

ELISA^{ASFINAG}

**ERHALTUNGSZIEL
INTEGRALER SUBSTANZWERT
IM ANLAGENMANAGEMENT DER ASFINAG**

im Auftrag von

ASFINAG

AUTOBAHNEN- UND SCHNELLSTRASSEN-FINANZIERUNGS-
AKTIENGESELLSCHAFT

BMVIT

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE

SCHLUSSBERICHT

DIPL.-ING.DR. ALFRED WENINGER-VYCUJIL

DIPL.-ING.DR. BARBARA BROZEK

UNIV.PROF.DIPL.-ING.DR. JOHANN LITZKA

DIPL.-ING.DR. MARKUS PETSCHACHER

DIPL.-ING. GÜNTHER MAERSCHALK

WIEN, IM NOVEMBER 2014



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Aufgabenstellung.....	4
1.1 Allgemeines	4
1.2 Aufgaben- und Problemstellung	6
2. Aktuelle Erhaltungsstrategie ASFINAG	9
2.1 Entwicklung des ASFINAG-EMS	9
2.2 Internationale Entwicklungen.....	11
2.3 Strategische Ziele im ASFINAG-EMS	12
2.3.1 Entwicklung Erhaltungsstrategie ASFINAG	12
2.3.2 Überblick Erhaltungsstrategie ASFINAG	12
3. Quantifizierung Erhaltungsziele und Bewertungsindikatoren	15
3.1 Zusammenhänge und Mengengerüst.....	15
3.2 Workshop „Strategische Erhaltungsziele im ASFINAG-Netz“	17
3.3 Personen- und Interessensgruppen (Stakeholders)	17
3.4 Strategische Erhaltungsziele	18
3.5 Verknüpfung Erhaltungsziele mit Personen- und Interessensgruppen.....	19
3.5.1 Bewertungsmatrix	19
3.5.2 Indikatoren und Randbedingungen für die Analyse	20
4. Abschnittsbezogene Grundlagen und Erweiterungen.....	23
4.1 Allgemeines	23
4.2 Überarbeitung Technischer Substanzwert	24
4.2.1 Aktuelle Definition Substanzwert	24
4.2.2 Kritische Analyse Bildungsgesetze Substanzwert.....	30
4.2.3 Substanzbewertung im PMS der Bundesrepublik Deutschland.....	31
4.2.4 Modifizierter Technischer Substanzwert	35
5. Analysen und Auswertungen auf Netzebene	46
5.1 Allgemeines und Definition der Szenarien	46
5.2 Verteilung des modifizierten Substanzwertes im Netz	47
5.2.1 Entwicklung Substanzwert über die Zeit	47
5.2.2 Resümee	53
5.3 Jährliches Erhaltungsbudget	54
5.3.1 Auswirkung von Budgetänderungen auf den Substanz- und Gebrauchswert	54
5.3.2 Hinweise für Grenzwerte für den Substanzwert aus Deutschland	56
5.4 Zusammenhang Substanzwert und Gebrauchswert Sicherheit	58
5.4.1 Substanzwert und Gebrauchswert Sicherheit für unterschiedliche Budgetszenarien... ..	58

5.4.2	Grenzwertbereich für Rückstand Substanzwert aufgrund des Rückstands Gebrauchswert.....	60
5.5	Zusammenhang Anlagevermögen und Substanzwert	61
5.5.1	Entwicklung des Anlagevermögens.....	61
5.5.2	Gegenüberstellung Anlagevermögen und Substanzwert	62
5.5.3	Grenzwertvorschläge für Substanzwert-Backlog hinsichtlich Anlagevermögen	63
5.6	Zusammenhang Netzverfügbarkeit Generell und Substanzwert	63
5.6.1	Entwicklung der Maßnahmenbeeinträchtigung	63
5.6.2	Gegenüberstellung Maßnahmenbeeinträchtigung und Backlog Substanzwert	65
6.	Strategische Grenzwertvorschläge für den Substanzwert	67
6.1	Allgemeine Erkenntnisse	67
6.2	Abschnittsbezogene Grenzwerte Substanz	68
6.3	Netzbezogene Grenzwerte Erhaltungsrückstand Substanz.....	69
6.3.1	Übersicht bewertungsrelevante Indikatoren und Kennwerte.....	69
6.3.2	Zustandsverteilung Technischer Substanzwert.....	69
6.3.3	Gegenüberstellung Indikatoren und Bewertungsgrößen	70
6.3.4	Relation Technischer Substanzwert zu Gebrauchswert Sicherheit, Anlagevermögen und Baustellenfreiheit	73
6.3.5	Berücksichtigung Infrastruktur-Investitionsprogramm 2014-2020.....	75
6.3.6	Grenzwertvorschlag Substanzwert.....	78
7.	Vorschläge für die Betrachtung eines Netzgewichteten Substanzwerts.....	79
7.1	Allgemeines	79
7.2	Modellierung des Netzes	79
7.3	Graph Hochleistungsstrassennetz.....	81
7.4	Ermittlung der P - Werte.....	82
7.5	Gewichtung Kanten.....	82
7.5.1	Eingangswerte und Annahmen für die Simulation	82
7.5.2	Simulation.....	83
7.6	Einbindung in VIAPMS_ASFINAG.....	85
7.6.1	Erweiterter Nutzen	85
7.6.2	Erweiterte Gewichtung Infrastrukturwert	87
7.6.3	Auswirkungen der Netzgewichtung im Nutzen	89
7.7	Netzgewichteter Substanzwert (Infrastrukturwert)	89
7.8	Resümee Netzgewichteter Substanzwert	92
8.	Zusammenfassung und Ausblick	94

Literatur

Anhang A, Workshop 1, Präsentation und Teilnehmerliste

Anhang B, Workshop 2, Präsentation und Teilnehmerliste

Anhang C, ELISA-Netz

1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

1.1 ALLGEMEINES

Mit der Implementierung eines umfassenden Erhaltungsmanagementsystems auf dem Straßennetz der ASFINAG wurde in den letzten 11 Jahren ein wesentlicher Schritt für eine zukunftsorientierte Erhaltungsplanung gesetzt. Die erforderlichen Instrumente (PMS, BMS, etc.) wurden entwickelt, implementiert und werden erfolgreich und effizient angewendet.

Ein wesentliches Ziel der derzeit eingesetzten Systeme liegt dabei in der bestmöglichen (optimierten) Umsetzung der strategischen Erhaltungsziele. Deren Definition, darunter auch die eines Zielwertes für den Substanzwert, erfordert ein umfassendes Wissen hinsichtlich der Wirkungen und der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Indikatoren (Verkehrssicherheit, Anlagevermögen, Substanz, Verfügbarkeit, etc.), das derzeit nur bedingt vorhanden ist.

Das Hauptziel von **ELISA^{ASFINAG}** besteht in der Entwicklung von Grundlagen für die Definition eines strategischen Erhaltungszieles für einen „Integralen Substanzwert“, in der Darstellung der Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu anderen, zielbehafteten Indikatoren und in der Bereitstellung eines ablauffähigen Algorithmus für das PMS der ASFINAG. Die „Integrale Idee“ besteht dabei in der Verknüpfung von Substanzindikatoren mit anderen Indikatoren (Verkehrssicherheit, Anlagevermögen, etc.) und der Netzverfügbarkeit zu einem holistischen Konzept für die Beurteilung und Bewertung und letztendlich für die Bereitstellung von Grundlagen für die Festlegung von strategischen Erhaltungszielen. In diesem Zusammenhang werden auch die Berechnungsalgorithmen des derzeitigen Substanzwertes vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren gewonnenen Erfahrungen untersucht und modifiziert. Damit wird sichergestellt, dass ein „Integraler Substanzwert“ auch auf aktuelle Grundlagen gestellt wird.

Es sei hier auch explizit erwähnt, dass der Begriff „Integraler Substanzwert“ noch nicht die endgültige Festlegung eines Wertes darstellt, sondern lediglich den Rahmen der Zielrichtung bzw. Orientierung für einen solchen Wert formuliert. Die Bezeichnung ergibt sich letztendlich aus den Überlegungen hinsichtlich seiner Eingangswerte und seiner Definition, sodass auch mehrere Werte unter diesen Rahmen fallen können. Dies wird in den entsprechenden Kapiteln auch wiedergegeben.

Der Nutzen von **ELISA^{ASFINAG}** ist somit auch in der Entwicklung eines Entscheidungsrahmens für strategische Erhaltungsziele zu sehen und das Projekt ist somit (neben anderen) eine

wesentliche Voraussetzung, um anlagenübergreifendes „Cross-Asset-Management“ und Budgetoptimierung in der Praxis einzuführen. Der Nutzen für die praktische Implementierung der Ergebnisse von **ELISA^{ASFINAG}** ist jedoch nicht nur bei der ASFINAG zu sehen, sondern bei allen „Stakeholdern“ (Benutzer = Kunden, Anwohner, Umwelt, etc.), da die strategischen Ziele letztendlich auf den Vorgaben der unterschiedlichen Personen und Interessensgruppen basieren.

Um die Ziele des Projektes **ELISA^{ASFINAG}** erfüllen zu können bzw. die notwendigen Antworten auf die aufgeworfenen Fragen zu liefern, ist das Projekt in 4 aufeinander abgestimmte Arbeitspakete unterteilt:

1. Definition eines Entscheidungsrahmens für strategische Erhaltungsziele und Indikatoren (Substanzwert, Gebrauchswert, Anlagevermögen, Baustellenfreiheit, etc.)
2. Simulationen (Lebenszyklus- und Netzanalysen) von unterschiedlichen Szenarien
3. Ermittlung der mathematischen Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den Indikatoren sowie Vergleiche mit anderen Ländern (z.B. BRD)
4. Erarbeitung eines Vorschlags für den Zielwert Substanzwert sowie Entwicklung eines PMS-Algorithmus, welcher direkt in das PMS der ASFINAG (VIAPMS_ASFINAG) übernommen werden kann

Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit mit bereits vorhandenen Ergebnissen und Auswertungen werden in **ELISA^{ASFINAG}** bestehende Definitionen nicht grundsätzlich verändert sondern in Abhängigkeit von aktuellen Anforderungen erweitert und/oder präzisiert.

Um die technisch wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen von **ELISA^{ASFINAG}** durchführen zu können, wurden die 4 Arbeitspakete inhaltlich klar aufeinander abgestimmt. Die Aufgaben der einzelnen Arbeitspakete sind nachfolgend im Überblick dargestellt:

AP1 - Strategisches ASFINAG-EMS und Indikatoren

Unter AP1 erfolgt eine umfassende Untersuchung der strategischen Zielsetzungen unter Berücksichtigung der Anforderungen durch die unterschiedlichen Stakeholder. Dabei soll eine Liste von Indikatoren erstellt und diese in eine Bewertungsmatrix integriert werden (Anforderung – Zielwert – Indikator). Im AP1 erfolgt die Definition des integralen Substanzwertes.

AP2 – Simulation strategische Erhaltungsziele

Die zuvor definierten Indikatoren werden im AP2 unter Berücksichtigung vorgegebener Randbedingungen (Szenarien) am Gesamtnetz in Form von Simulationen angewendet. Dazu wird neben der Lebenszyklusanalyse auch eine Netzanalyse durchgeführt.

AP3 – Analysen und Modellierung

Die aus der Simulation abgeleiteten Ergebnisse werden im Detail untersucht und mit dem Ziel analysiert, die erforderlichen Zusammenhänge und Sensitivitäten zu quantifizieren. Gleichzeitig erfolgt ein Vergleich mit ähnlichen Vorgaben in anderen Ländern.

AP4 – PMS-Algorithmus und Implementierung

In AP4 werden die Ergebnisse der Analyse und Modellierung in einen Vorschlag für die Definition eines Zielwertes „Integraler Substanzwert“ zusammengefasst und in einen

praktisch anwendbaren PMS-Algorithmus übergeführt. Dieser wird anschließend in VIAPMS_ASFINAG implementiert.

Die hier aufgelisteten Arbeitspakete sind die ursprüngliche Grundlage. Im Zuge der Bearbeitung hat sich eine differenziertere Arbeitsweise als sinnvoll erwiesen, sodass die Reihenfolge der tatsächlich durchgeführten Arbeiten nicht vollständig dem Ablauf der Arbeitspakete entspricht. Diese flexible Vorgehensweise ist auch im Antrag zum Projekt entsprechend manifestiert.

1.2 AUFGABEN- UND PROBLEMSTELLUNG

Jedes moderne und nachhaltige Straßenerhaltungsmanagement verwendet Erhaltungsziele als Grundlage für Entscheidungen auf verschiedenen Ebenen. Diese Ziele können dabei strategischer, wirtschaftlicher, umweltrelevanter, technischer aber auch politischer Natur sein. In den meisten Fällen werden sie auf strategischer oder politischer Ebene definiert, sodass sie oft als generelle oder strategische Erhaltungsziele bezeichnet werden (z.B. Reduktion der Todesopfer im Verkehr, Verbesserung der Lärminderung entlang von Autobahnen, etc.).

Die Festlegung von strategischen Erhaltungszielen hat wesentliche Auswirkungen auf unterschiedliche Personen- und Interessensgruppen. Sie sind untrennbar mit dem Einfluss auf die Betroffenen, die „Stakeholder“, verbunden und manifestieren sich in Fragen wie z.B. „Was bedeutet die Vorgabe eines Erhaltungsziels Substanzwert für die Straßenbenutzer, wie groß sind die zu erwartenden Verkehrsbehinderungen, die Auswirkungen auf die Umwelt, die Baukosten, etc.?“. Erhaltungsziele werden in den meisten Fällen über Indikatoren definiert, die wiederum mit Grenzwerten verbunden sind (z.B. maximaler Anteil am Streckennetz in Zustandsklasse 5 „sehr schlecht“ des Gebrauchswertes).

Unabhängig von Natur und/oder Bezeichnung liefern Erhaltungsziele letztendlich die Vorgaben für durchzuführende Erhaltungsmaßnahmen unterschiedlicher Intensität (von oberflächlich bis strukturell). Um ein Erhaltungsziel zu erfüllen bzw. zu erreichen, sind praktisch immer Erhaltungsmaßnahmen notwendig, die vor allem den Straßenbenutzer (Verkehrsbeeinträchtigung, Zeitverlust, erhöhtes Unfallrisiko, etc.), die Anwohner (Lärm, Staub, etc.) jedoch auch den Eigentümer und Betreiber (Kosten, Personal, etc.) wesentlich beeinflussen. Die Wahl von Erhaltungszielen hat daher vor dem Hintergrund einer größtmöglichen Sensitivität zu erfolgen, was jedoch die Kenntnis der Auswirkungen voraussetzt. Durch die Berechnung von unterschiedlichen, auf eine oder mehrere Interessens- und Personengruppen bezogenen Indikatoren werden in **ELISA^{ASFINAG}** die Auswirkungen quantifiziert, aber auch die Zusammenhänge bei der Bestimmung von strategischen Vorgaben, in diesem Fall eines Zielwertes für den Substanzwert, analysiert. Erst dann ist es möglich, diese Sensitivität zu bewerten und in Abhängigkeit von anderen strategischen Zielen (Verkehrssicherheit, optimierter Mitteleinsatz, etc.) umzusetzen.

Die Abbildung 1 zeigt schematisch die Zusammenhänge zwischen den Personen- und Interessensgruppen (Stakeholder), den strategischen Erhaltungszielen und der Umsetzung von Erhaltungsmaßnahmen.

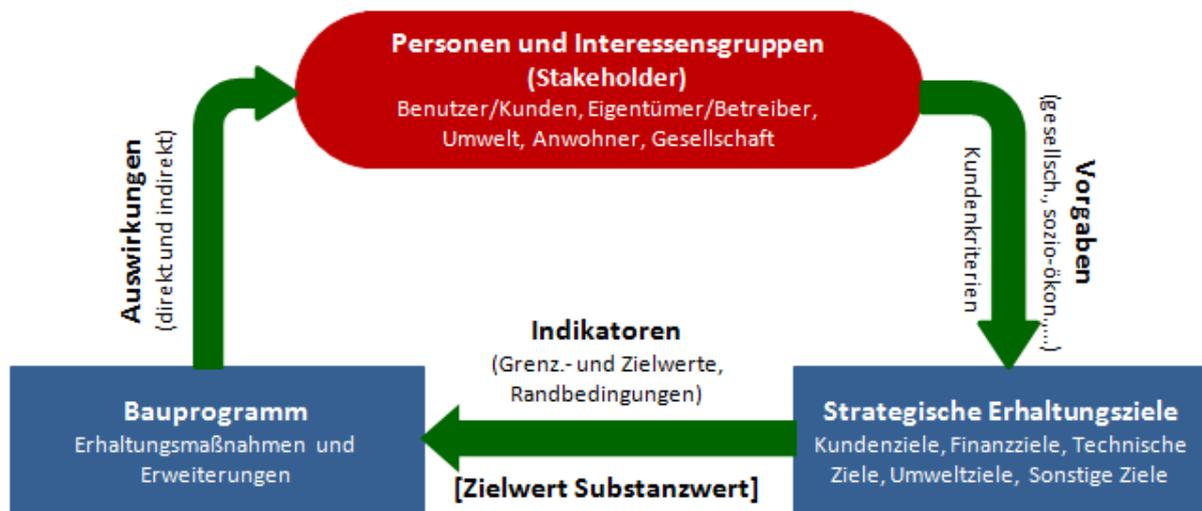


Abbildung 1: Zusammenhänge zwischen den Personen- und Interessensgruppen (Stakeholder), den strategischen Erhaltungszielen und der Umsetzung von Erhaltungsmaßnahmen

Auch das ASFINAG-EMS (Erhaltungsmanagementsystem) benötigt diese Vorgaben, um die kurz- und mittelfristigen Bauprogramme und deren finanzielle Notwendigkeiten auf eine objektive Basis zu stellen. Um Erhaltungsziele festlegen zu können, ist es jedoch unabdingbar, die Auswirkungen und Konsequenzen bestimmter strategischer Vorgaben auf den Straßenzustand (oberflächlich und strukturell), die Straßenbenutzer, die Umwelt und alle anderen betroffenen Personen und Interessensgemeinschaften (Stakeholder) zu ermitteln. Es fehlt zwar nicht an repräsentativen Indikatoren aber es mangelt an klaren Aussagen im Hinblick auf die Auswirkungen, die Sensitivitäten und natürlich die Abhängigkeiten zwischen den Indikatoren. Derzeit werden zwar im PMS der ASFINAG die den unterschiedlichen Budgetszenarien zugeordneten Erhaltungsmaßnahmen, die Zustandsverteilungen (Einzelmerkmale, Teilwerte und Gesamtwert) systematisch ausgewertet, jedoch bleibt eine Vielzahl von Fragen unbeantwortet, welche im Zuge der Festlegung eines Erhaltungszieles für den Substanzwert unbedingt beantwortet werden muss.

Ein weiteres Problem liegt in der Berücksichtigung von Netzwirkungen. Das lässt sich anhand eines einfachen Beispiels illustrieren. Ein zu verwaltendes Straßennetz besteht aus drei Abschnitten, die hintereinander liegen. Ein einziger Abschnitt mit schlechtem Zustand beeinflusst das gesamte Netz. Es besteht daher die Notwendigkeit, alle Abschnitte auf einem guten Zustand zu halten, damit die gewünschte Verfügbarkeit oder der maximale Verkehrsfluss gegeben ist. Der Anteil der Abschnitte mit ungenügendem Substanzwert muss gering gehalten werden, damit dieses einfache Netz funktioniert. Ein reales Straßennetz

besteht aus wesentlich mehr Abschnitten und ist komplexer, sodass es Abschnitte von unterschiedlicher „Wichtigkeit“ gibt und zwar solche, die eine hohe Bedeutung haben und andere mit geringer Bedeutung (vor dem Hintergrund einer Zielwertdefinition). Die Ermittlung eines notwendigen Zielwertes sollte somit auch im Kontext mit dem Netz definiert werden.

Zusammenfassend können die „Probleme“ auf folgende Fragestellungen reduziert werden:

- Sind die strategischen Erhaltungsziele im ausreichenden Maß definiert und entspricht dies auch den Anforderungen der unterschiedlichen Stakeholder?
- Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Erhaltungsziele des Substanzwertes auf die Stakeholder und auf bereits bestehende Erhaltungsziele (Kundenziele, Finanzziele, etc.)?
- Welche Indikatoren sind zur Beschreibung dieser Auswirkungen notwendig und wie können diese ermittelt werden?
- Wie hängen die einzelnen Indikatoren voneinander ab?
- Ist der derzeit definierte Substanzwert geeignet für die Definition eines Erhaltungszieles und wenn nein, welche Erweiterungen sind notwendig?
- Wie ist ein Erhaltungsziel Substanzwert (ggf. mit Erweiterung) darzustellen und wie ist es mit den anderen Zielen gegenüber den Kunden und anderen Stakeholdern zu präsentieren?
- Wie hoch ist die Bedeutung eines Straßenabschnittes im Netz vor dem Hintergrund der Zielvorgaben?

Erhaltungsziele spielen aber auch eine ganz entscheidende Rolle bei der Bewertung des Erhaltungsmanagements. Können die Vorgaben erreicht werden? Was geschieht bei Nichterfüllung der Ziele und mit welchen Konsequenzen muss gerechnet werden? Diese Fragen des „Controllings“ können nur dann beantwortet werden, wenn die strategischen Ziele formuliert werden und somit ein Vergleich zwischen SOLL und IST erst möglich wird.

In der Studie muss daher generell zwischen dem „Technischen Substanzwert“ zur Beurteilung des bautechnischen Qualitätszustandes des Straßenoberbaues und einem „netzbezogenen Substanzwert bzw. Infrastrukturwert“ unterschieden werden, der die angeführten strategischen Erhaltungsziele und somit die integrale Idee mitberücksichtigt. Der Begriff „netzgewichteter Substanzwert“ bzw. „Infrastrukturwert“ wird in der Folge anstelle des ursprünglichen sehr generellen Begriffes „Integraler Substanzwert“ als eindeutige Bezeichnung für einen Indikator verwendet (s. Kap. 4.2.4 und Kap. 6).

2. AKTUELLE ERHALTUNGSSTRATEGIE ASFINAG

2.1 ENTWICKLUNG DES ASFINAG-EMS

Mit der Implementierung eines Pavement Management Systems (kurz PMS) und dem Aufbau der Bauwerksdatenbank BAUT wurden Ende der 90er Jahre die ersten Schritte im Rahmen der Umsetzung des ASFINAG-Erhaltungsmanagementsystems (ASFINAG-EMS) vorgenommen. Dies erfolgte in enger Kooperation zwischen der ASFINAG, dem BMVIT, der Technischen Universität Wien (Prof. J. Litzka und Dr. A. Weninger-Vycudil) und dem ZT-Büro Petschacher.

Mit den ersten netzweiten PMS-Analysen im Jahr 2001 konnte erstmalig auch eine detaillierte Prognose des Straßenzustandes unter Berücksichtigung von unterschiedlichen budgetären Grenzen (Budgetszenarien) erstellt und folglich intensiv diskutiert werden. Diese ersten Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Definition von strategischen Erhaltungszielen.

Das PMS der ASFINAG mit der Bezeichnung VIAPMS_ASFINAG liefert derzeit wesentliche Grundlagen für die Festlegung von strategischen Erhaltungszielen auf technischer Ebene. Durch die systematische Anwendung des PMS seit mehr als 10 Jahren ist es möglich, eine relativ genaue Prognose des Straßenzustandes für unterschiedliche RVS-relevante Zustandsmerkmale (Spurrinnen, Längsebenheit, Griffigkeit, Risse und Oberflächenschäden) durchzuführen und unter Verwendung von budgetären Grenzwerten die optimalen Erhaltungsmaßnahmen auf jedem untersuchten Streckenabschnitt abzuschätzen. Die als Randbedingung definierten jährlichen Erhaltungsbudgets werden im Zuge einer Kostenwirksamkeitsanalyse und einer darauf basierenden heuristischen Optimierung bestmöglich eingesetzt, sodass von einer (betriebs)wirtschaftlich optimierten Lösung gesprochen werden kann.

Methodisch kann bei der Anwendung von VIAPMS_ASFINAG von einer erweiterten Lebenszyklus- bzw. Lebenszykluskostenanalyse (LCCA) gesprochen werden. Das PMS untersucht dabei unterschiedliche Maßnahmenstrategien (für jeden einzelnen Untersuchungsabschnitt) in Form einer Gegenüberstellung der Kosten und des Nutzens und versucht unter Berücksichtigung der monetären Vorgaben die optimale Lösung zu ermitteln.

Eine detaillierte Beschreibung der Methodik kann dem „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 [1] entnommen werden.

Im Zusammenhang mit dem Aufbau eines EMS kommt der Frage nach Zielwerten und repräsentativen Indikatoren eine besondere Bedeutung zu. Es wurde daher vor mehr als 10 Jahren begonnen, ein an die österreichische Situation angepasstes „Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes“ zu entwickeln und auch erfolgreich zu implementieren. Dieses Verfahren verknüpft dabei bestimmte Erhaltungsziele mit den Zustandsinformationen, den Informationen des Straßenoberbaus (Materialien, Alter) und den Beanspruchungen. Das Ergebnis dieser Verknüpfungen und Gewichtungen für den Straßenoberbau sind die beiden Teilwerte „Gebrauchswert“ und „Substanzwert“ und ein repräsentativer „Gesamtwert“. Die Vorgangsweise ist im Kapitel 4.2.1 im Überblick beschrieben, detaillierte Informationen können dem „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009“ [1] entnommen werden.

Mit diesem Verfahren ist es möglich, alle Zustandswerte, die Teilwerte und den Gesamtwert auf einer einheitlichen Skala anzusprechen und somit auch strategische Erhaltungsziele in Form von Zielwerten (z.B.: max. Streckenanteil in Zustandklasse 5 „schlecht“) einheitlich zu definieren.

Neben den laufenden Analysen und Auswertungen sind vor allem die jährlichen „Asset Management Reports“ [2] (Auszug, siehe Abbildung 2) der ARGE Betreuung ASFINAG-EMS eine wesentliche Steuerungsgrundlage für das ASFINAG-EMS.

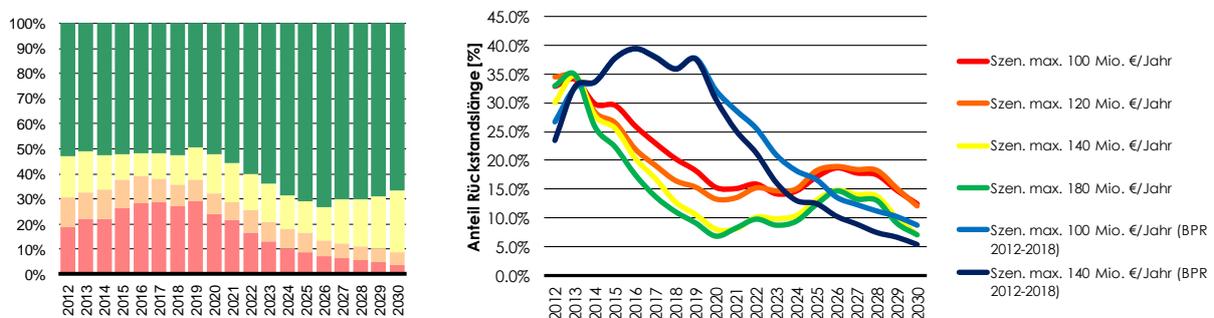


Abbildung 2: Beispiele Substanzwertentwicklung, ASFINAG Asset Management Report 2012 [2]

Eine interne ASFINAG-Untersuchung, welche mit Unterstützung der TU-Wien im Jahr 2011 zur Bewertung der Bausteine des ASFINAG-EMS durchgeführt wurde, zeigt zwar die aus der bisherigen Anwendung bekannten Fehlstellen und das Verbesserungspotential der Instrumente auf, gibt jedoch keinen Zusammenhang zwischen Zielwerten, Indikatoren und Anforderungen an.

2.2 INTERNATIONALE ENTWICKLUNGEN

Viele europäische Straßenverwaltungen haben in den letzten Jahren „Strategiepapiere“ erstellt, die zum Teil die strategischen Vorgaben sehr generell beschreiben, aber auch unter

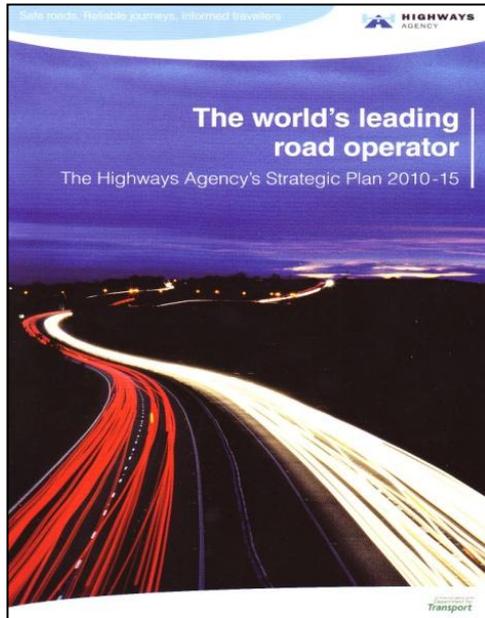


Abbildung 3: Strategic Plan HA (UK)

Zuhilfenahme unterschiedlicher Indikatoren Zielwerte in den Überlegungen enthalten. Dabei sind allen voran die skandinavischen Länder, Großbritannien (Abbildung 3), die Niederlande aber auch Deutschland zu erwähnen. Die BRD hat auf Bundesebene im Rahmen des „Bundesverkehrswegeplans 2003“ ein „notwendiges Erhaltungsbudget“ definiert. Diesem Erhaltungsbudget liegen bestimmte Zielerreichungswerte zu Grunde, unter anderem auch der Substanzwert des Straßenoberbaus. Diese Vorgabe ist der gegenständlichen Fragestellung sehr ähnlich und wird daher auch in ELISA^{ASFINAG} behandelt (siehe Kap.5.3.2).

Aktuelle nationale und internationale Forschungsprojekte haben sich in den letzten Jahren intensiv mit der Formulierung von Grundlagen und der Einbeziehung von strategischen Erhaltungszielen in den Asset Management Prozess auseinander gesetzt. Die nachfolgende Liste gibt hier einen Überblick über diese Projekte:

- ERANET Road Projekte (Asset Management Call 2010):
 - PROCROSS (Prozeduren für die Optimierung von koordinierten Erhaltungsmaßnahmen)
 - EVITA und SBAKPI (Definition von technischen und strategischen Umweltindikatoren)
 - ASCAM und EXPECT
 - SABARIS
- FEHRL-Projekte unter dem Titel „Forever Open Roads“
- FFG-Projekte
 - OPTIMAL (Bestmögliche Koordinierung von Maßnahmen unter Heranziehung von strategischen Vorgaben)
- COST 354 – Performance Indicators for Road Pavements

2.3 STRATEGISCHE ZIELE IM ASFINAG-EMS

2.3.1 ENTWICKLUNG ERHALTUNGSSTRATEGIE ASFINAG

Die permanente Anwendung des Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes durch die ASFINAG erlaubte nach wenigen Jahren erstmalig die Formulierung von strategischen Erhaltungszielen unter Verwendung dieser technischen Teilwerte. Obwohl eine präzise Festlegung von zustandsbedingten Vorgaben in einem Strategiepapier zunächst nicht ausdrücklich vorgenommen wurde, erfolgte die Analyse der Straßenabschnitte unter der Zielsetzung, dass der Anteil des Gebrauchswertes „Sicherheit“ (siehe Abbildung 7) in der Zustandsklasse 5 „sehr schlecht“ nicht mehr als 3% betragen darf und die vordefinierten Budgets einen bestmöglichen Substanzwert ergeben sollten. Dies bildet die Grundlage für die Bauprogrammerstellung (Infrastruktur-Investitionsprogramm). Eine quantitative Festlegung eines bestimmten Limits für den technischen Substanzwert wurde bis dato nicht vorgenommen. Diese derzeitigen Zielvorgaben sind stark technisch geprägt und decken daher nur einen Teil der Vorgaben und Anforderungen der unterschiedlichen Interessensgruppen ab.

Im Zuge der Rechnungshofprüfung des ASFINAG-EMS im Jahr 2011 wurde intensiv über die Notwendigkeit einer Präzisierung von strategischen Erhaltungszielen und auch eines Zielwertes für den technischen Substanzwert diskutiert. Grundsätzlich ist es möglich, einen Zielwert anhand der zur Verfügung stehenden Ergebnisse zu definieren, jedoch wurden Fragen aufgeworfen, die mit den zur Verfügung stehenden Daten und Ergebnissen derzeit nicht vollständig beantwortet werden können. Vor allem die Auswirkungen einer solchen Zielwertfestlegung auf die Netzverfügbarkeit und die Nachhaltigkeit aber auch bzgl. des Anlagewertes konnten nicht dargestellt werden. Die RH-Empfehlung für die Einführung von strategischen Erhaltungszielen ist daher nur dann effizient umsetzbar, wenn diese Eingangsgrößen zur Verfügung stehen.

Im Herbst 2011 wurde daher begonnen, eine Erhaltungsstrategie des ASFINAG-Netzes zu formulieren, welche eine wesentliche Grundlage für das gegenständliche Projekt darstellt.

2.3.2 ÜBERBLICK ERHALTUNGSSTRATEGIE ASFINAG

Auf der Grundlage der Vorgaben der Konzernstrategie der ASFINAG wurde unter Heranziehung der aktuellen EMS-Verfahren und Prozesse im Frühjahr 2012 eine umfassende ASFINAG-Erhaltungsstrategie [3] entwickelt (siehe Abbildung 4), welche eine wesentliche Grundlage für die Tätigkeiten im AP1 darstellt.

Dieses Grundsatzpapier definiert auf unterschiedlichen Ebenen die strategischen Vorgaben für die Ausarbeitung bzw. Planung von Erhaltungsmaßnahmen für die im Bereich der ASFINAG zu erhaltenden Anlagen, wie

- Straßenoberbau
- Brückenanlagen
- Tunnelanlagen (baulich)
- Elektromaschinelle Einrichtung
Tunnels

Diese strategischen Vorgaben sind besonders deshalb von hoher Bedeutung, weil sich die ASFINAG als ein wirtschaftlich agierendes Unternehmen sieht, welches sich ausschließlich durch seine Mauteinnahmen finanziert und daher eine hohe Verantwortung und Verpflichtung gegenüber dem Kunden (Benutzer) hat.

Die Mission der ASFINAG ist es, „ein verkehrssicheres Autobahnen- und Schnellstraßennetz mit hoher Verfügbarkeit den Kunden zur Verfügung zu stellen“ [3]. Den Inhalt der ASFINAG-Erhaltungsstrategie bilden daher folgende 2 Schwerpunkte [3]:

1. Bei den **Kundenzielen** wird das strategische Ziel der optimalen Netzverfügbarkeit (durch eine definierte Baustellenfreiheit) und Verkehrssicherheit (durch einen definierten Gebrauchswert „Sicherheit“) verfolgt.
2. Im Fokus der **Finanzziele** liegt ein nachhaltiger Einsatz von finanziellen Mitteln. Dazu wird die Nachhaltigkeit der Sanierungsmaßnahmen durch die Ausnutzung von Lebensdauern der Anlagen sichergestellt.

Der Aufbau der ASFINAG-Erhaltungsstrategie gliedert sich unter Bezugnahme auf diese Schwerpunkte in drei unterschiedliche Entscheidungsebenen:

- Strategieebene (Gesamtnetz)
- Managementebene
- Umsetzungsebene (Einzelprojekte)

Eine Präzisierung der Ziele auf allen drei Ebenen liefert genaue Vorgaben unter Heranziehung von bestimmten Indikatoren (inkl. Grenzwerten) oder generellen Vorgaben (siehe Abbildung 5).



Abbildung 4: ASFINAG-Erhaltungsstrategie [3]

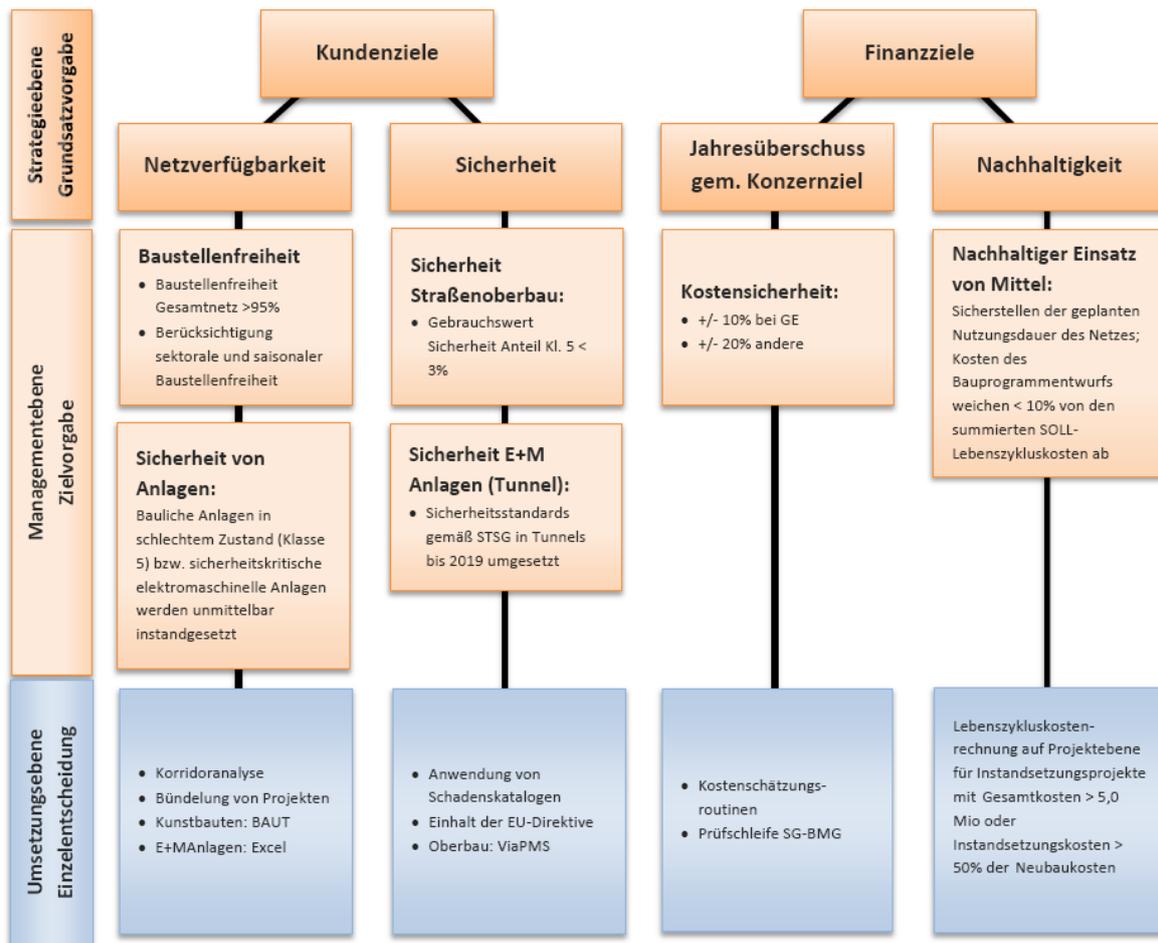


Abbildung 5: Strategische Zielvorgaben gegliedert nach Ebenen [3]

Im Vergleich zu aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprojekten zeigt sich jedoch, dass auch diese Formulierung nicht die Gesamtheit aller Anforderungen abdeckt, sodass es für die Analysen im Rahmen von **ELISA**^{ASFINAG} notwendig ist, hier eine Präzisierung vorzunehmen (siehe Kapitel 6).

3. QUANTIFIZIERUNG ERHALTUNGSZIELE UND BEWERTUNGSINDIKATOREN

3.1 ZUSAMMENHÄNGE UND MENGENGERÜST

Um die Auswirkungen im Hinblick auf die Festlegung von Ziel- bzw. Grenzwerten über ein gesamtes Straßennetz quantifizieren zu können, ist es gemäß den Beschreibungen in AP1 erforderlich, die Zusammenhänge, Abhängigkeiten und Sensitivitäten zwischen den einzelnen auf unterschiedliche Eigenschaften bezogenen Indikatoren zu ermitteln. D.h. die Festlegung eines Zielwertes bedarf genauer Kenntnisse der Auswirkungen auf andere Zielwerte und Indikatoren.

Eine ausreichende Beurteilung dieser zum Teil recht komplexen Zusammenhänge sollte jedenfalls systematisch vorgenommen werden, wobei zunächst das gesamte „Mengengerüst“ skizziert und beurteilt werden sollte (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Mengengerüst Kernbereiche „Erhaltungsmanagement“

Für die Quantifizierung von Erhaltungszielen und Bewertungsindikatoren können in Anlehnung an die Skizze des Mengengerüsts in Abbildung 6 folgende Kernbereiche definiert werden:

- Personen- und Interessensgruppen (Stakeholder) mit deren Anforderungen und Vorgaben für eine generelle Erhaltungsstrategie (z.B. Kundenkriterien)
- Strategische Erhaltungsziele unter Heranziehung von Indikatoren und deren Grenzwerten sowie weiteren generellen Randbedingungen (in Abhängigkeit von der Konzernstrategie)
- Umsetzung der Erhaltungsziele in Form von Bauprogrammen und Netzverbesserungen (Erweiterungen) zur Erfüllung bzw. Befriedigung der Bedürfnisse und Vorgaben unterschiedlicher Personen- und Interessensgruppen.

Wie bereits erwähnt, besteht das Hauptziel von **ELISA^{ASFINAG}** in der Entwicklung von Grundlagen für die Definition eines strategischen Erhaltungszieles für den Substanzwert, in der Darstellung der Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu anderen, zielbehafteten Indikatoren (Gebrauchswert GI, Anlagewert AW, Baustellenfreiheit BF, Erhaltungsrisiko, etc.) und in der Bereitstellung eines ablauffähigen Algorithmus für das PMS der ASFiNAG. Wie bereits erwähnt, besteht die „Integrale Idee“ in der Verknüpfung von technischen Substanzwertkomponenten mit anderen (externen) Indikatoren und Einflussgrößen und der Netzverfügbarkeit zu einem holistischen Konzept für die Beurteilung und Bewertung und letztendlich Festlegung von strategischen Erhaltungszielen sowie zur Optimierung des Erhaltungsbudgets (größtmöglicher Nutzen mit den zur Verfügung stehenden budgetären Randbedingungen).

Um einen „Erhaltungsrückstand Substanzwert“ als Zielgröße definieren zu können, ist es notwendig, die Auswirkungen auf die betroffenen Interessensgruppen und –bereiche (Stakeholder) zu analysieren und zu bewerten, sofern dies über entsprechende Indikatoren auch möglich ist. Aus der Verknüpfung der Anforderungen der Interessensgruppen untereinander bzw. mit den strategischen Erhaltungszielen können die Aufgaben und Zielsetzungen für die unterschiedlichen Indikatoren in einer Bewertungsmatrix zusammengefügt werden. Diese Bewertungsmatrix soll dabei eine Grundlage für die umfangreichen Analysen und die zu ermittelnden Abhängigkeiten und Sensitivitäten bilden.

Um die Vergleichbarkeit mit bereits vorhandenen Ergebnissen und Auswertungen sicher zu stellen, werden bestehende Definitionen (technisch, strategisch) nicht verändert sondern in Abhängigkeit von aktuellen Anforderungen lediglich erweitert und/oder präzisiert (falls überhaupt notwendig).

3.2 WORKSHOP „STRATEGISCHE ERHALTUNGSZIELE IM ASFINAG-NETZ“

Wie bereits erwähnt, müssen für die Definition der Bewertungsmatrix zunächst die strategischen Erhaltungsziele genau untersucht werden. Dazu war es notwendig, gemeinsam mit der ASFINAG bzw. dem BMVIT das Mengengerüst genau zu beschreiben und die wesentlichsten Einflussgrößen zu quantifizieren. Aus diesem Grund wurde gemeinsam mit den Auftraggebern am 15. Oktober 2013 ein Workshop mit dem Titel „Strategische Erhaltungsziele im ASFINAG-Netz“ veranstaltet. Das Ziel dieses Workshops bestand nicht in der Entwicklung bzw. Definition von neuen Erhaltungszielen sondern im Zusammenführen von notwendigen Informationen und vorhandenen Vorgaben für das Erhaltungsmanagement der ASFINAG. Im Zuge dieses Workshops wurden folgende Schwerpunkte behandelt, die als Grundlage für die weiterführenden Arbeiten im Rahmen von **ELISA^{ASFINAG}** herangezogen werden:

- Definition Personen- und Interessensgruppen (Stakeholders)
- Definition strategische Erhaltungsziele im ASFINAG-Netz
- Verknüpfung Erhaltungsziele Personen- und Interessensgruppen
- Indikatoren zur Beschreibung der Erhaltungsziele
 - Bewertungsmatrix
 - Grenzwerte

Neben der Auflistung von aktuellen Vorgaben und Zielsetzungen wurden auch Vorgaben für das zukünftige Erhaltungsmanagement diskutiert und aufgelistet. Die Ergebnisse des Workshops können den nachfolgenden Kapiteln entnommen werden. Die Präsentationsunterlagen sowie eine Kopie der Teilnehmerliste finden sich im Anhang A.

3.3 PERSONEN- UND INTERESSENSGRUPPEN (STAKEHOLDERS)

Strategische Zielsetzungen im Bereich des Erhaltungsmanagements der ASFINAG in Form von unterschiedlichen Zielen (Kundenziel, Finanzziele, etc., siehe hierzu auch Kapitel 2.3.2), werden über Indikatoren, Randbedingungen und generelle Beschreibungen definiert, die die Bedürfnisse der Betroffenen und der unterschiedlichen Interessensgruppen wiedergeben. Dazu müssen in einem ersten Schritt diese als „Stakeholder“ bezeichneten Personen- und Interessensgruppen klar definiert werden. In Anlehnung an die Definitionen des Weltstraßenverbandes PIARC¹ wurden gemeinsam mit der ASFINAG und dem BMVIT im Rahmen des Workshops folgende Personen- und Interessensgruppen als maßgebende Stakeholder definiert:

- **Kunde:** Benutzer des Straßennetzes der ASFINAG, der auch gleichzeitig die Erhaltung finanziert (über Vignette und LKW-Maut)

¹Stakeholder gem. PIARC (Weltstraßenverband, Asset Management Gruppe, Zyklus 2008-11): Users (Benutzer), Owners& Operators (Eigentümer und Betreiber), Neighbours (Anwohner), Environment (Umwelt), Society (Gesellschaft)

- **Betreiber und Eigentümer:** versteht sich als eine Einheit im Bereich des ASFINAG-Netzes, Vertreter der Republik sind das BMVIT (Verkehrsministerium) und das BMF (Finanzministerium), wobei grundsätzlich Einvernehmen zwischen der ASFINAG und den Vertretern der Republik herzustellen ist
- **Anwohner / Anrainer:** vor allem vor dem Hintergrund von Umweltaforderungen im Bereich Lärm und Schadstoffe
- **Umwelt:** Anforderungen an Lärm- und Schadstoffemissionen werden über den Anwohner / Anrainer definiert, jedoch zusätzliche Umweltbelange (z.B. Recycling) führen bei einer zukunftsorientierten Betrachtung zu einem eigenständigen Interessensbereich
- **Gesellschaft:** verantwortlich für Rahmenbedingungen in Form von Gesetzen, Richtlinien, Verordnungen, etc.; übergeordneter Stakeholder (nicht als Einzelkategorie anwendbar)

3.4 STRATEGISCHE ERHALTUNGSZIELE

Unter Bezugnahme auf die oben definierten Personen- und Interessensgruppen ist es möglich, unterschiedliche Bereiche für strategische Erhaltungsziele zu definieren. Diese Zielbereiche können danach mit den entsprechenden Indikatoren verknüpft werden. In Anlehnung an aktuelle europäische ERA-NET Road Forschungsprojekte wie PROCROSS [4] und EVITA [5] und natürlich die ASFINAG-Erhaltungsstrategie [3] lassen sich folgende Bereiche für Ziele auf Strategieebene definieren:

- **Kundenziele** zur Berücksichtigung der Netzqualität (Fahrsicherheit und Fahrkomfort), der Verfügbarkeit bzw. Verlässlichkeit, von Nutzerkosten, etc.
- **Finanzziele** zur Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen, der Einbeziehung von budgetären Vorgaben und Restriktionen im Bereiche der Finanzierung, der Entwicklung des Anlagevermögens, etc.
- **Technische Ziele** für die Substanzerhaltung, die Einhaltung technischer Grenzwerte (EN, RVS, etc.), verkehrstechnische Vorgaben (z.B. Verkehrsführungen), etc.
- **Umweltziele** für die Optimierung der Nachhaltigkeit, Maximierung der Lärmreduktion, Berücksichtigung internationaler Vorgaben (z.B. CO₂), etc.
- **Sonstige Ziele** für weitere interne und externe Vorgaben

Die hier aufgelisteten Gruppen von Erhaltungszielen sollten auch im Bereich der ASFINAG-Erhaltungsstrategie, sofern nicht bereits implementiert, einen entsprechenden Eingang finden und auch als solche über Indikatoren (Grenzwerte) bzw. Randbedingungen quantifiziert werden. Dabei kann es sich um einen langfristigen Findungsprozess handeln. Das gegenständliche Projekt bezieht sich in erster Linie auf das Thema „Erhaltungsrückstand Substanzwert“ und nicht auf die Findung einer Gesamtheit von zu bewertenden Indikatoren und deren Zusammenhänge und Abhängigkeiten.

3.5 VERKNÜPFUNG ERHALTUNGSZIELE MIT PERSONEN- UND INTERESSENSGRUPPEN

3.5.1 BEWERTUNGSMATRIX

Die Verknüpfung der Personen- und Interessensgruppen (Stakeholder) mit den strategischen Erhaltungszielen ermöglicht eine einfache und nachvollziehbare Zuordnung zu den beschreibenden Indikatoren, Kennwerten und Randbedingungen für die Planung und Durchführung der erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen und somit auch für eine Auswahl im Thema „Integraler Substanzwert“. Die daraus resultierende Bewertungsmatrix soll die Grundlage für die nachfolgenden umfangreichen Analysen darstellen, wobei die unterschiedlichen Indikatoren (mit und ohne festgelegte Grenzwerte), Kennwerte und Randbedingungen auch mehrmals in dieser Bewertungsmatrix aufgelistet werden können. Es sei hier nochmals explizit erwähnt, dass die zu verwendenden Indikatoren auch einer mathematischen Formulierung bedürfen und allgemeine Randbedingungen, wenn überhaupt, nur indirekt Eingang in einen Berechnungsalgorithmus finden können (siehe hierzu auch Kapitel 3.5.2).

Die für das Projekt **ELISA**^{ASFINAG} entwickelte Bewertungsmatrix wurde gemeinsam mit den Auftraggebern (ASFINAG und BMVIT) erarbeitet und kann der nachfolgenden Tabelle 1 entnommen werden.

Strategische Ziele	Personen- und Interessensgruppen (Stakeholder)			
	Kunde	Betreiber / Eigentümer	Anwohner / Anrainer	Umwelt
Kundenziele	<ul style="list-style-type: none"> • Unfälle mit Personenschaden^{*)} • Gebrauchswert • Baustellenfreiheit Korridorfreiheit und Verlässlichkeit • Nutzerkosten^{*)} • Substanzwert^{*)} 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebrauchswert • Unfälle mit Personenschaden^{*)} • Substanzwert^{*)} 		Nutzerkosten ^{*)}
Finanzziele	<ul style="list-style-type: none"> • Fiktive Schuldentilgungsdauer^{*)} • Kostensicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhaltungsbudget • Fiktive Schuldentilgungsdauer^{*)} • Jahresüberschuss • Kostensicherheit • Wiederbeschaffungswert^{*)} • Nutzerkosten^{*)} 		Nachhaltigkeit
Technische Ziele		<ul style="list-style-type: none"> • Gebrauchswert • Substanzwert^{*)} • Tunnelsicherheitsstandard • Nachhaltigkeit • Wiederbeschaffungswert^{*)} 		Nachhaltigkeit
Umweltziele		<ul style="list-style-type: none"> • Lärmreduktion^{*)} • Nachhaltigkeit 	Lärmreduktion ^{*)}	Nachhaltigkeit

^{*)} Indikatoren oder Kennwerte, die derzeit nicht direkt in der ASFINAG-Erhaltungsstrategie verankert sind

Tabelle 1: Bewertungsmatrix Indikatoren Erhaltungsmanagement ASFINAG

3.5.2 INDIKATOREN UND RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE ANALYSE

Im Zuge der geplanten Analysen sollen die Abhängigkeiten, Zusammenhänge und Sensitivitäten der unterschiedlichen Indikatoren, welche in der Bewertungsmatrix aufgelistet sind (siehe Tabelle 1) untersucht werden. Vor dem Hintergrund der geplanten Analysen ist es notwendig, die Indikatoren in verschiedene Gruppen zu kategorisieren:

- **Direkte Indikatoren**, die mit Grenzwerten versehen sind oder für die Grenzwerte untersucht werden müssen
- Indikatoren, die als **Randbedingungen** für die Analyse (z.B. Restriktionen der Optimierung, Auswahl von bestimmten Erhaltungsmaßnahmen) herangezogen werden

- Indikatoren, die für die Auswahl des Analyseverfahrens maßgebend sind (**verfahrensbestimmende Indikatoren**)
- **Mitlaufende Indikatoren**, deren Werte während der Betrachtungsperiode errechnet und dargestellt werden sollen

Die nachfolgende Tabelle 2 ordnet die in der Bewertungsmatrix aufgelisteten Indikatoren bzw. Randbedingungen den unterschiedlichen Gruppen zu. Darüber hinaus beinhaltet die Tabelle 2 die zu verwendenden bzw. anzustrebenden Grenzwerte (sofern vorhanden und möglich) bzw. deren Zielsetzungen im Rahmen des Erhaltungsmanagements. Als weitere Information wurde der Tabelle 2 eine Anmerkung zur Verwendung des jeweiligen Parameters in der geplanten Analyse hinzugefügt.

Indikator	Grenzwert / Zielsetzung	Anmerkung zur Analyse
Direkte Indikatoren		
Gebrauchswert Sicherheit	Anteil ZKL 5 < 3%	Berechnung gem. Handbuch PMS in Österreich 2009
Substanzwert (neu) <ul style="list-style-type: none"> • Technischer Substanzwert • Netzgewichteter Substanzwert (Infrastrukturwert) 	Zielwert Analyse Zielwert Analyse	Berechnung auf der Grundlage der vorzunehmenden Erweiterungen und Ergänzungen und Variation während der Analyse
Baustellenfreiheit, Korridorfreihaltung und Verlässlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtnetz • Sektorale und saisonal 	BF > 95% Def. Korridor	gem. ASFINAG-Erhaltungsstrategie und Baustellenhandbuch ASFINAG und Berücksichtigung im Zuge der Netzanalyse
Unfälle mit Personenschaden	Reduktion um 15% (2010 – 2015)	Versuch der Berücksichtigung über Zusammenhang mit Nutzerkosten,
Randbedingungen		
Erhaltungsbudget	nahezu konstante jährliche Dotation	Variation des Erhaltungsbudget im Zuge der Optimierung (Budgetszenarien)
Kostensicherheit	+/- 10%	Berücksichtigung der ASFiNAG-Preisbenchmarks in der Lebenszykluskostenanalyse
Lärmreduktion	-	Auswahl von Erhaltungsstrategien mit lärmindernden Bauweisen auf ausgewählten Abschnitten (z.B. wo bereits lärmindernde Deckschichten im Einsatz)
Tunnelsicherheitsstandards	STGS	Integration eines erhöhten Erhaltungsrisikos auf Tunnelabschnitten (als Teil des Netzgewichteten Substanzwertes) unter Heranziehung der Ergebnisse der Netzanalyse

Tabelle 2: Indikatoren und Randbedingungen im Erhaltungsmanagement

Indikator	Grenzwert / Zielsetzung	Anmerkung zur Analyse
Verfahrensbestimmende Indikatoren		
Nachhaltigkeit	Erhaltungsmaßnahmen mit größtmöglicher Nutzungsdauer	Anwendung des Verfahrens der Lebenszykluskostenanalyse und Auswahl der optimalen Erhaltungsstrategie vor dem Hintergrund einer größtmöglichen Nutzungsdauer = höhere Effizienz von Erhaltungsstrategien mit längeren Erhaltungsintervallen
Jahresüberschuss	-	Auswahl optimaler Erhaltungsstrategie (bestmögliches Nutzen-Kosten-Verhältnis) im Zuge der Optimierung von Budget- oder Qualitätsszenarien = Einsatz der Erhaltungsmittel mit größtmöglicher wirtschaftlicher Effizienz
Fiktive Schuldentilgungsdauer	< 30 Jahre	Auswahl optimaler Erhaltungsstrategie (bestmögliches Nutzen-Kosten-Verhältnis) im Zuge der Optimierung von Budget- oder Qualitätsszenarien = Einsatz der Erhaltungsmittel mit größtmöglicher wirtschaftlicher Effizienz
Mitlaufende Indikatoren		
Nutzerkosten	-	Berücksichtigung von zustandsbedingten Nutzerkosten und baustellenbedingten Nutzerkosten (vereinfachte Anwendung)
Substanzwert (alt)	-	
Wiederbeschaffungswert	-	Definition in Abstimmung mit ASFINAG und BMVIT

Tabelle 2: Indikatoren und Randbedingungen im Erhaltungsmanagement - Fortsetzung

Die in der Anmerkungsspalte aufgelisteten Vorgehensweisen für die Analyse sind mögliche Lösungsansätze, die im Zuge der Analyse überprüft wurden, sodass Änderungen in einzelnen Bereichen während der Bearbeitungszeit die Folge waren. Der technische Substanzwert wurde als primärer Zielwert der Analyse definiert, der entsprechend variiert werden soll, um die Auswirkungen auf die anderen Indikatoren nachvollziehbar darzustellen (siehe Kapitel 6).

4. ABSCHNITTSBEZOGENE GRUNDLAGEN UND ERWEITERUNGEN

4.1 ALLGEMEINES

Eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung der Simulationen und Analysen (siehe Beschreibung AP2 und AP3) ist die Ergänzung bzw. Überarbeitung der Systemkonfiguration von VIAPMS_ASFiNAG vor dem Hintergrund der im Workshop gesammelten Erkenntnisse sowie der in den letzten Jahren gewonnenen Erfahrungen im Bereich der Substanzbewertung. Dazu wurden die auf einzelne Straßenabschnitte anzuwendenden Algorithmen entsprechend erweitert, wobei aus Gründen der Vergleichbarkeit (alter und neuer Substanzwert) die bis dato verwendeten Algorithmen ebenfalls im System beibehalten werden.

Der den Simulationen zu Grunde liegende Berechnungsalgorithmus basiert auf den im „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009“ [1] beschriebenen Modellen und Verfahren und hat nach wie vor seine Gültigkeit. Die vorgenommenen maßgebenden Erweiterungen und Ergänzungen sind in den nachfolgenden Kapiteln im Detail beschrieben. Dabei handelt es sich einerseits um die Überarbeitung und Erweiterung des Technischen Substanzwertes (siehe Kapitel 4.2) und andererseits um den Ausblick auf eine mögliche Einbeziehung der Abschnittsgewichtung vor dem Hintergrund der Netzverfügbarkeit bzw. Systemzuverlässigkeit (siehe Kapitel 7). Beide Ergänzungen ermöglichen die Definition eines „Netzgewichteten Substanzwertes (Infrastrukturwert)“ für die Netzebene.

Die erweiterten Berechnungsalgorithmen wurden in die aktuelle Systemkonfiguration von VIAPMS_ASFiNAG (2014) implementiert und bilden die Basis für die durchgeführten umfangreichen Simulationen (Szenarien, siehe Kapitel 5.1). Diese Version enthält einen aktuellen Datenbestand des ASFiNAG-Netzes (Aktualisierungszeitraum Frühjahr 2014) mit den für das Jahr 2014 im Bauprogramm der ASFiNAG (Infrastruktur-Investitionsprogramm) enthaltenen Erhaltungsmaßnahmen für den Straßenoberbau. Es kann daher von einer sehr aktuellen Datensituation ausgegangen werden, sodass die daraus abgeleiteten Ergebnisse und Erkenntnisse auch als aktuell bezeichnet werden können. Diese Datengrundlage wurde auch für die parallel durchgeführten Netzanalysen herangezogen.

4.2 ÜBERARBEITUNG TECHNISCHER SUBSTANZWERT

4.2.1 AKTUELLE DEFINITION SUBSTANZWERT

Aus Gründen der Vollständigkeit sowie um einen besseren Vergleich zum neuen Formalismus zu ermöglichen, wird die aktuelle, bisher verwendete Definition des Substanzwertes hier im Detail dargestellt.

Im Gegensatz zum Gebrauchswert, der den Fahrkomfort und die Fahrsicherheit eines Oberbauabschnittes beschreibt, bewertet der **Substanzwert** die strukturelle Beschaffenheit des Oberbaus.

Dabei wird gem. „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009“ [1] der Substanzwert in einen Teil „Decke“ und in einen Teil „theoretische Tragfähigkeit“ getrennt. Der Teil „Decke“ beinhaltet neben den Zustandsmerkmalen Risse, Oberflächenschäden, sowie den geringer gewichteten Merkmalen Längsebenheit und Spurrinntentiefe auch das Alter der Deckschicht (bei Betonbefestigungen das Alter der Betondecke). Der Teil „theoretische Tragfähigkeit“ definiert die „innere Ermüdung der Konstruktion“ über das dickengewichtete mittlere Alter der gebundenen Schichten und berücksichtigt über den Verkehrsbelastungskoeffizienten auch die Dimensionierung (unter-, über- oder richtig dimensioniert).

Der Substanzwert ist somit eine theoretische, technisch fundierte Bewertungsgröße der strukturellen Beschaffenheit des gesamten Oberbaus, welche in der Regel für längere verhaltenshomogene Erhaltungsabschnitte berechnet wird. Er entspricht in seiner Gestaltung den Empfehlungen von „COST 354 Performance Indicators for Road Pavements“ [6] und ist daher sehr ähnlich zum Substanzwert z.B. in Deutschland und in Slowenien.

Im Zuge der Überarbeitung des Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes im Jahr 2007 wurde in Anlehnung an aktuelle Forschungsergebnisse aus Deutschland (siehe [11]) und an die Ergebnisse der COST-Aktion 354 „Performance Indicators for Road Pavements“ [6] für die Verknüpfung von Einzelwerten ein erweitertes Maximalkriterium implementiert, welches die Streuung der restlichen Eingangswerte berücksichtigt. Damit wird verhindert, dass z.B. Wertepaare mit gleichem Maximalwert jedoch mit unterschiedlichen Minimalwerten zur gleichen Lösung im Rahmen der Verknüpfung führen. Jenes Wertepaar mit dem betragsmäßig höheren Minimalwert wird demnach auch einen höheren verknüpften Wert aufweisen.

Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 7 und Abbildung 8) zeigen schematisch das Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes auf den Bundes- und Landesstraßen für Asphalt- und für Betonbefestigungen. In den beiden Abbildungen ist auch ersichtlich, dass neben den 5 unabhängigen Zustandsmerkmalen auch die Kennzahlen und Kennwerte des Oberbaus berücksichtigt werden.

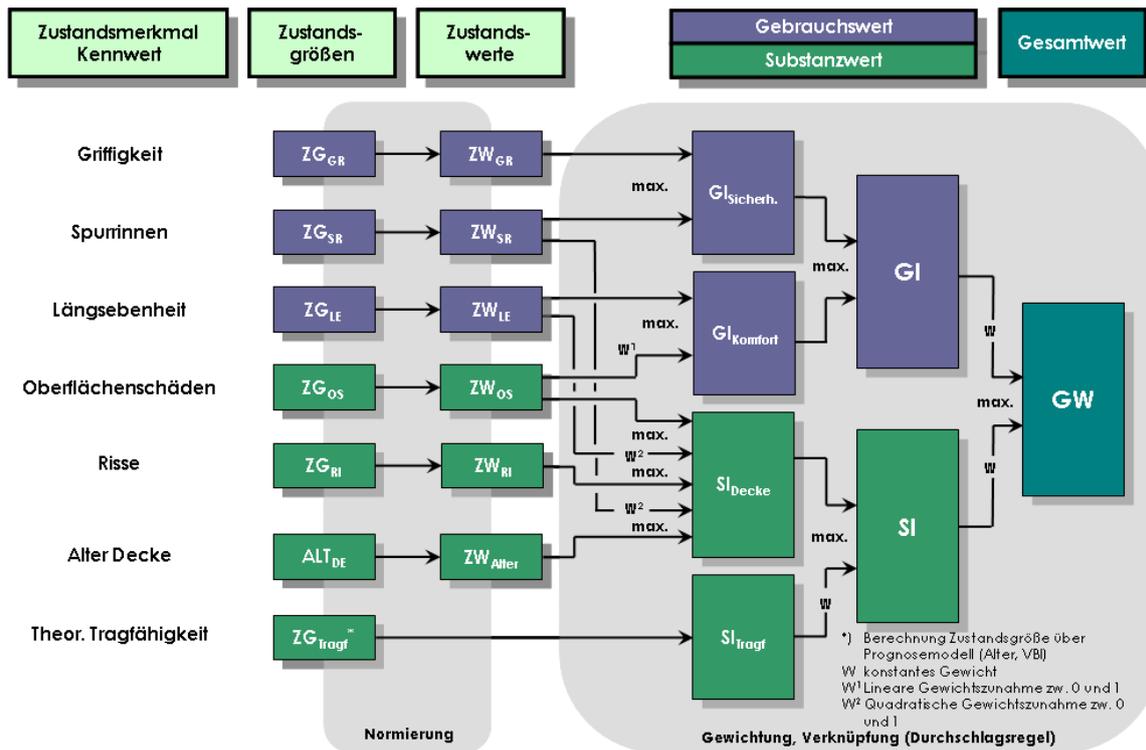


Abbildung 7: Bildung von Teilwerten und des Gesamtwertes für Asphaltbefestigungen

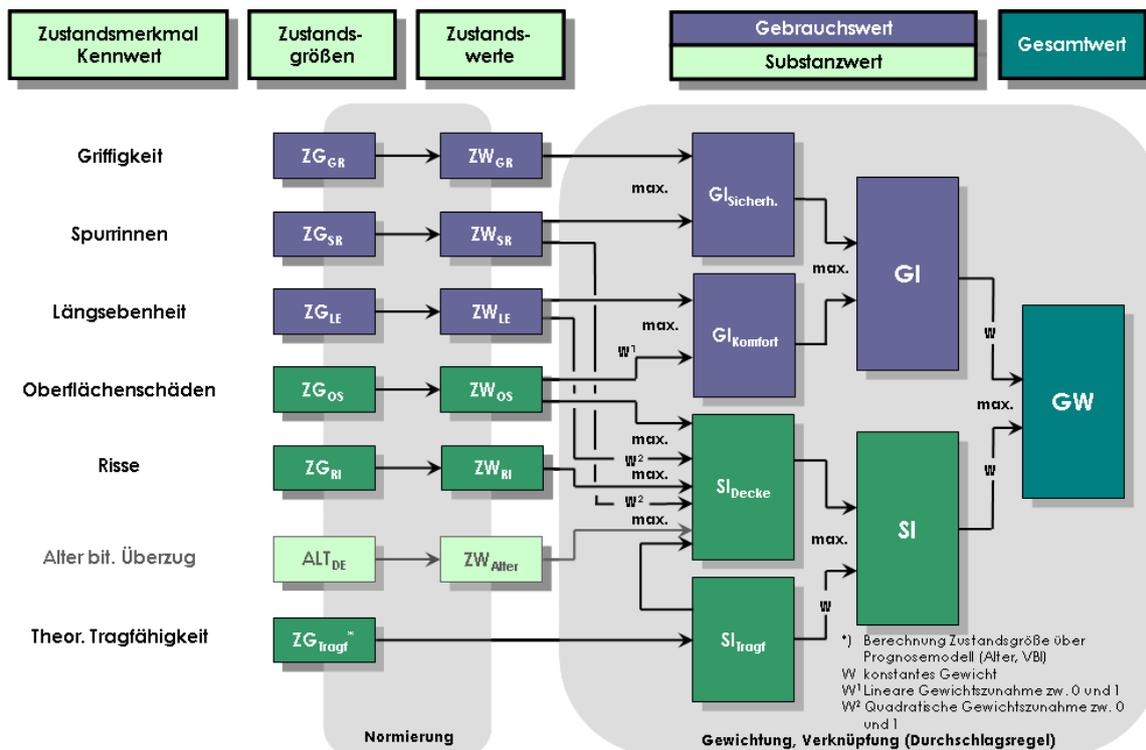


Abbildung 8: Bildung von Teilwerten und des Gesamtwertes für Betonbefestigungen

Nach [1] führt die laufende Beanspruchung des Oberbaus durch Verkehr, Temperatur, Niederschlag, einerseits zu Schäden an der Straßenoberfläche andererseits aber auch zu einer nicht an der Oberfläche sichtbaren Schädigung der Materialien bzw. der Schichten (Verhärtung Bindemittel, mangelnder Lagenverbund, Risse an der Schichtunterseite, etc.).

Aus diesem Grund werden bei der Berechnung des Substanzwertes neben den an der Oberfläche feststellbaren Schäden auch Informationen über den Schichtaufbau und die Altersstruktur berücksichtigt. Hierfür wird die Zustandsgröße „theoretische Tragfähigkeit“ herangezogen, die eine Aussage im Hinblick auf eine strukturelle Schädigung bzw. Ermüdung in der Konstruktion zulässt und auf dem Zustandsprognosemodell Risse (nach [7]) in Verknüpfung mit den Lebensdauern von Schichten (nach [8]) basiert.

4.2.1.1 SUBSTANZWERT DECKE

Für die Bildung des Substanzwertes Decke werden nach [1] jene Zustandsmerkmale herangezogen, die eine strukturelle Schädigung des Oberbaus an der Oberfläche beschreiben. Dabei muss auch hier sichergestellt werden, dass bereits die Beeinträchtigung durch ein einziges Merkmal (z.B. Risse) einen schlechten Substanzwert zur Folge hat (Verwendung Durchschlagsregel). Darüber hinaus muss jedoch auch das Ausmaß der Schädigung anderer Zustandsmerkmale Berücksichtigung finden, sodass für die Zusammenführung der Einzelwerte ein erweitertes Maximalkriterium zur Anwendung gelangt. Für die Berechnung des Substanzwertes werden nach [1] folgende Zustandswerte bzw. -größen herangezogen:

- Zustandswert Risse ZW_{RI}
- Zustandswert Oberflächenschäden ZW_{OS}
- Zustandsgröße Spurrinnen ZG_{SR}
- Zustandsgröße Längsebenheit ZG_{LE}

Neben den hier aufgelisteten Zustandsmerkmalen ist für eine Beurteilung der Oberfläche und damit der Decke auch deren Alter von wesentlicher Bedeutung. Hierfür wird für Asphaltdecken auf der Grundlage der mittleren Lebensdauern nach [8] folgender Ansatz gewählt:

- Asphaltdecke mit einer Gesamtdicke > 2cm:

$$ZW_{Alter,As} = 0,21 \cdot Alter_{Decke} - 0,17 \quad [1,0 \leq ZW_{Alter,As} \leq 5,0]$$

- Asphaltdecke mit einer Gesamtdicke ≤ 2cm:

$$ZW_{Alter,As} = 0,3 \cdot Alter_{Decke} - 0,17 \quad [1,0 \leq ZW_{Alter,As} \leq 5,0]$$

- Offenporige Asphaltdecken (Drainasphalt, PA):

$$ZW_{Alter,As} = 0,35 \cdot Alter_{Decke} - 0,17 \quad [1,0 \leq ZW_{Alter,As} \leq 5,0]$$

$ZW_{Alter,As}$ Zustandswert Alter für Asphaltdecken [-]

$Alter_{Decke}$ Alter Deckschicht [Jahre]

Die Berechnung des Zustandswertes „Alter“ für Betondecken ohne bituminösen Überzug kann entfallen, da einerseits Deck- und Tragschicht einen homogenen Bauteil bilden und

andererseits die Alterskomponente in der Berechnung des Substanzwertes „theoretische Tragfähigkeit“ enthalten ist [1].

Neben den Zustandswerten der Merkmale Risse ZW_{RI} und Oberflächenschäden ZW_{OS} werden auch die Längsebenheit und die Spurrinnen, die mit zunehmendem Wert bzw. mit zunehmender Tiefe die Struktur beeinflussen, berücksichtigt. Der Einfluss der Zustandsgrößen Längsebenheit ZG_{LE} und Spurrinnen ZG_{SR} erfolgt dabei nach [1] durch eine Gewichtung, die über eine quadratische Funktion definiert ist:

- Spurrinnen
 - 0 mm \Rightarrow Gewicht = 0;
 - 40 mm \Rightarrow Gewicht = 1
- Längsebenheit IRI
 - 0 m/km \Rightarrow Gewicht = 0;
 - 4,5 m/km \Rightarrow Gewicht = 1

Die Kombination des Substanzwertes „Alter“ mit den oben aufgelisteten Zustandsmerkmalen führt nach [1] bei Oberbaukonstruktionen mit einer bituminösen Deckschicht zum Substanzwert „Decke“. Dies gilt auch für mit Asphalt überbaute Betondecken.

Asphaltdecke

$$SI_{Decke} = \max \left\{ \max(ZW_{RI}; ZW_{OS}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{RI}; ZW_{OS}) - 0,1; \right. \\ \left. \max \left[\min \left(1 + 0,00010938 \cdot ZG_{SR}^3; 5 \right); \min \left(1 + 0,03840988 \cdot ZG_{LE}^3; 5 \right); ZW_{Alter, As} \right] \right\} \\ [1,0 \leq SI_{Decke} \leq 5,0]$$

SI_{Decke}	Substanzwert Decke [-]
ZW_{RI}	Zustandswert Risse [-]
ZW_{OS}	Zustandswert Oberflächenschäden [-]
ZG_{SR}	Zustandsgröße Spurrinnen (max. Spurrinntiefe unter der 2m-Latte) [mm]
ZG_{LE}	Zustandsgröße Längsebenheit (International Roughness Index IRI) [m/km]

Betondecke

Die Berechnung des Substanzwertes Decke für Betondecken (ohne bituminösen Überzug) erfolgt nach [1] unter Verwendung des Substanzwertes „theoretische Tragfähigkeit“.

$$SI_{Decke} = \max \left\{ \max(ZW_{RI}; ZW_{OS}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{RI}; ZW_{OS}) - 0,1; \right. \\ \left. \max \left[\min \left(1 + 0,00010938 \cdot ZG_{SR}^3; 5 \right); \min \left(1 + 0,03840988 \cdot ZG_{LE}^3; 5 \right); SI_{Tragf} \right] \right\} \\ [1,0 \leq SI_{Decke} \leq 5,0]$$

SI _{Tragf}	Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]
ZW _{RI}	Zustandswert Risse [-]
ZW _{OS}	Zustandswert Oberflächenschäden [-]
ZG _{SR}	Zustandsgröße Spurrinnen (max. Spurrinntiefe unter der 2m-Latte) [mm]
ZG _{LE}	Zustandsgröße Längsebenheit (International Roughness Index IRI) [m/km]

4.2.1.2 SUBSTANZWERT THEORETISCHE TRAGFÄHIGKEIT

Um die „innere“ Schädigung bzw. Veränderung der Eigenschaften des Oberbaus zu beschreiben, wird in einem ersten Schritt die strukturelle Ermüdung (Zustandsgröße „Tragfähigkeit“) der Oberbaukonstruktion im Vergleich zur „Idealentwicklung“ festgestellt. Die „Idealentwicklung“ stellt dabei einen Verhältniswert dar und bezieht sich auf die statistische Auswertung der Lebensdauern von bituminösen Tragschichten (siehe [8]), welche in Relation zum Zustandsprognosemodell Risse (nach [7]) gebracht wurde. Die „theoretische aktuelle Tragfähigkeit“ kann daher als Prozentwert der „inneren“ Schädigung oder Ermüdung wie folgt definiert werden (siehe auch Abbildung 9) [1]:

Asphaltoberbau

$$ZG_{Tragf} = K_{Tragf} \cdot \frac{\exp[-3,6017 + 0,15 \cdot (J_{akt} - J_{rechn}) + \ln(J_{akt} - J_{rechn} + 0,01)]}{VBI}$$

$$[0 \leq ZG_{Tragf} \leq 100]$$

Betonoberbau

$$ZG_{Tragf} = K_{Tragf} \cdot \frac{\exp[1 - 4,6017 + 0,075 \cdot (J_{akt} - J_{rechn}) + \ln(J_{akt} - J_{rechn} + 0,01)]}{VBI}$$

$$[0 \leq ZG_{Tragf} \leq 100]$$

ZG _{Tragf}	Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]
K _{Tragf}	Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit (Standardwert = 1) [-]
J _{akt}	aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]
J _{rechn}	rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]
VBI.....	Verkehrsbelastungskoeffizient

Der Verkehrsbelastungskoeffizient VBI (Definition und Berechnung siehe [1]) bestimmt dabei das Verhältnis zwischen zulässiger und vorhandener Verkehrsbelastung und kann daher für die Berechnung der Abweichung von der „Idealentwicklung“ des strukturellen (inneren) Zustandes der Oberbaukonstruktion herangezogen werden. Dies bedeutet, dass die Reduktion der Tragfähigkeit schneller voranschreitet, wenn der Oberbau unterdimensioniert ist, im Vergleich zu einer Oberbaukonstruktion, die richtig oder sogar überdimensioniert wurde [1].

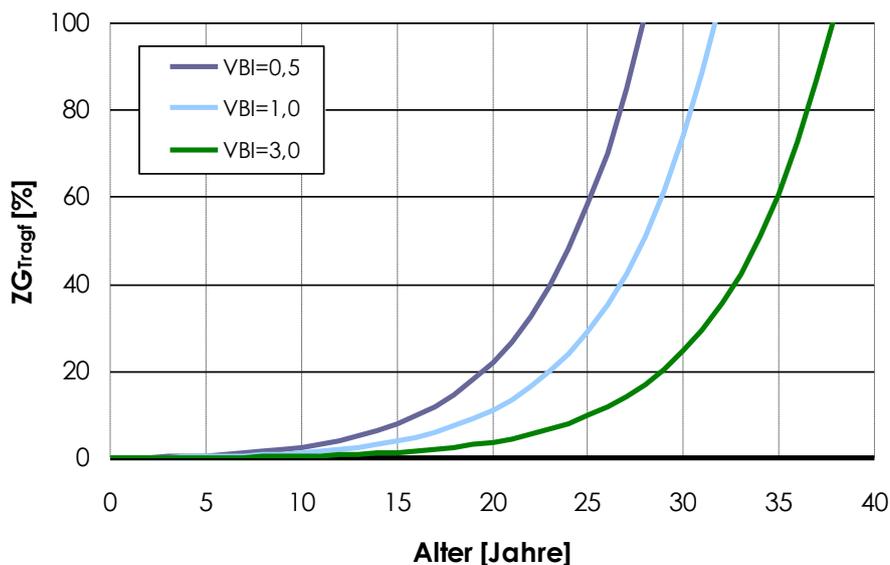


Abbildung 9: Zustandsgröße Tragfähigkeit für Oberbau in Asphaltbauweise [1]

Der Substanzwert „theoretische Tragfähigkeit“ wird nach [1] durch die Normierung der Zustandsgröße „theoretische Tragfähigkeit“ unter Verwendung der Normierungsfunktionen Risse wie folgt errechnet:

$$SI_{Tragf} = 1,0 + 0,35 \cdot ZG_{Tragf} \quad [1,0 \leq SI_{Tragf} \leq 5,0]$$

SI_{Tragf} Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]

ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [-]

4.2.1.3 SUBSTANZWERT GESAMT

Der Substanzwert setzt sich sowohl für Asphaltbefestigungen als auch für Betondecken aus den Komponenten Substanzwert „Decke“ (Zustand Straßenoberfläche und Alter Decke) und dem Substanzwert „theoretische Tragfähigkeit“ (innerer struktureller Zustand des Oberbaus) zusammen [1]. Zur Sicherstellung, dass nicht alleine durch einen theoretisch ermittelten Wert dringende strukturelle Maßnahmen gefordert werden, wird der Substanzwert „theoretische Tragfähigkeit“ durch einen entsprechenden Faktor reduziert.

$$SI = \max(0,89 \cdot SI_{Tragf}; SI_{Decke}) + 0,1 \cdot \min(0,89 \cdot SI_{Tragf}; SI_{Decke}) - 0,1 \quad [1,0 \leq SI \leq 5,0]$$

SI Substanzwert (gesamt) [-]

SI_{Tragf} Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]

SI_{Decke} Substanzwert Decke [-]

4.2.2 KRITISCHE ANALYSE BILDUNGSGESETZE SUBSTANZWERT

Die im Zuge der letztjährigen Analysen durchgeführten Ergebnisauswertungen haben gezeigt, dass vielerorts die tatsächliche (visuell erkennbare) strukturelle Beschaffenheit des Straßenoberbaus in gewissen Widersprüchen zu den oben beschriebenen Ergebnissen der Bewertung gemäß „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009“ [1] steht. Vor allem auf jenen Abschnitten, die einerseits schon eine höhere Liegedauer (>15 Jahre) andererseits aber keine sichtbaren Schäden aufweisen, erscheint die Berechnung des Substanzwertes (sowohl Decke als auch theoretische Tragfähigkeit) zu pessimistisch. Natürlich können bei so einem generellen Vergleich keine genauen Aussagen im Hinblick auf den „inneren“ Zustand des Oberbaus getätigt werden, es erscheint jedoch nicht sinnvoll und zweckmäßig, die Situation so schlecht zu beurteilen, dass daraus dringender Handlungsbedarf abgeleitet werden muss. Eine wesentliche Ursache für diesen Umstand liegt dabei in der gemeinsam mit den damaligen Vertretern der Bundesländer im Bereich des ASFINAG-Netzes getroffenen Entscheidung, das Alter der Deckschicht als Durchschlagskriterium in den Substanzwert aufzunehmen. Zwar ist der Alterseinfluss auf umfangreiche statistische Untersuchungen (siehe [8]) abgestützt, jedoch musste auch hier in erster Linie mit Mittelwerten gerechnet werden, die mit großer Wahrscheinlichkeit für einen konkreten Abschnitt nicht zutreffen.

Ein weiteres Problem bei der Analyse des Substanzwertes ist die rein theoretische Betrachtung der „inneren“ strukturellen Beschaffenheit des Oberbaus, welche sich auf das empirisch entwickelte Rissmodell bezieht. Auch dieses Modell basiert auf einer sehr guten Datengrundlage und wurde mit den Erfahrungen der Erhaltungsingenieure kombiniert, liefert jedoch auch hier nur eine mittlere „mögliche“ Entwicklung, die im Einzelfall deutlich von der Realität abweichen kann. In jenen Fällen, wo das Oberflächenbild auch einen möglichen Hinweis auf die „innere“ strukturelle Beschaffenheit ermöglicht (z.B. altershomogenes gebundenes Schichtpaket), sollte dies verstärkt in die Bewertung einfließen (siehe hierzu auch ERA-NET Road Projekt „InteMat4PMS“ [9]).

In diesem Sinne sind für einen integralen Lösungsansatz folgende Ergebnisse der Analyse des Substanzwertes von wesentlicher Bedeutung:

- Verbesserung der Aussagegenauigkeit des technischen Substanzwertes im Hinblick auf die Einbeziehung der Liegedauern von Deckschichten
- Kalibrierung der „inneren“ strukturellen Beschaffenheit unter Heranziehung des Oberflächenbildes bei altershomogenen Oberbaukonstruktionen
- Überarbeitung der Verknüpfungsregel zwischen den Teilwerten Substanzwert Decke und Substanzwert Tragfähigkeit

Für die Festlegung eines strategischen Zielwertes in einem möglichen weiteren Schritt ist von der Tatsache auszugehen, dass der aktuelle Substanzwert eine rein technische Größe darstellt und die Bedeutung der Straße nur indirekt über den Verkehrsbelastungskoeffizienten berücksichtigt. Dabei wird jedoch nicht unterschieden, ob der Verkehrsbelastungskoeffizient auf einer aus der Sicht der Netzbedeutung sensitiven Strecke oder einer vergleichsweise geringbedeutenden Strecke errechnet wird. Beim

Gebrauchswert ist diese Betrachtung nur bedingt zulässig, da unabhängig von der Bedeutung der Strecke die Verkehrssicherheit bzw. der Fahrkomfort auf einem entsprechend hohen Niveau gehalten werden muss (siehe hierzu auch Vorgaben der RVS 13.01.15). Hierbei ist eine Unterscheidung zwischen einem technischen Substanzwert für die technische Beurteilung von Oberbaukonstruktionen und einem „Infrastrukturwert“ unter Berücksichtigung von strategischen Vorgaben bzw. der Bedeutung der Straße bzw. des Straßenabschnittes für das Netz zu treffen.

Für die Überlegungen zur Modifizierung des derzeit verwendeten Algorithmus zur Ermittlung des Technischen Substanzwertes wird zunächst die Vorgangsweise in der Bundesrepublik Deutschland untersucht und dann die derzeitige Vorgangsweise in Österreich kritisch betrachtet. Darauf aufbauend werden die Vorschläge für die Ableitung eines modifizierten technischen Substanzwertes dargestellt.

4.2.3 SUBSTANZBEWERTUNG IM PMS DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Ähnlich wie in Österreich werden auch bei der Substanzbewertung im PMS der Bundesrepublik Deutschland zwei Komponenten betrachtet:

- Ein Substanzwert-Oberfläche, der die bei der Zustandserfassung/-bewertung (ZEB) mit schnellfahrenden Messsystemen erfassten Zustandsmerkmale, die als Indikatoren für strukturelle Schäden einzustufen sind, verknüpft (Kap. 4.2.3.1).
- Ein Substanzwert-Bestand, der die Schichtarten, die Schichtdicken und das Alter der gebundenen Befestigungsschichten in Relation zur Schwerverkehrsbelastung bewertet (Kap. 4.2.3.2).

Die beiden Teil-Substanzwerte werden schließlich zu einem Substanzwert-Gesamt verknüpft (Kap. 4.2.3.3).

4.2.3.1 ERMITTLUNG DES SUBSTANZWERTS-OBERFLÄCHE TWSUB

Die bei der ZEB in dichter Folge erfassten Zustandsdaten werden für 100-m-Abschnitte (bzw. 20 m-Abschnitte für Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen) ausgewertet. Der Substanzwert-Oberfläche TWSUB wird für diese Auswerteabschnitte ermittelt [10].

TWSUB verknüpft die Zustandsmerkmale, denen Wirkungen auf die Substanz von Fahrbahnbefestigungen zugeschrieben werden. Dazu gehören die Längs- oder Querebenheit (AUN und MSPT in Tabelle 3), Risse und Flickstellen bei den Asphaltdecken (RISS und FLI in Tabelle 3) sowie Längs-/Querrisse, Eckabbrüche und Kantenschäden bei Betondecken (LQR, EAB und KAS in Tabelle 3, ausgewertet jeweils nach Ausprägung und Häufigkeit).

Für eine Verknüpfung müssen die ausgewerteten Zustandsgrößen, die unterschiedliche physikalische Dimensionen aufweisen, in Zustandswerte normiert werden. Diese Normierung erfolgt mit Hilfe einer Notenskala von 1,0 („sehr gut“) bis 5,0 („sehr schlecht“). Auf dieser Skala bezeichnet der Wert von 3,5 einen Zustand, dessen Erreichen Anlass zu intensiver Beobachtung, zur Analyse der Ursachen für den schlechten Zustand und ggf. zur Planung von geeigneten Maßnahmen gibt (Warnwert). Der Zustandswert von 4,5 beschreibt als Schwellenwert einen Zustand, bei dessen Erreichen i. d. R. bauliche oder verkehrs-

beschränkende Maßnahmen einzuleiten sind. Für die Berechnung der Zustandswerte im PMS gilt:

$$ZW_j = \max(1; 1 + 2,5 \cdot (ZG_j - ZG_{j,1,0}) / (ZG_{j,3,5} - ZG_{j,1,0})) \quad \text{für } ZG_j \leq ZG_{j,3,5}$$

$$ZW_j = \min(5; 3,5 + (ZG_j - ZG_{j,3,5}) / (ZG_{j,4,5} - ZG_{j,3,5})) \quad \text{für } ZG_j > ZG_{j,3,5}$$

ZW_j Zustandswert für Zustandsmerkmal j,
 ZG_j Zustandsgröße für Zustandsmerkmal j,
 ZG_{j,3,5} 3,5-Wert für Zustandsmerkmal j (s. Tabelle 3),
 ZG_{j,4,5} 4,5-Wert für Zustandsmerkmal j (s. Tabelle 3).

Für Betondecken müssen zur Berechnung von TWSUB noch die Zustandswerte für die Häufigkeit und die Ausprägung verknüpft werden. Dafür gilt (s. Tabelle 3):

$$ZW_k = \min(5; ZW_{k,h} + 0,25 \cdot ZW_{k,a} - 0,25)$$

ZW_k Zustandswert für (Beton-) Zustandsmerkmal k,
 ZW_{k,h} Zustandswert für die Häufigkeit h des Zustandsmerkmals k,
 ZW_{k,a} Zustandswert für die Ausprägung a des Zustandsmerkmals k.

Tabelle 3 veranschaulicht die 3,5- und 4,5-Werte (Asphaltdecken: 3 Funktionsklassen, Funktionsklasse 1 für die Autobahnen und die freien Strecken der Bundesstraßen, Funktionsklasse 2 für die Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen; Funktionsklasse 3 für Innerortsstraßen; Betondecken: Funktionsklasse 1, da ausschließlich Autobahnen).

Deckenart	Zustandsgröße	Funktionsklasse 1		Funktionsklasse 2		Funktionsklasse 3	
		3,5-Wert	4,5-Wert	3,5-Wert	4,5-Wert	3,5-Wert	4,5-Wert
Asphalt und Beton	AUN [cm ³]	3	9	6	18	12	36
	MSPT [mm]	10	20	15	25	20	30
Asphalt	RISS [%]	5	10	15	25	25	40
	FLI [%]	10	15	15	25	25	40
Beton	LQRL [m]	2	4				
	LQRP [%]	23	35				
	EABF [-]	2	3				
	EABP [%]	23	35				
	KASL [m]	4	8				
	KASP [%]	23	35				

Tabelle 3: 3,5-Werte (Warnwert) und 4,5-Werte (Schwellenwert) der beim Substanzwert-Oberfläche berücksichtigten Zustandsgrößen

Die derzeit bei der ZEB-Bewertung angesetzten Bewertungsfunktionen [10], die Unstetigkeiten aufweisen, sind für Planungsalgorithmen ungeeignet. Für das PMS werden daher die o. a. Normierungsfunktionen verwendet, die mehrfach praxisbezogen geprüft wurden [11] und ab 2015 auch für die ZEB übernommen werden sollen.

Das ZEB-Verfahren zur Berechnung von TWSUB ist relativ kompliziert (s. [10]) und weist dazu Defizite auf, die durch eine sog. „Durchschlagsregel“ ausgeglichen werden sollen, jedoch netzbezogen tendenziell zu bipolaren Häufigkeitsverteilungen führen (sehr hohe Anteile im sehr guten, neuwertigen Zustandsbereich, hohe Anteile im schlechten und sehr schlechten Zustandsbereich, geringe Anteile im mittleren Zustandsbereich), die vor Ort nicht nachvollziehbar sind. Für das PMS wird daher nach [11] ein einfacheres und konsistentes Verknüpfungsverfahren angewendet, das laut Beschlusslage der zuständigen Gremien auch für die ZEB übernommen werden soll. Danach gilt für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB:

$$\text{TWSUB} = \min(5; \max(\text{ZWELQ}; \text{ZWRIO}) + 0,2 \cdot \min(\text{ZWELQ}; \text{ZWRIO}) - 0,2)$$

ZWELQ.....Zustandswert für die Längs-/Querebenheit,

ZWRIO.....Zustandswert für Risse und Oberflächenschäden.

Für den ZWELQ und ZWRIO gilt:

$$\text{ZWELQ} = \max(\text{ZWAUN}; \text{ZWSPT})$$

$$\text{ZWRIO} = \min(5; \text{ZWRIS} + 0,5 \cdot \text{ZWFLI} - 0,5) \text{ bei Asphaltdecken}$$

$$\text{ZWRIO} = \min(5; \text{ZWLQR} + 0,25 \cdot \text{ZWEAB} + 0,25 \cdot \text{ZWKAS} - 0,5) \text{ bei Betondecken.}$$

4.2.3.2 ERMITTLUNG DES SUBSTANZWERTS-BESTAND

Der Substanzwert-Bestand wurde in erster Linie für die Anwendung im PMS entwickelt, um ergänzend zum Substanzwert-Oberfläche auch eine Bewertung des Substanzpotentials der tiefer liegenden Schichten zu ermöglichen ([12], [13], [14]). Die Bestimmung des zu einem beliebigen (aktuellen, vergangenen oder künftigen) Zeitpunkt vorhandenen Substanzpotentials erfolgt auf der Grundlage der Aufbaudaten, die den vorhandenen Schichtaufbau mit den Schichtarten, Schichtdicken und Einbaujahren beschreiben, für Abschnitte mit annähernd homogenem Aufbau. Den in den Aufbaudaten angegebenen gebundenen Schichtarten werden dazu bauweisespezifische Äquivalenzfaktoren zugeordnet, die in Abhängigkeit von dem über die Einbaujahre ermittelbaren Schichtalter im Sinne eines Abschreibungsmodells abgemindert und danach als Faktoren zur Ermittlung reduzierter Schichtdicken herangezogen werden.

Wie Tabelle 4 zeigt, hängt die Größe der Äquivalenzfaktoren der einzelnen gebundenen Schichten somit von der Schichtart und vom Schichtalter ab. Die erste Zahl in der Klammer entspricht dem jeweiligen schichtspezifischen Äquivalenzfaktor. Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, erfolgt die altersbezogene Abminderung des Substanzpotentials im PMS linear.

Schichtart	Berechnungsformel für die altersabhängigen Äquivalenzfaktoren Aq _i		
AB, SMA, DB	Aq _i = min(1,00; max(0,50; 1,075000 - 0,025000 • ALTER))		
GA	Aq _i = min(1,00; max(0,50; 1,066670 - 0,016667 • ALTER))		
MAK, UMK	Aq _i = min(0,70; max(0,45; 0,708333 - 0,008333 • ALTER))		
OB, MS	Aq _i = min(0,60; max(0,01; 0,659000 - 0,059000 • ALTER))		
PF	Aq _i = min(1,00; max(0,45; 1,062860 - 0,015710 • ALTER))		
BET	Aq _i = min(1,00; max(0,50; 1,055560 - 0,011111 • ALTER))		
ABB, ABG, ABF	Aq _i = min(1,00; max(0,50; 1,050000 - 0,012500 • ALTER))		
BGK	Aq _i = min(1,00; max(0,50; 1,040000 - 0,006667 • ALTER))		
BRK	Aq _i = min(0,95; max(0,45; 0,992860 - 0,007140 • ALTER))		
HGK	Aq _i = min(0,90; max(0,45; 0,938570 - 0,006430 • ALTER))		
HRK	Aq _i = min(0,80; max(0,40; 0,836920 - 0,006150 • ALTER))		
UAB	Aq _i = min(0,80; max(0,40; 0,811430 - 0,011430 • ALTER))		
UPF, UZB	Aq _i = min(0,85; max(0,40; 0,865000 - 0,015000 • ALTER))		
Sonstige	Aq _i = 0		
Deckschichten		Binderschichten	
OB	Oberflächenbehandlung	ABB	Asphaltbetonbinder
MS	Bit. Schlämme/Mikrobelag	ABG	(Asphaltgrobbletton)
DB	Dünnschichtbelag	ABF	(Asphaltfeinbletton)
AB	Asphaltbetondeckschicht	Tragschichten	
GA	Gussasphalt	BGK	bituminöse Tragschicht - gebrochenes Korn
SMA	Splittmastixasphalt	BRK	bituminöse Tragschicht - Rundkorn
MAK	Makadamdecke (hohlraumreich)	HGK	hydraulisch geb. Tragschicht - gebrochenes Korn
PF	Pflaster	HRK	hydraulisch gebundene Tragschicht - Rundkorn
BET	Betondecke	UAB	überbaute Asphaltbetondecke
TDS	Tragdeckschicht	UMK	überbaute Makadamdecke
		UPF	überbautes Pflaster
		UZB	überbaute Betondecke

Tabelle 4: Schicht- und altersabhängige Äquivalenzfaktoren [14]

Mit den gemäß Tabelle 4 berechneten Äquivalenzfaktoren kann durch eine Multiplikation mit den vorhandenen, in den Aufbaudaten dokumentierten Schichtdicken bestimmt werden, welche Dicke und damit welches Substanzpotential zu einem bestimmten Zeitpunkt noch ansetzbar ist. Dabei werden auch ausgetauschte Schichten infolge ausgeführter Erhaltungsmaßnahmen berücksichtigt. Völlig zerfallenen gebundenen Schichten wird der Äquivalenzfaktor einer Schotterschicht (= 0,5) zugewiesen.

Die zum jeweiligen Zeitpunkt noch ansetzbare Dicke DI_{vorh} wird mit der aufgrund der Schwerverkehrsbelastung erforderlichen Dicke DI_{erf} ins Verhältnis gesetzt. DI_{erf} wird in Abhängigkeit von der Steifigkeit (=Verformungsmodul E_{V2} in MN/m^2) der obersten ungebundenen Schicht nach den Dimensionierungsrichtlinien der RStO berechnet ([15], [16]). Der Quotient $DI_{\text{vorh}}/DI_{\text{erf}}$ wird als Bemessungsindex BI bezeichnet.

Um eine mit dem Substanzwert-Oberfläche TWSUB vergleichbare Skalierung herzustellen, muss der Bemessungsindex BI auf einer Notenskala von 1 bis 5 zum Substanzwert-Bestand SUBBE normiert werden. Bei einem Bemessungsindex $BI \geq 1,0$ („ausreichend bemessen“) ist der SUBBE sehr gut (Note 1,0). Wenn alle Einbautoleranzen für die Schichtdicken ausgeschöpft werden ($BI = 0,88$) liegt der SUBBE bei 1,5. Bei einem $BI \leq 0,5$ ergibt sich im PMS ein SUBBE von 4,5.

Der Substanzwert-Bestand SUBBE wird maßgeblich vom Alter der gebundenen Schichten bestimmt. Die Beanspruchung durch den Schwerverkehr wird eher indirekt, in Form der erforderlichen Dicke DI_{eff} , einbezogen. Derzeit wird geprüft, ob und wie der Einfluss unterschiedlicher Schwerverkehrsbelastungen zutreffender berücksichtigt werden kann [17].

4.2.3.3 ERMITTLUNG DES SUBSTANZWERTS-GESAMT

Nach der Ermittlung des Substanzwerts-Oberfläche TWSUB und des Substanzwerts-Bestand SUBBE liegen zwei auf einer Notenskala von 1,0 bis 5,0 normierte Kenngrößen für die Beschreibung des Substanzverzehr bzw. Substanzpotentials vor. Für verschiedene Anwendungen im PMS ist es von Vorteil, wenn die beiden Teilwerte zu einem Substanzwert-Gesamt SUBGE verknüpft werden. Dazu erfolgt eine multiplikative Verknüpfung:

$$\text{SUBGE} = 5 - (5 - \text{SUBBE})^{0,6} \cdot (5 - \text{TWSUB})^{0,4}$$

SUBGE Substanzwert-Gesamt
 SUBBE Substanzwert-Bestand
 TWSUB Substanzwert-Oberfläche

SUBBE ist eine etwas größere Bedeutung eingeräumt (0,6) als TWSUB (0,4). Die o.a. Verknüpfung geht davon aus, dass SUBBE und TWSUB voneinander unabhängig sind. Da dies zumindest zweifelhaft erscheint wird die Substanzbewertung des PMS derzeit überprüft [17].

4.2.4 MODIFIZIERTER TECHNISCHER SUBSTANZWERT

Wie bereits erwähnt, soll der primäre Anwendungsbereich des Technischen Substanzwertes einerseits in der technisch-strukturellen Beurteilung des Oberbaus liegen und andererseits für die Auswahl von geeigneten Erhaltungsmaßnahmen bzw. die Zuordnung zu Maßnahmenklassen (siehe hierzu [1]) herangezogen werden. Damit ergeben sich klare Anforderungen aus technischer Sicht, die mit den in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Ergebnissen der Analyse des aktuellen Substanzwertes verknüpft werden können. Die Analyse des aktuellen österreichischen Substanzwertes hat vor allem im Bereich der Altersbewertung einige Schwächen gezeigt.

Der Vergleich mit der Vorgangsweise in Deutschland (Kap. 4.2.3) hat gezeigt, dass die dort angewandte Methode ebenfalls ähnliche Schwächen hat und sogar den Nachteil aufweist, die Oberbaubeurteilung nur auf Grund von Schichtäquivalenzfaktoren durchzuführen. Es wurde daher entschieden, bei der erforderlichen Modifikation der Ermittlung des technischen Substanzwertes von der bisher in Österreich angewandten Methodik auszugehen.

Für die Überarbeitung des Technischen Substanzwertes SI werden somit folgende Verbesserungen bzw. Erweiterungen als sinnvoll erachtet:

- Überarbeitung der Durchschlagregel des Alters beim Substanzwert „Decke“ und Begrenzung des Einflusses bei Deckschichten ohne Schäden

- Integration der Oberflächeneigenschaften bei der Altersbewertung für den Substanzwert Decke
- Integration der Oberflächeneigenschaften in den Substanzwert „Theoretische Tragfähigkeit“ vor allem bei altershomogenen Oberbaukonstruktionen (= Oberbau, bei dem alle gebundenen Schichten innerhalb von 3 Jahren errichtet wurden)
- Verbesserung der Verknüpfungsregeln bei der Zusammenführung von Substanzwert „Decke“ und Substanzwert „theoretische Tragfähigkeit“

Mit diesen Verbesserungen und Ergänzungen sollen vor allem die aus den Zustandserfassungen resultierenden Kennwerte eine wesentlich höhere Bedeutung bei der technischen Beurteilung bekommen. Jene Einflussgrößen, die aus statistischen Untersuchungen und Analysen abgeleitet wurden, werden hingegen weniger intensiv berücksichtigt.

Für die Neugestaltung bzw. Verbesserung des Substanzwertes wurden umfangreiche Analysen vorgenommen, deren Ergebnisse zu diskutieren sind. Vor allem die Festlegung von bestimmten Grenzwerten (Minimum, Maximum) kann nur in Abstimmung mit den Erhaltern vor Ort erfolgen, da die Bewertung letztendlich auch den örtlichen Anforderungen entsprechen muss. Das Ergebnis dieser Überarbeitung wird in den nachfolgenden beiden Kapiteln vorgestellt.

Um eine klare Zuordnung der jeweiligen Index-Bezeichnung zum Berechnungsalgorithmus sicherzustellen sowie um Verwechslungen zu vermeiden, wird folgende Namenskonvention der Indizes herangezogen (siehe Tabelle 5).

Index	Beschreibung
GI09 _{Sicherheit} = GI14 _{Sicherheit}	Gebrauchswert Sicherheit auf Grundlage Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 (gilt auch für 2014)
GW09	Gesamtwert auf Grundlage Handbuch Pavement Management in Österreich 2009
GW14	Gesamtwert auf Grundlage Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 sowie der Erweiterungen und Ergänzungen im Bereich des Substanzwertes im Rahmen von ELISA-ASFINAG
SI09 _{Decke}	Technischer Substanzwert Decke auf Grundlage Handbuch Pavement Management in Österreich 2009
SI14 _{Decke}	Technischer Substanzwert Decke auf Grundlage der Erweiterungen und Ergänzungen im Bereich des Substanzwertes im Rahmen von ELISA-ASFINAG
SI09 _{Tragf}	Technischer Substanzwert Tragfähigkeit auf Grundlage Handbuch Pavement Management in Österreich 2009
SI14 _{Tragf}	Technischer Substanzwert Tragfähigkeit auf Grundlage der Erweiterungen und Ergänzungen im Bereich des Substanzwertes im Rahmen von ELISA-ASFINAG
SI09 _{gesamt}	Technischer Substanzwert Gesamt auf Grundlage Handbuch Pavement Management in Österreich 2009
SI14 _{gesamt}	Technischer Substanzwert Gesamt auf Grundlage der Erweiterungen und Ergänzungen im Bereich des Substanzwertes im Rahmen von ELISA-ASFINAG
SIN14 _{gesamt}	Netzgewichteter Substanzwert auf Grundlage der Erweiterungen und Ergänzungen im Bereich des Substanzwertes im Rahmen von ELISA-ASFINAG

Tabelle 5: Bezeichnung der Indizes

4.2.4.1 VERBESSERUNG SUBSTANZWERT „DECKE“

Um die Überbewertung des Alters bei älteren Decken ohne bzw. mit nur geringen Schäden zu vermeiden, wurden folgende Adaptierungen für Asphaltbefestigungen bzw. mit Asphalt überbaute Betondecken vorgenommen:

- Integration eines Gewichtes für das Merkmal Alter, das bei alten Deckschichten (sowohl Asphalt als auch Beton) ohne erkennbare Schäden an der Oberfläche verhindert, dass der Abschnitt in die Zustandsklasse 5 fällt. Daraus ergibt sich ein maximales Gewicht von 0,85.
- Berücksichtigung des Rissbildes in der Auswahl des Gewichtes in Form einer linearen Zunahme des Gewichtes in Abhängigkeit vom Zustandswert Risse. Ein minimales Gewicht von 0,69 garantiert, dass ein Abschnitt mit hohem Deckschichtalter aber ohne Risse ($ZW_{RI}=1$) schlechtesten Falls in die Zustandsklasse 3 fällt, bei welcher noch keine Erhaltungsmaßnahmen angesetzt werden.

Daraus ergibt sich für den Substanzwert „Decke“ für Asphaltdecken folgende Neuformulierung:

$$S/14_{Decke} = \max \left\{ \begin{array}{l} \max(ZW_{RI}; ZW_{OS}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{RI}; ZW_{OS}) - 0,1; \\ ; \max \left[\min \left(1 + 0,00010938 \cdot ZG_{SR}^3; 5 \right); \min \left(1 + 0,03840988 \cdot ZG_{LE}^3; 5 \right) \right]; \\ ; \min(0,08 \cdot ZW_{RI} + 0,61; 0,85) \cdot ZW_{Alter, As} \end{array} \right\}$$

$$[1,0 \leq S/14_{Decke} \leq 5,0]$$

S/14 _{Decke}	Substanzwert Decke [-]
ZW _{RI}	Zustandswert Risse [-]
ZW _{OS}	Zustandswert Oberflächenschäden [-]
ZG _{SR}	Zustandsgröße Spurrinnen (max. Spurrinntiefe unter der 2m-Latte) [mm]
ZG _{LE}	Zustandsgröße Längsebenheit (International Roughness Index IRI) [m/km]

Für die Ermittlung des Substanzwertes „Decke“ für Betonbefestigungen war keine Änderung erforderlich (Berechnung siehe Kapitel 4.2.1.1).

4.2.4.2 VERBESSERUNG SUBSTANZWERT „THEORETISCHE TRAGFÄHIGKEIT“

Im Vergleich zur Verbesserung zum Substanzwert „Decke“ erfolgt die Modifizierung des Substanzwertes „Theoretische Tragfähigkeit“ sowohl für die Asphalt- als auch für die Betonbauweisen.

Um eine Kalibrierung der „inneren“ strukturellen Beschaffenheit unter Berücksichtigung des Oberflächenbildes vorzunehmen, wurde der Kalibrierfaktor „Risse“, welcher individuell für jeden einzelnen Abschnitt unter Berücksichtigung des Rissbildes berechnet wird, herangezogen. Dies kann natürlich bei bereits ein- oder mehrmals überbauten Trag- bzw. Binderschichten zu einer Fehlinterpretation führen, was jedoch durch eine technisch sinnvolle Begrenzung der Werte des Kalibrierfaktors bis zu einem gewissen Grad aufgefangen werden kann. Für die Verbesserung des Substanzwertes „Theoretische Tragfähigkeit“ ergeben sich folgende Adaptierungen:

- Integration des Kalibrierfaktors Risse in die Berechnungsfunktion.
- Obere Begrenzung des Kalibrierfaktors mit einem Wert von 1,0, was einer „nicht“ kalibrierten Funktion entspricht und vermeidet, dass das Rissbild (Oberfläche) von jüngeren Deckschichten mit hohem Risspotential auf ältere Tragschichten übertragen wird.
- Untere Begrenzung des Kalibrierfaktors mit einem Wert von 0,1, was zumindest eine gewisse Ermüdung bei Konstruktionen darstellt, die über eine sehr lange Periode keine Risse an der Oberfläche zeigen.

Daraus ergibt sich für die Zustandsgröße „Theoretische Tragfähigkeit“ für die Asphaltbauweisen folgende Neuformulierung:

$$ZG14_{Tragf,Asphalt} = K_{Tragf} \cdot \frac{\exp[-3,6017 + 0,15 \cdot (J_{akt} - J_{rechn}) + \ln(J_{akt} - J_{rechn} + 0,01)]}{VBI} \cdot \max[0,1; \min(1,0; K_{Risse})]$$

$$[0 \leq ZG14_{Tragf,Asphalt} \leq 100]$$

ZG14 _{Tragf,Asphalt}	Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit modifiziert 2014 (Asphaltbauweise) [%]
K _{Tragf}	Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit (Standardwert = 1) [-]
K _{Risse}	Kalibrierfaktor Risse gem. Handbuch Pavement Management in Österreich 2009
J _{akt}	aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]
J _{rechn}	rechnerisches Oberbaujahr (Herstellung) [Jahr]
VBI.....	Verkehrsbelastungskoeffizient

In analoger Weise kann auch die Modifizierung für die Betonbauweisen vorgenommen werden:

$$ZG14_{Tragf,Beton} = K_{Tragf} \cdot \frac{\exp[-3,6017 + 0,075 \cdot (J_{akt} - J_{rechn}) + \ln(J_{akt} - J_{rechn} + 0,01)]}{VBI} \cdot \max[0,1; \min(1,0; K_{Risse})]$$

$$[0 \leq ZG14_{Tragf,Beton} \leq 100]$$

ZG14 _{Tragf,Beton}	Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit modifiziert 2014 (Betonbauweise) [%]
K _{Tragf}	Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit (Standardwert = 1) [-]
K _{Risse}	Kalibrierfaktor Risse gem. Handbuch Pavement Management in Österreich 2009
J _{akt}	aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]
J _{rechn}	rechnerisches Oberbaujahr (Herstellung) [Jahr]
VBI.....	Verkehrsbelastungskoeffizient

Die Normierung der Zustandsgröße zum Substanzwert „Theoretische Tragfähigkeit“ erfolgt unabhängig von der Bauweise wie bisher gemäß Handbuch Pavement Management [1].

$$SI14_{Tragf} = 1,0 + 0,35 \cdot ZG14_{Tragf} \quad [1,0 \leq SI14_{Tragf} \leq 5,0]$$

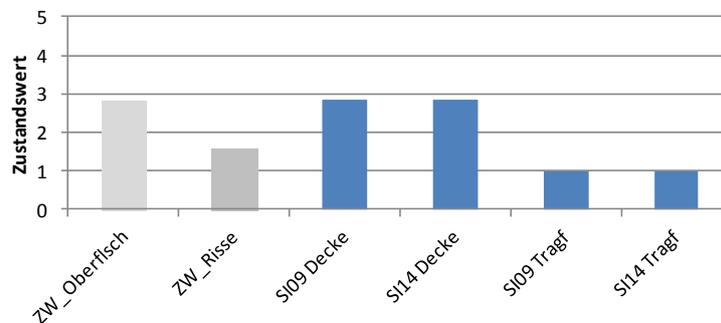
SI14 _{Tragf}	Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]
ZG14 _{Tragf}	Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit modifiziert 2014 [%]

4.2.4.3 AUSWIRKUNG DER MODIFIKATION DER SUBSTANZWERT-TEILWERTE

In Abbildung 10 bis Abbildung 12 werden die Ergebnisse der Modifikation für den Einzelabschnitt anhand von drei ausgewählten Abschnitten (jeweils erster Fahrstreifen F1) dargestellt. Hierfür werden der Substanzwert Decke sowie der Substanzwert Tragfähigkeit jeweils konventionell (SI09_{Decke} und SI09_{Tragf}) sowie mit geänderter Berechnungsvorschrift

(SI14_{Decke} und SI14_{Tragf}) ermittelt und gemeinsam mit den relevanten Zustandswerten der Oberflächenschäden und Risse in der Graphik abgebildet.

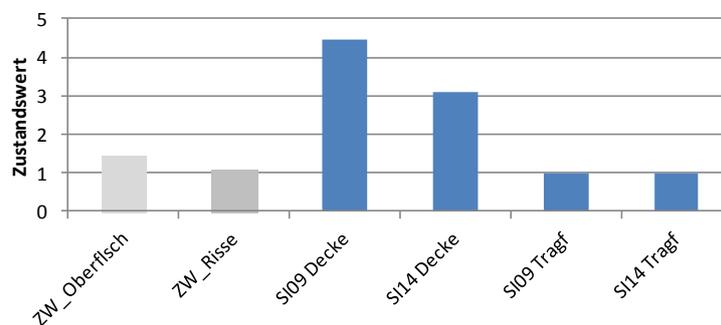
Abbildung 10 zeigt einen Abschnitt, in welchem die geänderte Berechnungsvorschrift keine Auswirkung auf die Teilwerte hat. Dies ist auf die trotz des relativ geringen Alters der Decke bereits teilweise schadhafte Oberfläche zurückzuführen.



Alter Decke 8
Alter Tragschicht 23

Abbildung 10: Beispielschnitt 1, SI09_{Decke} und SI09_{Tragf} im Vergleich zu SI14_{Decke} und SI14_{Tragf}

Abbildung 11 repräsentiert einen älteren Abschnitt mit sehr gutem Zustand. Es zeigen sich Änderungen nur bei dem Substanzwert Decke, da sich der Substanzwert Tragfähigkeit schon in der Klasse „sehr gut“ befindet.



Alter Decke 22
Alter Tragschicht 32

Abbildung 11: Beispielschnitt 2, SI09_{Decke} und SI09_{Tragf} im Vergleich zu SI14_{Decke} und SI14_{Tragf}

In Abbildung 12 (Befestigung mittleren Alters und geringe Schäden) verbessert sich aufgrund des Deckschichtalters und des guten Zustands der Oberfläche (ZW_Oberflächenschäden und ZW_Risse) sowohl der SI14_{Decke} als auch der SI14_{Tragf}.

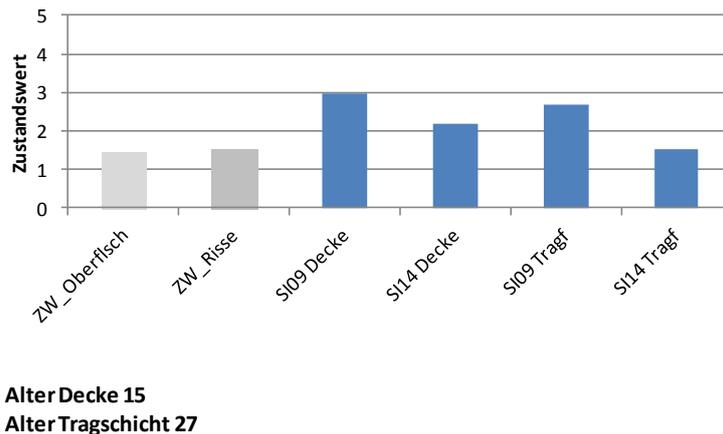


Abbildung 12: Beispielsabschnitt 3, SI09_{Decke} und SI09_{Tragnf} im Vergleich zu SI14_{Decke} und SI14_{Tragnf}

4.2.4.4 MODIFIKATION DER VERKNÜPFUNG ZUM SUBSTANZWERT - GESAMT

Neben der Erweiterung bzw. Verbesserung der beiden Teil-Substanzwerte (SI_{Decke} und SI_{Tragnf}) wurde als Konsequenz der bisherigen Anwendungserfahrungen auch die Verknüpfungsvorschrift zum Substanzwert Gesamt (SI_{gesamt}) modifiziert.

Bisher erfolgte die Verknüpfung über ein gewichtetes Maximalkriterium. Zur Sicherstellung, dass nicht alleine durch den theoretischen Wert SI_{Tragnf} dringende strukturelle Maßnahmen gefordert werden, wird dieser Teilwert durch einen entsprechenden Faktor reduziert.

Das derzeitige Bildungsgesetz lautet wie folgt (vgl. Kapitel 4.2.1.3):

$$SI09_{gesamt} = \max(0,89 \cdot SI09_{Tragnf}; SI09_{Decke}) + 0,1 \cdot \min(0,89 \cdot SI09_{Tragnf}; SI09_{Decke}) - 0,1$$

$$[1,0 \leq SI09_{gesamt} \leq 5,0]$$

SI09_{gesamt}..... Substanzwert (gesamt) [-]

SI09_{Tragnf}..... Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]

SI09_{Decke}..... Substanzwert Decke [-]

Als Folge dieser Berechnung kommt es vor, dass ein schlechter Substanzwert Decke auch einen schlechten Substanzwert Gesamt hervorruft. Dies ist als technisches Kriterium durchaus erwünscht gewesen, in Hinblick auf den Erhaltungsbedarf und die langfristige Zustandsentwicklung der Gesamtsubstanz kann dies aber als zu viel Einfluss einer meist dünnen Schicht auf das Gesamtpaket der gebundenen Schichten gewertet werden. So war bisher ein Substanzwert in der Klasse 5 ein eindeutiger Hinweis, dass hier eine tragfähigkeitsverbessernde Maßnahme gesetzt werden muss. Das bedeutete jedoch nicht zwingend eine Erneuerung des gesamten Aufbaus, sondern konnte, wenn der schlechte Wert durch den Substanzwert Decke hervorgerufen wurde, auch durch eine Deckschichtmaßnahme kompensiert werden.

Die Abbildung 13 zeigt die Zustandsverteilungen für den Substanzwert Tragfähigkeit und den Substanzwert Gesamt im gesamten Netz (ganz links) und in den Zustandsklassen 1 bis 5 des Substanzwerts Decke (Balken 2-6) und umgekehrt die Zustandsverteilungen in den Zustandsklassen 1 bis 5 des Substanzwerts Tragfähigkeit. Der erste Balken stellt jeweils die Verteilung über das gesamte Netz (ohne Klassenzuteilung) dar. Die Berechnung der Substanzteilwerte wurde nach den im vorangegangenen Kapitel vorgeschlagenen modifizierten Formeln durchgeführt. Für die Verknüpfung wurde in einem ersten Schritt die konventionelle Methode verwendet. Die Zahl nach der Klassenbezeichnung steht für die Netzlänge in der jeweiligen Zustandsklasse.

Hierbei wird deutlich dargestellt, dass nach der konventionellen Verknüpfungsmethode z.B. ein SI14_{Decke} in Klasse 4 immer auch einen SI09_{gesamt} in Klasse 4 oder Klasse 5 bedeutet und SI14_{Decke} in Klasse 5 einen SI09_{gesamt} in Klasse 5 erzwingt, unabhängig welchen Wert der SI14_{Tragf} hat (letzter und vorletzter Balken der Graphik). Damit zeigt sich der überproportionale Einfluss des Teilwertes Decke. Der Zustand in den Klassen SI14_{Tragf} lässt stets einen Gesamtwert SI09_{gesamt} in derselben Klasse, eine oder mehrere Klassen schlechter oder eine Klasse besser zu.

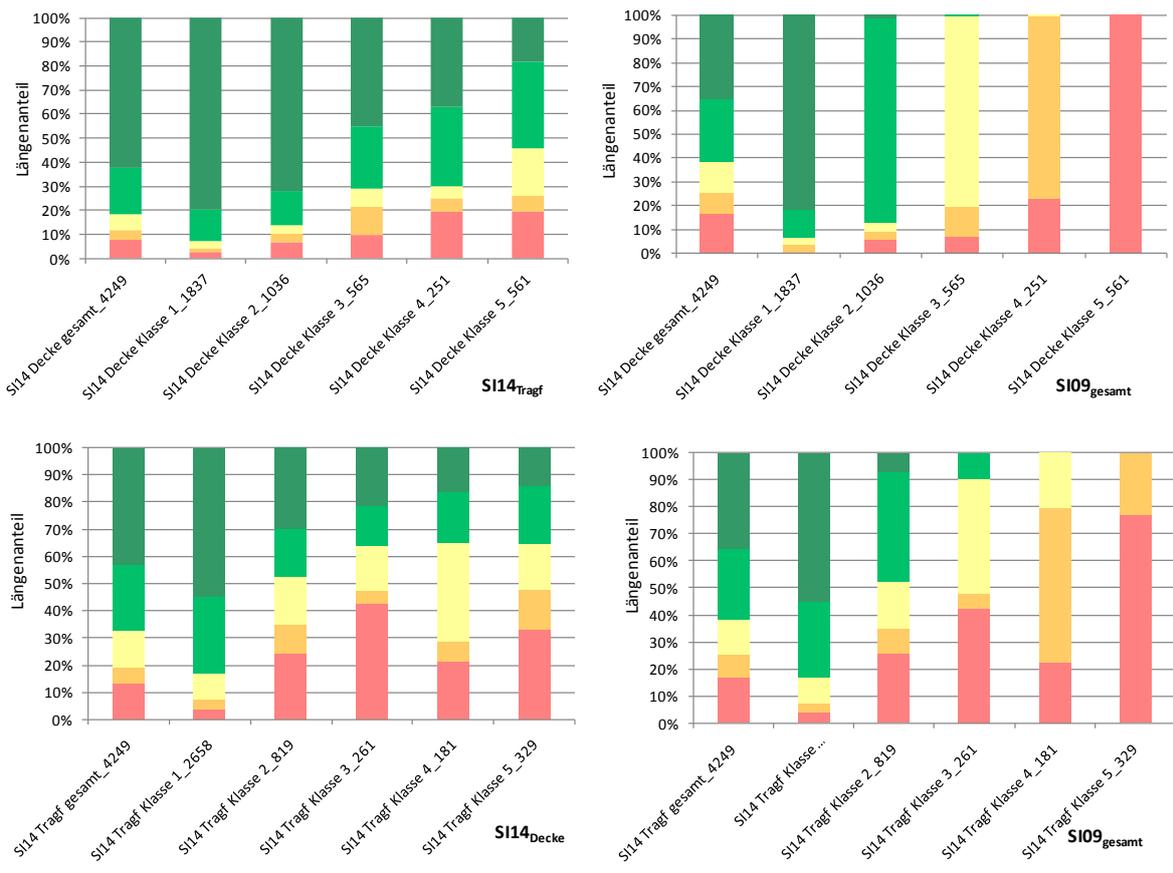


Abbildung 13: Gesamtnetz, Zustandsverteilung SI09_{gesamt} am 1.FS im Jahr 2014 (Grundlage SI14_{Decke}, SI14_{Tragf})

Nach reiflicher Diskussion auch mit dem Auftraggeber wird für Asphaltbauweisen und Betondecken mit Asphaltüberbauung eine dickengewichtete Verknüpfung der Substanzteilwerte Decke und Tragfähigkeit zum Substanzwert Gesamt $SI14_{gesamt}$ vorgeschlagen. Das heißt, der Einfluss der einzelnen Teilwerte ist abhängig vom Verhältnis Dicke der Deckschicht zu Dicke der gesamten gebundenen Schichten.

Daraus ergibt sich für die Zustandsgröße „Substanzwert Gesamt“ folgende Neuformulierung:

$$SI14_{gesamt} = \frac{SI14_{Decke} \cdot Dicke_{Decke} + SI14_{Tragf} \cdot Dicke_{GebSchichten}}{Dicke_{GebSchichten}}$$

$$[1,0 \leq SI14_{gesamt} \leq 5,0]$$

- $SI14_{gesamt}$ Substanzwert gesamt [-]
 $SI14_{Tragf}$ Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]
 $SI14_{Decke}$ Substanzwert Decke [-]
 $Dicke_{Decke}$ Dicke der Deckschicht [cm]
 $Dicke_{GebSchichten}$ Gesamtdicke aller gebundenen Schichten [cm]

Für den Fall, dass der gebundene Oberbau aus nur einer Tragdeckschicht besteht (z.B. bei Betondecken) wird für diese Abschnitte der arithmetische Mittelwert der beiden Substanzteilwerte gebildet.

Die Ergebnisse in den jeweiligen Zustandsklassen der Teilwerte $SI14_{Decke}$ und $SI14_{Tragf}$ sind in Abbildung 14 für das gesamte Netz dargestellt. Hierbei ist der geringere Einfluss der Deckschicht (in allen Zustandsklassen der Deckschicht treten alle Zustandsklassen des Substanzwerts auf) und der größere Einfluss der Tragschichten deutlich erkennbar. Abhängig vom Substanzwert Tragfähigkeit weicht der Substanzwert Gesamt maximal um eine Klasse nach oben oder nach unten ab.

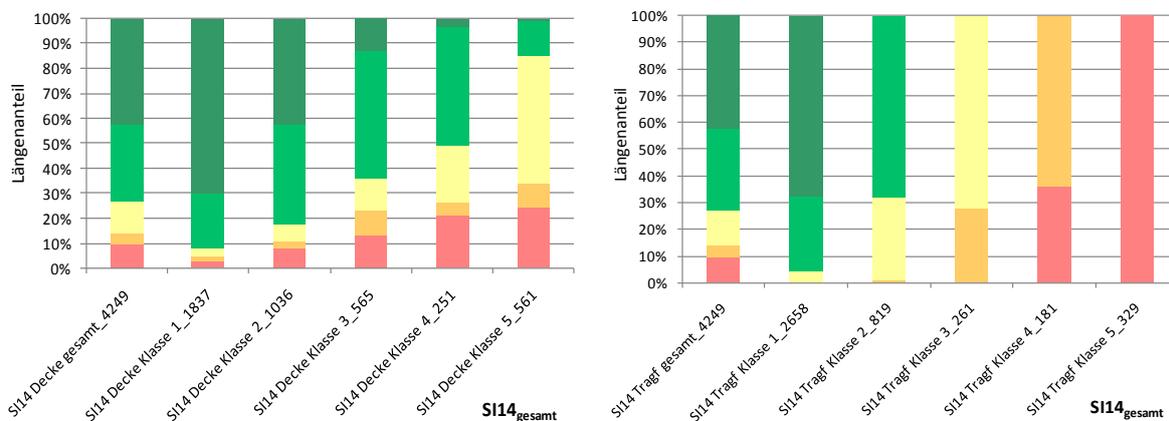


Abbildung 14: Gesamtnetz, Zustandsverteilung $SI14_{gesamt}$ am 1.FS im Jahr 2014

Abbildung 15 zeigt die Veränderung in der Verteilung des Substanzwerts im Gesamtnetz konventionell gerechnet $SI09_{gesamt}$ (mit den Teilwerten $SI09_{Decke}$ und $SI09_{Tragf}$ sowie den Werten $SI14_{Decke}$ und $SI14_{Tragf}$) bzw. dickengewichtet $SI14_{gesamt}$. Die Änderungen führen zu einer deutlichen Reduktion der Klasse „sehr schlecht“ und einem starken Anstieg in der Klasse „sehr gut“. Dies ist vor allem darauf zurück zu führen, dass Abschnitte mit einem schlechten Zustand der Decke, jedoch guter vorhandener Tragfähigkeit in den gebundenen Schichten, nun einen wesentlich besseren Substanzwert Gesamt erzielen.

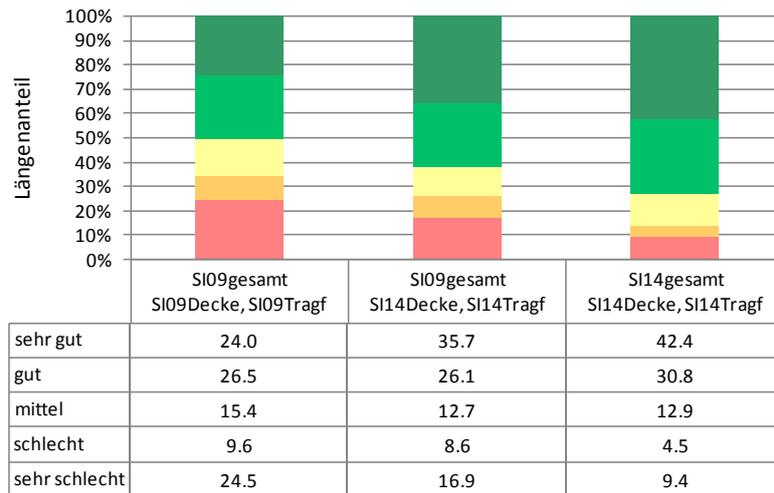


Abbildung 15: Gesamtnetz, Vergleich Substanzwert-Verknüpfung am 1.FS für das Jahr 2014

Obwohl die resultierende Verteilung zu einer Verbesserung des Straßenzustandes im Netz führt, sei hier explizit erwähnt, dass sich dieses Ergebnis aufgrund einer Überarbeitung der technischen Grundlagen unter Heranziehung der Erfahrungen aller Projektpartner ergibt. Strategische Vorgaben auf Netzebene wurden zu diesem Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt, sondern sollen erst auf der überarbeiteten Grundlage aufbauen. Es sei an dieser Stelle auch noch angemerkt, dass eine Anwendung des neuen Berechnungsalgorithmus auch eine entsprechende Anpassung der Anwendungsgrenzen von Erhaltungsmaßnahmen sowie weiterer Modifikationen im PMS der ASFiNAG zukünftig erfordert.

Für die Bewertung des Netzes sind des Weiteren auch der Gebrauchswert Sicherheit ($GI09_{Sicherheit}$) - dieser wird in seiner Berechnung nicht verändert - und der Gesamtwert ($GW09$ bzw. $GW14$) relevant. Der Gesamtwert, als Summengröße von Substanz- und Gebrauchswert erfährt durch die modifizierte Berechnung des Substanzwertes auch eine Reduktion des Anteils in der Klasse „schlecht“ und einen Anstieg in der Klasse „mittel“ (siehe Abbildung 16).

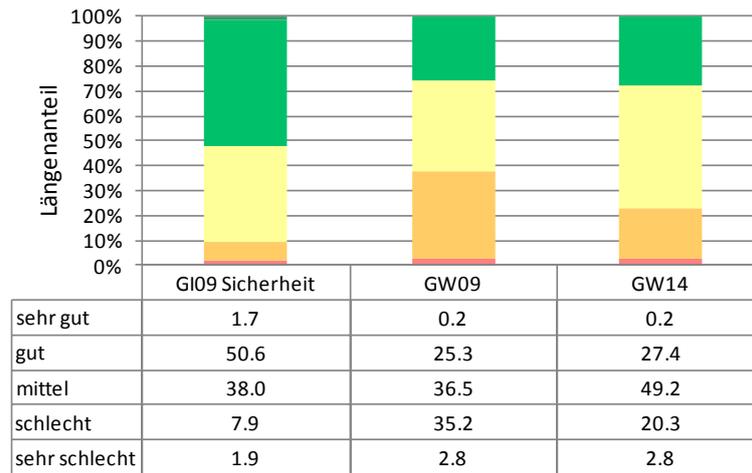


Abbildung 16: Gesamtnetz, Vergleich Gebrauchswert $GI_{\text{Sicherheit}}$ und Gesamtwert GW,1.FS für das Jahr 2014

5. ANALYSEN UND AUSWERTUNGEN AUF NETZEBENE

5.1 ALLGEMEINES UND DEFINITION DER SZENARIEN

Die für den Einzelabschnitt definierten Berechnungen (siehe Kapitel 4) werden in ihrem vollen Umfang sichtbar, wenn sie auf das gesamte Netz angewandt werden. Dies bietet des Weiteren auch die Möglichkeit Grenzwerte, die sich auf die Gesamtheit des Straßennetzes beziehen, zu definieren.

Hierfür wurden eine Reihe von Budgetszenarien definiert und umfassende Analysen durchgeführt. Es sei hier nochmals explizit erwähnt, dass die für die Analysen verwendete Systemkonfiguration den Vorgaben im Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 [1] entspricht. Eine Änderung z.B. von Anwendungsgrenzen auf die neuen Festlegungen hinsichtlich des Substanzwertes wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit nicht vorgenommen. Um auch eine Vergleichbarkeit der historischen Daten zu gewährleisten, wurden aus den vorhandenen Zustandsinformationen der Jahre 2009 bis 2014 die neu entwickelten Substanzteilwerte sowie der Substanzwert Gesamt und der Gesamtwert ermittelt.

Zustandsprognosen über die Jahre 2014 bis 2030 wurden für folgende Budgetszenarien durchgeführt:

- Jährliches Budget für Instandsetzung und Erneuerung von 80 Mio € / Jahr
- Jährliches Budget für Instandsetzung und Erneuerung von 90 Mio € / Jahr
- Jährliches Budget für Instandsetzung und Erneuerung von 100 Mio € / Jahr
- Jährliches Budget für Instandsetzung und Erneuerung von 110 Mio € / Jahr
- Jährliches Budget für Instandsetzung und Erneuerung von 120 Mio € / Jahr
- Unlimitiertes Budget
- Budget nur für Instandhaltungsmaßnahmen

Generell ist bei allen Szenarien das Budget für Instandhaltungsmaßnahmen unlimitiert, ebenso gibt es keine vorgegebenen Maßnahmen (committed treatments).

Mit diesen Daten als Grundlage können die Entwicklungen der aus dem Workshop1 als relevant erkannten und durch das Projektteam beurteilten Parameter und Einflussgrößen dargestellt werden. Die Ergebnisse auch im Hinblick auf die Entwicklung des technischen Substanzwertes im Netz werden unter folgenden Aspekten gezeigt:

- Verteilung des modifizierten Substanzwertes im Netz
- Jährliches Erhaltungsbudget bzw. Auswirkung eines veränderten Budgets
- Relation zwischen Substanzwert und Gebrauchswert Sicherheit
- Entwicklung des Anlagevermögens

- Verkehrssicherheit im Sinne der Mindestverfügbarkeit des Netzes (Baustellenfreiheit), generell

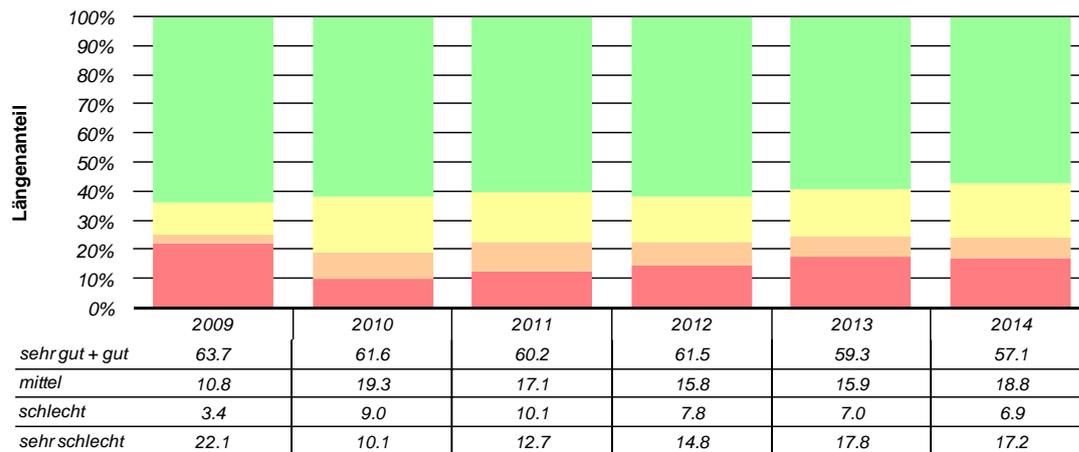
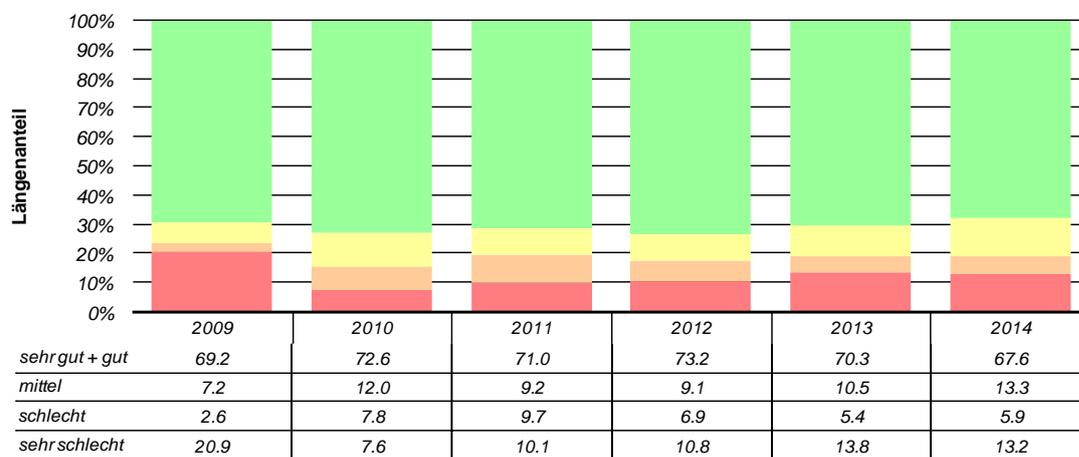
Daraus können in der Folge Vorschläge für die Festlegung einer strategischen Mindestanforderung hinsichtlich des Substanzwertes abgeleitet werden (siehe Kapitel 6).

5.2 VERTEILUNG DES MODIFIZIERTEN SUBSTANZWERTES IM NETZ

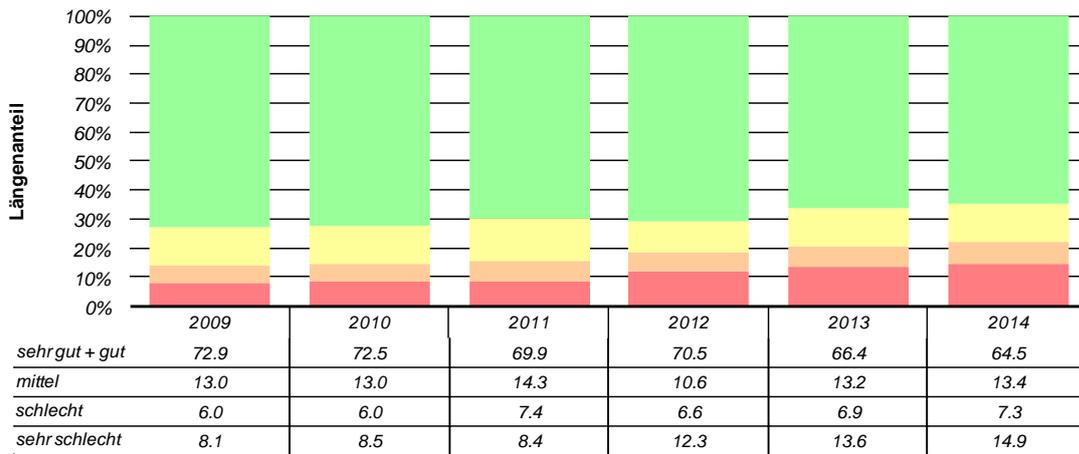
5.2.1 ENTWICKLUNG SUBSTANZWERT ÜBER DIE ZEIT

Im Folgenden wird zunächst die historische Auswertung der Substanzteilwerte SI_{Decke} und SI_{Tragf} sowie des Substanzwertes Gesamt konventionell und nach den modifizierten Berechnungs- und Verknüpfungsvorschriften dargestellt. Dadurch kann die relative Entwicklung der Zustandsverteilung verglichen werden. Die Daten wurden als Rückschau aus den historischen Zustands- und Oberbauinformationen gewonnen (mit konstanter Abschnittseinteilung). Hierdurch kann es zu leichten Abweichungen zu den vorhandenen historischen Zustandsverteilungen der ASFiNAG kommen.

In Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigt sich, dass die geänderte Berechnungsvorschrift für beide Teilwerte einen größeren Anteil der Klasse „sehr gut“ und „gut“ nach sich zieht. Der Anteil aller anderen Klassen reduziert sich, wobei die Auswirkung im Teilwert SI_{Tragf} deutlicher ausgeprägt ist.

SI09_{Decke}**SI14_{Decke}**Abbildung 17: Gesamtnetz, SI09_{Decke} und SI14_{Decke}

SI09_{Tragf}



SI14_{Tragf}

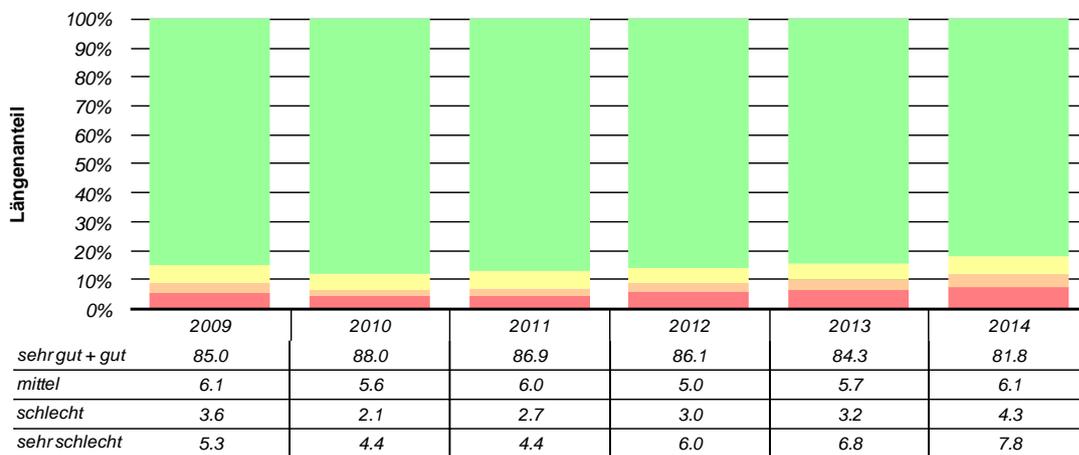
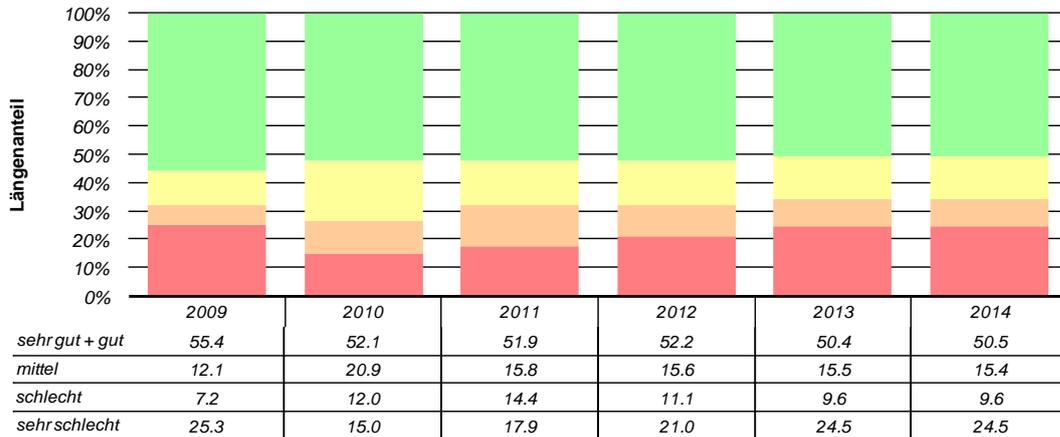


Abbildung 18: Gesamtnetz, SI09_{Tragf} und SI14_{Tragf}

Nach der Darstellung der Veränderung der Teilwerte können nun auch für den Substanzwert Gesamt und den Gesamtwert die entsprechenden Graphiken für den historischen Vergleich der überarbeiteten Substanzwertberechnung angeführt werden (siehe Abbildung 19 und Abbildung 20). Die Berechnung des Gebrauchswerts erfährt keine Änderung und muss in der Folge auch nicht näher behandelt werden.

SI09_{gesamt}



SI14_{gesamt}

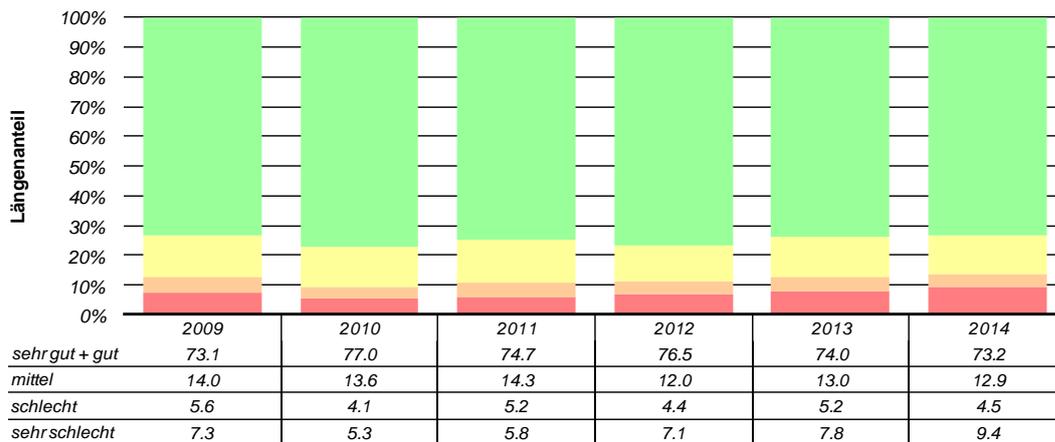
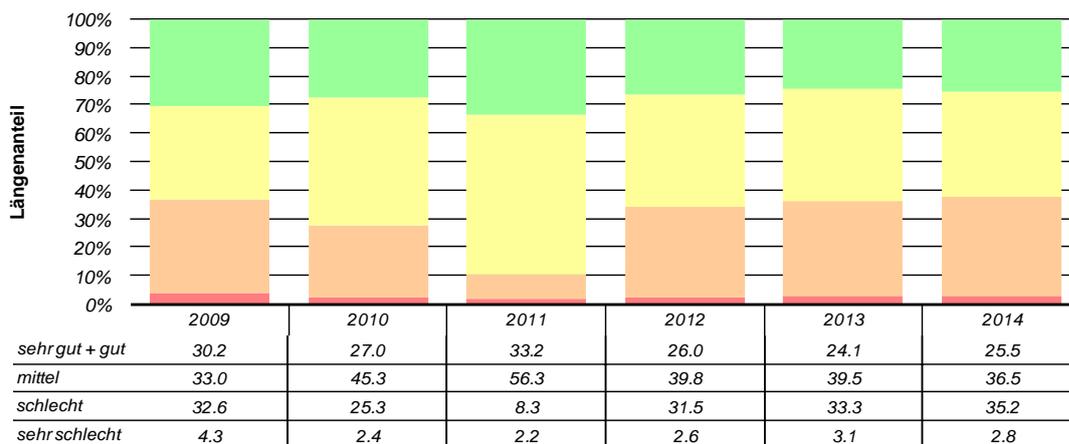
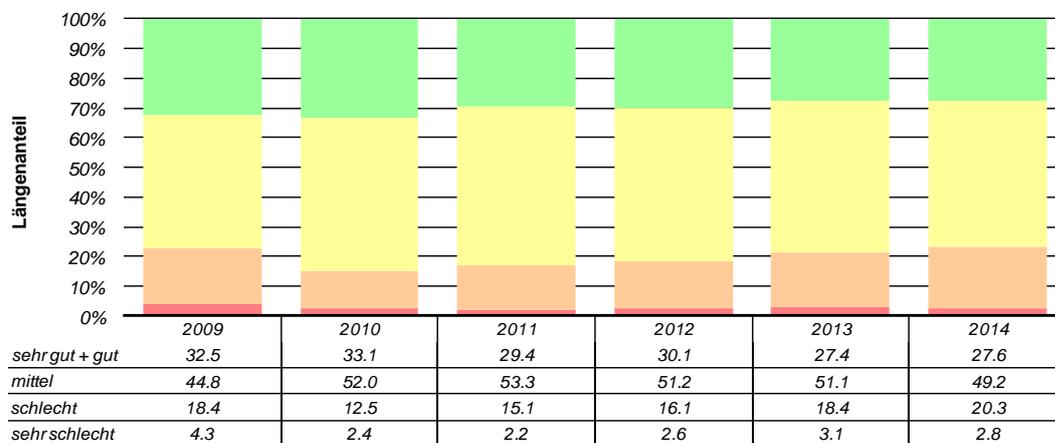


Abbildung 19: Gesamtnetz, Vergleich der historischen Entwicklung Substanzwert 1.FS

GW09**GW14****Abbildung 20: Gesamtnetz, Vergleich der historischen Entwicklung Gesamtwert 1.FS**

Aus Abbildung 19 und Abbildung 20 kann gesehen werden, dass der Anteil des Substanzwertes Gesamt in der Klasse „schlecht“ und „sehr schlecht“ infolge der neuen Berechnungsart deutlich zurückgeht, bzw. der Anteil des Gesamtwertes in der Klasse „schlecht“ sich ebenso reduziert. Eine ähnliche Reduktion ist in den Abbildungen auch für den Gesamtwert ersichtlich.

Für die Servicegesellschaften ist im Folgenden die Veränderung der Teil-Substanzwerte für das Jahr 2014 (siehe Abbildung 21) dargestellt. Es zeigen sich in allen Regionen deutliche Steigerungen in den Klassen „sehr gut“ und „gut“ und Abnahmen in der Klasse „sehr schlecht“. Besonders auffallend sind hierbei die Verschiebungen in den Servicegesellschaften ASG und SG West. Die Erfahrung in diesen Regionen war auch, dass der Straßenzustand gerade auf Abschnitten mit alten Decken häufig tatsächlich besser ist, als er durch VIAPMS_ASFINAG bis dato bewertet wurde. Diese der Praxis widersprechende Diskrepanz konnte durch den geänderten Berechnungsansatz nun vermieden werden.

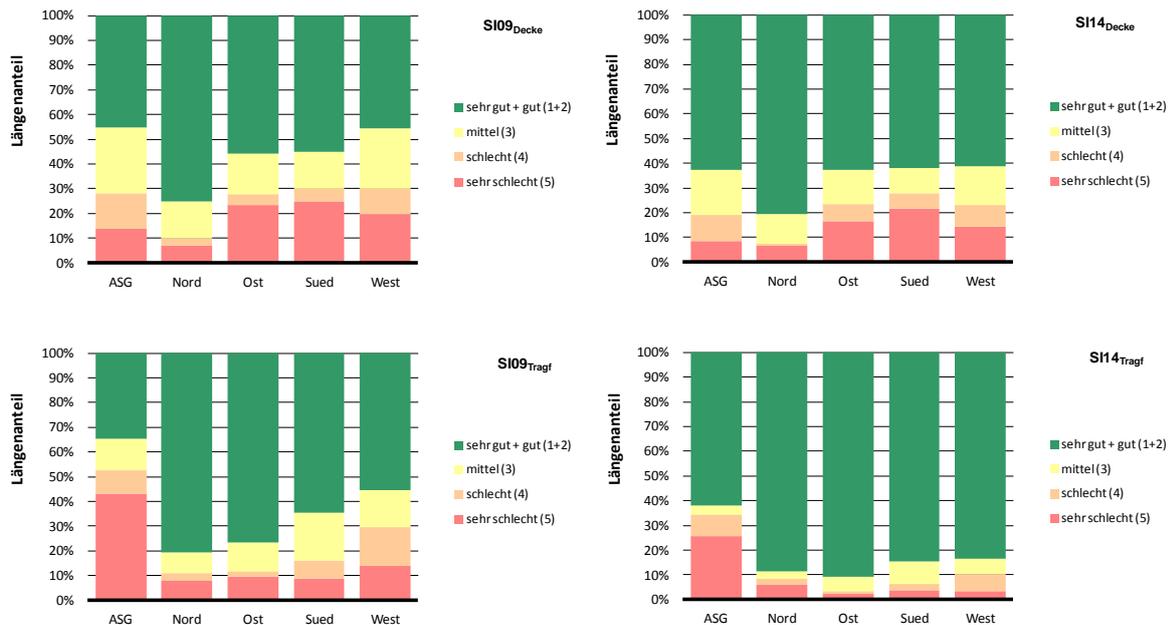


Abbildung 21: SI-Teilwerte Veränderung in den Teilnetzen der Servicegesellschaften für 2014

Ergänzend können für die einzelnen Servicegesellschaften auch die Veränderungen im Substanzwert Gesamt und im Gesamtwert für das Jahr 2014 dargestellt werden (siehe Abbildung 22). Wie schon bei den Einzelwerten zu erkennen, kommt es zu einer deutlichen Reduktion in der Klasse „sehr schlecht“, wobei der verbliebene Anteil nun gleichbedeutend mit einem zu erneuernden Gesamtaufbau ist. Dies ermöglicht auch eine wesentliche bessere Zuordnung von Erhaltungsmaßnahmen auf die einzelnen Erhaltungsabschnitte.

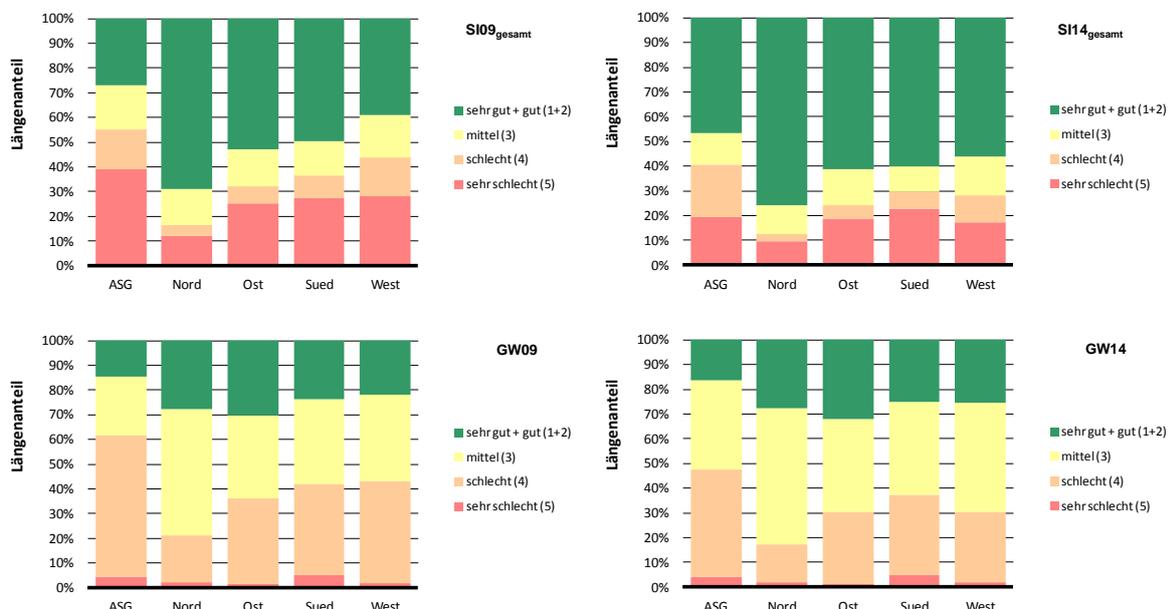


Abbildung 22: Substanzwert und Gesamtwertveränderung in den Teilnetzen der SG (1.FS für 2014)

Die veränderte Berechnungsregel für den Substanzwert bezieht sich jedoch nicht nur auf den gegenwärtigen Netzzustand, sondern wird in die PMS-Analyse integriert und somit auch in die Prognose übergeführt. Der entsprechende Algorithmus wird in VIAPMS_ASFINAG implementiert und dem AG übergeben.

Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen die prognostizierte Entwicklung des Zustands des Gesamtnetzes für ein konstantes jährliches Budget von 100 Millionen € im Vergleich zwischen konventioneller (Basis 2009) und modifizierter Berechnungsmethode. Das 100 Mio. €-Szenario ist das Standardszenario für die Erhaltungsbedarfsermittlung in VIAPMS_ASFINAG.

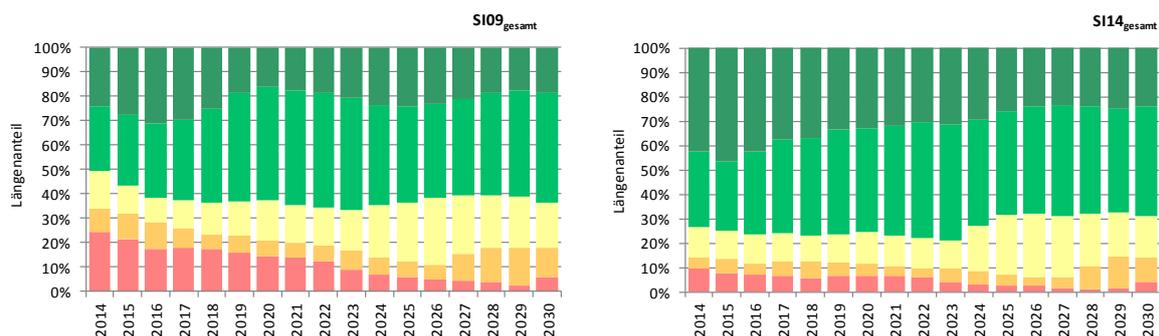


Abbildung 23: Prognose der Substanzwertentwicklung(1.FS), Vergleich der Berechnungsmethoden



Abbildung 24: Prognose der Gesamtwertentwicklung(1.FS), Vergleich der Berechnungsmethoden

5.2.2 RESÜMEE

Durch die gesetzten Änderungen in der Berechnung des Substanzwertes ist es möglich, den tatsächlichen strukturellen Zustand der Straße in Verbindung mit der ingenieurmäßigen Beurteilung besser abzubilden. Der starke Einfluss des Alters auf den Substanzwert Decke wird nachhaltig abgemindert und Oberflächeneigenschaften haben einen größeren Einfluss auf das Ergebnis. Diese aus strategischen Überlegungen getroffenen ursprünglichen Annahmen waren zum Zeitpunkt der ersten Implementierung vor ca. 14 Jahren eine strategische Vorgabe durch die Autobahnverwaltungen der Länder in Kooperation mit der ASFINAG. Diese Vorgaben haben sich aufgrund einer stark kundenorientierten Erhaltung in

den letzten Jahren deutlich geändert, sodass vor allem die Bedeutung des Alters dem tatsächlichen Straßenzustand untergeordnet werden muss. Darüber hinaus ist auch die Genauigkeit der Straßenzustandserfassung durch einheitliche Vorgaben deutlich angestiegen, sodass subjektive Einflüsse (z.B. durch visuelle Erfassung der Erhalter vor Ort) praktisch ausgeschlossen werden können. Auch die modifizierte dickengewichtete Ermittlung des Substanzwertes Gesamt ermöglicht eine bessere, realistischere Beurteilung der Gesamtsubstanz des Straßenoberbaues aus ingenieurmäßiger Beurteilung und Vergleiche mit den tatsächlich durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen auf Projektebene.

Zwangsläufig ergeben sich durch diese Anpassungen in der Berechnung auch deutliche Veränderungen in den Ergebnissen. **Das Netz selbst wird dabei natürlich in seinem objektiven Zustand nicht besser, aber die Bewertung wurde besser auf die praktischen bautechnischen Erfahrungen und die Einschätzung der Straßenerhalter abgestimmt.**

Auf Grundlage des neuen Substanzwertes können in den folgenden Kapiteln Vorschläge für die Festlegung eines technischen und ggf. eines netzbezogenen Grenzwertes für den Erhaltungsrückstand (engl. Backlog) als strategische Randbedingung abgeleitet werden.

5.3 JÄHRLICHES ERHALTUNGSBUDGET

5.3.1 AUSWIRKUNG VON BUDGETÄNDERUNGEN AUF DEN SUBSTANZ- UND GEBRAUCHSWERT

Ein wichtiges Finanzziel zur Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen findet sich in Form der Kostensicherheit wieder. Es stellt sich die Frage, wie sich eine Veränderung des Budgets auf die Entwicklung des Netzes und konkret auf die Zustandswerte auswirkt, Details zu den Zielen sind in Kapitel 3.5 angeführt. Die Analysen wurden generell (wie in Kapitel 5.1 angeführt) für 7 verschiedene Budgetszenarien mit der aktuellen Systemkonfiguration von VIAPMS_ASFINAG durchgeführt.

Basis der Analyse ist ein Jahresbudget für Erhaltungsmaßnahmen im Umfang von max. 100 Mio €, welches mit einem variierten Budget von $\pm 20\%$ verglichen wird. Die Ergebnisse sind in Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellt.

Die Auswertung zeigt als Ergebnis die Länge bzw. den Längenanteil des Gesamtnetzes in der Klasse „sehr schlecht“. Dieser sogenannte Erhaltungsrückstand (Backlog) ist eine Größe, die Auskunft gibt, ob die anstehenden Maßnahmen mit dem vorhandenen Budget gut bedient werden können, oder ob sich Maßnahmen anstauen (siehe Abbildung 25) und welche die Grundlage für die Festlegung eines Grenzwertes bilden sollte. Analog wurde z.B. in der ASFINAG Erhaltungsstrategie [3] auch die Grenzwertfestlegung für den Gebrauchswert Sicherheit in der Klasse „sehr schlecht“ generell auf 3% fixiert.

Die starke Reduktion des Gebrauchswerts Sicherheit im Jahr 2014 (siehe Abbildung 25) wird durch kurzfristige Erhaltungshaltungsmaßnahmen erzielt, die direkt eine Verbesserung der Oberflächeneigenschaften bewirken. Diese in erster Linie in Form von Instandhaltungsmaßnahmen und kleinflächigen Deckschichtmaßnahmen definierten Aktivitäten sind sicherheitsrelevant und hierfür steht ein unbegrenzter Budgettopf zur Verfügung. Dies ist eine wesentliche Vorgabe für alle Analysen in der Systemkonfiguration

VIAPMS_ASFINAG, da die Sicherheit, ausgedrückt durch den Gebrauchswert Sicherheit ($GI09_{\text{Sicherheit}} = GI14_{\text{Sicherheit}}$), die höchste Priorität in der Erhaltung einnimmt. Auch bei geringen Erhaltungsinvestitionen stellt das System sicher, dass zumindest jene Abschnitte, die ein Sicherheitsproblem darstellen, mit diesen Erhaltungsmaßnahmen versehen sind.

In Abbildung 26 wird die Darstellung um das technisch sinnvolle Maximalszenario (Unlimited, keine budgetären Restriktionen sondern ausschließlich technische Anwendungsgrenzen) und das 0-Szenario (bei dem nur Instandhaltungsmaßnahmen gesetzt werden) als Vergleichsgrößen erweitert. Dies zeigt in welchem Rahmen die dargestellten Szenarien einzuordnen sind.

Der grau hinterlegte Zeitraum bezieht sich auf eine Periode ab der, nach Abbau der dringend anstehenden Maßnahmen, eine freie Optimierung umgesetzt wird.

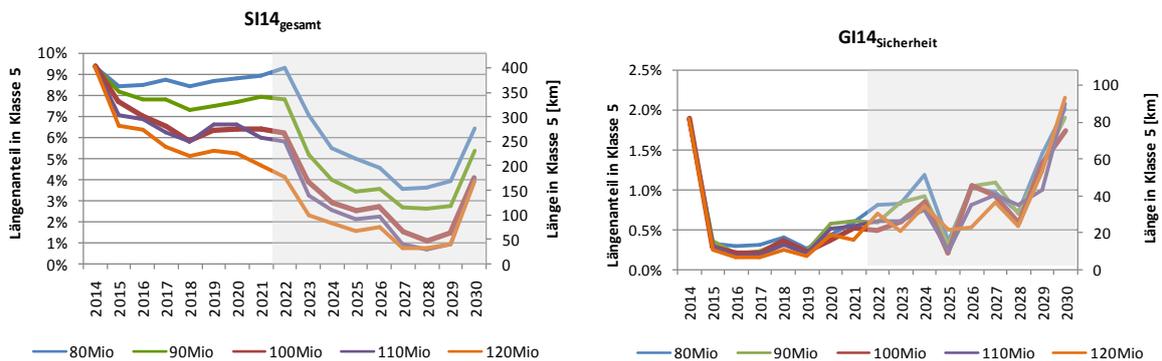


Abbildung 25: Länge in Klasse „sehr schlecht“ für SI14_{gesamt} und GI14_{Sicherheit}

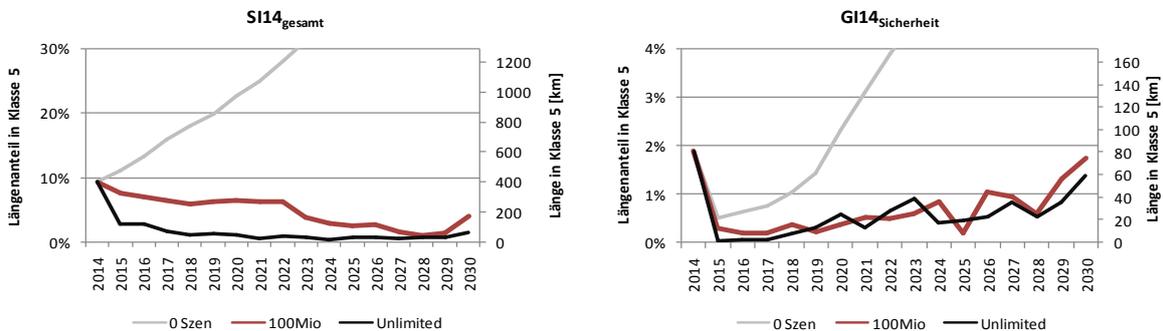


Abbildung 26: Länge in Klasse „sehr schlecht“ für SI14_{gesamt} und GI14_{Sicherheit}

Ebenso wie die Entwicklung in der Klasse „sehr schlecht“ kann auch der Erweiterte Backlog, das heißt die Summe der Anteile des Netzes in Klasse „schlecht“ und „sehr schlecht“ dargestellt werden. Dies gibt einen Hinweis auf den Umfang der möglichen, nicht nur kurzfristig, sondern auch mittelfristig anstehenden Maßnahmen. In Abbildung 27 sind die entsprechenden Graphiken dargestellt. Unter Berücksichtigung des geänderten Ordinatenmaßstabes ergeben sich für die Entwicklung des erweiterten Erhaltungsrückstandes des Substanzwertes keine gravierenden Änderungen. Für den Gebrauchswert Sicherheit ist eine deutliche Spreizung der unterschiedlichen Budgetszenarien erkennbar.

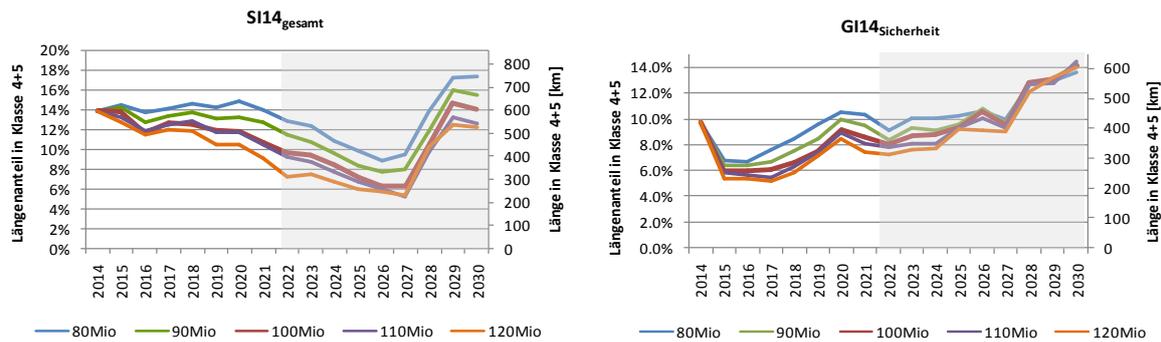


Abbildung 27: Länge in Klasse „schlecht“ und „sehr schlecht“ für SI14_{gesamt} und GI14_{Sicherheit}

5.3.2 HINWEISE FÜR GRENZWERTE FÜR DEN SUBSTANZWERT AUS DEUTSCHLAND

Ebenso wie in Österreich stellt sich auch in Deutschland die Frage nach der Grenzwertfestlegung für den Erhaltungsrückstand Substanzwert. Im Rahmen der Standardprognose des Erhaltungsbedarfs der Fernstraßeninfrastruktur bis 2015 [18] für die Bundesverkehrswegeplanung 2003 (BVWP 2003) erfolgten Zielvorgaben für den Substanzwert-Gesamt. Dabei wurde unterschieden zwischen Qualitätsszenarien mit qualitativen Vorgaben zum Nutzerangebot und zu einem kontinuierlichen Handeln des Baulastträgers bzw. Betreibers sowie Finanzszenarien zur Ermittlung der erhaltungspolitischen und erhaltungstechnischen Folgen eines bestimmten, für die Prognoserechnung vorgegebenen Finanzgebarens des Betreibers. Die allgemeine Zielfunktion beim Qualitätsszenario bestand somit in der Ermittlung eines langfristigen Kostenminimums bei vorgegebenen Zustandskriterien für die Oberfläche und die Befestigungssubstanz. Die Zielfunktion beim Finanzszenario war die Erreichung eines optimalen Zustands der Oberfläche und der Befestigungssubstanz mit den verfügbaren Finanzmitteln. Die bei diesen Zielfunktionen konkret behandelten Szenarien der Erhaltungsbedarfsprognose von 2001 bis 2015 sind in Abbildung 28 zusammengestellt.

Bezeichnung	variable Nebenbedingungen				konstante Nebenbedingungen für alle Szenarien
	Verkehrsentwicklung	Zustandsentwicklung Gebrauchswert	Zustandsentwicklung Substanzwert	Finanzmittel	
Qualitätsszenario QS1	Integrations-szenario	Zustands-niveau ZEB (Status quo – Bundesmittel)	Zustands-niveau ZEB (Status quo – Bundesmittel)	Bedarfwerte als Ergebnis	nachhaltige Infrastrukturerhaltung ($\geq 3\%$ Fahrbahnflächen mit Erneuerungsmaßnahmen)
Qualitätsszenario QS2	Integrations-szenario	GB > 4,5 = 1 % bis 2015 (stabile Verteilung)	SUG > 4,5 = 1% bis 2015 (stabile Verteilung)	Bedarfwerte als Ergebnis	
Finanz-szenario FS1	Integrations-szenario	Zustandsverteilung als Ergebnis	Zustandsverteilung als Ergebnis	Haushaltsansatz Bund für Erhaltung	regionale Harmonisierung der Angebotsqualität;
Sensitivierung QS1, QS2, FS1	Anlehnung an Trend-szenario	sonstige variable Nebenbedingungen wie bei QS1, QS2 bzw. FS1			regionale/zeitliche Harmonisierung der Beschäftigungssituation

Abbildung 28: Prognoseszenarien für die Standardprognose des Erhaltungsbedarfs der Bundesfernstraßen im Rahmen des BVWP 2003 [18]

In Bezug auf den Substanzwert-Gesamt wurde für die Fahrbahnen mit dem PMS zum einen ein Qualitätsszenario QS1 mit der Beibehaltung des anhand der netzweiten Zustandsverteilung von 2000 definierten Status-quo, zum anderen ein Qualitätsszenario QS2 mit der Zielvorgabe, den Anteil an Fahrbahnflächen mit einem Substanzwert-Gesamt > 4,5 bis 2015 bei 1 % zu stabilisieren, betrachtet. Beim Finanzszenario wurden die Planungen zu den Haushaltsansätzen des Bundes für die Fahrbahnerhaltung zugrunde gelegt.

Hinsichtlich der Verkehrsentwicklung wurde standardmäßig vom sog. Integrationsszenario ausgegangen. Im Gegensatz zu dem für Sensitivierungen herangezogenen Trendszenario wurde beim Integrationsszenario angenommen, dass der mit der Bahn abgewickelte Anteil des Güterverkehrs künftig die Straßen entlastet. Diese Annahme hat sich nicht bestätigt.

Für alle Szenarien sollten zusätzlich im Hinblick auf die Nachhaltigkeit des Erhaltungshandelns auf mindestens 3 % der Flächen Erneuerungsmaßnahmen angesetzt werden. Eine Begründung dieser Prozentzahl wurde nicht gegeben. Bei den Qualitätsszenarien wurde dieser Anteil aufgrund der Zielvorgaben zum Substanzwert-Gesamt geringfügig (QS1) bzw. deutlich übertroffen. Beim Finanzszenario kam diese Nebenbedingung zum Tragen.

Die Nebenbedingungen „regionale Harmonisierung der Angebotsqualität“ und „regionale/zeitliche Harmonisierung der Beschäftigungssituation“ wurden zum einen durch Ausrichtung der Zielvorgaben am Bundesmittel, zum anderen durch die angestrebte und auch erreichte Stabilität der Finanzlinie zum Erhaltungsbedarf eingehalten.

Für die endgültige Bestimmung der Finanzlinie zum Erhaltungsbedarf der Fernstraßeninfrastruktur bis 2015 wurde unter Einhaltung der Bedingungen gemäß Abbildung 28 ein kombiniertes Szenario („Hybridszenario“) betrachtet. Für die Jahre 2001 bis 2005 wurde die Haushaltsplanung des Bundes (FS1) vorgegeben. Bis 2015 sollten danach die Zielvorgaben des Qualitätsszenarios QS1 erreicht werden.

Diese Vorgangsweise könnte in ähnlicher Form gegebenenfalls auch für Österreich vorgeschlagen werden. Die vorliegende Studie hat jedoch zum Ziel eine methodisch nachvollziehbare Festlegung vorzuschlagen.

5.4 ZUSAMMENHANG SUBSTANZWERT UND GEBRAUCHSWERT SICHERHEIT

5.4.1 SUBSTANZWERT UND GEBRAUCHSWERT SICHERHEIT FÜR UNTERSCHIEDLICHE BUDGETSZENARIEN

Ausgehend von dem bestehenden generellen Grenzwert für den Gebrauchswert Sicherheit von <3% des Netzes in Klasse „sehr schlecht“ soll dargestellt werden, ob eventuell Zusammenhänge zwischen der Entwicklung des Gebrauchswerts und des Substanzwerts aufgezeigt werden können. Die Korrelation selbst besteht über das jährlich konstante Budget, das entweder in tiefgreifende, substanzverbessernde Maßnahmen oder in die Verbesserung der Gebrauchseigenschaften investiert wird. Daher können in Abbildung 29 für unterschiedliche Budgetszenarien (links 80 Mio. € bis 120 Mio. € und rechts 0-Szenario sowie unlimitiertes Budget) für jedes Jahr der Analyse das Verhältnis von Anteil des Substanzwerts in Klasse „sehr schlecht“ zu Anteil des Gebrauchswerts Sicherheit in der Klasse „sehr schlecht“ eingetragen werden. Die Trennung in diese beiden Analysen ist insofern sinnvoll und zweckmäßig, da die Theorie besteht, dass sich die Zusammenhänge bzw. Korrelationen zwischen Substanzwert Gesamt und Gebrauchswert Sicherheit vor allem über den Wertebereich des Substanzwertes Gesamt (Abszisse) deutlich ändern könnten.

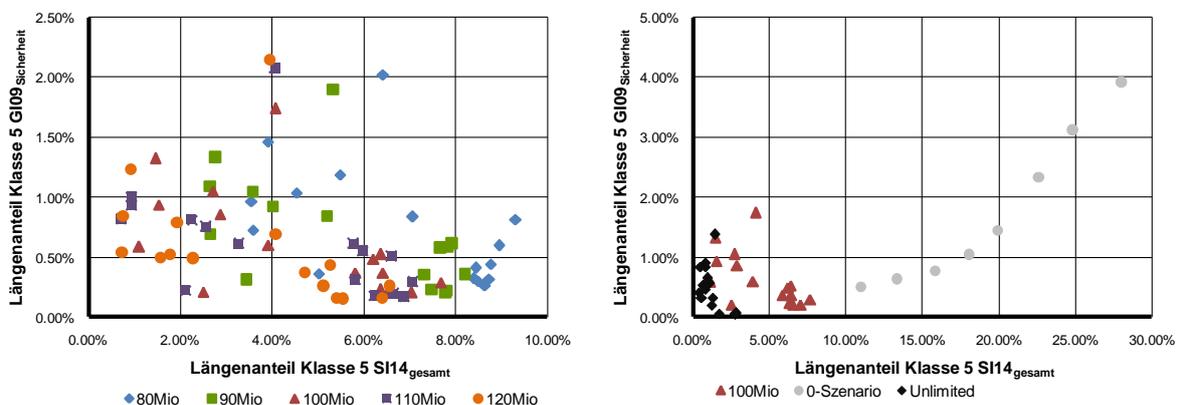


Abbildung 29: Zusammenhang Backlog Substanzwert und Gebrauchswert Sicherheit

Im linken Teil der Abbildung 29 (Bereich Backlog SI < 10) wird deutlich, dass ein kleiner Substanzwert-Backlog einen höheren Gebrauchswert-Backlog und ein höherer Substanzwert-Backlog einen kleineren Gebrauchswert-Backlog bedingt (vor allem wenn man die Verläufe der einzelnen Budgetszenarien vergleicht). Im Bereich Backlog SI > 10 (abgedeckt durch das 0-Szenario im rechten Teil der Abbildung) ist ein umgekehrter Trend erkennbar, das heißt, ein schlechter/hohes Substanzwert-Backlog geht Hand in Hand mit einem schlechten/hohen Gebrauchswert-Backlog. Werden die beiden Darstellungen

miteinander verknüpft, kann die in Abbildung 30 dargestellte Trendkurve entwickelt werden (das Unlimited Szenario wurde hierbei nicht mehr berücksichtigt, da es aufgrund der unrealistisch hohen Investitionen zu einer starken Konzentration im Bereich des Ursprungs kommt).

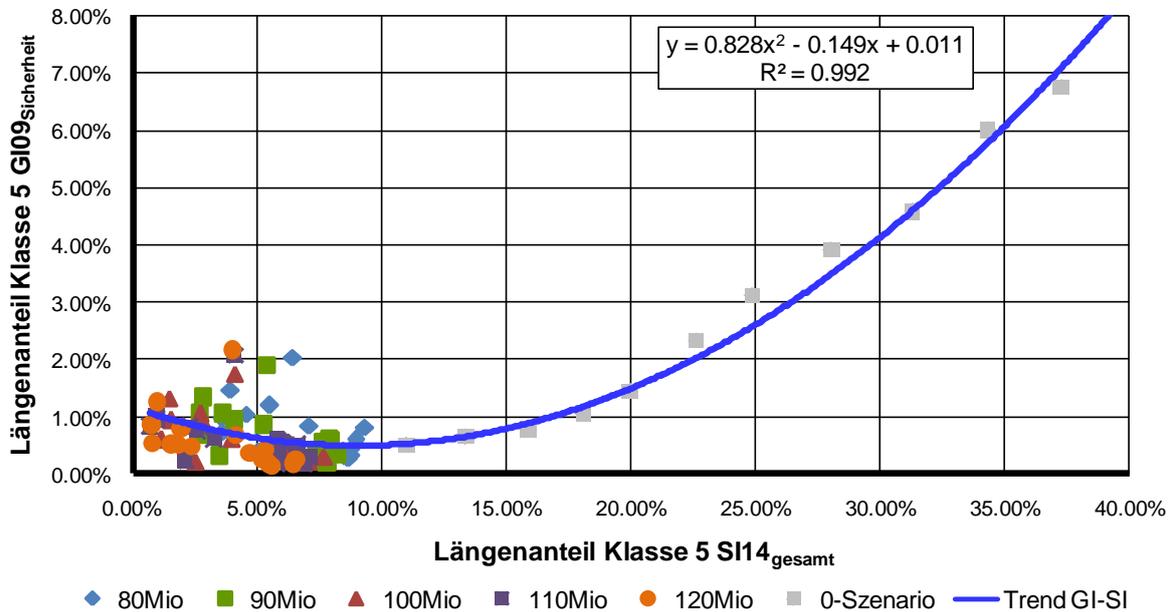


Abbildung 30: Trendkurve Backlog Substanzwert und Gebrauchswert Sicherheit

Diese eingepasst in die auftretenden Daten ergibt die folgende Abbildung 31. Ein lokales Minimum von $GI09_{Sicherheit} = 0,45\%$ ist bei einem Substanzwert von $SI14_{gesamt} = 9,0\%$ erreicht. Dieses lokale Minimum ist von besonderer Bedeutung, da es die maximal mögliche Grenze des Gebrauchswerts Sicherheit darstellt (als Ergebnis eines Optimierungsprozesses). Das Erreichen dieses Minimums ist mit Einschränkungen im Bereich der Substanz verbunden. Das System investiert dabei primär in Erhaltungsmaßnahmen, die zu einer Verbesserung des Gebrauchswerts Sicherheit führen. Es werden Maßnahmen an der Straßenoberfläche auf Kosten von strukturellen Maßnahmen durchgeführt. Ab dem Minimum kommt es, wie bereits erwähnt, zu einer deutlichen Änderung im Trend, wobei hier der technisch nachvollziehbare Zusammenhang, dass ein schlechter Substanzwert Gesamt auch zwangsläufig zu einer Verschlechterung des Gebrauchswerts Sicherheit führt, ersichtlich wird.

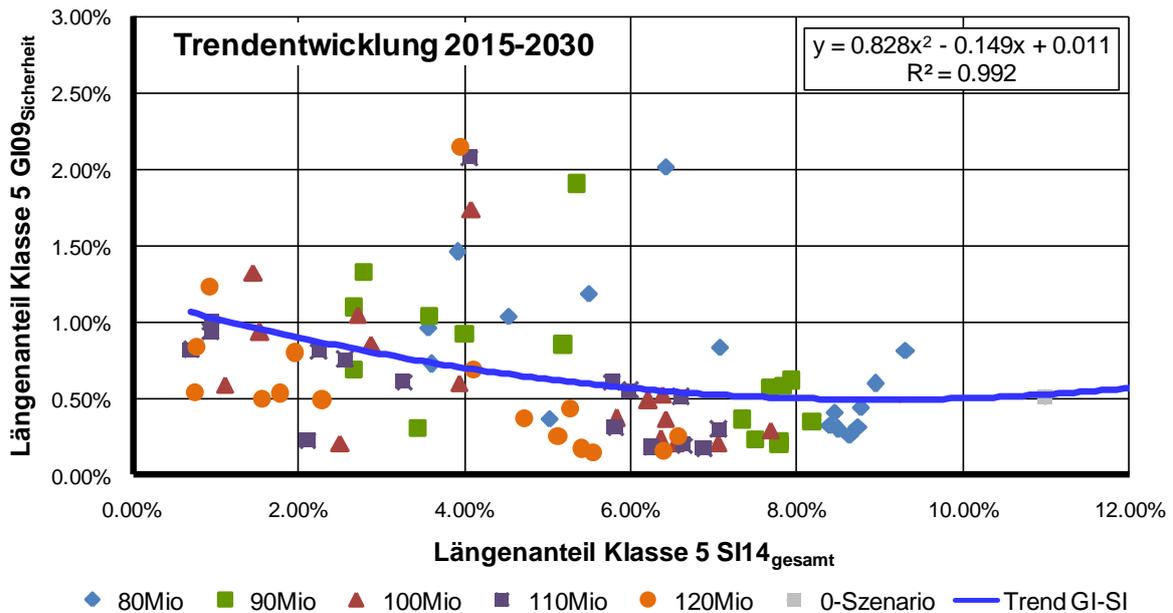


Abbildung 31: Trendkurve Backlog Substanzwert und Gebrauchswert Sicherheit

5.4.2 GRENZWERTBEREICH FÜR RÜCKSTAND SUBSTANZWERT AUFGRUND DES RÜCKSTANDS GEBRAUCHSWERT

Unter der Zielsetzung, dem Straßennutzer ein Straßennetz mit einem technisch sinnvollem, jedoch möglichst geringen Backlog des Gebrauchswertes Sicherheit und somit einem hohen Sicherheitsniveau und guten Gebrauchseigenschaften zur Verfügung zu stellen, können aus den Zusammenhängen aus Kapitel 5.4.1 folgende Schlüsse gezogen werden:

- Das technisch sinnvolle Minimum des Anteils des Gebrauchswertes Sicherheit in Klasse „sehr schlecht“ liegt bei rund 0,45%
- Dieser minimale Schlechtanteil des Gebrauchswertes Sicherheit korrespondiert mit einem minimalen Anteil des Substanzwerts in der Klasse „sehr schlecht“ von 8-10%
- Eine Erhöhung des Backlogs des Substanzwertes Gesamt auf deutlich über 10% führt zwangsläufig auch zu einer Erhöhung des Erhaltungsrückstands Gebrauchswert Sicherheit, wobei der vorhandene Grenzwert für den Backlog von 3% erst ab einem Substanzwert Backlog von >25% Substanzwert Gesamt erreicht wird (siehe Abbildung 30).
- Der Zusammenhang zwischen den beiden Teilwerten im Bereich bis zu 10% Backlog Substanzwert Gesamt zeigt eine starke Budgetunabhängigkeit, sodass der Zusammenhang als universell in die Grenzwertdiskussion übernommen werden kann.
- Eine Reduktion des Grenzwertes für den Backlog Gebrauchswert Sicherheit wäre theoretisch möglich, jedoch sind die in VIAPMS_ASFINAG definierten Vorgaben einer Gebrauchswertoptimierung mit baulichen Erhaltungsmaßnahmen verbunden, die nicht zwangsweise zu baulichen Erhaltungsmaßnahmen vor Ort führen. Vielerorts werden diese betroffenen Streckenabschnitte mit verkehrlichen Maßnahmen versehen (z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen, Warnhinweisen), die nicht direkt zu der geplanten, im System ermittelten Zustandsverbesserung führen.

5.5 ZUSAMMENHANG ANLAGEVERMÖGEN UND SUBSTANZWERT

5.5.1 ENTWICKLUNG DES ANLAGEVERMÖGENS

Für die in Kap. 5.3 untersuchten Budgetszenarien wird die Entwicklung des Anlagevermögens in Abhängigkeit vom modifizierten technischen Substanzwert dargestellt.

Derzeit wird das Anlagevermögen der betrachteten Anlageteile meist ausschließlich über eine lineare, zeitabhängige Abschreibung kalkuliert, die den aktuellen Straßenzustand nicht berücksichtigt. Mit dem Technischen Substanzwert als maßgebendes Merkmal für den Straßenoberbau ist ein Beurteilungswert gegeben, der die tatsächliche strukturelle Beschaffenheit des gesamten Oberbaus bzw. der befestigten Fläche beschreibt (Alter und Zustand) und daher aus der Sicht des Projektteams besser geeignet ist als die Abwertung ausschließlich über das Alter.

Darüber hinaus wird festgelegt, dass mit dem Erreichen der Zustandsklasse „sehr schlecht“ (>Zustandswert 4,5) eine vollständige Abschreibung der Anlage durchgeführt werden kann. Die Bewertung der anderen Zustandsklassen wurde über einen linearen Zusammenhang zwischen der Zustandsklasse „sehr gut“ (= Neubauzustand) und der Zustandsklasse „sehr schlecht“ (1,- € Restwert je m² bzw. m) hergestellt. Die Berechnung des Vermögens für den Neubauzustand (Zustandsklasse „sehr gut“), das ist zugleich der Wiederbeschaffungswert, erfolgt unter Verwendung der Einheitspreise für Erneuerungsmaßnahmen des gebundenen Oberbaus nach VIAPMS_ASFINAG.

Da für die Abschätzung des Anlagewertes die Verteilung des Substanzwertes Gesamt herangezogen und nicht auf die abschnittsbezogenen Ergebnisse zurückgegriffen wurde, ist eine genauere Differenzierung dieser Werte im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Durch die Verwendung eines mittleren Neuwertes ist jedoch ein Vergleich von unterschiedlichen Straßennetzen bzw. Teilnetzen möglich.

Entsprechend den Darstellungen in Kapitel 5.3 ist auch hierbei der Zeitraum ab 2021 grau hinterlegt, da sich hier die Auswahl der Maßnahmen von unbedingt erforderlichen Maßnahmen (die aus der Vergangenheit noch anstehen und abgearbeitet werden müssen) hin zu einer optimalen Maßnahmenauswahl verschiebt. Dementsprechend sind auch in den Entwicklungen der Zustandswerte und des Anlagevermögens stärkere Trendänderungen ab 2021 ersichtlich.

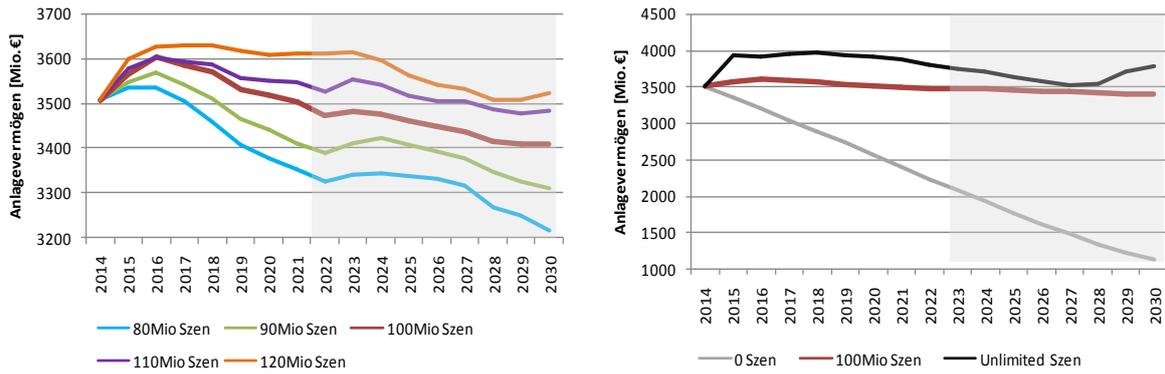


Abbildung 32: Anlagevermögen für Budgetszenarien sowie 0-Szenario und Unlimited

5.5.2 GEGENÜBERSTELLUNG ANLAGEVERMÖGEN UND SUBSTANZWERT

Für den Zusammenhang zwischen Anlagevermögen und Substanzwert werden exemplarisch die Budgetszenarien mit einem jährlichen Budget von max. 100 Mio €/Jahr sowie mit max 120 Mio. €/Jahr ausgewählt und die entsprechenden Graphiken in Abbildung 33 dargestellt.

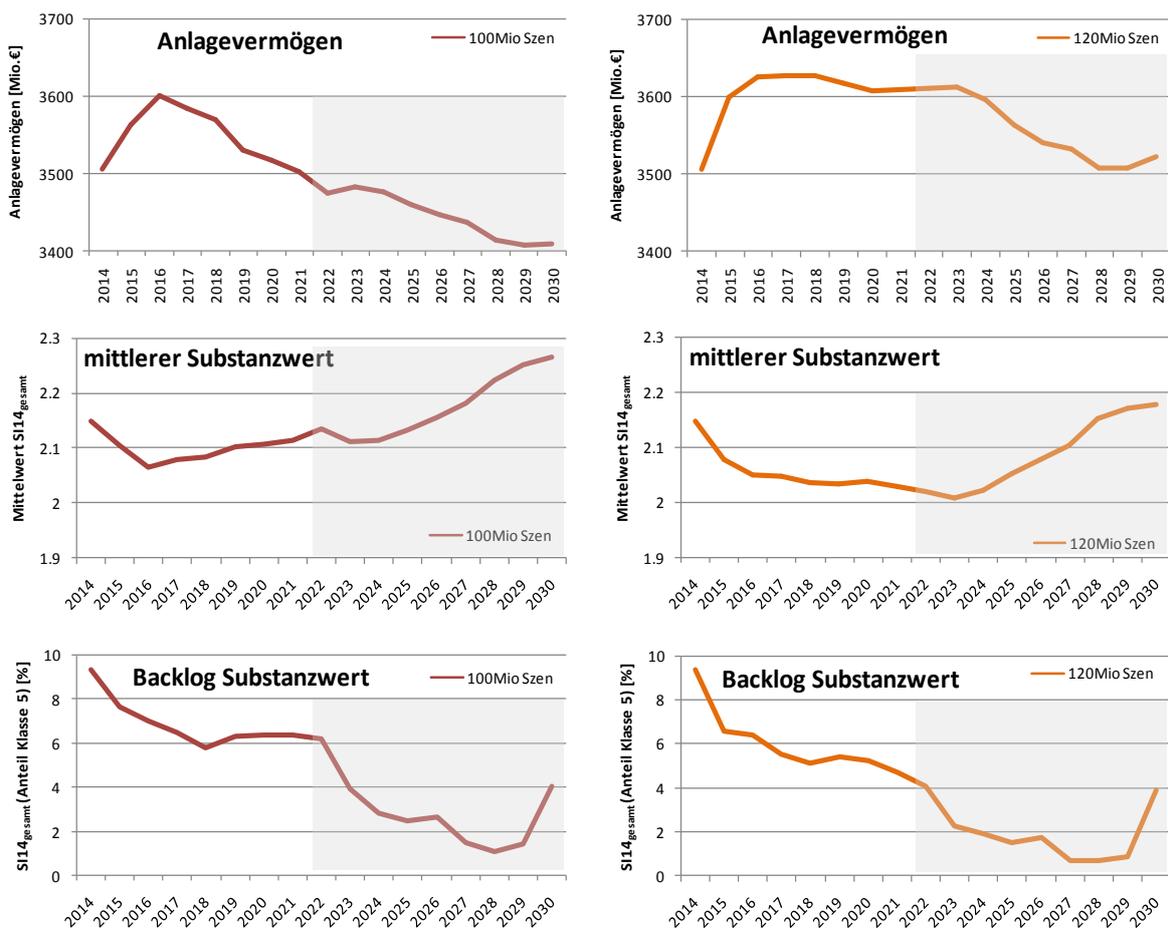


Abbildung 33: Gegenüberstellung Entwicklung Anlagevermögen und Substanzwert

Die kurzfristige Erhöhung des Anlagevermögens ist bei beiden Szenarien das Ergebnis von hohen Investitionen in die Substanz. Viele Abschnitte werden grundlegend saniert und fallen anschließend in die Zustandsklassen „sehr gut“ bzw. „gut“ (siehe hierzu auch die Zustandsverteilungen in Abbildung 23). Der mittlere Substanzwert Gesamt reduziert sich auch. Mittelfristig (beim 100 Mio. Szenario) bzw. langfristig (beim 120 Mio. Szenario) kommt es zu einer Abnahme im Anlagevermögen. Obwohl der Backlog Substanzwert Gesamt weiter fällt, reduziert sich nun auch das Anlagevermögen. Die Maßnahmenstrategien wechseln von mehrheitlich strukturellen Erhaltungsmaßnahmen zu Maßnahmen im Bereich der Oberfläche bzw. der Decke. Die Anteile in der Klasse „sehr gut“ reduzieren sich und die Anteile in den Klassen „gut“ und „mittel“ steigen, was auch in einer Trendumkehr des Mittleren Substanzwertes Gesamt deutlich erkennbar ist.

5.5.3 GRENZWERTVORSCHLÄGE FÜR SUBSTANZWERT-BACKLOG HINSICHTLICH ANLAGEVERMÖGEN

Das Anlagevermögen selbst kann jedoch nicht allein aufgrund von technischen Kriterien und Wirkungen als Grundlage für eine Grenzwertbestimmung herangezogen werden. Dies würde in weiterer Folge einer wirtschaftlichen Betrachtung bedürfen, um z.B. ein Kriterium für das maximale Absinken des Anlagevermögens festzulegen. Aufgrund der Ergebnisse kann jedoch als erster Ansatz das Kriterium „das Anlagevermögen über den Analysezeitraum auf dem derzeitigen Niveau zu halten“ vorgeschlagen werden. Umgekehrt kann auch nicht der Backlog Substanzwert Gesamt als alleinige Größe für die Grenzwertfestlegung herangezogen werden, da er nur den Anteil „sehr schlecht“ abbildet und nur bedingt Auskunft über den strukturellen Gesamtzustand im Netz gibt. Das Anlagevermögen bzw. genauer gesagt die Entwicklung des Anlagevermögens zeigt, ob die Investitionen auch strukturell nachhaltig sind. Dies kann nur dann der Fall sein, wenn das derzeit auf einem guten Niveau befindliche Anlagevermögen auch auf diesem Niveau gehalten werden kann. Beide Indikatoren, sowohl der Backlog Substanzwert Gesamt als auch das Anlagevermögen müssen bei der Grenzwertdiskussion mit entsprechenden Festlegungen verbunden werden. Ist dies nicht der Fall, so könnte vor allem die ausschließliche Bewertung des Backlogs Substanzwert Gesamt zu einer Verschlechterung der Zustandsverteilung und damit des mittleren Zustands des Netzes führen.

5.6 ZUSAMMENHANG NETZVERFÜGBARKEIT GENERELL UND SUBSTANZWERT

5.6.1 ENTWICKLUNG DER MAßNAHMENBEEINTRÄCHTIGUNG

Ein wesentliches strategisches Ziel ist derzeit die Sicherstellung einer Mindestverfügbarkeit des ASFINAG-Netzes durch die Vorgabe, dass mindestens 95 % des Netzes baustellenfrei sein müssen. Damit wird den Nutzeranforderungen und der Verkehrssicherheit Rechnung

getragen. Die von der ASFiNAG als strategisches Ziel definierte „Baustellenfreiheit“ wird hierbei zur Ableitung eines Beurteilungskriteriums herangezogen.

Durch die Analysen unterschiedlicher Budgetszenarien und deren Auswirkung auf den Substanzwert Gesamt kann auch die Gesamtheit der Interventionsabschnitte (Teilabschnitte des Netzes mit erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen am Straßenoberbau) hinsichtlich Art der Maßnahmen, sowie deren Streckenlänge und Dauer ermittelt werden. Dadurch kann im Zuge eines relativen Vergleiches die Auswirkung unterschiedlicher Budgets und damit unterschiedlicher Substanzwerte auf die Behinderungen im Netz beurteilt und in Form der Maßnahmenbeeinträchtigung dargestellt werden (siehe Abbildung 34).

Der Anteil am Gesamtnetz bezeichnet hierbei das Verhältnis von Beeinträchtigungslänge*Dauer zur Gesamtnetzlänge*365 (entspricht den Tagen eines Jahres).

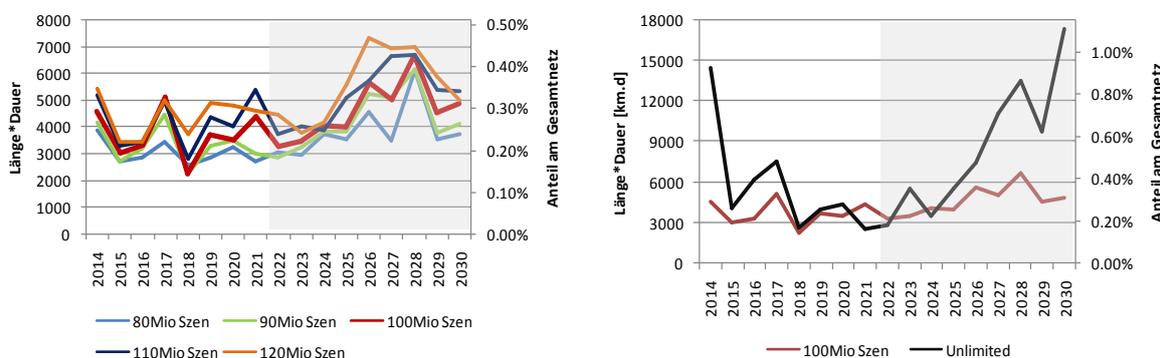


Abbildung 34: Entwicklung Maßnahmenbeeinträchtigung

Die mithilfe von VIAPMS_ASFiNAG berechnete Baustellenbeeinträchtigung stellt zwar nicht die tatsächlichen Baustellenabschnitte (Baulose) dar und berücksichtigt auch nicht die durch Baumaßnahmen an anderen Anlagen - wie Brücken, Lärmschutzwänden etc. – verursachten Baustellen. Sie weicht stark von den tatsächlichen Sperrzeiten (Länge der Richtungsfahrbahn * Dauer) ab. Dennoch kann in der Folge versucht werden, auf Basis von Vergleichen mit tatsächlichen Baustellendaten, eine Abschätzung vorzunehmen. Hierfür wurden von der ASFiNAG für das Bauprogramm 2015 und 2016 die Summe der prognostizierten Sperrzeiten zur Verfügung gestellt (Abbildung 35). Die geringere Beeinträchtigung wird für 2015 prognostiziert und ergibt sich zu 3,12%:

$$1 - \text{Baustellenfreiheit} = 1 - 0,9688 = 0,0312$$

		2015	2016
Gesamt	gesamte RFB-km	4382	4382
	gesamte RFB-km * Beobachtungszeitraum	1.599.430	1.599.430
	Baustellenlänge x Dauer je RFB	49.886	63.134
	Baustellenfreiheit	96,88%	96,05%

Abbildung 35: Baustellenfreiheit laut ASFiNAG Infrastrukturinvestitionsprogramm

Die prognostizierten Sperrzeiten der ASFiNAG (3,12%) werden dem errechneten Wert der Maßnahmenbeeinträchtigung (Anteil am Gesamtnetz) des 100 Mio. Szenario für 2015 von 0,193% gegenüber gestellt und als Multiplikator für die Werte in Abbildung 34 verwendet.

$$\frac{3,12}{0,193} = 16,17$$

Das Ergebnis der kalibrierten Maßnahmenbeeinträchtigung (fiktiver Baustellenanteil) ist in Abbildung 36 dargestellt.

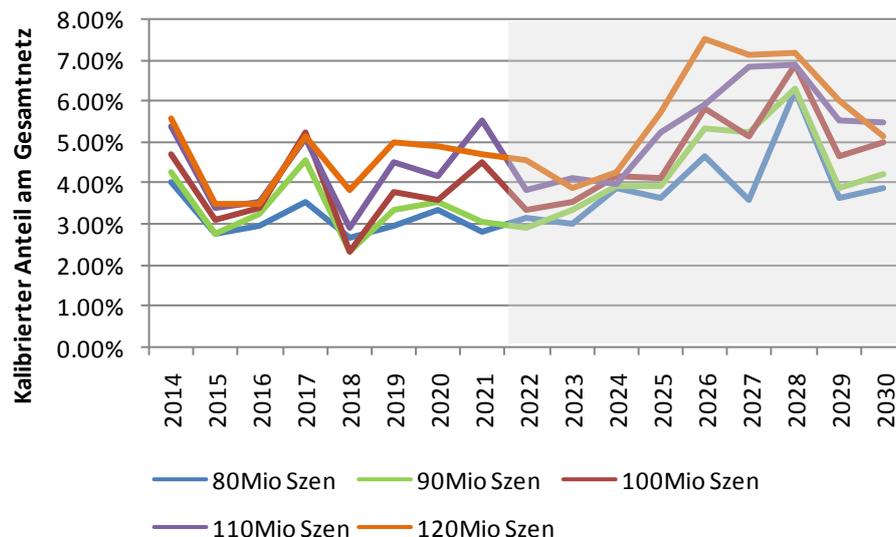


Abbildung 36: fiktiver Baustellenanteil (VIAPMS-Maßnahmen mal Multiplikator)

Aus den Entwicklungslinien der fiktiven Baustellenbeeinträchtigung lässt sich sehr übersichtlich die Beeinträchtigung der Nutzer bzw. Kunden ablesen. Kurz bis mittelfristig liegt diese bei fast allen Szenarien in einen Bereich zwischen 3 und 5%, wobei die jährlichen Schwankungen das Ergebnis der unterschiedlich ausgewählten Maßnahmenstrategien in dieser Periode darstellen. Eine deutliche Erhöhung der Beeinträchtigung ist langfristig erkennbar. Aus den Analysen ist die Tatsache erkennbar, dass in dieser Phase tiefgreifende Maßnahmen zurückgehen und dafür der Umfang von Oberflächen- bzw. Deckschichtmaßnahmen deutlich zunimmt.

5.6.2 GEGENÜBERSTELLUNG MAßNAHMENBEEINTRÄCHTIGUNG UND BACKLOG SUBSTANZWERT

Für den Zusammenhang zwischen Maßnahmenbeeinträchtigung (bzw. fiktivem Baustellenanteil) und Backlog Substanzwert werden exemplarisch die Budgetszenarien mit einem jährlichen Budget von max. 100 Mio. € sowie mit max.120 Mio. € ausgewählt und in Abbildung 37 dargestellt.

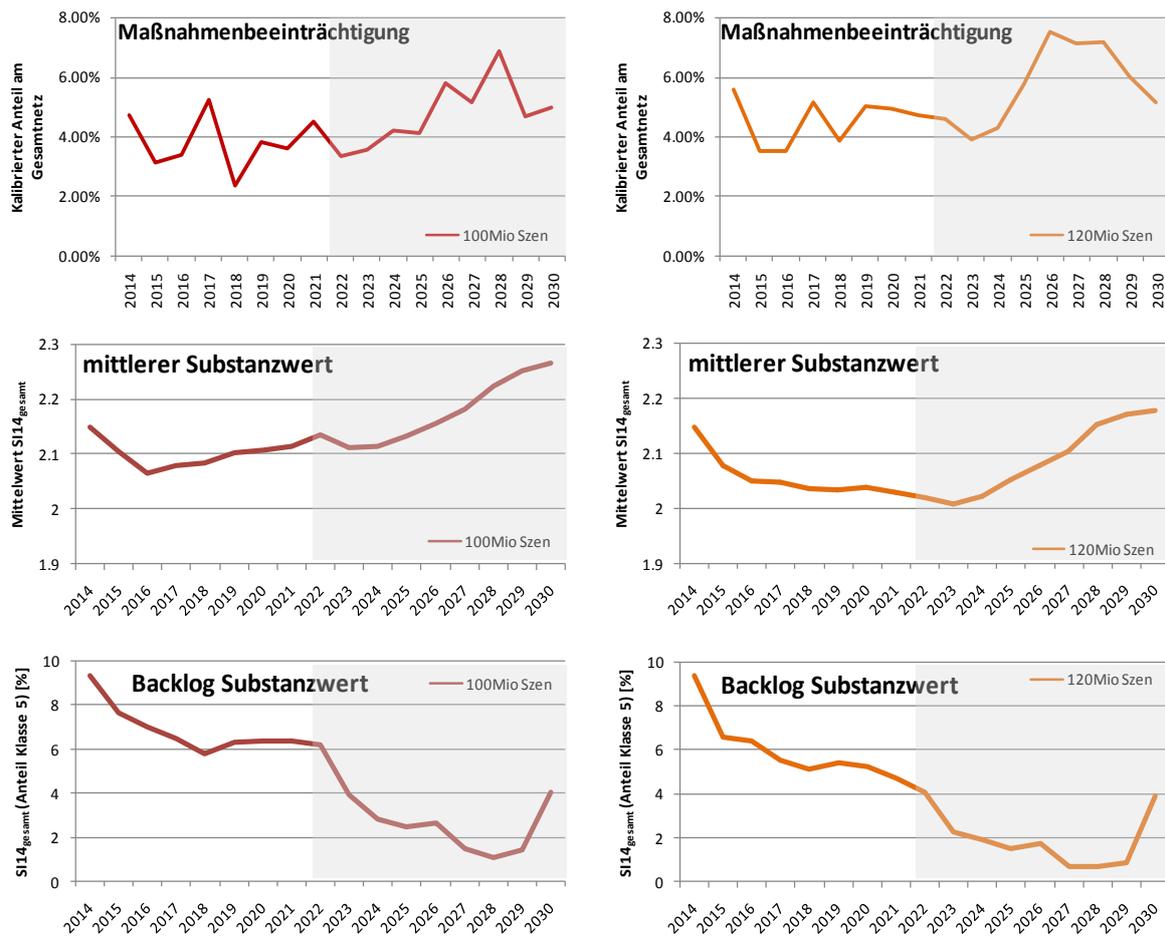


Abbildung 37: Gegenüberstellung Entwicklung Maßnahmenbeeinträchtigung und Substanzwert

Die langfristige Zunahme der Maßnahmenbeeinträchtigung ist das Ergebnis einer Erhöhung des Maßnahmenmaßes (auf Kosten der Maßnahmenintensität, siehe Verlauf Mittlerer Substanzwert Gesamt). Dies führt auch zu der bereits bekannten Reduktion des Backlogs Substanzwert Gesamt in dieser Betrachtungsphase. Es bedeutet aber auch, dass ca. ab dem Jahr 2025 beim Szenario mit max. 100 Mio. €/Jahr der von der ASF^{INAG} festgelegte Grenzwert einer 95%-Verfügbarkeit überschritten wird, sofern nicht durch entsprechende Maßnahmenbündelungen bei der Auswahl der Bauloslängen bzw. Optimierungen des Verkehrsablaufs dem entgegengewirkt wird.

Für die Grenzwertdiskussion spielt die Maßnahmenbeeinträchtigung zunächst nur eine untergeordnete Rolle. Sie ermöglicht jedoch vor dem Hintergrund der notwendigen Investitionen und den Festlegungen bezüglich des Anlagevermögens eine objektive und nachvollziehbare Bewertung der Beeinträchtigung der Nutzer und somit eines der wesentlichen Kundenkriterium bei der strategischen Ausrichtung des Erhaltungsmanagements.

6. STRATEGISCHE GRENZWERTVORSCHLÄGE FÜR DEN SUBSTANZWERT

6.1 ALLGEMEINE ERKENNTNISSE

Grenzwerte sind Zielvorgaben, die auf unterschiedlichen Ebenen zur Anwendung gelangen können oder müssen. Dabei spielen neben rein technischen Vorgaben, die auf einzelne Elemente oder Objekte der Straßeninfrastruktur angewendet werden, auch strategische Anforderungen eine zunehmende Rolle im Entscheidungsprozess des Erhaltungsmanagements. Die vorangehenden Kapitel haben sehr deutlich gezeigt, dass die Anwendung eines Grenzwertes häufig mit komplexen Fragestellungen verbunden ist, wobei die Beurteilung der Auswirkungen im Vordergrund steht. Die Simulationen des Straßennetzes und Analysen der Ergebnisse (AP2 und AP3) haben sehr deutlich gezeigt, dass unter Anwendung der eingesetzten Methoden und Verfahren (Lebenszyklusanalyse, Netzanalyse) diese Zusammenhänge vorhanden sind und auch die Auswirkungen bestimmter Festlegungen auf Netzebene quantifiziert werden können.

Aus dem Bearbeitungsprozess konnten daher folgende allgemeine Erkenntnisse über Grenzwerte abgeleitet werden:

- Die Verwendung von Grenzwerten bedarf einer klaren und nachvollziehbaren Vorgehensweise bei der Berechnung der dem Grenzwert zugeordneten Indikatoren (Übersetzung von generellen strategischen Vorgaben in technische Indikatoren).
- Grenzwerte sind netzabhängige Größen, da sie sich auf eine bestimmte Straßeninfrastruktur mit bestimmten Eigenschaften beziehen
- Aus den Abhängigkeiten der Indikatoren voneinander lassen sich nur bestimmte Grenzwertkonstellationen ableiten. Bestimmte Kombinationen können zu unverträglichen Lösungen führen (z.B. Steigerung des Anlagevermögens um 20% bei einer Baustellenfreiheit von 99% am Bestandsnetz)
- Grenzwerte können über ein- oder mehrere Indikatoren bzw. Kennwerte festgelegt werden, die zum Teil auch Zeitabhängigkeiten aufweisen
- Die eingesetzten Verfahren und Methoden bei der Beurteilung der Auswirkungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Grenzwertproblematik. Eine einfache Prioritätenreihung liefert andere Ergebnisse als die Lebenszykluskostenanalyse und daher auch andere Abhängigkeiten.

Im Zuge der Projektbearbeitung hat sich sehr rasch gezeigt, dass der Begriff „Integraler Substanzwert“ als Rahmen für unterschiedliche Indikatoren und Kennzahlen (technischer Substanzwert, Netzgewichteter Substanzwert, etc.) skizziert werden muss. Auch die Unterscheidung von abschnitts- und netzbezogenen Größen ist eine wesentliche Erkenntnis, wobei bestimmte Kennwerte sowohl für einen einzelnen Abschnitt als auch für die Beurteilung des Gesamtnetzes herangezogen werden können (z.B. Technischer Substanzwert) und bestimmte Kennwerte ausschließlich auf Netzebene zur Verfügung stehen (z.B. Netzgewichteter Substanzwert, Baustellenfreiheit).

6.2 ABSCHNITTSBEZOGENE GRENZWERTE SUBSTANZ

Aus Gründen der Vollständigkeit sei in diesem Kapitel auch die Möglichkeit der Verwendung von substanzbezogenen Grenzwerten auf Abschnittsebene vorgestellt. Mit der Einführung der RVS 13.01.16 – Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken [19] steht ein entsprechender technischer Bewertungshintergrund für bestimmte Substanzmerkmale zur Verfügung. Dieser Bewertungshintergrund ist zwar nicht direkt mit Grenzwerten (Schwellenwert) versehen (vgl. hierzu RVS 13.01.15 - Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR [20]), kann jedoch für die Vorgabe von technischen Erhaltungszielen auf Abschnittsebene grundsätzlich herangezogen werden.

Zustandsgröße Oberflächenschäden für Asphalt- und Betondecken OS [%]				
Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
sehr gut	gut	mittel	schlecht	sehr schlecht
$0,0 \leq OS < 5,7$	$5,7 \leq OS < 17,1$	$17,1 \leq OS < 28,6$	$28,6 \leq OS < 40,0$	$40,0 \leq OS \leq 100,0$
Normierungsfunktion				
$ZW_{OS} = 1,0 + 0,0875 \cdot ZG_{OS} \quad [1,0 \leq ZW_{OS} \leq 5,0]$				
Zustandsgröße Risse für Asphalt- und Betondecken RI [%]				
Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
sehr gut	gut	mittel	schlecht	sehr schlecht
$0,0 \leq RI < 1,4$	$1,4 \leq RI < 4,3$	$4,3 \leq RI < 7,1$	$7,1 \leq RI < 10,0$	$10,0 \leq RI \leq 100,0$
Normierungsfunktion				
$ZW_{RI} = 1,0 + 0,35 \cdot ZG_{RI} \quad [1,0 \leq ZW_{RI} \leq 5,0]$				

Tabelle 10: Normierungsfunktionen und Zustandsklasseneinteilung Oberflächenschäden und Risse für Asphalt- und Betondecken für Autobahnen und Schnellstraßen

Abbildung 38: Bewertung Risse und Oberflächenschäden nach RVS 13.01.16 [19]

Die verwendete Klasseneinteilung der beiden Merkmale Oberflächenschäden und Risse hat einen wesentlichen Einfluss im Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes und somit bei der Ermittlung der Teilwerte der Substanz und des Substanzwertes Gesamt. Eine

Festlegung von strategischen Grenzwerten auf dieser Ebene, wo es sich um eine Teilbetrachtung einer einzigen Eigenschaft des Oberbaus handelt, ist allerdings nicht sinnvoll und wird auch nicht empfohlen. Die Folge wären ggf. Widersprüche zwischen Festlegungen auf Abschnitts- und Netzebene, wo eine Gesamtbewertung der strukturellen Beschaffenheit des Oberbaus die Grundlage für die Grenzwerte liefert.

6.3 NETZBEZOGENE GRENZWERTE ERHALTUNGSRÜCKSTAND SUBSTANZ

6.3.1 ÜBERSICHT BEWERTUNGSRELEVANTE INDIKATOREN UND KENNWERTE

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel beschrieben, sind für einen Vorschlag eines Grenzwertes für den Substanz-Backlog mehrere Indikatoren und Kennwerte vorstellbar, die unterschiedliche Eigenschaften im Straßennetz der ASFiNAG beschreiben. Dabei handelt es sich um folgende bewertungsrelevante Indikatoren:

- Technischer Substanzwert ($SIT14_{gesamt}$)
- Gebrauchswert Sicherheit ($GI09_{Sicherheit} = GI14_{Sicherheit}$)
- Anlagevermögen (AV)
- Baustellenfreiheit (BF)

Der Gebrauchswert Sicherheit und die Baustellenfreiheit sind als Indikatoren jedenfalls zu berücksichtigen, da für sie bereits strategische Grenzwerte existieren, die grundsätzlich eingehalten werden müssen.

Obwohl das Anlagevermögen vom Substanzwert abgeleitet wurde, erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, diesen Kennwert auch als bewertungsrelevante Größe zu verwenden, da er eine Aussage im Hinblick auf die Auswirkungen der Investitionen im Bereich der baulichen Straßenerhaltung ermöglicht. Dabei steht nicht die Absolutgröße des Anlagenvermögens im Vordergrund, sondern die relative Entwicklung zur Ausgangslage sowie die relative Entwicklung zwischen unterschiedlichen Budgetszenarien (Investitionen). Mit der Entwicklung des Anlagevermögens kann sehr gut gezeigt werden, wie sich die jährlichen Investitionen im Bereich der baulichen Straßenerhaltung auswirken.

6.3.2 ZUSTANDSVERTEILUNG TECHNISCHER SUBSTANZWERT

Wie bereits mehrmals erwähnt, sind für strategische Zielvorgaben die Auswirkungen auf das Gesamtnetz maßgebend, sodass für einen Grenzwertvorschlag auch die Verteilungen der Kennwerte über das Gesamtnetz herangezogen werden sollten.

Aus Gründen der Vollständigkeit werden in diesem Kapitel die entsprechenden Verteilungen für eine Grenzwertbetrachtung definiert. Die (Häufigkeits)verteilung basiert dabei auf der

österreichischen 5-teiligen Notenskala, wobei die chronologische Anordnung der jährlichen Verteilungen zur bewertungsrelevanten Zustandsverteilung führt.

Mathematisch lässt sich die Verteilung des Technischen Substanzwertes $F_{SIT14,gesamt}: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ über das Gesamtnetz daher wie folgt definieren:

$$F_{SIT14,gesamt}(5) := P(SIT14_{gesamt} \leq 5) \text{ mit der Abschnittsgewichtung } G_{Länge, j}$$

und mit:

$F_{SIT14,gesamt}$ Verteilungsfunktion Technischer Substanzwert Gesamt
 $SIT14_{gesamt}$ Technischer Substanzwert gesamt
 $G_{Länge, j}$ Gewicht Länge eines Abschnitts j

Neben der Häufigkeitsverteilung spielt vor allem der Anteil in der Zustandsklasse „sehr schlecht“ eine wesentliche Rolle bei der Auswahl von Grenzwerten. Dieser Anteil wird, wie bereits erwähnt und verwendet, als Rückstandslänge bzw. Rückstand bezeichnet (engl. Backlog). Aus Gründen der Vollständigkeit sei hier die mathematische Formulierung des Backlogs, wie er im gegenständlichen Projekt verwendet wurde, dargestellt:

$$P(4,5 \leq SIT14_{gesamt} \leq 5,0) = P(SIT14_{gesamt} \leq 5,0) - P(SIT14_{gesamt} \leq 4,5)$$

Die Anteile der Zustandsklassen bzw. der Rückstand des Technischen Substanzwertes $SIT14_{gesamt}$ entsprechen einem Längenanteil des betrachteten Straßennetzes.

6.3.3 GEGENÜBERSTELLUNG INDIKATOREN UND BEWERTUNGSGRÖSSEN

Wie bereits mehrmals erwähnt, sollte die Festlegung von Grenzwerten auf der Grundlage von klaren und nachvollziehbaren Aussagen im Hinblick auf die unterschiedlichen Auswirkungen erfolgen. Dies ist vor allem bei komplexen Fragestellungen oft nicht sehr einfach, da auch eine Vielzahl von Indikatoren berücksichtigt werden müssen. Entsprechend der Auflistung im Kapitel 6.3.1 handelt es sich um 5 Indikatoren bzw. Bewertungsgrößen, die in einer anschaulichen Form gegenübergestellt werden müssen.

Neben diesen 5 Kennwerten spielen zusätzliche Randbedingungen eine entscheidende Rolle. Im gegenständlichen Fall sind es die budgetären Randbedingungen, die in Form von unterschiedlichen Szenarien im Zuge der Analysen berücksichtigt wurden. Diese strengen Randbedingungen sind auch maßgebend für die Auswahl von entsprechenden Grenzwerten. Z.B. wird ein Grenzwert, der auf einem Szenario mit hohen jährlichen Erhaltungsinvestitionen basiert, schwer einzuhalten bzw. zu erreichen sein, wenn die tatsächlichen Dotationen deutlich niedriger ausfallen.

Aufgrund der Tatsache, dass das PMS seit vielen Jahren in Österreich erfolgreich eingesetzt wird und der Kenntnis bzgl. vorhandener Schwankungsbreiten der Eingangswerte und somit der Ergebnisse wurden für die Analysen „realistische“ Szenarien ausgewählt.

Für die Grenzwertdiskussion wurde daher als untere budgetäre Einschränkung das Szenario max. 80 Mio. €/Jahr gewählt und für das obere Limit Investitionen in der Höhe von max. 120 Mio. €/Jahr. Das Standardszenario von max. 100 Mio.€/Jahr liegt genau in der Mitte der unterschiedlichen Szenarien und ist in der nachfolgenden Auswertung ebenfalls enthalten.

Um das Projektziel in einer klaren und nachvollziehbaren Weise darzustellen, wurden in der nachfolgenden Abbildung 39 die Entwicklungslinien der 5 maßgebenden Indikatoren bzw. Bewertungsgrößen für die 3 oben beschriebenen Szenarien über einen Zeitraum von 20 Jahren dargestellt. Diese Darstellungen ermöglichen es, über bestimmte Zeiträume erreichbare Grenzwertbereiche zu definieren. Anhand dieser Grenzwertbereiche ist es für die ASFiNAG möglich, in Abhängigkeit von den zukünftigen Erhaltungsinvestitionen die Grenzwerte auf strategischer Ebene festzuschreiben. Wie bereits erwähnt, können die Grenzwerte über die Zeit variieren, weshalb für das gegenständliche Projekt der Zeitrahmen von 20 Jahren in 3 Bereiche unterteilt wurde und zwar in „kurzfristig“ (0-5 Jahre), „mittelfristig“ (5-10 Jahre) und „langfristig“ (>10 Jahre). Der Grenzwertvorschlag selbst geht von der kurz- bis mittelfristigen Betrachtung aus.

Die Abbildung 39 zeigt die Entwicklung des Rückstandes Technischer Substanzwert, Baustellenfreiheit, Anlagevermögen und den funktionalen Zusammenhang zum Rückstand Gebrauchswert Sicherheit und ermöglicht somit eine nachvollziehbare Gegenüberstellung dieser maßgebenden Kennwerte vor dem Hintergrund einer Grenzwertfestlegung.

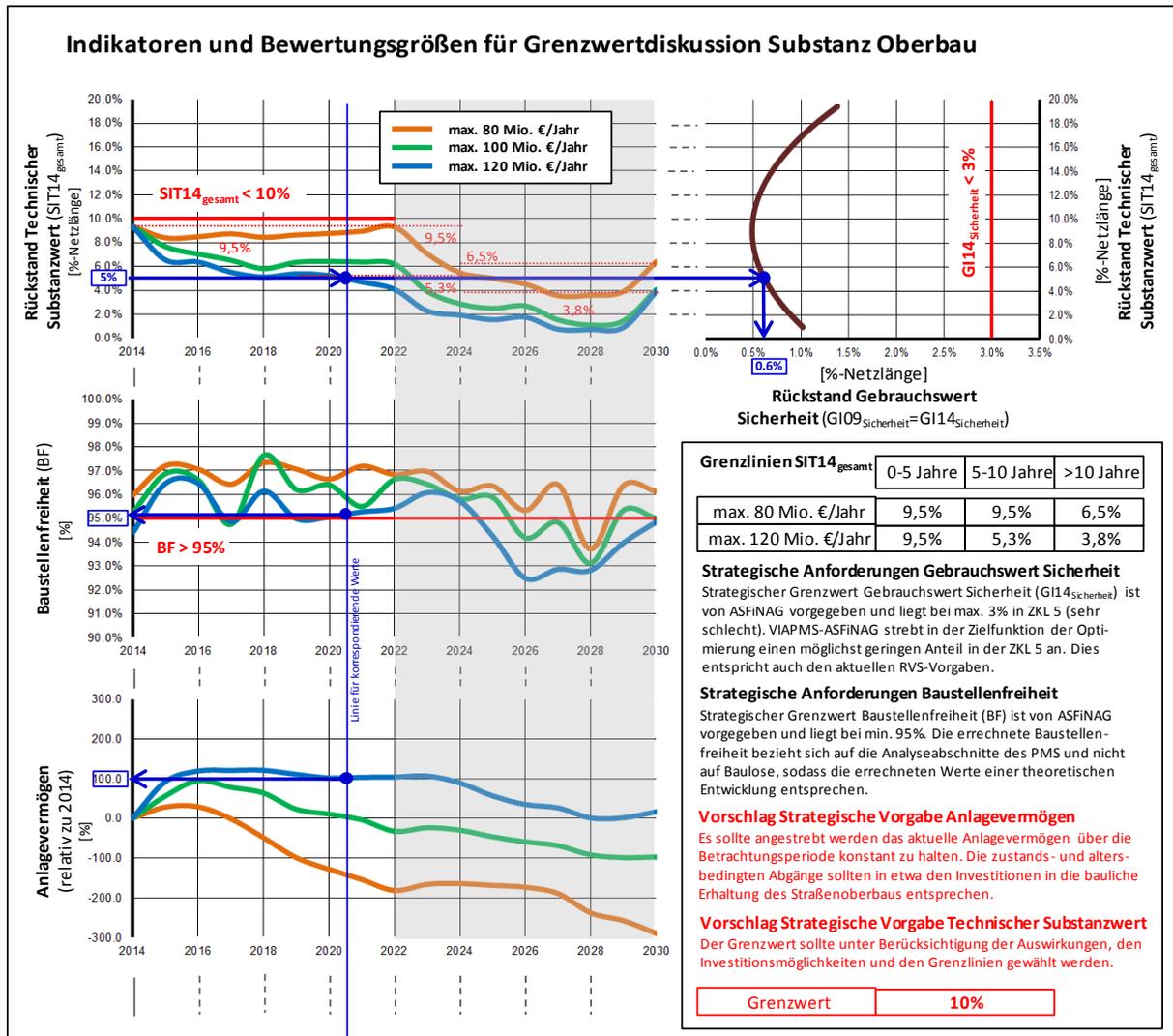


Abbildung 39: Gegenüberstellung Indikatoren und Grenzwertvorschläge

Die dargestellten Verläufe des Rückstandes Technischer Substanzwert zeigen ab Investitionen in der Höhe von 100 Mio. €/Jahr bereits kurz- bis mittelfristig eine Verbesserung der aktuellen Situation. Derzeit befinden sich ca. 10% des Straßennetzes in der Kategorie „sehr schlecht“. Dieser Wert kann auch mit den geringsten möglichen Investitionen in der Höhe von 80 Mio. €/Jahr gehalten werden, wobei langfristig auch bei diesem Szenario eine Verbesserung erzielt werden kann. Besonders auffällig ist der „Knick“ ab dem Jahr 2022, der vor allem bei den Szenarien mit geringer Dotation sehr ausgeprägt ist. Die Ursache für diese progressive Verbesserung liegt in der Auswahl von bestimmten Maßnahmenstrategien. In den ersten Jahren befindet sich das Straßennetz in einem Zustand des vermehrten „strukturellen Nachholens“, der kontinuierlich in einen Zustand mit Maßnahmenstrategien übergeht, die Sanierungen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt vorsieht. Dies geschieht in etwa ab der Mitte der Betrachtungsperiode, also ca. ab dem Jahr 2022 und wird in erster Linie durch Maßnahmen an der Decke bestimmt. In einer solchen Phase kann der Rückstand relativ gering gehalten werden, bevor dieser Anteil wieder ansteigt und das „Nachholen“ vor allem im Bereich der Substanz größer wird und auch die Intensität der Erhaltungsmaßnahmen steigt (Verstärkungen, Erneuerungen).

Es wäre für eine Grenzwertfestlegung von Vorteil, wenn es gelingen könnte, den Rückstand Technischer Substanzwert in einen nahezu stabilen bzw. konstanten Zustand überzuführen, was jedoch aufgrund der Inhomogenität des Straßennetzes (Jahre mit hohen und geringen Investition in Bau und Erhaltung in der Vergangenheit) nicht möglich ist. Wurden z.B. in der Vergangenheit hohe Investitionen in einem kurzen Zeitraum getätigt, so ist unter Berücksichtigung einer bestimmten Streuung auch mit einer Zunahme der Erhaltung und somit des Nachholbedarfs zu rechnen, vorausgesetzt, dass die Investitionen in etwa konstant bleiben (ist bei den Szenarien auch der Fall). Ein Beispiel hierfür sind die Investitionen der letzten 10 Jahre im Bereich der A1 und der A2, wo davon ausgegangen werden muss, dass ab dem Jahr 2030 auf diesen Straßen wiederum mit umfangreicheren Sanierungen zu rechnen ist. Diese Schwankungen sind bei der Festlegung von Grenzwerten von besonderer Bedeutung, da nicht jede Schwankung zwangsweise mit einer möglichen Herabsetzung eines Grenzwertes verbunden werden sollte.

6.3.4 RELATION TECHNISCHER SUBSTANZWERT ZU GEBRAUCHSWERT SICHERHEIT, ANLAGEVERMÖGEN UND BAUSTELLENFREIHEIT

Unter Bezugnahme auf die Darstellungen in Abbildung 39 sind für den Grenzwertvorschlag Technischer Substanzwert zunächst die Relationen zum Gebrauchswert Sicherheit und zum Anlagevermögen von wesentlicher Bedeutung.

Der Gebrauchswert Sicherheit ist jene Größe, die maßgebend die Zielfunktion in der PMS-Optimierung bestimmt und bereits mit einem strategischen Grenzwert behaftet ist (<3% in der Zustandsklasse „sehr schlecht“ = Rückstand Gebrauchswert Sicherheit). Ein Grenzwert Technischer Substanzwert muss daher über die gesamte Betrachtungsperiode auch einen Gebrauchswert Sicherheit von <3% Rückstand ermöglichen, was mit den vorhandenen budgetären Randbedingungen auf jeden Fall erreicht werden kann. Wie bereits erwähnt, ist die Optimierung im PMS stark gebrauchswertorientiert (Sicherheit und Fahrkomfort), sodass die Bedingung Gebrauchswert Sicherheit erfüllt wird. Für die gewählten Erhaltungsbudgets kann dies immer erreicht werden, wobei bereits ab geringen Investitionen die Budgetabhängigkeit nicht mehr gegeben ist. Der 3%-Grenzwert wird erst bei hohem Backlog des Technischen Substanzwerten (>20% Rückstand) überschritten (siehe hierzu auch Zusammenhang Substanzwert und Gebrauchswert Sicherheit, Kapitel 5.4).

Es stellt sich in diesem Zusammenhang natürlich die Frage, ob nicht auch ein niedrigerer Grenzwert für den Gebrauchswert Sicherheit erreichbar wäre, was jedoch mit bestimmten Auswirkungen verbunden ist. Das PMS ist so konfiguriert, dass ein Abschnitt, der in die Kategorie „sehr schlecht“ fällt, kurzfristig (gleiches oder nächstes Jahr) mit einer Instandhaltungsmaßnahme versehen wird, die augenblicklich zu einer Verbesserung des Zustandes führt. Dies entspricht im Grundsatz auch den Vorgaben der RVS 13.01.15 [20]. In der Praxis muss bei einer solchen abschnittsbezogenen Grenzwertüberschreitung jedoch nicht sofort eine bauliche Erhaltungsmaßnahme gesetzt werden. Verkehrliche Maßnahmen, wie z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Warnhinweise sind zulässige temporäre Maßnahmen, die im laufenden Betrieb gesetzt werden vor allem dann, wenn bauliche

Erhaltungsmaßnahmen eine längere Vorlaufzeit benötigen oder zum aktuellen Zeitpunkt nicht umgesetzt werden können. Eine Verschärfung des 3%-Grenzwertes wäre daher mit (betrieblichen) Problemen bei der praktischen Umsetzung verbunden. Darüber hinaus ist die Entwicklungskurve des Rückstandes Gebrauchswert Sicherheit das Ergebnis einer mathematischen Optimierung, die aufgrund von örtlichen Einflussfaktoren (z.B. Bauloseinteilung, Koordination von Erhaltungsmaßnahmen mit anderen Anlagen) in der Praxis nicht erreicht werden kann (siehe hierzu auch nachfolgendes Kapitel). Eine „Verschärfung“ des Grenzwertes für den Gebrauchswert Sicherheit wird daher als nicht sinnvoll erachtet (und ist auch nicht die Aufgabe dieses Forschungsprojektes).

Im Gegensatz zum Gebrauchswert Sicherheit hat das Anlagevermögen einen direkten Bezug zum Substanzwert, da es die strukturelle Beschaffenheit des Oberbaus als maßgebende Einflussgröße verwendet. Wie bereits erwähnt, können anhand der Entwicklungslinien des Anlagevermögens die vorgenommenen Investitionen bewertet werden, sodass es möglich ist, einen technischen Grenzwert mit einer betriebswirtschaftlichen Größe zu verknüpfen. Unter der Annahme, dass das derzeitige Anlagevermögen ein Straßennetz repräsentiert, welches einen guten und verkehrssicheren Zustand aufweist, sollten primär jene Zustandsverläufe des Technischen Substanzwertes für einen Grenzwertvorschlag herangezogen werden, die mit Investitionen verbunden sind, die zu keiner deutlichen Reduzierung des Anlagevermögens führen. Dabei handelt es sich um Investitionen, die zwischen 100 und 120 Mio. €/Jahr liegen, wobei die 120 Mio. €/Jahr für längerfristige Betrachtungen maßgebend werden. Geringere Investitionen führen zu einer Reduktion des Anlagevermögens. Dies kann auch der Fall sein, wenn der Rückstand des Technischen Substanzwertes eine positive Entwicklung aufweist, da für das Anlagevermögen die Verteilung in allen Zustandsklassen maßgebend ist und nicht nur die für den Rückstand bestimmende Klasse 5 „sehr schlecht“. Werden z.B. fast ausschließlich Deckschichtmaßnahmen durchgeführt, so ergeben sich kaum Erhöhungen beim Anlagevermögen und das Anlagevermögen sinkt aufgrund der Zunahme der Anteile in den Zustandsklassen „gut“, „mittel“ und „schlecht“ obwohl der Erhaltungsrückstand im Technischen Substanzwert eine Verbesserung aufweist. Das Anlagevermögen ist daher von wesentlicher Bedeutung bei der Festlegung eines Grenzwertes, da es neben der betriebswirtschaftlichen Bedeutung auch die Nachhaltigkeit der Erhaltungsstrategie abbildet.

Eine Bewertung der Durchführbarkeit möglicher Erhaltungsmaßnahmen in Abhängigkeit von den vorgeschlagenen Investitionen ermöglicht die errechnete Baustellenfreiheit bzw. Maßnahmenbeeinträchtigung. Dabei zeigt sich in Abbildung 39, dass ab dem Jahr 2024 Investitionen von mehr als 100 Mio. €/Jahr zu einer Unterschreitung des Grenzwertes von 95% führen. Dies steht im Konflikt mit der Aufrechterhaltung des Anlagenvermögens im Bezug zur aktuellen Ausgangssituation. Da es sich hier um langfristige Prognosen handelt, ist natürlich die Sicherheit dieser Aussage geringer, jedoch ist diesem „Konflikt“ bei zukünftigen Analysen vermehrt Aufmerksamkeit zu schenken. Letztendlich bedeutet dies, sofern bestätigt, dass entweder eine Reduktion des Anlagevermögens in Kauf genommen wird oder in einzelnen Jahren die Beeinträchtigung der Straßennutzer infolge Erhaltungsmaßnahmen größer als angestrebt ausfällt.

6.3.5 BERÜCKSICHTIGUNG INFRASTRUKTUR-INVESTITIONSPROGRAMM 2014-2020

6.3.5.1 OPTIMIERTE PROGNOSE VS. INFRASTRUKTUR-INVESTITIONSPROGRAMM

Im Zuge der Festlegung von Grenzwerten sind bestimmte Randbedingungen bzw. Einflussgrößen zu beachten, die einen maßgebenden Einfluss auf die praktische Anwendbarkeit der Grenzwerte haben. Die in den Grafiken der Abbildung 39 dargestellten Entwicklungen sind, wie bereits mehrfach erwähnt, das Ergebnis von Optimierungsprozessen (Abschnittseinteilung, mathematisches Optimierungsverfahren zur Auswahl von Maßnahmenstrategien, etc.), die in Relation zur tatsächlichen Umsetzung von Erhaltungsmaßnahmen (als Teil des Infrastruktur-Investitionsprogramms der ASFiNAG) zu bewerten sind. Dabei muss von bestimmten Abweichungen ausgegangen werden, die einerseits in der Bildung der Baulose (mögliche Verkehrsführung, Umfang der eingebundenen Anlagen, etc.) andererseits aber auch bei der Verknüpfung von Erhaltungsnotwendigkeiten verschiedener Anlagen (Brücke, Tunnel, Entwässerung, Lärmschutz, etc.) zu einem Gesamtprojekt entstehen. Dies bedeutet für die Praxis, dass die optimale Lösung (und somit die Verläufe in Abbildung 39) in der Realität nicht erreicht werden kann. Wie groß diese Differenzen zwischen Prognose (Optimierung) und Plan (Infrastruktur-Investitionsprogramm) sind, hängt von den oben beschriebenen Einflussgrößen ab. Es ist auf jeden Fall sinnvoll und zweckmäßig, die Grenzwerte höher zu wählen und mit den geplanten Investitionen zu vergleichen.

6.3.5.2 ÜBERSICHT INFRASTRUKTUR-INVESTITIONSPROGRAMM 2014-2020

Ausgehend von den Zustandsdaten des Jahres 2014 kann unter Berücksichtigung der geplanten Maßnahmen bis 2020 in weiterer Folge auch die sich ergebende Zustandsentwicklung prognostiziert werden.

Das Infrastruktur-Investitionsprogramm wurde von der ASFiNAG an das Projektteam übergeben und in die, dem PMS entsprechenden Maßnahmenkategorien, umgelegt. Daraus ergibt sich folgende Maßnahmen und Kostenverteilung (siehe Abbildung 40).

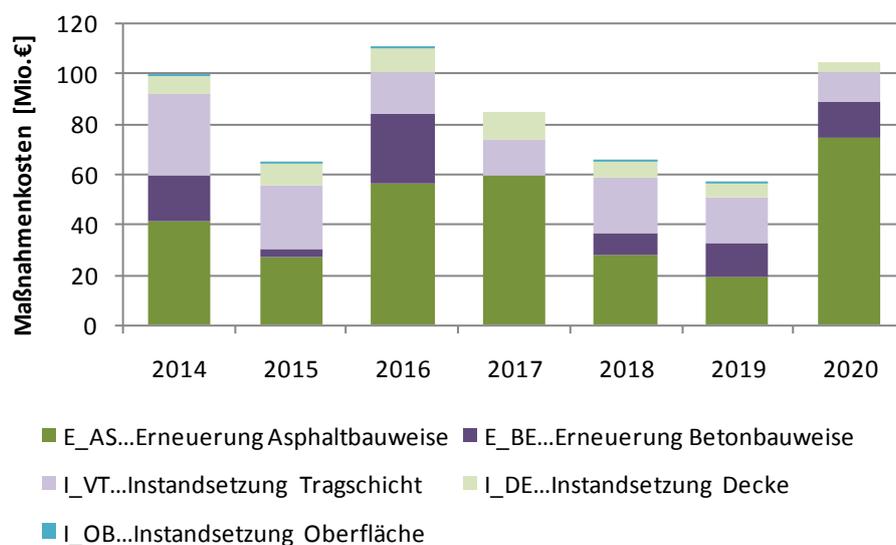


Abbildung 40: Infrastruktur-Investitionsprogramm 2014-2020

6.3.5.3 ENTWICKLUNG ZUSTANDSINDIKATOREN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DES INFRASTRUKTUR-INVESTITIONSPROGRAMM 2014-2020

Ebenso wie in den vorangegangenen Kapiteln die Zustandsentwicklung aufgrund der optimierten (freien) Maßnahmenauswahl auf Grundlage unterschiedlicher Budgetbegrenzungen dargestellt wurde, können entsprechend auch für das geplante Infrastruktur-Investitionsprogramm der Jahre 2014 bis 2020 (I-IP 2014-220) die Entwicklungen dargestellt werden (siehe Abbildung 41 bis Abbildung 44).

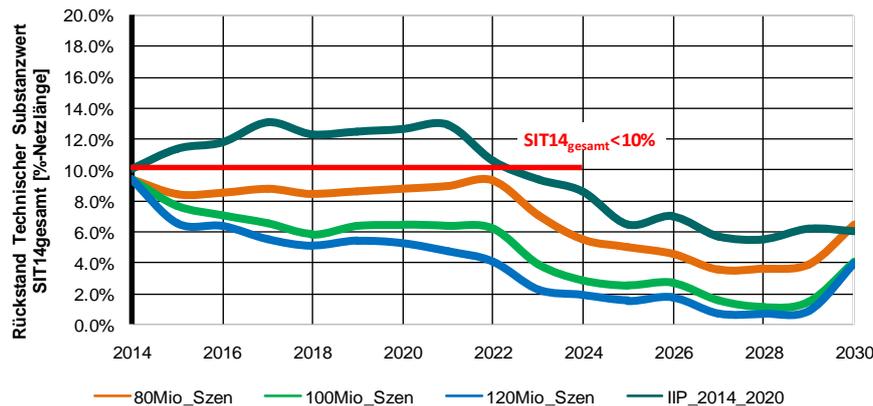


Abbildung 41: Rückstand Technischer Substanzwert SIT14_{gesamt} inklusive I-IP 2014-2020

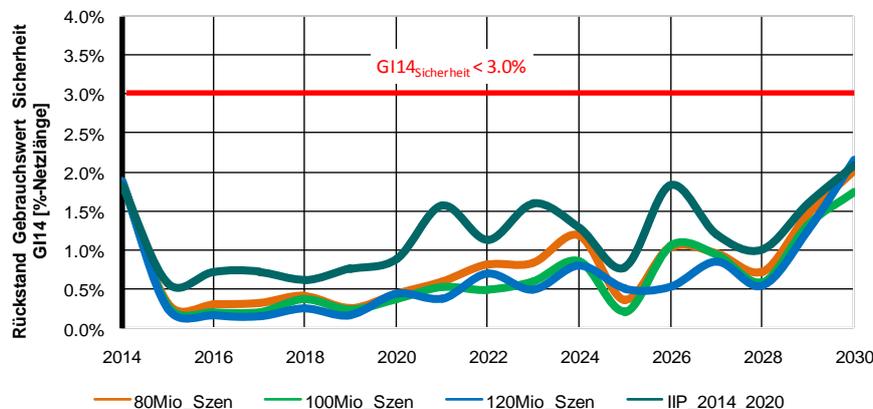


Abbildung 42: Rückstand Gebrauchswert Sicherheit GI14 inklusive I-IP 2014-2020

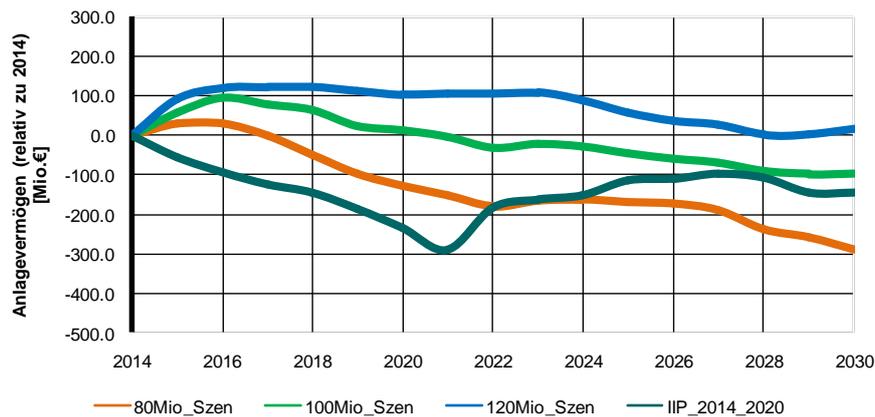


Abbildung 43: Anlagevermögen inklusive I-IP 2014-2020

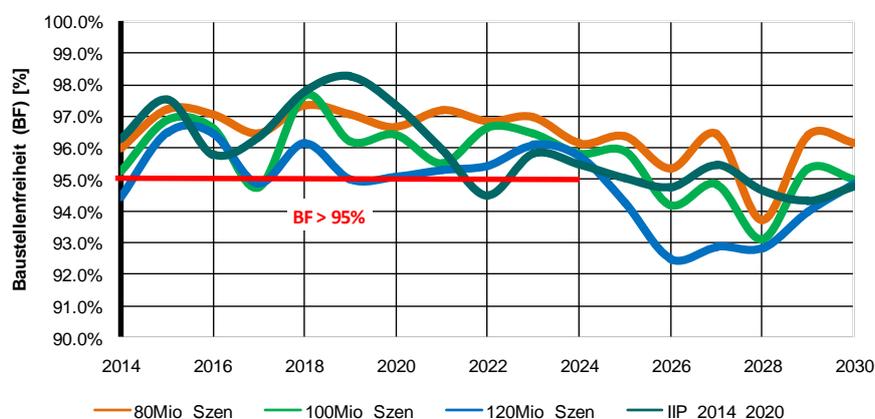


Abbildung 44: Baustellenfreiheit inklusive I-IP 2014-2020

Es zeigt sich hier sehr deutlich und wie auch erwartet, dass die Entwicklung des Rückstandes Technischer Substanzwert Gesamt für das Infrastruktur-Investitionsprogramm 2014-2020 von den ermittelten Verläufen aus der PMS-Optimierung abweicht. Diese Differenz ist bei der Festlegung eines Grenzwertes von wesentlicher Bedeutung, da grundsätzlich nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Ergebnisse der Optimierung der Erhaltungsmaßnahmen Oberbau zukünftig 1:1 in das Infrastruktur-Investitionsprogramm übernommen werden können. Es zeigt sich andererseits aber auch, dass das Infrastruktur-Investitionsprogramm 2014-2020 womöglich Verbesserungspotential besitzt, sodass ein Grenzwert, der mit dem aktuellen Programm in den nächsten Jahren nicht erreicht werden kann, zu einer weiteren Optimierung der Maßnahmen bei der praktischen Umsetzung führen kann.

Die Notwendigkeit von Grenzwerten, die nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand erreicht werden können, ist grundsätzlich zu hinterfragen. Es ist jedoch gerade im Bereich eines modernen, zukunftsorientierten Erhaltungsmanagements von Vorteil, einen Grenzwert, welcher nicht direkte Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit hat, so zu wählen, dass erhöhte Anstrengungen notwendig sind, um diesen zu erreichen zumal, die Ergebnisse der

mathematischen Optimierung ein mögliches Erreichen eines solchen Grenzwertes sehr deutlich unterstreichen.

6.3.6 GRENZWERTVORSCHLAG SUBSTANZWERT

Unter Berücksichtigung der aktuellen Zustandssituation und der beschriebenen Eigenschaften des untersuchten Straßennetzes erscheint ein Grenzwert für den Rückstand Technischer Substanzwert von 10% eine realistische Ausgangsgröße für die kurz- bis mittelfristige Betrachtung zu sein, wobei zur Aufrechterhaltung einer guten Substanz und somit zu einer konstanten Entwicklung des Anlagevermögens Investitionen von mind. 100 Mio. €/Jahr notwendig sind. Der Grenzwert könnte anhand der in Abbildung 39 dargestellten Zustandsverläufe etwas niedriger gelegt werden, jedoch sind, wie bereits erwähnt, diese Entwicklungslinien das Ergebnis eines optimierten Prozesses (bestmögliches Resultat). und die Ergebnisse der Beurteilung des Infrastruktur-Investitionsprogramms 2014-2020 zeigen, dass mit den geplanten Erhaltungsmaßnahmen der Grenzwert zunächst nicht erreicht werden kann.

Anhand dieser Überlegungen und der ermittelten Ergebnisse wird hier zusammengefasst folgender Grenzwertvorschlag gegeben:

- **Maximaler Anteil Rückstand Technischer Substanzwert Gesamt von 10%** mit zulässigen kurz- und mittelfristigen Abweichungen von +3%
- **Konstante Entwicklung des Anlagevermögens** (Nachhaltigkeit) unter Berücksichtigung des Kundenziels „Baustellenfreiheit“ von >95%
- **Kundenorientierte Erhaltung** mit Schwerpunkt Verkehrssicherheit (**Maximaler Rückstand Gebrauchswert Sicherheit von 3%**) und Einsatz von möglichst effizienten Erhaltungsmaßnahmen vor dem Hintergrund einer umfassenden **Lebenszykluskostenbetrachtung** mit Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Auswahloptimierung (PMS-Ansatz)

7. VORSCHLÄGE FÜR DIE BETRACHTUNG EINES NETZGEWICHTETEN SUBSTANZWERTS

7.1 ALLGEMEINES

Die Berücksichtigung der räumlich-topographischen Situation bei der Beurteilung der Erhaltungsnotwendigkeiten bestimmter Straßenabschnitte oder bestimmter Objekte (Brücken, Tunnel, etc.) kann eine wesentliche Bedeutung im Entscheidungsprozess haben. Gerade die topographische Situation Österreichs erfordert eine erweiterte Betrachtung der Bedeutung einzelner Straßenabschnitte bzw. Korridore im Hinblick auf die Netzverfügbarkeit. Dies bedeutet aber auch, dass bei der Empfehlung von Grenzwerten (z.B. Anteil des Straßennetzes in einem bestimmten Zustand) dieser Umstand berücksichtigt werden sollte. Zum Beispiel sollte eine Kumulation von schlechten Straßenabschnitten auf einem Korridor, welcher keine Ausweichrouten oder nur Ausweichrouten mit weiten Umwegen aufweist, einen dringenderen Erhaltungsbedarf aufweisen, als eine ähnliche Situation auf einem Netzteil, wo mehrere Alternativrouten zur Verfügung stehen. Das Risiko des Ausfalls eines sensitiven Netzteils wäre daher unbedingt in die weiterführenden Überlegungen zu einem Netzgewichteten Substanzwert mit einzubeziehen.

Dies wird durch eine entsprechende Gewichtung der einzelnen Abschnitte des Netzes hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Netzverfügbarkeit erreicht.

7.2 MODELLIERUNG DES NETZES

Bei der globalen Betrachtung eines Infrastruktur-Netzes wird die Graphentheorie angewandt. Das Netz (N) wird durch Knoten (V) bzw. Terminals (T) und Kanten (E), die miteinander eine Topologie ergeben, als zunächst ungerichteter Graph beschrieben ($N = G(E, V, T)$). Ein Teil der Knoten (V) wird als Terminal (T) definiert, deren Verbindung untereinander das Funktionieren des Netzes charakterisieren. Jeder Kante und auch jedem Knoten kann eine Wahrscheinlichkeit p der Verfügbarkeit gegeben werden. Ist die Kante verfügbar, so ist sie im UP-Status. Umgekehrt mit $q = 1 - p$ versagt die Kante. Sie ist beim Versagen bzw. der Nichtverfügbarkeit im DOWN-Status. Die grundsätzliche Fragestellungen, die an diesem Modell beantwortet werden müssen, sind einerseits die Zuverlässigkeit $R(N)$, sowie

andererseits die Wichtigkeit einer Kante, mit gegebener Wahrscheinlichkeit p im Gesamtnetz, die beschrieben wird durch die folgende partielle Ableitung

$$\frac{\partial}{\partial p} R(N), .$$

Die Aufgabe bei der Modellierung eines Netzes ist, die Kanten-Eigenschaften p_i , c_i (Kapazität, siehe unten) und IB_i (Definition siehe unten) aus den verfügbaren Bestands- und Zustandsdaten für Objekte und homogene Abschnitte zu gewinnen. Das Netzmodell wird durch die Kante E und den Knoten V beschrieben. Die Kante ist im gegenständlichen Fall eine Verbindung zwischen zwei Anschlussstellen auf der Autobahn bzw. der Schnellstraße. Die Alterung des Objektes und die Reduktion der Kapazität bzw. bestimmter Eigenschaften für ein normgemäßes Funktionieren, werden durch den zeitabhängigen Verlauf eines Zustandsparameters oder physikalischen Wertes beschrieben. Die Qualität des aktuell ermittelten Zustandes und damit auch der Prognose ist abhängig von der Art der Prüfmethode. Ist diese maschinell gestützt (messtechnische Straßenzustandserfassung), werden in der Regel physikalische Merkmale genutzt, sonst handelt es sich um rein visuelle Informationen, die in der Regel über Vergleichs- oder Verhältniswerte ausgedrückt werden (geschädigter Anteil, Zustandsklasse, etc.). Daraus ergeben sich natürliche Schwankungsbreiten in der Beurteilung, die mit einer Verteilung, der Probability of Detection (PoD), additiv beschrieben wird, um damit die Qualität der Erfassungsmethodik zu berücksichtigen.

Für die Beschreibung des Netzes wird zunächst angenommen, dass eine invariante, unveränderliche Eigenschaft, die Birnbaum Importance (IB) [21], existiert und berechnet werden kann. Betrachtet man die Systemzuverlässigkeit als Funktion

$$R(N) = \Psi(p_1, \dots, p_n)$$

der Kanten-Wahrscheinlichkeiten p_i , dann ist der Wert IB der Kante i folgend definiert:

$$IB_i = \frac{\partial \Psi(p_1, \dots, p_i, \dots, p_k)}{\partial p_i}$$

In einer Steigerung der Komplexität wird das Netz als gerichteter Graph aufgefasst, $N = G(V, E, T, C)$. Die Kanten erhalten zusätzlich zum ersten Modell ihre maximale Kapazität C als Eigenschaft. Die Fragestellung des maximalen Flusses M innerhalb des Netzes wird jetzt für Quantifizierung der Kapazität Φ genutzt, $P(M > \Phi)$.

Die Berechnung von IB unter Berücksichtigung der Kapazität c_i einer Kante ist wie folgt definiert: Die Berechnung von IB unter Berücksichtigung der Kapazität c_i ist in diesem Fall nicht mehr eine topologische Eigenschaft des Netzes, sondern abhängig von den vorhandenen Kapazitäten.

Viele Entscheidungsprobleme im Erhaltungsmanagement werden nach der Komplexitätstheorie der Informatik als NP-schwere Probleme klassifiziert (NP steht dabei für nichtdeterministische Polynomialzeit, was bedeutet, dass ein nicht-deterministischer Algorithmus in entsprechender Rechenzeit, die nicht stärker als mit einer Polynomfunktion wächst, zu einer Lösung führt). Die hier beschriebenen Modelle erfordern deshalb zur Berechnung geeignete Software-Lösungen. Die Berechnung erfolgt mittels Monte-Carlo-Simulation, wobei optimierte Simulationsmethoden zur Anwendung gelangen, die eine effiziente Berechnung von IB an realen Netzen erlauben.

7.3 GRAPH HOCHLEISTUNGSSTRASSENNETZ

Das Autobahn- und Schnellstraßennetz (ASFiNAG-Netz) wird im gegenständlichen Ansatz in einer sehr einfachen, abstrakten und somit nachvollziehbaren Weise beschrieben. Der Graph in Abbildung 45 enthält $n = 131$ Kanten, $m = 99$ Knoten, wovon einige als Terminal, als schwarz gefüllte Kreise gekennzeichnet, qualifiziert wurden. Die Terminals sind immer Autobahn- oder Schnellstraßenknoten, deren Verbindung untereinander als kritisch bzw. wesentlich für das Netz qualifiziert wurde. Sind alle Terminals untereinander erreichbar, dann ist das Netz im UP-Status. Der Graph symbolisiert die Achsen der A- und S-Straßen (rot) und der wichtigsten Landesstraßen (orange) innerhalb Österreichs. Die Berücksichtigung dieser Landesstraßen ist notwendig, um ein funktionierendes Netz zu simulieren. Die anderen Kanten sind Möglichkeiten des Umfahrens von Österreich und dienen ebenfalls dazu, ein realitätsnahes Netz zu modellieren.

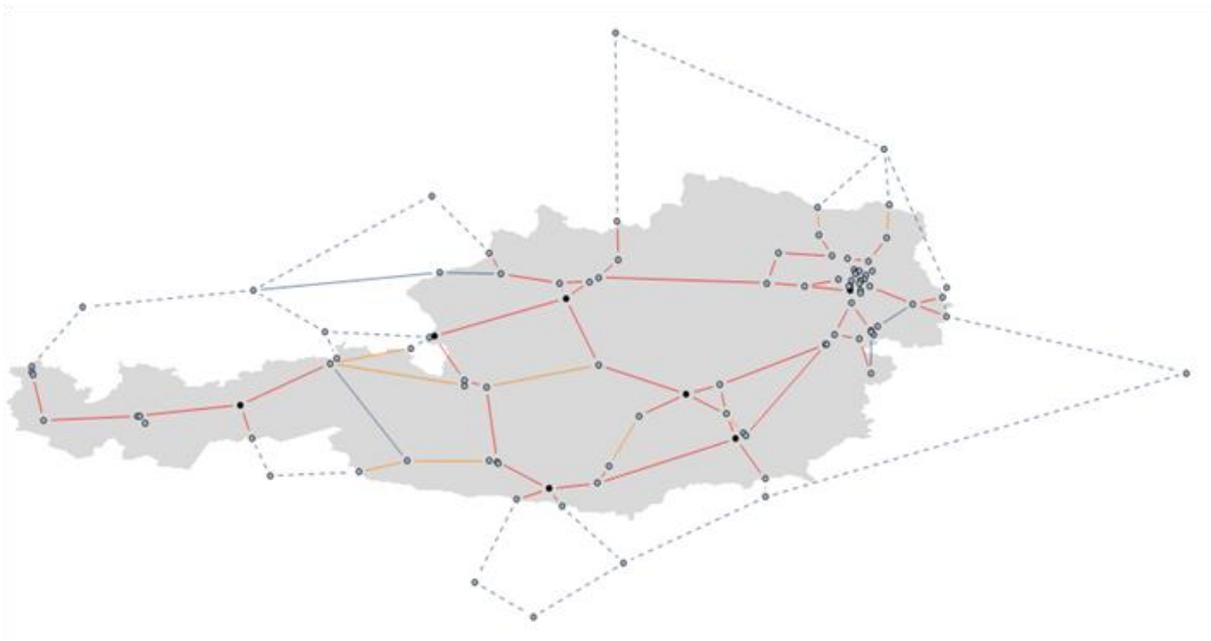


Abbildung 45: Graph Hochleistungsstraßennetz Österreich

Die Definition der Terminals ist im Grunde eine strategische Festlegung, die hier angenommen wurde. Die Annahme soll exemplarische zur Bewertung der Zuverlässigkeit des Netzes dienen. Die Kanten auf ausländischem Gebiet werden als perfekt angesehen. Ihre Berücksichtigung ist einerseits zur Verbindung des ASG-Netzes mit dem restlichen Hochleistungsnetz notwendig und ermöglicht andererseits an die Grenze führende Autobahnen wie A4, A9, etc. funktional zu berücksichtigen.

Die Festlegung von spezifischen Korridoren, wie sie strategisch seitens der ASFINAG gesehen werden, kann zur Festlegung von weiteren Terminals führen, hat aber für das gegenständliche Projekt nur eine untergeordnete Bedeutung. Daraus könnten sich geringfügig andere Gewichtungen für bestimmte Kanten ergeben.

7.4 ERMITTLUNG DER P - WERTE

Die Berechnung der Kanten erfolgte im ersten Ansatz intensiv. Der korrekte Weg ist die Berechnung der mit der Kante verknüpften Straßenteile, Brücken und Tunnel.

Die Beschreibung der Zustandsentwicklung kann mathematisch als monotoner Spannungsprozess beschrieben werden. Die Zuverlässigkeitskante wird mittels der Wahrscheinlichkeit p beschrieben. Anders betrachtet, besagt $q = 1 - p$, dass eine Kante innerhalb eines Jahres in den DOWN-Status gelangt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist der mathematische Hintergrund im Anhang C im Detail dargelegt.

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Methodik kann jedem Netzabschnitt (jeder Kante) nach den Kriterien

- Verbindung der Terminals
- Flow-Charakteristik (Kapazität)
- Ausweichmöglichkeit bzw. Alternativrouten für die Verbindung

ein Gewicht zugeteilt werden, das die „Güte“ des Abschnittes repräsentiert. Dieses Gewicht kann dann bei der Analyse im Zuge der Nutzenermittlung z.B. als Multiplikator für die Verkehrsbelastung angesetzt werden (siehe hierzu Kapitel 7.6).

7.5 GEWICHTUNG KANTEN

7.5.1 EINGANGSWERTE UND ANNAHMEN FÜR DIE SIMULATION

Für das System in Abbildung 45 erfolgte eine erste Berechnung der IB-Werte, unter der Annahme der Verfügbarkeitswahrscheinlichkeit von $p = 0.9$ für alle A- und S-Straßen, $p = 0.8$ für Landesstraßen und $p = 0.99$ für alle anderen Straßen (Eingangswerte für die Simulation). Die Kanten sind entsprechend ihrer Ordnungszahl ℓ in Abbildung 46 aufgelistet.

Es wurde eine Testreihe mit vier verschiedenen Berechnungen durchgeführt. Obwohl bei der Auswahl der Terminals (Knoten, die erreichbar sein müssen) variiert wurde, ist bei allen Berechnungen die große Wichtigkeit der umliegenden Autobahnverbindungen sichtbar geworden.

Die Terminals wurden in verschiedenen Berechnungen variiert um deren Einfluss auf die Netzverfügbarkeit zu qualifizieren. Es gibt naturgemäß Unterschiede auf die Gewichtung von Kanten. Diese haben im gegenständlichen Netz gravierende Auswirkungen. Deshalb wurde der initiale Ansatz, Autobahn-Knoten als T-Punkte zu sehen, weiter verfolgt. Als Terminals wurden folgende wichtige Autobahnknoten gewählt:

- Voralpenkreuz
- Salzburg
- Graz-West
- Vösendorf
- Villach
- St. Michael
- Nordbrücke
- Innsbruck

7.5.2 SIMULATION

Das Netz wurde mit unterschiedlicher Anzahl von Simulationen berechnet, um die Stabilität des Ergebnisses zu überprüfen. Mit 100.000 Simulationen wurde schließlich das Auslangen gefunden. Die IB-Werte werden für alle Kanten ermittelt (siehe Abbildung 46). Die für das ASFINAG-Netz relevanten Teile wurden herausgefiltert und letztendlich nach VIAPMS_ASFINAG überführt.

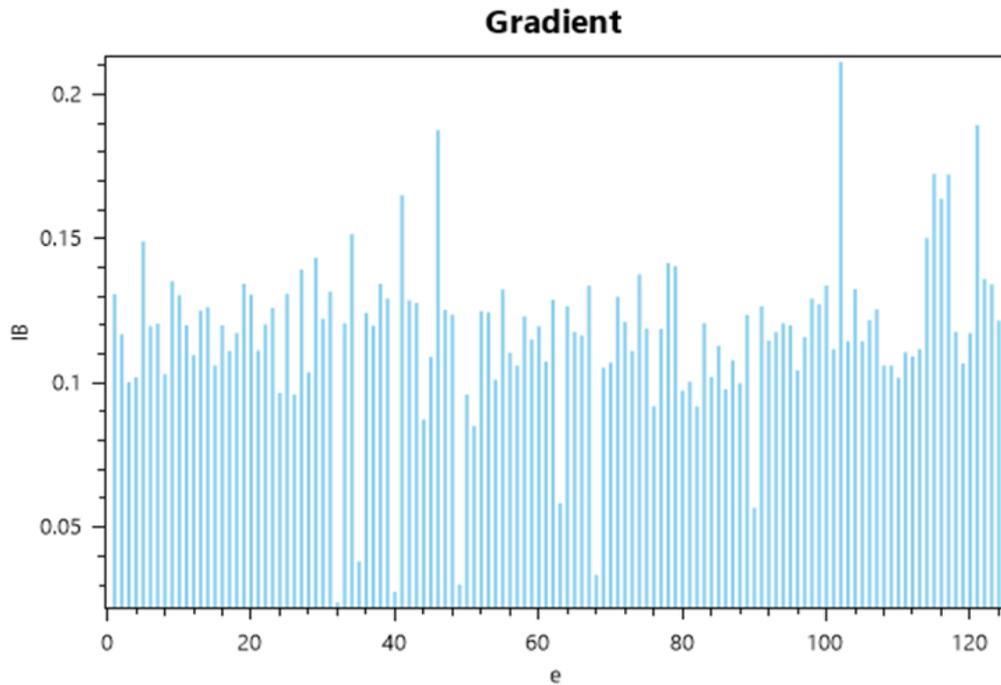


Abbildung 46: IB-Werte (Gewichtungsfaktoren)

Die Netzanalyse ermöglicht eine Reihung der Kanten nach ihren IB-Werten, die in der Folge im Detail behandelt werden. Der Prozess der Erhaltung entspricht in der Netzbetrachtung der Verbesserung/Stärkung der Kanten und Knoten, was auch der strategischen Ausrichtung des Erhaltungsmanagements der ASFINAG entspricht. *IB* kann im Sinne der Wahrscheinlichkeit auf eine transparente Art und Weise interpretiert werden. Der Wert beschreibt den Zugewinn an Systemzuverlässigkeit, *IB* ist somit eine Näherung des Inkrements dR der Systemzuverlässigkeit, die sich aus der Änderung der Zuverlässigkeit der Komponente i um die Größe dp ergibt (siehe Kapitel 7.2). Je größer der IB-Wert, desto höher ist der Zugewinn an Systemzuverlässigkeit und desto bedeutender ist die Kante bzw. der jeweilige Abschnitt im Netz. Deshalb ist es auch sinnvoll und zweckmäßig, diese Kanten in der Erhaltungspriorität zu bevorzugen, sodass der IB-Wert direkt als Gewicht in die Analysen bzw. bei der Ermittlung eines Netzgewichteten Substanzwertes (Infrastrukturwertes) herangezogen werden kann.

Zur besseren Darstellung werden in Abbildung 47 jene Abschnitte mit den höchsten IB-Werten, d.h. mit der höchsten Erhaltungspriorität grün markiert.

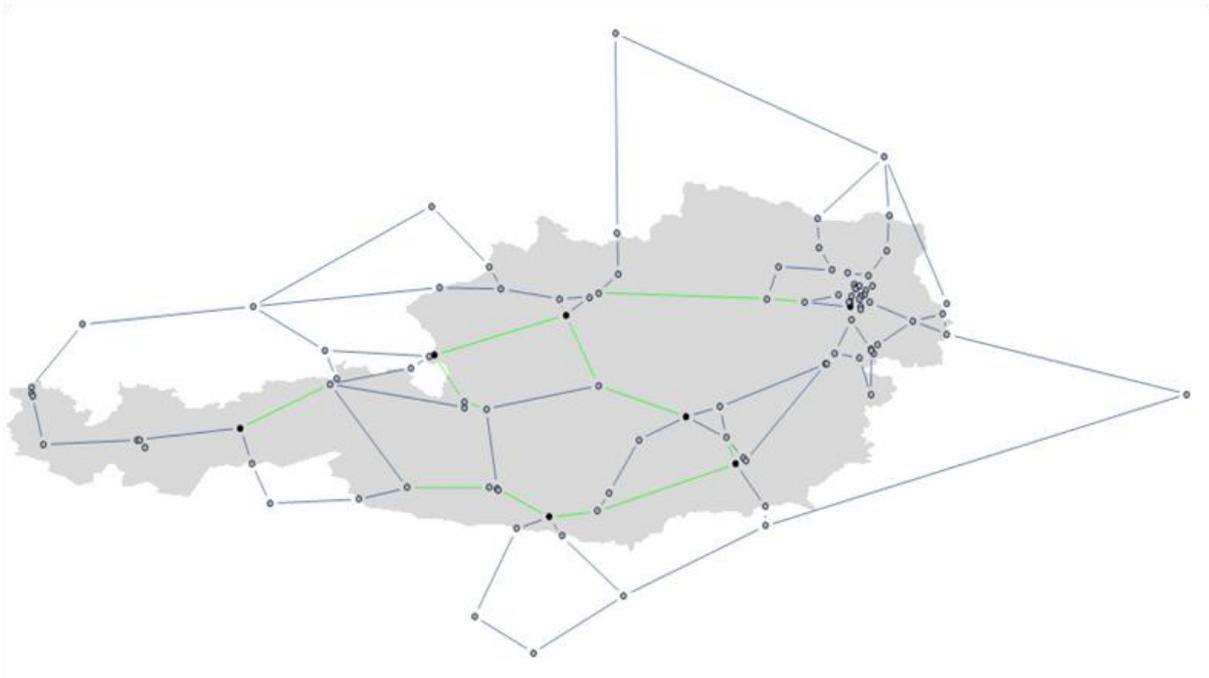


Abbildung 47: Netzgraph – IB maximal grün markiert

7.6 EINBINDUNG IN VIAPMS_ASFINAG

Um die Gewichtung der Kanten in VIAPMS_ASFINAG zu berücksichtigen, müssen diese in den PMS-Algorithmus integriert werden. Wie oben beschrieben, kann auf der Grundlage dieser Methodik jedem Netzabschnitt (jeder Kante) ein Gewicht zugeteilt werden, das die „Güte“ des Abschnittes repräsentiert. Dieses Gewicht kann dann bei der Analyse bzw. der Auswertung wie folgt berücksichtigt werden:

- Im Zuge der Nutzenermittlung bei der Auswahl bzw. beim wirtschaftlichen Vergleich von Erhaltungsmaßnahmen als Multiplikator für die Verkehrsbelastung (siehe Kapitel 7.6.1).
- Als weitere Gewichtung bei der Ermittlung des Netzgewichten Substanzwertes (Infrastrukturwertes) zur Berücksichtigung der Bedeutung und der Sensitivität einzelner Straßenabschnitte im Gesamtnetz (siehe Kapitel 7.6.2).

7.6.1 ERWEITERTER NUTZEN

Der Nutzen einer Erhaltungsstrategie beschreibt die positiven Auswirkungen auf den Straßennutzer und/oder den Straßenerhalter bzw. Baulastträger. Der Vergleich zwischen der „Nichts-Tun-Strategie“ (0-Strategie) und einer bestimmten Erhaltungsmaßnahme ermöglicht die Berechnung des Nutzens. Dieser Nutzen kann dabei entweder monetär durch die Ermittlung einzusparender Kosten oder nicht monetär, durch die Verwendung von auf den Straßenzustand bezogenen Verhältniszahlen über die Analyseperiode festgelegt werden.

Voraussetzung für die Berechnung des Nutzens ist die Kenntnis der Entwicklung des Straßenzustandes über die betrachtete Zeitperiode. Diese Methode kann auch unter dem Begriff „Kostenwirksamkeitsanalyse“ zusammengefasst werden. Die nachfolgende Abbildung 48 zeigt schematisch, wie der Nutzen einer Erhaltungsstrategie über die berechenbare „Wirkungsfläche“ (auch als „Fläche zwischen den Kurven“ bezeichnet) in Form einer dimensionslosen Verhältniszahl ausgedrückt werden kann. Ist der technische, auf den Zustand bezogene Effekt der einzelnen Erhaltungsmaßnahmen groß, ergibt sich auch ein hoher Nutzen.

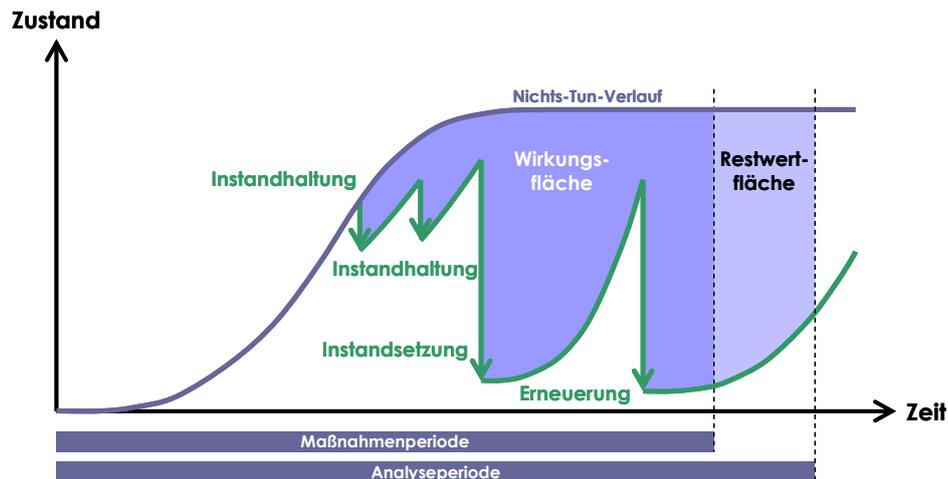


Abbildung 48: Nicht-monetäre Definition des Nutzens [1]

Um sowohl die Auswirkungen der Maßnahmen auf den Baulastträger (Straßenverwaltung) als auch auf den Straßennutzer zu bewerten, empfiehlt es sich, den Gesamtwert als maßgebendes Zustandsmerkmal heranzuziehen. Der Gesamtwert beinhaltet sowohl den für den Straßennutzer relevanten Gebrauchswert als auch den für den Baulastträger wichtigen Substanzwert.

Die Fläche muss in einem letzten Schritt lediglich mit der Anzahl der betroffenen Nutzer multipliziert werden, um jene Strategien höher zu bewerten, deren positive Auswirkungen auch mehr Straßennutzer betrifft. Dies kann dabei sowohl über die Verkehrsbelastung als auch über weitere Gewichte erfolgen. Bis dato wurde für diese Gewichtung ausschließlich der Gesamtverkehr herangezogen, der die Bedeutung des Abschnittes aus verkehrlicher Sicht beschreibt. Aufgrund der angeführten Differenzierung hinsichtlich Netzverfügbarkeit bzw. der Systemzuverlässigkeit ist es auch sinnvoll und zweckmäßig den oben beschriebenen IB-Wert in den Nutzen zu integrieren. Dabei ist jedoch auf die Größenordnung des IB-Wertes zu achten, da eine geringe Spannweite der IB-Werte (in Relation zum Wertebereich des Gesamtwertes und des JDTV-Wertes) praktisch keine Auswirkungen auf die Ergebnisse hat. Im gegenständlichen Fall empfiehlt es sich, die IB-Werte in einen Index zu normieren, welcher dem Wertebereich der im PMS verwendeten Zustandsindizes entspricht (Skala 1 bis 5). Damit kann garantiert werden, dass die Netzverfügbarkeit bzw. die Systemzuverlässigkeit eine entsprechende Bedeutung bei der Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen einnimmt. Für die Ermittlung der Normierungsfunktion des IB-Wertes wurde ähnlich wie bei der ersten Ableitung der Normierungsfunktionen für die

Zustandsmerkmale die 95%-Perzentile der IB-Verteilung dem Schwellenwert (Indexwert von 4,5) gleichgesetzt. Daraus ergibt sich folgender mathematischer Zusammenhang.

$$IB_{Index} = 1 + 23,33 \cdot IB \quad [1 \leq IB_{Index} \leq 5]$$

mit:

IB_{Index}IB indexiert (normiert) [1-5]
 IB_tIB-Wert

In dieser Form kann der IB-Wert direkt in die Berechnung des Nutzens implementiert werden. Mathematisch wird der erweiterte Nutzen daher wie folgt beschrieben:

$$N_i = GW_{0,0} \cdot \sum_{t=t_0}^{t_E} [(GW_{0,t} - GW_{i,t}) \cdot JDTV_t \cdot IB_{Index}]$$

mit:

N_iNutzen der Erhaltungsstrategie i
 $GW_{0,t}$Gesamtwert zum Zeitpunkt t der „Nichts-Tun-Strategie“ [1-5]
 $GW_{0,0}$Gesamtwert zum Zeitpunkt 0 der „Nichts-Tun-Strategie“ [1-5]
 $GW_{i,t}$Gesamtwert zum Zeitpunkt t der Strategie i
 $JDTV_t$Gesamtverkehrsstärke zum Zeitpunkt t
 IB_{Index}IB indexiert (normiert) [1-5]
 t_0aktuelles Jahr
 t_EEndjahr der Maßnahmenperiode

7.6.2 ERWEITERTE GEWICHTUNG INFRASTRUKTURWERT

Wie bereits mehrfach erwähnt, bezieht sich der „Integrale Gedanke“ nicht nur auf die Einbeziehung von technischen Indikatoren sondern soll auch weiterführende Einflussgrößen berücksichtigen, wobei der Substanzwert des Straßenoberbaus die Ausgangslage darstellt. Bei diesem Wert handelt es sich letztendlich auch nicht um einen Wert, der einen einzelnen Abschnitt beschreibt, sondern um einen Indikator, der das Netz repräsentiert und daher entweder als Verteilung der Zustandsklassen, als Mittelwert oder als Rückstandslänge (Backlog) für ein bestimmtes Jahr und ein bestimmtes Erhaltungsszenario steht. Die Festlegung, in welchem Umfang ein Abschnitt Berücksichtigung findet, hängt von den abschnittsbezogenen Eigenschaften ab.

Die Ermittlung der Verteilung eines Indikators im Netz erfolgt in der Regel durch die Anwendung einer einfachen Längengewichtung. D.h. ein Straßenabschnitt, der sehr lang ist, hat auch in der Verteilung ein hohes Gewicht. Die 100% entsprechen somit der Gesamtlänge des Straßennetzes. Die nachfolgende Funktion zeigt die Berechnung der Längengewichtung für einen einzelnen Abschnitt j:

$$G_{Länge,j} = \frac{Länge_j}{\sum_j Länge_j}$$

mit:

$G_{Länge,j}$Längengewicht Abschnitt j
 $Länge_j$Länge Abschnitt j

Neben der Längengewichtung spielt die Flächengewichtung eine besondere Bedeutung, wobei anstatt der Länge lediglich die Fläche als Gewichtungsindikator herangezogen wird. Die 100% der Verteilung entsprechen dann der Gesamtfläche aller betrachteten Elemente (oder Abschnitte). In der nachfolgenden Formel ist aus Gründen der Vollständigkeit auch diese Gewichtung mathematisch beschrieben.

$$G_{\text{Fläche},k} = \frac{\text{Fläche}_k}{\sum_k \text{Fläche}_k}$$

mit:

$G_{\text{Fläche},k}$ Flächengewicht Element k
 Fläche_k Fläche Element k

Handelt es sich hingegen um Elemente, die keine Länge oder Fläche aufweisen (Punkte), so wird in der Regel keine Gewichtung vorgenommen.

Neben der hier beschriebenen „Regelgewichtung“, die aus statistischer Sicht angewendet werden muss, kann diese Gewichtung auch weitere Indikatoren aufnehmen, sodass neben der geometrischen Ausdehnung auch weitere Faktoren einfließen. Diese multivariate Gewichtung ist jedoch mit besonderer Vorsicht anzuwenden. Die verwendeten Indikatoren sollten zur Vermeidung von Doppelgewichtungen unabhängige Größen sein. So macht es z.B. keinen Sinn gleichzeitig eine Längen- und Flächengewichtung zu verwenden, da die Fläche und Länge in den meisten Fällen mathematisch verknüpft sind. Das Ergebnis einer multivariaten Gewichtung ist das Gesamtgewicht für den jeweiligen Abschnitt oder für das jeweilige Objekt.

Im Vergleich zu einer additiven Gewichtung, wo jeder Einzelindikator mit einem eigenen Gewicht versehen wird und die Festlegung der Einzelgewichte oft nicht eindeutig erfolgen kann, geht es bei der multiplikativen Gewichtung nur darum, einem bestimmten Zielindikator (hier ist dies der Technische Substanzwert) eines Abschnittes eine weitreichende Bedeutung im Netz zuzuordnen. Dies entspricht genau der gegebenen Fragestellung, sodass diese Methode zur Anwendung gelangt. Die nachfolgende Formel zeigt den allgemeinen Ansatz dieser Gewichtung, wobei das „Längengewicht“ aus Gründen der Nachvollziehbarkeit dem Produkt vorangestellt wurde.

$$G_{\text{gesamt},j} = \frac{\text{Länge}_j \cdot \prod_1^n \text{Ind}_{n,j}}{\sum_j \left(\text{Länge}_j \cdot \prod_1^n \text{Ind}_{n,j} \right)}$$

mit:

$G_{\text{gesamt},j}$ Gesamtgewicht (integrales Gewicht) eines Abschnitts j
 Länge_j Länge Abschnitt j
 Ind_{n,j} Indikator n im Abschnitt j

Durch die Berücksichtigung dieser zusätzlichen Indikatoren kann im gegenständlichen Fall von einem integralen Gewicht gesprochen werden, das jedem Abschnitt für alle weiterführenden statistischen Auswertungen (z.B. Mittelwert, Verteilung) auf der integralen Ebene zugeordnet werden muss. Die Berücksichtigung der zusätzlichen Indikatoren in einem Produkt ist auch eine sehr flexible Lösung, die es erlaubt, Indikatoren auszutauschen oder zu

ergänzen. Es ist jedoch auch in diesem Fall auf die Wertebereiche (Spannweite) der Indikatoren zu achten, sodass gegebenenfalls erst eine Normierung auf einen größeren Wertebereich zu einem zufriedenstellenden Ergebnis führen kann.

7.6.3 AUSWIRKUNGEN DER NETZGEWICHTUNG IM NUTZEN

Wie in Kapitel 7.6.1 bereits erwähnt, ist es sinnvoll und zweckmäßig die Netzgewichtung in den Nutzen von Maßnahmen zu integrieren, da es diesen wertmäßig, der Abschnittsensitivität entsprechend, erhöht. Die Ergebnisse der Analysen sind in Abbildung 49 dargestellt. Sowohl der Substanzwert Gesamt (SI14_{gesamt}) als auch der Gebrauchswert Sicherheit (GI14_{Sicherheit}) zeigen nur eine geringe Änderung im Verlauf des Erhaltungsrückstandes. Dies bedeutet, dass die in der Standardanalyse verwendete Gewichtung des Nutzens bei der langfristigen Betrachtung nur geringe Unterschiede zur Netzgewichtung im Nutzen aufweist. Kurz- und mittelfristig ist eine geringfügige Differenz erkennbar.

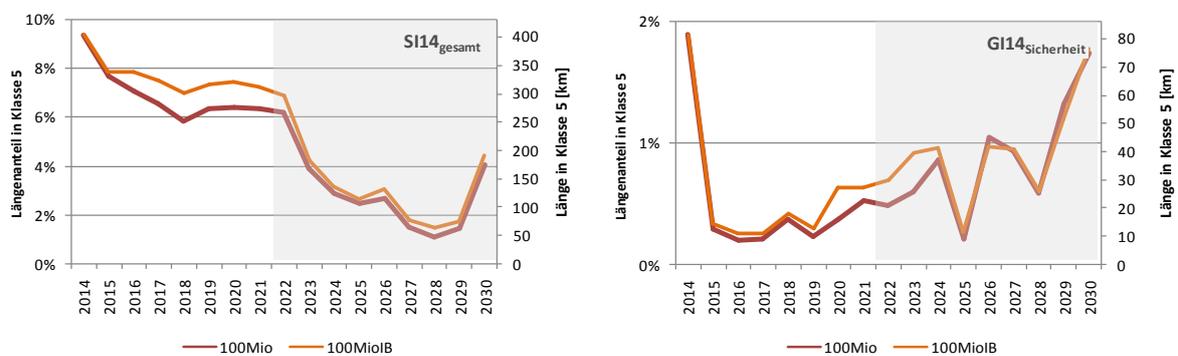


Abbildung 49: Backlog Klasse 5 SI14_{gesamt} und GI14_{Sicherheit}

7.7 NETZGEWICHTETER SUBSTANZWERT (INFRASTRUKTURWERT)

Wie bereits erwähnt, kann die Auswahl der Indikatoren für eine Netzgewichtung sehr flexibel erfolgen, es sollte jedoch einerseits die primäre Zielsetzung im Hinblick auf die Aussagekraft und andererseits eine größtmögliche Unabhängigkeit zwischen den Indikatoren sichergestellt werden. Im Zuge der mit dem Auftraggeber bereits durchgeführten Diskussionen „über den integralen Ansatz“ der Darstellungen in den beiden Zwischenberichten sowie der darauf folgenden Untersuchungen wurden folgende 2 Indikatoren ausgewählt:

1. Gesamtverkehrsbelastung (JDTV-Wert): die Verkehrsbelastung repräsentiert die verkehrliche Situation auf den einzelnen Straßenabschnitten im Netz.
2. IB-Wert: der IB-Wert repräsentiert neben der räumlichen Bedeutung eines Straßenabschnittes im Netz auch den Einfluss auf die Netzverfügbarkeit bzw. die Systemzuverlässigkeit.

Vor allem beim zweiten Wert ist ersichtlich, dass er wiederum eine Vielzahl von Einflussgrößen beinhaltet, die unterschiedliche Aspekte der Straßeninfrastruktur beleuchten. Von wesentlicher Bedeutung ist der Umstand, dass der integrale Gedanke durch eine Kombination aus struktureller Beschaffenheit, ausgedrückt durch den Technischen Substanzwert (= Zielwert der Gewichtung), mit verkehrlicher und räumlicher Bedeutung (in Kombination mit Netzverfügbarkeit, Einfluss anderer Anlagen und Systemzuverlässigkeit) umgesetzt werden kann.

Neben diesen beiden Indikatoren bzw. den darin enthaltenen Einflussgrößen wurde sowohl das Anlagevermögen als auch der Gebrauchswert als mögliche Einflussgrößen diskutiert. Da sich das Anlagevermögen für den Straßenoberbau direkt aus dem Substanzwert (über eine lineare Funktion) ableitet, würde eine zusätzliche Gewichtung praktisch keine Änderungen am Ergebnis bewirken. Die Lastklassenabhängigkeit der Funktion des Anlagevermögens wird von der wesentlich genaueren tatsächlichen Verkehrsbelastung übernommen, sodass auch dieser Umstand bereits Berücksichtigung findet.

Etwas mehr Diskussionsbedarf ergibt sich beim Gebrauchswert. Da der Netzgewichtete Substanzwert (Infrastrukturwert) von vornherein als Wert zur Beurteilung der Substanz herangezogen werden soll, erscheint es nach den ersten Untersuchungen sinnvoll und zweckmäßig, nicht den auf die Verkehrssicherheit und den Komfort bezogenen Gebrauchswert in die Gewichtung aufzunehmen. Darüber hinaus sind bestimmte Eingangsgrößen für den Gebrauchswert (IRI, Spurrinntiefe) ebenfalls im Substanzwert enthalten (siehe Bildungsgesetz Teilwerte in Abbildung 7 und Abbildung 8). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist auch die Tatsache, dass der Gebrauchswert Sicherheit bereits mit einem Grenzwert behaftet ist (< 3% in Zustandsklasse „sehr schlecht“) und dass Abschnitte, die eine Überschreitung aufweisen, sehr rasch saniert werden müssen, was zwangsweise nicht mit einer schlechten strukturellen Beschaffenheit im Zusammenhang stehen muss (z.B. schlechte Griffigkeit).

Anhand der oben beschriebenen Überlegungen sowie der durchgeführten Untersuchungen wird für den Netzgewichteten Substanzwert (Infrastrukturwert) folgende abschnittsbezogene Gewichtung vorgeschlagen, wobei aufgrund der geringen Spannweite des ursprünglichen IB-Wertes der normierte Index (Berechnung siehe Kapitel 7.6.1) herangezogen wird:

$$G_{gesamt, SIN14,j} = \frac{Länge_j \cdot JDTV_j \cdot IB_{Index,j}}{\sum_j (Länge_j \cdot JDTV_j \cdot IB_{Index,j})}$$

mit:

$G_{gesamt, SIN14,j}$ Gesamtgewicht Netzgewichteter Substanzwert eines Abschnitts j
 Länge_j Länge Abschnitt j [km]
 JDTV_j Gesamtverkehrsstärke auf Abschnitt j [Kfz/24h]
 IB_{Index,j} IB indexiert (normiert) auf Abschnitt j [1-5]

Die mathematische Formulierung zeigt sehr deutlich, dass die Lösung überschaubar ist und auch sehr einfach, ggf. mit aus der Sicht des Auftraggebers notwendigen Erweiterungen, versehen werden kann.

Der Netzgewichtete Substanzwert $SIN14_{gesamt}$ ist daher der Technische Substanzwert unter Berücksichtigung der erweiterten Gewichtung über die Gesamtverkehrsbelastung JDTV und den indexierten IB-Wert der Netzanalysen. Es kann daher auch von einem Infrastrukturwert gesprochen werden, der den „integralen Gedanken“ des Projektes umsetzt.

In der nachfolgenden Abbildung 50 sind die Zustandsverteilungen und –entwicklungen für das 100 Mio. € Szenario in Form einer Gegenüberstellung zwischen dem Technischen Substanzwert $SIT14_{gesamt}$ und dem Netzgewichteten Substanzwert $SIN14_{gesamt}$ aufbereitet.



Abbildung 50: Zustandsverteilung und -entwicklung $SIT14_{gesamt}$ und $SIN14_{gesamt}$

Beide Verteilungen in Abbildung 50 zeigen einen ähnlichen Verlauf, wobei der Anteil in der Zustandsklasse „sehr schlecht“ aufgrund der erweiterten Gewichtung beim $SIN14_{gesamt}$ kurz- und mittelfristig deutlich niedriger ausfällt. Dies bedeutet, dass der Einsatz der zur Verfügung gestellten Budgetmittel im Szenario 100 Mio. €/Jahr auch aus der Sicht der Verkehrsbelastung und der Systemzuverlässigkeit optimal ausfällt. Abschnitte mit hoher Verkehrsbelastung und hoher Netzsensitivität werden gegenüber Abschnitten mit geringerer Netzsensitivität bevorzugt behandelt. Dies entspricht auch im weiteren Sinn einer starken Kunden- bzw. Nutzerorientierung des Erhaltungsmanagements.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Anteile in den einzelnen Zustandsklassen der Verteilungen des Netzgewichteten Substanzwertes $SIN14_{gesamt}$ aufgrund der erweiterten Gewichtung nicht mehr einem Längenanteil am Gesamtnetz entsprechen. Der auf der Ordinate angegebene Prozentwert muss daher als „Prozentwert bewertete Infrastruktur“ interpretiert werden und ist daher an keine physikalische Größe gebunden. Der Rückstand (Anteil in der Zustandsklasse „sehr schlecht“) ist daher jener Anteil der bewerteten Infrastruktur, der aufgrund seiner strukturellen Beschaffenheit, der damit verbundenen Verkehrsbelastung und der Systemzuverlässigkeit als „sehr schlecht“ eingestuft wurde.

In analoger Weise zu Kapitel 6.3.2 kann auch für den Netzgewichteten Substanzwert $SIN14_{gesamt}$ die Verteilungsfunktion definiert werden, wobei der einzige Unterschied zwischen

den Verteilungen in der erweiterten Gewichtung gegeben ist, die es erlaubt, neben der Abschnittslänge auch die Gesamtverkehrsstärke JDTV und den indexierten IB-Wert zu berücksichtigen (siehe hierzu Kapitel 7.7). Die Verteilung des Netzgewichteten Substanzwertes $F_{SIN14,gesamt}: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ beinhaltet somit die mathematische Umsetzung des „integralen Gedankens“ und kann daher auch als Infrastrukturwert bezeichnet werden. Die mathematische Formulierung ergibt sich daher wie folgt:

$$F_{SIN14,gesamt}(5) := P(SIT14_{gesamt} \leq 5) \text{ mit der Abschnittsgewichtung } G_{gesamt, SIN14,j}$$

und mit:

$F_{SIN14,gesamt}$ Verteilungsfunktion Netzgewichteter Substanzwert gesamt
 $G_{gesamt, SIN14,j}$ Gesamtgewicht Netzgewichteter Substanzwert eines Abschnitts j
 $SIT14_{gesamt}$ Technischer Substanzwert gesamt

7.8 RESÜMEE NETZGEWICHTETER SUBSTANZWERT

Der Netzgewichtete Substanzwert als Ergebnis einer erweiterten Gewichtung liefert natürlich eine gute Aussage im Hinblick auf eine ganzheitliche Bewertung der Straßeninfrastruktur. Neben der Verkehrsbelastung und der Systemzuverlässigkeit spielt dabei vor allem die Beschreibung der Netzeigenschaften eine wesentliche Rolle. Im Zuge des gegenständlichen Projektes wurden diesbezüglich bestimmte Annahmen getroffen, die aus der Sicht des Projektteams eine erste Grundlage für eine Beschreibung dieser Netzeigenschaften liefern. Die ermittelten IB-Werte sind dabei das Ergebnis umfangreicher Simulationen, die mit anderen bzw. veränderten Netzeigenschaften (Kanten und Terminals bzw. Kapazitäten) auch zu anderen Ergebnissen führen können. Zum jetzigen Zeitpunkt ist es daher nicht sinnvoll und zweckmäßig eine Grenzwertdiskussion über den Netzgewichteten Substanzwert zu führen, sofern nicht diese Eingangsgrößen durch die ASFiNAG fixiert werden.

Ungeachtet des derzeitigen Standes in der Entwicklung eines Netzgewichteten Substanzwertes hat dieser Indikator in seiner Funktion als Infrastrukturwert ein hohes Potential für die Anwendung auf strategischer Ebene. Er kann entsprechend den Vorgaben sehr einfach erweitert werden und ermöglicht auch die Bewertung der Straßeninfrastruktur aus ganzheitlicher Sicht, sofern der Einfluss anderer Anlagen bei der Berechnung der Systemzuverlässigkeit zum Tragen kommt. In diesem Fall sollte ausschließlich von einem Infrastrukturwert gesprochen werden.

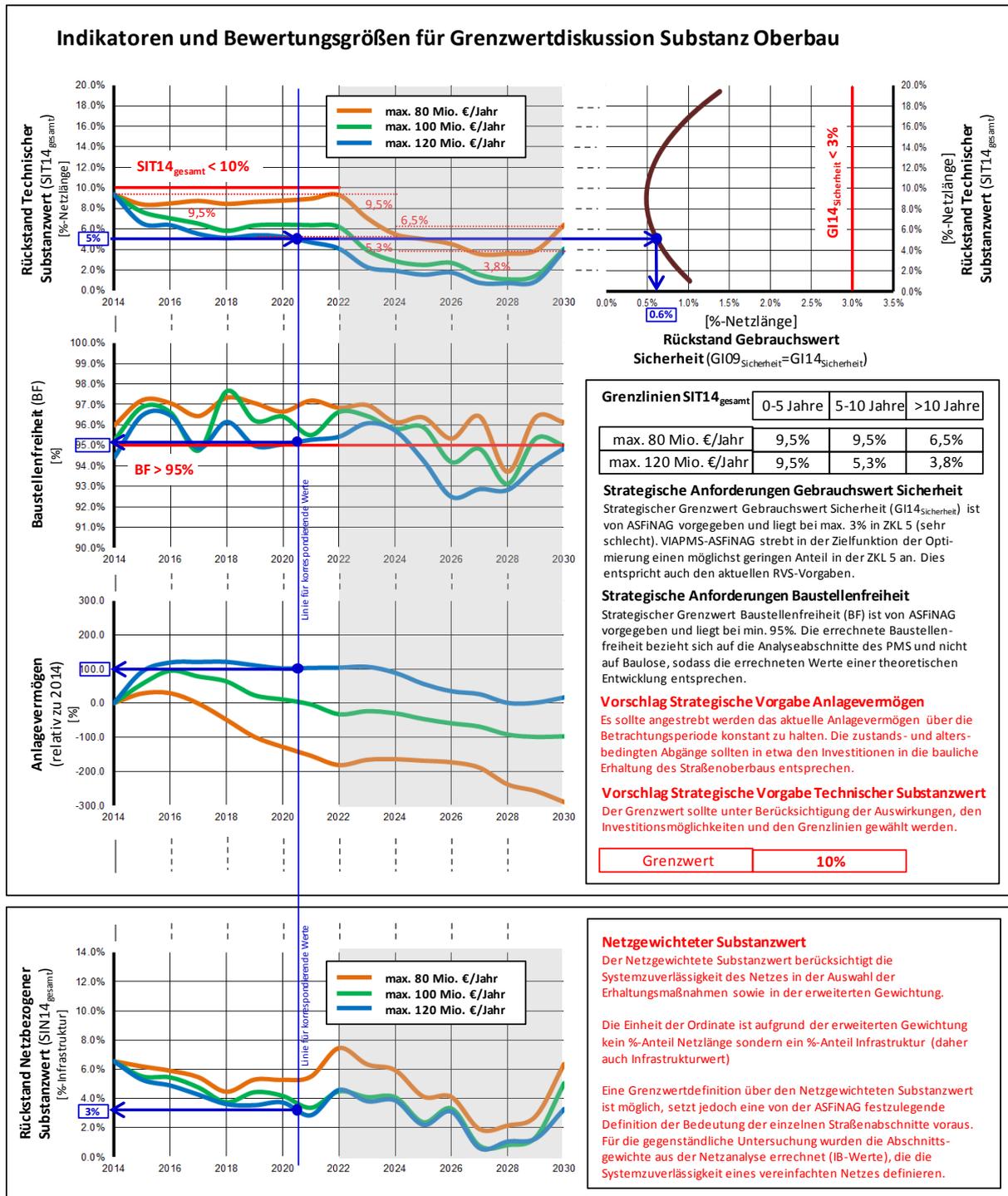


Abbildung 51: Gegenüberstellung Indikatoren mit Netzgewichtetem Substanzwert (Infrastrukturwert)

Als mögliche Ergänzung im Rahmen der Grenzwertüberlegungen des Technischen Substanzwertes ist in der Abbildung 51 auch die Entwicklung des Rückstandes Netzgewichteter Substanzwert dargestellt. Somit ist ein direkter Vergleich zwischen den vorgeschlagenen Grenzwerten und den Auswirkungen im Bereich der erweiterten Gewichtung möglich (siehe unterer Bereich in Abbildung 51).

8. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Grenzwerte sind Zielvorgaben, die auf unterschiedlichen Ebenen zur Anwendung gelangen können oder müssen. Dabei spielen neben rein technischen Vorgaben, die auf einzelne Elemente oder Objekte der Straßeninfrastruktur angewendet werden, auch strategische Anforderungen eine zunehmende Rolle im Entscheidungsprozess des Erhaltungsmanagements. Das Hauptziel von **ELISA^{ASFINAG}** besteht in der Entwicklung von Grundlagen für die Definition eines strategischen Erhaltungszieles für einen Substanzwert, in der Darstellung der Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu anderen, zielbehafteten Indikatoren und in der Bereitstellung eines ablauffähigen Algorithmus für das PMS der ASFINAG. Die „Integrale Idee“ besteht dabei in der Verknüpfung von Substanzindikatoren mit der Netzverfügbarkeit zu einem holistischen Konzept.

Von wesentlicher Bedeutung ist auch die Übernahme der Erkenntnisse der letzten Jahre bei der Bewertung der Substanz. Vor allem die Bewertung des Alters der Deckschichten und der inneren strukturellen Beschaffenheit beruht auf Daten und Festlegungen, die vor mehr als 13 Jahren entwickelt wurden und daher den Vorgaben eines modernen, nachhaltigen Erhaltungsmanagements nur mehr bedingt entsprechen.

Im Zuge einer engen Kooperation des Projektteams mit der ASFINAG und dem BMVIT (Workshop) wurden die derzeitigen strategischen Ziele des Erhaltungsmanagements einer umfassenden Diskussion und Bewertung unterzogen. Speziell die Verknüpfung der Personen- und Interessensgruppen (Stakeholder) mit den strategischen Erhaltungszielen ermöglicht eine einfache und nachvollziehbare Zuordnung zu den beschreibenden Indikatoren, Kennwerten und Randbedingungen für die Planung und Durchführung der erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen und somit auch für eine Auswahl eines „Integralen Substanzwerts“. Die daraus resultierende „Bewertungsmatrix“ liefert dabei die Grundlage für die nachfolgenden durchgeführten PMS- und Netzanalysen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung der Simulationen und Analysen ist die Ergänzung bzw. Überarbeitung der Systemkonfiguration von VIAPMS_ASFINAG vor dem Hintergrund der im Workshop gesammelten Erkenntnisse sowie der in den letzten Jahren gewonnenen Erfahrungen im Hinblick auf die Modifikation der Substanzbewertung. Dazu wurden die auf einzelne Straßenabschnitte anzuwendenden Algorithmen entsprechend

erweitert, wobei aus Gründen der Vergleichbarkeit (alter und neuer Substanzwert) die bis dato verwendeten Algorithmen ebenfalls im System beibehalten werden.

Durch die vorgenommenen Änderungen in der Berechnung des Substanzwertes ist es nun möglich, den tatsächlichen strukturellen Zustand des Oberbaus der Straße in Verbindung mit der ingenieurmäßigen Beurteilung besser abzubilden. Der starke Einfluss des Alters auf den Substanzwert Decke wird abgemindert und Oberflächeneigenschaften haben einen größeren Einfluss auf das Ergebnis. Auch die modifizierte dickengewichtete Ermittlung des Substanzwertes Gesamt anstatt der bisher verwendeten Durchschlagsregel des Maximums von Substanzwert Decke und Substanzwert Tragschicht ermöglicht eine bessere, realistischere Beurteilung der Gesamtsubstanz des Straßenoberbaues.

Der den Analysen und Simulationen zu Grunde liegende Berechnungsalgorithmus basiert auf den im „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009“ [1] beschriebenen Modellen und Verfahren und hat nach wie vor seine Gültigkeit.

Als Ergebnis der Analysen (7 unterschiedliche Budgetszenarien) und der Netzsimulationen, die auch die Beziehungen unterschiedlicher Kennwerte zueinander beinhalten, lassen sich folgende Grundlagen für eine Grenzwertdiskussion für den Substanzwert zusammenfassen:

- Vergleich und Darstellung der Veränderungen im Hinblick auf die neuen Verknüpfungsvorschriften bei der Berechnung des Substanzwertes
- Zustandsverteilungen und –verläufe des Erhaltungsrückstandes (engl. Backlog, entspricht dem Längenanteil in der Zustandsklasse „sehr schlecht“) des alten und neuen Technischen Substanzwertes (Teilwerte Substanz und Substanzwert Gesamt)
- Mathematischer Zusammenhang zwischen „neuem“ Technischen Substanzwert Gesamt und Gebrauchswert Sicherheit
- Entwicklung des Anlagevermögens für unterschiedliche Investitionen
- Auswirkungen von Investitionen im Bereich der Oberbauerhaltung auf den Straßennutzer in Form der Maßnahmenbeeinträchtigung bzw. der Baustellenfreiheit
- Vergleich mit Substanzwertdiskussionen in Deutschland

Darüber hinaus wurde als mögliche spätere Erweiterung die Integration der Netzgewichtung (Netz- bzw. Systemzuverlässigkeit) in den PMS-Berechnungsalgorithmus durch eine Berücksichtigung der Nutzenfunktion und eines daraus ableitbaren Netzgewichteten Substanzwertes (Infrastrukturwert) aufgezeigt. Dazu fehlen derzeit die notwendigen strategischen Basisfestlegungen.

Die aus dem Bearbeitungsprozess gewonnenen Erkenntnisse sind für eine Grenzwertdiskussion (Vorschlag für einen strategisch akzeptablen Erhaltungsrückstand) von wesentlicher Bedeutung. Es handelt sich dabei um folgende allgemeine Vorgaben:

- Die Verwendung von Grenzwerten bedarf einer klaren und nachvollziehbaren Vorgehensweise bei der Berechnung der dem Grenzwert zugeordneten Indikatoren (Übersetzung von generellen strategischen Vorgaben in technische Indikatoren).
- Unterschiedliche Indikatoren können unterschiedliche Beziehungen zueinander aufweisen, deshalb sind auch entsprechende Grenzwerte nicht unabhängig voneinander zu betrachten.
- Grenzwerte sind netzabhängige Größen, da sie sich auf eine bestimmte Straßeninfrastruktur mit bestimmten Eigenschaften beziehen
- Grenzwerte können über ein- oder mehrere Indikatoren festgelegt werden, die zum Teil auch Zeitabhängigkeiten aufweisen
- Bestimmte Kombinationen können zu unverträglichen Lösungen führen (z.B. Steigerung des Anlagevermögens um 20% bei einer Baustellenfreiheit von 99% am Bestandsnetz)
- Die eingesetzten Verfahren und Methoden bei der Beurteilung der Auswirkungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Grenzwertproblematik. Eine einfache Prioritätenreihung liefert andere Ergebnisse als die Lebenszykluskostenanalyse und daher auch andere Abhängigkeiten.

Unter Berücksichtigung dieser Vorgaben sowie der ermittelten Zusammenhänge wurden folgende maßgebenden Indikatoren und Bewertungsgrößen für die Ausarbeitung eines Grenzwertvorschlages für den Backlog Substanzwert definiert:

- Technischer Substanzwert ($SIT14_{gesamt}$)
- Gebrauchswert Sicherheit ($GI09_{Sicherheit} = GI14_{Sicherheit}$)
- Anlagevermögen (AV)
- Baustellenfreiheit (BF)

Für den Backlog Gebrauchswert Sicherheit und die Baustellenfreiheit existieren im Rahmen der ASFINAG bereits konkrete strategische Vorgaben.

Von wesentlicher Bedeutung sind weiters der Technische Substanzwert und das Anlagevermögen. Obwohl das Anlagevermögen vom Substanzwert abgeleitet wurde, erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, diesen Kennwert als bewertungsrelevante Größe zu verwenden, da er eine Aussage im Hinblick auf die Auswirkungen der Investitionen im Bereich der baulichen Straßenerhaltung ermöglicht. Mit der Entwicklung des Anlagevermögens kann sehr gut gezeigt werden, welchen Beitrag die jährlichen Investitionen im Bereich der baulichen Straßenerhaltung zum Anlagevermögen einnimmt.

Abbildung 52 und Abbildung 53 zeigen die ermittelten Entwicklungen für den Technischen Substanzwert Gesamt und das Anlagevermögen für den kurzfristigen und mittelfristigen (strichlierte Kurven) Planungshorizont.

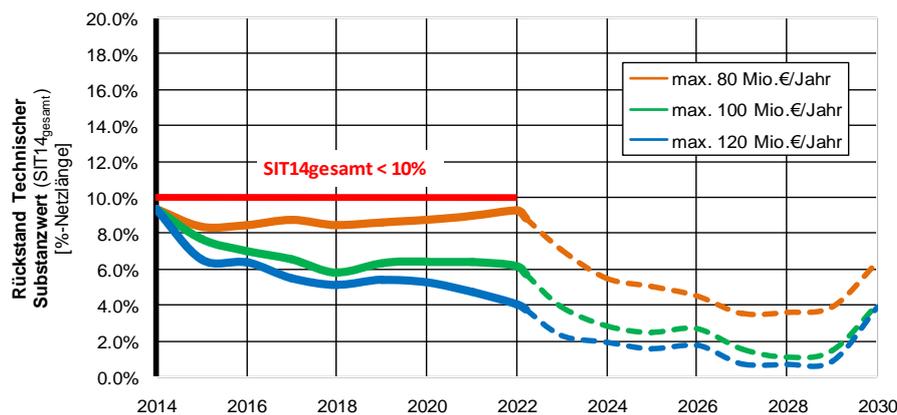


Abbildung 52: Entwicklungslinien Rückstand Technischer Substanzwert Gesamt für 3 Budgetszenarien

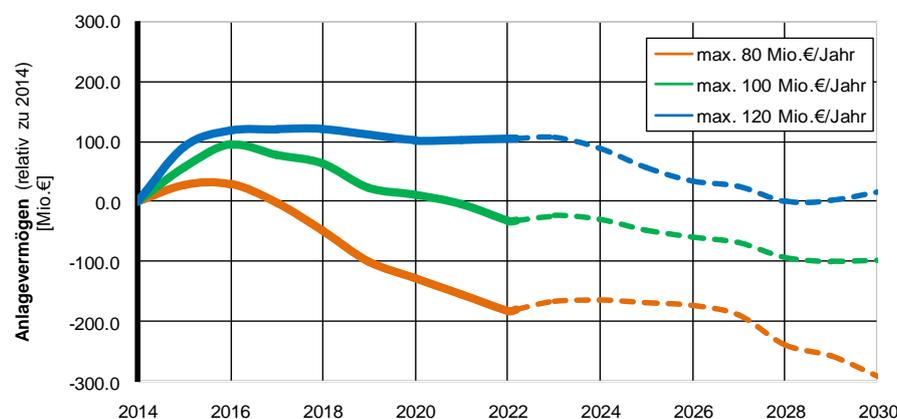


Abbildung 53: Entwicklungslinien Anlagevermögen für 3 Budgetszenarien

In einem letzten Schritt wurden die Entwicklungslinien der optimierten Analyseergebnisse mit dem Infrastruktur-Investitionsprogramm 2014-2020 verglichen. Dabei zeigt sich sehr deutlich und wie auch erwartet, dass die Entwicklung des Rückstandes Technischer Substanzwert Gesamt aus dem Infrastruktur-Investitionsprogramm 2014-2020 von den ermittelten Verläufen aus der PMS-Optimierung abweicht. Die Ursache hierfür liegt einerseits in der Bildung der tatsächlichen Baulose (mögliche Verkehrsführung, Umfang der eingebundenen Anlagen etc.) andererseits aber auch bei der Verknüpfung von Erhaltungsnotwendigkeiten verschiedener Anlagen (Brücke, Tunnel, Entwässerung, Lärmschutz, etc.) zu einem Gesamtprojekt. Dies bedeutet für die Praxis, dass die aus der Sicht des Straßenoberbaues optimale Lösung in der Realität nicht immer erreicht werden kann.

Es zeigt sich aber auch, dass das Infrastruktur-Investitionsprogramm 2014-2020 womöglich Verbesserungspotential besitzt, sodass ein Grenzwert, der mit dem aktuellen Programm in den nächsten Jahren nicht erreicht werden kann, zu einer weiteren Optimierung der Maßnahmen bei der praktischen Umsetzung führen kann.

Anhand dieser Überlegungen und der ermittelten Ergebnisse liefert **ELISA^{ASFINAG}** folgenden Grenzwertvorschlag für die Substanzbewertung des Straßenoberbaus im ASFiNAG-Netz:

- **Maximaler Anteil Rückstand Technischer Substanzwert Gesamt von 10%** mit zulässigen kurz- und mittelfristigen Abweichungen von +3%
- **Konstante Entwicklung des Anlagevermögens** (Nachhaltigkeit) unter Berücksichtigung des Kundenziels „Baustellenfreiheit“ von >95%
- **Kundenorientierte Erhaltung** mit Schwerpunkt Verkehrssicherheit (**Maximaler Rückstand Gebrauchswert Sicherheit von 3%**) und Einsatz von möglichst effizienten Erhaltungsmaßnahmen vor dem Hintergrund einer umfassenden **Lebenszykluskostenbetrachtung** mit Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Auswahloptimierung (PMS-Ansatz)

Es sei hier nochmals explizit darauf hingewiesen, dass die Definition der Analyseabschnitte einen sehr sensitiven Einfluss auf das Ergebnis hat, sodass die Entwicklung des Straßenzustandes wesentlich vom Algorithmus zur Bildung dieser Abschnitte abhängig ist. Es wird daher empfohlen, den derzeitigen Algorithmus, welcher in erster Linie für die Betrachtung auf Objektebene (Technikerebene) entwickelt wurde und nicht für eine strategische Analyse auf Netzebene, an die aktuellen Anforderungen anzupassen bzw. zu erweitern (z.B. längere verhaltenshomogene Abschnitte für strategische Analyse). Damit könnte sicher gestellt werden, dass vor allem die langfristige Prognose einen besseren Praxisbezug aufweist (Wegfall der progressiven Zustandsverbesserung aufgrund der Sanierung von kurzen Einzelabschnitten über das gesamte Netz).

Für die praktische Umsetzung des Grenzwertvorschlages ist es daher erforderlich, die Strategiedokumente mit den neuen Erkenntnissen zu verknüpfen und diese entsprechend in den Geschäftsprozessen zu verankern. Dies bedeutet aber auch, dass die Werkzeuge und Tools (VIAPMS_ASFiNAG) unter Heranziehung des neuen Formalismus ergänzt und erweitert werden müssen. Vor allem die Definition von Analyseabschnitten, wie bereits erwähnt, und die Anpassung des Maßnahmenkatalogs (z.B. Umschreibung der technischen Anwendungsgrenzen an die neuen Teilwerte Substanz) sind von wesentlicher Bedeutung.

LITERATUR

- [1] Weninger-Vycudil A., Simanek P., Rohringer T. und Haberl J.: *Handbuch Pavement Management in Österreich 2009*. Straßenforschung im Auftrag der ASFINAG und des BMVIT, Heft 584, Wien 2010
- [2] Weninger-Vycudil A., Petschacher M., Litzka J. und Gragger K.: *Asset Management Report 2012*, ARGE-Betreuung ASFINAG-EMS im Auftrag der ASFINAG, Wien 2012 (unveröffentlicht)
- [3] Fromm, Schinagl, Eberl, Neumann, Liskounig, Gabl, Harbauer, Gragger und Antony: *ASFINAG-Erhaltungsstrategie*. ASFINAG Service GmbH und ASFINAG Alpenstraßen GmbH, Wien 2012
- [4] Deix, S., Weninger-Vycudil, A., Litzka, J., Maerschalk, G., Bevc, L., Alten, K., and O'Connor, A. J. (2012): *PROCROSS Deliverable No. 4, Final Report – Development of Procedures for Cross Asset Management Optimisation*, Project initiated by ERA-NET Road, Vienna.
- [5] Lepert, P., and Weninger-Vycudil, A. (2012): *EVITA: Environmental key performance indicators, ENR-project EVITA*. Proceedings EPAM 4, Malmö, Sweden.
- [6] J. Litzka, et.al. (2008): *The Way Forward for Pavement Performance Indicators Across Europe*, COST Action 354 Performance Indicators for Road Pavements Final Report, FSV – Austrian Transportation Research Association, Vienna, Austria.
<http://cost354.zag.si/>
- [7] Molzer C., Felsenstein K., Weninger-Vycudil A., Litzka J. und Simanek P.: *Statistische Auswertung der Zustandsdaten der messtechnischen Zustandserfassung 1999 und der visuellen Zustandserfassung 2000 auf dem ASFINAG-Netz*. Auftrag der ASFINAG, Schlussbericht (unveröffentlicht), November 2002
- [8] Weninger-Vycudil A.: *Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches PMS*. Dissertation, ausgeführt am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, 2001
- [9] Wistuba, M., Weninger-Vycudil, A., Mladenovic, G., Alisov, A., Litzka, J.: *InteMat4PMS – Integration of material-science based performance models into life-cycle-analysis processes in the frame of pavement management systems*. ENR-project InteMat4PMS. Final Report, 2013
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen*. ZTV ZEB-StB, Stand 2006.

-
- [11] Oertelt, S.; Maerschalk, G.; Krause, G.:
Verbesserung der praxisnahen Bewertung des Straßenzustandes. Forschung
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 950, 2007
- [12] Maerschalk, G.; Krause, G.:
Erstanwendung der vorliegenden Algorithmen für die Erhaltungsplanung in
ausgewählten Bauämtern. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft
878. Bonn 2004.
- [13] Oefner, G.; Kienlein, E.; Nußrainer, C.; Pindur-Nakamura, A.:
Erweitern des streckenbezogenen Substanzwertes im System ZEB um Kriterien wie
Belastung, Aufbau, Alter und Tragfähigkeit – Testen und Abstimmen von
Bewertungskonzepten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 783,
Bonn 2000.
- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsausschuss
Systematik der Straßenerhaltung: FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung.
Reihe S Substanzwert (Bestand). Ausgabe 2003. Köln.
- [15] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Fahrzeug und
Fahrbahn: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
RStO 01. Ausgabe 2001. Köln.
- [16] Schmuck, A.; Hehenberger, F.:
Mängelursachen, Erhaltungsmaßnahmen und Auswirkungen auf das künftige
Zustandsniveau – Entwicklung einer Systematik für das Management der
Straßenerhaltung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 652,
Bonn-Bad Godesberg, 1993.
- [17] SEP Maerschalk (in Bearbeitung)
Weiterentwicklung des Substanzwertes Gesamt im PMS. Forschungs- und
Entwicklungsprojekt FE 04.228/2009/MRB des Bundesministerium für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen.
- [18] Hinsch, K.; Krause, G.; Maerschalk, G.; Rübensam, J.:
Standardprognose des Erhaltungsbedarfs der Fernstraßeninfrastruktur bis 2015.
Schlussbericht zum Projekt-Nr. 28.004/1999/ des Bundesministeriums für Verkehr,
Bau- und Wohnungswesen. München, Dezember 2002.
- [19] RVS 13.01.16 – Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und
Betondecken. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2012
- [20] RVS 13.01.15 - Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem
System RoadSTAR. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2006
- [21] Barlow, R.E., Proschan, F., Statistical theory of reliability and life testing, Holt, Rinehart
and Winston, New York, 1975

ANHANG A

Workshop „Erhaltungsstrategie integraler Substanzwert im Anlagemanagement der ASFiNAG“ 15.10.2013

Teilnehmerliste

15.10.2013

Name	Abteilung	E-Mail
HORVATHS JOHANN	BMVIT, WISZ-TECHNIK UND VERKEHRSSICHERHEIT	jo.hann.horvath@bmvit.gv.at
PETSCHACHER MAERUS	PEC ZT-GmbH	mp@petschacher.at
ANTHOFER MICHAEL	ASFINAG SG/BH/OMS	michael.anthofer@asfinag.at
KREMEK MARIO	ASFINAG HLD/TK	mario.kremek@asfinag.at
HOFBAUER Thomas	BKVIT II/ST1	thomas.hofbauer@bmvit.gv.at
Maerschalk Günther	Imp.-Büro SEP	maerschalk@sep-maenschalk.de
LITZKA Inram	ZT-Büro Litza	jlitzka@aon.at
GRAGGEN KARL	ASFINAG/SG/BH/EH1	Karl.Graggen@asfinag.at

Präsentation

VIF-Projekt

ELISA^{ASFINAG}

**Erhaltungsstrategie integraler Substanzwert im
Anlagenmanagement der ASFiNAG**

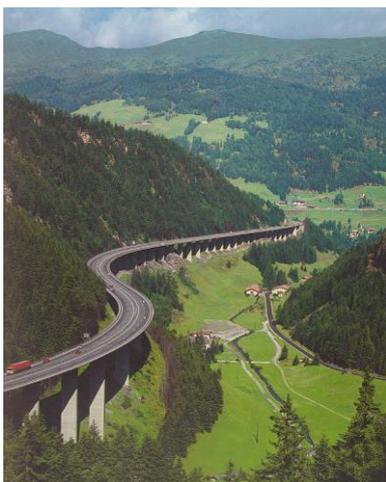
Workshop 15.10.2013



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

INHALT

2



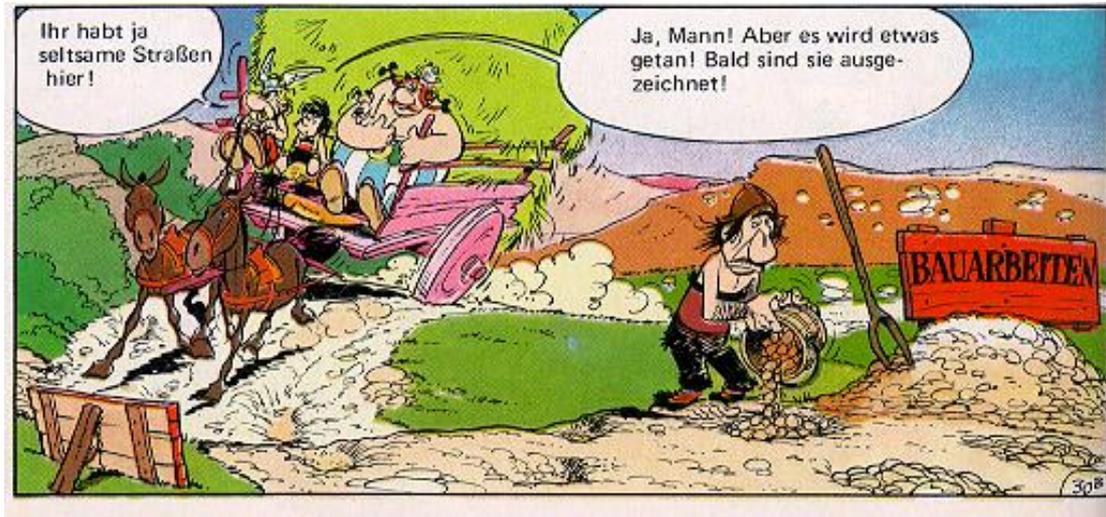
- **Begrüßung**
- **Vorstellung des Projektes**
 - Zielsetzung
 - Arbeitsprogramm
- **Definition Personen- und Interessensgruppen (Stakeholders)**
- **Definition strategische Erhaltungsziele im ASFiNAG-Netz**
- **Verknüpfung Erhaltungsziele Personen- und Interessensgruppen**
- **Indikatoren zur Beschreibung der Erhaltungsziele**
 - Bewertungsmatrix
 - Grenzwerte
- **Sonstiges und weitere Vorgehensweise**



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

PROJEKTVORSTELLUNG

3



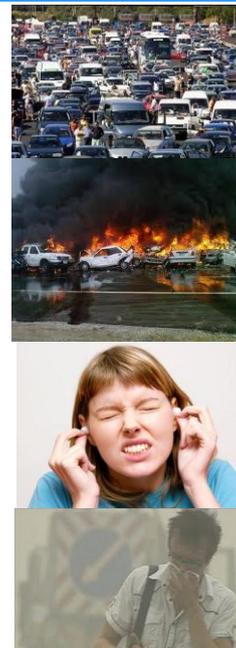
Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

Vorstellung des Projektes

Zielsetzung

4

ELISA^{ASFINAG} zielt auf die Entwicklung von Grundlagen für die Festlegung eines strategischen Erhaltungszieles für einen „Integralen Substanzwert“ hin. Die „Integrale Idee“ besteht dabei in der Verknüpfung von Substanzindikatoren mit anderen Indikatoren (Verkehrssicherheit, Anlagevermögen, etc.) und der Netzverfügbarkeit zu einem Gesamtkonzept, das mittels eines Algorithmus in das PMS der ASFiNAG implementiert werden kann.

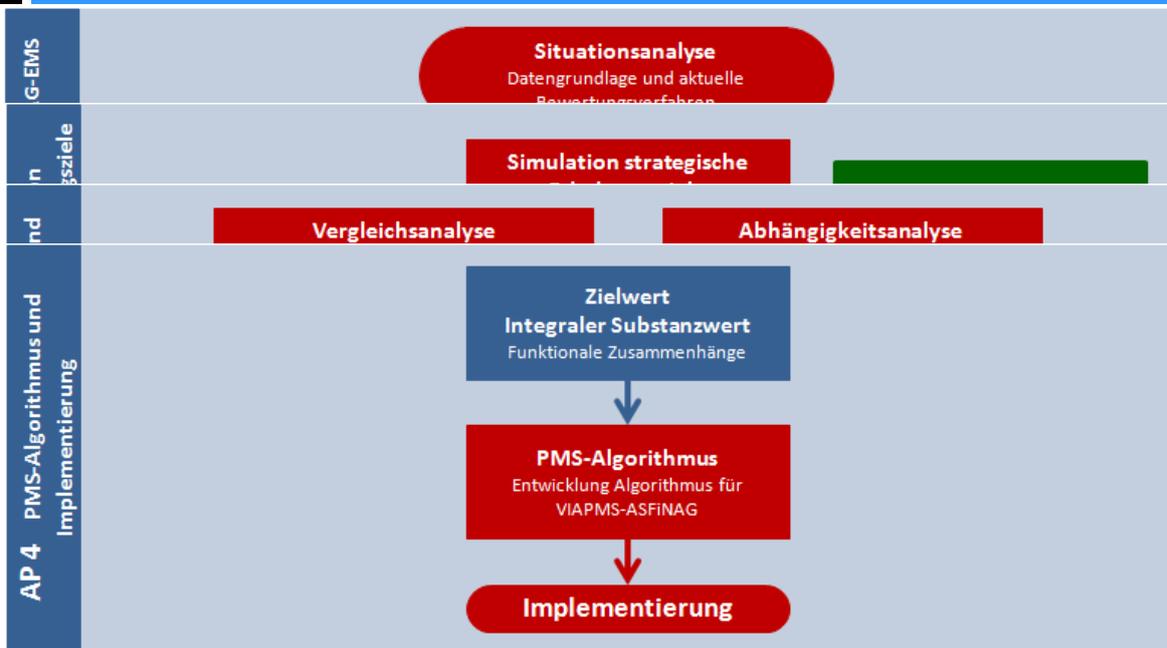


Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

Vorstellung des Projektes

Arbeitsprogramm

5



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

Vorstellung des Projektes

Arbeitsprogramm

6

Bezeichnung	2013												2014								
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
Projektmanagement	Steuerung u. Controlling												Steuerung u. Controlling								
Workshops	Workshops												Workshops								
Projektmeetings	Projektmeetings												Projektmeetings								
Berichte	Berichte												Berichte								
Technical Advisor	Technical Advisor												Technical Advisor								
IT-Unterstützung	IT-Unterstützung												IT-Unterstützung								
Strategisches ASFINAG-EMS u. Indikatoren	Strategisches ASFINAG-EMS u. Indikatoren												Strategisches ASFINAG-EMS u. Indikatoren								
Simulation strategische Erhaltungsziele	Simulation strategische Erhaltungsziele												Simulation strategische Erhaltungsziele								
Analysen und Modellierung	Analysen und Modellierung												Analysen und Modellierung								
PMS-Algorithmus und Implementierung	PMS-Algorithmus und Implementierung												PMS-Algorithmus und Implementierung								



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

STAKEHOLDERS

Definition Personen und Interessensgruppen

7



Definition Personen- und Interessensgruppen gem. PIARC 2012

STAKEHOLDERS

Definition ASFiNAG-Stakeholder

8

Ableitung aus PIARC-Definition für die ASFiNAG

- **Benutzer =**
- **Betreiber / Eigentümer =**
- **Finanzierung =**
- **Umwelt =**
- **Anwohner =**
- **Gesellschaft =**

Erhaltungsziele

Strategische Erhaltungsziele

9

Mengengerüst Erhaltungsziele

■ Kundenziele

Qualität (Fahrsicherheit, Fahrkomfort), Verfügbarkeit (Baustellenfreiheit), Nutzerkosten, etc.



■ Finanzziele

Wirtschaftlichkeit der Erhaltungsmaßnahmen, budgetäre Vorgaben und Finanzierung, Anlagevermögen, etc.



■ Technische Ziele

Substanzerhaltung, Technischer Grenzwerte (EN, RVS, etc.), verkehrstechnische Vorgaben (z.B. Verkehrsführungen), etc.



■ Umweltziele

Nachhaltigkeit, Lärmreduktion, internationale Vorgaben, etc.



■ Sonstige Ziele

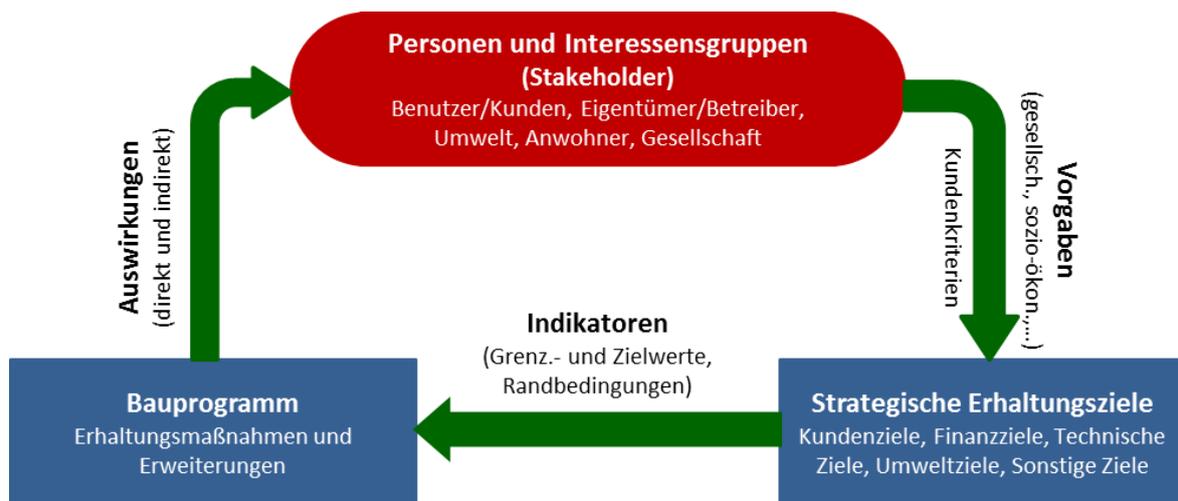


Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

Erhaltungsziele und Stakeholders

Verknüpfung Erhaltungsziele

10



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

Verknüpfung

Erhaltungsziele und Stakeholders

11

	Benutzer	Eigentümer	Betreiber	Finanzierung	Anwohner	Gesellschaft
Kundenziele						
Finanzziele						
Technische Ziele						
Umweltziele						
Sonstige Ziele						



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

Indikatoren

Indikatoren zur Beschreibung der Ziele

12

- Erhaltungsziele werden über Indikatoren und Randbedingungen abgebildet und repräsentieren diese wertmäßig
- Indikatoren verknüpfen die Anforderungen mit den strategischen Erhaltungszielen



- Indikatoren sind mit Ziel- und Grenzwerten zu versehen
(z.B. max. Anteil Gebrauchswert in ZKL 5, keine Brückenklasse 5, Kritische Baustellenfreiheit, max. CO₂-Ausstoß, etc.)



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

Indikatoren

Indikatoren zur Beschreibung der Ziele

13

Bezeichnung/Beschreibung Indikator	Grenzwert	in Verwendung	geplant/diskutiert
Gebrauchswert Straßenoberberbau (GI)	<3% in Zustandklasse 5	ja	nein
Baustellensicherheit (BF)	>95% im Gesamtnetz	ja	nein



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria



Engineering Office for Traffic and Infrastructure GmbH
Naglergasse 7/9, 1010 Vienna, Austria

Präsentation



VIF-Projekt

ELISA^{ASFiNAG}

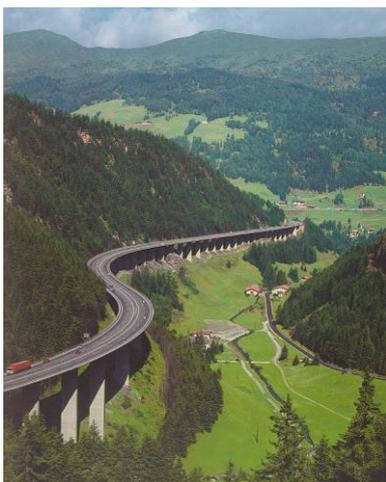
**Erhaltungsziel Integraler Substanzwert im
Anlagenmanagement der ASFiNAG**

Ergebnis-Workshop 06.10.2014



INHALT

2



- **Begrüßung**
- **Vorstellung des Projektes**
 - Aufgaben- und Problemstellung
- **Überblick Indikatoren zur Beschreibung der Erhaltungsziele**
- **Abschnittsbezogene Erweiterungen**
 - Technischer Substanzwert
 - Abschnittsgewichtung Netzverfügbarkeit
- **Auswertung auf Netzebene und strategische Grenzwertvorschläge**
- **Diskussion der Ergebnisse**

Vorstellung des Projektes

Aufgaben- und Problemstellung

3

ELISA^{ASFiNAG} zielt auf die Entwicklung von Grundlagen für die Festlegung eines strategischen Erhaltungszieles für einen „Integralen Substanzwert“ hin. Die „Integrale Idee“ besteht dabei in der Verknüpfung von Substanzindikatoren mit anderen Indikatoren (Verkehrssicherheit, Anlagevermögen, etc.) und der Netzverfügbarkeit zu einem Gesamtkonzept, das mittels eines Algorithmus in das PMS der ASFiNAG implementiert werden kann.



ELISA^{ASFiNAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Vorstellung des Projektes

Hauptziele ELISA^{ASFiNAG}

4

- Modifikation des Algorithmus für Technischen Substanzwert
- Definition weiterer streckenbezogener Indikatoren
- Definition strategischer Einflussgrößen – Netzebene
- Entwicklung von Grundlagen für einen strategischen Grenzwert für den Substanzwert – netzbezogener Backlog

ELISA^{ASFiNAG}

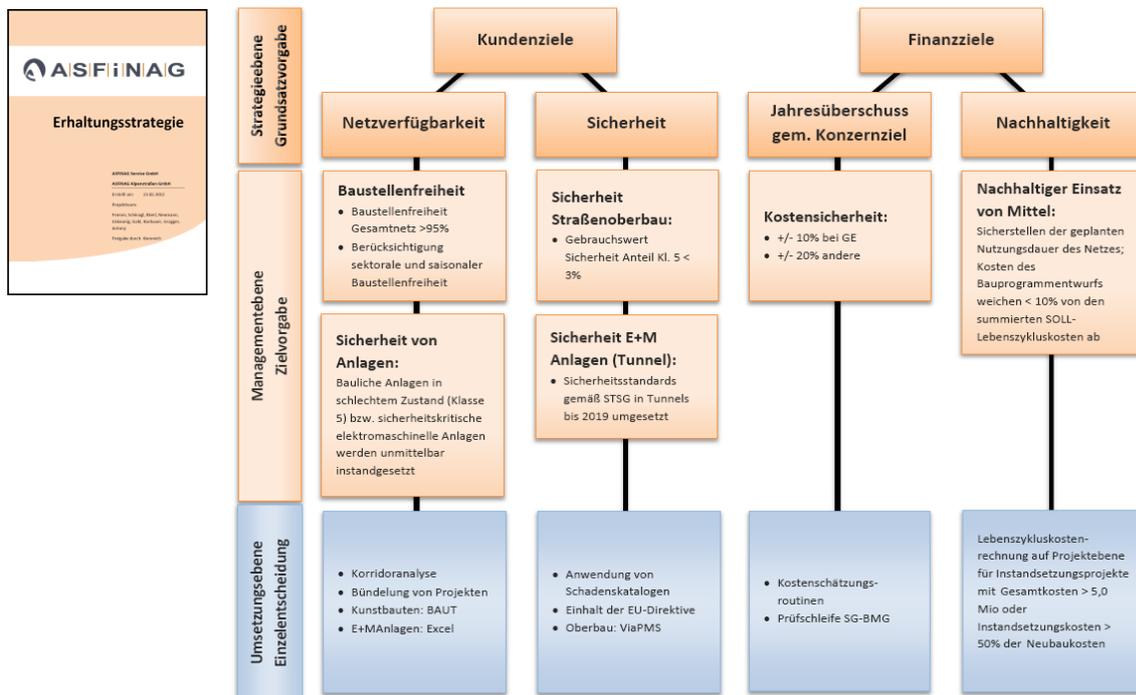
Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Vorstellung des Projektes

ASFiNAG Erhaltungsstrategie

5



ELISA^{ASFINAG}

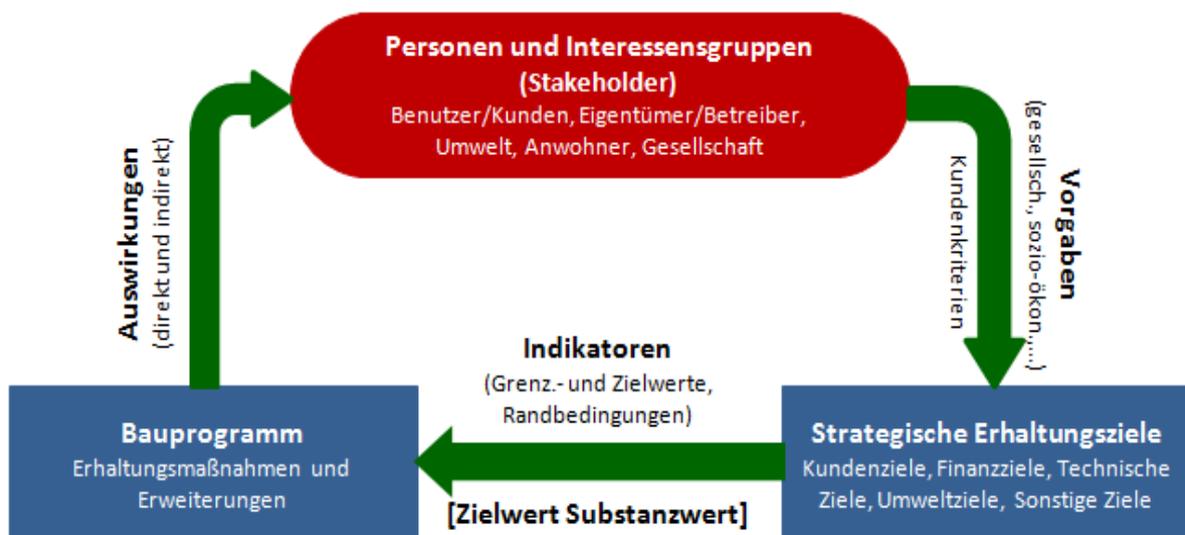
Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Vorstellung des Projektes

Erhaltungsmanagement - Verknüpfung Erhaltungsziele

6



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Workshop Strategische Erhaltungsziele 15.10.2013

Indikatoren zur Beschreibung der Erhaltungsziele

7

Indikator	Grenzwert / Zielsetzung	Anmerkung zur Analyse
Direkte Indikatoren		
Gebrauchswert	Anteil ZKL 5 < 3%	Berechnung gem. Handbuch PMS in Österreich 2009
Substanzwert (neu) <ul style="list-style-type: none"> • Technischer Substanzwert • Netzbezogener Substanzwert (Infrastrukturwert) 	Zielwert Analyse Zielwert Analyse	Berechnung auf der Grundlage der vorzunehmenden Erweiterungen und Ergänzungen und Variation während der Analyse
Baustellenfreiheit, Korridorfreihaltung und Verlässlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtnetz • Sektoral und saisonal 	BF > 95% Def. Korridor	gem. ASFINAG-Erhaltungsstrategie und Baustellenhandbuch ASFINAG und Berücksichtigung im Zuge der Netzanalyse
Unfälle mit Personenschaden	Reduktion um 15% (2010 – 2015)	Versuch der Berücksichtigung über Zusammenhang mit Nutzerkosten,

ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Workshop Strategische Erhaltungsziele 15.10.2013

Indikatoren zur Beschreibung der Erhaltungsziele

8

Indikator	Grenzwert / Zielsetzung	Anmerkung zur Analyse
Randbedingungen		
Erhaltungsbudget	nahezu konstante jährliche Dotation	Variation des Erhaltungsbudget im Zuge der Optimierung (Budgetszenarien)
Kostensicherheit	+/- 10%	Berücksichtigung der ASFINAG-Preisbenchmarks in der Lebenszykluskostenanalyse
Lärmreduktion	-	Auswahl von Erhaltungsstrategien mit lärmindernden Bauweisen auf ausgewählten Abschnitten (z.B. wo bereits lärmindernde Deckschichten im Einsatz)
Tunnelsicherheitsstandards	STGS	Integration eines erhöhten Erhaltungsrisikos auf Tunnelabschnitten (als Teil des netzbezogenen Substanzwertes) unter Heranziehung der Ergebnisse der Netzanalyse
Verfahrensbestimmende Indikatoren u.a.		
Nachhaltigkeit	Erhaltungsmaßnahmen mit größtmöglicher Nutzungsdauer	Anwendung des Verfahrens der Lebenszykluskostenanalyse und Auswahl der optimalen Erhaltungsstrategie vor dem Hintergrund einer größtmöglichen Nutzungsdauer = höhere Effizienz von Erhaltungsstrategien mit längeren Erhaltungsintervallen

ELISA^{ASFINAG}

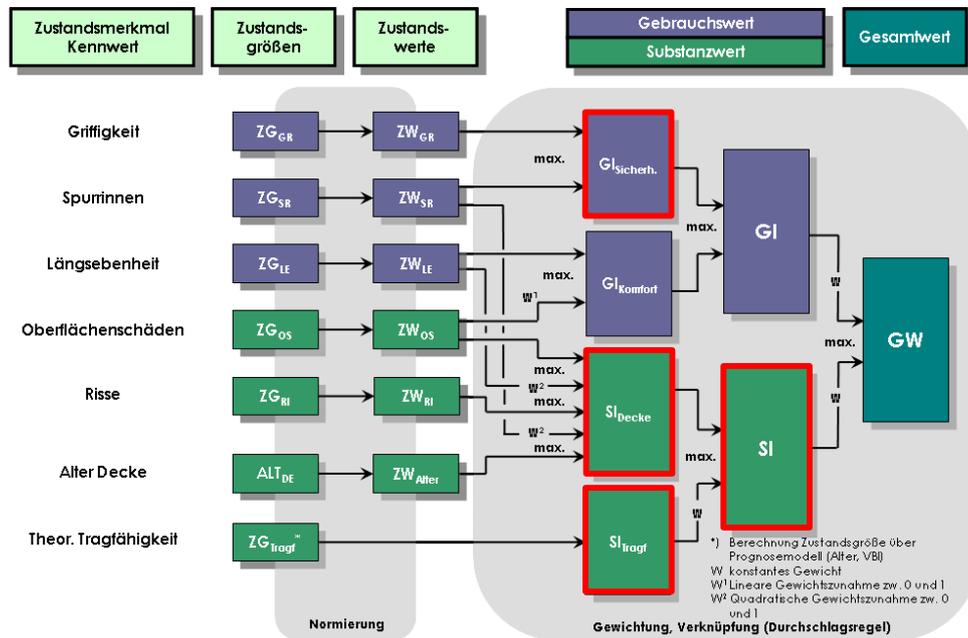
Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Bewertung des Straßenzustandes

Teil- und Gesamtwert für Asphaltbefestigungen

9

ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Abschnittsbezogene Erweiterungen

Modifikation Technischer Substanzwert (1)

10

Generelle Vorgangsweise:

- SI-Teilwert „DECKE“ (Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen, Längsebenheit, Alter)
- SI-Teilwert „THEORETISCHE TRAGFÄHIGKEIT“ (Alter, Verkehrsbelastungskoeffizient)
- Verknüpfung zu Substanzwert „GESAMT“
- Ähnliche Vorgangsweise Deutschland (Substanzwert-Oberfläche, Substanzwert-Bestand)

ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Abschnittsbezogene Erweiterungen

Modifikation Technischer Substanzwert (2)

11

Bisherige Erfahrungen:

- Fundierte Datengrundlage und umfangreiche statistische Untersuchungen, ABER
- Überbewertung Deckenalter bei gutem Zustand
- Oberflächenbild bei Theoretischer Tragfähigkeit nicht ausreichend berücksichtigt
- Zu starker Einfluss von SI-Decke bei der Bildung des Substanzwertes Gesamt

ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Abschnittsbezogene Erweiterungen

Modifikation Technischer Substanzwert (3)

12

Verbesserungen und Erweiterungen:

- Überarbeitung der Durchschlagsregel des Alters beim Substanzwert „Decke“ und Begrenzung des Einflusses bei Deckschichten ohne Schäden
- Integration der Oberflächeneigenschaften (Rissbild) bei der Altersbewertung für den Substanzwert Decke
- Integration der Oberflächeneigenschaften (Kalibrierfaktor Risse) in den Substanzwert „Theoretische Tragfähigkeit“
- Verbesserung der Verknüpfungsregeln bei der Zusammenführung von Substanzwert „Decke“ und Substanzwert „theoretische Tragfähigkeit“

ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Abschnittsbezogene Erweiterungen

Modifikation Technischer Substanzwert (4)

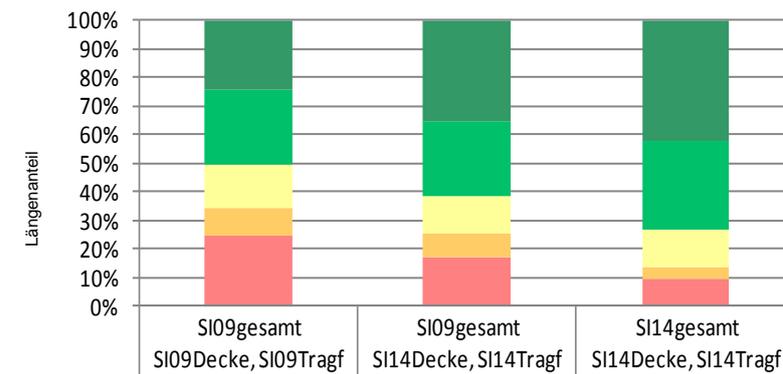
13

Konventionell:

$$SI09_{gesamt} = \max(0,89 \cdot SI09_{Tragf}; SI09_{Decke}) + 0,1 \cdot \min(0,89 \cdot SI09_{Tragf}; SI09_{Decke}) - 0,1$$

Modifiziert:

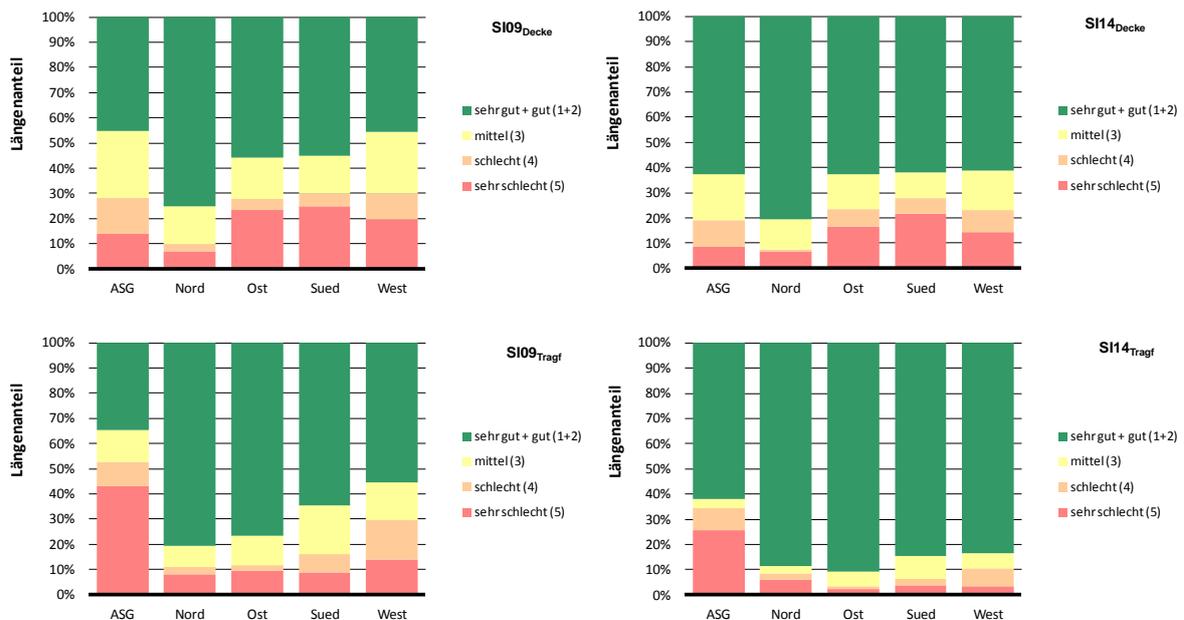
$$SI14_{gesamt} = \frac{SI14_{Decke} \cdot Dicke_{Decke} + SI14_{Tragf} \cdot Dicke_{GebSchichten}}{Dicke_{GebSchichten}}$$



Abschnittsbezogene Erweiterungen – Modifikation Technischer Substanzwert

Servicegesellschaften - Teilwerte

14



Auswertungen

Umfassende Analyse auf Netzebene

16

Grundlage für Vorschlag für strategischen Grenzwert für Erhaltungsrückstand (Backlog, Anteil in Zustandsklasse 5) für den Technischen Substanzwert

- Verteilung des modifizierten Substanzwertes im Netz
- Jährliches Erhaltungsbudget bzw. Auswirkung eines veränderten Budgets
- Relation zwischen Substanzwert und Gebrauchswert „Sicherheit“
- Beurteilung der Entwicklung des Anlagevermögens
- Verkehrssicherheit im Sinne der Mindestverfügbarkeit des Netzes, generell



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

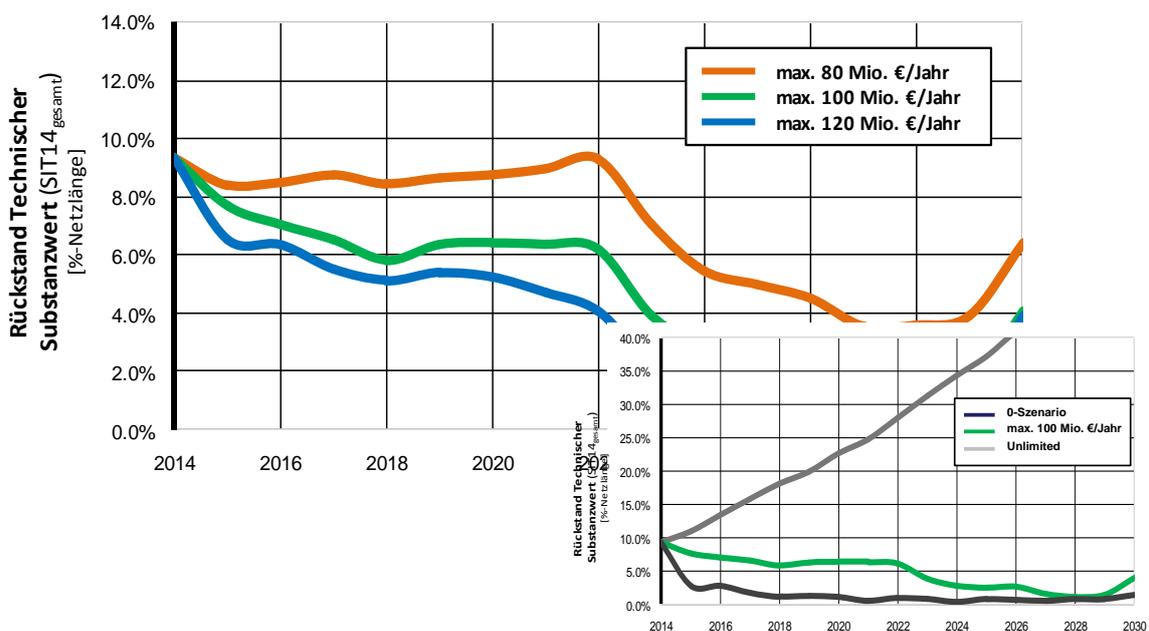
6.10.2014

Auswertungen auf Netzebene

Auswirkung eines veränderten Budgets

18

Backlog Technischer Substanzwert versus jährliches Budget



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

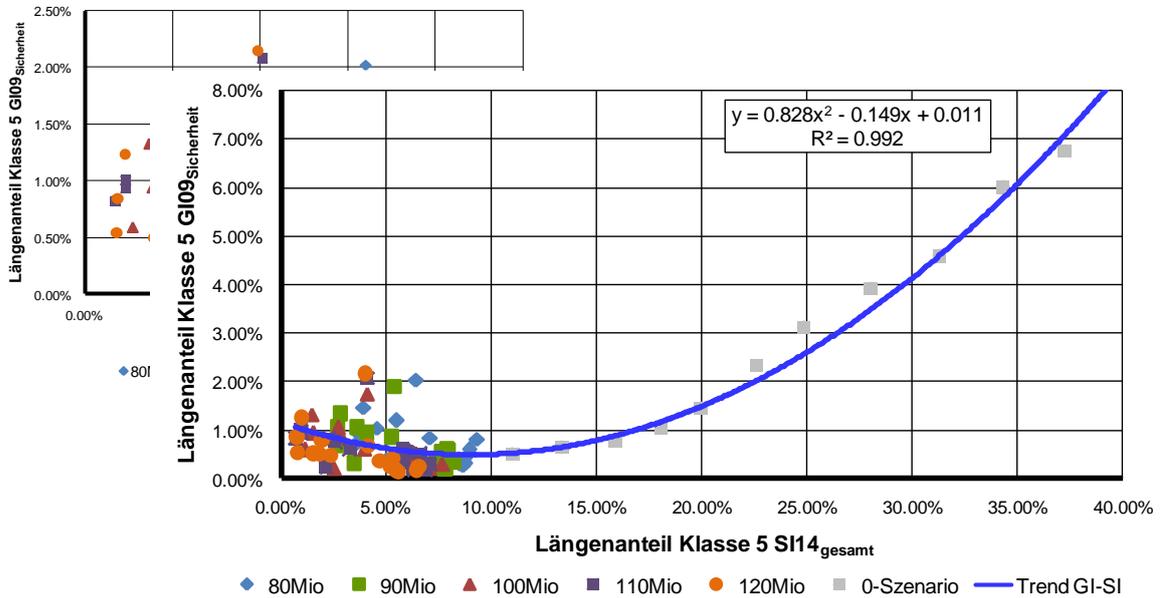
6.10.2014

Auswertungen auf Netzebene

Zusammenhang Substanzwert - Gebrauchswert

20

Backlog Technischer Substanzwert versus Backlog Gebrauchswert Sicherheit



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

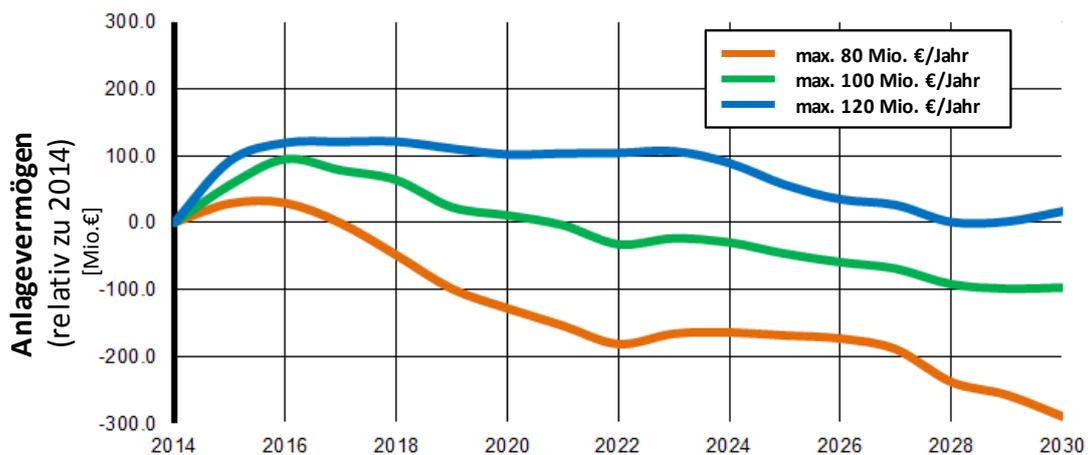
6.10.2014

Auswertungen auf Netzebene

Entwicklung Anlagevermögen

21

Anlagevermögen (Abschreibung aufgrund Entwicklung Technischer Substanzwert)



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Auswertungen auf Netzebene

Berücksichtigung der Netzverfügbarkeit (1)

22

Vorgangsweise:

- Nur grobe Abschätzung möglich
- Für verschiedene Budgetszenarien Summierung der Teilabschnitte mit Interventionen im Bereich Oberbau (Länge*Dauer)
- Vergleich mit tatsächlichem, im Bauprogramm vorgesehenen Baustellenumfang (max 5% Beeinträchtigung zulässig)
- Kalibrierung und Hochrechnung des Interventionsumfanges auf tatsächliche Baustellen

ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

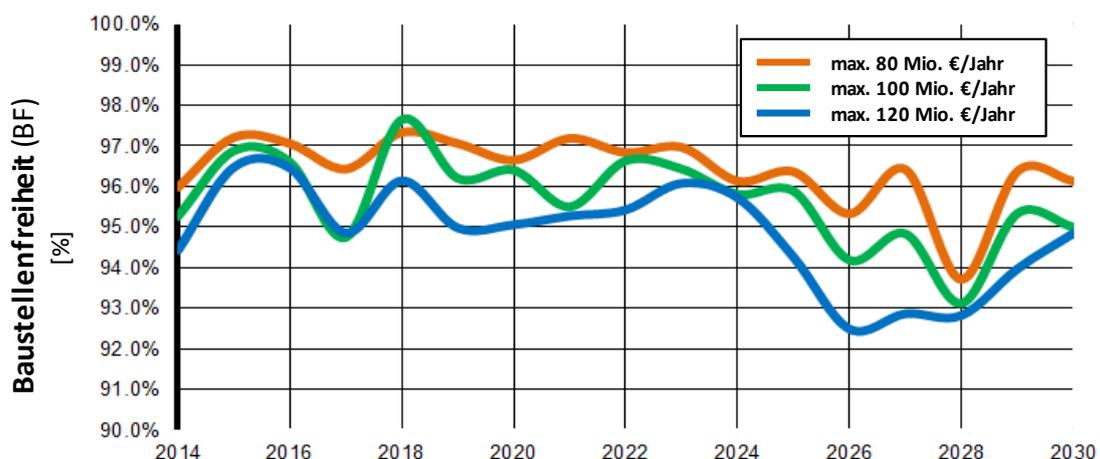
6.10.2014

Auswertungen auf Netzebene

Berücksichtigung der Netzverfügbarkeit (2)

23

Baustellenfreiheit versus jährliches Budget

ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Abschnittsbezogene Erweiterungen - Ausblick

Netzverfügbarkeit mit Abschnittsgewichtung (1)

24

- Berücksichtigung der räumlich-topographischen Situation in Hinblick auf deren Netzverfügbarkeit
- Modellierung durch Kanten und Knoten, Berechnung der Kantengewichte
- Berücksichtigung des Abschnittsgewichtes bei der Maßnahmenoptimierung (Nutzen)
- Kein „Technischer“ Substanzwert im bisherigen Sinn, sondern z.B. INFRASTRUKTURWERT

ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

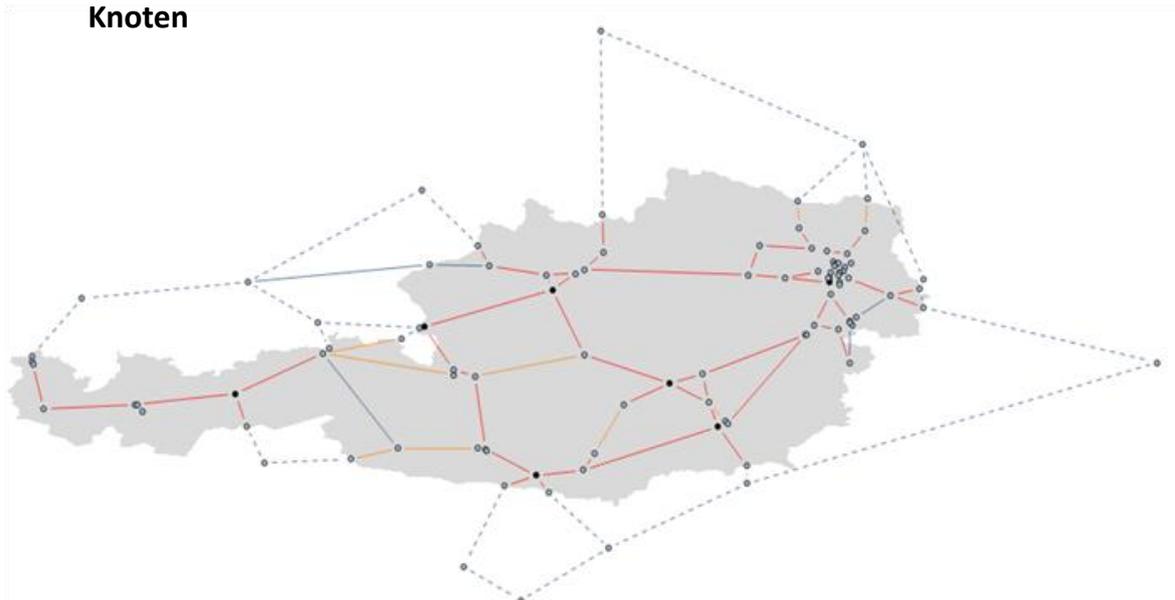
6.10.2014

Abschnittsbezogene Erweiterungen - Ausblick

Netzverfügbarkeit mit Abschnittsgewichtung (2)

25

Modellierung des Netzes mit Kanten unterschiedlicher Netzbedeutung und Knoten



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

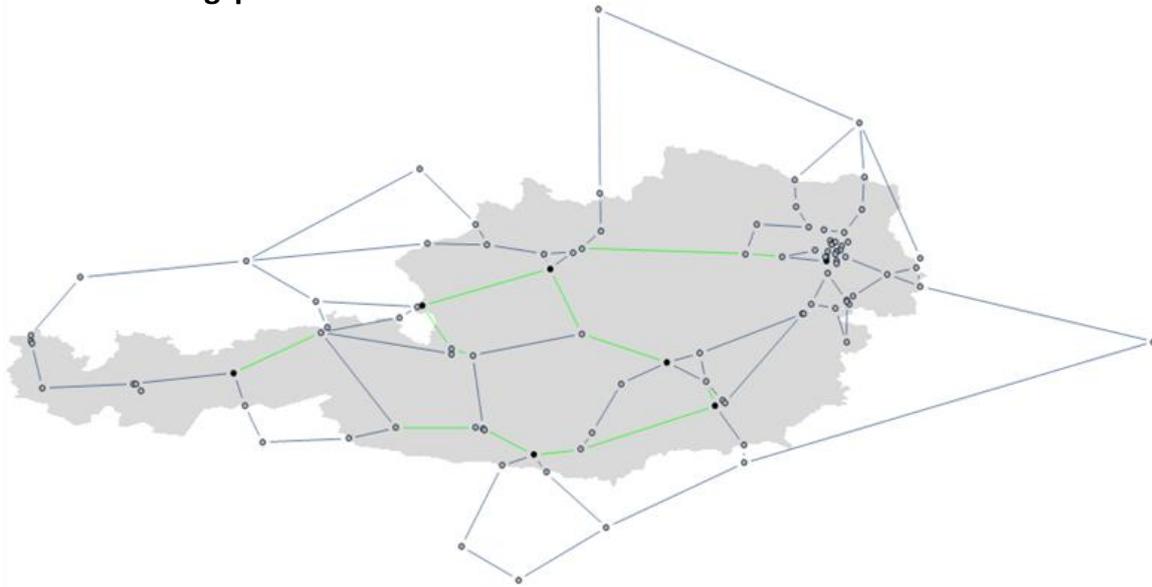
6.10.2014

Abschnittsbezogene Erweiterungen - Ausblick

Netzverfügbarkeit mit Abschnittsgewichtung (3)

26

Modellierung des Netzes unter Hervorhebung der Kanten mit hoher Erhaltungspriorität



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

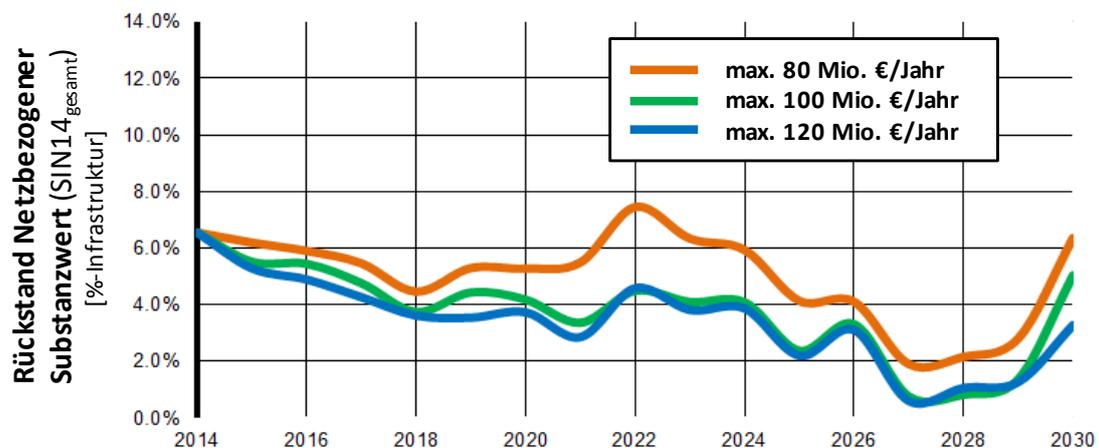
6.10.2014

Abschnittsbezogene Erweiterungen - Ausblick

Netzverfügbarkeit mit Abschnittsgewichtung (4)

27

Backlog Infrastrukturwert (Netzbezogener Substanzwert) versus jährliches Budget



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Resümee

Grenzwertvorschläge – Technischer Substanzwert

28

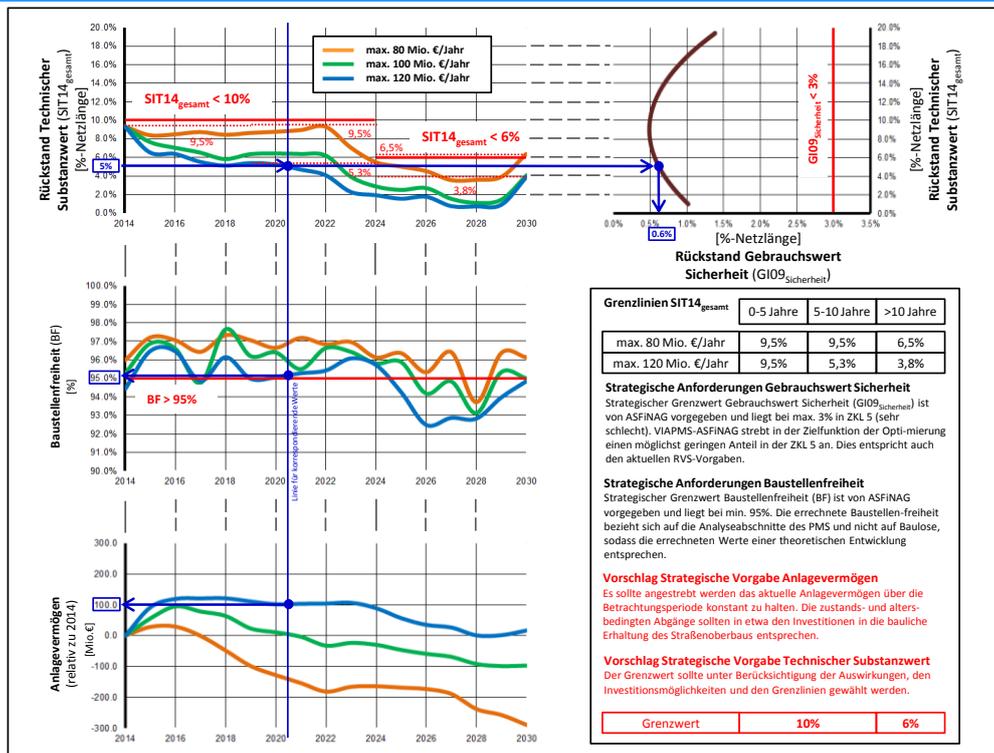
Entscheidungsgrundlagen:

- Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussgrößen
- Einhaltung bestehender Strategievorgaben
- Daraus Bandbreite für Vorschläge für den strategischen Grenzwert des Backlogs Technischer Substanzwert ableitbar
- Eventuell zeitliche Staffelung ausgehend von derzeitiger Situation

Resümee

Grenzwertvorschläge – Technischer Substanzwert

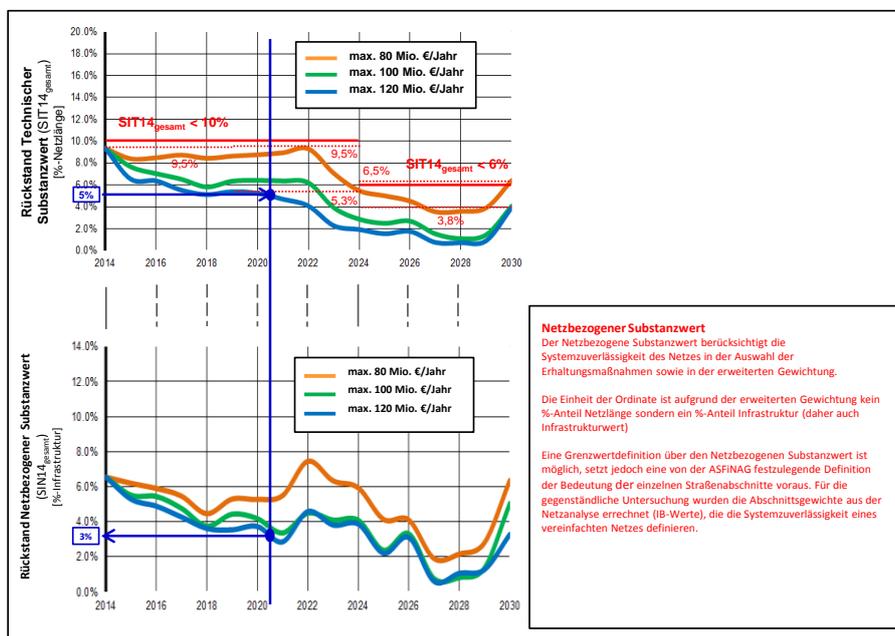
29



Resümee

Grenzwertvorschläge – Infrastrukturwert

30



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

Resümee

Grenzwertvorschläge

31

Backlog Technischer Substanzwert

- Der Grenzwert sollte unter Berücksichtigung der Auswirkungen, der Investitionsmöglichkeiten und der Grenzzlinien gewählt werden.

	0-5 Jahre	5-10 Jahre	>10 Jahre
Grenzwert		10%	6%

Backlog Infrastrukturwert (Ausblick)

- Eine Grenzwertdefinition über den Netzbezogenen Substanzwert ist möglich, setzt jedoch eine von der ASFINAG festzulegende Definition der Bedeutung der einzelnen Straßenabschnitte voraus.



ELISA^{ASFINAG}

Ergebnis-Workshop

6.10.2014

ELISA - Netz

Markus Petschacher ^a

^aPEC - Petschacher Consulting, ZT-GmbH
Feldkirchen, Austria.
mp@petschacher.at

Abstract: Die Berücksichtigung der Wirkung einer Intervention an einem Straßenabschnitt oder einer Brücke auf das globale Infrastruktur-Netz. Integraler Ansatz einer Zustandsbewertung basierend auf der Überlebens-Wahrscheinlichkeit den Grenzwert einer Zustandsbewertung zu erreichen, bezogen auf ein Jahr.

Keywords: Verfügbarkeit, Zustandsindex

1 Netz

1.1 Allgemein

Beginnend bei der globalen Betrachtung eines Infrastruktur-Netzes wird die Graphentheorie angewandt. Das Netz $N = G(E, V, T)$ wird durch Knoten (V) und Kanten (E), die miteinander eine Topologie ergeben, als ungerichteter Graph beschrieben. Ein Teil der Knoten wird als Terminals (T) definiert, deren Verbindung untereinander das Funktionieren des Netzes charakterisieren. Jeder Kante und auch jedem Knoten kann eine Wahrscheinlichkeit p der Verfügbarkeit, dem UP Status, gegeben werden. Umgekehrt mit $q = 1 - p$ versagt die Kante, sie ist im DOWN Status. Die grundsätzlichen Fragestellungen, die an diesem Modell beantwortet werden können, sind die Zuverlässigkeit $R(N)$, sowie die partielle Ableitung $\frac{\partial}{\partial p}R(N)$, die die Wichtigkeit einer Kante, mit gegebener Wahrscheinlichkeit p im Gesamtnetz beschreibt.

Die Aufgabe ist, die Kanten-Eigenschaften p_i und c_i aus den verfügbaren Bestands- und Zustandsdaten für Objekte und homogene Abschnitte zu gewinnen. Im Modell wird in der Ebene darunter der Abschnitt, die Kante E bzw. der Knoten V beschrieben. Die Kante ist eine Verbindung zwischen zwei Anschlussstellen auf der Autobahn. Die Alterung des Objektes, die Reduktion der Kapazität oder Eigenschaften für ein normgemäßes Funktionieren,

wir durch die zeitabhängige Verlauf eines Zustandsindex oder physikalischen Wertes beschrieben. Die Qualität des aktuell ermittelten Zustands und damit auch der Prognose ist abhängig von der Art der Prüfmethode. Ist diese maschinell gestützt, werden physikalische Merkmale genutzt, oder sind es rein visuelle Informationen. Daraus ergeben sich natürliche Schwankungsbreiten in der Beurteilung, die mit einer Verteilung additiv beschrieben wird, der Probability of Detection (PoD), um damit die Qualität des Sensors zu erfassen.

Es existiert eine invariante Eigenschaft des Netzwerkes, das Birnbaum Importance (IB) Maß [1]. Betrachtet man die Systemzuverlässigkeit als Funktion $R(N) = \Psi(p_1, \dots, p_n)$ der Komponenten-Wahrscheinlichkeiten p_i , dann ist der Wert IB der Komponente i folgend definiert,

$$IB_i = \frac{\partial \Psi(p_1, \dots, p_i, \dots, p_k)}{\partial p_i} \quad (1)$$

Erhaltungsmanagement sind Entscheidungsprobleme und werden als sogenannte NP-hard Probleme klassifiziert. Die hier beschriebenen Modelle erfordern zu Berechnung geeignete Software-Lösungen. Die Berechnung erfolgt mit Monte Carlo, wobei optimierte Simulationsmethoden zur Anwendung gelangen, die eine effiziente Berechnung von IB, MaxFlow etc. an realen Netzen erlaubt.

1.2 Graph A

Das Autobahn- und Schnellstraßennetz wird in einem ersten Ansatz in einer sehr einfachen, abstrakten Weise beschrieben. Der Graph in Bild 1 enthält $n = 124$ Kanten, $m = 97$ Knoten, wovon 8 als Terminal (schwarz) qualifiziert wurden. Die Terminals sind immer Autobahnknoten, deren Verbindung untereinander als kritisch bzw. wesentlich für das Netz qualifiziert wurde. Sind alle Terminals untereinander erreichbar, dann ist das Netz im UP Status. Der Graph symbolisiert die Achse der A- und S-Straßen (rot) und wichtige L-Straßen (orange) innerhalb Österreichs. Die anderen Kanten sind Möglichkeiten des Umfahrens von Österreich und dienen dazu ein realitätsnahes Netz zu modellieren.

Die Definition der Terminals ist im Grunde eine strategische Festlegung, die hier angenommen wurde. Die Annahme soll exemplarische zur Bewertung der Zuverlässigkeit des Netzes dienen. Die Kanten auf ausländischem Gebiet werden als perfekt angesehen. Ihre Berücksichtigung ist einerseits zur Verbindung des ASG und EMS Bereichs notwendig und soll andererseits die weitere Autobahnen wie A4, A5, etc. funktional berücksichtigen.

Für das System in Bild 1 erfolgt eine Berechnung der IB-Werte, unter der Annahme von $p = 0.9$ für alle A- und S-, $p = 0.8$ für L- und $p = 0.99$ für alle anderen Straßen. Die Kanten sind entsprechend ihrer Ordnungszahl e im Bild 3 aufgelistet.

Die Netzanalyse ergibt eine Reihung der Kanten nach ihren IB-Werten, die in der Folge im Detail behandelt werden. Der Prozess der Erhaltung entspricht in der Netz-Betrachtung der Verbesserung/Stärkung der Kanten und Knoten. Aus Bild 2 lassen sich einige Kanten mit einem IB-Wert von > 1 identifizieren, die als besonders relevant für das Netzwerk erachtet werden können. IB kann im Sinne der Wahrscheinlichkeit auf eine transparente Art und

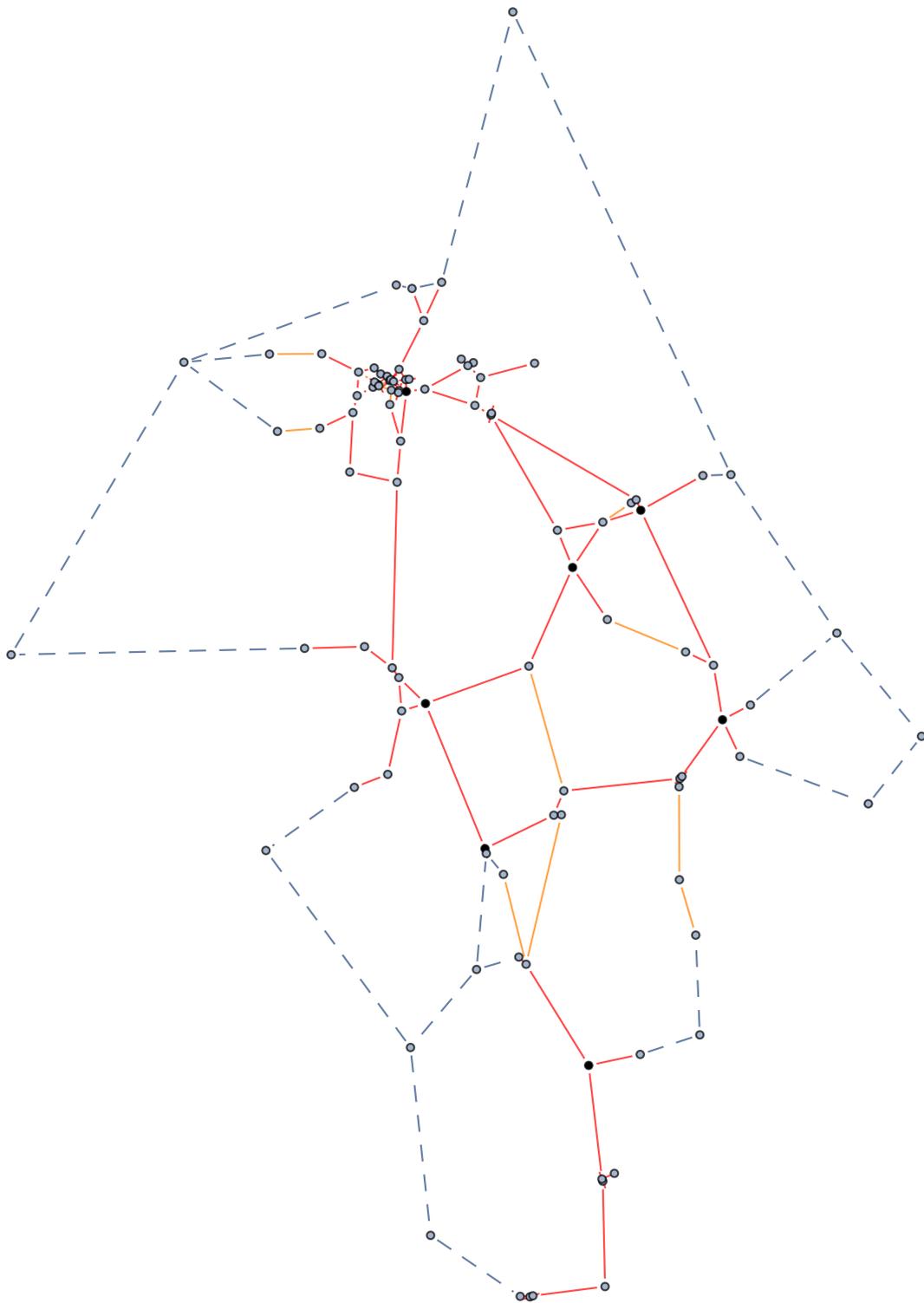


Bild 1: Graph A.

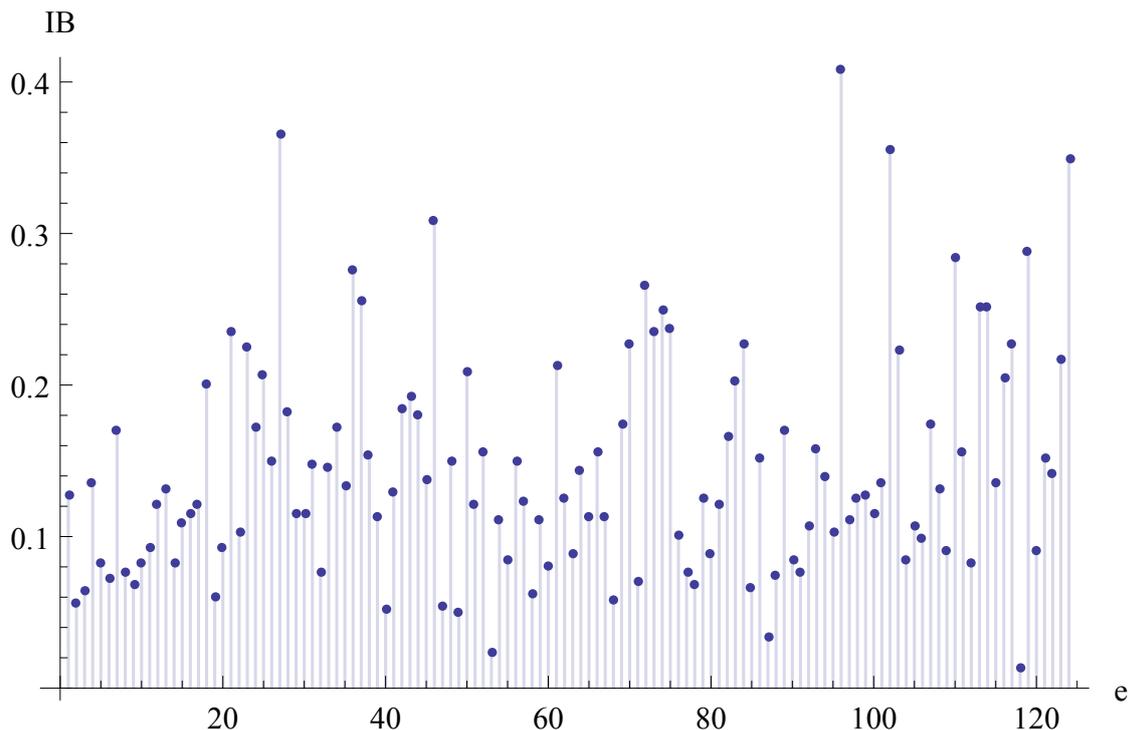


Bild 2: Gewichtungsfaktoren.

Weise interpretiert werden. Der Wert beschreibt den Zugewinn an Systemzuverlässigkeit, der durch das Ersetzen einer Komponente, die versagt hat, durch eine absolut zuverlässige. IB ist eine Näherung des Inkrements dR der Systemzuverlässigkeit, die sich aus der Änderung der Zuverlässigkeit der Komponente i um die Größe dp ergibt.

In einer Steigerung der Komplexität wird das Netz als gerichteter Graph aufgefasst, $N = G(V, E, T, C)$. Die Kanten erhalten zusätzlich zum ersten Modell ihre maximale Kapazität C als Eigenschaft. Die Fragestellung des maximalen Flusses M innerhalb des Netzes wird jetzt für Quantifizierung der Kapazität Φ genutzt, $P(M > \Phi)$.

Bild 3 zeigt die Version des gerichteten Graphen für das einfache Netzwerk. Die Funktionalität des Netzwerks wird jetzt mit einer Reihe von $s-t$ Terminalpaaren beschrieben.

1.3 Graph B

Der Substanzwert im Sinne des Pavement Management wird als Zustandsbewertung für die Tragfähigkeit bzw. deren Degradation verstanden. Die Absicht einen Integralen Wert zu etablieren kommt aus der Notwendigkeit alle für die Verfügbarkeit unmittelbaren Aspekte zu berücksichtigen. Das sind neben dem Straßenkörper, die Brücken und Tunnel. Hierbei wurde eine Systemgrenze gezogen, da nur Brücken mit einer maximalen Einzelstützweite $L_i \geq 30$ m und Tunnel mit einer Gesamtlänge $L \geq 500$ m berücksichtigt werden.

Ad Brücken: der Grenzwert $L_i \geq 30$ m dient vorerst nur einer Limitation der Anzahl der Brücken. In einer weiteren Überlegung ist damit auch eine Längsausdehnung bzw. Kantenlänge verbunden, was die Granularität des Graphen begrenzen soll.

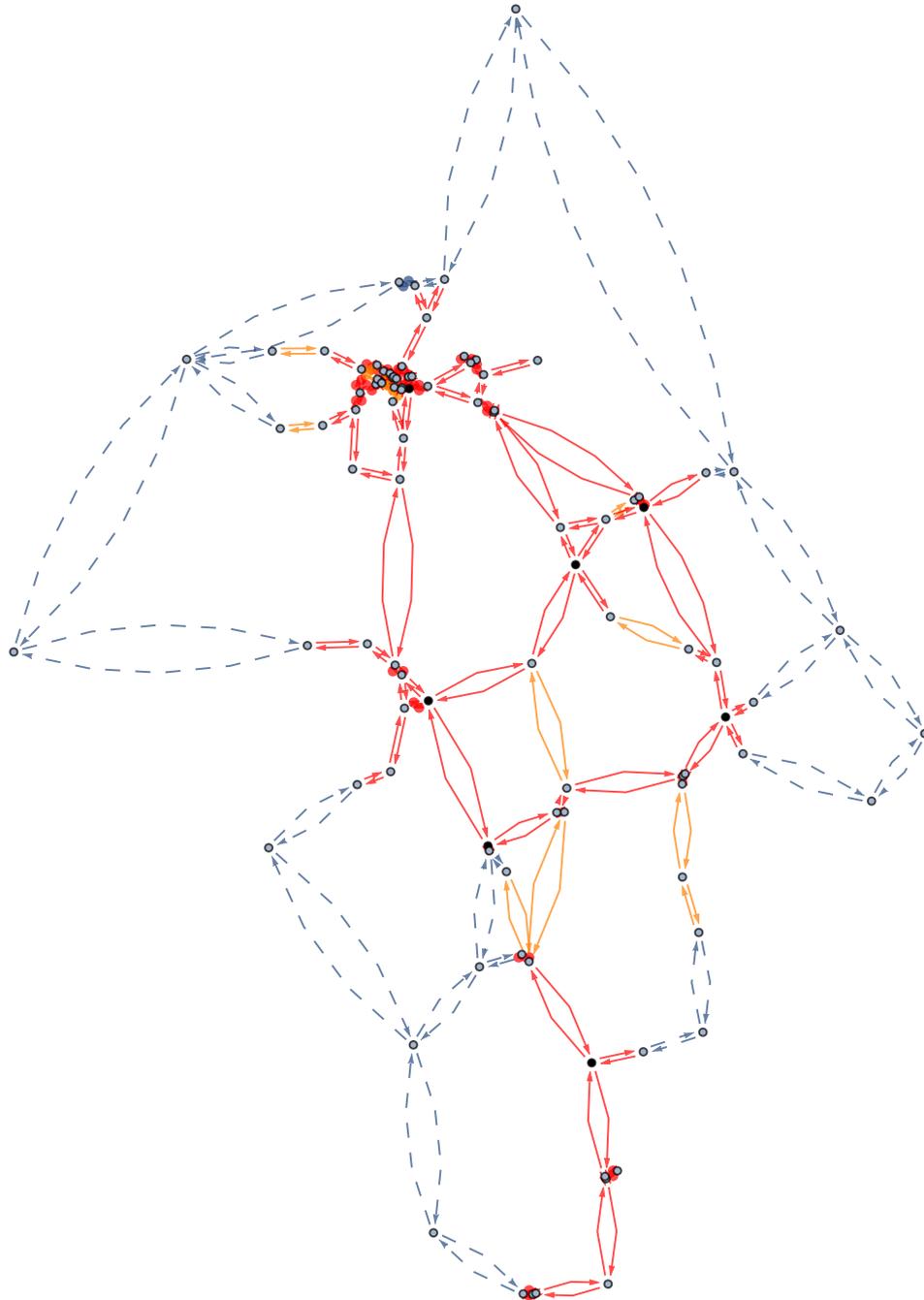


Bild 3: Flow Network A.

Ad Tunnel: bei der Zustandsbewertung von Tunnel ist das Funktionieren der Elektro-Maschinen (E+M) Einrichtung von sehr hoher Wichtigkeit. Die strukturelle Beschaffenheit tritt bis auf Einzelfälle, die eher geologische bedingt sind, in den Hintergrund. Die Überlegung hier ist, dass ein 500 m langer Tunnel auch ohne funktionierende E+M genutzt werden kann.

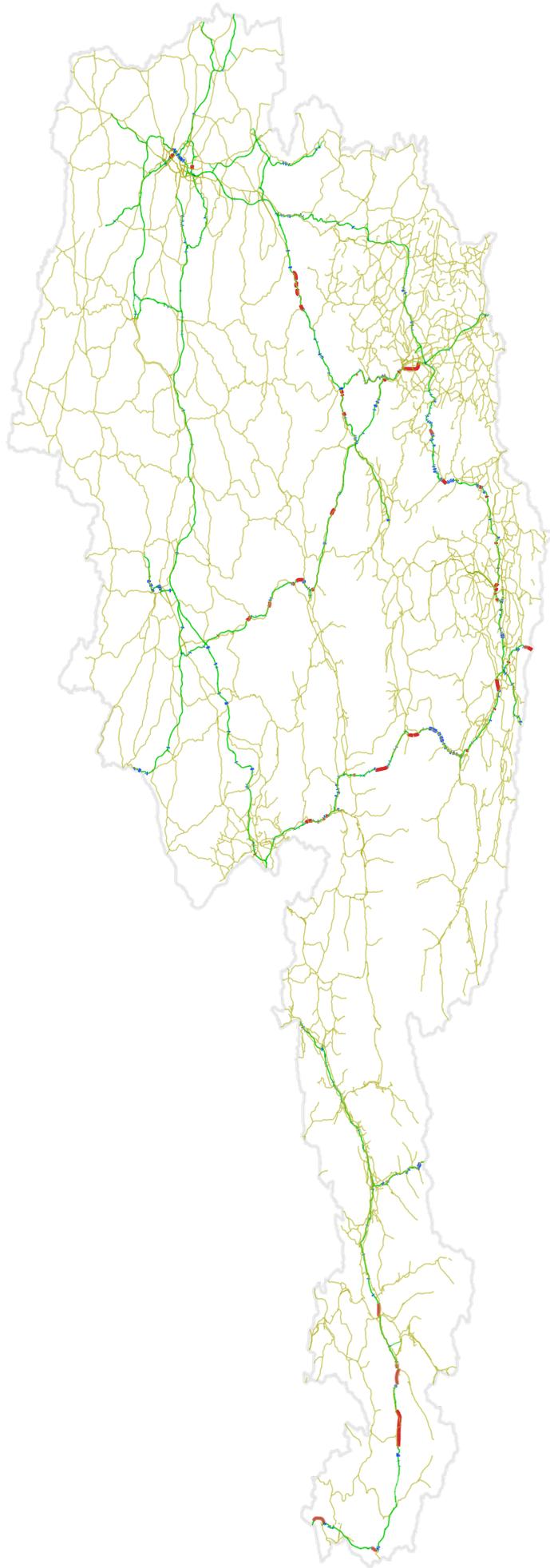


Bild 4: Graph B.

1.4 Dynamische Netze

Ein Netz wird dynamisch bezeichnet, wenn Kanten und Knoten eine zeitlich veränderliche Zuverlässigkeit p_i besitzen.

2 Zustandsindex

2.1 Modelle

Modelle zur Beschreibung der Zustandsentwicklung lassen sich in folgende Kategorien unterteilen

- Deterministisch - multiple lineare Regression
- Probabilistisch - Markov Modell, Probabilistische Regression
- Künstliche Intelligenz - Neuronale Netze

Das Ergebnis eines deterministischen Modells ist ein einzelner Zustandswert für eine gegebene Menge von Eingangsparametern. Diese Modelle werden typischer Weise als Funktionen dargestellt. In der einfachsten Form wird es als lineare Regression beschrieben, wobei Exponential- oder der Ansatz komplexere Funktionen zu sehr genauen Ergebnissen führen können. Die multiple lineare Regression ist eine der einfachsten Formen und kommt zur Anwendung, wenn mehr als ein Parameter den Zustandswert beeinflussen. Das Modell wird auf Basis nachstehender Gleichung ermittelt.

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n \quad (2)$$

Probabilistische Modelle beschreiben die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Zustandswert gegeben ist. Ein sehr populäres Modell ist die Markov-Kette. Markov Modelle ergeben Wahrscheinlichkeiten p_{ij} , dass ein Element vom Status i zum Zeitpunkt t in den Status j zum Zeitpunkt $t + 1$ wechseln wird. Diese Übergangswahrscheinlichkeiten werden in einer Matrix dargestellt.

$$p^{t,t+1} = P(X_{t+1} = j | X_t = i) = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{1,j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{j1} & \dots & p_{jj} \end{pmatrix} \quad (3)$$

mit $p_{i,j} > 0$; $i, j > 1$ and $\sum_{k=1}^j p_{i,k} = 1$.

Für einen Abschnitt oder ein Objekt in einem Netz kann die Verteilung der Stati zum Zeitpunkt $t + n$ als Produkt der Übergangswahrscheinlichkeiten bis dahin angegeben werden.

$$Q(t + n) = Q(t)p^{t,t+1} \dots p^{t+n-1,t+n} \quad (4)$$

Die logistische Regression ist ein weiteres populäres Modell. Im Gegensatz zur multiplen linearen Regression, wo das Ergebnis ein Zustandsindex ist, ergibt dieses Modell die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Zustandswert bei gegebenen Parametern X erreicht wird. Die Wahrscheinlichkeit wird mit der Logistik-Funktion beschrieben

$$P(Y = y|X) = \frac{1}{1 + \exp[-(b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i)]} \quad (5)$$

2.2 Cohort Survival Method

Die Cohort Survival Method (CSM) ist ein alternatives probabilistisches Modell, siehe [3]. Es werden aus technischer Sicht Teilpopulationen gebildet, mit technisch ähnlichen Eigenschaften. Innerhalb dieser Menge werden die Abschnitte oder Objekte zu Kohorten gruppiert, die jeweils einer Zustandsklasse y entsprechen. CSM definiert Altersverteilungen $F_i(t)$ für alle Elemente innerhalb einer Kohorte, der Zustandsklasse i .

$$P(\tau|Y = y) = 1 - F_y(\tau) \quad (6)$$

Die Migration $i \rightarrow i+1$ in die nächste Kohorte ist durch die Hazard Rate $h_i(t)$ charakterisiert.

$$h_i(t) = \frac{f_i(t)}{1 - F_i(t)} \quad (7)$$

Im CSM werden verschiedene Verteilungen für jede Kohorte verwendet, z.B. Herz-, Weibull- oder Exponential-Verteilungen. Betrachtet man ein Element einer Kohorte, wie es durch die Migration von einer Kohorte in die nächste, dem Alterungsprozess folgend, die oberste Kohorte erreicht, dann kann das als Zufallsprozess gesehen werden, siehe Bild 5. Das Element verweilt demnach eine Zeit τ_i in jeder Kohorte.

Die Verteilung der Summe $\sum \tau_i$, unter Annahme τ_i sind unabhängig von einander, ist die Konvolution von $F_1(t) \dots F_k(t)$ und wird mit $F^k(t)$ bezeichnet. Einfache Lösungen lassen sich nur für Exponentialverteilungen angeben. Die Integration der Alterungsmodelle in die Netzbetrachtung entspricht der Verknüpfung von der Zustandsklasse mit der Zuverlässigkeit p_i einer Kante im Graphenmodell.

Die Zeiteinheit der Betrachtung ist immer das Jahr. Die Zeitachse wird in Intervalle (τ_{j-1}, τ_j) unterteilt. Dafür wird eine abschnittsweise konstante Hazard Rate und ein Exponential-Modell vereinfachend angenommen.

$$h_i(t) = \lambda_{i,t} \quad (8)$$

Die Zeitspanne eines Elements innerhalb einer Zustandsklasse hat eine Verteilung $\tau_i \sim \exp(\lambda_i)$. Die Anzahl $N(t)$ der Sprünge in Bild 5 ist ein Zufallsprozess im Intervall $(0, t)$. Die probabilistische Bedeutung der Konvolution ist wie folgt gegeben.

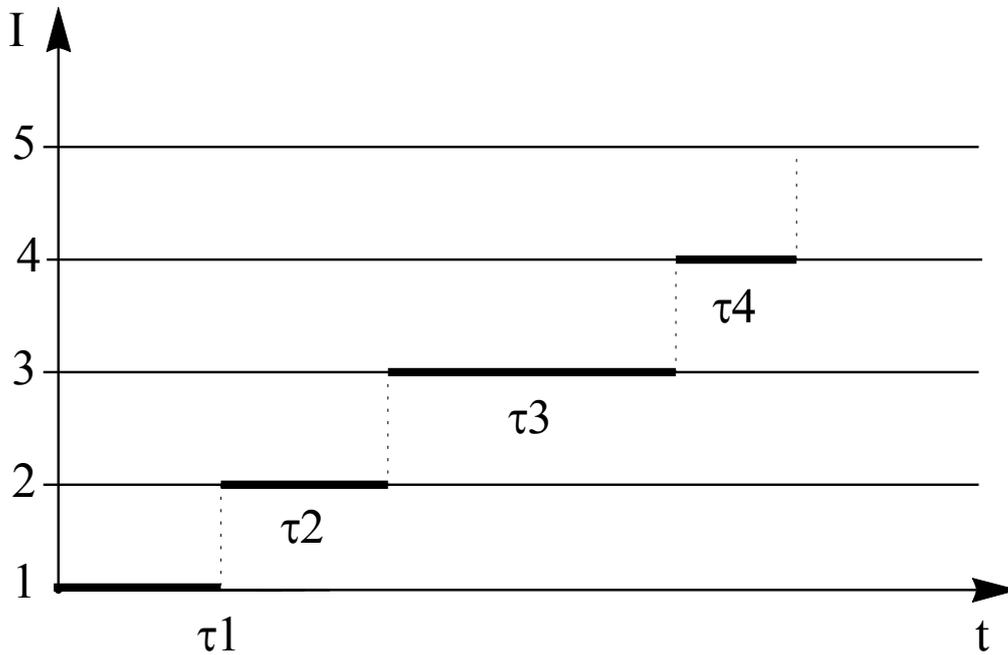


Bild 5: Trajekturen eines monotonen Sprungprozesses.

$$P(\tau_1 + \dots + \tau_k < t) = P(N(t) \geq k) \quad (9)$$

Die Summe von $X_i \sim \exp(\lambda_i)$ ist Hypo-Exponential verteilt. Die komplementäre CDF kann mit einem Matrix Exponential angegeben werden.

$$P\left(\sum_{i=1}^n X_i \geq t\right) = e_1 e^{Dt} \mathbf{1} = e_1 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{D^k t^k}{k!} \mathbf{1} \quad (10)$$

Dabei ist $e_1 = (1, 0, \dots, 0)$ ein $1 \times n$ Vektor, $\mathbf{1}$ ein $n \times 1$ Vektor von Einsen und D eine $n \times n$ Matrix.

$$D = \begin{pmatrix} -\lambda_1 & \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\lambda_2 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & -\lambda_{n-1} & \lambda_{n-1} \\ 0 & \dots & 0 & 0 & -\lambda_n \end{pmatrix}$$

Die Berechnung kann auf verschiedene Art vorgenommen werden, siehe [2]. Berücksichtigt man die typische Anzahl von Zustandsklassen $n = 5$, dann kann der exakte, rekursive Algorithmus nach [4] angewendet werden, wenn $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n$ gegeben ist.

$$P\left(\sum_{i=1}^n X_i \leq t\right) = 1 - \sum_{i=0}^n e^{-\lambda_i t} \prod_{j \neq i} \frac{\lambda_j}{\lambda_j - \lambda_i} \quad (11)$$

2.3 Integraler Index

Können Straße, Brücke und Tunnel in gleicher Weise behandelt werden?

Zur Herleitung eines *integralen Index* I_2 , der eine vergleichbare Bewertung verschiedenartiger Elemente in einem Infrastrukturnetz ermöglicht, wird eine Vereinfachung vorgenommen. In einem diskreten Ansatz wird T als Reihe von Werten $t_1 < \dots < t_k$ betrachtet, mit den Wahrscheinlichkeiten $F(T_i) = f_i = P(T = t_i)$. Die Zuverlässigkeit zum Zeitpunkt t_j ist die Wahrscheinlichkeit des Überlebens, im Status UP zu sein, wenn T mindestens t_j ist.

$$P(T \geq t_j) = R_j = \sum_{k=j}^{\infty} f_k \quad (12)$$

Die Austretensrate zum Zeitpunkt t_j ist eine bedingte Wahrscheinlichkeit,

$$\lambda(t_j) = \lambda_j = P(T = t_j | T \geq t_j) = \frac{f_j}{R_j} \quad (13)$$

Die Zuverlässigkeit kann vereinfacht in Abhängigkeit der Ausfallraten früherer Zeitpunkte t_1, \dots, t_{j-1} geschrieben werden.

$$R_j = (1 - \lambda_1) \cdot \dots \cdot (1 - \lambda_{j-1}) \quad (14)$$

Diese Formel entspricht der Lösung für Exponentialverteilungen, wenn λ genügend klein ist kann $\exp(-\lambda) \approx 1 - \lambda$ genähert werden.

Die Zuverlässigkeit p_i einer Kante im Graphen wird aus der aktuellen Zustandsbewertung σ_j eines Elements, das dieser Kante entspricht, berechnet. Dabei ist σ_n die obere Grenze und definiert den Status der technischen Funktionsgrenze, den DOWN Status der Kante. Ein Element muss somit in Anlehnung an Bild 5 unterschiedliche Levels des Zustandindex durchlaufen, bis es als nicht mehr funktionstüchtig gilt. Die Wahrscheinlichkeit von einem Status in den Endstatus $P(\sigma_j \rightarrow \sigma_n)$ zu gelangen, erfordert die Berechnung des Faltungsintegrals. Durch die getroffene Diskretisierung kann folgendes, vereinfachend angegeben werden.

$$q_i = P(\sigma_j \rightarrow \sigma_n) = \frac{\sum_{k=1}^j \lambda_k}{\sum_{k=1}^n \lambda_k} \quad (15)$$

Der integrale Index I_2 basiert auf der Wahrscheinlichkeiten der jährlichen Verfügbarkeit von Kanten und Knoten in einem Graphen. Die Rückführung in ein Klassifikations-Schema entspricht der üblichen Form der Kommunikation bei Straßenverwaltungen. Der Index ist integral, da das prognostizierte Alterungsverhalten berücksichtigt ist. Es werden Straße, Tunnel und Brücke gleich behandelt. Kurzlebige, rasch alternde Elemente, sofern sie von selber

Tabelle 1: Integraler Index I_2 - ein erster Vorschlag

I_2	Bereich	Anmerkung
1	$p_i \geq 0.98$	$1 - 0.01/(0.01 + 0.02 + 0.03 + 0.1 + 0.5)$
2	$0.98 > p_i \geq 0.95$	$1 - (0.01 + 0.02)/(0.01 + 0.02 + 0.03 + 0.1 + 0.5)$
3	$0.95 > p_i \geq 0.9$	Updating, Inspektion
4	$0.9 > p_i \geq 0.8$	M Intervention
5	$0.8 > p_i$	R Intervention

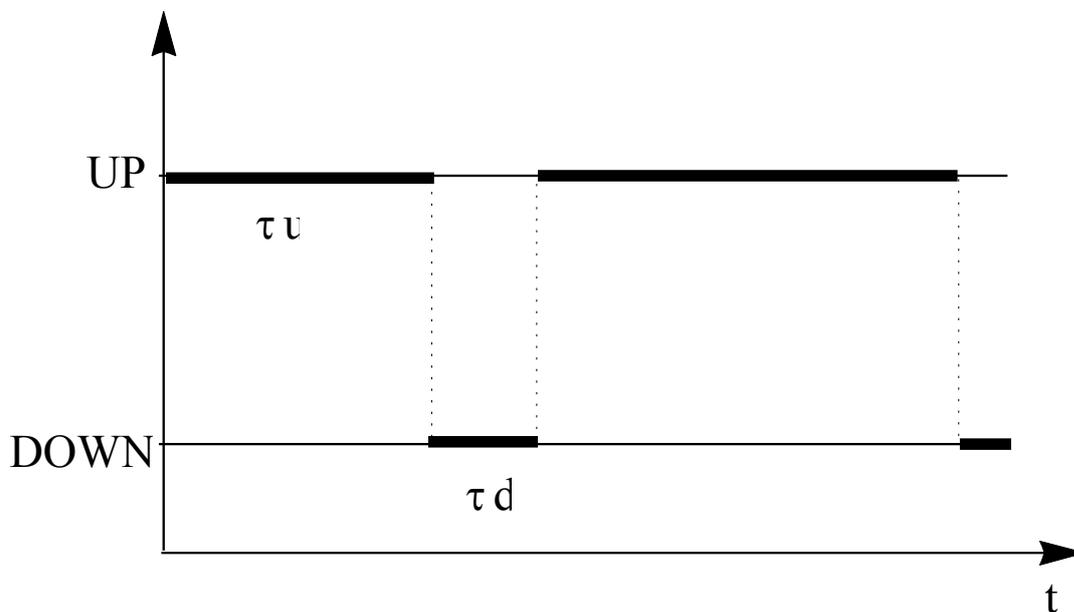


Bild 6: Trajekturen eines zweistufigen Prozesses.

Funktion wie andere Elemente sind, z.B. Teil der Fahrbahn sind, werden mit I_2 deutlich von langlebigen, langsam alternden Elementen unterschieden.

2.4 Relation zu ViaPMS

to be discussed

2.5 Verfügbarkeit

Im Bild 6 ist für Prozess mit zwei Zuständen ein zeitlicher Verlauf dargestellt. Die Zeit im UP Status ist Exponential verteilt $\tau_u \sim \exp(\lambda)$, gleich im DOWN Status mit $\tau_d \sim \exp(\mu)$. Es wird Stationarität vorausgesetzt, indem $t \rightarrow \infty$ gesetzt wird. Mit Annahme einer Expo-

ponentialverteilung als Modell, lässt sich schlussendlich folgendes angeben

$$P_u(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (16)$$

$$P_d(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (17)$$

Die stationäre Wahrscheinlichkeit im UP Status zu sein, die auch *Availability* (Av) genannte wird, unter der Annahme t strebt gegen Unendlich, kann auch mit den Mittelwerten ausgedrückt werden.

$$Av = \frac{E[\tau_u]}{E[\tau_u] + E[\tau_d]} \quad (18)$$

Es kann $E[\tau_u] = 1/\lambda$ und $E[\tau_d] = 1/\mu$ gesetzt werden. Die statische Zuverlässigkeit $R(N)$ entspricht $Av(N)$, wenn $t \rightarrow \infty$, und ist die stationäre Wahrscheinlichkeit, dass das Netz im UP Status ist.

Literature

- [1] Barlow, R.E., Proschan, F., *Statistical theory of reliability and life testing*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1975.
- [2] Gertsbakh, I., Neuman, E., Vaisman, R. *Monte Carlo for estimating exponential convolution*. arXiv:1306.5417v2 [stat.AP], 2013.
- [3] Petschacher, M. *A stochastic Ageing Model for Life-Cycle Assessment*. IALCCE (2012), Vienna, p. 167.
- [4] Ross, Sh.M. *Introduction to Probability Models*. Academic Press, 8th edition, 2007.