

Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken

von

Peter Haardt

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 22

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M- Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 97 245:
Analyse und Weiterentwicklung von Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43 - 0
Telefax (0 22 04) 43 - 674

Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax (04 71) 9 45 44 77

ISSN 0943-9293

ISBN 3-89701-286-3

Bergisch Gladbach, Februar 1999

Kurzfassung · Abstract

Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken

Die Zustandsbewertung von Brücken- und Ingenieurbauwerken im Bereich der Bundesfernstraßen wird nach DIN 1076 und RI-EBW-PRÜF durchgeführt und beinhaltet eine detaillierte Erfassung und Bewertung von Einzelschäden und -mängeln und darauf aufbauend eine mehr oder weniger subjektive Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks. Bei der Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks gehen die wesentlichen Einzelinformationen der Bauwerksprüfungen über Schadensschwere, -ort und -menge verloren. Die bisherige Vorgehensweise ist nicht ausreichend für eine optimierte Erhaltungsplanung im Rahmen eines geplanten Managementsystems der Bauwerkserhaltung (BMS).

Im vorliegenden Bericht wird ein neues Verfahren zur detaillierten Zustandsbewertung von Brücken- und Ingenieurbauwerken nach einheitlichen Kriterien beschrieben. Dieses Verfahren soll als Grundlage für ein angestrebtes, umfassendes BMS dienen.

Unter Berücksichtigung des spezifischen Informationsbedarfes von Bund und Ländern bei der Erhaltungsplanung und der vorgegebenen Rahmenbedingungen wurde ein Verfahren der Zustandsbewertung auf der Basis der bewährten Einzelschadensbewertungen konzipiert. Das dargestellte Verfahren beinhaltet eine automatisierte Zustandsbewertung nach einheitlichen Kriterien für einzelne Bauteilgruppen und das Gesamtbauwerk unter Verwendung der Ergebnisse der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, die im Rahmen des überarbeiteten Programmsystems BW-PRUF (als DOS-Version) oder als Teil der Straßeninformationsbank SIB-Bauwerke (als Windows-Version) erfolgen kann:

Zustandsbewertung = f (Schadensbewertung, Schadensumfang, Anzahl der Einzelschäden)

Der Einsatz dieses Verfahrens benötigt gegenüber dem bisherigen Verfahren zusätzliche Angaben des Prüfers, die jedoch in ihrem Umfang begrenzt bleiben:

- Bewertung der Einzelschäden getrennt nach den Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit (unter Berücksichtigung eines Bewertungskatalogs).

- Angabe des geschädigten Bauteils (wie bisher nach RI-EBW-PRÜF).
- Angabe der Schadensmenge und des Schadensortes (neu: Umfang des Einzelschadens „klein“, „mittel“, „groß“).

Weiterhin werden im Programmsystem eine Reihe von Vorgaben gemacht, auf die der Prüfer keinen Einfluß hat:

- Einführung von Bauteilgruppen gemäß ASB, Teilsystem Bauwerksdaten.
- Rechnerische Zustandsbewertung für Bauteilgruppen unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Bewertungsschlüssels.
- Rechnerische Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks unter Berücksichtigung der Zustandsbewertung der Bauteilgruppen.

Das Programmsystem gibt als Information die Zustandsnote des Gesamtbauwerks im Prüfbericht aus. Zustandsnoten für Bauteilgruppen werden intern gespeichert.

Der vorliegende Schlußbericht enthält neben Erläuterungen zum Verfahren der Zustandsbewertung Definitionen zur Schadens- und Zustandsbewertung und eine Parameterstudie zum Einfluß maßgebender Größen.

Der Originalbericht enthält darüber hinausgehend als Anlagen einen Katalog typischer Schadensbilder zur Sicherstellung einer einheitlichen Schadensbewertung und ein Beispiel zur Schadens- und Zustandsbewertung. Auf diese Anlagen wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie sind jedoch auch Bestandteil der Richtlinie RI-EBW-PRÜF und bei Bedarf dieser zu entnehmen.

Algorithms for the assessment of the condition of civil engineering structures

The evaluation of the condition of bridge and civil engineering structures along federal trunk roads and autobahns is carried out in accordance with DIN 1076 and RI-EBW-PRÜF and includes detailed rating and evaluation of individual areas of damage and individual defects and, based on this, a more or less subjective evaluation of the condition of the

total structure. The main data from the structural examinations relating to the degree, location and extent of the damage is lost in the evaluation of the condition of the whole structure. The procedure used hitherto is not sufficient to ensure optimal preservation planning as part of a planned management system for structure preservation (BMS).

The present report describes a new procedure for carrying out a detailed evaluation of the condition of bridge and civil engineering structures according to standardised criteria. It is intended that this procedure acts as a basis for a future, comprehensive BMS.

The design of the procedure for condition evaluation was based on the tried and tested evaluations for individual areas of damage in order to take into consideration the specific information requirements of the Federal Government and the Laender regarding preservation planning and the specified framework conditions. The procedure presented contains an automated condition evaluation system according to standardised criteria for individual components groups and for the total structure using the results of the structure tests carried out in accordance with DIN 1076; the evaluation can be carried out as part of the revised programme system BW-PRUF (as a DOS version) or as part of the specific road information database on structures (as a Windows version):

Condition evaluation = f (damage evaluation, extent of damage, number of individual areas of damage)

Compared with the procedure used to date, the new procedure requires a limited number of additional details to be given by the tester:

- evaluation of the individual areas of damage divided according to the following criteria: stability, traffic safety and durability (taking into account an evaluation catalogue);
- recording of the damaged component (as to date in accordance with RI-EBW-PRÜF);
- recording of the number of individual areas of damage and the type of damage (new: size of the individual areas of damage „small”, „medium”, „large”).

In addition to this a series of specifications are made in the programme system over which the tester has no influence:

- introduction of component groups in accordance with ASB, Teilsystem Bauwerksdaten;
- mathematical evaluation of the condition of component groups taking into consideration a specified evaluation key;
- mathematical evaluation of the condition of the total structure taking into account the evaluation of the condition of the component groups.

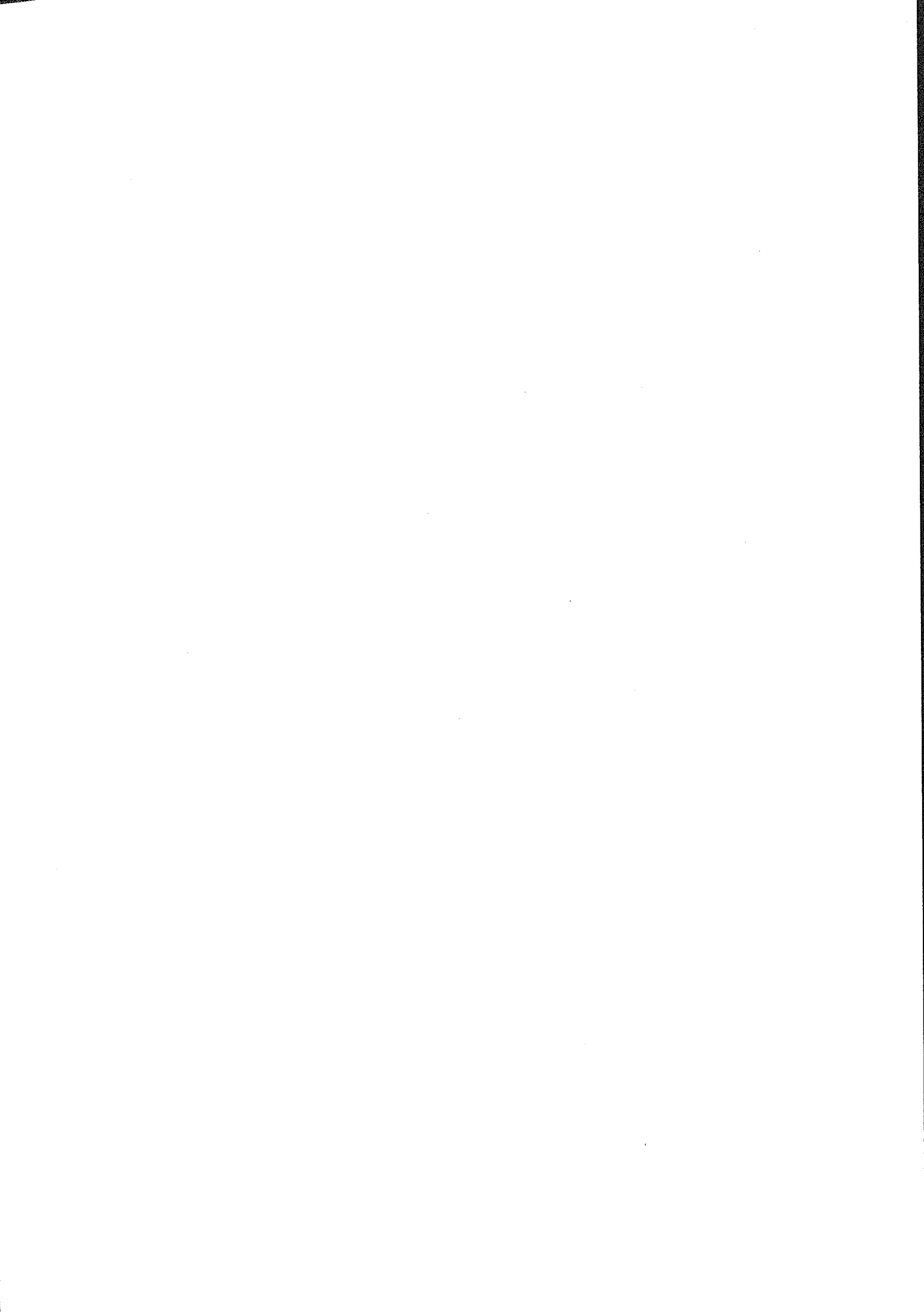
The programme system records in the report the assessment mark for the condition of the total structure. The marks for the condition of component groups are recorded internally.

In addition to explanations regarding the procedure for evaluating the condition of structures this report contains definitions related to damage and condition evaluations and a study on the influence of significant parameters.

In addition to this the original report includes appendices which contain both a catalogue of typical damage profiles to ensure a standardised damage evaluation and an example of damage and condition evaluation. These appendices have been omitted from the present publication. They do however form part of the RI-EBW-PRÜF regulation and should be consulted there as required.

Inhalt

1	Einleitung	7	6	Zusammenfassung	40
1.1	Problemstellung und Zielsetzung.....	7			
1.2	Durchführung des Projekts	7	7	Literatur	41
2	Grundlagen	8			
2.1	Begriffliche Grundlagen	8			
2.2	Zustandserfassung von Brücken- und Ingenieurbauwerken im Zuge von Bundesfernstraßen	8			
2.3	Zustandsbewertung von Brücken- und Ingenieurbauwerken im Rahmen des geplanten Managementsystems der Bauwerkserhaltung	9			
3	Verfahren der Zustandsbewertung	10			
3.1	Allgemeine Bewertungsverfahren	10			
3.2	Schadens- und Zustandsbewertung nach RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1994.....	11			
3.3	Zustandsbewertung im Rahmen von Vorschlägen der TH Darmstadt zur Entwicklung eines Managementsystems der Bauwerkserhaltung	12			
3.4	Verfahren der BAST zur detaillierten Zustandsbewertung nach einheitlichen Kriterien	14			
4	Anforderungen an ein Verfahren der Zustandsbewertung im Rahmen des geplanten Managementsystems	15			
4.1	Allgemeine Anforderungen	15			
4.2	Analyse des BAST-Verfahrens	16			
4.2.1	Struktur der Prüfdaten	16			
4.2.2	Parameterstudie	20			
4.3	Festlegungen der Arbeitsgruppen des Bundes und der Länder	33			
5	Darstellung eines neuen Verfahrens der Schadens- und Zustandsbe- wertung	33			
5.1	Grundzüge des Verfahrens.....	33			
5.2	Schadensbewertung	34			
5.3	Zustandsbewertung	36			



1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Altersstruktur des Bestandes an Brücken sowie zunehmendes Verkehrsaufkommen und höhere Gesamtgewichte der Fahrzeuge geben Anlaß zu der Befürchtung, daß es in Zukunft zu einem starken Anstieg der Erhaltungskosten kommen wird. Darüber hinaus ist mit geringer werdenden Finanzmitteln zu rechnen. Aus diesem Grunde wird es erforderlich, eine Optimierung der Planung bezüglich des Einsatzes von Erhaltungsmitteln durchzuführen.

Grundlage einer optimierten Erhaltungsplanung ist die Erlangung bestmöglicher Informationen über den Zustand und über eventuelle Schäden von Ingenieurbauwerken. Informationen dieser Art werden bereits nach bestehenden Regelwerken erfaßt. DIN 1076 [1] regelt die technische Überwachung und Prüfung der Standsicherheit und Verkehrssicherheit von Brücken, Tunneln, Durchlässen und sonstigen Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen und Wegen. Die Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF) [2] enthält Regeln für eine einfache und einheitliche Protokollierung der Prüfbefunde.

Aufgrund der Neufassung der Anweisung Straßeninformationsbank (ASB), Teilsystem Bauwerksdaten [3], und der gewonnenen Erfahrungen der Länderverwaltungen zur bisherigen Vorgehensweise bei der Bauwerksprüfung wurde eine Überarbeitung der RI-EBW-PRÜF erforderlich. Neben der Anpassung der Verschlüsselungen an die Neuausgabe der ASB und der Einbeziehung von Stellungnahmen zur Richtlinie erfolgt dabei eine Überarbeitung des Verfahrens der Schadens- und Zustandsbewertung.

Das bisherige Verfahren nach RI-EBW-PRÜF ist gekennzeichnet durch eine detaillierte Schadenserfassung und die mehr oder weniger subjektive Vergabe einer globalen Zustandsnote. Für die Verwendung im Rahmen von Verfahren zur Sicherstellung einer systematischen Bauwerkserhaltung im Bundesfernstraßennetz ergibt sich jedoch vielmehr die Notwendigkeit einer detaillierten Zustandserfassung und Bewertung nach möglichst einheitlichen Kriterien.

Im Rahmen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 werden bereits umfassende Daten erhoben, die zu einer detaillierten Zustandsbewertung herangezogen werden können. Eine Grundlage für die Über-

arbeitung der RI-EBW-PRÜF in dieser Hinsicht wurde bereits mit dem Schlußbericht zum Projekt 97243/B4 "Erarbeitung von Kriterien zur Zustandserfassung und Schadensbeurteilung von Ingenieurbauwerken" vorgelegt [4]. Darin wurden Kriterien für eine detaillierte Bewertung entwickelt und Algorithmen zur Zustandsbewertung erarbeitet.

Vor der Umsetzung des Verfahrens bei der Fortschreibung der RI-EBW-PRÜF wurde festgelegt, die betreffenden Algorithmen und Parameter unter Berücksichtigung von realen Prüfdaten zu verifizieren und zu kalibrieren.

1.2 Durchführung des Projekts

Das im AP-Projekt 97243/B4 entwickelte Verfahren basiert zum einen auf den üblichen Angaben zur Schadensbewertung nach RI-EBW-PRÜF und zum anderen auf einer Abschätzung des prozentualen Umfanges der Schädigung gewisser Erhaltungskategorien. Diese Abschätzung erfolgt bislang ausschließlich bei Bauwerksprüfungen des Landschaftsverbands Rheinland innerhalb einer sogenannten Bedarfsleiste als Grundlage für eine Kostenprognose. Daher konnten bei der Bearbeitung des Projekts nur vom Landschaftsverband Rheinland zur Verfügung gestellte Prüfdaten zur Verifizierung des Verfahrens eingesetzt werden.

Im Rahmen der Bearbeitung erfolgte zunächst eine Sichtung und Analyse der Datensätze. Die Daten wurden anschließend zur Bewertung der bisherigen Algorithmen und der darin berücksichtigten Parameter eingesetzt.

Das Projekt wurde begleitet durch eine Betreuungsgruppe, in der Vertreter der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Erhaltung, der Arbeitsgruppe RI-EBW-PRÜF und des BMV beteiligt waren. Die in dieser Gruppe getroffenen Festlegungen zum Verfahren der Zustandsbewertung führten dazu, daß eine grundsätzliche Überarbeitung des Verfahrens erforderlich wurde. Insofern mußte vom ursprünglichen Ziel des Projektes, nämlich Kalibrierung des bereits konzipierten Verfahrens, abgewichen werden.

Im vorliegenden Bericht wird zunächst auf die Grundlagen der Zustandsbewertung bei der Erhaltungsplanung und auf die bisherigen Verfahren der Zustandsbewertung eingegangen. Aus einer Analyse der vorliegenden Prüfdaten, des ursprünglich konzipierten Verfahrens sowie der Festlegungen der Betreuungsgruppe ergeben sich Anforderungen an ein neues Bewertungsverfahren, das im Rahmen des Projektes entwickelt wurde und abschließend erläutert wird.

2 Grundlagen

2.1 Begriffliche Grundlagen

Als Ergebnis der Untersuchungen soll ein Teilmodul eines Managementsystems der Erhaltung von Bauwerken (BMS) bereitgestellt werden. Die Beschreibung und Abgrenzung der Aufgabenstellung erfordert einige begriffliche Definitionen aus dem Gebiet der Erhaltung von Ingenieurbauwerken.

Die **Erhaltung** von Bauwerken beinhaltet alle baulichen und verwaltungsmäßigen Aufwendungen für:

- die **bauliche Unterhaltung** (bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs, die den Gebrauchswert nicht anheben),
- die **Instandsetzung** (bauliche Maßnahme größeren Umfangs, die eine deutliche Anhebung des Gebrauchswertes bewirken),
- die **Erneuerung** (Ersatz von Bauwerksteilen, durch die der volle Gebrauchswert wieder hergestellt wird) und
- **Umbau/Ausbaumaßnahmen** ohne kapazitive Wirkung.

In Abgrenzung dazu bestehen auf der einen Seite die Maßnahmen der "Betrieblichen Unterhaltung" (u.a. Betriebskosten, Pflege, Winterdienst, Vorhaltung von Immobilien und Gerät) und auf der anderen Seite die "Erweiterungsmaßnahmen" (Umbau/Ausbaumaßnahmen mit kapazitiver Wirkung auf das Straßennetz und Neubau, Erstanlagen).

Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen fallen nach längeren Zeiträumen größtenteils periodisch an. Sie lassen sich vorherplanen und in Modellanalysen einbeziehen.

Der Gebrauchswert, der mit Hilfe der o.g. Maßnahmen erhalten oder verbessert werden soll, wird durch den Zustand des Bauwerks beschrieben. Das Fernstraßengesetz definiert die Aufgaben der Straßenbaulast als die Gesamtheit der notwendigen Maßnahmen, die erforderlich sind, um die Straße für die Öffentlichkeit in einem tauglichen Zustand zur Verfügung zu stellen. Dabei ist der Straßenbaulastträger dafür verantwortlich, daß seine Bauten allen Anforderungen der Sicherheit (Standssicherheit, Verkehrssicherheit) und Ordnung (Dauerhaftigkeit, Funktionstüchtigkeit) genügen [5].

Hinweise, ab welchem Zustand eine Beeinträchtigung dieser Kriterien vorliegt, werden in [2] gegeben:

- Eine **Beeinträchtigung der Standssicherheit** liegt vor, wenn infolge von Schäden das Trag-

werk die planmäßige Beanspruchung nicht mehr aufnehmen kann.

- Eine **Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit** liegt vor, wenn Schäden an Bauteilen oder die Bauteilausbildung bei der außerplanmäßigen Nutzung des Bauwerks zur Gefährdung der Verkehrsteilnehmer auf bzw. unter dem Bauwerk führen. Eine **akute Beeinträchtigung** der Verkehrssicherheit liegt vor, wenn bei der planmäßigen Nutzung des Bauwerks Verkehrsteilnehmer gefährdet werden.
- Eine **Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit** liegt vor, wenn Schäden an Bauteilen bei planmäßiger Nutzung zu erhöhten Verschleißerscheinungen führen, die den Zerfall der Substanz beschleunigen.

Darüber hinaus liegt eine **Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit** vor, wenn das Bauwerk als Ganzes oder Teile desselben den bestimmungsgemäßen Gebrauch nicht mehr gewährleisten.

Im Zusammenhang mit der Zustandsbewertung ist festzulegen, welche Anlagenanteile der Straßeninfrastruktur in weitergehende Überlegungen einzubeziehen sind.

Die Anlagenanteile der Straßeninfrastruktur bestehen aus Straßenverkehrs- und Nebenanlagen. Die Straßenverkehrsanlagen umfassen dabei den Straßenoberbau, sonstige Anlagenteile von Straßen wie Unterbau, Bepflanzung, Zubehör und Ingenieurbauwerken. Die Nebenanlagen werden durch Betriebsflächen, Nebenbetriebe und sonstige Hochbauten wie z.B. Gebäude von Meistereien gebildet. Zu den hier zu berücksichtigenden Ingenieurbauwerken gehören:

- Brücken,
- Verkehrszeichenbrücken,
- Tunnel und Trogbauwerke,
- Lärmschutzbauwerke,
- Stützbauwerke und
- sonstige Bauwerke

Abgrenzungen und Definitionen dieser Bauwerke werden in der ASB, Teilsystem Bauwerksdaten [3], gegeben.

2.2 Zustandserfassung von Brücken- und Ingenieurbauwerken im Zuge von Bundesfernstraßen

Zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit, aber

auch aufgrund ökonomischer Notwendigkeiten kommt der Überwachung und Prüfung von Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen besonderes Gewicht zu. Im Gegensatz zu anderen Bauwerken, bei denen eine Bauwerksprüfung erst dann durchgeführt wird, wenn Veränderungen auffällig werden, erfolgt die Überwachung und Prüfung von Ingenieurbauwerken im Verkehrsraum in zeitlich festgelegten Abständen nach DIN 1076 [1].

Die Bauwerksüberwachung nach DIN 1076 setzt sich zusammen aus der in der Regel vierteljährlich stattfindenden, laufenden Beobachtung zur Feststellung offensichtlicher Mängel und der einmal jährlich stattfindenden Besichtigung.

Die Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 sind aufgeteilt in:

- Einfache Prüfung in der Regel in Zeitabständen von drei Jahren,
- Hauptprüfungen in zeitlichem Abstand von sechs Jahren,
- Prüfungen aus besonderem Anlaß, wenn es nach der Bauwerksüberwachung erforderlich erscheint und
- Prüfungen und Überwachungen maschineller und elektrischer Anlagen nach besonderen Vorschriften.

Die Dokumentation der Ergebnisse von Überwachungen und Prüfungen erfolgt im Prüfbericht. Dieser ist Bestandteil des Bauwerksbuches, welches für jedes einzelne Bauwerk angelegt werden muß. Bereits während der Bauausführung werden Bauwerksakten angelegt, in denen alle für die Unterhaltung und laufende Bearbeitung wichtigen Angaben zum Bauwerk enthalten sind.

Um den Zustand eines Bauwerks beurteilen zu können, sind Angaben zur Bauwerksgeschichte, zur Nutzung und Beanspruchung erforderlich sowie Untersuchungen am Bauwerk durchzuführen.

Die Angaben zur Bauwerksgeschichte umfassen u.a. Daten über Alter, Art und Zweck des Bauwerks, die wesentlichen statischen und konstruktiven Merkmale, Baustoffdaten sowie Ausführungsunterlagen. Darüber hinaus sind Umbau-, Ergänzungs- und Instandsetzungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Weiterhin sind Angaben zur Nutzung und Beanspruchung zu erfassen.

DIN 1076 enthält Festlegungen, nach denen der Zustand durch Untersuchungen am Bauwerk überprüft werden muß. Das Fazit der Prüfung am Bauwerk ist die Beurteilung von eventuellen Schäden und die Bewertung des Zustandes.

Wenn die im Rahmen der o.g. Bauwerksprüfung gewonnenen Erkenntnisse nicht ausreichen, den Zustand des Bauwerks beurteilen zu können, werden zusätzliche Untersuchungen erforderlich. In besonderen Fällen muß, aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse, das Verformungsverhalten oder die Standsicherheit eines Bauwerks oder seiner Komponenten rechnerisch überprüft werden.

Nachdem die Ergebnisse der Schadensbewertung vorliegen, wird der Ist-Zustand des Bauwerks beurteilt. Die Beurteilung ergibt dabei Hinweise, in welchem Ausmaß die Verkehrssicherheit, Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit beeinträchtigt sind. Auf dieser Basis kann die Schadensursache geklärt und die Erhaltungsplanung in Angriff genommen werden [6].

2.3 Zustandsbewertung von Brücken- und Ingenieurbauwerken im Rahmen des geplanten Managementsystems der Bauwerkserhaltung

Fand bisher die Erhaltungsplanung im wesentlichen unter Berücksichtigung der Schadensschwere, der verkehrlichen Gegebenheiten sowie der Haushaltsmittel statt, muß eine optimierte Erhaltungsplanung eine netzbezogene Bewertung, Modelle zur Zustandsentwicklung und Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigen. Für eine optimierte Erhaltungsplanung sind sowohl integrative Strukturen als auch Controllinginstrumentarien zu entwickeln.

Zur Erreichung dieses Zieles soll ein umfassendes Managementsystem der Bauwerkserhaltung (BMS) für Bund und Länder geschaffen werden. Das geplante System wird zur Optimierung der Planung des Einsatzes von Finanzmitteln und als Controllinginstrument herangezogen werden. Das Hauptziel des Managementsystems ist dabei die Unterstützung der Entscheidungsträger der strategischen und operativen Planung durch Informationsbereitstellung, Koordination des Planungsprozesses und Sicherstellung der Kompatibilität der operativen Pläne zu strategischen Vorgaben.

Ein BMS beinhaltet grundsätzlich eine Reihe von Aktivitäten, die von der reinen Informationsgewinnung über Voraussagen, Kostenberechnungen bis hin zu Analysen und Entscheidungsprozessen reichen (siehe Bild 1). Die Grundlage des BMS besteht in einer routinemäßigen Datenerfassung. Daraus werden zum einen Kostendaten und zum anderen relevante Zustandsdaten sowie Vorhersagen der Zustandsentwicklung zur Schätzung des zukünftigen Bedarfs ermittelt.

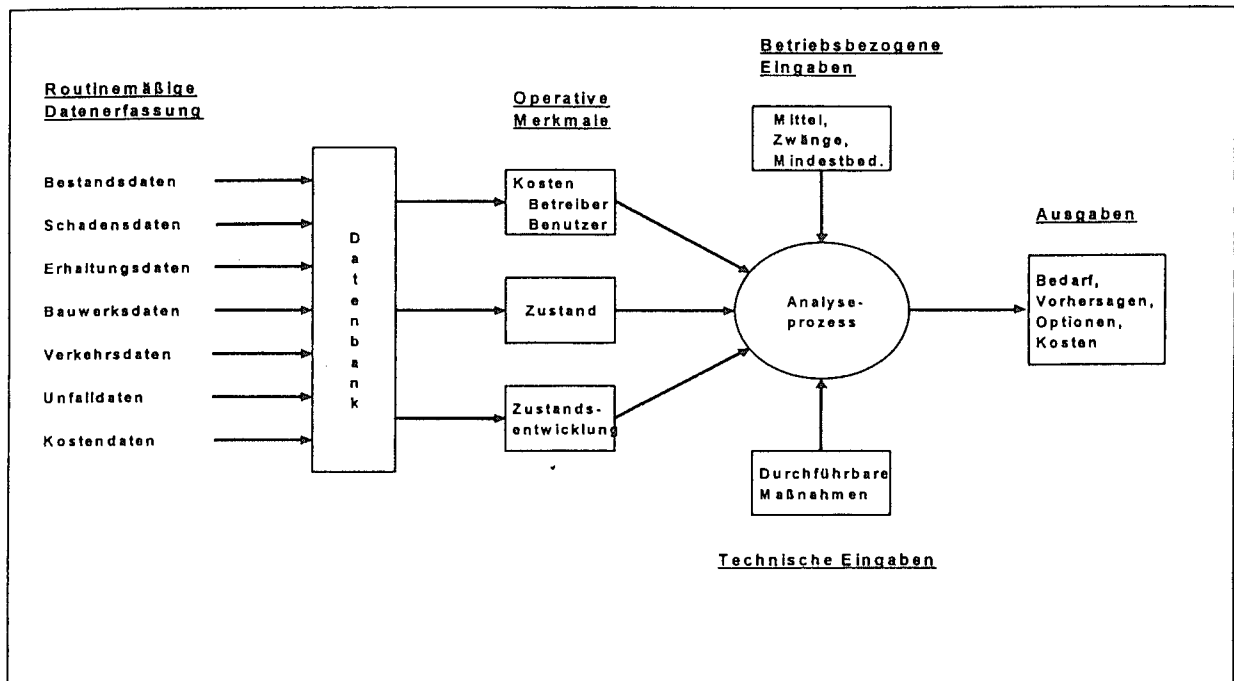


Bild 1: Aufbau eines Managementsystems der Bauwerkserhaltung [7]

In Verbindung mit technischen und betriebsbezogenen Eingaben werden die Daten im Kern des Systems in Informationen umgewandelt. Dies können Dringlichkeitsreihungen, Wirtschaftlichkeitsberechnungen oder Finanzbedarfsermittlungen sein.

In einem ersten derzeit in der Entwicklung befindlichen Modul des geplanten Managementsystems werden die folgenden Teilschritte verwirklicht:

- Sammlung und Bereitstellung von Zustandsdaten.
- Zustandsbewertung.
- Kostenermittlung und Kostenprognose.
- Modelle zur Schadens- und Zustandsentwicklung.
- Verfahren zur Analyse und Bewertung.

Im folgenden wird auf den Teilmodul "Zustandsbewertung" als eine der wesentlichen Eingangsgrößen des geplanten umfassenden Managementsystems der Bauwerkserhaltung eingegangen.

3 Verfahren der Zustandsbewertung

3.1 Allgemeine Bewertungsverfahren

Eine wesentliche Grundlage der bislang verwirklichten Managementsysteme ist die Zustandserfas-

sung und -bewertung entweder des Gesamtbauwerks, eines Bauteils oder einer Bauteilgruppe oder die Bewertung des Einzelschadens. Die Zustandserfassung erfolgt dabei im wesentlichen visuell oder mittels wenig aufwendiger Prüfverfahren. In Sonderfällen, d.h. in Verbindung mit ungewöhnlichen Umständen, beim Auftreten größerer Schwachstellen usw. müssen umfangreichere, zusätzliche Tests und Bauwerksanalysen durchgeführt werden. Diese beschränken sich zum Teil auf einzelne Bauteile (z.B. dem Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren), können jedoch auch das gesamte Bauwerk umfassen (z.B. Probelastungen). Für eine systematische Prüfung des gesamten Brückenbestandes sind diese Verfahren aufgrund des Prüfaufwandes und der damit verbundenen hohen Kosten nicht geeignet.

Die Beurteilung eines Bauteils oder Bauwerks in einer Gruppe gleichartiger Bauwerke kann derzeit mit unterschiedlichen Systematiken erfolgen:

- Bewertung mit diskreten Zahlen.
- Ermittlung des statistischen Zustandsprofils.
- Anwendung physikalischer Modelle.

In den weitaus meisten bestehenden Systemen findet die Bewertung mit diskreten Zahlen [z. B. 3, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14] statt. Als Grundlage dafür werden auch mehr oder weniger detaillierte Kataloge zur Schadens- bzw. Zustandsbewertung herangezogen [z. B. 21, 22]. Die Bestimmung des statistischen Zustandsprofils kann eine sinnvolle Erweiterung für die Anwendung probabilistischer

Schadensmodelle darstellen [z. B. 15, 16]. Darüber hinaus unterstützt diese Erweiterung die Verfahren zur Kostenermittlung im Rahmen eines BMS, da zur Ermittlung des Instandsetzungsbedarfs eine einfache multiplikative Verknüpfung mit einer Bezugsgröße, wie z.B. Fläche, Länge oder Anzahl möglich ist.

Physikalische Ansätze grenzen sich von den o.g. Verfahren dahingehend ab, daß das zu beurteilende Bauwerk nicht mehr ganzheitlich erfaßt wird. Vielmehr werden einzelne, maßgebend definierte physikalische Phänomene zur Beurteilung herangezogen [z. B. 17]. Die vollständige Beurteilung des Gesamtbauwerks aufgrund physikalischer Schadensmodelle ist derzeit aufgrund fehlender abgesicherter und praxisnaher Modelle nur teilweise zu verwirklichen. Die Anwendung künstlicher Intelligenz in Form von neuronalen Netzen als Abbildung der komplexen Gesamtstruktur von Bauwerken befindet sich noch im Entwicklungsstadium und ist derzeit noch nicht einzusetzen [17].

Kriterien der Zustandsbewertung in den oben beschriebenen Verfahren sind: Verkehrssicherheit, Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit (Funktionsfähigkeit), Dauerhaftigkeit, Ausmaß des Schadens und Bedeutung des geschädigten Teilelements für das zu bewertende Gesamtelement im Hinblick auf die Stand- und Verkehrssicherheit. Im folgenden wird auf die Verfahren nach RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1994 [2], der TH Darmstadt [20, 21] und der Bundesanstalt für Straßenwesen [4] eingegangen. Diese Verfahren bilden die Grundlage für die weitergehenden Untersuchungen. Eine nähere Erläuterung der weiteren Verfahren ist [4] zu entnehmen.

3.2 Schadens- und Zustandsbewertung nach RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1994

Der Umfang an festgestellten Mängeln und Schäden sowie die unterschiedliche Erfassungs- und Auswertepaxis in den einzelnen Bundesländern war seinerzeit Anlaß für die Erstellung der "Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Prüfergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1988", die in weiten Teilen überarbeitet in die RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1994, mündete. Die RI-EBW-PRÜF enthält Regeln für eine einfache und einheitliche Protokollierung der Prüfbefunde, die als Hilfsmittel für die Beurteilung des Bauwerksbestandes dienen. Hauptbestandteil sind Kataloge für die Verschlüsselung von Bauteilen,

Schäden, Schadensmengen sowie die Bewertung der einzelnen Schäden nach Schweregraden.

Voraussetzung für die Durchführung der Bauwerksprüfung ist der Einsatz des Programmsystems BW-PRUF [18], mit dem die Erfassung von Schadensbeschreibungen gemäß RI-EBW-PRÜF möglich ist. Neben Schadensdaten werden dabei allgemeine Daten der Bauwerksprüfung erfaßt. Unter anderem muß jeder Schaden nach seinem Ausmaß bewertet werden, und es muß angegeben und begründet werden, ob eine Minderung der Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und/oder Verkehrssicherheit gegeben ist. Gründe und Ursachen sind im Prüfbericht schriftlich aufzuführen.

Zustandsnoten für Brückenbauwerke sind in jedem Einzelfall nach Abschluß der Hauptprüfung vom Prüfer selbst festzulegen. Hinweise zur Vergabe von Zustandsnoten unter Berücksichtigung der Schadensauswirkung auf die Verkehrssicherheit, Standsicherheit und Dauerhaftigkeit der Konstruktion sind der Richtlinie zu entnehmen. Zur näheren Bestimmung der Trendentwicklung über mehrere Prüfzyklen hinweg ist bei der Zustandsnote die Angabe einer Dezimalstelle möglich.

Als Ergebnis der Bauwerksprüfung werden die maßgeblichen Stellen über den Zustand der Bauwerke und deren kurz- und langfristigen Erhaltungsbedarf informiert. Die Bauzustandsnote soll dabei als leicht handhabbares Bewertungsverfahren für Ingenieurbauwerke dienen:

- zur Sensibilisierung auf kritische Entwicklungen des Bauwerkszustandes,
- zur Unterstützung der haushaltstechnischen Argumentation und
- zum Vergleich des Erhaltungsbedarfs einzelner Verwaltungen.

Die Aufgaben der Zustandserfassung und -bewertung sind in Zukunft jedoch noch weitergehender. Im Rahmen eines BMS stellt das Modul „Zustand“ einen entscheidenden Baustein dar (siehe Bild 1). Die bereitzustellenden Informationen werden die Grundlage für weitergehende Analysen zur Zustandsentwicklung, für Kostenanalysen und Dringlichkeitsreihungen bilden.

- Die derzeit eingeführte Bauzustandsnote kann für Zwecke eines BMS nicht oder nur eingeschränkt verwendet werden: Die Hauptkomponenten eines Brückenbauwerks bestehen aus einer Vielzahl verschiedener Bauteile und Materialien, wobei gleiche Bauteile in unterschiedlichen Komponenten möglicherweise verschiedene Funktionen haben können. Jedes Bauteil verhält sich über die Zeit betrachtet je nach Be-

anspruchung und Umwelteinfluß unterschiedlich. Da bei der Durchführung der Bauwerkprüfung detaillierte Informationen zum Zustand eines Bauwerks auf Bauteilebene erhoben werden, erscheint es nicht sinnvoll, diese Informationen im nachhinein zu einer Bauzustandsnote zusammenzufassen, da durch diese Aggregation die Einzelinformationen verlorengehen.

- Zwei Bauwerke mit gleicher Bauzustandsnote können durchaus einen unterschiedlichen Zustand aufweisen; zur Behebung der Schäden können jedoch verschiedene Methoden erforderlich werden. Deshalb ist es nicht möglich, aus einer Bauzustandsnote direkt Maßnahmen abzuleiten. Kosten dieser Maßnahmen und/oder Wahrscheinlichkeiten von Änderungen des Zustands über die Zeit können ohne weitere Detaillierung der Zustandsbewertung nicht gegeben werden.
- Bauzustandsnoten sind zwar zahlenmäßig festgelegt, jedoch nur in dem Sinne, daß der relative Zustand angegeben wird. Ein Bauwerk mit der Zustandsnote 2 ist sicherlich in einem besseren Zustand als ein solches mit einer Note von 4, wobei jedoch die Aussage, daß das Bauwerk mit der Note 2 zweimal so „gut“ ist wie dies mit der Note 4 nicht gültig ist. Anhand der Bauzustandsnote kann also der bei der Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen entstehende Nutzen nicht ermittelt werden.
- Aussagen über die Entwicklung von Zustandswerten auf Bauteilebene lassen sich aus den Bauzustandsnoten nicht mehr ableiten.
- Unabhängig von Richtlinien und anderen Festlegungen wird diese Bauzustandsnote immer zu einem bestimmten Teil subjektiv sein. So könnte z.B. ein Prüfer eine vom Regelwerk abweichende Zustandsnote vergeben, weil er der Meinung ist, daß eine Maßnahme sofort durchgeführt werden sollte.

3.3 Zustandsbewertung im Rahmen von Vorschlägen der TH Darmstadt zur Entwicklung eines Managementsystems der Bauwerkserhaltung

Innerhalb eines umfangreichen Forschungsprogramms der TH Darmstadt, das letztendlich in die Entwicklung eines einfachen Managementsystems der Brückenerhaltung mündete, wurden zwei Systeme zur Prioritätsbewertung von Erhaltungsmaßnahmen erarbeitet. Angestrebt wurde dabei ein

mathematisches Bewertungssystem für die Ermittlung der relativen Dringlichkeit von Maßnahmen an Brücken, das als Unterstützung für eine strukturierte und transparente Erhaltungsplanung dienen sollte. Die Bewertungen wurden jedoch nicht in das bisherige Notensystem (von 0 bis 4) eingeordnet.

In einem ersten Schritt wurde von Kraft [19] ein Bewertungssystem erstellt, das auf Grundlage der Prüfberichte der Brückenhauptprüfungen nach RI-EBW-PRÜF jeder Brücke eine sogenannte Prioritätszahl zuordnet. Der Vergleich dieser Zahl mit der anderer Bauwerke ermöglicht die Festlegung einer Dringlichkeitsreihenfolge für Erhaltungsmaßnahmen. Zur Ermittlung der Prioritätszahl wird das Bauwerk im vorgestellten System in sogenannte Schadenszonen eingeteilt, die den Aspekt der Sicherheit bei der Bedeutung einzelner Bauteile für das Bauwerk berücksichtigen. Weiterhin werden der Schweregrad der Schäden (Benotung nach RI-EBW-PRÜF), die Ausbreitungstendenz, die Auswirkung auf andere Bauteile und die Verkehrsnutzung als Elemente zur Prioritätsbewertung herangezogen.

Das System, das auf der RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1988, basiert, wurde in [8] modifiziert. Dabei wurde folgendes berücksichtigt:

- Ausbreitungstendenz und Auswirkung auf andere Bauteile werden nach den bestehenden Regelungen der RI-EBW-PRÜF durch die Prüfer vor Ort festgelegt.
- Überarbeitung der Zuordnung der Bauteilzonen und der Gewichte unter Berücksichtigung der Kriterien Stand- und Verkehrssicherheit, Anpassung an die neuen Bauteilverschlüsselungen nach RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1994.
- Normierung von großen und kleinen Bauwerken (Häufigkeit von Schäden) und Herstellung der Vergleichbarkeit.
- Verbesserung der Transparenz der Bewertung durch Vernachlässigung kleinerer Schäden.

Das in [8] vorgeschlagene System umfaßt:

- a) eine Prioritätsbewertung für Erhaltungsmaßnahmen auf der Basis von Schadensbewertungen nach RI-EBW-PRÜF und
- b) eine Kostenprognose des Instandsetzungsbedarfs auf der Basis der Bedarfsliste des LV Rheinland.

Auf die Parameter "Ausbreitungstendenz" und "Auswirkung auf andere Bauteile" wurde bei der Prioritätsbewertung im Gegensatz zum System von Kraft [19] verzichtet. Die in der RI-EBW-PRÜF de-

finierten Bauteile wurden sowohl in Schadenszonen als auch in Erhaltungskategorien entsprechend der Bedarfsliste des LV Rheinland zur Festlegung der Bedeutung der Bauteile und der Kategorie eingeteilt. Damit soll auch eine indirekte Berücksichtigung der beiden o.g. nicht mehr berücksichtigten Parameter erfolgen. Die Einteilung in Schadenszonen ist Tabelle 1, die Gewichtung der Erhaltungskategorien ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Dieses System ermöglicht die Umsetzung von Einflußfaktoren in eine eindeutige, punktemäßige Bewertung von Schäden unter Berücksichtigung der Bedeutung von Bauteilen, Bauteilgruppen und des Bauwerkes im Netz. Eine zeitliche Einstufung des Zustandes bzw. die Bewertung der Zustandsentwicklung erfolgt nicht. Ein Notensystem zur Prioritätsbewertung wird abgelehnt, da es im Rahmen einer reinen Dringlichkeitsreihung nicht erforderlich erscheint. Die Schritte "Zustandsbewertung" und "Dringlichkeitsreihung" eines BMS sind vielmehr zusammengefaßt. Damit gehen jedoch Informationen über den Zustand der Bauwerke verloren.

Schadenszone	geschädigtes Bauteil
6	Baugrund, Verankerungselement, Koppelfuge quer, Koppelfuge parallel, Tragseil, Hänger, Unterspannung
5	Verbindungsstruktur, Fahrbahnplatte, Arbeitsfuge quer, Arbeitsfuge parallel, Zwischenendverankerung, Lager, Gelenk, Verankerungselement
4	Tiefgründung, Fundament, Pfeiler, Widerlagerflügel, Auflagerbank, Querriegel, Widerlagerstirnwand, Feldmittenbereich, Stützbereich, Wechselbereich, Fugenbereich
3	Bodenverbesserung, Kammerwand, Ausschüttung, Trennfuge quer, Trennfuge parallel, Endquerträger, Stützquerträger, Feldquerträger, Quergurtebene, Untergurtebene, Querverband
2	Korrosionsschutz, Hinterfüllung, Aufschüttung, Kappe, Beläge, Übergangskonstruktion, Grundwasserabsenkungsanlage
1	Entwässerung, Geländer, Leitungen, Anstrich, Verblendung, Oberflächenbefestigung, Beschilderung, Beleuchtung

Tab. 1: Einteilung der Bauteile in Schadenszonen nach [4]

Das Verfahren nach [8] ist Teil eines Managementsystems der Brückenerhaltung, welches in erster Linie auf die Belange einer Länderverwaltung zugeschnitten ist. Ein grundsätzlicher Vorteil ist, daß das System auf den bewährten Komponenten "Schadensbewertung nach RI-EBW-PRÜF" und "Bedarfsliste des LV Rheinland" basiert und demzufolge unter Beibehaltung der Konzepte der RI-EBW-PRÜF bei Erweiterung des Programmsystems BW-PRUF umgesetzt werden könnte.

Kategorie		Gewichtung
A1	"Belag und Abdichtung"	25
B2	"Übergangskonstruktionen"	15
C3	"Lager"	15
D4	"Kappen"	10
D5	"Betoninstandsetzungen"	25
F8	"Korrosionsschutz an Stahlbrücken"	25
G9	"Geländer und Schutzeinrichtungen"	5
H10	"Entwässerung und Abdeckung"	5
S/T	"Sonstiges"	0

Tab. 2: Erhaltungskategorien und Gewichtung nach [4]

Mängel werden insbesondere auf folgenden Feldern gesehen:

- die Möglichkeiten, die die ASB 97, Teilsystem Bauwerksdaten, bietet, werden nicht ausgenutzt.
- Eine Bewertung der Schadensentwicklungstendenz ist nicht vorgesehen.
- Das System ist ausschließlich auf Brücken ausgerichtet. Eine Erweiterung auf sonstige Ingenieurbauwerke erscheint jedoch möglich.
- Eine Verknüpfung von Bauteilen und Schäden mit Maßnahmen ist nicht vorgesehen.
- Die vorgenommene Normierung des Schadensbildes erscheint nicht ausreichend; insbesondere wird auf eine direkte Berücksichtigung des Schadensumfangs verzichtet.
- Zustandsbewertung und Dringlichkeitsreihung sind zusammengefaßt, wichtige Informationen gehen verloren.

3.4 Verfahren der BAST zur detaillierten Zustandsbewertung nach einheitlichen Kriterien

Die Zustandsbewertung von Brücken- und Ingenieurbauwerken im Bereich der Bundesfernstraßen beinhaltet bislang eine detaillierte Erfassung und Bewertung von Einzelschäden und -mängeln und darauf aufbauend eine mehr oder weniger subjektive Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks. Die Zielsetzung des BAST-Projektes 97243/B4 [4] war die Erarbeitung eines Verfahrens zur detaillierten Zustandsbewertung von Brücken- und Ingenieurbauwerken nach einheitlichen Kriterien. Dieses Verfahren wurde als Basis für ein angestrebtes, umfassendes BMS konzipiert.

Unter Berücksichtigung des spezifischen Informationsbedarfes von Bund und Ländern bei der Erhaltungsplanung und der vorgegebenen Rahmenbedingungen wurde erkannt, daß ein Verfahren der Zustandsbewertung auf der Basis der bewährten Einzelschadensbewertungen entwickelt werden sollte. Der erarbeitete Vorschlag beinhaltet ein neues Verfahren für eine automatisierte Zustandsbewertung nach einheitlichen Kriterien für einzelne Kategorien (gemäß Bedarfsleiste Landschaftsverband Rheinland) und das Gesamtbauwerk unter Verwendung der Ergebnisse der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 im Rahmen des Programmsystems BW-PRUF:

Zustandsbewertung $Z = f$ (Schadensbewertung S , Schadensumfang U_K , Bedeutung der geschädigten Bauteile und Kategorien B_B und B_K)

Der Einsatz dieses Verfahrens benötigt zusätzliche Angaben des Prüfers, die jedoch in ihrem Umfang begrenzt bleiben:

- 1-stufige Bewertung der Einzelschäden nach den Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit (wie bisher nach RI-EBW-PRÜF).
- Angabe des geschädigten Bauteils (wie bisher nach RI-EBW-PRÜF).
- Angabe der Schadensmenge und des Schadensortes (wie bisher nach RI-EBW-PRÜF).
- Abschätzung des prozentualen Umfanges der Schädigungen der Erhaltungskategorien (gemäß Bedarfsleiste LV Rheinland).

Weiterhin werden im Programmsystem BW-PRUF eine Reihe von Vorgaben gemacht:

- Zuordnung Bauteile - Kategorien (Vorschlag TH Darmstadt).

- Bedeutung der Bauteile für die Sicherheit des Bauwerks (Vorschlag TH Darmstadt).
- Bedeutung der Kategorien für die Sicherheit des Bauwerks (Vorschlag TH Darmstadt).
- Algorithmen zur Zustandsbewertung von einzelnen Kategorien und des Gesamtbauwerks.
- Zusätzliche Randbedingungen.

Das Programmsystem BW-PRUF ermittelt Zustandsnoten und gibt folgende Informationen:

- Vorschlag von Zustandsnoten für die einzelnen Kategorien.
- Vorschlag einer Zustandsnote für das Gesamtbauwerk.

Im folgenden sind die im Rahmen des Projektes 97243/B4 aufgestellten Algorithmen und Randbedingungen zusammengestellt.

1) Zustandsbewertung der Bauteilkategorien:

$$\max S_{i,j} = 0 \quad Z_{K,j} = 1,0 \quad (1)$$

$$1 \leq \max S_{i,j} \leq 3: \quad Z_{K,j} = \max S_{i,j} + f_{1,j}(S_{i,j}, B_{B,i,j}, U_{K,j})$$

$$\max S_{i,j} = 4: \quad Z_{K,j} = 4,0$$

mit:

$$Z_{K,j} = \text{Zustandsnote der Einzelkategorien}$$

$$\max S_{i,j} = \text{maximale Bewertung eines Einzelschadens einer Kategorie}$$

$$S_{i,j} = \text{Bewertung der Einzelschäden in den Kategorien}$$

$$B_{B,i,j} = \text{Bedeutung der geschädigten Bauteile (Vorschlag TH Darmstadt)}$$

$$U_{K,j} = \text{geschädigter Anteil der Kategorien in [\%]}$$

$$i, j = \text{Laufvariablen Einzelschäden und Kategorien}$$

$$f_{1,j} = \frac{\sum (S_{i,j} \cdot B_{B,i,j})}{\max S_{i,j} \cdot n_j} \cdot \frac{U_{K,j}}{100}; \quad 0 \leq f_{1,j} \leq 0,9$$

2) Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks:

$$\max Z_{K,j} = 1: \quad Z_{ges} = 1,0 \quad (2)$$

$$1 \leq \max Z_{K,j} \leq 3: \quad Z_{ges} = \max Z_{K,j} - f_2(\Delta Z, B_{K,j})$$

$$\max Z_{K,j} = 4: \quad Z_{ges} = 4,0$$

mit:

$$Z_{ges} = \text{Zustandsnote des Gesamtbauwerks}$$

$$\max Z_{K,j} = \text{maximale Zustandsnote einer Kategorie}$$

$$B_{K,j} = \text{Bedeutung der Kategorien (Vorschlag TH Darmstadt)}$$

$$\Delta Z = \text{Bewertete Differenz der Zustandsnoten der Kategorien}$$

mit:

$$f_2 = \frac{(1 - 0,5 \cdot B_{K,\max Z}) \cdot f_{1,\max Z}}{\max Z_{K,j} - 1} + \frac{\sum (Z_{K,j} - \max Z_{K,j}) \cdot B_{K,j}}{\sum B_{K,j} - B_{K,\max Z}} \cdot 0 \leq f_2 \leq 0,9$$

3) Zusätzliche Randbedingungen ($S_i < 4$):

Zur Gewährleistung der Zielsetzung einer Zustandsbewertung nach einheitlichen Kriterien werden für die einzelnen Bewertungsstufen "Schadensbewertung", "Zustandsbewertung der Einzelkategorien" und "Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks" gewisse Randbedingungen eingeführt:

a) Schadensbewertungen:

Sicherstellung von Schadensbewertungen nach einheitlichen Kriterien durch Plausibilitätskontrollen (siehe Schlußbericht zum Projekt 97243/B4, Anlage 1: Schadensbewertungskatalog des Landesamtes für Straßenbau, Baden-Württemberg).

b) Zustandsbewertung der Kategorien:

Obere Grenzwerte für Rechenwerte der Schadensbewertungen S_i in Abhängigkeit von der Bedeutung der geschädigten Bauteile sowie vom Schadensumfang.

$$\begin{aligned} S_i \geq 1 \text{ und } B_{B,i} \leq 0,3 \text{ und } U_K \leq 10\% & \Rightarrow S_i^* = 1 \\ S_i \geq 2 \text{ und } B_{B,i} \leq 0,3 \text{ und } 15\% \leq U_K \leq 25\% & \Rightarrow S_i^* = 2 \\ S_i \geq 2 \text{ und } B_{B,i} = 0,45 \text{ und } U_K \leq 10\% & \Rightarrow S_i^* = 2 \end{aligned}$$

c) Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks:

Grenzwert für Rechenwerte der Zustandsbewertungen $Z_{K,j}$ in Abhängigkeit von der Bedeutung der betrachteten Kategorie sowie vom Schadensumfang:

$$\begin{aligned} Z_{K,j} \geq 2 \\ \text{und } B_K < 1,0 \text{ und } U_K \leq 10\% & \Rightarrow Z_{K,j}^* = (Z_{K,j} - 1) \end{aligned}$$

Der Schlußbericht zum Projekt 97243/B4 enthält neben den Herleitungen der Algorithmen der Zustandsbewertung die Zuordnungen von Bauteilen nach RI-EBW-PRÜF zu den einzelnen Kategorien, Angaben zur Bedeutung von Bauteilen und Kategorien für die Sicherheit des Bauwerks sowie Erläuterungen zu den zusätzlich zu berücksichtigende Randbedingungen. Im Rahmen von ersten Testläufen wurde das Verfahren im Projekt 97243/B4 auf Datensätze durchgeführter Hauptprüfungen angewandt. Dabei wurde erkannt, daß vor dem Einsatz im Programmsystem BW-PRUF die Algorithmen, Parameter und Rahmenbedingungen verifiziert werden müssen.

4 Anforderungen an ein Verfahren der Zustandsbewertung im Rahmen des geplanten Managementsystems

Anforderungen an ein Verfahren der Zustandsbewertung ergeben sich unter anderem aus der Struktur des geplanten Managementsystems der Bauwerkserhaltung. Diese Anforderungen wurden im bereits erläuterten Verfahren des Projekts 97243/B4 berücksichtigt. Weitere Anforderungen ergaben sich zum einen aus einer Parameterstudie des vorgestellten Verfahrens und zum anderen aus Festlegungen betreffender Gremien des Bundes und der Länder. Hierdurch wurde eine grundsätzliche Überarbeitung des o. g. Verfahrens erforderlich. Im folgenden sind die einzelnen Anforderungen und Festlegungen zusammengestellt. Anschließend wird das neu entwickelte Verfahren vorgestellt und erläutert.

4.1 Allgemeine Anforderungen

Wichtige Grundlage für ein BMS ist eine detaillierte Zustandserfassung und -bewertung nach einheitlichen Kriterien. Für eine Zustandsbeschreibung auf Bauteilebene sind quantifizierbare Parameter zu definieren, wobei darauf zu achten ist, daß durch die Erfassung zusätzlicher Zustandswerte im Vergleich zur derzeitigen Praxis der Bauwerksprüfung kein unverhältnismäßig hoher Aufwand entsteht.

Die enge Verknüpfung zwischen dem Aufbau der Module "Zustandsbewertung" und "Zustandsentwicklung" ist zu beachten: Die im Rahmen der Zustandsbewertung ermittelten Kenngrößen bilden die Basis für ein BMS-Modul "Zustandsentwicklung".

Für die Entwicklung eines umfassenden BMS sind bereits vorhandene Module zusammenzuführen. Zu nennen sind hier die bereits eingeführte Anwendung Straßeninformationsbank (ASB), Teilsystem Bauwerksdaten [3] in Verbindung mit dem System SIB-Bauwerke, das zusätzlich zum Bauwerksbestand auch Informationen zu aktuellen Schäden enthält und die Bauwerksprüfung und Zustandserfassung nach DIN 1076 und RI-EBW-PRÜF sowie das zugehörige Programmsystem BW-PRUF.

Die ASB beschreibt die Datenstruktur der Straßeninformationsbanken (SIB). Die darin enthaltenen Bauwerksdaten sind Grundlage planerischer, haushalts-, bau- und verkehrstechnischer Entscheidungen. Zukünftig werden sie auch Grundlage der Bauwerksprüfung des Prüfers vor Ort sein. Die Vernetzung der Mitarbeiter einzelner Dienststellen wird angestrebt.

Die Grundkonzeption der o.g. Regelwerke im Hinblick auf die Zustandserfassung (Zustandsnote als Ergebnis der Bewertung von Einzelschäden) soll beibehalten werden. Modifikationen sollen eine einfache Handhabung und Bedienung gewährleisten. Darüber hinaus ist die IT-Tauglichkeit des Verfahrens sicherzustellen.

Bisherige Erfahrungen des Auslands mit unterschiedlichen Bewertungsverfahren zeigen, daß jeder größere Teil eines Bauwerks, der eigene Schadensmuster aufweist oder der einzeln verbessert oder ersetzt werden kann, als eine Bauteilgruppe betrachtet werden sollte. Den Hauptteil des Erhaltungsaufwandes machen allerdings nur wenige Bauteile aus, z. B. Beläge, Lastaufnahmeglieder, Fugen, Lager, Geländer usw. [7]. Für die einzelnen Bauteilgruppen sind die möglichen Zustände festzustellen. Dies sind Beschreibungen von Schadenszuständen oder des Schadensausmaßes, die sich durch Beobachtung oder Messung erkennen lassen.

Geeignete Maßeinheiten sind notwendig, um das Ausmaß eines Schadens wiederzugeben und die Erhaltungskosten abschätzen zu können. Die gewählten Einheiten müssen daher sowohl für die Kostenschätzung als auch - soweit möglich - für die Vereinfachung der Datenerfassung geeignet sein [7].

Bisherige Erfahrungen des Auslands mit unterschiedlichen Bewertungsverfahren zeigen, daß jeder größere Teil eines Bauwerks, der eigene Schadensmuster aufweist oder der einzeln verbessert oder ersetzt werden kann, als eine Bauteilgruppe betrachtet werden sollte. Den Hauptteil des Erhaltungsaufwandes machen allerdings nur wenige Bauteile aus, z. B. Beläge, Lastaufnahmeglieder, Fugen, Lager, Geländer usw. [7]. Für die einzelnen Bauteilgruppen sind die möglichen Zustände festzustellen. Dies sind Beschreibungen von Schadenszuständen oder des Schadensausmaßes, die sich durch Beobachtung oder Messung erkennen lassen.

Geeignete Maßeinheiten sind notwendig, um das Ausmaß eines Schadens wiederzugeben und die Erhaltungskosten abschätzen zu können. Die gewählten Einheiten müssen daher sowohl für die

Kostenschätzung als auch - soweit möglich - für die Vereinfachung der Datenerfassung geeignet sein [7].

4.2 Analyse des BAST-Verfahrens

Mit den Bewertungsalgorithmen des Projekts 97243/B4 wurde ein Verfahren vorgestellt, das die o.g. allgemeinen Anforderungen berücksichtigt. Aufgabe des vorliegenden Projektes war es, diese Algorithmen zu verifizieren und zu kalibrieren, um ein Verfahren bereitzustellen, das vor dem Hintergrund der Prüfpraxis plausible Ergebnisse liefert. Dazu wurden reale Prüfdaten des Landschaftsverbands Rheinland einbezogen. Im folgenden wird zunächst die Struktur dieser Prüfdaten erläutert. Anschließend werden die Ergebnisse der Parameterstudien dargestellt.

4.2.1 Struktur der Prüfdaten

Grundlage der Analyse sind 750 Bauwerke des Landschaftsverbands Rheinland (LVR) an Bundesfernstraßen, die 1996 einer Bauwerkshauptprüfung unterzogen wurden. Diese Bauwerke stellen ca. 14% des Bestandes des LVR dar. Die zugehörigen Prüfberichte wurden mit Hilfe des Prüfprogramms BW-PRUF erstellt; der BAST standen die Informationen von 12.569 Einzelschäden auf Datenträger zur Verfügung. Diese Datensätze wurden mit Hilfe üblicher Standardsoftware ausgewertet.

Die zur Verfügung stehenden Prüfberichte des LVR wurden hinsichtlich der Anzahl, Verteilung und Schwere der Schäden in einzelnen Kategorien (Bedarfsleiste des LVR, siehe Kapitel 3.3) betrachtet.

In Bild 2 ist die prozentuale Verteilung der Schäden innerhalb der Kategorien dargestellt. Bild 3 enthält die prozentuale Verteilung der Schadensbewertungen innerhalb der einzelnen Kategorien.

50 % der Schäden sind der **Kategorie D5 "Betoninstandsetzungen"** zugeordnet. Dabei entfallen ca. 11% auf den Unterbau, d.h. auf Widerlager, Pfeiler usw. und 39% auf den Überbau, d.h. auf Platten, Hohlkästen usw.. Mehr als die Hälfte dieser Schäden betreffen freiliegende Bewehrung und Risse. Ca. 96% der Schäden innerhalb der Kategorie D5 wurden mit ****1**** oder ****2**** bewertet. Ein Großteil der ****3****-er Schäden sind freiliegende Hüllrohre bei Spannbetonbauwerken. Insgesamt weisen 546 Bauwerke Schäden am Überbau und 444 Bauwerke Schäden am Unterbau auf.

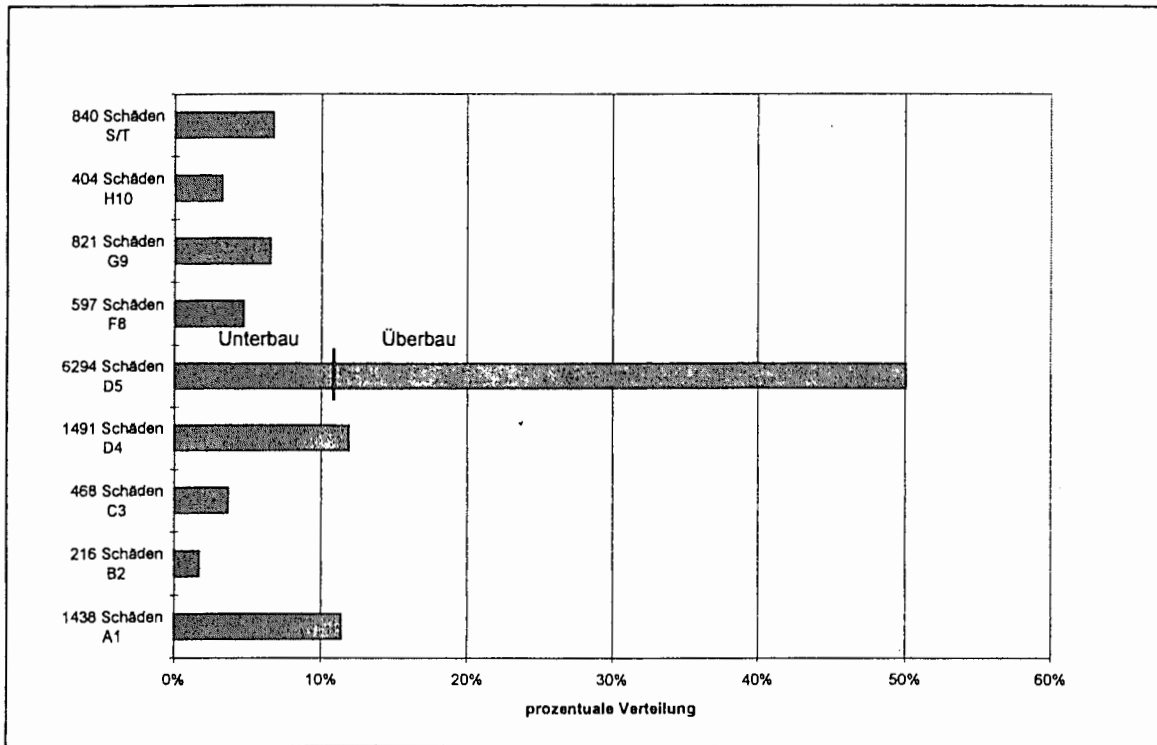


Bild 2: Prozentuale Verteilung der Schäden in den Kategorien (Prüfdaten LVR)

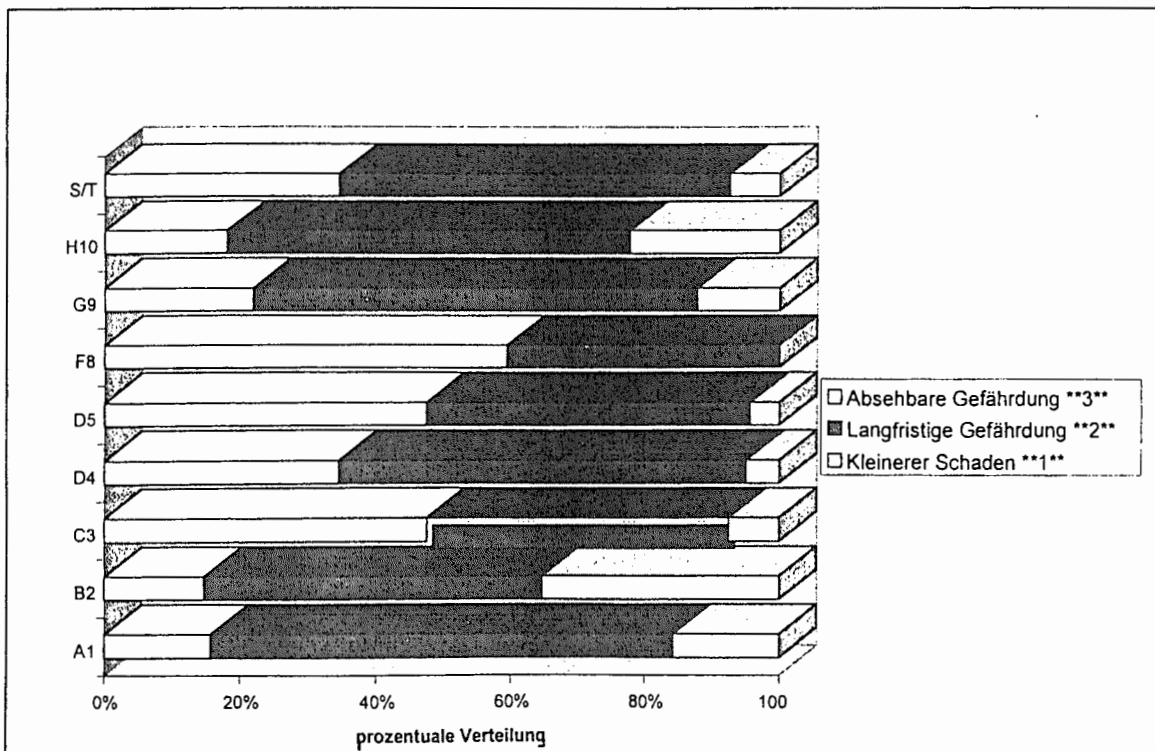


Bild 3: Prozentuale Verteilung der Schadensewertungen in den einzelnen Schadenskategorien (Prüfdaten LVR)

Die zweitgrößte Anzahl der Einzelschäden, allerdings mit deutlichem Abstand zur Kategorie D5, wird mit 12% der Schäden in der **Kategorie D4 "Kappen"** ermittelt; 446 Bauwerke sind betroffen. Ähnlich wie in der Kategorie D5 sind freiliegende Bewehrung und Risse im Beton als Hauptschäden zu verzeichnen. Auch in der Kategorie D4 wurden nur ca. 4% der Schäden mit ****3**** bewertet. Dabei handelt es sich im wesentlichen um schadhafte Fugen.

Mit 11% der Einzelschäden weist die **Kategorie A1 "Abdichtung und Beläge"** die drittgrößte Anzahl der Einzelschäden, und zwar an insgesamt 510 Bauwerken auf. Ca. 70% der Schäden in dieser Kategorie wurden mit ****2**** bewertet. Dabei handelt es sich um Risse und beschädigte Fugen. Jeweils 15% der Schäden wurden mit ****1**** bzw. ****3**** bewertet. Bei einem Großteil der ****3****-er Schäden handelt es sich dabei um mangelhafte Fugen und schadhafte Anschlüsse an die Fahrbahntwässerung.

Die weiteren Erhaltungskategorien nehmen mit insgesamt 27% jeweils nur einen geringen Anteil der Schäden ein:

- **Kategorie G9 "Geländer und Schutzeinrichtungen"**, 7% der Einzelschäden, 444 Bauwerke, Korrosionsschäden, schadhafte Beschichtungen, Schäden am Fuß der Geländerpfosten.
- **Kategorie F8 "Korrosionsschutz"**, 5% der Einzelschäden, 251 Bauwerke, Korrosionsschäden, schadhafte Beschichtungen.
- **Kategorie C3 "Lager"**, 4% der Einzelschäden, 216 Bauwerke, Korrosionsschäden, Schäden am Lagersockel.
- **Kategorie H10 "Abdeckung und Entwässerung"**, 3% der Einzelschäden, 168 Bauwerke, Schäden an den Befestigungssystemen, an den Abläufen und Rohren. Der mit ****3**** bewertete Anteil ist gegenüber den anderen Kategorien sehr hoch (22% der Schäden).
- **Kategorie B2 "Fahrbahnübergangskonstruktionen"**, 2% der Einzelschäden, 106 Bauwerke, Schäden an Lamellenkonstruktionen. Auch hierbei ist der mit ****3**** bewertete Anteil der Schäden hoch (35% der Schäden).
- **Kategorie S/T "Sonstiges"**, 7% der Einzelschäden, 359 Bauwerke, beinhaltet insbesondere Schäden an der Bauwerksbeschilderung, im Böschungsbereich und an den Schutz- und Leiteinrichtungen.

Die Anzahl der Schäden pro erfaßtem Bauwerk ist in den jeweiligen Kategorien unterschiedlich und

reicht in der Regel (bis auf Kategorie D5) von 1 bis 15 Einzelschäden. Für den Unterbau (Teil von D5) werden 1 bis 35 Einzelschäden erfaßt, für den Überbau (Teil von D5) hingegen 1 bis 235 Einzelschäden. Als Auswertung von Summenkurven über die Anzahl der Einzelschäden für die einzelnen Kategorien ist in Tabelle 3 die Anzahl der Einzelschäden für charakteristische Grenzwerte angegeben. Der Grenzwert von 60% der Bauwerke soll dabei den Anteil Bauwerke mit geringer Schadensanzahl berücksichtigen. Zwischen 60% und 90% der Bauwerke soll der Anteil Bauwerke mit mittlerer Schadensanzahl und über 90% der Anteil Bauwerke mit hoher Schadensanzahl liegen.

Kategorie	Anzahl Einzelschäden	
	60% der Bauwerke	90% der Bauwerke
A1 "Abdichtung und Beläge"	<3	<6
B2 "FBÜK"	<2	<5
C3 "Lager"	<2	<4
D4 "Kappen"	<3	<6
D5 "Überbau"	<5	<16
D5 "Unterbau"	<3	<6
F8 "Korrosionsschutz"	<2	<4
G9 "Geländer"	<2	<4
H10 "Entwässerung"	<2	<4
S/T "Sonstiges"	<2	<4

Tab. 3: Anzahl der Einzelschäden je Kategorie

Bei der Häufigkeit des Auftretens von Einzelschäden können damit drei Gruppen unterschieden werden:

- Kategorien B2, C3, F8, G9, H10, S/T
60 % der Fälle < 2 Einzelschäden
90% der Fälle < 4 Einzelschäden
- Kategorien A1, D4, D5 "Unterbau"
60% der Fälle < 3 Einzelschäden
90% der Fälle < 6 Einzelschäden
- Kategorie D5 "Überbau"
60% der Fälle < 5 Einzelschäden
90% der Fälle < 16 Einzelschäden

Die schadhafte Bauteile innerhalb der Kategorien weisen unterschiedliche Bedeutungen und damit unterschiedliche Gewichtungsfaktoren B_B (Schadenszonen) auf (siehe Kapitel 3.3). In Tabelle 4 ist für die einzelnen Kategorien die Anzahl der auftretenden Gewichtungsfaktoren (Schadenszonen) aufgeführt. Schwerpunkte sind grau hinterlegt.

Bauteile mit einem Gewichtungsfaktor 1 sind ausschließlich innerhalb der Kategorie S/T anzutreffen und bilden in dieser Kategorie auch den Schwerpunkt. Schadhafte Bauteile mit einem Faktor von 6 treten nur in 34 Fällen auf. Bei den Kategorien A1, D4, F8 und H10 liegt der Schwerpunkt der Gewichtungsfaktoren bei 2, im Fall der Kategorien B2, C3 und G9 bei 5 und nur im Fall der Kategorie D5 bei 4. Insgesamt treten die meisten Schäden bei Bauteilen auf, die Gewichtungsfaktoren von 2 und 4 aufweisen. Der Gewichtungsfaktor 3 hat für die Bewertung in der Regel nur untergeordnete Bedeutung. Zusammenfassend bedeutet dies, daß nur 4 von 6 Gewichtungsfaktoren bedeutsam sind, und daß jeder Erhaltungskategorie ein einzelner maßgeblicher Gewichtungsfaktor zugewiesen werden kann.

Ein weiterer bedeutender Parameter ist der Schadensumfang. In Tabelle 5 ist die Anzahl der geschädigten Bauwerke nach dem Schadensumfang, wie er in der Bedarfsliste des LVR angegeben wird, für die einzelnen Kategorien aufgeführt. Einen Schwerpunkt setzen die Prüfer allgemein bei einem Schadensumfang von 0 bis 5%. In den Kategorien A1 und G9 sind auch Schadensumfänge bis 50% in einem maßgeblichen Anteil anzutreffen. Schadensumfänge von 60% bis 90% wurden hingegen kaum eingegeben. Darüber hinaus ist in 30% der Fälle, bei denen Geländer betroffen sind (Kategorie G9), eine vollständige Instandsetzung erforderlich ($U = 100\%$).

Kategorie	Gewichtungsfaktoren [Anzahl der geschädigten Bauteile]					
	1	2	3	4	5	6
A1	0	924	488	26	0	0
B2	0	0	75	0	139	2
C3	0	4	0	78	385	1
D4	0	1239	252	0	0	0
D5	0	1194	976	4084	22	18
F8	0	534	11	49	2	1
G9	0	0	23	0	798	0
H10	0	328	76	0	0	0
S/T	522	8	76	44	178	12
Summe	522	4231	1977	4281	1524	34

Tab. 4: Anzahl der Einzelsäden für Gewichtungsfaktoren der Bauteile

Umfang [%]	Kategorien [Anzahl geschädigter Bauwerke]								Summe [Anzahl]
	A1	B2	C3	D4	D5	F8	G9	H10	
0% ≤ U < 10%	258	66	164	384	536	236	211	142	1997
10% ≤ U < 20%	79	7	16	26	74	4	22	13	241
20% ≤ U < 30%	50	10	16	16	16	4	18	4	134
30% ≤ U < 40%	44	1	7	3	6	1	13	-	75
40% ≤ U < 50%	15	-	2	3	3	-	9	-	32
50% ≤ U < 60%	32	13	2	7	3	5	24	2	88
60% ≤ U < 70%	2	-	1	-	-	-	7	-	10
70% ≤ U < 80%	5	-	-	-	1	-	6	-	12
80% ≤ U < 90%	3	-	-	-	3	-	1	-	7
90% ≤ U < 100%	-	-	-	-	-	-	1	-	1
100	22	9	8	7	1	1	132	7	187
Summe	510	109	216	446	643	251	444	168	

Tab. 5: Schadensumfang für die Kategorien

In Bild 4 ist schlußendlich die Verteilung der vom Prüfer für jedes Gesamtbauwerk angegebenen Zustandsnoten dargestellt. Die in dem zur Verfügung gestellten Datensatz enthaltenen Zustandsnoten liegen im Bereich von 1,0 bis 3,8. Bauwerke mit einer Zustandsnote von 4,0 sind nicht vorhanden. Die Abbildung macht deutlich, daß Schwerpunkte der Zustandsbewertung bei den

Noten 1,3 / 1,5 / 2,0 / 2,5 und 3,0 liegen. Zwischenwerte sind eher unterrepräsentiert. 24% der Bauwerke weisen sehr gute Zustandsnoten auf (1,0 bis 1,4). Die Zustandsnote 2 (1,5 bis 2,4) wird von 39% der Bauwerke erreicht. Bei 36% der Bauwerke liegt die Zustandsnote zwischen 2,5 und 3,4. Nur bei 1% der Bauwerke wurde eine schlechtere Zustandsnote vergeben.

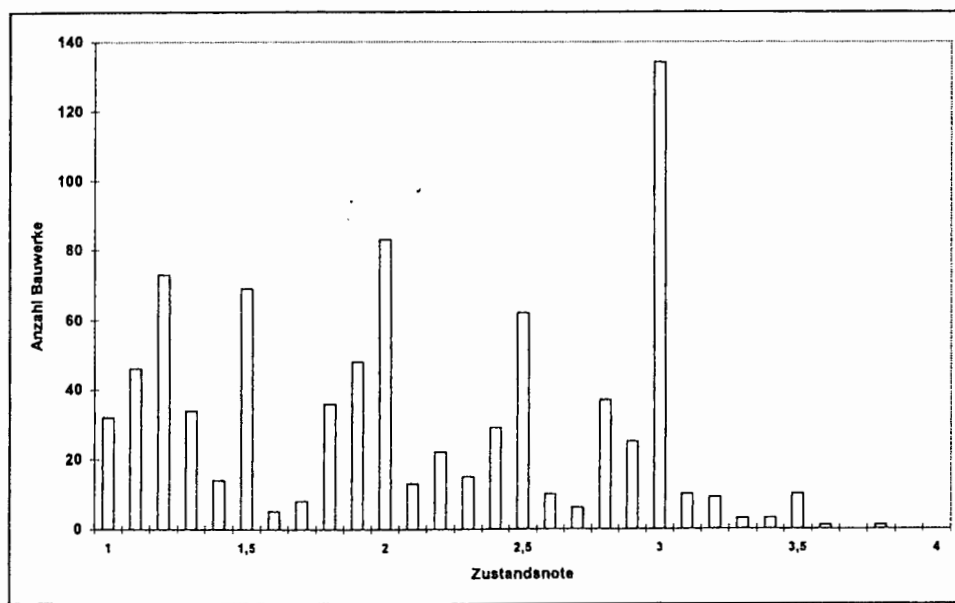


Bild 4: Verteilung der Zustandsnoten

4.2.2 Parameterstudie

Im Rahmen einer Parameterstudie wurde zunächst untersucht, welchen Einfluß maßgebliche Faktoren der Bewertungsfunktionen auf die Korrelation zwischen errechneter und vom Prüfer vergebener Zustandsnote haben. Dabei wurde eine Optimierung des vorgeschlagenen Bewertungsverfahrens angestrebt.

Weder eine Variation der Parameter des Algorithmus, noch Neuformulierungen der Randbedingungen (siehe Kapitel 3.4) ergaben bessere Korrelationen zwischen analytisch ermittelter Bewertung und von den Prüfern vergebenen Zustandsnoten. Darüber hinaus ließ sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Schadensbewertung, Bedeutung des geschädigten Bauteils bzw. der geschädigten Kategorie und Schadensumfang einerseits und der Zustandsnote des Prüfers andererseits herleiten. Dies legt den Schluß nahe, daß die Prüfer selbst innerhalb eines Verwaltungsbereiches Schäden und Zustände nicht einheitlich bewerten. Diskussionen mit Ländervertretern ergaben darüber hinaus die Erkenntnis, daß in den einzelnen Ländern deutliche Unterschiede bei der Bewertung von Schäden und Zuständen bestehen.

Ziel einer Parameterstudie kann es aus diesem Grund nicht sein, das Bewertungsverfahren anhand von Prüfdaten einer Länderverwaltung zu kalibrieren und zu verifizieren. Vielmehr ist der Einfluß von maßgebenden Parametern auf die Zustandsnote zu untersuchen, um Rückschlüsse auf die Struktur eines vorgegebenen Verfahrens zu erlangen, das eine einheitliche Vorgehensweise der Länderverwaltungen sicherstellen kann.

Festlegungen in den betreffenden Arbeitskreisen des Bundes und der Länder, die unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse getroffen wurden, ergaben neue Grundlagen für die Bewertungsalgorithmen (siehe Kapitel 4.3). Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde der Einfluß der Parameter "Schadensumfang U_K ", "Gewichtung der Bauteile B_B " sowie "Gewichtung der Kategorien B_K " im Hinblick auf die Beeinflussung der errechneten Zustandsnote analysiert. Dabei wurde das ursprüngliche Bewertungsverfahren nach AP 97243/B4 auf die vorliegenden Datensätze des LVR angewandt. Variiert wurden dabei:

- die Gewichtung der Bauteile B_B
 - variabel gemäß BAST-Vorschlag
 - $B_B = \text{const.} = 0,48$
 - $B_B = \text{const.} = 0,9$

- die Gewichtung der Kategorien K_K
 - variabel gemäß BAST-Vorschlag
 - $B_K = \text{const.} = 1,0$
- der Schadensumfang U_K
 - berücksichtigt
 - nicht berücksichtigt
- der Bewertungsalgorithmus
 - Grundalgorithmus
 - die Zustandsnote ergibt sich aus der maximalen Zustandsnote der einzelnen Kategorien
 - es werden keine Kategorien berücksichtigt

In den Bildern 5 bis 27 sind die Ergebnisse der Berechnungen zusammengeführt. Dabei sind zum einen die errechneten Zustandsnoten den von den Prüfern vergebenen Noten und zum anderen den Ergebnissen, die mit dem Grundalgorithmus ermittelt wurden, gegenübergestellt.

In Tabelle 6 sind die wesentlichen Aussagen zusammengetragen. Dabei ist für jede Variation die Standardabweichung s und die größte Abweichung gegenüber der Prüfnote $\max\Delta Z$ sowie die prozentuale Änderung der Standardabweichung gegenüber den mit dem Grundalgorithmus gewonnenen Ergebnissen Δs angegeben.

Vergleich	Standardabweichung s (bzgl. Prüfnote)	größte Abweichung $\max\Delta Z$ (bzgl. Prüfnote)	Δs (bezogen auf Grundalgorithmus)
Grundalgorithmus 97243/B4	0,61	1,23	-
Grundalgorithmus $B_B = 0,48$	0,60	1,11	1%
Grundalgorithmus $B_B = 0,9$	0,63	1,32	4%
Grundalgorithmus $B_K = 1,0$	0,63	1,44	4%
Grundalgorithmus $B_B = 0,48, B_K = 1,0$	0,61	1,24	1%
Grundalgorithmus $B_B = 0,9, B_K = 1,0$	0,67	1,52	9%
Grundalgorithmus ohne U_K	0,79	1,49	29%
Grundalgorithmus ohne $U_K, B_B = 0,9, B_K = 1,0$	0,96	1,69	58%
$Z_{\text{ges}} = \max Z_K$	0,69	1,75	13%
$Z_{\text{ges}} = \max Z_K, \text{ ohne } U_K$	0,92	1,75	66%
$Z_{\text{ges}} = \max Z_K, B_B = 0,9, \text{ ohne } U_K$	1,20	1,90	97%
ohne Kategorien	0,88	1,65	44%

Tab. 6: Ergebnisse der Vergleichsrechnungen

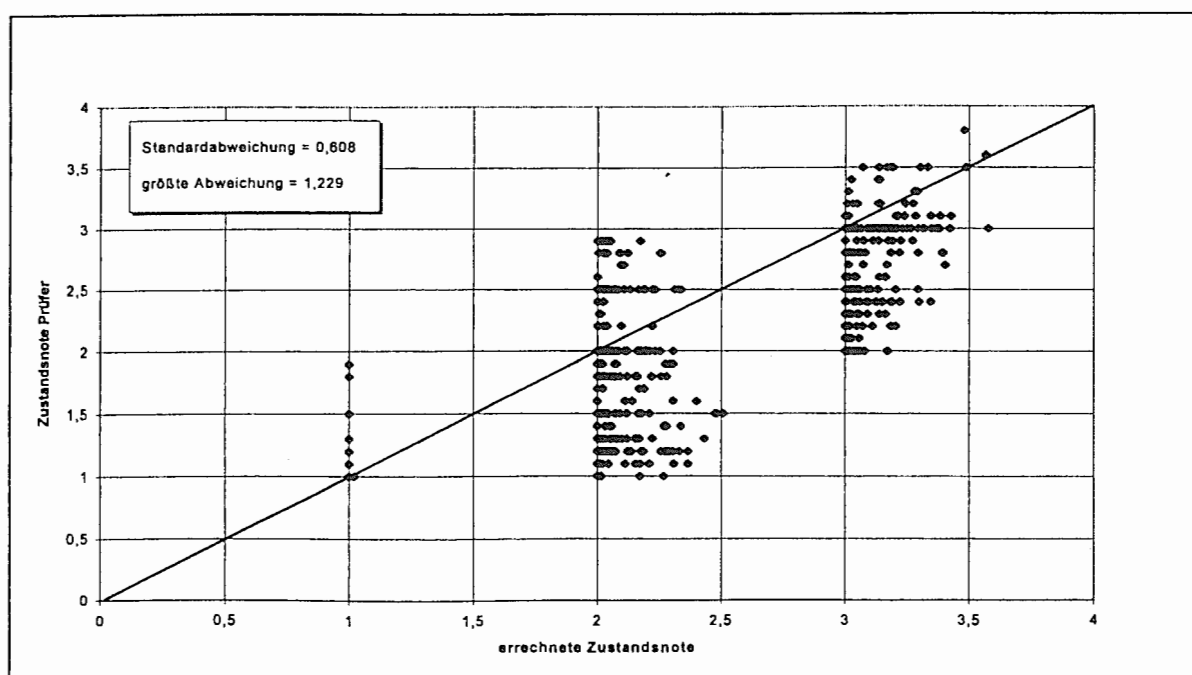


Bild 5: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus)

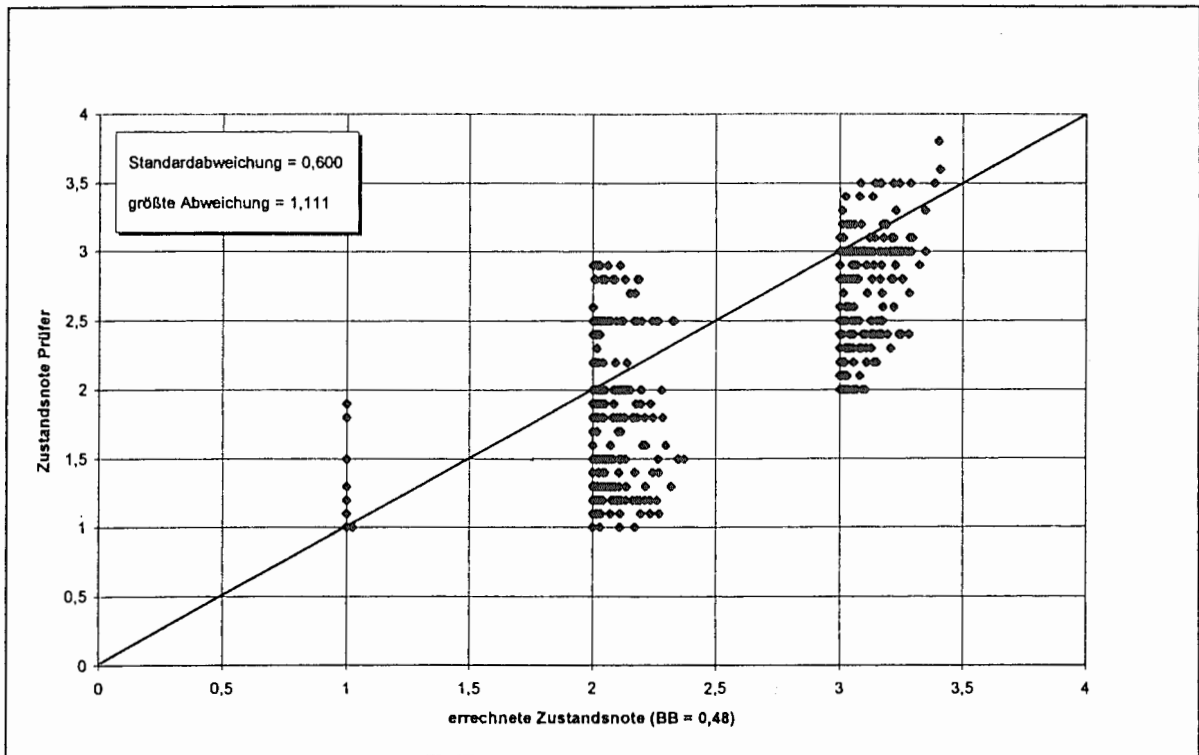


Bild 6: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $B_B = 0,48$)

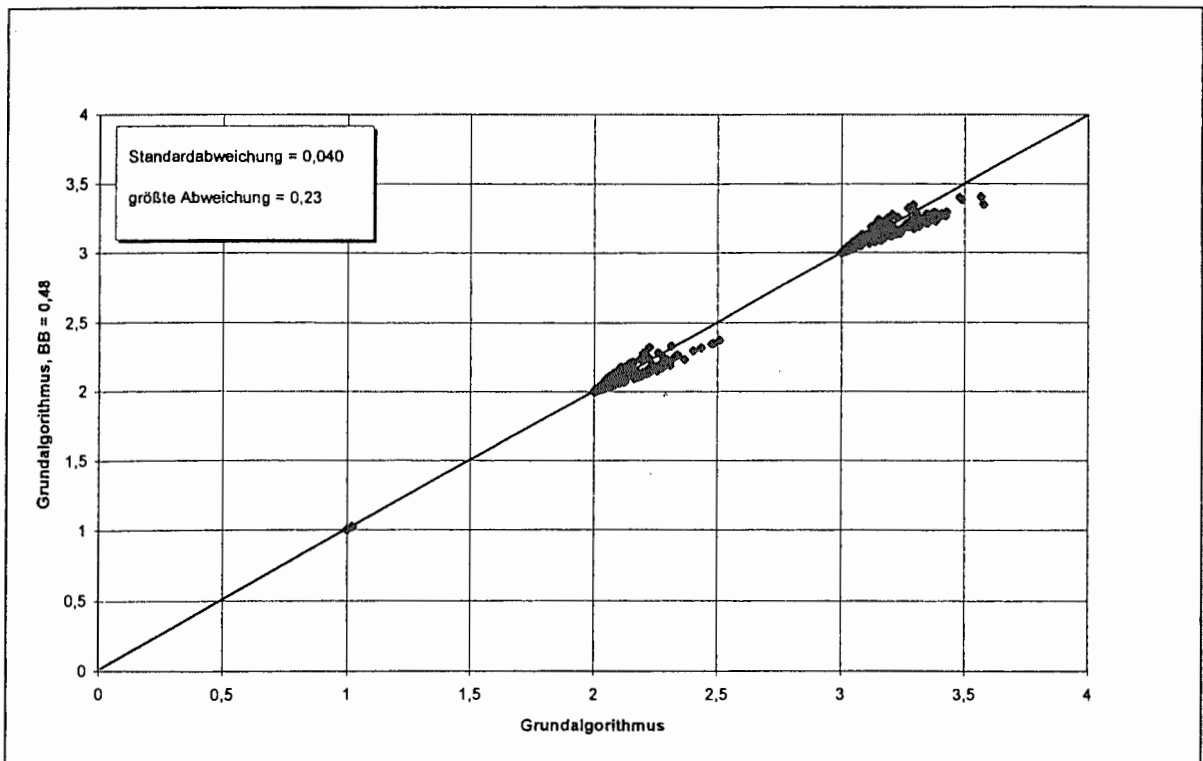


Bild 7: Vergleich Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $B_B = 0,48$)

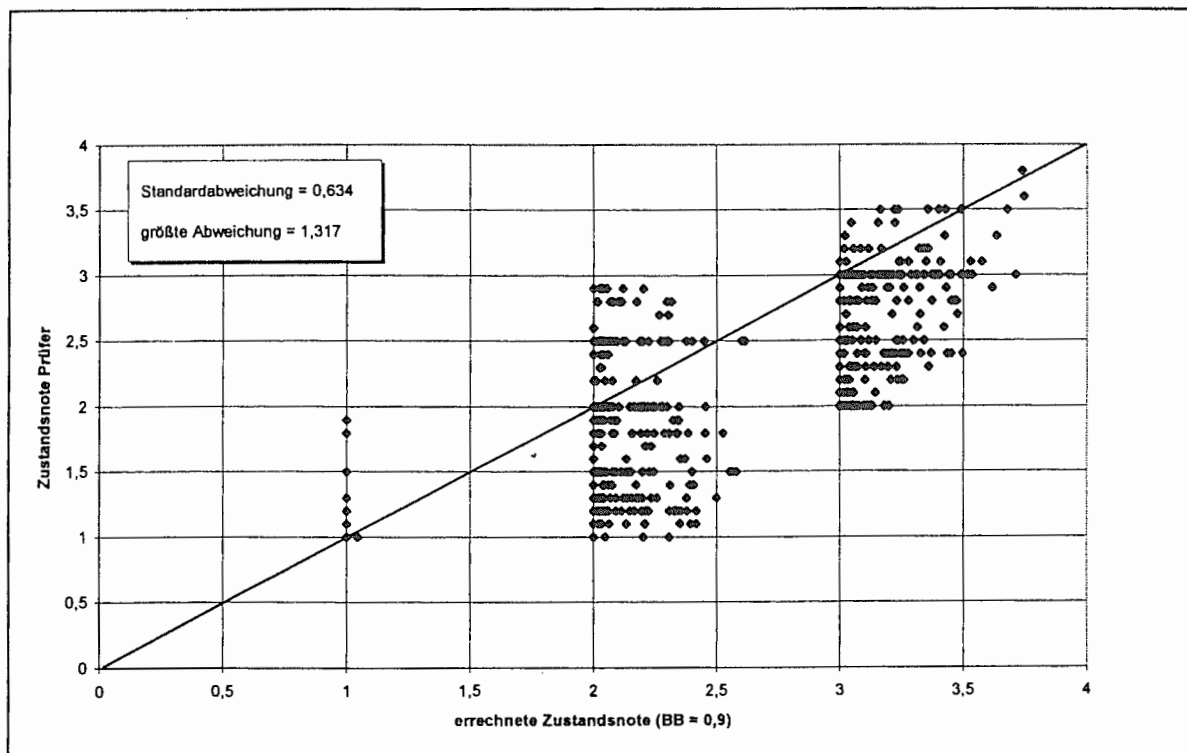


Bild 8: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAsT (Grundalgorithmus, $B_B = 0,9$)

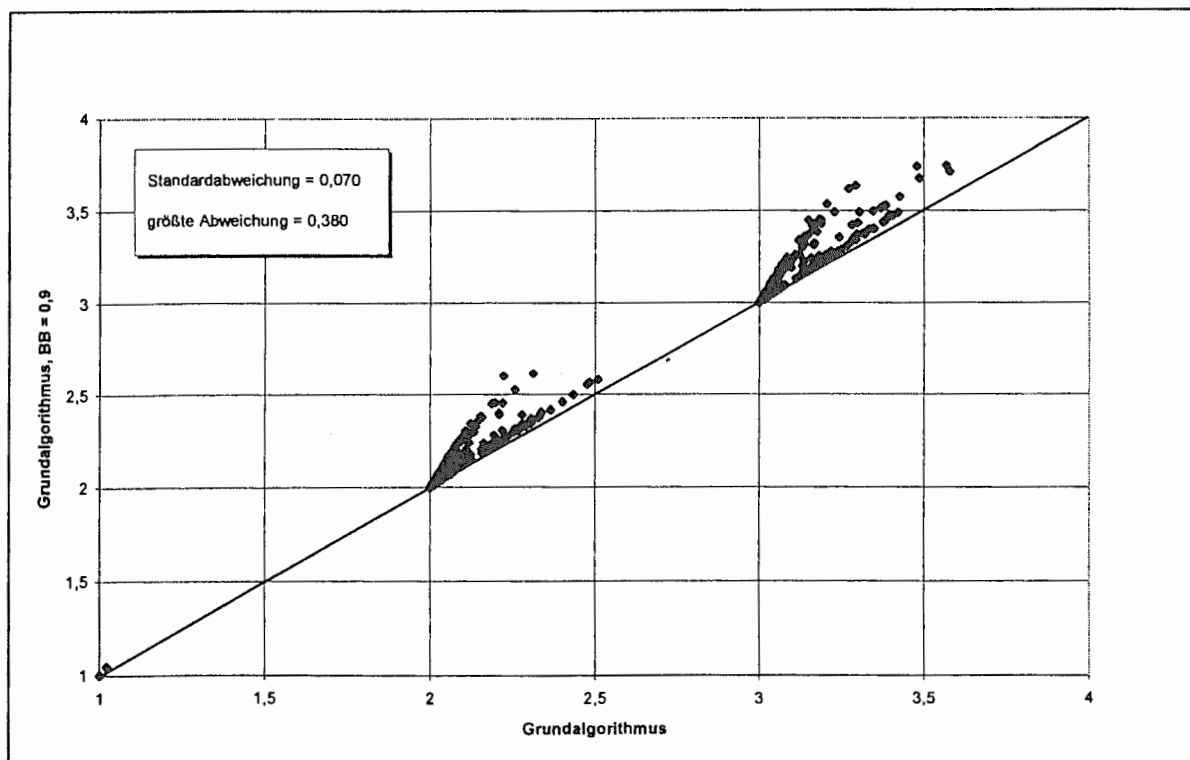


Bild 9: Vergleich Zustandsnoten BAsT (Grundalgorithmus, $B_B = 0,9$)

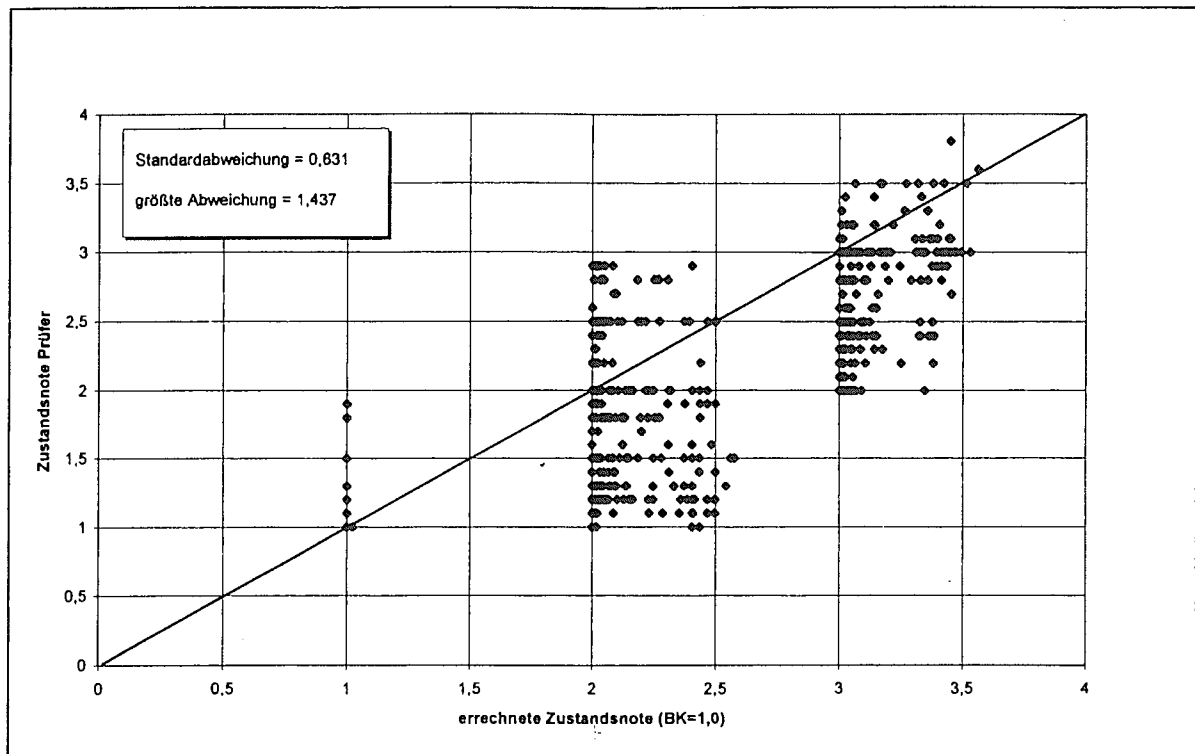


Bild 10: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $B_K = 1,0$)

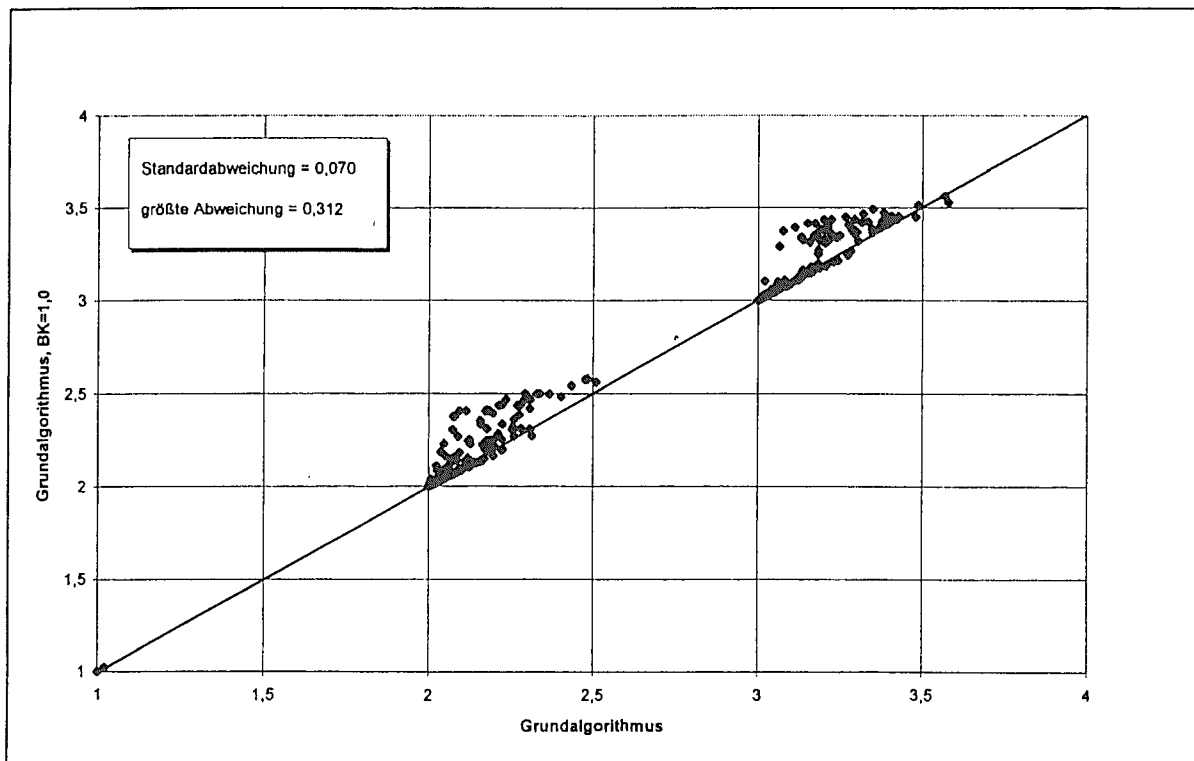


Bild 11: Vergleich Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $B_K = 1,0$)

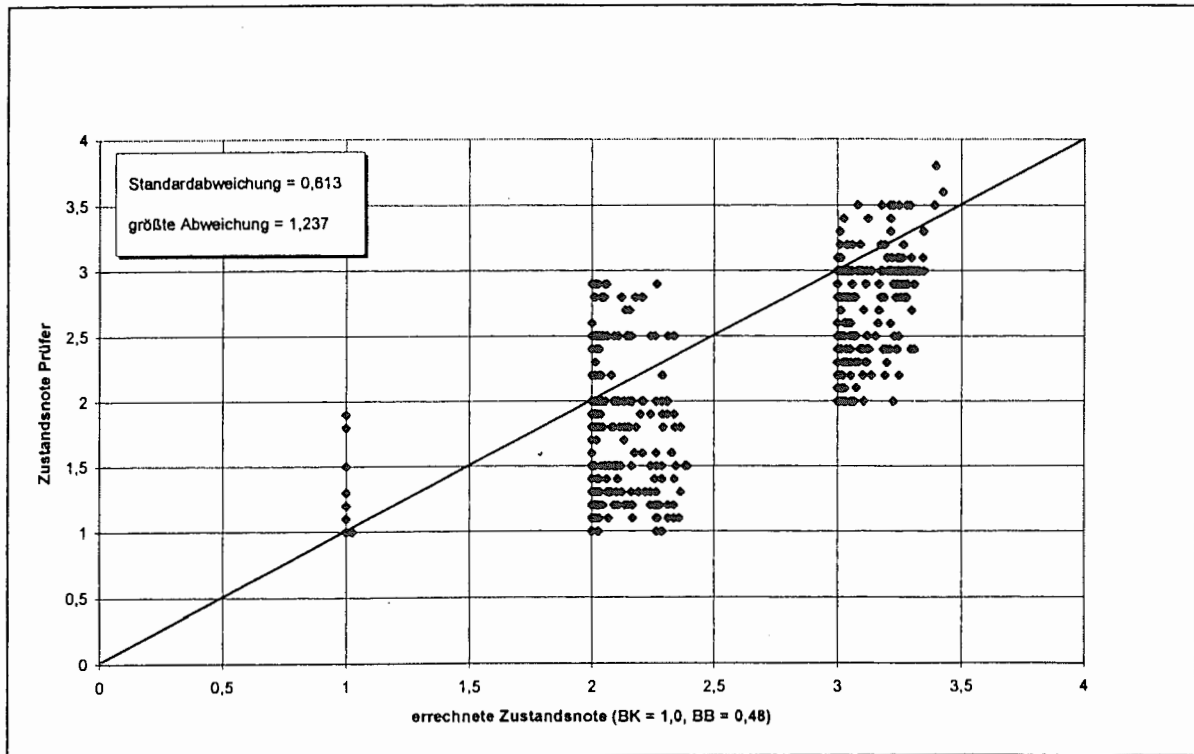


Bild 12: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $B_K = 1,0$, $B_B = 0,48$)

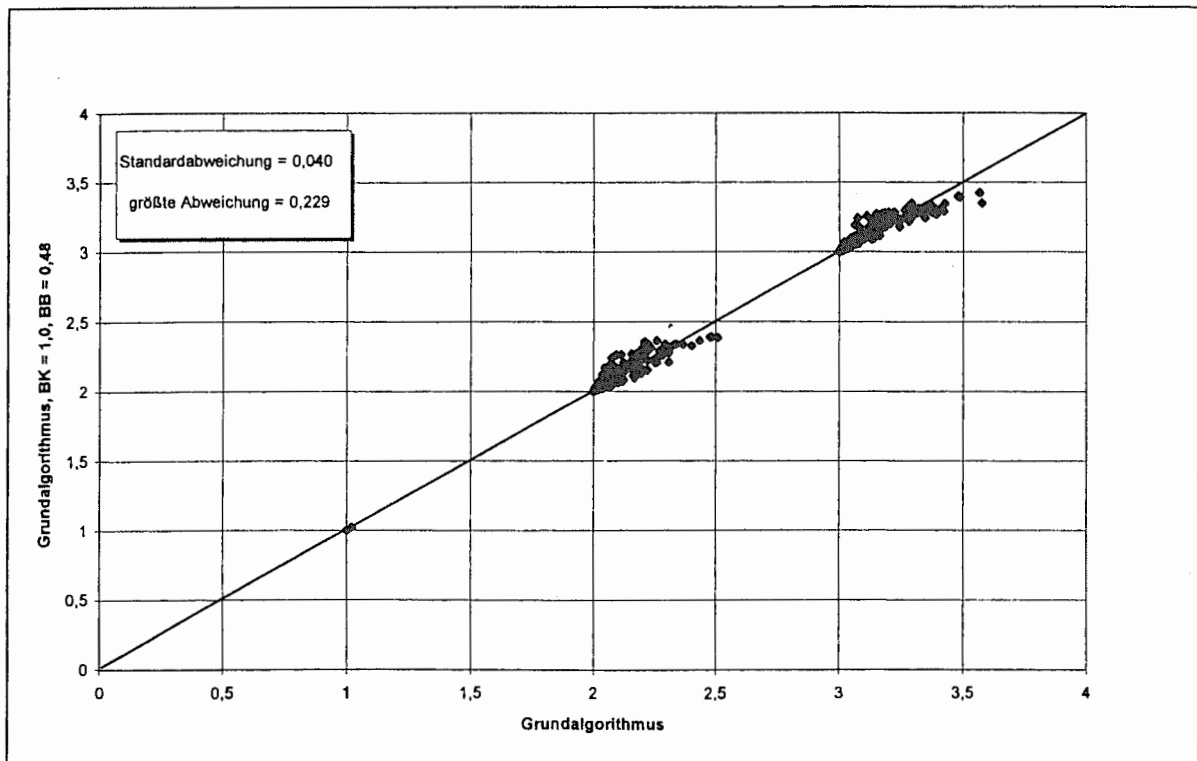


Bild 13: Vergleich Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus - $B_K = 1,0$, $B_B = 0,48$)

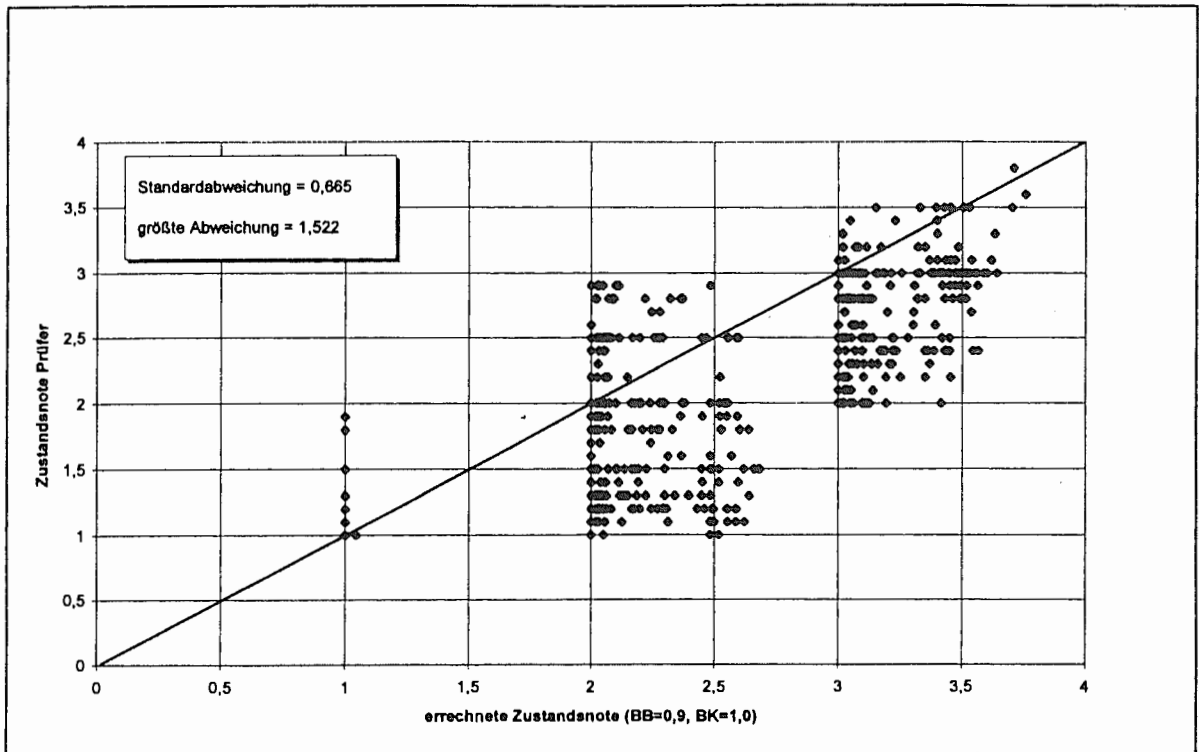


Bild 14: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAsT (Grundalgorithmus, $B_B = 0,9$, $B_K = 1,0$)

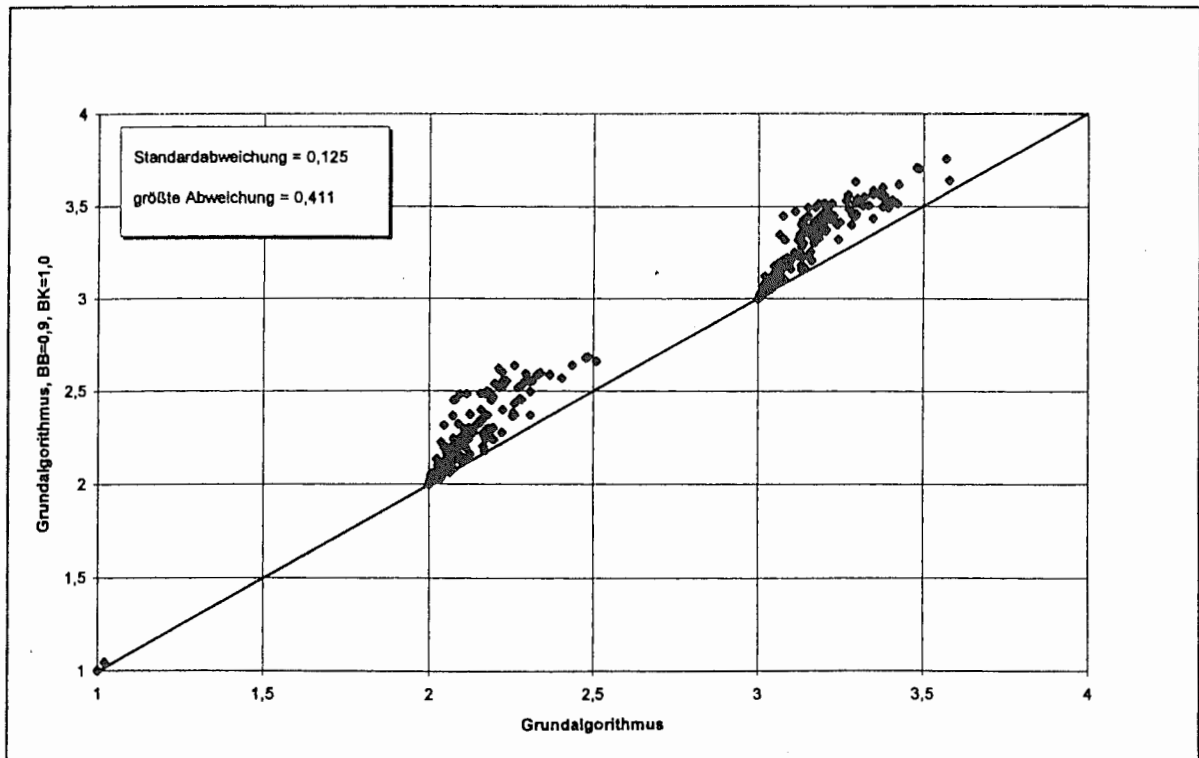


Bild 15: Vergleich Zustandsnoten BAsT (Grundalgorithmus, $B_B = 0,9$, $B_K = 1,0$)

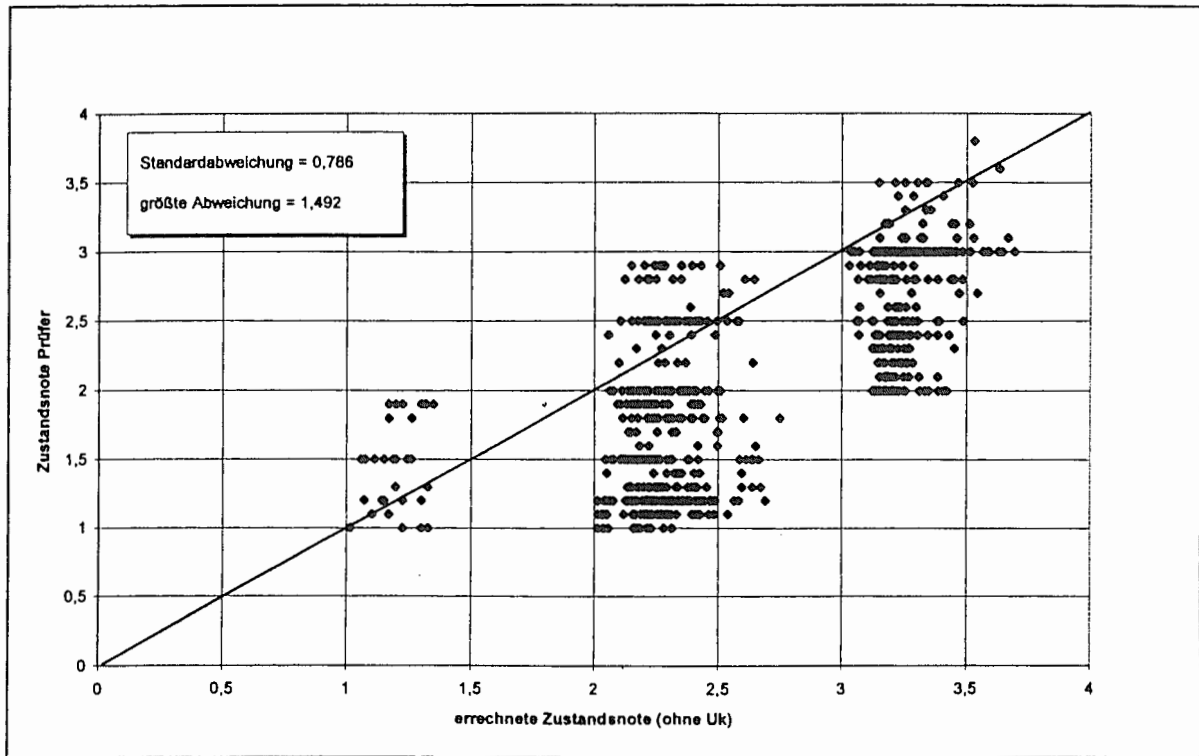


Bild 16: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAS (Grundalgorithmus, Schadensumfang unberücksichtigt)

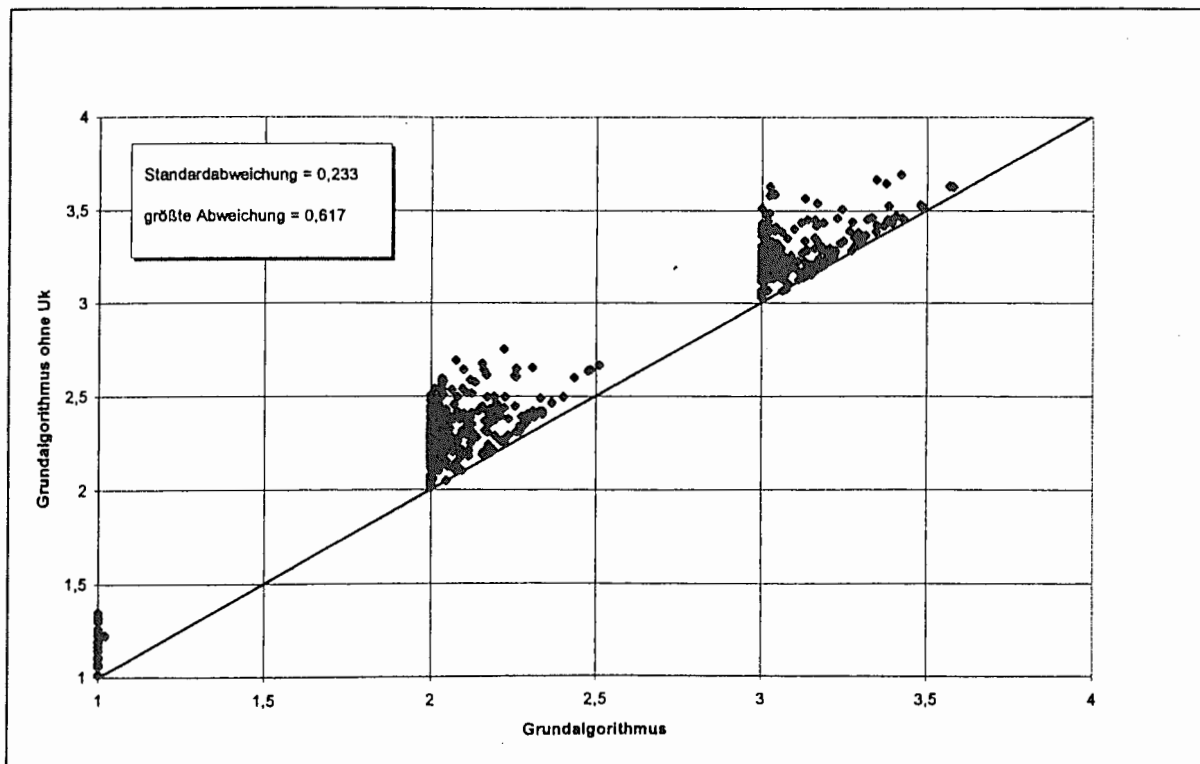


Bild 17: Vergleich Zustandsnoten BAS (Grundalgorithmus, mit und ohne Berücksichtigung des Schadensumfanges)

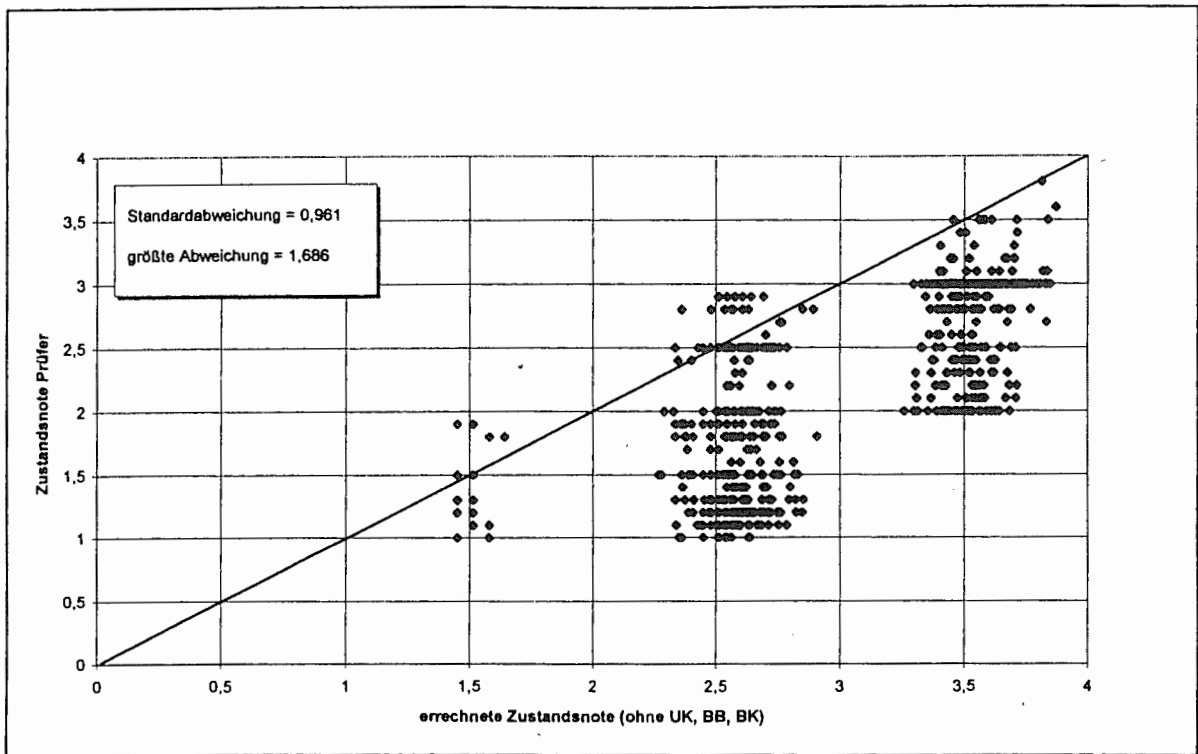


Bild 18: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, Schadensumfang und Gewichtung von Bauteilen und Kategorien unberücksichtigt)

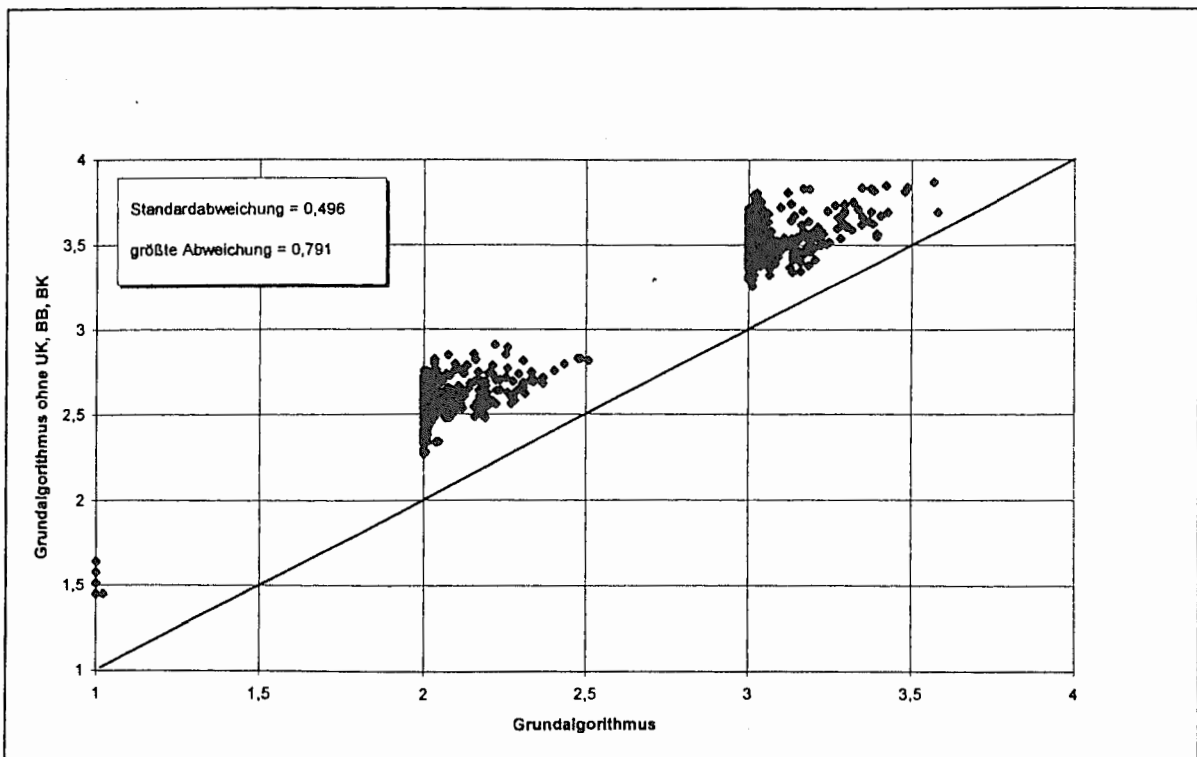


Bild 19: Vergleich Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, mit und ohne Berücksichtigung des Schadensumfanges und der Gewichtung von Bauteilen und Kategorien)

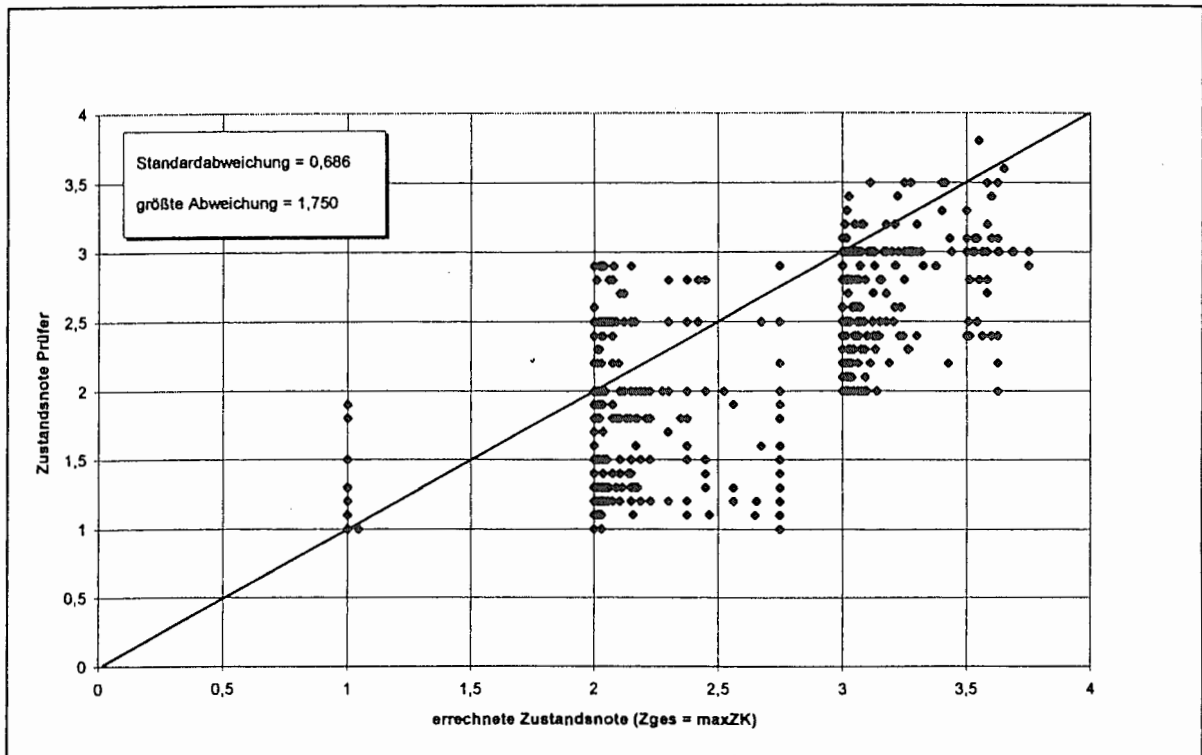


Bild 20: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $Z_{ges} = \max Z_K$)

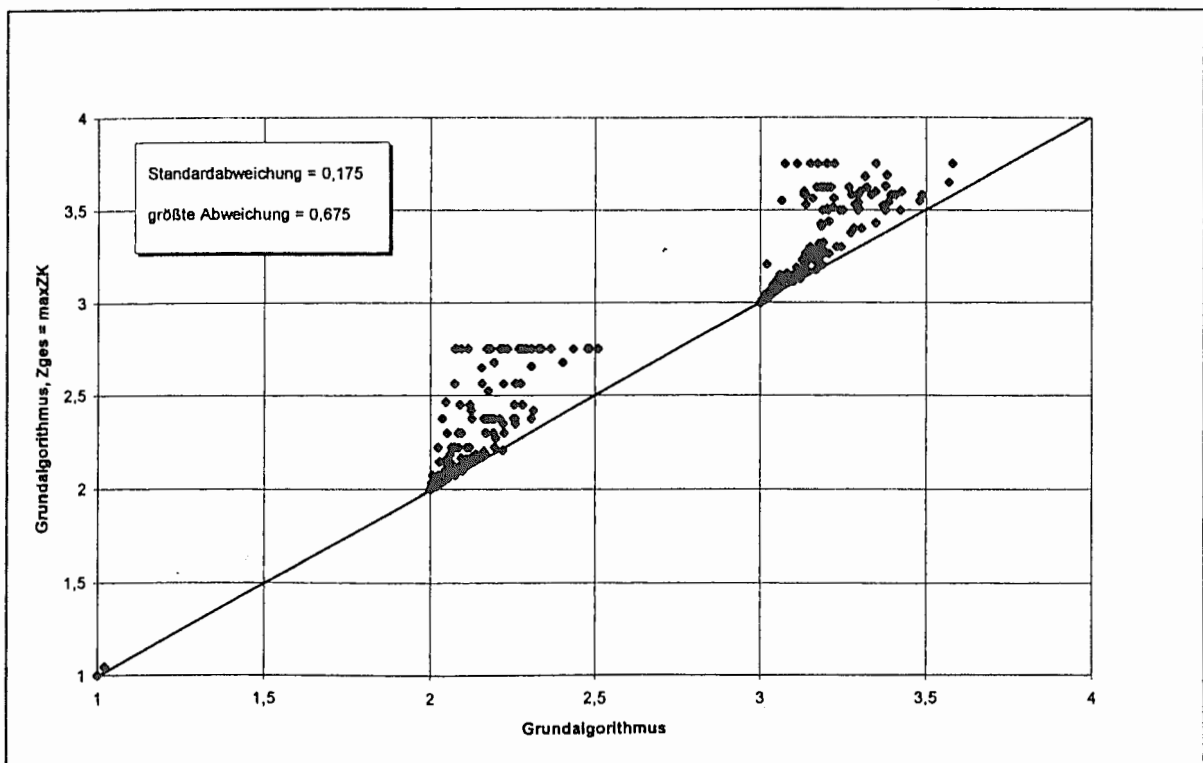


Bild 21: Vergleich Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $Z_{ges} = \max Z_K$)

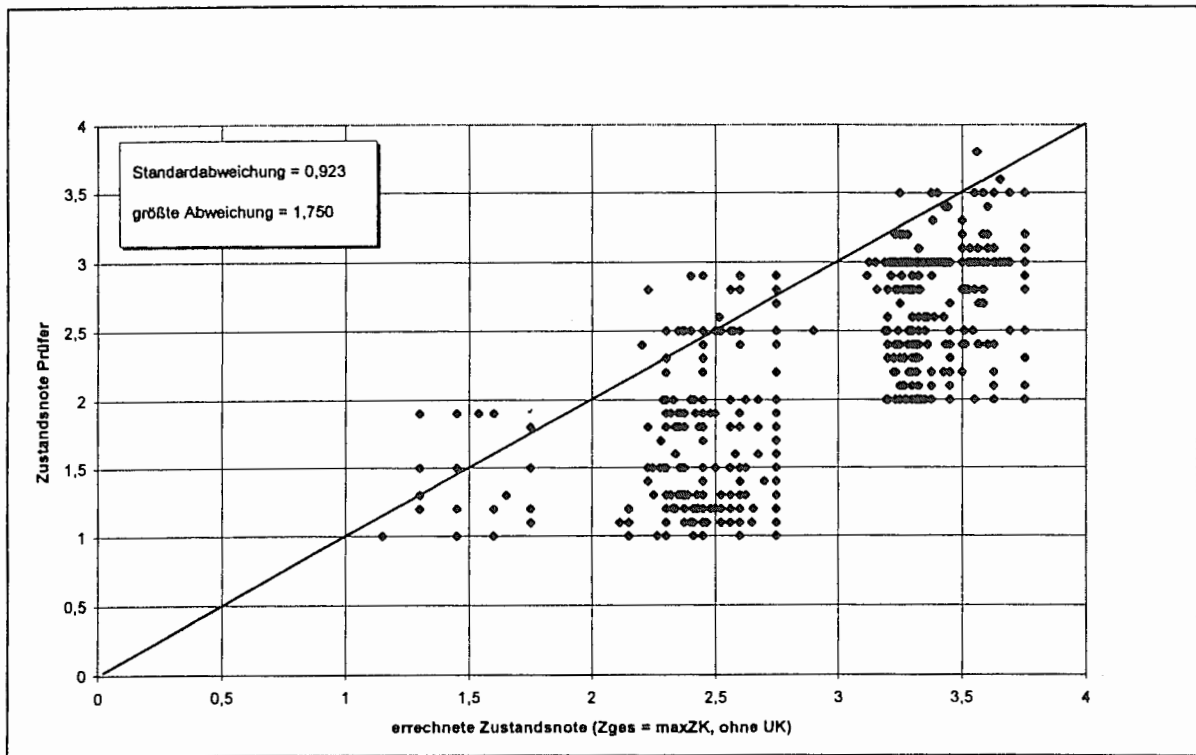


Bild 22: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $Z_{ges} = \max Z_k$, ohne U_k)

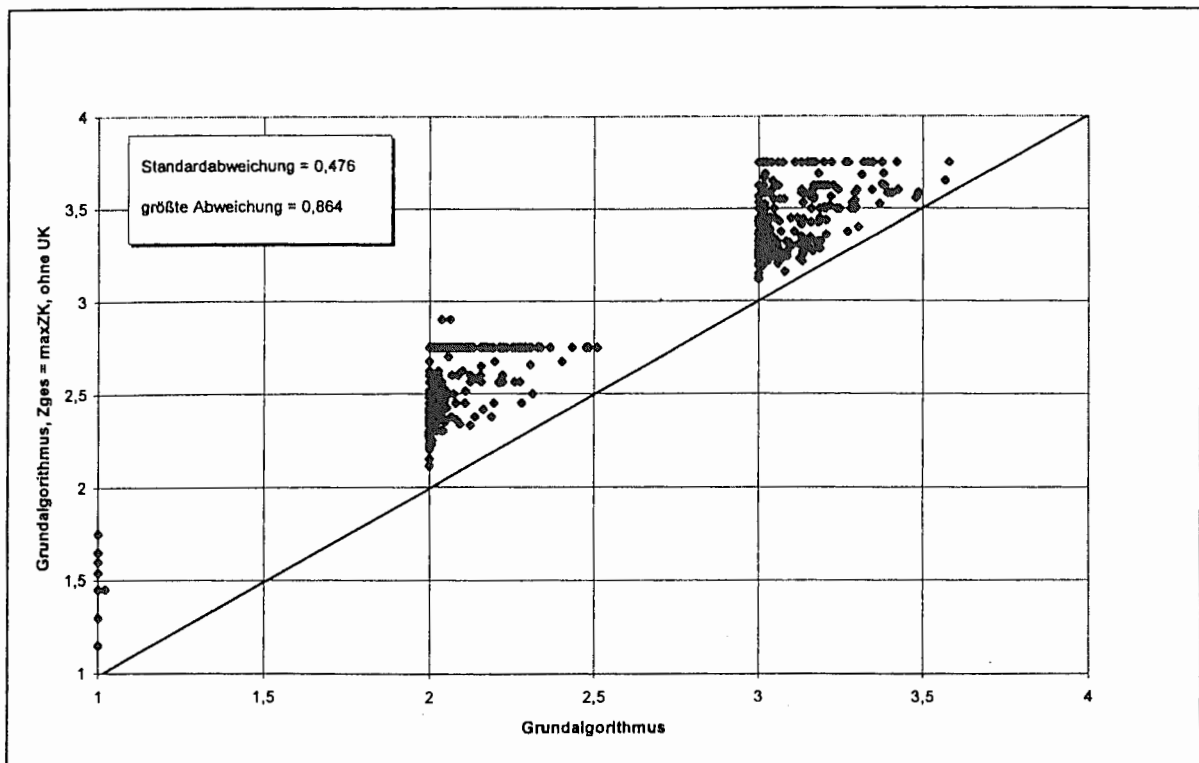


Bild 23: Vergleich Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $Z_{ges} = \max Z_k$, ohne U_k)

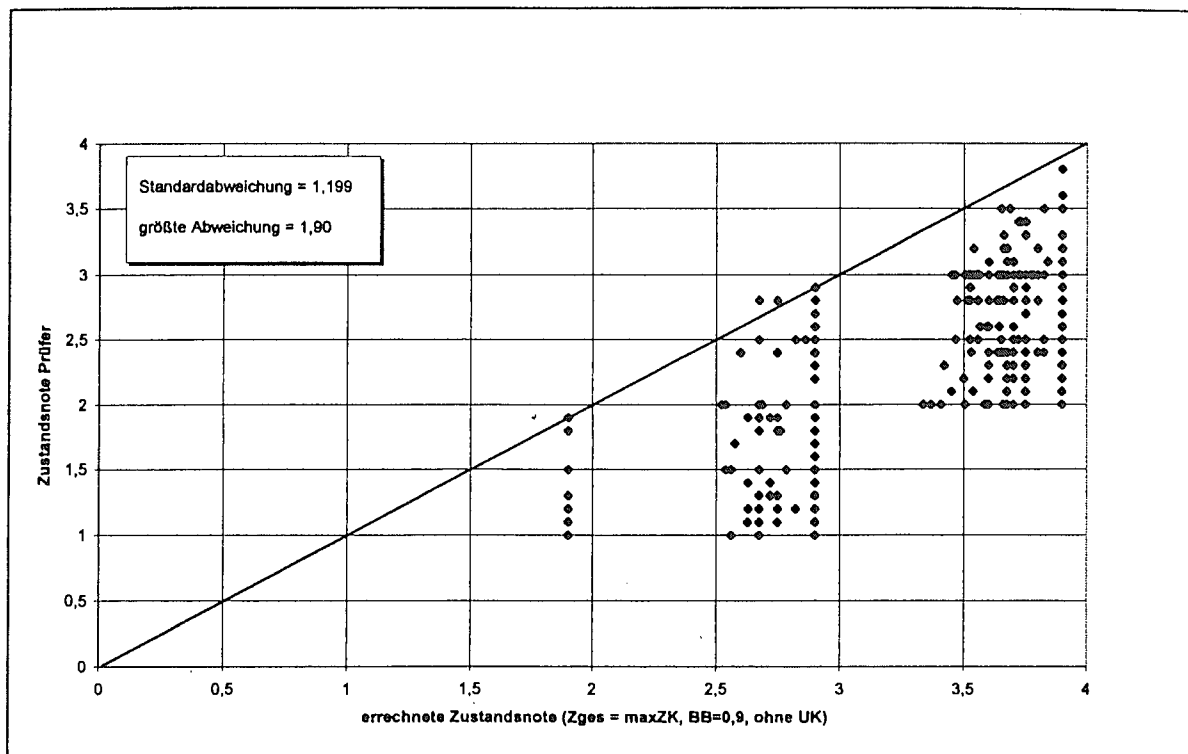


Bild 24: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $Z_{ges} = \max Z_k, B_B = 0,9, \text{ ohne } U_k$)

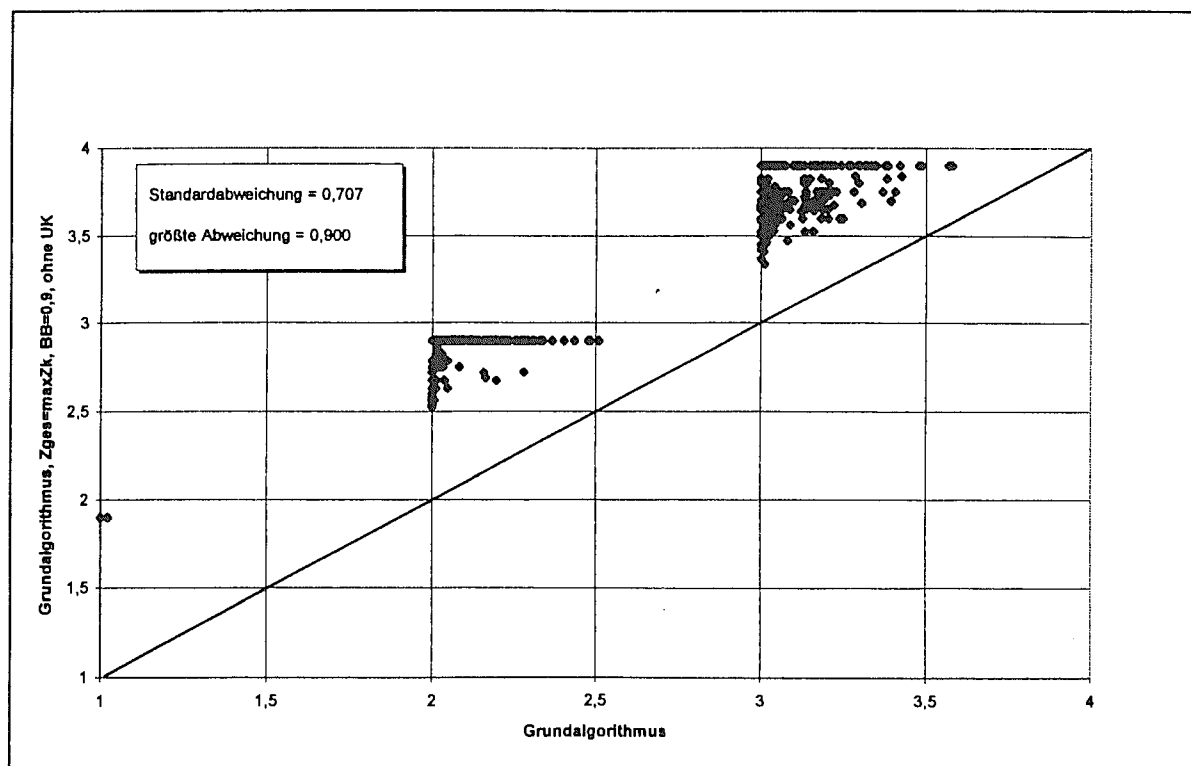


Bild 25: Vergleich Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus, $Z_{ges} = \max Z_k, B_B = 0,9, \text{ ohne } U_k$)

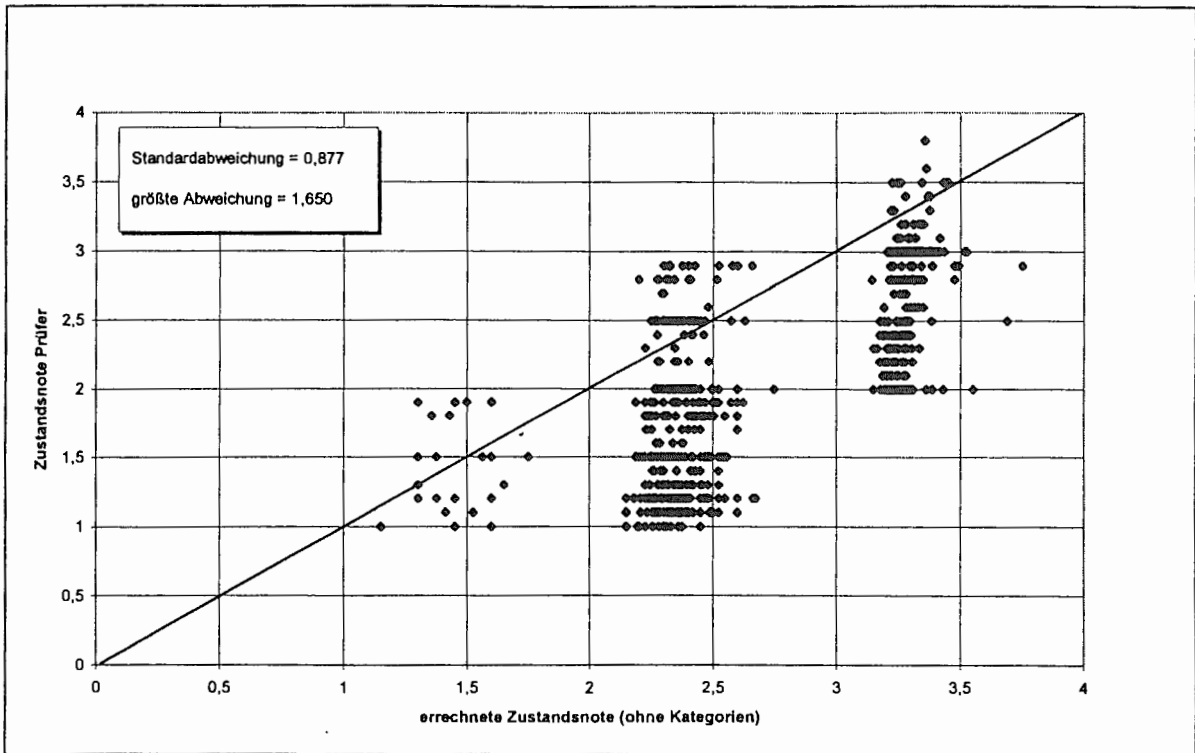


Bild 26: Vergleich Zustandsnoten Prüfer - Zustandsnoten BAST (ohne Kategorien)

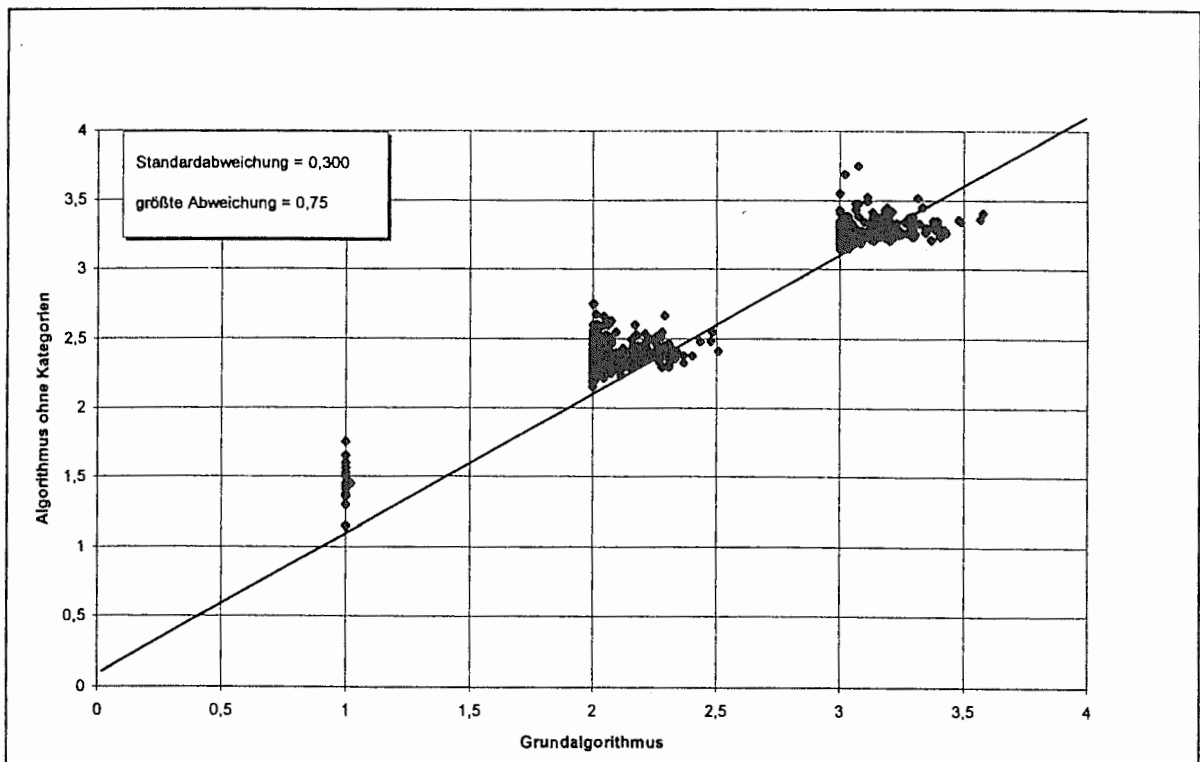


Bild 27: Vergleich Zustandsnoten BAST (Grundalgorithmus - Algorithmus ohne Kategorien)

Allgemein führt die Variation der o.g. Parameter bzw. die Änderung des Bewertungsalgorithmus zu einem höheren wahrscheinlichen Fehler gegenüber den von den Prüfern des LV Rheinland vergebenen Zustandsnoten als die Anwendung des reinen Grundalgorithmus aus dem Projekt 97243/B4.

Konstante Gewichtungsfaktoren für Bauteile oder Bauteilgruppen (Kategorien) führen zwar zu einer Verschlechterung der Qualität der errechneten Zustandsnoten, der Unterschied der Standardabweichungen ist jedoch gering. Bei einem Verzicht auf diese Gewichtungsfaktoren, gleichbedeutend mit $B_B = 0,9$ und $B_K = 1,0$, vergrößert sich der wahrscheinliche Fehler gegenüber den von den Prüfern vergebenen Zustandsnoten um nur 4%. Fehlen beide Gewichtungsfaktoren gleichzeitig, erhöht sich der wahrscheinliche Fehler um 9%.

Während die Bedeutung der Parameter B_B und B_K für die Zustandsnote eher gering ist, beeinflusst der Schadensumfang U_K die Rechenergebnisse erheblich ($\Delta s = 29\%$). Bei zusätzlichem Verzicht auf die Gewichtungsfaktoren B_B und B_K kommt es zu einer weiteren Steigerung des wahrscheinlichen Fehlers ($\Delta s = 58\%$).

Ebenso zeigt die Analyse, daß bei Verzicht auf die Berücksichtigung der bewerteten Differenz der Zustandsnoten von Bauteilgruppen bei der Ermittlung der Gesamtzustandsnote (d.h. $Z_{ges} = \max Z_K$) die Qualität der Ergebnisse absinkt ($\Delta s = 13\%$). Dieser Effekt wird noch gesteigert, wenn zusätzlich der Gewichtungsfaktor für Bauteile sowie Angaben zum Schadensumfang unberücksichtigt bleiben ($\Delta s = 66\%$ bzw. 97%).

Schlußendlich führt der Verzicht auf Bauteilgruppen (Kategorien) bei der analytischen Zustandsbewertung zu einer Erhöhung des wahrscheinlichen Fehlers um 44% gegenüber den von den Prüfern vergebenen Zustandsnoten.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß bei der analytischen Zustandsbewertung auf die Berücksichtigung von Bauteilgruppen (Kategorien) sowie des Schadensumfanges nicht verzichtet werden sollte, da ihr Einfluß auf die Zustandsbewertung erheblich ist. Die Bedeutung der Parameter B_B und B_K ist in den vorliegenden Analyseergebnissen dagegen eher gering, ein Verzicht auf diese Parameter würde die Ergebnisse nicht maßgeblich beeinflussen.

4.3 Festlegungen der Arbeitsgruppen des Bundes und der Länder

Im Verlauf der Bearbeitung des Projektes wurden

in den betreffenden Gremien eine Reihe von Festlegungen u.a. auf der Grundlage der Forschungsergebnisse der TH Darmstadt, des Projektes 97243/B4 der BAST sowie der oben dargestellten Parameterstudie getroffen:

- Es wird ein Verfahren angestrebt, das eine detaillierte Zustandsbewertung nach einheitlichen Kriterien ermöglicht. Dabei wird Wert darauf gelegt, daß sowohl die Schadens- als auch die Zustandsbewertung eine einheitliche Grundlage erhält.
- Die Schadensbewertung soll 3-stufig erfolgen, und zwar getrennt nach den Kriterien "Stand-sicherheit", "Verkehrssicherheit" und "Dauerhaftigkeit", jeweils im Bereich von 1 bis 4.
- Zusätzlich vom Prüfer anzugeben ist der Schadensumfang ("klein", "mittel", "groß").
- Die Zustandsnote zur Beurteilung des Gesamtbauwerks im Bereich zwischen 1,0 und 4,0 wird unter Berücksichtigung der 3-stufigen Schadensbewertung, des Schadensumfanges und der Anzahl der Einzelschäden ermittelt.
- Es werden Bauteilgruppen (entsprechend dem Begriff "Kategorie" nach [8]) gemäß ASB definiert. Für diese Gruppen werden mit Hilfe des analytischen Bewertungsverfahrens ebenfalls Zustandsnoten errechnet.
- Es werden neue Definitionen für die Kriterien "Stand-sicherheit", "Verkehrssicherheit" und "Dauerhaftigkeit" sowie für die einzelnen Stufen der Schadens- und Zustandsbewertung erarbeitet. Diese Definitionen bilden die Grundlage des neuen Bewertungsverfahrens.
- Darüber hinaus wird eine einheitliche Schadensbewertung durch die Festlegung eines umfassenden Bewertungskataloges für häufig auftretende und maßgebliche Schäden sichergestellt.

5 Darstellung eines neuen Verfahrens der Schadens- und Zustandsbewertung

5.1 Grundzüge des Verfahrens

Wie bereits erläutert, ist das bisherige Verfahren der Bauwerksprüfungen nach RI-EBW-PRÜF gekennzeichnet durch die detaillierte Erfassung und Bewertung der Einzelschäden bzw. -mängel. Eine Zustandsbewertung hingegen erfolgt zur Zeit ausschließlich für das Gesamtbauwerk; sie basiert zwar auf dem Prüfergebnis, ist aber letztendlich auf

das subjektive Urteil des Prüfers zurückzuführen. Als Grundlage für ein umfassendes Managementsystem der Bauwerkserhaltung wird hingegen eine detaillierte Zustandsbewertung nach einheitlichen Kriterien benötigt, um Zustandsentwicklungen und damit auch Erhaltungskosten bei unterschiedlichen Erhaltungsstrategien voraussagen zu können.

Darüber hinaus benötigen übergeordnete Stellen nach einheitlichen Kriterien entwickelte Zustandsnoten, um Informationen über den Zustand der Bauwerke, des Nutzens investierter Mittel und der aktuellen Erhaltungsstrategie zu erlangen. Nur ein von subjektiven Einflüssen soweit wie möglich befreites Bewertungsverfahren kann eine Grundlage für eine optimierte Bauwerkserhaltung sein.

In diesem Sinne ist auch das bisherige Verfahren der Schadensbewertung kritisch zu bewerten. Gleiche Schadensbilder werden in der Praxis unterschiedlich bewertet. Darüber hinaus besteht kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Schadensbewertungen und Zustandsnoten.

Im folgenden wird ein neues Verfahren zur Zustandserfassung und -bewertung vorgestellt, das unter Berücksichtigung der o. g. Kriterien und Anforderungen in Arbeitsgruppen des Bundes und der Länder unter maßgeblicher Beteiligung der Bundesanstalt für Straßenwesen entwickelt wurde und in die Neufassung der RI-EBW-PRÜF (geplant im Juni 1998) Eingang finden wird.

5.2 Schadensbewertung

Bei der Entwicklung des Verfahrens wurde es zunächst erforderlich, genaue Definitionen der Kriterien "Standssicherheit", "Verkehrssicherheit" und "Dauerhaftigkeit" zu erarbeiten, da diese von der bisherigen RI-EBW-PRÜF nicht angegeben wurden. Darüber hinaus waren Grenzen anzugeben, ab denen die Kriterien gegeben bzw. nicht mehr gegeben sind. Im Rahmen der Überarbeitung der Richtlinie wurde folgendes festgelegt:

- Die **Standssicherheit** kennzeichnet das Niveau eines Bauwerks bzw. einzelner Bauwerksteile, die planmäßige Beanspruchung schadlos aufnehmen zu können.

Die **Standssicherheit ist gegeben**, wenn Bauteilzustand, Baustoffqualität, Bauteilabmessungen und Bauwerksbeschilderung sowie die Beanspruchung aus der planmäßigen Bauwerksnutzung den Annahmen der Bemessung/Nachrechnung/Tragfähigkeitseinstufung und ggf. den Nutzungsbeschränkungen des Bauwerks entsprechen.

Die **Standssicherheit ist nicht gegeben**, wenn Bauteilzustand, Baustoffqualität oder Bauteilabmessungen oder die Beanspruchungen aus der planmäßigen Bauwerksnutzung nicht den Annahmen der Bemessung/Nachrechnung/Tragfähigkeitseinstufung des Bauwerks entsprechen bzw. erforderliche Nutzungseinschränkungen nicht vorhanden oder nicht wirksam sind.

- Die **Verkehrssicherheit** ist ein Maß für die Bauwerksausbildung nach anerkannten Regeln der Technik zum jeweiligen Prüfzeitpunkt, welche die Anforderungen an Sicherheit und Ordnung hinsichtlich der gefahrlosen und bestimmungsgemäßen Nutzung des Bauwerks beinhaltet. Sie schließt damit sowohl die Sicherheit für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge als auch die Sicherheit für Personen und Sachen im Bauwerksumfeld ein. Dabei wird eine verständige, unter Würdigung der äußeren Umstände gebotene Vorsicht und die im Straßenverkehr übliche Sorgfalt der Verkehrsteilnehmer vorausgesetzt.

Die **Verkehrssicherheit ist gegeben**, wenn das Bauwerk keine oder lediglich geringfügige Mängel/Schäden aufweist, die keinen Einfluß auf die Verkehrssicherheit haben und im Rahmen der planmäßigen Bauwerksunterhaltung behoben werden können. Sie ist ebenfalls gegeben, wenn der Bauwerksnutzer die Gefährdung rechtzeitig erkennen kann bzw. wenn die Verkehrsteilnehmer in geeigneter Weise auf Gefährdungen besonders hingewiesen und damit zu erhöhter Vorsicht angehalten werden.

Die **Verkehrssicherheit ist nicht gegeben**, wenn das Bauwerk Mängel/Schäden aufweist, von denen eine nicht erkennbare Gefahr bei der planmäßigen Bauwerksnutzung ausgeht.

- Die **Dauerhaftigkeit** kennzeichnet die Widerstandsfähigkeit eines Bauwerks bzw. einzelner Bauwerksteile gegenüber Einwirkungen, um eine möglichst lange Nutzungsdauer unter Aufrechterhaltung der Standssicherheit und Verkehrssicherheit bei planmäßiger Bauwerksunterhaltung zu erreichen.

Die **Dauerhaftigkeit ist gegeben**, wenn das Bauteil/Bauwerk keine oder lediglich geringfügige Mängel/Schäden aufweist, die im Rahmen der Bauwerksunterhaltung oder im Zuge von geringfügigen Instandsetzungsmaßnahmen behoben werden können. Es ist zu erwarten, daß das Bauteil/Bauwerk ohne Nutzungseinschränkungen entsprechend der Verkehrsbedeutung der Straße seine Nutzungsdauer erreicht.

Die **Dauerhaftigkeit ist nicht gegeben**, wenn das Bauteil/Bauwerk Mängel/Schäden aufweist, die nur durch umfangreiche Instandsetzungsmaßnahmen oder Erneuerungen behoben werden können. Werden die erforderlichen Maßnahmen nicht durchgeführt, ist zu erwarten, daß das Bauwerk lediglich mit eingeschränkter Nutzung seine konzipierte Nutzungsdauer erreicht oder eine vorzeitige Erneuerung erforderlich wird.

Grundlage des Verfahrens der Zustandsbewertung ist die detaillierte Bewertung der Einzelschäden. Dabei ist im Verlauf der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 für jeden erfaßten Einzelschaden eine getrennte Schadensbewertung (0 bis 4) nach den o.g. Kriterien durchzuführen. Zusätzlich ist für jeden Einzelschaden der Schadensumfang quantitativ zu erfassen. Bei der Schadensbewertung ist von einem mittleren Schadensumfang und einer mittleren Schadenshäufigkeit auszugehen. Bei der Ermittlung der Zustandsnote werden diese Parameter durch Zu- und Abschläge berücksichtigt. Bei der Bewertung von Einzelschäden nach Standsicher-

heit S und Verkehrssicherheit V sind ausschließlich die aktuellen Einflüsse des Schadens zu berücksichtigen. Die Bewertung der Dauerhaftigkeit D umfaßt die Auswirkungen des Schadens in zeitlicher Hinsicht.

Gegenüber dem bisherigen Verfahren nach RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1994, wurden auch die Definitionen der Schadens- und Zustandsbewertung neu gefaßt. Dabei wurden die Stufen (0 bis 4) der getrennten Schadensbewertung nach den Kriterien "Standsicherheit", "Verkehrssicherheit" und "Dauerhaftigkeit" für Schäden/Mängel an Ingenieurbauwerken nach DIN 1076 definiert (siehe Tabelle 7a bis c).

Zur Sicherstellung eines einheitlichen Vorgehens bei der Schadensbewertung werden dem Prüfer umfangreiche Schadensbewertungskataloge in die Hand gegeben. Diese Beispielsammlungen sind der Richtlinie RI-EBW-PRÜF zu entnehmen.

Schadensbewertung "Standsicherheit"	
Bewertung	Beschreibung
0	Der Mangel/Schaden hat keinen Einfluß auf die Standsicherheit des Bauteils/Bauwerks.
1	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Standsicherheit des Bauteils , hat jedoch keinen Einfluß auf die Standsicherheit des Bauwerks . Einzelne geringfügige Abweichungen in Bauteilzustand, Baustoffqualität oder Bauteilabmessungen und geringfügige Abweichungen hinsichtlich der planmäßigen Beanspruchung liegen noch deutlich im Rahmen der zulässigen Toleranzen . Schadensbeseitigung im Rahmen der Bauwerksunterhaltung .
2	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Standsicherheit des Bauteils , hat jedoch nur geringen Einfluß auf die Standsicherheit des Bauwerks . Die Abweichungen in Bauteilzustand, Baustoffqualität oder Bauteilabmessungen oder hinsichtlich der planmäßigen Beanspruchung aus der Bauwerksnutzung liegen noch im Rahmen der zulässigen Toleranzen . Schadensbeseitigung mittelfristig erforderlich .
3	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Standsicherheit des Bauteils und des Bauwerks . Die Abweichungen in Bauteilzustand, Baustoffqualität oder Bauteilabmessungen oder hinsichtlich der planmäßigen Beanspruchung aus der Bauwerksnutzung übersteigen die zulässigen Toleranzen . Erforderliche Nutzungseinschränkungen sind nicht vorhanden oder unwirksam. Schadensbeseitigung kurzfristig erforderlich . Nutzungseinschränkung umgehend erforderlich .
4	Die Standsicherheit des Bauteils und des Bauwerks ist nicht mehr gegeben . Sofortige Maßnahmen sind während der Bauwerksprüfung erforderlich . Eine Nutzungseinschränkung ist umgehend vorzunehmen . Die Instandsetzung oder Erneuerung ist einzuleiten .

Tab. 7a: Definitionen der Schadensbewertung "Standsicherheit"

Schadensbewertung "Verkehrssicherheit"	
Bewertung	Beschreibung
0	Der Mangel/Schaden hat keinen Einfluß auf die Verkehrssicherheit .
1	Der Mangel/Schaden hat geringen Einfluß auf die Verkehrssicherheit . Die Verkehrssicherheit ist gegeben. Schadensbeseitigung im Rahmen der Bauwerksunterhaltung.
2	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt geringfügig die Verkehrssicherheit ; die Verkehrssicherheit ist jedoch noch gegeben. Schadensbeseitigung oder Warnhinweis erforderlich.
3	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Verkehrssicherheit . Schadensbeseitigung oder Warnhinweis kurzfristig erforderlich.
4	Durch den Mangel/Schaden ist die Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben . Sofortige Maßnahmen sind während der Bauwerksprüfung erforderlich. Eine Nutzungseinschränkung ist umgehend vorzunehmen. Die Instandsetzung oder Erneuerung ist einzuleiten.

Tab. 7b: Definitionen der Schadensbewertung "Verkehrssicherheit"

Schadensbewertung "Dauerhaftigkeit"	
Bewertung	Beschreibung
0	Der Mangel/Schaden hat keinen Einfluß auf die Dauerhaftigkeit des Bauteils/Bauwerks .
1	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit des Bauteils , hat jedoch langfristig nur geringen Einfluß auf die Dauerhaftigkeit des Bauwerks. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung anderer Bauteile ist nicht zu erwarten. Schadensbeseitigung im Rahmen der Bauwerksunterhaltung.
2	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit des Bauteils und führt langfristig auch zur Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit des Bauwerks . Die Schadensausbreitung oder Folgeschädigung anderer Bauteile kann nicht ausgeschlossen werden. Schadensbeseitigung mittelfristig erforderlich.
3	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit des Bauteils und führt mittelfristig zur Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit des Bauwerks . Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung anderer Bauteile ist zu erwarten. Schadensbeseitigung kurzfristig erforderlich.
4	Durch den Mangel/Schaden ist die Dauerhaftigkeit des Bauteils und des Bauwerks nicht mehr gegeben . Die Schadensausbreitung oder Folgeschädigung anderer Bauteile erfordert umgehend eine Instandsetzung, Nutzungseinschränkung oder Bauwerkserneuerung.

Tab. 7c: Definitionen der Schadensbewertung "Dauerhaftigkeit"

5.3 Zustandsbewertung

Die Zustandsbewertung von Bauwerken nach DIN 1076 wird vom Erfassungsprogramm **automatisch** durchgeführt. Zustandsnotenbereiche wurden unter Berücksichtigung der Schadensauswirkung auf die "Standssicherheit", "Verkehrssicherheit" und "Dauerhaftigkeit" der Konstruktion

neu definiert (Tab. 8). Die neue 6-stufige Einteilung hat gegenüber der ursprünglichen Definition u. a. den Vorteil, daß nunmehr die Festlegung von Warn- und Schwellwerten gemäß der Vorgehensweise beim geplanten Pavement Management System (PMS) ermöglicht ist, und damit ein wesentlicher Grundstein für eine einheitliche Vorgehensweise bei der Bewertung von Schäden gelegt ist.

Note	Beschreibung
1,0 - 1,4	sehr guter Bauwerkszustand
	Die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks sind gegeben. Laufende Unterhaltung erforderlich.
1,5 - 1,9	guter Bauwerkszustand
	Die Standsicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes kann auf längere Sicht geringfügig beeinträchtigt sein. Laufende Unterhaltung erforderlich.
2,0 - 2,4	befriedigender Bauwerkszustand
	Die Standsicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes kann auf längere Sicht beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung, die langfristig zu erheblichen Standsicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist möglich. Laufende Unterhaltung erforderlich. Mittelfristig Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können kurzfristig erforderlich sein.
2,5 - 2,9	noch ausreichender Bauwerkszustand
	Die Standsicherheit des Bauwerks ist gegeben. Die Verkehrssicherheit kann beeinträchtigt sein. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann erheblich beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung, die mittelfristig zu erheblichen Standsicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist zu erwarten. Laufende Unterhaltung erforderlich. Kurzfristig Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können kurzfristig erforderlich sein.
3,0 - 3,4	kritischer Bauwerkszustand
	Die Standsicherheit des Bauwerks und/oder Verkehrssicherheit sind beeinträchtigt. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks ist u.U. nicht mehr gegeben. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, daß die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind. Laufende Unterhaltung erforderlich. Umgehend Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit oder Nutzungseinschränkungen können umgehend erforderlich sein.
3,5 - 4,0	ungenügender Bauwerkszustand
	Die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit sind erheblich beeinträchtigt oder nicht mehr gegeben. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks ist u.U. nicht mehr gegeben. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, daß die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind oder daß sich ein irreparabler Bauwerksverfall einstellt. Laufende Unterhaltung erforderlich. Umgehende Instandsetzung bzw. Erneuerung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit oder Nutzungseinschränkungen können sofort erforderlich sein.

Tab. 8: Definitionen der Zustandsbewertung

Die Zustandsnote des Gesamtbauwerks Z_{ges} ergibt sich in Abhängigkeit von der 3-stufigen Schadensbewertung V (Verkehrssicherheit), S (Stand-sicherheit), D (Dauerhaftigkeit) unter Berücksichtigung eines definierten Bewertungsschlüssels (siehe Seite 39), des Schadensumfanges U und der Anzahl der Einzelschäden n. Zur rechnerischen Ermittlung der Zustandsnote des Gesamtbauwerks wurden die folgenden Festlegungen getroffen:

1) Einführung von Bauteilgruppen, gemäß ASB, Teilsystem Bauwerksdaten [15]:

- Überbau,
- Unterbau,
- Vorspannungen,
- Gründungen,
- Erd- und Felsanker,
- Brückenseile und -kabel,
- Lager,
- Fahrbahnübergangskonstruktionen,
- Abdichtungen,
- Beläge,
- Kappen,
- Schutzeinrichtungen,
- Sonstiges.

Innerhalb dieser Bauteilgruppen sind in detaillierter Form Einzelbauteile enthalten (Verschlüsselung nach ASB, Teilsystem Bauwerksdaten).

Die Bedeutung der Bauteilgruppe bei der rechnerischen Ermittlung der Zustandsnoten wird zunächst als identisch vorausgesetzt. Bei Bedarf ist die Einbeziehung unterschiedlicher Bedeutungsfaktoren in die Bewertungsalgorithmen jedoch möglich.

2) Rechnerische Zustandsbewertung der Bauteilgruppen:

Für jeden Einzelschaden wird vom Prüfprogramm eine Zustandszahl Z_1 ermittelt. Grundlage dafür ist der o.a. Bewertungsschlüssel, der jeder möglichen Kombination von Schadensbewertungen eine Basiszustandszahl zuweist (siehe Seite 39). Diese Zustandszahl wird durch einen Zu- bzw. Abschlag ΔZ_1 zur Berücksichtigung des Schadensumfanges U ergänzt.

U = "klein" $\rightarrow \Delta Z_1 = - 0,1$

U = "mittel" $\rightarrow \Delta Z_1 = \pm 0,0$

U = "groß" $\rightarrow \Delta Z_1 = + 0,1$

Die Zustandsnote der Bauteilgruppe Z_{BG} ergibt sich aus der maximalen zugehörigen Zustandszahl Z_1 unter Berücksichtigung eines Zu- bzw. Abschlages ΔZ_2 für die Schadensanzahl n innerhalb der Bauteilgruppe:

• Bauteilgruppe Überbau:

$n < 5$ $\rightarrow \Delta Z_2 = - 0,1$

$5 \leq n \leq 15$ $\rightarrow \Delta Z_2 = \pm 0,0$

$n > 15$ $\rightarrow \Delta Z_2 = + 0,1$

• Alle anderen Bauteilgruppen:

$n < 3$ $\rightarrow \Delta Z_2 = - 0,1$

$3 < n \leq 5$ $\rightarrow \Delta Z_2 = \pm 0,0$

$n > 5$ $\rightarrow \Delta Z_2 = + 0,1$

3) Rechnerische Ermittlung der Zustandsnote des Gesamtbauwerks:

Die Zustandsnote des Gesamtbauwerks Z_{ges} ergibt sich schlußendlich aus der maximalen Zustandsnote der Bauteilgruppen $\max Z_{BG}$ unter Berücksichtigung eines Zu- bzw. Abschlages zur Berücksichtigung der Anzahl der Schädigung unterschiedlicher Bauteilgruppen ΔZ_3 :

weniger als 25% der Bauteilgruppen geschädigt $\rightarrow \Delta Z_3 = - 0,1$

25% bis 50% der Bauteilgruppen geschädigt $\rightarrow \Delta Z_3 = \pm 0,0$

mehr als 50% der Bauteilgruppen geschädigt $\rightarrow \Delta Z_3 = + 0,1$

Im Prüfbericht wird ausschließlich die automatisch ermittelte Zustandsnote des Gesamtbauwerks Z_{ges} ausgegeben. Die Zustandsnoten der Bauteilgruppen Z_{BG} werden intern für weitere Analysen gespeichert.

Ein Beispiel zur Schadens- und Zustandsbewertung im Rahmen eines Prüfberichtes einer Hauptprüfung nach DIN 1076 ist in der Richtlinie RI-EBW-PRÜF aufgeführt.

Bewertungsschlüssel (Basiszustandszahl in Abhängigkeit von der Schadensbewertung)

D = 0

4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
3	3,0	3,2	3,4	3,6	4,0
S 2	2,1	2,2	2,3	2,7	4,0
1	1,2	1,3	2,1	2,6	4,0
0	1,0	1,1	2,0	2,5	4,0
	0	1	2	3	4
	V				

D = 3

4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
3	3,3	3,5	3,7	3,9	4,0
S 2	2,8	3,0	3,1	3,2	4,0
1	2,7	2,8	2,9	3,0	4,0
0	2,5	2,6	2,7	2,8	4,0
	0	1	2	3	4
	V				

D = 1

4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
3	3,1	3,3	3,5	3,7	4,0
S 2	2,2	2,3	2,4	2,8	4,0
1	1,5	1,7	2,2	2,7	4,0
0	1,1	1,3	2,1	2,6	4,0
	0	1	2	3	4
	V				

D = 4

4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
3	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0
S 2	3,3	3,5	3,6	3,7	4,0
1	3,2	3,3	3,4	3,5	4,0
0	3,0	3,1	3,2	3,3	4,0
	0	1	2	3	4
	V				

D = 2

4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
3	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
S 2	2,3	2,5	2,6	2,9	4,0
1	2,2	2,3	2,4	2,8	4,0
0	2,0	2,1	2,2	2,7	4,0
	0	1	2	3	4
	V				

Klassenübersprünge über Zustandsnotenbereiche (siehe Definitionen der Zustandsbewertung) durch Abschläge zur Berücksichtigung der Einflußgrößen "Schadensausbreitung", "Schadensmenge" und "Schädigungsgrad anderer Kategorien" sind nicht zugelassen. Klassenübersprünge durch Zuschläge sind nur an den Anfang des nächsten Zustandsnotenbereiches zugelassen.

S = Standsicherheit

V = Verkehrssicherheit

D = Dauerhaftigkeit

6 Zusammenfassung

Die Zustandsbewertung von Brücken- und Ingenieurbauwerken im Bereich der Bundesfernstraßen wird nach DIN 1076 und RI-EBW-PRÜF durchgeführt und beinhaltet eine detaillierte Erfassung und Bewertung von Einzelschäden und -mängeln und darauf aufbauend eine mehr oder weniger subjektive Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks.

Bei der Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks gehen die wesentlichen Einzelinformationen der Bauwerksprüfungen über Schadensschwere, -ort und -menge verloren. Die bisherige Vorgehensweise ist nicht ausreichend für eine optimierte Erhaltungsplanung im Rahmen eines geplanten Managementsystems der Bauwerkserhaltung (BMS).

Im vorliegenden Bericht wird ein neues Verfahren zur detaillierten Zustandsbewertung von Brücken- und Ingenieurbauwerken nach einheitlichen Kriterien beschrieben. Dieses Verfahren soll als Grundlage für ein angestrebtes, umfassendes BMS dienen.

Unter Berücksichtigung des spezifischen Informationsbedarfes von Bund und Ländern bei der Erhaltungsplanung und der vorgegebenen Rahmenbedingungen wurde ein Verfahren der Zustandsbewertung auf der Basis der bewährten Einzelschadensbewertungen konzipiert. Das dargestellte Verfahren beinhaltet eine automatisierte Zustandsbewertung nach einheitlichen Kriterien für einzelne Bauteilgruppen und das Gesamtbauwerk unter Verwendung der Ergebnisse der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, die im Rahmen des überarbeiteten Programmsystems BW-PRUF (als DOS-Version) oder als Teil der Straßeninformationsbank SIB-Bauwerke (als Windows-Version) erfolgen kann:

Zustandsbewertung $Z = f$ (Schadensbewertung S, Schadensumfang U, Anzahl der Einzelschäden n)

Der Einsatz dieses Verfahrens benötigt gegenüber dem bisherigen Verfahren zusätzliche Angaben des Prüfers, die jedoch in ihrem Umfang begrenzt bleiben:

- Bewertung der Einzelschäden nach den Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit (*unter Berücksichtigung eines Bewertungskatalogs*).
- Angabe des geschädigten Bauteils (*wie bisher nach RI-EBW-PRÜF*).

- Angabe der Schadensmenge und des Schadensortes (*neu: Umfang des Einzelschadens "klein", "mittel", "groß"*).

Weiterhin werden im Programmsystem eine Reihe von Vorgaben gemacht, auf die der Prüfer keinen Einfluß hat:

- Einführung von Bauteilgruppen gemäß ASB, Teilsystem Bauwerksdaten.
- Rechnerische Zustandsbewertung für Bauteilgruppen unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Bewertungsschlüssels.
- Rechnerische Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks unter Berücksichtigung der Zustandsbewertung der Bauteilgruppen.

Das Programmsystem gibt als Information die Zustandsnote des Gesamtbauwerks im Prüfbericht aus. Zustandsnoten für Bauteilgruppen werden intern gespeichert.

7 Literatur

- [1] DIN 1076, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, Überwachung und Prüfung, Ausgabe 1983
- [2] RI-EBW-PRÜF, Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, Ausgabe 1994
- [3] ASB, Anweisung Straßeninformationsbank, Teilsystem Bauwerksdaten, Entwurf 1997
- [4] P. HAARDT, Erarbeitung von Kriterien zur Zustandserfassung und Schadensbeurteilung von Brücken- und Ingenieurbauwerken, Schlußbericht der BAST zum AP-Projekt 97243/B4, 1997
- [5] A. SCHMUCK, H. POPPINGA, Ratgeber Straßen- und Brückenerhaltung, Stein-Verlag, Baden-Baden, 1991
- [6] H. GRUBE, E. KERN, H. D. QUITMANN, Instandhaltung von Betonbauwerken, in: Beton-Kalender, Ausgabe 1990
- [7] OECD, Brückenerhaltung, Bericht einer wissenschaftlichen Expertengruppe der OECD, Paris 1992, in: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 666, 1994
- [8] E. SCHUBERT, A. HITZEL, Managementsystem Brückenerhaltung, 3. Stufe, Schlußbericht zum Forschungsvorhaben 15.253 R95 H, TH Darmstadt, 1997
- [9] Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nations Bridges, FHWA, US Department of Transportation, 1988
- [10] Richtlinie über die Planung und Leitung des Reproduktionsprozesses der Grundfonds der materiell-technischen Territorialstruktur im Bereich des Straßenwesens, Ausgabe 1981 (Vormals DDR)
- [11] K. YOKOHAMA, H. SATO, K. KGIHARA, R. TORIUMI, Development of a Bridge Management System in Japan, in: Bridge Management 3, E & FN Spon, London, 1996
- [12] M. K. SÖDERGRIST, M. VEIJOLA, Effective Maintenance of the Bridge Stock in Finland, in: Bridge Management 3, E & FN Spon, London, 1996
- [13] A. LEGOSZ, A. WYSOKOWSKI, A. HUTNIK, Bridge Management System: Computer-Aided Planning Decision System for Polish Road Administration, in: Proceedings of Fourth International Bridge Engineering Conference, San Francisco, 1995
- [14] K. GOLABI, P. D. THOMPSON, W. A. HYMAN, PONTIS Version 2.0 Technical Manual, US-Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-SA-94-031, Washington, 1993
- [15] H. HAWK, BRIDGIT Deterioration Models, Transportation Research Record 1490, Washington, 1995
- [16] C. MENN, Zustandserfassung, Zustandsbeurteilung und Verstärkungsmaßnahmen bei Betonbrücken, Teil 3: Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung, ETH Zürich, Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Straßenbau, Heft 513, 1995
- [17] Research Proposal under EC 7.4/25, Bridge Management in Europe: BRIME, Transport Research Laboratory, 1997
- [18] BW-PRUF II, Programm zur menuegesteuerten Erfassung von Bauwerksschäden auf der Basis RI-EBW-PRÜF, Version 05.18f/1996
- [19] H. KRAFT, Steuerung und Entwicklung von Brückenerhaltungsmaßnahmen, Fortschritt-Berichte, VDI Reihe 4, Nr. 131, VDI-Verlag Düsseldorf, 1995
- [20] R. A. HARTLE et. Al., Bridge Inspector's Training Manual 90, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-PD-91-015, Washington, 1995
- [21] Catalogue des Principaux Desordres Aide A Leur Classification, SETRA, 1997