden, dass sich der bauliche Zustand, z. B. infolge hochgewachsener Bankette mit Wasserrückhalt, vorzeitig verschlechtert. So gesehen existiert ein Zusammenhang zwischen baulicher und betrieblicher Erhaltung. Die Maßnahmen der betrieblichen Unterhaltung sind allerdings teilweise saison- und/oder witterungsabhängig, daher kaum planbar und in

längerfristigen Prognosen erfassbar. Ihr Finanzbedarf muss im Wesentlichen auf der Basis von Erfahrungswerten abgeschätzt werden.

Um- und Ausbaumaßnahmen sowie Erweiterungsmaßnahmen (s. Abb. 2.2) beeinflussen insoweit den Ablauf und den Finanzbedarf der baulichen Erhaltung, als dabei in aller Regel auch der Bestand erneuert wird. Ausgelöst werden diese Maßnahmen jedoch meist von veralteten Qualitätsstandards oder Kapazitätsengpässen, nicht jedoch vom baulichen Zustand. Um- und Ausbaumaßnahmen sowie Erweiterungsmaßnahmen können bei einer Prognose des Erhaltungsbedarfs nur dann berücksichtigt werden, wenn entsprechende Dringlichkeitsreihungen vorliegen, die Örtlichkeit und Realisierungszeitpunkt geplanter Um- und Ausbaumaßnahmen bzw. Erweiterungsmaßnahmen beinhalten. Da diese Angaben, insbesondere die Realisierungszeiträume, nur für einen mittelfristigen Zeithorizont und nicht für den gesamten Prognosezeitraum vorliegen, können diese Maßnahmen in der Erhaltungsbedarfsprognose nicht berücksichtigt werden

Abb. 2.3 enthält eine detailliertere Beschreibung der nachfolgend bei der Prognose des Finanzbedarfs zur Erhaltung der Fernstraßeninfrastruktur bis 2030 betrachteten Maßnahmekategorien der baulichen Erhaltung für die Fahrbahnen.

Bezeichnung	Erläuterung - Fahrbahnbefestigungen
Instandhaltung (bauliche Unterhaltung)	bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs zur Substanzerhaltung von Verkehrsflächen, die mit geringem Aufwand in der Regel sofort nach dem Auftreten eines örtlich begrenzten Schadens von Hand oder maschinell ausgeführt werden (z. B. Flickarbeiten, Verfüllen von Rissen)
Instandsetzung	bauliche Maßnahmen zur Substanzerhaltung oder zur Verbesserung von Oberflächeneigenschaften von Verkehrsflächen, die auf zusammenhängenden Flächen in der Regel in Fahrstreifenbreite bis zu einer Dicke von 4 cm ausgeführt werden
Erneuerung	bauliche Maßnahme zur vollständigen Wiederherstellung einer Verkehrsflächenbefestigung oder Teilen davon, sofern mehr als 4 cm betroffen sind, entweder durch Aufbringen neuer Schichten auf die vorhandene Befestigung im Hocheinbau oder durch Ersatz entsprechender Schichten im Tiefeinbau oder durch eine Kombination von Hoch- und Tiefeinbau

Abb. 2.3: Maßnahmekategorien der baulichen Erhaltung bei den Fahrbahnen (nach *FGSV 1998***)**

Die in Abb. 2.3 aufgeführten Instandsetzungen oder Erneuerungen fallen nach längeren Folgezeiten (Erhaltungsintervallen) größtenteils periodisch an; sie lassen sich relativ gut vorherplanen und in Modellrechnungen einbeziehen. Maßnahmen der baulichen Unterhaltung (bzw. Instandhaltung) sind dagegen, je nach Bauweise und Ausbauzustand, in den ersten fünf bis zehn Jahren nach dem Neubau bzw. einer Erneuerung verhältnismäßig selten notwendig, nehmen dann jedoch im weiteren Zeitablauf meist progressiv zu. Sie lassen sich, durchaus vergleichbar mit den Maßnahmen zur betrieblichen Unterhaltung (s. o.), kaum planen und modellhaft erfassen. Ihr Finanzbedarf kann daher nur aus Erfahrungswerten und

nach Auswertung der geübten Unterhaltungspraxis über pauschale Kostensätze (z. B. Euro pro qm und Jahr) geschätzt und extrapoliert werden.

Bei den Maßnahmekategorien zur baulichen Erhaltung der Ingenieurbauwerke sind aufgrund der technischen Gegebenheiten einige in Abb. 2.4 aufgezeigte Ergänzungen erforderlich (*Novak, Reichert 2001*).

Bezeichnung	Erläuterung – Ingenieurbauwerke
Instandhaltung (bauliche Unterhaltung)	Umfasst bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs ohne nennenswerte Anhebung des Gebrauchswertes
Instandsetzung (A)	Beinhaltet bauliche Maßnahmen größeren Umfangs, die der Wiederherstellung des planmäßigen Zustandes eines Bauwerks oder seiner Bauteile dienen
Erneuerung (B)	Errichtung eines Bauwerkes an bestehenden Straßen zum Ersatz eines Vorläuferbauwerkes ohne Wiederverwendung von Bauteilen des Vorläuferbauwerks (ohne kapazitive Erweiterung)
Verstärkung C)	Beinhaltet bauliche Maßnahmen zur Wiederherstellung der Standsicherheit (ohne kapazitive Erweiterung)

Abb. 2.4: Maßnahmekategorien der baulichen Erhaltung bei den Ingenieurbauwerken (nach *Novak, Reichert 2001***)**

2.2 Ziele der Straßenerhaltung

Ausgehend von den vorliegenden Rechtsgrundlagen (z.B. Bundesfernstraßengesetz) und den Technischen Regelwerken lässt sich das übergeordnete allgemeine Ziel bei einer systematischen Erhaltung der in Abb. 2.1 aufgeführten Anlagenaggregate wie folgt definieren:

- Aufrechterhaltung eines Straßenzustandes, der dem Verkehrsteilnehmer eine angemessene Leistungsfähigkeit und Sicherheit bei gleichzeitig minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten und höchst möglicher Umweltverträglichkeit gewährleistet (*FGSV 2001*).

Abb. 2.5 veranschaulicht die aus dieser allgemeinen Definition abgeleiteten Zielkriterien.

Zielkriterien	Erhaltungsziele - Straßenbefestigungen
Sicherheit	Vermeidung jeglicher vom Befestigungszustand ausgehender Unfallgefahr (auch für Fußgänger und Radfahrer)
Leistungsfähigkeit (Befahrbarkeit)	Vermeidung unangemessener physischer Beanspruchungen der Straßennutzer sowie der Fahrzeuge und ihrer Nutzlast
Substanzerhalt	Wirtschaftliche Erhaltung des in Verkehrsflächen investierten Anlagevermögens (des „Substanzwerts“)
Umweltverträglichkeit Wirkungen auf Dritte	Minimale zustandsbedingte Lärm-/Spritz-/Sprühwasseremissionen und minimale optische Beeinträchtigungen des Straßenbildes

Abb. 2.5: Zielkriterien der Straßenerhaltung (FGSV 2001**)**

Einen für die Praxis umsetzbaren und operationalisierungsfähigen Ausdruck finden die Zielkriterien für die Erhaltung der Straßenbefestigungen in einem vorwiegend

- nutzerorientierten Gebrauchswert, der die Angebotsqualität der Straßeninfrastruktur im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit (Befahrbarkeit) und Sicherheit kennzeichnet,

- baulastträger- bzw. betreiberorientierten Substanzwert, der die Qualität der vorhandenen baulichen Substanz der Straßeninfrastruktur im Hinblick auf ein rechtzeitiges und wirtschaftlich optimales Betreiberhandeln beschreibt.

Das Kriterium „Umweltverträglichkeit/Wirkungen auf Dritte“ ist vor allem für Gemeindestraßen und Ortsdurchfahrten von Bedeutung. Dieses Kriterium wurde noch nicht in einen für die Erhaltungspraxis brauchbaren Ausdruck umgesetzt (*FGSV 2001*).

Auf die Brücken und weiteren Ingenieurbauwerke sind die in Abb. 2.5 aufgeführten Zielkriterien sinngemäß übertragbar. Für die Operationalisierung im Rahmen der Erhaltungspraxis werden die in Abb. 2.6 aufgeführten und erläuterten Kriterien verwendet.

Zielkriterien	Erläuterung - Ingenieurbauwerke
Standsicherheit	Niveau eines Bauwerks/einzelner Bauwerksteile, die planmäßige Beanspruchung schadlos aufnehmen zu können
Verkehrs-sicherheit	Maß für die Bauwerksausbildung nach anerkannten Regeln der Technik zum jeweiligen Prüfzeitpunkt, welche die Anforderungen an Sicherheit und Ordnung hinsichtlich der gefahrlosen und bestimmungsgemäßen Nutzung des Bauwerks beinhaltet. Sie schließt damit sowohl die Sicherheit für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge als auch die Sicherheit für Personen und Sachen im Bauwerksumfeld ein. Dabei wird eine verständige, unter Würdigung der äußeren Umstände gebotene Vorsicht und die im Straßenverkehr übliche Sorgfalt der Verkehrsteilnehmer vorausgesetzt
Dauerhaftigkeit	Widerstandsfähigkeit eines Bauwerks/einzelner Bauwerksteile gegenüber Einwirkungen, um eine möglichst lange Nutzungsdauer unter Aufrechterhaltung der Standsicherheit und Verkehrssicherheit bei planmäßiger Bauwerksunterhaltung zu erreichen

Abb. 2.6: Zielkriterien der Bauwerkserhaltung (*Haardt 1999*)

Differenzierte Strategievorgaben für ein den Zielkriterien entsprechendes mittel- und langfristig anzustrebendes bzw. mögliches Qualitätsniveau des Bestandsnetzes können auf der Grundlage von Warn- bzw. Schwellenwerten (s. **ANLAGE - Verfahrensbeschreibung**) des Zustands entwickelt und einer politischen Entscheidung zugeführt werden. Das Minimalziel der Erhaltung besteht darin, mit den zur Verfügung stehenden Finanzmitteln ein höchstmögliches Qualitätsniveau zu erreichen und erkannte Schwachstellen kurzfristig zu beseitigen. Die Erhaltung der Bundesfernstraßen ist als eine vordringliche Gegenwarts- und Zukunftsaufgabe zur langfristigen Sicherung der Mobilität von Wirtschaft und Gesellschaft anzusehen. Neben den ständig wachsenden Verkehrsbeanspruchungen, insbesondere durch den Schwerverkehr, zwingen die ungünstiger werdende Altersstruktur des Bundesfernstraßennetzes und der wirtschaftliche Einsatz der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel alle Beteiligten dazu, Maßnahmen der Erhaltung zu systematisieren und zu koordinieren, um auch zukünftig den Verkehrsteilnehmern eine ausreichende Qualität der Verkehrswege zu sichern. Einer technisch und wirtschaftlich optimierten Planung und einem bedarfsorientierten Mitteleinsatz ist dabei eine verstärkte Bedeutung zuzumessen.

3 DATEN- UND MODELLGRUNDLAGEN

Die Modellverfahren, die für ihre Anwendung benötigten Parameterdaten (Wertegerüst) sind beschrieben in der

ANLAGE: Verfahrensdokumentation.

Auf die für die Modellverfahren verwendeten Daten, d. h. das Mengengerüst der Berechnungen, wird im Detail eingegangen im

ANHANG 1: Datendokumentation (+ Dokumentation der Detailergebnisse).

Zur Datendokumentation gehört neben einer Beschreibung der Datenquellen, der Aufbereitungsschritte und ihrer konkreten Verwendung auch eine Zusammenstellung der bearbeiteten und plausibilisierten Daten. Diese Daten zum Stand 30.04.2016 werden in Abstimmung mit dem AG in MS-Excel-Dateien dokumentiert. Alle Zusammenfassungen von Daten, z. B. in der Summe über Bundesländer, finden sich im Ablauf dieses Berichts (Kap. 4), da sie zum besseren Verständnis der Rechenergebnisse erforderlich sind.

Die Daten mit Stand 1.1.2015 der ersten beiden bereits 2005 durchgeführten Rechenläufe werden nicht im Detail dokumentiert. Die zum Verständnis erforderlichen Aggregierungen finden sich ebenfalls in **ANHANG 1**.

Auch die Rechenergebnisse sollen laut Aufgabenstellung dokumentiert werden. dabei ist es zweckmäßig, Detailergebnisse, also z. B. die vorgeschlagenen Maßnahmearten und -jahre einzelner Straßenabschnitte oder Teilbauwerke, zusammen mit den Daten in **ANHANG 1** zu dokumentieren (s. o.). Zusammengefasste Ergebnisse werden im Berichtsablauf dargestellt. Alle länderbezogenen Ergebnisse sind zusammengestellt im

ANHANG 2: Ergebnisdokumentation.

4 BESTAND UND ZUSTAND DER FAHRBAHNEN UND INGENIEURBAUWERKE

Für die Bedarfsprognose wird das aktuelle Bundesfernstraßennetz zugrundegelegt. Lokalisierbare Angaben zum Bestand, Verkehr und Zustand liegen für die durchgehenden Fahrbahnen und die Ingenieurbauwerke vor. Auch die Astfahrbahnen sind lokalisierbar; Bestands-, Verkehrs- und Zustandsdaten liegen hierfür jedoch nur vereinzelt vor. Für die sonstigen Anlagenteile sind nur die Gesamtbestände einiger Bundesländer verfügbar.

4.1 Fahrbahnbefestigungen

Wie nachfolgend beschrieben und in **ANHANG 1** (Datendokumentation) näher ausgeführt, werden für die Ermittlung des Erhaltungsbedarfs der Fahrbahnbefestigungen benötigt:

- Die Netzbeschreibung gemäß Netzknoten-/Stationierungssystem zur Lokalisierung und zur Ermittlung der Längen.
- Die administrativen Zuordnungen von Straßenabschnitten (z. B. Bundesland, freie Strecke – Ortsdurchfahrt).
- Die Querschnittsdaten (Streifenarten, Fahrbahn- bzw. Fahrstreifenbreiten) zu Ermittlung der Flächen.
- Die Aufbaudaten (Art, Dicke und Einbaujahr der vorhandenen Befestigungsschichten) zur Unterscheidung der Bauweisen und Bewertung der Befestigungssubstanz.
- Die Verkehrsdaten (DTV, DTV-SV) zur Überprüfung der Dickendimensionierung.
- Die Zustandsdaten aus der Zustandserfassung/ -bewertung (ZEB) zur Ermittlung der Maßnahmezeitpunkte.

4.1.1 Längen- und Flächenbestand der durchgehenden Fahrbahnen

Abb. 4.1 zeigt, unterteilt nach den Bundesländern, die Längen und Flächen der Fahrbahnbefestigungen der durchgehenden Fahrbahnen für die Sollnetze der Bundesfernstraßen. Da die Datenzulieferungen zur Aktualisierung vom Netzstand 2015 auf den Stand 2016 nach Abschluss des ersten Quartals 2016 erfolgten, veranschaulicht Abb. 4.1 den Netzstand 30.04.2016. Es ergeben sich daher geringfügige Abweichungen zur „Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs mit Stand 01.01.2016“ des Bundes. Bei den Bundesautobahnen der Länder mit vergebenen ÖPP-Projekten (s. dazu Abb. 4.2) sind die Unterschiede größer, da in Abb. 4.1 die ÖPP-Strecken ausgeschlossen, in der Längenstatistik des Bundes aber enthalten sind.

Da bei der Bedarfsprognose die Bundesautobahnen und die Bundesstraßen getrennt betrachtet werden, ist entsprechend unterschieden. Dargestellt sind in Abb. 4.1 die

- Streckenlängen in km,
- Fahrstreifenlängen der Bundesautobahnen und die Längen der Richtungsfahrbahnen nach ZTV-ZEB (s. u.) der Bundesstraßen in km,
- Flächen der befestigten Breiten der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen in km².

Stand 30.04.2016	Streckenlänge [km]		Fahrstreifen - BAB ZTV-ZEB-Ri.-Fb. BStr [km]		Befestigte Fläche [km²]	
Bundesautobahnen ohne ÖPP	Bundes-auto-bahnen	Bundes-straßen (HBL)	Bundes-auto-bahnen	Bundes-straßen (HBL)	Bundes-auto-bahnen	Bundes-straßen (HBL)
Baden-Württemberg	1.021	4.081	4.500	4.776	17,404	37,177
Bayern	2.422	5.913	10.691	6.609	42,916	51,551
Berlin	77	21	372	27	1,364	0,352
Brandenburg	805	2.701	3.675	2.954	14,538	20,426
Bremen	68	25	294	40	1,202	0,327
Hamburg	78	32	383	62	1,481	0,256
Hessen	983	2.913	4.703	3.358	18,256	25,551
Mecklenburg-Vorpommern	568	1.919	2.276	2.009	9,062	14,517
Niedersachsen	1.410	4.621	6.452	5.233	23,580	37,701
Nordrhein-Westfalen	2.220	3.956	10.306	4.476	41,240	33,802
Rheinland-Pfalz	882	2.819	3.750	3.212	14,822	23,967
Saarland	240	289	988	319	4,962	2,452
Sachsen	567	2.149	2.611	2.366	11,514	17,037
Sachsen-Anhalt	416	2.075	2.058	2.313	8,357	18,002
Schleswig-Holstein	486	1.519	2.042	1.638	8,467	12,700
Thüringen	430	1.491	2.018	1.588	7,184	11,651
Bundesrepublik	12.672	36.526	57.118	40.980	226,351	307,468

Abb. 4.1: Längen- und Flächenbestand der durchgehenden Fahrbahnen der Bundesfernstraßen mit Stand 30.04.2016 (Bundesautobahnen ohne ÖPP; HBL = Hauptbaulast)

Bundesland	Gesamtlänge [km]	Länge ÖPP [km]	Länge ohne ÖPP [km]
Baden-Württemberg (A 5)	1.080,857	59,853	1.021,004
Bayern (A 8)	2.524,234	101,948	2.422,286
Niedersachsen (A 1)	1.481,996	72,391	1.409,605
Thüringen (A4 u. A 9)	521,425	91,543	429,882
Schleswig-Holstein (A 7)	539,695	53,669	486,026
Hamburg (A 7)	82,229	4,425	77,804

Abb. 4.2: Nicht berücksichtigte Längen der bis zum 30.04.2016 vergebenen ÖPP-Projekte bei den Bundesautobahnen

Die Streckenlängen dienen lediglich zu Vergleichszwecken. Entsprechend der Verfügbarkeit der Zustandsdaten (s. Kap. 4.3) stellen im Rahmen der Bedarfsprognose bei den Bundesautobahnen die einzelnen Fahrstreifen, bei den Bundesstraßen die erweiterten (s. u.) Richtungsfahrbahnen den Längenbezug her. Da bei der Bedarfsermittlung neben den Längen auch die Fahrstreifenbreiten (Bundesautobahnen) bzw. die Fahrbahnbreiten (Bundesstraßen) berücksichtigt werden, sind in Abb. 4.1 auch die Flächen aufgeführt.

Der Sollbestand des Bundesfernstraßennetzes gemäß Abb. 4.1 stellt eine Augenblicksaufnahme zum 30.04.2016 dar. Im Zeitablauf sind Abweichungen zu erwarten, die sich allein aus Längen- bzw. Flächenzuwächsen bzw. entsprechenden Abgängen erklären. Das zeigt auch ein Vergleich mit der entsprechenden Längen-/Flächenstatistik in ANHANG 1, die den Stand vom 30.04.2015 repräsentiert (Bundesstraßen: 2015 ca. 751 km mehr als 2016).

Durch die Netzänderungen im Zeitablauf ist insbesondere davon auszugehen, dass sich die der Zustandserfassung/-bewertung ZEB zugrunde liegenden Netze mit den jeweiligen Ständen 01.01.2013 und 01.01.2014 für die Bundesautobahnen bzw. 01.01.2011 und 01.01.2012 für die Bundesstraßen vom Netzstand 2016 (und auch 2015) unterscheiden. So enthält z. B. der aktuelle Stand auch Autobahnen, die 2014/15 für den Verkehr freigegeben wurden. Diese Streckenabschnitte fehlen im ZEB-Netz 2013/14, also liegen auch keine Zustandsdaten vor. Da es sich bei diesen Strecken um Längen- bzw. Flächenzuwächse seit der jeweiligen ZEB handelt, die i. A. einen guten Zustand aufweisen, sind die Auswirkungen auf den Erhaltungsbedarf sehr gering.

Da für die Berechnung des Erhaltungsbedarfs neben den Längen und Breiten (d. h. Flächen) und den Zustandsdaten auch andere potentiell fehlende Daten (z. B. zum Befestigungsaufbau oder zur Verkehrsbelastung, s. o.) benötigt werden, liegt der für die Bedarfsberechnung verfügbare Istbestand i. A. unter dem Sollbestand aus Abb. 4.1. Die auf Basis des Istbestands ermittelten Bedarfszahlen werden daher auf den Sollbestand hochgerechnet. Dabei wird unterstellt, dass der jeweilige Fehlbestand eine ähnliche Struktur aufweist wie der verfügbare Istbestand, d. h. nur zufällige, jedoch keine systematischen Lücken vorhanden sind. Abb. 4.3 enthält einen Überblick zur Datenvollständigkeit.

Die Längen der auf die Netzstände 2016 Auswerteabschnitte der ZEB 2013 und 2014 weichen nur geringfügig von den Solllängen ab (s. Abb. 4.3); für einige Bundesländer ergeben sich, gemessen an den Solllängen, sogar Anteile über 100 %, da in der Ergebnisdatei der ZEB einzelne Strecken an Ländergrenzen doppelt enthalten sind (z. B. A7 Baden-Württemberg/Bayern bzw. Länder Bremen/Niedersachsen). Mit diesen Doppelabschnitten umfasst die Netzlänge der ZEB der Bundesautobahnen 99,2 % der Solllänge. Nach dem Entfernen der Doppelabschnitte und Substitutionen und Korrekturen der von den Ländern übermittelten Querschnitts-, Aufbau- und Verkehrsdaten (s. **ANHANG 1-Datendokumentation**) ergeben sich die länderspezifischen Längen der durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen für die Bedarfsermittlung (s. Abb. 4.3). Danach können insgesamt 95 % der Solllänge der Fahrstreifen in die Prognoserechnungen einbezogen werden (Länderanteile zwischen 81,9 % und 99,5 %, s. Abb. 4.3); dieser Anteil ist etwas größer als der entsprechende Anteil bei der Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs für 2011 bis 2025 (93,7 %, *Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*). Für ca. 5 % des Längenbestands muss der Erhaltungsbedarf hochgerechnet werden.

Abb. 4.4 fasst die Datensituation für die Bundesstraßen zusammen. Die gesamte Streckenlänge der Bundesstraßen ist danach 2016 um ca. 751 km geringer als 2015 (s. **ANLAGE 1**). Bei der Bedarfsermittlung für die Bundesstraßen ist es zweckmäßig, eine Bezugslänge zugrunde zu legen, die in etwa der Vorgehensweise bei der ZEB entspricht. Gemäß den Aus-

Bundesautobahnen 2016 (Fahrstreifen der durchgehenden Fahrbahnen, ohne ÖPP)	Solllänge Fahrstreifen (Datenbank)	Länge ZEB für Sollnetz 2016		Länge für Bedarfsermittlung nach Datenkorrekturen	
	[km]	[km]	% v. 1	[km]	% v. 1
	1	2	3	4	5
Baden-Württemberg	4.500,281	4.569,049	101,5	4.320,621	96,0
Bayern	10.690,532	10.731,718	100,4	10.290,511	96,3
Berlin	372,036	369,931	99,4	342,730	92,1
Brandenburg	3.675,020	3.617,847	98,4	3.481,329	94,7
Bremen	293,992	334,501	113,8	292,432	99,5
Hamburg	391,878	391,748	100,0	320,809	81,9
Hessen	4.703,148	4.647,162	98,8	4.290,297	91,2
Mecklenburg-Vorpommern	2.276,082	2.217,412	97,4	2.198,349	96,6
Niedersachsen	6.452,055	6.341,006	98,3	6.129,492	95,0
Nordrhein-Westfalen	10.305,980	10.150,133	98,5	9.818,712	95,3
Rheinland-Pfalz	3.750,220	3.743,154	99,8	3.546,642	94,6
Saarland	987,673	987,673	100,0	941,686	95,3
Sachsen	2.610,979	2.598,336	99,5	2.546,767	97,5
Sachsen-Anhalt	2.057,987	2.037,516	99,0	1.985,001	96,5
Schleswig-Holstein	2.041,596	2.033,531	99,6	1.946,389	95,3
Thüringen	2.017,738	1.901,704	94,2	1.809,793	89,7
Bundesrepublik	57.127,197	56.672,421	99,2	54.261,560	95,0

Abb. 4.3: Überblick zur Datenvollständigkeit bei den Bundesautobahnen

schreibungsunterlagen zu den Teilprojekten 1 bis 3 (TP1-3) der ZEB werden dabei für Bundesstraßen die Hauptfahrstreifen in beiden Richtungen erfasst

- bei baulicher Richtungstrennung,
- ohne bauliche Richtungstrennung bei mehr als einem Fahrstreifen in mindestens einer Richtung.

Da der Zustand der Hauptfahrstreifen der beiden Richtungen unterschiedlich sein kann, ist diese an der ZEB ausgerichtete Bezugslänge sinnvoll. Die den Berechnungen zugrundegelegte Solllänge der Bundesstraßen beträgt nach der o. a. Definition ca. 40.980 km (s. Abb. 4.1, Abb. 4.4). Die Ergebnisse der ZEB 2011/2012 müssen diesem Netzstand 2016 der Bundesstraßen angepasst werden. Wie Abb. 4.4 zeigt, sind ca. 97 % der ZEB-Ergebnisse zuordenbar. Für Bremen ergibt sich ein Anteil über 100 %, da in der Ergebnisdatei der ZEB Streckenabschnitte aus Niedersachsen enthalten sind; die entsprechenden Strecken wurden für die Bedarfsberechnung entfernt.

Bei den Ergänzungen und Korrekturen der Daten der Bundesstraßen wurde so verfahren wie in **ANHANG 1-Datendokumentation** erläutert. Äußerst hilfreich dabei war, dass aus der Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs für 2011 bis 2025 (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*) bereits plausibilisierte Datenbestände vorlagen (Vollständigkeit 93,2 %). Mit den vorgenommenen Substitutionen und Korrekturen konnte bei den Bundesstraßen 95,2 % der Solllänge

der nach der obigen Definition ermittelten Richtungsfahrbahnen in die Prognoserechnungen einbezogen werden (Länderanteile zwischen ca. 82 % und 100 %, s. Abb. 4.4). Die Datensituation bei den Bundesstraßen hat sich somit gegenüber 2010 leicht verbessert. Für ca. 5 % des Längenbestands mussten Hochrechnungen durchgeführt werden.

Bundesstraßen 2016 (Richtungsfahrbahnen und Fahrbahnen > 1 Fahrstreifen mindestens eine Richtung)	Solllänge (Datenbank)	Länge ZEB für Sollnetz 2016		Länge für Bedarfsermittlung nach Datenkorrekturen	
	[km]	[km]	% v. 1	[km]	% v. 1
	1	2	3	4	5
Baden-Württemberg	4.775,841	4.670,037	97,8	4.670,574	97,8
Bayern	6.608,880	6.369,743	96,4	6.334,613	95,9
Berlin	26,833	26,833	100,0	26,833	100,0
Brandenburg	2.953,966	2.875,695	97,4	2.830,884	95,8
Bremen	40,186	40,950	101,9	39,933	99,4
Hamburg	62,151	22,089	35,5	22,089	35,5
Hessen	3.358,277	3.323,194	99,0	3.291,710	98,0
Mecklenburg-Vorpommern	2.009,221	1.951,913	97,1	1.945,532	96,8
Niedersachsen	5.232,513	5.022,610	96,0	5.014,908	95,8
Nordrhein-Westfalen	4.476,309	4.339,716	96,9	4.363,028	97,5
Rheinland-Pfalz	3.212,394	3.160,985	98,4	2.640,336	82,2
Saarland	319,238	303,398	95,0	311,919	97,7
Sachsen	2.366,072	2.293,812	96,9	2.240,206	94,7
Sachsen-Anhalt	2.312,741	2.168,448	93,8	2.193,819	94,9
Schleswig-Holstein	1.638,178	1.601,813	97,8	1.600,666	97,7
Thüringen	1.587,579	1.494,507	94,1	1.483,451	93,4
Bundesrepublik	40.980,379	39.665,744	96,8	39.010,501	95,2

Abb. 4.4: Datenvollständigkeit bei den Bundesstraßen

4.1.2 Bestand der Äste, Seitenstreifen, Betriebsflächen und der Radwege

Für die Äste liegen nur vereinzelt Zustandsdaten vor. Für die Seitenstreifen und Betriebsflächen gibt es bislang keine Zustandsdaten. Der Erhaltungsbedarf dieser Flächen wird daher auf Basis der Längen- und Flächenbestände mit einem bestandsgruppenbezogenen mathematisch-statistischen Verfahren ermittelt („Strategiemodellverfahren“, s. **ANLAGE**).

Für die Längen der Äste der Bundesautobahnen und Bundesstraßen wurde nach einem Abgleich mit Straßendatenbankauszügen von Bundesländern auf die „Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs mit Stand 01.01.2015“ des BMVI zurückgegriffen, ebenso für die Längen der Seitenstreifen („Standstreifen“) der Bundesautobahnen. Die diesbezüglichen Bestände sind in den Straßendatenbanken teilweise nicht vollständig. Für die Betriebsflächen, die in den in den Straßendatenbanken oft fehlen, wurden die Werte einer aktualisierten Erhebung aus der Prognose zum BVWP 2003 zugrundegelegt.

In Abb. 4.5 sind, unterteilt nach den Bundesländern, die Längenbestände der Äste und Seitenstreifen und der Flächenbestand der Betriebsflächen zusammengestellt. Für die Ermitt-

lung der zur Prognoserechnung benötigten Flächenbestände der Äste wurden, ausgehend von den in der „Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs“ aufgeführten Fahrstreifenzahlen, mittlere Breiten angesetzt. Für die Flächenermittlung der Seitenstreifen wurde eine mittlere Breite von 2,50 m angenommen.

Stand 01.01.2015	Fahrstreifenlängen der Äste [km]		Streifenlängen Seitenstreifen [km]	Betriebsflächen [m²]	Radweglängen [km]
	Bundesautobahnen	Bundesstraßen (HBL)	Bundesautobahnen	Bundesfernstraßen (HBL)	Bundesstraßen (HBL)
Baden-Württemberg	735	878	1.571	561.271	709
Bayern	2.035	881	4.500	949.843	2.655
Berlin	184	0	124	64.762	19
Brandenburg	458	128	1.107	474.922	778
Bremen	104	36	113	0	9
Hamburg	156	20	136	21.587	6
Hessen	890	426	1.546	690.795	715
Mecklenburg-Vorpommern	173	59	1.060	86.349	886
Niedersachsen	961	601	2.690	647.620	3.018
Nordrhein-Westfalen	2.283	491	3.491	928.256	2.420
Rheinland-Pfalz	578	474	1.384	453.334	742
Saarland	186	42	350	64.762	113
Sachsen	341	109	950	194.286	503
Sachsen-Anhalt	233	119	800	107.937	544
Schleswig-Holstein	277	237	844	194.286	1.209
Thüringen	220	102	922	259.048	330
Bundesrepublik 2015	9.814	4.603	21.588	5.699.058	14.656
Bundesrepublik 2016	9.962	4.650	21.342	5.699.058	17.095

Abb. 4.5: Fahrstreifenlängen der Äste und Seitenstreifen, Flächenbestand der Betriebsflächen und Längen der Radwege an Bundesstraßen
(HBL: Bundesstraßen in Hauptbaulast Bund)
Quelle: „Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs mit Stand 01.01.2015“ des BMVI)

Für die Prognoserechnungen wurden auch bei den Ästen und Seitenstreifen die bis 2016 vergebenen ÖPP-Projekte der Bundesautobahnen berücksichtigt. Die Astlängen und die Längen der Seitenstreifen wurden dabei anteilig gemäß Abb. 4.2 verringert.

Abb. 4.5 enthält auch die Längen der Radwege an Bundesstraßen (HBL Bund). Aufsummiert sind die einseitigen und (mit Faktor 2) die beidseitigen Radwege.

Die für die Prognoserechnungen angesetzten Mengen in Abb. 4.5 beziehen sich auf den Stand 1.1.2015. Für den vom Auftraggeber vorgegebenen Termin zum Abschluss des 3. Rechenlaufs (Mitte Juli 2016) lagen die Zahlen für den Stand 1.1.2016 noch nicht vor. Wie

Abb. 4.15 zeigt, ergeben sich bei den Ästen relativ geringfügige, bei den Radwegen aber erhebliche Zuwächse.

Die länderbezogenen Änderungen der Äste und Radwege zwischen 2015 und 2016 sind in **ANHANG 1** dokumentiert.

4.1.3 Altersstruktur der durchgehenden Fahrbahnen

Die plausibilisierten Aufbaudaten der Bundesfernstraßen enthalten Angaben zur Art, Dicke und zum Einbaujahr der einzelnen Befestigungsschichten. Die Angaben werden zur Ermittlung des Substanzwerts-Bestand nach einem entsprechenden FGSV-Arbeitspapier benötigt (*FGSV 2003*, s. auch Kap. 4.1.4), der den im Rahmen der ZEB ermittelten Substanzwert-Oberfläche insoweit ergänzt, als dabei auch die tiefer liegenden Schichten bewertet werden.

Einen wesentlichen Einfluss auf den Substanzwert-Bestand hat das Alter der jeweiligen Schichten. Das aktuelle Schichtalter ergibt sich aus der Differenz eines definierten Zeitpunkts und dem Einbaujahr der jeweiligen Schicht. Aufgrund der Nacherhebungen zu den Maßnahme- bzw. Aufbaudaten des Jahres 2015 ergibt sich als Bezugszeit für die Ausgangssituation der Altersstruktur der Befestigungsschichten der 30.04.2016. Im Ablauf des Prognosezeitraums erhöht sich das Schichtalter kontinuierlich um jeweils ein Jahr, wenn keine Erhaltungsmaßnahmen angenommen werden.

In Abb. 4.6 sind Mittelwerte zum Schichtalter (in Jahren) für Bundesautobahnen zusammengestellt, und zwar für Asphaltdeckschichten, für (Asphalt-) Binderschichten und Betondecken sowie für (obere) Tragschichten unter Asphalt- bzw. Betondecken.

Bundesautobahnen (Stand 30.04.2016) Bezug: Fahrstreifenlängen	Deck-schicht	Decken		Tragschichten unter ….	
	Asphalt	Asphalt	Beton	Asphalt	Beton
	Jahre	Jahre	Jahre	Jahre	Jahre
Baden-Württemberg	15,4	18,1	27,9	23,5	28,3
Bayern	16,6	19,8	23,0	27,4	24,0
Berlin	21,1	29,5	26,7	34,5	26,7
Brandenburg	9,7	14,8	14,9	19,2	15,0
Bremen	26,4	26,4	15,4	26,4	15,4
Hamburg	14,6	17,6	0,0	24,1	0,0
Hessen	22,9	25,3	23,2	30,8	32,7
Mecklenburg-Vorpommern	12,2	14,4	18,1	15,0	18,1
Niedersachsen	13,1	17,0	24,8	22,2	27,9
Nordrhein-Westfalen	23,0	25,8	25,9	26,9	27,1
Rheinland-Pfalz	14,4	21,7	28,6	26,8	28,6
Saarland	20,2	27,0	47,9*	34,5	47,9*
Sachsen	13,9	14,0	12,2	16,6	12,8
Sachsen-Anhalt	10,0	13,2	14,7	14,2	14,7
Schleswig-Holstein	21,2	24,0	27,3	30,2	27,3
Thüringen	11,1	11,9	12,4	13,5	12,5
Bundesrepublik	17,5	20,8	20,2	25,4	21,1
Westliche Länder	18,5	22,0	25,2	27,0	26,8
Östliche Länder	11,4	13,9	14,0	16,2	14,2

Abb. 4.6: Mittleres Alter in Jahren der Befestigungsschichten der Bundesautobahnen zum Bezugszeitpunkt 30.04.2016 (* ca. 6 Fahrstreifen-km)

Aufgrund der seit 1990 erfolgten Neubau-, Erweiterungs- und Erneuerungsmaßnahmen sind die Werte für das mittlere Alter bei den östlichen Ländern fast durchwegs deutlich niedriger als bei den westlichen Ländern. Dies wird bei den in Abb. 4.6 zusätzlich ausgewiesenen Mittelwerten klar erkennbar.

Als Ergänzung zu den Mittelwerten sind auch die Häufigkeitsverteilungen in Form der Prozentanteile der Fahrstreifenlängen in Abhängigkeit von den Einbaujahren für die Bundesrepublik insgesamt dargestellt. Um kleinere Ungenauigkeiten zu kompensieren, sind dabei die Einbaujahre zu Halbdekaden zusammengefasst. Dargestellt sind die Verteilungen für alle Fahrstreifen der Bundesautobahnen, und zwar in

- Abb. 4.7 für die Asphaltdeckschichten,
- Abb. 4.8 für die Asphaltdecken (= Binderschichten) und Tragschichten unter Asphaltdecken,
- Abb. 4.9 für die Betondecken und die Tragschichten unter Betondecken.

Die entsprechenden Verteilungen für die einzelnen Bundesländer finden sich entsprechend dieser Reihenfolge in **ANHANG 1-Datendokumentation**.

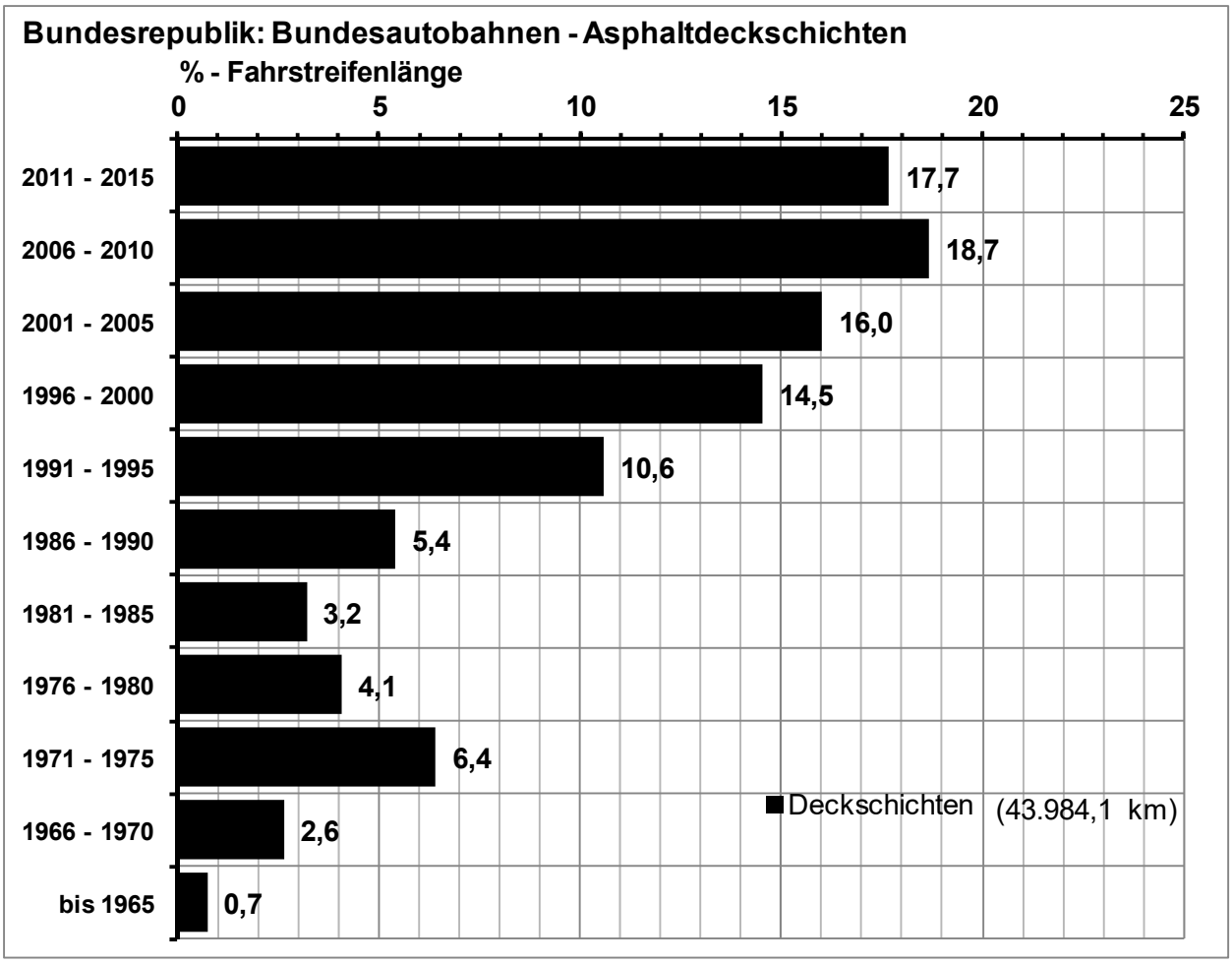


Abb. 4.7: Längenanteile der Asphaltdeckschichten der Bundesautobahnen für Halbdekaden der Einbaujahre

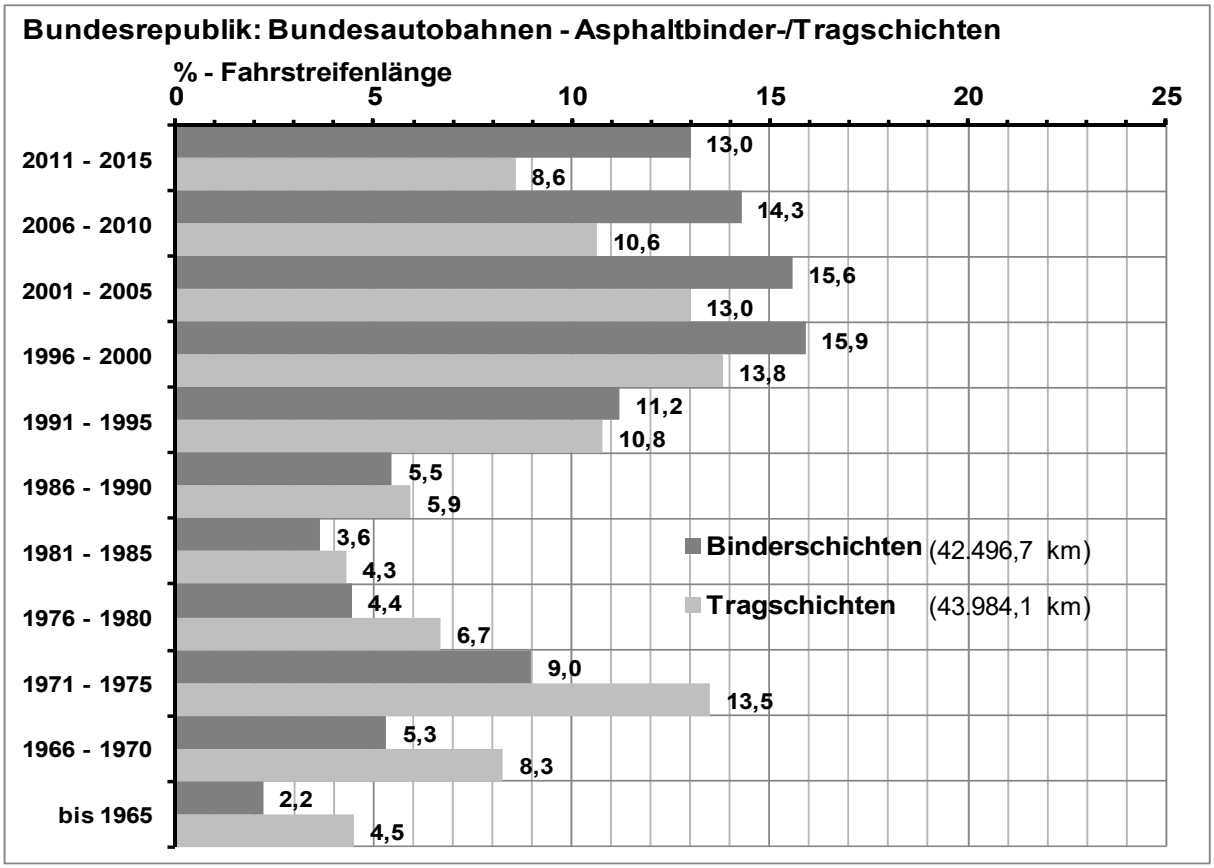


Abb. 4.8: Längenanteile der Binderschichten und der Tragschichten unter Asphaltdecken der Bundesautobahnen für Halbdekaden der Einbaujahre

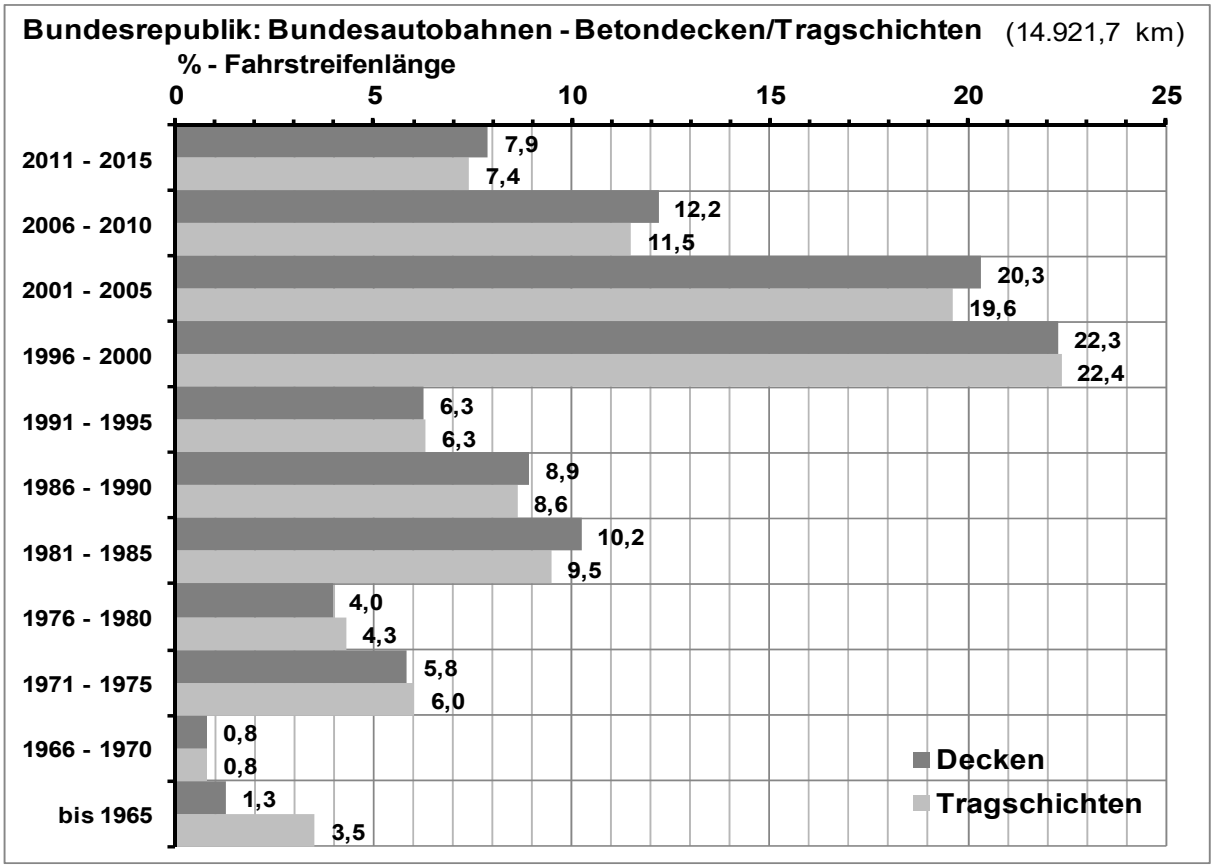


Abb. 4.9: Längenanteile der Betondecken und der Tragschichten unter Betondecken der Bundesautobahnen für Halbdekaden der Einbaujahre

Bei einer Interpretation der schichtspezifischen Altersverteilungen der Bundesautobahnen ist davon auszugehen, dass Ungenauigkeiten und Fehler bei den Angaben zu den Einbaujahren auftreten. So ist es z. B. eher unwahrscheinlich, dass noch Asphaltdeckschichten aus den 60-er Jahren vorhanden sind (ca. 3,3 %, s. Abb. 4.7). Für das Jahr 2015 wurden die von den Ländern gemeldeten Erhaltungsmaßnahmen erfasst. Insgesamt lassen die Darstellungen für die Bundesrepublik in den Abb. 4.7 bis 4.9 und speziell auch die entsprechenden Darstellungen für die einzelnen Bundesländer in den **ANHANG 1** jedoch erkennen, dass die Häufigkeiten der Einbaujahre plausibel sind. Dies wird auch aus den schichtspezifischen Werten für das mittlere Alter in Abb. 4.6 ersichtlich. Im Einzelnen lässt sich zur Altersstruktur der Bundesautobahnen anmerken:

- Die Altersverteilungen und damit auch Werte des mittleren Alters (Abb. 4.6) der 5 östlichen Länder unterschieden sich signifikant von den Verteilungen und Mittelwerten der 11 westlichen Länder. Für die östlichen Länder dominieren die Einbaujahre zwischen 1991 und 2000, insbesondere bei den Deckschichten und den Decken, aber auch bei den, zu geringen Anteilen vor 1990 eingebauten, Tragschichten. Die Werte für das mittlere Alter liegen bei den Asphaltdeckschichten für die östlichen Länder zwischen ca. 9,7 und 12,2 Jahren, für die westlichen Länder zwischen 13,1 und 26,4 Jahren. Bei den Tragschichten unter Asphaltdecken ergeben sich für die östlichen Länder Mittelwerte zwischen 13,4 und 19,2 Jahren, für die westlichen Länder zwischen 22,2 und 34,5 Jahren.
- Für die Betondecken der östlichen Länder liegen die Werte für das mittlere Alter zwischen 12,2 und 18,1 Jahren, für die Tragschichten unter Betondecken zwischen 12,5 und 18,1 Jahren. Für die westlichen Länder ergeben sich entsprechende Werte zwischen 15,4 und 28,6 Jahren bzw. zwischen 15,4 und 32,7 Jahren.
- Die Altersverteilungen für die Asphaltdeckschichten und die Binderschichten (= Asphaltdecken) unterscheiden sich geringfügig, die entsprechenden Werte für das mittlere Alter weisen daher keine große Spannweite auf. Das deutet darauf hin, dass bei den Asphaltautobahnen im Rahmen der baulichen Erhaltung vielfach die gesamte Decke (Deck- und Binderschicht) erneuert wird. Bei Betonautobahnen unterscheiden sich auch die Mittelwerte für die Decken und die darunter liegenden Tragschichten nur wenig. Bei den Asphaltautobahnen sind die Werte für das mittlere Alter der Tragschichten insbesondere bei den westlichen Ländern deutlich höher (ca. 27 Jahre) als die entsprechenden Mittelwerte der darüber liegenden Schichten (18,5 bzw. 22 Jahre, s. Abb. 4..6).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Altersstruktur der Befestigungen der Bundesautobahnen für die westlichen Länder problematisch erscheint. Wird die Bemessungsnutzungsdauer der RStO von 30 Jahren als Vergleichsmaßstab gesetzt, so sind Werte für das mittlere Alter von ca. 22 Jahren für Asphaltdecken und ca. 27 Jahren für die darunter liegenden Tragschichten bzw. von ca. 21 Jahren für Betondecken und Tragschichten durchaus bedenklich, da, grob gerechnet, ca. die Hälfte der Befestigungen ein noch höheres Alter aufweist. Die Altersstrukturen für die westlichen Länder lassen den Schluss zu, dass zumindest in den vergangenen 10 Jahren zu wenig substanzverbessernde Erneuerungsmaßnahmen durchgeführt wurden.

Die Auswertungen zur Altersstruktur der Bundesstraßen können auf Asphaltbauweisen beschränkt werden, da andere Befestigungen (Beton, Pflaster) nur in äußerst geringem Ausmaß auftreten. Nachfolgend dargestellt sind die Ergebnisse für die Richtungsfahrbahnen nach TP 1-3 der ZEB (s. Kap. 4.1.1), und zwar in

- Abb. 4.10 die Werte zum mittleren Alter aller Schichten für die einzelnen Bundesländer,
- Abb. 4.11 die Anteile der Halbdekaden für die Asphaltdeckschichten,
- Abb. 4.12 die Anteile der Halbdekaden für die (Asphalt-) Binderschichten und für die Tragschichten unter diesen Asphaltdecken.

Die entsprechenden Häufigkeitsverteilungen für die einzelnen Bundesländer finden sich entsprechend dieser Reihenfolge in den **ANHANG 1**.

Bundesstraßen – Asphalt (30.04.2016) Richtungsfahrbahnen (nach ZTV-ZEB)	Deckschicht	Binderschicht	Tragschicht
	Jahre	Jahre	Jahre
Baden-Württemberg	17,3	24,3	35,1
Bayern*	17,7	23,4	29,6
Berlin	22,7	24,9	31,2
Brandenburg	12,2	15,1	20,6
Bremen	16,9	23,7	24,7
Hamburg	15,4	18,1	23,9
Hessen	23,8	23,1	35,8
Mecklenburg-Vorpommern	14,1	16,4	22,5
Niedersachsen	15,6	19,4	28,3
Nordrhein-Westfalen	19,9	23,3	32,3
Rheinland-Pfalz	14,3	15,7	26,4
Saarland	19,1	24,7	34,9
Sachsen	15,3	16,1	23,0
Sachsen-Anhalt	15,0	17,5	23,1
Schleswig-Holstein	22,2	26,5	35,5
Thüringen	13,9	15,7	21,0
Bundesrepublik	17,1	20,4	28,9
Westliche Länder	18,3	22,2	31,5
Östliche Länder	14,0	16,1	22,0

Abb. 4.10: Mittleres Alter in Jahren der Befestigungsschichten der Bundesstraßen mit Asphaltdecken zum Bezugszeitpunkt 30.04.2016 (*Bayern: keine Angaben für 2015/16)

Ähnlich wie bei den Bundesautobahnen sind auch bei den Angaben zu den Einbaujahren der Befestigungsschichten von Bundesstraßen Fehler und Ungenauigkeiten nicht auszuschließen. In der Tendenz erscheinen jedoch die Mittelwerte nach Abb. 4.10 und die Verteilungen der Abb. 4.11 und 4.12 (bzw. in **ANHANG 1**) plausibel:

- Asphaltdeckschichten, die aus den 60-er-Jahren stammen, sind zwar wenig wahrscheinlich, bei den Bundesstraßen aber nicht vollständig auszuschließen (1,6 %, s. Abb. 4.11).

- Die Werte zum mittleren Alter sind bei den östlichen Ländern sowohl für die Deckschichten als auch Binderschichten (= Decke) und Tragschichten deutlich kleiner als bei den westlichen Ländern.

Auch die Altersstruktur der Befestigungen der Bundesstraßen erscheint speziell für die alten Länder problematisch. Gemessen an einer Bemessungsnutzungsdauer der RStO von 30 Jahren liegen die Werte für das mittlere Alter der Tragschichten mit ca. 31,5 Jahren bereits darüber, wobei wiederum ca. die Hälfte der Tragschichten ein noch höheres Alter aufweist. Die Auswirkungen des Alters auf den Substanzwert-Bestand sind allerdings weniger gravierend als bei den Bundesautobahnen, da bei den Bundesstraßen die Beanspruchungen durch die Schwerverkehrsbelastungen geringer sind (s. Kap. 4.1.4).

Für die Äste liegen nur sporadisch Aufbaudaten vor. Für die Prognoserechnungen, die auf der Altersstruktur basieren, werden die hier dargestellten Verteilungen der durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen bzw. Bundesstraßen angenommen. Angesetzt werden die Altersverteilungen der Asphalt- bzw. Betondecken.

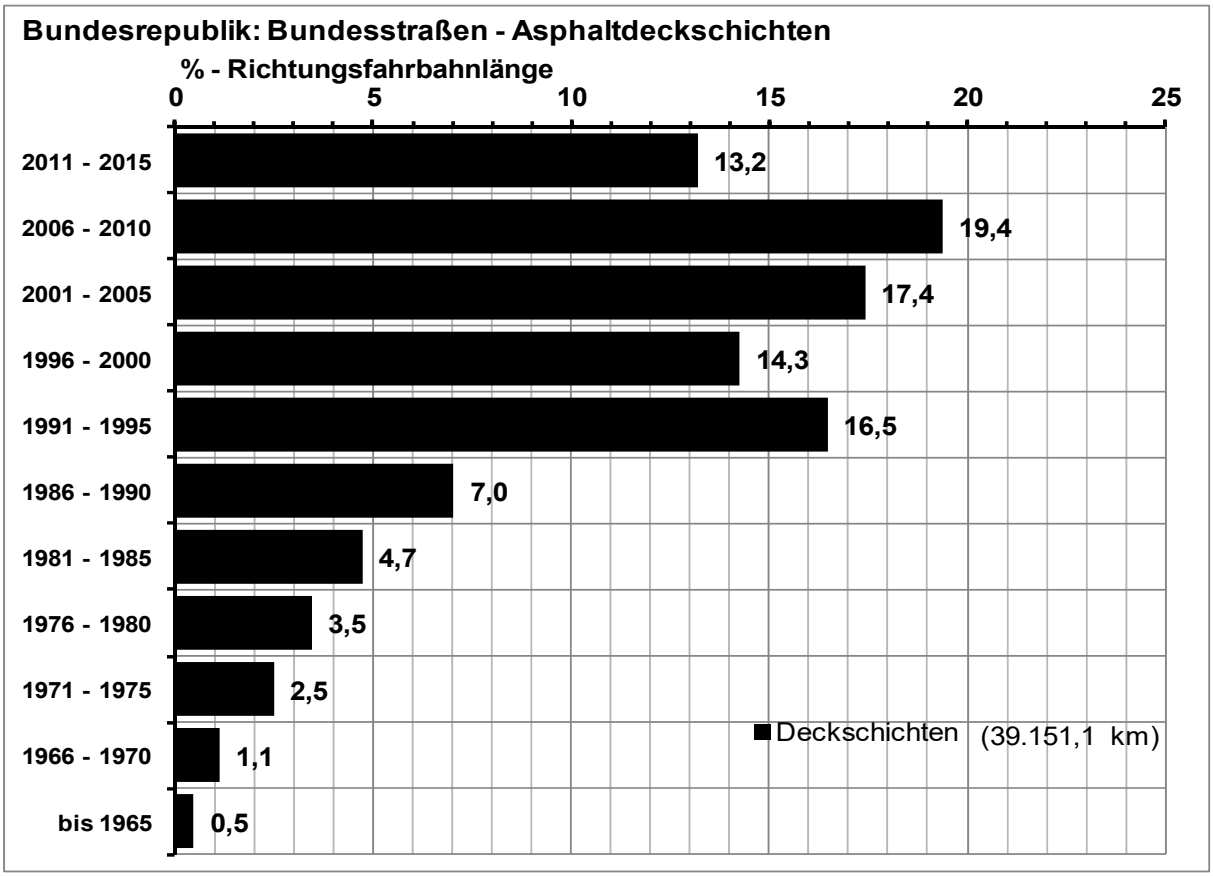


Abb. 4.11: Längenanteile der Asphaltdeckschichten der Bundesstraßen für Halbdekaden der Einbaujahre

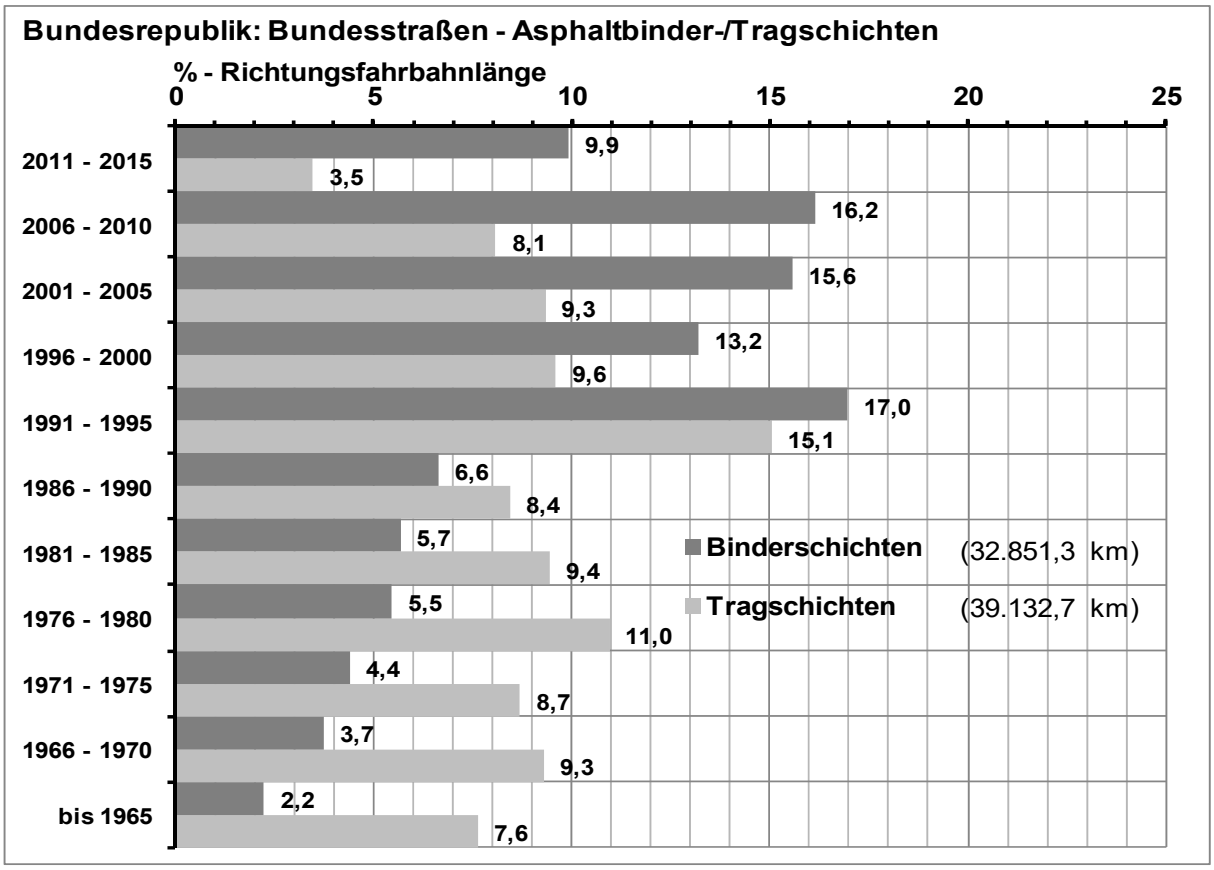


Abb. 4.12: Längenanteile der Asphaltdecken und Tragschichten der Bundesstraßen für Halbdekaden der Einbaujahre

4.1.4 Zustand der durchgehenden Fahrbahnen aus der ZEB

Der Zustand der Oberfläche der durchgehenden Fahrbahnen wird im Rahmen der netzweiten messtechnische Zustandserfassung und -bewertung im 4-Jahres-Turnus nach der Systematik der bundesweiten ZEB (*FGSV 2006*) erfasst. Die für die Prognose des Erhaltungsbedarfs aktuellen ZEB-Messkampagnen sind:

- ZEB 2011/2012 der Bundesstraßen,
- ZEB 2013/2014 der Bundesautobahnen.

Die bei der ZEB in dichter Folge erfassten physikalischen Rohdaten werden für ZEB-Auswerteabschnitte (i. A. 100 m bei Bundesautobahnen und freien Strecken der Bundesstraßen bzw. 20m bei Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen) zu Zustandsgrößen aggregiert (*FGSV 2006*). Ausgewertet werden Zustandsgrößen für die „Längsebenheit“, „Querebenheit (Spurrinnentiefe bei Asphaltdecken)“, „Fiktive Wassertiefe“, „Griffigkeit“ sowie „Risse“ und „Restschadensfläche“ bei Asphaltdecken bzw. „Längs-/Querrisse“ und „Restschadensfläche“ bei Betondecken. Nach einer Bewertung der mit physikalischen Dimensionen gekennzeichneten Zustandsgrößen (z. B. cm³, mm, % der Fläche) auf einer Notenskala von 1,0 bis 5,0 können die daraus ermittelten Zustandswerte der Einzelmerkmale zu sog. Teilwerten zusammengefasst werden. Diese Teilwerte werden auf die Erhaltungsziele bezogen. Wie bereits in Kap. 2.2 erwähnt, werden ausgewiesen der

- nutzerorientierte Gebrauchswert TWGEB als Ausdruck für die Leistungsfähigkeit (Befahrbarkeit) und Sicherheit,
- baulastträger- bzw. betreiberorientierte Substanzwert-Oberfläche TWSUB als Ausdruck für die Qualität der vorhandenen baulichen Substanz, soweit diese auf der Grundlage der an der Fahrbahnoberfläche erfassten Zustandsmerkmale beurteilt werden kann.

Die Regeln für die Verknüpfung der einzelnen Zustandsmerkmale zum Gebrauchswert TWGEB bzw. zum Substanzwert-Oberfläche TWSUB sind in den ZTV ZEB-StB (*FGSV 2006*) erläutert, die derzeit hinsichtlich der seit 2015 angewendeten Zustandsbewertung aktualisiert werden.

Die Ergebnisse der einzelnen ZEB-Kampagnen werden dem Bund und allen Bundesländern in tabellarischer und grafischer Form übermittelt. Sie werden daher hier nicht weiter dargestellt, zumal bei der Ermittlung des Erhaltungsbedarfs keine ZEB-Auswerteabschnitte, sondern längere Erhaltungsabschnitte (s. dazu **ANHANG 2**) betrachtet werden.

Erhaltungsmaßnahmen an den durchgehenden Fahrbahnen werden in aller Regel vorgesehen, wenn die durch die o. a. Zustandsmerkmale gekennzeichneten Schäden bzw. Mängel an der Oberfläche ein bestimmtes Ausmaß bzw. eine bestimmte Ausprägung erreichen. Das Ausmaß bzw. die Ausprägung wird durch zwei charakteristische Punkte auf der Skala für die Zustandsbewertung gekennzeichnet:

- Der Warnwert (Note 3,5) beschreibt einen Zustand, dessen Erreichen Anlass zu Analysen der Ursachen für die Zustandsverschlechterung und ggfs. zur Planung von geeigneten eventuellen Maßnahmen gibt.
- Der Schwellenwert (Note 4,5) beschreibt einen Zustand, bei dessen Erreichen die Einleitung von Erhaltungsmaßnahmen oder Verkehrsbeschränkungen geprüft werden muss.

Für die Prognoserechnungen zum Erhaltungsbedarf werden die Zustandsdaten der o. a. ZEB-Kampagnen dem aktuellen Netz mit Stand 30.04.2016 zugewiesen. Aufgrund von Netzänderungen seit 2011/12 (Bundesstraßen) bzw. 2013/14 (Bundesautobahnen) unterscheiden sich die aus dem aktuellen Netz abgeleiteten Zustandsverteilungen (geringfügig) von den Ergebnissen der jeweiligen ZEB. Für die zusammenfassende netzbezogene Darstellung in Form von Häufigkeitsverteilungen werden fünf durch Zustandswerte definierte Bereiche berücksichtigt:

- < 1,5 (sehr guter, neuwertiger Zustand),
- 1,5 bis < 2,5 (guter Zustand),
- 2,5 bis < 3,5 (mittelmäßiger Zustand),
- 3,5 bis < 4,5 (schlechter Zustand, Warnwert erreicht/überschritten),
- ≥ 4,5 (sehr schlechter Zustand, Schwellenwert erreicht/überschritten).

Abb. 4.13 (Bundesautobahnen) und Abb. 4.14 (Bundesstraßen) veranschaulichen einen Vergleich dieser Zustandsbereiche des Gebrauchswerts TWGEB und des Substanzwerts-Oberfläche TWSUB für die den aktuellen Netzen zugeordneten ZEB-Auswerteabschnitte; bei den Bundesautobahnen ist dabei zwischen Asphalt- und Betondecken, bei den Bundesstraßen zwischen freien Strecken und Ortsdurchfahrten unterschieden.. Dabei sind die teilweise schwer erkennbaren Zustandsbereiche 3,5 bis < 4,5 und ≥ 4,5 vergrößert abgebildet.

In Abb. 4.13 und Abb. 4.14 sind die Anteile der Zustandsbereiche auf Basis der Längen und der Flächen gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass die Unterschiede sehr gering sind.

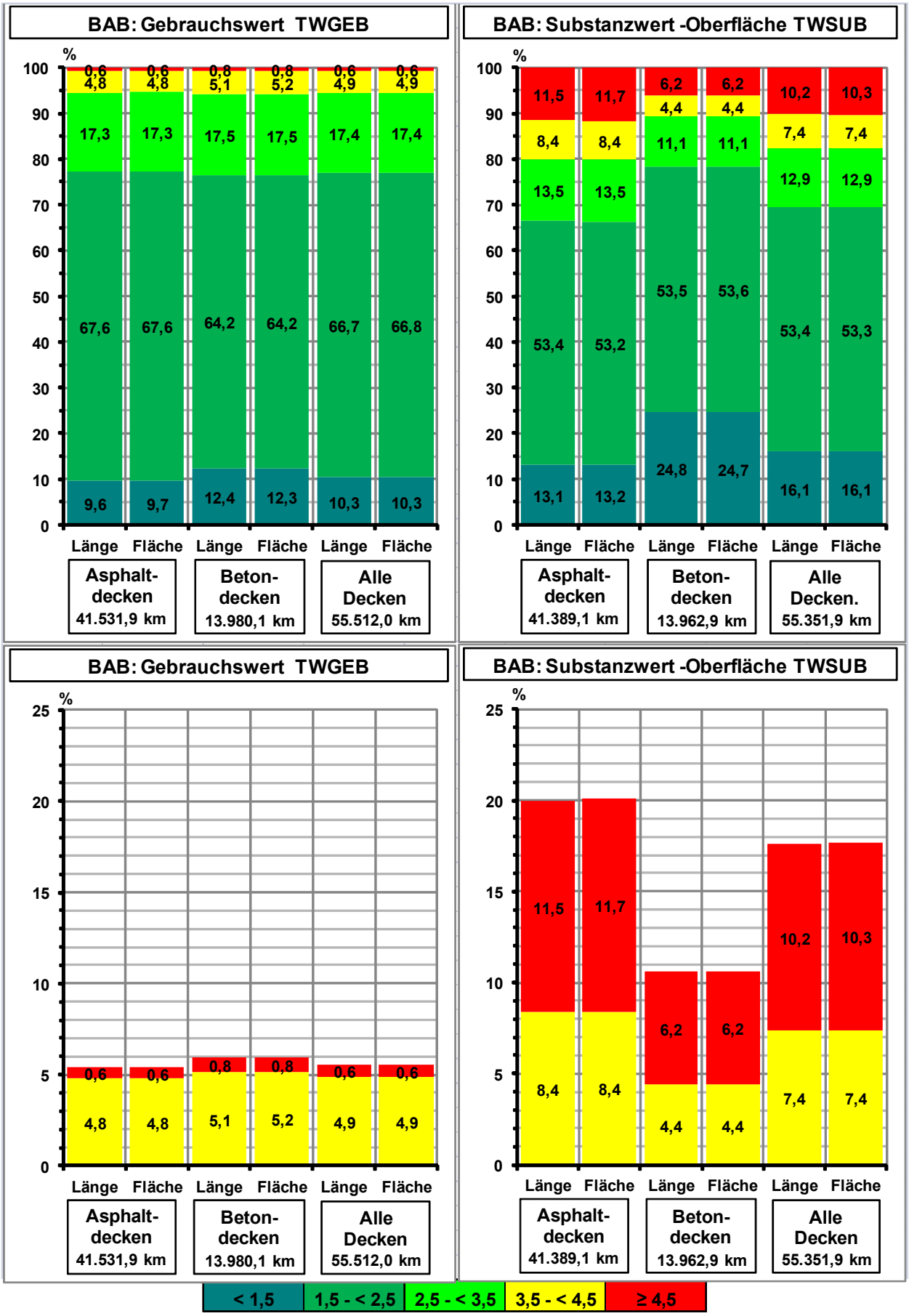


Abb. 4.13: Vergleich der Längen- und Flächenanteile für die Zustandsbereiche der ZEB-Auswerteabschnitte aus der ZEB 2013/2014 der Bundesautobahnen

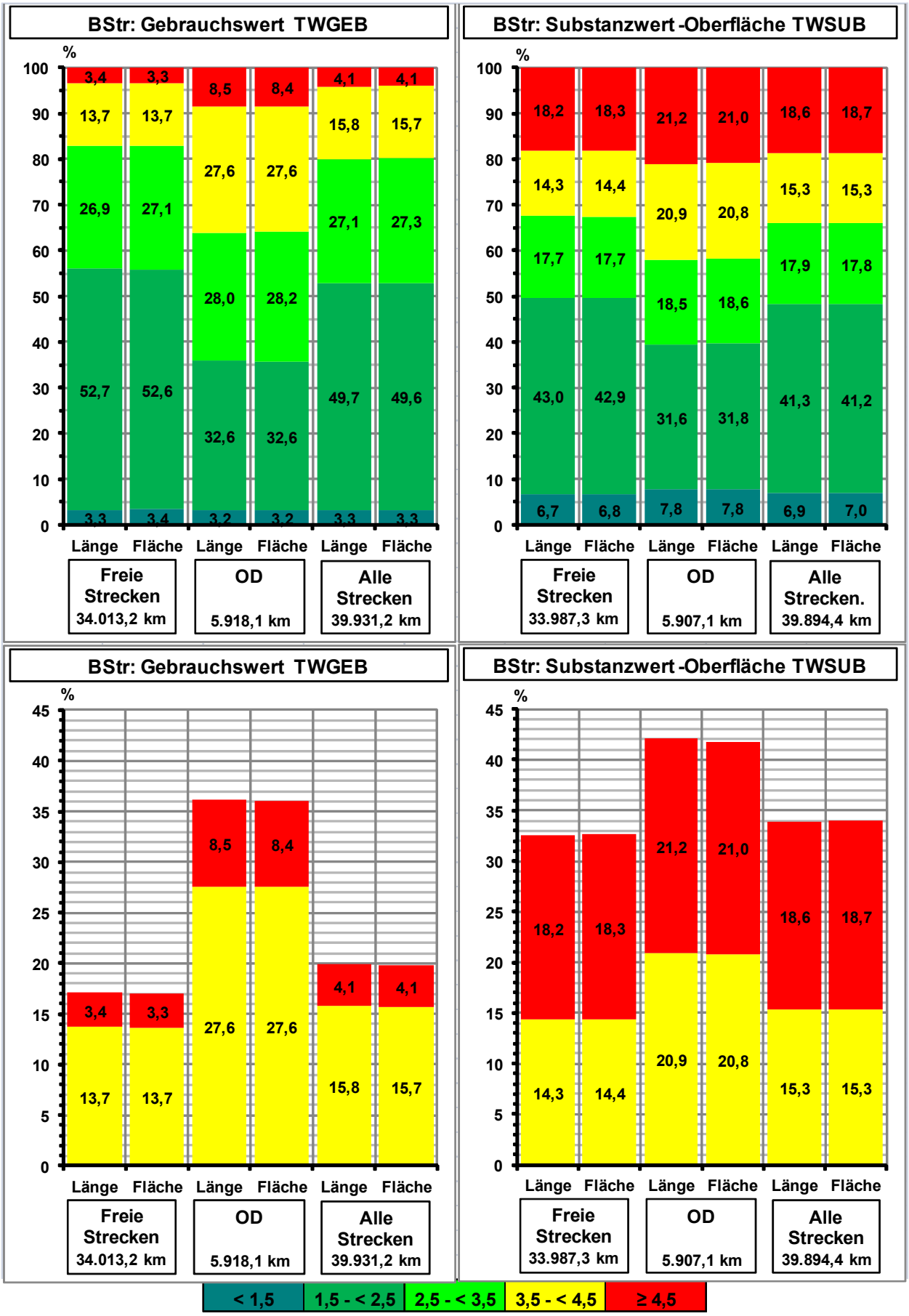


Abb. 4.14: Vergleich der Längen- und Flächenanteile für die Zustandsbereiche der ZEB-Auswerteabschnitte aus der ZEB 2011/2012 der Bundesstraßen

4.1.5 Substanzwert-Bestand, ZEB-Auswerteabschnitte und homogene Abschnitte

Die im Gebrauchswert TWGEB und im Substanzwert-Oberfläche TWSUB verknüpften Zustandsmerkmale beschreiben in erster Linie den Zustand der Fahrbahnoberfläche. Zur Kennzeichnung des Zustands der tiefer liegenden Befestigungsschichten, d. h. der Substanz der Straßenbefestigung, dient der Substanzwert-Bestand SUBBE. Dieser Substanzwert-Bestand SUBBE wird auf Basis des abgeschlossenen Forschungsprojekts „Weiterentwicklung des Substanzwertes Gesamt im PMS“ (*Krause, Maerschalk 2014*), dessen Ergebnisse und Empfehlungen in das „FGSV-Arbeitspapiers Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung“ (*FGSV 2003*) eingearbeitet werden sollen, ermittelt. Der Substanzwert-Bestand SUBBE bewertet den baulichen Bestand der Straßenbefestigung, der durch die Aufbaudaten mit Einbaujahr, Art und Dicke der gebundenen Schichten und einem (evtl. auf Basis von Erfahrungswerten geschätzten) Elastizitätsmodul (EV2-Wert in MPa) der obersten ungebundenen Schicht gekennzeichnet ist, in Relation zur Schwerverkehrsbelastung. Aus den verfügbaren Einzelangaben zu den vorhandenen Befestigungsschichten wird für die Modellrechnungen ein repräsentativer Aufbau ermittelt, der die teilweise vorhandene Vielzahl der Einzelschichten der Ausgangsdaten zu insgesamt 6 Schichten zusammenfasst (oberste ungebundene Schicht, gebundene Tragschicht(en), Binderschicht, Deckschicht, evtl. „obere“ Deckschicht). Für die gebundenen Schichten werden die Arten, Dicken und die Einbaujahre für die Modellrechnungen vorgehalten. Diese Angaben zum Befestigungsaufbau werden zur Analyse der Bemessungssituation, zur Ermittlung des Substanzzustands und, davon ausgehend, zur Auswahl zulässiger Erhaltungsmaßnahmen benötigt. Sie ermöglichen Aussagen zur Anforderungsgerechtigkeit bezüglich der Dimensionierung des Befestigungsaufbaus im Verhältnis zur vorhandenen (und prognostizierten) Schwerverkehrsbelastung. Die Daten zum Schichtaufbau sollten in Datenbanken vorgehalten werden; sie sind derzeit häufig noch unvollständig (s. Kap. 4.1.1).

Zum Substanzwert-Bestand SUBBE ist anzumerken, dass der sog. Eingreifbereich, für den Varianten von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen ermittelt und bewertet werden, nur erreicht wird, wenn mindestens eines der im Gebrauchswert TWGEB bzw. im Substanzwert-Oberfläche TWSUB verknüpften, bei der ZEB erfassten Zustandsmerkmale den Warnwert von 3,5 erreicht oder überschritten hat. Dabei wird davon ausgegangen, dass

- Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen nur eingeplant bzw. durchgeführt werden, wenn an der Fahrbahnoberfläche Schäden bzw. Mängel erkennbar bzw., im Falle der Ebenheit, spürbar werden, aber
- Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen nicht eingeplant bzw. durchgeführt werden, wenn es sich um alte, evtl. unterbemessene Befestigungen handelt, die sogar einen Substanzwert-Bestand SUBBE von 4,5 oder schlechter aufweisen, jedoch an der Fahrbahnoberfläche keine oder höchstens mittelmäßige Schäden bzw. Mängel zeigen.

Im Sinne einer vorsorglichen Erhaltung wäre es durchaus erwägenswert, den Eingreifbereich so zu erweitern, dass z. B. ab einem schlechten Substanzwert-Bestand SUBBE von 3,5 und

ab einem mittelmäßigen Substanzwert-Oberfläche TWSUB von 2,5 bereits Maßnahmen eingeplant werden. Damit könnten überraschende und unangenehme Zustandsentwicklungen (z. B. Winterschäden) weitgehend vermieden werden, der Erhaltungsbedarf würde jedoch erheblich ansteigen. Derzeit hat der Substanzwert-Bestand SUBBE bei einer substanzorientierten Zielsetzung erheblichen Einfluss auf die empfohlenen Maßnahmearten (s. Kap.5.4.3).

Der Substanzwert-Bestand SUBBE wird, wie die Zustandsgrößen, Zustandswerte und Teilwerte der ZEB, für die ZEB-Auswerteabschnitte mit einer Standardlänge von 100 m (Bundesautobahnen und freie Strecken der Bundesstraßen) bzw. von 20 m (Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen) ermittelt, da sich der Befestigungsaufbau für diese relativ kurzen Abschnitte nur selten ändert. Die Längen der ZEB-Auswerteabschnitte, die auch kürzer als die Standardlängen sein können (z. B. Restabschnitte vor Netzknoten), entsprechen in keiner Weise den Erhaltungsabschnitten der Praxis. Für die Bedarfsprognose werden daher sog. homogene Abschnitte gebildet. Das derzeit verfügbare Verfahren zur Bildung homogener Abschnitte auf Basis der ZEB-Auswerteabschnitte (*Rübensam, Schulze 1996*) berücksichtigt als Kriterien zur Abgrenzung von Abschnitten gleitende Mittelwerte der Zustandswerte der einzelnen ZEB-Merkmale, zusätzlich aber auch die Verkehrsbelastungen des DTV und die Deckenarten sowie, bei entsprechender Parametrisierung, auch Netzknoten oder OD-Grenzen. Diese homogenen Abschnitte entsprechen mehrheitlich in ihrer Länge weit eher den Erhaltungsabschnitten der Praxis als die ZEB-Auswerteabschnitte. Aufgrund von Besonderheiten im Streckenverlauf (z. B. Wechsel der Deckenart kurz nach einer OD-Grenze oder vor einer Brücke) verbleiben auch nach der Bildung der homogenen Abschnitte kurze Restabschnitte. Diese Restabschnitte werden für die Modellrechnungen nach Möglichkeit den Vorgänger- oder Nachfolgerabschnitten zugeordnet, was häufig nur manuell und nicht in jedem Fall möglich ist. Wie Abb. 4.15 mit den mittleren Längen, den Maximal- bzw. Minimallängen und den Anzahlen der homogenen Abschnitte auf Basis der ZEB 2013/2014 der Bundesautobahnen und der ZEB 20011/2012 der Bundesstraßen zeigt, verbleiben sehr kurze homogene Abschnitte mit den (Minimal-) Längen der ZEB-Auswerteabschnitte. Die Maximalwerte der Längen der homogenen Abschnitte liegen bei den Bundesautobahnen vereinzelt über den in Abb. 4.15 aufgeführten Werten (bis ca. 13 km). Dabei handelt es sich vereinzelt um Streckenbereiche, für die von den Ländern bereits fest eingeplante Maßnahmen gemeldet wurden, vielfach jedoch um Streckenbereiche, für die keine Ergebnisse der ZEB vorliegen.

Homogene Abschnitte	Mittelwert [km]	Maximalwert [km]	Minimalwert [km]	Anzahl Abschnitte
Bundesautobahnen	2,011	7,973	0,021	28.336
Bundesstraßen	1,186	7,501	0,018	35.499

Abb. 4.15: Mittlere Längen, Maximal- bzw. Minimallängen und Anzahlen der homogenen Abschnitte auf Basis der ZEB 2013/2014 der Bundesautobahnen und der ZEB 20011/2012 der Bundesstraßen

Bei der Abschnittszusammenfassung werden aus den Zustandswerten der eingeschlossenen ZEB-Auswerteabschnitte längengewichtete mittlere Zustandswerte für die homogenen

Abschnitte berechnet. Für die Bedarfsprognose ist von Interesse, inwieweit sich durch die Zusammenfassung und die Mittelwertbildung Änderungen in den Anteilen der Zustandsbereiche gemäß Abb. 4.13 bzw. Abb. 4.14 ergeben. Die auf der Basis der ZEB-Auswerteabschnitte und der homogenen Abschnitte ermittelten Zustandsverteilungen sind daher in Abb. 4.16 bis 4.18 nebeneinander dargestellt, und zwar in

- Abb. 4.16 für den Gebrauchswert TWGEB und den Substanzwert-Oberfläche TWSUB der Fahrstreifen der Bundesautobahnen (Asphalt, Beton, Gesamt),
- Abb. 4.17 für den Gebrauchswert TWGEB und den Substanzwert-Oberfläche TWSUB der Richtungsfahrbahnen der Bundesstraßen (freie Strecken, OD, Gesamt),
- Abb. 4.18 für den Substanzwert-Bestand SUBBE der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen.

Der Vergleich der Häufigkeitsverteilungen auf Basis der ZEB-Auswerteabschnitte und auf Basis der homogenen Abschnitte zeigt die folgende Grundtendenz:

- Die Anteile der Zustandsbereiche unter 1,5 sowie ab 4,5, d. h. für den sehr guten und sehr schlechten Zustandsbereich, werden bei den Verteilungen auf Basis der homogenen Abschnitte geringer als bei den Verteilungen für die ZEB-Auswerteabschnitte. Diese Änderung ist bei dem Gebrauchswert TWGEB und dem Substanzwert-Oberfläche TWSUB stärker ausgeprägt als beim Substanzwert-Bestand.
- Die Anteile für den schlechten Zustandsbereich von 3,5 bis unter 4,5 und insbesondere die Anteile im mittelmäßigen bzw. guten Zustandsbereich von 1,5 bis unter 2,5 bzw. von 2,5 bis unter 3,5 sind bei den Verteilungen für die homogenen Abschnitte größer als bei den Verteilungen für die ZEB-Auswerteabschnitte.

Die Ursachen für die Abweichungen sind im Detail sehr vielschichtig und können hier nicht erschöpfend behandelt werden. Auf zwei wesentliche Aspekte sei jedoch hingewiesen:

- Das derzeit verfügbare Verfahren zur Bildung homogener Abschnitte (*Rübensam, Schulze 1996*) berechnet die repräsentativen Zustandswerte der homogenen Abschnitte auf Basis der längengewichteten Zustandswerte der eingeschlossenen ZEB-Auswerteabschnitte Die im Rahmen der ZEB verwendete Skala für die Zustandsbewertung ist nach unten durch den Wert 1,0 und nach oben durch den Wert 5,0 begrenzt. Aufgrund dieser Skalenbegrenzung wird die Belegung des bei 1,0 beginnenden und des bei 5,0 endenden Zustandsbereichs aus rein numerischen Gründen geringer, da Zustandswerte der ZEB-Auswerteabschnitte, die aufgrund der physikalischen Zustandsgrößen bei einer Extrapolation der Bewertungsfunktionen rechnerisch unter 1,0 oder über 5,0 lägen, an den Skalenendpunkten abgeschnitten werden. Dieser Effekt wäre auf Basis von mittleren physikalischen Zustandsgrößen (z. B. mm, %) weniger ausgeprägt. Abgesehen von den verfahrensbedingten Aspekten (s. o.) ist jedoch eine Bildung von Zustandswerten erforderlich, da nur mit Hilfe dieser Noten verknüpfte Teilwerte, d. h. der Gebrauchs- und der Substanzwert-Oberfläche, berechnet werden können. Die Teilwerte müssen als Hauptkriterium für die Szenarienbildung bei der Bedarfsprognose herangezogen werden, da eine getrennte Einbindung aller einzelnen Zustandsmerkmale der ZEB zu einer äußerst kom-

plexen, schwer interpretierbaren und möglicherweise sogar widersprüchlichen Zielfunktion führen würde.

- Ein wesentlicher und variabler Teil der Verschiebungen in den Anteilen der Randbereiche sowie der sonstigen Zustandsbereiche resultiert aus der Homogenität in der räumlichen Verteilung der Zustandsgrößen und -werte im Autobahn- bzw. Bundesstraßennetz. Bei geringer räumlicher Streuung der 100-m- bzw. 20-m-Abschnitte mit gleicher Zustandsklasse ergeben sich geringere Abweichungen in den Verteilungen auf Basis der ZEB-Auswerteabschnitte bzw. der homogenen Abschnitte. Dies wird relativ deutlich aus Abb. 4.17 ersichtlich: Die Zustandswerte der 20-m-Auswerteabschnitte der Ortsdurchfahrten streuen wesentlich mehr als die Werte der 100-m Auswerteabschnitte der freien Strecken. Die Abweichungen zwischen den Zustandsverteilungen der homogenen Abschnitte und der ZEB-Auswerteabschnitte sind dementsprechend für Ortsdurchfahrten größer als für freie Strecken der Bundesstraßen.

Im Zusammenhang mit der Bedarfsermittlung ist bedeutsam, dass generell die vordringlich zur Erhaltung anstehenden Anteile im Zustandsbereich ab 4,5 bei der Zusammenfassung der ZEB-Auswerteabschnitte zu homogenen Abschnitten geringer werden. Im Vergleich zu einer Bedarfsermittlung auf Basis der ZEB-Auswerteabschnitte kann sich bei Verwendung homogener Abschnitte in den ersten 5 Jahren des Prognosezeitraums ein etwas geringerer Bedarf ergeben. Da die aus der Abschnittszusammenfassung resultierenden Verschiebungen vorwiegend vom sehr schlechten in den schlechten Zustandsbereich erfolgen, werden Maßnahmen jedoch meist nur kurzzeitig aufgeschoben. Dieser methodisch bedingte Aufschiebeeffekt erscheint wegen der deutlich größeren Praxisnähe der homogenen Abschnitte hinnehmbar.

Die in den Abb. 4.16 bis 4.18 für die homogenen Abschnitte veranschaulichten Häufigkeiten werden als Ausgangsverteilungen für die Szenarien der Bedarfsprognose verwendet. Die länderspezifischen Ausgangsverteilungen für die homogenen Abschnitte finden sich nach dem Muster der genannten Abbildungen in **ANHANG 1**.

Die automatisiert abgegrenzten homogenen Abschnitte entsprechen insbesondere bei den Bundesautobahnen in ihrer Länge immer noch nicht den Erhaltungsabschnitten der Praxis. Bei der Abgrenzung von praxisgerechten Erhaltungsabschnitten sind nicht nur der Zustand, die Bauweise und die Verkehrsbelastung von Bedeutung, sondern auch verkehrliche und baubetriebliche Aspekte (z. B. die Lage von Überfahrten). Bei einer objektbezogenen Anwendung des PMS zur Erstellung konkreter Erhaltungsprogramme für vier oder fünf Jahre werden diese Erhaltungsabschnitte auf der Grundlage von Rechenläufen mit homogenen Abschnitten von den zuständigen Projektingenieuren manuell abgegrenzt und anschließend als erhaltungsbedürftig („feste Maßnahmen“) gekennzeichnet. Bei den Bundesautobahnen werden dabei den Erhaltungsabschnitten vielfach auch mehrere Fahrstreifen zugewiesen. Die Kennzeichnung als „feste Maßnahme“ ist erforderlich, weil die Erhaltungsabschnitte aus verkehrlichen und baubetrieblichen Gründen, in aller Regel unvermeidlich, auch ganz oder teilweise homogene Abschnitte einschließen, die erst einen mittelmäßigen oder sogar noch

einen guten Zustand aufweisen. Bei der Berechnung der längengewichteten maßgeblichen Zustandswerte der Erhaltungsabschnitte besteht ohne diese Kennzeichnung die Gefahr, dass aufgrund von Teilbereichen mit mittelmäßigem oder gutem Zustand für kein Zustandsmerkmal der Warnwert von 3,5 erreicht oder überschritten und der jeweilige Erhaltungsabschnitt damit (noch) nicht als erhaltungsbedürftig eingestuft wird,

Bei einer bundesweiten Bedarfsprognose ist es aufgrund der Netzgröße und auch aufgrund des 15-jährigen Prognosezeitraums nicht möglich, manuell Erhaltungsabschnitte zu bilden. Die Prognoserechnungen basieren daher auf den automatisch gebildeten homogenen Abschnitten Eine Auswertung der aus den Aufbaudaten (über das Maßnahmejahr und die Schichtart) ermittelbaren Maßnahmelängen zeigt (*Hellmann, Maerschalk, Rübensam 2002; Hinsch, Krause, Maerschalk, Rübensam 2002; Fischer, Brannolte 2006*), dass bei den

- Bundesautobahnen die mittlere Länge der homogenen Abschnitte mit ca. 2 km (s. Abb. 4.16) deutlich unter der mittleren Länge von Erhaltungsabschnitten (ca. 4 km) liegt,
- Bundesstraßen die mittlere Länge der homogenen Abschnitte mit ca. 1,2 km (s. Abb. 4.16) annähernd schon der mittleren Länge von Erhaltungsabschnitten (ca. 1,5) entspricht.

Da die Abschnittslänge bzw. -fläche linear in die Berechnung der Erhaltungskosten eingeht, wird der Erhaltungsbedarf der Bundesfernstraßen auf der Grundlage der homogenen Abschnitte annähernd realistisch eingeschätzt, wenn aufgrund der Unterschiede der mittleren Längen der homogenen Abschnitte und der praxisgerechten Erhaltungsabschnitte Steigerungsfaktoren berücksichtigt werden, die für die Bundesautobahnen bei 2,0 und für die Bundesstraßen bei 1,25 liegen.

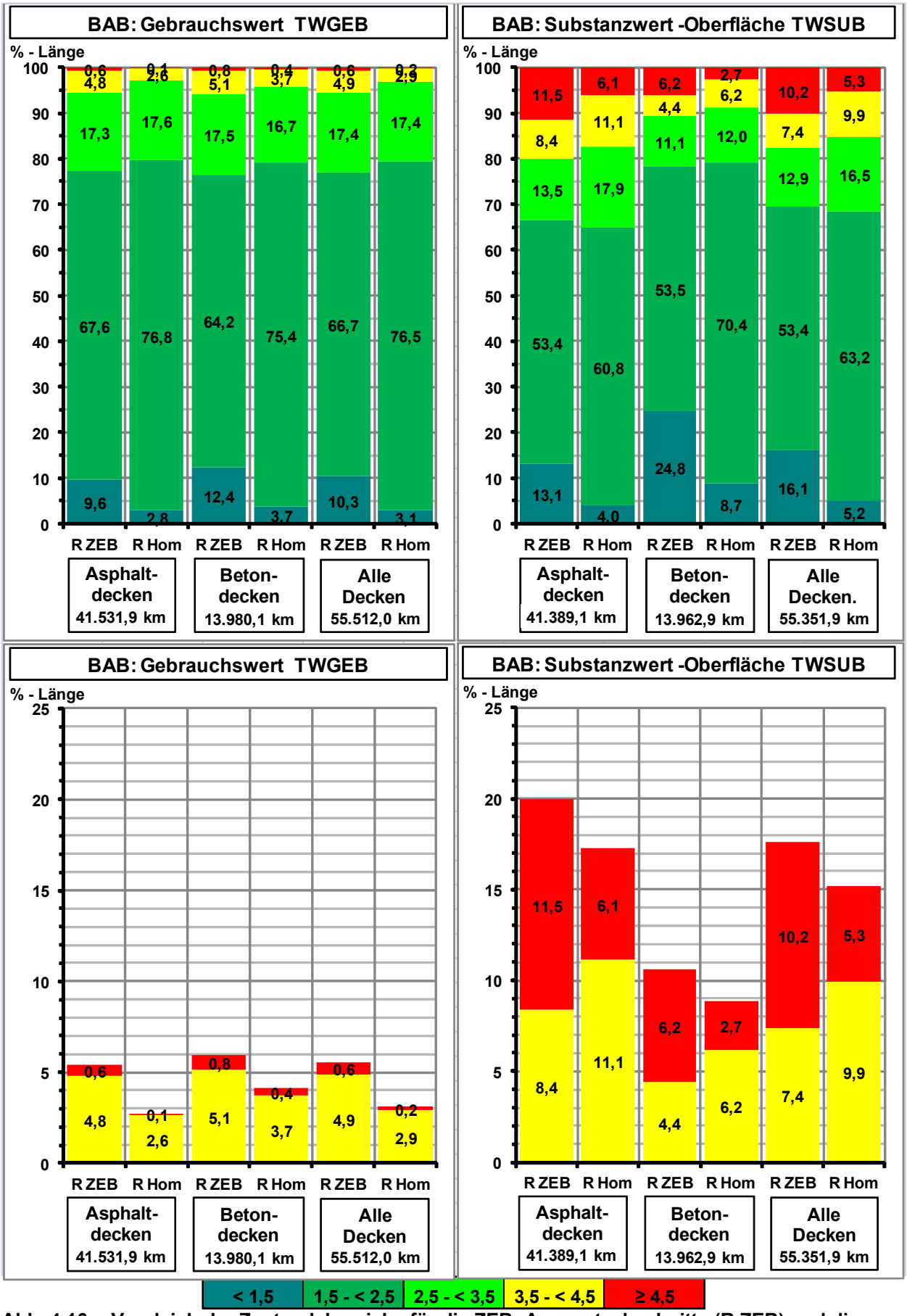


Abb. 4.16: Vergleich der Zustandsbereiche für die ZEB- Auswerteabschnitte (R ZEB) und die homogenen Abschnitte (R Hom) beim Gebrauchswert TWGEB und beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB der Bundesautobahnen

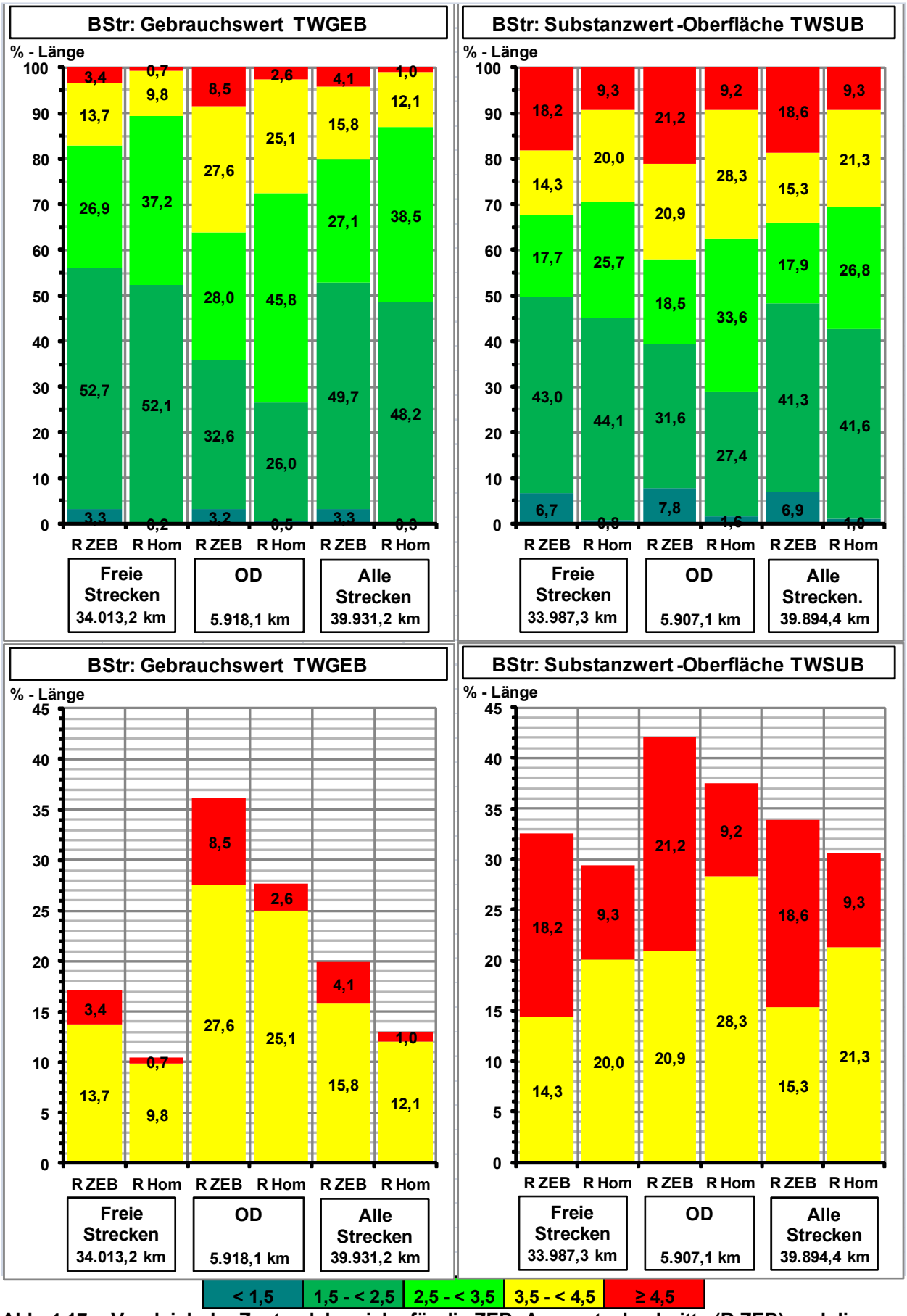


Abb. 4.17: Vergleich der Zustandsbereiche für die ZEB- Auswerteabschnitte (R ZEB) und die homogenen Abschnitte (R Hom) beim Gebrauchswert TWGEB und beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB der Bundesstraßen

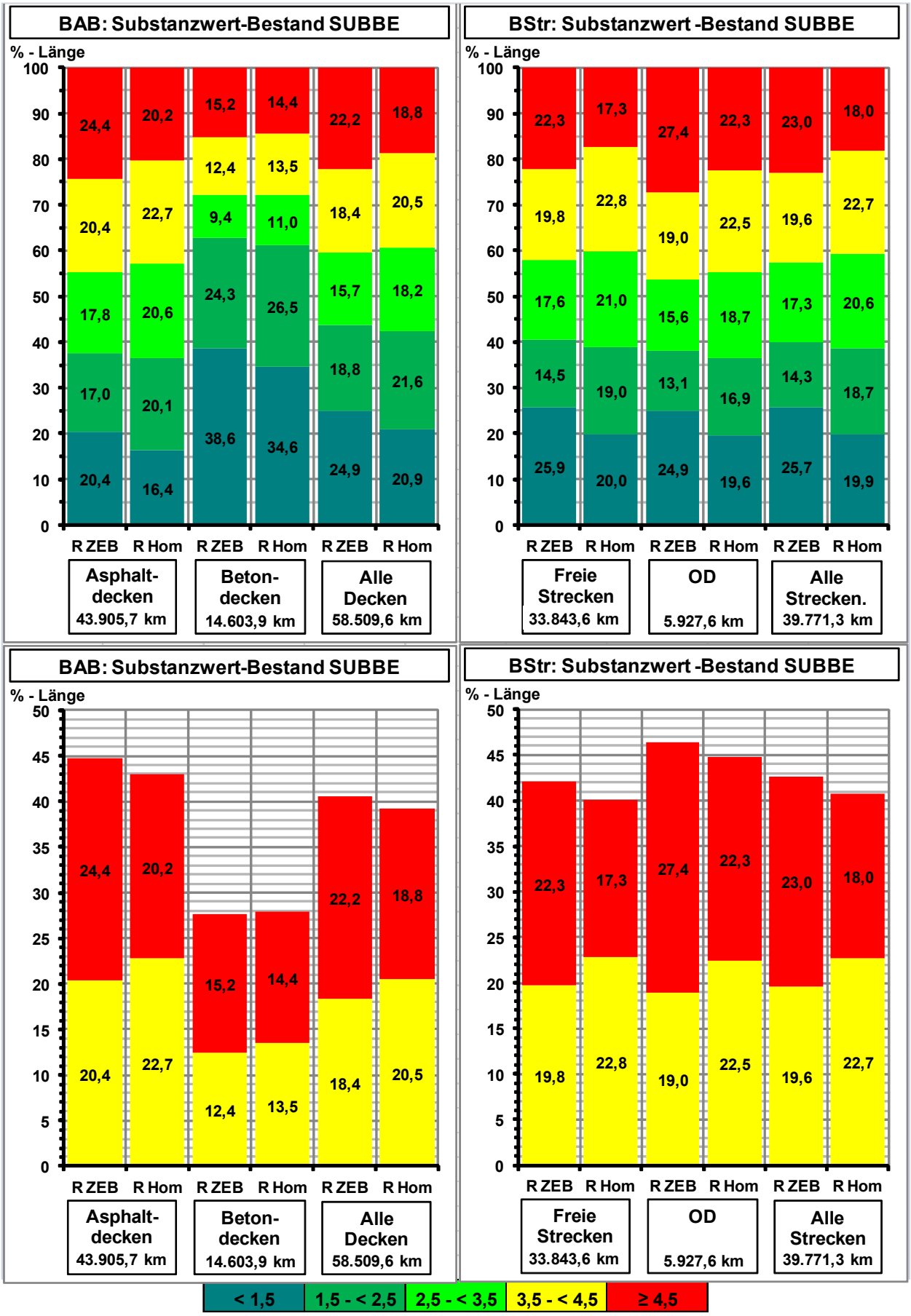


Abb. 4.18: Vergleich der Zustandsbereiche für die ZEB- Auswerteabschnitte (R ZEB) und die homogenen Abschnitte (R Hom) beim Substanzwert-Bestand SUBBE der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen

4.1.6 Zustand der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen

Für die Äste der Bundesautobahnen liegen in einigen Ländern (BB, BE, HH, SH, NRW,BY und RP) erste Ergebnisse einer Zustandserfassung für unterschiedliche Bezugsjahre gemäß der ZEB-Systematik vor. Allerdings gib es noch keine definitive Übereinkunft zur Zustandsbewertung. Aus diesem Grund und aufgrund der mehrheitlich noch fehlenden Zustandsdaten wird der Erhaltungsbedarf der Äste auf der Grundlage der Altersstruktur berechnet.

Für die Seitenstreifen und Betriebsflächen ist bisher keine Zustandserfassung vorgesehen. Der Bedarf wird auf Basis der Altersstruktur ermittelt.

4.1.7 Verkehrsbelastungen der Bundesfernstraßen

Als Verkehrsbelastungen der Bundesfernstraßen werden die Werte des DTV (durchschnittlicher täglicher Gesamtverkehr in Kfz/24 h) und des DTV-SV (durchschnittlicher täglicher Schwerverkehr in Kfz/24 h) benötigt. Die verfügbaren Ausgangswerte für die Verkehrsbelastungen stammen aus der Bundesverkehrszählung (BVZ) 2010. Die Werte der BVZ 2015 lagen zum Zeitpunkt, als das Gutachten erstellt wurde, nicht vor.

Da keine Angaben aus einer dezidierten Verkehrsprognose verfügbar waren, wurden für die Bundesautobahnen im Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 die Steigerungsraten des DTV-SV der RStO zugrundegelegt (3 % pro Jahr). Für die Bundesstraßen wurde kein Zuwachs des DTV-SV angesetzt.

4.2 Ingenieurbauwerke

Zu den Ingenieurbauwerken gehören nach DIN 1076 die in Abb. 4.19 zusammengestellten und beschriebenen Bauwerksarten.

Bauwerksart	Definition nach DIN 1076
Brücken	Überführungen eines Verkehrsweges über einen anderen Verkehrsweg, über ein Gewässer oder tiefer liegendes Gelände, wenn ihre lichte Weite rechtwinklig zwischen den Widerlagern gemessen 2,00 m oder mehr beträgt.
Verkehrszeichenbrücken	Tragkonstruktionen, an denen Schilder/Zeichengeber über dem Verkehrsraum befestigt werden. Dazu zählen auch entsprechende Tragkonstruktionen mit einseitiger oder beidseitiger Auskragung sowie Konstruktionen, die portalartig ganz/teilweise über die Fahrbahn reichen.
Tunnel	Dem Straßenverkehr dienende Bauwerke, die unterhalb der Erd- oder Wasseroberfläche liegen und in geschlossener Bauweise hergestellt werden oder bei offener Bauweise länger als 80 m sind. Zu den Tunneln gehören auch die für Bau und Betrieb erforderlichen Nebenanlagen, soweit sie baulich integrierte Bestandteile des Tunnelbauwerkes sind. Weiterhin gelten folgende Bauwerke ab einer Länge von 80 m als Straßentunnel: - Teilabgedeckte unter- oder oberirdische Verkehrsbauwerke; - oberirdische Einhausungen von Straßen; - Kreuzungsbauwerke mit anderen Verkehrswegen; - Galeriebauwerke.
Trogbauwerke	Stützbauwerke (auch Rampenbauwerke) und/oder Grundwasserwannen, die aus Stützwänden mit einer geschlossenen Sohle bestehen.
Stützbauwerke	Ingenieurbauwerke, die eine Stützfunktion gegenüber dem Erdreich, dem Straßenkörper oder Gewässer ausüben und eine sichtbare Höhe von 1,50 m oder mehr aufweisen.
Lärmschutzbauwerke	Wände mit der Funktion von Lärmschirmen, die eine sichtbare Höhe von 2,00 m oder mehr aufweisen.
Sonstige Bauwerke	Bauwerke, für die ein Einzelstandsicherheitsnachweis erforderlich ist, wie z. B. Rohr- und Bandstraßenbrücken, Regenrückhaltebecken aus Stahlbeton, Schachtbauwerke.

Abb. 4.19 Begriffsdefinition der Ingenieurbauwerke nach DIN 1076

Zum Bestand und Zustand dieser Ingenieurbauwerke wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) Datenauszüge aus SIB-Bauwerke zum Stand 30.04.2016 übermittelt. Diese Datenauszüge enthielten alle für die Prognoserechnungen benötigten Angaben zu den Ingenieurbauwerken der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen für alle Bundesländer.

4.2.1 Bestand der Ingenieurbauwerke

Für die Prognose des Erhaltungsbedarfs wurden alle Ingenieurbauwerke in Baulast des Bundes berücksichtigt, die derzeit „unter Verkehr“ liegen. Sämtliche Zahlenangaben und Analysen beziehen sich auf Teilbauwerke, da nur dafür alle erforderlichen Informationen über entsprechende Tabellen der SIB-Bauwerke zuzuordnen waren. Abb. 4.20 (Bundesautobahnen) und Abb. 4.21 (Bundesstraßen) geben einen Überblick über den Bestand dieser Ingenieurbauwerke zum Stand 30.04.2016.

Bei den Bundesautobahnen wurden die Brücken im Zuge der bis zum 30.04.2016 vergebenen ÖPP-Projekte aussortiert (s. dazu Abb. 4.2). In Abb. 4.22 sind die entsprechenden Bauwerke länderweise aggregiert.

Bundesautobahnen (Teilbauwerke)	Brücken		Verkehrszeichenbrücken	
	Anzahl	Fläche	Anzahl	Länge
	[--]	[m²]	[--]	[m]
Baden-Württemberg	1.955	1.682.430	1.037	14.788
Bayern	5.097	3.527.687	1.863	30.939
Berlin	241	263.484	353	5.533
Brandenburg	1.036	530.342	808	9.953
Bremen	246	186.435	190	2.588
Hamburg	233	368.078	189	3.417
Hessen	2.388	1.819.129	1.397	21.965
Mecklenburg-Vorpommern	561	475.441	60	793
Niedersachsen	2.742	1.528.207	1.243	16.746
Nordrhein-Westf.	6.134	4.920.079	3.278	47.050
Rheinland-Pfalz	1.926	1.573.141	559	7.504
Saarland	547	481.963	231	2.024
Sachsen	1.108	811.797	380	5.466
Sachsen-Anhalt	769	620.466	482	6.504
Schleswig-Holstein	740	390.529	160	2.088
Thüringen	801	888.133	409	5.367
Bundesrepublik	26.524	20.067.341	12.639	182.726

Abb. 4.20a: Anzahl und Fläche der Teilbauwerke der Bundesautobahnen für die Brücken und die Verkehrszeichenbrücken (ohne ÖPP, Stand 30.04.2016)

Bundesautobahnen (Teilbauwerke)	Lärmschutzbauw.		Stützbauwerke		Tunnel-/Trogbauw.	
	Anz.	Fläche	Anz.	Fläche	Anz.	Fläche
	[--]	[m²]	[--]	[m²]	[--]	[m²]
Baden-Württemberg	427	281.609	245	116.280	71	189.933
Bayern	985	887.592	229	188.812	99	385.007
Berlin	168	157.975	233	133.402	53	254.756
Brandenburg	124	288.211	29	9.593		
Bremen	160	211.018	53	23.869	12	24.253
Hamburg	90	105.751	26	14.230	47	163.172
Hessen	386	434.229	167	63.297	47	60.118
Mecklenburg-Vorpommern	23	19.022	10	892		
Niedersachsen	1.147	1.181.889	88	45.685	15	111.311
Nordrhein-Westf.	3.848	2.614.125	696	316.896	114	434.381
Rheinland-Pfalz	229	250.249	183	49.795	20	61.811
Saarland	62	81.007	96	38.772	3	11.678
Sachsen	551	509.941	51	19.205	12	277.495
Sachsen-Anhalt	70	109.215	13	3.196		
Schleswig-Holstein	303	205.033	20	8.070	10	9.843
Thüringen	111	134.967	68	80.473	85	419.054
Bundesrepublik	8.684	7.471.833	2.207	1.112.467	588	2.402.812

Abb. 4.20b: Anzahl und Fläche der Teilbauwerke der Bundesautobahnen für die Lärmschutzbauwerke, die Stützbauwerke und die Tunnel-/Trogbauwerke (ohne ÖPP, Stand 30.04.2016)

Bundesstraßen (Teilbauwerke)	Brücken		Verkehrszeichenbrücken	
	Anzahl	Fläche	Anzahl	Länge
	[--]	[m²]	[--]	[m]
Baden-Württemberg	3.955	1.907.761	489	5.510
Bayern	5.566	1.679.387	150	2.118
Berlin	6	6.364	9	165
Brandenburg	782	230.933	112	1.455
Bremen	63	82.054	54	720
Hamburg	38	18.800	45	1.067
Hessen	2.319	952.923	276	3.733
Mecklenburg-Vorpommern	406	205.691	72	941
Niedersachsen	2.575	1.027.218	146	1.848
Nordrhein-Westf.	2.795	1.502.457	303	4.396
Rheinland-Pfalz	2.243	1.108.075	195	2.526
Saarland	231	119.593	12	74
Sachsen	960	365.496	60	697
Sachsen-Anhalt	818	371.819	110	1.027
Schleswig-Holstein	803	399.922	43	649
Thüringen	700	211.135	47	532
Bundesrepublik	24.260	10.189.628	2.123	27.459

Abb. 4.21a: Anzahl und Fläche der Teilbauwerke der Bundesstraßen für die Brücken und die Verkehrszeichenbrücken (Stand 30.04.2016)

Bundesstraßen (Teilbauwerke)	Lärmschutzbauw.		Stützbauwerke		Tunnel-/Trogbauw.	
	Anz.	Fläche	Anz.	Fläche	Anz.	Fläche
	[--]	[m²]	[--]	[m²]	[--]	[m²]
Baden-Württemberg	572	324.005	2.370	490.856	244	617.965
Bayern	334	213.434	1.504	407.791	97	186.116
Berlin						
Brandenburg	40	27.708	50	10.935	10	8.462
Bremen	47	36.257	67	15.374	15	24.594
Hamburg	40	46.270	23	11.331	13	41.799
Hessen	265	161.730	892	222.548	79	89.944
Mecklenburg-Vorpommern	69	33.195	79	17.347	8	5.380
Niedersachsen	432	272.367	262	81.550	49	169.756
Nordrhein-Westf.	825	377.534	1.035	327.441	47	215.288
Rheinland-Pfalz	189	143.291	1.553	750.186	95	141.697
Saarland	21	19.825	109	30.458	13	8.672
Sachsen	175	96.214	759	134.864	16	86.594
Sachsen-Anhalt	56	36.131	114	22.100	21	19.175
Schleswig-Holstein	140	68.479	65	18.048	10	17.525
Thüringen	53	39.957	239	68.086	2	4.473
Bundesrepublik	3.258	1.896.397	9.121	2.608.915	719	1.637.440

Abb. 4.21b: Anzahl und Fläche der Teilbauwerke der Bundesstraßen für die Lärmschutzbauwerke, die Stützbauwerke und die Tunnel-/Trogbauwerke (Stand 30.04.2016)

Ingenieurbauwerke ÖPP-Projekte	Brücken		Verkehrszeichenbrücken		Lärmschutzbauwerke		Stützbauwerke	
	Anz.	m²	Anz.	m	Anz.	m²	Anz.	m²
Baden-Württemberg	123	54.714	60	865	42	53.845	20	18.703
Bayern	277	97.251	60	863	49	61.916	2	828
Hamburg	6	5.214	13	199	6	3.549	5	1.493
Niedersachsen	102	37.520	92	1.144	109	76.278	1	370
Schleswig-Holstein	60	24.937	13	221	6	7.892		
Thüringen	188	127.299	76	931	20	24.815	9	1.719
Gesamt	756	346.935	314	4.222	232	228.295	37	23.113

Abb. 4.22: Ingenieurbauwerke (Teilbauwerke) der ÖPP-Projekte der Bundesautobahnen (Stand 30.04.2016)

4.2.2 Altersstruktur der Ingenieurbauwerke

Die Datengrundlagen der Ingenieurbauwerke enthalten derzeit noch kaum Zeitangaben zu durchgeführten Instandsetzungs- bzw. zur Erneuerungsmaßnahmen von einzelnen Bauteilen bzw. Bauteilgruppen. Zur Überprüfung der Altersstruktur muss daher auf die Herstellungsjahre zurückgegriffen werden.

In Abb. 4.23 (Bundesautobahnen) und Abb. 4.24 (Bundesstraßen) sind die Baujahre der Brücken den Halbdekaden ab 1966 zugeordnet. Die angegebenen Brückenflächen sind etwas geringer als die Werte in Abb. 4.20 bzw. 4.21, da bei einigen wenigen Brücken die Baujahre fehlen. Bei diesen Brücken müssen für die Bedarfsermittlung Standardfunktionen zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung des Überbaus bzw. Unterbaus herangezogen werden (s. Kap. 4.2.3).

Bezogen auf das Jahr 2016 ergibt sich ein mittleres Alter der Brücken bei den Bundesautobahnen (ohne ÖPP) wie auch bei den Bundesstraßen von ca. 33 Jahren. Die größten Anteile ergeben sich bei den

- Bundesautobahnen für die Halbdekade von 1971 bis 1976
- Bundesstraßen für die Halbdekade von 1976 bis 1980.

Die Altersverteilungen für die Bundesländer finden sich, entsprechend Abb. 4.23 bzw. Abb. 4.24, in **ANHANG 1 – Datendokumentation**.

Bei den restlichen Ingenieurbauwerken fehlen die Baujahre anteilig deutlich öfter als bei den Brücken. Die Altersverteilungen der Bundesautobahnen (ohne ÖPP) und der Bundesstraßen sind in tabellarischer Form für die Bundesrepublik und für die einzelnen Bundesländer in **ANHANG 1** dokumentiert.

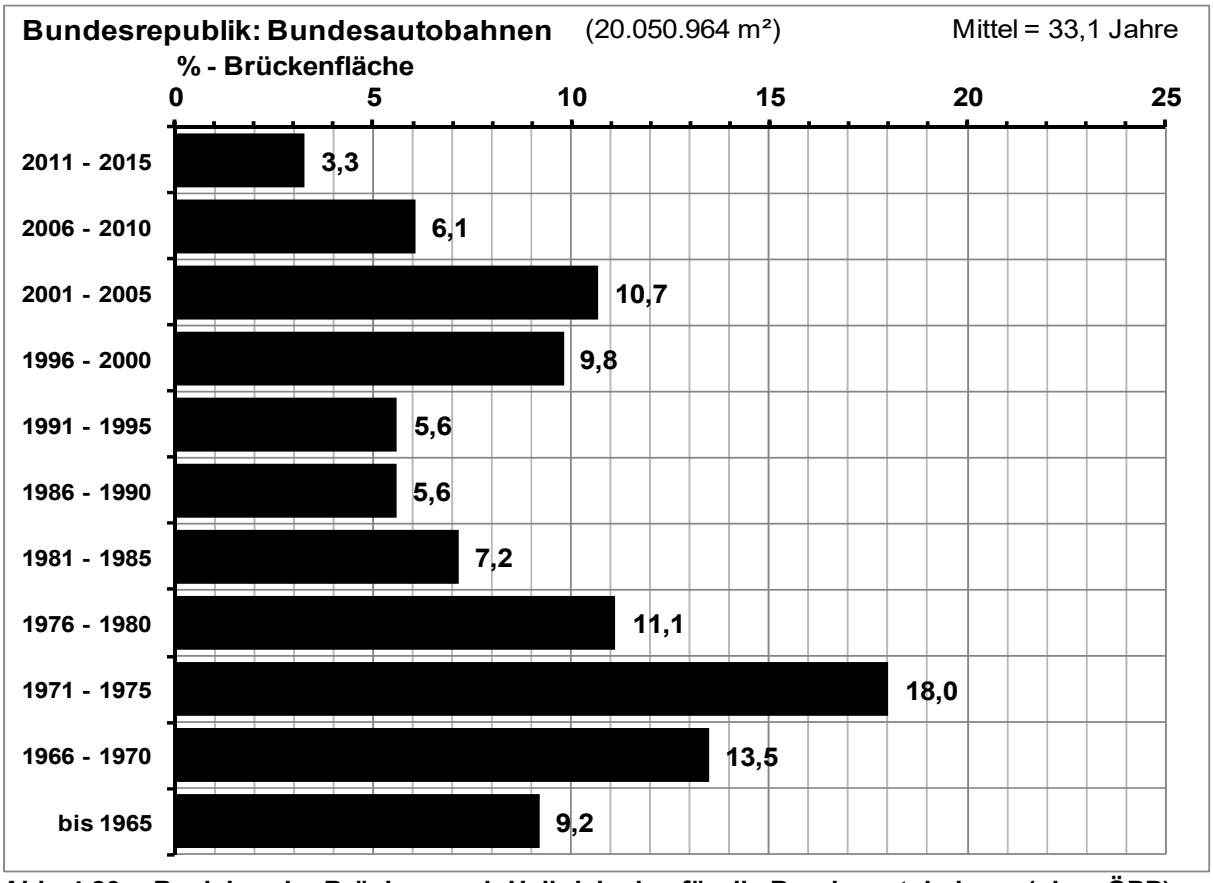


Abb. 4.23: Baujahre der Brücken nach Halbdekaden für die Bundesautobahnen (ohne ÖPP)

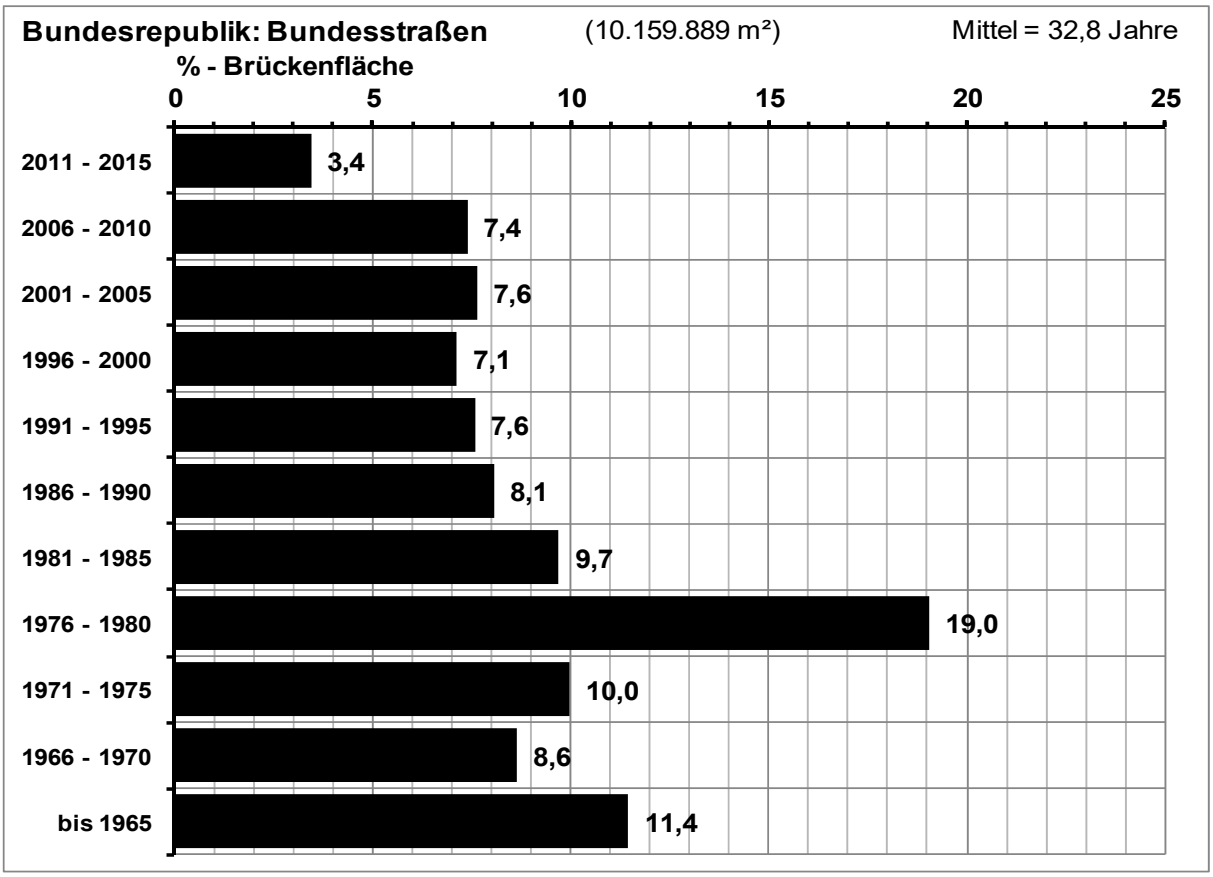


Abb. 4.24: Baujahre der Brücken nach Halbdekaden für die Bundesstraßen

4.2.3 Zustand der Ingenieurbauwerke

Die benötigten Informationen zum Bauwerkszustand werden im Rahmen der Bauwerksprüfungen und nach Abschluss von Erhaltungsmaßnahmen erfasst. Die regelmäßige Prüfung von Ingenieurbauwerken im Verkehrsraum erfolgt in zeitlich festgelegten Abständen nach DIN 1076 („Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, Überwachung und Prüfung“) in Verbindung mit den „Richtlinien zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen“ (RI-EBW-PRÜF, *BMV 2004*), um eingetretene Mängel rechtzeitig zu erkennen und den Baulastträger bzw. Unterhaltungsträger dadurch in die Lage zu versetzen, sie zu beseitigen, bevor ein größerer Schaden eintritt oder die Verkehrssicherheit beeinträchtigt wird. Die wesentliche Arbeitsmethode dabei ist die „handnahe" Besichtigung aller Einzelteile eines Bauwerks.

Die Verfahrensweise für die Schadens- und Zustandsbewertung von Bauwerken ist in den bereits o. e. Richtlinien (RI-EBW-PRÜF) dokumentiert. Bei der Entwicklung des Verfahrens wurden zunächst genaue Definitionen der Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit erarbeitet (s. dazu Abb. 2.6). Grundlage des Verfahrens ist die detaillierte Bewertung der Einzelschäden. Dabei ist im Verlauf der Bauwerksprüfungen für jeden erfassten Einzelschaden eine getrennte Schadensbewertung (ganzzahlige Noten von 0 bis 4) nach den drei o. a. Kriterien durchzuführen. Zusätzlich ist für jeden Einzelschaden der Schadensumfang quantitativ zu erfassen. Bei der Schadensbewertung ist zunächst von einem mittleren Schadensumfang und einer mittleren Schadenshäufigkeit auszugehen. Abweichende Umfänge bzw. Häufigkeiten werden später bei der Ermittlung der Zustandsnote (s. u.) durch Zu- und Abschläge berücksichtigt (*Haardt 1999*).

Bei der Bewertung von Einzelschäden nach der Standsicherheit und der Verkehrssicherheit sind ausschließlich die aktuellen Einflüsse des Schadens zu berücksichtigen. Die Bewertung der Dauerhaftigkeit umfasst die Auswirkungen des Schadens in zeitlicher Hinsicht. Zur Sicherstellung eines einheitlichen Vorgehens bei der Schadensbewertung werden dem Prüfer umfangreiche Schadensbewertungskataloge an die Hand gegeben. Diese Beispielsammlungen sind in der Richtlinie RI-EBW-PRÜF enthalten.

Die Zustandsbewertung der Ingenieurbauwerke erfolgt getrennt für alle Bauteile bzw. Bauteilgruppen. Die Bewertungsskala umfasst die Zustandsnoten 1,0 bis 4,0. Dabei können folgende Zustandsbereiche verbal definiert werden:

- Zustandsnoten 1,0 bis 1,4 (sehr guter Zustand),
- Zustandsnoten 1,5 bis 1,9 (guter Zustand),
- Zustandsnoten 2,0 bis 2,4 (befriedigender Zustand),
- Zustandsnoten 2,5 bis 2,9 (ausreichender Zustand),
- Zustandsnoten 3,0 bis 3,4 (nicht ausreichender Zustand),
- Zustandsnoten 3,5 bis 4,0 (ungenügender Zustand).

Zusätzlich zur Zustandsnote wird eine Substanzkennzahl im Bereich von 1,0 bis 4,0 ermittelt, die sich aus der Bewertung im Hinblick auf die Kriterien Standsicherheit und Dauerhaftigkeit,

d. h. unter Vernachlässigung der Verkehrssicherheit, ergibt. Als Gesamtzustandsnote bzw. Substanzkennzahl des gesamten Teilbauwerks wird der schlechteste Wert der Bauteile bzw. Bauteilgruppen gesetzt. Diese Werte erhalten in Abhängigkeit von der Anzahl der geschädigten Bauteile/Bauteilgruppen noch Zu- bzw. Abschläge, die im Zehntel-Notenbereich liegen (*Haardt 1999b*).

Die nach DIN 1076 ermittelten Zustandsdaten der Brücken der Bundesfernstraßen liegen nahezu vollständig vor, während bei den restlichen Ingenieurbauwerken größerer Lücken vorhanden sind (s. **ANHANG 1**). Die Flächenanteile der o. a. Zustandsbereiche sind veranschaulicht in (Absolutflächen = 100% - s. Abb.4.21 und Abb. 4.22)

- Abb. 4.25 für die Gesamtzustandsnote der Bundesautobahnen,
- Abb. 4.26 für die Gesamt-Substanzkennzahl der Bundesautobahnen,
- Abb. 4.27 für die Gesamtzustandsnoten der Bundesstraßen,
- Abb. 4.28 für die Gesamt-Substanzkennzahl der Bundesstraßen.

Die Darstellungen verdeutlichen, dass sich auf der Grundlage der Gesamt-Substanzkennzahlen, die für die Prognoserechnung zugrundegelegt werden, etwas günstigere Zustandsverteilungen ergeben als mit den Gesamtzustandsnoten. Für beide Optionen zeigt sich insbesondere bei den Brücken der Bundesautobahnen eine im Vergleich zu den restlichen Ingenieurbauwerken relativ schlechte Verteilung. So gilt für die Gesamt-Substanzkennzahlen (Abb. 4.26):

- 1,6 % der Brückenflächen der Bundesautobahnen weisen einen ungenügenden Zustand (3,5 bis 4,0) auf, der umgehend Erhaltungsmaßnahmen erfordert.
- 9 % der Brückenflächen (d. h. mehr als 2 Mio. m²) sind in einem nicht ausreichenden Zustand (3,0 bis 3,4), der umgehend Erhaltungsmaßnahmen erfordert.
- Ca. 32 % der Brückenflächen liegen in einem Zustandsbereich, der als ausreichend (2,5 bis 2,9) einzustufen ist und kurzfristig Maßnahmen erfordert.
- Nur 2,9 % der Brückenflächen der Bundesautobahnen weisen einen sehr guten, neuwertigen (1,0 bis 1,4) Zustand auf.

Auch wenn bei einigen Brücken möglicherweise die Erhaltung zurückgestellt wurde, weil z. B. ein sechsstreifiger Ausbau geplant ist, verbleiben große Anteile im schlechten Zustandsbereich.

Bei den Brücken der Bundesstraßen ist das Zustandsniveau deutlich besser als bei den Bundesautobahnen: Bezogen auf die Gesamt-Substanzkennzahl (Abb. 4.28) sind

- nur 0,9 % der Brückenflächen der Bundesstraßen in einem ungenügenden Zustand (3,5 bis 4,0), der der umgehend Erhaltungsmaßnahmen erfordert.
- 5,6 % der Brückenflächen (d. h. ca. 572.000 m²) in einem nicht ausreichenden Zustand (3,0 bis 3,4), der umgehend Erhaltungsmaßnahmen erfordert.
- 26,5 % der Brückenflächen in einem Zustand, der als ausreichend (2,5 bis 2,9) einzustufen ist und kurzfristig Maßnahmen erfordert.
- 7 % der Brückenflächen der Bundesstraßen in einem sehr guten, neuwertigen (1,0 bis 1,4) Zustand.

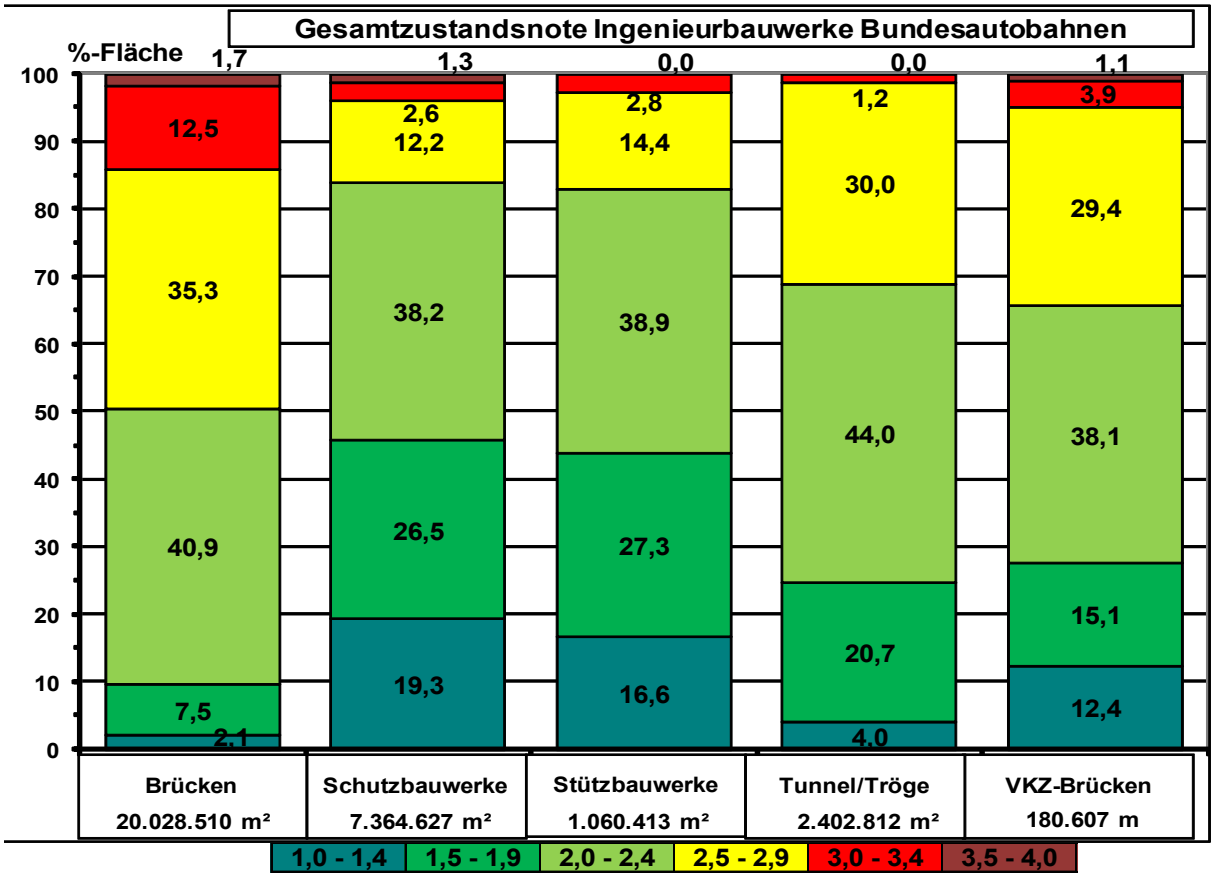


Abb. 4.25: Verteilungen der Gesamtzustandsnoten für die Ingenieurbauwerke (Teilbauwerke) der Bundesautobahnen (Ohne ÖPP, Stand Ende 30.04.2016)

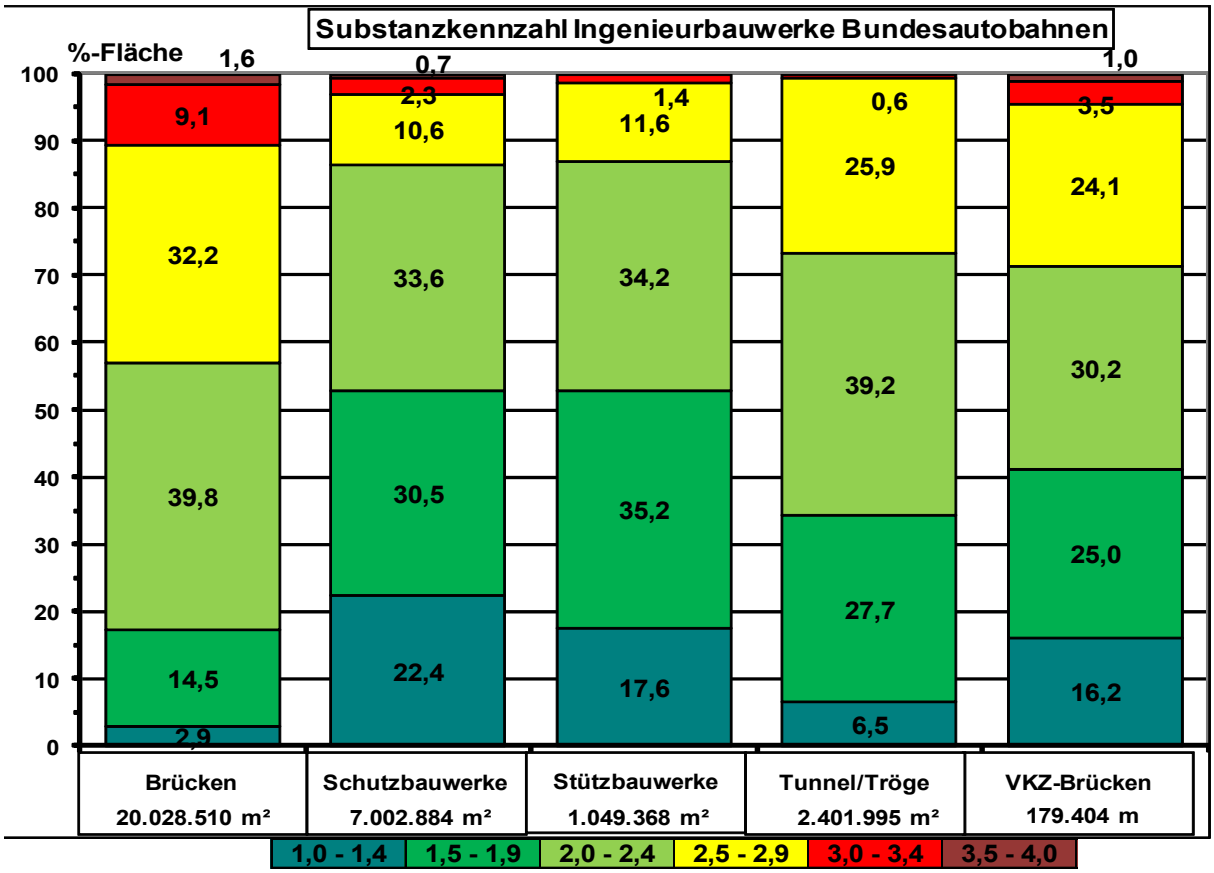


Abb. 4.26: Verteilungen der Gesamt-Substanzkennzahlen für die Ingenieurbauwerke (Teilbauwerke) der Bundesautobahnen (ohne ÖPP, Stand 30.04.2016)

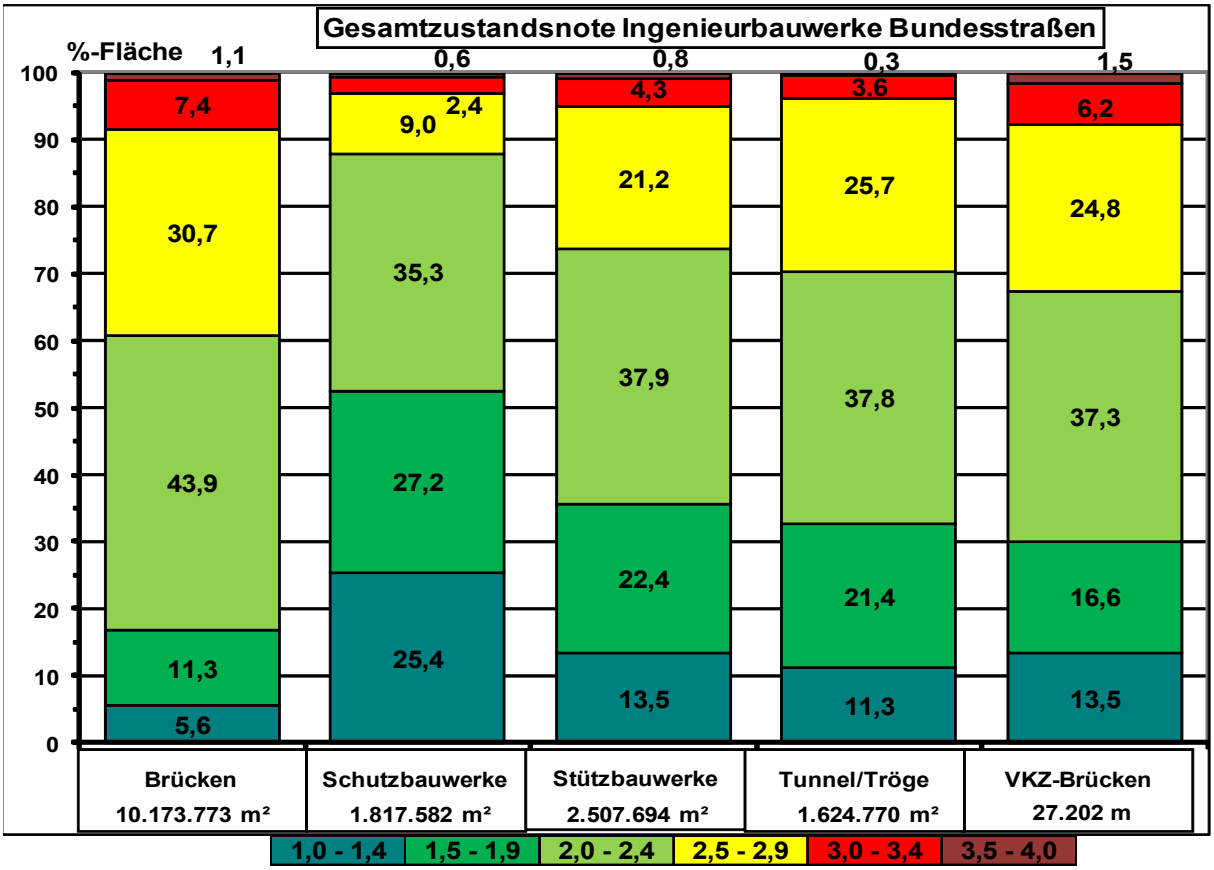


Abb. 4.27: Verteilungen der Gesamtzustandsnoten für die Ingenieurbauwerke (Teilbauwerke) der Bundesstraßen (Stand Ende 30.04.2016)

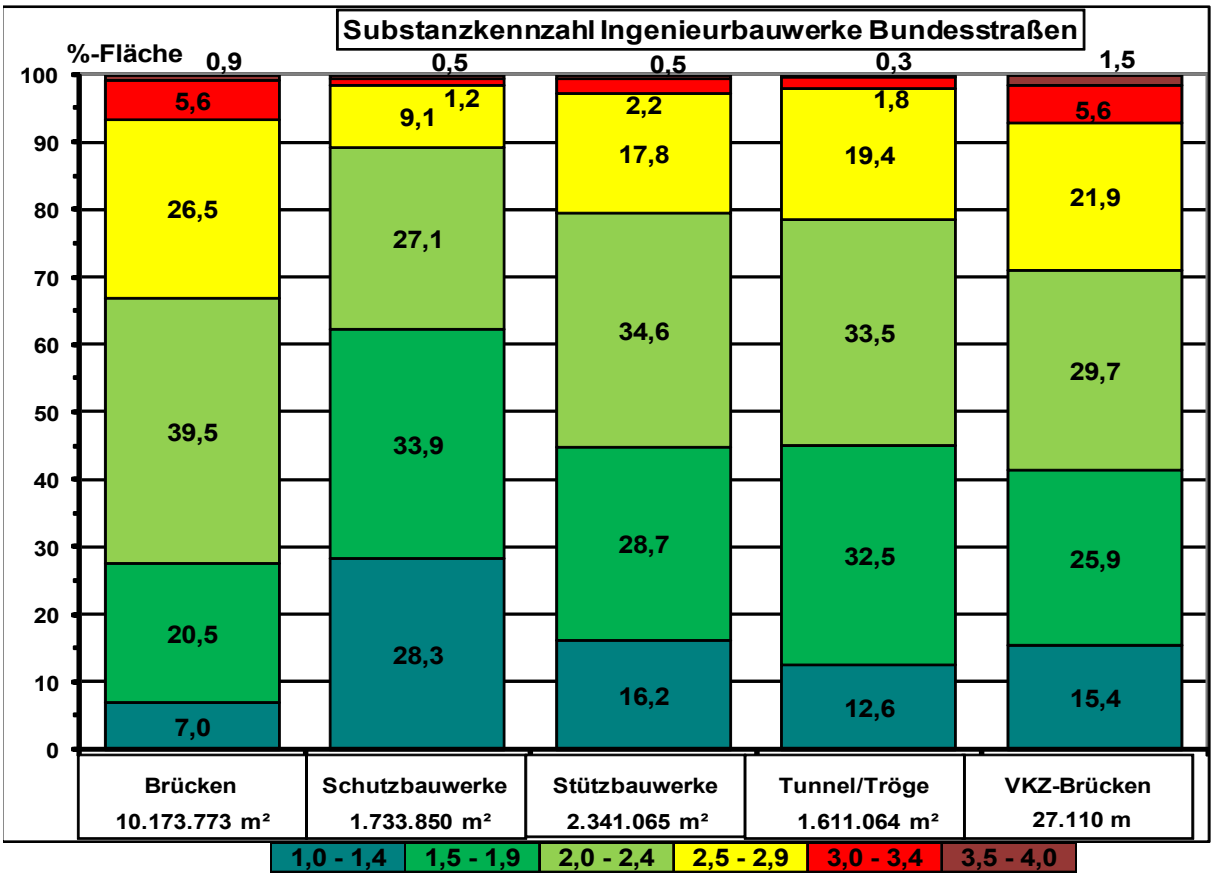


Abb. 4.28: Verteilungen der Gesamt-Substanzkennzahlen für die Ingenieurbauwerke (Teilbauwerke) der Bundesstraßen (Stand 30.04.2016)

Bei den restlichen Ingenieurbauwerken sind die Anteile mit ungenügendem Zustand und auch die Anteile im nicht ausreichenden Zustandsbereich vergleichsweise gering. Vor allem bei den Verkehrszeichenbrücken und bei den Tunnel-/Trogbauwerken entfallen größere Anteile auf den noch ausreichenden Zustandsbereich (2,5 bis 2,9).

Die Zustandsverteilungen der Ingenieurbauwerke für die einzelnen Bundesländer sind entsprechend Abb. 4.25 bis Abb. 4.28 in **ANHANG 1** dargestellt.

Vom BMVBI wurden Brücken mit Tragfähigkeitsdefiziten oder anderen konstruktiven Defiziten ermittelt und in ein Programm zur Brückenertüchtigung überführt, das noch nicht vollständig ist (derzeit 1.461 Teilbauwerke der Bundesautobahnen und 812 Teilbauwerke der Bundesstraßen ermittelt). Diese überwiegend großflächigen Ertüchtigungs-Brücken sind in einer Datei der BASt zusammengestellt, die bei der Datendokumentation in **ANHANG 1** näher bezeichnet wird.

Abb. 4.29 zeigt die Zustandsverteilungen der zur Ertüchtigung anstehenden und der restlichen Brücken der Bundesautobahnen (ohne ÖPP, Stand 30.04.2016); Abb. 4.30 enthält die entsprechende Darstellung für die Bundesstraßen. Es zeigt sich ganz eindeutig, dass die zur Ertüchtigung anstehenden Brücken sowohl bei den Bundesautobahnen als auch bei den Bundesstraßen deutliche größere Anteile mit noch ausreichenden (2,5 bis 2,9) und nicht ausreichenden (3,0 bis 3,4) Substanzkennzahlen haben, d. h. mehrheitlich einen deutlich schlechteren Zustand aufweisen, als die restlichen Brücken.

Die zur Ertüchtigung anstehenden Brücken werden bei der Ermittlung des Erhaltungsbedarfs zur Instandsetzung und Erneuerung nicht berücksichtigt. Da nur bekannt ist, dass diese Bauwerke im Zeitraum von 2016 bis 2030 ertüchtigt werden sollen, eine genauere Angabe zum Ertüchtigungsjahr aber nicht verfügbar ist, kann auch nicht geprüft, ob bis zur Ertüchtigung noch Maßnahmen an Bauteilen bzw. Bauteilgruppen erforderlich sind (s. dazu Kap-5.5.2.1). Insgesamt wird davon ausgegangen, dass die Brücken nach der Ertüchtigung einen sehr guten oder guten Zustand aufweisen, der sich bis zum Ende des Prognosezeitraums nicht wesentlich verschlechtert.

Bei der Ermittlung des Erhaltungsbedarfs werden die restlichen, nicht zur Ertüchtigung anstehenden Brücken betrachtet. Abb. 4.29 und Abb. 4.30 veranschaulichen die Ausgangsverteilungen im Zustand dieser Bauwerke. Die Ausgangsverteilungen der restlichen Ingenieurbauwerke sind in Abb. 4.26 bzw. Abb. 4.28 veranschaulicht.

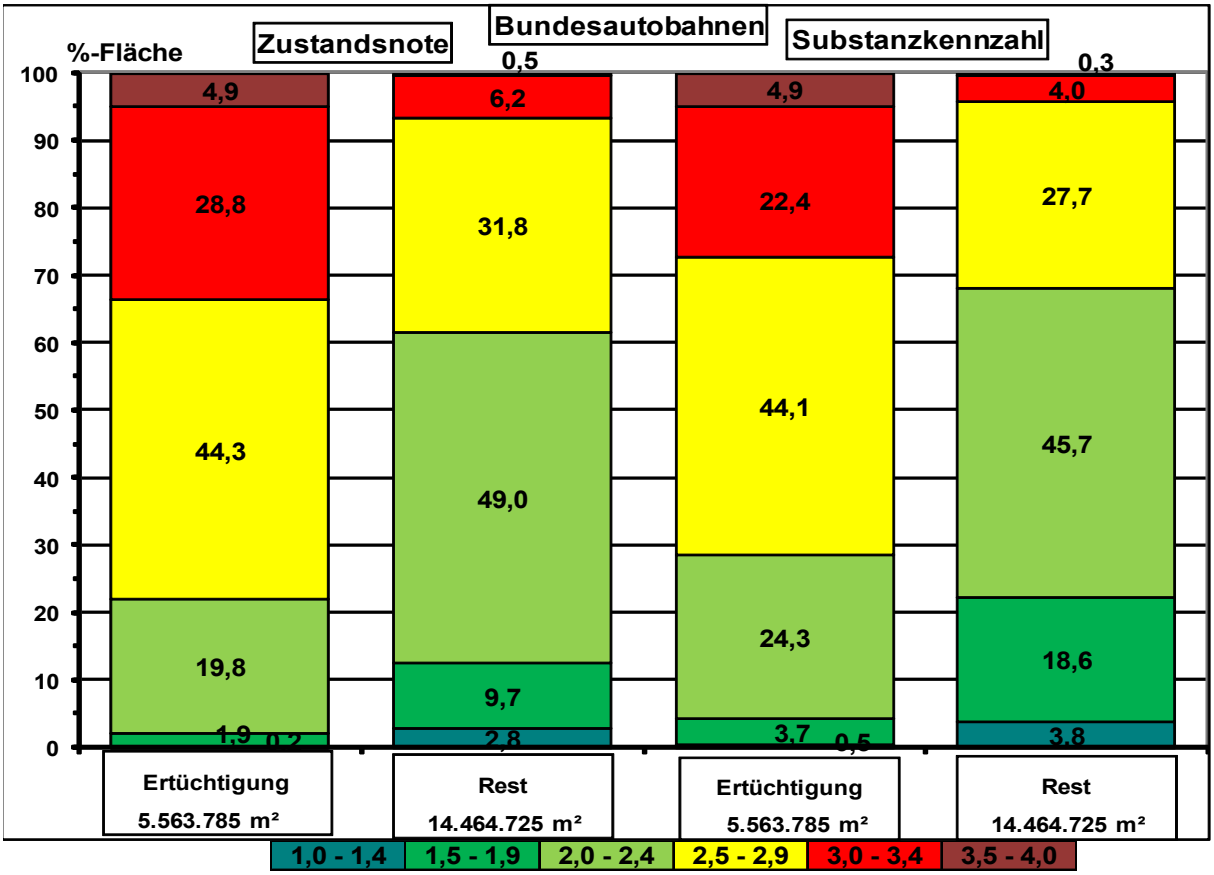


Abb. 4.29: Zustandsverteilungen der zur Ertüchtigung anstehenden und der restlichen Brücken der Bundesautobahnen (ohne ÖPP, Stand 30.04.2016)

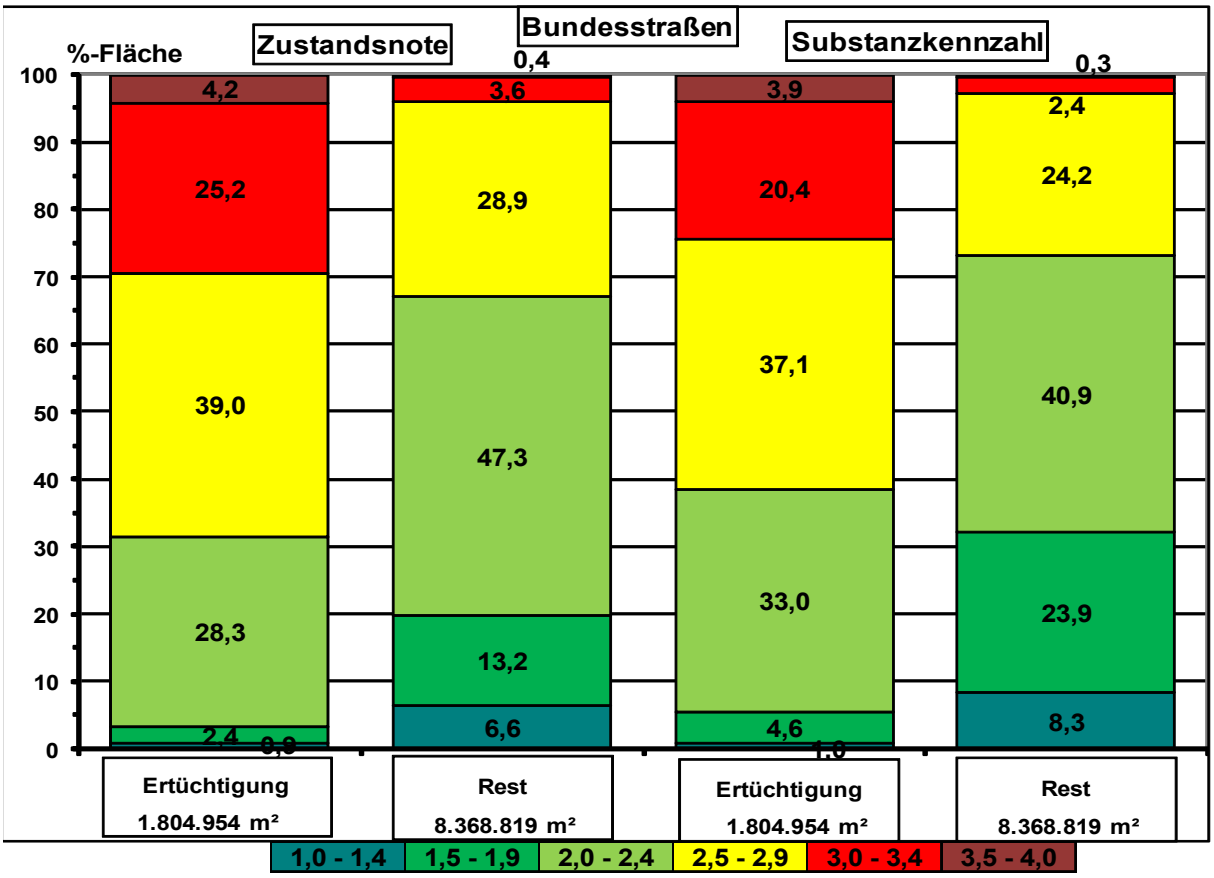


Abb. 4.30: Zustandsverteilungen der zur Ertüchtigung anstehenden und der restlichen Brücken der Bundesstraßen (Stand 30.04.2016

4.3 Sonstige Anlagenteile und Nebenanlagen

Der Erhaltungsbedarf der sonstigen Anlagenteile von Straßen wurde in der Vergangenheit mit Pauschalsätzen (z. B. Euro pro km) ermittelt, die aus bereits vor 2000 durchgeführten stichprobenhaften Umfragen bei Straßenbauverwaltungen stammen und mit Preisindizes auf den jeweiligen Stand hochgerechnet wurden. Dabei wurde nur grob zwischen den in der ersten Spalte von Abb. 4.31 aufgeführten Anlagenaggregaten unterschieden.

Aufgrund einer 2011 vergebenen Untersuchung zu den „Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagenteile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements“ (*Zander, Birbaum, Schmidt 2015*) und eigenen Beratungsleistungen im Rahmen aller bisher vergebenen ÖPP-Projekten der Bundesautobahnen liegen differenzierte Informationen zu Nutzungszeiten und spezifischen Erhaltungskosten der sonstigen Anlagenteile vor. Wenn entsprechende Mengenangaben verfügbar sind, kann nach den Anlagenteilen gemäß der zweiten Spalte aus Abb. 4.31 unterschieden werden.

Bei einer auf der Grundlage der Anlagenbestände und der Ergebnisse zu den Nutzungszeiten und den Maßnahmekosten vorgenommenen anlagenspezifischen Bedarfsabschätzung sind einschränkend die folgenden Randbedingungen zu beachten:

- Bei den sonstigen Anlagenteilen ist die Abgrenzung zwischen den Bereichen Erhaltung und Betrieb schwieriger als bei den Fahrbahnen. Für den Bereich Erhaltung sind derzeit noch keine eindeutigen Maßnahmearten definiert. In der Regel ist davon auszugehen, dass die jeweiligen Anlagenteile ersetzt werden (= Erneuerung); bei einigen Anlagenteilen ist jedoch auch eine Teilerneuerung bzw. Instandsetzung möglich (z. B. der Austausch der Signalgeber und Signalsteuergeräte bei Lichtsignalanlagen). Die im Rahmen des FE 04.0214 ermittelten Maßnahmekosten sind vor diesem Hintergrund zu bewerten.
- Zu den Nutzungszeiten der einzelnen Anlagenteile liegen noch nicht einmal grobe Erfahrungswerte für die Abgangsverteilungen vor (z. B. Normalverteilung, logistische Verteilung o. ä.). Derzeit wird daher angenommen, dass eine Gleichverteilung zugrundegelegt werden kann. Bei der Bedarfsabschätzung muss darüber hinaus davon ausgegangen werden, dass auch die Altersstruktur der Anlagenteile gleich verteilt ist, also die Anlagenteile auch in der Vergangenheit in den angenommenen Nutzungszeitintervallen erhalten wurden.

Der Erhaltungsbedarf der in der o.g. Untersuchung (*Zander, Birbaum, Schmidt 2015*) nicht berücksichtigten Erdkörper muss weiterhin mit vorliegenden pauschalen streckenbezogenen Kostensätzen (z. B. Euro pro km und Jahr) abgeschätzt werden.

Für den Finanzbedarf der Nebenanlagen, d. h. insbesondere der Hochbauten, wurde die Finanzplanung von BMVI-StB 25 angesetzt, Als erhaltungsrelevant wurde die Position „Hochbauten bis 2 Mio. Euro“ aus den Titeln 711 12/22 des Bundesfernstraßenhaushalts angenommen.

Anlagenaggregate	Anlagenteile	Einheit
Erdkörper	Böschungen	m
	Dämme	m
	Hinterfüllungsbereiche der Bauwerke	m³
	Unterbau (Planum)	m²
Entwässerungs-einrichtungen	Gräben (befestigt, unbefestigt)	m
	Mulden (befestigt, unbefestigt)	m
	Rinnen (offen, geschlossen)	m
	Rohrleitungen	m
	Schächte/Abläufe	St
	Rohrdurchlässe, Düker	m
	Kaskaden, Rigolen	m
	Rückhaltebecken/Abscheider/Absetz-/Sickerbecken	St
	Sonstige Entwässerungsanlagen	St
Schutzeinrichtungen	Einfache Schutzplanken ESB	m
	Doppelte Schutzplanken DSB	m
	Einfache Distanzschutzplanken EDSB	m
	Doppelte Distanzschutzplanken DDSB	m
	Super-Rail Schutzplanken	m
	Ortbeton (H2) Schutzplanken	m
	Ortbeton (H4b) Schutzplanken	m
Leiteinrichtungen	Leitpfosten	St
	Stationierungszeichen/Kilometrierungszeichen	St
	Gefahr/Schnee-/Amphibienzeichen	St
	Blendschutz	m
	(Wildschutz-) Zäune	m
	Verkehrszeichen > 1 m²	St
	Verkehrszeichen < 1 m²	St
	Markierungen	m
Elektronische Einrichtungen	Lichtsignalanlagen-Normalmast	St
	Verkehrsdetektoren, Zählgeräte	St
	Wetterstationen	St
	Nebelwarnanlagen	St
	Verkehrsbeeinflussungsanlagen	St
	Schaltkästen	St
	Notrufsäulen	St
	Telekommunikations-Anlagen	St
Ausstattung Zubehör	Streugutbehälter	St
	Abfallbehälter	St
	Bänke	St
	Tische	St
	Beleuchtung	St
	Einfriedungen, Geländer	m
Grünflächen	Grasflächen intensiv	m²
	Grasflächen extensiv	m²
	Gehölzfläche	m²
	Einzelbäume	St
Verkehrsflächen	Bankette (Fahrbahn, Radweg)	m
	Mittel-/Trennstreifen (befestigt)	m
	Verkehrsfläche Buchten	m²
	Stell-/Fahrbahnfläche Parkplätze	m²
	Verkehrsinseln/Querungshilfen	St
	Gehwegflächen (mit Treppen)	m²
	Begehbare befestigte Flächen	m²
	Hoch-/Tief-/Schrägborde	m

Abb. 4.31: Aufgliederung der sonstigen Anlagenteile für die Bedarfsprognose
(nach *BMVBS 2009***)**

5 ERHALTUNGSBEDARF DER FERNSTRASSENINFRASTRUKTUR

Ausgehend vom in Kap. 4 zusammenfassend und in **ANHANG 1** differenziert dokumentierten Bestand und Zustand der Anlagenaggregate der Fernstraßeninfrastruktur sollte der Finanzbedarf für ihre Erhaltung mit Hilfe der in der **ANLAGE** beschriebenen Modellverfahren ermittelt werden. Bei diesen Analysen und Berechnungen sollte nach Finanzvorgaben für die fünf Jahre von 2016 bis 2020 der längerfristige Trend des Erhaltungsbedarfs von 2021 bis 2030 abgeschätzt werden, wenn definierte, nachfolgend noch näher erläuterte Zielvorgaben eingehalten werden sollen. Zielvorgaben für Pognoseszenarien zur Ermittlung des Erhaltungsbedarfs können dabei nur für die Anlagenaggregate betrachtet werden, deren Zustand bekannt ist (Fahrbahnen und Ingenieurbauwerke).

5.1 Ablauf der Berechnungen

Bei der Ermittlung des Erhaltungsbedarfs wurden insgesamt 3 Rechenläufe durchgeführt. Mit dem 1. Rechenlauf, der im Zusammenhang mit dem BVWP 2030 bis Ende September 2015 durchzuführen und aufzubereiten war, wurde der Gesamtbedarf von 2016 bis 2030 auf Basis der Bestandsdaten mit Stand 01.01.2015 unter Beachtung der noch näher erläuterten Qualitätsziele abgeschätzt. Da zu diesem Zeitpunkt noch nicht alle Zustandsdaten der Fahrbahnen in korrekter Form vorlagen, musste für den 1. Rechenlauf noch das bis 2014 praktiziere Bewertungsverfahren der ZEB angewendet werden. Nachdem die Zustandsdaten der Fahrbahnen bis Ende 2015 in geeigneter Form vorlagen, wurde beim 2. Rechenlauf, der bis Ende Januar 2016 auf Basis der Bestandsdaten mit Stand 01.01.2015 abzuschließen war, die ab 2015 anzuwendende Zustandsbewertung zugrundegelegt. Unter Beibehaltung des im 1. Rechenlauf ermittelten Gesamtbedarfs wurde den Brücken für 2016 bis 2020 ein größerer Anteil am Finanzrahmen zugewiesen, um nach Abzug des Bedarfs für Ertüchtigungen mehr finanziellen Spielraum für die bauliche Erhaltung zu haben. Darüber hinaus wurde eine erste Feinabstimmung bezüglich der regionalen Anteile der 16 Bundesländer vorgenommen.

Die wichtigsten Vorgaben für die Rechenläufe 1 und 2 sind in Zwischenberichten kurz erläutert. Diese Zwischenberichte sind zusammen mit den ermittelten Werten des Erhaltungsbedarfs der Bundesautobahnen, Bundesstraßen und der Bundesfernstraßen insgesamt und länderweise in **ANHANG 2 – Ergebnisdokumentation** digital hinterlegt.

Für den 3. Rechenlauf bis Ende Juni 2016 wurde die Datengrundlage aktualisiert (30.04.2016). Für 2016 bis 2020 wurden zudem Mittel von den Bundesstraßen zu den Bundesautobahnen umgeschichtet. Darüber hinaus standen die zuvor pauschal angesetzten Kosten der ÖPP-Projekte (s. o.) jahresscharf zur Verfügung. Das Ergebnis des 3. Rechenlaufs ist maßgeblich für die sektorale und regionale Aufteilung des Erhaltungsbedarfs.

Bei den Läufen 2 und 3 handelt es sich aufgrund des festen Finanzrahmens für 2016 bis 2020 und des beibehaltenen Gesamtbedarfs für die 15 Jahre von 2016 bis 2030 um Finanzszenarien. Von Interesse dabei ist, inwieweit die Zielvorgaben im Zustand erreicht werden und welche Erhaltungsstrategie dafür erforderlich ist.

Nachfolgend werden nur die Ergebnisse des 3. Laufs zusammenfassend dargestellt. Dazu werden zunächst die Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 vorgestellt und den Straßenkategorien bzw. Anlagenaggregaten zugeordnet (Kap. 5.2). Ergänzend dazu sind einige Abgrenzungen mit den Bereichen Um-/Ausbau und Erweiterung (s. dazu Abb. 2.2) erforderlich. Anschließend werden die Ergebnisse der Bedarfsermittlung für die Fahrbahnen (Kap. 5.3), die Brücken und restlichen Ingenieurbauwerke (Kap. 5.4) sowie die sonstigen Anlagenteile und Nebenanlagen (Kap. 5.5) dargestellt. Eine Zusammenfassung der Bedarfswerte für alle Straßen- und Maßnahmekategorien sowie Anlagenaggregate findet sich in Kap. 6.

5.2 Finanzmittelvorgaben der Jahre 2016 bis 2020

Abb. 5.1 veranschaulicht die Aufteilung der für die Jahre 2016 bis 2020 verfügbaren Erhaltungsmittel auf die Straßenkategorien und die Anlagenaggregate. Die angesetzten Gesamtmittel der Jahre 2016 bis 2020 entsprechen einer Vorgabe des BMVI zur Finanzplanung–Erhaltung (s. dazu Kap. 5.3). Von den Gesamtmitteln gemäß Haushaltsplanung sind zunächst die vom Auftraggeber übermittelten jährlichen Beträge für die 7 bisher vergebenen ÖPP-Projekte, die auch aus dem der Bedarfsrechnung zugrunde liegenden Bestand entfernt wurden (s. Kap. 4), abzuziehen. Nach einer Vorgabe des Auftraggebers sollten diese ÖPP-Anteile vor einer Aufteilung nach Bundesautobahnen und Bundesstraßen abgezogen werden. Aus der Differenz ergeben sich die Ausgangswerte für die weitere Aufteilung. Die zunächst erforderliche Aufteilung der Ausgangswerte auf die Bundesautobahnen und die Bundesstraßen wurde für den 1. Rechenlauf nach den getätigten Erhaltungsaufwendungen 2011 bis 2014 und anschließend schrittweise nach Sichtung der Ergebnisse der Rechenläufe 1 und 2 vollzogen.

Das Endziel der nachfolgenden Aufteilungen besteht darin, getrennt für die Bundesautobahnen und die Bundesstraßen die Vorgabewerte von 2016 bis 2020 für die Anlagenaggregate zu finden, die aufgrund vorhandener Zustandsdaten für eine Szenarienrechnung geeignet sind. Das gilt für die Instandsetzung und Erneuerung der (durchgehenden) Fahrbahnen und der Ingenieurbauwerke. Um zu Ausgangsbeträgen für die Fahrbahnen und der Ingenieurbauwerke zu gelangen, müssen die jeweiligen jährlichen Gesamtmittel der Bundesautobahnen bzw. der Bundesstraßen für 2016 bis 2020 zunächst um die Bedarfswerte für die Sonstigen Anlagenteile und die Nebenanlagen verringert werden. Die danach verbleibenden Finanzmittel müssen auf die Fahrbahnen und Ingenieurbauwerke aufgeteilt werden. Die zunächst nach den getätigten Erhaltungsaufwendungen 2011 bis 2014 vollzogene Aufteilung wurde ebenfalls nach Ergebnisauswertungen der Rechenläufe 1 und 2 angepasst (s. Abb. 5.1).

Um zu den Vorgabebeträgen für die Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen zu gelangen, müssen von den Gesamtwerten der Fahrbahnen die Teilbeträge für die bauliche Unterhaltung der durchgehenden Fahrbahnen und Äste, für die Instandsetzung bzw. Erneuerung der Äste sowie für Sonderaufwendungen („AKR“, nur Autobahnen, s. Kap. 5.4.3) abgezogen werden. Bei den Ingenieurbauwerken werden von den jährlichen Gesamtbeträgen zunächst die berechneten Bedarfswerte der restlichen Ingenieurbauwerke abgezogen. Von den verbleibenden Finanzmitteln für die Brücken müssen schließlich noch die Beträge für die Brückenertüchtigung subtrahiert werden, um die Mittelvorgaben für die Instandsetzung und Erneuerung der Brücken zu erhalten.

Die Beschreibung der Aufteilungssystematik gemäß Abb. 5.1 verdeutlicht, dass zunächst die Bedarfswerte für die nicht szenariofähigen Anlagenaggregate und Maßnahmekategorien ermittelt werden müssen, bevor die Finanzvorgaben für die Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen und der Brücken quantifiziert werden können.

Mio. Euro (Kostenstand 1.1.2015)	2016	2017	2018	2019	2020	Summe
Finanzplanung BMVI - Erhaltung	3.600,0	3.900,0	4.300,0	4.400,0	4.500,0	20.700,0
- (vergebene) ÖPP-Projekte	159,2	102,6	173,7	112,0	114,9	662,4
Ausgangswerte	3.440,8	3.797,4	4.126,3	4.288,0	4.385,1	20.037,6
Bundesautobahnen	2.167,7	2.392,4	2.599,6	2.701,5	2.762,6	12.623,7
Bundesstraßen	1.273,1	1.405,0	1.526,7	1.586,6	1.622,5	7.413,9
Bundesautobahnen	2.167,7	2.392,4	2.599,6	2.701,5	2.762,6	12.623,7
- Sonstige Anlagenteile	192,0	208,0	229,4	234,7	240,0	1.104,2
- Nebenanlagen (Hochbauten)	19,3	20,9	23,1	23,6	24,2	111,1
Bundesautobahnen Fahrbahnen+ Ingenieurbauwerke	1.956,3	2.163,4	2.347,1	2.443,1	2.498,4	11.408,4
Bundesautobahnen Fahrbahnen	1.173,8	1.298,0	1.408,3	1.465,9	1.499,0	6.845,1
Bundesautobahnen Ingenieurbauwerke	782,5	865,4	938,9	977,3	999,4	4.563,4
Bundesautobahnen Fahrbahnen	1.173,8	1.298,0	1.408,3	1.465,9	1.499,0	6.845,1
- U durchgehende Fahrbahnen	140,8	152,5	168,1	172,0	175,9	809,4
- U Äste/Betriebsflächen	24,3	26,3	29,0	29,7	30,3	139,6
- I/E Äste	21,7	24,5	28,2	29,9	31,8	136,0
- Sonderaufwendungen (AKR)	56,4	56,4	61,8	61,8	47,3	283,6
I/E Bundesautobahnen Fahrbahnen	930,7	1.038,3	1.121,2	1.172,5	1.213,7	5.476,5
Bundesautobahnen Ingenieurbauwerke	782,5	865,4	938,9	977,3	999,4	4.563,4
- I/E Restliche Ingenieurbauwerke	55,6	60,4	66,7	68,3	69,9	320,9
Bundesautobahnen Brücken-Gesamt	727,0	805,0	872,1	908,9	929,4	4.242,4
- Ertüchtigung Brücken	361,0	407,2	486,4	499,6	512,8	2.267,0
I/E Bundesautobahnen Brücken	366,0	397,8	385,7	409,3	416,6	1.975,4
Bundesstraßen	1.273,1	1.405,0	1.526,7	1.586,6	1.622,5	7.413,9
- Sonstige Anlagenteile	136,2	147,6	162,7	166,5	170,3	783,3
- Nebenanlagen (Hochbauten)	13,7	14,8	16,3	16,7	17,1	78,7
- Radwege	9,6	10,4	11,5	11,8	12,0	55,4
Bundesstraßen Fahrbahnen+ Ingenieurbauwerke	1.113,5	1.232,2	1.336,2	1.391,6	1.423,1	6.496,6
Bundesstraßen Fahrbahnen	668,1	739,3	801,7	834,9	853,8	3.897,9
Bundesstraßen Ingenieurbauwerke	445,4	492,9	534,5	556,6	569,2	2.598,6
Bundesstraßen Fahrbahnen	668,1	739,3	801,7	834,9	853,8	3.897,9
- U durchgehende Fahrbahnen	74,4	80,6	88,9	91,0	93,0	427,9
- U Äste/Betriebsflächen	5,1	5,6	6,1	6,3	6,4	29,6
- I/E Äste	8,4	9,6	11,0	11,8	12,7	53,5
I/E Bundesstraßen Fahrbahnen	580,1	643,6	695,6	725,9	741,7	3.386,9
Bundesstraßen Ingenieurbauwerke	445,4	492,9	534,5	556,6	569,2	2.598,6
- I/E Restliche Ingenieurbauwerke	27,4	29,7	32,9	33,7	34,5	158,1
Bundesstraßen Brücken Gesamt	418,0	463,2	501,6	523,0	534,8	2.440,5
- Ertüchtigung Brücken	189,0	212,8	253,6	260,4	267,2	1.183,0
I/E + Bundesstraßen Brücken	229,0	250,4	248,0	262,6	267,6	1.257,5

Abb. 5.1: Aufteilung der Mittelvorgaben auf die Straßenkategorien, die Anlagenaggregate und die Maßnahmekategorien für Rechenlauf 3

5.3 Erhaltung und Erweiterung bzw. Um-/Ausbau

Die in Abb. 5.1 ausgewiesenen, vom BMV festgelegten Gesamtmittelvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 (erste Zeile) umfassen nicht nur Anteile aus den Haushaltstiteln für die Erhaltung, sondern auch Erhaltungsanteile aus den Titeln für Erweiterung und Um-/Ausbau. Erweiterungsmaßnahmen beinhalten i. A. den Anbau zusätzlicher Fahrstreifen zur nachhaltigen Erhöhung der Kapazität. Bei Erweiterungsmaßnahmen werden i. d. R. die vorhandenen Fahrbahnen und vielfach auch die vorhandenen Brücken erneuert. Um-/Ausbaumaßnahmen bezeichnen qualitätsverbessende Maßnahmen zur Modernisierung, die über die reine Bestandserhaltung hinausgehen, aber noch keine nachhaltige Kapazitätserweiterung bewirken. Diese Um- bzw. Ausbaumaßnahmen beziehen sich bei den Bundesautobahnen im Wesentlichen nur auf den Anbau von Seitenstreifen (Standstreifen), bei den Bundesstraßen aber auf Verbreiterungen, Anpassungen im Lage- und Höhenplan, Ausbau von Knoten, Umbau von Ortsdurchfahrten, Sicherungsmaßnahmen in Wasserschutzgebieten u. A. Die Ursachen für derartige Maßnahmen liegen nicht im baulichen Zustand, sondern in unzureichenden Querschnitten, zu engen Kurvenradien, mangelhaften Sichtweiten u. Ä. Auch bei Um-/Ausbaumaßnahmen wird meist der vorhandene Bestand instandgesetzt oder erneuert.

Anders als Erhaltungsmaßnahmen werden Erweiterungs- bzw. Um-/Ausbaumaßnahmen nicht primär zur Verbesserung des baulichen Zustands durchgeführt. Ein schlechter baulicher Zustand kann allerdings häufiger eine Priorisierung der Strecken bewirken, die zur Erweiterung oder zum Um- bzw. Ausbaumaßnahmen anstehen. So wurden z. B. im Rahmen dieser Untersuchung einer Liste mit Erweiterungsprojekten bei Bundesautobahnen Zustandsdaten der vorhandenen Fahrbahnen und Brücken zugewiesen. Bei Maßnahmen zur baulichen Erhaltung der Anlagenaggregate der Fernstraßeninfrastruktur geht es demgegenüber zunächst ausschließlich um Zustandsverbesserungen des Bestandes. Dabei werden jedoch auch häufiger ergänzende qualitätsverbessende Maßnahmen zur Modernisierung durchgeführt und aus dem Erhaltungstiteln finanziert.

Erweiterungsmaßnahmen oder Um-/Ausbaumaßnahmen könnten bei der Erhaltungsbedarfsprognose methodisch berücksichtigt werden, wenn Jahr und Art der geplanten Maßnahmen bekannt sind. Für Erweiterungsmaßnahmen oder Um-/Ausbaumaßnahmen sind diese Informationen allenfalls für einen begrenzten Zeithorizont vorhanden, für den gesamten Prognosezeitraum von 15 Jahren aber aufgrund von Unsicherheiten bei der Planung so gut wie nie verfügbar. Um-/Ausbaumaßnahmen könnten auch über Zielvorgaben einbezogen werden (z. B. „Verbreiterung aller Bundesstraßen mit B < 7 m auf eine Mindestbreite von B = 7,50 m bei einem DTV von x Kfz/Tag und einem Schwerverkehrsanteil von y %“ anlässlich der nächst anstehenden Erneuerung (s. z. B. *Hinsch, Krause, Maerschalk, Rübensam 2002*). Auch derartige Zielvorgaben liegen i. d. R. nicht vor.

Aufgrund der fehlenden Informationen bzw. Zielvorgaben wird der Erhaltungsbedarf autonom ermittelt, d. h. ohne Anteile für Erweiterung oder qualitätsverbessende Modernisierungen, aber für alle vorhandenen Anlagenaggregate auch der Strecken, die zur Erweiterung oder

zum Um-/Ausbau anstehen. Darauf zugeschnitten sind auch die Mittelvorgaben für die Jahre 2016 bis 2020 in Abb. 5.1 (s. o.). Auch bei den Berechnungen zum Erhaltungsbedarf der Jahre 2021 bis 2030 werden aufgrund der erläuterten Probleme keine Erhaltungsanteile aus Um-/Ausbaumaßnahmen oder Erweiterungsmaßnahmen ausgewiesen.

Für die Umsetzung des autonom ermittelten Erhaltungsbedarfs in den Fernstraßenhaushalt, bzw. umgekehrt, für Mittelvorgaben zur Erhaltung (s. Kap. 5.1), wurde Ende der 90-er-Jahre eine Untersuchung zum Titelsplitting durchgeführt (*Krause, Maerschalk 1998*). Abb. 5.2 veranschaulicht die zum damaligen Stand ermittelten Ergebnisse (Titelbezeichnungen wurden nicht angepasst).

	Bundesautobahnen		**Bundesstraßen**	
Fahrbahnbefestigungen	**Titel**	**Anteil (%)**	**Titel**	**Anteil (%)**
Erhaltung	741 33	90,5	741 43	81,0
Um- und Ausbau	741 35	0,5	741 45	12,5
Erweiterung	741 16	9,0		
Fernmelde- und sonstige Anlagen	742 11	0,0	742 21	0,0
Aufwendungen Eisenbahnkreuzungsgesetz			745 21	6,5
Summe Fahrbahn		100,0		100,0
Ingenieurbauwerke	**Titel**	**Anteil (%)**	**Titel**	**Anteil (%)**
Erhaltung	741 33	81,0	741 43	89,0
Um- und Ausbau	741 35	3,5	741 45	7,0
Erweiterung	741 16	15,5		
Fernmelde- und sonstige Anlagen	742 11	0,0	742 21	0,0
Aufwendungen Eisenbahnkreuzungsgesetz			745 21	4,0
Summe Ingenieurbauwerke		100,0		100,0
Sonstige Anlagenteile	**Titel**	**Anteil (%)**	**Titel**	**Anteil (%)**
Erhaltung	741 33	89,0	741 43	98,0
Um- und Ausbau	741 35	1,0	741 45	0,5
Erweiterung	741 16	0,0		
Fernmelde- und sonstige Anlagen	742 11	10,0	742 21	1,5
Aufwendungen Eisenbahnkreuzungsgesetz			745 21	0,0
Summe sonstige Anlagenteile		100,0		100,0

Abb. 5.2: Verteilung des Erhaltungsbedarfs auf die Titelgruppen des Bundesfernstraßenhaushalts für die Fahrbahnbefestigungen, die Ingenieurbauwerke und die sonstigen Anlagenteile der Bundesautobahnen und Bundesstraßen (*Krause, Maerschalk 1998***)**

5.4 Erhaltungsbedarf der Fahrbahnen und der Radwege

Der Finanzbedarf zur baulichen Erhaltung der Fahrbahnbefestigungen kann auf der Grundlage des aktuellen Bestands der Bundesfernstraßen (Kap. 4.1) und auf Basis der Maßnahmekosten zum Kostenstand 01.01.2015 (s. **ANHANG 1**) ermittelt werden. Die Ermittlungsmethode hängt zum einen von den Maßnahmekategorien, zum andern von der Verfügbarkeit von Zustandsdaten ab. Nachfolgend werden die Ergebnisse aufgezeigt zum Finanzbedarf für die

- bauliche Unterhaltung (Instandhaltung) aller Fahrbahnen (Kap. 5.4.1),
- Instandsetzung bzw. Erneuerung der Anschlussäste (Kap. 5.4.2),
- Instandsetzung bzw. Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen (Kap. 5.4.3),
- Instandsetzung bzw. Erneuerung der Radwege an Bundesstraßen (Kap. 5.4.4).

Finanz- oder Qualitätsszenarien können nur für die durchgehenden Fahrbahnen, betrachtet werden. Die restlichen Ermittlungsmethoden zielen auf die Erhaltung des Status-quo ab.

5.4.1 Finanzbedarf für die bauliche Unterhaltung der durchgehenden Fahrbahnen, der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen

Zur baulichen Unterhaltung (= Instandhaltung) gehören bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs zur Substanzerhaltung von Verkehrsflächen, die mit geringem Aufwand in der Regel sofort nach dem Auftreten eines örtlich begrenzten Schadens von Hand oder maschinell ausgeführt werden (z. B. Flickarbeiten, Verfüllen von Rissen). Diese meist spontan ausgeführten punktuellen Maßnahmen, die den Zustand i. A. nicht dauerhaft verbessern, lassen sich noch nicht in Planungsalgorithmen einbeziehen (*Maerschalk, Hinsch 2008*). Ihr Finanzbedarf muss daher größtenteils mit pauschalen Kostensätzen abgeschätzt werden, die aus Erhebungen von Straßenbauverwaltungen stammen. Mit der Anpassung an den Kostenstand 01.01.2015 können folgende Kostensätze angenommen werden:

- 0,37 Euro pro m² und Jahr für die durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken,
- 0,32 Euro pro m² und Jahr für die durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen mit Betondecken
- 0,32 Euro pro m² und Jahr für die Astfahrbahnen und Seitenstreifen der Bundesautobahnen,
- 0,32 Euro pro m² und Jahr für die durchgehenden Fahrbahnen der Bundesstraßen,
- 0,32 Euro pro m² und Jahr für alle Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen der Bundesstraßen.

Eine weitergehende Differenzierung ist durch die verfügbaren Daten zu Kostensätzen nicht abgedeckt (*Maerschalk, Hinsch 2008*).

Bei den Fahrbahnen mit Betondecken sind für zwei Maßnahmearten, die eine Zwischenstellung zwischen baulicher Unterhaltung und Instandsetzung einnehmen, differenziertere Bedarfsabschätzungen möglich:

- Die Fugenpflege bei Betondecken erfolgt im Regelfall in periodischen Zeitabständen. Als Mittelwert für diese Zeitabstände können 10 Jahre angenommen werden. Mit dem auf den Kostenstand 01.01.2015 hochgerechneten Kostensatz von 6,57 Euro pro m-Fugenlänge kann der erforderlich Finanzbedarf nach der Ermittlung der Gesamtlänge der Längs- und Querfugen unter Berücksichtigung der Einbaujahre der homogenen Abschnitte mit Betondecken relativ realistisch abgeschätzt werden.
- Bei Fahrbahnen mit älteren Betondecken werden häufiger einzelne Betonplatten lagemäßig stabilisiert oder im Bedarfsfall auch erneuert. Eine Vorhersage, welche Platte wann behandelt werden muss, ist nicht möglich. Für die Bedarfsprognose wird daher nach Erfahrungswerten angenommen, dass zwischen dem 16. Liegejahr und dem Erneuerungsjahr der Betondecke 15 % der Platten gehoben/ausgerichtet und/oder erneuert werden müssen. Da eine Verkehrssicherung erforderlich ist und i. d. R. schnell abbindender Beton verwendet wird, ergibt sich, hochgerechnet auf den Kostenstand 01.01.2015, ein relativ hoher Kostensatz von 374,73 Euro pro m². (60 % Heben/Ausrichten zu 123,57 Euro pro m², 40 % Ersatz zu 751,47 Euro pro m²).

In Abb. 5.3 sind die mit pauschalen Kostensätzen und spezifischen Ansätzen ermittelten Bedarfswerte für die bauliche Unterhaltung zusammengestellt, und zwar für die Bundesautobahnen, die Bundesstraßen und die Bundesfernstraßen insgesamt. Unterschieden ist dabei jeweils zwischen den Erhaltungskosten der durchgehenden Fahrbahnen und der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen. Zusätzlich zu den Bedarfswerten der einzelnen Jahre sind auch die Mittelwerte der drei Halbdekaden und das 15-Jahresmittel angegeben. Die Bedarfswerte für die bauliche Unterhaltung wurden nach der oben beschriebenen Methode zunächst in der Summe für die 15 Jahre von 2016 bis 2030 ermittelt und danach unter Berücksichtigung der Finanzmittelvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 (s. Abb. 5.1) zeitlich angepasst.

Die Bedarfswerte zur baulichen Unterhaltung für die einzelnen Bundesländer finden sich in **ANHANG 2**.

Wie in Kap. 4.1.2 erläutert, mussten für die Äste und Seitenstreifen die Bestände mit Stand 1.1.2015 angesetzt werden. Nach dem zwischenzeitlich vorliegenden Stand 1.1.2016 wären, grob gerechnet, bei den Ästen der Bundesautobahnen ca. 1,5 % höhere und bei den Ästen der Bundesstraßen ca. 1 % höhere Unterhaltungsaufwendungen zu veranschlagen (s. Abb. 4.5). Bei den Seitenstreifen ergäbe sich eine Reduzierung um gut 1 %. Da die daraus resultierenden Beträge vergleichsweise gering sind, wurden die Werte auf Basis der Bestände 2015 übernommen.

Bundesrepublik (Kostenstand 01.01.2015, inkl. 19 % MWSt.)
DFb = durchgehende Fahrbahnen
Ä/S/B = Äste, Seitenstreifen, Betriebsflächen

	Bundesautobahnen			Bundesstraßen			Bundesfernstraßen		
	DFb	Ä/S/B	Ges.	DFb	Ä/S/B	Ges.	DFb	Ä/S/B	Ges.
Jahr	Mio. Euro – Bauliche Unterhaltung								
2016	140,8	24,3	165,0	74,4	5,1	79,6	215,2	29,4	244,6
2017	152,5	26,3	178,8	80,6	5,6	86,2	233,1	31,9	265,0
2018	168,1	29,0	197,1	88,9	6,1	95,0	257,0	35,1	292,2
2019	172,0	29,7	201,7	91,0	6,3	97,2	263,0	36,0	299,0
2020	176,0	30,3	206,3	93,0	6,4	99,5	269,0	36,8	305,8
2021	214,1	35,9	250,0	104,9	5,9	110,7	318,9	41,8	360,7
2022	214,1	35,9	250,0	104,9	5,9	110,7	318,9	41,8	360,7
2023	214,1	35,9	250,0	104,9	5,9	110,7	318,9	41,8	360,7
2024	214,1	35,9	250,0	104,9	5,9	110,7	318,9	41,8	360,7
2025	214,1	35,9	250,0	104,9	5,9	110,7	318,9	41,8	360,7
2026	220,0	35,9	255,9	104,9	5,9	110,7	324,9	41,8	366,7
2027	220,0	35,9	255,9	104,9	5,9	110,7	324,9	41,8	366,7
2028	220,0	35,9	255,9	104,9	5,9	110,7	324,9	41,8	366,7
2029	220,0	35,9	255,9	104,9	5,9	110,7	324,9	41,8	366,7
2030	220,0	35,9	255,9	104,9	5,9	110,7	324,9	41,8	366,7
Summe	2.979,8	498,7	3.478,5	1.476,5	88,5	1.565,0	4.456,3	587,2	5.043,5
Jahre	Mio. Euro pro Jahr im 5- bzw. 15-Jahresmittel – Bauliche Unterhaltung								
2016-20	161,9	27,9	189,8	85,6	5,9	91,5	247,5	33,8	281,3
2021-25	214,1	35,9	250,0	104,9	5,9	110,7	318,9	41,8	360,7
2026-30	220,0	35,9	255,9	104,9	5,9	110,7	324,9	41,8	366,7
2016-30	198,7	33,2	231,9	98,4	5,9	104,3	297,1	39,1	336,2

Abb. 5.3: Finanzbedarf zur bauliche Unterhaltung der durchgehenden Fahrbahnen und der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen der Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen für die einzelnen Jahre von 2016 bis 2030, im 5-Jahresmittel für die drei Halbdekaden und im 15-Jahresmittel

5.4.2 Finanzbedarf zur Instandsetzung und Erneuerung der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen

Für die Anschlussäste der Bundesfernstraßen liegen derzeit nur für einzelne Bundesländer Zustandsdaten vor. Für die Seitenstreifen und Betriebsflächen sind keine Zustandsdaten verfügbar. Der Erhaltungsbedarf zu ihrer Instandsetzung bzw. Erneuerung wird daher mit dem altersbezogenen Strategiemodelverfahren ermittelt (s. **ANLAGE**). Da auch die Daten zur Ermittlung der jeweiligen Altersstrukturen (Einbaujahre der Schichten) für Anschlussäste, Seitenstreifen und Betriebsflächen nur lückenhaft bekannt sind, werden die Altersverteilungen der (oberen) Tragschichten der durchgehenden Fahrbahnen für die einzelnen Bundesländer herangezogen (s Kap. 4.2). Damit wird vereinfachend angenommen, dass die Anschlussäste, die Seitenstreifen und Betriebsflächen in etwa zeitgleich mit den durchgehenden Fahrbahnen hergestellt wurden.

Die Modellvorgaben zur Ermittlung des Erhaltungsbedarfs der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen beruhen im Wesentlichen auf Erfahrungswerten aus stichprobenartigen Länderumfragen im Zusammenhang mit früheren Bedarfsprognosen (*Hinsch, Krause, Maerschalk, Rübensam 2002*, *Hinsch, Krause, Maerschalk 2012*) sowie einer ersten Untersuchung für Astfahrbahnen auf Basis von Zustandsdaten (*Maerschalk, Oertelt 2014*). Danach werden folgende Annahmen zugrundegelegt:

- Als Maßnahmearten werden vereinfacht nur die Instandsetzungsmaßnahmearten „Dünnschichtbelag“ und „Ersatz der Deckschicht“ berücksichtigt; bei den Erneuerungsmaßnahmearten werden, abhängig von den Befestigungsdicken gemäß den Bauklassen der RStO (30 % BK III, 70 % BK IV), „Erneuerung der Decke“ und „Erneuerung der gebundenen Befestigung“ unterschieden. Nach der im Strategiemodell simulierten Maßnahmenverteilung (s. u.) ergeben sich mittlere Kostensätze, die für Instandsetzung bei 9,05 Euro/m² und für Erneuerung bei 20,09 Euro/m² liegen.
- Die Anteile der Maßnahmearten liegen im Mittel bei 67 % für Instandsetzung und 33 % für Erneuerung. Für die Simulationsrechnung ist eine Gleichverteilung in den Bereichen von 50 % bis 84 % für Instandsetzung und von 26 % bis 50 % für Erneuerung zugrundegelegt.
- Bei den Erhaltungsintervallen der Maßnahmekategorien sind als Erhaltungsintervalle logistische Verteilungen angenommen, die für Instandsetzung den Bereich von 7 bis 28 Jahren (Mittel 16 Jahre) und für Erneuerung den Bereich von 14 bis 45 Jahren (Mittel 27 Jahre) umfassen.

Abb. 5.4 veranschaulicht für diese Erhaltungsintervalle schematisch den prozentualen Anfall der Erhaltungsflächen für Instandsetzung und Erneuerung eines Bestandsjahrgangs in Abhängigkeit der Liegejahre (= Alter). Sofern für Liegejahre Erneuerungsanteile anfallen, werden die Instandsetzungsanteile entsprechend reduziert. Aufgrund von Folgemaßnahmen bleibt der Instandsetzungs-/Erneuerungsanteil nach einer längeren Liegezeit (in Abb. 5.4 nach ca. 35 Jahren) annähernd konstant.

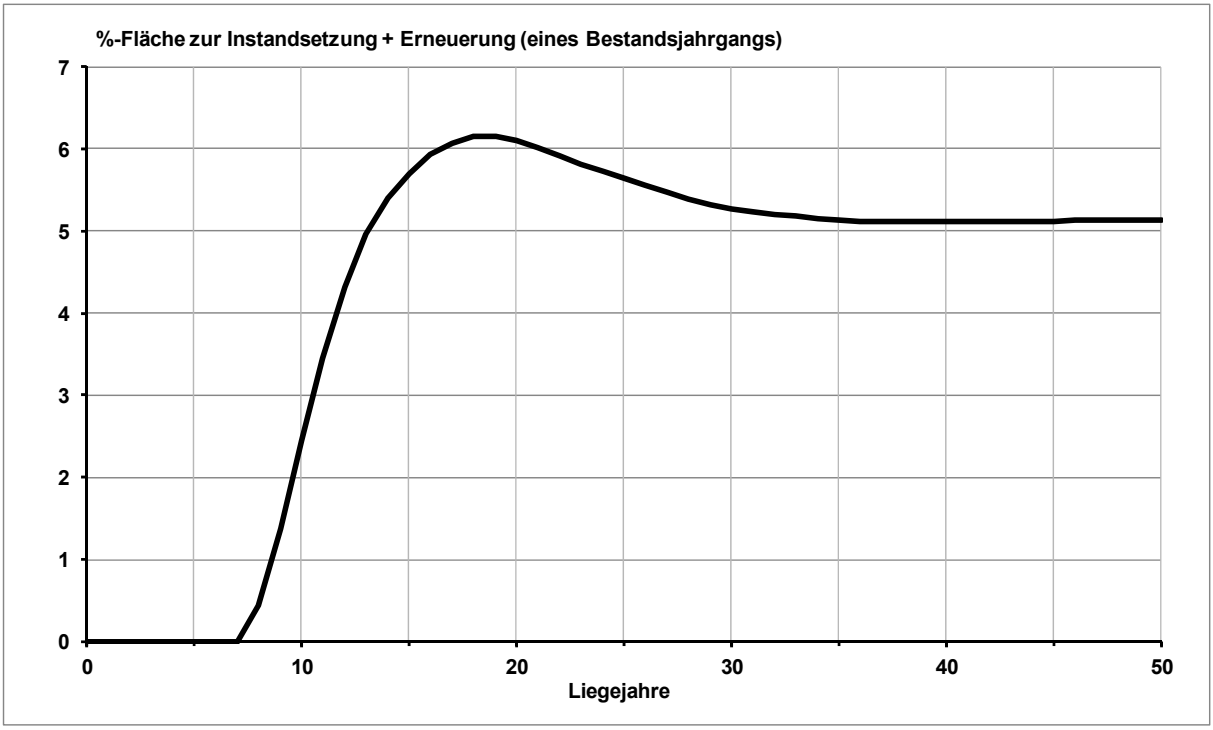


Abb. 5.4: Schemadarstellung des prozentualen Anfalls der Erhaltungsflächen für Instandsetzung und Erneuerung eines Bestandsjahrgangs in Abhängigkeit der Liegejahre (= Alter)

Da beim Strategiemodellverfahren Parameter berücksichtigt werden, die Erfahrungswerte der Vergangenheit abbilden, wird mit den Ergebnissen zum Erhaltungsbedarf im Wesentlichen die bisherige Entwicklung der berücksichtigten Verkehrsflächen fortgeschrieben. Da vor allem für die Äste kaum Zustandsdaten verfügbar sind, lässt sich schwer feststellen, in welche Richtung die Entwicklung geht. Aufgrund der getroffenen Annahmen zu Erneuerungen, die eine Verbesserung der Altersstruktur bewirken, kann insgesamt jedoch in etwa von einer Erhaltung des Status-quo ausgegangen werden.

Die ermittelten Bedarfswerte zur Instandsetzung und Erneuerung der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen sind, zusammen mit den entsprechenden Werten für die durchgehenden Fahrbahnen, in Abb. 5.6 dargestellt. Die Werte der einzelnen Bundesländer finden sich in **ANHANG 2**.

Auch für die Instandsetzung/Erneuerung der Äste und Seitenstreifen wurden die Bestände vom 1.1.2015 angesetzt. Der Zuwachs bis 1.1.2016 von ca. 1,5 % bei den Ästen der Bundesautobahnen und ca. 1 % bei den Ästen der Bundesstraßen erfordert, pauschal gerechnet, von 2016 bis 2030 ca. 11 Mio. Euro Mehraufwendungen für Instandsetzung/Erneuerung. Dieser im Bereich der Rechengenauigkeit liegende Betrag wurde vernachlässigt.

5.4.3 Finanzbedarf zur Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen

Für die durchgehenden Fahrbahnen der Bundesfernstraßen liegen flächendeckend Zustandsdaten aus der ZEB 2013/2014 (Bundesautobahnen) bzw. der ZEB 2011/2012 (Bundesstraßen) vor. Der Finanzbedarf zu ihrer Instandsetzung und Erneuerung kann unter Einbeziehung aller zum Stand 30.04.2016 verfügbaren Informationen zum Anlagenbestand, zur Altersstruktur und zur Verkehrsbelastung mit zustandsbezogenen Prognoseverfahren für verschiedene Szenarien ermittelt werden. Für diese Berechnungen kann das Pavement Management System (PMS) herangezogen werden (s. **ANLAGE**).

Bei den Bundesautobahnen mit Betondecken einiger Länder treten teilweise großflächig Alkali-Kieselsäure-Reaktionen („AKR“) auf. Zu diesen Ländern gehören nach derzeitigem Kenntnisstand Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Die durch AKR verursachten Schäden werden bei der ZEB nicht ausreichend erkannt. Daher sind für die Instandsetzung bzw. Erneuerung der betroffenen Strecken gesonderte Finanzansätze erforderlich (s. Vermerke in Verzeichnis „AKR“ in **ANLAGE**).

Aufgrund bereits vorliegender Erfahrungen wurden die betroffenen Länder gebeten, eine Abschätzung der Höhe dieser Sonderaufwendungen für AKR-Schäden vorzunehmen. Dies erfolgte in einer Ausarbeitung zur „Berücksichtigung von finanziellen Sonderaufwendungen zur Beseitigung von AKR-Schäden in Brandenburg für den Ansatz beim Rechenlauf zur Erhaltungsbedarfsprognose 2016-2030“ (Datei „Sonderaufwendungen Erneuerung AKR-Beton in Brandenburg MIL an BMVI 25 06 2015.pdf“, Verzeichnis „AKR“ in **ANLAGE**). Die restlichen Länder lieferten im verfügbaren Zeitrahmen keine entsprechenden Abschätzungen. Ausgehend von längenbezogenen Beträgen für Brandenburg wurden ihre Sonderaufwendungen für AKR-Schäden in einem Analogieschluss entsprechend der jeweiligen Längen der Richtungsfahrbahnen (Autobahnen mit Betondecken) ermittelt. Da die AKR-Problematik nach Angabe der Straßenbauverwaltung in Sachsen nicht so stark ausgeprägt ist wurde hier der halbe Satz berücksichtigt. Die angesetzten Jahresbeträge der Sonderaufwendungen für AKR-Schäden sind insgesamt in Abb. 5.6 und länderweise in der Ergebnisdokumentation in **ANHANG 2** aufgeführt.

Die Sondermittel zur Beseitigung von AKR-Schäden werden für Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen aufgewendet. Damit werden auch andere, bei der ZEB evtl. erfasste Schäden und Mängel beseitigt. Die Sondermittel werden daher bei den betroffenen Ländern als Teil des Finanzbedarfs für die Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen angesehen.

Die mit dem Auftraggeber abgestimmten allgemeinen Zielvorgaben für die Ermittlung des Finanzbedarfs für die Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen entsprechen auch Empfehlungen des Bundesrechnungshofs:

- Erzielung einer über die reine Erhaltung des Status-quo hinausgehenden Zustandsverbesserung sowie

- ein nachhaltig substanzorientiertes Erhaltungshandeln.

Ausgehend davon, dass in den ersten 5 Jahren des Prognosezeitraums von 2016 bis 2020 ein fester Finanzrahmen vorgegeben ist, kann diesen Zielvorgaben mit folgenden allgemeinen Randbedingungen Rechnung getragen werden:

- Reduzierung der Anteile mit Zustandswerten ab 4,5 (Schwellenwert, s. Kap. 2) vornehmlich für die nachfolgend aufgeführten substanzrelevanten Kenngrößen der Fahrbahnen der Bundesautobahnen und Bundesstraßen und Stabilisierung dieser reduzierten Anteile bis zum Ende des Prognosezeitraums 2030.

Abb. 5.5 veranschaulicht die Ausgangsverteilungen mit den Längenanteilen der Zustandsbereiche des Gebrauchswerts TWGEB, des Substanzwerts-Oberfläche TWSUB und des Substanzwerts-Bestand SUBBE für die homogenen Abschnitte der Bundesautobahnen und Bundesstraßen (s. auch Abb. 4.16 bis Abb. 4.18). Es wird deutlich:

- Beim Gebrauchswert TWGEB entfallen für die Bundesautobahnen äußerst geringe Anteile in den schlechten Zustandsbereich von 3,5 bis < 4,5 (2,9 %) und den sehr schlechten Zustandsbereich ab 4,5 (0,2 %). Für die Bundesstraßen sind diese Anteile etwas größer (12,9 % bzw. 1,0 %). Die deutlich größten Anteile ergeben sich für den guten Zustandsbereich (1,5 bis < 2,5, Autobahnen 76,5 %, Bundesstraßen 48,2 %). Weder die Befahrbarkeit noch die Verkehrssicherheit sind im Bundesfernstraßennetz nennenswert beeinträchtigt.
- Beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB ist die Ausgangssituation etwas ungünstiger. 5,3 % Fahrstreifen-km bei den Bundesautobahnen und 9,3 % Richtungsfahrbahn-km bei den Bundesstraßen sind dem sehr schlechten Zustandsbereich (ab 4,5) zuzuordnen weitere 9,9 % (Autobahnen) bzw. 21,3 % (Bundesstraßen) dem schlechten Bereich (3,5 bis < 4,5). Bei diesen homogenen Abschnitten im schlechten Bereich kann u. U. ein Winter mit mehreren Frost-/ Tauwechseln das Auftreten von Folgeschäden wie z. B. Ausbrüche („Schlaglöcher“) verursachen. Die Anteile in diesem Zustandsbereich sollten daher nicht belassen, sondern reduziert werden.
- Beim Substanzwert-Bestand SUBBE ergeben sich gegenüber dem Substanzwert-Oberfläche TWSUB noch höhere Anteile für den sehr schlechten Zustandsbereich ab 4,5 (Autobahnen 18,8 %, Bundesstraßen 18,0 %). Auch die Anteile im schlechten Bereich von 3,5 bis < 4,5 sind beträchtlich (Autobahnen 20,5 %, Bundesstraßen 22,7 %). Die betreffenden Abschnitte sind damit aufgrund des eingebauten Materials (Schichtarten), der Schichtdicken und/oder ihres Alters in einem Stadium, das bei der vorhandenen Verkehrsbeanspruchung Erneuerungsmaßnahmen erfordert, wenn gravierende und evtl. auch rasch eintretende Folgeschäden vermieden werden sollen.

Die Ausgangsverteilungen der einzelnen Bundesländer finden sich entsprechend Abb. 5.5 in **ANHANG 1**.

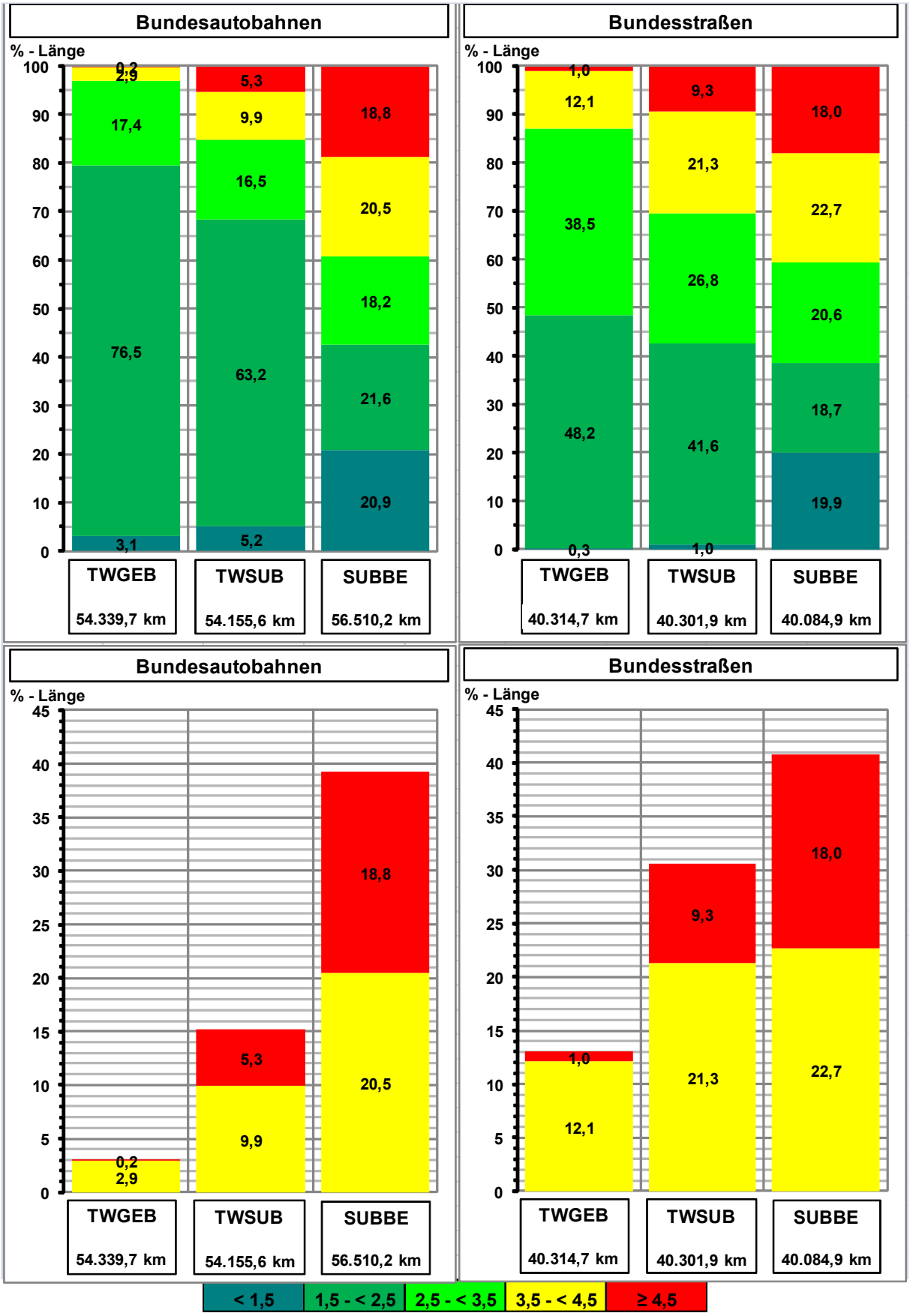


Abb. 5.5: Ausgangsverteilungen mit den Längenanteilen der Zustandsbereiche des Gebrauchswerts TWGEB, des Substanzwerts-Oberfläche TWSUB und des Substanzwerts-Bestand SUBBE für die homogenen Abschnitte der Bundesautobahnen und Bundesstraßen

Gemäß Abb. 5.5 bestehen momentan die größten Probleme beim Substanzwert-Bestand. Die Zielvorgabe für die Bedarfsermittlung kann daher wie folgt präzisiert werden:

- Reduzierung der Anteile ab dem Schwellenwert von 4,5 für den Substanzwert-Bestand SUBBE bei den Bundesautobahnen und bei den Bundesstraßen von ca. 19 % auf ca. 10 % im Bundesmittel bis zum Jahr 2030.

Diese Zielvorgabe entspricht in etwa einer Halbierung der Anteile von SUBBE innerhalb der 15 Jahre des Prognosezeitraums. Der Substanzwert-Bestand kann nur durch Erneuerungsmaßnahmen nachhaltig verbessert werden. Diese Erneuerungen verbessern gleichzeitig auch den Gebrauchswert TWGEB und den Substanzwert-Oberfläche TWSUB, so dass auch das Ziel einer Zustandsverbesserung der bei der ZEB erfassten Merkmale erreicht wird.

Wie aus der Darstellungen zur Altersstruktur erkennbar, wurden in den östlichen Ländern die Fahrbahnen größtenteils beginnend ab Anfang der 90-er Jahre erneuert, insbesondere bei den Bundesautobahnen (Abb. 4.6), aber auch bei den Bundesstraßen (Abb. 4.10). Die o. a. Zielvorgaben bezüglich des Substanzwerts-Bestand SUBBE werden deswegen bei den Ausgangsverteilungen deutlich unterschritten. Als ergänzende Zielvorgabe wird daher festgelegt, dass für die östlichen Länder der Substanzwert-Oberfläche TWSUB auf dem Niveau des Ausgangszustands gehalten werden soll, wobei die gemeldete und eingestellte Sonderaufwendungen zur Beseitigung von Schäden infolge von Alkali-Kieselsäure-Reaktionen (AKR) diese Zielerreichung unterstützen (s. o.).

Der Substanzwert-Bestand SUBBE beeinflusst im Modellablauf die Auswahl der Maßnahmeart (z. B. Erneuerung, s. o.), nicht aber den Eingreifzeitraum. Der Eingreifzeitraum wird ausschließlich durch den Zustandsverlauf zwischen den Warn- und Schwellenwerten der einzelnen Zustandsmerkmale der ZEB bestimmt (s. **ANLAGE**).

Abb. 5.6 zeigt die Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und den Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen bzw. Bundesfernstraßen bei den o. g. Zielvorgaben. Zusätzlich sind auch die entsprechenden Beträge für die Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen angegeben (s. Kap. 5.4.2). Bei den Bundesautobahnen sind die Sonderaufwendungen für AKR getrennt ausgewiesen. Der untere Teil von Abb. 5.6 zeigt die 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und die 15-Jahres-Mittelwerte.

Die entsprechenden Bedarfswerte für die durchgehenden Fahrbahnen und die Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen der einzelnen Bundesländer finden sich in **ANHANG 2**.

Abb. 5.7 veranschaulicht grafisch die zeitliche Entwicklung der Bedarfswerte der Bundesfernstraßen, der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen. Neben den Beträgen zur Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen und der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen sind auch die Sonderaufwendungen für AKR-Schäden und die Beträge für die bauliche Unterhaltung dargestellt. Die Darstellung zeigt, dass zwei Nebenziele

Bundesrepublik (Kostenstand 01.01.2015, inkl. 19 % MWSt.)
DFb = durchgehende Fahrbahnen
Ast = Äste, Seitenstreifen, Betriebsflächen

	Bundesautobahnen				Bundesstraßen			Bundesfernstraßen		
	DFb Sonst.	DFb AKR	Ast	Ges.	DFb	Ast	Ges.	DFb Alle	Ast	Ges.
Jahr	Mio. Euro – Instandsetzung/Erneuerung									
2016	930,5	56,4	21,7	1.008,6	580,1	8,4	588,5	1.566,9	30,1	1.597,0
2017	1.038,0	56,4	24,5	1.118,9	643,1	9,6	652,7	1.737,5	34,1	1.771,5
2018	1.120,1	61,8	28,2	1.210,1	695,1	11,0	706,2	1.877,0	39,2	1.916,2
2019	1.169,8	61,8	29,9	1.261,5	725,4	11,8	737,3	1.957,0	41,8	1.998,7
2020	1.217,4	47,3	31,8	1.296,4	741,5	12,7	754,1	2.006,1	44,4	2.050,6
2021	1.236,9	47,3	38,3	1.322,5	733,6	15,4	749,0	2.017,8	53,7	2.071,5
2022	1.214,5	47,3	39,6	1.301,3	728,9	16,0	744,9	1.990,6	55,6	2.046,2
2023	1.187,3	47,3	40,7	1.275,3	723,2	16,6	739,8	1.957,7	57,4	2.015,1
2024	1.172,4	41,9	41,7	1.256,0	720,5	17,3	737,8	1.934,8	59,0	1.993,7
2025	1.153,5	31,7	42,6	1.227,8	726,1	17,8	743,9	1.911,3	60,4	1.971,7
2026	1.136,6	31,7	43,3	1.211,6	726,3	18,3	744,6	1.894,6	61,6	1.956,2
2027	1.132,1	31,7	43,9	1.207,7	722,4	18,7	741,1	1.886,2	62,6	1.948,8
2028	1.131,0	31,7	44,4	1.207,1	710,8	19,0	729,9	1.873,6	63,4	1.937,0
2029	1.131,5	31,7	44,8	1.208,0	701,9	19,3	721,1	1.865,0	64,1	1.929,1
2030	1.130,5	31,7	45,2	1.207,4	684,2	19,5	703,7	1.846,4	64,6	1.911,1
Σ	17.102,0	657,5	560,5	18.319,9	10.563,2	231,3	10.794,6	28.322,7	791,8	29.114,5
Jahre	Mio. Euro pro Jahr im 5- und 15-Jahresmittel – Instandsetzung/Erneuerung									
2016-20	1.095,1	56,7	27,2	1.179,1	677,0	10,7	687,7	1.828,9	37,9	1.866,8
2021-25	1.192,9	43,1	40,6	1.276,6	726,5	16,6	743,1	1.962,4	57,2	2.019,6
2026-30	1.132,3	31,7	44,3	1.208,3	709,1	19,0	728,1	1.873,2	63,3	1.936,4
2016-30	1.140,1	43,8	37,4	1.221,3	704,2	15,4	719,6	1.888,2	52,8	1.941,0

Abb. 5.6: Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Instandsetzung und Erneuerung der durchgehenden Fahrbahnen und der Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen sowie 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und 15-Jahres-Mittelwert für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen

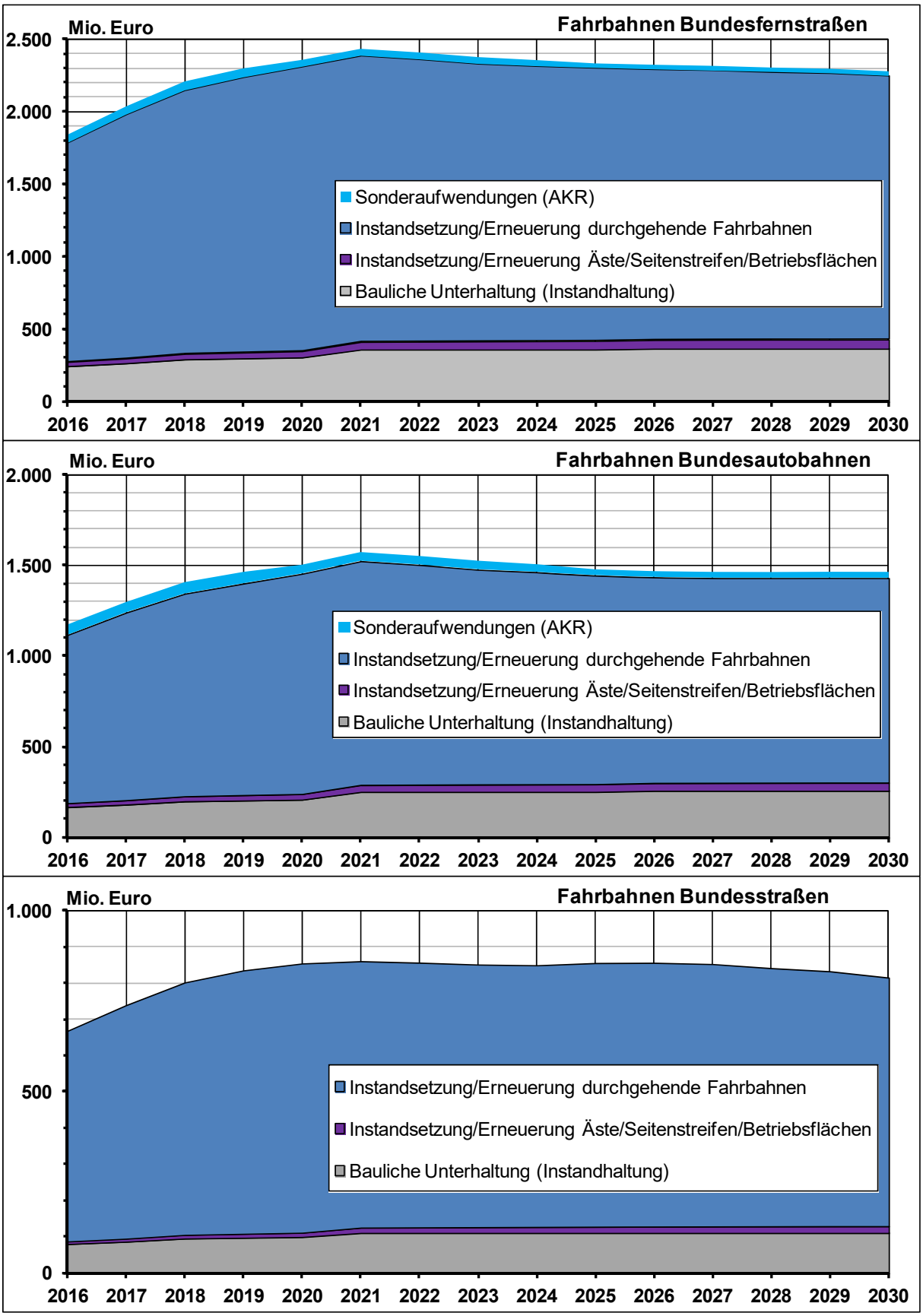


Abb. 5.7: Zeitlicher Verlauf der Finanzbedarfswerte für die Erhaltung der Fahrbahnen

- mit einer Vermeidung von in der Erhaltungspraxis schwer umsetzbaren Schwankungen in den Finanzbedarfswerten der einzelnen Prognosejahre und dem
- Versuch einer Konsolidierung der Finanzlinie zum Ende des Prognosezeitraums hin

beim abschließenden 3. Rechenlauf gut erreicht wurden.

Abb. 5.8 enthält die mittleren jährlichen Instandsetzungs-/Erneuerungsflächen und die Anteile der Maßnahmekategorien für die durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen im 5-Jahresmittel der Halbdekaden. Im Durchschnitt werden etwas unter 4 % der Autobahnfläche instandgesetzt oder erneuert (ca. 2.200 Fahrstreifen-km). Wie ersichtlich ist die Zielvorgabe hinsichtlich des Substanzwerts-Bestand nur erreichbar, wenn überwiegend Erneuerungsmaßnahmen vorgesehen werden. Vorwiegend aus Gründen der Verkehrssicherheit sind, insbesondere bei den Überholfahrstreifen, auch Instandsetzungen zweckmäßig.

Bundesautobahnen	2016 - 2020		2021 - 2025		2026 - 2030	
Erhaltungsstrategie Bezug: Fahrstreifenlängen	%-Länge pro Jahr	%-Anteil Maß-nahmen	%-Länge pro Jahr	%-Anteil Maß-nahmen	%-Länge pro Jahr	%-Anteil Maß-nahmen
I1-Instandsetz. - Oberfläche	0,00	0,09	0,00	0,06	0,00	0,00
I2-Instandsetz. - Deckschicht	0,57	15,78	0,53	13,86	0,44	11,38
I -Summe Instandsetzung	0,57	15,87	0,53	13,91	0,44	11,38
E1-Deckenerneuerung	0,66	18,42	1,14	29,82	1,74	45,38
E2-Grunderneuerung	2,36	65,70	2,15	56,26	1,65	43,24
E -Summe Erneuerung	3,02	84,13	3,29	86,09	3,39	88,62
Summe Gesamt	3,60	100,00	3,82	100,00	3,83	100,00

Abb. 5.8: Mittlere jährliche Instandsetzungs-/Erneuerungsflächen und Anteile der Maßnahmekategorien für die durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen

Die Maßnahmeanteile aus Abb. 5.8 vermitteln Hinweise zu einer generellen Erhaltungsstrategie, die für die Zielerreichung erforderlich ist. Die entsprechenden Anteile der einzelnen Bundesländer finden sich in **ANHANG 2**. Die zugrunde liegenden Einzelmaßnahmen sind den in **ANHANG 1** dokumentierten länderspezifischen Dateien mit den Bestands- und Zustandsdaten der ZEB-Auswerteabschnitte und der homogenen Abschnitte beigefügt. Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass es sich bei diesen Maßnahmen um das Ergebnis einer globalen Prognoserechnung handelt. Die Maßnahmen entsprechen weder lokal im Hinblick auf Bauloslängen noch, z. B. infolge fehlender Bündelungen von Fahrstreifen, in ihrer Ausrichtung einem Erhaltungsprogramm der Praxis. Es handelt sich um das Ergebnis eines ersten PMS-Laufes, das bei Erstellung eines praxisbezogenen Erhaltungsprogramms noch mehrfach überarbeitet werden muss.

Abb. 5.9 zeigt den Ausgangszustand (A) und eine Abschätzung der Zustandsentwicklung der durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen im Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 für den Gebrauchswert TWGEB, den Substanzwert-Oberfläche TWSUB und den Substanzwert-Bestand SUBBE. Die Entwicklung des SUBBE, der nur die Zielerreichung dokumentiert, aber keine Maßnahmen auslöst (s. o.), ist dabei gesondert gekennzeichnet.

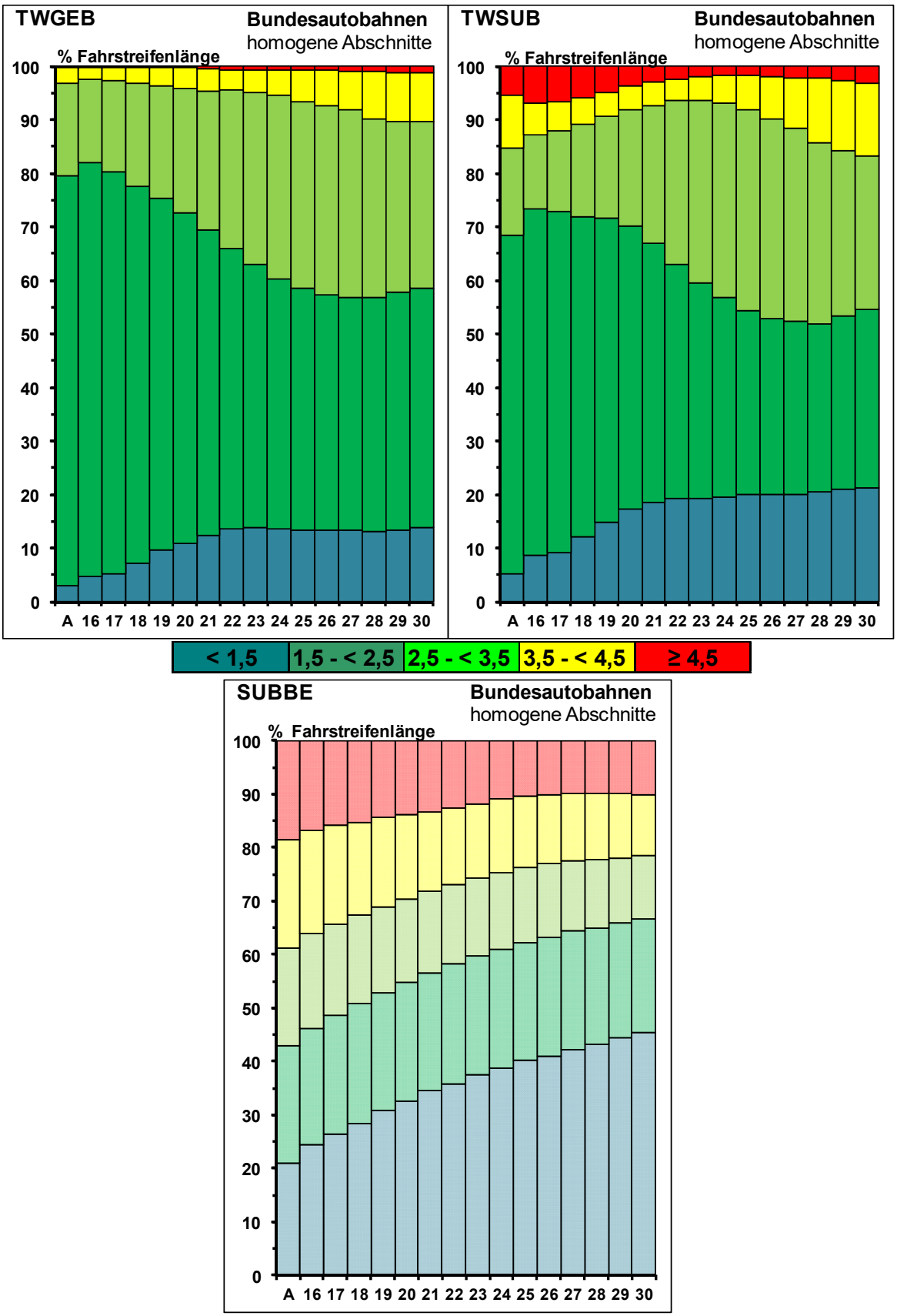


Abb. 5.9: **Ausgangszustand (A) und Abschätzung der Zustandsentwicklung der durchgehenden Fahrbahnen im Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 für den Gebrauchswert TWGEB, den Substanzwert-Oberfläche TWSUB und den Substanzwert-Bestand SUBBE bei den Bundesautobahnen**

Die auf homogene Abschnitte bezogenen Häufigkeitsverteilungen der durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen in Abb. 5.9 mit dem Ausgangszuständen (A) und den abgeschätzten Zustandsentwicklungen für den Gebrauchswert TWGEB, den Substanzwert-Oberfläche TWSUB und den Substanzwert-Bestand SUBBE veranschaulichen im Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 (= 16 bis 30) folgende Verläufe:

- Beim Gebrauchswert TWGEB ergeben sich in der Ausgangsverteilung minimale Anteile (ca. 0,2 %) im Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5. Aufgrund der stark substanzorientierten Erhaltungsstrategie werden bei einigen Abschnitten, deren Gebrauchswerte im Prognosezeitraum den Schwellenwert von 4,5 erreichen oder überschreiten, keine sofortigen Instandsetzungen vorgesehen. Es wird vielfach kurzzeitig abgewartet, bis Erneuerungen, die auch die Substanz verbessern, zweckmäßig sind. Dadurch ergeben sich zwischenzeitlich etwas höhere Anteile ab 4,5, die aber in ihrer Größenordnung (gut 1 %) unproblematisch sind.
- Beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB wird in Bezug auf die Anteile im Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 bereits nach 5 Jahren eine deutliche Zustandsverbesserung erzielt, die bis zum Ende des Prognosezeitraums im Wesentlichen gehalten werden kann.
- Beim Substanzwert-Bestand SUBBE wird die Zielvorgabe (ca. 10 % ab 4,5) bis zum Ende des Prognosezeitraums im Bundesmittel erreicht.

Die Bundesmittelwerte für die Anteile ab 4,5 des Gebrauchswerts TWGEB, des Substanzwerts-Oberfläche TWSUB und des Substanzwerts- Bestand SUBBE ergeben sich aus den Anteilen der einzelnen Bundesländer. Das bedeutet, dass die Anteile einiger Länder darüber und die Anteile einiger Ländern darunter liegen. Die Zustandsentwicklungen der einzelnen Bundesländer sind entsprechend Abb. 5.9 in **ANHANG 2** hinterlegt. Aufgrund der relativ geringen Netzlängen ergeben sich für die Stadtstaaten teilweise gravierende Änderungen in den Prozentanteilen der Zustandsbereiche für Folgejahre.

Abb. 5.10 enthält in einer zusammenfassenden Darstellung der angewendeten Erhaltungsstrategie die über die Halbdekaden gemittelten jährlichen Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsflächen und Anteile der Maßnahmekategorien für die Fahrbahnen (Richtungsfahrbahnen bei baulicher Richtungstrennung bzw. bei mehr als einem Fahrstreifen in mindestens einer Richtung, vgl. Kap. 4.1.1) der Bundesstraßen. In den 5 Jahren von 2016 bis 2020 sind pro Jahr an ca. 2.400 km-Fahrbahnen Instandsetzungen oder Erneuerungen vorgesehenen. In den beiden Halbdekaden ab 2021 ergeben sich bei deutlich höheren Erneuerungsanteilen geringere Längenanteile. Um die Zielvorgabe bezüglich des Substanzwerts-Bestand zu erfüllen, werden in der letzten Halbdekade von 2026 bis 2030 fast nur noch Erneuerungen vorgeschlagen. Die Ergebnisse im Zeitablauf sind jedoch mit immer größer werdenden Unsicherheiten behaftet.

Die entsprechend Abb. 5.10 aufbereiteten Vorschläge zu den Erhaltungsstrategien für die Bundesstraßen der einzelnen Bundesländer finden sich in **ANHANG 2**.

Bundesstraßen	2016 - 2020		2021 - 2025		2026 - 2030	
Erhaltungsstrategie Bezug Fahrbahnlängen (Richtungsfahrbahnen bei mehrstreifigen BStr.)	%-Länge pro Jahr	%-Anteil Maß-nahmen	%-Länge pro Jahr	%-Anteil Maß-nahmen	%-Länge pro Jahr	%-Anteil Maß-nahmen
I1-Instandsetz. - Oberfläche	0,15	2,40	0,05	0,85	0,00	0,05
I2-Instandsetz. - Deckschicht	0,71	11,20	0,27	4,67	0,03	0,69
I -Summe Instandsetzung	0,87	13,60	0,32	5,52	0,03	0,73
E1-Deckenerneuerung	3,40	53,30	3,28	56,31	1,07	25,43
E2-Grunderneuerung	2,11	33,10	2,22	38,17	3,12	73,84
E -Summe Erneuerung	5,52	86,40	5,50	94,48	4,19	99,27
Summe Gesamt	6,38	100,00	5,83	100,00	4,22	100,00

Abb. 5.10: Mittlere jährliche Instandsetzungs-/Erneuerungsflächen und Anteile der Maßnahmekategorien für die Richtungsfahrbahnen der Bundesstraßen

In Abb. 5.11 sind die Häufigkeitsverteilungen der homogenen Abschnitte für den Ausgangszustand (A) und für die wahrscheinliche Zustandsentwicklung der Fahrbahnen der Bundesstraßen im Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 für den Gebrauchswert TWGEB, den Substanzwert-Oberfläche TWSUB und den Substanzwert-Bestand SUBBE dargestellt:

- Bei den Bundesstraßen wird im Modellablauf in noch stärkerem Maße als bei den Autobahnen abgewartet, bis eine substanzverbessernde Erneuerung günstiger bewertet wird wie eine Instandsetzung, die kurzfristig die im Gebrauchswert TWGEB subsummierten Mängel behebt. Die Anteile für TWGEB ab dem Schwellenwert von 4,5 steigen daher zeitweise etwas an, da bei höheren Erneuerungsanteilen weniger Flächen erhalten werden können als mit kostengünstigeren Instandsetzungen. Bis zum Ende des Prognosezeitraums werden die Anteile für TWGEB ab dem Schwellenwert von 4,5 wieder deutlich verringert.
- Aus dem bereits bei TWGEB angeführten Grund steigen auch beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB die Anteile ab dem Schwellenwert von 4,5 zunächst etwas an, mitverursacht auch wesentlich durch den hohen Anteil (ca. 21 %) im schlechten Zustandsbereich von 3,5 bis < 4,5 in der Ausgangsverteilung. Die betreffenden homogenen Abschnitte können teilweise sehr schnell den Schwellenwert von 4,5 erreichen oder überschreiten. Im weiteren Zeitablauf werden die Anteile für TWSUB ab 4,5 kontinuierlich reduziert, so dass sich insgesamt eine deutliche Zustandsverbesserung ergibt.
- Auch bei den Bundesstraßen wird beim Substanzwert-Bestand SUBBE die Zielvorgabe (ca. 10 % ab 4,5) bis zum Ende des Prognosezeitraums im Bundesmittel erreicht.

Die Anteile ab 4,5 der einzelnen Bundesländer des Gebrauchswerts TWGEB, des Substanzwerts-Oberfläche TWSUB und des Substanzwerts- Bestand SUBBE liegen teils über, teils unter den Bundesmittelwerten. Die Zustandsentwicklungen der einzelnen Bundesländer sind entsprechend Abb. 5.11 in **ANHANG 2** hinterlegt. Bei den Bundesstraßen ergeben sich aufgrund der größtenteils sehr geringen Netzlängen für die Stadtstaaten teilweise noch gravierendere Änderungen für Folgejahre als bei den Bundesautobahnen.

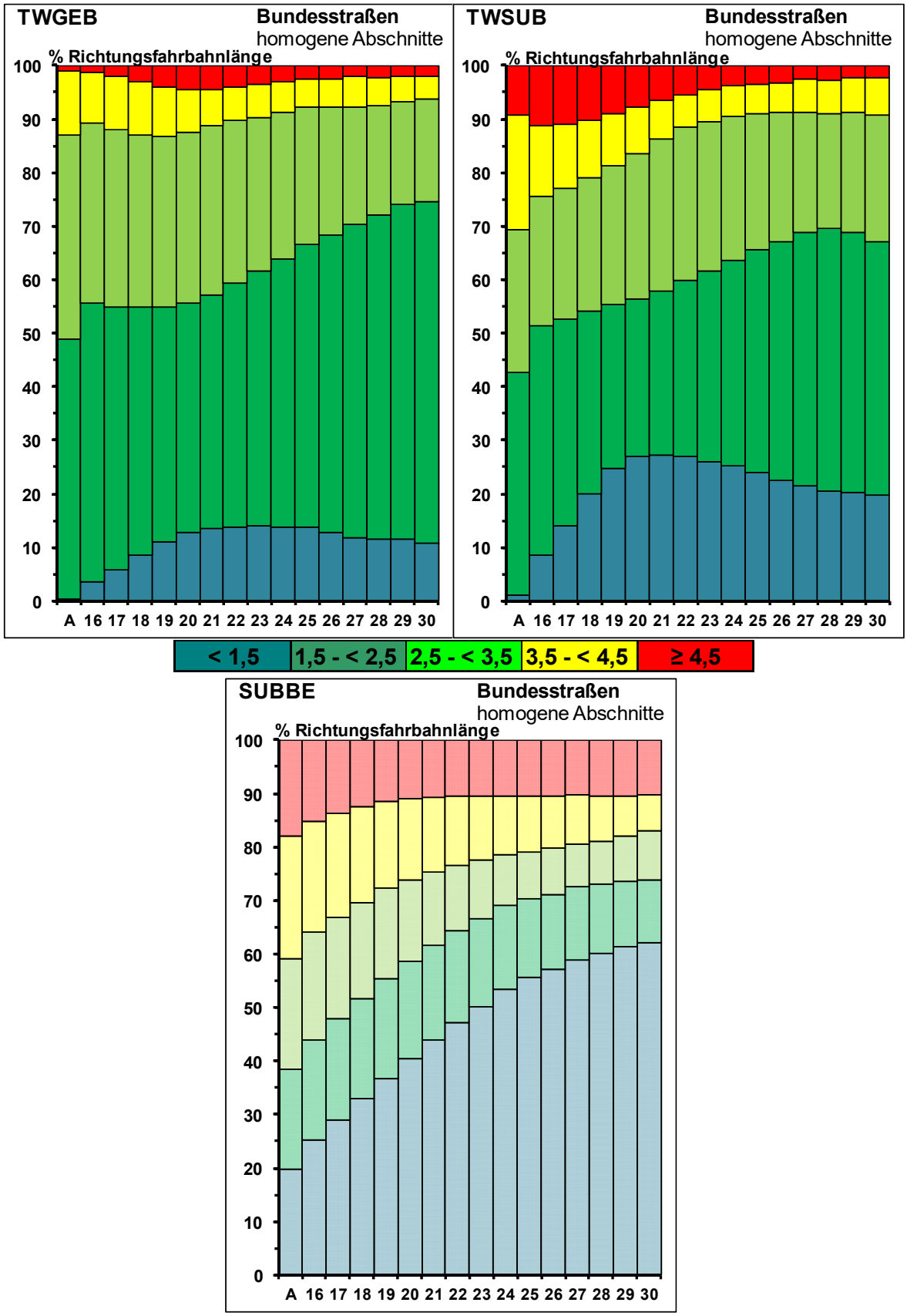


Abb. 5.11: Ausgangszustand (A) und Abschätzung der Zustandsentwicklung der durchgehenden Fahrbahnen im Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 für den Gebrauchswert TWGEB, den Substanzwert-Oberfläche TWSUB und den Substanzwert-Bestand SUBBE bei den Bundesstraßen

5.4.4 Finanzbedarf zur Erhaltung der Radwege an Bundesstraßen

Die Radwege an Bundesstraßen (in Hauptbaulast) werden erstmals bei einer Bedarfsprognose berücksichtigt. Berechnungsbasis bilden erste Erkenntnisse zu Nutzungszeitverteilungen und Kostenwerten (*Maerschalk, Oertelt 2016*).

Zustandsdaten für Radwege liegen derzeit nur für einige wenige Länder vor. Auf Basis der Längen aus Abb. 4.5 konnten mit Hilfe einer mittleren Breite von 2,18 m (*Maerschalk, Oertelt 2016*) Flächen abgeschätzt werden. Der Bedarf für die bauliche Unterhaltung wurde pauschal mit einem flächenbezogenen Kostensatz (0,075 € pro m² und Jahr) ermittelt. Die Berechnung des Instandsetzungs-/Erneuerungsbedarfs der Radwege erfolgte mit einem vereinfachten Ansatz des Strategiemodellverfahrens (s. **ANLAGE**). Da bei Radwegen, abgesehen von eher punktuell durch Beparkung verursachten Schäden, keine Zustandsänderungen infolge Verkehrsbeanspruchung zu erwarten sind, wurde bei den Erhaltungsintervallen von einer Gleichverteilung im Bereich von 20 bis 40 Jahren ausgegangen. Bei einem angenommenen Verhältnis von 65 % Instandsetzungen und 35 % Erneuerungen ergeben sich gewichtete Erhaltungskosten von 12,96 Euro pro m² für Radwege außerhalb von Ortsdurchfahrten (*Maerschalk, Oertelt 2016*). Bei Radwegen in Ortsdurchfahrten wird ein um 25 % erhöhter Kostensatz angenommen (16,20 Euro pro m²).

Abb. 5.12 enthält die unter den genannten Randbedingungen ermittelten Werte des Erhaltungsbedarfs der Radwege. Für die Jahre 2016 bis 2020 sind Anpassungen an die Finanzvorgaben vorgenommen (s. Kap. 5.2). Für 2021 bis 2030 bleibt der Finanzbedarf aufgrund der angenommenen Gleichverteilung für den Ausfall von Radwegen konstant. Die Bedarfswerte der Radwege der einzelnen Bundesländer finden sich in **ANHANG 2**.

Kostenstand 1.1.2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021-30	Summe 2016 - 2030
	Mio. Euro					Mio. Euro/Jahr	Mio. Euro
Radwege	9,6	10,4	11,5	11,8	12,0	14,2	197,9

Abb. 5.12: Finanzbedarf für die bauliche Unterhaltung, Instandsetzung und Erneuerung der Radwege an Bundesstraßen

Anzumerken ist, dass die Modellvorgaben zu den Kostensätzen und Ausfallzeiten der Radwege derzeit noch größere Unsicherheiten aufweisen. Aus diesem Grund, aber auch weil der Bestand derzeit nicht entsprechend differenziert ist, wurde keine Unterscheidung zwischen Radwegen mit Asphaltdecken und Platten-/Pflasterdecken getroffen. Bei den zweitgenannten Decken muss von deutlich höheren Erhaltungskosten ausgegangen werden (ca. 4-fach, *Maerschalk, Oertelt 2016*).

Die Radweglängen mit Stand 2016 standen erst nach der Terminierung des 3. Rechenlaufs zur Verfügung. Danach muss gegenüber 2015 von einem Längenzuwachs von 14.656 km auf 17.095 km (= 2.439 km, 16,6 %) ausgegangen werden. Wenn es sich dabei nicht ausschließlich um neue Radwege handelt, reichen die auf Basis des Bestands von 2015 berechneten Erhaltungsmittel nicht aus, den Status-quo zu halten.

5.5 Finanzbedarf für die Instandsetzung/Erneuerung und die Ertüchtigung der Ingenieurbauwerke

Zu den Ingenieurbauwerken gehören die in der Baulast des Bundes befindlichen Brücken, Verkehrszeichenbrücken, Tunnel und Tröge, Stützbauwerke und Lärmschutzbauwerke der Bundesfernstraßen. Ihr Erhaltungsbedarf wird auf der Grundlage der aus SIB-Bauwerke zum Stand 30.04.2016 übernommenen Bestands- und Zustandsdaten abgeschätzt (s. Kap. 4.2).

Der Erhaltungsbedarf der Ingenieurbauwerke wird zustandsbezogen mit dem in der **ANLAGE** beschriebenen Verfahren ermittelt. Die Maßnahmearten und die mittleren Maßnahmekosten wurden aus Vorgaben des BMS und vorhandenen Kostenangaben in SIB-Bauwerke (für Brandenburg) hergeleitet. Die getroffenen Annahmen zu den Maßnahmekosten finden sich in **ANHANG 1**.

Nachfolgend werden zunächst die restlichen Ingenieurbauwerke (Kap. 5.5.1) und anschließend die Brücken (Kap. 5.5.2) betrachtet.

5.5.1 Erhaltungsbedarf der restlichen Ingenieurbauwerke

Für die restlichen Ingenieurbauwerke, d. h. die Lärmschutzbauwerke, die Tunnel-/Trogbauwerke, die Stützbauwerke und die Verkehrszeichenbrücken, liegen Bestands- und Zustandsdaten in einer Vollständigkeit vor, die objektbezogene Modellrechnungen mit einer Adaption des Moduls „BMS-SB“ ermöglichen (s. Abb. 4.20 und Abb. 4.21).

Wie Abb. 5.13a (Bundesautobahnen) und Abb. 5.13b (Bundesstraßen) zeigen, weisen die restlichen Ingenieurbauwerke in der Ausgangsverteilung relativ geringere Anteile im noch ausreichenden (3,0 bis 3,4) oder gar ungenügenden Bereich (3,5 bis 4,0) der Substanzkennzahlen auf. Bei den Tunnel-/Trogbauwerken und den Verkehrszeichenbrücken entfallen allerdings relativ hohe Anteile auf den Bereich von 2,5 bis 2,9 (ausreichend), so dass mittelfristig größere Anzahlen an Teilbauwerken zur Erhaltung anstehen.

Aufgrund der im Vergleich zu den Brücken (s. Abb. 5.15) relativ geringen Anteile mit Substanzkennzahlen ab 3,0 erscheint als Zielvorgabe sinnvoll, den Status der Ausgangsverteilung über den Prognosezeitraum in etwa beizubehalten („Status-quo-Szenario“).

Abb. 5.14 enthält die Finanzvorgaben der Jahre 2011 bis 2015 und den Finanzbedarf der Jahre 2016 bis 2025 zur Instandsetzung und Erneuerung der restlichen Ingenieurbauwerke sowie die 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und die 15-Jahres-Mittelwerte für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen. Die Gesamtsummen für alle restlichen Ingenieurbauwerke finden sich in Abb. 5.16. Die länderbezogenen Ergebnisse sind in **ANHANG 2** ausgewiesen.

Die aus Abb. 5.14 ersichtlichen Bedarfswerte für die restlichen Ingenieurbauwerke steigen i. A. ab 2021 deutlich an. Der Anstieg ist erforderlich, um bei den relativ hohen Anteilen im Bereich von 2,5 bis 2,9 der Ausgangverteilung den Status Quo bezüglich der Anteile ab 3,0 über den Prognosezeitraum zu halten.

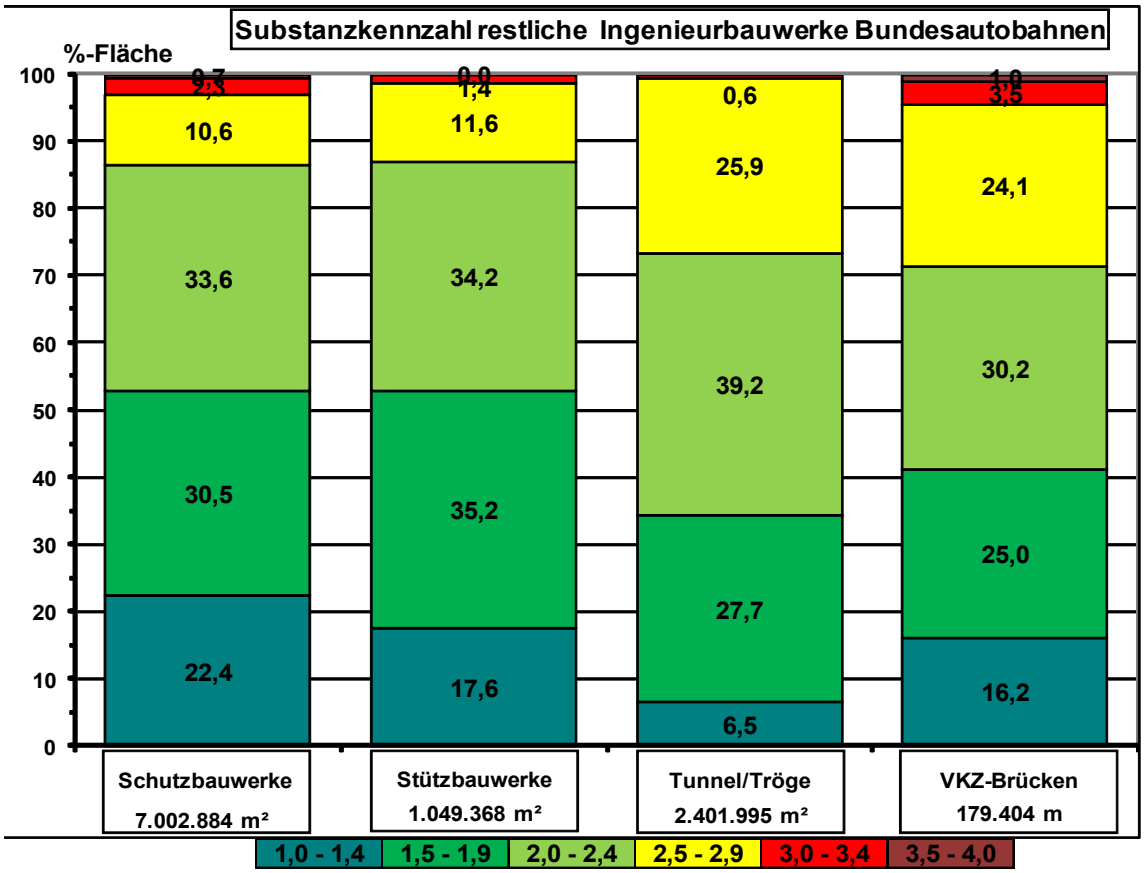


Abb. 5.13a: Verteilungen der Substanzkennzahlen für die restlichen Ingenieurbauwerke (Teilbauwerke) der Bundesautobahnen (Stand Ende 2015)

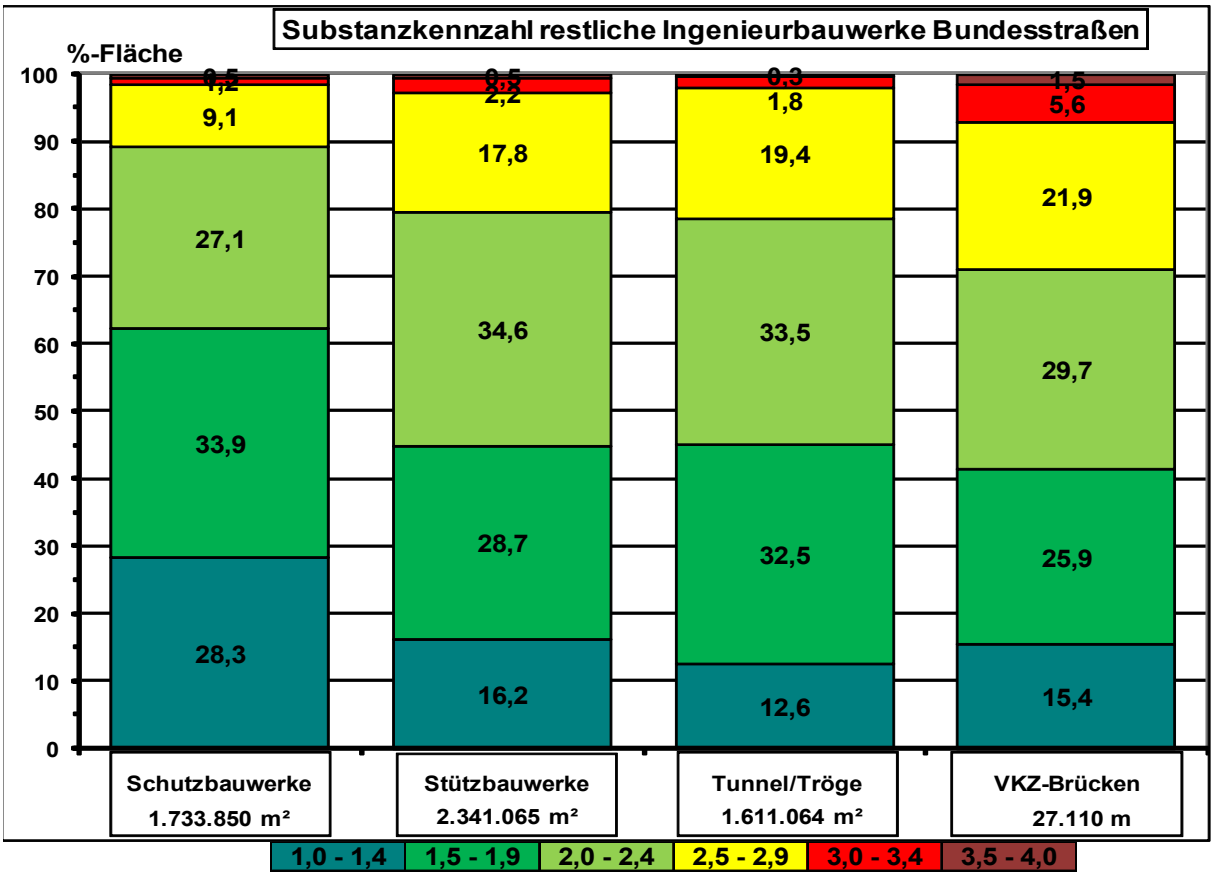


Abb. 5.13b: Verteilungen der Substanzkennzahlen für die restlichen Ingenieurbauwerke (Teilbauwerke) der Bundesstraßen (Stand Ende 2015)

Bundesrepublik (Kostenstand 01.01.2015, inkl. 19 % MWSt.)
STÜ = Stützbauwerke TUT = Tunnel/Tröge
LSB = Lärmschutzbauwerke VZB = Verkehrszeichenbrücken

	Bundesautobahnen				Bundesstraßen				Bundesfernstraßen			
	STÜ	TUT	LSB	VZB	STÜ	TUT	LSB	VZB	STÜ	TUT	LSB	VZB
Jahr	Mio. Euro – Instandsetzung/Erneuerung											
2016	3,3	0,0	24,4	27,6	20,6	1,1	1,2	4,3	24,0	1,1	25,6	31,9
2017	3,6	2,1	24,9	29,5	21,5	1,6	1,4	5,0	25,1	3,7	26,3	34,5
2018	4,0	3,5	26,7	32,3	23,6	2,3	1,5	5,4	27,5	5,8	28,2	37,7
2019	4,1	3,6	27,1	33,4	21,5	5,7	1,4	4,9	25,6	9,2	28,5	38,3
2020	4,2	3,8	27,4	34,3	20,6	7,5	1,4	4,8	24,8	11,3	28,7	39,1
2021	5,9	10,8	28,4	41,1	21,7	10,3	2,1	4,6	27,6	21,1	30,5	45,8
2022	13,7	18,0	25,2	39,1	27,6	9,3	2,2	3,4	41,4	27,2	27,5	42,5
2023	16,1	24,1	38,9	25,6	43,1	17,4	5,1	4,2	59,2	41,4	44,0	29,8
2024	17,5	32,7	42,4	20,7	44,8	24,0	5,0	5,5	62,3	56,7	47,4	26,2
2025	13,6	33,1	38,8	15,0	40,9	22,6	5,8	5,2	54,4	55,8	44,6	20,1
2026	15,7	37,4	46,5	24,6	39,8	13,1	5,9	4,9	55,5	50,5	52,3	29,5
2027	18,4	41,4	117,1	30,5	43,2	25,6	7,1	4,4	61,6	67,0	124,3	34,9
2028	15,1	60,9	112,4	20,2	46,1	24,7	12,5	3,8	61,2	85,5	124,9	24,0
2029	14,9	65,3	112,1	17,7	45,3	26,6	12,0	1,8	60,2	91,9	124,1	19,5
2030	15,1	55,3	101,5	19,6	49,7	26,3	12,7	1,9	64,8	81,6	114,2	21,4
∑	165,4	391,8	793,8	411,1	509,9	217,9	77,5	64,1	675,3	609,7	871,2	475,3
Jahre	Mio. Euro pro Jahr im 5- und 15-Jahresmittel – Instandsetzung/Erneuerung											
2016-2020	3,9	2,6	26,1	31,4	21,6	3,6	1,4	4,9	25,4	6,2	27,5	36,3
2021-2025	13,4	23,7	34,8	28,3	35,6	16,7	4,1	4,6	49,0	40,4	38,8	32,9
2026-2030	15,9	52,0	97,9	22,5	44,8	23,2	10,1	3,4	60,7	75,3	108,0	25,9
2016-2030	11,0	26,1	52,9	27,4	34,0	14,5	5,2	4,3	45,0	40,6	58,1	31,7

Abb. 5.14: Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Instandsetzung und Erneuerung der restlichen Ingenieurbauwerke sowie 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und 15-Jahres-Mittelwert für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen

5.5.2 Erhaltungsbedarf der Brücken

Die Modellrechnungen zur Ermittlung des Erhaltungsbedarfs der Brücken werden stark von laufenden Aktivitäten zur Ertüchtigung des Brückenbestands beeinflusst. Daher wird zunächst auf die Brückenertüchtigung (Kap. 5.5.2.1) und danach auf die Brückenerhaltung (Kap. 5.5.2.2) eingegangen.

5.5.2.1 Finanzbedarf zur Ertüchtigung des Brückenbestands

Derzeit werden Bauwerke des Brückenbestands der Bundesfernstraßen ermittelt, die Tragfähigkeitsdefizite oder andere konstruktive Defizite aufweisen. Dazu sind umfangreiche und zeitaufwendige Nachrechnungen erforderlich, die verschiedene Kriterien wie z. B. Verkehrsbelastung, Lastfall, Temperaturunterschied, Koppelfugen, Querkraft, Spannungsrisskorrosion, Zustandsnote bzw. Substanzkennzahl Überbau und Zustandsnote- bzw. Substanzkennzahl-Gesamt berücksichtigen. Die Brücken mit diesbezüglichen Problemen sollen in der Folge ertüchtigt werden.

Die Nachrechnungen zu den Brücken, die zur Ertüchtigung anstehen, sind noch nicht abgeschlossen. Die derzeit bereits identifizierten, vorwiegend größeren Brücken sind mit ihren wichtigsten Kenngrößen in einer von der BASt erstellten Datei (ca. 2.300 Teilbauwerke) zusammengefasst. Diese „BASt-Datei“ ist in **ANHANG 1** dokumentiert. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl problematischer Bauwerke wahrscheinlich in naher Zukunft eher noch zunimmt.

Der Finanzbedarf zur Ertüchtigung von Brücken wurde mit jährlich benötigten Beträgen für den Zeitraum von 2016 bis 2020 und einer Gesamtsumme für die 15 Jahre von 2016 bis 2030 in der Höhe von 12.890 Mio. Euro vom Auftraggeber abgeschätzt. Die Vorgabewerte für 2016 bis 2020 in Höhe von 450 – 520 – 640 – 660 - 680 Mio. Euro ($\sum$ = 2.950 Euro) wurden, ebenso wie der verbleibende Betrag für 2021 bis 2030 (12.890 - 2.950 = 9.940 Mio. Euro) nach den Relationen der BASt-Datei den Bundesautobahnen und Bundesstraßen zugewiesen (vgl. auch Abb. 5.1, s. Abb. 5.16). Da aufgrund aufwendiger planerischer und organisatorischer Vorarbeiten nicht eindeutig bestimmbar ist, zu welchen Zeitpunkten Brücken zur Ertüchtigung anstehen, wurden die 9.940 Mio. Euro für 2021 bis 2030 so auf die Einzeljahre verteilt, dass nach Möglichkeit keine großen jährlichen „Sprünge“ auftreten.

Die für die Bundesautobahnen und Bundesstraßen zeitlich festgelegten Finanzmittel zur Ertüchtigung wurden nach den Relationen der BASt-Datei den Bundesländern zugewiesen. Die länderspezifischen Beträge für die Brückenertüchtigung sind in **ANHANG 2** ausgewiesen.

Die in der BASt-Datei identifizierten, überwiegend großen Brücken können bei den Modellrechnungen zur Ermittlung des Erhaltungsbedarfs, d. h. des Finanzbedarfs für die Instandsetzung bzw. Erneuerung, ausgeschlossen werden (s.u.). Die zur Ertüchtigung anstehenden kleinen Brücken sind nur schwer identifizierbar. Für diese Brücken wurde vom Auftraggeber ein pauschaler Finanzbedarf von 100 Mio. Euro pro Jahr veranschlagt, der in dem o. g. Gesamtbetrag von 12.890 Mio. Euro enthalten ist. Dieser Betrag wird vom modellmäßig berechneten Erhaltungsbedarf für die Instandsetzung bzw. Erneuerung von Brücken abgezogen.

Da derzeit noch nicht alle evtl. zur Ertüchtigung anstehenden Bauwerke identifiziert und in der BASt-Datei enthalten sind, werden die betreffenden Brücken, die beim o. a. Gesamtbetrag für die Ertüchtigung berücksichtigt sind, zwangsläufig in die Ermittlung des Erhaltungsbedarfs einbezogen. Aus dieser Sicht ist der ermittelte Erhaltungsbedarf, in nicht quantifizierbarem Umfang, zu hoch. Zum teilweisen Ausgleich werden bei den zur Ertüchtigung identifizierten Brücken, die evtl. erst spät im Prognosezeitraum anstehen, in den Modellrechnungen keine Maßnahmen an einzelnen Bauteilen (z. B. Fahrbahnübergänge, Lager, Kappen, Schutzeinrichtungen, Überbau, Unterbau) eingerechnet, auch wenn das aufgrund der Substanzkennzahlen notwendig wäre (s. dazu Abb. 5.15, Anteile von 4,9 % bzw. 3,9 % ab 3,5 bei Ertüchtigungsbrücken). Dabei muss aber davon ausgegangen werden, dass die Brücken mit Substanzkennzahlen ab 3,5 vordringlich ertüchtigt werden.

5.5.2.2 Finanzbedarf zur Instandsetzung und Erneuerung des Brückenbestands

Die Grundlagen für die bauteilbezogene modellmäßige Ermittlung des Finanzbedarfs zur baulichen Erhaltung der Brücken, d. h. zur Instandsetzung und Erneuerung, bilden der Brückenbestand (Kap. 4.2.1, Abb. 4.20 und Abb. 4.21), die Altersstruktur (Kap. 4.2.2). und die Substanzkennzahlen (Abb. 5.15, Bundesautobahnen und Bundesstraßen).

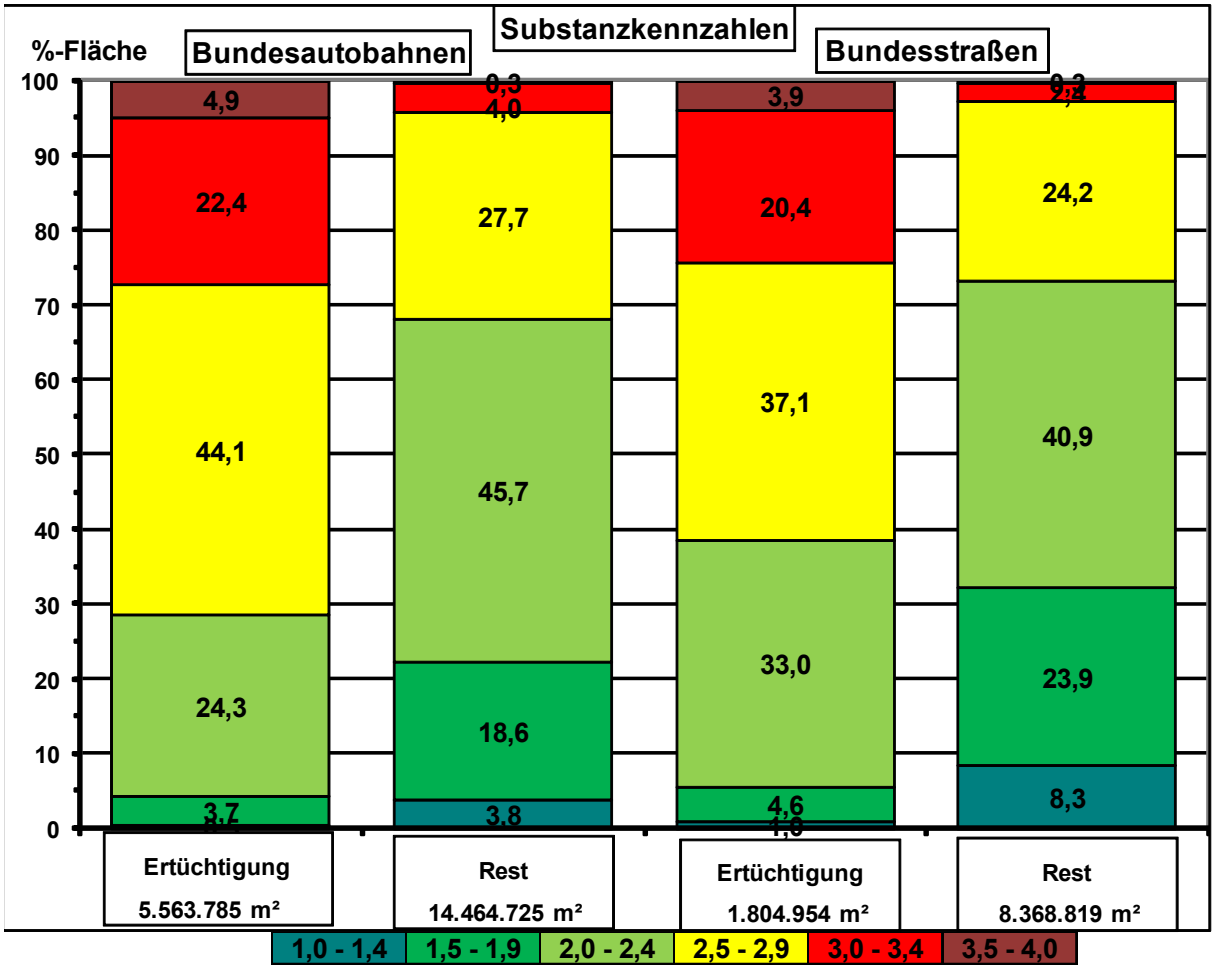


Abb. 5.15: Anteile der Zustandsbereiche für die Substanzkennzahlen der zur Ertüchtigung identifizierten Brücken und der restlichen Brücken der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen

In Abb. 5.15 sind neben den Anteilen der Zustandsbereiche für die Substanzkennzahlen der restlichen Brücken zum Vergleich auch die entsprechenden Anteile der zur Ertüchtigung identifizierten EBrücken dargestellt. Wie schon erwähnt, weisen diese Brücken deutlich höhere Anteile in den schlechten Zustandsbereichen ab 2,5 auf. Bei der Bedarfsermittlung nach dem in der **ANLAGE** beschriebenen Verfahren werden nur die Teilbauwerke berücksichtigt, die nicht zur Ertüchtigung anstehen. Die unter den Rubriken „Rest“ dargestellten Anteile bilden dabei die Ausgangsverteilungen.

Durch die Maßnahmen zur Ertüchtigung, die häufig eine Erneuerung beinhalten, sind nachhaltige Zustandsverbesserungen zu erwarten. Für die restlichen Brücken der Bundesautobahnen und Bundesstraßen, die nicht zur Ertüchtigung anstehen, ist daher als Zielvorgabe die Erhaltung des Status-quo im Ausgangszustand, jedoch ohne Anteile ab einer Substanzkennzahl von 3,5, über den Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 zweckmäßig.

Der für die Modellrechnungen berücksichtigte Brückenbestand ist für alle Teilbauwerke mit allen für die Bedarfsprognose benötigten Kenngrößen in **ANHANG 1** dokumentiert. Nach ASB-ING sind dabei folgende 13 Bauteile/Bauteilgruppen unterschieden:

- Überbau,
- Unterbau,
- Vorspannung,
- Gründungen,
- Erd- und Felsanker,
- Brückenseile,
- Lager,
- Fahrbahnübergänge,
- Abdichtungen,
- Kappen,
- Schutzeinrichtungen,
- Beläge,
- Sonstige (Entwässerung, maschin. Einrichtungen, Beleuchtung etc.).

Wenn keine Unterscheidung zwischen Unter- und Überbau möglich ist (z. B. Rohrdurchlässe < 2m), wird die „Bauteil“-Bezeichnung „Bauwerk“ verwendet.

Für die Modellrechnungen wurden bei den Bauteilen/Bauteilgruppen folgende Zusammenfassungen bzw. Vereinfachungen vorgenommen:

- Überbau: beinhaltet Überbau und/oder Bauwerk (s. o.);
- Unterbau: beinhaltet Unterbau und Gründung;
- Brückenseile sowie Erd- und Felsanker sind nicht berücksichtigt, weil uneinheitliche bzw. keine Kostensätze vorhanden sind und diese Bauteile spezifische Untersuchungen erfordern.
- Auch das Bauteil „Vorspannung“ erfordert in der Praxis spezifische Untersuchungen. Bei den Berechnungen wird Vorspannung beim Überbau durch individuelle, vom Hauptbaustoff (z. B. Spannbeton) abhängige, flächenabhängige Kostensätze berücksichtigt.

Für die berücksichtigten Bauteilgruppen erfolgt keine Bündelung untereinander, daher sind die Ergebnisse nur für netzbezogene Aussagen geeignet, nicht aber als Maßnahmeprogramm für eine objektscharfe Betrachtung. Die ermittelten Maßnahmezeitpunkte können nur Hinweise auf kritische Bauwerke bzw. Bauteile geben. Die Eingreifzeiträume basieren auf den linearen Verhaltensfunktionen des Moduls SB des BMS (s. **ANLAGE**). Sie sind außerdem abhängig von den Budgetvorgaben (2016 bis 2020) und den Zielvorgaben (2021 bis 2030).

Bei den nachfolgend aufgeführten Bedingungen hinsichtlich der Substanzkennzahl SK wird ein Ersatz des gesamten Bauwerks vorgesehen:

- SK-Unterbau ≥ 3,5 ODER (SK-Überbau ≥ 3,5 UND SK-Unterbau ≥ 3,0)
  sofort (i. A. erste Halbdekade);
- SK-Unterbau ≥ 3,5 ODER (SK-Überbau ≥ 3,0 UND SK-Unterbau ≥ 3,0)
  vordringlich (i. A. Ende der ersten Halbdekade, Beginn der zweiten Halbdekade);
- SK-Unterbau ≥ 3,5 ODER (SK-Überbau ≥ 3,0 UND SK-Unterbau ≥ 2,9)
  kurzfristig (i. A. zweite Halbdekade);
- ((SK-Überbau ≥ 2,9 UND SK-Unterbau ≥ 2,5) ODER (SK-Überbau > 2,3 UND SK-Unterbau > 2,3 UND SK-Kappen >2,5)) UND Baujahr < 1955
  später (i. A. dritte Halbdekade).

Die genaue zeitliche Zuordnung innerhalb des Zeitraums von 2016 bis 2030 für den Ersatz hängt ebenfalls von den Budgetvorgaben und den Zielvorgaben ab. Die o. a. Zuordnungen zu Halbdekaden geben daher nur einen groben Anhalt. Die mit den Modellrechnungen ermittelten Maßnahmejahre für den Ersatz oder die Erhaltung der Bauteile/Bauteilgruppen sind dem Brückenbestand mit allen Teilbauwerken und den für die Bedarfsprognose benötigten Kenngrößen angefügt, der in **ANHANG 1** dokumentiert ist.

In Abb. 5.16 sind die aufgeteilten Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und der berechnete Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Instandsetzung und Erneuerung der restlichen Ingenieurbauwerke (in der Summe), zur Ertüchtigung der Brücken und zur Instandsetzung und Erneuerung der Brücken sowie die 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und die 15-Jahres-Mittelwert für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraße zusammengestellt. Die Finanzwerte der einzelnen Bundesländer finden sich in **ANHANG 2**.

Den zeitlichen Verlauf der Finanzbedarfswerte für die Erhaltung der Ingenieurbauwerke und Ertüchtigung der Brücken veranschaulicht Abb. 5.17. Hauptsächlich infolge der Brückenertüchtigung ist ab 2021 mit einem deutlichen Anstieg der Finanzlinie zu rechnen.

Bundesrepublik (Kostenstand 01.01.2015, inkl. 19 % MWSt.)
rIng = restl. Ing.-Bauwerke Ert = Brücken-Ertüchtigung
I/EB = Instandsetzung/Erneuerung Brücken

	Bundesautobahnen				Bundesstraßen				Bundesfernstraßen			
	rIng	Ert	I/EB	∑	rIng	Ert	I/EB	∑	rIng	Ert	I/EB	∑
Jahr	Mio. Euro – Instandsetzung/Erneuerung und Ertüchtigung											
2016	55,3	361,0	366,0	782,3	27,2	189,0	229,0	445,3	82,5	550,0	595,0	1.227,5
2017	60,1	407,2	397,8	865,1	29,5	212,8	250,4	492,7	89,6	620,0	648,2	1.357,8
2018	66,5	486,4	385,7	938,6	32,7	253,6	248,0	534,3	99,2	740,0	633,7	1.472,9
2019	68,1	499,6	409,3	977,0	33,5	260,4	262,6	556,5	101,6	760,0	671,9	1.533,5
2020	69,7	512,8	416,6	999,1	34,3	267,2	267,6	569,1	104,0	780,0	684,2	1.568,2
2021	86,2	563,7	451,4	1.101,4	38,7	290,8	267,8	597,4	125,0	854,5	719,2	1.698,7
2022	96,0	624,7	452,1	1.172,8	42,5	325,0	236,0	603,5	138,5	949,7	688,1	1.776,4
2023	104,7	630,8	451,0	1.186,5	69,8	328,4	211,2	609,4	174,5	959,2	662,2	1.795,9
2024	113,3	630,8	457,2	1.201,3	79,3	328,4	194,6	602,3	192,7	959,2	651,7	1.803,6
2025	100,5	630,8	461,9	1.193,2	74,5	328,4	186,0	588,9	175,0	959,2	647,9	1.782,1
2026	124,2	630,8	459,2	1.214,2	63,7	328,4	196,7	588,8	187,8	959,2	655,9	1.802,9
2027	207,5	624,7	466,4	1.298,6	80,3	325,0	193,4	598,7	287,8	949,7	659,8	1.897,3
2028	208,5	624,7	470,6	1.303,9	87,1	325,0	179,6	591,6	295,6	949,7	650,2	1.895,5
2029	209,9	624,7	467,3	1.301,9	85,7	325,0	169,8	580,6	295,7	949,7	637,1	1.882,5
2030	191,4	624,7	465,9	1.282,1	90,6	325,0	150,2	565,8	282,0	949,7	616,1	1.847,9
∑	1.762,1	8.477,4	6.578,5	16.817,9	869,4	4.412,6	3.242,9	8.524,9	2.631,5	12.890,0	9.821,3	25.342,8
Jahre	Mio. Euro pro Jahr im 5- und 15-Jahresmittel – Instandsetzung/Erneuerung und Ertüchtigung											
2016-2020	64,0	453,4	395,1	912,4	31,4	236,6	251,5	519,6	95,4	690,0	646,6	1.432,0
2021-2025	100,2	616,2	454,7	1.171,0	61,0	320,2	219,1	600,3	161,1	936,4	673,8	1.771,3
2026-2030	188,3	625,9	465,9	1.280,1	81,5	325,7	177,9	585,1	269,8	951,6	643,8	1.865,2
2016-2030	117,5	565,2	438,6	1.121,2	58,0	294,2	216,2	568,3	175,4	859,3	654,8	1.689,5

Abb. 5.16: Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Instandsetzung und Erneuerung der restlichen Ingenieurbauwerke, zur Ertüchtigung der Brücken und zur Instandsetzung und Erneuerung der Brücken sowie 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und 15-Jahres-Mittelwert für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen

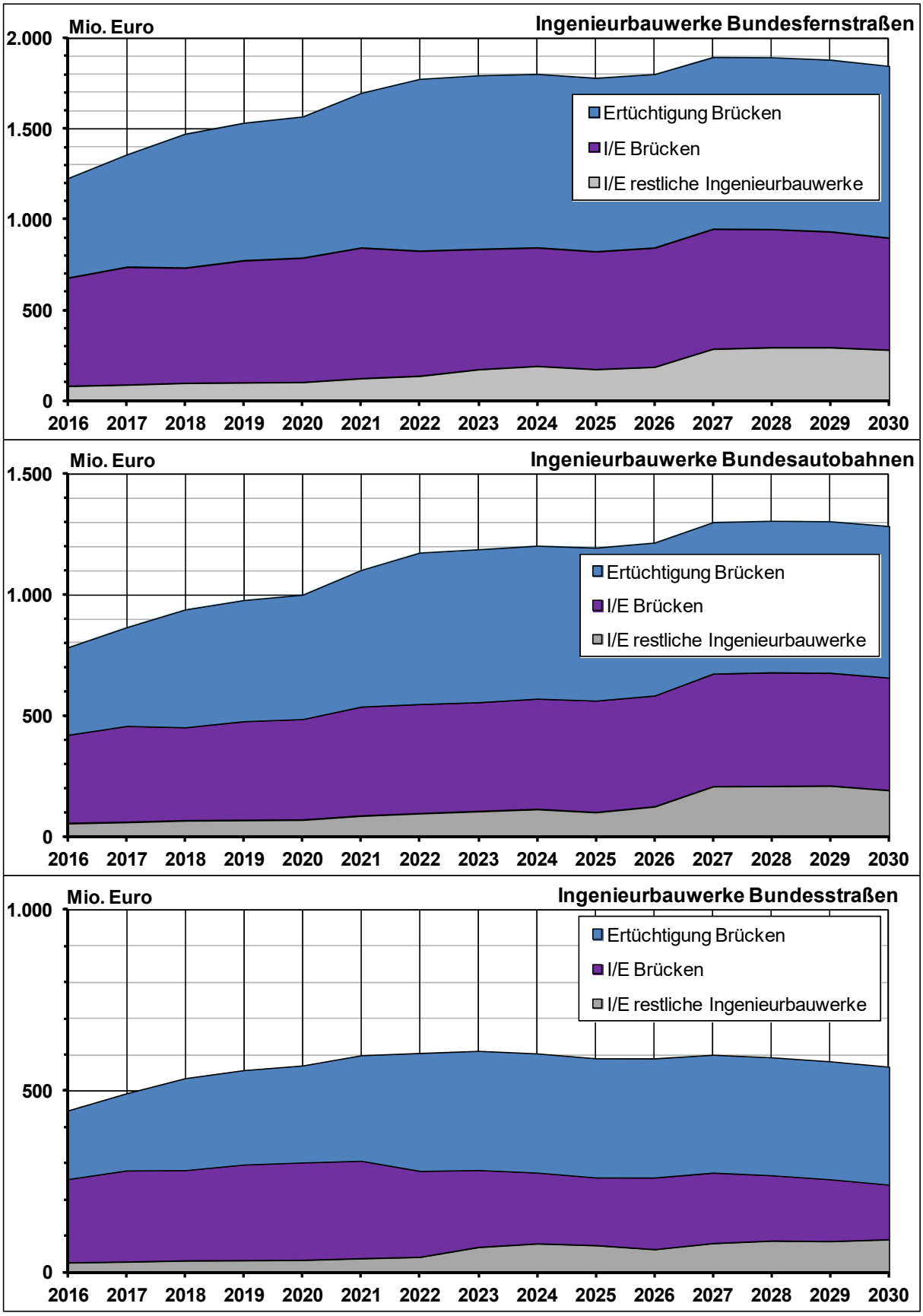


Abb. 5.17: Zeitlicher Verlauf der Finanzbedarfswerte für die Erhaltung der Ingenieurbauwerke und Ertüchtigung der Brücken

Abb. 5.18 (Bundesautobahnen) und Abb. 5.19 (Bundesstraßen) veranschaulichen als Ergebnis des 3. Rechenlaufs (Szenario FS3) die wahrscheinliche Zustandsentwicklung der Brücken, die nicht zur Ertüchtigung anstehen. Dargestellt sind die Flächenanteile für Zustandsbereiche der Substanzkennzahlen der Teilbauwerke, die sich aus den schlechtesten Substanzkennzahlen der Bauteile/Bauteilgruppen ergeben. Nicht mehr gesondert ausgewiesen sind dabei die Anteile mit ungenügenden Substanzkennzahlen ab 3,5, da den betroffenen Bauwerken bzw. Bauteilen/Bauteilgruppen ohnehin schnellstmöglich Maßnahmen zugewiesen werden.

Aus Abb. 5.18 und Abb. 5.19 wird deutlich, dass bei den Finanzmittelvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und den ermittelten Bedarfswerten für 2021 bis 2030 der Status-quo der Ausgangsverteilung (A-I/E in den Abb. 5.18/5.19) der nicht zur Ertüchtigung anstehenden Brücken in Bezug auf die Anteile im noch ausreichenden Bereich ab 3,0 bis 2030 gehalten werden kann. Die Anteile im ausreichenden Bereich von 2,5 bis 2,9 nehmen allerdings deutlich zu. Dies ist z. T. der „Durchschlagsregel“ geschuldet, nach der im Wesentlichen die schlechteste Substanzkennzahl der Bauteile/Bauteilgruppen die Substanzkennzahl des Bauwerks bestimmt. Ursächlich dafür sind aber im Zeitbereich von 2016 bis 2020 auch etwas zu geringe Finanzmittel für die standardmäßige Brückenerhaltung, da vom Gesamtbudget die Beträge für die Brückenertüchtigung abgezogen wurden und eine Veränderung des Splitts zwischen Fahrbahnen und Ingenieurbauwerken nicht möglich war, ohne die Zielvorgaben für die Fahrbahnen zu gefährden. Auch im Zeitraum von 2021 bis 2030 konnten den Brücken infolge der Beibehaltung des Gesamtbetrags von ca. 67,2 Mrd. Euro keine zusätzlichen Erhaltungsmittel zugewiesen werden.

Da noch nicht bekannt ist, in welchen Jahren die derzeit identifizierten, zur Ertüchtigung anstehenden Brücken bearbeitet werden, ist es nicht möglich, die Entwicklung der Substanzkennzahlen unter Einschluss dieser Brücken darzustellen. Wird davon ausgegangen, dass die derzeit identifizierten Ertüchtigungsbrücken nach den entsprechenden Maßnahmen dem Zustandsbereich bis 1,9 zuzuordnen sind, kann jedoch eine Grobabschätzung für das Jahr 2030 vorgenommen werden. Wie aus Abb. 5.18 und Abb. 5.19 ersichtlich, ergeben sich bei Berücksichtigung aller Brücken deutliche Zustandsverbesserungen („Gesamt 2030“ im Vergleich zu „Ges“ der Ausgangsverteilung in Abb. 5.18/5.19). Damit wird das übergeordnete Ziel, Zustandsverbesserungen zu erreichen, trotz der Status-quo-Rechnung für die nicht zur Ertüchtigung anstehenden Brücken, erfüllt.

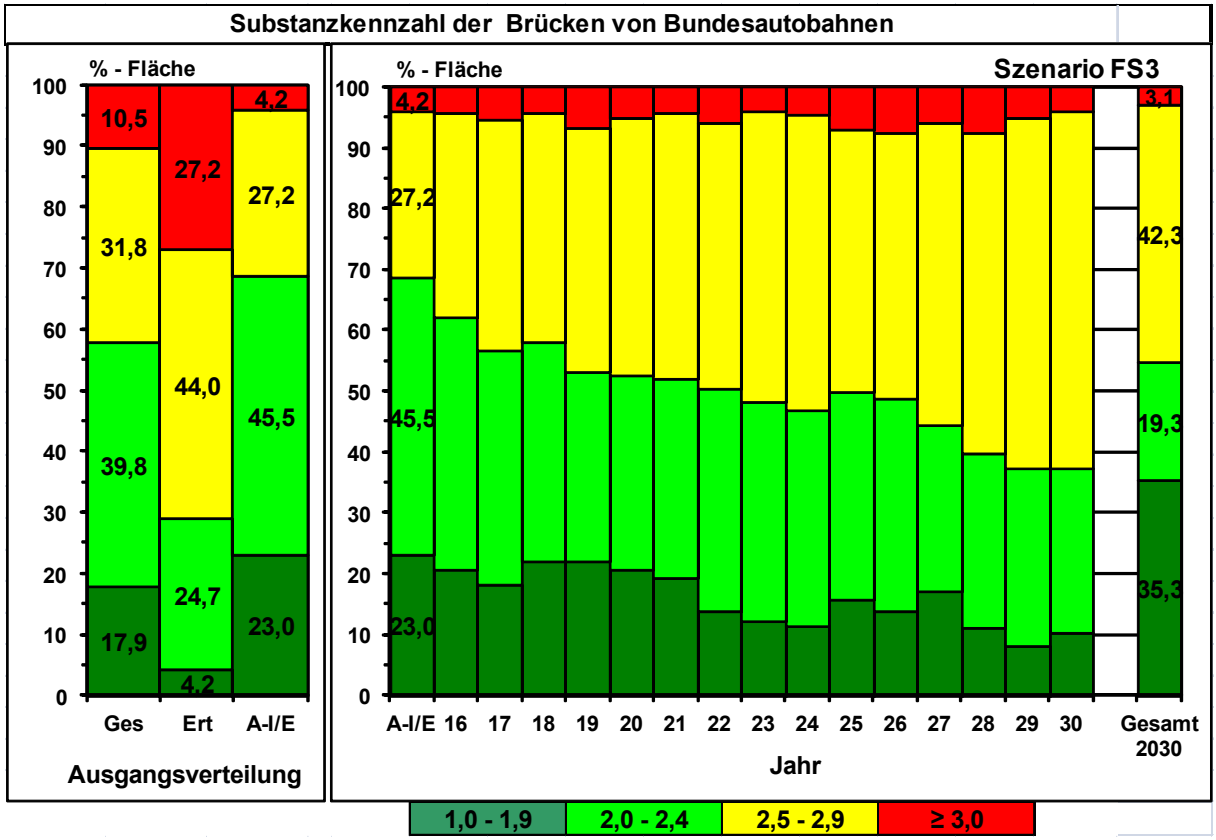


Abb. 5.18: Ausgangsverteilungen (2016) aller Brücken (Ges), der Ertüchtigungsbrücken (Ert) und der restlichen Brücken (A-I/E), wahrscheinliche Zustandsentwicklung der restlichen Brücken und Zustandsverteilung aller Brücken 2030 - Bundesautobahnen

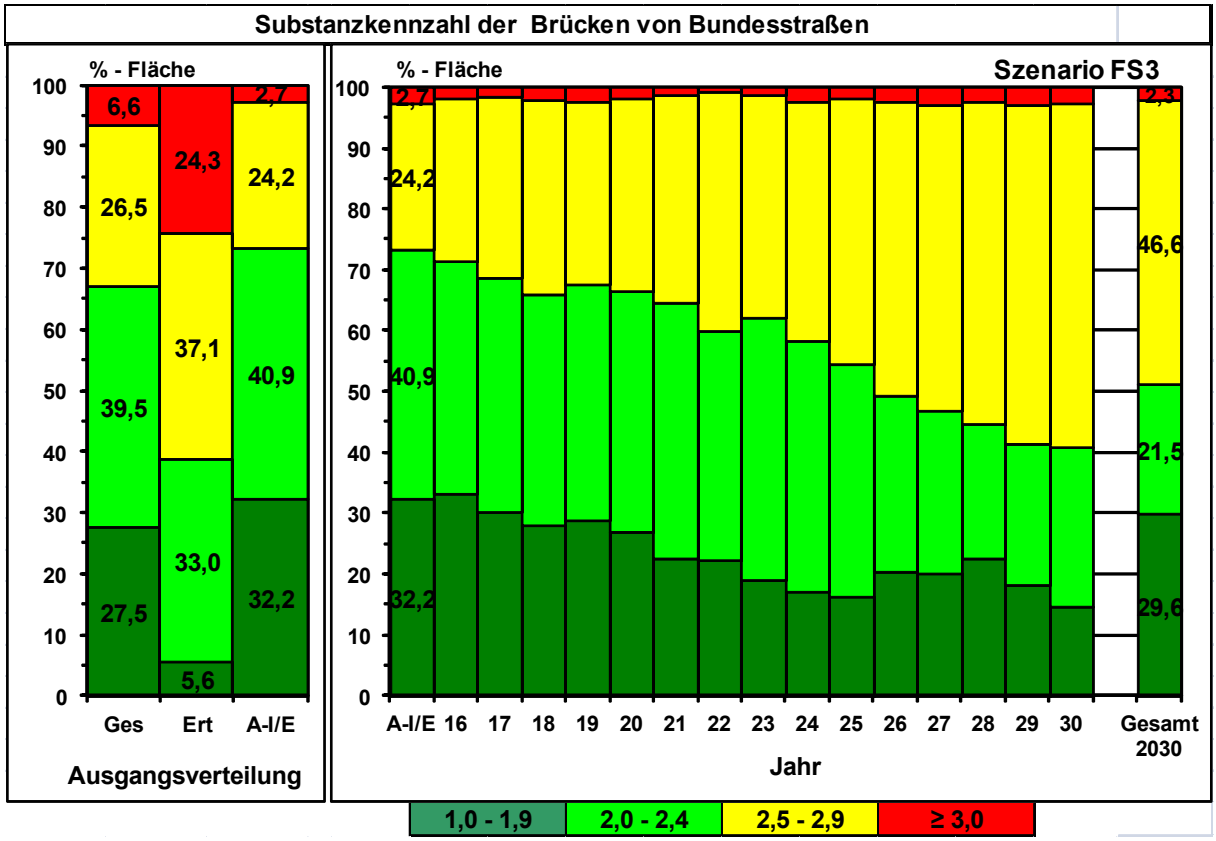


Abb. 5.19: Ausgangsverteilungen (2016) aller Brücken (Ges), der Ertüchtigungsbrücken (Ert) und der restlichen Brücken (A-I/E), wahrscheinliche Zustandsentwicklung der restlichen Brücken und Zustandsverteilung aller Brücken 2030 - Bundesstraßen

5.6 Finanzbedarf für die sonstigen Anlagenteile von Straßen und die Nebenanlagen

Für die sonstigen Anlagenteile von Straßen sind derzeit weder Altersstrukturen noch Zustandsdaten verfügbar (s. dazu Kap. 4.3). Der Finanzbedarf für ihre Erhaltung wurde daher bislang auf der Grundlage von Erfahrungswerten zu, lediglich kostenmäßig aktualisierten Pauschalsätzen (Euro pro m² und Jahr) für Anlagengruppen (z. B. „Entwässerungseinrichtungen“) abgeschätzt (*Hinsch, Krause, Maerschalk, Rübensam 2002; Hinsch, Krause, Maerschalk 2012*).

Wie schon in Kap. 4.3 erwähnt, liegen aus einer Untersuchung zu den „Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagenteile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements“ (*Zander, Birbaum, Schmidt 2015*) und eigenen Beratungsleistungen im Rahmen aller bisher vergebenen ÖPP-Projekten der Bundesautobahnen differenzierte Informationen zu Nutzungszeiten und auch zu spezifischen Erhaltungskosten der sonstigen Anlagenteile vor. Wenn entsprechend differenzierte Mengenangaben (z. B. „Gräben/Mulden unbefestigt“, Gräben/Mulden befestigt“, „Rinnen offen“, „Rinnen geschlossen“, „Rohrleitungen“ usw., s. Abb. 4.31) verfügbar sind, ist es möglich, das Strategiemodellverfahren anzuwenden (s. **ANLAGE**).

Für die Bedarfsermittlung der sonstigen Anlagenteile mit dem Strategiemodellverfahren müssen die Bestände möglichst in der in Abb. 4.31 veranschaulichten Differenzierung verfügbar sein. Dies war bei den Ländern Nordrhein-Westfalen (vollumfänglich) sowie Niedersachsen und Rheinland-Pfalz (größtenteils) der Fall. Die von diesen Ländern gemeldeten Bestände finden sich in **ANHANG 1**.

Einige weitere Länder übermittelten Informationen aus der jeweiligen Straßendatenbank, die jedoch teils unvollständig und teils auch unklar waren (z. B. Doppelerfassungen von sonstigen Anlagenteilen). Außerdem waren die diesbezüglichen Datenbankobjekte bei einigen dieser Länder sehr unterschiedlich. Diese bis Mitte 2015 gelieferten zusätzlichen Daten konnten hauptsächlich aus Zeitgründen für den 1. Rechenlauf, der bis Ende September 2015 abgeschlossen werden musste, nicht mehr aufbereitet werden. Der Bedarf der restlichen Länder wurde daher auf Basis anlagenspezifischer längenbezogener Erhaltungskostensätze (Euro pro m), ermittelt aus der Bedarfsberechnung der Länder Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz, über die jeweiligen Längen der Richtungsfahrbahnen analog abgeschätzt. Die dabei vorgenommenen Länderanalogien sind mit den zugrundegelegten Längen der Richtungsfahrbahnen aus Abb. 5.20 ersichtlich.

Die Bedarfsberechnungen für die 3 genannten Länder wurden auf Basis der 2015 gemeldeten Bestände durchgeführt und beim 3. Rechenlauf mit den aktuellen Längen für 2016 (s. Abb. 5.20) hochgerechnet, um im vorgegebenen Zeitrahmen zu bleiben und möglichst den Gesamtbedarf von ca. 67,2 Mrd. Euro beibehalten zu können.

Bundesland	**km-Richtungsfahrbahnen**		Berechnung analog:
	BAB 2016 ohne ÖPP	**BStr 2016**	
Baden-Württemberg	2.042	4.570	RP
Bayern	4.845	6.275	RP
Berlin	154	24	NW (BAB)/NI (BStr)
Brandenburg	1.611	2.832	RP
Bremen	135	41	NW (BAB)/NI (BStr)
Hamburg	164	50	NW (BAB)/NI (BStr)
Hessen	1.965	3.193	RP
Mecklenburg-Vorpommern	1.137	1.997	RP
Niedersachsen (NI)	**2.819**	**5.076**	***Berechnung***
Nordrhein-Westfalen (NW)	**4.441**	**4.229**	***Berechnung***
Rheinland-Pfalz (RP)	**1.764**	**3.103**	***Berechnung***
Saarland	480	302	RP
Sachsen	1.133	2.271	RP
Sachsen-Anhalt	832	2.263	RP
Schleswig-Holstein	1.079	1.610	NI
Thüringen	860	1.551	RP

Abb. 5.20: Länderanalogien zur Ermittlung des Erhaltungsbedarfs für die sonstigen Anlagenteile

Bei den Berechnungen des Bedarfs der sonstigen Anlagenteile mit dem Strategiemodellverfahren wurde angenommen, dass sowohl für die Altersstrukturen als auch für die Ausfallverteilungen, aufgrund derzeit fehlender näherer Erkenntnisse, Gleichverteilungen angenommen werden können. Bei dieser Annahme sind insbesondere die mittleren Nutzungszeiten, die zusammen um oberen und unteren Grenzwerten für die Nutzungszeiten und den Erhaltungskostensätzen in **ANHANG 1** dokumentiert sind, von Bedeutung. Diese Paramater stammen größtenteils aus dem o. a. Forschungsprojekt (*Zander, Birbaum, Schmidt 2015*), ergänzt durch eigene Erkenntnisse. Die angegebenen Kostensätze wurden mit den Preisindizes des Statistischen Bundesamts für Straßenbau auf den Kostenstand 1.1.2015 hochgerechnet und gerundet.

Bei den Erdkörpern (Dämme, Böschungen usw.) liegen nur für Bankette Mengen und belastbare Parameter zu Nutzungszeiten und Erhaltungskostensätzen vor. Abgesehen von den Banketten wurden daher die sonstigen, i. A. sehr langlebigen Erdkörper bei der Bedarfsermittlung nicht berücksichtigt.

In Abb. 5.21 sind die Bedarfswerte für die sonstigen Anlagenteile für die Bundesstraßen, die Bundesautobahnen und in der Summe für die Bundesfernstraßen zusammengestellt. Die länderspezifischen Bedarfswerte finden sich in **ANHANG 2**.

Bundesrepublik (Kostenstand 01.01.2015, inkl. 19 % MWSt.)
SAT = sonstige Anlagenteile
NEB = Nebenanlagen (Hochbauten)

	Bundesautobahnen			Bundesstraßen			Bundesfernstraßen		
	SAT	NEB	Ges.	SAT	NEB	Ges.	SAT	NEB	Ges.
Jahr	Mio. Euro – Instandsetzung/Erneuerung								
2016	191,5	19,3	210,8	136,2	13,7	149,9	327,8	33,0	360,8
2017	207,5	20,9	228,4	147,6	14,8	162,4	355,1	35,8	390,8
2018	228,8	23,1	251,8	162,7	16,3	179,1	391,5	39,4	430,9
2019	234,1	23,6	257,7	166,5	16,7	183,2	400,6	40,3	440,9
2020	239,4	24,2	263,6	170,3	17,1	187,4	409,7	41,3	450,9
2021	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2022	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2023	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2024	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2025	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2026	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2027	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2028	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2029	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2030	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
Summe	4.000,5	396,9	4.397,4	2.809,7	281,0	3.090,7	6.810,2	677,9	7.488,1
Jahre	Mio. Euro pro Jahr im 5- und 15-Jahresmittel – Instandsetzung/Erneuerung								
2016-2020	220,3	22,2	242,5	156,7	15,7	172,4	376,9	38,0	414,9
2021-2025	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2026-2030	289,9	28,6	318,5	202,6	20,2	222,9	492,6	48,8	541,4
2016-2030	266,7	26,5	293,2	187,3	18,7	206,0	454,0	45,2	499,2

Abb. 5.21: Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Instandsetzung und Erneuerung der sonstigen Anlagenteile und der Nebenanlagen (Hochbauten) sowie 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und 15-Jahres-Mittelwert für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen

Für den Finanzbedarf der Nebenanlagen, d. h. insbesondere der Hochbauten, wurde die Finanzplanung vom BMVI angesetzt, Als erhaltungsrelevant wurde die Position „Hochbauten bis 2 Mio. Euro“ aus den Titeln 711 12/22 des Bundesfernstraßenhaushalts angenommen. Die Werte für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen sind in Abb. 5.21 zusammengestellt. Die Aufteilung auf die Bundesländer erfolgte mit Hilfe einer Statistik

der Autobahn-/Straßenmeistereien, die in **ANHANG 1** aufgeführt ist. Die länderspezifischen Bedarfswerte finden sich in **ANHANG 2**.

Eine präzise szenarienmäßige Einordnung des Rechenergebnisses des Finanzbedarfs zur Erhaltung der sonstigen Anlagenteile ist schwer möglich. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass mit den Beträgen aus Abb. 5.21, die ab 2021 aufgeführt sind, in etwa der augenblickliche Zustand der betrachteten Anlagenteile gehalten werden kann. Bei den infolge der Finanzvorgaben reduzierten Beträgen für 2016 bis 2020 ist dies zumindest zweifelhaft. Ausdrücklich darauf hinzuweisen ist, dass, im Vergleich zu dem zugrundeliegenden Forschungsprojekt (*Zander, Birbaum, Schmidt 2015*), eher längere Nutzungszeiten und geringere Kostensätze angenommen wurden. Bei der Bedarfsermittlung für die sonstigen Anlagenteile handelt es sich somit um eine eher vorsichtig-konservative Abschätzung.

6 GESAMTER FINANZBEDARF FÜR DIE BAULICHE ERHALTUNG DER FERNSTRASSENINFRASTUKTUR

Die Gesamtsummen der Finanzvorgaben von 2016 bis 2020 sowie die Ergebnisse der Prognose des Finanzbedarfs zur baulichen Erhaltung der Fernstraßeninfrastruktur sind zusammengestellt in

- Abb. 6.1a für die Bundesautobahnen,
- Abb. 6.1b für die Bundesstraßen,
- Abb. 6.1c für die Bundesfernstraßen.

Ausgewiesen sind jeweils die Beträge für die einzelnen Jahre von 2016 bis 2030 (in Mio. Euro), die 5-Jahresmittelwerte der Halbdekaden von 2016 bis 2020, von 2021 bis 2025 und von 2026 bis 2030 sowie der 15-Jahresmittelwert von 2016 bis 2030 (jeweils in Mio. Euro pro Jahr). Bei den Fahrbahnbefestigungen sind neben den Gesamtbeträgen die Werte für die bauliche Unterhaltung und die Instandsetzung/Erneuerung aufgeführt; enthalten sind dabei die gesondert abgeschätzten Beträge für die Beseitigung von Schäden aus Alkali-Kieselsäure-Reaktionen (AKR). Bei den Ingenieurbauwerken sind die Gesamtbeträge aufgeteilt nach restlichen Ingenieurbauwerken, die Ertüchtigung von Brücken und die Instandsetzung/Erneuerung von Brücken.

Die aufsummierten Beträge des Finanzbedarfs zur Erhaltung der Fernstraßeninfrastruktur für die einzelnen Bundesländer sind in **ANHANG 2** dokumentiert.

In der Summe über den gesamten Prognosezeitraum von 2016 bis 2030 sind für die generellen Zielvorgaben „Zustandsverbesserung“ und „substanzbezogene Erhaltung“ folgende Gesamtbeträge erforderlich:

- 43 Mrd. Euro für die Bundesautobahnen,
- 24 Mrd. Euro für die Bundesstraßen,
- 67 Mrd. Euro für die Bundesfernstraßen.

Die Mittelwerte der drei Halbdekaden des Prognosezeitraums liegen für die

- Bundesautobahnen von
  - 2016 bis 2020 bei 2,5 Mrd. Euro pro Jahr,
  - 2021 bis 2025 bei 3,0 Mrd. Euro pro Jahr,
  - 2026 bis 2030 bei 3,1 Mrd. Euro pro Jahr,
- Bundesstraßen von
- - 2016 bis 2020 bei 1,5 Mrd. Euro pro Jahr,
  - 2021 bis 2025 bei 1,7 Mrd. Euro pro Jahr,
  - 2026 bis 2030 bei 1,7 Mrd. Euro pro Jahr,
- Bundesfernstraßen von
  - 2016 bis 2020 bei 4,0 Mrd. Euro pro Jahr,
  - 2021 bis 2025 bei 4,7 Mrd. Euro pro Jahr,
  - 2026 bis 2030 bei 4,7 Mrd. Euro pro Jahr.

Abb. 6.2 veranschaulicht den zeitlichen Verlauf der Finanzlinien für die Fahrbahnen, die Ingenieurbauwerke, die sonstigen Anlagenteile und die Nebenanlagen der Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen für die einzelnen Jahre des Prognosezeitraums.

Bundesrepublik Bundesautobahnen

(Kostenstand 01.01.2015, inkl. 19 % MWSt.)
Unt. = baul. Unterhaltung; I/EF = Instand./Erneu. Fahrbahnen
rIng. = restliche Ing.-Bauwerke; Ert = Brückenertüchtigung
I/EB = Instand./Erneu. Brücken; SN = Sonst. Anl./Nebenanl.

	Fahrbahnbefestigungen			Ingenieurbauwerke				SN	∑
	Unt.	I/EF	∑	rIng	Ert	I/EB	∑		Anlagen
Jahr	Mio. Euro – Bauliche Erhaltung/Ertüchtigung								
2016	165,0	1.008,6	1.173,6	55,3	361,0	366,0	782,3	210,8	2.166,7
2017	178,8	1.118,9	1.297,7	60,1	407,2	397,8	865,1	228,4	2.391,2
2018	197,1	1.210,1	1.407,2	66,5	486,4	385,7	938,6	251,8	2.597,7
2019	201,7	1.261,5	1.463,2	68,1	499,6	409,3	977,0	257,7	2.697,9
2020	206,3	1.296,4	1.502,7	69,7	512,8	416,6	999,1	263,6	2.765,4
2021	250,0	1.322,5	1.572,5	86,2	563,7	451,4	1.101,4	318,5	2.992,3
2022	250,0	1.301,3	1.551,3	96,0	624,7	452,1	1.172,8	318,5	3.042,6
2023	250,0	1.275,3	1.525,2	104,7	630,8	451,0	1.186,5	318,5	3.030,2
2024	250,0	1.256,0	1.506,0	113,3	630,8	457,2	1.201,3	318,5	3.025,7
2025	250,0	1.227,8	1.477,7	100,5	630,8	461,9	1.193,2	318,5	2.989,5
2026	255,9	1.211,6	1.467,5	124,2	630,8	459,2	1.214,2	318,5	3.000,2
2027	255,9	1.207,7	1.463,6	207,5	624,7	466,4	1.298,6	318,5	3.080,6
2028	255,9	1.207,1	1.463,0	208,5	624,7	470,6	1.303,9	318,5	3.085,4
2029	255,9	1.208,0	1.463,9	209,9	624,7	467,3	1.301,9	318,5	3.084,3
2030	255,9	1.207,4	1.463,3	191,4	624,7	465,9	1.282,1	318,5	3.063,8
Summe	3.478,5	18.319,9	21.798,4	1.762,1	8.477,4	6.578,5	16.817,9	4.397,4	43.013,7
Jahre	Mio. Euro pro Jahr im 5- und 15-Jahresmittel – Bauliche Erhaltung/Ertüchtigung								
2016-2020	189,8	1.179,1	1.368,9	64,0	453,4	395,1	912,4	242,5	2.523,8
2021-2025	250,0	1.276,6	1.526,5	100,2	616,2	454,7	1.171,0	318,5	3.016,1
2026-2030	255,9	1.208,3	1.464,3	188,3	625,9	465,9	1.280,1	318,5	3.062,9
2016-2030	231,9	1.221,3	1.453,2	117,5	565,2	438,6	1.121,2	293,2	2.867,6

Abb. 6.1a: Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Erhaltung der Straßenverkehrsanlagen und der Nebenanlagen sowie 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und 15-Jahres-Mittelwert für die Bundesautobahnen

Bundesrepublik Bundesstraßen

(Kostenstand 01.01.2015, inkl. 19 % MWSt.)
Unt. = baul. Unterhaltung I/EF = Instand./Erneu. Fahrbahnen
rIng. = restliche Ing.-Bauwerke Ert = Brückenertüchtigung
I/EB = Instand./Erneu. Brücken RS = Radwege/Sonst. Anl./Nebenanl.

	Fahrbahnbefestigungen			Ingenieurbauwerke				RS	∑
	Unt.	I/EF	∑	rIng	Ert	I/EB	∑		Anlagen
Jahr	Mio. Euro – Bauliche Erhaltung/Ertüchtigung								
2016	79,6	588,5	668,0	27,2	189,0	229,0	445,3	159,5	1.272,8
2017	86,2	652,7	738,9	29,5	212,8	250,4	492,7	172,8	1.404,4
2018	95,0	706,2	801,2	32,7	253,6	248,0	534,3	190,6	1.526,1
2019	97,2	737,3	834,5	33,5	260,4	262,6	556,5	195,0	1.586,0
2020	99,5	754,1	853,6	34,3	267,2	267,6	569,1	199,4	1.622,1
2021	110,7	749,0	859,7	38,7	290,8	267,8	597,4	237,1	1.694,2
2022	110,7	744,9	855,7	42,5	325,0	236,0	603,5	237,1	1.696,3
2023	110,7	739,8	850,6	69,8	328,4	211,2	609,4	237,1	1.697,1
2024	110,7	737,8	848,5	79,3	328,4	194,6	602,3	237,1	1.688,0
2025	110,7	743,9	854,7	74,5	328,4	186,0	588,9	237,1	1.680,7
2026	110,7	744,6	855,3	63,7	328,4	196,7	588,8	237,1	1.681,2
2027	110,7	741,1	851,9	80,3	325,0	193,4	598,7	237,1	1.687,7
2028	110,7	729,9	840,6	87,1	325,0	179,6	591,6	237,1	1.669,4
2029	110,7	721,1	831,9	85,7	325,0	169,8	580,6	237,1	1.649,6
2030	110,7	703,7	814,5	90,6	325,0	150,2	565,8	237,1	1.617,4
Summe	1.565,0	10.794,6	12.359,5	869,4	4.412,6	3.242,9	8.524,9	3.288,6	24.173,0
Jahre	Mio. Euro pro Jahr im 5- und 15-Jahresmittel – Bauliche Erhaltung/Ertüchtigung								
2016-2020	91,5	687,7	779,2	31,4	236,6	251,5	519,6	183,5	1.482,3
2021-2025	110,7	743,1	853,8	61,0	320,2	219,1	600,3	237,1	1.691,3
2026-2030	110,7	728,1	838,8	81,5	325,7	177,9	585,1	237,1	1.661,1
2016-2030	104,3	719,6	824,0	58,0	294,2	216,2	568,3	219,2	1.611,5

Abb. 6.1b: Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Erhaltung der Straßenverkehrsanlagen und der Nebenanlagen sowie 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und 15-Jahres-Mittelwert für die Bundesstraßen

Bundesrepublik Bundesfernstraßen

(Kostenstand 01.01.2015, inkl. 19 % MWSt.)
Unt. = baul. Unterhaltung; I/EF = Instand./Erneu. Fahrbahnen
rIng. = restliche Ing.-Bauwerke; Ert = Brückenertüchtigung
I/EB = Instand./Erneu. Brücken; RS = Radwege/Sonst. Anl./Nebenanl.

Jahr	Fahrbahnbefestigungen			Ingenieurbauwerke				RS	∑
	Unt.	I/E	∑	rIng	Ert	I/EB	∑		Anlag.
	Mio. Euro – Bauliche Erhaltung/Ertüchtigung								
2016	244,6	1.597,0	1.841,6	82,5	550,0	595,0	1.227,5	370,4	3.439,6
2017	265,0	1.771,5	2.036,5	89,6	620,0	648,2	1.357,8	401,3	3.795,6
2018	292,2	1.916,2	2.208,4	99,2	740,0	633,7	1.472,9	442,4	4.123,7
2019	299,0	1.998,7	2.297,7	101,6	760,0	671,9	1.533,5	452,7	4.283,9
2020	305,8	2.050,6	2.356,3	104,0	780,0	684,2	1.568,2	463,0	4.387,5
2021	360,7	2.071,5	2.432,2	125,0	854,5	719,2	1.698,7	555,6	4.686,5
2022	360,7	2.046,2	2.406,9	138,5	949,7	688,1	1.776,4	555,6	4.738,9
2023	360,7	2.015,1	2.375,8	174,5	959,2	662,2	1.795,9	555,6	4.727,4
2024	360,7	1.993,7	2.354,5	192,7	959,2	651,7	1.803,6	555,6	4.713,7
2025	360,7	1.971,7	2.332,4	175,0	959,2	647,9	1.782,1	555,6	4.670,1
2026	366,7	1.956,2	2.322,9	187,8	959,2	655,9	1.802,9	555,6	4.681,4
2027	366,7	1.948,8	2.315,5	287,8	949,7	659,8	1.897,3	555,6	4.768,4
2028	366,7	1.937,0	2.303,7	295,6	949,7	650,2	1.895,5	555,6	4.754,8
2029	366,7	1.929,1	2.295,8	295,7	949,7	637,1	1.882,5	555,6	4.733,9
2030	366,7	1.911,1	2.277,7	282,0	949,7	616,1	1.847,9	555,6	4.681,2
Summe	5.043,5	29.114,5	34.157,9	2.631,5	12.890,0	9.821,3	25.342,8	7.686,0	67.186,7
Jahre	Mio. Euro pro Jahr im 5- und 15-Jahresmittel – Bauliche Erhaltung/Ertüchtigung								
2016-2020	281,3	1.866,8	2.148,1	95,4	690,0	646,6	1.432,0	425,9	4.006,1
2021-2025	360,7	2.019,6	2.380,4	161,1	936,4	673,8	1.771,3	555,6	4.707,3
2026-2030	366,7	1.936,4	2.303,1	269,8	951,6	643,8	1.865,2	555,6	4.724,0
2016-2030	336,2	1.941,0	2.277,2	175,4	859,3	654,8	1.689,5	512,4	4.479,1

Abb. 6.1c: Finanzvorgaben der Jahre 2016 bis 2020 und Finanzbedarf der Jahre 2021 bis 2030 zur Erhaltung der Straßenverkehrsanlagen und der Nebenanlagen sowie 5-Jahres-Mittelwerte der Halbdekaden und 15-Jahres-Mittelwert für die Bundesfernstraßen

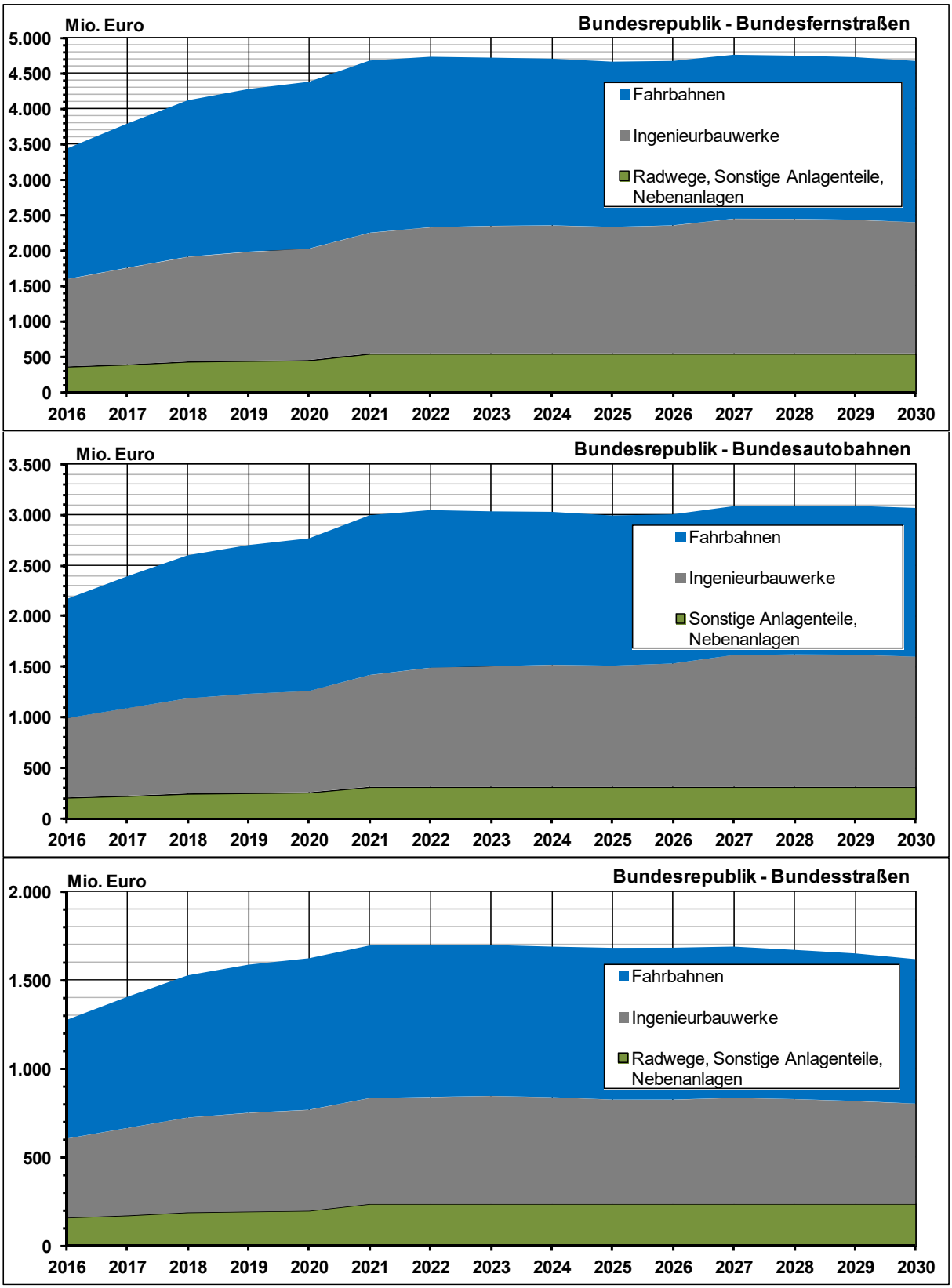


Abb. 6.2: Zeitlicher Verlauf der Finanzlinien für die Fahrbahnen, die Ingenieurbauwerke sowie die sonstigen Anlagenteile mit Radwegen und Nebenanlagen der Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Bundesfernstraßen

	%-Anteile im 5- und 15-Jahresmittel			
Bundesautobahnen	2016 - 2020	2021 - 2025	2026 - 2030	2016 - 2030
Fahrbahnen	54,2	50,6	47,8	50,7
Ingenieurbauwerke	36,2	38,8	41,8	39,1
Sonst. Anl., Nebenanlagen	9,6	10,6	10,4	10,2
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0
Bundesstraßen	2016 - 2020	2021 - 2025	2026 - 2030	2016 - 2030
Fahrbahnen	52,6	50,5	50,5	51,1
Ingenieurbauwerke	35,1	35,5	35,2	35,3
Radw., Sonst. Anl., Nebenanl.	12,4	14,0	14,3	13,6
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0
Bundesfernstraßen	2016 - 2020	2021 - 2025	2026 - 2030	2016 - 2030
Fahrbahnen	53,6	50,6	48,8	50,8
Ingenieurbauwerke	35,7	37,6	39,5	37,7
Radw., Sonst. Anl., Nebenanl.	10,6	11,8	11,8	11,4
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0

Abb. 6.3: Prozentuale Aufteilung des Finanzbedarfs zur Erhaltung der Fernstraßeninfrastruktur auf die Anlagenaggregate im 5- und 15-Jahresmittel

Abb. 6.3 veranschaulicht die prozentuale Aufteilung des Finanzbedarfs zur Erhaltung der Fernstraßeninfrastruktur auf die Anlagenaggregate im 5- und 15-Jahresmittel für die Bundesautobahnen, die Bundesstraßen und die Bundesfernstraßen insgesamt. Es wird deutlich, dass bei den Bundesautobahnen in der letzten Halbdekade der Anteile der Ingenieurbauwerke, auch infolge der Ertüchtigung, kontinuierlich ansteigt. Bei den Bundesstraßen sind die Relationen über den Prognosezeitraum relativ stabil.

LITERATUR (SCHLUSSBERICHT)

Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau (BMV 2004):
RI-EBW-PRÜF – Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerkshauptprüfung nach DIN 1076. Dortmund, Verkehrsblatt – Verlag 2004.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abt. Straßenbau, Straßenverkehr (BMVBS 2009):
Richtlinie zur Erhebung des Anlagebestandes der Bundesfernstraßen unter Berücksichtigung des Leistungsheftes für den Straßenbetriebsdienst sowie der Anweisung Straßeninformationsbank; Teilsystem: Bestand. Version 1.0, 09.07.09.

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV 1990):
Arbeitspapier zur Systematik der Straßenerhaltung. Nr. 9/F1: Hinweise zur Durchführung einer Finanzbedarfsprognose auf der Grundlage von Bestandsdaten. Köln, November 1990.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 1998):
Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Instandsetzung/Erneuerung von Verkehrsflächen –Asphaltbauweisen: ZTV-BEA-StB 98. Arbeitsgruppe Asphaltstraßen, Arbeitsausschuss Erhaltung von Asphaltstraßen. Köln, 1998.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 2001):
Arbeitspapiere zur Systematik der Straßenerhaltung AP 9. Zustandserfassung und –bewertung der Fahrbahnoberfläche von Straßen (ZEB). Köln, Ausgabe 2001.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 2003)
Arbeitsausschuss Systematik der Straßenerhaltung:
FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung. Reihe S Substanzwert (Bestand). Ausgabe 2003. Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 2006):
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und –bewertung von Straßen. ZTV ZEB-StB, Stand 2006.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV 2001b):
Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen. RPE-Stra 01. Ausgabe 2001.

Fischer, L.; Brannolte U. (2006):
Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen BASt-Bericht V 142.

Freitag, N.; Pommerening, D.; Walther, C; Stadler, A. (2003):
Weiterentwicklung des Verfahrens zur Ermittlung von Baulastträgerkosten im Rahmen des BMS. Schlussbericht zum FE 15.371/2002/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. KHP König Heunisch Planungsgesellschaft mbh und PTV traffic mobility logistics. Leipzig 2003.

Grätz, B.(1997):
Rücksetzbereiche und Folgeverhaltensfunktionen von Erhaltungsmaßnahmen. FE 04.173 G95B im Auftrag des BMV, Versuchsanstalt für Straßenwesen der TH Darmstadt, 1997

Haardt, P. (1999a):
Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken und Ingenieurbauwerken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B25, Bergisch Gladbach 1999.

Haardt, P. (1999b):
Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B22, Bergisch Gladbach 1999.

Haardt, P. (2002):
Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz. Stufe 1 und 2. Schlussbericht zum AP-Projekt 99 245. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, August 2002.

Hinsch, K.; Krause, G.; Maerschalk, G.; Rübensam, J (2002).:
Standardprognose des Erhaltungsbedarfs der Fernstraßeninfrastruktur bis 2015. Schlussbericht zum Projekt-Nr. 28.004/199/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. München, Dezember 2002.

Krause, G. (2013):
PMS-Anwendung zur Bedarfsprognose und Erstellung eines Erhaltungsprogramms für die Fahrbahnen der Bundestraßen mit verbessertem Prognoseinstrumentarium und aktualisierten Daten für Mecklenburg-Vorpommern. Schlussbericht zu Projekt FE 29.0321/2013/MV. München.

Krause, G. (2014):
Weiterentwicklung für PMS Bundesstraßen in NRW - PMS Rechenläufe zur Bedarfsermittlung mit verbesserten Prognoseinstrumentarien. Schlussbericht zum Projekt des Nr. 00-13-0001 von Strassen.NRW, Betriebssitz Gelsenkirchen. München.

Krause, G. (2015):
PMS-Anwendung zur Bedarfsprognose und Erstellung von Maßnahmevorschlägen für die Fahrbahnen der Bundestraßen in Niedersachsen mit verbessertem Prognoseinstrumentarium und aktualisierten Daten. Schlussbericht zum Projekt der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr. München.

Krause, G.; Maerschalk, G. (1998):
Ermittlung des eines repräsentativen Titelsplittings im Bundesfernstraßenhaushalt zur Abgrenzung von Erhaltungs-, Erweiterungs- bzw. Nichtinvestitionsanteilen. VU 28007/1997/ des Bundesministers für Verkehr. SEP Maerschalk. München, Mai 1998.

Krause, G.; Maerschalk, G. (2014):
Weiterentwicklung des Substanzwertes Gesamt im PMS. Schlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt FE 04.228/2009/MRB des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. SEP Maerschalk, November 2014.

Maerschalk, G.; Hinsch, K. (2008):
Einbindung der baulichen Unterhaltung in Verfahren für das Erhaltungsmanagement. Schlussbericht zum FE 09.131/2003/MGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. SEP Maerschalk, München, März 2008.

Maerschalk, G.; Krause, G.; Hinsch, K. (2012):
Überprüfung und Aktualisierung der Erhaltungsbedarfsprognose der Bundesfernstraßen. Projekt-Nr. 28.0021/2007/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. SEP Maerschalk, München, März 2012

Maerschalk, G.; Oertelt, S. (2014):
Entwicklung einer PMS-Anwendung für die Astfahrbahnen der BAB in Brandenburg zur Verbesserung des Prognoseinstrumentariums. Schlussbericht zum FE 29.0329/2013/BB im Auftrag des Landesbetriebs Straßenwesen Brandenburg. SEP Maerschalk, München November 2014.

Maerschalk, G.; Oertelt, S. (2016):
Messtechnische Zustandserfassung und –bewertung und PMS-basierte Erhaltungsplanung auf Radwegen an Bundesstraßen in Brandenburg. FE 29.0330/2013/BB im Auftrag des Landesbetriebs Straßenwesen Brandenburg. SEP Maerschalk, München 2016.

Rübensam, J.; Schulze, F. (1996):
Entwicklung einer Methodik zur zweckmäßigen Zusammenfassung maßnahmebedürftiger Abschnitte der BAB-Betriebsstrecken auf der Grundlage von Zustands- und Bestandsdaten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 736. Bonn-Bad Godesberg, 1996.

Zander U., Birbaum J., Schmidt S. (2015):
Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagenteile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements. Schriftenreihe Verkehrstechnik der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 256.

ANLAGE: VERFAHRENSBESCHREIBUNG

Die für die Prognose des Finanzbedarfs der Bundesfernstraßeninfrastruktur angewendeten Verfahren werden nachfolgend in Form von zusammenfassenden Beschreibungen dokumentiert. Dabei sind jeweils Unterlagen angegeben, die weitergehende Detailinformationen zu den Verfahren vermitteln, aus hauptsächlich urheberrechtlichen Gründen aber nicht in die Verfahrensdokumentation aufgenommen werden können.

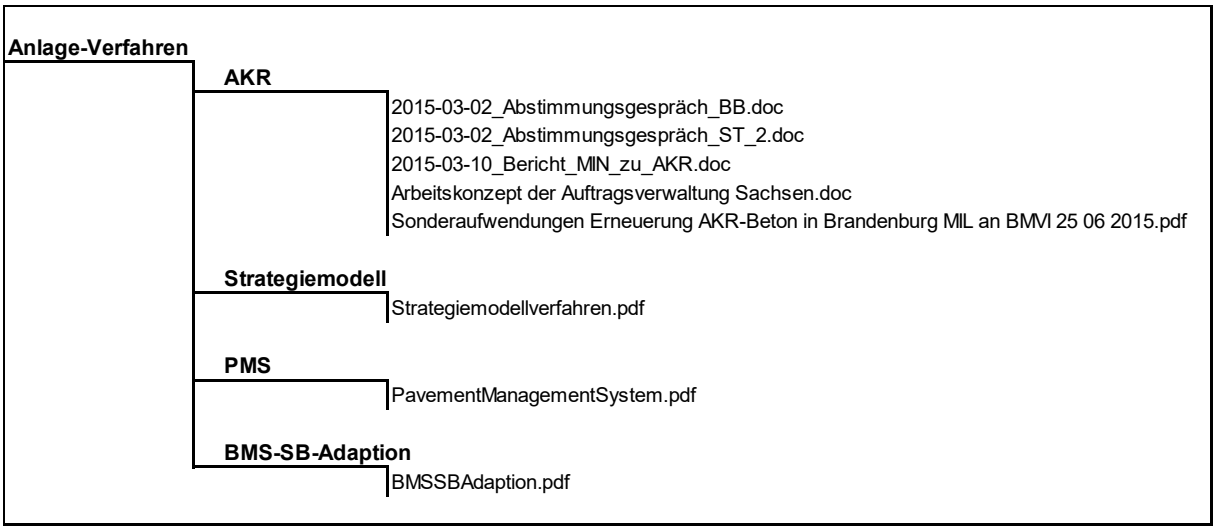
Die Beschreibungen beziehen sich auf:

- Das Strategiemodellverfahren, angewendet für Äste, Betriebsflächen, Radwege und sonstige Anlagenteile.
- Die für netzweite Bedarfsprognosen modifizierte Variante des Pavement Management Systems, angewendet für die durchgehenden Fahrbahnen.
- Die Nachbildung des Moduls SB des Bauwerks-Management-Systems, angewendet für Brücken und die restlichen Ingenieurbauwerke.

Die Verfahrensbeschreibungen sind zusätzlich noch digital hinterlegt in einem Verzeichnis **ANLAGE**. Dort finden sich auch:

- Die Meldungen der Bundesländer mit Problemen hinsichtlich Alkali-Kieselsäure-Reaktionen (AKR) einschließlich einer Abschätzung des Landes Brandenburg zu den für die Beseitigung der daraus resultierenden Schäden erforderlichen Finanzmitteln, die anteilig auch für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen übernommenen wurde (Verzeichnis „AKR“).

Die nachfolgende Grafik zeigt die Verzeichnisstruktur von **ANLAGE**.



Strategiemodellverfahren

Die Anwendung des Strategiemodellverfahrens ist im Detail dokumentiert in:

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen:
Arbeitspapier zur Systematik der Straßenerhaltung. Nr. 9/F1: Hinweise zur Durchführung einer Finanzbedarfsprognose auf der Grundlage von Bestandsdaten. Köln, November 1990.

Dieses FGSV-Arbeitspapier basiert auf:

Schmuck, A.; Oefner, G.; Rezanka, S.:
Strategiemodellverfahren zur Ermittlung des Finanzbedarfs für die Erhaltung des Straßenoberbaus. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 456, Bonn-Bad Godesberg, 1986.

Das Strategiemodellverfahren ist eine Berechnungsmethode für den Finanzbedarf der Straßenerhaltung, die auf empirisch ermittelten Nutzungsdauern und konkreten Erhaltungsmaßnahmearten basiert. Dabei können auch globale Erhaltungsziele (z. B. Beibehaltung des Status-quo im Netzzustand) einbezogen werden. Im Strategiemodellverfahren werden alle Straßenabschnitte (bzw. alle Brückenbauwerke) eines betrachteten Straßennetzes bestimmten Gruppen zugeordnet. Nicht für Einzelabschnitte bzw. –bauwerke, sondern für diese Gruppen werden dann empirisch abgesicherte Annahmen über die Art, die zeitliche Abfolge und die Kosten von Erhaltungsmaßnahmen so getroffen, dass sie zusammengefügt eine sinnvolle, wirtschaftlich vertretbare und praxisgerechte Erhaltungsstrategie ergeben.

Das Strategiemodellverfahren wird derzeit für die Äste, Seitenstreifen, Betriebsflächen und Radwege angewendet.

Der Konzeption des Strategiemodellverfahrens liegt die durch das Herstellungsjahr (letztes Erneuerungsjahr) repräsentierte Altersstruktur zugrunde. Diese Altersstruktur muss bei differenzierten Betrachtungen für sog. Merkmalsgruppen des Straßenbestands bekannt sein. Dazu müssen die Abschnitte eines Straßennetzes zunächst derartigen Merkmalsgruppen zugewiesen werden. Für diese Gruppenbildung werden die für die Erhaltungsstrategien kennzeichnenden Merkmale des Straßenoberbaus herangezogen. Die damit abgegrenzten Gruppen sollten innerhalb der Gruppe bezüglich der Erhaltungsmaßnahmearten, der Maßnahmekosten und der Folgezeiten zwischen den Erhaltungsmaßnahmen (Erhaltungsintervalle) möglichst ähnlich („homogen“) sein, sich aber untereinander diesbezüglich signifikant unterscheiden. Nach einer derartigen Aufgliederung, die den Bestand vollständig abdecken muss, können den einzelnen Gruppen definierte, auf die charakteristischen Merkmale abgestimmte Erhaltungsstrategien zugeordnet werden.

Es gibt eine Vielzahl von Faktoren, die Einfluss auf erhaltungstechnische und erhaltungsstrategische Entscheidungen haben können. Bei der Abgrenzung von Merkmalsgruppen für das Strategiemodellverfahren werden nur diejenigen Faktoren berücksichtigt, die einen dominierenden Einfluss auf Erhaltungsmaßnahmearten, Maßnahmekosten oder Erhaltungsintervalle

haben und die im Regelfall verfügbar bzw. mit vertretbarem Aufwand zuverlässig erfassbar sind. Dazu gehören in erster Linie die Merkmale „Straßenkategorie“, „Schwerverkehrsbelastung“, „Bauweise“ und „Querschnittsausprägung“. Für die Bildung „erhaltungshomogener“ Gruppen werden im Wesentlichen die in Abb. S1 aufgeführten Ausprägungen dieser Einflussfaktoren verwendet. Grundsätzlich müssen aber für die Anwendung des Strategiemodells nur die Menge (z. B. Flächenabmessungen) und die Altersverteilung des betrachteten Anlagenbestands bekannt sein. Die darüber hinaus noch verfügbaren Daten (s. z. B. Abb. S1) werden ausschließlich zur Einteilung von Merkmalsgruppen herangezogen. Dafür sind notfalls auch relativ undifferenzierte Angaben ausreichend.

Merkmale	Ausprägungen im Strategiemodellverfahren
Straßenkategorie	Bundesautobahnen, Bundesstraßen (Landesstraßen, Kreisstraßen oder kommunale Straßentypen)
Schwerverkehrs-belastung	Bauklassen gemäß den Verkehrsbelastungszahlen (VB - Zahlen) der RStO 86/89 (bzw. früher der RStO 75)
Bauweise	Art der Decke (Asphaltbeton, Gussasphalt, Splittmastix, Beton)
Querschnitts-abmessungen	Anzahl und Breite der Fahrstreifen pro Richtung oder Fahrbahnbreite (bzw. Regelquerschnitte)

Abb. S1: Merkmalsausprägungen für die Aufgliederung des Straßenoberbaus in Merkmalsgruppen

Als Parameter zur Beschreibung von Erhaltungsstrategien dienen im Strategiemodellverfahren die Maßnahmearten, die Maßnahmekosten sowie die Zeiträume zwischen aufeinanderfolgenden Erhaltungsmaßnahmen (Erhaltungsintervalle). Dafür kommen keine festen Werte, sondern statistische Verteilungen zum Ansatz. Damit soll zum einen der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die Modellparameter nur mit erheblichen Unsicherheiten quantifizierbar sind. Darüber hinaus sind einige Merkmale, die großen Einfluss auf das Befestigungsverhalten und die Erhaltungsstrategien haben können, nur sehr schwer erfassbar; sie müssen im Regelfall unberücksichtigt bleiben. So kann z.B. die Qualität der Bauausführung, speziell in Bezug auf die Gleichmäßigkeit der Schichtdicken oder die korrekte Zusammensetzung bzw. Einbautemperatur des Mischguts, nur durch aufwendige und langwierige Laborversuche, d. h. nur für ausgewählte Straßenabschnitte und keinesfalls netzdeckend, ermittelt werden. Durch Annahme wahrscheinlichkeitsverteilter Nutzungszeiten, die i. A. als logistische Verteilungen oder als Normalverteilungen angesetzt werden, lassen sich Unsicherheiten aufgrund dieser nur schwer erfassbaren Merkmale teilweise kompensieren.

Die konkret angesetzten Verteilungen für die Nutzungszeiten und die Erhaltungsmaßnahmearten stammen überwiegend aus Analysen zur Erhaltungsgeschichte (*Hinsch, Maerschalk, Pingel, 1990, Rübensam, Schulze 1994, Rübensam, Schulze 1995, Maerschalk, Rübensam 1997*). Den verwendeten Maßnahmekosten für den Straßenoberbau liegt eine Basiskalkulation zugrunde (*Schmuck, Becker, Oefner 1981*). Die daraus abgeleiteten Kostengrößen werden für konkrete Anwendungsfälle mit den Preisindizes des Statistischen Bundesamtes für die einzelnen Teilleistungen auf das jeweilige Bezugsjahr hochgerechnet. Die auf diese Weise ermittelten Maßnahmekosten wurden in der Vergangenheit immer wie-

der stichprobenartig überprüft und im Regelfall bestätigt (*Oefner, Krmek, Nußrainer 2004*; *Zander, Birbaum 2011*).

Für die Anwendung des Strategiemodellverfahrens muss neben den Verteilungen der Modellparameter und den Merkmalen zur Abgrenzung erhaltungshomogener Gruppen noch die Altersstruktur des Flächenbestands („Investitionszeitreihe“) der jeweiligen Gruppen bekannt sein. Maßgeblich für die Einordnung der Flächenbestände in diese Investitionszeitreihe ist dabei das Jahr der (erstmaligen) Herstellung bzw. der letzten (Decken- oder grundlegenden) Erneuerung. Mit der Altersstruktur wird der Finanzbedarf für die Erhaltung des Straßenoberbaus über eine Simulationsrechnung („Monte-Carlo-Methode“) nach der in Abb. S2a bzw. S2b schematisch veranschaulichten, nachfolgend mit Bezug auf die dort aufgeführten Rubriken stichpunktartig erläuterten Verfahrensweise bestimmt:

1 Unter Berücksichtigung der verfügbaren Daten wird der Anlagenbestand in Merkmalsgruppen unterteilt, die im Hinblick auf die anzuwendenden Erhaltungsmaßnahmearten, die Erhaltungskosten und auch im Hinblick auf das Verhalten möglichst homogen sind. Für die Merkmalsgruppen muss, ausgehend vom Zeitpunkt der erstmaligen Herstellung bzw. letzten Erneuerung, die Altersstruktur ermittelt werden.

2 Die einzelnen Jahresanteile der Alterszeitreihe werden nunmehr, wie beispielhaft für den Jahrgang 1990 dargestellt, mit den für die betrachtete Merkmalsgruppe spezifischen Verteilungen der Erhaltungsintervalle überlagert. Die mit Hilfe eines Simulationsverfahrens („Monte-Carlo-Methode“) vorgenommene Überlagerung erfolgt getrennt für
   2.1 die Deckschicht,
   2.2 die Decke (Deck- und Binderschicht) und
   2.3 die (Deck-, Binder- und) Tragschicht(en).

3 Die damit zunächst ermittelten prozentualen Anteile der Erhaltungsflächen eines Jahrgangs (z. B. 1990) für die Instandsetzung der Deckschicht, die Erneuerung der Decke sowie die Erneuerung der Deck-/Binder- und Tragschicht(en) werden addiert.

4 Die Flächenzuweisung wird für alle Jahrgänge der Alterszeitreihe wiederholt, so dass schließlich alle auf den Prognosezeitraum (Abb. 2a von 2001 bis 2020) entfallenden und zur Erhaltung anstehenden Flächen bekannt sind.

5 Die Erhaltungsflächen werden anschließend kombinatorisch mit den verschiedenen Erhaltungsmaßnahmearten verknüpft. Die Instandsetzungsmaßnahmen (I) und die Erneuerungsmaßnahmen (E1 bzw. E2) ergänzen sich dabei jeweils zu 100%; sie werden als gleichverteilt angesetzt.

6 Die Erhaltungsflächen der einzelnen Maßnahmearten werden bei der Zuweisung gemäß Rubrik 5 mit den in Form von Einheitspreisen (Euro pro m²) vorliegenden Maßnahmekosten multipliziert. Für die Einheitspreise werden normalerweise Mittelwerte angesetzt; sie können jedoch auch normalverteilt angenommen werden.

7 Aus der multiplikativen Verknüpfung ergeben sich die relativen Erhaltungskosten (in Euro pro m² und Jahr) der einzelnen Jahrgänge des Prognosezeitraums.

8 Über eine Multiplikation mit der Gesamtfläche der betrachteten Merkmalsgruppe kann der absolute Finanzbedarf für die Erhaltung des Straßenoberbaus ermittelt werden.

9 Um Unsicherheiten in den Modellparametern oder der Alterszeitreihe auszugleichen, werden die zunächst für die Einzeljahre des Prognosezeitraums ermittelten Erhaltungskosten häufig als Mittelwerte einer längeren Zeitperiode ausgewiesen (z. B. als 5-Jahres-Mittelwerte).

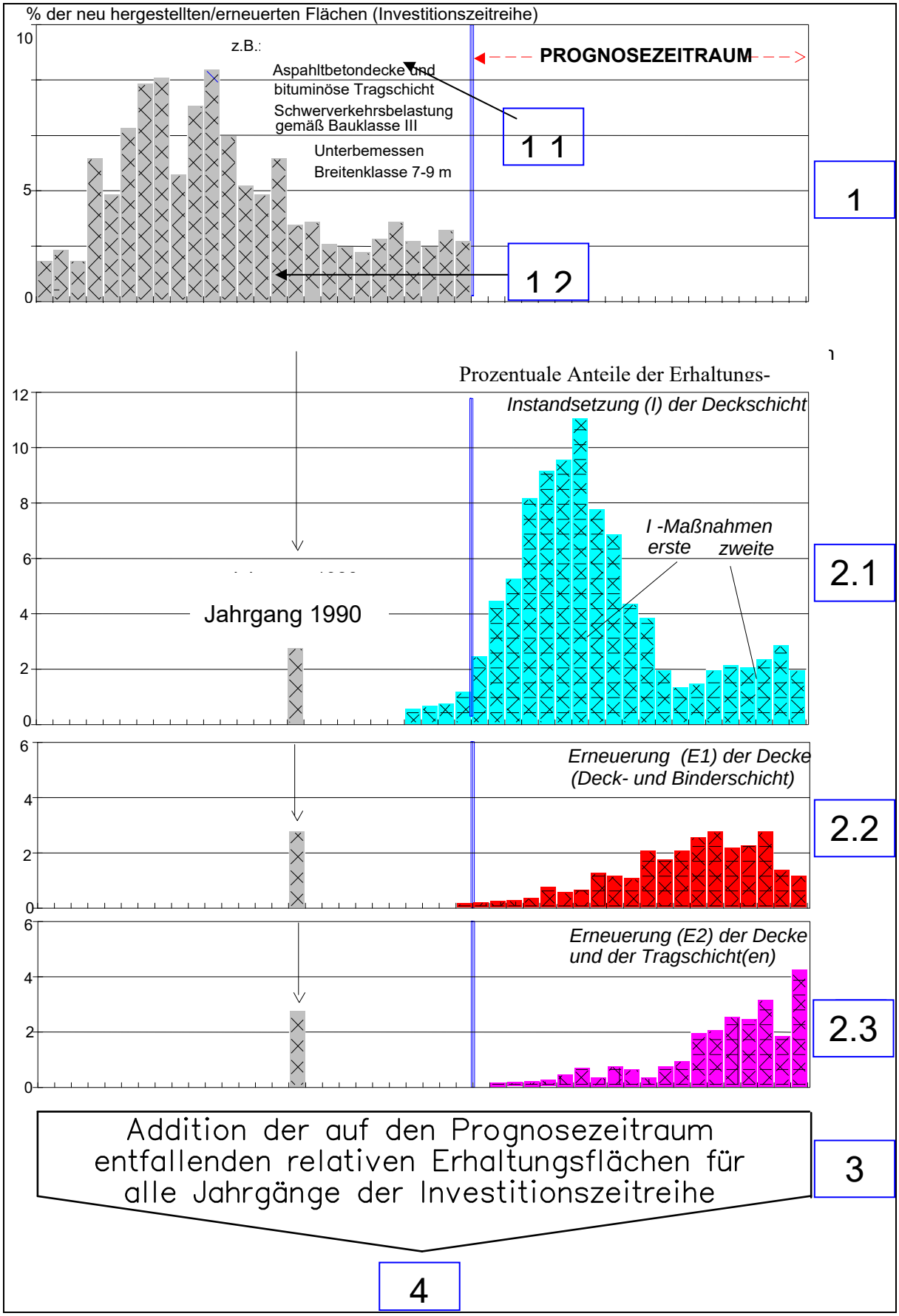


Abb. S2a: Ablauf des Strategiemodellverfahren

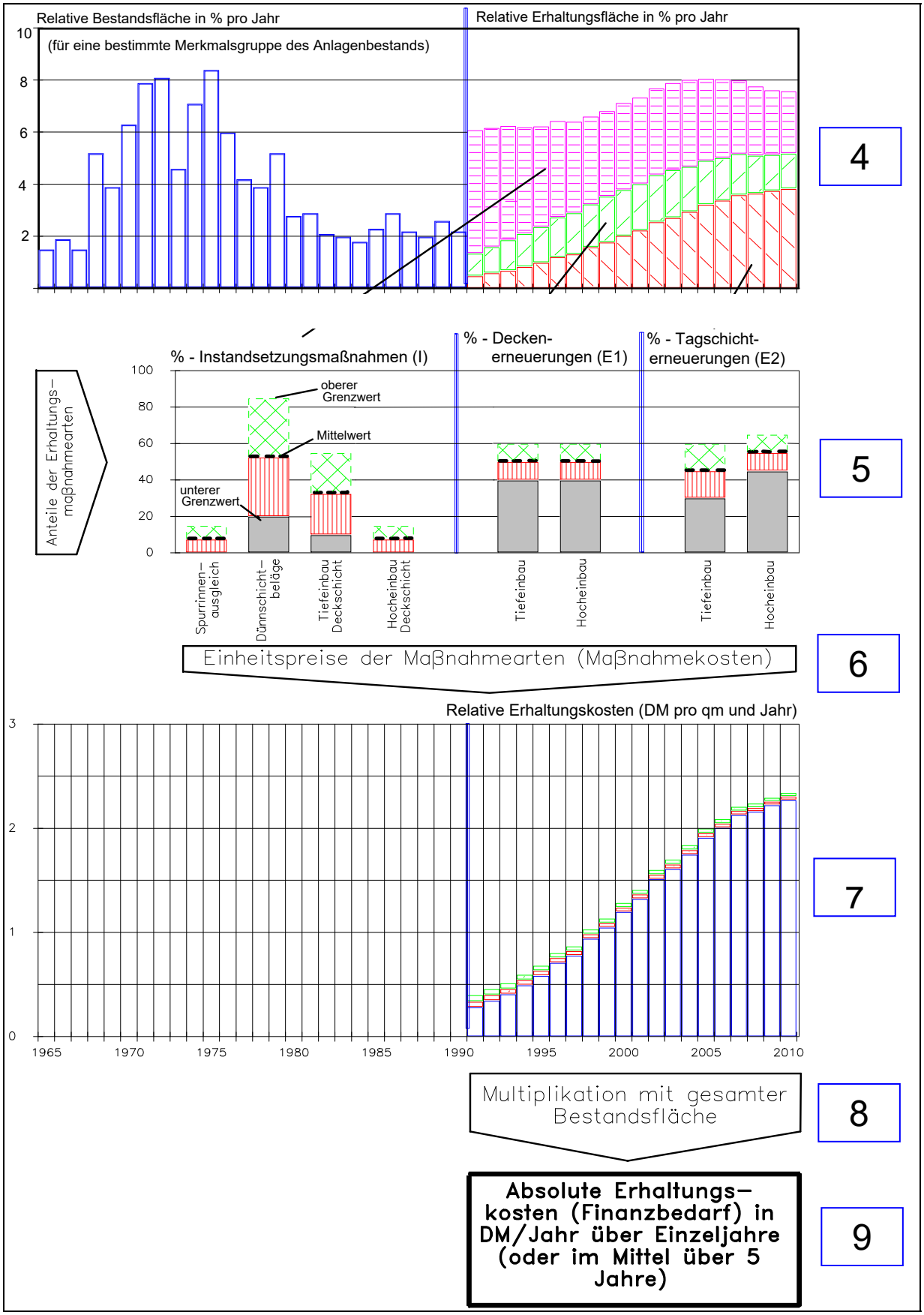


Abb. S2b: Ablauf des Strategiemodellverfahren

LITERATUR - STRATEGIEMODELLVERFAHREN:

Hinsch, K.; Maerschalk, G.; Pingel, C (1990).:
Untersuchungen zur Häufigkeitsverteilung von Erhaltungsmaßnahmen und Erhaltungsintervallen aufgrund von Netzanalysen zur Fortschreibung der Bedarfsermittlung für Bundesfernstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 584. Bonn-Bad Godesberg , 1990.

Maerschalk, G.; Rübensam, J. 1997):
Auswertung von Straßenzustandsmerkmalen im Straßennetz des ehemaligen DDR-Gebiets. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 632. Bonn-Bad Godesberg , 1992.

Oefner, G.; Krmek, M.; Nußrainer, C. (2004):
Kostenermittlung für Erhaltungsmaßnahmen zur Bestimmung der Kosteneingangsgrößen für das PMS (Pavement Management System). Institut für Verkehrswesen und Straßenverkehrsanlagen, Universität der Bundeswehr München. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 896. Bonn, 2004.

Rübensam, J.; Schulze F (1995).:
Auswertung von Langzeitbeobachtungsdaten zur Beantwortung von Fragestellungen des Managements der Straßenerhaltung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 712. Bonn-Bad Godesberg , 1995.

Rübensam, J.; Schulze F. 1994):
Ermittlung wirtschaftlich optimaler Maßnahmearten für die Straßenerhaltung insbesondere im Zusammenhang mit dem Erhaltungsbedarf in den fünf neuen Bundesländern. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 667. Bonn-Bad Godesberg , 1994.

Schmuck, A.; Becker H.; Oefner, G (1981).:
Einflussgrößen, Berechnungsansätze und Sensitivitätstests für die Straßenbaulastträgerkosten im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnungen für Straßenbefestigungen und Erweiterung von Berechnungsansätzen und Sensitivitätstests sowie Entwicklung von Verhaltens- und Managementmodellen der Wirtschaftlichkeitsrechnung für Straßenbefestigungen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 324. Bonn-Bad Godesberg, 1981.

Zander, U.; Birbaum, J. (2011)
Aktualisierung der Kostendaten.. Schlussbericht zum FE 29.0196/2008/ der Bundesanstalt für Straßenwesen. Universität Siegen. Institut für Straßenwesen. Siegen Juni 2011.

Pavement Management System

Sofern differenzierte Zustandsdaten aus der messtechnischen Erfassung ZEB zusammen mit Querschnittsdaten, Aufbaudaten und Verkehrsdaten flächendeckend zur Verfügung stehen, sind die Voraussetzungen für die Anwendung des objektbezogenen Pavement Management Systems (PMS) erfüllt. Dies trifft derzeit für die durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen und Bundesstraßen zu (**s. ANHANG 1 – Datendokumentation**).

Das PMS wurde bereits für die Bedarfsermittlung der Fahrbahnbefestigungen im Rahmen der Prognose zum BVWP 2003 (*Hinsch, Krause, Maerschalk, Rübensam 2002*) und im Rahmen der Prognose zur Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs für 2011 bis 2025 (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*) herangezogen. Nachfolgend wird der Inhalt des für die Bedarfsprogose zum BVWP 2015 aktualisierten PMS zusammenfassend dargestellt.

Die Anwendung des Pavement Management Systems (PMS) ist im Detail mit allen zugehörigen Handbüchern dokumentiert in:

Maerschalk, G.; Krause, G.:
Erstanwendung der vorliegenden Algorithmen für die Erhaltungsplanung in ausgewählten Bauämtern. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 878. Bonn 2004.

Ergänzende Hinweise zur Anwendung des PMS finden sich in:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:
Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen. RPE-Stra 01. Ausgabe 2001.

Die Erfassung und Bewertung der für die PMS-Anwendung essentiellen Zustandsdaten ist dokumentiert in:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und –bewertung von Straßen. ZTV ZEB-StB, Stand 2006 (derzeit in Überarbeitung für die seit 2015 gebräuchliche Zustandsbewertung).

Die nachfolgend zusammenfassend beschriebenen Inhalte des PMS sind hinterlegt im Setup einer kanadischen Treibersoftware

„dTims“ (in Europa: „VIAPMS“).

Details dazu finden sich bei

www.deighton.com

Inhalt

1 DATENGRUNDLAGEN FÜR DIE PMS-ANWENDUNG 117
2 VERFAHRENSABLAUF DES PMS 118
2.1 Bildung homogener Abschnitte 119
2.2 Zustandsprognose und Eingreifzeitraum 120
2.3 Schadensursachen und mögliche Erhaltungsmaßnahmen 124
2.4 Bewertung der möglichen Erhaltungsmaßnahmearten 125
2.5 Netzweite Optimierung der bewerteten Erhaltungsmaßnahmearten 131
LITERATUR 134

1 DATENGRUNDLAGEN FÜR DIE PMS-ANWENDUNG

In Abb. P1 sind zum besseren Verständnis der nachfolgenden Verfahrensbeschreibung die Datenanforderungen des PMS zusammengestellt. Detailliertere Erläuterungen und Dateninhalt finden sich in **ANHANG 1 – Datendokumentation**.

Datengruppen	Dateninhalte
Ordnungssystem	Netzknoten-/Stationierungssystem nach ASB
Leitdaten	Straßengattung und –nummer, Land, Niederlassung
Querschnittsdaten	Richtungsbezeichnung (bei zweibahnigen Straßen) Anzahl Fahrstreifen pro Richtung, Fahrbahn-/Fahrstreifenbreite
Aufbaudaten	Art, Dicke, Einbaujahr der Deckschicht, Binderschicht, gebundenen Tragschicht; Art der obersten ungebundenen Schicht
Erhaltungsdaten	Art und Jahr der letzten Instandsetzung bzw. Erneuerung
Verkehrsdaten	Verkehrsstärken (DTV, DTV-SV)
Zustandsdaten	Längs-/Querebenheit, Wassertiefe, Griffigkeit, Risse, Restschadensfläche

Abb. P1: Datenanforderungen des PMS

Neben den Sachdaten gemäß Abb. P1 sind für den PMS-Ablauf Parameterdaten und -funktionen erforderlich, die im „Setup“ des Systems hinterlegt werden. Anders als die Sachdaten, die in der Örtlichkeit gemessen oder gezählt werden können, stammen die Informationen zu diesen Modellparametern aus Expertenbefragungen, Analysen zur Erhaltungsgeschichte, punktuellen Langzeitbeobachtungen und Erhebungen bei Bauverwaltungen und Baufirmen im Rahmen von Forschungsarbeiten. Die Parameter gelten meist für Merkmalsgruppen oder „Familien“ von Straßenabschnitten, die, aufgrund der Ausprägungen der Sachdaten, eine ähnliche Charakteristik aufweisen. Die Modellparameter, die in Abb. P2 zusammenfassend aufgeführt sind, werden nachfolgend bei der Beschreibung des Verfahrensablaufs näher erläutert.

Modellparameter	Beschreibung der Parameter
Regeln für Zustandsbewertung	Umwandlung von Zustandsgrößen in Zustandswerte und die Verknüpfung zum Gebrauchs- und Substanzwert nach ZTV-ZEB
Regeln für Substanzbewertung	Funktionen zur Ermittlung des Substanzwerts-Bestand gemäß FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung. Reihe S.
Verlaufsfunktionen	Funktionstypen zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der einzelnen Zustandsmerkmale und Standardfunktionen für verhaltenshomogene Gruppen
Mängelklassen	kategorisierte Schadensursachen aus Zustandskonstellationen
Erhaltungsmaßnahmen	Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmearten (mit deutlich unterschiedlichen Kosten und Wirkungen)
Maßnahmekosten	Einheitskosten der Maßnahmearten (z. B. Euro/m²)
Maßnahmewirkungen	Rücksetzbereiche der Zustands- bzw. Teilzielwerte und Zustandsverläufe nach Maßnahmen (in Abhängigkeit der Mängelklassen)

Abb. P2: Modellparameter des PMS

2 VERFAHRENSABLAUF DES PMS

Die in der benötigten Form strukturierten Sachdaten und Modellparameter werden im Verfahrensablauf über einen vorgegebenen Prognosezeitraum für die Ermittlung der möglichen und wirtschaftlich günstigsten Erhaltungsstrategien, der daraus resultierenden Zustandsentwicklung und des kurz-, mittel- und langfristigen Erhaltungsbedarfs eingesetzt. Ausgehend von den für homogene Abschnitte (s. Kap. 2.1) ermittelten Erhaltungsstrategien sind über Aggregierungen auch netzbezogene Analysen zu den Auswirkungen auf den Gebrauchs- und Substanzwert möglich, die bei begrenzten Erhaltungsmitteln und, damit zusammenhängend, bei anspruchsvollen oder einfacheren Erhaltungsmaßnahmen bzw. bei zeitlich aufgeschobenen Erhaltungsmaßnahmen zu erwarten sind.

Der Verfahrensablauf ist in Abb. P3 modular in den Hauptschritten dargestellt. Modul 1 bezieht sich dabei auf die Bildung homogener Abschnitte (s. Kap. 2.1). Dieses Modul nimmt insofern eine Sonderstellung ein, als es unabhängig im Vorfeld angewendet wird und die Eingangsdatei für die restlichen Module des Verfahrensablaufs erzeugt.

Modul 1	**Bildung von homogenen Abschnitten**
Modul 2	**Prognose der Zustandsänderungen**
Modul 3	**Auswahl der zur Erhaltung anstehenden Abschnitte**
Modul 4	**Mängelanalyse / Schadensursachen**
Modul 5	**Bautechnisch mögliche Erhaltungsmaßnahmen**
Modul 6	**Bewertung und Reihung der Maßnahmevarianten**
Modul 7	**Optimierung der Maßnahmevarianten für Finanzvorgaben oder Qualitätsziele**
Modul 8	**Erhaltungsprogramm / Erhaltungsbedarf**

Abb. P3: Module des Pavement Management Systems (PMS)

2.1 Bildung homogener Abschnitte

Das jeweilige Analysenetz (z. B: Bundesautobahnen, Bundesstraßen) wird mit einem vorliegenden und informationstechnisch aufbereiteten Algorithmus (*Rübensam, Schulze 1996*) in homogene Abschnitte eingeteilt. Die Bildung homogener Abschnitte mit diesem bei der BASt verfügbaren IT-Verfahren erfolgt separat im Vorlauf zur eigentlichen PMS-Anwendung.

Die Sachdaten werden bei der Aufbereitung für die Modellrechnungen zunächst ZEB-Auswerteabschnitten zugewiesen (100 m bzw. 20 m, s. **ANHANG 1 – Datendokumentation**). Hauptkriterium für die Abgrenzung der homogenen Abschnitte auf Basis dieser ZEB-Auswerteabschnitte ist der Zustand. Einbezogen werden auch die Deckenarten und die Verkehrsbelastungen. Nach entsprechenden Voreinstellungen können zusätzlich Netzknoten oder OD-Grenzen berücksichtigt werden. Außerdem können Mindestlängen (Autobahnen 500 m, Bundesstraßen 100 m) oder Maximallängen (Autobahnen 7.000 m, Bundesstraßen 6.000 m) vorgegeben werden. Bei der Vorgabe von Zwangspunkten (z. B. Netzknoten) lassen sich vor allem die Mindestlängen nicht immer einhalten.

Die homogenen Abschnitte weisen im Mittel eine Länge von ca. 2 km (Autobahnen) bzw. ca. 1 km (Bundesstraßen) auf. Sie können damit in Bezug auf Erhaltungsabschnitte der Praxis für die Autobahnen als eine Vorstufe, für die Bundesstraßen als eine sehr gute Annäherung angesehen werden. Für die homogenen Abschnitte werden im Ablauf des IT-Verfahrens zu ihrer Abgrenzung repräsentative Werte aller Sachdaten ermittelt (i. A. längengewichtete Mittelwerte oder häufigste Werte).

Die homogenen Abschnitte beziehen sich bei den Autobahnen auf Fahrstreifen, bei den Bundesstraßen auf Richtungsquerschnitte. Ein netzweit anwendbarer Algorithmus für eine realitätsnahe Abgrenzung von praxisgerechten Erhaltungsabschnitten, erforderlich vor allem für die Autobahnen, ist derzeit noch nicht verfügbar. Ein derartiger Algorithmus müsste, z. B. für eine Zusammenfassung mehrerer Fahrstreifen zu einem Erhaltungsabschnitt, neben den o. g. bestands- und zustandsbezogenen Faktoren auch ökonomische Kriterien, z. B. in Form von Gesamtkosten (Baulastträger-, Nutzer-, Umweltkosten), berücksichtigen. Eine reine Nachbildung der in der Erhaltungspraxis teilweise üblichen Abgrenzungen, z. B. unter starrer und unkritischer Einbeziehung vorhandener Überfahrten, ist ebenso wenig zielführend wie eine Übernahme von Handlungsweisen der Vergangenheit.

Bei PMS-Anwendungen zur Erstellung konkreter Erhaltungsprogramme für ein begrenztes Netz (z. B. eines Bundeslandes) und für einen begrenzten Zeitraum (z. B. 4 Jahre) werden, ausgehend von homogenen Abschnitten, Erhaltungsabschnitte in Abstimmung mit dem jeweiligen ortskundigen Auftraggeber gebildet. Diese Vorgehensweise ist für die gesamten Netze der Bundesfernstraßen und Prognosezeiträume von z. B. 15 Jahren vor allem aus Zeitgründen nicht möglich. Aus der Vielzahl von PMS-Anwendungen zur Erstellung konkreter Erhaltungsprogramme lässt sich ableiten, dass, bezogen auf Erhaltungsflächen, bei den Bundesautobahnen eine Faktor von 2, bei den Bundesstraßen ein Faktor von 1,25 anzusetzen ist, um homogene Abschnitte den Erhaltungsabschnitten der Praxis anzunähern.

2.2 Zustandsprognose und Eingreifzeitraum

Der Prognosezeitraum bei Anwendung des PMS kann frei definiert werden, z. B. für Langfristprognosen mit 15 Jahren. Zusätzlich kann noch ein längerer Zeitraum (z. B. 25 Jahre) festgelegt werden, für den Zustandsentwicklungen und Maßnahmewirkungen (s. Kap. 2.4) betrachtet werden („Bewertungszeitraum“).

Der erste verfahrensinterne Schritt des PMS besteht darin, die aktuellen Ausprägungen der relevanten Zustandsmerkmale, wie sie sich aus der zuletzt durchgeführten ZEB ergaben, mit Hilfe von Verlaufsfunktionen über den Prognose- bzw. Bewertungszeitraum fortzuschreiben (Abb. P3 – Modul 2). Als Basis für alle späteren Analysen muss diese Zustandsprognose zunächst für den Bezugsfall „ohne Erhaltungsmaßnahme“ („Nichts-tun“-Fall“) durchgeführt werden. Der wahrscheinliche Verlauf der betrachteten Zustandsmerkmale wird spezifisch für jeden einzelnen homogenen Abschnitt abgeschätzt. Es kommen somit nur abschnittsbezogene und keine globalen generalisierten Verlaufsfunktionen zum Ansatz.

Als eine gesicherte Randbedingung für diese Beschreibung des Zustandsverlaufs kann angenommen werden, dass der Zustand einer Straßenbefestigung nach der Herstellung bzw. nach einer Erneuerung am besten ist: Die Straße ist komfortabel und sicher zu befahren, die Substanz ist intakt, zustandsbedingte Umweltbeeinträchtigungen sind vernachlässigbar. Der durch die einzelnen Merkmale charakterisierbare Zustand ändert sich im Laufe der Zeit, er wird schlechter. Das Ausmaß der künftigen Verschlechterung kann relativ zuverlässig abgeschätzt werden, wenn

- das Jahr der Herstellung bzw. der letzten Erneuerung bekannt ist,
- pro Merkmal mindestens eine Zustandsgröße bzw. ein bei der Bewertung normierter Zustandswert aus der letzten Zustandserfassung verfügbar ist und
- Erkenntnisse zum Typ der jeweiligen Verlaufsfunktion vorliegen (z. B. Gerade, Exponentialfunktion o. Ä.).

Wie am Beispiel der Abb. P4 für die Zustandswerte von 2 homogenen Abschnitten (X und Y) erläutert, lässt sich bei gegebenem Alter (= Jahr der Zustandserfassung - Jahr der Herstellung/Erneuerung mit Zustandswert 1,0) und bekanntem Funktionsverlauf die weitere Entwicklung abschätzen, indem die Koeffizienten der Verlaufsfunktion so geeicht werden, dass der betrachtete Zustandswert auf der Kurve liegt. Zu beachten ist dabei, dass, abhängig vom Alter der einzelnen Schichten, die Variable „Alter“ für die einzelnen Zustandsmerkmale durchaus verschieden sein kann. Während für bestimmte Merkmale (z. B. Längsebenheit) der Bestzustand wahrscheinlich nur durch eine Erneuerung erreicht werden kann, lassen sich andere Schäden (z. B. Spurrinnen, thermisch bedingte Risse) eventuell auch durch eine Instandsetzung der Deckschicht beheben. Bei der Altersbestimmung besteht somit die Möglichkeit und Notwendigkeit, neben dem Zeitpunkt der letzten Erneuerung auch das Jahr der

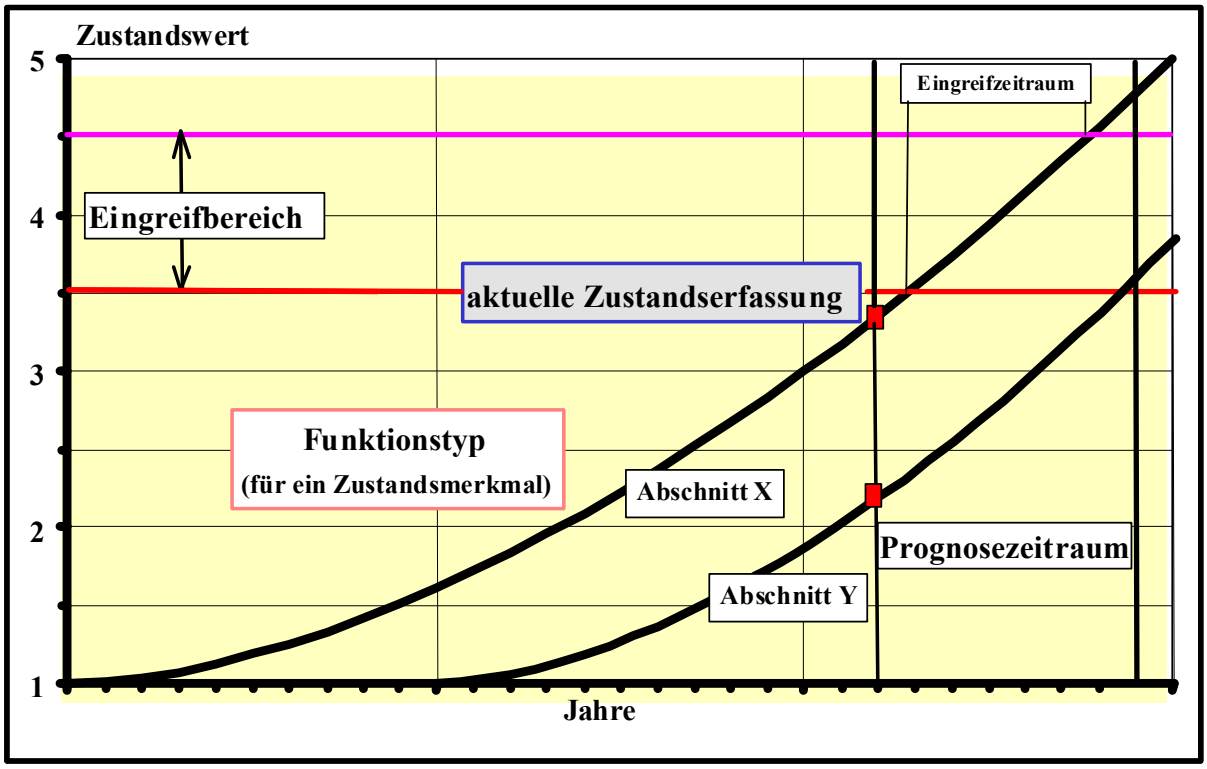


Abb. P4: Schematische Darstellung zur Abschätzung der Zustandsentwicklung und des Eingreifzeitraums auf Basis des Neubau-/letzten Maßnahmejahrs und einer aktuellen Zustandserfassung

letzten Instandsetzung als Ausgangsgröße heranzuziehen, also schichtbezogen vorzugehen. Anstelle des Alters können nach entsprechender Umrechnung auch Nutzungseinheiten (kumulierte Achslasten o. Ä.) als unabhängige Variable für die Beschreibung der Zustandsentwicklung verwendet werden. Auch in diesem Fall ergeben sich keine grundsätzlichen Änderungen in der Verfahrensweise, selbst dann nicht, wenn der Zusammenhang zwischen Alter und Verkehrsentwicklung nicht linear sein sollte.

Bei der Zustandsprognose gemäß Abb. P4 wird angenommen, dass sich in den aktuellen merkmalspezifischen Zustandsgrößen bzw. -werten einer Straßenbefestigung alle Faktoren abbilden, die, wie z. B. die Bauweise, die Bemessung und der Ausbauzustand, die Qualität der Bauausführung oder die vorhandene Verkehrs- und Klimabeanspruchung, Einfluss auf die Zustandsentwicklung haben. Eine noch zuverlässigere Abschätzung des künftigen Zustandsverlaufs erscheint möglich, wenn neben dem Alter und den Zustandsdaten einer aktuellen Erhebung auch (historische) Zustandsdaten aus früheren Erfassungen vorliegen. In diesem Fall können die Koeffizienten der Verlaufsfunktionen mit Hilfe mathematisch-statistischer Verfahren ermittelt werden. Allerdings muss dabei sichergestellt sein, dass die Zeitreihen der Zustandsdaten an allen Abschnitten eine ungestörte Zustandsentwicklung repräsentieren und zumindest keine groben Erhebungsfehler aufweisen. Außerdem muss gewährleistet sein, dass die ZEB-Auswerteabschnitte verschiedener Kampagnen korrekt zugeordnet werden können. Dies ist derzeit noch problematisch.

Wenn das Befestigungsalter und ein Zustandswert oder mehrere zeitlich gestaffelte Zustandswerte bekannt sind, bereitet die Verlaufsprognose somit relativ geringe Probleme.

Wenn weder das Alter noch der Zustand vorliegt, muss der betreffende Abschnitt aus den Analysen ausgeschlossen werden. Wenn, wie bei den derzeitigen Datengrundlagen öfter der Fall, nur einer der beiden Faktoren verfügbar ist, können mit Hilfe von standardisierten Verlaufsfunktionen für Merkmalsgruppen Aussagen zur Zustandsentwicklung abgeleitet werden (s. u.). Auch bei relativ neuen Fahrbahndecken, die zum Zeitpunkt einer Zustandserfassung (z. B. zwei Jahre nach einer Erneuerung) noch keinerlei Schäden zeigen (Zustandswert 1,0), müssen derartige Funktionen für die Zustandsprognose angesetzt werden.

Bisher vorliegende Untersuchungsergebnisse zu Verlaufsfunktionen, die Zustandsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit oder Nutzungseinheiten (z. B. Achslastübergängen) beschreiben, deuten darauf hin, dass die Spurrinnenentwicklung i. A. konsolidierend verläuft, d. h. dass die Spurrinnentiefen zwar zunehmen, die Zunahmen aber im Zeitablauf schwächer werden. Für die Längsebenheit sowie die Risse kann dagegen von einem progressiven Verlauf, d. h. einer immer schneller werdenden Zustandsverschlechterung, ausgegangen werden. Keine dezidierten Aussagen sind derzeit zur zeitlichen Entwicklung der Griffigkeit möglich. In Abb. P5 sind die qualitativen Annahmen zu den Verläufen der Verhaltensfunktionen zusammengestellt.

Zustandsmerkmal bzw. Merkmalsgruppe	Qualitativer Verlauf
Längsebenheit Querebenheit bei Betondecken	schwach progressiv
Spurrinnentiefe (Asphaltdecken)	degressiv-konsolidierend
Fiktive Wassertiefe	bei gleichbleibender Längs-/ Querneigung abhängig von Spurrinnenentwicklung
Griffigkeit (derzeit keine Erkenntnisse – Annahme)	linear
Risse, Sonstige Schäden (Restschadensfläche)	stark progressiv

Abb. P5: Standardannahmen zu Funktionen für die Beschreibung der Zustandsentwicklung

Der Eichung der Koeffizienten für die Verlaufsfunktionen erfolgt bei entsprechenden Voraussetzungen (s. o.) separat für jeden einzelnen homogenen Abschnitt und jedes Zustandsmerkmal, so dass keine verallgemeinerten, sondern individuelle Funktionen angewendet werden (s. Abschnitte X und Y in Abb. P4). Diesem Eichvorgang liegt die folgende Beziehung zugrunde:

$$ZW_i(t) = 1 + a \bullet t^{b}$$

mit

ZW_i Zustandswert für das Merkmal i

t Zeit seit Neubau/letzter Erhaltung in Jahren,

a, b Verlaufs-Koeffizienten.

Als Grundlage zur Ermittlung der konkreten Verlaufsfunktion für einen bestimmten homogenen Abschnitt und ein bestimmtes Merkmale auf Basis der obigen Beziehungen dienen Standardfunktionen zur Zustandsentwicklung, die in den RPE-Stra 01 aufgeführt sind. Diese Standardfunktionen beschreiben einen langsamen, mittleren, schnellen und sehr schnellen Verlauf der Zustandsverschlechterung und können damit als mittlere Verlaufslinien für 4 Ver-

haltensklassen angesehen werden. Bei der Ermittlung der abschnitts- und merkmalspezifischen Verlaufs-Koeffizienten a und b. auf der Basis dieser Standardfunktionen wird wie folgt vorgegangen:

- Ausgehend von Neubaujahr oder dem Jahr der letzten Maßnahme (s. o.) wird die Zeit t_Z (in Jahren) bis zum Jahr der aktuellen Zustandserfassung ermittelt.
- Der ermittelte Zustandswert aus der aktuellen Erfassung ZW_Z wird mit den Zustandswerten ZW_s verglichen, die sich bei Anwendung der 4 Standardfunktionen der Verhaltensklassen s ($1 \leq s \leq 4$) ergeben, wenn die Zeit t_Z eingesetzt wird.
- Die Standardfunktion, die zum erfassten Wert ZW_Z bei t_Z den geringsten Abstand aufweist, wird für die Ermittlung der spezifischen Verhaltenskurve verwendet. Die zugehörige Verhaltensklasse wird dabei für die spätere Beschreibung des Zustandsverlaufs nach Maßnahmen vorgehalten.
- Unter Beibehaltung des Exponenten b der ausgewählten Standardfunktion wird der Koeffizient a für das jeweilige Zustandsmerkmal und den betrachteten homogenen Abschnitt wie folgt berechnet:

  $$a = (ZW_Z - 1) / t_Z^b$$

Die Verhaltensklassen mit ihren zugehörigen Standardfunktionen werden später für die Beschreibung des Zustandsverlaufs nach Erhaltungsmaßnahmen und die Ermittlung der Maßnahmewirkungen benötigt (s. Kap. 2.4). Die Standardfunktionen finden auch Verwendung, wenn für einen homogenen Abschnitt entweder der Zustand oder das Befestigungsalter fehlt (s. o.).

Im Gebrauchswert und im Substanzwert-Oberfläche sind verschiedene Zustandsmerkmale, verknüpft. Diese Teilwerte können für jedes Jahr des Prognosezeitraums neu berechnet werden; eine Verlaufsprognose ist daher nicht erforderlich.

Mit der abschnittsbezogenen Verlaufsprognose können die möglichen Eingreifjahre im Prognosezeitraum bestimmt werden (s. Abb. P4). Dazu muss ein Eingreifbereich festgelegt werden, der frei wählbar ist und für die Zustandsmerkmale und die Erhaltungsmaßnahmearten unterschiedlich sein kann. Dieser Eingreifbereich liegt normalerweise zwischen dem Zustandswert 3,5 und dem Zustandswert 4,5.

Der Eingreifzeitraum umfasst die Jahre des Prognosezeitraums, für die Erhaltungsmaßnahmen untersucht werden. Da häufig mehrere Erhaltungsmaßnahmearten möglich sind (vgl. Kap. 2.3), kann sich bei mehreren möglichen Eingreifjahren eine Vielzahl vom Maßnahmealternativen bzw. -varianten ergeben, die systemintern zu analysieren sind.

2.3 Schadensursachen und mögliche Erhaltungsmaßnahmen

Zur Bestimmung möglicher Erhaltungsmaßnahmearten werden durch Analyse der Zustandskonstellationen und der sonstigen Randbedingungen (z. B. Bauweise, Dimensionierungssituation) für jeden einzelnen homogenen Abschnitt die wahrscheinlichen Schadensursachen ermittelt (s. Abb. P3 – Modul 4). Mit dieser Diagnose der Schadensursachen und ihrer Typisierung in Mängelklassen wird eine Grundlage für die spätere Bewertung von Maßnahmewirkungen (s. Kap. 2.4) geschaffen. Schadensursachen und Mängelklassen können nur ermittelt werden, wenn die aktuell erfassten oder die prognostizierten Zustandswerte im kritischen Bereich liegen. Abb. P6 vermittelt einen Überblick über das Grundkonzept bei der Bildung von Mängelklassen (*Krause 2000*).

Zustandsbeschreibung	mögliche Schadensursachen	Mängelklasse (betroffene Schicht) Kurzbezeichnung
mangelnde Griffigkeit mit erhöhter Unfallgefahr (Griffigkeit > 3,5) schwach ausgeprägte Längs-/ Querunebenheiten und keine/vereinzelte Risse bzw. sonstige Oberflächenschäden	wenig polierresistente Mineralstoffe; unzureichende Mikro-/ Makrorauheit	(mangelnde) Griffigkeit (Deckschicht) GRO
unzureichende Oberflächenentwässerung (Fiktive Wassertiefe > 3,5) schwach ausgeprägte Längs-/Querunebenheiten und keine/vereinzelte Risse bzw. sonstige Oberflächenschäden	zu geringe Längs- und/oder Querneigung	konstruktiv bedingter Wasserrückhalt (Decke) WAS
stark ausgeprägte Spurrinnen aus Verdrängung und/oder Nachverdichtung (Spurrinnen > 3,5) Aufwölbungen in Längsrichtung (Waschbrett) keine/vereinzelte Risse od. sonst. Oberflächenschäden (Schadenswert ≤ 2,5)	unzureichender Widerstand gegen bleibende Verformungen (zu weiches Bitumen); mangelhafter Schichtenverbund	Schub- verformungen (Deck- und Binderschicht) SVS
deutlich ausgeprägte Unebenheiten (2,5 < Ebenheitswert ≤ 3,5) verbreitete (Längs-/Quer-) Risse und sonstige Oberflächenschäden (Schadenswert > 3,5)	Biegezugs- bzw. Scherfestigkeitsüberschreitung der bituminös gebundenen Schichten (unzureichende Befestigungsdicke); zu geringe Dicke von Betonplatten	(mangelnde) Tragfähigkeit der gebundenen Schichten TGS TGE
schwach ausgeprägte Unebenheiten (Ebenheitswert ≤ 2,5) und stark ausgeprägte Spurrinnen (> 3,5) verbreitete (Längs-) Risse und/oder sonstige Oberflächenschäden (Schadenswert > 3,5)		
stark ausgeprägte Unebenheiten (> 3,5) häufiger Risse (2,5 < Schadenswert ≤ 3,5)	Setzungen der ungebundenen Schichten; ungenügende Entwässerung; Erosion; instabile Böschung	(mangelnde) Tragfähigkeit der ungebundenen Schichten bzw. des Untergrunds/-baus NSU UOT
stark ausgeprägte Unebenheiten (> 3,5) verbreitet Netzrisse und/oder sonstige Oberflächenschäden (Schadenswert > 3,5)	Materialermüdung; ungenügende Frostsicherheit und/oder Entwässerungsmängel; Verformung, Erosion oder Zerstörung der Unterlage von Betonplatten	

Abb. P6: Allgemeine Zustandsbeschreibungen, mögliche Schadensursachen und daraus abgeleitete Mängelklassen (*Krause 2000*)

Bei der Ableitung wahrscheinlicher Schadensursachen und ihrer anschließenden Umsetzung in Mängelklassen gemäß Abb. P6 sind im Hinblick auf die Nachvollziehbarkeit starke Verein-

fachungen erforderlich. Bei der Abgrenzung von Mängelklassen wird daher jeweils ein bestimmtes Zustandsmerkmal in den Mittelpunkt gestellt („Hauptbedingung“) und logisch mit den anderen Merkmalen („Nebenbedingungen“) verknüpft, die untereinander wiederum logisch verbunden sein können. In Abb. P6 dienen als Abgrenzungskriterien die Zustandswerte für Griffigkeit, Wasserrückhalt, Allgemeine Unebenheiten und Spurrinnentiefen sowie der aus Rissen und der Restschadensfläche gebildete Schadenswert.

In Abhängigkeit der durch Mängelklassen typisierten wahrscheinlichen Schadensursachen und sonstiger Kriterien (z. B. einbezogene Fahrstreifen, Art der letzten Maßnahme) können die aus technologischer Sicht zulässigen Erhaltungsmaßnahmearten der homogenen Abschnitte bestimmt werden (s. Abb. P3 – Modul 5). Die Erhaltungsmaßnahmearten, die zur Wiederherstellung des Gebrauchswerts oder Erhaltung der Substanz von Fahrbahnbefestigungen durchgeführt werden, sind in vorliegenden Richtlinien und Merkblättern ausführlich dokumentiert (z. B Beton: DIN 18316, Asphalt: DIN 18317). Getrennt zu betrachten sind nur Maßnahmearten, die sich in ihren Kosten und/oder ihren Wirkungen deutlich unterscheiden.

2.4 Bewertung der möglichen Erhaltungsmaßnahmearten

Die technisch möglichen Erhaltungsmaßnahmearten im gewählten Prognosezeitraum gelten jeweils für das betrachtete Finanz- bzw. Qualitätsszenario. In einem PMS-Lauf können bis zu 5 Szenarien gleichzeitig behandelt werden.

Bei der Bewertung der für die homogenen Abschnitte technisch möglichen Erhaltungsmaßnahmearten werden die Kosten und Nutzen des Planungsfalls „mit“ Maßnahme dem Vergleichsfall „ohne“ Maßnahme gegenübergestellt. Der Vergleichsfall „ohne“ Maßnahme („Nichts-tun“) beschreibt dabei eine Erhaltungspraxis, die zwar örtlich-punktuelle oder kleinflächige Maßnahmen der baulichen Unterhaltung, aber keine größerflächigen Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen beinhaltet.

Im Mittelpunkt der Nutzenbewertung stehen in beiden Fällen die Änderungen, die sich im Zustand ergeben. Es wird geprüft, inwieweit die höheren Kosten im Planungsfall „mit“ Maßnahme durch die Verbesserungen im Zustand gegenüber dem Vergleichsfall „ohne“ Maßnahme gerechtfertigt sind (Abb. P3 – Modul 6).

Die Bewertung der Nutzen von Erhaltungsstrategien kann in monetärer Form oder qualitativ in Form einer Maßnahmewirksamkeit erfolgen. Die für die monetäre Bewertung von Ausbaumaßnahmen vorliegenden „Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (RAS-W)“ sind mit ihren derzeitigen Ansätzen noch nicht für den Bereich der Erhaltung verwendbar. Daher wird momentan eine qualitative Wirksamkeitsbewertung angewendet. Diese qualitative Bewertung kann durch einen Vergleich der durch die Verläufe der einzelnen Zustandsmerkmale ohne und mit Maßnahme abgegrenzten Flächen („unter den Verlaufskurven“) vorgenommen werden. Die daraus abgeleitete Wirksamkeit von Erhaltungsmaßnahmen kann anschließend mit den jeweiligen Kosten verglichen werden.

Wie aus der nachfolgenden Abb. P7 erkennbar wird, enden die Zustandsverläufe der einzelnen Merkmale, anders als in der Realität, aufgrund der geschlossenen Skala für die Zustandsbewertung im Rahmen der ZEB (Noten 1 bis 5) für den Vergleichsfall ohne Maßnahme bei 5,0. Die Flächen „unter den Verlaufskurven“ werden abgeschnitten, so dass sich bei der darauf basierenden Ermittlung der Wirksamkeiten eine Überbetonung des Zustandsbereichs zwischen 1 und 5 ergibt. Dies wird abgeschwächt, wenn, wie derzeit vorgesehen, für die Zustandsprognose im PMS anstelle der Zustandswerte die Zustandsgrößen (z. B. mm) verwendet werden. Allerdings müssen auch dabei Grenzzustände definiert werden, die im Hinblick auf die Gebrauchsfähigkeit bzw. die Anforderungsgerechtigkeit der Befestigungssubstanz gerade noch (oder nicht mehr) hinnehmbar sind, da die Annahme einer unbegrenzten Zustandsverschlechterung bis zum Ende der Befahrbarkeit einer Straße als Vergleichsfall nicht realistisch ist. Die Definition dieser Grenzzustände für den Vergleichsfall, die auch bei einer monetären Bewertung (z. B. nach RAS-W) erforderlich ist, bereitet noch erhebliche Schwierigkeiten.

Der verzerrende Effekt der beim Zustandswert 5,0 abgeschnittenen Verlaufskurven wird dadurch erheblich gemildert, dass die damit ermittelten „Wirksamkeitsflächen“ ohne Maßnahmen als Vergleichsfall für die Bewertung aller Maßnahmealternativen eines homogenen Abschnitts angenommen werden.

Ermittlung der qualitativen Wirksamkeit

Bei der qualitativen Bestimmung der Wirksamkeit werden die Flächen „unter den Verlaufskurven“ der einzelnen Zustandsmerkmale für den „Nichts-tun“-Fall „ohne“ Maßnahme und für den Planungsfall „mit“ Maßnahme ermittelt und verglichen. Als qualitatives Maß für die Wirksamkeit einer Erhaltungsmaßnahme wird die Differenz dieser Flächen herangezogen, die das Ausmaß der Zustandsverbesserung von Zeitpunkt einer Maßnahme bis zum Ende des Betrachtungszeitraums kennzeichnet.

Die Zustandsverbesserungen nach der Maßnahmedurchführung lassen sich durch das Ausmaß bestimmen, in dem die Zustandsgrößen oder –werte der einzelnen Merkmale vom schlechteren zum besseren Zustandsbereich zurückgesetzt werden. Dieses Ausmaß der Verbesserungen kann am genauesten durch eine Zustandserfassung bei der Abnahme einer Maßnahme festgestellt werden. Bei prognostizierten Maßnahmevorschlägen werden Erfahrungswerte für das Zurücksetzen der Zustandswerte angenommen. Diese Rücksetzwerte sind empirisch relativ gut abgesichert (s. z. B. *Grätz 1997*).

Die Zustandsänderungen nach der Maßnahmedurchführung beschreiben, in welchem Ausmaß sich der Zustand der einzelnen Merkmale im Zeitablauf wieder verschlechtert und wann der kritische Zustandsbereich erneut erreicht wird. Empirisch abgesicherte Verlaufsfunktionen für die Zustandsentwicklung nach den einzelnen Erhaltungsmaßnahmearten können derzeit noch nicht angegeben werden. Eine Möglichkeit, den Zustandsverlauf nach Maßnahmen für die einzelnen Merkmale zu bestimmen, besteht darin,

- eine Verhaltensklasse vor der Maßnahme mit ihrer zugehörigen Standardfunktion zu ermitteln und
- diese Verhaltensklasse in Abhängigkeit von der jeweiligen Maßnahmeart und dem Ausmaß, in dem die durch Mängelklassen gekennzeichneten Schadensursachen beseitigt werden, ggf. zu verändern. Für die Beschreibung des Zustandsverlaufs nach der Maßnahme kommt dann die Standardfunktion der veränderten Verhaltensklasse zum Ansatz.

Für den „Nichts-tun"-Fall ohne Maßnahme haben die Verlaufsfunktionen zur Beschreibung des Zustandsverlaufs die folgende Form:

$$Z_o(t) = 1 + a_o \bullet t^{b_o}$$

mit

$Z_o(t)$ Zustandsverlauf für die jeweiligen Merkmale ohne Maßnahme

t Zeit in Jahren,

a_o, b_o Verlaufs-Koeffizienten für „Nichts-tun".

Die Verlaufs-Koeffizienten a_o und b_o nehmen konkrete Zahlenwerte an, unterscheiden sich aber für die einzelnen Merkmale und die homogenen Abschnitte. Wie Abb. P7 zeigt, ist die Fläche unter der Verlaufskurve ohne Maßnahme für die Wirksamkeitsermittlung ab dem Zeitpunkt t_m von Interesse, an dem eine Maßnahme eingeplant ist. Sie muss von diesem Zeitpunkt an bis zum Ende des Betrachtungszeitraums t_b, über den die Bewertung läuft und der den kürzeren Prognosezeitraum einschließt, bestimmt werden. Dafür gilt:

$$F_o = (t_b - t_m) \bullet (a_o \bullet (t_b^{\,b_o + 1} - t_m^{\,b_o + 1})) / (b_o + 1)$$

mit

F_o Fläche „unter der Verlaufskurve" ohne Maßnahme

t_b letztes Jahr des Betrachtungszeitraums,

t_m Jahr der vorgesehenen Maßnahme,

a_o, b_o Verlaufs-Koeffizienten (für jeweiliges Zustandsmerkmal und den betrachteten homogenen Abschnitt)

Wird, wie in Abb. P7, der schlechtest mögliche Zustandswert 5,0 erreicht, verläuft die Verlaufskurve künftig auf diesem Wert. Der entsprechende Zeitpunkt t_5 kann wie folgt ermittelt werden:

$$t_5 = (4 / a_o)^{(1/bo)}$$

mit

t_5 Zeitpunkt zu dem der Zustandswert 5,0 erreicht wird

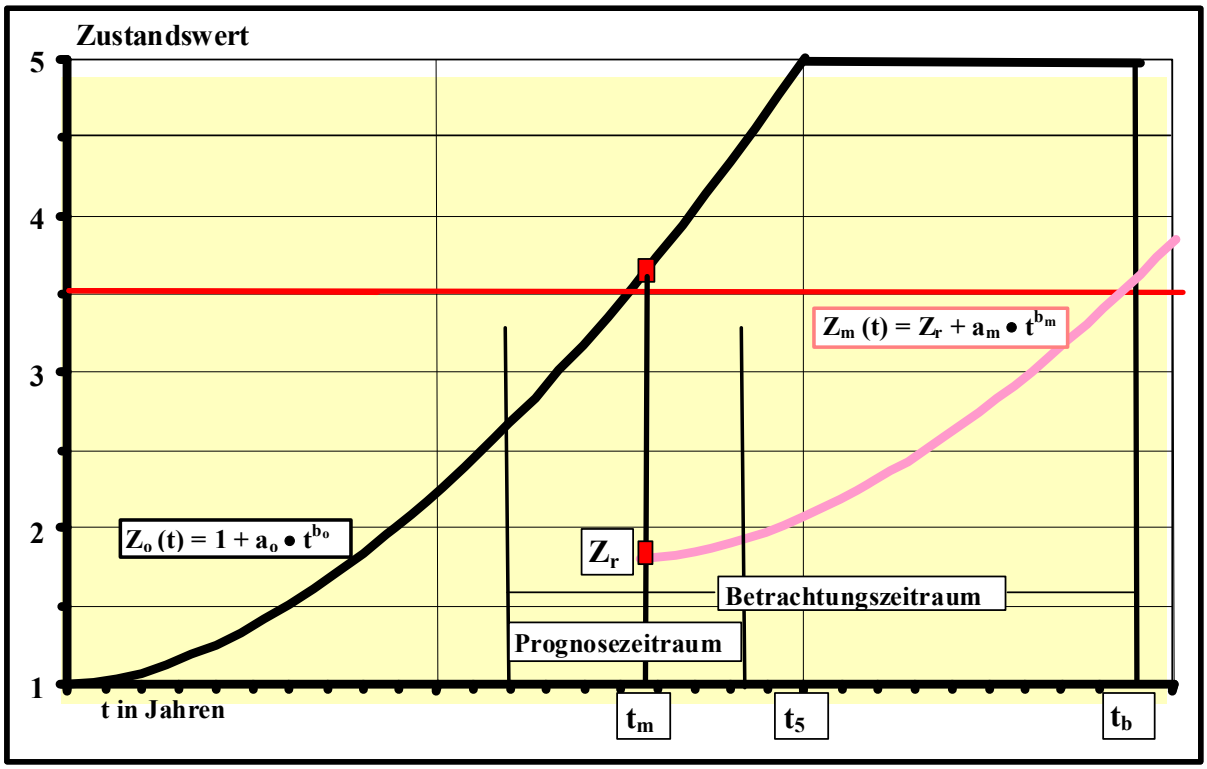


Abb. P7: Schematische Darstellung zum Zustandsverlauf ohne und mit Maßnahme

Für t_5 sind bei der Flächenermittlung folgende Sonderfälle zu betrachten
(bei F_o ist in der obigen Beziehung jeweils t_b durch t_5 zu ersetzen):

1. $t_m < t_5 \leq t_b$: $F_o = F_o + (t_b - t_5) \bullet 5$
2. $t_5 \leq t_m$: $F_o = F_5 = (t_b - t_m) \bullet 5$

Die Fläche unter der Verlaufskurve mit Maßnahme ist abhängig vom zurückgesetzten Zustandswert Z_r und der Verlaufsfunktion nach der Maßnahme. Die von der Verhaltensklasse vorher und von der Mängelklasse abhängigen Standardfunktionen für die Zustandsverläufe Z_m nach Maßnahmen können wie folgt ermittelt werden (s. Abb. P7):

$$Z_m (t) = Z_r + a_m \bullet t^{bm}$$

mit

$Z_m(t)$ Zustandsverlauf für die jeweiligen Merkmale mit Maßnahme

Z_r zurückgesetzter Zustandswert nach der Maßnahme

t Zeit in Jahren

a_m, b_m Verlaufs-Koeffizienten für die Standardfunktion nach Maßnahmen

Für die Fläche F_m unter der Verlaufskurve mit Maßnahme gilt:

$$F_m = (Z_r - 1) \bullet (t_b - t_m) + Z_r \bullet (t_b - t_m) + (a_m \bullet (t_b^{bm + 1} - t_m^{bm + 1})) / (b_m + 1)$$

mit

F_m Fläche „unter der Verlaufskurve“ mit Maßnahme

t_b letztes Jahr des Betrachtungszeitraums,

t_m Jahr der vorgesehenen Maßnahme,

a_m, b_m Verlaufs-Koeffizienten (für jeweiliges Zustandsmerkmal und den betrachteten homogenen Abschnitt)

Als Maß für die Wirksamkeit einer Maßnahme für ein Zustandsmerkmal i (und einen homogenen Abschnitt) kann gesetzt werden:

$$\Delta F_i = F_o - F_m$$

Die Maßnahme mit der größten Flächendifferenz ΔF_i bringt für den betrachteten homogenen Abschnitt und das jeweilige Zustandsmerkmal i die höchste Wirksamkeit. Wenn die Maßnahme gesucht wird, die für alle Merkmale zusammen die höchste Wirksamkeit bringt, müssen die Flächendifferenzen für die einzelnen Merkmale i addiert werden:

$$\Delta F = \Sigma \Delta F_i$$

Die Maßnahme mit der größten Gesamtflächendifferenz ΔF bringt für den betrachteten homogenen Abschnitt und alle Zustandsmerkmale die höchste Wirksamkeit. Dabei werden die Zustandsmerkmale als gleich wichtig eingestuft. Wenn diesbezüglich noch Unterschiede berücksichtigt werden sollen, kann alternativ der folgende gewichtete Ansatz gewählt werden:

$$\Delta F_i = g_1 \bullet \text{Max}\,(\Delta F_{AUN}\,;\,\Delta F_{SPT}) + g_2 \bullet \Delta F_{GRI} + g_3 \bullet \Delta F_{SUG}$$

mit

ΔF_{AUN}	Flächendifferenz für die Allgemeinen Unebenheiten
ΔF_{SPT}	Flächendifferenz für die Spurrinnen
ΔF_{GRI}	Flächendifferenz für die Griffigkeit
ΔF_{SUG}	Flächendifferenz für den Substanzwert
g_j	Gewichtsfaktoren ($\Sigma\, g_j = 1$)

Bei der Ermittlung der Wirksamkeit nach der beschriebenen Verfahrensweise wurde im PMS die vor 2015 angewendete Zustandsbewertung durch das seit 2015 gebräuchliche Bewertungsverfahren ersetzt. Neben den Zustandsmerkmalen der ZEB, die im Wesentlichen den Zustand der Fahrbahnoberfläche beschreiben, wird bei der Wirksamkeitsbewertung auch der Substanzwert-Bestand berücksichtigt. Dieser Substanzwert-Bestand bewertet die tiefer liegenden Befestigungsschichten in Abhängigkeit der Schichtart und des Schichtalters in der Relation zur Schwerverkehrsbeanspruchung (*FGSV 2003*). Das PMS wurde auch im Hinblick auf den Substanzwert-Bestand entsprechend neueren Erkenntnissen (*Krause, Maerschalk 2014*) aktualisiert.

Ermittlung der Kosten

Zu den Kosten gehören grundsätzlich alle Aufwendungen, die für den Straßenbaulastträger anfallen. Die Straßenbaulastträgerkosten S werden wie folgt ermittelt:

$$S = \sum_{t=1}^{n} (B_t + U_t + I_t + E_t) + W_n$$

mit

n Betrachtungszeitraum in Jahren
B_t Kosten der Investitionsmaßnahmen (Baukosten) im Jahr t
U_t Unterhaltungskosten im Jahr t
I_t Instandsetzungskosten im Jahr t
E_t Erneuerungskosten im Jahr t
W_n Wertverlust am Ende des Untersuchungszeitraums.

Die Kosten für die bauliche Unterhaltung werden separat mit Hilfe von Pauschalsätzen (Euro pro m² und Jahr) ermittelt. Bei der Erhaltungsplanung werden die (Neu-) Baukosten B_t vernachlässigt, da sie meist lange vor Beginn des Prognosezeitraums angefallen und oft nur mit großen Schwierigkeiten rückwirkend ermittelbar sind. Sie spielen bei der abschnittsweisen Bewertung der Strategien ohnehin keine Rolle, da sie für einen bestimmten Abschnitt jeweils gleich groß sind. Der Wertverlust W_n am Ende des Betrachtungszeitraums kann bei der Wahl einer Zeitspanne, die deutlich länger ist als der Prognosezeitraum (z. B. 25 Jahre bei einem 15-jährigen Prognosezeitraum), vernachlässigt werden. Da zudem im Prognosezeitraum i. A. nur eine Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme anfällt, ergeben sich die Baulastträgerkosten S_E wie folgt:

$$S_E = \sum_{t=1}^{n} M_t$$

mit

M_t Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahme im Jahr t

Die Kosten für Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen fallen normalerweise zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb des Prognosezeitraums an. Gleiche Kostenwerte, die unterschiedlichen Zeitpunkten zugeordnet sind, werden bei ökonomischen Kostenermittlungen i. A. verschieden bewertet. Diese zeitabhängigen Kostenveränderungen können durch einen inflationsbereinigten Diskontsatz (Verzinsung) berücksichtigt werden. Damit ergeben sich die „aktualisierten“ Baulastträgerkosten $S_{E,a}$ wie folgt:

$$S_{E,a} = S_E \bullet (1 + p)^{-t}$$

mit p inflationsbereinigter Diskontsatz (z. B. 3 %).

Wenn eine Aktualisierung der Kosten erfolgt, müssen auch die Wirksamkeiten aktualisiert werden.

Die Absolutkosten $S_{E,a}$ für die Instandsetzung oder Erneuerung ergeben sich aus den vorgehaltenen Einheitspreisen der Erhaltungsmaßnahmen (in Euro pro Einheit, s. **ANHANG 1 - Datendokumentation**) nach einer Multiplikation mit den relevanten Abmessungen (Längen in m, Flächen in m^2, Volumen in m^3) der jeweiligen homogenen Abschnitte.

2.5 Netzweite Optimierung der bewerteten Erhaltungsmaßnahmearten

Die Frage, ob bei der Betrachtung des gesamten Analysenetzes für jeden homogenen Abschnitt die Maßnahme mit dem jeweils besten Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis vorgeschlagen wird, hängt von den verfügbaren Finanzmitteln des Erhaltungsbudgets ab. Wenn dieses Budget z. B. im Rahmen eines Finanzszenarios begrenzt ist, können in der Regel nicht die absolut günstigsten, sondern nur die im Budgetrahmen optimalen Maßnahmen vorgeschlagen werden. Für die objektive Auswahl dieser optimalen Maßnahmen muss bei größeren Analysenetzen ein Optimierungsverfahren angewendet werden.

Nach der Bewertung der Erhaltungsmaßnahmearten können für jeden einzelnen homogenen Abschnitt alle zulässigen Maßnahmealternativen nach dem Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis gereiht werden („Alternativen- oder auch Variantenreihung“, Abb. P3 – Modul 6). Für jeden homogenen Abschnitt ergibt sich, gekennzeichnet durch Maßnahmeart und Maßnahmejahr, eine optimale Strategie, die für einen speziellen homogenen Abschnitt das günstigste Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis hat.

Von Interesse ist normalerweise nicht so sehr, welche Strategien für die Einzelabschnitte optimal sind, sondern welche Strategien im Netzzusammenhang, d. h. bei gleichzeitiger Betrachtung aller Abschnitte, realisierbar sind. Dies wird im PMS-Ablauf mit einer netzbezogenen Optimierung entschieden (Abb. P3 – Modul 7).

Die Frage, ob bei Betrachtung des gesamten Analysenetzes die abschnittsbezogen optimalen, weiter hinten in den Variantenreihungen stehende oder eventuell überhaupt keine Maßnahme möglich sind, hängt von den verfügbaren Erhaltungsmitteln ab (Budget), die bei den sog. Finanzszenarien vorgegeben sind. Die netzbezogene Optimierung aller für die einzelnen Abschnitte ermittelten Maßnahmevarianten kann dann erfolgen unter

- Vorgabe der Zielfunktion „maximaler Wirksamkeitszuwachs bei ansteigenden Kosten“,
- Berücksichtigung von finanziellen Restriktionen aus den Budgetvorgaben.

Für die Optimierung werden die gemäß Kap. 2.4 ermittelten, noch nicht mit geometrischen Dimensionen (Abschnittslänge bzw. –fläche) normierten Wirksamkeitswerte ΔF mit den Verkehrsstärken (z. B. DTV in Kfz/24 h) und den Abschnittsflächen der homogenen Abschnitte multipliziert. Bei gleichen Wirksamkeitswerten ΔF wird damit Abschnitten mit stärkeren Verkehrsbelastungen eine höhere Priorität eingeräumt als Abschnitten mit niedrigeren Verkehrsstärken.

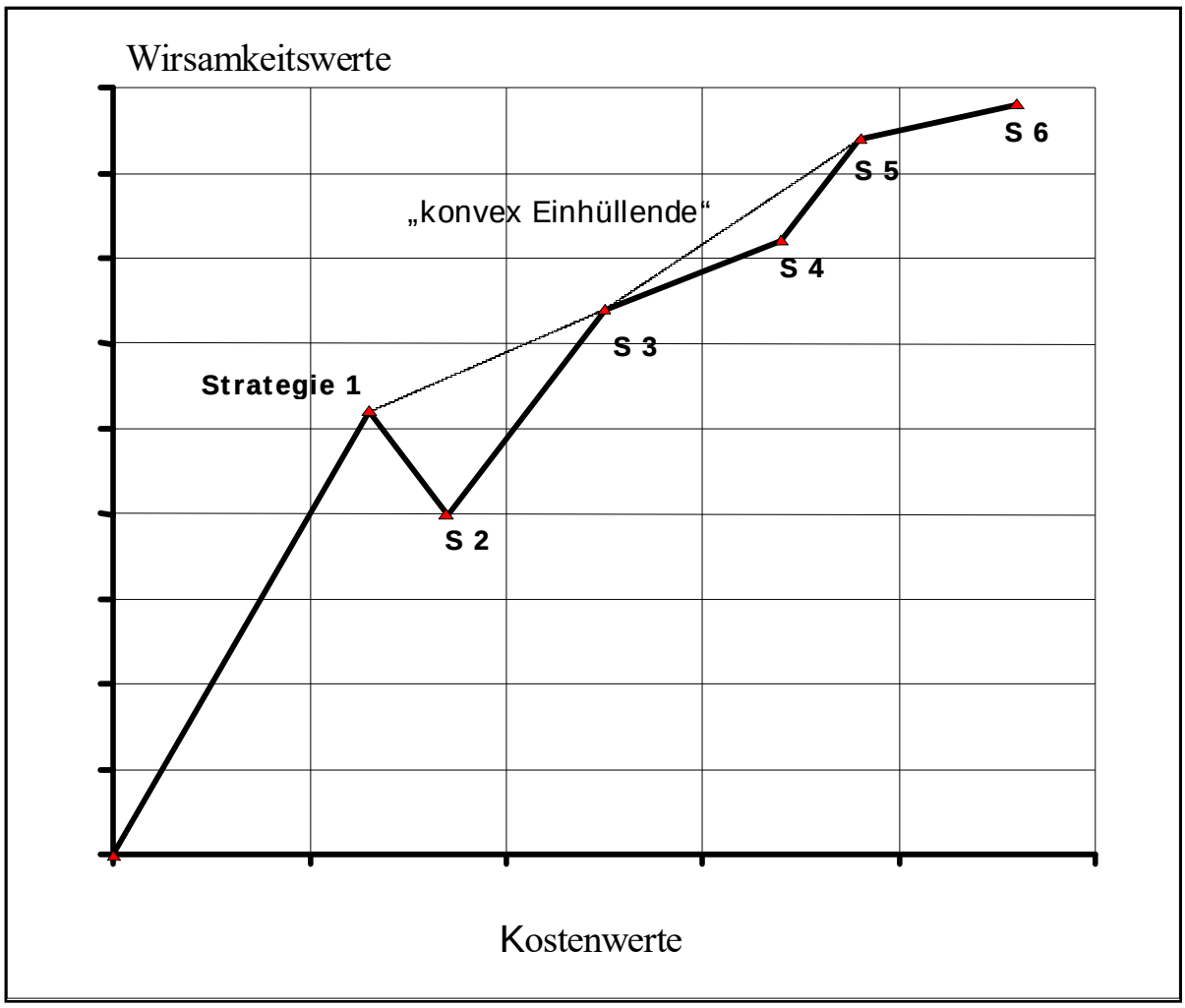


Abb. P8: „Konvex Einhüllende“ des Nutzen-Kosten-Profils für sechs exemplarische Maßnahmen

Das Grundprinzip des Optimierungsverfahrens ist in Abb. P8 schematisch veranschaulicht (s. dazu *Heller, Bühler, Jeuthe 1997*). Auf der Abszisse eines zweidimensionalen Koordinatensystems werden dazu die Kostenwerte und auf der Ordinate die Wirksamkeitswerte von abschnittsbezogenen „Strategien“ aufgetragen (Strategie = Maßnahmeart + Maßnahmejahr + Maßnahmekosten + Maßnahmewirksamkeit). Ausgehend vom Koordinatenursprung, der den „Nichts-tun“-Fall repräsentiert, werden damit alle Strategievarianten aller Abschnitte des betrachteten Analysenetzes in aufsteigender Rangfolge sortiert. Aus dieser Rangfolge können zunächst alle Strategien ausgeschlossen werden, die offensichtlich uneffektiv sind. Uneffektiv ist eine Strategievariante („S2“ in Abb. P8) dann, wenn mindestens eine andere Strategie existiert, die sowohl niedrigere Kosten als auch eine höhere Wirksamkeit aufweist („S1“ in Abb. P8).

Nach Ausschaltung der uneffektiven Strategievarianten kann ein Wirksamkeits-Kosten-Profil in Form einer „konvex Einhüllenden“ erstellt werden. Wenn bei einer relativ starken Kostenzunahme ein unterproportionaler Wirksamkeitszuwachs zu verzeichnen ist, entsteht, bezogen auf die konvex Einhüllende, eine konkave „Beule“ (Strategie „S4“ in Abb.P8, der durch die Steigung „S3 – S4“ repräsentierte Wirksamkeitszuwachs entspricht nicht dem durch die Einhüllende bezeichneten Optimum). Im Sinne der Zielfunktion „maximaler Wirksamkeitszu-

wachs“ wäre auch diese Strategie auszuschließen; für bestimmte Fragestellungen, z. B. bei der möglichst vollständigen Ausschöpfung der verfügbaren Erhaltungsmittel, werden diese Varianten jedoch noch in Reserve gehalten. In der schematischen Darstellung in Abb. P8 erbringt Strategie „S6“ die maximale Wirksamkeit, wenn die Kosten durch das verfügbare Budget gedeckt sind. Ist dies nicht der Fall, kann sich im Netzbezug eine andere Strategie (z. B. „S 3“ in Abb. P8) als optimal erweisen.

Mit dem in Abb. P8 schematisch veranschaulichten Verfahren werden alle Strategien aller Abschnitte des Analysenetzes in eine Rangfolge gebracht. Die am besten bewertete Strategie im gesamten Netz wird auf den ersten Platz gesetzt, die zweitbeste Strategie auf den zweiten Platz usw. Dabei ist es möglich, dass aufeinanderfolgende Strategien (z. B. die erste und die zweite) für ein- und denselben Abschnitt ermittelt werden. Aus dieser Reihung aller Strategievarianten über den gesamten Prognosezeitraum für alle homogenen Abschnitte im Analysenetz werden den Einzelabschnitten die optimalen Strategien zugewiesen. Dabei wird die Reihung in absteigender Folge durchlaufen, wobei die kumulierten Kosten des ausgewählten Strategieprogramms verfolgt und mit dem verfügbaren Budget verglichen werden. Eine für einen bestimmten Abschnitt ausgewählte Strategie ersetzt eine vorher gewählte Strategie für den betreffenden Abschnitt nur dann, wenn die zweite Strategie eine höhere Wirksamkeit erbringt und genügend Finanzmittel aus dem vorgegebenen Budget übrig sind. Je nach Höhe der vorgegebenen Mittel müssen dabei nicht immer die Strategien, die für die einzelnen Abschnitte das größte Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis aufweisen, auch im netzweiten Zusammenhang optimal sein. Die Optimierung endet, wenn für alle zur Erhaltung anstehenden Abschnitte des Analysenetzes eine Strategie gewählt wurde oder die Mittel erschöpft sind. Im Endergebnis wird ein Maßnahmeprogramm ausgewiesen, das die optimalen Strategien aufzeigt, die im verfügbaren Budgetrahmen möglich sind.

Die Ergebnisse der je nach Finanz- bzw. Zielvorgaben erfolgten Optimierung werden in einer Ergebnisdatei des PMS abgelegt, die in Standardsoftware überführt werden kann (MS-Access oder MS-Excel). Die wesentlichen Ergebnisse des 3. Rechenlaufs finden sich in **ANHANG 3 – Ergebnisse**.

LITERATUR ZUM PMS:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 2003)
Arbeitsausschuss Systematik der Straßenerhaltung:
FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung. Reihe S Substanzwert (Bestand). Ausgabe 2003. Köln.

Grätz, B.(1997):
Rücksetzbereiche und Folgeverhaltensfunktionen von Erhaltungsmaßnahmen. FE 04.173 G95B im Auftrag des BMV, Versuchsanstalt für Straßenwesen der TH Darmstadt, 1997

Heller, S.; Bühler, B.; Jeuthe, U. (1997):
Weiterentwicklung von Untersuchungsansätzen zur Optimierung der objektbezogenen Erhaltungsplanung in Teilnetzen unter Berücksichtigung finanzieller Restriktionen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 739. Bonn-Bad Godesberg, 1997.

Hinsch, K.; Krause, G.; Maerschalk, G.; Rübensam, J (2002).:
Standardprognose des Erhaltungsbedarfs der Fernstraßeninfrastruktur bis 2015. Schlussbericht zum Projekt-Nr. 28.004/199/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. München, Dezember 2002.

Krause, G (2000):
Abgrenzung von Mängelklassen zur Kennzeichnung von Schadensursachen mit Hilfe meßtechnisch erfasster Bestands- und Zustandsmerkmale. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 790, Bonn-Bad Godesberg 2000.

Krause, G.; Maerschalk, G. (2014):
Weiterentwicklung des Substanzwertes Gesamt im PMS. Schlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt FE 04.228/2009/MRB des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. SEP Maerschalk, November 2014.

Maerschalk, G.; Krause, G.; Hinsch, K. (2012):
Überprüfung und Aktualisierung der Erhaltungsbedarfsprognose der Bundesfernstraßen. Projekt-Nr. 28.0021/2007/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. SEP Maerschalk, München, März 2012

Rübensam, J.; Schulze, F. (1996):
Entwicklung einer Methodik zur zweckmäßigen Zusammenfassung maßnahmebedürftiger Abschnitte der BAB-Betriebsstrecken auf der Grundlage von Zustands- und Bestandsdaten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 736. Bonn-Bad Godesberg, 1996.

Modellverfahren für die Ingenieurbauwerke - Adaption von Modul SB des Bauwerks-Management-Systems BMS

Für die Ermittlung des Erhaltungsbedarfs der Ingenieurbauwerke wurde auf der Grundlage der Bauwerksdaten nach ASB-ING und Modul SB des Bauwerks-Management-Systems (BMS, *Haardt 1999a*) ein Verfahren entwickelt, das die angewendete Zustandsbewertung der Bauteilgruppen (*Haardt 1999b*) berücksichtigt und eine Szenarienbildung ermöglicht.

Nachfolgend wird die entwickelte und auf Basis von Standardsoftware (MS-Excel) angewendete Adaption des Modul SB zusammenfassend beschrieben. Eine ausführliche Dokumentation des BMS insgesamt und des Modul SB findet sich in:

Holst, R.:
Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 3. Schlussbericht zum AP-Projekt 02 244/B4. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, August 2005.

Stadler A., Freitag, N.:
IT-Realisierung BMS, Datenimport und Verfahrensabläufe (Kap. 8). BMS Version 1.1.10. PTV AG Karlsruhe + KHP GmbH, Leipzig. Karlsruhe, 11.01.2013.

Stadler A., Freitag, N.:
IT-Realisierung BMS, Datenbank. BMS-Version Version 1.1.10. PTV AG Karlsruhe + KHP GmbH, Leipzig. Karlsruhe, 21.12.2012.

Stadler A., Freitag, N.:
Benutzerhandbuch Bauwerk-Management-System (BMS). Version 1.1.12. PTV AG Karlsruhe + KHP GmbH, Leipzig. Karlsruhe, 24.07.2014.

Inhalt

1 BESTANDSDATEN DER INGENIEURBAUWERKE 136
2 SCHADENS- UND ZUSTANDSBEWERTUNG DER INGENIEURBAUWERKE 136
3 FINANZBEDARFSERMITTLUNG FÜR DIE INGENIEURBAUWERKE 138
3.1 Beschreibung der Zustandsentwicklung 139
3.2 Maßnahmearten und Maßnahmekosten 140
LITERATUR 142

1 BESTANDSDATEN DER INGENIEURBAUWERKE

Die benötigten Bestandsdaten der Ingenieurbauwerke können aus SIB-Bauwerke übernommen werden. SIB-Bauwerke enthält eine Fülle von in der Modellrechnung punktuell berücksichtigten Detailinformationen, die in **ANHANG 1 – Datendokumentation** im Einzelnen dargestellt sind. Dazu gehören generell Informationen zu:

- Bauwerkskenngrößen (Bauwerksnummer, Anzahl Teilbauwerke),
- Bauwerksart,
- Baulast (Konstruktion und Fahrbahndecke),
- Baujahr,
- Gesamtlänge, Breite, Fläche,
- Tragfähigkeit,
- Hauptbaustoffe der Bauteile bzw. Bauteilgruppen.

2 SCHADENS- UND ZUSTANDSBEWERTUNG DER INGENIEURBAUWERKE

Für die Bedarfsprognose der Ingenieurbauwerke stehen Zustandsnoten zur Verfügung, die seit 1999 nach den „Richtlinien zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF)“ gebildet werden (*BMV 2004*). Die Bewertungsergebnisse werden für alle Ingenieurbauwerke in der Datenbank SIB-Bauwerke vorgehalten.

Um den Zustand eines Bauwerks beurteilen zu können, sind Angaben zur Bauwerksgeschichte, zur Nutzung und Beanspruchung erforderlich sowie Untersuchungen am Bauwerk durchzuführen. Die Angaben zur Bauwerksgeschichte umfassen u. A. Daten über Alter, Art und Zweck des Bauwerks, die wesentlichen statischen und konstruktiven Merkmale, Baustoffdaten sowie Ausführungsunterlagen. Darüber hinaus sind Umbau-, Ergänzungs- und Instandsetzungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Weiterhin sind Angaben zur Nutzung und Beanspruchung zu erfassen. Das Fazit der Prüfung am Bauwerk ist die Beurteilung von eventuellen Schäden und die Bewertung des Zustandes. Wenn die im Rahmen der Bauwerksprüfung gewonnenen Erkenntnisse nicht ausreichen, den Zustand des Bauwerks zu beurteilen, werden zusätzliche Untersuchungen erforderlich. In besonderen Fällen muss, aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse, das Verformungsverhalten oder die Standsicherheit eines Bauwerks oder seiner Komponenten rechnerisch überprüft werden.

Die Verfahrensweise für die Schadens- und Zustandsbewertung von Bauwerken ist in den bereits o. e. Richtlinien (RI-EBW-PRÜF) dokumentiert. Bei der Entwicklung des Verfahrens wurden zunächst genaue Definitionen der Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit erarbeitet. Grundlage des Verfahrens ist die detaillierte Bewertung der Einzelschäden. Dabei ist im Verlauf der Bauwerksprüfungen für jeden erfassten Einzelschaden eine getrennte Schadensbewertung (ganzzahlige Noten von 0 bis 4) nach den drei o. a. Kriterien durchzuführen. Zusätzlich ist für jeden Einzelschaden der Schadensumfang quantitativ

zu erfassen. Bei der Schadensbewertung ist zunächst von einem mittleren Schadensumfang und einer mittleren Schadenshäufigkeit auszugehen. Abweichende Umfänge bzw. Häufigkeiten werden später bei der Ermittlung der Zustandsnote (s. u.) durch Zu- und Abschläge berücksichtigt (*Haardt 1999b*).

Zustandsnote	Bauwerkszustand	Standsicherheit	Verkehrssicherheit	Dauerhaftigkeit	Instandsetzung	Schadensbeseitigung
1,0 – 1,4	sehr gut	gegeben	gegeben	gegeben		
1,5 – 1,9	gut	gegeben	gegeben	geringfügige Beeinträchtigung auf längere Sicht möglich		
2,0 – 2,4	befriedigend	gegeben	gegeben Warnhinweise evtl. kurzfristig erforderlich	Beeinträchtigung auf längere Sicht möglich	mittelfristig erforderlich	evtl. kurzfristige rforderlich
		Schadensausbreitung oder Folgeschädigung möglich				
2,5 – 2,9	ausreichend	gegeben	Beeinträchtigung möglich Warnhinweise evtl. kurzfristig erforderlich	erhebliche Beeinträchtigung möglich	kurzfristige rforderlich	evtl. kurzfristige rforderlich
		Schadensausbreitung oder Folgeschädigung zu erwarten				
3,0 – 3,4	nicht ausreichend	beeinträchtigt	beeinträchtigt Warnhinweise evtl. umgehend erforderlich, evtl. Nutzungseinschränkungen	unter Umständen nicht mehr gegeben	umgehend erforderlich	evtl. umgehend erforderlich
		evtl. Schadensausbreitung oder Folgeschädigung, so dass Standsicherheit bzw. Verkehrssicherheit kurzfristig nicht mehr gegeben				
3,5 – 4,0	ungenügend	erheblich beeinträchtigt oder nicht mehr gegeben Warnhinweise evtl. sofort erforderlich, evtl. Nutzungseinschränkungen		unter Umständen nicht mehr gegeben	umgehend erforderlich oder Erneuerung	evtl. sofort erforderlich
		evtl. Schadensausbreitung oder Folgeschädigung, so dass Standsicherheit bzw. Verkehrssicherheit kurzfristig nicht mehr gegeben oder irreparabler Bauwerksverfall				

Abb. B1: Bedeutung der Zustandsbereiche bei den Ingenieurbauwerken (*Metzler 2005*)

Bei der Bewertung von Einzelschäden nach der Standsicherheit und der Verkehrssicherheit sind ausschließlich die aktuellen Einflüsse des Schadens zu berücksichtigen. Die Bewertung

der Dauerhaftigkeit umfasst die Auswirkungen des Schadens in zeitlicher Hinsicht. Zur Sicherstellung eines einheitlichen Vorgehens bei der Schadensbewertung werden dem Prüfer umfangreiche Schadensbewertungskataloge an die Hand gegeben. Diese Beispielsammlungen sind in der Richtlinie RI-EBW-PRÜF enthalten.

Die Zustandsbewertung von Bauwerken (bzw. Bauteilen oder Bauteilgruppen) nach DIN 1076 erfolgt auf Grundlage der Noten (0 bis 4) aus der Schadensbewertung. Die Ergebnisse der Zustandsbewertung werden auf einer Notenskala abgebildet, die von Zustandsnote 1,0 bis Zustandsnote 4,0 reicht. Zur Beurteilung der Auswirkungen der Schäden auf die Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit sind auf dieser Skala sechs Zustandsnotenbereiche definiert. Die Abgrenzungen und Inhalte dieser sechs Zustandsbereiche sind in Abb. B1 dargestellt (nach *Metzler 2005*). Auf der Grundlage dieser Einteilung ist, ähnlich wie bei den Fahrbahnen, die Festlegung eines Warnwerts (Note 2,5) und eines Schwellenwerts (Note 3,0) möglich. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für eine vereinheitlichte Vorgehensweise bei der systematischen Erhaltungsplanung für Fahrbahnen und Ingenieurbauwerke erfüllt.

Neben den Zustandsnoten wird für die Bauteile bzw. Bauteilgruppen eine Substanzkennzahl ermittelt. Die Bewertung erfolgt analog der Verfahrensweise bei den Zustandsnoten, wobei allerdings das Kriterium Verkehrssicherheit vernachlässigt wird. Die Substanzkennzahl ist vergleichbar mit dem Substanzwert der Fahrbahnen.

3 FINANZBEDARFSERMITTLUNG FÜR DIE INGENIEURBAUWERKE

Bei der Bedarfsprognose im Rahmen des BVWP 2003 wurde für die Ingenieurbauwerke das Strategiemodellverfahren angewendet. Die Abschätzung des Erhaltungsbedarfs der Brücken erfolgte dabei mit Hilfe der aus der Altersstruktur abgeleiteten Investitionszeitreihe. Im Strategiemodellverfahren können jedoch keine Einzelbauwerke, sondern nur Bauwerksgruppen für festgelegte Merkmals- und Alterskategorien betrachtet werden (s. **ANLAGE –** Strategiemodell).

Bei der Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs 2011 bis 2015 (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*) standen erstmals mit den Bauwerksdaten gemäß ASB-ING vollumfänglich detaillierte Informationen sowohl zum Bestand der Einzelbauwerke einschließlich der vorhandenen Bauteile bzw. Bauteilgruppen als auch zu ihrem Zustand zur Verfügung.

Aufbauend auf diesen verfügbaren Datenbeständen wurde eine neue Methodik für die Prognose des Erhaltungsbedarfs entwickelt. Sie basiert auf der Betrachtung der Bauteile jedes Einzelbauwerkes, wobei Erkenntnisse aus der Entwicklung eines Management- Systems der Bauwerkserhaltung (BMS-SB) einbezogen wurden.

3.1 Beschreibung der Zustandsentwicklung

Voraussetzung für die Anwendung des neuen Modellverfahrens ist die Kenntnis der Zustandsnoten bzw. Substanzkennzahlen der am Bauwerk vorhandenen Bauteilgruppen, die entsprechend der aktuellen Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken errechnet wurden. Zur Bestimmung des Zeitpunktes einer Erhaltungsmaßnahme werden Verhaltensfunktionen in Anlehnung an die Modelle der BMS-Entwicklung herangezogen (*Novak, Brosge, Reichert 2003*). Diese basieren auf der Abschätzung mittlerer (Rest-) Nutzungsdauern für die einzelnen Bauteile unter Berücksichtigung der vorhandenen Schädigung. Damit kann in Abhängigkeit vom gegenwärtigen Zustand abgeschätzt werden, wann ein vorgegebener Eingreifbereich erreicht wird und ein Bauteil zur Erhaltung ansteht.

Die verwendeten Verhaltensfunktionen für die Bauteile von Brücken sind in Abb. B2 dargestellt. Eine Vereinfachung ist dabei insoweit vorgenommen, als auch für das Verhalten des Unter- und Überbaus eine lineare Funktion herangezogen wird, da die für die Beschreibung des (nicht linearen) Verhaltens hinsichtlich der Karbonatisierung und Chlorideindringung benötigten Faktoren (z. B. Diffusionskonstanten, Chloridwanderungskoeffizienten, *Novak, Brosge, Reichert 2003*) allenfalls für Einzelbauwerke, aber nicht netzweit verfügbar sind.

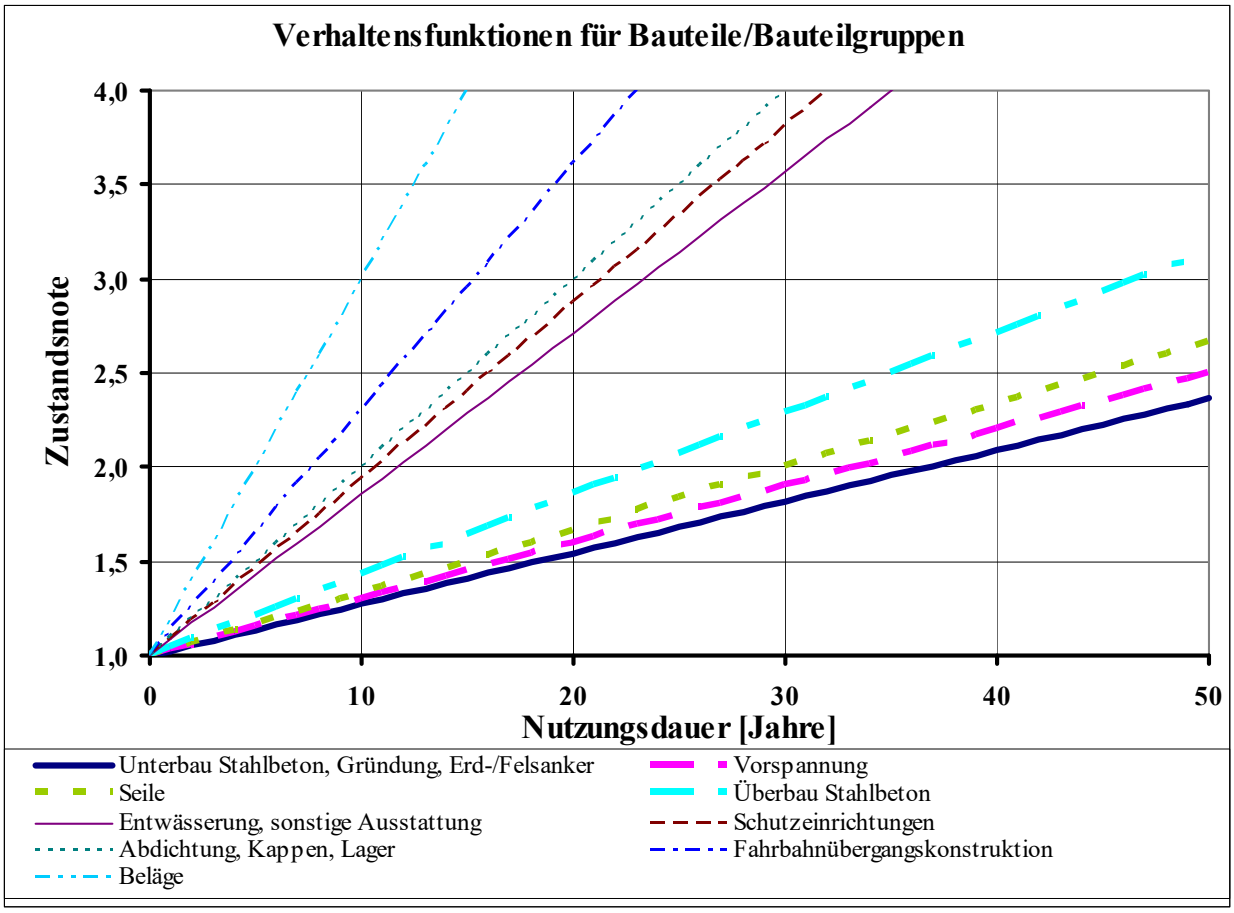


Abb. B2: Verhaltensfunktionen für Brückenbauteile/Bauteilgruppen (nach *Novak, Brosge, Reichert 2003*)

Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen an den Bauteilen bzw. Bauteilgruppen der Teilbauwerke der Brücken werden in Betracht gezogen, wenn der Zustand im Eingreifbereich von 2,5 bis 3,0 liegt. Eine Erhaltungsmaßnahme wird spätestens in dem Jahr angesetzt, in dem die Eingreifschwelle (3,0) überschritten wird. Danach erfolgt die Rücksetzung (Reset) der Zustandsnoten der jeweils betroffenen Bauteile und die erneute Fortschreibung des Zustandes mit den in Abb. B2 veranschaulichten Verhaltensfunktionen.

3.2 Maßnahmearten und Maßnahmekosten

Bei den Brücken werden sowohl Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen für die einzelnen Bauteile als auch kombinierte Maßnahmen an mehreren oder allen Bauteilen untersucht. Während bei Maßnahmen an einzelnen Bauteilen nur der Zustand des jeweiligen Bauteils zurückgesetzt wird, werden bei kombinierten Maßnahmen die Zustandsnoten aller betroffenen Bauteile zurückgesetzt. Auf diese Weise können die höheren Kosten für kombinierte Maßnahmen durch Synergieeffekte bei den Gerüst-, Verkehrslenkungs- und Baustelleneinrichtungskosten sowie durch entsprechend höhere Wirksamkeiten kompensiert werden. Die Zustandsnoten werden bei Erneuerung der Bauteile auf 1,0, bei Instandsetzung auf 1,5 zurückgesetzt.

Unberücksichtigt bei den Berechnungen bleiben die Bauteile Seile, Anker und Vorspannung. Seile und Anker sind relativ selten, es liegend dafür nur uneinheitliche bzw. keine Kostensätze vor; diese Bauteile erfordern individuelle Untersuchungen. Vorspannung wird bei der Erhaltung des Überbaus durch individuelle, vom Hauptbaustoff und der Brückenfläche abhängige Kostensätze berücksichtigt.

Die Bündelung von Erhaltungsmaßnahmen am Teilbauwerk erfolgt nach zwei unterschiedlichen Ansätzen. Zunächst werden technisch zwingende Bündelungen vorgenommen:

- Erneuerung der Abdichtung erzwingt Maßnahme am Belag,
- Erneuerung der Kappen erzwingt Erneuerung der Schutzeinrichtung,
- Erneuerung des Überbaus erzwingt Erneuerung Lager, Abdichtung, Belag, Kappen, Schutzeinrichtung, Vorspannung und Übergangskonstruktion,
- Erneuerung des Unterbaus (einschließlich Gründung) erzwingt Erneuerung aller anderen vorhandenen Bauteilgruppen und entspricht somit einem Ersatz des gesamten Bauwerks. Die Bedingungen der Substanzkennzahlen für einen Ersatz sind:
  - sofort: Unterbau ≥ 3,5 ODER (Überbau ≥ 3,5 UND Unterbau ≥ 3,0)
  - vordringlich: Unterbau ≥ 3,5 ODER (Überbau ≥ 3,0 UND Unterbau ≥ 3,0)
  - kurzfristig: Unterbau ≥ 3,5 ODER (Überbau ≥ 3,0 UND Unterbau ≥ 2,9)
  - später: ((Überbau ≥ 2,9 UND Unterbau ≥ 2,5) ODER (Überbau > 2,3 UND Unterbau > 2,3 UND Kappen > 2,5)) UND Baujahr<1955

In einem zweiten Arbeitsgang erfolgt eine zeitliche Bündelung. Dabei werden die ermittelten Finanzbedarfswerte für Maßnahmen an unterschiedlichen Bauteilgruppen und Ersatz eines

Teilbauwerks zeitlich gleichmäßig verteilt, wenn sie innerhalb eines festgelegten Zeitfensters vorgesehen sind. Im Sinne der Finanzbedarfsprognose bietet es sich an, dieses Zeitfenster auf Halbdekaden festzulegen.

Die Entscheidung, ob eine Instandsetzung oder Erneuerung gewählt wird, fällt in Abhängigkeit von den durch die Szenarienbildung vorgegebenen Randbedingungen (z. B. verfügbares Budget bei Finanzszenarien, Qualitätsziel bei Qualitätsszenarien).

Maßnahmen zur Verstärkung oder Ertüchtigung von Brücken, die eine zu geringe Tragfähigkeit aufweisen, können derzeit noch nicht im Modellablauf berücksichtigt werden, da noch kein Algorithmus für die Bewertung der längerfristigen Wirkungen derartiger Maßnahmen verfügbar ist.

Die Kostensätze für Maßnahmen an Ingenieurbauwerken wurden im Zusammenhang mit der Entwicklung des BMS in einer Basiskalkulation für ca. 70 verschiedene Maßnahmearten erhoben (*Hellmann, Maerschalk, Rübensam 2002*). Sie beruhen auf einer Analyse der Teilleistungen an einzelnen Bauteilen und wurden mit einigen an der BMS-Entwicklung beteiligten Straßenbauverwaltungen einer ersten Abstimmung unterzogen. Diese Kostenerhebung wurde anschließend auf eine breitere und repräsentativere Basis gestellt (*Freitag, Pommerening, Walther, Stadler 2003*). Die für ein betrachtetes Bauwerk angesetzten Kosten ergeben sich in Abhängigkeit von der Bauwerksgröße und dem Maßnahmeumfang aus der Addition der Teilkomponenten

- Verkehrssicherung,
- Einrichten/Räumen der Baustelle,
- Aufbauen/Vorhalten eines Gerüsts,
- Durchführung der Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme.

In **ANHANG 1 - Datendokumentation** sind beispielhaft einige aus dieser Addition gebildete Einheitskosten (mittlere Brückengröße, mittlerer Maßnahmeumfang) aufgelistet. Die Einheitskosten der dort aufgeführten wichtigsten Maßnahmearten unterscheiden sich je nach Brückengröße und Maßnahmeumfang für alle einzelnen Bauwerke, wobei die Werte mit abnehmender Brückenfläche im Allgemeinen größer werden.

Für die Abgrenzung der baulichen Unterhaltung von Ingenieurbauwerken gegenüber den Maßnahmekosten für Instandsetzung bzw. Erneuerung gibt es bisher keine klaren Definitionen. Im Rahmen der vorliegenden Finanzbedarfsprognose wird davon ausgegangen, dass die angesetzten Kosten für Instandsetzung und Erneuerung bereits mit den baulichen Unterhaltungskosten kombiniert sind. Das heißt, dass im Einzelfall u. U. auf Instandsetzungen zugunsten von baulichen Unterhaltungsarbeiten verzichtet wird. Es werden also keine gesonderten Unterhaltungskosten angesetzt.

LITERATUR ZUM BMS

Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau (BMV 2004):
RI-EBW-PRÜF – Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerkshauptprüfung nach DIN 1076. Dortmund, Verkehrsblatt – Verlag 2004.

Freitag, N.; Pommerening, D.; Walther, C; Stadler, A. (2003):
Weiterentwicklung des Verfahrens zur Ermittlung von Baulastträgerkosten im Rahmen des BMS. Schlussbericht zum FE 15.371/2002/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. KHP König Heunisch Planungsgesellschaft mbh und PTV traffic mobility logistics. Leipzig 2003.

Haardt, P. (1999a):
Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken und Ingenieurbauwerken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B25, Bergisch Gladbach 1999.

Haardt, P. (1999b):
Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B22, Bergisch Gladbach 1999.

Hellmann, L.; Maerschalk, G.; Rübensam, J (2002).:
Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Maßnahmevarianten für die Erhaltungsplanung auf Objektebene. Schlussbericht zum FE 15.323/2000/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. RS Consult und SEP Maerschalk, Berlin 2002.

Maerschalk, G.; Krause, G.; Hinsch, K. (2012):
Überprüfung und Aktualisierung der Erhaltungsbedarfsprognose der Bundesfernstraßen. Projekt-Nr. 28.0021/2007/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. SEP Maerschalk, München, März 2012

Metzler, H (2005).:
Bauwerkserhaltung. Der Elsner, 2005.

Novak, B., Reichert, F (2001).:
Entwicklung eines Katalogs von Erhaltungsmaßnahmen für Brücken und Ingenieurbauwerke. Schlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt FE 15.319/1999/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. Universität Stuttgart, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren und König Heunisch Beratende Ingenieure. Stuttgart 2001.

Novak, B.; Brosge, S.; Reichert, F. (2003):
Weiterentwicklung von Verhaltensmodellen im Rahmen des Bauwerks-Management-Systems. Schlussbericht zum FE 15.370/2002/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. Universität Stuttgart, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren. Stuttgart 2003.

ANHANG: HANDBUCH ZUR DOKUMENTATION

Nachfolgend werden erläutert

- **ANHANG 1 – Datendokumentation,**
- **ANHANG 2 – Ergebnisdokumentation.**

Die folgenden textlichen Ausführungen sollen das Verständnis der eigentlichen Dokumentation erleichtern, die soweit wie möglich auf Datenträger erfolgt. Dieser **Datenträger** hat folgende Grundstruktur mit den **Verzeichnissen**

- **0Berichte**
  enthält digital alle Zwischenberichte, den Kurzbericht und diesen Schlussbericht (jeweils als docx und pdf). Auf dieses Verzeichnis wird nachfolgend nicht näher eingegangen.
- **Anlage-Verfahren**
  enthält digital die in der Anlage des Schlussberichts ausgedruckten Beschreibungen zu allen angewendeten Verfahren mit Hinweisen auf zugehörige Handbücher und/oder Forschungsberichte für vertiefte Informationen.
- **Anhang1-Daten**
  enthält alle Dateien mit Sachdaten und Parameterdaten (s. dazu Kap. A1.5). Aus datentechnischen Gründen werden hier auch Detailergebnisse der Berechnungen hinterlegt.
- **Anhang2-Ergebnisse**
  enthält alle Dateien mit Rechenergebnissen (soweit nicht in Anhang1 wiedergegeben).

Die Unterstrukturen dieser Verzeichnisse sind in Abb. A.0 dargestellt. Sie werden bezüglich der Anhänge 1 und 2 bei den jeweils zugehörigen textlichen Erläuterungen nochmals veranschaulicht.

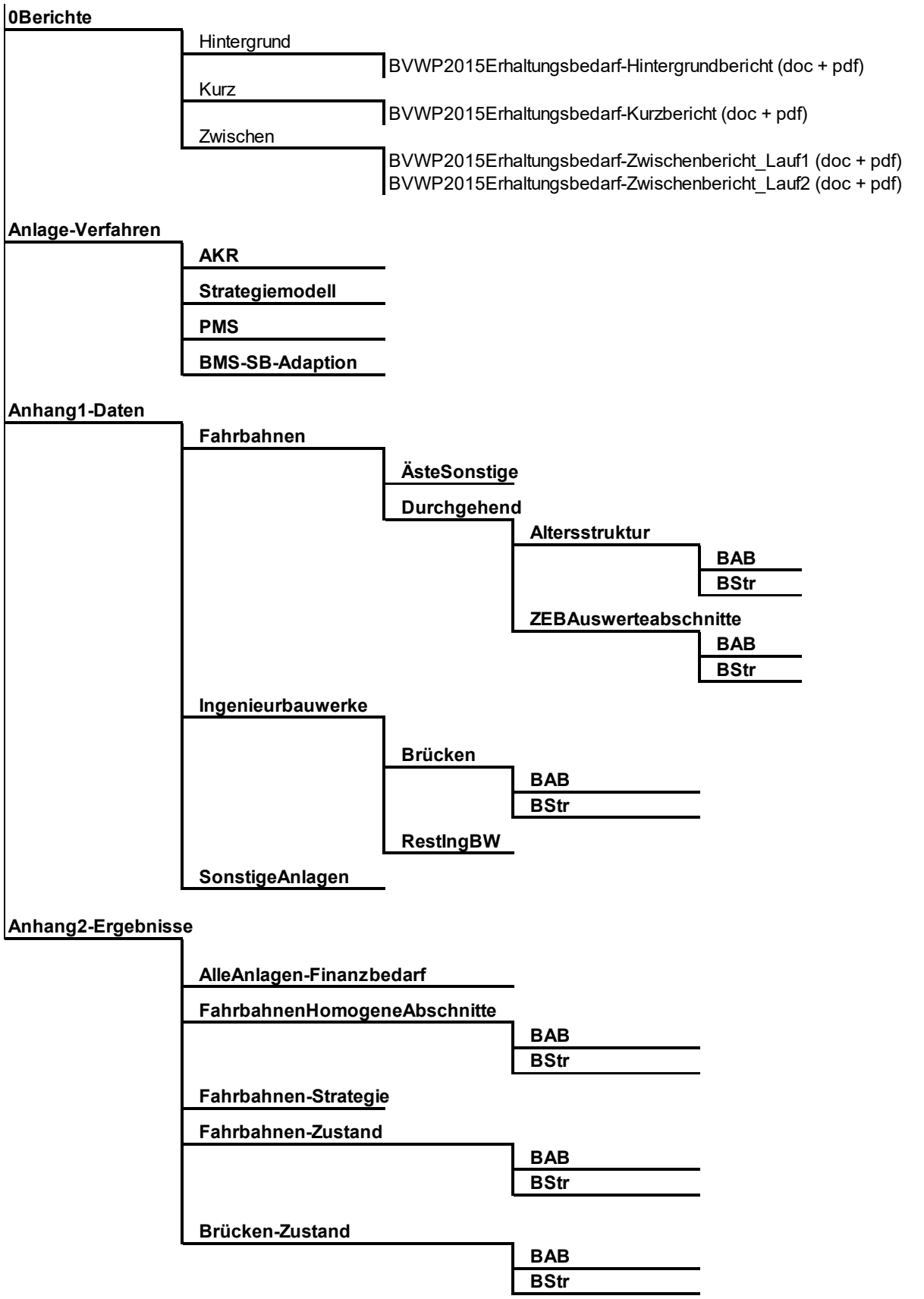


Abb. A.0: Grundstruktur des Datenträgers zur Dokumentation

ANHANG 1: DATENDOKUMENTATION

Inhalt

A1.1 Vorbemerkung 109
A1.2 Übernahme und Aufbereitung der Sachdaten für die Fahrbahnen 110
A.1.2.1 Datenübernahme und Datenbestand für die Aufbereitung 110
A.1.2.2 Sollnetz und Datenvollständigkeit – durchgehende Fahrbahnen 111
A.1.2.3 Datenqualität – durchgehende Fahrbahnen 114
A.1.2.4 Äste, Seitenstreifen, Betriebsflächen, Radwege 115
A1.3 Übernahme und Aufbereitung der Sachdaten für die Ingenieurbauwerke 116
A1.4 Übernahme der Sachdaten für die sonstigen Anlagenteile 118
A1.5 Parameterdaten 119
A.1.5.1 Kosten 121
A.1.5.2 Nutzungszeiten 125
A1.6 Struktur des Datenträgers zu ANHANG 1 - Datendokumentation 127

A1.1 Vorbemerkung

Im Rahmen der Datendokumentation wird beschrieben, wie die für die Bedarfsprognose benötigten Daten übernommen und aufbereitet wurden. Nicht näher eingegangen wird auf Datenarten und -formate in den zugrunde liegenden Datenquellen. Diese sind z. B. im Detail dokumentiert in

- ASB - Anweisung StraßeninformationsBank (Version 2.03, 03.04.2014) oder
- ASB-ING (Anweisung Straßeninformationsbank für Ingenieurbauten, Teilsystem Bauwerksdaten, Stand: 2013/10).

Zusätzlich existieren Dokumentationen zu Export-Dateien der jeweiligen Datenbanksysteme der Auftragsverwaltungen (z. B. TTSIB, NWSIB, SIB-Bauwerke). Für eine erfolgreiche Datenübernahme und Weiterverarbeitung sind diese Unterlagen zu beachten.

A1.2 Übernahme und Aufbereitung der Sachdaten für die Fahrbahnen

Für die Bedarfsprognose der durchgehenden Fahrbahnen und der Äste werden Daten zu Netzbeschreibung, administrative Angaben, Querschnittsdaten, Aufbaudaten, Verkehrsdaten und, sofern vorhanden, Zustandsdaten benötigt. Diese Sachdaten finden sich in den Straßendatenbanksystemen der Auftragsverwaltungen. Bei den Zustandsdaten muss teilweise auf die Ergebnisdatei der ZEB zurückgegriffen werden.

A1.2.1 Datenübernahme und Datenbestand für die Aufbereitung

Abb. A1-1 zeigt, welche Dateien von den Straßendatenbanksystemen angefordert werden (Beispiel externe Schnittstelle ESS der TTSIB, ähnlich NWSIB als MS-Access-Datenbank).

Fahrbahnen:	TTSIB (NWSIB) Übergabe durch ESS (Access)	
DB000315.DBF	Netzbeschreibung (Abschnittsfolge)	**RASTER-ZEB.xlsx**
DB001005.DBF	Baulast	
DB001009.DBF	Dienststelle	
DB001011.DBF	Fahrstreifen	
DB001019.DBF	OD-Grenzen	
DB001025.DBF	Zählstellen (Verkehr)	
DB001030.DBF	Querschnitte	
DB001031.DBF	Aufbaudaten	
DB001037.DBF	Bahnigkeit	
DB001053.DBF	Zählstellenbereich	
DB001054.DBF	Verkehrsstärken	
ERG.DBF	Ergebnistabelle ZEB (gesondert)	

Abb. A1-1: Benötigte Objektgruppen aus den Straßendatenbanksystemen

Die gemäß Abb. A1-1 aus den Straßendatenbanksystemen übernommenen Daten müssen für die weitere Bearbeitung in geeigneter (Tabellen-) Form aufbereitet werden. Dies erfolgt mit Hilfe von Standard-Software (MS-Access und dBase).

Die Datenübernahme gemäß Abb. A1-1 mit anschließender Datenaufbereitung erfolgte letztmals im Jahr 2010 im Rahmen der Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs für 2011 bis 2025 (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*). Die nachfolgend beschriebenen Arbeitsschritte basieren auf diesen bereits plausibilisierten Datenbestand. Nach Zuordnung dieses plausibilisierten Datenbestands zum aktuellen Sollnetz (Stand derzeit 30.04.2016, s. u., s. auch Kap. A1.2.2) wird dabei zunächst geprüft, ob die gemäß Abb. A1-1 neu übernommenen Daten Fortschreibungen enthalten. Ist dies der Fall, werden die bei früheren Plausibilisierungen „gesetzten“ Werte ausgetauscht.

Die für den 3. Rechenlauf zur Bedarfsermittlung erforderliche Fortschreibung des Datenbestands von 1.1.2015 auf 2016 erfolgte nach diesem Prinzip. Da die Datenlieferungen für 2016 frühestens im April, vielfach aber auch erst im Juni vorlagen, kann als Datenstand der

30.04.2016 angenommen werden. Die aufbereiteten Daten für diesen Stand finden sich in der in Kap. A.1.6 erläuterten Struktur auf dem Datenträger.

Bei der Aufbereitung der aus den Straßendatenbanksystemen übernommenen Daten werden Prüfungen im Hinblick auf die Vollständigkeit (s. Kap. A1.2.2) und die Plausibilität (s. Kap. A1.2.3) vorgenommen. Geprüft wird derzeit auf der Grundlage von Einzelabfragen in den zur Aufbereitung eingesetzten Systemen (MS-Access, dBase). Da eine Datenaufbereitung für das Gesamtnetz der Bundesfernstraßen bisher in größeren Zeitabständen (2000, 2010 bzw. 2015, d. h. 10 bzw. 5 Jahre, s. o.) erfolgte, wurden diese Einzelabfragen noch nicht zu einem durchgängigen Verfahren zusammengefügt. Wenn diese Datenaktualisierungen häufiger erforderlich werden, ist ein derartiges Verfahren zur Zeitersparnis bei der Aufbereitung zwingend notwendig. Wie die nachfolgend aufgeführten Prüfungsinhalte zeigen, sind jedoch in jedem Fall noch manuelle Bearbeitungsschritte vorzusehen.

A1.2.2 Sollnetz und Datenvollständigkeit – durchgehende Fahrbahnen

Der erste und wichtigste Arbeitsschritt bei der Datenaufbereitung ist die Beschreibung des in den Straßendatenbanksystemen zu einem definierten Zeitpunkt hinterlegten Straßennetzes der durchgehenden Fahrbahnen („Sollnetz“) mit Rückgriff auf die übermittelte Netzbeschreibung (Abschnittsfolge, s. Abb. A1-1). Die Längen und Flächen der Sollnetze der Bundesautobahnen und Bundesstraßen sind für den Stand 30.04.2016 (3. Rechenlauf) sowohl auf Datenträger (s. o.) als auch im Schlussbericht (Kap. 4.1) dokumentiert.

Nach der Definition der Sollnetze für die durchgehenden Fahrbahnen müssen die übernommene Sachdaten zugeordnet werden. Nur so kann geprüft werden, wie vollständig die mit Hilfe des Netzes referenzierten Sachdaten sind (z. B. Querschnitte, Aufbaudaten, s. Abb. A1-1). Diese Sachdaten, z. B. zum Querschnitt oder Aufbau (s. Abb. A1-1), beziehen sich auf unterschiedliche Streckenlängen im Straßennetz. Werden all diese Längen, gleichsam als kleinster Nenner, als Abschnittsgrenzen berücksichtigt, ergibt sich eine Unzahl meist sehr kurzer Abschnitte. Für die Bedarfsprognose wird daher die Rasterung der ZEB gewählt, die bei den Fahrstreifen der Bundesautobahnen und den freien Strecken der Bundesstraßen 100 m, bei den Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen 20 m beträgt, wobei z. B. vor Netzknoten oder Ortsdurchfahrtgrenzen, die bei der ZEB stets als Abschnittsgrenzen berücksichtigt sind, auch geringere Längen vorkommen. Bei den Bundesautobahnen bezieht sich die Rasterung auf Fahrstreifen, bei den Bundesstraßen auf Richtungsfahrbahnen mit baulicher Richtungstrennung sowie ohne bauliche Richtungstrennung bei mehr als einem Fahrstreifen in mindestens einer Richtung („ZEB-Richtungsfahrbahnen“). Die Datenhaltung für diese ZEB-Rasterung ist zwar redundant, aber sehr flexibel im Hinblick auf Zusammenfassungen z. B. zu homogenen Abschnitten (s. **ANGANG 2**). Zwar müssen auch bei dieser recht feinen Rasterung in einigen Fällen in Bezug auf die Sachdaten Kompromisse geschlossen werden (z. B. Berechnung eines längengewichteten Mittelwerts bei Änderung der Fahrbahnbreite), was jedoch bei der auf maximal 100 m begrenzten Länge noch eine genügende Genauigkeit ergibt. Die für die ZEB-Rasterung aufbereiteten Daten können mit Standardsoftware (MS-Excel, s. Abb. A1-1) größeren Nutzergruppen zugänglich gemacht werden. Die ZEB-Raster-

Daten aller Bundesländer sind für die Bundesautobahnen und die Bundesstraßen im Excel-Format auf Datenträger hinterlegt (s. Kap. A1.6). Sie enthalten noch die bei den späteren Berechnungen ausgeblendeten ZEB-Auswerteabschnitte der bisher vergebenen ÖPP-Projekte der Bundesautobahnen.

Bei den Berechnungen zum Erhaltungsbedarf werden ZEB-Auswerteabschnitte mit fehlenden Sachdaten ausgeschlossen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die flächendeckend nur für die durchgehenden Fahrbahnen vorliegenden Zustandsdaten. In einer ersten Prüfung der Datenvollständigkeit werden daher den Sollnetzen der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen die für die Berechnungen verfügbaren ZEB-Daten zugeordnet. Da die Zeitdifferenz zum aktuellen Stand des Sollnetzes maximal bis zu 5 Jahre betragen kann (z. B. Netzstand 2016, letzte verfügbare ZEB 2011), sind Abweichungen derart zu erwarten, dass für Abschnitte oder auch einzelne Fahrstreifen im Sollnetz keine Zustandsdaten vorhanden sind oder, vor allem bei den Bundesstraßen, Abschnitte mit Zustandsdaten nicht mehr zum Sollnetz gehören. Bei dem Abgleich des Sollnetzes mit den ZEB-Daten können auch die Abschnitte identifiziert und bereinigt werden, die in der ZEB-Ergebnisdatei in 2 Ländern aufgeführt sind.

Wenn für Abschnitte keine Zustandsdaten vorhanden sind, ist ein Ausschluss aus den Berechnungen nicht zu vermeiden. Fehlen an Abschnitten nur Zustandsgrößen einzelner Zustandsmerkmale, ist eine Grundsatzentscheidung zu treffen:

- Auch wenn nur Teillücken vorhanden sind, werden die betreffenden Abschnitte aus dem Datenbestand für die Berechnungen entfernt.
- Es wird versucht, die Teillücken durch begründbare Setzungen zu schließen, um die betreffenden Abschnitte in den Datenbestand für die Berechnungen einzubeziehen.

Bei der erstgenannten Option werden auch Abschnitte entfernt, deren Daten, ausgenommen ein Attribut (z. B. fehlende Zustandsgröße Griffigkeit), ansonsten vollständig und korrekt sind. Bei der Datenaufbereitung für die Bedarfsprognose wird daher die zweitgenannte Option gewählt. Aus diesem Grund kann für die Datenaufbereitung nicht das System PMSI/O herangezogen werden, das keine Ergänzungen und Änderungen der Daten zulässt. PMSI/O kann erst eingesetzt werden, wenn die Daten vervollständigt bzw. korrigiert sind (s. u.).

BAB Fahrstreifenlänge BStr Länge Richtungsfb.	Zustandsgrößen vorhanden in %				
	AUN + SPT Allg. Uneb. + Spurrinnen- tiefe.	GRI Grif- fig- keit	RISS + RSF Risse + Rest- schadensfl.	Überlage- rung alle Zustands- größen	Überlagerung alle nach Setzungen Griffigkeit
Bundesautobahnen	98,3	97,2	97,3	95,1	97,1
Bundesstraßen	98,7	95,1	98,6	93,6	98,4

Abb. A1-2: Vollständigkeit der Zustandsdaten vor und nach Setzungen der Griffigkeit (ZEB 2013/14 der Bundesautobahnen und ZEB 2011/12 der Bundesstraßen, zugeordnet den Sollnetzen 2016, ZEB-Auswerteabschnitte mit Zustand)

Bei den Zustandsdaten sind Setzungen nur beim Merkmal „Griffigkeit“, das für die Bedarfsermittlung eine untergeordnete Bedeutung hat, vertretbar. Die Zustandsgröße der Griffigkeit wird als ungültig angesehen, wenn nur ein Messwert eines Auswerteabschnitts, also z. B. ein Wert von 100 Rohdatenwerten eines 100-m-Abschnitts, nicht anforderungsgerecht war (z. B. wegen zu geringer Messgeschwindigkeit), obwohl schon seit längerer Zeit ein Verfahren verfügbar ist, das für viele Auswerteabschnitte eine Substitution ermöglicht (*Oertelt, Heller, Maerschalk 2013*). Abb. A1-2 veranschaulicht die Vollständigkeit der Zustandsdaten vor und nach Setzungen der Griffigkeit für die den Sollnetzen (Stand 2016) zugeordneten Ergebnisse der ZEB 2013/14 der Bundesautobahnen und der ZEB 2011/12 der Bundesstraßen. Vernachlässigt sind dabei ZEB-Auswerteabschnitte ohne Zustandsdaten (wegen Baustellen u. ä. während der ZEB; 4,3 % der Fahrstreifenlänge bei den Bundesautobahnen, 1,5 % der Richtungsfahrbahnlänge bei den Bundesstraßen). Durch die Setzungen bei der Griffigkeit (auf ZW_GRI_15 = 1,5) können bei den Bundesautobahnen ca. 2 %, bei den Bundesstraßen immerhin fast 5 % der jeweiligen Längen dem Datenbestand für die Berechnungen zugeführt werden.

Abgesehen von den Zustandsdaten treten Lücken in der Datenvollständigkeit nahezu ausschließlich auf bei den

- Querschnittsdaten,
- Schichtarten und/oder Schichtdicken und/oder Einbaujahren der Schichten des Befestigungsaufbaus (Aufbaudaten),
- Verkehrsdaten.

Die entsprechenden Datenlücken sind bei einem Abgleich mit den jeweiligen Sollnetzen relativ einfach zu finden. Bei diesen Datenlücken wird wie folgt verfahren:

- Bei den Querschnittsdaten werden Informationen zu den vorhandenen Fahrstreifen und sonstigen Streifen (Seitenstreifen, Mehrzweckstreifen u. Ä,) sowie zu ihren Breiten benötigt. Vorhandene, aber nicht angegebene Querschnittsstreifen sind äußerst selten und lassen sich allenfalls durch Rückfragen oder durch gezielte Anschauung (z. B. von Luftbildern) ergänzen.
  Etwas häufiger fehlen Breitenangaben zu vorhandenen und angegebenen Streifen. Da diese Lücken fast ausschließlich über geringe Längen bzw. für nur wenige ZEB-Auswerteabschnitte auftreten, werden zunächst die vorherigen und nachfolgenden Abschnitte mit vorhandenen Breitenangaben ermittelt. Sofern es sich um plausible Werte handelt (s. u.) werden mittlere Breiten berechnet und den Lücken zugewiesen.
- Ergänzungen bei fehlenden Angaben zu den Aufbaudaten sind vertretbar, wenn der Befestigungsaufbau vor und nach den Lücken identisch ist. Bei Lücken mit geringen Längen (bis 200 m) ist es ausreichend, den Vorgänger- und Folgeabschnitt zu berücksichtigen und die Angaben zu übernehmen. Bei längeren Lücken werden derartige Substitutionen nur vorgenommen, wenn davor und danach jeweils längere Strecken mit identischem Aufbau vorhanden sind.

- Die Verkehrsdaten aus den Straßendatenbanksystemen stammen aus den im 5-Jahres-Turnus durchgeführten Bundesverkehrswegezählungen (BVZ, Verkehrsbelastungen des Querschnitts für Zählstellen mit Einzugsbereichen). Die Auswertung der Zählungen und die Überführung der Ergebnisse in die Straßendatenbanken dauern allerdings relativ lange. Für den 3. Rechenlauf zur Bedarfsermittlung waren noch nicht die aktuellen Werte der BVZ 2015, sondern die Werte der BVZ 2010 verfügbar.

  Für die Bedarfsermittlung werden die Werte des durchschnittlichen täglichen Verkehrs insgesamt (DTV) und insbesondere die Werte des durchschnittlichen täglichen Schwerverkehrs (DTV-SV) benötigt. Die DTV-Werte ermöglichen eine Priorisierung von Erhaltungsabschnitten bei der Optimierung (s. Kap. A2.2). Die Werte des DTV-SV werden zur Beurteilung der Anforderungsgerechtigkeit der vorhandenen Befestigung („Dimensionierung“) und, gemeinsam mit den Aufbaudaten, zur Ermittlung des Substanzwerts-Bestand herangezogen. Für diese Anwendungen werden die Verkehrsbelastungen Netzknotenabschnitten zugeordnet. Bei Richtungsfahrbahnen werden die Querschnittsbelastungen halbiert.

  Bei den Bundesautobahnen bleiben die Werte des DTV und des DTV-SV zwischen zwei aufeinander folgenden Netzknoten unverändert. Lücken sind sehr selten (2,8 % von 12.672 km für das Sollnetz 2016) und betreffen ausschließlich einzelne Netzknotenabschnitte. In diesen Fällen werden Mittelwerte, berechnet aus den DTV- bzw. DTV-SV-Werten der vorherigen und nachfolgenden Netzknotenabschnitte, angesetzt.

  Bei den Bundesstraßen ist die Annahme konstanter Verkehrsbelastungen zwischen aufeinander folgenden Netzknoten problematischer, da Netzknoten nur bei Verknüpfungen klassifizierter Straßen (Bundesautobahnen, Bundesstraßen, Landesstraßen, Kreisstraßen) gekennzeichnet werden, Änderungen in den Verkehrsbelastungen aber sicherlich auch, vor allem in Ortsdurchfahrten, bei Verknüpfungen mit nicht klassifizierten Straßen auftreten. Mit den verfügbaren Daten (Zählstellen und Einzugsbereiche, s. o.) können diese Änderungen nicht nachvollzogen werden, so dass auch bei den Bundesstraßen von festen Werten des DTV und des DTV-SV zwischen aufeinander folgenden Netzknoten ausgegangen werden muss. Im Vergleich zu den Autobahnen sind Datenlücken bei den Bundesstraßen deutlich häufiger (12,8 % von 36.526 km für das Sollnetz 2016). lassen sich jedoch durch Setzungen der Mittelwerte vorheriger und nachfolgender Netzknotenabschnitte beseitigen.

A1.2,3 Datenqualität – durchgehende Fahrbahnen

Vorhandene, jedoch möglicherweise fehlerhafte Daten der durchgehenden Fahrbahnen lassen sich wesentlich schwieriger finden und korrigieren als Datenlücken. Bei den Verkehrsdaten (DTV, DTV-SV, s. Kap. A1.2.2) sind keinerlei Aussagen zur Korrektheit möglich, bei den an sich bereits (in Teilprojekt 4) geprüften Zustandsdaten nur in Ausnahmefällen (z. B. Ausfall von Messsensoren über längere Strecken). Die Analysen zur Datenqualität beschränken sich daher auf die Querschnittsdaten und die Aufbaudaten.

Bei den Qualitätsanalysen der Querschnitts- und Aufbaudaten wird durch Abfragen geprüft, ob ungewöhnliche Werte oder Schichtenfolgen auftreten. Korrekturen sind nur nach einem Abgleich mit benachbarten Abschnitten und/oder Rücksprache mit der jeweils zuständigen Auftragsverwaltung möglich. Derzeit existieren keine diesbezüglichen Automatismen. Bei den eher konservativ vorgenommenen Korrekturen wird i. A. der Einzelfall betrachtet. Folgende Fälle werden gesondert geprüft:

- Bei der letzten ZEB wurde der Zustand für mehr Fahrstreifen erfasst als im aktuellen Sollnetz vorhanden. Hinterfragt wird, ob ein Rückbau erfolgte oder ein Fehler in den Querschnittsdaten vorliegt.
- Bei der letzten ZEB wurde der Zustand für weniger Fahrstreifen erfasst als im aktuellen Sollnetz vorhanden. Zu prüfen ist, ob ein Ausbau (Erweiterung um einen Fahrstreifen) erfolgte oder ein Fehler in den Querschnittsdaten vorliegt. Bei einem Ausbau kann der Zustand für alle Fahrstreifen (des Richtungsquerschnitts) zurückgesetzt werden, da die bereits vorhandenen Fahrstreifen dabei stets erneuert werden.
- Es treten Fahrstreifenbreiten unter 2,50 m oder über 5,00 m auf. Die Fahrstreifenbreiten benachbarter Abschnitte ermöglichen evtl. Korrekturen.
- Die Aufbaudaten enthalten auffällige Schichtdicken, z. B.
  - Asphaltdeckschichten < 2 cm oder > 10 cm,
  - Betondecken < 10 cm,
  - Asphaltbinderschichten > 10 cm,
  - gebundene Befestigung < 20 cm oder > 100 cm,
  - gesamter Oberbau > 200 cm.
- Die Aufbaudaten enthalten ungewöhnliche Angaben zu Einbaujahren, z. B.
  - offenbar gesetzte Baujahre (vielfach 1900),
  - Deckschicht- bzw. Deckenbaujahre < 1970,
  - Tragschichtbaujahre < 1950,
  - Einbaujahr einer Schicht ist kleiner als das Einbaujahr tiefer liegender Schichten,
  - identische Einbaujahre zweier Schichten, fehlendes Einbaujahr einer vorhandenen dazwischen liegenden Schicht.
- Auffälligkeiten in der Schichtfolge der Aufbaudaten, z. B.
  - Asphaltbinderschicht ohne Asphaltdeckschicht,
  - Asphaltdecke oder Betondecke ohne Tragschicht,

- Betondecke mit Binderschicht,
- gebundene Schicht(en) unter ungebundener Schicht.

Die vorgenannten Auffälligkeiten lassen sich nicht vollständig korrigieren. Es ist darüber hinaus davon auszugehen, dass als plausibel eingestufte Daten Fehler enthalten.

A.1.2.4 Äste, Seitenstreifen, Betriebsflächen, Radwege

Für die Äste, Seitenstreifen, Betriebsflächen und Radwege liegen keine (oder nur vereinzelt, s. Kap. 4.1.3) Zustandsdaten vor. Ihr Erhaltungsbedarf wird daher auf Basis des Längen- bzw. Flächenbestands mit Hilfe des Strategiemodellverfahrens ermittelt (s. **ANLAGE – Verfahrensdokumentation**).

Für die Anwendung des Strategiemodellverfahrens wurden die Längen- und Flächenbestände zum Stand 1.1.2015 zugrundegelegt, da die Aktualisierungen für den Stand 1.1.2016 für Rechenlauf 3 nicht termingerecht vorlagen. Wie die hinterlegten Dateien (s. dazu Kap. A1.6) mit den Vergleichen der beiden Jahre zeigen, sind die Längenunterschiede bei den Ästen und Seitenstreifen so gering, dass eine signifikante Änderung der Bedarfswerte ausgeschlossen werden kann. Bei den Radwegen an Bundessstraßen ist danach ein Zuwachs von 2.439 km zu verzeichnen. Vorliegende Erfahrungen (*Maerschalk, Oertelt 2016*) zeigen, dass bei der Datenhaltung der Länder bezüglich der Radwege noch größere Unsicherheiten bestehen. Ist der o. g. Radwegezuwachs tatsächlich vorhanden, sind die ermittelten Finanzbedarfswerte der Radwegeerhaltung sicherlich etwas zu gering.

Auch die Werte des Erhaltungsbedarfs der Äste liegen, speziell für die Bundesautobahnen, an der unteren Grenze. Es ist bei der momentanen Datenlage nicht möglich, mit einer automatisierten Abfrage zwischen Zu- und Abfahrten und Direktrampen zu unterscheiden. Zu- und Abfahrten weisen i. A. deutlich geringere Verkehrsbelastungen auf als durchgehende Fahrbahnen, Direktrampen, z. B. bei Autobahnkreuzen, sind sicher ähnlich oder sogar höher belastet. Da es im Rahmen einer bundesweiten Betrachtung nicht möglich ist, Direktrampen nach Einzelansichten von Darstellungen der jeweiligen Netzknoten zu separieren, werden sie bei der Bedarfsermittlung wie Zu- und Abfahrten behandelt, sofern sie nicht auf Brückenbauwerken verlaufen (der Brückenbelag ist i. A. in SIB-Bauwerke vorhanden).

A1.3 Übernahme und Aufbereitung der Sachdaten für die Ingenieurbauwerke

Die Bestands- und Zustandsdaten der Ingenieurbauwerke werden von den Bundesländern in der Straßeninformationsbank, Segment Bauwerksdaten (SIB-Bauwerke) vorgehalten. Die Daten werden zweimal jährlich an die BASt übermittelt.

Ingenieurbauwerke: Übergabe als *.CAB-Datei Import in SIB-Bauwerke/Auswert.		
tbwverz.xls	Teilbauwerksverzeichnis	TeilBWDaten.xlsx
fuko.xls	Übergangskonstruktionen (z.B. Art, Anzahl)	
lager.xls	Lager (z.B. Art, Anzahl)	
znskz.xls	Zustandsnoten/Substanzkennzahl der Bauteilgruppen	
("BASt"-) Datei mit Ertüchtigungsbrücken		

Abb. A1-3: Benötigte Datengruppen aus SIB-Bauwerke und zur Brückenertüchtigung

SIB-Bauwerke bietet die Möglichkeit, definierte Daten zu exportieren (als *.CAB-Datei). Nach Übernahme der exportierten Daten in SIB-Bauwerke des Auftragnehmers können die für die Bedarfsprognose benötigen Informationen ausgelesen werden (in MS-Excel). Abb. A1-3 zeigt die aus SIB-Bauwerke extrahierten Dateien. Zusätzlich wurde von der BASt eine (MS-Excel-) Datei mit den zur Ertüchtigung anstehenden Brücken übermittelt.

Die Vollständigkeit der für die Ingenieurbauwerke aus SIB-Bauwerke übernommenen Daten war bereits für die Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs von 2011 bis 2025 (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*) relativ gut. Die Vollständigkeitsauswertung für den Stand 2016 in Abb. A1-4 zeigt, dass damals noch bestehende Lücken zwischenzeitlich geschlossen wurden. Fehlende Einzelangaben nach Abb. A1-4 zur Geometrie oder zum Baustoff konnten bei Berücksichtigung zusätzlicher Detailinformationen aus SIB-Bauwerke noch ergänzt werden.

	Anzahl Teilbauwerke Bundesautobahnen					
	Gesamt	Vollständige	Fehlende Angaben bei:			
Bauwerksart		Angaben	Zustand	Baujahr	Geometrie	Baustoff
Brücken	26.524	26.348	113	31	59	82
Verkehrszeichenbrücken	12.639	11.353	233	272	1.062	486
Lärmschutzbauwerke	8.684	6.607	586	714	433	1.566
Stützbauwerke	2.207	1.872	135	125	163	277
Tunnel/Trogbauwerke	588	430	12	16	135	76
	Anzahl Teilbauwerke Bundesstraßen					
	Gesamt	Vollständige	Fehlende Angaben bei:			
Bauwerksart		Angaben	Zustand	Baujahr	Geometrie	Baustoff
Brücken	24.260	24.057	112	22	67	115
Verkehrszeichenbrücken	2.123	1.793	40	73	229	127
Lärmschutzbauwerke	3.258	2.521	317	271	227	459
Stützbauwerke	9.121	6.415	1.404	1.684	964	1.714
Tunnel/Trogbauwerke	719	647	14	6	206	86

Abb. A1-4: Datenvollständigkeit der Ingeneieubauwerke (Stand 2016)

Bei den für die Bundesstraßen übermittelten Daten der Teilbauwerke wiesen 49 Brücken und 21 restliche Ingenieurbauwerke mit Baulast „Bund“ unklare „zugeordnete Sachverhalte“ auf (Landesstraße, Kreisstraße, Gemeindestraße). Während die Brücken (Bayern 1, Brandenburg 3, Hessen 31, Nordrhein-Westfalen 14) relativ eindeutig zugeordnet werden konnten, war dies bei den restlichen Ingenieurbauwerken nicht möglich (Baden-Württemberg 9, Bayern 1, Nordrhein-Westfalen 3, Rheinland-Pfalz 1, Sachsen 7). Diese Teilbauwerke wurden in einer gesonderten Datei dokumentiert (s. Kap. A1.6) und bei der Bedarfsermittlung vernachlässigt (1 Verkehrszeichenbrücke, 3 Lärmschutzbauwerke, 11 Stützbauwerke, 6 Tunnel-/ Trogbauwerke).

Die Plausibilität der Daten aus SIB-Bauwerke lässt sich nur überprüfen, wenn außergewöhnliche Werte vorhanden sind. Dies war bei dem übernommenen Datenbestand nicht der Fall. Auch die früher vereinzelt vorkommenden Konstellationen, dass Zustandsdaten für eine bestimmtes Bauteil vorlagen, das betreffende Bauteil aber laut Bestandsliste nicht existierte (bzw. umgekehrt), traten nicht mehr auf.

Die aus SIB-Bauwerke übernommenen Daten wurden in Tabellenform aufbereitet und in mit Legende versehenen (MS-Excel-) Dateien gespeichert (Abb. A1-3, „TeilBWDaten.xlsx“, s auch Kap. A1.6), und zwar für die

- Brücken getrennt für Bundesstraßen und Bundesautobahnen, jeweils für die gesamte Bundesrepublik sowie separiert nach Bundesländern,
- Restlichen Ingenieurbauwerke getrennt für Bundesstraßen und Bundesautobahnen, jeweils für die Bundesrepublik insgesamt (durch Filterung kann problemlos nach Bundesländern separiert werden).

Die zur Ertüchtigung anstehenden Teilbauwerke der Brücken aus der „BASt-Datei“ wurden in o. g. Dateien integriert und gesondert gekennzeichnet („ja“ = Ertüchtigung lt. BASt-Liste, „ok“ = Ertüchtigung lt. BASt-Liste als erledigt gekennzeichnet). Zusätzlich wurden vom AN Brücken mit Tragfähigkeitsdefiziten ermittelt, die nach näherer Untersuchung evtl. noch zur Ertüchtigung anstehen (Kennzeichnung „ggf" = Tragfähigkeitsdefizite, ggf. Ertüchtigung erforderlich). Auch die Ingenieurbauwerke der ÖPP-Strecken sind in den dokumentierten Dateien enthalten und gesondert gekennzeichnet („PPP“).

A1.4 Übernahme der Sachdaten für die sonstigen Anlagenteile

Für die Ländern Nordrhein-Westfalen (vollumfänglich) sowie Niedersachsen und Rheinland-Pfalz (größtenteils) waren Mengenangaben zu den sonstigen Anlagenteilen verfügbar, die für die Anwendung des Strategiemodellverfahrens geeignet sind. Übermittelte Informationen einiger weiterer Länder waren unvollständig oder nicht zuordenbar, so dass ihr Erhaltungsbedarf über die jeweiligen Längen der Richtungsfahrbahnen in Analogie zu den vorliegenden Datenbeständen abgeschätzt werden musste (s. dazu Abb. 5.20).

Die von den 3 genannten Ländern übermittelten Mengenangaben zu den sonstigen Anlagenteilen sind auf Datenträger dokumentiert (s. Kap. A1.6)

A1.5 Parameterdaten

Im Gegensatz zu den Sachdaten beziehen sich die Parameterdaten nicht auf einzelne Abschnitte, sondern auf Bestandsgruppen oder sogar Gesamtbestände. Die für die Bedarfsermittlung wesentlichen Parameterdaten betreffen die Kostengrößen und die Nutzungszeiten.

A1.5.1 Kosten

Neben den dokumentierten Mengengrundlagen sind für die Ermittlung des Erhaltungsbedarfs vor allem die Maßnahmekosten von Bedeutung, die i. A. in Form von Einheitskosten (z. B. Euro/m²) angesetzt werden,

Die Einheitskosten für die Fahrbahnen stammen aus mehrfach überprüften und aktualisierten Basiskalkulationen verschiedener Straßenbaufirmen (*Oefner, Krmek, Nußrainer 2004; Zander, Birbaum 2011*). Auf Basis der diesbezüglichen Untersuchungen wurde ein Programm „ECost“ erstellt, das bei der BASt und vielen Straßenbauverwaltungen verfügbar ist. Damit können die Einheitskosten berechnet werden. In Abb. A1-5 sind die in den Maßnahmekosten (und in ECost) enthaltenen Einzelkomponenten aufgelistet.

Summe der Einzelkosten der Teilleistungen für die Maßnahmedurchführung (nach vereinfachtem Standardleistungskatalog
+ Baustellenkosten (Einrichten/Räumen der Baustelle)
+ Kosten der Verkehrsführung
= *Unmittelbare Herstellungskosten*
+ Gemeinkosten der Baustelle (Bauleitung, Abrechnung, Versicherungen usw.)
= *Herstellkosten*
+ Allgemeine Geschäftskosten (3 %)
= *Selbstkosten*
+ Zuschlag für Wagnis und Gewinn (5 %)
= *Angebotssumme - netto*
+ Mehrwertsteuer (damals 16 %)
= *Angebotsendsumme*

Abb. A1-5: Zusammensetzung der Kosten der Erhaltungsmaßnahmearten der Fahrbahnen (*Oefner, Krmek, Nußrainer 2004***)**

Eine erste Version des Programms „ECost“ (*Oefner, Krmek, Nußrainer 2004*) stand bereits für die Bedarfsprognose des BVWP 2003 zur Verfügung. Zwischenzeitlich erfolgte eine Aktualisierung dieser Kostendaten (*Zander, Birbaum 2011*). Die Ergebnisse dieser Aktualisierung wurden für die vorliegende Bedarfsprognose berücksichtigt. Sie weichen bei der überwiegenden Anzahl der Erhaltungsmaßnahmearten nicht oder nur geringfügig von den für die BVWP 2003-Prognose angesetzten Kostenwerten ab, so dass diese nach Anpassung mit den Baupreisindizes des Statistischen Bundesamtes an den Kostenstand 01.01.2015 für die aktuelle Prognose wieder herangezogen werden konnten.

Die angesetzten Einheitskosten der durchgehenden Fahrbahnen und die daraus abgeleiteten Werte für Äste, Seitenstreifen und Betriebsflächen sind auf Datenträger dokumentiert (s. Kap. A.1.6)

Auch die z. T. gegenüber 2010 neu ermittelten Maßnahmekosten der Ingenieurbauwerke enthalten im Wesentlichen die in Abb. A1-5 veranschaulichten Teilleistungen. Die Basis für die Kostenermittlung ist allerdings kleiner als bei den Fahrbahnen (*Freitag, Pommerening, Walther, Stadler 2003*). Die pro Teilbauwerk angesetzten Maßnahmekosten sind teilweise abhängig von der Bauwerksfläche. Zur Veranschaulichung der Größenordnung sind mittlere (gerundete) Kostenwerte auf Datenträger dokumentiert (s. Kap. A1.6).

Die auf Datenträger dokumentierten Kostensätze für die bauliche Unterhaltung der Fahrbahnen stammen aus stichprobenhaften Erhebungen in Bauverwaltungen; sie wurden im Rahmen einer diesbezüglichen Untersuchung im Wesentlichen bestätigt (*Maerschalk, Hinsch 2008*).

Die Maßnahmekosten mit Ausgangswerten zum Kostenstand 1.1.2010 wurden auf den Stand 1.1.2015 hochgerechnet. Die Entwicklung lässt sich mit den Baupreisindizes des Statistischen Bundesamts nachvollziehen. Abb. A1-6 veranschaulicht diese Preisindizes für den Straßenbau und den Brückenbau im Zeitraum 2010 bis 2015 (jeweils 1. Quartal) Es wird deutlich, dass, bezogen auf 2010 (Kostenindex = 1,0), ein Anstieg um 12 % bei den Fahrbahnen und 10 % bei den Ingenieurbauwerken zu berücksichtigen ist.

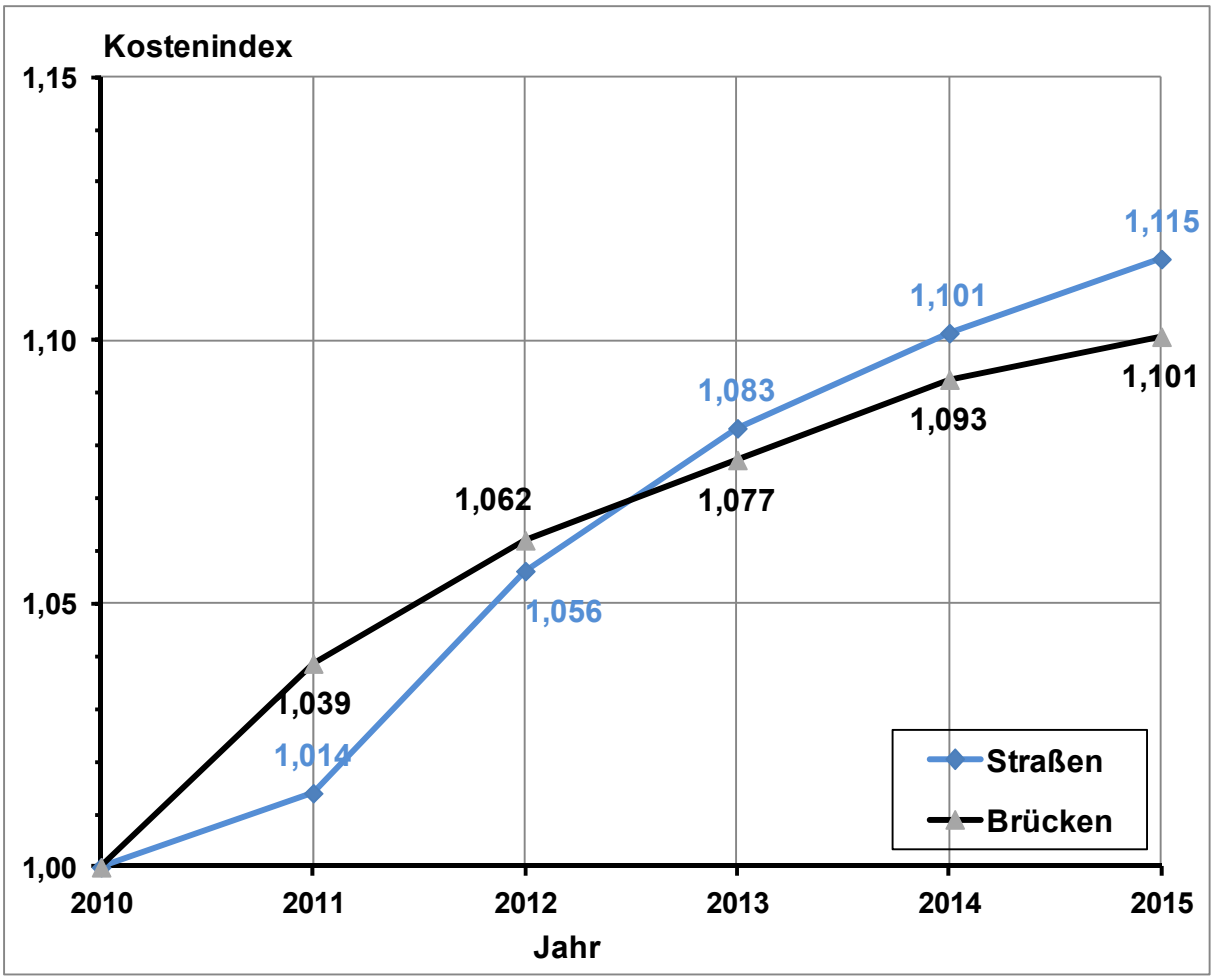


Abb. A1-6: Entwicklung der Preisindizes des Statistischen Bundesamtes für Straßenbau und Brückenbau (jeweils 1. Quartal)

A1.5.2 Nutzungszeiten

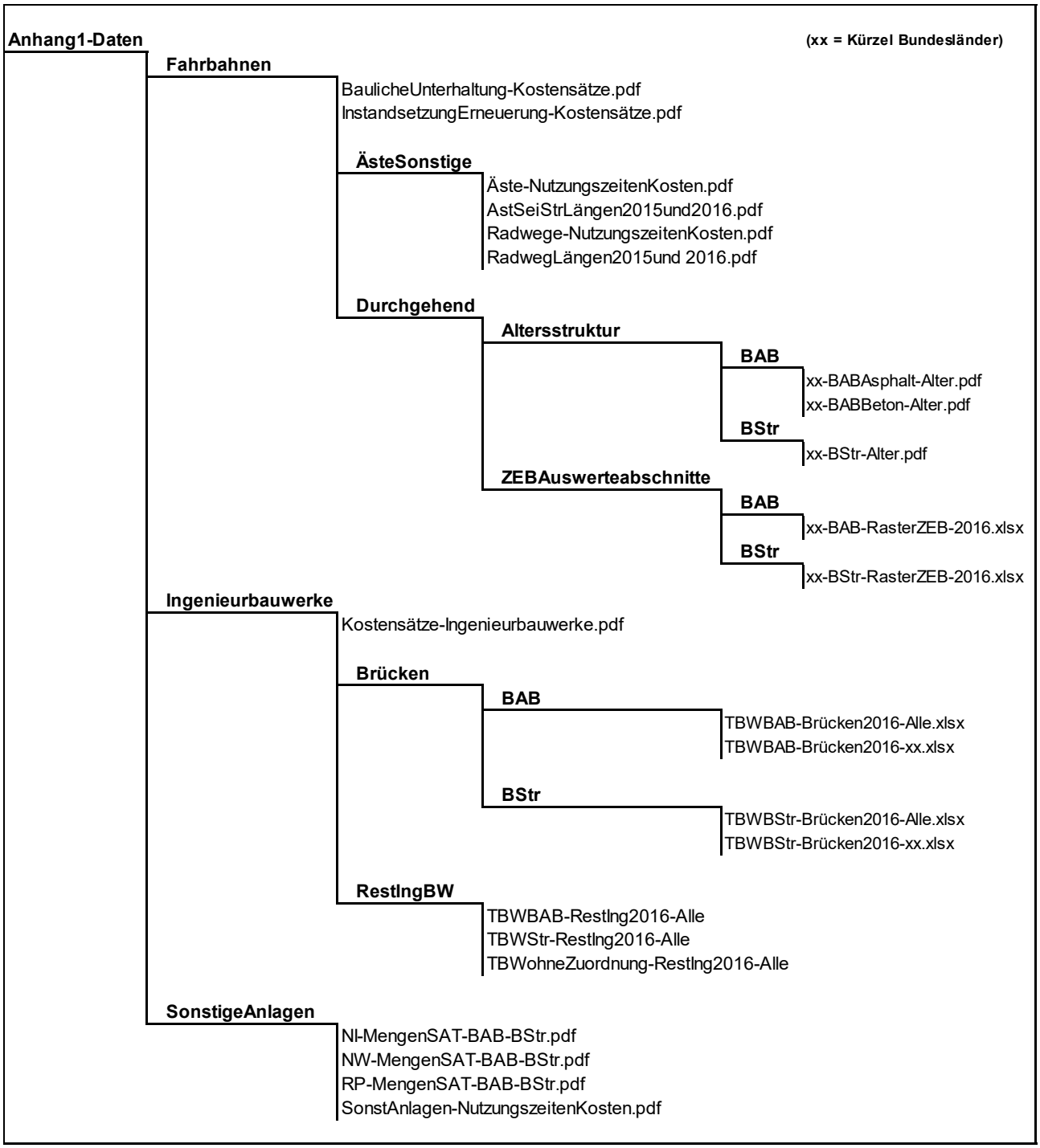
Für die durchgehenden Fahrbahnen und die Ingenieurbauwerke, d. h. für die Anlagenteile mit verfügbaren Zustandsdaten, werden die Nutzungszeiten zustandsabhängig ermittelt (s. **ANLAGE – Verfahrensdokumentation**).

Die für die Anwendung des Strategiemodells bei den Ästen angenommenen Nutzungszeiten für Instandsetzung bzw. Erneuerung sind zusammen mit den berücksichtigten Kostensätzen auf Datenträger dokumentiert (s. Kap. A1.6)

Bei den sonstigen Anlagenteilen, deren Bedarf mit den Strategiemodellverfahren berechnet wurde, wird bezüglich der Nutzungszeiten derzeit von Gleichverteilungen ausgegangen. Bei dieser Annahme sind mittlere Nutzungszeiten von Bedeutung. Grundsätzlich liegen auch obere und untere Grenzwerte für die Nutzungszeiten vor (aus *Zander, Birbaum, Schmidt 2015*), so dass auch andere Verteilungen angesetzt werden könnten. Die Nutzungszeitbereiche der sonstigen Anlagenteile sind zusammen mit den verwendeten Erhaltungskostensätzen auf Datenträger dokumentiert (s. Kap. A1.6).

A1.6 Struktur des Datenträgers zu ANHANG 1 - Datendokumentation

Die nachfolgende Grafik zeigt die Verzeichnisstruktur zu **ANHANG 1**.



LITERATUR (ZU ANHANG 1)

Freitag, N.; Pommerening, D.; Walther, C; Stadler, A. (2003):
Weiterentwicklung des Verfahrens zur Ermittlung von Baulastträgerkosten im Rahmen des BMS. Schlussbericht zum FE 15.371/2002/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. KHP König Heunisch Planungsgesellschaft mbh und PTV traffic mobility logistics. Leipzig 2003.

Maerschalk, G.; Hinsch, K. (2008):
Einbindung der baulichen Unterhaltung in Verfahren für das Erhaltungsmanagement. Schlussbericht zum FE 09.131/2003/MGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. SEP Maerschalk, München, März 2008.

Maerschalk, G.; Krause, G.; Hinsch, K. (2012):
Überprüfung und Aktualisierung der Erhaltungsbedarfsprognose der Bundesfernstraßen. Projekt-Nr. 28.0021/2007/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. SEP Maerschalk, München, März 2012

Maerschalk, G.; Oertelt, S. (2016):
Messtechnische Zustandserfassung und –bewertung und PMS-basierte Erhaltungsplanung auf Radwegen an Bundesstraßen in Brandenburg. FE 29.0330/2013/BB im Auftrag des Landesbetriebs Straßenwesen Brandenburg. SEP Maerschalk, München 2016.

Oefner, G.; Krmek, M.; Nußrainer, C. (2004):
Kostenermittlung für Erhaltungsmaßnahmen zur Bestimmung der Kosteneingangsgrößen für das PMS (Pavement Management System). Institut für Verkehrswesen und Straßenverkehrsanlagen, Universität der Bundeswehr München. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 896. Bonn, 2004.

Oertelt. S.; Heller, S.; Maerschalk, G. (2013):
Aktualisierung der Zustandserfassung und –bewertung. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 04.212/2007/MRB. Dießen, 2013.

Zander, U.; Birbaum, J. (2011)
Aktualisierung der Kostendaten.. Schlussbericht zum FE 29.0196/2008/ der Bundesanstalt für Straßenwesen. Universität Siegen. Institut für Straßenwesen. Siegen Juni 2011.

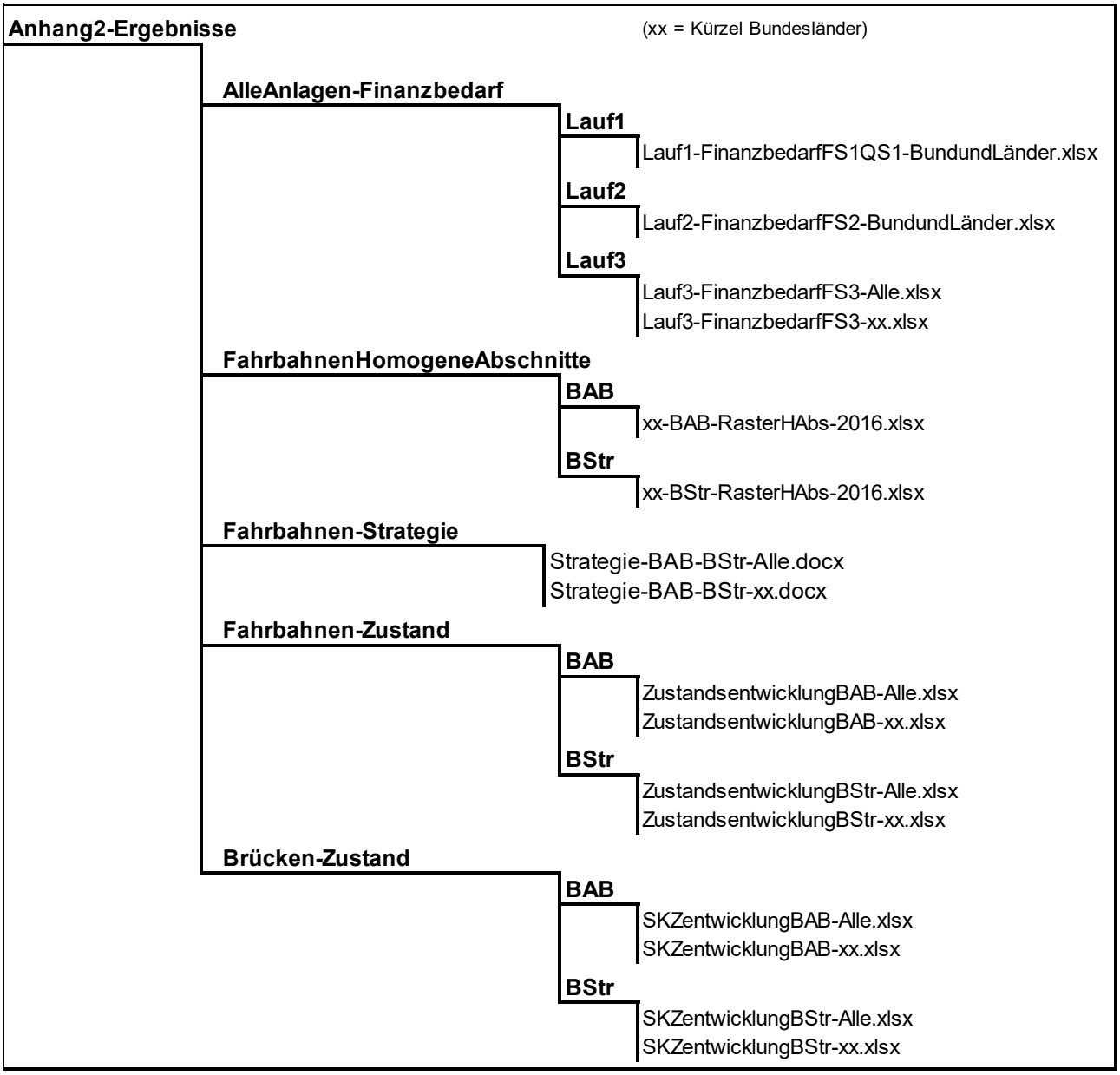
Zander, U.; Birbaum, J.; Schmidt, S.:
Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagenteile einer Straße in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements. Schlussbericht zum FE 04.0214/2008/MGB. Universität Siegen, Institut für Straßenwesen, Siegen 2013.

ANHANG 2: ERGEBNISDOKUMENTATION

Die Ergebnisdokumentation enthält:

- Den Finanzbedarf zur Erhaltung aller Anlagenaggregate der Bundesfernstraßen insgesamt, der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen aus den Rechenläufen 1 und 2, jeweils in einer einzigen Datei für den Bund insgesamt und die Bundesländer.
- Den Finanzbedarf zur Erhaltung aller Anlagenaggregate der Bundesfernstraßen insgesamt, der Bundesautobahnen und der Bundesstraßen aus dem Rechenlauf 3, in einer Datei für den Bund insgesamt (und mit gesonderten Tabellenblättern pro Bundesland) sowie in 16 Länderdateien.
- Die homogenen Abschnitte der Fahrbahnen mit den wichtigsten Lokalisierungs- und Bestandsdaten sowie den vorgeschlagenen Maßnahmearten und Maßnahmejahren aus dem Rechenlauf 3, separat für die Bundesautobahnen und Bundesstraßen der 16 Bundesländer.
  Die Maßnahmearten und Maßnahmejahre sind auch in den Dateien mit den ZEB-Auswerteabschnitten eingetragen (s. **ANHANG 1 – Datendokumentation**).
- Die globalen Erhaltungsstrategien für die Fahrbahnen der Bundesautobahnen und Bundesstraßen in Form der 5-Jahresmittelwerte für die jährlichen Längenanteile und die Anteile Erhaltungsmaßnahmearten (jeweils in %) aus dem Rechenlauf 3 für den Bund insgesamt sowie für die 16 Bundesländer.
- Die Häufigkeitsverteilungen zu den Ausgangszuständen und den wahrscheinlichen Zustandsentwicklungen im Zeitraum von 2016 bis 2030 für die Fahrbahnen der Bundesautobahnen und Bundesstraßen aus dem Rechenlauf 3 für den Bund insgesamt sowie für die 16 Bundesländer.
- Die modellhaft ermittelten Erhaltungsmaßnahmen mit Angabe des Realisierungszeitpunktes von Bauteilen bzw. Bauteilgruppen der Brücken, die in den Dateien mit den Bestands-/Zustandsdaten der Brücken gekennzeichnet sind (s. **ANHANG 1 – Datendokumentation**).
- Die Häufigkeitsverteilungen für die Ausgangszustände und die wahrscheinlichen Zustandsentwicklungen im Zeitraum von 2016 bis 2030 für die Brücken der Bundesautobahnen und Bundesstraßen aus dem Rechenlauf 3 für den Bund insgesamt sowie für die 16 Bundesländer.

Bei den abschnitts- bzw. objektbezogen ausgewiesenen Erhaltungsmaßnahmearten ist zu beachten, dass keinerlei Bündelung erfolgte, weder für Fahrstreifen bei den Fahrbahnen noch für die Bauteilgruppen von Brücken noch gar in der Kombination für Fahrbahnen und Brücken. Die Ergebnisse sind daher nicht als Erhaltungsprogramm für eine abschnitts-/ob-

jektscharfe Betrachtung geeignet. Die abschnitts-/objektbezogenen Ergebnisse können lediglich Hinweise auf kritische Abschnitte bzw. Bauwerke bzw. Bauteile geben.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Verzeichnisstruktur zu **ANHANG 2**.