

Messwertgestützte Ermittlungen von Verkehrslastmodellen für typische Brücken der WSV

Prof. Dr.-Ing. U. Freundt, Dr.-Ing. Sebastian Böning, Dipl.-Ing. Dirk Hölzer
(Ing.-Büro Prof. Dr. U. Freundt, Weimar)

Zusammenfassung

Die WSV unterhält 1.700 Brücken und 10 Kanalbrücken mit einem Altersspektrum welches auch die Geschichte der Wasserstraßen widerspiegelt. Die Struktur folgt den Wasserstraßen und nicht den überführten Verkehrswegen. Von Autobahnen über Bundesstraßen bis zum Wirtschaftsweg reicht die Palette der überführten Straßen. Die Tragstrukturen der Brücken sind ebenso vielfältig wie im Straßenbereich selbst, wobei erforderliche Durchfahrtshöhen für Schiffe zur Dominanz von Stabbögen und oben liegenden Fachwerkträgern führten. Die Dimensionierung der Brücken unterlag und unterliegt den Regeln des allgemeinen Brückenbaues und wird bei Straßenbrücken vom jeweiligen Verkehr bestimmt. Dieser ist in seiner Erscheinungsform so komplex, dass zur Vereinfachung und Verallgemeinerung abstrakte Lastmodelle dienen. Der Straßenverkehr hat sich in den letzten 100 Jahren exponentiell entwickelt, die entsprechenden Lastmodelle in den Normen linear bis zu den aktuellen Lastmodellen nach DIN EN 1991-2. Die Brücken wurden in der Regel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit nachgerüstet, Ertüchtigungen für höhere und häufigere Lasten waren bisher nicht ausgeprägt. Geht man von 80 % Bestandsbrücken aus, dann wird die Investitionsanforderung zur Ertüchtigung und zum Neubau der Brücken der WSV abschätzbar. Für einen sensiblen Umgang mit den Bestandsbrücken wird eine objektbezogene und kategorisierte Ermittlung erforderlicher Verkehrslastmodelle vorgestellt.

1. Einleitung

Brücken werden mit der Vision einer hundertjährigen Lebensdauer geplant und gebaut. Als Basis dienen für die Geometrie die zum jeweiligen Planungszeitraum vorstellbaren und definierten Wasserfahrzeuge für die Durchfahrtshöhen und -breiten und Straßenfahrzeuge und Mengen dieser für die Querschnittsbreiten auf der Brücke. Für die Lasten werden mit den Mitteln der jeweiligen Gegenwart Prognosemodelle mit Blick auf die folgenden 100 Jahre entwickelt. Die Dimensionierung und Konstruktion folgt dem jeweiligen Stand der Technik.

Inzwischen liegen mehr als 100 Jahre Erfahrung mit Brücken, die so geplant und gebaut wurden vor. Diese ringt uns Hochachtung gegenüber den Erbauern ab umso mehr als sie dies ohne Computer und sensorgesteuerte Baumaschinen vollbrachten. Aber die Erfahrung lehrt uns auch, dass wir nur bedingt 100 Jahre Entwicklung abbilden können. Der Ruf nach adaptiven Brücken ist verständlich.

Ebenso verständlich ist die Entwicklung von Regeln zum Umgang mit bestehenden Brücken. Diese können und müssen die Anforderungen, die für neue Brücken entwickelt wurden, nicht zwingend erfüllen. Das trifft auch auf die entsprechenden Verkehrslastmodelle zu.

2. Ermittlung von Verkehrslastmodellen

Der reale Straßenverkehr zeichnet sich durch den Typ und die Anzahl der Fahrzeuge und deren Achslasten und Gesamtgewichte aus. Stau, fließender Verkehr oder Pulkbildungen sind Verkehrszustände, die unregelmäßig aufeinander folgen. Spureinengungen und Fahrbahnunebenheiten bestimmen das Fahrverhalten und die Bauwerksreaktionen. Für die Dimensionierung von Bauwerken sind diese komplexen Vorgänge nicht in Echtform anwendbar. Deshalb werden Lastmodelle vereinbart.

In der Vergangenheit entstammten diese Lastmodelle rechnerischen Widerspiegelungen ungünstiger gefühlter Verkehrssituationen und deren Prognosen. Verkehrsstatistiken gab es zwar, jedoch zwang mangelnde Rechentechnik zu ingenieurmäßigen Ableitungen.

Das traf auch auf die Abbildung des realen Tragverhaltens und auf dessen Langzeitverhalten zu.

Einwirkungen aus Straßenverkehr auf Brücken werden bestimmt durch

- die Fahrzeugzusammensetzung des Schwerverkehrs hinsichtlich Geometrie und Gewicht,
- die Stärke des Schwerverkehrs pro Zeiteinheit
- die zukünftige Entwicklung dieser Sachverhalte und
- dem geltenden Sicherheitskonzept.

Das Ingenieurbüro Prof. Dr. U. Freundt hat in Fortführung der Arbeiten der Professur Verkehrsbau der Bauhaus-Universität Weimar im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen eine auf gemessenen Kennwerten basierende Ermittlung von allgemeinen und objektspezifischen Verkehrslastmodellen entwickelt, die auf folgenden Säulen ruht:

- Messung von objektabhängigen Brücken Kennwerten und verkehrsspezifischen Kennwerten
- Tragsystemidentifikation
- Ermittlung der aktuellen Verkehrsdaten
- Verkehrssimulation und Auswertung für statische Tragfähigkeit und Ermüdung für beliebige Zeiträume nach regelkonformen Sicherheitskonzept
- Direkte Auswertung der gemessenen Kenngrößen auch nach regelkonformen Sicherheitskonzept
- Ergebnisvergleich mit der statischen Tragfähigkeit und der Ermüdung mit historischen und aktuellen Lastmodellen zur Einordnung der Ergebnisse
- Semi-probabilistische und probabilistische Nachweisführung

Abbildung 1 verdeutlicht den Aufbau dieses Systems.

Ein Kernelement ist die Nutzung der Brücke als Messobjekt und Datenlieferant. Für jede Brücke wird ein individuelles Messkonzept entwickelt, welches tragwerksbezogen und zielabhängig variieren kann. Immer werden Brückenkenwert-Zeitverläufe aufgenommen, die den einzelnen Auswertungen dienen. Dies wird in der Regel über traditionelle Baumesstechnik realisiert.

Die Daten erlauben eine Verkehrserkennung und über Optimierungsstrategien werden Gesamtgewichte und Achslasten der überfahrenden Fahrzeuge bestimmt.

Im Ergebnis liegen die Fahrzeugzusammensetzung des Schwerverkehrs hinsichtlich Typ, Geometrie und Gewicht sowie die Verkehrsstärke des Schwerverkehrs vor. Daten, die gegenwärtig nur von wenigen Messstellen an Autobahnen verfügbar sind.

Die Daten dienen dem Modul Verkehrssimulation und Auswertung. Hier werden mittels der aktuellen Verkehrsdaten Verkehrsströme erzeugt und zur Ermittlung von Kennwert-Zeitverläufen genutzt. Eine Auswertung dieser Verläufe unter Beachtung des Sicherheitskonzeptes ergibt den gesuchten charakteristischen Kennwert (zum Beispiel ein Biegemoment). Der Quervergleich mit dem Kennwert aus den Regellastbildern lässt eine Bestimmung des erforderlichen Lastbildes zu und es entsteht ein objektspezifisches Ziellastniveau.

Für die Ermüdung erfolgt die Auswertung der beschriebenen Kennwert-Zeitverläufe durch eine Rainflow-Auszählung und Aufbereitung. Dies wird gleichlaufend auch für die direkten Messungen getan.

Im Modul Tragsystemidentifikation werden die Messergebnisse gezielter Überfahrten genutzt und das vorher erstellte Tragwerksmodell den vorhandenen Gegebenheiten angepasst.

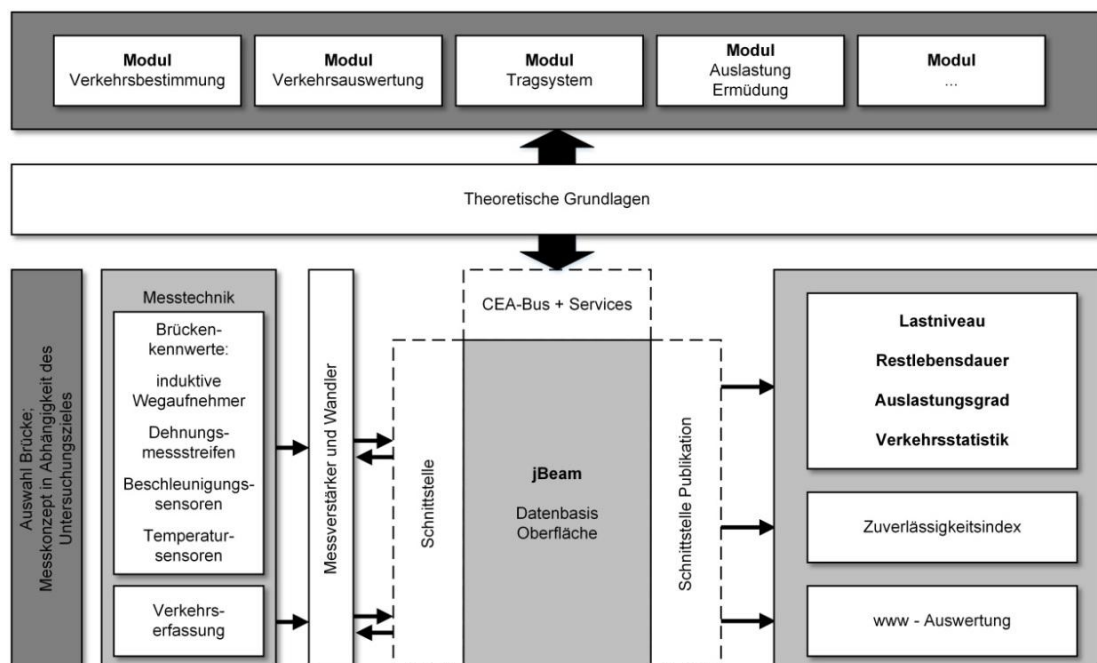


Abbildung 1: Aufbau des Monitoringsystems zur Ermittlung von Verkehrslastmodellen

3. Verkehrslastmodelle für Brücken der WSV

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes unterhält weit über 1000 Brücken. Die überführten Straßen haben sehr unterschiedlichen Charakter und liegen an teilweise exponierten Verkehrsknoten. Die Brücken sind teilweise über 100 Jahre alt, es gibt aber auch neue Brücken vor und nach der Einführung der DIN Fachberichte. Für die Bestandsbrücken ist eine Bestimmung des zutreffenden Lastniveaus erforderlich. Das zutreffende Lastniveau hängt vom real vorhandenen Verkehr in der Beschreibung des Abschnittes 2 und der noch beabsichtigten Nutzungsdauer der Brücke ab. Letztere bestimmt auch eine Verkehrsprognose. Auf der im Abschnitt 2 beschriebenen Basis haben wir für die Nachrechnungsrichtlinie Ziellastniveaus für Brücken bestimmt. Mangels verfügbarer Verkehrsdaten kamen dabei die Ergebnisse von Verkehrsmessungen der A61, der A8 und der Anschlussstelle Miquelallee zum Einsatz. Das Spektrum wurde dann genutzt, um auf der Basis weniger Verkehrsdaten Zuordnungen des Brückenbestandes vorzunehmen. Die Nachrechnungsrichtlinie wurde für die Brücken des Bundes entwickelt und dies sind vordergründig Autobahnen und Bundesfernstraßen. Die Brücken der WSV umfassen aber ein wesentlich breiteres Spektrum. Die Angaben der Nachrechnungsrichtlinie liegen damit für viele Brücken auf einer sehr sicheren Seite.

Zur Prüfung dieses Sachverhaltes wurde das Ingenieurbüro mit der messwertgestützten Ermittlung WSV-spezifischer Verkehrslastmodelle ausgewählter Brücken beauftragt. Im Rahmen dieses Auftrages übernimmt die BAW selbst die Baumesstechnik.

4. Erste Ergebnisse der Ermittlung der Verkehrslastmodelle für die Dreierwalder Brücke

Die Dreierwalder Brücke überspannt den Dortmund Ems Kanal bei Hörstel. Es handelt sich um einen Stabbogen mit orthotroper Fahrbahnplatte mit 6,50 m Fahrbahnbreite und einseitigen Gehweg und Notgehweg. Die Brücke hat eine Gesamtlänge von 54,50m, wurde erbaut für eine BK 30 und eingestuft für eine BK 60.

Die konkrete Aufgabe lautet:

- Ermittlung der Daten des objektspezifischen Verkehrs
- Ermittlung des objektspezifischen statischen Lastmodelles infolge des aktuellen und prognostizierten Straßenverkehrs für die nächsten Jahre auf der Basis aktueller und/ oder historischer Lastmodelle
- Ermittlung des objektspezifischen Ermüdungslastmodelles infolge des aktuellen und prognostizierten Straßenverkehrs für die nächsten Jahre auf der Basis des Lastmodelles LM

Für diese Aufgabe wurde das Monitoringsystem eingesetzt. In Tabelle 1 wird ein Überblick über die verwendete Messtechnik gegeben. Zur Veranschaulichung werden einige der erreichten Ergebnisse vorgestellt.

Tabelle 1: Übersicht Messtechnik

Auswerteziel	Zeitbasierte Messdaten		Ereignisbasierte Messdaten
	Globale Werte	Lokale Werte	
Kalibrierung und Ableitung des Tragverhaltens	Dehnungs- und Verschiebungsmessungen am Haupt- und Nebensystem (600Hz, 50Hz)		
Verkehrsdatenermittlung	zur Ableitung von Fahrzeuggesamtgewichten Verschiebungen an Lagerpunkten (50Hz) Dehnungen am Hauptträger (600Hz)	Zur Ermittlung von Fahrzeugtypen: Dehnungen am Fahrbahnübergang (600Hz)	Feststellung der Fahrzeugauffahrt auf die Brücke und des Verlassens der Brücke; Grobzuordnung Pkw/Lkw, Angabe von Geschwindigkeit und Länge
Temperaturdaten	Temperatursensoren in Querschnittsebene zur Ableitung linear veränderlicher und konstanter Temperaturanteile (1Hz)		

Die Messtechnik wurde durch die BAW getestet, installiert und betrieben. Abstimmungen und der laufende Betrieb liefen reibungslos. Der Messzeitraum war vom März 2014 bis Juli 2014. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Messstellenplan und Abbildung 3 zeigt einen Auszug der Dehnungsmessungen am Fahrbahnübergang. Der Fahrbahnübergang ist zur Verkehrserkennung geeignet, wurde hier allerdings nur als Referenz genutzt.

Ein Ergebnis einer ersten Auswertung ist die Ermittlung der Verkehrsdaten. Abbildung 4 gibt einen Einblick in die Verkehrsstärke. In der Nachrechnungsrichtlinie wird eine Verkehrsstärke von > 2.000 und < 2.000 unterschieden. Ein weiterer Parameter zur Zuordnung der Brücken zu einem Lastbild ist in der Nachrechnungsrichtlinie die Verkehrszusammensetzung. Es interessiert der Anteil LKW > 3,5 t und Busse. Bei einem Anteil von 85 % wird in Ortsverkehr eingeordnet. 5 zeigt die ermittelten Werte an der Dreierwalder Brücke.

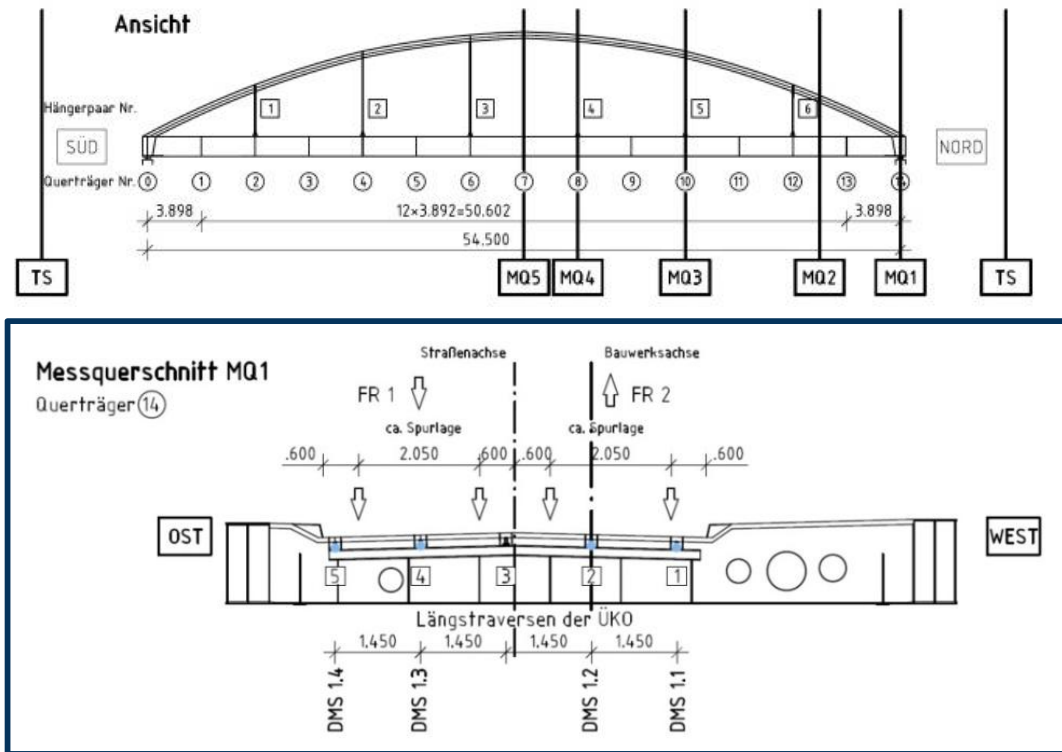


Abbildung 2: Messstellenplan

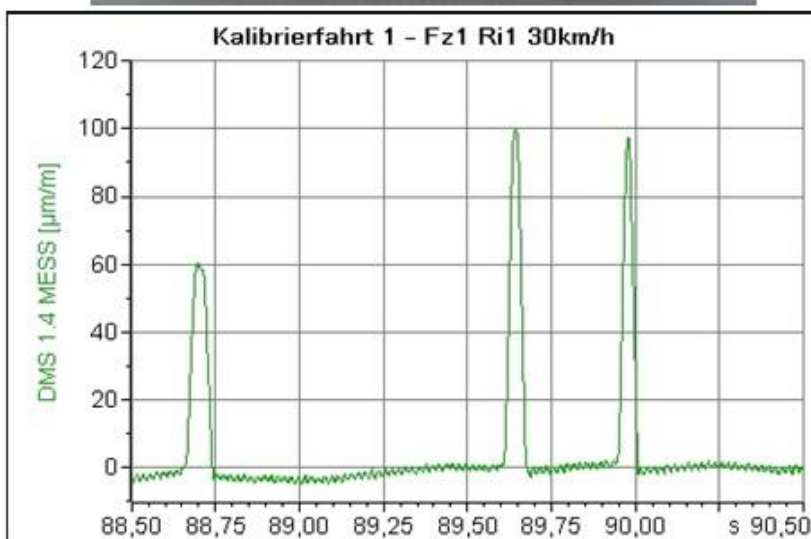


Abbildung 3: Fahrzeugüberfahrt am Fahrbahnübergang

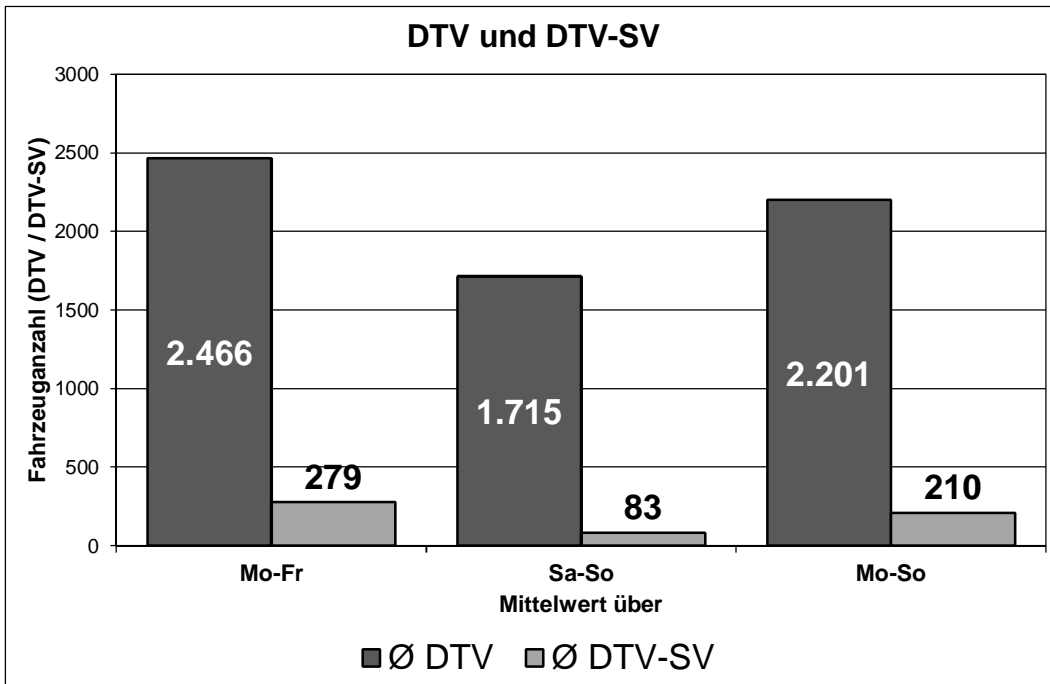


Abbildung 4: Verkehrsstärke ermittelt an der Dreierwalder Brücke

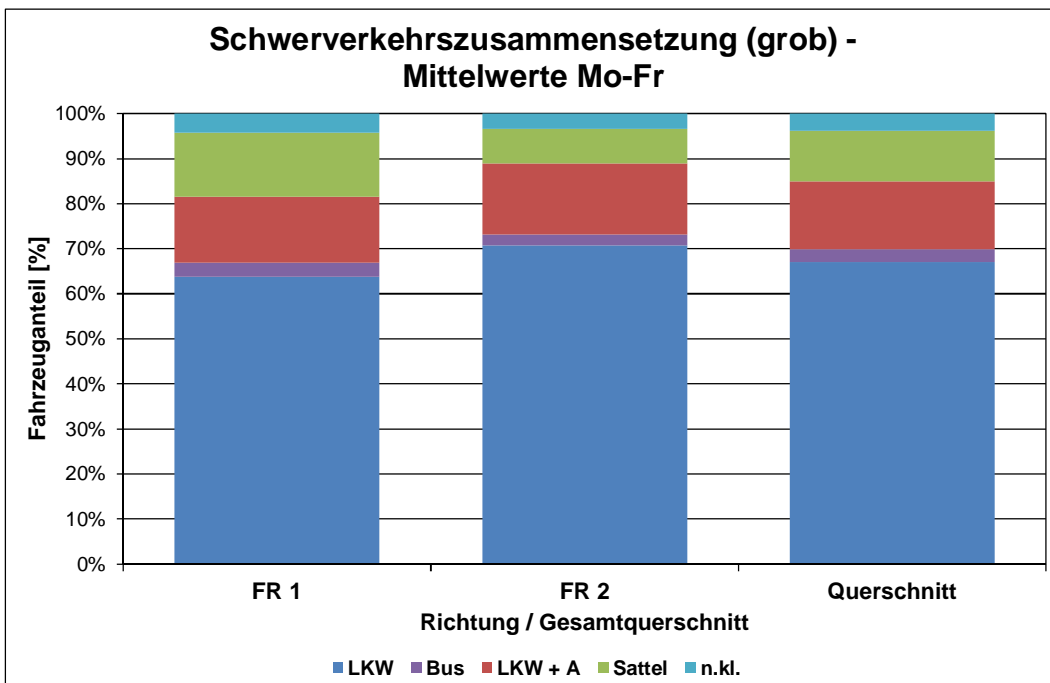


Abbildung 5: Verkehrszusammensetzung an der Dreierwalder Brücke

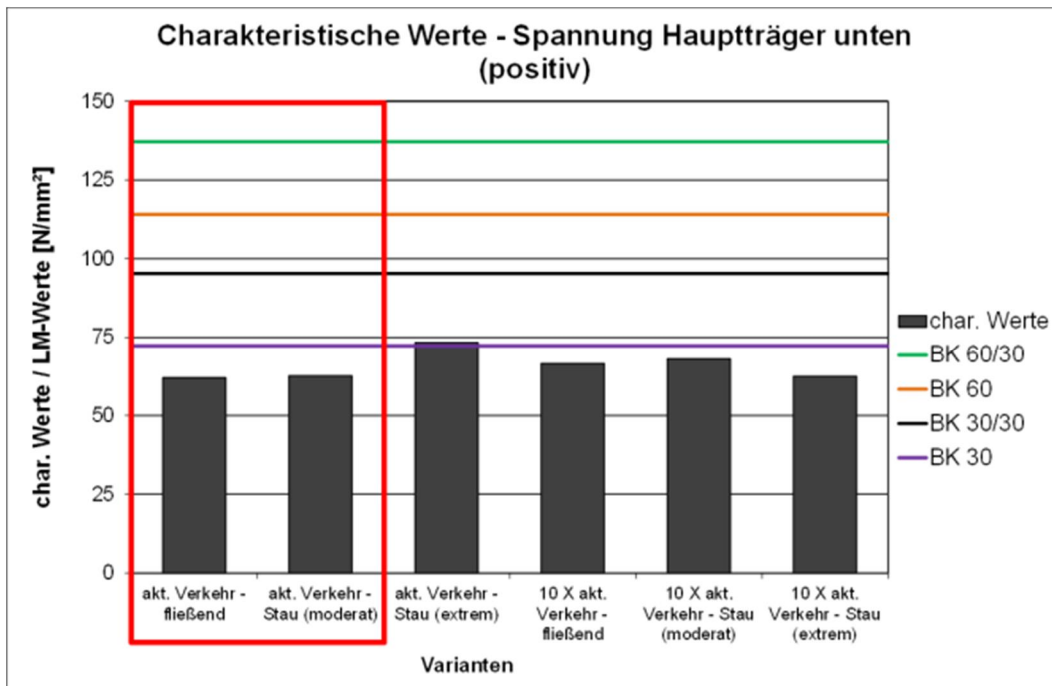


Abbildung 6: Zuordnung zu Verkehrslastmodellen

Entsprechend der WSV vorliegender Verkehrszählungen wurde die Brücke in eine BK 60 eingestuft, was bei den Zählergebnissen entsprechend der NRR erforderlich ist.

Die Ermittlung des Verkehrslastmodelles auf der Basis der ersten Messergebnisse über eine Verkehrssimulation mit anschließender Extrapolation zum charakteristischen Wert entsprechend dem gegenwärtigen Sicherheitskonzept wird in Abbildung 6 dokumentiert.

Es ist deutlich zu erkennen, dass eine BK 30 ein zutreffendes Lastbild bei Ansatz von 100 Jahren Nutzungsdauer ist.

Im vorliegenden Fall ergibt sich eine Brückenklasse unter dem Ziellastniveau der Nachrechnungsrichtlinie. Das ist auch nur ein Beispiel. Es wird verdeutlicht, dass objektspezifische Gegebenheiten nicht direkt zu verallgemeinern sind. Das ist jedoch ein weiteres Anliegen und dazu werden weitere Daten benötigt.

Vielen Dank an die BAW für die Möglichkeit einen Beitrag zur Auseinandersetzung mit unserem Bauwerksbestand leisten zu dürfen und vielen Dank für die gute Zusammenarbeit.