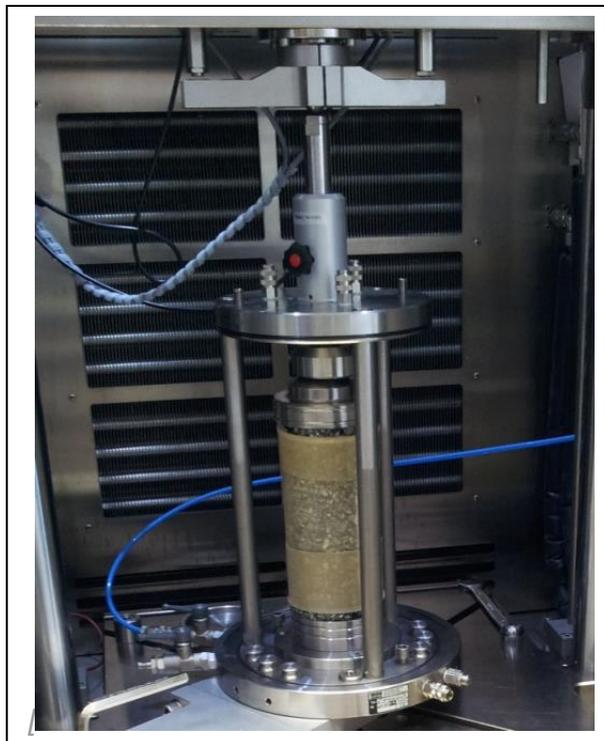


Substanzkriterium Oberbau SUB-KRIT

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2014
(VIF2014)

Endbericht Oktober 2018



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
A - 1030 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A - 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

PMS-Consult, Ingenieurbüro für Verkehrswesen
Und Infrastrukturplanung GmbH
Naglergasse 7/9
1010 Wien



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Substanzkriterium Oberbau SUB-KRIT

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2014)

AutorInnen:

DI.Dr. Alfred WENINGER-VYCUDIL

Univ.Prof.DI.Dr. Johann LITZKA

Univ.Prof.DI.Dr. Michael WISTUBA

DI Roland SPIELHOFER

DI Denitsa OSICHENKO

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:



UNIV. PROF. DIPL.-ING. DR. JOHANN LITZKA
STAATLICH GEPRÜFTER UND BEEIDETER ZIVILTECHNIKER
EM. ORDINARIUS FÜR STRASSENBAU DER TECHN. UNIVERSITÄT WIEN
2280 FERDINANDSDORF SCHUBERTGASSE 21
TELEFON UND FAX: +43 1 865 11 75
MOBIL: +43 664 6104981 E-MAIL: jlitzka@tuon.at



KURZFASSUNG

Die strukturelle Bewertung von Asphaltbefestigungen ist bei vielen Bauprojekten eine schwierige Aufgabe, die aufgrund der großen Variabilität der örtlichen Randbedingungen mit großen Unsicherheiten verbunden ist. Dies erschwert die nachfolgende Entscheidung zur Wahl der richtigen Erhaltungsstrategie. Zweckmäßig hierzu ist eine systematische und nachvollziehbare Vorgehensweise auf der Grundlage von einheitlichen Verfahrensvorschriften (Kriterien), die in anerkannten Richtlinien dokumentiert sind.

Das Hauptziel des Projekts „SUB-KRIT – Substanzkriterium Oberbau“ ist die strukturelle Bewertung von bestehenden flexiblen Oberbaukonstruktionen auf der Grundlage der Oberflächeneigenschaften und einer stufenweise vertieften Materialbewertung und -analyse auf Projektebene (Auswahlkriterien). SUB-KRIT ist ein „Work-Flow“-basierter Lösungsansatz, der dem Anwender eine klare, nachvollziehbare und objektive Bewertung spezifischer Kriterien des Oberbaus ermöglicht, von der Einbeziehung der Zustandsmerkmale der Oberfläche aus dem Pavement Management (Risse, Oberflächenschäden, etc.), über konventionelle bzw. gebrauchungsverhaltensorientierte (GVO) Materialuntersuchungen bis hin zu einer schrittweisen Verstärkungsdimensionierung (empirisch und ggf. analytisch) mit empirischem Lebenszykluskostenansatz zur Abschätzung und Bewertung der Restlebensdauer.

Je nach Erfordernis können die einzelnen Schritte und Kriterien individuell für das jeweilige Projekt angewendet werden, entweder um einen ersten Überblick für einen längeren Straßenabschnitt zu erhalten, oder für eine ganz bestimmte Problemlösung ein spezifisches Untersuchungs- und Bewertungsprozedere zu definieren. Der neu entwickelte Algorithmus kann vollständig und ohne weiteres in die Entscheidungsprozesse der ASFiNAG integriert werden.

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG.....	4
1 EINLEITUNG	9
1.1 Hauptziel	9
1.2 Aufgabenstellung.....	9
2 GRUNDLAGEN	12
2.1 Beschreibung der Ausgangsituation	12
2.2 Verknüpfung Laboruntersuchungen mit Zustandsprognose.....	14
2.3 Problembereiche strukturelle Bewertung auf Projektebene.....	14
2.4 Aktuelle Entwicklungen in Deutschland – RSO 2014	16
3 GENERELLER BEWERTUNGSPROZESS (SUB-KRIT WORKFLOW).....	19
3.1 Technisch-wissenschaftlicher Lösungsansatz.....	19
3.2 Harmonisierung Analyseprozess und organisatorischer Entscheidungsprozess	20
3.3 SUB-KRIT Workflow	22
4 STRUKTURELLE BEWERTUNG AUF PROJEKTEBENE	26
4.1 Allgemeines.....	26
4.2 Zusammenstellung der PMS-Grundlagedaten	26
4.2.1 Eingangsdaten Schichtaufbau Bestand	26
4.2.2 Zustandsgrößen aus der systematischen Straßenzustandserfassung	27
4.2.3 Eingangswerte Verkehrsbelastung	28
4.3 Visuelle Zustandserfassung und Bewertung	28
4.3.1 Aufnahme Oberflächenschäden und Risse.....	29
4.3.2 Eingangsdaten Thermographie.....	32
4.3.3 Eingrenzung Schadensursachen	35
4.4 Oberbauscreeing I	35
4.4.1 Grundlagen des Oberbauscreeings I	35
4.4.2 Kennzahlen des Oberbaus	36
4.4.2.1 Gesamtdicke des Oberbaus.....	36
4.4.2.2 Gesamtdicke des gebundenen Oberbaus	36
4.4.2.3 Rechnerisches Oberbaujahr.....	37
4.4.2.4 Österreichische Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt 0.....	37
4.4.2.5 Verkehrsbelastungskoeffizient	38
4.4.2.6 Berechnung Normlastwechsel.....	39
4.4.3 Bewertung der Einzelmerkmale und der Oberflächeneigenschaften.....	39
4.4.3.1 Allgemeines	39

4.4.3.2	Normierung der Zustandsgrößen in Zustandswerte	40
4.4.3.3	Berechnung des Gebrauchswertes	41
4.4.4	Erste strukturelle Bewertung	43
4.4.4.1	Allgemeines	43
4.4.4.2	Substanzteilwert Decke.....	43
4.4.4.3	Substanzteilwert Tragfähigkeit	44
4.4.4.4	Substanzwert Gesamt.....	46
4.4.4.5	Aktuelle Tragfähigkeitszahl, zulässige Normlastwechsel und geschätzte Restlebensdauer.....	47
4.4.5	Festlegung weitere Vorgehensweise als Ergebnis der ersten strukturellen Bewertung.....	48
4.5	Beurteilung der Tragfähigkeit im Rahmen von Deflektionsmessungen.....	50
4.5.1	Allgemeines	50
4.5.2	Hinweise zur Abschätzung der Tragfähigkeit	50
4.5.3	Anpassung der Substanzwerte infolge Tragfähigkeitsmessungen	52
4.6	Bohrkernanalyse I.....	54
4.6.1	Allgemeines	54
4.6.2	Festlegung Bohrkernschema	55
4.6.3	Empfohlene Bohrkernanalysen	56
4.7	Oberbauscreening II	57
4.7.1	Grundlagen des Oberbauscreening II	57
4.7.2	Beurteilung des Bestandes	57
4.7.3	Festlegung weitere Vorgehensweise als Ergebnis des Oberbauscreenings II.....	61
4.8	Gebrauchsverhaltensorientierte Untersuchungen Material.....	64
4.8.1	Zielsetzung	64
4.8.2	Erweiterung Bohrkernentnahmen	64
4.8.3	Bohrkernanalyse II.....	65
4.8.4	Eingangswerte für den Prozess	67
4.8.5	Berücksichtigung der GVO Eingangsdaten	69
4.8.5.1	Berücksichtigung bei schrittweiser Abschätzung der Verstärkungsdicke	69
4.8.5.2	Berücksichtigung im Rahmen der Lebenszykluskostenanalyse.....	69
4.8.5.3	Berücksichtigung im Rahmen analytischer Verstärkungsdimensionierung	70
4.9	Schrittweise empirische Verstärkungsdimensionierung.....	72
4.9.1	Eingangswerte	72
4.9.2	Vorgehensweise	72
4.9.3	Ergebnisse	74
4.10	Lebenszykluskostenanalyse des verstärkten Oberbaus.....	75

4.10.1	Allgemeines.....	75
4.10.2	Zustandsprognose.....	75
4.10.2.1	Verhaltensfunktion Risse.....	76
4.10.2.2	Verhaltensfunktion Oberflächenschäden.....	77
4.10.2.3	Verhaltensfunktion Spurrinnen.....	78
4.10.2.4	Verhaltensfunktion Längsebenheit.....	79
4.10.2.5	Verhaltensfunktion Griffigkeit.....	80
4.10.2.6	Zustandsprognose Zustandswerte und Teilwerte.....	81
4.10.3	Erhaltungsmaßnahmen.....	81
4.10.3.1	Maßnahmenkatalog und standardisierter Lebenszyklus.....	81
4.10.3.2	Anwendungsgrenzen der Erhaltungsmaßnahmen.....	82
4.10.3.3	Wirkungen von Instandsetzungsmaßnahmen.....	83
4.10.4	Kostenbewertung.....	84
4.10.4.1	Kosten der Erhaltungsmaßnahmen.....	84
4.10.4.2	Restwertermittlung.....	84
4.10.4.3	Gesamtkosten.....	85
4.11	Analytische Verstärkungsdimensionierung.....	85
4.11.1	Kriterien für eine analytische Verstärkungsdimensionierung.....	85
4.11.2	Anforderungen analytische Verstärkungsdimensionierung.....	87
5	SUB-KRIT MS Excel Prototyp.....	90
5.1	Allgemeines.....	90
5.2	Registerblätter SUB-KRIT MS Excel.....	90
5.2.1	Registerblatt Eingangsdaten Projekt.....	90
5.2.2	Registerblatt Eingangsdaten PMS.....	90
5.2.3	Registerblatt Visuelle ZEB.....	92
5.2.4	Registerblatt Oberbauscreening I.....	94
5.2.5	Registerblatt Tragfähigkeitsmessung FWD.....	95
5.2.6	Registerblatt Bohrkernschema.....	96
5.2.7	Registerblatt Oberbauscreening II.....	97
5.2.8	Registerblatt GVO Untersuchung.....	99
5.2.9	Registerblatt Schrittweise Verstärkung.....	99
5.2.10	Registerblatt Lebenszyklusanalyse.....	101
5.2.11	Registerblatt Analytische Dimensionierung.....	101
5.2.12	Registerblatt Ergebnisse.....	103
5.3	Hinweise zur praktischen Anwendung.....	105
6	Praktische Anwendung Teststrecke.....	106
6.1	Allgemeines.....	106

6.2	Beschreibung der Teststrecke	106
6.3	Untersuchung und Bewertung der Teststrecke	107
6.3.1	Zusammenstellung der PMS-Grundlagedaten	107
6.3.2	Visuelle Zustandserfassung und Bewertung	109
6.3.3	Oberbauscreening I	109
6.3.4	Deflektionsmessungen	112
6.3.5	Bohrkernanalyse I und Materialuntersuchungen	113
6.3.5.1	Allgemeines	113
6.3.5.2	Schichtenverbund	117
6.3.5.3	Untersuchungen am Bohrkern	117
6.3.5.4	Analyse der Zusammensetzung	118
6.3.5.5	Bitumenprüfungen.....	122
6.3.6	Oberbauscreening II	123
6.3.7	Abschätzung der Verstärkungsdicke der Teststrecke (Varianten)	125
6.3.8	Lebenszykluskostenanalyse der untersuchten Varianten.....	127
6.4	Ergebnisse	130
7	Empfehlungen für die praktische Umsetzung in der RVS.....	131
7.1	Allgemeines	131
7.2	Zuordnung der zukünftigen RVS im aktuellen Regelwerk	131
7.3	Inhaltliche Gestaltung der zukünftigen Richtlinie	131
7.3.1	Allgemeines	131
7.3.2	Motivation	131
7.3.3	Vorschlag zum Inhalt	132
7.3.4	Praktische Umsetzung.....	134
8	Zusammenfassung	135
8.1	Einleitung und Aufgabenstellung.....	135
8.2	Technisch wissenschaftlicher Lösungsansatz.....	136
8.3	Grundlagen des Prozesses.....	137
8.4	SUB-KRIT Workflow	140
8.5	SUB-KRIT Berechnungsalgorithmen	143
8.6	SUB-KRIT MS Excel Prototyp.....	144
8.7	Praktische Anwendung auf einer Teststrecke	145
8.8	Zusammenstellung der Grundlagen für die RVS.....	146
	LITERATUR.....	148

1 EINLEITUNG

1.1 Hauptziel

Das Hauptziel des Projektes SUB-KRIT („Substanzkriterium Oberbau“) ist die strukturelle Bewertung von bestehenden bituminösen Oberbaukonstruktionen auf der Grundlage der Oberflächeneigenschaften und einer stufenweise vertieften Materialbewertung und -analyse auf Projektebene.

SUB-KRIT ist ein „Work-Flow“-basierter Lösungsansatz, der dem Anwender eine klare, nachvollziehbare und objektive Bewertung spezifischer Kriterien des Oberbaus ermöglicht, von der Einbeziehung der Zustandsmerkmale der Oberfläche (Risse, Oberflächenschäden, etc.) über standardisierte bzw. gebrauchsverhaltensorientierte (GVO) Materialuntersuchungen bis hin zu einer schrittweisen empirischen und ggf. analytischen Verstärkungsdimensionierung mit empirischem Lebenszykluskostenansatz und Abschätzung der Restlebensdauer.

Je nach Erfordernis, können die einzelnen Schritte (Module) individuell für das jeweilige Projekt angewendet werden, entweder um einen ersten Überblick über die strukturelle Beschaffenheit eines längeren Straßenabschnittes zu erhalten, oder um für eine ganz bestimmte Problemlösung ein spezifisches Untersuchungs- und Bewertungsprozedere zu definieren.

SUB-KRIT verknüpft somit bestehende langjährige Erfahrungen im Erhaltungsmanagement (strukturelle Bewertung des Oberbaus auf Netzebene, neuer Substanzwert – VIF2012-Projekt ELISA^{ASFINAG} [1]) mit modernen materialtechnischen Untersuchungen (konventionell oder GVO-basiert) und mit einem nachhaltig orientierten Dimensionierungsansatz als Grundlage für die Abschätzung der Restlebensdauer und zukünftiger Erhaltungsmaßnahmen (siehe PROMAT [2], InteMat4PMS [3] und OBESTO [4]).

Der neu entwickelte Algorithmus ist vollständig und ohne weiteres im bestehenden PMS der ASFINAG verwendbar, jegliche denkbare Arbeitsschritte zu Programmkoppelung oder Definition von Schnittstellen entfallen.

1.2 Aufgabenstellung

Um die oben beschriebenen übergeordneten Ziele erfüllen zu können, werden in SUB-KRIT folgende Aufgabenbereiche behandelt:

- Work-Flow: Festlegung eines Ablaufschemas zur stufenweisen Beurteilung der strukturellen Beschaffenheit von flexiblen und semi-flexiblen Oberbaukonstruktionen (Bautypen AS1 bis AS4 nach derzeitiger RVS 03.08.63 [5])
- Oberbau-Screening, Bewertungsstufe 1: Generelle Bewertung des zu beurteilenden Oberbaus. Als Grundlage hierfür dienen der Oberflächenzustand (Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen, etc.) und die auf Oberbaudaten (Material, Alter, Schichtenfolge, etc.) basierende Ermittlung eines Substanzwertes aus der PMS-Analyse.
- Detailbewertung Oberbau, Bewertungsstufe 2: Detaillierte Bewertung des Oberbaus unter Heranziehung von konventionellen und/oder GVO-basierten Materialuntersuchungen und ggf. erforderlichen Tragfähigkeitsuntersuchungen (FWD-Messungen)
- Systematische ingenieurmäßige Bewertung der strukturellen Beschaffenheit und empirische Lebenszykluskostenanalyse (LCCA – life-cycle-cost-analysis) mit folgenden Ergebnissen (unter Angabe bestimmter Unsicherheiten):
 - Erforderliche Verstärkungsdicke
 - Restlebensdauer
 - Lebenszyklus mit Lebenszykluskosten (Errichtung, Instandhaltung, Instandsetzung und Restwert)
- Work-Flow- basierte Software-Applikation (MS Excel Prototyp) zur Beurteilung der strukturellen Beschaffenheit von flexiblen und semi-flexiblen Oberbaukonstruktionen unter Heranziehung der beiden Bewertungsstufen und des Berechnungsalgorithmus
- Überprüfung des Prozesses im Rahmen einer praktischen Implementierung auf einer Teststrecke der ASFiNAG (A4 Ostautobahn)
- Ausarbeitung von Empfehlungen für die Übernahme der Ergebnisse in die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS).

SUB-KRIT wurde im Rahmen von 5 Arbeitspaketen stufenweise entwickelt und umfasst folgende Ziele und Ergebnisse:

- SUB-KRIT Work-Flow (Ablaufschema, Bewertungskriterien)
- Strukturelle Oberbaubewertung in 2 Stufen (Oberbau-Screening und Detailbewertung unter Heranziehung von Materialuntersuchungen und erweiterter Zustandserfassung)
- Systematische Substanzbewertung und empirische Lebenszykluskostenanalyse (erforderliche Verstärkungsdicke, Restlebensdauer und Lebenszykluskosten)

- Work-Flow-basierte Softwareanwendung (MS Excel SUB-KRIT Software-Prototyp)
- Praktische Implementierung auf einer Teststrecke der ASFiNAG (A4 Ostautobahn) und Ausarbeitung von RVS-Grundlagen bzw. Empfehlungen.

SUB-KRIT liefert einen wesentlichen Technologiesprung in der Weiterentwicklung des Erhaltungssystems der ASFiNAG dahingehend, dass erstmals ein gesamtheitlicher Work-Flow-basierter Entscheidungsprozess konzipiert und erprobt wird, und dass gleichzeitig die klassische Trennung zwischen Erhaltungsplanung auf Netzebene und auf Projektebene aufgelöst wird. Ein Meilenstein ist auch die Verknüpfung der technischen Bewertung des Bestandes (Zustandserhebung) mit der Analyse von gebrauchungsverhaltensorientierten (GVO) Eigenschaften der verwendeten Baustoffe und mit einer Lebenszyklusanalyse.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Beschreibung der Ausgangssituation

Die zunehmende Bedeutung der Erhaltung des Bestandes im Straßennetz der ASFINAG erfordert u. a. die weitere Optimierung der Entscheidungsprozesse im Rahmen der systematischen Erhaltungsplanung. Dazu ist es notwendig, auf den umfangreichen Erfahrungen der letzten Jahre aufzubauen und gleichzeitig neuere Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren zu nutzen.

Vor allem der Einsatz von konventionellen und gebrauchungsverhaltensorientierten (GVO) Materialuntersuchungen und -prüfungen im Bereich der Asphalttechnologie sowie eine direkte Bewertung der Tragfähigkeit (z. B. über FWD-Messungen) ermöglichen heute eine wesentlich genauere Beurteilung der strukturellen Beschaffenheit des Bestandes und somit eine effizientere und zielorientiertere Dimensionierung von Verstärkungsmaßnahmen. Obwohl diese Prüfungen und Untersuchungen etablierte Lösungen darstellen und daher dem Stand der Technik entsprechen, wurden sie bisher in Österreich aufgrund ihrer möglichen Komplexität bzw. des damit verbundenen Aufwandes (auch monetär) nur sporadisch angewendet. Auch ist es technisch nicht immer zweckmäßig, umfangreiche (und zumeist kostenintensive) Untersuchungen bei jedem Bauvorhaben anzuwenden. Die effizienteste Lösung liegt in einer zielorientierten, stufenweisen Herangehensweise, um in Abhängigkeit von den projektabhängigen Randbedingungen den größtmöglichen Nutzen bei minimalem Mitteleinsatz zu erzielen. Für eine optimale Entscheidungssicherheit ist daher für jedes Bauprojekt abzuwägen, welche bautechnischen Grundlagen in welchem Umfang zu erheben sind. Die stufenweise Beurteilung bzw. Überprüfung definierter Straßeneigenschaften gemäß Stand der Technik (Kriterien) ist ein wesentlicher Inhalt von SUB-KRIT, mit dem Ziel, effiziente Entscheidungen systematisch, einfach und schnell treffen zu können.

Im Bereich des Pavement Managements (PMS) wird auf Netzebene seit vielen Jahren ein systematisches Verfahren zur strukturellen Beurteilung des Oberbaus angewendet und laufend erweitert (siehe VIF2012-Projekt ELISA^{ASFINAG} [1]). Aufgrund der eingebundenen Daten und Informationen (z.B. Zustandserfassung auf Netzebene) handelt es sich dabei um eine generelle Bewertung, die eine generalisierte Aussage über mögliche Erhaltungsmaßnahmen liefert. Eine Präzisierung auf Projektebene unter Heranziehung zusätzlicher Daten und Informationen (erweiterte Zustandserfassung, Materialuntersuchungen) erfolgt nur vereinzelt, wäre aber auf jeden Fall flächendeckend sinnvoll und

wünschenswert. Gerade vor dem Ziel des Erreichens eines optimalen Lebenszyklus unter Ausnützung der Eigenschaften des „Restbestandes“ (Was kann dem Bestand tatsächlich noch zugemutet werden?), der einzusetzenden Materialien sowie der Beurteilung der Auswirkungen auf den Straßennutzer (Kunde) wäre ein gesamtheitliches, holistisches Verfahren von großem Vorteil.

Eine Verknüpfung beider Betrachtungsebenen, Netzebene und Projektebene, zu einem einheitlichen und umfassenden Erhaltungssystem wird seit vielen Jahren diskutiert. Aus der Sicht der Experten ist es notwendig, die Verfahren zu harmonisieren, sodass beide Betrachtungsebenen einander ergänzen und sich nicht widersprechen. Ein gesamtheitlicher Ansatz wurde allerdings bisher nicht umgesetzt und ist daher auch im Technischen Regelwerk nicht abgebildet. Dies soll im Rahmen des Projekts SUB-KRIT erfolgen, sodass den Anwendern künftig die notwendigen Instrumentarien in den entsprechenden Richtlinien (RVS) zur Verfügung stehen.

Die derzeit in Verwendung befindlichen Richtlinien RVS 13.01.18 [6] sowie bestimmte Vorgaben in der RVS 13.01.41 [7] (obwohl 2015 nochmals überarbeitet) entsprechen unter den oben beschriebenen Gesichtspunkten nicht mehr dem Stand der Technik und werden daher auch praktisch nur selten angewendet. Auch die derzeitige Richtlinie RVS 03.08.64 [10] zur Oberbauverstärkung entspricht vor diesem Hintergrund nicht mehr dem Stand der Technik und ist somit in die Überarbeitung auf Grundlage der Ergebnisse aus SUB-KRIT einzubinden.

Einige Projekte, wie z. B. A4-Ostautobahn (Abschnitt ASt. Flughafen Schwechat bis ASt. Fischamend), haben bereits gezeigt, dass eine Bewertung auf Netzebene (inkl. Lebenszyklusbetrachtung) und eine darauf aufbauende Vertiefung der Untersuchungen auf Projektebene eine gute Entscheidungsgrundlage für die Wahl des Erhaltungskonzeptes liefert. Dabei wurden die Daten und Ergebnisse so aufbereitet, dass die Vor- und Nachteile für die untersuchten Varianten sowohl aus bautechnischer Sicht als auch im Hinblick auf eine Lebenszyklusbetrachtung für eine objektive Bewertung zur Verfügung standen. Damit konnten die Entscheidungsträger die „beste“ Variante auswählen, ohne dabei die RVS 13.01.18 [6] oder die RVS 13.01.41 [7] anzuwenden.

Ein vergleichbares Vorhaben, allerdings ohne Berücksichtigung der Lebenszykluskosten, wurde in Deutschland im Zuge der Erstellung von Richtlinien zur Bewertung der strukturellen

Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise (RSO Asphalt 2014 [8]) bearbeitet.

2.2 Verknüpfung Laboruntersuchungen mit Zustandsprognose

Ein Meilenstein bei der Beurteilung von Erhaltungsmaßnahmen ist die Einbindung von Ergebnissen von Materialuntersuchungen im Labor in die Zustandsprognose. Mit den Projekten InteMat4PMS [3], PROMAT [2] und PMS-Niedersachsen [9] wurden bzw. werden die Grundlagen hierfür geschaffen, sodass ein ganzheitlicher, empirisch-analytischer Bewertungsansatz für die Ermittlung der Restlebensdauer und notwendiger Verstärkungsdicken bei Start des Projekts SUB-KRIT bereits größtenteils zur Verfügung steht. Die praktische Anwendung dieser zukunftsorientierten Vorgehensweise hat deutliche Vorteile gegenüber der klassischen analytischen Dimensionierung, die keine Prognose des Zustandes ermöglicht und somit für eine nachhaltige Bewertung weniger geeignet ist. Im Rahmen von SUB-KRIT wird ein analytischer Bemessungsansatz mit empirischer Straßenzustandsprognose genutzt und als integrativer Bestandteil des Bewertungsprozesses definiert.

2.3 Problembereiche strukturelle Bewertung auf Projektebene

Die strukturelle Bewertung von Asphaltbefestigungen, insbesondere deren „Restwert“, ist bei vielen Bauprojekten eine schwierige Aufgabe, die aufgrund der großen Variabilität der örtlichen Randbedingungen mit großen Unsicherheiten verbunden ist. Dies erschwert die nachfolgende Entscheidung zur Wahl der richtigen Erhaltungsstrategie. Zweckmäßig hierfür wäre eine systematische und nachvollziehbare Vorgehensweise auf der Grundlage von einheitlichen Verfahrensvorschriften und -kriterien, die auch in anerkannten Richtlinien dokumentiert sind. Es können folgende Problembereiche spezifiziert werden, die in SUB-KRIT zu behandeln sind:

- Die Richtlinien RVS 13.01.18 [6], RVS 13.01.41 [7] und RVS 03.08.64 [10] entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. Die Entwicklungen der letzten Jahre sind in ein aktuelles Richtlinienwerk einzuarbeiten. SUB-KRIT liefert in den einzelnen Arbeitspaketen die Grundlagen für eine Überarbeitung dieser RVS-Richtlinien.
- Eine fehlende systematische Vorgehensweise bei der strukturellen Bewertung von flexiblen (Bautypen AS1 bis AS3) und semi-flexiblen Oberbaukonstruktionen (Bautype AS4) führt zu unterschiedlichen Lösungsansätzen und somit zu einer hohen Wahrscheinlichkeit von Fehlinterpretationen und sub-optimalen Lösungen. Mit SUB-KRIT soll ein systematischer Prozess definiert und in der Baupraxis getestet werden.

Die hierfür notwendigen Instrumentarien (Work-Flow, Software-Applikationen, etc.) werden im Rahmen von SUB-KRIT entwickelt und stehen nach Abschluss des Projektes dem Anwender zur Verfügung.

- Eine Harmonisierung zwischen der Beurteilung auf Netzebene unter Heranziehung von aktuellen strukturellen Kennwerten (z. B. Substanzwert neu aus VIF2012-Projekt ELISA^{ASFINAG} [1]) und einer Beurteilung auf Projektebene ist für eine effiziente und nachvollziehbare Vorgehensweise notwendig. SUB-KRIT liefert ein stufenweises Verfahren, das den Anwender in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Informationen auf Netzebene (die z.B. bei der periodischen Zustandserfassung mit einer sehr hohen Genauigkeit erhoben werden) schrittweise durch den Prozess der Beurteilung auf Projektebene führt und auch aufzeigt, welche Informationen tatsächlich notwendig sind (Work-Flow-Prozess).
- Die Berechnung von Verstärkungsdicken gem. RVS 03.08.64 [10] sowie die Abschätzung der Restlebensdauer basieren in Österreich zum Teil auf einer analytischen Oberbaubemessung, deren Ergebnis nicht direkt für die Zustandsprognose im Rahmen von PMS genutzt werden kann. Dies entspricht nicht mehr dem aktuellen Stand des Wissens. Ergänzend zur Oberbaubemessung wird in SUB-KRIT ein bereits entwickeltes Verfahren genutzt, welches die Ergebnisse der Oberbaubemessung für das jeweilige Bauprojekt mit den Untersuchungen zum Zustandsverhalten des betrachteten Straßenabschnittes verknüpft, sodass neben der Ermittlung einer erforderlichen Verstärkungsschichtdicke auch die Restlebensdauer und die Lebenszykluskosten abgeschätzt werden können.
- Die Dimensionierung von flexiblen und semi-flexiblen Befestigungen erfolgt in der Regel nach der derzeit gültigen RVS 03.08.63 [5] für eine Bemessungslebensdauer von 20 bzw. 30 (auf Autobahnen und Schnellstraßen) Jahren. Da die Deckschichten diesen Wert nur selten erreichen und im Mittel nach 14 bis 17 Jahren erneuert werden müssen, ergibt sich das Problem der Beurteilung des darunter liegenden Bestandes. Beispielsweise ist die Frage, ob eine Deckschichterneuerung, eine Verstärkung oder sogar eine Erneuerung (aufgrund der geringen rechnerischen Restlebensdauer) die optimale Lösung darstellt, schwierig zu beantworten, weil der Lebenszyklus der Deckschichten im Regelfall von der Bemessungslebensdauer der Gesamtbefestigung abweicht. SUB-KRIT ermöglicht eine Beurteilung dieser Optionen, sodass in Abhängigkeit von der Ausgangssituation und den jeweiligen Rahmenbedingungen

(Material Bestand, Tragfähigkeit Bestand, etc.) eine „optimale“ Lösung ermittelt werden kann.

Eine falsche bzw. mangelhafte Beurteilung des Bestandes von Asphaltbefestigungen führt nicht nur zu wirtschaftlich sub-optimalen Lösungen. Auch die Auswirkungen auf die Verkehrsteilnehmer (Kunden) sind von wesentlicher Bedeutung, sodass die Auswahl einer geeigneten Erhaltungsmaßnahme mit einer geringstmöglichen Beeinträchtigung (betrachtet über eine längere Periode) im Vordergrund stehen muss. In diesem Sinn sind die technischen und kundenspezifischen Anforderungen in den Entscheidungsprozess zu integrieren (z.B. Berechnung der Baustellenfreiheit), was nur dann möglich ist, wenn die unterschiedlichen Bewertungsverfahren auch zu einem Gesamtprozess zusammengefügt werden. Mit SUB-KRIT soll dieser Schritt erstmalig in Österreich umgesetzt und auch praktisch getestet werden.

2.4 Aktuelle Entwicklungen in Deutschland – RSO 2014

Mit der Veröffentlichung der „Richtlinie zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweisen“ (RSO Asphalt 2014) [8] steht seit dem Jahr 2015 in Deutschland eine Rahmenrichtlinie für die strukturelle Bewertung von Asphaltoberbaukonstruktionen zur Verfügung. Die Zielsetzung dieser Richtlinie ist sehr ähnlich zur gegenständlichen Fragestellung, klammert jedoch die Berücksichtigung der Zustandsdaten aus der ZEB größtenteils aus und konzentriert sich ausschließlich auf die Bewertung auf Projektebene unter Heranziehung der materialtechnischen Kennwerte und ggf. ergänzender Tragfähigkeitsuntersuchungen mit dem MESAS (Multifunktionales Erfassungssystem zur Substanzbewertung und zum Aufbau von Straßen, siehe Abbildung 1).

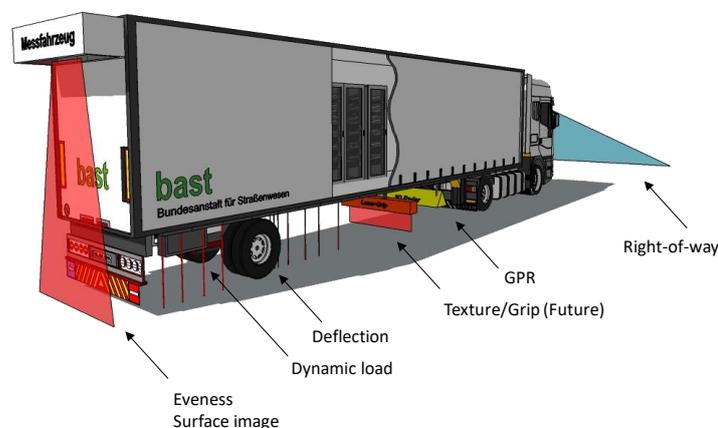


Abbildung 1: MESAS – Multifunktionales Erfassungssystem zur Substanzbewertung und zum Aufbau von Straßen (Bild BAST)

In dieser Richtlinie ist zwar ein systematischer Prozess beschrieben, der sich jedoch in erster Linie auf die rechnerische Beurteilung des Oberbaus konzentriert und auf die deutsche RDO „Richtlinie für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt 09)“ [11] als maßgebende Richtlinie zur rechnerischen Oberbaubemessung verweist. Der beschriebene Prozess kann dabei in folgende Schritte unterteilt bzw. kategorisiert werden:

- Definition der Eingangsdaten
 - Verkehrsdaten
 - Tragfähigkeit
 - Schicht- und Aufbaudicken
- Abschnittsbildung in Form von strukturell homogenen Abschnitten auf der Grundlage der Eingangsdaten
- Materialansprache der Bestandssituation
 - Verkehrsbelastung auf dem Bestand (Vergangenheit) und zukünftige Verkehrsbelastung
 - Klimadaten (Wetterdaten) auf dem Bestand (Vergangenheit) und zukünftige Entwicklung
 - Vergangene und zukünftige zu ertragende Beanspruchung
 - Materialkennwerte und Befestigungsdaten zum Bewertungszeitpunkt
- Substanzberechnung unter Berücksichtigung
 - Materialeigenschaften
 - Steifigkeiten (möglichst individuell) mit Rückrechnung aus TSD oder rechnerisch aus Materialdaten (Francken & Verstraeten oder Wiener Modell)
 - Ermüdungsfunktionen (pauschal, kategorisiert) durch Zuordnung von 3 Klassen (gut, mittel, schlecht) bzw. nach Zustand und ertragener Beanspruchung
 - Zukünftige Verkehrsbelastung und Wetterdaten

Das Ergebnis der Berechnung bzw. Bewertung ist die Restsubstanz der zu betrachtenden Bestandsschichten, die als Eingangsgröße für die rechnerische Dimensionierung nach RDO [11] herangezogen werden kann.

Wie bereits erwähnt, beschreibt die RSO Asphalt 2014 [8] sehr genau den Rechenprozess zur strukturellen Bewertung von Asphaltstraßen. Eine umfassende Beschreibung des Gesamtprozesses mit den einzelnen Entscheidungsmöglichkeiten ist jedoch nicht der Inhalt dieser deutschen Richtlinie. Sie zeigt daher auch nicht, wie der Entscheidungsträger schrittweise von der Erfassung des Zustandes auf Netzebene bis hin zur Entscheidung, ob eine bestimmte Verstärkung auch aus der Sicht des Lebenszyklus eine sinnvolle Variante darstellt, unterstützt werden kann. Dies ist eine wesentliche Fragestellung des gegenständlichen Projektes. Ungeachtet dieser Unterschiede kann jedoch die RSO auch in den gegenständlichen Prozess integriert werden. Vor allem im Rahmen der Abschätzung der Verstärkungsdicken unter Berücksichtigung von materialtechnischen Kennwerten besteht eine Möglichkeit die RDO anzuwenden. Die hierfür notwendigen Eingangsdaten ergeben sich direkt aus den zuvor zitierten Bewertungsschritten des Prozesses.

3 GENERELLER BEWERTUNGSPROZESS (SUB-KRIT WORKFLOW)

3.1 Technisch-wissenschaftlicher Lösungsansatz

Prozessgesteuerte und -unterstützte Entscheidungshilfen sind eine wichtige Grundlage für eine objektive und nachvollziehbare Beurteilung unterschiedlicher Lösungen. Diese Form der Entscheidungsfindung wird in vielen technischen Bereichen angewendet und kann auch für die strukturelle Bewertung von flexiblen und semi-flexiblen Oberbaukonstruktionen herangezogen werden. Voraussetzung hierfür sind objektiv anwendbare Untersuchungs- und Beurteilungsverfahren, die in Österreich zur Verfügung stehen und in eine solche Entscheidungshilfe integriert werden können. Aufgrund der relativ komplexen Fragestellung, der zum Teil mit hohem Aufwand (Zeit und Kosten) verbundenen Untersuchungen sowie der umfangreichen im Prozess zu verarbeitenden Kennzahlen und -werte ist es jedoch erforderlich, einerseits ein hohes Maß an Flexibilität in den Prozess zu integrieren und andererseits den Anwender mit den entsprechenden Instrumentarien (Tools) zu unterstützen. Von wesentlicher Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die ingenieurmäßige Bewertung, die in den Prozess integriert werden muss und den Experten die Möglichkeit gibt, seine Erfahrungen durch entsprechende Eingaben zu berücksichtigen.

Der technisch-wissenschaftliche Lösungsansatz für SUB-KRIT basiert daher auf einer elektronisch-unterstützten, prozessorientierten Entscheidungshilfe in Form des SUB-KRIT Work-Flow, welcher nachfolgend im Kapitel 3.3 im Detail dargestellt und beschrieben wird.

Von zentraler Bedeutung für das Projekt SUB-KRIT ist die Erweiterung des Prognoseverfahrens durch die Kopplung der Ergebnisse aus der Oberbaubemessung mit der Zustandsprognose auf Basis der erhaltungsrelevanten Merkmale Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen, Längsebenheit und Griffigkeit (siehe hierzu RVS 13.01.15 [12] und RVS 13.01.16 [13]) für den schrittweisen Prozess zur Findung der optimalen Verstärkungsdicke. Technisch gesehen werden dabei unter Beibehaltung der ursprünglichen Form der Verhaltensfunktion die Daten der erweiterten Zustandserfassung, die Materialdaten und die Ergebnisse der empirischen und ggf. analytischen Verstärkungsdimensionierung genutzt, um die Verhaltensfunktion (gem. „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 [14]) dem realen Verhalten besser anzunähern. Diese Methode ist das Ergebnis des ENR-Projektes InteMat4PMS [3] sowie des VIF2013-Projektes PROMAT [2]. Eine solche empirisch-analytische Zustandsprognose ist die wesentliche Grundlage für die Ermittlung von Lebenszykluskosten (gem. „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009“ [14]) und

der Restlebensdauer der gesamten Konstruktion (Bestand plus Verstärkung). Liegen keine Daten aus Materialuntersuchungen bzw. einer erweiterten Zustandserfassung vor, so werden die Verhaltensfunktionen – wie bisher – allein mit den Werten des Oberbau-Screenings I kalibriert. Die praktische Umsetzung des Analysealgorithmus erfolgt durch die Entwicklung und Implementierung einer Prototyp-Softwarelösung unter Heranziehung von MS Excel. Diese steht dem AG als Prototyp für die praktische Anwendung zur Verfügung.

3.2 Harmonisierung Analyseprozess und organisatorischer Entscheidungsprozess

Neben der Definition des Rechenprozesses ist es von wesentlicher Bedeutung, in welchem Ausmaß der SUB-KRIT Workflow den Entscheidungsprozess innerhalb der ASFINAG unterstützen kann. Dazu ist es erforderlich, diesen Entscheidungsprozess zu analysieren und letztendlich mit dem Rechenprozess zu harmonisieren.

Die Analyse des Entscheidungsprozesses erfolgte im Rahmen eines gemeinsamen Workshops am 2.11.2015 mit Vertretern der ASFINAG. Dieser organisatorische Entscheidungsprozess kann zunächst im Überblick der nachfolgenden Abbildung 2 entnommen werden.

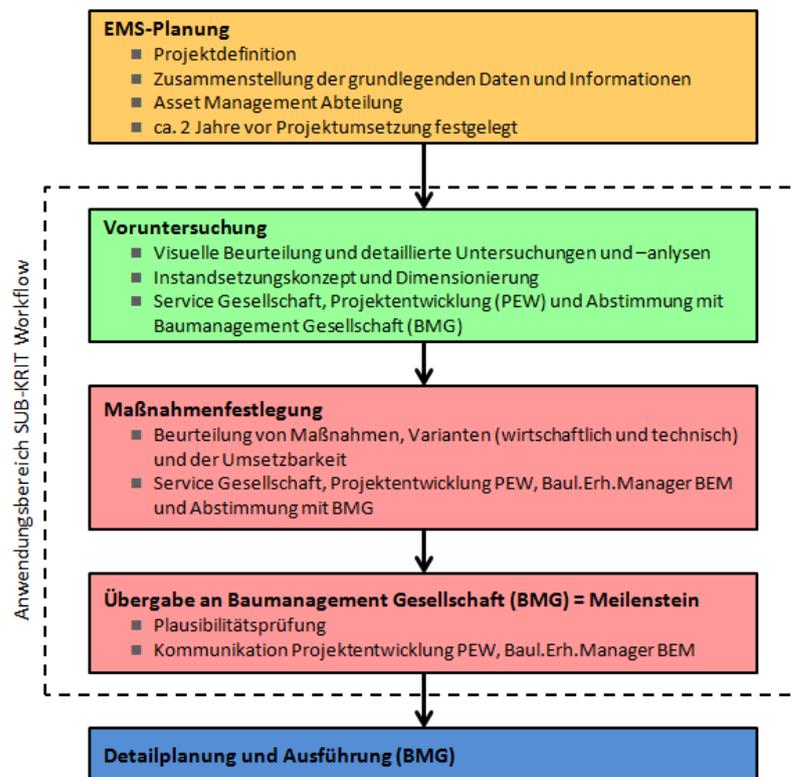


Abbildung 2: Genereller Entscheidungsprozess für die Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen auf Projektebene in der ASFINAG

Die Basis für die Initiierung des Entscheidungsprozesses auf Projektebene sind die Ergebnisse der Untersuchung der Asset Management Experten im Bereich des Erhaltungsmanagements. Dieser Bereich definiert auch das Projekt und liefert wesentliche Eingangsdaten (aus PMS-Datenbank) für den SUB-KRIT Workflow. Die Projektidee wird ca. 2 Jahre vor Umsetzung der Maßnahme im EMS-Bereich (Asset Management Abteilung, ASFINAG Service Gesellschaft) definiert und ist somit der Ausgangspunkt der nachfolgenden Prozessschritte.

Die Voruntersuchung (Dauer ca. 1 Jahr) ist die Basis für eine Entscheidungsfindung auf Projektebene und daher auch der primäre Anwendungsbereich für den SUB-KRIT Workflow. In diesem Sinne sind auch die in der Voruntersuchung definierten Tätigkeiten direkt in den Prozess zu integrieren und auch um innovative Ergänzungen zu erweitern. Die maßgebenden Tätigkeiten im Bereich dieser Voruntersuchung, welche von der ASFINAG Service Gesellschaft, im speziellen von der Projektentwicklung (PEW), im Einvernehmen mit der Baumanagement Gesellschaft (BMG) durchgeführt werden, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Visuelle Beurteilung Erhaltungsabschnitt (Erfassung auf Projektebene)
- Bohrkernentnahme und -analyse (konventionelle Untersuchung)
- Beurteilung Spurrinnen und Griffigkeit (Daten der messtechnischen Straßenzustandserfassung)
- Erweiterte messtechnische Straßenzustandserfassungen (FWD, Georadarmessungen, optional)
- Beurteilung ungebundene Schichten (optional)
- Chemische Untersuchungen (z.B. Schlacke)
- Instandsetzungskonzept und Dimensionierung

Die Grundlage für die Maßnahmenentscheidung auf Projektebene sind zunächst die Ergebnisse der Voruntersuchung. Die Fixierung der Maßnahmen, im Einvernehmen zwischen der ASFINAG Service Gesellschaft, der Projektentwicklung (PEW), dem Baulichen Erhaltungsmanager (BEM) und der Baumanagement Gesellschaft (BMG), basiert wiederum auf folgenden maßgebenden Prozessschritten:

- Wirtschaftlichkeit (Beurteilung über spezielle Excel-Anwendung)
- Abstimmung mit anderen Anlagen und anderen Interessensbereichen
- Beurteilung der Umsetzbarkeit

- Variantenuntersuchung, ggf. Variantenausarbeitung (kein Regelfall)

Nach der Entscheidungsfindung wird das Projekt an die Baumanagement Gesellschaft (BMG) übergeben. Diese Übergabe ist als wesentlicher Meilenstein im Prozess definiert. Dieser Meilenstein ist auch das sinnvolle und mögliche Ende des SUB-KRT Workflow. Mögliche Änderungen der Entscheidung können sich infolge von Plausibilitätsprüfungen ergeben bzw. als Ergebnis von Alternativen im Rahmen der Ausschreibung (falls zugelassen). Der Abschluss des Prozesses ist die Umsetzung der Erhaltungsmaßnahme, welche im Verantwortungsbereich der BMG angesiedelt ist.

3.3 SUB-KRIT Workflow

Die Kombination des technisch-wissenschaftlichen Lösungsansatzes sowie der bestehenden organisatorischen Anforderungen und der bereits vorhandenen technisch/wirtschaftlichen Bewertungsstufen (siehe vorheriges Kapitel) stellt die Grundlage für den SUB-KRIT Workflow dar. Dieser Entwurf kann der nachfolgenden Abbildung 3 entnommen werden.

Wie bereits erwähnt, wurde der SUB-KRIT Workflow so gestaltet, dass die bestehenden Aktivitäten des Entscheidungsprozesses für die Maßnahmenauswahl auf Projektebene einen integralen Bestandteil darstellen.

Im Vergleich zum aktuellen Prozess, welcher derzeit bei der ASFINAG angewendet wird, ist es notwendig, die einzelnen Schritte zu präzisieren und auch mit objektiven Grundlagen (z.B. Arbeitsanweisung Straßenzustandserfassung auf Projektebene) zu ergänzen. Darüber hinaus erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, zumindest 2 Phasen eines Oberbauscreenings (schrittweise Beurteilung der bis dato zusammengefassten Ergebnisse) im Prozess anzuwenden. Eine evtl. erforderliche erweiterte Bohrkernentnahme und -analyse (Entscheidung ob notwendig, erfolgt im Prozess) und auch notwendige GVO basierte Untersuchungen als Grundlage für die schrittweise und ggf. notwendige analytische Verstärkungsdimensionierung sowie die Lebenszyklusanalyse ergänzen den vorgeschlagenen Prozess zu einer holistischen Anwendung.

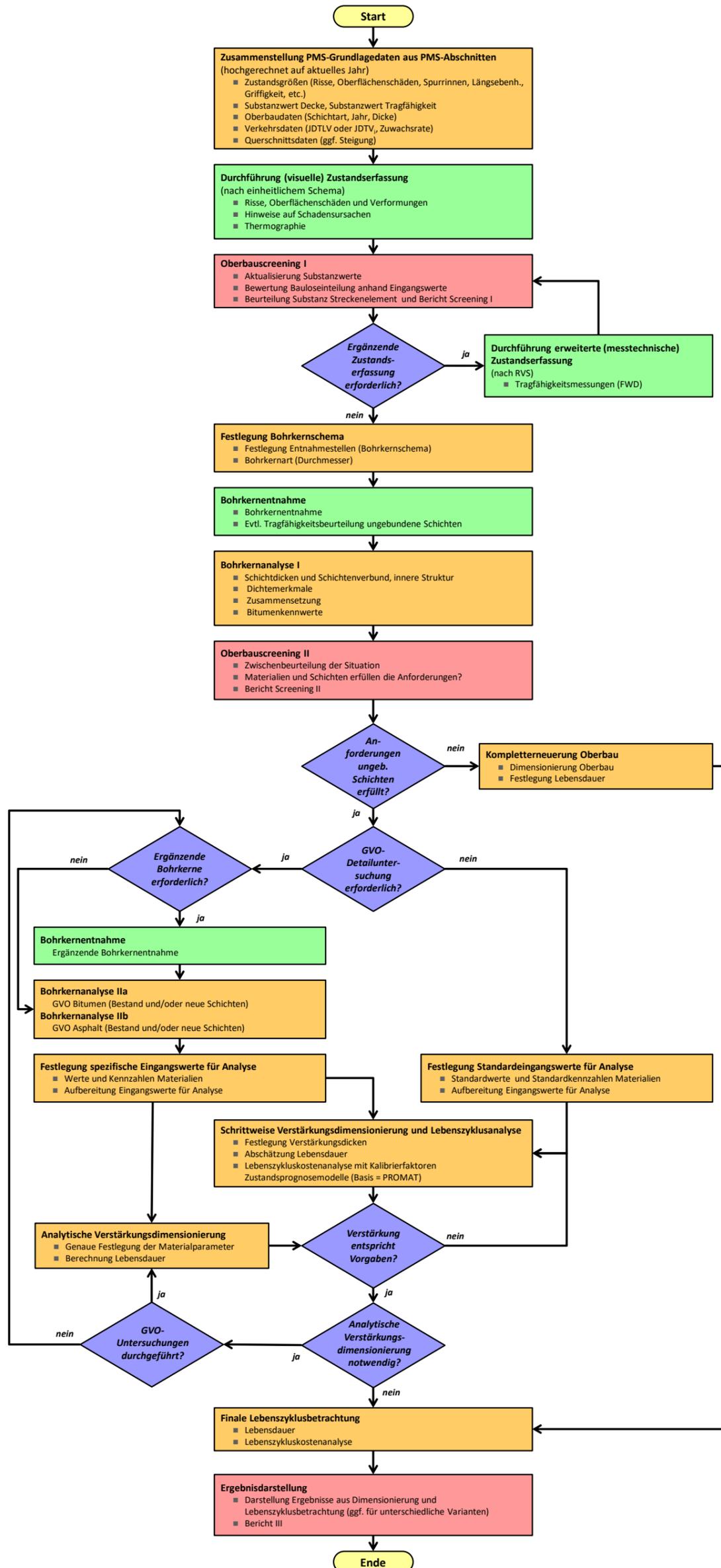


Abbildung 3: SUB-KRIT Workflow

Die primäre Zielsetzung des Prozesses liegt in der Bereitstellung einer objektiven Entscheidungsgrundlage für das Finden einer optimalen Verstärkungsdicke anhand einer umfassenden strukturellen Bewertung. Gerade die schrittweise und ggf. notwendige analytische Verstärkungsdimensionierung in Kombination mit der Lebenszykluskostenanalyse ermöglicht es dem Anwender, seine Lösungen objektiv zu bewerten und zu beurteilen.

Abbildung 3 zeigt die schrittweise Herangehensweise bei der Beurteilung der Substanz. Mit den vorhandenen Daten und Informationen, die aus der Betrachtung der Netzebene (periodische Zustandserfassung, PMS-Daten, Verkehrsdaten, etc.) sowie möglicher Voruntersuchungen zur Verfügung stehen, ist zunächst eine generelle Beurteilung (Oberbauscreening I) vorzunehmen. Eine erste Auswahl sinnvoller Lösungen sollte zu diesem Zeitpunkt bereits möglich sein bzw. zumindest eine Aussage, ob eine vertiefende Zustandserfassung und -bewertung zusätzliche Informationen liefern kann.

Nach Beurteilung der Daten sowie darauf aufbauender Kennzahlen (z. B. Substanzwert) kann eine erste Festlegung von notwendigen Bohrkernentnahmen und drauf aufbauenden Analysen erfolgen. Die Materialuntersuchungen beziehen sich dabei in Abhängigkeit von den Anforderungen zunächst auf konventionelle Prüfungen (Beurteilung der Bindemittleigenschaften, Sieblinie, etc.). Die Ergebnisse können unter Berücksichtigung der Einhaltung oder Nichteinhaltung bestimmter Anforderungen bzw. Vorgaben in einer vertieften Beurteilung zusammengefasst werden (Oberbauscreening II). Anhand dieser Ergebnisse ist auch eine Entscheidung über die Anwendung von gebrauchsvorhaltensorientierten (GVO) Prüfungen (rheologische Bindemittleigenschaften, Verformungswiderstand, Steifigkeit, Ermüdungsprüfung, Ermüdungswiderstand, Widerstand gegen Kälterissbildung, etc.) sowie über eventuell zusätzliche Bohrkernentnahmen möglich. Das Ergebnis dieser Beurteilung ist eine detaillierte Aussage über den Ermüdungszustand des Bestandes (der einzelnen gebundenen Schichten) bzw. ob der Bestand tatsächlich einer Verstärkungsmaßnahme unterzogen werden kann.

Sowohl die Ergebnisse des Oberbauscreenings (I+II) als auch die Ergebnisse einer möglichen GVO-Untersuchung stellen die Eingangsgrößen für die systematische Beurteilung und Bewertung von möglichen Verstärkungsdicken mit empirischer Zustandsprognose in Form einer Lebenszykluskostenanalyse dar. Die Ermittlung der Restlebensdauer des Bestandes sowie einer erforderlichen Verstärkungsdicke erfolgt auf der Grundlage eines schrittweisen Prozesses, wo der Anwender die Möglichkeit hat, unterschiedliche Lösungen zu untersuchen und zu bewerten. Im Zuge der schrittweisen Abschätzung der Verstärkung wird der

geschichtete Straßenaufbau in einem empirischen Modell abgebildet, das eine Kombination aus Bewertung des Bestandes sowie möglicher Verstärkungsdicken (in Abhängigkeit von der Anzahl der zu entfernenden Schichten) ermöglicht.

Wurden im Rahmen der Bewertung GVO-Untersuchungen durchgeführt, so kann die Lebenszykluskostenanalyse durch eine Anpassung der standardisierten Kalibrierfaktoren der Zustandsprognosemodelle verbessert werden.

Die Notwendigkeit einer analytischen Verstärkungsdimensionierung ist einerseits abhängig von den ausgewählten Verstärkungsmaterialien und andererseits von den Ergebnissen der konventionellen Prüfungen (Oberbauscreening II) oder von ggf. durchgeführten GVO-Untersuchungen der Materialien der gebundenen Schichten. Die wesentliche Aussage ist die zu erwartende Lebensdauer des verstärkten Oberbaus als maßgebende Eingangsgröße für die Beurteilung der Lösung im Rahmen der finalen Lebenszykluskostenbewertung.

Werden standardisierte Materialien eingesetzt und weisen die Ergebnisse der bereits durchgeführten Untersuchungen auf eine ausreichende Tragfähigkeit des Bestandes hin, so kann auch auf eine komplexe analytische Verstärkungsdimensionierung verzichtet werden.

Die Abbildung 3 zeigt sehr deutlich, dass der vorgeschlagene Entscheidungsprozess mit einer stufenweisen Vertiefung der Untersuchung einhergeht und auch in Abhängigkeit von der Aussagekraft der Ergebnisse abgekürzt werden kann und somit effizient gestaltet ist. Als Grundlage für die Beurteilung, ob ggf. eine umfangreiche und teilweise teure GVO-basierte Untersuchung angewendet werden muss oder eine analytische Verstärkungsdimensionierung notwendig ist, werden im Oberbauscreening I und II die vorhandenen Werte und Parameter eingehend untersucht. Eine entsprechende Entscheidung für diese zusätzlichen Untersuchungen und Analysen erfolgt im Ergebnisbericht des Oberbauscreenings II bzw. im Rahmen der schrittweisen Abschätzung der Verstärkungsdicke.

4 STRUKTURELLE BEWERTUNG AUF PROJEKTEBENE

4.1 Allgemeines

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, besteht der gesamte Bewertungsprozess aus Einzelschritten, die es dem Anwender erlauben, mit vorhandenen und neu erfassten Informationen eine Aussage über den aktuellen strukturellen Zustand des Oberbaus vorzunehmen und darauf aufbauend auch eine Entscheidung für eine mögliche Erhaltungsmaßnahme zu tätigen. In den nachfolgenden Kapiteln sind unter Bezugnahme auf den zuvor beschriebenen Bewertungsprozess die einzelnen Teilschritte mit den erforderlichen Grundlagen im Detail beschrieben.

4.2 Zusammenstellung der PMS-Grundlagedaten

Der erste Schritt der Bewertung besteht in einer Zusammenstellung der PMS-Grundlagedaten, die für jeden Teilabschnitt des ASFINAG-Netzes (zumindest im Bereich der Richtungsfahrbahnen) zur Verfügung stehen. Diese Daten und Informationen können direkt aus dem PMS entnommen werden und werden laufend (zumindest 1 mal pro Kalenderjahr) aktualisiert. Die zur Verfügung stehenden Daten sind auch im Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 im Detail [14] beschrieben.

Die zu verwendenden Eingangsdaten sollten individuell für jeden homogenen Erhaltungs- bzw. Bewertungsabschnitt bzw. in Abhängigkeit des geplanten Umfangs der Baumaßnahme auch in Abhängigkeit der einzelnen Fahrstreifen aufbereitet werden, was bedeutet, dass vor allem die Zustandsdaten, die in einem 50m-Raster erhoben werden, nach vorgegebenen Gesetzmäßigkeiten zusammengefasst werden müssen. Dieser Schritt kann entfallen, wenn die Daten eines bereits homogenisierten PMS-Analyseabschnitts herangezogen werden. Als maßgebender Fahrstreifen für eine Beurteilung wird der hauptbelastete Fahrstreifen definiert. Ob und in welchem Umfang auch die anderen Fahrstreifen einer Bewertung unterzogen werden sollten, hängt, wie bereits erwähnt, vom geplanten Umfang der Erhaltungsmaßnahme ab, aber auch von den Ergebnissen der Bewertung des hauptbelasteten Fahrstreifens.

4.2.1 Eingangsdaten Schichtaufbau Bestand

Die Eingangsdaten für den bestehenden Schichtaufbau beziehen sich unter Bezugnahme auf [14] auf folgende Informationen:

- Art der Schicht
- Material der Schicht

- Herstellungsjahr der Schicht
- Dicke der Schicht in cm
- Lage der Schicht in der Schichtabfolge (von oben nach unten aufgelistet)

Aus dem Herstellungsjahr der Schichten sowie dem aktuellen Projektjahr kann dann direkt das Alter der einzelnen Schichten für eine Bewertung abgeleitet werden.

4.2.2 Zustandsgrößen aus der systematischen Straßenzustandserfassung

Die Zustandsgrößen aus der systematischen Straßenzustandserfassung liefern die Eingangswerte für die Zustandsbewertung und somit auch für die Berechnung der erforderlichen Teilwerte. Dabei handelt es sich gem. RVS 13.01.15 [12] und RVS 13.01.16 [13]) um folgende Zustandsdaten:

- Risse (% geschädigte Fläche)
- Oberflächenschäden (% geschädigte Fläche)
- Spurrinnen (Spurrinntiefe in mm unter 2m-Latte)
- Griffigkeit (Reibungsbeiwert μ)
- Längsebenheit (International Roughness Index IRI in m/km)

Werden die 50m-Zustandsgrößen aus der Befahrung mit dem System RoadSTAR direkt herangezogen, so müssen diese auf die gesamte Länge des zu bewertenden Abschnittes unter den nachfolgend aufgelisteten Gesetzmäßigkeiten (siehe Tabelle 1) in Form von repräsentativen Zustandsgrößen zusammengefasst werden.

Tabelle 1: Transformationsgesetze zur Bildung von repräsentativen Zustandsgrößen aus 50m-Erfassungswerten mit dem System RoadSTAR

Zustandsmerkmal	Transformationsgesetz
Risse	Mittelwert
Oberflächenschäden	Mittelwert
Spurrinnen	Mittelwert plus 1-fache Standardabweichung
Griffigkeit	Mittelwert minus 1-fache Standardabweichung
Längsebenheit	Mittelwert

4.2.3 Eingangswerte Verkehrsbelastung

Für die Beurteilung der Beanspruchung zeichnen in erster Linie die Werte der Verkehrsbelastung verantwortlich. In Anlehnung an die RVS 03.08.63 [5] müssen folgende Informationen zur Verfügung stehen bzw. erhoben werden:

- JDTLV in LKW/24h
- JDTLV pro Richtung – Ja/Nein?
- Anzahl Fahrstreifen pro Richtungsfahrbahn
- Fahrstreifenbreite des zu bewertenden Fahrstreifens
- Bemessungsperiode in Jahren
- Zuwachsrate (p) in %

Alternativ können auch bei einer detaillierten Auflistung bzw. Erfassung der einzelnen Fahrzeugkategorien diese Daten herangezogen werden:

- LKW ohne Anhänger in LKW/24h
- LKW mit Anhänger bzw. Sattelzug in LKW/24h
- Bus in KFZ/24h
- Linienbus in KFZ/24h
- Liniengelenkbus in KFZ/24h

4.3 Visuelle Zustandserfassung und Bewertung

Unter Bezugnahme auf den organisatorischen Entscheidungsprozess, die Notwendigkeit einer Verifizierung der Ergebnisse der messtechnischen Straßenzustandserfassung sowie eine bereits mögliche Auswahl von Stellen für die Entnahme von Bohrkernen ist eine visuelle Beurteilung des Zustandes (Oberflächenschäden und Risse) vorzunehmen.

4.3.1 Aufnahme Oberflächenschäden und Risse

Der erste Teil der visuellen Erfassung erfolgt dabei unter Heranziehung der RVS 13.01.16 [13], sodass die Kompatibilität der erfassten Informationen auf jeden Fall sichergestellt werden kann. Dabei werden folgende Informationen erfasst:

- Einzelrisse in m (Schadensschwere S1, S2 und/oder S3)
- Offene Nähte in m (Schadensschwere S1, S2 und/oder S3)
- Netzrisse in m² (Schadensschwere S2 und/oder S3)
- Ausmagerungen in m² (Schadensschwere S1)
- Kornausbrüche in m² (Schadensschwere S1)
- Flickstellen in m² (Schadensschwere S1)
- Bindemittelaustritt in m² (Schadensschwere S1)
- Ablösungen in m² (Schadensschwere S2)
- Schlaglöcher in m² (Schadensschwere S2)

Grundsätzlich ist der Anwender frei in welcher Form er diese Erfassung durchführt, sofern die nach RVS 13.01.16 [13] geforderten Informationen auch erfasst werden. Wird aus organisatorischen Gründen auf eine visuelle Zustandserfassung verzichtet, so müssen für den weiteren Entscheidungsprozess die Daten der letzten Befahrung mit dem System RoadSTAR herangezogen werden.

Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt ein entsprechendes leeres Erfassungsformular auf der Grundlage dieser RVS, welches für die Bewertung herangezogen werden kann. In der darauffolgenden Abbildung 5 ist ein Beispiel für die praktische Anwendung dieses Formulars dargestellt.

Erfassungsfomular

VISUELLE STRASSENZUSTANDSERFASSUNG

ISBS
INSTITUT FÜR STRASSENWESEN
TU Braunschweig

AIT
APERTHMAN INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

UNIV-PROF. DR. ING. DR. JOHANN LUTZKA
STADTBAU- UND STRASSENBAUWESEN
VERKEHRSSYSTEME UND VERKEHRSSYSTEME
STRASSENBAUWESEN
LEHRSTUHL FÜR STRASSENBAUWESEN
E-Mail: j.lutzka@tu-bs.de

PMS
CONSULT

Strasse **Beispielstraße**

Richtung **Nord**

FStr. **1**

Erfasser/Datum **Muster 1.6.2018**

Risse

Einzelrisse S1 1

Einzelrisse S2 2

Einzelrisse S3 3

Offene Nähte S1 1

Offene Nähte S2 2

Offene Nähte S3 3

Netzrisse S2 4

Netzrisse S3 5

**Oberflächen-
schäden**

Ausmagerung A

Kornausbrüche K

Flickst. (oberfl.) F

Bindem.austr. B

Ablösungen L

Schlaglöcher S

Einzelrisse S1	<input type="text" value="10"/>	m	Offene Nähte S1	<input type="text" value="4"/>	m ²
Einzelrisse S2	<input type="text" value="15"/>	m	Offene Nähte S2	<input type="text" value="2"/>	m ²
Einzelrisse S3	<input type="text" value=""/>	m	Offene Nähte S3	<input type="text" value=""/>	m

Ausmagerung S1	<input type="text" value="20"/>	m ²	Flickstellen (oberfl.) S1	<input type="text" value=""/>	m ²
Kornausbrüche S1	<input type="text" value=""/>	m ²	Bindemittelaustritt S1	<input type="text" value=""/>	m ²
			Ablösungen S2	<input type="text" value=""/>	m ²
			Schlaglöcher S2	<input type="text" value="2"/>	m ²

Strassenbreite: m

Strassenbreite: m

Abbildung 5: Beispiel Erfassungsfomular zur Aufnahme der Zustandsmerkmale nach RVS 13.01.16 [13]

Unter Bezugnahme auf die Vorgaben der RVS 13.01.16 [13] müssen für die Bildung der repräsentativen Zustandsgrößen für Risse und Oberflächenschäden folgende Bildungsgesetze herangezogen werden:

$$ZG_{RI,As} = \frac{0,5 \cdot \sum_i AML_{RI,i} \cdot G_{RI,i} + \sum_i AMA_{RI,i} \cdot G_{RI,i}}{A_B} \cdot 100 [\%]$$

mit $[0\% \leq ZG_{RI,As} \leq 100\%]$

$ZG_{RI,As}$ Zustandsgröße Risse Asphaltdecke [%]
 $AML_{RI,i}$ Schadensausmaß (Längenwert) des Merkmals i [m]
 $AMA_{RI,i}$ Schadensausmaß (Flächenwert) des Merkmals i [m²]
 $G_{RI,i}$ Gewicht Schadensschwere des Merkmals i (siehe Tabelle 2)
 A_B Bezugsfläche in m²

Tabelle 2: Gewichte Schadensschwere Risse Asphaltdecken

Schadensschwere	Gewicht Schadensschwere
S1	0,4
S2	1,0
S3	4,0

$$ZG_{OS,As} = \frac{\sum_i AM_{OS,i} \cdot G_{OS,i}}{A_B} \cdot 100 [\%] \text{ mit } [0\% \leq ZG_{OS,As} \leq 100\%]$$

$ZG_{OS,As}$ Zustandsgröße Oberflächenschäden Asphaltdecke in %
 $AM_{OS,i}$ Schadensausmaß des Merkmals i in m²
 $G_{OS,i}$ Gewicht Schadensschwere des Merkmals i (siehe Tabelle 3)
 A_B Bezugsfläche in m²

Tabelle 3: Gewichte Schadensschwere Oberflächenschäden Asphaltdecke

Schadensschwere	Gewicht Schadensschwere
S1	1,0
S2	5,0

4.3.2 Eingangsdaten Thermographie

Die Thermographie ist eine Möglichkeit zu Bewertung der Homogenität der strukturellen Beschaffenheit des gebundenen Asphaltüberbaus (siehe Abbildung 6).

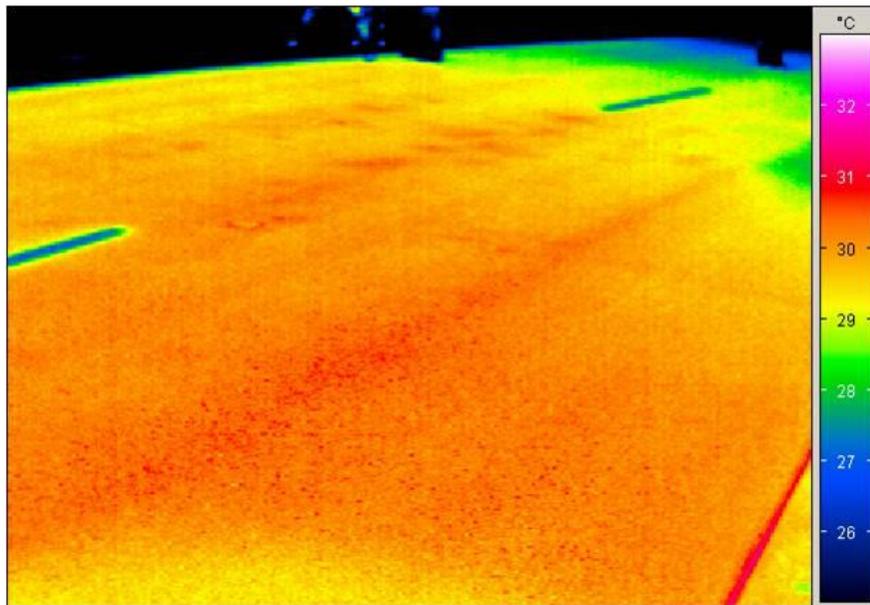


Abbildung 6: Bild Thermographie Straßenoberfläche (Foto TU-Braunschweig)

Das Messprinzip der Thermografie beruht auf dem physikalischen Effekt, dass jeder Körper mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes von $-273,15^{\circ}\text{C}$ bzw. 0 K , eine Eigenstrahlung aussendet. Grund dafür sind die in jedem Körper stattfindenden Molekülbewegungen (Brown'sche Bewegungen). Die Intensität dieser mechanischen Bewegungen ist abhängig von der Temperatur des Körpers. Zugleich treten Ladungsbewegungen auf, sodass der Körper Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung aussendet. Diese Strahlung ist für das menschliche Auge nicht sichtbar und dem infraroten Wellenbereich zuzuordnen (vgl. Abbildung 7).

Die Intensität der abgestrahlten Wärmestrahlung eines Körpers kann mittels Thermografiekamera berührungsfrei gemessen werden, um daran anschließend die Temperatur des Körpers zu bestimmen und mittels Thermogramm zu erfassen und abzubilden.

Der Wellenlängenbereich der infraroten Strahlung erstreckt sich von $\lambda = 0,78\ \mu\text{m}$ bis ungefähr $1000\ \mu\text{m}$. Für die Thermografie besonders geeignete Wellenlängenbereiche befinden sich im mittleren bzw. langwelligen Infrarotbereich zwischen $\lambda = 3$ bis $5\ \mu\text{m}$ und $\lambda = 8$ bis $14\ \mu\text{m}$. Bereiche der nahen und fernen Infrarotstrahlung haben keine Bedeutung in der thermografischen Messtechnik.

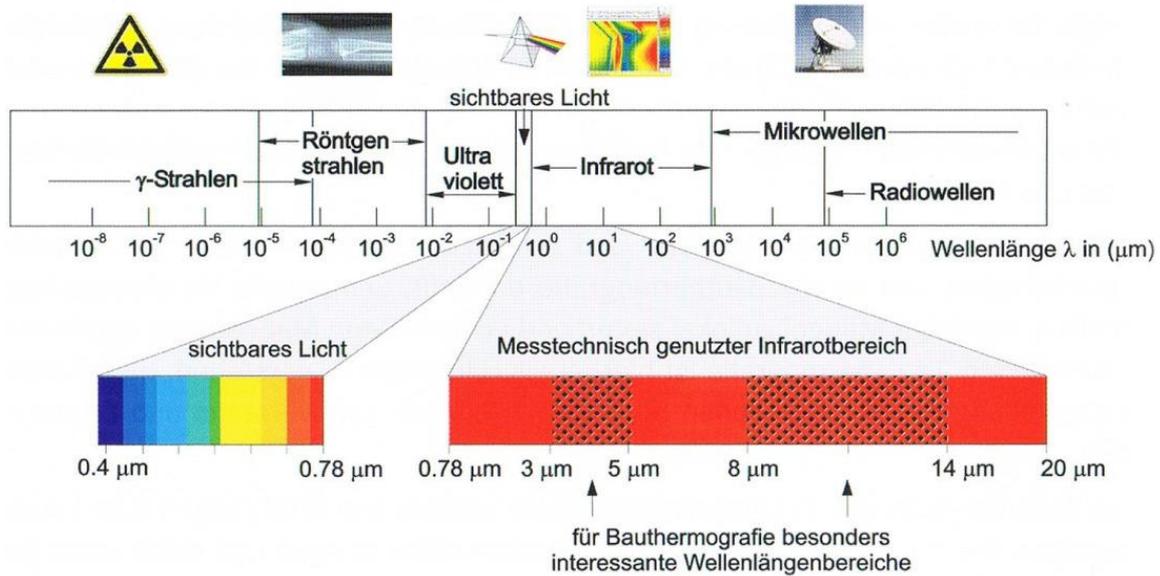


Abbildung 7. Elektromagnetisches Spektrum, Fouad et al. [15].

Bei der Messung wird mittels Kameraobjektiv der Messbereich auf ein Mikrobolometer-Array mit definierter Anzahl von Bildpunkten abgebildet. Die Brennweite des Objektivs bestimmt dabei Bildfeld und Auflösung. Die elektrischen Signale des Detektor-Arrays lassen sich durch die interne Elektronik zu einer Thermografieaufnahme (Falschfarbenbild, siehe Abbildung 6) weiterverarbeiten. So können Objekt-Temperaturen von beispielsweise -40 bis $+1200$ $^{\circ}\text{C}$ mit hoher Präzision (Genauigkeiten bis zu $0,2$ K) erfasst und wiedergeben werden.

Zum Nachweis und zur Lokalisation von thermischen Unregelmäßigkeiten und insbesondere zum Nachweis von Wärmebrücken in Gebäudehüllen ist das Verfahren der Thermografie über die ÖNORM EN 16714 und ÖNORM EN 13187 bereits im Bauwesen etabliert.

Beim Einsatz der Thermografie im Rahmen von Straßenzustandserfassung ist zu beachten, dass die erstellten Thermogramme, insbesondere einzelne Fehlstellen, einer exakten Positionen im Zentimeter-Bereich zugeordnet werden können. Dazu kann z. B. ein DGNS (Differentielles Globales Navigations-Satelliten-System) mit Kommunikation eingesetzt werden. Der praktische Einsatz der Thermografie auf Baustellen wurde von Wistuba und Walther [16] untersucht.

Die Thermographie kann im Rahmen von SUB-KRIT sehr effizient zur qualitativen Bewertung der strukturellen Situation eingesetzt werden. Dabei sind folgende Fragen mit „Ja“ oder „Nein“ zu beantworten:

- Zeigt die Thermographie ein inhomogenes Bild über den gesamten Streckenabschnitt?
- Zeigt die Thermographie punktuelle Inhomogenitäten?
- Zeigt die Thermographie längere inhomogene Bereiche?

Die gegebenen Antworten haben einen wesentlichen Einfluss auf die Auswahl der Entnahmestellen für die Bohrkerne, sofern eine Thermographie überhaupt durchgeführt wird. Sie wird auf jeden Fall dann empfohlen, wenn das Schadensbild als sehr inhomogen eingestuft werden kann.

4.3.3 Eingrenzung Schadensursachen

Im Rahmen der visuellen Straßenzustandserfassung ergibt sich auch die Möglichkeit, eine erste Abgrenzung von möglichen Schadensursachen vorzunehmen. Obwohl zu diesem Zeitpunkt noch keine detaillierten Ergebnisse aus der Bohrkernuntersuchung vorliegen, können bestimmte Anzeichen unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten (z.B. anhand von Ergebnissen benachbarter oder ähnlicher Straßenabschnitte) eine erste Einschätzung zulassen. Da Schäden in vielen Fällen mehrere Ursachen aufweisen, sollte auch im Rahmen einer ersten Abgrenzung zwischen mehreren Schadensursachen unterschieden werden. Die nachfolgende Liste dient als Grundlage für die Abschätzung einer primären und sekundären Schadensursache:

- keine Schäden
- keine Schadensursache erkennbar
- Schäden wahrscheinlich nur an der Straßenoberfläche (Ausmagerung, Kornausbruch)
- strukturelle Schäden wahrscheinlich nur im Bereich der Deckschicht
- strukturelle Schäden wahrscheinlich in gesamten gebundenen Oberbau
- strukturelle Schäden infolge von Rissen aus einer Zementstabilisierung (oder ähnliches)
- Verformungen wahrscheinlich nur in der Deckschicht
- Verformungen wahrscheinlich in Deck- und Tragschichten
- Verformungen wahrscheinlich nur in Tragschichten
- Schäden wahrscheinlich aufgrund von fehlendem Schicht- bzw. Lagenverbund

4.4 Oberbauscreening I

4.4.1 Grundlagen des Oberbauscreenings I

Auf der Grundlage der erhobenen Informationen und Daten ist es in einem nächsten Schritt möglich, die ersten Beurteilungsgrößen zu ermitteln, um darauf aufbauend eine weiterführende Spezifizierung von notwendigen Untersuchungen zu veranlassen. Die dabei

zu ermittelnden Kennzahlen und Indikatoren basieren auf den Vorgaben und Festlegungen zur Beurteilung der strukturellen Beschaffenheit aus der PMS-Anwendung und sind im Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 [14] bzw. 2016 [17] im Detail beschrieben. Aus Gründen der Vollständigkeit werden in den nachfolgenden Kapiteln die hierfür notwendigen Berechnungsalgorithmen dargestellt.

4.4.2 Kennzahlen des Oberbaus

Auf der Grundlage der erhobenen Schichtinformationen können eine Reihe von Kennzahlen abgeleitet werden, die für eine strukturelle Bewertung des Oberbaus von wesentlicher Bedeutung sind und auch Eingang in die am Ende der Bewertung vorzunehmende Lebenszykluskostenbetrachtung finden.

4.4.2.1 Gesamtdicke des Oberbaus

Die Gesamtdicke des Oberbaus ergibt sich über die Summe der Dicken aller Schichten des Oberbaus.

$$D_{\text{Oberbau}} = \sum_i S_i D$$

D_{Oberbau} Gesamtdicke Oberbau [cm]
 $S_i D$ Schichtdicke Schicht i [cm]

4.4.2.2 Gesamtdicke des gebundenen Oberbaus

Die Gesamtdicke der gebundenen Schichten errechnet sich über die Summe der Dicken der einzelnen gebundenen Schichten, wobei es sich um direkt aufeinander folgende gebundene Schichten handeln muss [17].

$$D_{\text{gebSch}} = \sum_i S_i D \cdot S_i \text{TS}$$

D_{gebSch} Gesamtdicke gebundene Schichten [cm]
 $S_i \text{TS}$ Schichtzahl: gebundene Schicht = 1 (für $S_{i-1} \text{TS} > 0$, sonst 0), sonstige Schichten = 0, alte Asphalttragschichten mit $S_{iJ} \geq S_{i-1J} + 20$ und $i \geq 4$, dann 0
 $S_i D$ Schichtdicke Schicht i [cm]

Um einen zu großen Einfluss von sehr alten, tief liegenden Asphaltsschichten, die als Unterlage für neue gebundene Schichten verwendet werden, auszuschließen, sollte überlegt werden, ob diese tatsächlich noch den gebundenen Schichten zugeordnet werden können. Als Richtwert

für eine Zuordnung wird eine Altersdifferenz von 20 Jahren zur darüber liegenden Schicht empfohlen (ab der 4. Schichtebene). Eine genaue Erkenntnis über den Zustand dieser Schichten ergeben erst die Bohrkernanalysen, sodass hier ggf. eine Aktualisierung der Kennzahlen erforderlich wird.

4.4.2.3 Rechnerisches Oberbaujahr

Das Herstellungsjahr des Oberbaus ist eine wesentliche Eingangsgröße für die Beurteilung der Tragfähigkeit. Oberbaukonstruktionen, deren Schichten zu einem einzigen Zeitpunkt errichtet wurden, ermöglichen eine klare und eindeutige Festlegung des Oberbaualters im Vergleich zu Konstruktionen, die bereits ein- oder mehrmals während ihrer Liegedauer instandgesetzt bzw. überbaut wurden. Aus diesem Grund ist es notwendig, eine repräsentative Kenngröße zu ermitteln, die das Herstellungsjahr aller (gebundenen) Schichten berücksichtigt. Das „rechnerische Oberbaujahr“ eines Oberbaus ist daher das dickengewichtete Herstellungsjahr der direkt aufeinander folgenden gebundenen Schichten [17].

$$J_{\text{rechn}} = \frac{\sum_i S_i D \cdot S_i T_S}{D_{\text{gebSch}}}$$

J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]
 $S_i D$ Dicke Schicht i [cm]
 $S_i J$ Herstellungsjahr Schicht i [Jahr]
 $S_i T_S$ Schichtzahl: gebundene Schicht = 1 (für $S_{i-1} T_S > 0$, sonst 0), sonstige Schichten = 0, alte Asphalttragschichten mit $S_i J \geq S_{i-1} J + 20$ und $i \geq 4$, dann 0
 D_{gebSch} Gesamtdicke gebundene Schichten [cm]

4.4.2.4 Österreichische Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt 0

Die Bewertung der Tragfähigkeit von Asphaltbefestigungen ist ein wesentlicher Bestandteil im österreichischen PMS. Für die Abschätzung der vorhandenen Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen wurde ein Verfahren entwickelt, das auf der im AASHTO-Guide [18] beschriebenen „Structural Number“ basiert. Die „Structural Number“ wurde dabei so erweitert, dass sie einerseits die in Österreich vorzufindenden Oberbaumaterialien berücksichtigt und andererseits auch für bereits ein- oder mehrmals instand gesetzte Oberbauten herangezogen werden kann. Das Ergebnis dieser Erweiterungen ist die „österreichische Tragfähigkeitszahl“ [17].

Zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs (=Zeitpunkt 0) errechnet sich die österreichische Tragfähigkeitszahl wie folgt [17]:

$$TZ_0 = \sum_i (S_i D \cdot S_i K) + UG \text{ mit } [11 \leq TZ_0 \leq 25]$$

TZ₀.....Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt 0 [-]
 S_iKSchichtkoeffizient Schicht i (siehe Tabelle 4) [-]
 UG Untergrundtragfähigkeit (Standardwert = 2,4) [-]
 S_iDSchichtdicke Schicht i [cm]

Tabelle 4: Schichtkoeffizienten

Schichtbezeichnung	Material der Schicht	Schichtkoeffizient
Deckschicht	AC_deck_A1, AC_deck_A3, BBTM, MAK, OBH	0,40
	AC_deck_A2	0,42
	MA, SMA_S1, SMA_S2, SMA_S3	0,44
bituminös geb. Tragschicht	AC_trag_T1-T3	0,40
	AC_binder	0,42
hydraulisch geb. Tragschicht	STAB_Z, STAB_K	0,24
obere ungebundene Tragschicht	KK	0,14
	MK	0,12
	RK	0,10
	ZGKK (U1)	0,16
	U_RECY	0,20
untere ungebundene Tragschicht	-	0,08

Der Zusammenhang zwischen den zulässigen Normlastwechseln (bezogen auf 10t-Normachlast) und der österreichischen Tragfähigkeitszahl für bituminöse Oberbaukonstruktionen zum Zeitpunkt 0 (rechnerisches Oberbaujahr) kann über die in der österreichischen Oberbaubemessungsrichtlinie RVS 03.08.63 [5] standardisierten Aufbauten hergestellt werden und ist in der nachfolgenden Gleichung dargestellt [17]:

$$NLW_{zul,0} = 0,0000455 \cdot e^{0,741 \cdot TZ_0}$$

NLW_{zul,0}.....zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [-]
 TZ₀.....Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt 0 [-]

4.4.2.5 Verkehrsbelastungskoeffizient

Der Verkehrsbelastungskoeffizient wird zur Kategorisierung einer Oberbaukonstruktion in über-, richtig- und unterdimensionierte Aufbauten verwendet und stellt somit eine wesentliche

Eingangsgröße für die Prognose der Zustandsentwicklung dar. Der Verkehrsbelastungskoeffizient ist gemäß [14] als Quotient zwischen zulässiger Verkehrsbelastung einer Oberbaukonstruktion und der vorhandenen bzw. prognostizierten Verkehrsbelastung innerhalb der Bemessungsperiode definiert. Liegt der Verkehrsbelastungskoeffizient über 1, so ist der betrachtete Abschnitt überdimensioniert, ist der Koeffizient kleiner als 1, so ist der betrachtete Abschnitt unterdimensioniert, bei einem Koeffizienten gleich 1 wurde eine richtige Dimensionierung vorgenommen [17].

$$VBI = \frac{NLW_{zul,0}}{NLW_{kum,n}} \text{ mit } [0,5 \leq VBI \leq 3,0]$$

VBI Verkehrsbelastungskoeffizient [-]

$NLW_{kum,n}$ kumulierte Normlastwechsel innerhalb der Bemessungsperiode in Mio. [-]

$NLW_{zul,0}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [-]

4.4.2.6 Berechnung Normlastwechsel

Die Berechnung der Bemessungsnormlastwechsel hat nach RVS 03.08.63 [5] zu erfolgen. Die kumulierten Lastwechsel innerhalb einer Bemessungsperiode von 30 Jahren unter Bezugnahme auf das rechnerische Oberbaujahr können einfach ermittelt werden, wenn die aktuelle Verkehrsbelastung auf das rechnerische Oberbaujahr zurückgerechnet wird. Hierfür ist lediglich die Zuwachsrate gem. RVS 03.08.63 [5] unter Anwendung des negativen rechnerischen Oberbaualters zu ermitteln.

4.4.3 Bewertung der Einzelmerkmale und der Oberflächeneigenschaften

4.4.3.1 Allgemeines

Die Bewertung der Einzelmerkmale und der Oberflächeneigenschaften erfolgt auf der Grundlage des aktuellen Bewertungsverfahrens, welches im aktuellen Handbuch Pavement Management in Österreich [17] im Detail beschrieben ist. Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt schematisch den Bewertungsprozess für Asphaltbefestigungen.

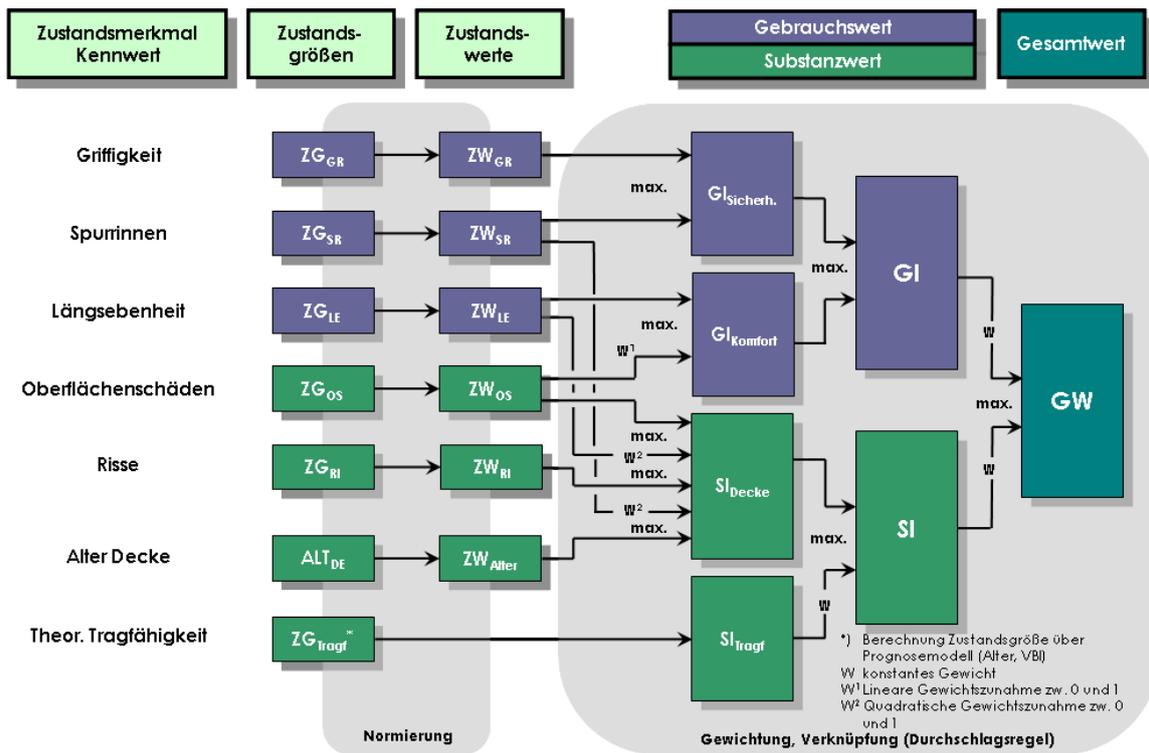


Abbildung 8: Bildung von Teilwerten und des Gesamtwertes für Asphaltbefestigungen [17]

4.4.3.2 Normierung der Zustandsgrößen in Zustandswerte

Die Zustandsgrößen ermöglichen noch keine eindeutige Aussage darüber, ob sich die Straße in einem vergleichsweise guten oder vergleichsweise schlechten Zustand befindet, da sie lediglich den Grad der Schädigung quantifizieren, diesen jedoch nicht beurteilen. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die dimensionsbehafteten oder in Form einer Verhältniszahl (Anteil geschädigte Fläche) vorliegenden Zustandsgrößen einer Beurteilung zu unterziehen [17]. Dieser Vorgang wird als Normierung bezeichnet. Die Zuordnung einer bestimmten Zustandsgröße zu einem bestimmten Bewertungswert – dem sogenannten Zustandswert – erfolgt dabei unter Anwendung der Normierungs- bzw. Transformationsfunktionen nach [17] bzw. [12] und [13] wie folgt:

Normierungsfunktion Spurrinnen

$$ZW_{SR} = 1 + 0,175 \cdot ZG_{SR} \text{ mit } [1,0 \leq ZW_{SR} \leq 5,0]$$

ZW_{SR}.....Zustandswert Spurrinnen [-]

ZG_{SR}Zustandsgröße Spurrinnen (max. Spurrinntiefe unter der 2m-Latte) [mm]

Normierungsfunktion Griffigkeit

$$ZW_{GR} = 9,9286 - 14,286 \cdot ZG_{SR} \text{ mit } [3,5 \leq ZW_{GR} \leq 5,0] \text{ und } ZG_{GR} \leq 0,45$$

$$ZW_{GR} = 6,5 - 6,6667 \cdot ZG_{SR} \text{ mit } [1,0 \leq ZW_{GR} \leq 3,5] \text{ und } ZG_{GR} > 0,45$$

ZW_{GR}.....Zustandswert Griffigkeit [-]

ZG_{GR}Zustandsgröße Griffigkeit (Reibungsbeiwert μ_{SRM}) [-]

Normierungsfunktion Längsebenheit

$$ZW_{LE} = 1 + 0,7778 \cdot ZG_{LE} \text{ mit } [1,0 \leq ZW_{LE} \leq 5,0]$$

ZW_{LE}Zustandswert Längsebenheit [-]

ZG_{LE}.....Zustandsgröße Längsebenheit (International Roughness Index IRI) [m/km]

Normierungsfunktion Risse

$$ZW_{RI} = 1 + 0,35 \cdot ZG_{RI} \text{ mit } [1,0 \leq ZW_{RI} \leq 5,0]$$

ZW_{RI}.....Zustandswert Risse [-]

ZG_{RI}Zustandsgröße Risse [%]

Normierungsfunktion Oberflächenschäden

$$ZW_{OS} = 1 + 0,0875 \cdot ZG_{OS} \text{ mit } [1,0 \leq ZW_{OS} \leq 5,0]$$

ZW_{OS}.....Zustandswert Oberflächenschäden [-]

ZG_{OS}Zustandsgröße Oberflächenschäden [%]

4.4.3.3 Berechnung des Gebrauchswertes

Der Gebrauchswert GI ist jener Indikator, der die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort charakterisiert. Aus diesem Grund werden nach [17] für die Bildung des Gebrauchswertes in erster Linie Zustandsmerkmale herangezogen, die sich auf diese Anforderungen beziehen. Dabei muss sichergestellt werden, dass bereits die Beeinträchtigung durch ein einziges Merkmal (z.B. Spurrinnen) einen schlechten Gebrauchswert zur Folge hat (Verwendung einer 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 Gebrauchswertes bzw. der Gebrauchsteilwerte werden folgende Zustandswerte bzw. -größen herangezogen [17]:

- Zustandswert Griffigkeit ZW_{GR}
- Zustandswert Spurrinnen ZW_{SR}
- Zustandswert Längsebenheit ZW_{LE}
- Zustandsgröße Oberflächenschäden ZG_{OS}

Die Berücksichtigung des Zustandsmerkmals Oberflächenschäden erfolgt dabei in Abhängigkeit vom Schadensausmaß über eine auf die Zustandsgröße bezogene lineare Gewichtung (0% \Rightarrow Gewicht = 0; 40% \Rightarrow Gewicht = 1), wobei anschließend dieser Anteil der Normierung unterzogen wird.

Daraus ergeben sich für die Berechnung des Gebrauchswertes für Asphalt- und Betonbefestigungen folgende Gleichungen [17]:

Gebrauchsteilwert Sicherheit

Die nachfolgende Funktion beschreibt den Gebrauchsteilwert Sicherheit und beinhaltet die Zustandsmerkmale Spurrinnen und Griffigkeit:

$$GI_{\text{Sicherheit}} = \max(ZW_{SR}; ZW_{GR}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{SR}; ZW_{GR}) - 0,1$$

mit $[1,0 \leq GI_{\text{Sicherheit}} \leq 5,0]$

$GI_{\text{Sicherheit}}$ Gebrauchsteilwert Sicherheit [-]

ZW_{GR}Zustandswert Griffigkeit [-]

ZW_{SR}Zustandswert Spurrinnen [-]

Gebrauchsteilwert Fahrkomfort

Die nachfolgende Funktion beschreibt den Gebrauchsteilwert Fahrkomfort und beinhaltet die Zustandsmerkmale Längsebenheit und Oberflächenschäden:

$$GI_{\text{Komfort}} = \max(ZW_{LE}; 1 + 0,0021875 \cdot ZG_{OS}^2) + \\ + 0,1 \cdot \min(ZW_{LE}; 1 + 0,0021875 \cdot ZG_{OS}^2) - 0,1$$

mit $[1,0 \leq GI_{\text{Komfort}} \leq 5,0]$

GI_{Komfort}Gebrauchsteilwert Komfort [-]
 ZW_{LE} Zustandswert Längsebenheit [-]
 ZG_{OS} Zustandsgröße Oberflächenschäden [%]

Gebrauchswert gesamt

Der Gebrauchswert gesamt setzt sich aus den beiden Teilwerten für die Sicherheit und den Fahrkomfort wie folgt zusammen:

$$GI = \max(GI_{\text{Sicherheit}}; GI_{\text{Komfort}}) + 0,1 \cdot \min(GI_{\text{Sicherheit}}; GI_{\text{Komfort}}) - 0,1$$

mit $[1,0 \leq GI \leq 5,0]$

GI_{Komfort}Gebrauchsteilwert Komfort [-]
 $GI_{\text{Sicherheit}}$ Gebrauchsteilwert Sicherheit [-]
 GIGebrauchswert (gesamt) [-]

4.4.4 Erste strukturelle Bewertung

4.4.4.1 Allgemeines

In Anlehnung bzw. unter Heranziehung der zuvor beschriebenen Zusammenhänge ist nun eine erste strukturelle Bewertung des Oberbaus möglich. Dazu können wiederum spezielle Indikatoren ermittelt werden, wobei der Substanzwert SI die entscheidende Kenngröße darstellt. Der Substanzwert SI soll eine technisch-strukturelle Beurteilung des Oberbaus ermöglichen und wird für die Auswahl der geeigneten Erhaltungsmaßnahmen bzw. der Zuordnung zu den Maßnahmenklassen herangezogen. Die Berechnung wurde im Rahmen des VIF-Forschungsprojektes ELISA^{ASFINAG} [1] modifiziert, um auch eine realitätsnahe Altersbewertung zu gewährleisten. Die Berechnung des Substanzwertes bzw. der beiden Teilwerte Decke und Tragfähigkeit erfolgt auf der Grundlage der Festlegungen im Handbuch Pavement Management in Österreich [17] und wird in den nachfolgenden Kapiteln im Detail beschrieben.

4.4.4.2 Substanzteilwert Decke

Der Substanzteilwert Decke für Asphaltbefestigungen berücksichtigt die Zustandsmerkmale Risse, Oberflächenschäden und mit einer entsprechenden Gewichtung die Merkmale Spurrinnen und Längsebenheit sowie das Alter der Deckschichte [17]:

$$\begin{aligned}
 SI_{\text{Decke}} = & \max\{\max(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) - 0,1; \\
 & ; \max[\min(1 + 0,00010938 \cdot ZG_{\text{SR}}^3; 5); \min(1 + 0,03840988 \cdot ZG_{\text{LE}}^3; 5)]\};
 \end{aligned}$$

$$; \min(0,08 \cdot ZW_{RI} + 0,61; 0,85) \cdot ZW_{Alter,As}$$

mit $[1,0 \leq SI_{Decke} \leq 5,0]$

SI_{Decke}Substanzteilwert Decke [-]

ZW_{RI}Zustandswert Risse [-]

ZW_{OS}Zustandswert Oberflächenschäden [-]

ZG_{SR} Zustandsgröße Spurrinnen (max. Spurrinnentiefe unter der 2m-Latte) [mm]

ZG_{LE}Zustandsgröße Längsebenheit (International Roughness Index IRI) [m/km]

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 [19] folgender Ansatz gewählt:

Asphaltdecke mit einer Gesamtdicke > 2cm:

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

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

$Alter_{Decke}$Alter Deckschicht [Jahre]

Asphaltdecke mit einer Gesamtdicke <= 2cm:

$$ZW_{Alter,As} = 0,30 \cdot Alter_{Decke} - 0,17 \text{ mit } [1,0 \leq SI_{Alter,As} \leq 5,0]$$

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

$Alter_{Decke}$Alter Deckschicht [Jahre]

Offenporige Asphaltdecken (PA):

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

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

$Alter_{Decke}$Alter Deckschicht [Jahre]

4.4.4.3 Substanzteilwert Tragfähigkeit

Um das Ausmaß der Reduktion der Tragfähigkeit der nicht sichtbaren gebundenen Schichten zu definieren, wird in einem ersten Schritt die strukturelle Ermüdung (Zustandsgröße „Tragfähigkeit“) der Oberbaukonstruktion in Relation zu einer „Idealentwicklung“ berechnet. Die „Idealentwicklung“ stellt dabei einen Verhältnisswert dar und bezieht sich auf die statistische

Auswertung der Lebensdauern von bituminösen Tragschichten (siehe [19]), welche in Relation zum Zustandsprognosemodell Risse (nach [20]) gebracht wurde. In der aktuellen RVS 03.08.63 erfolgte eine Änderung der Bemessungslebensdauer bei Asphaltkonstruktionen im Bereich der Autobahnen und Schnellstraßen von 20 auf 30 Jahre, daher ist es notwendig, diese auf 20 Jahre Bemessungslebensdauer bezogene Ermüdungsfunktion entsprechend zu kalibrieren, was durch die Einführung eines Faktors von $n/20$ für korrekt bemessene Oberbaukonstruktionen ($VBI \geq 0,7$, um auch eine entsprechende Streuung der Verkehrsbelastung und der Oberbaudaten zu berücksichtigen) vorgenommen wird. Da die Einführung der geänderten Bemessungslebensdauern erst im Juni 2016 erfolgte, liegen noch keine langjährigen Erfahrungen vor, um diese Funktion auch mit IST-Daten genau zu verifizieren, sodass diese Annahme zunächst getätigt werden muss. Der VBI-Faktor erscheint hier die geeignete Größe, da er genau diesen Aspekt der Dimensionierung beschreibt. Bei unterdimensionierten Oberbaukonstruktionen sowie bei einer Bemessungslebensdauer von 20 Jahren hat sich die Funktion nicht geändert. Lediglich der Faktor von 0,1 wurde in den letzten Jahren im Rahmen von Plausibilitätsuntersuchungen und Vergleichsrechnungen auf Projektebene geringfügig geändert. Die „theoretische aktuelle Tragfähigkeit“ kann daher als Prozentwert der „inneren“ Schädigung oder Ermüdung wie folgt definiert werden [17]:

$$ZG_{\text{Tragf}} = K_{\text{Tragf}} \cdot \frac{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}}) + \ln(J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}} + 0,01)]}{VBI \cdot \frac{n}{20}}$$

für $VBI \geq 0,7$

$$ZG_{\text{Tragf}} = K_{\text{Tragf}} \cdot \frac{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}}) + \ln(J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}} + 0,01)]}{VBI}$$

für $VBI < 0,7$

mit $[0 \leq ZG_{\text{Tragf}} \leq 100,0]$

mit $K_{\text{Tragf}} = K_{\text{Risse}}$ und $[0,005 \leq K_{\text{Tragf}} \leq 0,7]$

ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]
 K_{Tragf} Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit [-]
 K_{Risse} Kalibrierfaktor Risse (aus Zustandserfassung bzw. siehe Kapitel 4.10.2.1)
 J_{akt} aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]
 J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]
 n Bemessungsperiode in Jahren (Autobahnen und Schnellstraßen = 30 Jahre)

Der Kalibrierfaktor Risse errechnet sich aus dem tatsächlich erhobenen Rissbild unter Heranziehung der Rissprognosefunktion nach [17] wie folgt:

$$K_{\text{Risse},0} = \frac{ZG_{\text{RI},t}}{\exp \left[-3,6017 + a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + \ln(\text{Alter}_{\text{Decke},t} + 0,01) - 0,5 \cdot \ln \left(\text{VBI} \cdot \frac{n}{20} + 0,01 \right) \right]}$$

mit $[0,005 \leq K_{\text{Risse},0} \leq 17,0]$

$K_{\text{Risse}} = K_{\text{Risse},0}$ wenn Deckschichtmaterial \neq SMA, sonst $K_{\text{Risse}} = 0,8 \cdot K_{\text{Risse},0}$

- $ZG_{\text{RI},t}$ Zustandsgröße Risse zum Zeitpunkt t [%]
 $K_{\text{Risse},0}$ Kalibrierfaktor Risse Grundwert
 K_{Risse} Kalibrierfaktor Risse angepasst
 $ZG_{\text{RI},t}$ Zustandsgröße Risse zum Zeitpunkt t [%]
 $\text{Alter}_{\text{Decke},t}$ Alter der Decke zum Zeitpunkt t
VBI Verkehrsbelastungskoeffizient
a Modellparameter (siehe Tabelle 5)
n Bemessungsperiode in Jahren (Autobahnen und Schnellstraßen = 30 Jahre)

Tabelle 5: Modellparameter Verhaltensfunktion Risse

Bautype	Modellparameter a
Asphalt Neubau (alle geb. Schichten zum gleichen Zeitpunkt errichtet)	0,2008
Asphaltoberbau Neubau (alle geb. Schichten zum gleichen Zeitpunkt errichtet) oder bereits saniert mit Deckschichtdicke \leq 2cm	0,2151
Asphaltoberbau bereits saniert mit Deckschichtdicke $>$ 2cm	0,2085

Die Ermittlung des Substanzteilwertes Tragfähigkeit erfolgt unter Bezugnahme auf [14] analog zur Risse wie folgt:

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

- SI_{Tragf} Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]
 ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

4.4.4.4 Substanzwert Gesamt

Die Berechnung des Substanzwertes gesamt erfolgt durch eine Zusammenführung von Substanzteilwert Decke und Substanzteilwert Tragfähigkeit [14].

$$SI_{\text{gesamt}} = \frac{SI_{\text{Decke}} \cdot D_{\text{Decke}} + SI_{\text{Tragf}} \cdot D_{\text{gebSch}}}{D_{\text{Decke}} + D_{\text{gebSch}}} \quad \text{für} \quad D_{\text{Decke}} < D_{\text{gebSch}}$$

$$SI_{\text{gesamt}} = \frac{SI_{\text{Decke}} + SI_{\text{Tragf}}}{2} \quad \text{für } D_{\text{Decke}} = D_{\text{gebSch}}$$

mit $[1,0 \leq SI_{\text{gesamt}} \leq 5,0]$

SI_{gesamt}Substanzwert gesamt [-]
 SI_{Tragf}Substanzteilwert Tragfähigkeit [-]
 SI_{Decke}Substanzteilwert Decke [-]
 D_{Decke} Dicke der Deckschicht [cm]
 $D_{\text{GebSchichten}}$ Gesamtdicke aller gebundenen Schichten [cm]

4.4.4.5 Aktuelle Tragfähigkeitszahl, zulässige Normlastwechsel und geschätzte Restlebensdauer

Für die Bewertung der aktuellen Situation ist neben der Ermittlung der Teilwerte auch eine Aktualisierung der Kennwerte des Oberbaus erforderlich. Hierfür kann wiederum die Zustandsgröße Tragfähigkeit herangezogen werden. Über eine einfache lineare Transformation kann nach [14] die Zustandsgröße einerseits in einen auf die mittlere Lebensdauer bezogenen Reduktionsfaktor umgerechnet werden. Je höher der „Grad“ der inneren Beeinträchtigung des Zustandes, desto kleiner ist der Reduktionsfaktor, der in Anlehnung an die RVS 03.08.64 [10] mit einem unteren Grenzwert von 0,3 (30%-Resttragfähigkeit) begrenzt ist.

$$R_{\text{Tragf}} = 1 - 0,0392 \cdot ZG_{\text{Tragf}} \quad \text{mit } [0,3 \leq R_{\text{Tragf}} \leq 1,0]$$

R_{Tragf}Reduktionsfaktor Tragfähigkeit [-]
 ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

Auf der Grundlage des Reduktionsfaktors Tragfähigkeit kann die Tragfähigkeitszahl zum aktuellen Zeitpunkt t , wie folgt errechnet werden [17]:

$$TZ_t = TZ_0 \cdot R_{\text{Tragf}}$$

TZ_tTragfähigkeitszahl Zeitpunkt t [-]
 R_{Tragf}Reduktionsfaktor Tragfähigkeit [-]

Unter Verwendung des mathematischen Zusammenhanges zwischen der zulässigen Verkehrsbelastung und der Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt 0 können auch für den Zeitpunkt t die zulässigen Normlastwechsel in analoger Weise errechnet werden [17].

$$NLW_{zul,t} = 0,0000455 \cdot e^{0,741 \cdot TZ_t}$$

$NLW_{zul,t}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio. [-]

Die geschätzte Restlebensdauer kann über den Vergleich zwischen den zulässigen Normlastwechseln (zum aktuellen Zeitpunkt t) und den Bemessungsnormlastwechseln gem. RVS 03.08.63 [5] ermittelt werden. Hierfür ist folgende Gleichung maßgebend:

$$RL_t = \frac{30}{\frac{BNLW_t}{NLW_{zul,t}}}$$

RL_t Restlebensdauer in Jahren zum Zeitpunkt t

$NLW_{zul,t}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio. [-]

$BNLW_t$ Bemessungsnormlastwechsel zum Zeitpunkt t nach RVS 03.08.63 in Mio. [-]

4.4.5 Festlegung weitere Vorgehensweise als Ergebnis der ersten strukturellen Bewertung

Auf der Grundlage der durchgeführten Bewertungen kann die weitere Vorgehensweise definiert werden. Das zentrale Entscheidungselement ist dabei die Überprüfung der Notwendigkeit von Tragfähigkeitsmessungen z.B. mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD). Dabei müssen auf der Grundlage der ermittelten Werte eine Reihe von Fragen beantwortet werden, die in der nachfolgenden Abbildung 9 dargestellt sind und den Prozess der Entscheidungsfindung definieren.

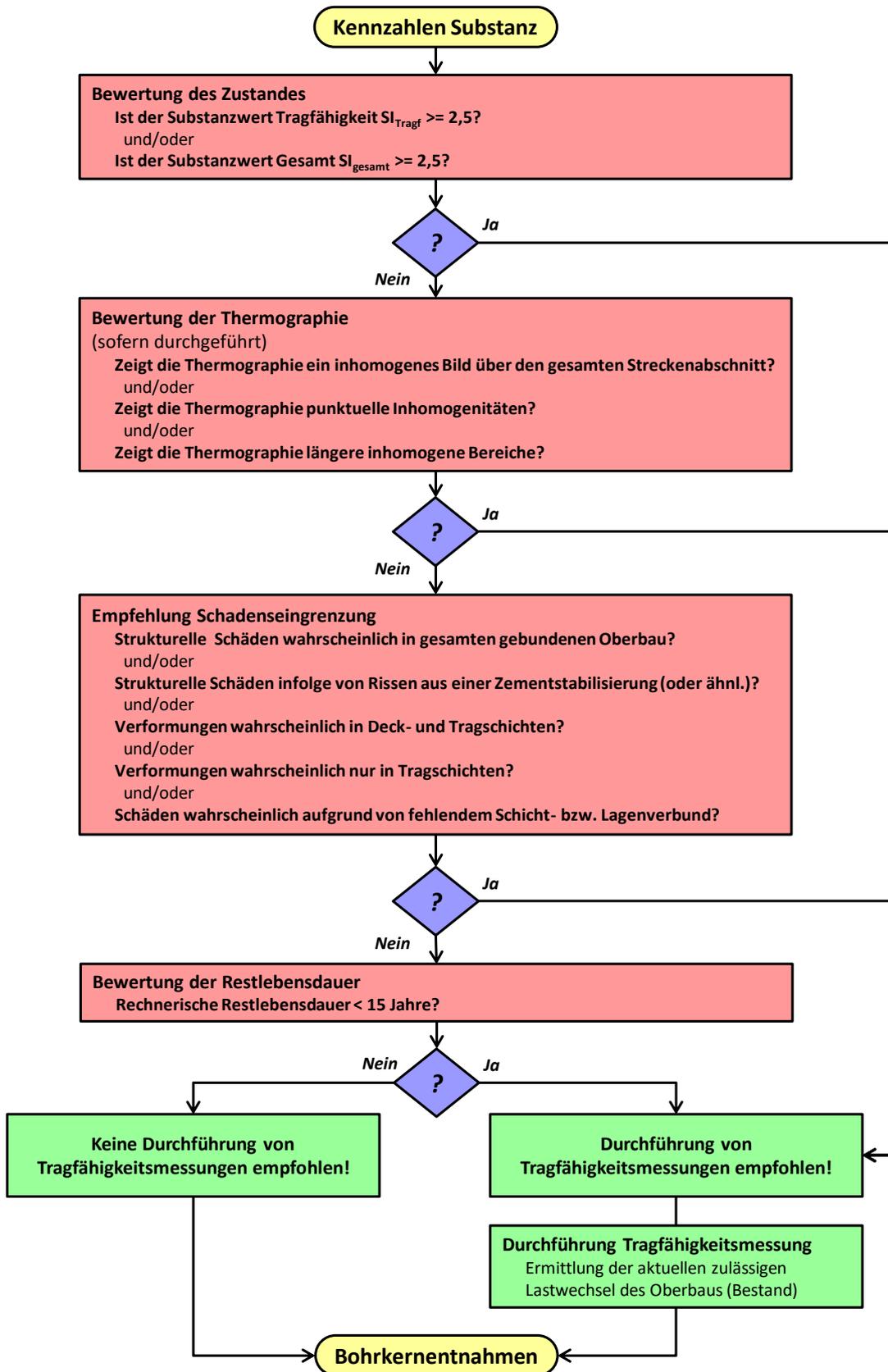


Abbildung 9: Entscheidungsprozess Tragfähigkeitsmessungen

Die Anwendung dieses Prozesses führt zu einer Entscheidung für oder gegen die Durchführung von Tragfähigkeitsmessungen auf Projektebene. Sind keine Tragfähigkeitsmessungen notwendig, besteht der nächste Schritt in der Festlegung des Bohrkernschemas (siehe Kapitel 4.6). Werden Tragfähigkeitsmessungen hingegen empfohlen, so sollten diese eine Aussage über die zulässigen Normlastwechsel des Bestandes ermöglichen (siehe Kapitel 4.5).

4.5 Beurteilung der Tragfähigkeit im Rahmen von Deflektionsmessungen

4.5.1 Allgemeines

Führen die Ergebnisse der ersten strukturellen Bewertung des Asphaltoberbaus zur Empfehlung von Tragfähigkeitsmessungen, dann sollten diese auch zur besseren Beurteilung und Bewertung des Bestandes vorgenommen werden. In Österreich werden Tragfähigkeitsmessungen in der Regel mit dem Fallgewichtsdeflektometer (Falling Weight Deflectometer, FWD) durchgeführt, welches in der RVS 11.06.72 [21] im Detail beschrieben ist. Darüber hinaus enthält die RVS 11.06.72 auch die Anforderungen für die Durchführung der Messungen, sodass an dieser Stelle auf diese Vorgaben nicht näher eingegangen werden muss.

4.5.2 Hinweise zur Abschätzung der Tragfähigkeit

Grundsätzlich misst das FWD die Deflektion (Deformation) unter einer dynamischen Last (normalerweise 50 kN). Aus der Einsenkung bzw. der Form der Deflektionsmulde kann die aktuelle Tragfähigkeit rückgerechnet bzw. abgeschätzt werden, wobei zumindest Informationen über die Schichtdicken der einzelnen gebundenen und ungebundenen Schichten sowie über die Art des Materials der einzelnen Schichten zur Verfügung stehen sollten. Diese Informationen sind im gegenständlichen Fall bereits als maßgebende Eingangsgrößen definiert und sollten somit die Anwendung von Tragfähigkeitsmessungen ermöglichen. Obwohl die Aufgabe von SUB-KRIT nicht in der detaillierten Aufbereitung von Grundlagen zur Beurteilung der Tragfähigkeit anhand von dynamischen Deflektionsmessungen besteht, werden aus Gründen der Vollständigkeit einige Hinweise für die Abschätzung der vorhandenen (Rest)Tragfähigkeit gegeben.

Eine einfache und effiziente Bewertung ist dann möglich, wenn ein Vergleich zwischen der theoretischen minimalen Deflektion ($Def_{\text{theor,min}}$) bei einem neuwertigen (voll tragfähigen) Oberbau, der theoretischen Deflektion eines ermüdeten Oberbaus ($Def_{\text{theor,erm}}$) und der

tatsächlichen Deflektion (Mittendeflektion d_0) aus der Messung hergestellt werden kann. In Anlehnung an die Festlegungen bei der Oberbaudimensionierung wird von einer ermüdeten Konstruktion dann gesprochen, wenn nur mehr 50% der Anfangstragfähigkeit vorhanden sind. Anhand dieser Festlegungen, der Dicken und Materialdaten des Oberbaus ist es möglich, diese Grenzdeflektionen zu ermitteln. Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt schematisch die Grenzdeflektionen sowie die aus den Messpunkten ermittelte mittlere Deflektion. Damit kann durch lineare Interpolation auf die tatsächliche Tragfähigkeit rückgerechnet werden (sofern den beiden Grenzdeflektionen ebenfalls eine Tragfähigkeit zugeordnet wird, z.B. aus Rückrechnung der Material- und Schichtdickeninformationen).

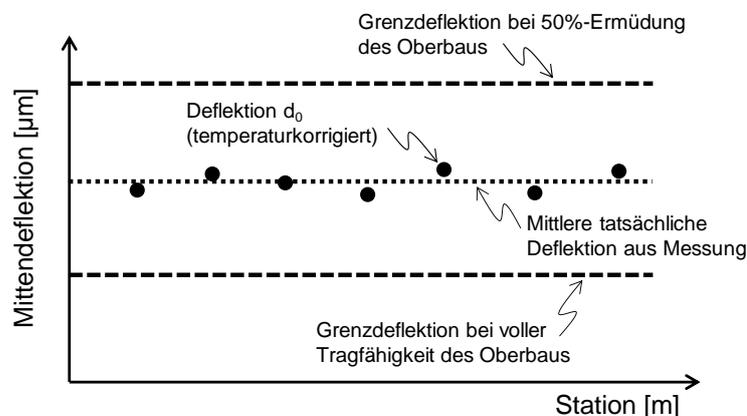


Abbildung 10: Bewertung der Tragfähigkeit über die Deflektion (schematisch)

Eine detaillierte Beschreibung der hierfür notwendigen theoretischen Grundlagen kann dem Heft 511 der Straßenforschung „Fallgewichtsdeflektionsmessung zur Tragfähigkeitsbestimmung (Endbericht COST 336)“ [22] entnommen werden. Diese Unterlage enthält auch Vorschläge für die Verwendung unterschiedlicher Steifigkeitsmodule und der Poisson'schen Zahl in Abhängigkeit von den vorhandenen Materialien (zum Zeitpunkt der Tragfähigkeitsmessungen liegen ja noch keine genauen Informationen aus Materialuntersuchungen vor).

Von wesentlicher Bedeutung ist dabei auch die Temperaturkorrektur der Messwerte auf die Bezugstemperatur der theoretischen Berechnung (20°C).

Unter Berücksichtigung der Temperaturkorrektur lässt sich für einen homogenen Bereich die tatsächliche mittlere Deflektion ($\text{Def}_{\text{tats,mittel}}$) berechnen. Mit diesen Werten kann nun eine Abschätzung der tatsächlichen Tragfähigkeit, ausgedrückt über die zulässigen Lastwechsel, vorgenommen werden.

Um die tatsächlichen Lastwechsel zu ermitteln, müssen die maximalen Lastwechsel des Oberbaus mit der minimalen theoretischen Deflektion ($Def_{theor,min}$) in Relation gebracht werden. Dies kann dabei wie folgt vorgenommen werden:

- Direkter Vergleich des bestehenden Oberbaus mit den Standardaufbauten in der RVS 03.08.63 [5]
- Berechnung der zulässigen Normlastwechsel unter Heranziehung der Österreichischen Tragfähigkeitszahl nach Kapitel 4.4.2.4

Der Deflektion eines ermüdeten Oberbaus ($Def_{theor,erm}$) kann ein Wert von 0 NLW zugeordnet werden, sodass über eine lineare Interpolation zwischen dem Wert 0 und den aus $Def_{theor,min}$ ermittelten (maximalen) Normlastwechseln die Anzahl der zulässigen Normlastwechsel unter Berücksichtigung von $Def_{tats,mittel}$ wie folgt errechnet werden kann:

$$NLW_{zul,FWD} = \frac{NLW_{max,Deftheormin}}{Def_{theor,min} - Def_{theor,erm}} \cdot (Def_{tats,mittel} - Def_{theor,erm})$$

$NLW_{zul,FWD}$ zulässige Normlastwechsel aus FWD-Bewertung in [Mio.]

$NLW_{max,Deftheormin}$ zulässige Normlastwechsel aus Rückrechnung Tragfähigkeitszahl oder RVS 03.08.63 in [Mio.]

$Def_{theor,min}$ minimale theoretische Deflektion [μm]

$Def_{tats,mittel}$ tatsächliche mittlere Mittendeflektion [μm]

$Def_{theor,erm}$ Mittendeflektion des ermüdeten Oberbaus [μm]

Ergeben sich aufgrund der Erfahrung Zweifel an diesem linearen Zusammenhang, so können durch die Annahme von Zwischenwerten der Ermüdung (60%, 70%, 80% und 90%) weitere theoretische Deflektionen berechnet und über die erhaltenen Punkte in eine Regressionsfunktion übergeführt werden. Diese dient dann als Grundlage für die Abschätzung der zulässigen Normlastwechsel.

Eine weitere Beurteilungsgröße der Ermüdungssituation bzw. der Tragfähigkeit kann auch die Form der Deflektionsmulde sein. Dabei ist der Oberflächenkrümmungsindex (Surface Curvature Index, SCI) ein geeigneter Parameter zur Bewertung, wobei auch hier entsprechende Erfahrungsgrundlagen für einen Vergleich zur Verfügung stehen sollten. Genauere Informationen könne hierzu in [22] nachgelesen werden.

4.5.3 Anpassung der Substanzwerte infolge Tragfähigkeitsmessungen

Liegen die zulässigen Normlastwechsel auf der Grundlage von Tragfähigkeitsmessungen vor, so müssen in einem nächsten Schritt die Parameter zur Substanzbewertung aktualisiert

werden, sodass keine Widersprüche in den aktuellen Werten bestehen. Dabei sind folgende Werte in der nachfolgend dargestellten Reihenfolge zu berechnen:

Österreichischen Tragfähigkeitszahl zum aktuellen Zeitpunkt t:

Durch das Umformen des Zusammenhanges zwischen zulässigen Lastwechseln und der Österreichischen Tragfähigkeitszahl kann unter Heranziehung der Ergebnisse der Tragfähigkeitsuntersuchung die Tragfähigkeitszahl wie folgt aktualisiert werden:

$$TZ_t = \frac{\ln \frac{NLW_{zul,FWD}}{0,0000455}}{0,741}$$

TZ_t..... Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt t nach FWD-Messung [-]
 NLW_{zul,FWD}..... zulässige Normlastwechsel aus FWD-Bewertung [Mio.]

Reduktionsfaktor Tragfähigkeit:

Unter Heranziehung der aktuellen Tragfähigkeitszahl sowie der Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt 0 kann der Reduktionsfaktor für die Tragfähigkeit wie folgt aktualisiert werden:

$$R_{Tragf} = \frac{TZ_t}{TZ_0}$$

TZ_t..... Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt t [-]
 R_{Tragf}..... Reduktionsfaktor Tragfähigkeit [-]

Zustandsgröße Tragfähigkeit:

Die aktualisierte Zustandsgröße Tragfähigkeit wird über den aktualisierten Reduktionsfaktor wie folgt berechnet:

$$ZG_{Tragf} = \frac{R_{Tragf} - 1}{-0,0392}$$

R_{Tragf}..... Reduktionsfaktor Tragfähigkeit [-]
 ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

Kalibrierfaktor Tragfähigkeit (FWD):

Der aktualisierte Kalibrierfaktor ergibt sich aus der über die Tragfähigkeitsmessung ermittelte Zustandsgröße Tragfähigkeit und dem theoretischen Ansatz nach [17] wie folgt:

$$K_{\text{Tragf}} = \frac{ZG_{\text{Tragf}}}{\frac{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}}) + \ln(J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}} + 0,01)]}{\text{VBI} \cdot \frac{n}{20}}} \quad \text{mit } [0,1 \leq K_{\text{Tragf}} \leq 3]$$

ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]
 K_{Tragf} Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit [-]
 J_{akt} aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]
 J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]
 n Bemessungsperiode in Jahren (Autobahnen und Schnellstraßen = 30 Jahre)

Aufgrund einer verbesserten Abschätzung der Tragfähigkeit kann hier auf eine Kategorisierung in Über- oder Unterdimensionierung verzichtet werden.

Substanztteilwert Tragfähigkeit:

Die Berechnung des aktualisierten Substanztteilwertes Tragfähigkeit erfolgt gem. den Berechnungsgrundlagen in Kapitel 4.4.4.3 unter Berücksichtigung der aktualisierten Eingangsgrößen.

Substanzwert Gesamt

Die Berechnung des aktualisierten Substanzwertes Gesamt erfolgt gem. den Berechnungsgrundlagen in Kapitel 4.4.4.4 unter Berücksichtigung der aktualisierten Eingangsgrößen.

Restlebensdauer

Auch die Restlebensdauer kann gem. den Berechnungsgrundlagen in Kapitel 4.4.4.5 unter Berücksichtigung der aktualisierten Eingangswerte neu berechnet werden. Dabei sollte sich eindeutig zeigen, dass bei einer reduzierten Tragfähigkeit aus der FWD-Messung auch die Restlebensdauer eine Verringerung aufweist.

4.6 Bohrkernanalyse I

4.6.1 Allgemeines

Die Entnahme und Untersuchung von Bohrkernen ist eine wichtige Voraussetzung für eine effiziente Entscheidungsfindung. Dabei spielt natürlich die Entnahmestellen eine wesentliche Rolle, da neben der Gewinnung von Probenmaterial für Laboruntersuchungen auch mögliche

Schadensursachen erkannt werden können. Grundsätzlich hat die Entnahme von Bohrkernen bzw. die Festlegung der Bohrkernschemas im Rahmen der Bohrkernanalyse I folgende Zielsetzung:

- Überprüfung der Annahmen hinsichtlich des Schichtaufbaus (Dicken und Material)
- Untersuchung von möglichen Schadensursachen (Verformungen, Schicht- und Lagenverbund, etc.)
- Gewinnung von Oberbaumaterial für spezifische Laboruntersuchungen

Die Ergebnisse einer Bohrkernuntersuchung haben einen wesentlichen Einfluss auf mögliche strukturelle Erhaltungsmaßnahmen und sind daher ingenieurmäßig zu bewerten. Dies ist auch eine wesentliche Aufgabe in diesem Prozessschritt des Substanzkriteriums Straßenoberbau.

4.6.2 Festlegung Bohrkernschema

Unter Bezugnahme auf die oben angeführten Zielsetzungen ist das Bohrkernschema festzulegen. Dabei spielt vor allem das Ergebnis der visuellen bzw. messtechnischen Straßenzustandserfassung eine wesentliche Rolle.

Die Festlegung des Bohrkernschemas sowie der erforderlichen Bohrkern Durchmesser sollten auf jeden Fall im Einvernehmen mit dem Prüflabor erfolgen, sodass auf jeden Fall genügend Material für die durchzuführenden Prüfungen zur Verfügung steht und auch eine klare Aussage über die Eigenschaften der Materialien bzw. der Schichten möglich ist (Mindestdurchmesser Bohrkern 10 cm, bzw. bei Querprofilerkundung genügen auch Bohrkern mit 5 cm Durchmesser).. Die nachfolgende Tabelle 6 gibt einen Überblick, unter welchen Umständen bzw. in welchen Bereichen Bohrkern im Rahmen der Untersuchungsphase entnommen werden sollten. Wie bereits erwähnt, ist die Anzahl der zu entnehmenden Bohrkern sowie der Durchmesser mit dem Labor abzustimmen, da bei unterschiedlichen Versuchen auch unterschiedliche Materialmengen notwendig werden und ggf. auch andere Einflussgrößen zu berücksichtigen sind (z.B. Untersuchung von Altlasten). Die in der Tabelle 6 aufgelisteten Empfehlungen beziehen sich jedoch ausschließlich auf die strukturelle Bewertung des Asphaltüberbaus.

Tabelle 6: Empfehlung und Kriterien für die Entnahme von Bohrkernen

Kriterium	Örtlichkeit Entnahmestelle
Überprüfung der Schichtdicken und der Materialeigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> • Substanzwert gesamt $SI_{gesamt} > 1,5$ oder • rechnerisches Oberbaualter > 3 Jahre 	Im Bereich der rechten und linken Radspur
Schäden wahrscheinlich aufgrund von fehlendem Schicht- bzw. Lagenverbund	Im Bereich der möglichen Schädigung in der rechten und der linken Radspur
Risse (Zustandswert Risse $ZW_{Ri} > 1,5$)	Im Bereich der Risse
<ul style="list-style-type: none"> • Spurrinnen (Spurrinntiefe $ZG_{SR} > 10\text{mm}$) oder • Mögliche Schadensursache: Verformungen wahrscheinlich in Deck- und Tragschichten oder • Mögliche Schadensursache: Verformungen wahrscheinlich nur in Tragschichten 	Im Bereich der Verformungen
Inhomogenitäten als Ergebnis der Thermographie	Im Bereich der Inhomogenitäten

Es wird empfohlen auf der Grundlage der Bewertung einen Lageplan mit den Stellen der Bohrkernentnahmen anzufertigen um eine korrekte Zuordnung der Bohrkernentnahmen zur Entnahmestelle sich zu stellen.

4.6.3 Empfohlene Bohrkernanalysen

In Abhängigkeit der zuvor beschriebenen Kriterien sowie der Örtlichkeit der Entnahmestelle können die Bohrkernentnahmen unterschiedlich analysiert werden. Die nachfolgende Liste gibt einen generellen Überblick über die Möglichkeiten im Rahmen der ersten Bohrkernanalyse, wobei auch hier die Festlegung der Art und des Umfangs der Prüfungen mit dem Labor abzustimmen ist. Im Rahmen der ersten Analyse sind ausschließlich konventionelle Materialprüfungen vorgesehen. Die Analysen sind dabei getrennt für jede gebundene Schicht durchzuführen:

- Erfassung der Schichtdicken und Art der Materialien
- Untersuchung der Zusammensetzung der gebundenen Schichten
 - Sieblinie, Art Gesteinsmaterial, etc.
 - Prüfung der Dichtemerkmale (Hohlraumgehalt, Verdichtungsgrad, etc.)
 - Ermittlung des Bindemittelgehaltes
 - Prüfung der Alterung des Bindemittels (Penetration, Erweichungspunkt Ring und Kugel, etc.)
- Prüfung Schicht- und Lagenverbund
- Prüfung der Risse (Breite und Tiefe, ab welcher Schicht oder bis zu welcher Schicht)

- Untersuchung der Verformungen (Feststellung des Ausmaßes der Verformungen in den unterschiedlichen gebundenen Schichten)

In Abhängigkeit von einer ersten Beurteilung der entnommenen Bohrkerns können natürlich noch weitere Untersuchungen notwendig werden, die in Absprache mit dem Prüflabor vorzunehmen sind.

Neben der Beurteilung der gebundenen Schichten sollte auch eine Prüfung bestimmter Eigenschaften der ungebundenen Schichten vorgenommen werden, die unter Umständen zu einer Kompletterneuerung des Oberbaus führen können und damit den Prozess der weiterführenden Bewertung beenden. Dabei handelt es sich zumindest um folgende Prüfungen:

- Prüfung der Frostsicherheit
- Prüfung der Frostbeständigkeit des Materials

4.7 Oberbauscreening II

4.7.1 Grundlagen des Oberbauscreening II

Die Grundlagen des Oberbauscreenings II bilden primär die Ergebnisse der Beurteilung der Bohrkerns und der damit verbundenen (konventionellen) Laboruntersuchungen. Wie bereits in der Einleitung mehrmals erwähnt, handelt es sich beim Prozedere „Substanzkriterium Oberbau“ um eine ingenieurmäßige Beurteilung und Bewertung der strukturellen Beschaffenheit der gebundenen Schichten als Grundlage für eine strukturelle Erhaltungsmaßnahme. Da es sich um die Beurteilung des Bestandes handelt, gelten natürlich nicht die Anforderungen wie bei einer neuen Asphaltsschicht, sodass hier eine qualitative Beurteilung erforderlich ist. Es wird daher empfohlen, diese im Einvernehmen mit dem Prüflabor gemeinsam durchzuführen, da sie letztendlich zu einer Entscheidung führen soll, ob bestimmte Schichten noch weiter verwendet werden können oder entfernt werden müssen. Auch die Entscheidung ob eine detailliertere Untersuchung der Materialien im Rahmen von GVO-Untersuchungen notwendig ist, liefert das Oberbauscreening II.

4.7.2 Beurteilung des Bestandes

Bei der Beurteilung der Materialien vor dem Hintergrund von unterschiedlichen Anforderungen wird zunächst davon ausgegangen, dass zumindest die Deckschicht im Rahmen der

geplanten strukturellen Erhaltungsmaßnahme entfernt wird. Damit ist eine entsprechende Materialbeurteilung erst ab der Binderschicht (sofern vorhanden) notwendig.

Eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für eine Weiterverwendung zumindest eines Teils der gebundenen Schichten liefert die Bewertung der ungebundenen Schichten. Entsprechen diese im Hinblick auf die Frostsicherheit und/oder Frostbeständigkeit nicht mehr den Anforderungen, so muss eine Kompletterneuerung des gesamten Oberbaus angedacht werden. Weiterführende Untersuchungen zur Bewertung des Bestandes d.h. der gebundenen Schichten können damit entfallen und der neue Oberbau ist gem. den Anforderungen der RVS 03.08.63 [5] bzw. RVS 03.08.68 [23] entsprechend zu dimensionieren.

Für die Bewertung der gebundenen Schichten (ohne Deckschicht) wurde das nachfolgende Bewertungsschema entwickelt, welches in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Schichten und den zu beurteilen Eigenschaften eine systematische Bewertung darstellt (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Bewertung Oberbauscreening II

Eigenschaften	Note und Bewertung
Beurteilung der Schichtdicken und der Materialarten	
Stimmen die ermittelten Schichtdicken und erkennbaren Materialien mit den vorhandenen Informationen überein?	Ja: weitere Beurteilung vornehmen Nein: Aktualisierung der Eingangsdaten und der gerechneten Parameter
Beurteilung Zusammensetzung gebundene Schichten	
Zusammensetzung Material im Bereich der Binderschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - Zusammensetzung entspricht den Vorgaben 2 - Zusammensetzung zeigt geringe Abweichungen 3 - Zusammensetzung entspricht nicht den Vorgaben, zeigt signifikante Abweichungen
Zusammensetzung Material im Bereich der gebundenen Tragschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - Zusammensetzung entspricht den Vorgaben 2 - Zusammensetzung zeigt geringe Abweichungen 3 - Zusammensetzung entspricht nicht den Vorgaben, zeigt signifikante Abweichungen
Beurteilung Dichteigenschaften gebundene Schichten	
Dichteigenschaften der Binderschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - Dichteigenschaften in Ordnung 2 - Dichteigenschaften etwas zu gering 3 - Dichteigenschaften entsprechen nicht den Anforderungen
Dichteigenschaften der Tragschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - Dichteigenschaften in Ordnung 2 - Dichteigenschaften etwas zu gering 3 - Dichteigenschaften entsprechen nicht den Anforderungen
Beurteilung Bindemittelgehalt gebundene Schichten	
Bindemittelgehalt im Bereich der Binderschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - Bindemittelgehalt in Ordnung 2 - Bindemittelgehalt geringfügig zu hoch oder zu niedrig 3 - Bindemittelgehalt deutlich zu hoch oder zu niedrig
Bindemittelgehalt im Bereich der gebundenen Tragschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - Bindemittelgehalt in Ordnung 2 - Bindemittelgehalt geringfügig zu hoch oder zu niedrig 3 - Bindemittelgehalt deutlich zu hoch oder zu niedrig

Tabelle 7: Bewertung Oberbauscreening II - Fortsetzung

Eigenschaften	Note und Bewertung
Beurteilung Alterung Bindemittel	
Alterung des Bindemittels im Bereich der Binderschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - Bitumeneigenschaften entsprechen dem Alter 2 - geringfügige Alterung des Bitumens 3 - starke Alterung des Bitumens
Alterung des Bindemittels im Bereich der gebundenen Tragschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - Bitumeneigenschaften entsprechen dem Alter 2 - geringfügige Alterung des Bitumens 3 - starke Alterung des Bitumens
Beurteilung Schicht- und Lagenverbund	
Schichtverbund zwischen Binder- und Tragschicht	0 - keine Beurteilung 1 - voller Verbund gegeben 2 - Verbund punktuell mangelhaft (eine von zwei Bohrkernproben mangelhaft, oder eine ganze Entnahmestelle mangelhaft) 3 - Verbund mangelhaft oder nicht vorhanden
Lagenverbund zwischen Lagen der gebundenen Tragschicht	0 - keine Beurteilung 1 - voller Verbund gegeben 2 - Verbund punktuell mangelhaft (siehe oben) 3 - Verbund mangelhaft oder nicht vorhanden
Beurteilung der Risse im gebundenen Oberbau	
Tiefe der Risse im gebundenen Oberbau?	0 - keine Beurteilung 1 - Risse nur in der Deckschicht 2 - Risse in Deck- und Binderschicht 3 - Risse in Deck-, Binder und tlw. Tragschicht 4 - gesamter gebundener Oberbau gerissen 5 - Risse ausschließl. an der Unterseite der geb. TS
Beurteilung der Verformungen im gebundenen Oberbau	
Verformungen im Bereich der Binderschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - keine Verformungen 2 - geringe Verformungen (< 5 mm) 3 - starke Verformungen
Verformungen im Bereich der gebundenen Tragschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - keine Verformungen 2 - geringe Verformungen (< 5 mm) 3 - starke Verformungen
Inhomogenitäten im Bohrkern	
Inhomogenitäten im Bereich der Binderschicht	0 - keine Beurteilung 1 - geringe Inhomogenitäten erkennbar 2 - inhomogenes Gefüge der Schicht 3 - Schicht zeigt starke Auflösungserscheinungen
Inhomogenitäten im Bereich der gebundenen Tragschicht(en)	0 - keine Beurteilung 1 - geringe Inhomogenitäten erkennbar 2 - inhomogenes Gefüge der Schicht 3 - Schicht zeigt starke Auflösungserscheinungen

4.7.3 Festlegung weitere Vorgehensweise als Ergebnis des Oberbauscreenings II

Auf der Grundlage der durchgeführten Bewertungen kann die weitere Vorgehensweise definiert werden. Liegen, wie bereits erwähnt, anforderungsrelevante Mängel im Bereich der ungebundenen Schichten vor, ist eine Kompletterneuerung des Oberbaus zu überlegen, wobei dies jedoch eine Ausnahme darstellt. Die Festlegung der weiteren Vorgehensweise kann wiederum schrittweise erfolgen, wobei die Beurteilung von unten nach oben vorgenommen werden muss. Ergeben sich bereits so starke Mängel, dass ein Austausch der unteren gebundenen Tragschichten notwendig erscheint, so ist eine Entscheidung für den Verbleib der darüber liegenden Schichten nicht mehr notwendig. In diesem Sinne erfolgt eine Festlegung der weiteren Vorgehensweise beginnend mit den gebundenen Tragschichten.

Die wesentliche Frage ist zunächst, ob weiterführende Materialuntersuchungen in Form von GVO-Prüfungen erforderlich sind. Deren Ergebnis erlaubt die Entscheidung, ob die Schicht entfernt oder noch verwendet werden kann. Unter Bezugnahme auf das Forschungsprojekt PROMAT [2] handelt es sich dabei um die Überprüfung der Ermüdung der Materialien sowie des Verformungswiderstandes. Die nachfolgende Abbildung 11 zeigt zunächst den Entscheidungsprozess für die Anwendung von GVO-Untersuchungen im Bereich der gebundenen Tragschichten.

Nach Durchführung des Entscheidungsprozesses im Bereich der gebundenen Tragschichten ist es auch möglich, einen entsprechenden Prozess auch für die Binderschicht(en), sofern vorhanden, durchzuführen. Dieser Schritt muss jedoch nur dann vorgenommen werden, wenn, wie bereits erwähnt, die darunter liegenden gebundenen Tragschicht(en) nicht ohnehin teilweise oder zur Gänze entfernt werden müssen. Die Abbildung zeigt zunächst den Entscheidungsprozess für die Anwendung von GVO-Untersuchungen im Bereich der gebundenen Tragschichten mit Bezug auf die Bewertungsnoten gem. Tabelle 7.

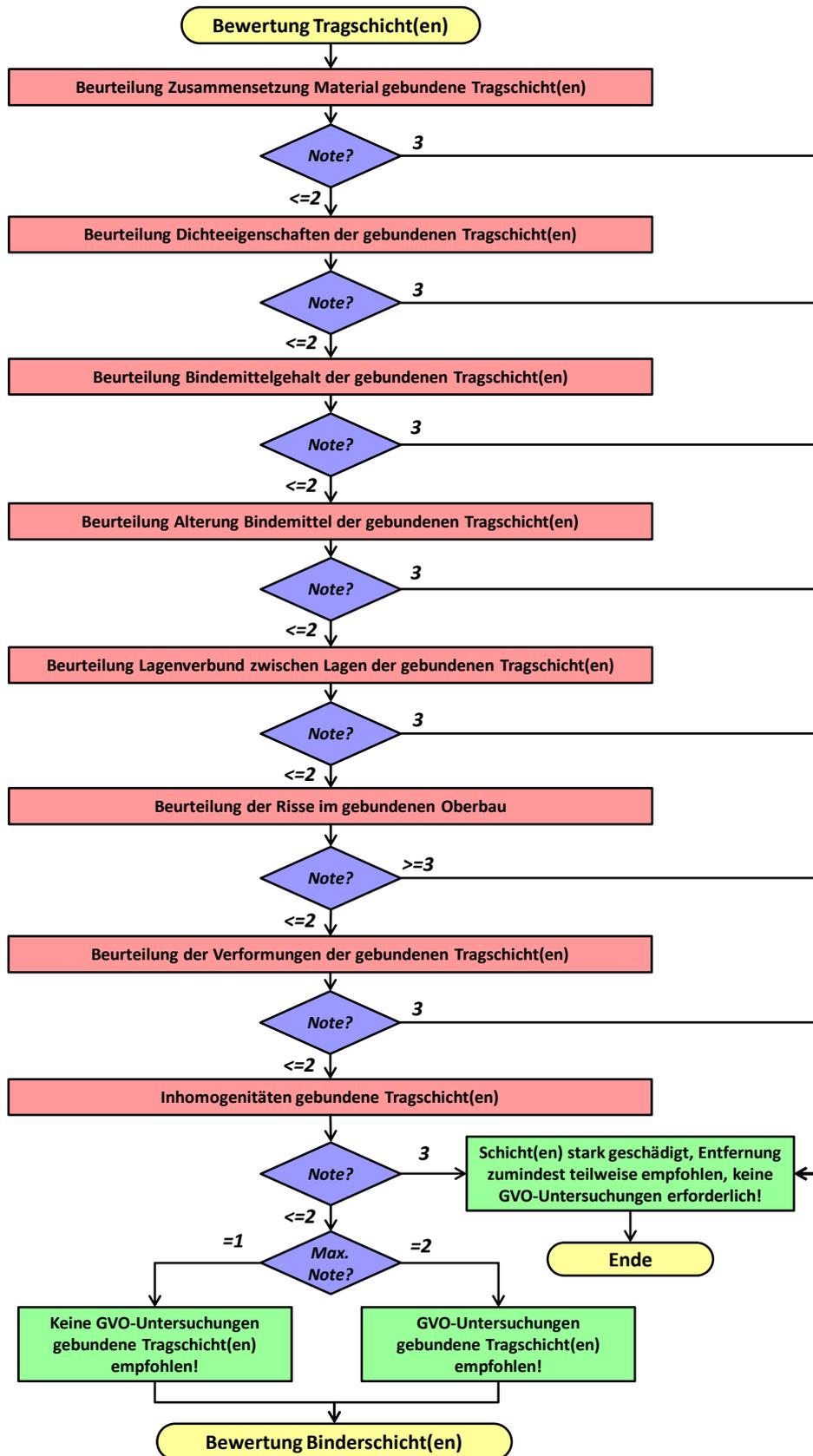


Abbildung 11: Entscheidungsprozess GVO-Untersuchungen gebundene Tragschicht(en)

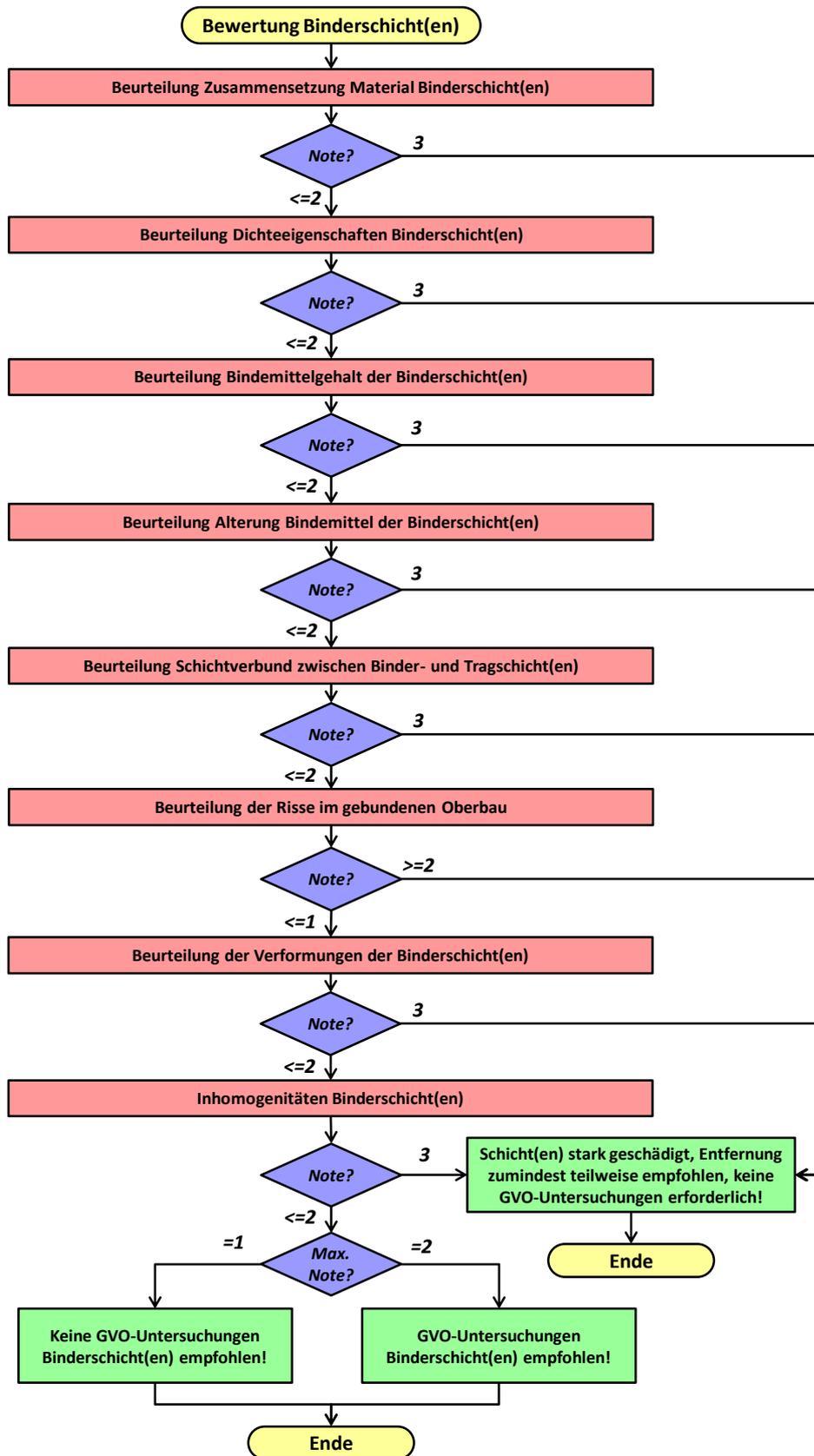


Abbildung 12: Entscheidungsprozess GVO-Untersuchungen Binderschicht(en)

Sind keine GVO-Prüfungen erforderlich, so kann in einem nächsten Schritt mit der schrittweisen Abschätzung bzw. Ermittlung der Verstärkungsdicke begonnen werden. Ergibt sich aufgrund der Beurteilung jedoch die Empfehlung für GVO-Untersuchungen ist dieser Prozessschritt noch vor der schrittweisen Abschätzung der Verstärkungsdicke vorzunehmen, da eine Verbesserung der Eingangswerte erzielt werden kann.

4.8 Gebrauchsverhaltensorientierte Untersuchungen Material

4.8.1 Zielsetzung

Ergibt sich aufgrund der Bewertung im Rahmen des Oberbauscreening II die Sinnhaftigkeit von gebrauchsvorhaltensorientierten Detailuntersuchungen der Materialien, so können damit verschiedenen Ziele definiert werden. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die GVO-Untersuchungen zunächst an den im Rahmen von Bohrkernen gewonnenen Bestandsmaterialien durchgeführt werden können, jedoch bei bereits bekannten Vorgaben für neue Verstärkungsschichten natürlich auch an diesen dafür vorgesehenen Materialien. Nachfolgende Ziele werden mit den GVO-Detailuntersuchungen verfolgt:

- Genaue Aussagen über die Entwicklung bestimmter Materialeigenschaften des Bestandes als Grundlage für die Abschätzung der Verstärkungsdicken
- Spezifische Materialkennwerte des Bestandes für eine analytische Verstärkungsdimensionierung
- Genaue Aussagen über die Entwicklung bestimmter Materialeigenschaften neuer Schichten mit spezieller Rezeptur und/oder Anforderung als Grundlage für die Abschätzung der Verstärkungsdicken
- Spezifische Materialkennwerte neuer Schichten mit spezieller Rezeptur und/oder Anforderung für eine analytische Verstärkungsdimensionierung

4.8.2 Erweiterung Bohrkernentnahmen

Zeigt die Beurteilung die Notwendigkeit von GVO-Untersuchungen im Bereich des Bestandes, so muss natürlich auch die Verfügbarkeit von ausreichendem Probenmaterial überprüft werden. Ist für die durchzuführenden Untersuchungen zu wenig Probenmaterial vorhanden, sind weitere Bohrkernentnahmen zu entnehmen. Die Festlegungen über die auszuwählende Lage der Bohrkernentnahmen, die Menge sowie die erforderlichen Durchmesser haben dabei im Einvernehmen mit dem Prüflabor zu erfolgen, da die Anforderungen von der Art der Versuche bzw. des Umfangs der Versuche abhängig ist. Für die Prüfungen werden jedoch Bohrkernentnahmen mit mindestens 15 cm Durchmesser empfohlen.

4.8.3 Bohrkernanalyse II

Der Umfang der vorzunehmenden Bohrkernanalysen hängt im Wesentlichen von den zu untersuchenden Eigenschaften ab. Dies bedeutet, dass der Umfang aus dem Ergebnis des Oberbauscreenings II abgeleitet werden kann. Die nachfolgende Tabelle 8 gibt unter Heranziehung der Ergebnisse von PROMAT [2] Hinweise, welche Eigenschaften im Detail untersucht werden sollen. Dabei kann grundsätzlich zwischen GVO-Bindemittelprüfungen (Bohrkernanalysen IIa) und GVO-Asphaltprüfungen (Bohrkernanalysen IIb) unterschieden werden. Die Auswahl des jeweiligen Versuches hängt wesentlich von den Möglichkeiten des Prüflabors ab.

Tabelle 8: Zuordnung Materialeigenschaften und (Labor)versuche zu Anforderungen

Anforderung	Eigenschaft	Versuch	Prozessphase
Zusammensetzung Material	Ermüdungswiderstand	z.B. 4-PB Versuch, Spaltzug-Schwellversuch	Bohrkernanalyse IIb
Dichte	Ermüdungswiderstand	z.B. 4-PB Versuch, Spaltzug-Schwellversuch	Bohrkernanalyse IIb
Bindemittelgehalt	Ermüdungswiderstand	z.B. 4-PB Versuch, Spaltzug-Schwellversuch	Bohrkernanalyse IIb
	Veränderung der Bitumenviskosität infolge Alterung	z.B. BTSV im DSR nach RTFOT und PAV	Bohrkernanalyse IIa
Bitumenalterung	Veränderung der Bitumenviskosität infolge Alterung	z.B. BTSV im DSR nach RTFOT und PAV	Bohrkernanalyse IIa
Risse	Ermüdungswiderstand	z.B. 4-PB Versuch, Spaltzug-Schwellversuch	Bohrkernanalyse IIb
	Ermüdungswiderstand bei Kälte	z.B. Zug-Schwellversuch	Bohrkernanalyse IIb
Verformungen	Plastische Verformung	z.B. Triaxialversuch, Stempeleindringversuch, Spurbildungsversuch	Bohrkernanalyse IIb
Inhomogenitäten im Bohrkern	Ermüdungswiderstand	z.B. 4-PB Versuch, Spaltzug-Schwellversuch	Bohrkernanalyse IIb

Die Liste der Prüfungen zeigt, dass vor allem die Entwicklung des Ermüdungswiderstandes mehrere Bewertungsbereiche abdeckt und eine Aussage über den strukturellen Widerstand gegenüber der Verkehrsbelastung zulässt. Darüber hinaus kann auch das Verformungsverhalten mit GVO-Versuchen besser angesprochen werden. Die Bewertung der Alterung bzw. des Alterungsverhaltens des Bindemittels liefert ebenfalls eine gute Aussage im

Hinblick auf die Entwicklung der strukturellen Beschaffenheit. GVO-Versuche für neue Schichten und deren Materialien können der PROMAT-Matrix entnommen werden, welche mit detaillierten Erläuterungen im PROMAT-Bericht [2] vorgestellt werden.

Wie bereits erwähnt, können die Werte von GVO-Versuchen entweder direkt für eine analytische Verstärkungsdimensionierung herangezogen werden oder für die Kalibrierung der empirischen Prognosemodelle des Zustandes bzw. der Ermüdung. Die Methodik ist aus Gründen der Vollständigkeit nachfolgend kurz beschrieben (sh. auch Abbildung 13).

Im Rahmen der Zustandsprognose wird über eine Kalibrierung die allgemeine Verhaltensfunktion an den jeweiligen Straßenabschnitt angepasst. Dabei werden das vorhandene Schadensausmaß und die Anzahl der erfolgten Normlastwechsel N bzw. das Alter der Decke oder des Oberbaus berücksichtigt.

Aufbauend auf dieser kalibrierten empirischen Verhaltensfunktion der Stufe 1 (EPF') wird anhand von Ergebnissen aus Laborversuchen oder zusätzlichen in-Situ Erfassungen eine weitere Kalibrierung vorgenommen (Laborkalibrierung), um die Verhaltensfunktion dem realen Verhalten besser anzunähern. Somit dienen die mittels Laborprüfungen abgeleiteten Materialkennwerte als physikalische Eingangsgrößen für die Modellierung des Zustandsverhaltens in Abhängigkeit von den summierten Lastwechseln. Diese führt natürlich zu einer neuerlichen Veränderung der Verhaltensfunktion, in der Regel zu einer Stauchung oder Streckung entlang der Belastungsachse. Das Ergebnis dieses Prozesses ist die mittels (Labor)versuchen kalibrierte empirische Verhaltensfunktion (Laboratory Calibrated EPF“, siehe Abbildung 13) [2].

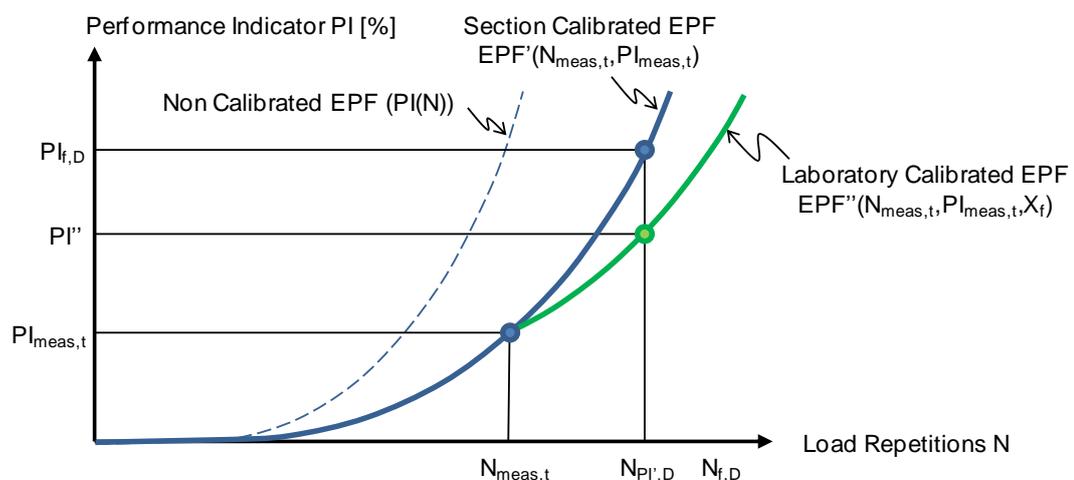


Abbildung 13: Kalibrieren der Section Calibrated EPF unter Heranziehung von Laborkennwerten [2]

4.8.4 Eingangswerte für den Prozess

Die im Kapitel 4.8.3 aufgelisteten Versuche liefern aktualisierte Ergebnisse und müssen für die Anwendung im Zuge einer schrittweisen Verstärkungsdimensionierung und der darauf basierenden Lebenszyklusbetrachtung erst aufbereitet werden. Das Ziel dieser Aufbereitung besteht dabei in der Ermittlung von entsprechenden Skalierungsfaktoren für die empirischen Ermüdungsfunktionen und empirischen Zustandsprognosemodelle. Dabei kann wiederum auf die Ergebnisse von PROMAT [2] zurückgegriffen werden, wo ein nachvollziehbares Verfahren zur Ermittlung der Eingangswerte im Detail beschrieben ist.

Für das gegenständliche Projekt bedeutet dies, dass grundsätzlich folgende unterschiedliche Ansätze für die Kalibrierung in Abhängigkeit vom ausgewählten (Labor)Versuch und dessen Aussagen verwendet werden können. Das Ziel aller Methoden besteht dabei in der Berechnung eines Skalierungsfaktors X_f , welcher auf bestimmte abhängige Variablen oder vorhandene Kalibrierfaktoren des empirischen Prognosemodells angewendet werden kann und somit zu einer Streckung oder Stauchung entlang der Belastungsachse(n) führt. Die unterschiedlichen Methoden lassen sich dabei wie folgt charakterisieren und werden nachfolgend im Detail beschrieben [2]:

Direkte Laborkalibrierung:

Das Schädigungsniveau aus der Laborprüfung kann einem Schadensbild in-Situ direkt zugeordnet werden (z.B. über bestimmte Grenzzustände). Für die direkte Laborkalibrierung kann folgender mathematischer Zusammenhang zur Berechnung des Skalierungsfaktors X_f herangezogen werden [2]:

$$X_f = \frac{N_{EPF1,D} - N_{meas,t}}{N_{f,D} - N_{meas,t}}$$

X_fSkalierungsfaktor
 $N_{EPF1,D}$Lastwechsel des prognostizierten Ausfallzeitpunktes aus der Zustandserfassung
 $N_{meas,t}$Lastwechsel zum Zeitpunkt t der letzten Zustandserfassung und -bewertung
 $N_{f,D}$Lastwechsel aus dem im Labor bestimmten Ausfallzeitpunkt

Dieses Verfahren ist für die Bewertung von nicht sichtbaren Schichten nur bedingt geeignet, da die Zustandserfassung nicht von der Oberfläche auf eine darunter liegende Schicht übertragbar ist. Es ist jedoch geeignet, wenn neue Schichten unter Heranziehung von GVO-Untersuchungen speziell untersucht werden, da das empirische Standardzustands-

prognosemodell aus der Zustandserfassung für den prognostizierten Ausfallszeitpunkt herangezogen werden kann.

Laborkalibrierung mit Masterkurve

Die ermittelte Schädigungsrate des Laborversuchs kann mit einer bekannten Schädigungs- bzw. Eigenschaftskurve (Masterkurve) des zu untersuchenden Materials verglichen werden. Die Masterkurve muss dabei jedoch einem Schadensbild bzw. einer Eigenschaft des Straßenoberbaus in-Situ ebenfalls zugeordnet werden können, d.h. die Masterkurve hat ein entsprechendes Gegenstück in Form einer empirischen Verhaltensfunktion (EPF). Vor allem in jenen Situationen, wo der in-situ Zustand (noch) nicht bekannt ist, kann diese Methodik zu einem raschen Ergebnis führen. Für die Laborkalibrierung mit Masterkurve kann folgender mathematischer Zusammenhang zur Berechnung des Skalierungsfaktors X_f herangezogen werden.

$$X_f = \frac{N_{MC,D}}{N_{f,D}}$$

X_fSkalierungsfaktor
 $N_{MC,D}$Lastwechsel (Alter) des im Labor bestimmten Ausfallzeitpunktes (oder eines bestimmten Zustandes) der Masterkurve
 $N_{f,D}$Lastwechsel (Alter) aus dem im Labor bestimmten Ausfallzeitpunkt (oder eines bestimmten Zustandes) des zu untersuchenden Materials

Aus den Ergebnissen von GVO-Untersuchungen können unter Heranziehung der Festlegungen in PROMAT [2] folgende Kalibrierfaktoren abgeleitet werden:

- Skalierungsfaktoren für Bestand
 - Skalierungsfaktor Ermüdung für die Bestandsschicht i $X_{f,Erm,Bestand,i}$
 - Skalierungsfaktor Verformung für die Bestandsschicht i $X_{f,Verf,Bestand,i}$
 - Skalierungsfaktoren Bitumenalterung für die Bestandsschicht i $X_{f,bitAlt,Bestand,i}$
- Skalierungsfaktoren für neue Schichten
 - Skalierungsfaktor Ermüdung für eine neue Schicht k $X_{f,Erm,neu,k}$
 - Skalierungsfaktor Verformung für die neue Schicht k $X_{f,Verf,neu,k}$
 - Skalierungsfaktor Bitumenalterung für die neue Deckschicht k $X_{f,bitAlt,neu,k}$
 - Skalierungsfaktor Griffigkeit auf der Grundlage von Laborprüfung der griffigkeitsrelevanten Oberflächeneigenschaften (z.B. Wehner-Schulze-Prüfgerät) für die neue Deckschicht k $X_{f,GR,neu,k}$

4.8.5 Berücksichtigung der GVO Eingangsdaten

4.8.5.1 Berücksichtigung bei schrittweiser Abschätzung der Verstärkungsdicke

Liegen Ergebnisse von GVO-Prüfungen vor, so können diese Werte im Rahmen der schrittweisen Abschätzung der Verstärkungsdicke in den Prozess integriert werden. Dabei ist es sinnvoll und zweckmäßig, den Kalibrierfaktor Tragfähigkeit K_{Tragf} des verstärkten Oberbaus unter Heranziehung der ermittelten Skalierungsfaktoren aus der Ermüdung (Bohrkernanalyse IIb) und Bitumenalterung (Bohrkernanalyse IIa) der Bestandsschichten und der neuen Schichten in der Bewertung zu berücksichtigen. Liegen keine Skalierungsfaktoren für bestimmte Schichten vor, so ist ein Standardwert $X_{f,\text{standard}} = 1$ in den Funktionen zu verwenden. Die Zusammenführung der Faktoren über die einzelnen Schichten erfolgt über die Gewichtung der Dicken der neuen Schichten bzw. der Bestandsschichten:

$$K_{\text{Tragf,GVO}} = K_{\text{Tragf}} \cdot \frac{\sum_k \max(X_{f,\text{Erm,neu,k}}; X_{f,\text{bitAlt,neu,k}}) \cdot D_k + \sum_i \max(X_{f,\text{Erm,Bestand,i}}; X_{f,\text{bitAlt,Bestand,i}}) \cdot D_i}{\sum_k D_k + \sum_i D_i}$$

- $K_{\text{Tragf,GVO}}$ Kalibrierfaktor Tragfähigkeit unter Berücksichtigung der GVO-Untersuchungen
- K_{Tragf} Kalibrierfaktor Tragfähigkeit
- $X_{f,\text{Erm,neu,k}}$ Skalierungsfaktor Ermüdung für eine neue Schicht auf der Grundlage von Ermüdungsversuchen für die neue Schicht k
- $X_{f,\text{bitAlt,neu,k}}$ Skalierungsfaktor Bitumenalterung für eine neue Schicht auf der Grundlage von Ermüdungsversuchen für die neue Schicht k
- $X_{f,\text{Erm,Bestand,i}}$ Skalierungsfaktor Ermüdung der Bestandsschicht k
- $X_{f,\text{bitAlt,Bestand,i}}$ Skalierungsfaktor Bitumenalterung der Bestandsschicht k
- D_k Dicke der neuen Schicht k
- D_i Dicke der Bestandsschicht i

4.8.5.2 Berücksichtigung im Rahmen der Lebenszykluskostenanalyse

Neben der Verwendung der GVO-Ergebnisse bei der Auswahl von möglichen Verstärkungsdicken, spielen die gewonnen Erkenntnisse auch eine wesentliche Rolle bei der Prognose bestimmter Zustandsmerkmale im Rahmen der Lebenszykluskostenanalyse. Dazu kann zunächst der zuvor beschriebene aktualisierte Kalibrierfaktor Tragfähigkeit herangezogen werden, wobei auch die Eigenschaft Verformung in ähnlicher Weise modelliert werden kann. Für den Skalierungsfaktor Spurrinnen $X_{f,\text{SR}}$ kann daher ebenfalls über eine Dickengewichtung ein repräsentativer Wert wie folgt ermittelt werden. Da in der Regel bei den unteren gebundenen (Bestands)Tragschichten keine Verformungsuntersuchungen durchgeführt werden, kann auch hier mit einem Standardwert $X_{f,\text{standard}} = 1$ das Auslangen gefunden werden.

$$X_{f,SR} = \frac{\sum_k X_{f,Verf,neu,k} \cdot D_k + \sum_i X_{f,Verf,Bestand,i} \cdot D_i}{\sum_k D_k + \sum_i D_i}$$

- $X_{f,Verf,neu,k}$ Skalierungsfaktor Verformung für eine neue Schicht auf der Grundlage von Ermüdungsversuchen für die neue Schicht k
 $X_{f,Verf,Bestand,i}$ Skalierungsfaktor Verformung der Bestandsschicht k
 D_k Dicke der neuen Schicht k
 D_i Dicke der Bestandsschicht i

4.8.5.3 Berücksichtigung im Rahmen analytischer Verstärkungsdimensionierung

Die Ergebnisse von GVO-Prüfungen der untersuchten Materialien können direkt in die analytische Verstärkungsdimensionierung übernommen werden. Dabei hängt es wesentlich davon ab, welche analytischen Modelle für die Dimensionierung verwendet werden. Grundsätzlich sollte im Vorfeld der GVO-Untersuchungen geklärt werden, welches Dimensionierungsverfahren zur Anwendung gelangt, sodass auch die hierfür notwendigen Werte zur Verfügung stehen. Die möglichen Eingangsgrößen und die zugehörigen Prüfverfahren sind in folgender Liste zusammengestellt:

Tabelle 9: Liste von Eingangsgrößen aus möglichen GVO-Prüfungen

Eigenschaft	Prüfverfahren	Ergebnis
Plastische Verformungen	Spurbildungsversuch ÖNORM EN 12697-22	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlere Spurrinnentiefe RD_{Luft} [mm] nach 10.000 Belastungszyklen • Mittlere proportionale Spurrinnentiefe PRD_{Luft} [%] nach 10.000 Belastungszyklen • Mittlere Spurbildungsrate WTR_{Luft} [mm/1000 Zyklen]
	Stempeleindringversuch Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 25 A2	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlere dynamische Eindringtiefe $ET_{dyn}(10.000)$ [‰]
	Triaxialversuch ÖNORM EN 12697-25	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtverformung $\epsilon_{10.000}$ [%] • Kriechrate f_c [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{Belastungszyklus}$]
Steifigkeit	Indirekte zyklische Zugbelastungs-Prüfung (Spaltzug-Schwellversuch) ÖNORM EN 12697-26	<ul style="list-style-type: none"> • Steifigkeitsmodul E^* [MPa] in Abhängigkeit von Prüftemperatur und Frequenz
Ermüdung	Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern ÖNORM EN 12697-24	<ul style="list-style-type: none"> • Dehnungsamplitude ϵ_{100} [$10^{-6} \mu\text{m}/\text{m}$] bei einer Dauerhaltbarkeit von 10^6 Zyklen
	Indirekte zyklische Zugbelastungs-Prüfung (Spaltzug-Schwellversuch) ÖNORM EN 12697-24	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Lastwechsel bis Makroriss N_{Makro} [-] in Abhängigkeit der anfänglichen elastischen horizontalen Dehnungen ϵ_{el} • Materialspezifische Parameter k [-] und n [n] der Ermüdungsfunktion
Ermüdungswiderstand bei Kälte	Zug-Schwellversuch ÖNORM EN 12697-46	<ul style="list-style-type: none"> • Anfänglicher komplexer Steifigkeitsmodul E_o^* nach $N=100$ Lastspielen • Anzahl der Lastspiele beim Eintreten des konventionellen oder zusätzlichen Ausfallkriteriums $N_{f/50}$ [-] oder $N_{Ausfall}$ [-]

4.9 Schrittweise empirische Verstärkungsdimensionierung

4.9.1 Eingangswerte

Die Eingangswerte für die schrittweise empirische Verstärkungsdimensionierung sind die in den SUB-KRIT Prozessschritten ermittelten Parameter und Kennzahlen. Vor allem die Ergebnisse des Oberbauscreenings I und II liefern die notwendigen Größen zur Beurteilung und können den Kapiteln 4.4 und 4.7 entnommen werden. Darüber hinaus liegen unter bestimmten Randbedingungen auch Ergebnisse von GVO-Prüfungen an den Bestandsmaterialien sowie dem Material der zukünftigen neuen Verstärkungsschichten vor.

4.9.2 Vorgehensweise

Wie bereits mehrfach erwähnt, handelt es sich bei der Abschätzung der Verstärkungsdicken um einen schrittweisen Prozess im Rahmen einer ingenieurmäßigen Bewertung. Dabei wird versucht, durch das Entfernen von Bestandsschichten (welche Schicht und mit welcher Frästiefe) und dem Hinzufügen von neuen Schichten (unter Angabe der Dicke und der Materialien) eine Aussage über die zukünftige Restlebensdauer des Oberbaus zu erhalten. Diese Vorgehensweise erlaubt auch sehr einfach, zusätzliche Randbedingungen und Zwangspunkte der Höhe zu berücksichtigen. Dem Anwender des Prozesses steht es dabei frei, entweder eine Lösung im Tiefeinbau, im teilweisen Tiefeinbau sowie im Hocheinbau zu bewerten. Die notwendigen Informationen bzgl. des Zustandes und der Eigenschaften der Bestandsschichten sind dabei so aufbereitet, dass eine Aussage im Hinblick auf eine Weiterverwendung der zu betrachtenden Bestandsschichten zur Verfügung steht. In der nachfolgenden Abbildung 14 ist der Prozess schematisch im Überblick dargestellt.

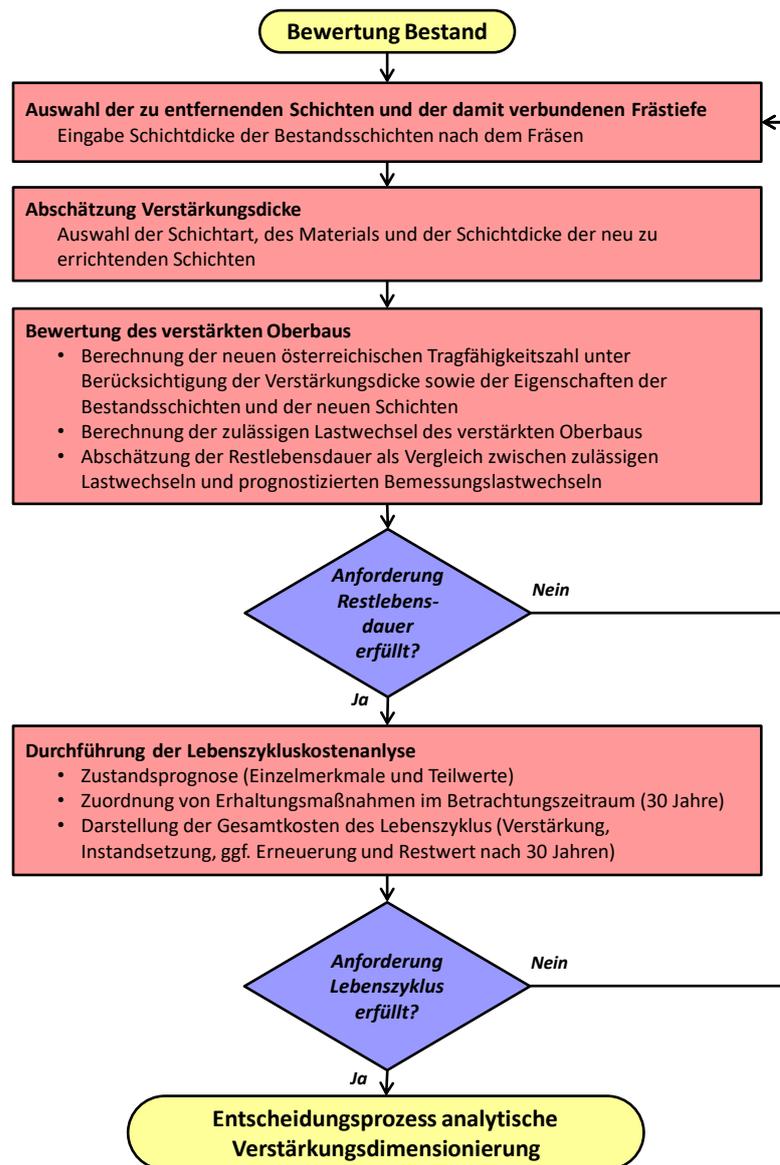


Abbildung 14: Prozessschritte bei der schrittweisen empirischen Verstärkungsdimensionierung

Die maßgebende Kenngröße im Rahmen der Bewertung einer möglichen Lösung stellt die Österreichische Tragfähigkeitszahl dar, die entsprechend den vorangehenden Untersuchungen (Oberbauscreening I und II, ggf. Tragfähigkeitsmessungen und GVO-Prüfungen der Materialien) in Abhängigkeit der örtlichen und strukturellen Gegebenheiten kalibriert wurde. Unter Heranziehung der Zusammenhänge zwischen der aktuellen Tragfähigkeitszahl und den zulässigen Normlastwechseln lässt sich abschätzen, welche Lebensdauer der verstärkte Oberbau zu erwarten hat. Dies kann wiederum in Relation zu den

prognostizierten Bemessungsnormlastwechseln gem. RVS 03.08.63 [5] gesetzt werden, sodass eine Restlebensdauer abgeschätzt werden kann.

Der letzte Schritt im Rahmen dieses Prozesses besteht in der Durchführung einer Lebenszykluskostenanalyse zur Abschätzung der Zustandsentwicklung und der Gesamtkosten (Verstärkung, Instandsetzung, ggf. Erneuerung und Restwert) über eine Betrachtungsperiode von 30 Jahren. Die Grundlagen dieser Analyse können dem Kapitel 4.10 entnommen werden.

4.9.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse jedes einzelnen Schrittes dienen zur Bewertung einer möglichen Lösung. Diese können wie folgt zusammengefasst werden:

- Aktuelle österreichische Tragfähigkeitszahl
 - Anteil österreichische Tragfähigkeitszahl neue Schichten, ggf. mit entsprechender Kalibrierung aus GVO-Untersuchungen
 - Anteil österreichische Tragfähigkeitszahl Bestandsschichten mit entsprechender Kalibrierung auf der Grundlage der Voruntersuchungen (Oberbauscreening I und II, ggf. Tragfähigkeitsmessungen und GVO-Prüfungen der Materialien)
- Gesamte aktuelle österreichische Tragfähigkeitszahl
- Zulässige Normlastwechsel des verstärkten Oberbaus
- Abschätzung der Restlebensdauer in Jahren
- Lebenszykluskosten
 - Zustandsverlauf (Prognose) der Einzelmerkmale (Zustandswert)
 - Zustandsverlauf (Prognose) der Teilwerte
 - Erhaltungsmaßnahmenart(en) und Zeitpunkt(e) während der Betrachtungsperiode von 30 Jahren
 - Gesamtkosten aus Verstärkungskosten, Kosten Instandsetzungsmaßnahmen, ggf. Kosten aus Erneuerung und Restwert nach 30 Jahren

Anhand dieser Ergebnisse sollte es möglich sein, die Verstärkungsmaßnahme einer ingenieurmäßigen Bewertung zu unterziehen bzw. unterschiedliche Varianten objektiv miteinander vergleichen zu können.

4.10 Lebenszykluskostenanalyse des verstärkten Oberbaus

4.10.1 Allgemeines

Die Lebenszyklusanalyse oder genauer gesagt die Lebenszykluskostenanalyse ist ein in Österreich standardisiertes Verfahren zur Beurteilung von Erhaltungsaktivitäten technischer Einrichtungen. Die Auswahl einer optimalen Erhaltungsstrategie unter vorgegebenen Randbedingungen ist das oberste Ziel einer solchen Untersuchung, wobei als Randbedingungen entweder monetäre (budgetäre) Restriktionen oder Anforderungen an den Zustand definiert werden.

Bei der Lebenszyklusanalyse handelt es sich um ein Vergleichsverfahren, bei welchem unterschiedliche, technisch sinnvolle Erhaltungsstrategien (Maßnahmenstrategien) verglichen werden. Als Grundlage für die Bewertung der unterschiedlichen Varianten werden die Prognose des Straßenzustandes sowie die aufgrund eines schlechten Straßenzustandes vorzunehmenden Erhaltungsmaßnahmen über einen bestimmten Betrachtungszeitraum herangezogen. Im gegenständlichen Fall beträgt dieser Betrachtungszeitraum 30 Jahre. Inhaltlich kann die Prozedur in folgende Bereiche unterteilt werden:

- Bewertung des Straßenzustandes
- Prognose des Straßenzustandes
- Definition von Erhaltungsmaßnahmen
- Festlegung der Analyseperiode
- Definition von Kennzahlen und –werten für den Vergleich

Eine detaillierte Beschreibung der von ASFINAG verwendeten Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse kann dem Handbuch Pavement Management in Österreich [17] entnommen werden, sodass im Rahmen des gegenständlichen Projektes nur die wichtigsten Berechnungsbausteine nachfolgend beschrieben werden.

4.10.2 Zustandsprognose

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel erwähnt, ist es im Rahmen der Lebenszykluskostenanalyse erforderlich, die Veränderungen des Straßenzustandes während der Betrachtungsperiode zu prognostizieren. Dazu werden in der Regel sogenannte deterministische (empirische) Straßenzustandsprognosemodelle herangezogen (Verhaltensfunktionen), die für jedes Zustandsmerkmal in Abhängigkeit von bestimmten erklärenden Variablen (Zeit, Schwerverkehrsbelastung, etc.) einen Zustandsverlauf berechnen.

Für die Durchführung der Lebenszyklusanalyse in SUB-KRIT werden die im Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 [14] aufgelisteten bzw. im Projekt PROMAT [2] erweiterten Zustandsprognosemodelle herangezogen. Die Zustandsprognose erfolgt dabei individuell für jedes einzelne Zustandsmerkmal. Durch die Prognose der Einzelmerkmale können auch für jeden beliebigen Zeitpunkt t während der Erhaltungsperiode die Zustandswerte und die Teilwerte berechnet werden. Aus Gründen der Vollständigkeit sind die verwendeten Straßenzustandsprognosemodelle nachfolgend beschrieben.

4.10.2.1 Verhaltensfunktion Risse

Die empirische Verhaltensfunktion Risse wird über das Alter der Decke und den Verkehrsbelastungskoeffizienten VBI definiert und setzt sich aus 2 Modellen zusammen, die die unterschiedlichen Phasen der Rissentwicklung charakterisieren. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung entnommen werden.

$$ZG_{RI,t,X_f} = K_{F_{RI}} \cdot \exp[-3,60517 + a \cdot X_f \cdot \text{Alter}_{\text{Decke}} + \ln(X_f \cdot \text{Alter}_{\text{Decke}} + 0,01) - 0,5 \cdot \ln\left(\text{VBI} \cdot \frac{n}{20} + 0,01\right)]$$

für $ZG_{RI,t,X_f} \leq 8$

$$ZG_{RI,t,X_f} = ZG_{RI,t-1} + \max\left(0; X_f \cdot \left(2 - \frac{ZG_{RI,t-1}}{20}\right)\right) \text{ für } ZG_{RI,t,X_f} > 8$$

- ZG_{RI,t,X_f} Skalierte Zustandsgröße Risse zum Zeitpunkt t in [%]
- X_f Skalierungsfaktor aus Ermüdung und/oder Alterung (Standard X_f = 1,0)
- Alter_{Decke,t} Alter der Decke zum Zeitpunkt t
- K_{F_{RI}} Kalibrierfaktor Risse (siehe Tabelle 10)
- VBI Verkehrsbelastungskoeffizient
- n Bemessungsperiode in Jahren
- a Modellparameter (für Verstärkungen a=0,2085)

Tabelle 10: Kalibrierfaktor K_{F_{RI}} Zustandsprognosemodell Risse

Zustandsmerkmal	Standardwert
Risse	1,4 * Y (Asphalt Bautype AS4)
	0,7 * Y (Asphalt, sonstige)
	Y = 0,8 (für SMA und MA)
	Y = 1,0 (sonstige Asphaltdecken)

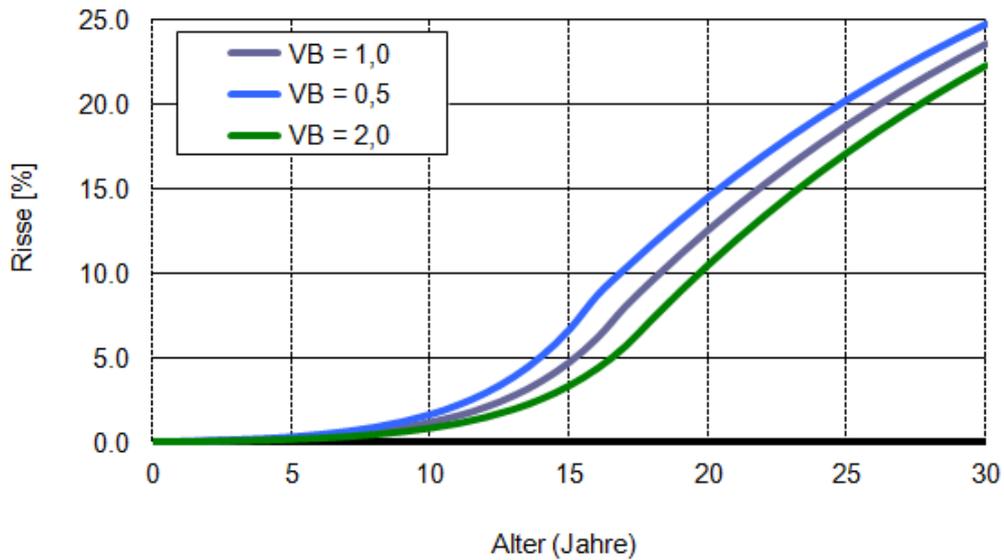


Abbildung 15: Standardverhaltensfunktion Risse (AC deck) [17]

4.10.2.2 Verhaltensfunktion Oberflächenschäden

Die empirische Verhaltensfunktion Oberflächenschäden wird gem. [17] über das Alter der Decke und den Frostindex definiert. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung 16 entnommen werden.

$$ZG_{OS,t,Xf} = KV_{OS} + (-12,672 + a \cdot X_f \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + 0,00066 \cdot \text{FIKh})$$

- ZG_{OS,t,Xf} Skalierte Zustandsgröße Oberflächenschäden zum Zeitpunkt t in [%]
- X_f Skalierungsfaktor aus Alterung (Standard X_f = 1,0)
- Alter_{Decke,t} Alter der Decke
- KV_{OS} Kalibriervektor (Standard KV_{OS}=0,0)
- FIKh Frostindex [Kh]
- a Modellparameter

Tabelle 11: Modellparameter Verhaltensfunktion Oberflächenschäden

Bautype	Modellparameter a
Standard	1,0
Deckschicht PA	4,0
Deckschicht BBTM	3,0

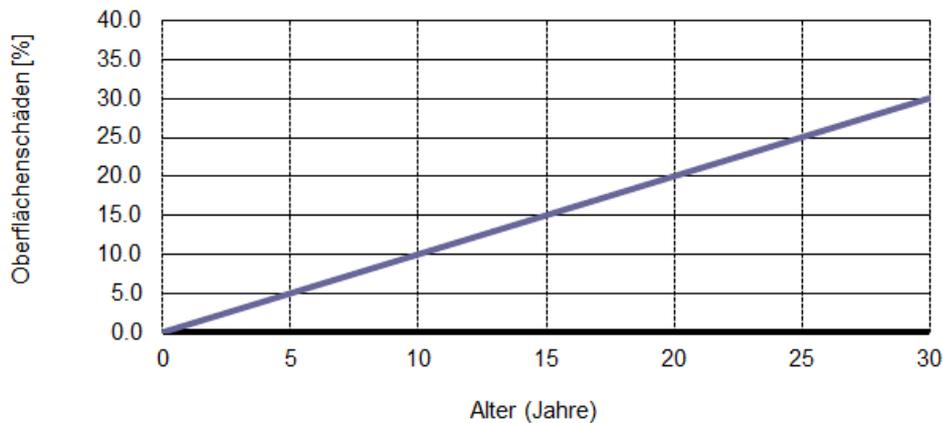


Abbildung 16: Standardverhaltensfunktion Oberflächenschäden [17]

4.10.2.3 Verhaltensfunktion Spurrinnen

Die empirische Verhaltensfunktion Spurrinnen wird über das Alter der Decke und die kumulierten Normlastwechsel definiert. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung 17 entnommen werden.

$$ZG_{SR,t,X_f} = KF_{SR} \cdot \left(a \cdot X_f \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + \frac{b \cdot X_f \cdot \text{NLW}_{\text{kum},t}}{100000} \right)$$

- ZG_{SR,t,X_f} Skalierte Zustandsgröße Spurrinnen zum Zeitpunkt t [mm]
- X_f Skalierungsfaktor aus Verformung (Standard X_f = 1,0)
- Alter_{Decke,t} Alter der Decke zum Zeitpunkt t
- KF_{SR} Kalibrierfaktor Spurrinnen (siehe Tabelle 13)
- NLW_{kum,t} kumulierte Lastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio.
- a, b Modellparameter (siehe Tabelle 12)

Tabelle 12: Modellparameter Verhaltensfunktion Spurrinnen

Bautype	Modellparameter a	Modellparameter b
Verstärkung mit Dicke _{Decke} ≤ 2 cm	0,8016	0,0159
Verstärkung mit Dicke _{Decke} > 2 cm	0,7183	0,0159

Tabelle 13: Kalibrierfaktoren Verhaltensfunktion Spurrinnen

Zustandsmerkmal	Standardwert
Spurrinnen	0,7 (Asphalt, bei SMA und MA) 1,0 (sonstige Asphaltdecken)

In der nachfolgenden Abbildung 17 ist das Prognosemodell (SMA-Deckschicht) für die Lastklassen LK82, LK42 und LK25 dargestellt.

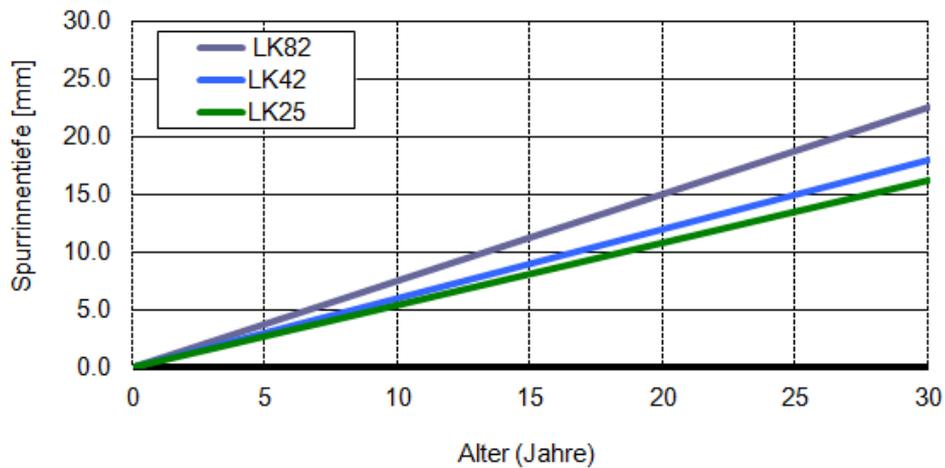


Abbildung 17: Verhaltensfunktion Spurrinnen (SMA) [17]

4.10.2.4 Verhaltensfunktion Längsebenheit

Die empirische Verhaltensfunktion Längsebenheit wird ebenfalls über das Alter der Decke und die kumulierten Normlastwechsel definiert. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung 18 entnommen werden.

$$ZG_{LE,t,Xf} = KV_{LE} + \left(a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + \frac{b \cdot NLW_{\text{kum},t}}{100000} \right)$$

$ZG_{LE,t,Xf}$ Zustandsgröße Längsebenheit (IRI) zum Zeitpunkt t [m/km]
 $\text{Alter}_{\text{Decke},t}$ Alter der Decke zum Zeitpunkt t
 KV_{LE} Kalibrierfaktor Längsebenheit (Standard $KV_{LE} = 0,8$)
 $NLW_{\text{kum},t}$ kumulierte Lastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio.
 a, b Modellparameter (siehe Tabelle 14)

Tabelle 14: Modellparameter Verhaltensfunktion Längsebenheit

Bautype	Modellparameter a	Modellparameter b
Verstärkung mit $\text{Dicke}_{\text{Decke}} > 2$ cm	0,0603	0,0032
Verstärkung mit $\text{Dicke}_{\text{Decke}} \leq 2$ cm	0,0770	0,0032

In der nachfolgenden Abbildung 18 ist das Prognosemodell für die Lastklassen LK82, LK42 und LK25 dargestellt.

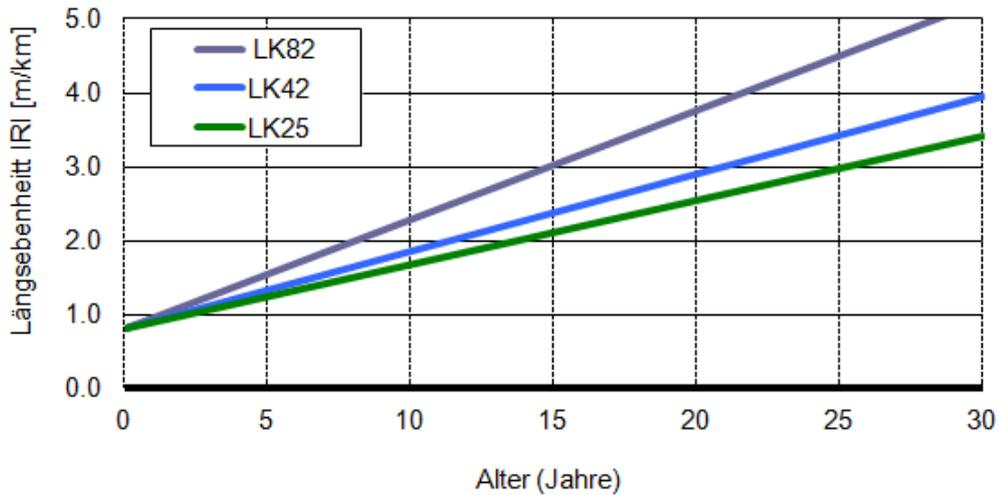


Abbildung 18: Verhaltensfunktion Längsebenheit [17]

4.10.2.5 Verhaltensfunktion Griffigkeit

Aufgrund von fehlenden mathematischen Zusammenhängen zwischen unterschiedlichen erklärenden Variablen (Alter, Verkehrsbelastung, Klima, etc.) wurde im Rahmen der Festlegungen in [17] ein vereinfachtes Modell für das PMS gewählt, das eine lineare Abnahme der Griffigkeit unter Verwendung einer konstanten Verringerung des Reibungsbeiwertes μ vorsieht. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung 19 entnommen werden.

$$ZG_{GR,t,X_f} = ZG_{GR,t-1} + X_f \cdot a$$

- ZG_{GR,t,X_f}.....Skalierte Zustandsgröße Griffigkeit μ zum Zeitpunkt t
- X_f.....Skalierungsfaktor für Oberflächeneigenschaften (Standard X_f = 1,0)
- ZG_{GR,t-1}.....Zustandsgröße Griffigkeit μ zum Zeitpunkt t-1 [-]
- a.....Modellparameter (siehe Tabelle 15)

Tabelle 15: Modellparameter Verhaltensfunktion Längsebenheit

Bautype	Modellparameter a
alle Bautypen	-0,0018

In der nachfolgenden Abbildung 19 ist das Prognosemodell für alle Bautypen dargestellt.

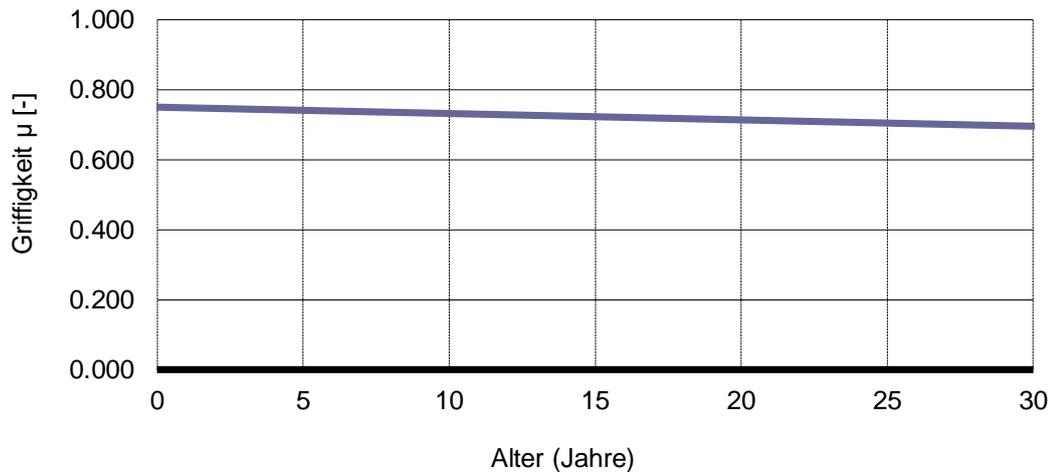


Abbildung 19: Standardverhaltensfunktion Griffigkeit (alle Bautypen) [17]

4.10.2.6 Zustandsprognose Zustandswerte und Teilwerte

Durch die Anwendung des in Kapitel 4.4.3 beschriebenen Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes in jedem einzelnen Jahr der Betrachtungsperiode können auch die Prognosen der Zustandswerte und der Teilwerte vorgenommen und als Ergebnis dargestellt werden.

4.10.3 Erhaltungsmaßnahmen

4.10.3.1 Maßnahmenkatalog und standardisierter Lebenszyklus

Für die Bewertung werden unterschiedliche, grundsätzlich technisch mögliche Erhaltungsmaßnahmen herangezogen. Die Zuordnung von Erhaltungsmaßnahmen nach dem Durchführen der Verstärkungsmaßnahme erfolgt individuell in Abhängigkeit von der Entwicklung des Straßenzustandes. Als Grundlage hierfür dient wiederum das Handbuch Pavement Management in Österreich [17]. Im Rahmen des SUB-KRIT Prozesses zur Beurteilung und Bewertung der Lebenszykluskosten sind folgende Erhaltungsmaßnahmen verankert:

- Instandhaltungsmaßnahmen: Instandhaltung Asphaltdecke (H_AS): Pauschale für Risse vergießen, Beseitigung lokaler Unebenheiten, Schlaglochanierung, etc.
- Instandsetzungsmaßnahmen Asphaltbauweise
 - Erneuerung Deckschicht (I_DE): Fräsen der alten Deckschicht und Einbau einer neuen Deckschicht mit gleichem Material

- Erneuerung Decke und Binder (I_DEBI): Fräsen der alten Deck- und Binderschicht und Einbau einer neuen Deck- und Binderschicht mit gleichem Material
- Erneuerung Oberbau in Asphaltbauweise (E_AS): Erneuerung des gesamten gebundenen Oberbaus

Von wesentlicher Bedeutung ist natürlich auch die Abfolge der Instandsetzungsmaßnahmen bzw. der Erneuerung des Oberbaus nach der geplanten Verstärkungsmaßnahme. Dabei wird für die Bewertung von einem standardisierten Lebenszyklus ausgegangen, wo die Reihenfolgen der Nachfolgemeasures fixiert ist, jedoch der Zeitpunkt in Abhängigkeit von der Entwicklung des Zustandes unter Berücksichtigung der im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Anwendungsgrenzen gewählt wird. Die Abfolge ist dabei wie folgt definiert:

0. Verstärkungsmaßnahme = Initialmaßnahme für den Lebenszyklus
1. Instandsetzungsmaßnahme: entweder I_DE oder I_DEBI (in Abhängigkeit von der Entwicklung des strukturellen Zustandes)
2. Erneuerung Oberbau

Die Instandhaltungsmaßnahmen können dabei laufend durchgeführt werden und sind an keinem Standardlebenszyklus gebunden. Der standardisierte Lebenszyklus wird nach 30 Jahren abgebrochen und der Restwert zu diesem Zeitpunkt bestimmt.

4.10.3.2 Anwendungsgrenzen der Erhaltungsmaßnahmen

Die Anwendungsgrenzen der Erhaltungsmaßnahmen regeln den Zeitpunkt, ab welchem eine bestimmte Maßnahme durchgeführt werden soll. Folgende Kriterien und Randbedingungen gelangen dabei standardisiert zur Anwendung:

- Instandhaltungsmaßnahmen Asphaltbauweise (H_AS)
 - Substanzwert Decke $SI_{\text{Decke}} \geq 2,5$
 - gleichzeitige Durchführung von Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen ausgeschlossen
- Erneuerung Deckschicht (I_DE)
 - 1. Maßnahme nach Verstärkung
 - Gebrauchswert $GI \geq 3,5$ oder Substanzwert gesamt $SI_{\text{Gesamt}} > 4$ oder Substanzwert Decke $SI_{\text{Decke}} \geq 3,5$
 - Alter Decke $\text{Alter}_{\text{Decke}} \leq 10$ Jahre

- Erneuerung Deck- und Binderschicht (I_DEBI)
 - 1. Maßnahme nach Verstärkung
 - Gebrauchswert GI $\geq 3,5$ oder Substanzwert gesamt $SI_{Gesamt} \geq 4$ oder Substanzwert Decke $SI_{Decke} \geq 3,5$
 - Alter Decke $Alter_{Decke} > 10$ Jahre
- Erneuerung Oberbau (E_AS)
 - 2. Maßnahme nach Verstärkung
 - Gebrauchswert GI $\geq 4,0$ oder Substanzwert gesamt $SI_{Gesamt} \geq 4$ oder Substanzwert Decke $SI_{Decke} \geq 4,0$

4.10.3.3 Wirkungen von Instandsetzungsmaßnahmen

Die Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme hat Auswirkungen auf den Zustandswert eines oder mehrerer Zustandsmerkmale. Die Verbesserung des Straßenzustandes wird dabei in Form von Rücksetzwerten quantifiziert, die entweder direkt den Zustand auf ein besseres Niveau heben und/oder die Parameter der Zustandsprognosemodelle (z.B. Alter, NLW, Skalierungsfaktoren, etc.) entsprechend beeinflussen. Unter Bezugnahme auf das Handbuch Pavement Management in Österreich [17] wurde eine vereinfachte Bewertung der Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen im Rahmen des gegenständlichen Prozesses definiert. Dabei handelt es sich um folgende Festlegungen:

Tabelle 16: Rücksetzwerte Instandsetzungsmaßnahmen

Parameter	Erhaltungsmaßnahmen		
	Decke I_DE	I_DEBI	E_AS
Alter Decke	0	0	0
Alter Oberbau (rechnerisch)	-5	-5	0
NLW kumuliert	$f(\text{Alter}_{\text{Oberbau}})$	$f(\text{Alter}_{\text{Oberbau}})$	0
Zustandsgröße Risse	$f(\text{Alter}_{\text{Oberbau}})$	$f(\text{Alter}_{\text{Oberbau}})$	0
Zustandsgröße Oberflächenschäden	$f(\text{Alter}_{\text{Decke}})$	$f(\text{Alter}_{\text{Decke}})$	0
Zustandsgröße Spurrinnen	$f(\text{NLW}_{\text{kum}})$	$f(\text{NLW}_{\text{kum}})$	0
Zustandsgröße Längsebenheit	$f(\text{Alter}_{\text{Decke}}), f(\text{NLW}_{\text{kum}})$	$f(\text{Alter}_{\text{Decke}}) f(\text{NLW}_{\text{kum}})$	0,8
Zustandsgröße Griffigkeit	0,75	0,75	0,75

Wie bereits erwähnt, zeigen die verwendeten Prognosemodelle die Zustandsentwicklung von Straßen, die einer laufenden Instandhaltung unterzogen werden, sodass die Wirkungen dieser Maßnahmen im Verlauf abgebildet sind und daher ein „Rücksetzen“ auf verbesserte Eigenschaften nicht erforderlich ist.

4.10.4 Kostenbewertung

4.10.4.1 Kosten der Erhaltungsmaßnahmen

Die Kosten der Instandsetzungsmaßnahmen in Form des Barwertes errechnen sich auf der Grundlage der eingegebenen bzw. bestätigten Einheitspreise wie folgt:

$$KST_{IE} = FL \cdot EP_{IE} \cdot \left(1 + \frac{D}{100}\right)^{-t}$$

KST_{IE} Kosten Instandsetzung oder Erneuerung [€] (Barwert)
 FL Fläche des betrachteten Fahrstreifens [m²]
 EP_{IE}Einheitspreis Instandsetzung oder Erneuerung [€/m²]
 D Diskontrate in %
 tJahre seit Beurteilungsanfang

Die Einheitspreise für die Instandhaltungsmaßnahmen Asphalt sind pauschalierte jährliche Mittelwerte über die gesamte Lebensdauer einer Deckschicht bzw. eines Oberbaus. Daher werden bei diesen Maßnahmen die jährlichen Kosten in Abhängigkeit von der Entwicklung des Substanzwertes Decke anteilmäßig wie folgt ermittelt:

$$KST_H = FL \cdot EP_H \cdot \frac{SI_{Decke,t}}{4} \cdot \left(1 + \frac{D}{100}\right)^{-t}$$

KST_HKosten Instandhaltung (Barwert)
 FL Fläche des betrachteten Fahrstreifens [m²]
 EP_H Einheitspreis Instandhaltung [€/m²]
 $SI_{Decke,t}$ Substanzwert Decke zum Zeitpunkt t
 D Diskontrate in %
 tJahre seit Beurteilungsanfang

4.10.4.2 Restwertermittlung

Um die Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen am Ende der Betrachtungsperiode von 30 Jahren korrekt zu beurteilen (Auswahl des Zeitpunkts der letzten Maßnahme erfolgt in Abhängigkeit vom Zustand), muss eine Restwertbetrachtung vorgenommen werden. Die Ermittlung des Restwertes erfolgt in Anlehnung an [17] unter Heranziehung des Substanzwertes Gesamt SI_{Gesamt} , da er neben den Zustandsinformationen auch die Altersverteilung berücksichtigt. Dabei wird einem Substanzwert von 1,0 der volle Neubauwert (gem. den Eingangswerten) und einem Substanzwert von 5,0 ein Restwert von 0 €/m² zugeordnet. Eine lineare Interpolierung liefert die notwendigen Zwischenwerte:

$$RW_{30} = FL \cdot \frac{EP_E}{4} \cdot (5 - SI_{\text{Gesamt},30}) \cdot \left(1 + \frac{D}{100}\right)^{-t}$$

RW₃₀ Restwert (Barwert) im Betrachtungsjahr 30
 FL Fläche des betrachteten Fahrstreifens [m²]
 EP_E Einheitspreis Erneuerung [€/m²]
 SI_{Gesamt,30} Substanzwert Gesamt im Betrachtungsjahr 30
 D Diskontrate in %

4.10.4.3 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten einer zu überprüfenden Variante sind in Form des Barwertes über die in der Betrachtungsperiode angefallenen Erhaltungskosten abzüglich des Restwertes am Ende (Betrachtungsjahr 30) wie folgt zu ermitteln:

$$KST_{\text{Gesamt}} = \sum_H KST_H + KST_I + KST_E - RW_{30}$$

RW₃₀ Restwert (Barwert) im Betrachtungsjahr 30
 KST_H Kosten Instandhaltung (Barwert)
 KST_I Kosten Instandsetzung [€] (Barwert)
 KST_E Kosten Erneuerung [€] (Barwert)

4.11 Analytische Verstärkungsdimensionierung

4.11.1 Kriterien für eine analytische Verstärkungsdimensionierung

Unter Berücksichtigung der nachfolgenden Kriterien wird eine analytische Verstärkungsdimensionierung auf jeden Fall empfohlen:

- Es wurden GVO-Untersuchungen vorgenommen und das untersuchte Material bleibt im Bestand oder wird in eine neue Schicht eingebaut
- Die Ergebnisse der schrittweisen Abschätzung der Verstärkungsdicke ergeben eine geschätzte Lebensdauer von weniger als 10 Jahren
- Die Ergebnisse der schrittweisen Abschätzung der Verstärkungsdicke zeigen unplausible Werte

Wird eine analytische Oberbaudimensionierung vorgenommen, so sind zumindest für die neu zu errichtenden Schichten die entsprechenden Eingangsgrößen unter Heranziehung von GVO-Untersuchungen zu bestimmen (siehe hierzu Kapitel 4.8).

- Der Verformungswiderstand wird vorzugsweise an Deck- und Binderschichten bestimmt. Gängige Prüfverfahren (mit zunehmender Komplexität) sind der Spurbildungsversuch, der Dynamische Stempелеindringversuch und der Triaxialversuch. Wahlweise ein Prüfverfahren ist anzuwenden.
Für den Spurbildungsversuch (gemäß ÖNORM EN 12697-22) werden zwei Asphaltprobeplatten der Maße 320 mm x 260 mm x 40 mm (Deckschicht) bzw. 60 mm (Asphaltbinderschicht) benötigt.
Der Dynamische Stempелеindringversuch wird an Asphaltdeckschichten durchgeführt. Dazu werden zwei Bohrkern mit einem Durchmesser von 200 mm und einer Höhe von 40 mm benötigt.
Die Abmessungen der für den Triaxialversuch (gemäß EN 12697-25 A) benötigten Probekörper hängen vom Größtkorn des zu prüfenden Asphalts ab.
- Der Widerstand gegen Kälterissbildung infolge ver- bzw. behinderten thermischen Schrumpfens wird an Deck- und Binderschichtmaterial vorzugsweise mittels Abkühl- und Zugversuch (gemäß EN 12697, Teil 46) geprüft. Dazu werden stabförmige Probekörper benötigt, die beispielweise mit folgenden Abmessungen in Abhängigkeit des Größtkorns D aus Asphaltprobeplatten gesägt werden:
 $D \leq 11,2$ mm: 15 prismatische Probekörper: 40 x 40 x 160 mm
 $D < 22,4$ mm: 15 prismatische Probekörper: 50 x 50 x 160 mm
 $D \geq 22,4$ mm: 15 prismatische Probekörper: 60 x 60 x 160 mm
- Für die Prüfung von Steifigkeit und Ermüdungswiderstand (an allen Schichten) mittels Spaltzug-Schwellversuch (gemäß EN 12697-24 bzw. -26) werden mindestens 12 Bohrkern in Abhängigkeit vom Größtkorn D mit folgenden Abmessungen benötigt:
 $D \leq 25$ mm: Durchmesser 100 mm, Dicke 40 mm
 $D \leq 38$ mm: Durchmesser 150 mm, Dicke 60 mm.

Eine Übersicht der zu ermittelnden Ergebnisse ist in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Liste von als notwendig angesehenen Eingangsgrößen aus GVO-Prüfungen für neue Schichten

Eigenschaft	Prüfverfahren	Ergebnis
Plastische Verformungen (nur ein Prüfverfahren notwendig)	Spurbildungsversuch ÖNORM EN 12697-22	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlere Spurrinnentiefe RD_{Luft} [mm] nach 10.000 Belastungszyklen • Mittlere proportionale Spurrinnentiefe PRD_{Luft} [%] nach 10.000 Belastungszyklen • Mittlere Spurbildungsrate WTR_{Luft} [mm/1000 Zyklen]
	Stempeleindringversuch (in Deutschland: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 25 A2)	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlere dynamische Eindringtiefe $ET_{dyn}(10.000)$ [‰]
	Triaxialversuch ÖNORM EN 12697-25	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtverformung $\epsilon_{10.000}$ [%] • Kriechrate f_c [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{Belastungszyklus}$]
Steifigkeit	Indirekte zyklische Zugbelastungs-Prüfung (Spaltzug-Schwellversuch) ÖNORM EN 12697-26	<ul style="list-style-type: none"> • Steifigkeitsmodul E^* [MPa] in Abhängigkeit von Prüftemperatur und Frequenz
Ermüdung	Indirekte zyklische Zugbelastungs-Prüfung (Spaltzug-Schwellversuch) ÖNORM EN 12697-24	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Lastwechsel bis Makroriss N_{Makro} [-] in Abhängigkeit der anfänglichen elastischen horizontalen Dehnungen ϵ_{el} • Materialspezifische Parameter k [-] und n [n] der Ermüdungsfunktion
Widerstand gegen Kälterissbildung	Abkühl- und Zugversuch ÖNORM EN 12697-46	<ul style="list-style-type: none"> • Bruchtemperatur T_c [°C] und Bruchspannung σ_c [MPa] sowie der kryogene Zugspannungsverlauf $\sigma_{kry}(T)$ während des Abkühlvorgangs. • Zugfestigkeit β_t in Abhängigkeit von der Prüftemperatur

4.11.2 Anforderungen analytische Verstärkungsdimensionierung

Maßgebend für die Lebensdauer des Asphaltüberbaus ist die Begrenzung der Biegezugbeanspruchung an der Unterseite der Asphalttragschicht. Zur Berechnung der maßgebenden Dehnungen (bzw. Spannungen) an der Unterseite der Asphalttragschicht sollte im Rahmen einer analytischen Verstärkungsdimensionierung die linear-elastische Mehrschichtentheorie angewendet werden. Über das durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen des Schwerverkehrs kann die Anzahl an zu erwartenden Achsübergängen prognostiziert werden.

Aus der Berücksichtigung unterschiedlicher Kombinationen von Verkehrslast- und Temperatursituationen ergeben sich daher eine Vielzahl von einzelnen Mehrschichten-Modellen bzw. Bemessungsfällen. Für jeden einzelnen Fall werden die maßgebenden Dehnungen (bzw. Spannungen) an der Unterseite der Asphalttragschicht berechnet. Schließlich wird für jede berechnete Dehnung die ertragbare Lastwechselzahl anhand der in Ermüdungsversuchen ermittelten materialspezifischen Ermüdungsfunktion abgeleitet. Der Ermüdungsnachweis basiert z.B. auf der Hypothese nach Miner, der zufolge die bei unterschiedlichen Dehnungen ertragenen Lastwechsel berücksichtigt und zur Grenzlastwechselzahl akkumuliert werden. Der Nachweis der Ermüdungsresistenz der Befestigung gilt als erfüllt, solange die akkumulierten Dehnungen nicht schadensrelevant für Ermüdung sind.

Grundsätzlich gibt der SUB-KRIT-Prozess nicht vor, welches analytische Modell und somit welche Softwarelösung für die Dimensionierung bzw. Bewertung der Verstärkung herangezogen werden sollte. Die Auswahl obliegt dabei in erster Linie beim Durchführenden einer solchen Dimensionierung. Die wesentliche Aussage ist die zu erwartende Lebensdauer des verstärkten Oberbaus als maßgebende Eingangsgröße für die Beurteilung der Lösung im Rahmen der Lebenszykluskostenbewertung.

Eine mögliche Dimensionierungsmethode besteht natürlich in der Anwendung der in Deutschland üblichen „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht“ RDO Asphalt 09 [11]. Wie im Kapitel 2.4 beschrieben, wurde in den Jahren 2011 bis 2014 die RSO Asphalt 2014 [8] als Grundlage für die Substanzbewertung auf Projektebene unter Heranziehung von materialspezifischen Kennwerten entwickelt. Im Zusammenhang mit der RDO Asphalt 2009 [11] kann diese Richtlinie für eine analytische Verstärkungsdimensionierung herangezogen werden. Vor allem die Verknüpfung der Steifigkeitseigenschaften und des Ermüdungsverhaltens der Bestandsschichten mit jenen der zu untersuchenden Verstärkungsschichten erfüllt die oben beschriebenen Voraussetzungen. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass weitere Eingangsgrößen im Bereich der Wetterdaten für eine solche Analyse zur Verfügung stehen müssen, sodass der Aufwand für die Erhebung dieser Daten zu berücksichtigen ist. Grundsätzlich wird empfohlen, dass das mit den Materialuntersuchungen beauftragte Asphaltlabor eng mit den Experten der Verstärkungsdimensionierung zusammenarbeitet sofern diese nicht über die gleiche Institution ausgeführt wird.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass auch hier das Ergebnis als zulässige Anzahl von Normlastwechseln bezogen auf die 10t-Normachslast (B-Zahl) zur Verfügung stehen muss um die finale Lebenszyklusanalyse durchführen zu können.

5 SUB-KRIT MS Excel Prototyp

5.1 Allgemeines

Auf der Grundlage der ausgearbeiteten Berechnungsalgorithmen wurde ein auf MS-Excel basierender Prototyp entwickelt, der es dem Anwender erlaubt, die im Prozess notwendigen Einzelschritte im Rahmen einer ingenieurmäßigen Beurteilung nachvollziehbar, objektiv und umfassend dokumentiert vorzunehmen. Der SUB-KRIT MS Excel Prototyp besteht aus mehreren Registerblättern, die miteinander verknüpft sind und ein schrittweises Arbeiten auf der Grundlage des SUB-KRIT Workflow ermöglichen. In den nachfolgenden Kapiteln sind die einzelnen Registerblätter kurz beschrieben sowie die entsprechenden Querverweise zu den vorangehenden Grundlagenkapiteln aufgelistet. Der MS-Excel Prototyp steht auch nach Abschluss des Projektes den Auftraggebern für die praktische Anwendung zur Verfügung.

5.2 Registerblätter SUB-KRIT MS Excel

5.2.1 Registerblatt Eingangsdaten Projekt

Das Registerblatt SUB-KRIT Eingangsdaten Projekt (siehe Abbildung 20) beinhaltet neben allgemeinen Hinweisen zur Anwendung auch die Möglichkeit, die Projektdaten zu spezifizieren. Vor allem das Beurteilungsjahr ist eine wichtige Eingangsgröße und muss vom Anwender unbedingt ausgefüllt werden.

Darüber hinaus ist der Bewertungsprozess im Überblick dargestellt (siehe hierzu auch Kapitel 3.3) und alle darin aufgelisteten Bausteine sind mit Hyperlinks mit den jeweiligen Registerblättern verbunden.

5.2.2 Registerblatt Eingangsdaten PMS

Das Registerblatt SUB-KRIT Eingangsdaten PMS (siehe Abbildung 21) erlaubt es dem Anwender, die PMS-Eingangsdaten in den Prozess zu übertragen. Dabei handelt es sich um die Oberbaudaten des Bestandes (siehe Kapitel 4.2.1), die Zustandsdaten aus der messtechnischen Zustandserfassung (siehe Kapitel 4.2.2) und die Daten der Verkehrsbelastung (siehe Kapitel 4.2.3).

SUB-KRIT Analyseprototyp
Eingangsdaten Projekt



Willkommen

im SUB-KRIT Analyseprototyp zur Beurteilung von Verstärkungsmaßnahmen in Asphaltbauweise

Bitte beachten Sie folgende Hinweise!

Der SUB-KRIT MS Excel Prototyp dient zur Unterstützung bei der Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen von strukturell geschädigten bzw. beeinträchtigten Oberbaukonstruktionen in Asphaltbauweise. Die implementierten Verfahren basieren dabei auf den Grundlagen des VIF-Forschungsprojektes SUB-KRIT und können dem Endbericht entnommen werden.

Zur besseren Übersicht der Eingangsdaten und der Ergebnisse wurde als Unterstützung folgendes Farbschema verwendet:

Eingangswerte	
Erläuterungen	
Ergebnisse	

Informationen Projekt

Projektbeschreibung	Das ist ein Beispielprojekt	
Projektkurzbezeichnung	Beispiel_1	Beurteilungsjahr
		2018

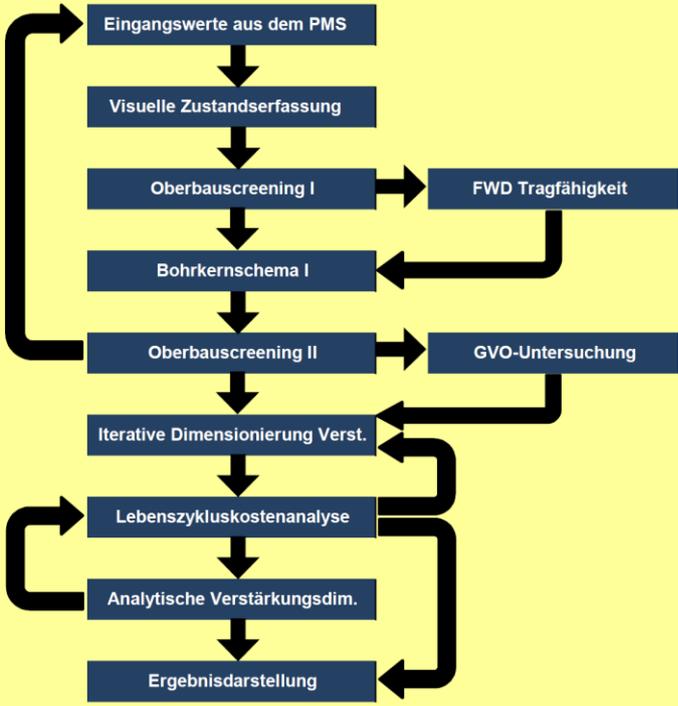
Informationen Streckenabschnitt

Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche

Straße	A4 Ostautobahn	Fahrstreifen	1. Fstr.
Richtungsfahrbahn	Ungarn	Fahrstreifenbreite	3.75 m
von KM	19.7 km	Länge	300 m
bis KM	20 km	Fläche	1125 m ²

Darstellung des gesamte Bewertungsprozesses

Bitte klicken Sie auf die jeweilige blaue Schaltfläche!



Version 1.0 (13.9.2018) - Nr.1020180913

Abbildung 20: SUB-KRIT Eingangsdaten Projekt

SUB-KRIT Analyseprototyp		Eingangsdaten aus PMS (IMT Oberbau)			
Eingangsdaten Streckenabschnitt					
Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche					
Straße	<input type="text" value="A4 Ostautobahn"/>	Fahrstreifen	<input type="text" value="1. Fstr."/>		
Richtungsfahrbahn	<input type="text" value="Ungarn"/>	Fahrstreifenbreite	<input type="text" value="3.75"/>	m	
von KM	<input type="text" value="19.7"/>	Länge	<input type="text" value="300"/>	m	
bis KM	<input type="text" value="20"/>	Fläche	<input type="text" value="1125"/>	m ²	
Eingangsdaten Schichtaufbau Bestand					
Gebundener Oberbau	Material	Schichtdicke	Herstellungsjahr	Alter	
Deckschicht	<input type="text" value="SMA_S1"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="2013"/>	<input type="text" value="5"/>	
Binderschicht	<input type="text" value="AC_binder"/>	<input type="text" value="7.7"/>	<input type="text" value="2013"/>	<input type="text" value="5"/>	
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	<input type="text" value="AC_trag_T1"/>	<input type="text" value="10.8"/>	<input type="text" value="1990"/>	<input type="text" value="28"/>	
gebundene Asphalt(trag)schicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	
gebundene Asphalt(trag)schicht 3	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	
gebundene Asphalt(trag)schicht 4	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	
sonstige gebunde Tragschicht	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	
Stabilisierte Schichten					
Stabilisierte Schicht 1	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	
Stabilisierte Schicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	
Ungebundener Oberbau					
ungebundene obere Tragschicht 1	<input type="text" value="U_CK"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="1990"/>	<input type="text" value="28"/>	
ungebundene obere Tragschicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	
ungebundene untere Tragschicht	<input type="text" value="U_RK"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="1990"/>	<input type="text" value="28"/>	
Zustandsgrößen aus der systematischen Straßenzustandserfassung					
	Zustandsgrößen	Die Zustandsgrößen sind für den betrachteten Abschnitt aus den 50m-Werten wie folgt zu bilden:			
Risse (% geschädigte Fläche)	<input type="text" value="0.8"/>	%	= Mittelwert		
Oberflächenschäden (% geschädigte Fläche)	<input type="text" value="0"/>	%	= Mittelwert		
Spurrinnen (Spurrinntiefe unter 2m-Latte)	<input type="text" value="5.75"/>	mm	= Mittelwert plus einfache Standardabweichung		
Griffigkeit (Reibungsbeiwert μ)	<input type="text" value="0.64"/>	-	= Mittelwert minus einfache Standardabweichung		
Längsebenheit (International Roughness Index IRI)	<input type="text" value="0.97"/>	m/km	= Mittelwert		
Eingangswerte Verkehrsbelastung					
JDTLV	<input type="text" value="4083"/>	LKW/24h	Alternative Verkehrsdaten (bei Kenntnis Fahrzeugkategorie)		
Anzahl Fstr. pro RFB	<input type="text" value="2"/>		LKW ohne Anh.	<input type="text" value="0"/>	LKW/24h
Fahrstreifenbreite	<input type="text" value="3.75"/>	m	LKW m. Anh. / Sattelzg.	<input type="text" value="0"/>	LKW/24h
JDTLV pro Richtung?	<input type="text" value="Ja"/>	(Nein = beide Richtungen)	Bus	<input type="text" value="0"/>	Bus/24h
Bemessungsperiode	<input type="text" value="30"/>	(30 Jahre gem. RVS 03.08.63)	Linienbus	<input type="text" value="0"/>	Bus/24h
Zuwachsrate (p)	<input type="text" value="2"/>	%	Liniengelenkbus	<input type="text" value="0"/>	Bus/24h
Zurück zu Eingangswerte Projekt <input type="button" value="OK"/>		Weiter zu den Ergebnissen der visuellen ZEB <input type="button" value="OK"/>			

Abbildung 21: SUB-KRIT Eingangsdaten PMS

5.2.3 Registerblatt Visuelle ZEB

Das Registerblatt SUB-KRIT Visuelle ZEB (siehe Abbildung 22) erlaubt es dem Anwender, die Daten aus einer zusätzlichen visuellen Straßenzustandserfassung in den Prozess zu integrieren. Dabei geht es ausschließlich um Risse und Oberflächenschäden (siehe Kapitel 4.3.1), wobei die anderen Zustandsgrößen bzw. -werte aus der messtechnischen Erfassung

übernommen werden. Das Registerblatt enthält auch die Möglichkeit der Eingabe einer Bewertung im Rahmen der Thermographie (siehe Kapitel 4.3.2) sowie eine erste primäre und sekundäre Abgrenzung von Schadensursachen (siehe Kapitel 4.3.3).

SUB-KRIT Analyseprototyp
Eingangsdaten visuelle Zustandserfassung

UNIV-PROF. DIPL.-ING. DR. JOHANN LITZKA
 VERKEHRSTECHNIK UND VERKEHRSPLANUNG
 VERKEHRSTECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
 INSTITUT FÜR VERKEHRSTECHNIK
 TEL: +43 1 47651 3100
 FAX: +43 1 47651 3101
 E-MAIL: JOHANN.LITZKA@TUWIEN.AC.AT

ISBS
 AUSTRIAN INSTITUTE
 TECHNOLOGY
 Institut für Straßenwesen
 TU Braunschweig

Eingangsdaten Streckenabschnitt

Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche

Straße	A4 Ostautobahn	Fahrstreifen	1. FStr.
Richtungsfahrbahn	Ungarn	Fahrstreifenbreite	3.75 m
von KM	19.7 km	Länge	300 m
bis KM	20 km	Fläche	1125 m ²

Eingangsdaten visuelle und messtechnische Straßenzustandserfassung

	Zustandsgrößen Details	Zustandsgrößen
Risse (Summe)	Länge [m]	Fläche [m ²]
Einzelrisse S1	m	m ²
Einzelrisse S2	m	m ²
Einzelrisse S3	m	m ²
Offene Fugen / Nahrisse S1	90.5 m	m ²
Offene Fugen / Nahrisse S2	100 m	m ²
Offene Fugen / Nahrisse S3	m	m ²
Netzrisse S2	m	m ²
Netzrisse S3	m	m ²
		68.1 m ²
		6.05 %
Oberflächenschäden (Summe)	Fläche [m ²]	
Ausmagerungen S1	m ²	
Kornausbrüche S1	3 m ²	
Flickstellen oberflächliche S1	m ²	
Bindemittelaustritt S1	m ²	
Ablösungen / Abplatzungen S2	m ²	
Schlaglöcher S2	m ²	
		3 m ²
		0.27 %
Längsebenheit (aus messtechnischer Straßenzustandserfassung, PMS-Daten)		
International Roughness Index IRI (Mittelwert)		0.97 m/km
Spurrinntiefe (aus messtechnischer Straßenzustandserfassung, PMS-Daten)		
Spurrinntiefe (Mittelwert plus einfache Standardabweichung)		5.75 mm
Griffigkeit (aus messtechnischer Straßenzustandserfassung, PMS-Daten)		
Reibungsbeiwert μ (Mittelwert minus einfacher Standardabweichung)		0.64 -

Eingangsdaten Thermographie

Wurde eine Thermographie im Streckenbereich durchgeführt? Nein

Wenn "ja" welche Erkenntnisse sind zutreffend (multiple Antworten möglich)?

Zeigt die Thermographie ein inhomogenes Bild über den gesamten Streckenabschnitt? Nein

Zeigt die Thermographie punktuelle Inhomogenitäten? Nein

Zeigt die Thermographie längere inhomogene Bereiche? Nein

Eingrenzung von Schadensursachen

Bitte wählen sie eine primäre Eingrenzung aus: Verformungen wahrscheinlich nur in der Deckschicht

Bitte wählen sie eine sekundäre Eingrenzung aus: strukturelle Schäden wahrscheinlich nur im Bereich der Deckschicht

Zurück zu Eingangswerte PMS OK
Weiter zum Oberbauscreening I OK

Abbildung 22: SUB-KRIT Eingangsdaten ZEB

5.2.4 Registerblatt Oberbauscreening I

Das Registerblatt SUB-KRIT Oberbauscreening I (siehe Abbildung 23) zeigt die erste zusammenfassende Bewertung des Oberbaus auf der Grundlage der erhobenen Daten und Informationen. Die detaillierten Auswerte- und Berechnungsalgorithmen können dem Kapitel 4.4 entnommen werden.

SUB-KRIT Analyseprototyp Oberbauscreening I				
Eingangsdaten Streckenabschnitt				
Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche				
Straße	A4 Ostautobahn	Fahrstreifen	1. FStr.	
Richtungsfahrbahn	Ungarn	Fahrstreifenbreite	3.75 m	
von KM	19.7 km	Länge	300 m	
bis KM	20 km	Fläche	1125 m ²	
Berechnung Österreichische Tragfähigkeitszahl zur Abschätzung der aktuellen Tragfähigkeit				
Gebundener Oberbau		Schichtdicke	Schichtkoeffizient	Teiltragfähigkeitszahl
Deckschicht	SMA_S1	5 cm	0.44	2.20
Binderschicht	AC_binder	7.7 cm	0.42	3.23
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	AC_trag_T1	10.8 cm	0.40	4.32
gebundene Asphalt(trag)schicht 2	k.A.	0 cm	0.00	0.00
gebundene Asphalt(trag)schicht 3	k.A.	0 cm	0.00	0.00
gebundene Asphalt(trag)schicht 4	k.A.	0 cm	0.00	0.00
sonstige gebundene Tragschicht	k.A.	0 cm	0.00	0.00
Stabilisierte Schichten				
Stabilisierte Schicht 1	k.A.	0 cm	0.00	0.00
Stabilisierte Schicht 2	k.A.	0 cm	0.00	0.00
Ungebundener Oberbau				
ungebundene obere Tragschicht 1	U_CK	20 cm	0.14	2.80
ungebundene obere Tragschicht 2	k.A.	0 cm	0.00	0.00
ungebundene untere Tragschicht	U_RK	30 cm	0.08	2.40
Untergrundtragfähigkeit (Basis: $EV_1 = 35 \text{ MN/m}^2$)				2.80
Kennzahlen zur Beschreibung der Tragfähigkeit und der Eigenschaften des Straßenoberbaus				
Dicke gebundener Oberbau			23.50 cm	
Gesamtdicke Oberbau			73.50 cm	
Österreichische Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt des rechn. Oberbaujahrs TZ_0 (Summe Teiltragfähigkeitszahlen)			17.75	
Rechnerisches Oberbaujahr			2002	
Rechnerisches Oberbaualter			16 Jahre	
Zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs $NLW_{zul,0}$			23.52 Mio.	
Verkehrsbelastungskoeffizient VBI			0.52	
Berechnung der Normlastwechsel aus der Verkehrsbelastung gem. RVS 03.08.63				
Richtungsfaktor (R)	1	NLW täglich	6532.8	
Vert. Querschnitt (V)	1	Spurvariation (S)	0.75	
Bemessungsperiode	30 Jahre	Zuwachsfaktor	1.35	
Bemessungsnormlastwechsel	72.43 Mio.			
Tägliche Normlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs			5552.88	
Bemessungsnormlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs $NLW_{kum,n}$			45.60 Mio.	

Abbildung 23: SUB-KRIT Oberbauscreening I

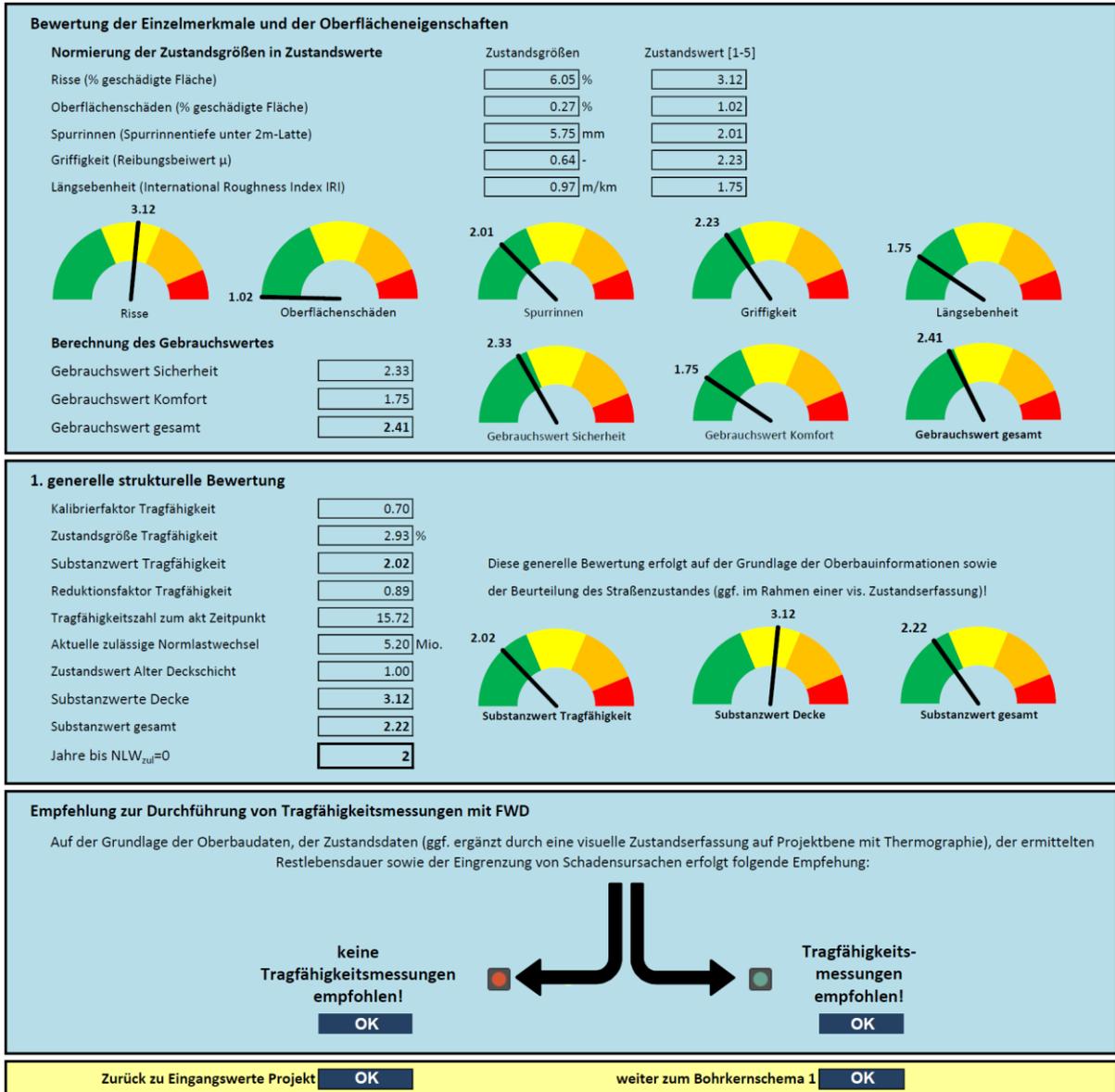


Abbildung 23: SUB-KRIT Oberbauscreening I – Fortsetzung

5.2.5 Registerblatt Tragfähigkeitsmessung FWD

Das Registerblatt SUB-KRIT FWD (siehe Abbildung 24) ermöglicht die Eingabe von Ergebnissen aus einer ergänzenden Tragfähigkeitsmessung. Die Grundlagen hierfür können dem Kapitel 4.5 entnommen werden.

SUB-KRIT Analyseprototyp
Daten Tragfähigkeitsmessung

Eingangsdaten Streckenabschnitt

Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche

Straße	<input type="text" value="A4 Ostautobahn"/>	Fahrstreifen	<input type="text" value="1. FStr."/>
Richtungsfahrbahn	<input type="text" value="Ungarn"/>	Fahrstreifenbreite	<input type="text" value="3.75"/> m
von KM	<input type="text" value="19.7"/> km	Länge	<input type="text" value="300"/> m
bis KM	<input type="text" value="20"/> km	Fläche	<input type="text" value="1125"/> m ²

Beurteilung der Tragfähigkeit im Rahmen von Falling Weight Deflectometer (FWD) Messungen

Datum der FWD-Messung

Referenzdomonent der FWD-Messung

Abschätzung der zulässigen Normlastwechsel aus der Beurteilung des Abschnittes mit dem FWD Mio.

Beurteilung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung von Tragfähigkeitsmessungen

Kalibrierfaktor FWD	<input type="text" value="0.18"/>
Zustandsgröße Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.74"/> %
Substanzwert Tragfähigkeit	<input type="text" value="1.26"/>
Reduktionsfaktor Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.97"/>
Tragfähigkeitszahl zum akt. Zeitpunkt	<input type="text" value="17.24"/>
Aktuelle zulässige Normlastwechsel	<input type="text" value="16.09"/> Mio.
Zustandswert Alter Deckschicht	<input type="text" value="1.00"/>
Substanzwerte Decke	<input type="text" value="3.12"/>
Substanzwert gesamt	<input type="text" value="1.58"/>
Jahre bis NLW _{zu} =0	<input type="text" value="7"/>

Diese Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung der FWD-Messungen!

Zurück zu Eingangswerte Projekt
weiter zum Bohrkernschema 1

Abbildung 24: SUB-KRIT FWD

5.2.6 Registerblatt Bohrkernschema

Das Registerblatt SUB-KRIT Bohrkernschema (siehe Abbildung 24) unterstützt den Anwender bei der Erstellung eines Bohrkernschemas für die zu untersuchende Strecke. Dabei dienen die bereits gewonnenen Erkenntnisse als wesentliche Entscheidungsgrundlage (siehe hierzu Kapitel 4.6.2).

SUB-KRIT Analyseprototyp

Grundlagen Bohrkernschema I

Eingangsdaten Streckenabschnitt

Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche

Straße	Straße	Fahrstreifen	1. FStr.
Richtungsfahrbahn	Richtungsfahrbahn	Fahrstreifenbreite	3.75 m
von KM	120 km	Länge	2000 m
bis KM	118 km	Fläche	7500 m ²

Auswahl der Bereiche für die Entnahme von Bohrkernen

linke Radspur

1. FStr.

rechte Radspur

Die Festlegung der Bohrkerndurchmesser sollte im Einvernehmen mit dem beteiligten Labor erfolgen!

- Bohrkernentnahme für Schichtdickenbestimmung und der Beurteilung der maßgebenden Materialeigenschaften
- Bohrkernentnahme zur Bestimmung des Schichten- bzw. Lagenverbunds
- Bohrkernentnahme in Bereichen mit Rissen
- Bohrkernentnahme im Bereich von Spurrinnen
- Bohrkernentnahme im Bereich von Inhomogenitäten aus der Thermographie

Zurück zu Eingangswerte Projekt
Weiter zur Bohrkernanalyse 1

Abbildung 25: SUB-KRIT Bohrkernschema

(grüne Punkte repräsentieren Bereiche bzw. Gründe, wo Entnahmen empfohlen werden)

5.2.7 Registerblatt Oberbauscreening II

Das Registerblatt SUB-KRIT Oberbauscreening II (siehe Abbildung 26) dient zur ingenieurmäßigen Bewertung der Ergebnisse der Bohrkernanalysen unter Berücksichtigung der bereits gesammelten Daten und Informationen. Die Grundlagen für eine solche Bewertung und die darauf aufbauende Entscheidungsfindung für die Durchführung von GVO-Untersuchungen kann dem Kapitel 4.7 entnommen werden.

vorgegebenen Randbedingungen zu finden. Die Grundlagen dieses Prozessschrittes können dem Kapitel 4.9 entnommen werden.

SUB-KRIT Analyseprototyp
Schrittweise Abschätzung der Verstärkungsdicke

Eingangsdaten Streckenabschnitt

Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche

Straße	A4 Ostautobahn	Fahrstreifen	1. FStr.
Richtungsfahrbahn	Ungarn	Fahrstreifenbreite	3.75 m
von KM	19.7 km	Länge	300 m
bis KM	20 km	Fläche	1125 m ²

Beurteilung der vorhandenen Schichten des Oberbaus

Gebundener Oberbau	Schichtdicke	Herstellungsjahr	Empfehlungen für die Verwendung der Schicht	Schichtdicke nach dem Fräsen
Deckschicht	SMA_S1	5 cm	2013	0 cm
Binderschicht	AC_binder	7.7 cm	2013	0 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	AC_trag_T1	10.8 cm	1990	10 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 2	k.A.	0 cm	0	0 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 3	k.A.	0 cm	0	0 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 4	k.A.	0 cm	0	0 cm
sonstige gebunde Tragschicht	k.A.	0 cm	0	0 cm
Stabilisierte Schichten				
Stabilisierte Schicht 1	k.A.	0 cm	0	Gesamtfräsdicke
Stabilisierte Schicht 2	k.A.	0 cm	0	
Ungebundener Oberbau				
ungebundene obere Tragschicht 1	U_CK	20 cm	1990	13.5 cm
ungebundene obere Tragschicht 2	k.A.	0 cm	0	
ungebundene untere Tragschicht	U_RK	30 cm	1990	

Abschätzung und Beurteilung der Verstärkungsdicke

Erste Abschätzung Schichten Verstärkung	Schichtdicke	Schichtkoeffizient	Teiltragfähigkeitszahl	Bewertung Verstärkungsdicke
Deckschicht	SMA_S3	3 cm	0.44	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="font-size: x-small;"> <p>Verstärkungsdicke: 15.00 > Frästiefe: 13.50</p> <p>18.22 Tragfähigkeitszahl inkl. Verstärkung</p> <p>33.19 Abschätzung zul. Normlastwechsel in Mio.</p> <p>72.43 BNLW gem. RVS 03.08.63</p> <p>14 Jahre bis NLW_{akt}=0</p> </div> </div>
Binderschicht	AC_binder	12 cm	0.42	
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	k.A.	0 cm	0.00	
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	k.A.	0 cm	0.00	
Bestand gebundener Oberbau				
Deckschicht	SMA_S1	0 cm	0.44	
Binderschicht	AC_binder	0 cm	0.42	
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	AC_trag_T1	10 cm	0.40	
gebundene Asphalt(trag)schicht 2	k.A.	0 cm	0.00	
gebundene Asphalt(trag)schicht 3	k.A.	0 cm	0.00	
gebundene Asphalt(trag)schicht 4	k.A.	0 cm	0.00	
sonstige gebunde Tragschicht	k.A.	0 cm	0.00	
Bestand stabilisierte Schichten				
Stabilisierte Schicht 1	k.A.	0 cm	0.00	
Stabilisierte Schicht 2	k.A.	0 cm	0.00	
Bestand ungebundener Oberbau				
ungebundene obere Tragschicht 1	U_CK	20 cm	0.14	
ungebundene obere Tragschicht 2	k.A.	0 cm	0.00	
ungebundene untere Tragschicht	U_RK	30 cm	0.08	
Untergrundtragfähigkeit (Basis: EV₁ = 35 MN/m²)				
			2.80	

Beurteilung der Verstärkung im Rahmen der iterativen Abschätzung der Verstärkungsdicke

Rechnerisches Oberbaujahr	11	
Tragfähigkeitszahl zum rechn. Oberbaujahr	18.36	
Zulässige NLW zum rechn. Oberbaujahr	36.85 Mio.	
BNLW ab rechnerisches Oberbaujahr	47.75	
Verkehrsbelastungskoeffizient VBI	0.77	
Kalibrierfaktor Tragfähigkeit	0.25	
Zustandsgröße Tragfähigkeit	0.20 %	
Substanzwert Tragfähigkeit	1.07	
Reduktionsfaktor Tragfähigkeit	0.99	
Tragfähigkeitszahl zum akt. Zeitpunkt	18.22	
Aktuelle zulässige Normlastwechsel	33.19 Mio.	
Zustandswert Alter Deckschicht	1.00	
Substanzwerte Decke	1.00	
Substanzwert gesamt	1.06	
Jahre bis NLW _{akt} =0	14	

Zurück zu Eingangswerte Projekt OK
weiter zur Lebenszyklusanalyse OK

Abbildung 28: SUB-KRIT Schrittweise Verstärkung

5.2.10 Registerblatt Lebenszyklusanalyse

Das Registerblatt SUB-KRIT Lebenszyklusanalyse (siehe Abbildung 29) ermöglicht die Durchführung einer Lebenszykluskostenanalyse unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Verstärkungsdicke. Von wesentlicher Bedeutung ist dabei die Eingabe von Einheitspreisen für mögliche Erhaltungsmaßnahmen und eine erste Abschätzung der Kosten für die durchzuführende Verstärkung. Das Registerblatt enthält eine Reihe von Darstellungen, die den Zustandsverlauf über eine Periode von 30 Jahren der Einzelmerkmale (Zustandswerte) und der Teilwerte (Gebrauchswert und Substanzwert) darstellen. Darüber hinaus enthält das Registerblatt auch graphische Darstellungen über die Entwicklung der Investitionen im Bereich Instandsetzung / Erneuerung, der laufenden Instandhaltung und des Restwertes. Die Graphiken werden aus Gründen der Lesbarkeit der Ordinatenwerte getrennt dargestellt. Die Grundlagen dieses Prozessschrittes sowie die Aussagen der einzelnen Bewertungsgrößen können dem Kapitel 4.10 entnommen werden.

5.2.11 Registerblatt Analytische Dimensionierung

Das Registerblatt SUB-KRIT Analytische Dimensionierung (siehe Abbildung 30) ermöglicht die Eingabe der Ergebnisse einer mit einem analytischen Bemessungsprogramm vorgenommenen Abschätzung der zulässigen Lastwechsel des verstärkten Oberbaus. Dabei spielen vor allem auch die aus der GVO-Untersuchung gewonnen Erkenntnisse eine wesentliche Rolle. Die Grundlagen dieses Prozessschrittes können dem Kapitel 4.11 entnommen werden.

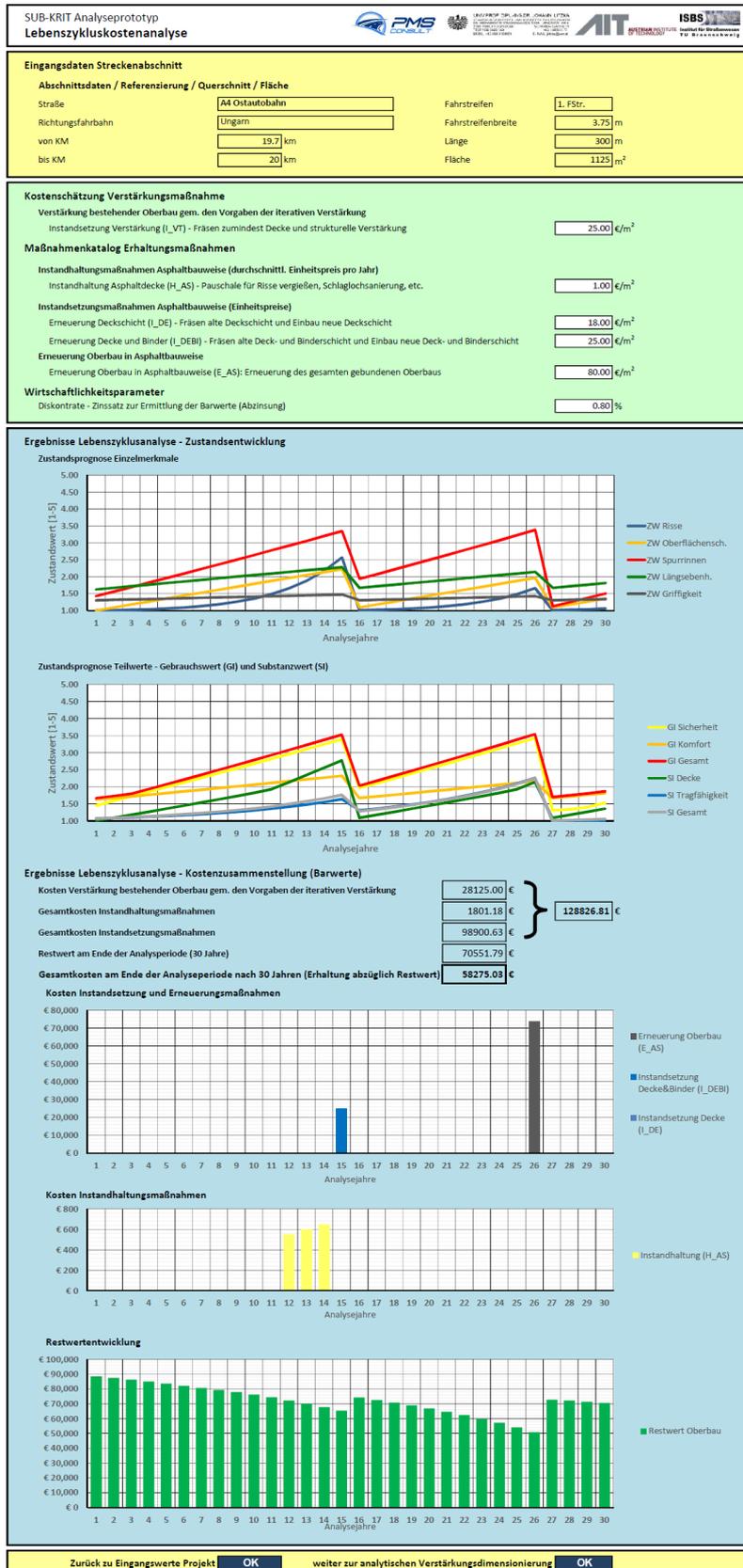


Abbildung 29: SUB-KRIT Lebenszyklusanalyse

SUB-KRIT Analyseprototyp Analytische Verstärkungsdimensionierung					
Eingangsdaten Streckenabschnitt					
Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche					
Straße	<input type="text" value="A4 Ostautobahn"/>	Fahstreifen	<input type="text" value="1. FStr."/>		
Richtungsfahrbahn	<input type="text" value="Ungarn"/>	Fahstreifenbreite	<input type="text" value="3.75"/>	m	
von KM	<input type="text" value="19.7"/>	Länge	<input type="text" value="300"/>	m	
bis KM	<input type="text" value="20"/>	Fläche	<input type="text" value="1125"/>	m ²	
Bewertung des Oberbaus im Rahmen einer analytischen Verstärkungsdimensionierung					
Datum der Dimensionierung	<input type="text" value="25.9.2018"/>				
Referenzdokument der Dimensionierung	<input type="text" value="Referenzdokument Link"/>				
Abschätzung der zulässigen Normlastwechsel aus der analytischen Verstärkungsdimensionierung			<input type="text" value="23.00"/>	Mio.	
Sollen Ergebnisse in der Lebenszyklusanalyse berücksichtigt werden?			<input type="text" value="Ja"/>		
Beurteilung der Verstärkung auf der Grundlage einer analytischen Verstärkungsdimensionierung					
Kalibrierfaktor Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.25"/>				
Tragfähigkeitszahl zum rechn. Oberbaujahr	<input type="text" value="17.87"/>				
Verkehrsbelastungskoeffizient VBI	<input type="text" value="0.53"/>				
Zustandsgröße Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.43"/>	%			
Substanzwert Tragfähigkeit	<input type="text" value="1.15"/>				
Reduktionsfaktor Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.98"/>				
Tragfähigkeitszahl zum akt. Zeitpunkt	<input type="text" value="17.72"/>				
Aktuelle zulässige Normlastwechsel	<input type="text" value="23.00"/>	Mio.			
Zustandswert Alter Deckschicht	<input type="text" value="1.00"/>				
Substanzwerte Decke	<input type="text" value="1.00"/>				
Substanzwert gesamt	<input type="text" value="1.13"/>				
Jahre bis NLW _{zul} =0	<input type="text" value="10"/>				
Zurück zu Eingangswerte Projekt <input type="button" value="OK"/>		weiter zu den Ergebnissen <input type="button" value="OK"/>			

Abbildung 30: SUB-KRIT Analytische Verstärkungsdimensionierung

5.2.12 Registerblatt Ergebnisse

Das Registerblatt SUB-KRIT Ergebnisse (siehe Abbildung 30) stellt die wesentlichen bzw. maßgebenden Ergebnisse der Bewertung und Beurteilung im Überblick zusammen. Dabei handelt es sich um die Zusammenstellung des gewählten Schichtaufbaus, der darauf basierenden strukturellen Kennzahlen sowie die maßgebenden Ergebnisse aus der Lebenszykluskostenanalyse.

SUB-KRIT Analyseprototyp
Zusammenstellung der Ergebnisse

Eingangsdaten Streckenabschnitt

Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche

Straße	A4 Ostautobahn	Fahrstreifen	1. FStr.
Richtungsfahrbahn	Ungarn	Fahrstreifenbreite	3.75 m
von KM	19.7 km	Länge	300 m
bis KM	20 km	Fläche	1125 m ²

Ergebnis Verstärkung

Schichten Verstärkung	Schichtdicke	Kennzahlen verstärkter Oberbau
Deckschicht	SMA_S3	3 cm
Binderschicht	AC_binder	12 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	k.A.	0 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	k.A.	0 cm
Bestand gebundener Oberbau		
Deckschicht	SMA_S1	0 cm
Binderschicht	AC_binder	0 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	AC_trag_T1	10 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 2	k.A.	0 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 3	k.A.	0 cm
gebundene Asphalt(trag)schicht 4	k.A.	0 cm
sonstige gebundene Tragschicht	k.A.	0 cm
Bestand stabilisierte Schichten		
Stabilisierte Schicht 1	k.A.	0 cm
Stabilisierte Schicht 2	k.A.	0 cm
Bestand ungebundener Oberbau		
ungebundene obere Tragschicht 1	U_CK	20 cm
ungebundene obere Tragschicht 2	k.A.	0 cm
ungebundene untere Tragschicht	U_RK	30 cm

Untergrundtragfähigkeit (Basis: EV₁ = 35 MN/m²)

Ergebnis Lebenszyklusanalyse

Zustandsprognose Teilwerte - Gebrauchswert (GI) und Substanzwert (SI)

The chart displays six data series over a 30-year period. The y-axis represents the state value (Zustandswert) from 1.00 to 5.00. The x-axis represents the analysis year (Analysejahre) from 1 to 30. The series are: GI Sicherheit (yellow), GI Komfort (orange), GI Gesamt (red), SI Decke (green), SI Tragfähigkeit (blue), and SI Gesamt (grey). GI values generally increase over time, while SI values show a significant drop at year 16 and then recover.

Ergebnisse Lebenszyklusanalyse - Kostenzusammenstellung (Barwerte)

Kosten Verstärkung bestehender Oberbau gem. den Vorgaben der iterativen Verstärkung	28125.00 €	}	128826.81 €
Gesamtkosten Instandhaltungsmaßnahmen	1801.18 €		
Gesamtkosten Instandsetzungsmaßnahmen	98900.63 €		
Restwert am Ende der Analysperiode (30 Jahre)	70551.79 €		
Gesamtkosten am Ende der Analyseperiode nach 30 Jahren (Erhaltung abzüglich Restwert)	58275.03 €		

Zurück zu Eingangswerte Projekt OK

Abbildung 31: SUB-KRIT Ergebnisse

5.3 Hinweise zur praktischen Anwendung

Der SUB-KRIT MS Excel Prototyp wurde so gestaltet, dass er für einen „homogenen“ Abschnitt angewendet werden kann. Ergibt sich im Rahmen der Untersuchung die Notwendigkeit der Teilung des Untersuchungsabschnittes in mehrere Bewertungsbereiche, so kann durch das mehrmalige Abspeichern der Datei diesem Umstand Rechnung getragen werden.

Der Vorteil von MS Excel besteht auch darin, dass die Datei bzw. die Vorlage einfach kopiert und auch verteilt werden kann. Der Prototyp wurde so gestaltet, dass keine Programmiercodes implementiert sind, sondern lediglich auf die in MS Excel vorhandenen mathematischen und logischen Funktionen zurückgegriffen wird. Damit ist auch ein Versenden der Datei über Email ohne Probleme möglich.

Um Fehleingaben zu verhindern, können nur jene Felder bzw. Zellen ausgewählt werden, die auch eine Eingabe zulassen, wobei bei vielen Feldern auch hier die Auswahl der Eingaben eingeschränkt ist. Das Sicherheitspasswort zum Freischalten aller Zellen kann bei der Fa. PMS-Consult GmbH bzw. beim Auftraggeber nachgefragt werden.

Es wird explizit darauf hingewiesen, dass eine Weitergabe des Prototyps an Dritte nur mit dem Einverständnis von Auftraggeber und Auftragnehmer möglich ist.

6 Praktische Anwendung Teststrecke

6.1 Allgemeines

Eine wesentliche Aufgabenstellung im Rahmen des gegenständlichen Projektes besteht in der praktischen Erprobung des SUB-KRIT -Prozesses und der damit verbundenen Bewertungsschritte. In diesem Zusammenhange wurde gemeinsam mit der ASFINAG eine entsprechende Teststrecke ausgewählt und nach dem entwickelten Prozess untersucht. In den nachfolgenden Kapiteln sind die einzelnen Teilschritte sowie die daraus resultierenden Ergebnisse im Überblick zusammengefasst.

6.2 Beschreibung der Teststrecke

Bei der ausgewählten Teststrecke handelt es sich um einen kurzen Abschnitt auf der A4 Ostautobahn, zwischen km 19,700 und km 20,000 auf der Richtungsfahrbahn Ungarn (RFB 1), welcher in der nachfolgenden Abbildung 32 in einer Übersichtskarte dargestellt ist. Der Untersuchungsabschnitt liegt kurz nach der ASt. Fischamend und hat den Vorteil, dass zum Zeitpunkt der visuellen Erfassung sowie der FWD-Messungen die Vorarbeiten für die Verbreiterung auf 3 Fahrstreifen sowie der Umbau der ASt. Fischamend durchgeführt wurden. Dadurch konnten die notwendigen Untersuchungen ohne zusätzlich Absperrungen und Verkehrsbeeinträchtigungen (Vorgabe der ASFINAG) durchgeführt werden. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten wurde nur der erste, hauptbelastete Fahrstreifen einer Bewertung unterzogen.

Darüber hinaus bestand der Vorteil, dass im Zuge der Vorbereitung für die geplante Verbreiterung von 2 auf 3 Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn bereits entsprechende Bohrkerne entnommen wurden, deren Material auch im Labor des ISBS untersucht werden konnte.



Abbildung 32: SUB-KRIT Teststrecke A4

Die Teststrecke erfüllt alle Voraussetzungen für eine Überprüfung des SUB-KRIT-Prozesses. Die Vorgehensweise sowie die aus der Untersuchung abgeleiteten Ergebnisse können den nachfolgenden Kapiteln entnommen werden.

6.3 Untersuchung und Bewertung der Teststrecke

Die Bewertung der Teststrecke wird anhand der im Labor ermittelten Kennwerte und der mit diesen Daten ausgefüllten Registerblätter durchgeführt.

6.3.1 Zusammenstellung der PMS-Grundlagedaten

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei der Teststrecke um den ersten Richtungsfahrstreifen der A4-Ostautobahn, Fahrtrichtung Ungarn. Die Teststrecke weist eine Länge von 300 m auf und die Fahrstreifenbreite beträgt 3,75 m (2 Richtungsfahrstreifen).

Die maßgebende Schwerverkehrsbelastung kann für die Teststrecke der ASFINAG-Verkehrszählstelle Arbesthal (km 26,600) entnommen werden und liefert für das Jahr 2017 einen JDTLV-Wert von 4.083 LKW/24h für die Richtung Ungarn. Die Gesamtverkehrsbelastung beträgt 33.231 KFZ/24h. Ein Vergleich mit den aktuellen Messdaten des Jahres 2018 zeigt, dass der Zuwachs derzeit nicht mehr als 1% beträgt.

Die zu untersuchende Bestandsstrecke weist einen bereits mehrfach instandgesetzten Straßenoberbau in Asphaltbauweise auf, wobei die letzte Instandsetzung im Jahr 2013 stattfand. In der nachfolgenden Tabelle 18 ist der aktuelle Oberbau tabellarisch dargestellt.

Tabelle 18: Oberbaudaten Bestand Teststrecke

Schichtart	Schichtmaterial	Dicke [cm]	Herstellungsjahr
Decke	SMA S1	2,5	2013
Binder	AC binder	7,5	2013
geb. Tragschicht	AC trag T1	3	1990
geb. Tragschicht	AC trag T1	10	1990
ungeb. obere Tragschicht	CK	20	1990
Ungeb. untere Tragschicht	RK	30	1990

Der Oberbau besteht somit aus einem 23 cm dicken gebundenen Schichtpaket und kann generell der Bauweise AS1 nach RVS 03.08.63 [5] zugeordnet werden.

Im Rahmen der letzten messtechnischen Straßenzustandserfassung 2018 wurden folgende Zustandsinformationen mit dem System RoadSTAR erfasst bzw. gemessen und für die Teststrecke gemittelt (siehe Tabelle 19). In der nachfolgenden Abbildung 33 ist beispielsweise der Verlauf der Spurrinnenmessung graphisch dargestellt. Die weiteren detaillierten Ergebnisse können dem Anhang A entnommen werden.

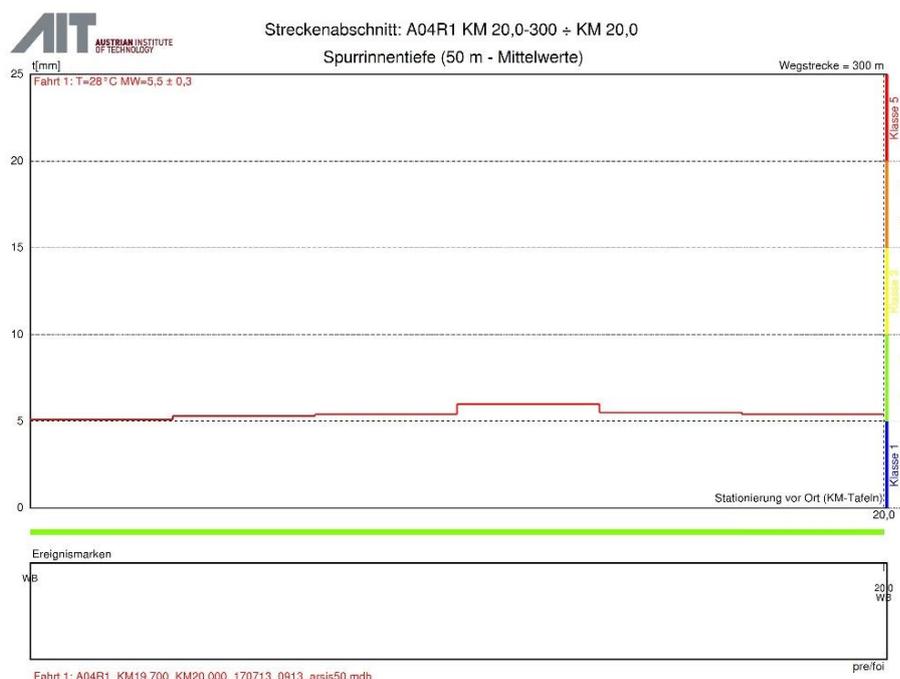


Abbildung 33: Beispiel Auswertung RoadSTAR-Daten, Zustandsmerkmal Spurrinnentiefe

Tabelle 19: RoadSTAR-Daten Teststrecke

Zustandsmerkmal	Zustandsgröße
Risse (% geschädigte Fläche)	0,8%
Oberflächenschäden (% geschädigte Fläche)	0,0%
Längsebenheit (IRI)	0,97 m/km
Griffigkeit μ	0,64
Spurrinntiefe (max. unter 2m-Latte)	5,75 mm

6.3.2 Visuelle Zustandserfassung und Bewertung

Entsprechend den Vorgaben des Bewertungsprozesses wurde am 17.4.2018 auch eine visuelle Zustandserfassung auf der Teststrecke vorgenommen. Die zusammengefassten Ergebnisse der Begehung vor Ort können der nachfolgenden Tabelle 20 entnommen werden.

Tabelle 20: Ergebnisse visuelle Zustandserfassung Teststrecke

Zustandsmerkmal	Erfasste Teilzustandsgröße	Zustandsgröße
Offene Nähte S1	90,5 m	6,05%
Offene Nähte S2	100,0 m	
Kornausbrüche S1	3 m ²	0,27%

6.3.3 Oberbauscreening I

Die Ergebnisse des Oberbauscreenings I können unter Heranziehung der zuvor aufgelisteten Eingangsdaten den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 34 und Abbildung 35) entnommen werden, welche mit dem SUB-KRIT MS Excel Prototyp errechnet wurden. Die hierfür notwendigen Grundlagen sind im Kapitel 4.4 beschrieben.

Dabei sind zunächst die Kennzahlen für die Bewertung des Oberbaus aufgelistet, gefolgt von der Darstellung der Einzelzustandsmerkmale (Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen, Längsebenheit und Griffigkeit) und den beiden Teilwerten (Gebrauchswert und Substanzwert).

SUB-KRIT Analyseprototyp Oberbauscreening I				
Eingangsdaten Streckenabschnitt				
Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche				
Straße	<input type="text" value="A4 Ostautobahn"/>	Fahrstreifen	<input type="text" value="1. FStr."/>	
Richtungsfahrbahn	<input type="text" value="Ungarn"/>	Fahrstreifenbreite	<input type="text" value="3.75"/> m	
von KM	<input type="text" value="19.7"/> km	Länge	<input type="text" value="300"/> m	
bis KM	<input type="text" value="20"/> km	Fläche	<input type="text" value="1125"/> m ²	
Berechnung Österreichische Tragfähigkeitszahl zur Abschätzung der aktuellen Tragfähigkeit				
Gebundener Oberbau		Schichtdicke	Schichtkoeffizient	Teiltragfähigkeitszahl
Deckschicht	<input type="text" value="SMA_S1"/>	<input type="text" value="2.5"/> cm	<input type="text" value="0.44"/>	<input type="text" value="1.10"/>
Binderschicht	<input type="text" value="AC_binder"/>	<input type="text" value="7.5"/> cm	<input type="text" value="0.42"/>	<input type="text" value="3.15"/>
gebundene Asphalt(tragschicht 1	<input type="text" value="AC_trag_T1"/>	<input type="text" value="13"/> cm	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="text" value="5.20"/>
gebundene Asphalt(tragschicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
gebundene Asphalt(tragschicht 3	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
gebundene Asphalt(tragschicht 4	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
sonstige gebunde Tragschicht	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Stabilisierte Schichten				
Stabilisierte Schicht 1	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Stabilisierte Schicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Ungebundener Oberbau				
ungebundene obere Tragschicht 1	<input type="text" value="U_CK"/>	<input type="text" value="20"/> cm	<input type="text" value="0.14"/>	<input type="text" value="2.80"/>
ungebundene obere Tragschicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
ungebundene untere Tragschicht	<input type="text" value="U_RK"/>	<input type="text" value="30"/> cm	<input type="text" value="0.08"/>	<input type="text" value="2.40"/>
Untergrundtragfähigkeit (Basis: $EV_1 = 35 \text{ MN/m}^2$)				<input type="text" value="2.80"/>
Kennzahlen zur Beschreibung der Tragfähigkeit und der Eigenschaften des Straßenoberbaus				
Dicke gebundener Oberbau				<input type="text" value="23.00"/> cm
Gesamtdicke Oberbau				<input type="text" value="73.00"/> cm
Österreichische Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt des rechn. Oberbaujahrs TZ_0 (Summe Teiltragfähigkeitszahlen)				<input type="text" value="17.45"/>
Rechnerisches Oberbaujahr				<input type="text" value="2000"/>
Rechnerisches Oberbaualter				<input type="text" value="18"/> Jahre
Zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs $NLW_{zul,0}$				<input type="text" value="18.78"/> Mio.
Verkehrsbelastungskoeffizient VBI				<input type="text" value="0.50"/>
Berechnung der Normlastwechsel aus der Verkehrsbelastung gem. RVS 03.08.63				
Richtungsfaktor (R)	<input type="text" value="1"/>	NLW täglich	<input type="text" value="6532.8"/>	
Vert. Querschnitt (V)	<input type="text" value="1"/>	Spurvariation (S)	<input type="text" value="0.75"/>	
Bemessungsperiode	<input type="text" value="30"/> Jahre	Zuwachsfaktor	<input type="text" value="1.35"/>	
Bemessungsnormlastwechsel	<input type="text" value="72.43"/> Mio.			
Tägliche Normlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs			<input type="text" value="5422.224"/>	
Bemessungsnormlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs $NLW_{kum,n}$			<input type="text" value="44.53"/> Mio.	

Abbildung 34: Oberbauscreening I – Kennzahlen Oberbau

Dem aktuellen Oberbau kann zum rechnerischen Oberbaujahr 2000 eine zulässige Anzahl von ca. 19 Mio. NLW zugeordnet werden. Demgegenüber stehen ca. 45 Mio. BNLW (30 Jahre Bemessungsperiode ab rechnerischem Oberbaujahr), welche aus der vorhandenen Verkehrsbelastung zurückgerechnet werden konnten.

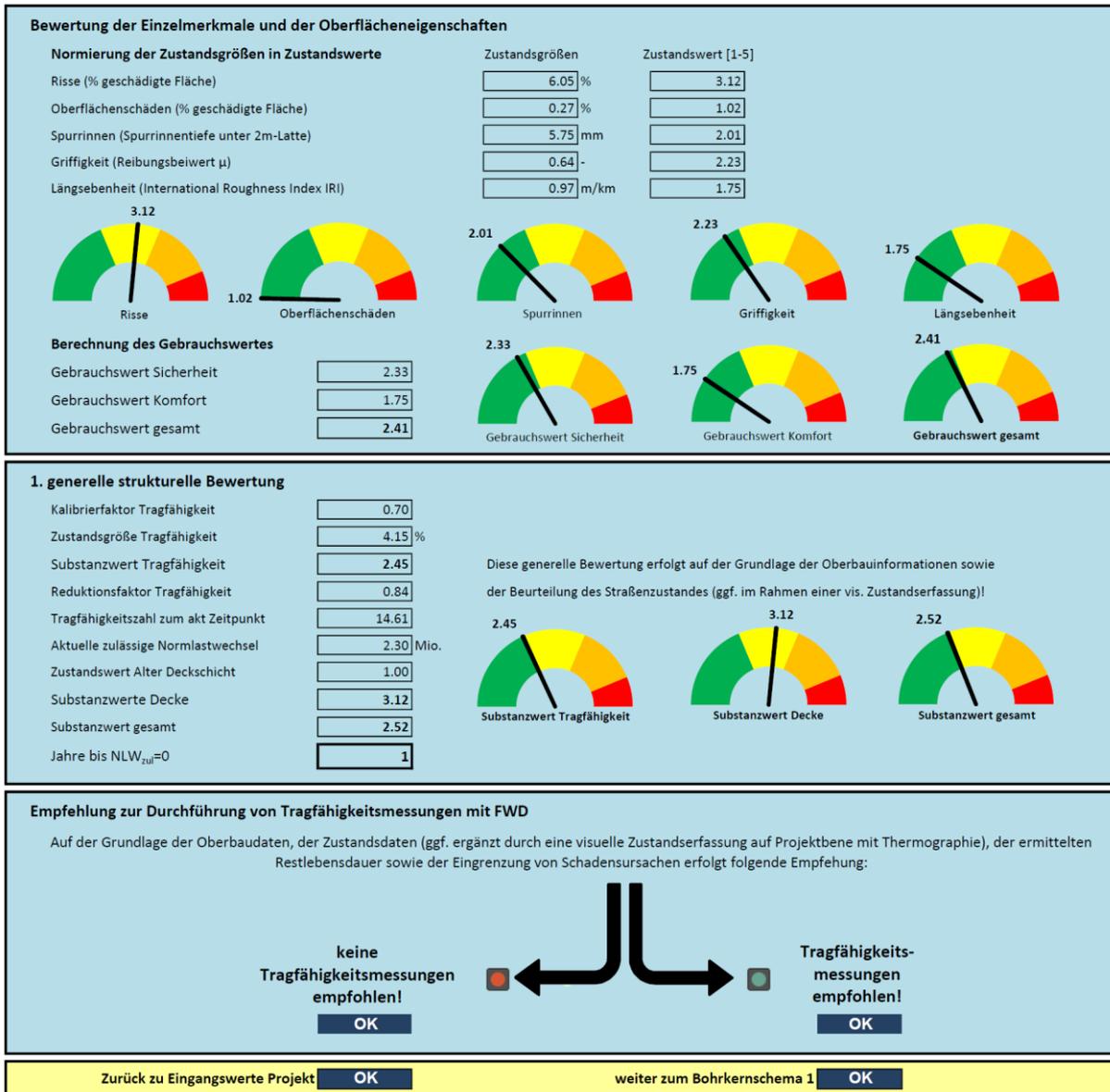


Abbildung 35: Oberbauscreening I – Zustandswerte und Teilwerte

Aufgrund der Sanierung der Deck- und Binderschicht im Jahr 2013 liegt ein relativ guter Oberflächenzustand vor, der im Zusammenhang mit den Oberbaudaten zu einem Substanzwert Gesamt von 2,52 führt. Grundsätzlich wäre gemäß dieser Bewertung eine Erhaltungsmaßnahme zum jetzigen Zeitpunkt auszuschließen, da jedoch im Zuge des 6-streifigen Ausbaus der A4 in beide Fahrrichtungen auch im Bereich der Teststrecke eine Erweiterung des Querschnitts vorgesehen wird, erfolgt eine dem gegenständlichen Prozess entsprechende Beurteilung des Bestandes vor dem Hintergrund einer strukturellen Verbesserung. Die Dimensionierung des Oberbaus der Fahrstreifenerweiterung wird jedoch im Rahmen dieser Testanwendung nicht berücksichtigt.

Auf der Grundlage der ersten Ergebnisse wird empfohlen, Tragfähigkeitsuntersuchungen mit dem FWD vorzunehmen.

6.3.4 Deflektionsmessungen

Am 29.5.2018 wurde die Teststrecke einer Untersuchung mit dem FWD mit einer dynamischen Belastung von 200 kN unterzogen. Insgesamt wurden 28 Messpunkte bei einer Oberflächentemperatur von 24°C im Bereich der Messstrecke gemessen und ausgewertet. Die Ergebnisse der Messung können in graphischer Form der nachfolgenden Abbildung 36 entnommen werden. Diese zeigen, dass sich im Bereich des Deflektionspunktes 1 (DF 1) direkt unter der Belastung ein mittlerer (nicht temperaturkorrigierter) Deflektionswert von 633 µm ergibt. Unter Berücksichtigung einer entsprechenden Temperaturkorrektur verringert sich der Wert bei $T = 18^\circ\text{C}$ auf einen Mittelwert von 503 µm.

Um eine Bewertung vornehmen zu können, wurden für die Messtemperatur von 24°C auch die im Kapitel 4.5 beschriebenen Grenzdeflektionen ermittelt, die ebenfalls in der Abbildung 36 dargestellt sind. Für die untere Grenzdeflektion wurde ein E-Modul des Asphaltpaketes von 8.000 MPa und eine Poisson'sche Zahl von 0,35 angesetzt. Der E-Modul des Untergrundes wurde mit 200 MPa in der Berechnung berücksichtigt. Daraus ergibt sich ein rechnerischer Deflektionswert von 625 µm für die untere rechnerische Grenzdeflektion. Für die obere Grenzdeflektion wurde der E-Modul des Asphalts auf 3.000 MPa (volle Ermüdung) reduziert. Mit dem E-Modul des Untergrundes von 80 MPa ergibt sich eine rechnerische obere Grenzdeflektion von 1781 µm. Die tatsächliche Deflektion entspricht somit fast der unteren Grenzlinie, sodass durch lineare Interpolation die aktuelle zulässige Anzahl der Lastwechsel mit 16,09 Mio. NLW in Rechnung gestellt werden kann.

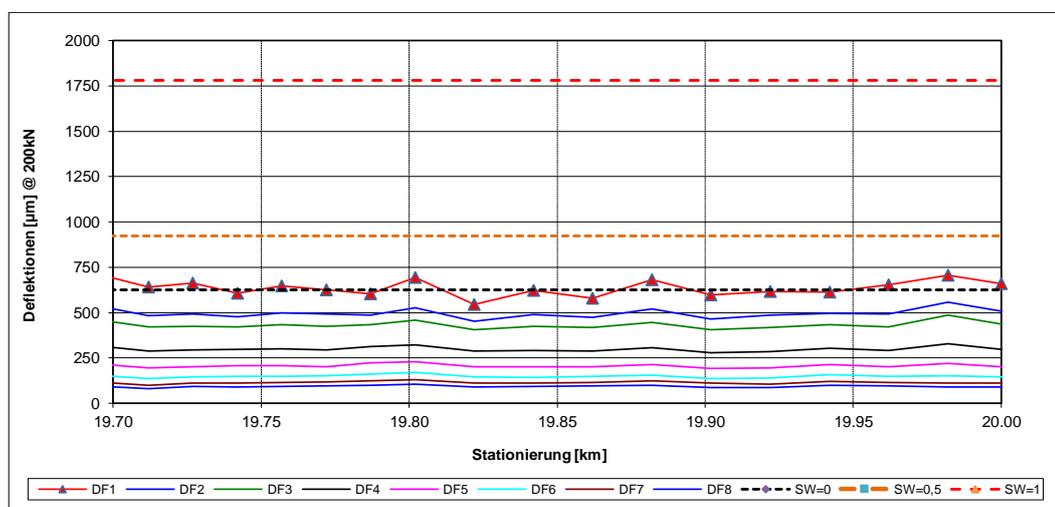


Abbildung 36: Ergebnisse FWD-Untersuchung mit Grenzdeflektionen

Unter Berücksichtigung der ermittelten Werte ergibt sich folgende Änderung (Verbesserung) in der strukturellen Bewertung des Straßenoberbaus der Teststrecke (siehe Abbildung 37):

SUB-KRIT Analyseprototyp Daten Tragfähigkeitsmessung			
Eingangsdaten Streckenabschnitt			
Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche			
Straße	<input type="text" value="A4 Ostautobahn"/>	Fahrstreifen	<input type="text" value="1. FStr."/>
Richtungsfahrbahn	<input type="text" value="Ungarn"/>	Fahrstreifenbreite	<input type="text" value="3.75"/> m
von KM	<input type="text" value="19.7"/> km	Länge	<input type="text" value="300"/> m
bis KM	<input type="text" value="20"/> km	Fläche	<input type="text" value="1125"/> m ²
Beurteilung der Tragfähigkeit im Rahmen von Falling Weight Deflectometer (FWD) Messungen			
Datum der FWD-Messung	<input type="text" value="29.5.2018"/>		
Referenzdokument der FWD-Messung	<input type="text"/>		
Abschätzung der zulässigen Normlastwechsel aus der Beurteilung des Abschnittes mit dem FWD			<input type="text" value="16.09"/> Mio.
Beurteilung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung von Tragfähigkeitsmessungen			
Kalibrierfaktor FWD	<input type="text" value="0.18"/>	<p>Diese Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung der FWD-Messungen!</p>	
Zustandsgröße Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.74"/> %		
Substanzwert Tragfähigkeit	<input type="text" value="1.26"/>		
Reduktionsfaktor Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.97"/>		
Tragfähigkeitszahl zum akt. Zeitpunkt	<input type="text" value="17.24"/>		
Aktuelle zulässige Normlastwechsel	<input type="text" value="16.09"/> Mio.		
Zustandswert Alter Deckschicht	<input type="text" value="1.00"/>		
Substanzwerte Decke	<input type="text" value="3.12"/>		
Substanzwert gesamt	<input type="text" value="1.58"/>		
Jahre bis $NL_{zul}=0$	<input type="text" value="7"/>		
Zurück zu Eingangswerte Projekt <input type="button" value="OK"/>		weiter zum Bohrkernschema 1 <input type="button" value="OK"/>	

Abbildung 37: Aktualisierung Substanzinformationen mit FWD-Ergebnissen

6.3.5 Bohrkernanalyse I und Materialuntersuchungen

6.3.5.1 Allgemeines

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, konnte auf Bohrkern zurückgegriffen werden, die im Rahmen der Projektentwicklung bzw. zur Bestimmung der Altlasten im Rahmen der Vorbereitung zur Querschnittsverbreiterung entnommen wurden. An jedem einzelnen Bohrkern wurden folgende Kenngrößen bestimmt:

- Schichtdicken aller vorhandenen, gebundenen Schichten
- Schichtenverbund zur darunter liegenden Schicht, visuell beurteilt
- Größtkorn der Schichten, visuell beurteilt
- Feststellung von Inhomogenitäten (z. B. Hohlstellen, Einschlüsse)
- Risstiefe, sofern vorhanden und am Bohrkern ersichtlich

Die ermittelten Kenngrößen sind in Tabelle 21 dokumentiert. Die nachfolgende Abbildung 38 zeigt die Bilder der zur Verfügung gestellten Bohrkern. Der für die Teststrecke maßgebende Bohrkern ist die Nummer 1.

Tabelle 21: SUB-KRIT Beispielprojekt A4, Aufnahme der Bohrkern, visuelle Beurteilung

Merkmal	Bohrkern 1/100	Bohrkern 2/100	Bohrkern 13/100	Bohrkern 14/100
Entnahmestelle	FR Ungarn PS, km 20,000	FR Ungarn PS, km 22,000	FR Wien PS, km 20,000	FR Wien PS, km 20,000
Zustand	Bohrkern angeschnitten	Bohrkern angeschnitten	Bohrkern angeschnitten	Bohrkern angeschnitten
Fotografie	siehe Abbildung 38			
Durchmesser	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm
1. Schicht	SMA	SMA	SMA	SMA
Schichtdicke	50 mm	48 mm	57 mm	25 mm
Art der Schicht	Decke	Decke	Decke	Decke
Größtkorn	11 mm	11 mm	11 mm	11 mm
Schichtenverbund	ja	ja	ja	Ja
2. Schicht	AC B	AC B	AC B	AC B
Schichtdicke	77 mm	88 mm	82 mm	75 mm
Art der Schicht	Binder	Binder	Binder	Binder
Größtkorn	16 mm	16 mm	16 mm	16 mm
Schichtenverbund	nein	ja	nein	Ja
3. Schicht	AC T	AC T	AC T	AC T
Schichtdicke	108 mm	111 mm	106 mm	127 mm
Art der Schicht	Trag	Trag	Trag	Trag
Größtkorn	32 mm	32 mm	32 mm	32 mm
Schichtenverbund	-	-	-	-
Gesamtdicke	235 mm	247 mm	245 mm	227 mm
Inhomogenitäten	keine	keine	keine	Keine
Risse, Risstiefen	keine	keine	keine	Keine
Bemerkungen	-	-	-	-

Im Zuge der Beurteilung der Bohrkern ergaben sich auch unterschiedliche Schichtdicken und Materialien, die in der nachfolgenden Tabelle 22 aufgelistet sind. Neben Abweichungen in den Schichtdicken musste auch das Material der Decke von AC auf SMA geändert werden.

Tabelle 22: Aktualisierte Oberbaudaten Teststrecke

Schichtart	Schichtmaterial	Dicke [cm]	Herstellungsjahr
Decke	SMA 11 S1	5,0	2013
Binder	AC 16 binder	7,7	2013
geb. Tragschicht	AC 32 trag T1	10,8	1990
ungeb. obere Tragschicht	CK	20	1990
Ungeb. untere Tragschicht	RK	30	1990



Abbildung 38: Fotos der Bohrkerne des Beispiel-Projekts, v.l.n.r. Bohrkern 1, 2, 13 und 14.

Der gebundene Oberbau besteht somit aus einem 23,5 cm dicken gebundenen Schichtpaket und kann auch nach der Aktualisierung generell der Bauweise AS1 gem. RVS 03.08.63 [5] zugeordnet werden.

Aufgrund der Änderung bzw. Aktualisierung der Schichtinformationen des gebundenen Oberbaus ergeben sich auch aktualisierte Kennzahlen, die der nachfolgenden Abbildung 39 sowie der Abbildung 40 entnommen werden können. Auch eine Aktualisierung der FWD-Eingangsdaten und -ergebnisse ist aufgrund der Änderungen des Bestands oberbaus erforderlich. Die aktuelle zulässige Anzahl der Lastwechsel kann nun mit 22,46 Mio. NLW in Rechnung gestellt werden.

SUB-KRIT Analyseprototyp Oberbauscreening I				
Eingangsdaten Streckenabschnitt				
Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche				
Straße	<input type="text" value="A4 Ostautobahn"/>	Fahrstreifen	<input type="text" value="1. FStr."/>	
Richtungsfahrbahn	<input type="text" value="Ungarn"/>	Fahrstreifenbreite	<input type="text" value="3.75"/> m	
von KM	<input type="text" value="19.7"/> km	Länge	<input type="text" value="300"/> m	
bis KM	<input type="text" value="20"/> km	Fläche	<input type="text" value="1125"/> m ²	
Berechnung Österreichische Tragfähigkeitszahl zur Abschätzung der aktuellen Tragfähigkeit				
Gebundener Oberbau		Schichtdicke	Schichtkoeffizient	Teiltragfähigkeitszahl
Deckschicht	<input type="text" value="SMA_S1"/>	<input type="text" value="5"/> cm	<input type="text" value="0.44"/>	<input type="text" value="2.20"/>
Binderschicht	<input type="text" value="AC_binder"/>	<input type="text" value="7.7"/> cm	<input type="text" value="0.42"/>	<input type="text" value="3.23"/>
gebundene Asphalt(trag)schicht 1	<input type="text" value="AC_trag_T1"/>	<input type="text" value="10.8"/> cm	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="text" value="4.32"/>
gebundene Asphalt(trag)schicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
gebundene Asphalt(trag)schicht 3	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
gebundene Asphalt(trag)schicht 4	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
sonstige gebundene Tragschicht	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Stabilisierte Schichten				
Stabilisierte Schicht 1	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Stabilisierte Schicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Ungebundener Oberbau				
ungebundene obere Tragschicht 1	<input type="text" value="U_CK"/>	<input type="text" value="20"/> cm	<input type="text" value="0.14"/>	<input type="text" value="2.80"/>
ungebundene obere Tragschicht 2	<input type="text" value="k.A."/>	<input type="text" value="0"/> cm	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
ungebundene untere Tragschicht	<input type="text" value="U_RK"/>	<input type="text" value="30"/> cm	<input type="text" value="0.08"/>	<input type="text" value="2.40"/>
Untergrundtragfähigkeit (Basis: $EV_1 = 35 \text{ MN/m}^2$)				<input type="text" value="2.80"/>
Kennzahlen zur Beschreibung der Tragfähigkeit und der Eigenschaften des Straßenoberbaus				
Dicke gebundener Oberbau				<input type="text" value="23.50"/> cm
Gesamtdicke Oberbau				<input type="text" value="73.50"/> cm
Österreichische Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt des rechn. Oberbaujahrs TZ_0 (Summe Teiltragfähigkeitszahlen)				<input type="text" value="17.75"/>
Rechnerisches Oberbaujahr				<input type="text" value="2002"/>
Rechnerisches Oberbualter				<input type="text" value="16"/> Jahre
Zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs $NLW_{zul,0}$				<input type="text" value="23.52"/> Mio.
Verkehrsbelastungskoeffizient VBI				<input type="text" value="0.52"/>
Berechnung der Normlastwechsel aus der Verkehrsbelastung gem. RVS 03.08.63				
Richtungsfaktor (R)	<input type="text" value="1"/>	NLW täglich	<input type="text" value="6532.8"/>	
Vert. Querschnitt (V)	<input type="text" value="1"/>	Spurvariation (S)	<input type="text" value="0.75"/>	
Bemessungsperiode	<input type="text" value="30"/> Jahre	Zuwachsfaktor	<input type="text" value="1.35"/>	
Bemessungsnormlastwechsel	<input type="text" value="72.43"/> Mio.			
Tägliche Normlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs			<input type="text" value="5552.88"/>	
Bemessungsnormlastwechsel zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs $NLW_{kum,n}$			<input type="text" value="45.60"/> Mio.	

Abbildung 39: Oberbauscreening I – Aktualisierung Kennzahlen Oberbau nach Bohrkernanalysen

SUB-KRIT Analyseprototyp Daten Tragfähigkeitsmessung			
Eingangsdaten Streckenabschnitt			
Abschnittsdaten / Referenzierung / Querschnitt / Fläche			
Straße	<input type="text" value="A4 Ostautobahn"/>	Fahrstreifen	<input type="text" value="1. FStr."/>
Richtungsfahrbahn	<input type="text" value="Ungarn"/>	Fahrstreifenbreite	<input type="text" value="3.75"/> m
von KM	<input type="text" value="19.7"/> km	Länge	<input type="text" value="300"/> m
bis KM	<input type="text" value="20"/> km	Fläche	<input type="text" value="1125"/> m ²
Beurteilung der Tragfähigkeit im Rahmen von Falling Weight Deflectometer (FWD) Messungen			
Datum der FWD-Messung	<input type="text" value="29.5.2018"/>		
Referenzdominante der FWD-Messung	<input type="text"/>		
Abschätzung der zulässigen Normlastwechsel aus der Beurteilung des Abschnittes mit dem FWD	<input type="text" value="16.09"/> Mio.		
Beurteilung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung von Tragfähigkeitsmessungen			
Kalibrierfaktor FWD	<input type="text" value="0.18"/>	<p>Diese Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung der FWD-Messungen!</p>	
Zustandsgröße Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.74"/> %		
Substanzwert Tragfähigkeit	<input type="text" value="1.26"/>		
Reduktionsfaktor Tragfähigkeit	<input type="text" value="0.97"/>		
Tragfähigkeitszahl zum akt. Zeitpunkt	<input type="text" value="17.24"/>		
Aktuelle zulässige Normlastwechsel	<input type="text" value="16.09"/> Mio.		
Zustandswert Alter Deckschicht	<input type="text" value="1.00"/>		
Substanzwerte Decke	<input type="text" value="3.12"/>		
Substanzwert gesamt	<input type="text" value="1.58"/>		
Jahre bis NLW _{zul} =0	<input type="text" value="7"/>		
Zurück zu Eingangswerte Projekt <input type="button" value="OK"/>		weiter zum Bohrkernschema 1 <input type="button" value="OK"/>	

Abbildung 40: Aktualisierung Substanzinformationen mit FWD-Ergebnissen und aktualisierten Oberbaudaten

6.3.5.2 Schichtenverbund

Die Prüfung des Schichtenverbunds sollte mittels Abscherversuch an allen Schichten mit einer gebundenen Unterlage erfolgen. Aufgrund des zu geringen Durchmessers und des Anschnitts der zur Verfügung stehenden Bohrkern war die Prüfung in diesem Fall nicht möglich, sodass lediglich eine visuelle Beurteilung vorgenommen werden konnte.

Aus der visuellen Beurteilung geht hervor, dass die Bohrkern 1 und 13 zwischen Binder- und Tragschicht keinen Schichtenverbund aufweisen.

6.3.5.3 Untersuchungen am Bohrkern

Für jeden zu untersuchenden Bohrkern wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

- Trennen der Schichten,
- Raumdichte jeder einzelnen Schicht,
- Rohdichte jeder einzelnen Schicht und
- Berechnung des Hohlraumgehalts jeder Schicht

Die Ergebnisse dieser Analysen dokumentiert die nachfolgende Tabelle 23.

Tabelle 23: SUB-KRIT Beispielprojekt A4, Untersuchungen am Bohrkern, Hohlraumgehalt

Merkmal	Bohrkern 1/100	Bohrkern 2/100	Bohrkern 13/100	Bohrkern 14/100
Entnahmestelle	FR Ungarn PS, km 20,000	FR Ungarn PS, km 22,000	FR Wien PS, km 20,000	FR Wien PS, km 20,000
1. Schicht	SMA	SMA	SMA	SMA
Raumdichte [g/cm ³]	2,496	2,534	2,577	2,434
Rohdichte [g/cm ³]	2,655	2,644	2,645	2,564
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	6,0	4,2	2,6	5,1
Anforderungswert [Vol.-%]				
2. Schicht	AC B	AC B	AC B	AC B
Raumdichte [g/cm ³]	2,478	2,509	2,492	2,453
Rohdichte [g/cm ³]	2,584	2,624	2,593	2,582
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	4,1	4,4	3,9	5,0
Anforderungswert [Vol.-%]				
3. Schicht	AC T	AC T	AC T	AC T
Raumdichte [g/cm ³]	2,522	2,490	2,463	2,515
Rohdichte [g/cm ³]	2,556	2,550	2,552	2,583
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	1,3	2,4	3,5	2,6
Anforderungswert [Vol.-%]				
Bemerkungen	-	-	-	-

6.3.5.4 Analyse der Zusammensetzung

Die Analyse der Zusammensetzung wird schichtweise durchgeführt, im Regelfall als Sammelprobe, bestehend aus zwei oder drei Bohrkernscheiben. Folgende Kenngrößen wurden bestimmt:

- Bindemittelgehalt
- Korngrößenverteilung
- Berechnung der volumetrischen Kenngrößen VMA, VFB sowie des Füller/Bitumen-Verhältnisses

Die Ergebnisse der Analysen der Deckschichten, der Binderschichten und der gebundenen Tragschichten sind den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Aufgrund der geringen Probemenge konnten keine Marshall-Probekörper (MPK) hergestellt werden, sodass die

Berechnung des Hohlraumgehaltes am MPK sowie der daraus abgeleiteten Kenngrößen nicht möglich war.

Tabelle 24: SUB-KRIT Beispielprojekt A4, Untersuchungen am Deckschichtmaterial, Zusammensetzung, Hohlraumgehalt

Merkmal		Bohrkern 1/100	Bohrkern 2/100	Bohrkern 13/100	Bohrkern 14/100
Asphaltsorte	-	SMA 11			
Äußere Beschaffenheit	-	wiedererwärmte Bohrkernproben			
Gesamt-Bindemittelgehalt	M.-%	4,9	5,1	5,0	6,6
Anteil > 45 mm	M.-%	-	-	-	-
Anteil 31,5 - 45,0 mm	M.-%	-	-	-	-
Anteil 22,4 - 31,5 mm	M.-%	-	-	-	-
Anteil 16,0 - 22,4 mm	M.-%	1,9	-	-	-
Anteil 11,2 - 16,0 mm	M.-%	17,1	17,1	15,9	-
Anteil 8,0 - 11,2 mm	M.-%	18,7	15,4	20,0	-
Anteil 5,6 - 8,0 mm	M.-%	10,3	11,0	9,9	13,9
Anteil 4,0 - 5,6 mm	M.-%	6,8	6,5	6,7	19,2
Anteil 2,0 - 4,0 mm	M.-%	13,2	12,9	10,8	24,6
Anteil 1,0 - 2,0 mm	M.-%	10,7	12,9	13,0	12,7
Anteil 0,5 - 1,0 mm	M.-%	5,3	6,9	6,9	8,3
Anteil 0,25 - 0,5 mm	M.-%	2,8	3,5	3,4	5,8
Anteil 0,063 - 0,25 mm	M.-%	3,7	3,8	1,6	7,1
Anteil < 0,063 mm	M.-%	9,6	9,9	10,0	8,3
Anteil > 8,0 mm	M.-%	37,7	32,6	35,8	-
Anteil > 2,0 mm	M.-%	68,1	63,1	63,2	57,7
Anteil 0,063 - 2,0 mm	M.-%	22,3	27,0	26,9	33,6
Füller/Bitumen-Verhältnis	-	1,959	1,941	1,980	1,318
Gestein visuell	-			-	
Zusätze	-	-	-	-	-
Raumdichte MPK	g/cm ³	-	-	-	-
Rohdichte	g/cm ³	2,655	2,644	2,645	2,564
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	-	-
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	-	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	Vol.-%	-	-	-	-

Tabelle 25: SUB-KRIT Beispielprojekt A4, Untersuchungen am Binderschichtmaterial, Zusammensetzung, Hohlraumgehalt

Merkmal		Bohrkern 1/100	Bohrkern 2/100	Bohrkern 13/100	Bohrkern 14/100
Asphaltsorte	-	AC 16			
Äußere Beschaffenheit	-	wiedererwärmte Bohrkernproben			
Gesamt-Bindemittelgehalt	M.-%	4,4	4,3	4,3	4,5
Anteil > 45 mm	M.-%	-	-	-	-
Anteil 31,5 - 45,0 mm	M.-%	-	-	-	-
Anteil 22,4 - 31,5 mm	M.-%	-	-	-	-
Anteil 16,0 - 22,4 mm	M.-%	6,3	8,1	6,2	14,1
Anteil 11,2 - 16,0 mm	M.-%	15,1	17,2	15,1	12,4
Anteil 8,0 - 11,2 mm	M.-%	23,1	14,5	22,9	11,1
Anteil 5,6 - 8,0 mm	M.-%	1,5	9,6	10,7	8,8
Anteil 4,0 - 5,6 mm	M.-%	7,0	7,2	5,2	6,6
Anteil 2,0 - 4,0 mm	M.-%	11,9	10,2	6,9	12,0
Anteil 1,0 - 2,0 mm	M.-%	11,0	10,8	10,8	11,5
Anteil 0,5 - 1,0 mm	M.-%	6,0	5,7	6,0	6,9
Anteil 0,25 - 0,5 mm	M.-%	2,9	2,9	3,2	4,2
Anteil 0,063 - 0,25 mm	M.-%	3,2	3,1	3,6	4,6
Anteil < 0,063 mm	M.-%	11,9	10,6	9,5	7,9
Anteil > 11,2 mm	M.-%	24,5	25,3	21,2	26,5
Anteil > 2,0 mm	M.-%	66,4	66,8	66,9	65,0
Anteil 0,063 - 2,0 mm	M.-%	22,2	22,5	23,7	27,2
Füller/Bitumen-Verhältnis	-	2,591	2,488	2,186	1,733
Gestein visuell	-			-	
Zusätze	-	-	-	-	-
Raumdichte MPK	g/cm ³	-	-	-	-
Rohdichte	g/cm ³	2,584	2,624	2,593	2,582
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	-	-
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	-	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	Vol.-%	-	-	-	-

Tabelle 26: SUB-KRIT Beispielprojekt A4, Untersuchungen am Tragschichtmaterial, Zusammensetzung, Hohlraumgehalt

Merkmal		Bohrkern 1/100	Bohrkern 2/100	Bohrkern 13/100	Bohrkern 14/100
Asphaltsorte	-	AC 32			
Äußere Beschaffenheit	-	wiedererwärmte Bohrkernproben			
Gesamt-Bindemittelgehalt	M.-%	4,1	4,4	4,5	4,0
Anteil > 45 mm	M.-%	-	-	-	-
Anteil 31,5 - 45,0 mm	M.-%	4,0	-	-	-
Anteil 22,4 - 31,5 mm	M.-%	8,3	9,0	6,2	11,1
Anteil 16,0 - 22,4 mm	M.-%	12,4	16,0	7,9	17,4
Anteil 11,2 - 16,0 mm	M.-%	13,3	8,5	10,8	8,9
Anteil 8,0 - 11,2 mm	M.-%	8,1	8,4	8,8	9,9
Anteil 5,6 - 8,0 mm	M.-%	6,5	6,1	8,7	7,7
Anteil 4,0 - 5,6 mm	M.-%	5,5	5,1	7,1	5,3
Anteil 2,0 - 4,0 mm	M.-%	10,9	13,6	16,7	9,8
Anteil 1,0 - 2,0 mm	M.-%	9,6	10,9	11,6	8,8
Anteil 0,5 - 1,0 mm	M.-%	5,1	5,6	5,6	4,8
Anteil 0,25 - 0,5 mm	M.-%	2,9	2,9	2,9	2,8
Anteil 0,063 - 0,25 mm	M.-%	3,6	3,5	3,8	3,3
Anteil < 0,063 mm	M.-%	9,8	10,2	10,1	10,3
Anteil > 22,4 mm	M.-%	12,3	9,0	6,1	11,1
Anteil > 2,0 mm	M.-%	65,1	66,9	66,2	70,1
Anteil 0,063 - 2,0 mm	M.-%	23,9	23,0	23,7	19,7
Füller/Bitumen-Verhältnis	-	2,683	2,295	2,244	2,550
Gestein visuell	-			-	
Zusätze	-	-	-	-	-
Raumdichte MPK	g/cm ³	-	-	-	-
Rohdichte	g/cm ³	2,556	2,550	2,552	2,583
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	-	-
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	-	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	Vol.-%	-	-	-	-

In der nachfolgenden Abbildung 41 sind die Sieblinien für die Binder- und gebundene Tragschicht des relevanten Bohrkerns 1 dargestellt. Diese Schichten verbleiben unter Umständen im Rahmen der strukturellen Verstärkung des Oberbaus

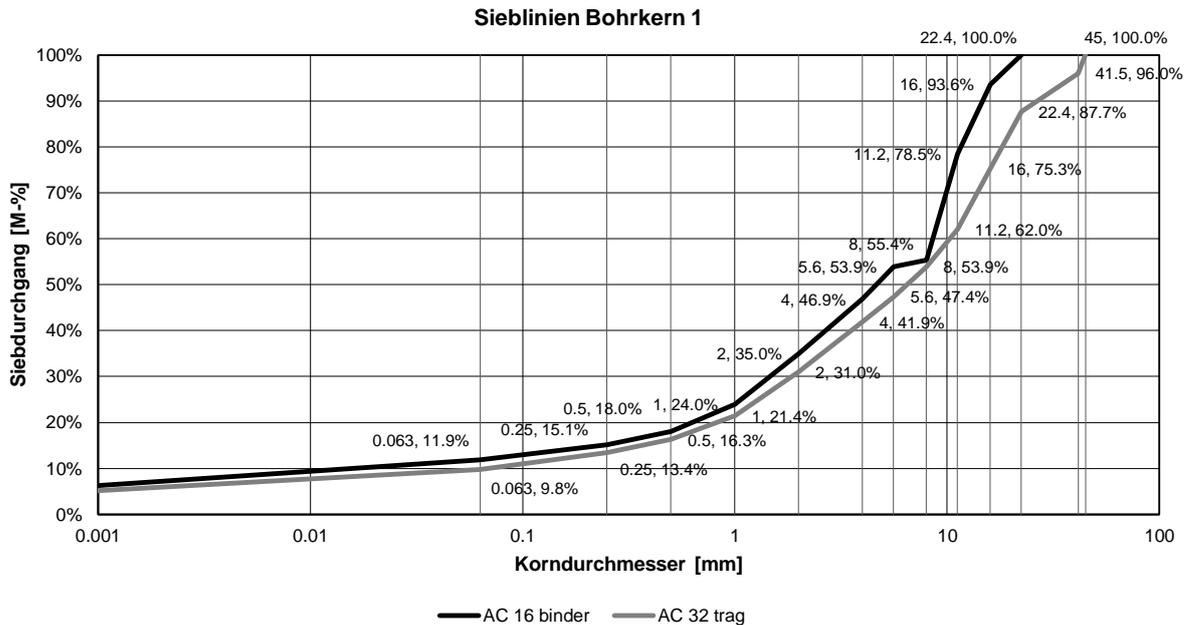


Abbildung 41: Sieblinien Bohrkern 1 (Binder und gebundene Tragschicht)

6.3.5.5 Bitumenprüfungen

Am rückgewonnenen Bitumen wurden folgende Kenndaten bestimmt:

- Erweichungspunkt Ring und Kugel
- Elastische Rückstellung (sofern Polymermodifiziertes Bitumen eingesetzt wurde)
- Bitumen-Typsierungs-Schnell-Verfahren BTSV, Temperatur T_{BTSV} und Phasenwinkel δ_{BTSV} .

Die Ergebnisse der Bitumenprüfungen sind in Tabelle 27 dargestellt. Aufgrund der geringen Probemenge konnte die Elastische Rückstellung für die aus den Deckschichten rückgewonnenen Bitumen nicht bestimmt werden.

Tabelle 27: SUB-KRIT Beispielprojekt A4, Untersuchungen am rückgewonnenen Bitumen

Merkmal	Bohrkern 1/100	Bohrkern 2/100	Bohrkern 13/100	Bohrkern 14/100
Bitumen Deckschicht, Soll				
EwP RuK [°C]	64,8 °C	59,6	56,6	55,4
Elast. Rückstellung [%]	-	-	-	-
T _{BTSV} [°C]	61,2	57,9	54,2	52,2
δ _{BTSV} [°]	69,1	74,1	72,1	74,3
Bitumen Binderschicht, Soll				
EwP RuK [°C]	50,8	52,2	56,0	59,6
Elast. Rückstellung [%]	11	14	15	65
T _{BTSV} [°C]	50,8	52,7	57,1	56,3
δ _{BTSV} [°]	81,0	81,0	80,6	72,5
Bitumen Tragschicht, Soll				
EwP RuK [°C]	48,0	48,8	59,4	50,0
Elast. Rückstellung [%]	11	12	17	13
T _{BTSV} [°C]	48,8	50,0	59,9	50,9
δ _{BTSV} [°]	80,8	80,6	78,1	80,0
Bemerkungen	-	-	-	

6.3.6 Oberbauscreening II

Auf der Grundlage der durchgeführten Materialuntersuchungen ergibt sich die nachfolgende Bewertung des bestehenden Oberbaus im Rahmen des Oberbauscreenings II (siehe Abbildung 42)

Obwohl für die bestehende Binderschicht im Beurteilungsprozess eine Empfehlung zur Durchführung von GVO-Untersuchungen abgegeben wird, wurde aufgrund des fehlenden Schichtverbundes zu den gebundenen Tragschichten eine Entfernung dieser Tragschicht primär der Vorzug gegeben. Für die darunter liegenden gebundenen Tragschichten werden hingegen keine GVO-Untersuchungen empfohlen.

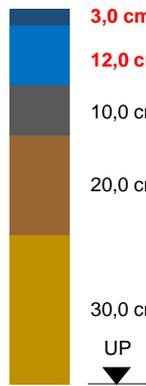
6.3.7 Abschätzung der Verstärkungsdicke der Teststrecke (Varianten)

Unter Berücksichtigung sämtlicher Eingangsdaten erfolgte die schrittweise Abschätzung der Verstärkungsdicke. Aufgrund des mangelnden Verbundes zwischen Binderschicht und oberer gebundener Tragschicht wurde eine Frästiefe von zumindest 13,5 cm (inkl. dem Anfräsen der gebundenen Tragschicht von ca. 1 cm) als primäre Ausgangslage für den Verstärkungsaufbau angenommen.

Auf der Grundlage der Bewertung von verschiedenen Verstärkungsvarianten im Rahmen des schrittweisen Prozesses wurde eine Verstärkung ausgewählt, die 12 cm Binder mit einer darüber liegenden lärmindernden SMA-Decke (SMA S3) vorsieht. Die Auswahl der Materialien erfolgte dabei in Anlehnung an das Planungshandbuch Straße der ASFINAG [24]. Neben der strukturellen Verstärkung des Oberbaus wurde auch die Variante einer ausschließlichen Erneuerung der Deckschicht (SMA S3) als Vergleich berechnet. Obwohl der im Bohrkern 1 erkennbare fehlende Lagenverbund eine solche Variante eigentlich ausschließt, wurde aus Gründen der Vollständigkeit ein solcher Vergleich dennoch durchgeführt. Auch hier wurden die Vorgaben der ASFINAG gem. dem Planungshandbuch [24] berücksichtigt.

In der nachfolgenden Tabelle 28 sind die beiden untersuchten Varianten im Detail dargestellt.

Tabelle 28: Ausgewählte Instandsetzungsvarianten Straßenoberbau Teststrecke

Variante Verstärkung	Variante Decke
 <p>3,0 cm SMA 11 PmB 45/80-65, S3, GS</p> <p>12,0 cm AC 32 binder PmB 45/80-65</p> <p>10,0 cm AC 32 trag T1 - Bestand</p> <p>20,0 cm ungebundene obere TS (CK) - Bestand</p> <p>30,0 cm ungebundene untere TS (RK) - Bestand</p> <p>UP</p>	 <p>3,0 cm SMA 11 PmB 45/80-65, S3, GS</p> <p>2,0 cm SMA 11 S1 - Bestand</p> <p>7,7 cm AC 16 binder - Bestand</p> <p>10,8 cm AC 32 trag T1 - Bestand</p> <p>20,0 cm ungebundene obere TS (CK) - Bestand</p> <p>30,0 cm ungebundene untere TS (RK) - Bestand</p> <p>UP</p>

Die ermittelten Kennzahlen der beiden untersuchten Varianten können den nachfolgenden Abbildungen entnommen werden. Dabei zeigt sich, dass durch beide Maßnahmen zunächst ein guter Substanzwert erreicht werden kann, wogegen bei der Anzahl der Jahre, bis die zulässigen Normlastwechsel durch den aktuellen Verkehr „aufgebraucht“ werden, deutliche Unterschiede erkennbar sind. Eine bessere Aussage liefert dabei die Lebenszykluskostenanalyse.

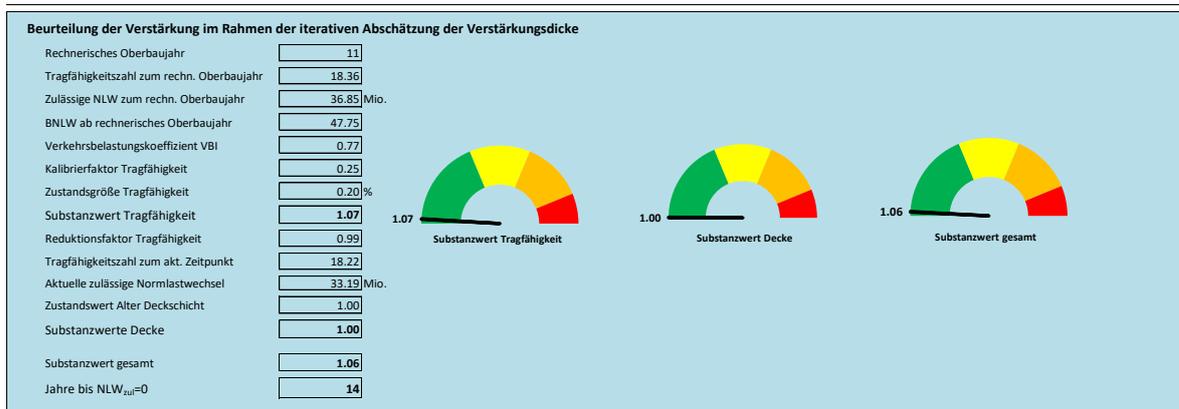


Abbildung 43: Kennzahlen Oberbau Variante Verstärkung

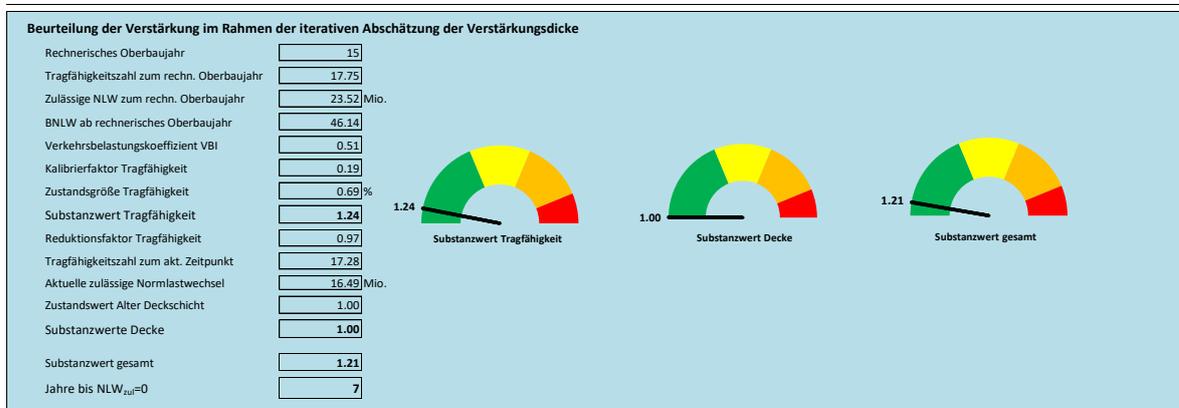


Abbildung 44: Kennzahlen Oberbau Variante Decke

Eine analytische Verstärkungsdimensionierung ist bei beiden Varianten nicht erforderlich, da sowohl die Ergebnisse der schrittweisen Verstärkungsdickenauswahl als auch die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse (siehe Kapitel 6.3.8) eindeutige Ergebnisse im Hinblick auf die Empfehlung liefern.

6.3.8 Lebenszykluskostenanalyse der untersuchten Varianten

Beide Varianten wurden einer entsprechenden Lebenszykluskostenanalyse unterzogen, wobei für die Erhaltungsmaßnahmen folgende Einheitspreise zur Anwendung gelangten:

- Verstärkung bestehender Oberbau gem. den Vorgaben der schrittweisen Verstärkung (I_VT): 25,00 €/m²
- Instandhaltung Asphaltdecke (H_AS) - Pauschale für Risse vergießen, Schlaglochanierung, etc.: 1,00 €/m² und Jahr
- Instandsetzungsmaßnahmen Asphaltbauweise
 - Erneuerung Deckschicht (I_DE) - Fräsen alte Deckschicht und Einbau neue Deckschicht: 18,00 €/m²
 - Erneuerung Decke und Binder (I_DEBI) - Fräsen alte Deck- und Binderschicht und Einbau neue Deck- und Binderschicht: 25,00 €/m²
- Erneuerung Oberbau in Asphaltbauweise - Erneuerung des gesamten gebundenen Oberbaus (E_AS): 80,00 €/m²

Für die Berechnung der Barwerte wurde eine Diskontrate von 0,8% berücksichtigt. Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse wurden direkt aus dem SUB-KRIT MS Excel Prototyp kopiert und können den nachfolgenden beiden Abbildungen (Abbildung 45 und Abbildung 46) entnommen werden.

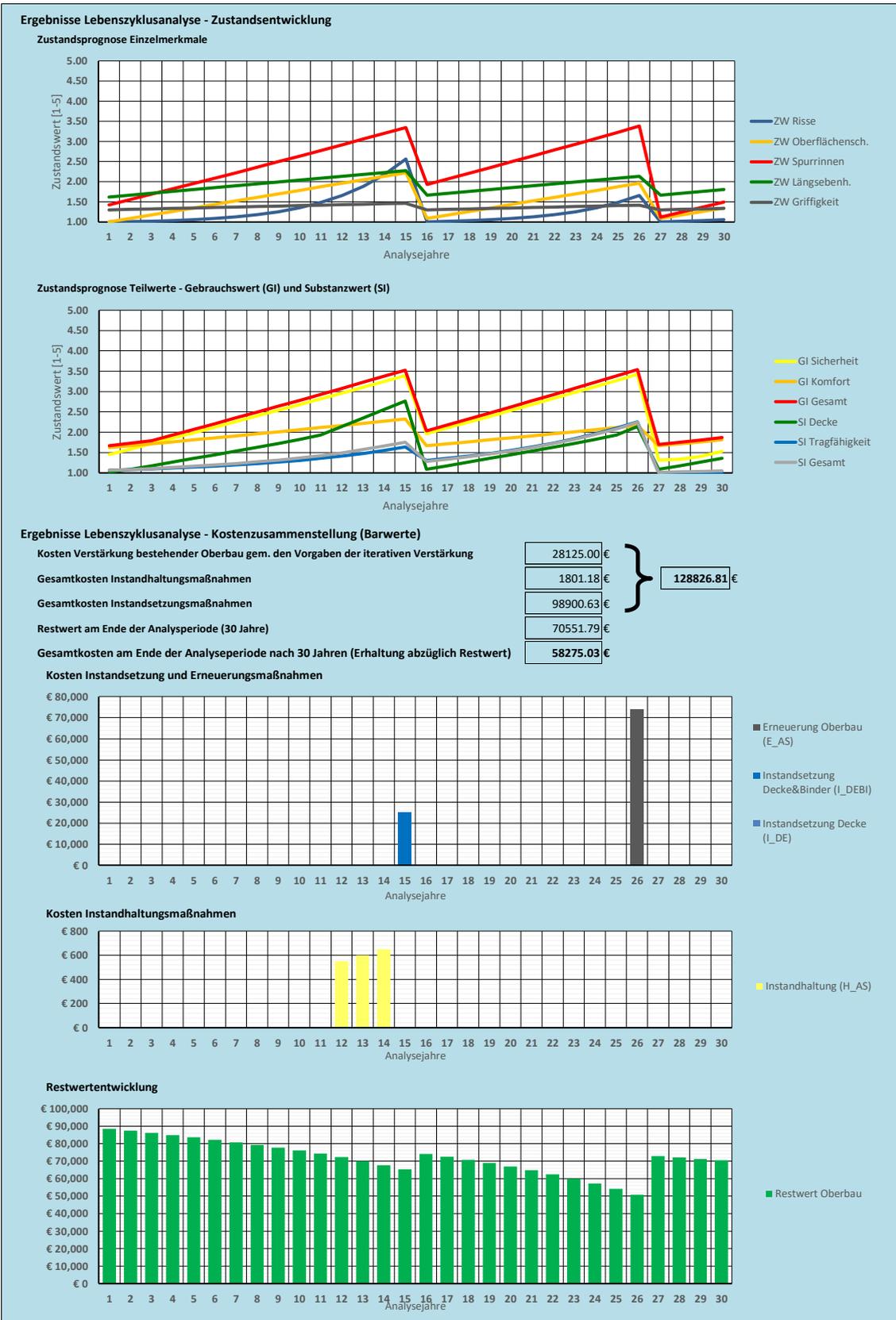


Abbildung 45: Ergebnisse Lebenszyklusanalyse Variante Verstärkung

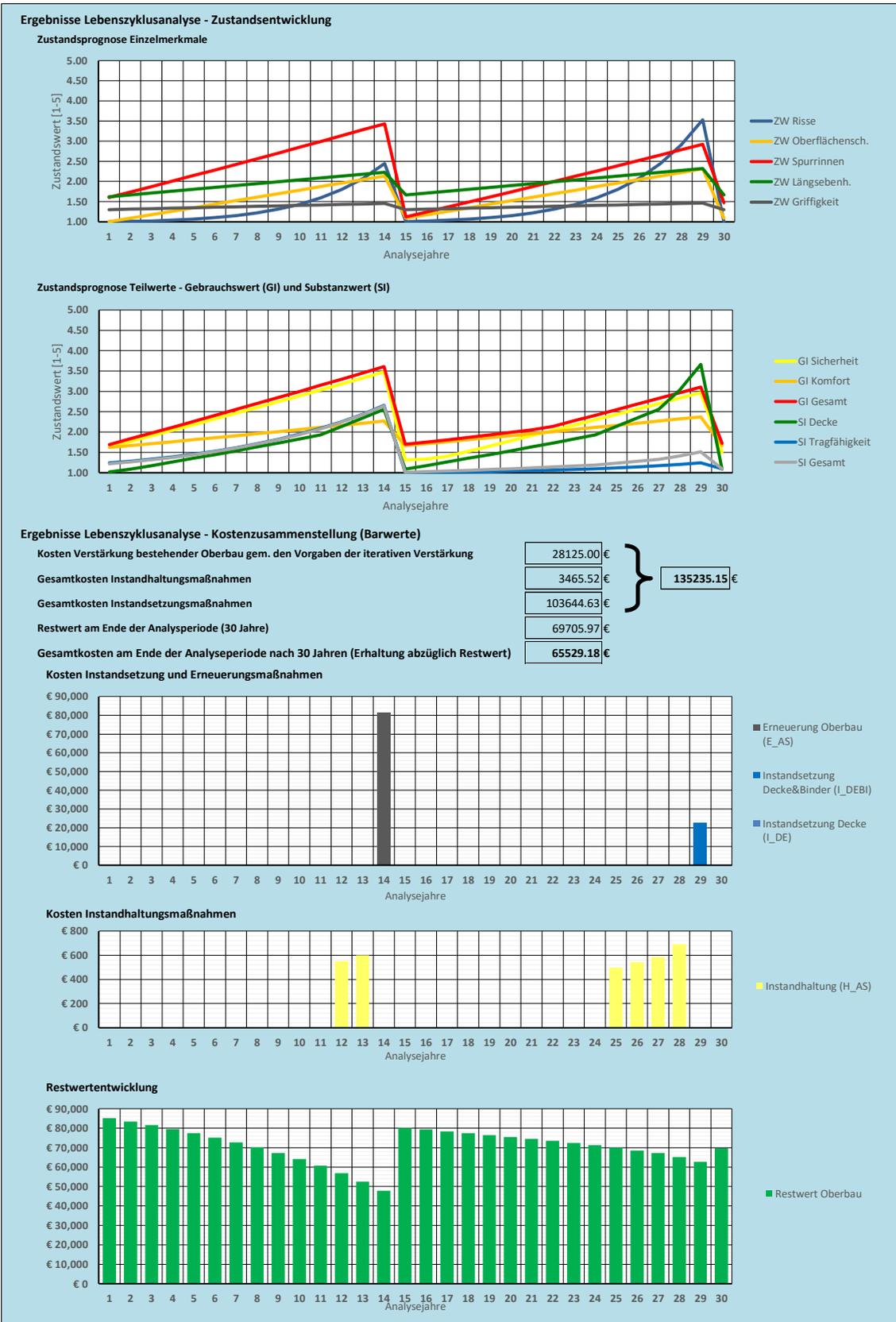
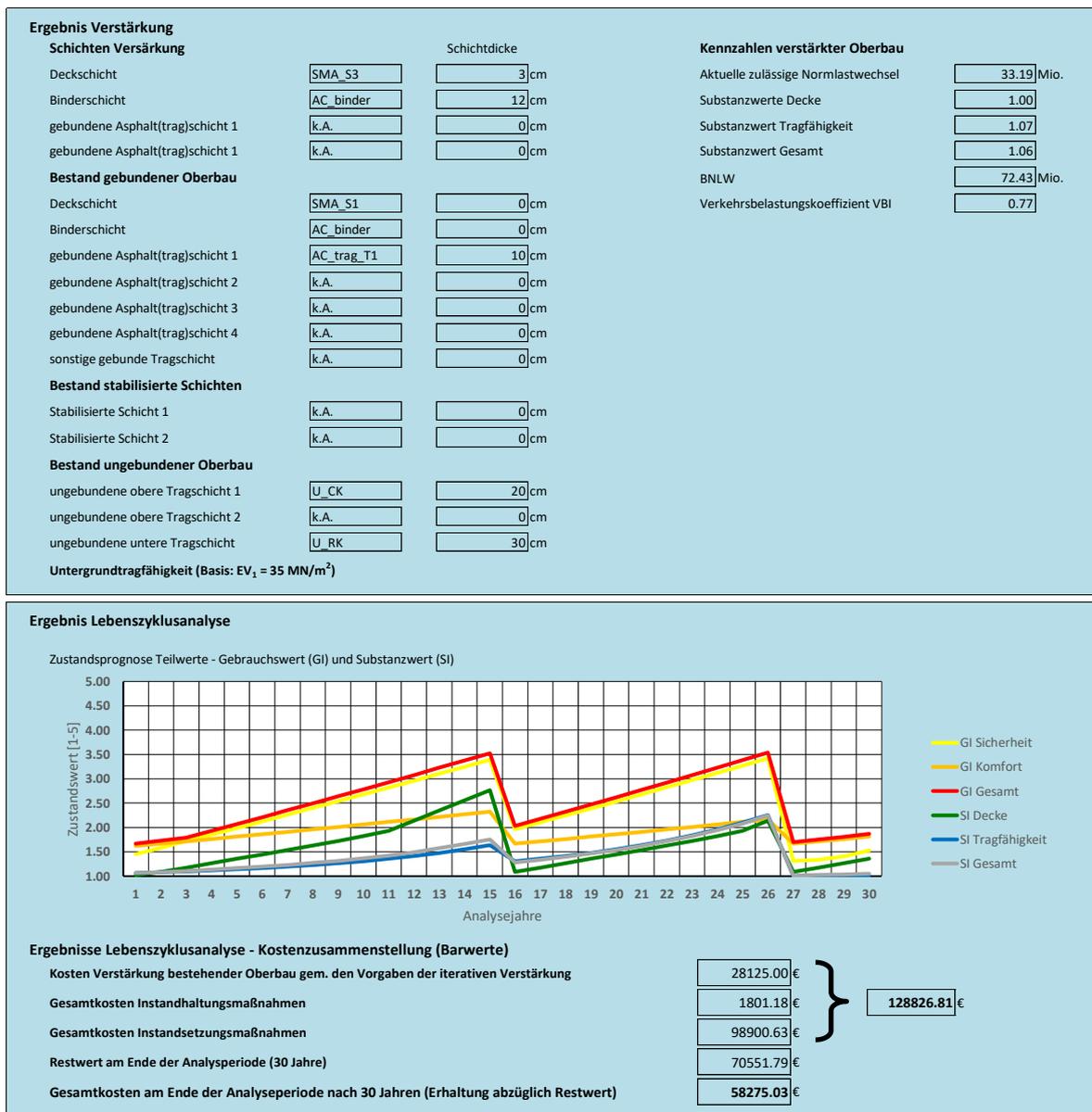


Abbildung 46: Ergebnisse Lebenszyklusanalyse Variante Decke

Obwohl die Erstinvestitionen bei der Verstärkungsvariante höher sind, ergeben sich geringere Gesamtkosten als bei der ausschließlichen Deckenvariante. Die Ursache hierfür liegt in der bereits nach ca. 14 Jahren notwendigen Erneuerung des gesamten gebundenen Oberbaus der Variante Decke.

6.4 Ergebnisse

In der nachfolgenden Abbildung 47 sind die Ergebnisse der bevorzugten Variante Verstärkung als Bildschirmausdruck aus dem SUB-KRIT MS Excel Prototyp zusammenfassend dargestellt.



7 Empfehlungen für die praktische Umsetzung in der RVS

7.1 Allgemeines

Eine der wesentlichen Zielsetzungen von SUB-KRIT besteht in der Empfehlung für die praktische Umsetzung des Prozesses in einer zukünftigen RVS-Richtlinie. Im gegenständlichen Kapitel wird ein entsprechender Vorschlag für die Strukturierung und den Inhalt dieser RVS gegeben. Es sei jedoch an dieser Stelle explizit angemerkt, dass die textliche Ausformulierung einer solchen Richtlinie nicht Gegenstand des Projektes ist, sondern entsprechend den Vorgaben zur Erstellung einer RVS durch die entsprechenden Gremien (Arbeitsgruppe (AG), Arbeitsausschuss (AA), Arbeitskreis(AK)) der FSV zu erfolgen hat. Im Rahmen der gegenständlichen Empfehlung werden jedoch die entsprechenden Hinweise bzgl. der inhaltlichen Gestaltung gegeben.

7.2 Zuordnung der zukünftigen RVS im aktuellen Regelwerk

Die Thematik der zukünftigen Richtlinie befasst sich schwerpunktmäßig mit der baulichen Erhaltung und kann dem Kapitel 13 „Qualitätssicherung bauliche Erhaltung“ bzw. den Unterkapitel 13.01 „Bauliche Straßenerhaltung“ bzw. 13.01.10 „Pavement Management“ oder 13.01.40 „Asphaltstraßen“ zugeordnet werden. Eine Bearbeitung sollte durch die AG Straßenoberbau erfolgen. Als Titel für die zukünftige RVS wird „Strukturelle Bewertung von Asphaltstraßen auf Projektebene“ vorgeschlagen. Darüber hinaus wird empfohlen, diese zukünftige Richtlinie in Form eines Merkblattes zu veröffentlichen.

7.3 Inhaltliche Gestaltung der zukünftigen Richtlinie

7.3.1 Allgemeines

Die folgende inhaltliche Abgrenzung soll es einer zukünftigen Bearbeitergruppe im Rahmen der FSV ermöglichen, effizient und nachvollziehbar die Ergebnisse des gegenständlichen Projektes in eine RVS überzuführen. In welchem Ausmaß textliche Formulierungen aus den einzelnen Kapiteln des gegenständlichen Berichtes übernommen werden, obliegt der Bearbeitergruppe.

7.3.2 Motivation

Eine wesentliche Voraussetzung für eine vereinheitlichte und nachvollziehbare strukturelle Bewertung des Straßenoberbaus ist ein vordefinierter Prozess, welcher in einer Richtlinie abgebildet werden kann. Der Anwender soll dabei die Möglichkeit haben, nach einem

vordefinierten Ablaufschema die entsprechenden Bewertungen und Entscheidungen unter Berücksichtigung einer ingenieurmäßigen Beurteilung vornehmen zu können. Damit lassen sich auch unterschiedliche Varianten für Instandsetzungsmaßnahmen von Asphaltoberbaukonstruktionen systematisch beurteilen. Eine solche Grundlage fehlt dem aktuellen RVS-Regelwerk und das führt dazu, dass Entscheidungen oft nicht nachvollziehbar getroffen werden. Das Ziel wäre es, eine Rahmenrichtlinie zu schaffen, die dem Anwender einerseits den Prozess vorgibt bzw. erläutert, andererseits aber auch die Flexibilität gibt, bestimmte Untersuchungen in Abhängigkeit von einer ingenieurmäßigen Bewertung der Ergebnisse auszuwählen, ohne dass eine genaue Spezifizierung der Untersuchung bereits an dieser Stelle vorgenommen wird (z.B. bei der Auswahl von GVO-Untersuchungen oder bei der Auswahl des Berechnungsalgorithmus im Rahmen einer analytischen Verstärkungsdimensionierung).

7.3.3 Vorschlag zum Inhalt

Die nachfolgende Auflistung ist ein Vorschlag für die Gestaltung des Inhaltes der zukünftigen RVS unter Bezugnahme auf die im gegenständlichen Projekt bearbeiteten Themenbereiche. Um die zukünftige Richtlinie überschaubar und lesbar zu gestalten, wird empfohlen, umfangreiche textliche und mathematische Erläuterungen in Form eines Anhangs beizulegen. Dabei kann entweder der gesamte gegenständliche Bericht oder es können einzelne maßgebende Kapitel in Teilanhänge übernommen werden. Die Entscheidung hierfür obliegt der Bearbeitergruppe.

0. Vorbemerkungen

1. Anwendungsbereich

Die RVS gilt ausschließlich für Asphaltstraßen.

2. Begriffsbestimmungen

Die maßgebenden zu erläuternden Begriffe sind (siehe hierzu Kapitel 4.2, 4.2.2, 4.3, 4.4.3, 4.4.4, 4.5 und 4.8):

- Zustandsgröße
- Zustandswert
- Gebrauchswert
- Substanzwert
- GVO-Untersuchung
- FWD
- Lebenszykluskostenanalyse

- Analytische Verstärkungsdimensionierung

3. Grundlagen des Bewertungsprozesses

Dieses Kapitel sollte eine Beschreibung der Zielsetzung beinhalten und die für eine Erreichung der Ziele erforderlichen Grundlagen für den Bewertungsprozess definieren. Auch eine explizite Abgrenzung zwischen einer Bewertung auf Netz- und Projektebene sollte an dieser Stelle vorgenommen werden. Entsprechende Hinweise können dabei dem Kapitel 2 entnommen werden.

4. Generelle Bewertungsprozess

Der generelle Bewertungsprozess kann auf der Grundlage des SUB-KRIT Workflow im Detail beschrieben werden. Es erscheint hier von wesentlicher Bedeutung, dass der Prozess für den Anwender nachvollziehbar ist und dass die einzelnen Entscheidungspunkte alternative Lösungen zulassen. Eine graphische Darstellung wird empfohlen. Das Kapitel 3.3 liefert hierfür die entsprechenden Grundlagen.

5. Bewertungsschritte

Dieses maßgebende Kapitel basiert auf dem zuvor beschriebenen Prozess und soll im Detail beschreiben, welche Vorgehensweise in jedem Teilschritt gewählt werden soll. In Anlehnung an die gegenständliche Ausarbeitung sowie den SUB-KRIT Workflow sollten zumindest folgende Teilschritte beschrieben werden:

- Eingangswerte für die strukturelle Bewertung: siehe hierzu Kapitel 4.2
- Visuelle und messtechnische Zustandserfassung: siehe hierzu Kapitel 4.3
- Oberbauscreening I: siehe hierzu Kapitel 4.4
- Berücksichtigung von Tragfähigkeitsmessungen: siehe hierzu Kapitel 4.5
- Entnahme von Bohrkernen und Bohrkernschema: siehe hierzu Kapitel 4.6
- Oberbauscreening II: siehe hierzu Kapitel 4.7
- Berücksichtigung von Ergebnissen aus GVO-Untersuchungen: siehe hierzu Kapitel 4.8
- Auswahl von Verstärkungsdicken unter Berücksichtigung der Bewertung des Bestandes: siehe hierzu Kapitel 4.9
- Lebenszykluskostenanalyse des verstärkten Oberbaus: siehe hierzu Kapitel 4.10
- Analytische Verstärkungsdimensionierung: siehe hierzu Kapitel 4.11

Es wird empfohlen, in jedem Teilschritt die notwendigen Verweise zu anderen Richtlinien, Normen, Forschungsprojekten bzw. zu den nicht übernommenen Inhalten des gegenständlichen Projektes aufzulisten. Wesentliche Text- und Bewertungsbausteine sollten in den einzelnen Kapiteln übernommen bzw. in entsprechende Anhänge übertragen werden.

6. Darstellung und Bewertung der Ergebnisse

In einem eigenen Kapitel sollte erläutert werden, welche Ergebnisse im Rahmen des Prozesses zu generieren sind und wie diese in eine weiterführende Planung (Projektentwicklung) einfließen können.

7. Angeführte Gesetze, Richtlinien und Normen

8. Anhang

Anhänge mit detaillierten Beschreibungen der Bewertungsschritte sowie der mathematischen Modelle zur Durchführung der Bewertung. Der Anhang sollte durch 2 bis 3 Anwendungsbeispiele ergänzt werden.

7.3.4 Praktische Umsetzung

Unter Heranziehung der Ergebnisse des gegenständlichen Projektes sowie der in den vorangehenden Kapiteln beschriebenen inhaltlichen Gestaltung dieser Richtlinie sollte es möglich sein, einen entsprechenden Entwurf zu erstellen und innerhalb der Bearbeitergruppe zu finalisieren. Da es sich dennoch um eine relative komplexe Materie handelt, wird eine Umsetzungsdauer von ca. 1,5 bis 2 Jahren veranschlagt.

8 Zusammenfassung

8.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Das Hauptziel des Projekts „SUB-KRIT – Substanzkriterium Oberbau“ ist die strukturelle Bewertung von bestehenden flexiblen Oberbaukonstruktionen auf der Grundlage der Oberflächeneigenschaften und einer stufenweise vertieften Materialbewertung und -analyse auf Projektebene (Auswahlkriterien). SUB-KRIT ist ein „Work-Flow“-basierter Lösungsansatz, der dem Anwender eine klare, nachvollziehbare und objektive Bewertung spezifischer Kriterien des Oberbaus ermöglicht, von der Einbeziehung der Zustandsmerkmale der Oberfläche aus dem Pavement Management (Risse, Oberflächenschäden, etc.), über konventionelle bzw. gebrauchungsverhaltensorientierte (GVO) Materialuntersuchungen bis hin zu einer analytischen Verstärkungsdimensionierung mit empirischem Lebenszykluskostenansatz zur Abschätzung und Bewertung der Restlebensdauer.

Je nach Erfordernis, können die einzelnen Schritte und Kriterien individuell für das jeweilige Projekt angewendet werden, entweder um einen ersten Überblick über einen längeren Straßenabschnitt zu erhalten, oder für eine ganz bestimmte Problemlösung ein spezifisches Untersuchungs- und Bewertungsprozedere zu definieren. Der neu entwickelte Algorithmus kann vollständig und ohne weiteres in die Entscheidungsprozesse der ASFINAG integriert werden.

Um die oben beschriebenen Ziele erfüllen zu können, werden in SUB-KRIT folgende Aufgabenbereiche behandelt:

- Work-Flow: Festlegung eines Ablaufschemas zur stufenweisen Beurteilung der strukturellen Beschaffenheit von flexiblen und semi-flexiblen Oberbaukonstruktionen (Bautypen AS1 bis AS4 nach derzeitiger RVS 03.08.63 [5])
- Oberbau-Screening, Bewertungsstufe 1: Generelle Bewertung des zu beurteilenden Oberbaus. Als Grundlage hierfür dienen der Oberflächenzustand (Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen, etc.) und die auf Oberbaudaten (Material, Alter, Schichtenfolge, etc.) basierende Ermittlung eines Substanzwertes aus der PMS-Analyse.
- Detailbewertung Oberbau, Bewertungsstufe 2: Detaillierte Bewertung des Oberbaus unter Heranziehung von konventionellen und/oder GVO-basierten Materialuntersuchungen und ggf. erforderlichen Tragfähigkeitsuntersuchungen (FWD-Messungen)

- Systematische ingenieurmäßige Bewertung der strukturellen Beschaffenheit und empirische Lebenszykluskostenanalyse (LCCA – life-cycle-cost-analysis) mit folgenden Ergebnissen (unter Angabe bestimmter Unsicherheiten):
 - Erforderliche Verstärkungsdicke
 - Restlebensdauer
 - Lebenszyklus mit Lebenszykluskosten (Errichtung, Instandhaltung, Instandsetzung und Restwert)
- Work-Flow- basierte Software-Applikation (MS Excel Prototyp) zur Beurteilung der strukturellen Beschaffenheit von flexiblen und semi-flexiblen Oberbaukonstruktionen unter Heranziehung der beiden Bewertungsstufen und des Berechnungsalgorithmus
- Überprüfung des Prozesses im Rahmen einer praktischen Implementierung auf einer Teststrecke der ASFINAG (A4 Ostautobahn)
- Ausarbeitung von Empfehlungen für die Übernahme der Ergebnisse in die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS)

SUB-KRIT wurde im Rahmen von 5 Arbeitspaketen stufenweise entwickelt und umfasst folgende Ziele und Ergebnisse:

- SUB-KRIT Work-Flow (Ablaufschema, Bewertungskriterien)
- Strukturelle Oberbaubewertung in 2 Stufen (Oberbau-Screening und Detailbewertung unter Heranziehung von Materialuntersuchungen und erweiterter Zustandserfassung)
- Systematische Substanzbewertung und empirische Lebenszykluskostenanalyse (erforderliche Verstärkungsdicke, Restlebensdauer und Lebenszykluskosten)
- Work-Flow-basierte Softwareanwendung (MS Excel SUB-KRIT Software-Prototyp)
- Praktische Implementierung auf einer Teststrecke der ASFINAG (A4 Ostautobahn) und Ausarbeitung von Grundlagen bzw. Empfehlungen für eine RVS.

8.2 Technisch wissenschaftlicher Lösungsansatz

Prozessgesteuerte und -unterstützte Entscheidungshilfen sind eine wichtige Grundlage für eine objektive und nachvollziehbare Beurteilung unterschiedlicher Lösungen. Diese Form der Entscheidungsfindung wird in vielen technischen Bereichen angewendet und kann auch für die strukturelle Bewertung von flexiblen und semi-flexiblen Oberbaukonstruktionen herangezogen werden. Voraussetzung hierfür sind objektiv anwendbare Untersuchungs- und Beurteilungsverfahren, die in Österreich zur Verfügung stehen und in eine solche Entscheidungshilfe integriert werden können. Aufgrund der relativ komplexen Fragestellung,

der zum Teil mit hohem Aufwand verbundenen Untersuchungen (Zeit und Kosten) sowie der umfangreichen im Prozess zu verarbeitenden Kennzahlen und -werte ist es jedoch erforderlich, einerseits ein hohes Maß an Flexibilität in den Prozess zu integrieren und andererseits den Anwender mit den entsprechenden Instrumentarien (Tools) zu unterstützen. Von wesentlicher Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die ingenieurmäßige Bewertung, die in den Prozess integriert werden muss und den Experten die Möglichkeit gibt, seine Erfahrungen durch entsprechende Eingaben zu berücksichtigen.

Der technisch-wissenschaftliche Lösungsansatz für SUB-KRIT basiert daher auf einer elektronisch-unterstützten, prozessorientierten Entscheidungshilfe in Form des SUB-KRIT Work-Flow, welcher nachfolgend dargestellt und beschrieben wird.

Von zentraler Bedeutung für das Projekt SUB-KRIT ist die Erweiterung des Prognoseverfahrens durch die Kopplung der Ergebnisse aus der Oberbaubemessung mit der Zustandsprognose auf Basis der erhaltungsrelevanten Merkmale Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen, Längsebenheit und Griffigkeit (siehe hierzu RVS 13.01.15 [12] und RVS 13.01.16 [13]) für den schrittweisen Prozess zur Findung der optimalen Verstärkungsdicke. Technisch gesehen werden dabei unter Beibehaltung der ursprünglichen Form der Verhaltensfunktion die Daten der erweiterten Zustandserfassung, die Materialdaten und die Ergebnisse der empirischen und ggf. analytischen Verstärkungsdimensionierung genutzt, um die Verhaltensfunktion (gem. „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 [14]) dem realen Verhalten besser anzunähern. Diese Methode ist das Ergebnis des ENR-Projektes InteMat4PMS sowie des VIF2013-Projektes PROMAT. Eine solche empirisch-analytische Zustandsprognose ist die wesentliche Grundlage für die Ermittlung von Lebenszykluskosten (gem. „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009“) und der Restlebensdauer der gesamten Konstruktion (Bestand plus Verstärkung). Liegen keine Daten aus Materialuntersuchungen bzw. einer erweiterten Zustandserfassung vor, so werden die Verhaltensfunktionen – wie bisher – allein mit den Werten des Oberbau-Screenings I kalibriert. Die praktische Umsetzung des Analysealgorithmus erfolgt durch die Entwicklung und Implementierung einer Prototyp-Softwarelösung unter Heranziehung von MS Excel. Diese steht dem AG als Prototyp für die praktische Anwendung zur Verfügung.

8.3 Grundlagen des Prozesses

In der ersten Phase des Projektes wurden die entsprechenden Grundlagen analysiert und bearbeitet, sodass als maßgebendes Ergebnis dieser Projektphase ein umfassender Arbeitsprozess für die Substanzbewertung zur Verfügung steht (SUB-KRIT Workflow). Dabei

war es notwendig, die aktuellen Prozesse, welche bei der ASFINAG angewendet werden, zu untersuchen und diese mit den innovativen Möglichkeiten der Substanzbewertung zu verknüpfen.

Die Analyse des Entscheidungsprozesses erfolgte im Rahmen eines gemeinsamen Workshops am 2.11.2015 mit Vertretern der ASFINAG. Dieser organisatorische Entscheidungsprozess kann zunächst im Überblick der nachfolgenden Abbildung 48 entnommen werden.

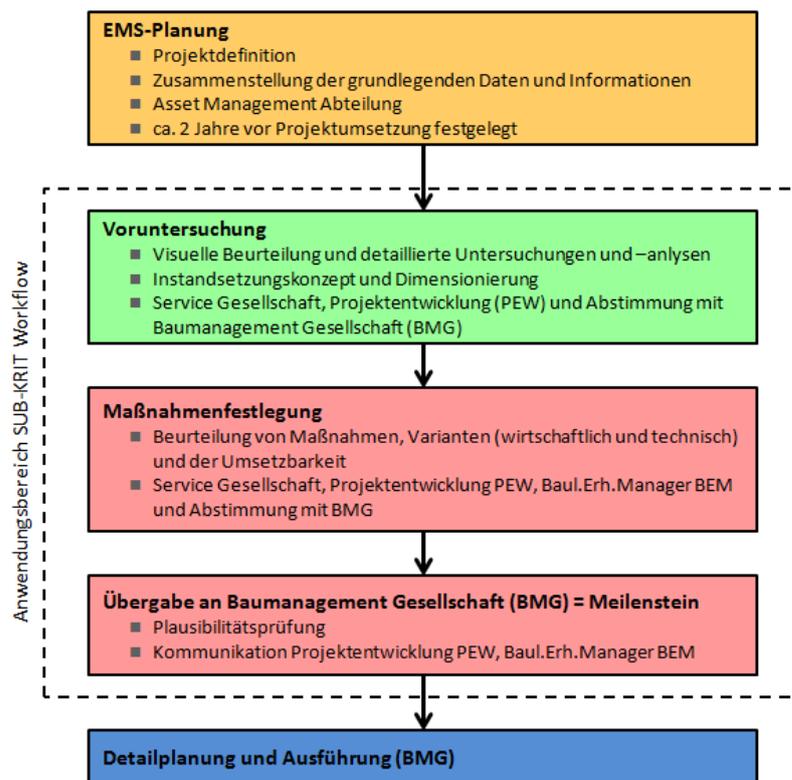


Abbildung 48: Genereller Entscheidungsprozess für die Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen auf Projektebene in der ASFINAG

Die Basis für die Initiierung des Entscheidungsprozesses auf Projektebene sind die Ergebnisse der Untersuchung der Asset Management Experten im Bereich des Erhaltungsmanagements. Dieser Bereich definiert auch das Projekt und liefert wesentliche Eingangsdaten (aus PMS-Datenbank) für den SUB-KRIT Workflow. Die Projektidee wird ca. 2 Jahre vor Umsetzung der Maßnahme im EMS-Bereich (Asset Management Abteilung, ASFINAG Service Gesellschaft) definiert und ist somit der Ausgangspunkt der nachfolgenden Prozessschritte.

Die Voruntersuchung (Dauer ca. 1 Jahr) ist die Basis für eine Entscheidungsfindung auf Projektebene und daher auch der primäre Anwendungsbereich für den SUB-KRIT Workflow.

In diesem Sinne sind auch die in der Voruntersuchung definierten Tätigkeiten direkt in den Prozess zu integrieren und auch um innovative Ergänzungen zu erweitern. Die maßgebenden Tätigkeiten im Bereich dieser Voruntersuchung, welche von der ASFINAG Service Gesellschaft, im speziellen von der Projektentwicklung (PEW), im Einvernehmen mit der Baumanagement Gesellschaft (BMG) durchgeführt werden, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Visuelle Beurteilung Erhaltungsabschnitt (Erfassung auf Projektebene)
- Bohrkernentnahme und -analyse (konventionelle Untersuchung)
- Beurteilung Spurrinnen und Griffigkeit (Daten der messtechnischen Straßenzustandserfassung)
- Erweiterte messtechnische Straßenzustandserfassungen (FWD, Georadar-Messungen, optional)
- Beurteilung ungebundene Schichten (optional)
- Chemische Untersuchungen (z.B. Schlacke, AKR)
- Instandsetzungskonzept und Dimensionierung

Die Grundlage für die Maßnahmenentscheidung auf Projektebene sind zunächst die Ergebnisse der Voruntersuchung. Die Fixierung der Maßnahmen, im Einvernehmen zwischen der ASFINAG Service Gesellschaft, der Projektentwicklung (PEW), dem Baulichen Erhaltungsmanager (BEM) und der Baumanagement Gesellschaft (BMG), basiert wiederum auf folgenden maßgebenden Prozessschritten:

- Wirtschaftlichkeit (Beurteilung über spezielle Excel-Anwendung)
- Abstimmung mit anderen Anlagen und anderen Interessensbereichen
- Beurteilung der Umsetzbarkeit
- Variantenuntersuchung, ggf. Variantenausarbeitung (kein Regelfall)

Nach der Entscheidungsfindung wird das Projekt an die Baumanagement-Gesellschaft (BMG) übergeben. Diese Übergabe ist als wesentlicher Meilenstein im Prozess definiert. Dieser Meilenstein ist auch das sinnvolle und mögliche Ende des SUB-KRIT Workflow. Mögliche Änderungen der Entscheidung können sich infolge von Plausibilitätsprüfungen ergeben bzw. als Ergebnis von Alternativen im Rahmen der Ausschreibung (falls zugelassen). Der Abschluss des Prozesses ist die Umsetzung der Erhaltungsmaßnahme, welche im Verantwortungsbereich der BMG angesiedelt ist.

8.4 SUB-KRIT Workflow

Die Kombination des technisch-wissenschaftlichen Lösungsansatzes sowie der bestehenden organisatorischen Anforderungen und der bereits vorhandenen technisch/wirtschaftlichen Bewertungsstufen (siehe vorheriges Kapitel) stellt die Grundlage für den SUB-KRIT Workflow dar. Dieser Entwurf kann der nachfolgenden Abbildung 49 entnommen werden.

Wie bereits erwähnt, wurde der SUB-KRIT Workflow so gestaltet, dass die bestehenden Aktivitäten des Entscheidungsprozesses für die Maßnahmenauswahl auf Projektebene einen integralen Bestandteil darstellen.

Im Vergleich zum aktuellen Prozess, welcher derzeit bei der ASFINAG angewendet wird, ist es notwendig, die einzelnen Schritte zu präzisieren und auch mit objektiven Grundlagen (z.B. Arbeitsanweisung Straßenzustandserfassung auf Projektebene) zu ergänzen. Darüber hinaus erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, zumindest 2 Phasen eines Oberbauscreenings (schrittweise Beurteilung der bis dato zusammengefassten Ergebnisse) im Prozess anzuwenden. Eine evtl. erforderliche erweiterte Bohrkernentnahme und -analyse (Entscheidung ob notwendig, erfolgt im Prozess) und auch notwendige GVO basierte Untersuchungen als Grundlage für die schrittweise und ggf. notwendige analytische Verstärkungsdimensionierung sowie die Lebenszyklusanalyse ergänzen den vorgeschlagenen Prozess zu einer holistischen Anwendung.

Die primäre Zielsetzung des Prozesses liegt in der Bereitstellung einer objektiven Entscheidungsgrundlage für das Finden einer optimalen Verstärkungsdicke anhand einer umfassenden strukturellen Bewertung. Gerade die schrittweise und ggf. notwendige analytische Verstärkungsdimensionierung in Kombination mit der Lebenszykluskostenanalyse ermöglicht es dem Anwender, seine Lösungen objektiv zu bewerten und zu beurteilen.

Die Abbildung 49 zeigt die schrittweise Herangehensweise bei der Beurteilung der Substanz. Mit den vorhandenen Daten und Informationen, die aus der Betrachtung der Netzebene (periodische Zustandserfassung, PMS-Daten, Verkehrsdaten, etc.) sowie möglicher Voruntersuchungen zur Verfügung stehen, ist zunächst eine generelle Beurteilung (Oberbauscreening I) vorzunehmen. Eine erste Auswahl möglicher Lösungen sollte zu diesem Zeitpunkt bereits möglich sein bzw. zumindest eine Aussage, ob eine vertiefende Zustandserfassung und -bewertung zusätzliche Informationen liefern kann.

Nach Beurteilung der Daten sowie darauf aufbauender Kennzahlen (z. B. Substanzwert) kann eine erste Festlegung von notwendigen Bohrkernentnahmen und drauf aufbauenden Analysen erfolgen. Die Materialuntersuchungen beziehen sich dabei in Abhängigkeit von den Anforderungen zunächst auf konventionelle Prüfungen (Beurteilung der

Bindemittleigenschaften, Sieblinie, etc.). Die Ergebnisse können unter Berücksichtigung der Einhaltung oder Nichteinhaltung bestimmter Anforderungen bzw. Vorgaben in einer vertieften Beurteilung zusammengefasst werden (Oberbauscreening II). Anhand dieser Ergebnisse ist auch eine Entscheidung über die Anwendung von gebrauchungsverhaltensorientierten (GVO) Prüfungen (rheologischen Bindemittleigenschaften, Verformungswiderstand, Steifigkeit, Ermüdungsprüfung, Ermüdungswiderstand, Widerstand gegen Kälterissbildung, etc.) sowie über erforderliche zusätzliche Bohrkernentnahmen möglich. Das Ergebnis dieser Beurteilung ist eine detaillierte Aussage über den Ermüdungszustand des Bestandes (der einzelnen gebundenen Schichten) bzw. darüber, ob der Bestand tatsächlich einer Verstärkungsmaßnahme unterzogen werden kann.

Sowohl die Ergebnisse des Oberbauscreenings (I+II) als auch die Ergebnisse einer möglichen GVO-Untersuchung stellen die Eingangsgrößen für die systematische Beurteilung und Bewertung von möglichen Verstärkungsdicken mit empirischer Zustandsprognose in Form einer Lebenszykluskostenanalyse dar. Die Ermittlung der Restlebensdauer des Bestandes sowie einer erforderlichen Verstärkungsdicke erfolgt auf der Grundlage eines schrittweisen Prozesses, wo der Anwender die Möglichkeit hat, unterschiedliche Lösungen zu untersuchen und zu bewerten. Im Zuge der schrittweisen Abschätzung der Verstärkung wird der geschichtete Straßenaufbau in einem empirischen Modell abgebildet, das eine Kombination aus Bewertung des Bestandes sowie möglicher Verstärkungsdicken (in Abhängigkeit von der Anzahl der zu entfernenden Schichten) ermöglicht.

Wurden im Rahmen der Bewertung GVO-Untersuchungen durchgeführt, so kann die Lebenszykluskostenanalyse durch eine Anpassung der standardisierten Kalibrierfaktoren der Zustandsprognosemodelle verbessert werden. Die Notwendigkeit einer analytischen Verstärkungsdimensionierung ist einerseits abhängig von den ausgewählten Verstärkungsmaterialien und andererseits von den Ergebnissen der konventionellen Prüfungen (Oberbauscreening II) oder von ggf. durchgeführten GVO-Untersuchungen der Materialien der gebundenen Schichten. Die wesentliche Aussage ist die zu erwartende Lebensdauer des verstärkten Oberbaus als maßgebende Eingangsgröße für die Beurteilung der Lösung im Rahmen der finalen Lebenszykluskostenbewertung. Werden standardisierte Materialien eingesetzt und weisen die Ergebnisse der bereits durchgeführten Untersuchungen auf eine ausreichende Tragfähigkeit des Bestandes hin, so kann auch auf eine komplexe analytische Verstärkungsdimensionierung verzichtet werden.

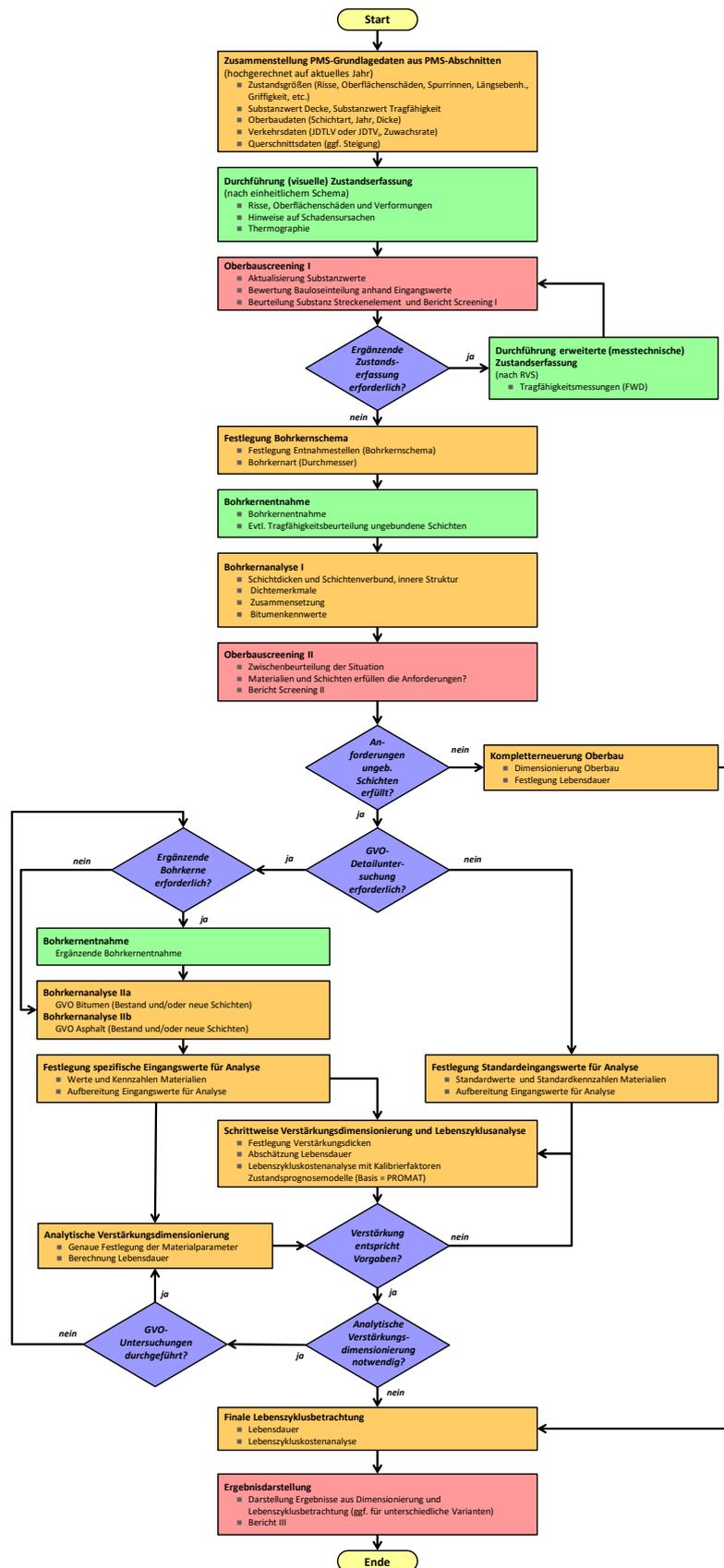


Abbildung 49: SUB-KRIT Workflow

Die Abbildung 49 zeigt sehr deutlich, dass der vorgeschlagene Entscheidungsprozess mit einer stufenweisen Vertiefung der Untersuchung einhergeht und auch in Abhängigkeit von der Aussagekraft der Ergebnisse abgekürzt und somit effizient gestaltet ist. Als Grundlage für die Beurteilung, ob ggf. eine umfangreiche und teilweise teure GVO-basierte Untersuchung angewendet werden muss oder eine analytische Verstärkungsdimensionierung notwendig ist, werden im Oberbauscreening I und II die vorhandenen Werte und Parameter eingehend untersucht. Eine entsprechende Entscheidung für diese zusätzlichen Untersuchungen und Analysen erfolgt im Ergebnisbericht des Oberbauscreenings II bzw. im Rahmen der schrittweisen Abschätzung der Verstärkungsdicke.

8.5 SUB-KRIT Berechnungsalgorithmen

Wie bereits beschrieben, besteht der gesamte Bewertungsprozess aus Einzelschritten, die es dem Anwender erlauben, mit vorhandenen und neu erfassten Informationen eine Aussage über den aktuellen strukturellen Zustand des Oberbaus vorzunehmen und darauf aufbauend auch eine Entscheidung für eine mögliche Erhaltungsmaßnahme zu tätigen. Im Ergebnisbericht sind unter Bezugnahme auf den zuvor beschriebenen Bewertungsprozess die einzelnen Teilschritte mit den erforderlichen Berechnungsformeln im Detail beschrieben. Die wichtigsten Schritte und ausgearbeiteten Berechnungsalgorithmen sind nachfolgend aufgelistet:

- Zusammenstellung der PMS-Grundlagedaten
 - Eingangsdaten Schichtaufbau Bestand
 - Berechnung Zustandsgrößen aus der systematischen Straßenzustandserfassung
 - Eingangswerte Verkehrsbelastung
- Visuelle Zustandserfassung und Bewertung
 - Aufnahme Oberflächenschäden und Risse
 - Durchführung und Eingangsdaten Thermographie
 - Eingrenzung Schadensursachen
- Oberbauscreening I
 - Grundlagen des Oberbauscreenings I
 - Kennzahlen des Oberbaus
- Beurteilung der Tragfähigkeit im Rahmen von Deflektionsmessungen
 - Abschätzung der Tragfähigkeit

- Anpassung der Substanzwerte infolge Tragfähigkeitsmessungen
- Bohrkernanalyse I
 - Festlegung Bohrkernschema
 - Empfohlene Bohrkernanalysen
- Oberbauscreening II
 - Beurteilung des Bestandes
 - Festlegung weitere Vorgehensweise als Ergebnis des Oberbauscreening II
- Gebrauchsverhaltensorientierte Untersuchungen Material
 - Erweiterung Bohrkernentnahmen
 - Bohrkernanalyse II
 - Berücksichtigung der GVO Eingangsdaten
- Schrittweise empirische Verstärkungsdimensionierung
 - Eingangswerte und Vorgehensweise
 - Ergebnisse
- Lebenszykluskostenanalyse des verstärkten Oberbaus
 - Zustandsprognose
 - Erhaltungsmaßnahmen
 - Kostenbewertung
- Analytische Verstärkungsdimensionierung
 - Anforderungen analytische Verstärkungsdimensionierung
 - Beschreibung der Vorgehensweise
 - Ergebnisse der analytischen Verstärkungsdimensionierung

Auf der Grundlage der einzelnen Bewertungsschritte kann ein holistischer Prozess durchgeführt werden, der je nach Entwicklung der Ergebnisse individuell anzupassen ist.

8.6 SUB-KRIT MS Excel Prototyp

Auf der Grundlage der ausgearbeiteten Grundlagen wurde ein auf MS-Excel basierender Prototyp entwickelt, der es dem Anwender erlaubt, die im Prozess notwendigen Einzelschritte im Rahmen einer ingenieurmäßigen Beurteilung nachvollziehbar, objektiv und umfassend dokumentiert vorzunehmen. Der SUB-KRIT MS Excel Prototyp (siehe auch Abbildung 50) besteht aus mehreren Registerblättern, die den Prozess 1:1 nachbilden.

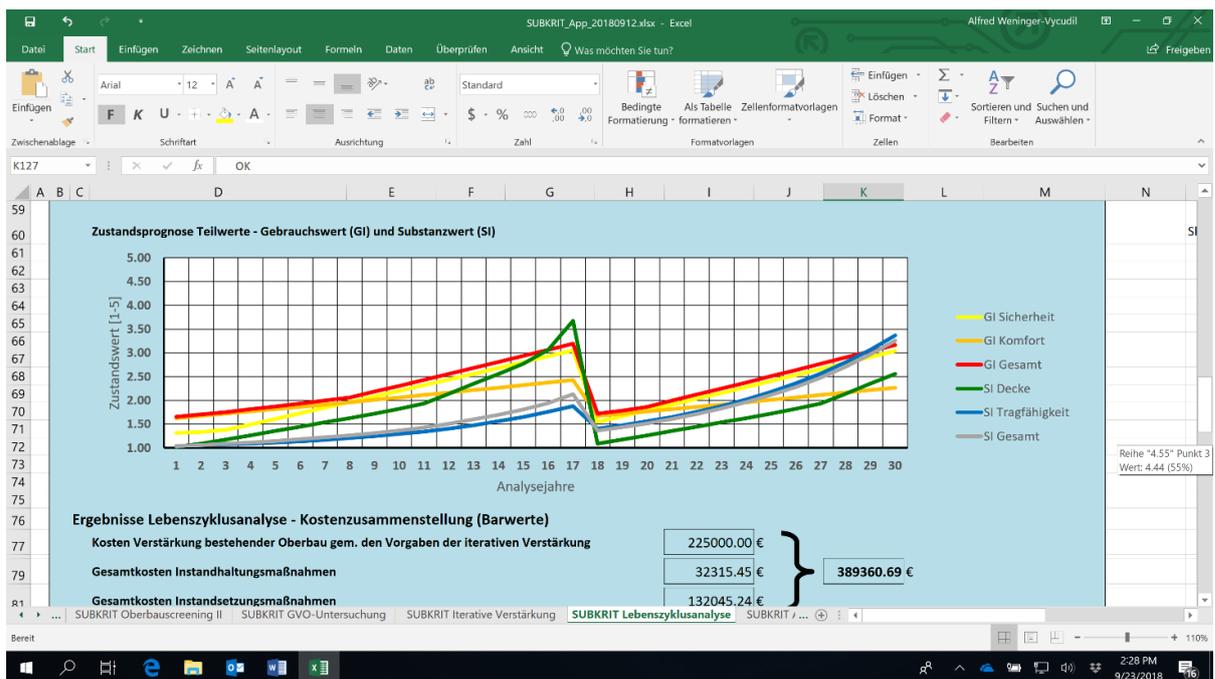
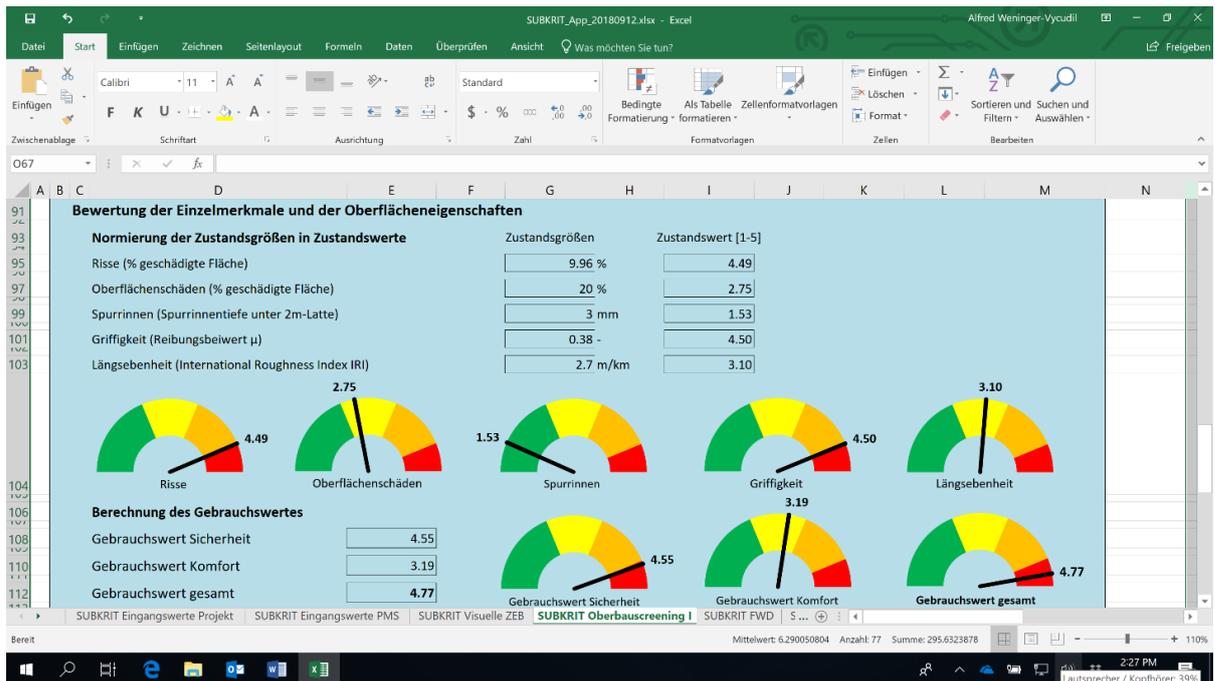


Abbildung 50: Bildschirmausdruck SUB-KRIT MS Excel Prototyp

8.7 Praktische Anwendung auf einer Teststrecke

Der im Rahmen des Projektes entwickelte Prozess wurde auf einer Teststrecke auf der A4 (bei km 20,000, Richtungsfahrbahn Ungarn) praktisch angewendet und getestet. Dabei wurde der gesamte Prozess methodisch durchlaufen und eine entsprechende Bewertung vorgenommen.

Die maßgebenden Meilensteine der praktischen Anwendung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Aufbereitung der Daten aus dem PMS-System der ASFINAG
- Messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR
- Visuelle Zustandserfassung gem. den Vorgaben von SUB-KRIT
- FWD-Messungen
- Bewertung des Oberbaus und Abschätzung der Verstärkungsdicke
- Durchführung von Materialuntersuchungen zur Ermittlung notwendiger Eingangswerte
- Lebenszyklusanalyse
- Bewertung und Darstellung der Ergebnisse

Die praktische Anwendung hat gezeigt, dass der entwickelte Algorithmus unter Heranziehung des zuvor beschriebenen SUB-KRIT MS Excel Prototyps relativ einfach angewendet werden kann, wobei eine ingenieurmäßige Bewertung der Ergebnisse und Fakten ein hohes Maß an Grundlagenwissen voraussetzt. Dabei müssen die Ergebnisse manuell nachbearbeitet bzw. überprüft und ggf. auch angepasst werden.

Ein Meilenstein bei der Beurteilung von Erhaltungsmaßnahmen ist die Einbindung von Ergebnissen von Materialuntersuchungen im Labor in die Zustandsprognose. Mit den Projekten InteMat4PMS, PROMAT und PMS-Niedersachsen wurden die Grundlagen hierfür geschaffen, sodass ein ganzheitlicher, empirisch-analytischer Bewertungsansatz für die Ermittlung der Restlebensdauer und notwendiger Verstärkungsdicken bei Start des Projekts SUB-KRIT bereits größtenteils zur Verfügung stand. Die praktische Anwendung dieser zukunftsorientierten Vorgehensweise hat deutliche Vorteile gegenüber der klassischen analytischen Dimensionierung gezeigt, die keine Prognose des Zustandes ermöglicht und somit für eine nachhaltige Bewertung weniger geeignet ist.

8.8 Zusammenstellung der Grundlagen für die RVS

In der letzten Phase des Projektes wurden die Erkenntnisse umfangreich dokumentiert und stehen somit für eine Verwendung bzw. Einarbeitung in zukünftige RVS-Richtlinien zur Verfügung. Dabei wird empfohlen, in erster Linie den Prozess zu beschreiben und die mathematische Formulierung der Prozessschritte durch Querverweise auf aktuelle Projekte und Arbeiten vorzunehmen, sodass eine RVS-Richtlinie für die strukturelle Bewertung des Oberbaus auf Projektebene eine effiziente, nachvollziehbare und lesbare Grundlage darstellt.

Eine falsche bzw. mangelnde Beurteilung des Bestandes von Asphaltbefestigungen führt nicht nur zu wirtschaftlich sub-optimalen Lösungen. Auch die Auswirkungen auf die Verkehrsteilnehmer (Kunden) sind von wesentlicher Bedeutung, sodass die Auswahl einer geeigneten Erhaltungsmaßnahme mit einer geringstmöglichen Beeinträchtigung (betrachtet über eine längere Periode) im Vordergrund stehen muss. In diesem Sinn sind die technischen und kundenspezifischen Anforderungen in den Entscheidungsprozess zu integrieren (z.B. Berechnung der Baustellenfreiheit), was nur dann möglich ist, wenn die unterschiedlichen Bewertungsverfahren auch zu einem Gesamtprozess zusammengefügt werden und in einer RVS verankert sind (Empfehlung Merkblatt).

LITERATUR

- [1] Weninger-Vycudil A., et.al.: ELISA^{ASFINAG} - Erhaltungsziel integraler Substanzwert im Anlagenmanagement der ASFINAG. Forschungsprojekt im Rahmen der VIF 2012, Ergebnisbericht, Wien 2015
- [2] Weninger-Vycudil A., et.al.: PROMAT – Zustandsprognose und Materialtechnologie. Forschungsprojekt im Rahmen der VIF 2013, 1. Zwischenbericht, unveröffentlicht, Wien 2014
- [3] Wistuba M., Weninger-Vycudil A., Mladenovic G., Alisov A. and Litzka J.: InteMat4PMS - Integration of material-science based performance models into life-cycle analysis processed in the frame of pavement management systems, Final Report, Research project, ERA-NET ROAD II – Coordination and Implementation of Road Research in Europe within the 7th Framework Program of the European Community, 2013
- [4] Blab R., et.al.: OBESTO - Implementierung des GVO und LCCA-Ansatzes in die österreichische Bemessungsmethode für Straßenoberbauten. Forschungsprojekt im Rahmen der VIF 2011, Ergebnisbericht, Wien 2013
- [5] RVS 03.08.63: Bautechnische Details - Oberbaubemessung. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien, 2016
- [6] RVS 13.01.18: Bauliche Erhaltung – Zustandsanalyse und bauliche Erhaltung auf Projektebene. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien, 1996
- [7] RVS 13.01.41: Bauliche Erhaltung - Grundlagen für Zustands- und Maßnahmenbeurteilung. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien, 2015
- [8] RSO Asphalt 2014 - Richtlinie zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus. Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, 2015
- [9] Weninger-Vycudil A., et.al.: Pilot-Forschungsprojekt PMS Niedersachsen. ISBS im Auftrag der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, Braunschweig, 2015
- [10] RVS 03.08.64: Bautechnische Details - Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien, 1992
- [11] RDO Asphalt 2009: Richtlinie für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt 09). Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln 2009
- [12] RVS 13.01.15: Bauliche Erhaltung - Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien, 2006
- [13] RVS 13.01.16: Bauliche Erhaltung - Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien, 2012
- [14] 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

-
- [15] Fouad, N. A., Richter, T.: Infrarot-Thermografie in der Praxis. 12. Jahrgang, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2012.
 - [16] Wistuba, M. und Walther, A.: Qualitätssicherung von Asphaltstraßen im Herstellungsprozess mittels Thermografie (Thermo-QS), Projekt der Verkehrsinfrastrukturforschung VIF 2014 im Auftrag der ASFINAG und des BMVIT, Schlussbericht, Mai 2017
 - [17] Weninger-Vycudil A., Simanek P., Brozek B. und Litzka J.: Handbuch Pavement Management in Österreich, Version 2016. Im Auftrag der ASFINAG, Wien, 2016 (unveröffentlicht)
 - [18] American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C., 1993
 - [19] Weninger-Vycudil A.: Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches PMS. Dissertation, ausgeführt am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, 2001
 - [20] 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
 - [21] RVS 11.06.72: Tragfähigkeitsmessungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien, 2018
 - [22] Fuchs M.: Fallgewichtsdeflektionsmessung zur Tragfähigkeitsbestimmung (Endbericht COST 336). Straßenforschung im Auftrag des BMVIT, Heft 511, Wien, 2001
 - [23] RVS 03.08.68: Bautechnische Details - Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen. Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien, 2018
 - [24] ASFINAG: Planungshandbuch Straße – Bau. Technisches Planungshandbuch der ASFINAG, Wien, 2015