

- Hessische Straßen- und
- Verkehrsverwaltung
- 
- 
- 



Standardisierung und Vorfertigung  
bei gleichzeitiger Reduktion  
bauvorbereitender und  
bauüberwachender Tätigkeiten für  
Unterführungsbauwerke



## 1. Einleitung

## 2. Grundlagen

2.1. **Untersuchte Konstruktionen und Querschnitte**

2.2. **Bauwerksbestand**

## 3. Auswertung Bauwerksbestand

3.1. **Auswertung Konstruktionsparameter**

3.2. **Auswertung Herstellungskosten, Sanierungskosten**

3.3. **Auswertung Zustand bestehender Bauwerke**

3.4. **Trend Standardkonstruktion des Bestandes**

3.5. **Herstellungsverfahren / Bauzeiten**

3.6. **Auswertung von Bauten anderer Verkehrsträger**

## 4. Betrachtungen zu Standardkonstruktionen / Regelbauweisen

4.1. **Vorbemerkungen zur Standardisierung**

4.2. **Herstellungsverfahren / Bauzeiten**

4.3. **Life-Cycle-Costs**

4.3.1. Grundlagen

4.3.2. Beispiele

4.3.3. Empfehlung für die Standardkonstruktion / Regelbauweisen

4.3.4. Berücksichtigung des Bauverfahrens, DTV Zahlen, Verkehrsführung

## 5. Muster-Bauwerkspläne der Standardkonstruktionen / Regelbauweise

### 5.1. Vorbemerkungen, Randbedingungen

### 5.2. Statische Belastungsansätze

### 5.3. Konstruktionsparameter

5.3.1. Straßen und Bauwerksachsen

5.3.2. Rahmenkonstruktionen, Stütz- und Flügelwände

5.3.3. Bauwerksabdichtung, Ausstattung, Auswahl Baustoffe

5.3.4. Grundsätzliche Überlegungen zu den Muster-Bauwerksplänen

### 5.4. Muster-Bauwerkspläne

5.4.1. Geschlossener Rahmen RQ 10,5 über WW direkt befahren Plan 1.1

5.4.2. Geschlossener Rahmen RQ 10,5 über WW überschüttet Plan 1.2

5.4.3. Offener Rahmen RQ 10,5 über WW direkt befahren Plan 2.1

5.4.4. Offener Rahmen RQ 10,5 über WW überschüttet Plan 2.2

5.4.5. Offener Rahmen RQ 10,5 über innerörtliche Strasse  
direkt befahren Plan 3.1

5.4.6. Geschlossener Rahmen RQ 35,5 über WW direkt befahren Plan 4.1

5.4.7. Geschlossener Rahmen RQ 35,5 über WW überschüttet Plan 4.2

5.4.8. Offener Rahmen RQ 35,5 über WW direkt befahren Plan 5.1

5.4.9. Offener Rahmen RQ 35,5 über WW überschüttet Plan 5.2

5.4.10. Details zu den Plänen 1.1 bis 5.2 Plan 6

5.4.11. Tabellarische Zusammenfassung der Bauteilabmessungen Plan 7

5.4.12. Beispiele zur Ermittlung der Bauteilabmessungen Plan 8

### 5.5. Muster-Baukosten

### 5.6. Muster-Bauzeitenpläne

## 6. Ergebnisse

### 6.1. Vorteile, Einsatzgrenzen

### 6.2. Entscheidungsleitlinien zur Festlegung von UF-Bauwerken

6.2.1. Erläuterung zu den Flussdiagrammen Anlage 4

6.2.2. Berücksichtigung Interessen Dritter

## 7. Zusammenfassung

## 8. Normen und Richtlinien, Literatur

- Anlage 1 Zusammenstellung Bestandsbauwerke
- Anlage 2 Muster - Baukosten
- Anlage 3 Muster - Bauzeitenpläne
- Anlage 4 Entscheidungsleitlinien Flussdiagramm

## 1. Einleitung

Der folgende Beitrag befasst sich mit den Möglichkeiten zur Standardisierung von Unterführungsbauwerken.

Die Aufgabenstellung sieht vor, für bestimmte Regelquerschnitte eine „Standardisierung und Vorfertigung bei gleichzeitiger Reduktion bauvorbereitender und bauüberwachender Tätigkeiten für Unterführungsbauwerke zu erreichen“.

## 2. Grundlagen

### 2.1. Untersuchte Konstruktionen und Querschnitte

Folgende Randbedingungen und Technische Leitziele sollten dabei gelten:

- ⇒ Kostensenkung und Qualitätssicherung durch Standardisierung
- ⇒ Qualitätssicherung durch baustellengerechte, einfache konstruktive Durchbildung
- ⇒ Minimaler Verkehrseingriff während der Erstellung
- ⇒ Minimierung der Kosten innerhalb eines Lebenszyklus (Life-Cycle-Costs)
- ⇒ Instandsetzungsgerechtes Planen und Bauen
- ⇒ Gezielte Reserven der Dauerhaftigkeit bei Überlastungen
- ⇒ Flexibilität bei Nutzungsänderungen und Erweiterungen
- ⇒ Effizienz bei Wartung und Prüfkosten, z. B. durch freie Kontrolle der Haupttragelemente
- ⇒ Minimierung von Wartungs- und Instandsetzungsintervallen
- ⇒ Instandsetzung und Ertüchtigung bei minimaler Verkehrseinschränkung
- ⇒ Termin- und Kostensicherheit

Untersucht wurden dabei drei gängige Regelquerschnitte unter Brücken:

1. Einstreifige Wirtschaftswege-Unterführungen (Lichte Weite 5,50 m gemäß ARS 12/91)
2. Zweistreifige Wirtschaftswege-Unterführungen (Hauptwirtschaftswege) (Lichte Weite 7,00 m)
3. Straßen innerhalb geschlossener Ortschaften mit  $V_{zul} \leq 50$  km/h (Lichte Weite 10,50 m)

also einfache Stahlbetonrahmen (offen oder geschlossen) mit geringer Spannweite.



Abbildung 1 Rahmen

Diese Untersuchungen sollen dazu führen, dass der Bauherr über eine Entscheidungsmatrix zu einer empfohlenen Standardkonstruktion geleitet wird, die robust, dauerhaft und in den Kosten kalkulierbar ist.

Damit diese Bewertungen und Empfehlungen durchgeführt werden können, ist eine zusätzliche Grundlagenermittlung innerhalb des Bestandes notwendig, um verlässliche Aussagen zu den schon bewährten Konstruktionen zu erhalten.

## 2.2. Bauwerksbestand

Grundlage bildete eine umfangreiche Bestandsrecherche. Hierzu wurden die vorhandenen Unterlagen des HSVV in Abhängigkeit von der „Lichten Weite“, der Rahmengesamtlänge und des statischen Systems durchsucht und 808 Rahmenbauwerke ermittelt, die diesen Kriterien entsprachen. Diese 808 Rahmenbauwerke wurden hinsichtlich Baujahr, „Lichte Weite“, Zustandsnote und Statischem System („Rahmen - offen“ und „Rahmen - geschlossen“) aufgearbeitet. Zusätzlich wurden für 54 repräsentative Bauwerke anhand der Bauwerksbücher die Herstellungskosten in Bezug auf die Bauwerksgröße ermittelt. Leider gibt es nur ganz wenige Bauwerke, bei denen aus den Bauwerksbüchern auch die Sanierungskosten ermittelt werden konnten.

## 3. Auswertung Bauwerksbestand

### 3.1. Auswertung Konstruktionsparameter

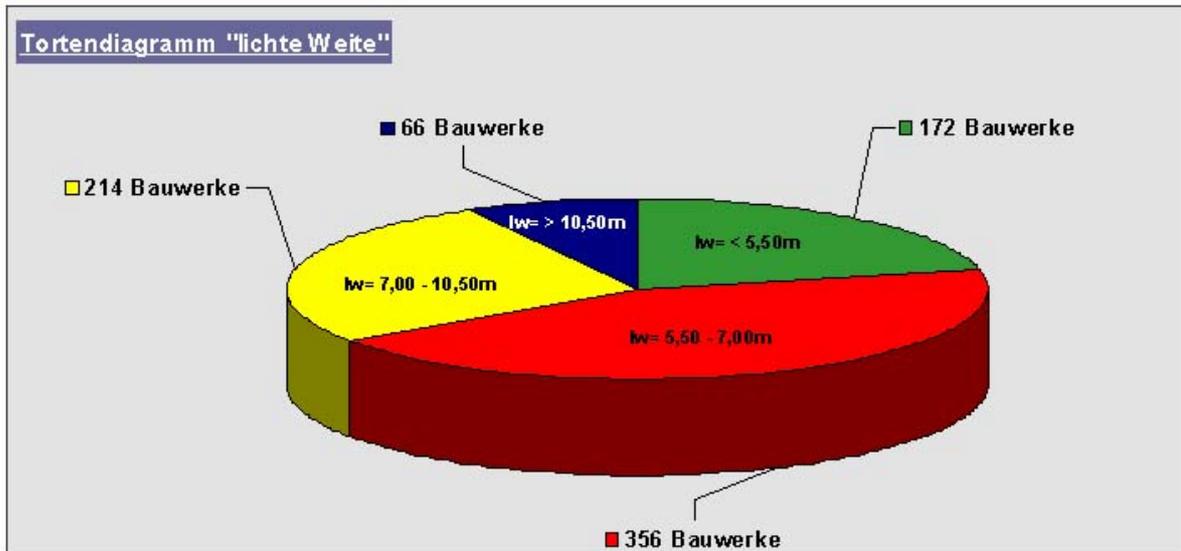


Abbildung 2 – Lichte Weite (808 Bauwerke)

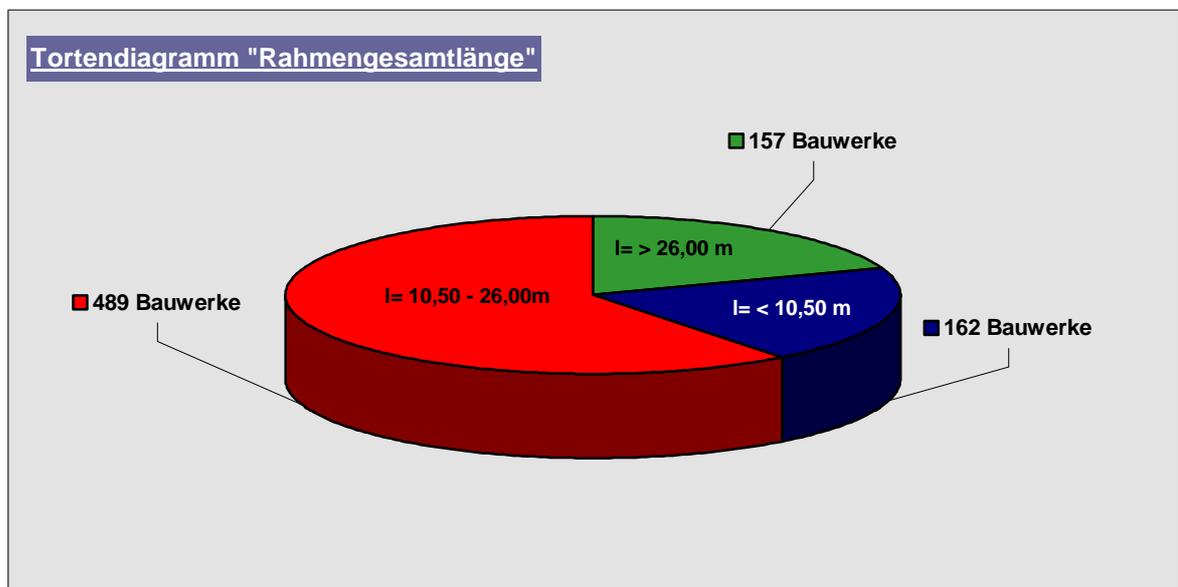


Abbildung 3 - Rahmengesamtlänge (808 Bauwerke)

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

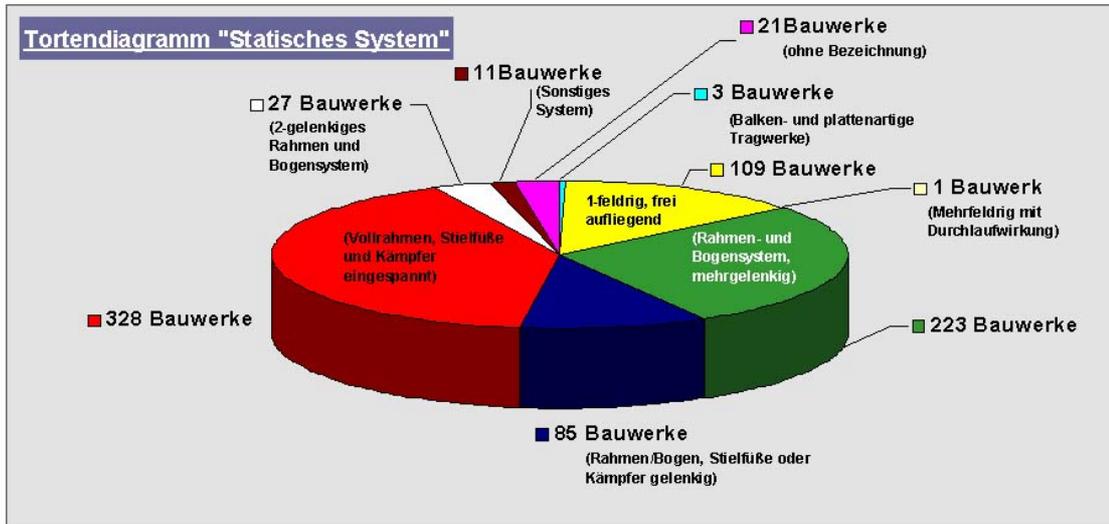


Abbildung 4 - Statisches System (808 Bauwerke)

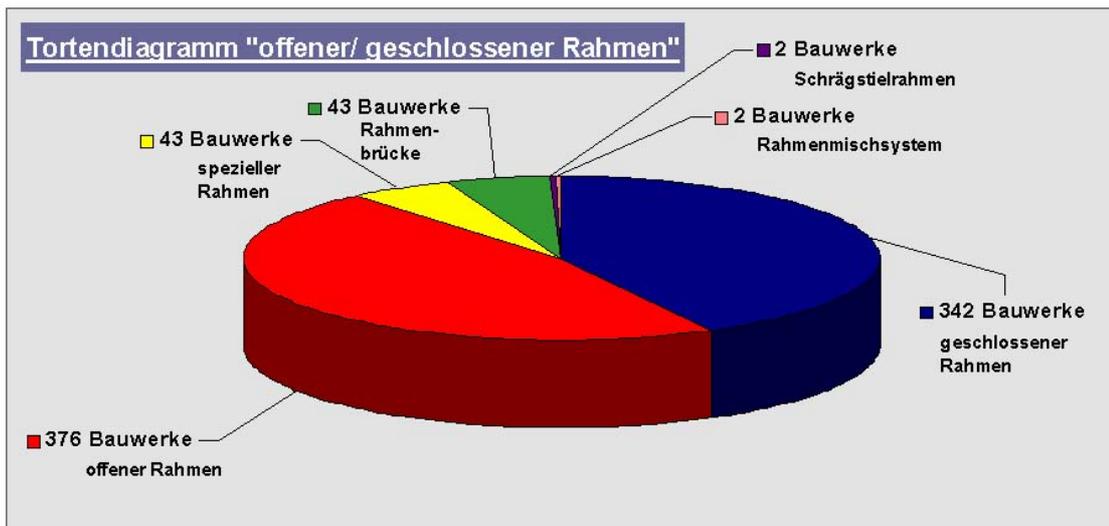


Abbildung 5 - offener / geschlossener Rahmen (808 Bauwerke)

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

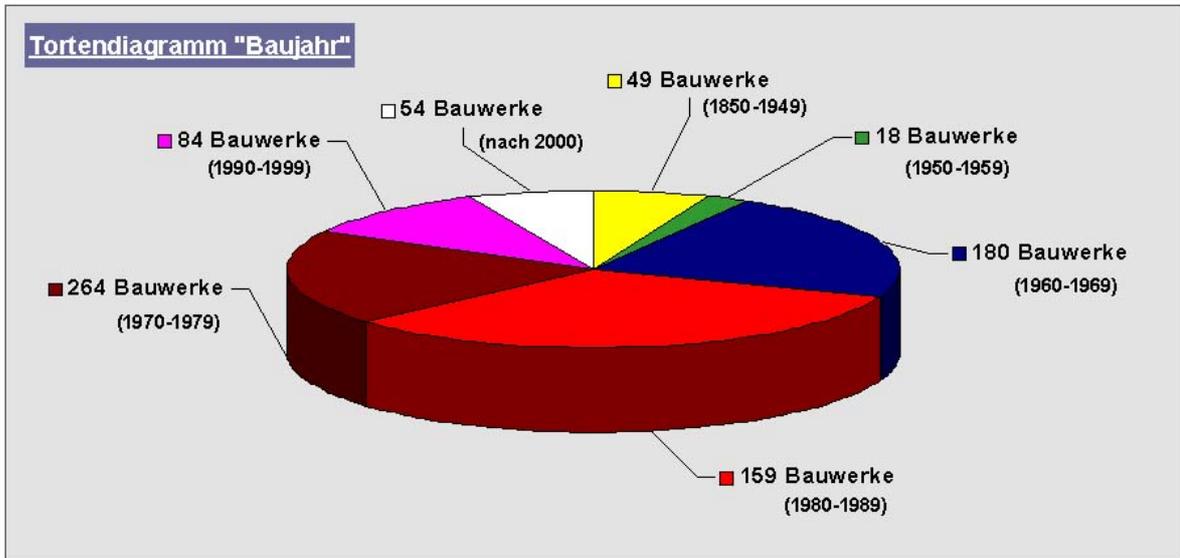


Abbildung 6 - Baujahr (808 Bauwerke)

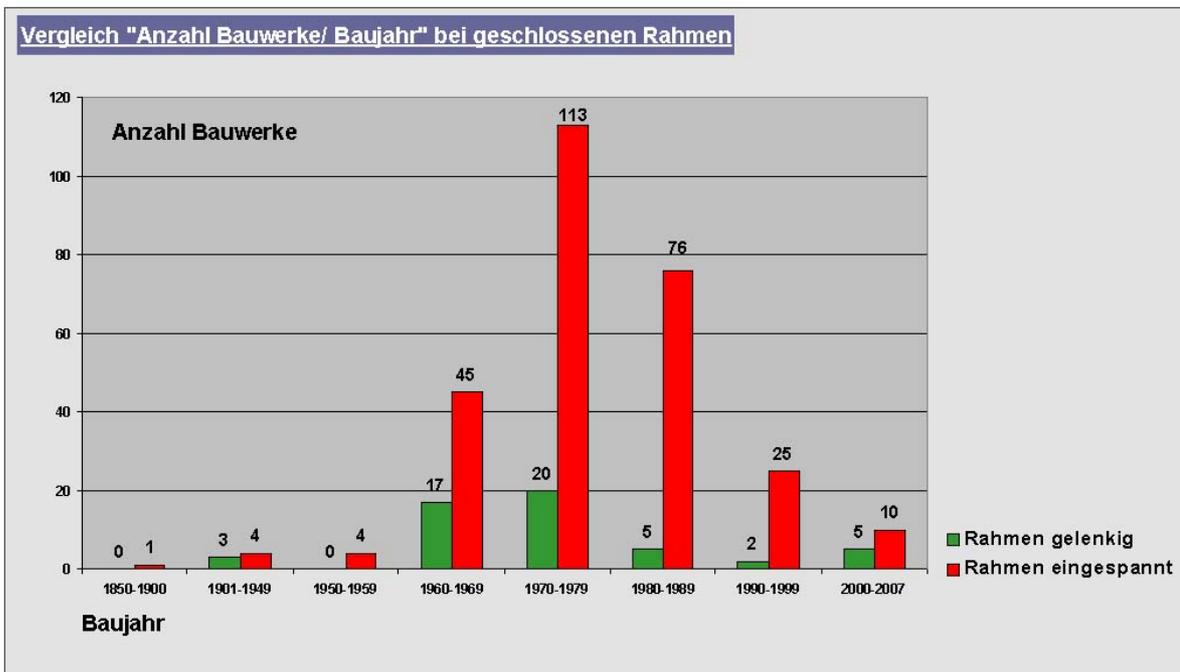


Abbildung 7 – Baujahr „geschlossene Rahmen“

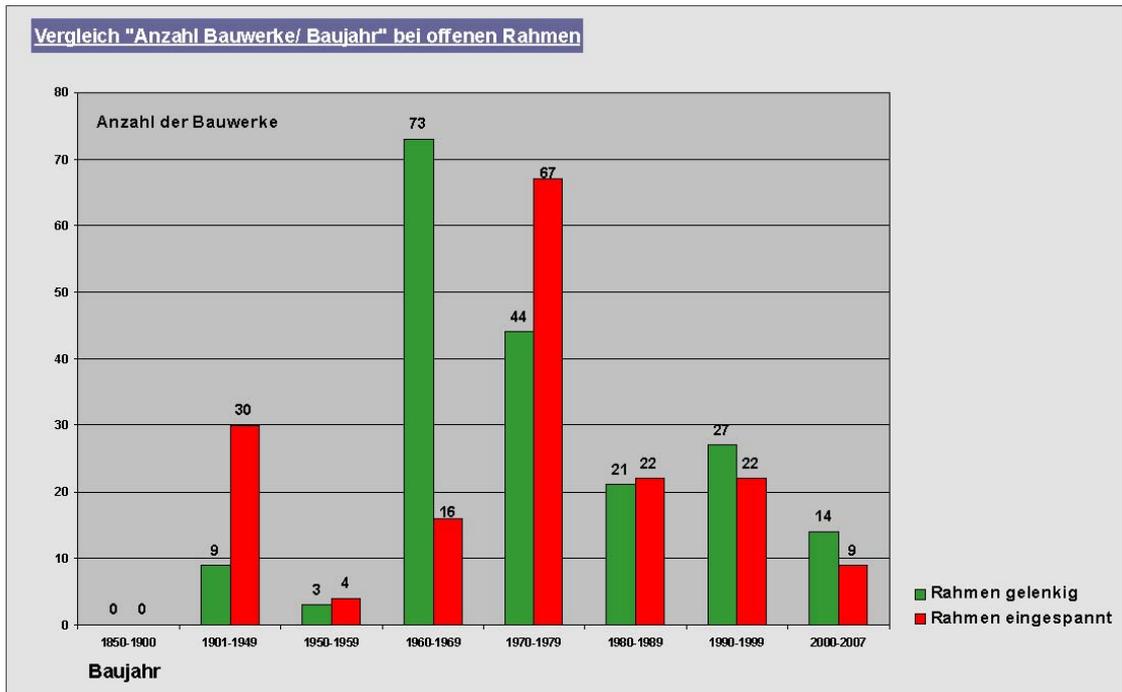


Abbildung 8 – Baujahr „offene Rahmen“

### 3.2. Auswertung Herstellungskosten, Sanierungskosten

Herstellungskosten/m<sup>2</sup> Brückenfläche unter Berücksichtigung des Baukostenindex in Abhängigkeit des Alters und der Rahmengröße:

- ⇒ Unter Berücksichtigung des Baukostenindex zeigt sich, dass die HSTK/m<sup>2</sup> zwischen 1960 und heute um ca. 10-20% gestiegen sind. Ursache dafür könnten die mit Entwicklung des Verkehrswegebau gestiegenen Anforderungen an Belastbarkeit, Dauerhaftigkeit etc. sein, die sich in den höheren Anforderungen der DIN niedergeschlagen haben.
- ⇒ Unabhängig von der Rahmenkonstruktion sinken die Kosten /m<sup>2</sup> Brückenfläche je größer die Brücke ist.

- Beispiel:
- HSTK/m<sup>2</sup> für geschlossene Rahmen ≤ 10,50m ~ 4.090€
- HSTK/m<sup>2</sup> für geschlossene Rahmen ≥ 26,00m ~ 2.278€

- ⇒ Beim Vergleich offener und geschlossener Rahmen zeigt sich folgendes Ergebnis:

	Rahmen „geschlossen“	Rahmen „offen“
Rahmenlänge ≤ 10,50m	4.090€/m <sup>2</sup> (11 Bauwerke)	4.196€/m <sup>2</sup> (14 Bauwerke)
Rahmenlänge ≥ 26,00m	2.278€/m <sup>2</sup> (11 Bauwerke)	1.961€/m <sup>2</sup> (11 Rahmen)

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

Bei kurzen Rahmenlängen ist kein deutlicher Kostenunterschied trotz der zusätzlichen Sohle bei geschlossenen Rahmen auf die Kosten pro m<sup>2</sup> Brückenfläche festzustellen.

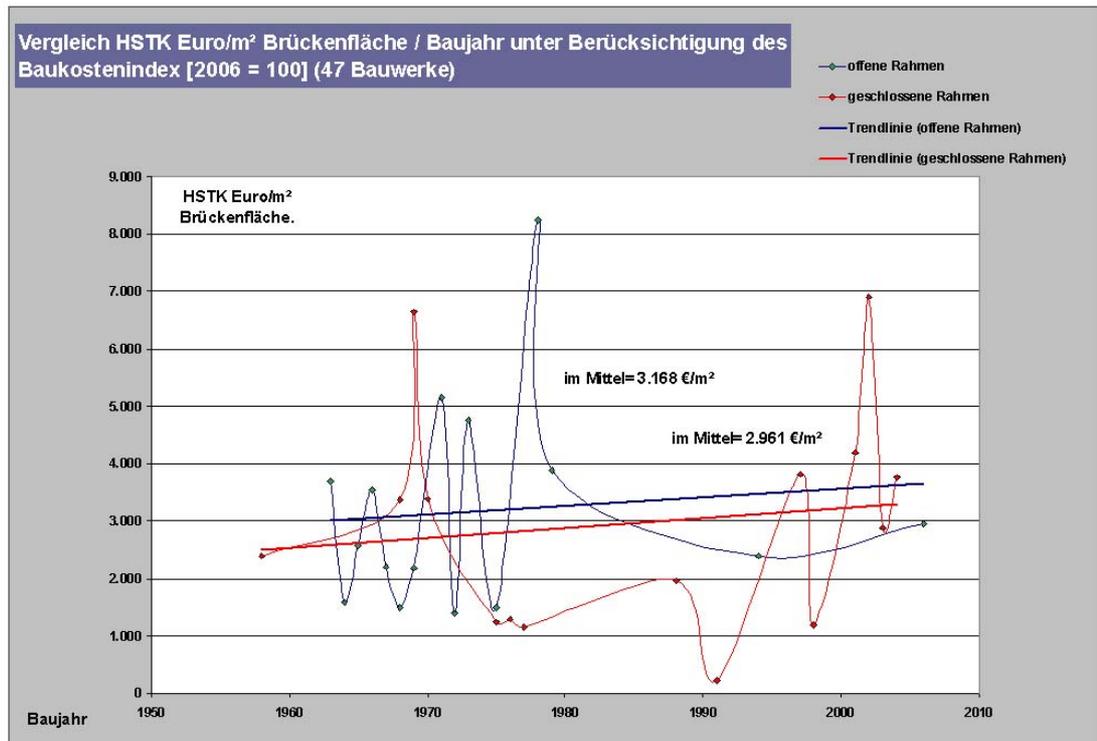


Abbildung 9 Baukosten / m<sup>2</sup> Brückenfläche

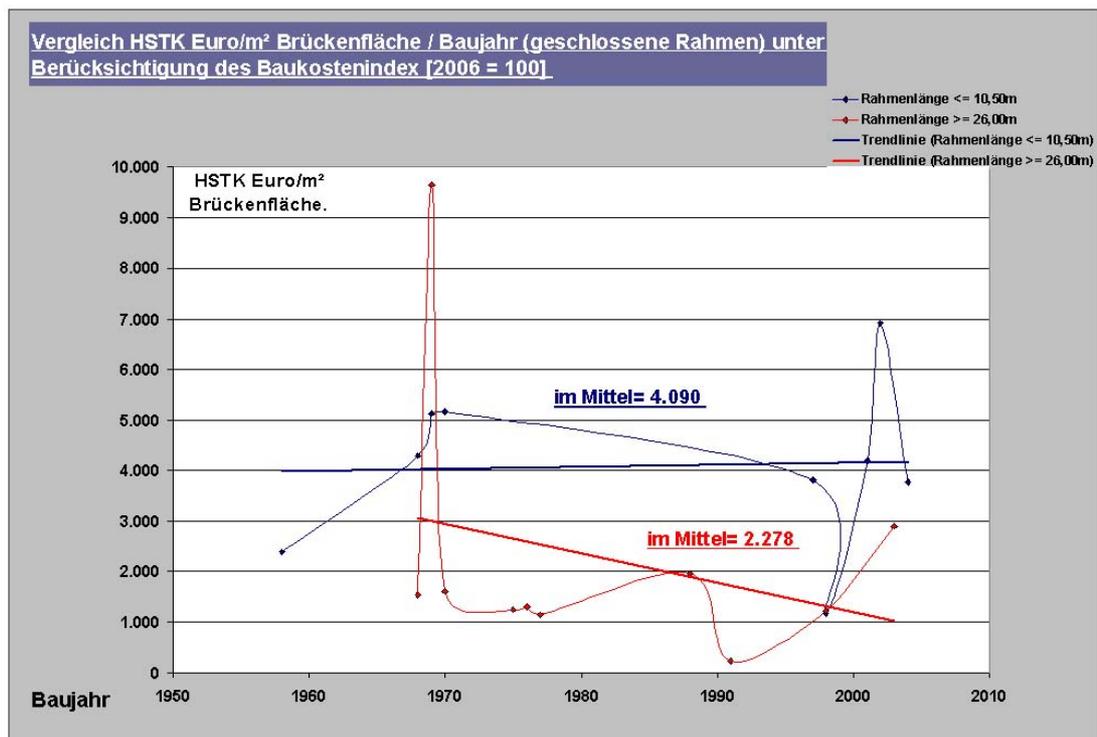


Abbildung 10 Baukosten / m<sup>2</sup> Brückenfläche

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

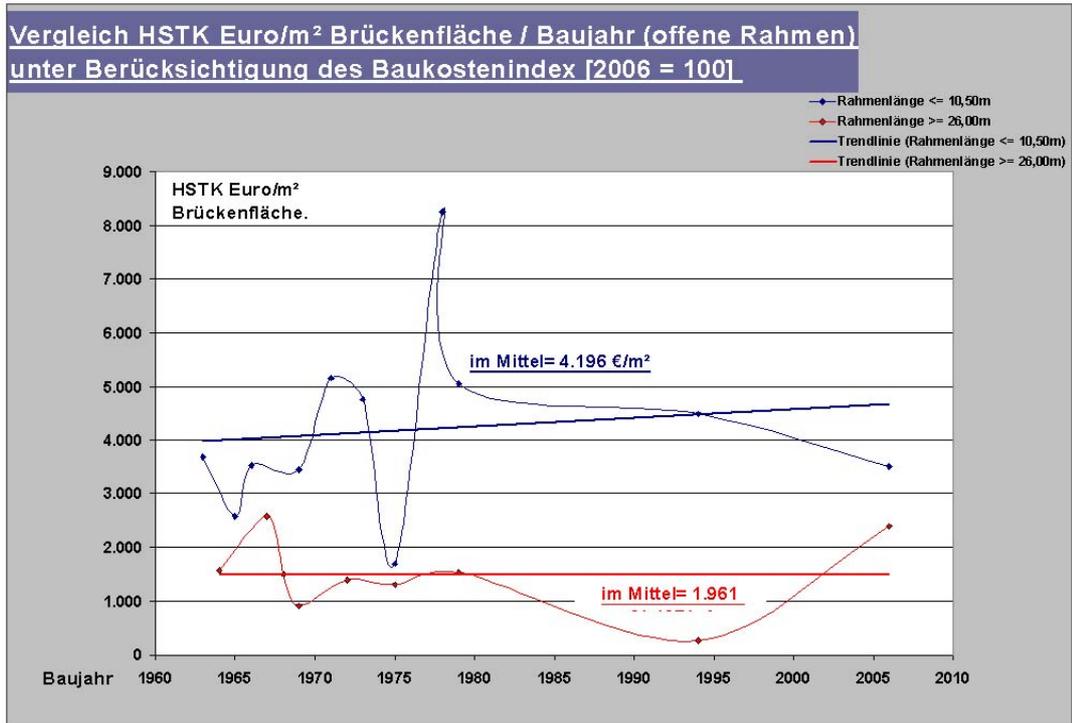


Abbildung 11 Baukosten / m<sup>2</sup> Brückenfläche

### 3.3. Auswertung Zustand bestehender Bauwerke

Zustandsnote in Abhängigkeit des Alters, des statischen Systems und der Rahmengröße

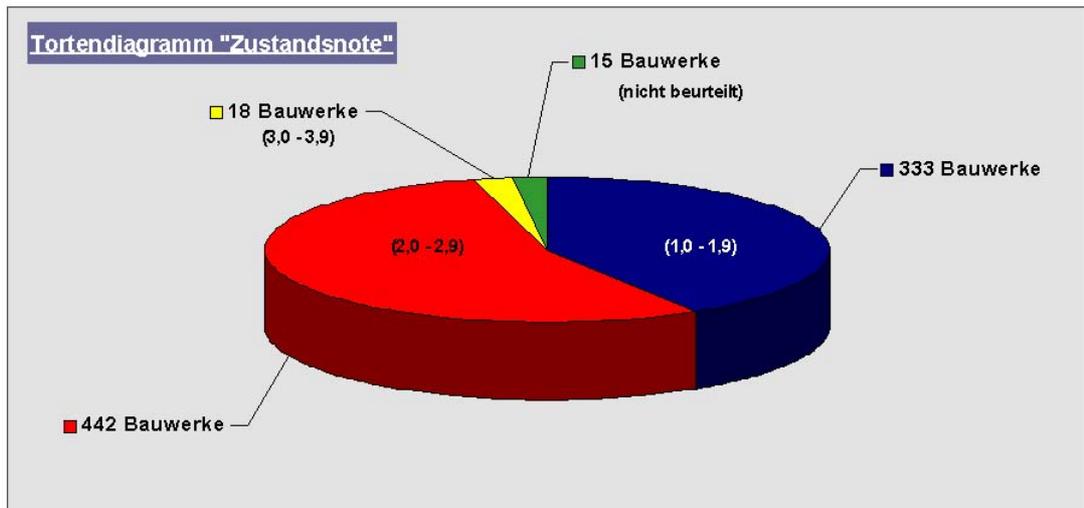


Abbildung 12 Zustandsnoten

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

## Ergebnisse geschlossener Rahmen:

Rahmenlänge (RQ < 10,5m)	Zustandsnote gemittelt	Anmerkung
Rahmen – eingespannt (31 Bauwerke)	1,99	
Rahmen gelenkig (8 Bauwerke)	2,08	keine Bauwerke vor 1968

Rahmenlänge (RQ > 26,0m)	Zustandsnote gemittelt	Anmerkung
Rahmen – eingespannt (76 Bauwerke)	2,01	
Rahmen gelenkig (17 Bauwerke)	(1,85)	keine Bauwerke nach 1981. Tendenz, dass ältere Bauwerke im Alter immer besser werden ⇔ Instandsetzung?

## Ergebnisse offener Rahmen

Rahmenlänge (RQ < 10,5m)	Zustandsnote gemittelt	Anmerkung
Rahmen – eingespannt (18 Bauwerke)	2,07	Note stark ansteigend je älter
Rahmen gelenkig (77 Bauwerke)	1,92	Note stark ansteigend je älter

Rahmenlänge (RQ > 26,0m)	Zustandsnote gemittelt	Anmerkung
Rahmen – eingespannt (10 Bauwerke)	2,41	Note stark ansteigend je älter
Rahmen gelenkig (42 Bauwerke)	1,88	Note schwach ansteigend je älter. Instandsetzung?

Hier zeigen sich die Schwierigkeiten einer statistischen Auswertung einer Zustandsnote, die nicht immer den direkten Zusammenhang zur Dauerhaftigkeit bzw. Robustheit des Bauwerks aufzeigt. Die Note setzt sich definitionsgemäß zusammen aus den Anteilen Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit. Sie ist damit abhängig vom Sanierungszustand des Bauwerks, bzw. auch stark beeinflusst vom Sicherheitszustand Verkehr, der eine Aussage zur Dauerhaftigkeit stark verfälschen kann.

Anhand der Bauwerksbücher sind die erfolgten Sanierungen/Instandsetzungen im Detail nicht nachvollziehbar, so dass hier nur Trends aufgezeigt werden, einzelne stark abweichende Zustandsnoten aber statistisch verfälschend wirken können.

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

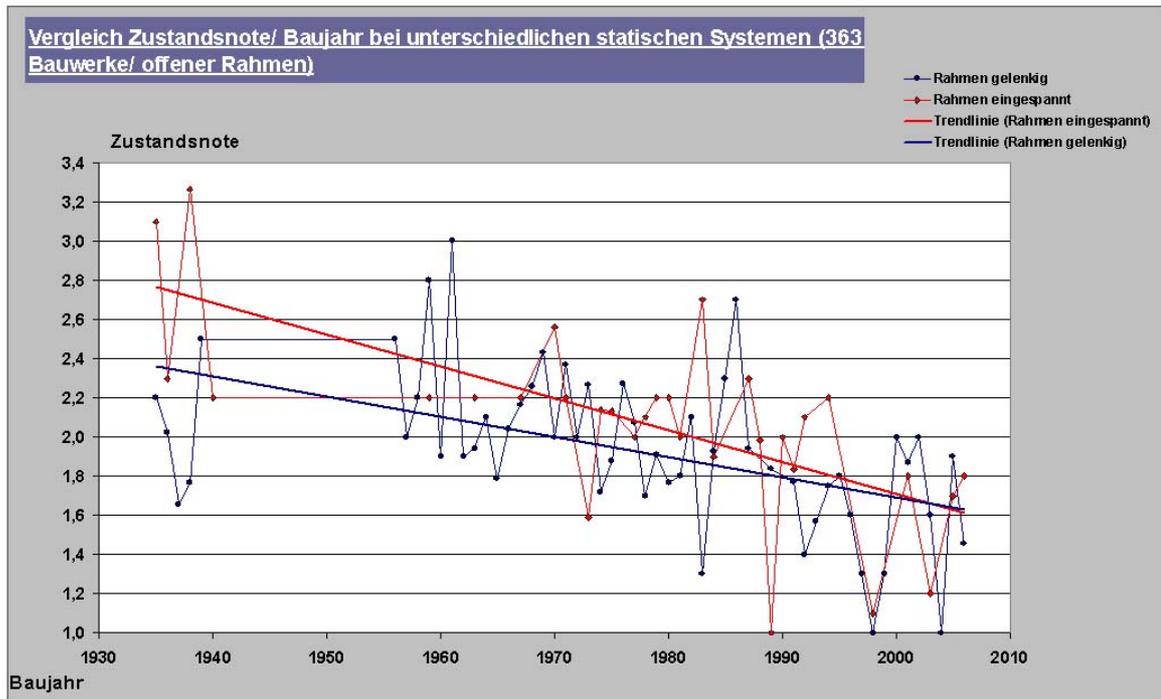


Abbildung 13

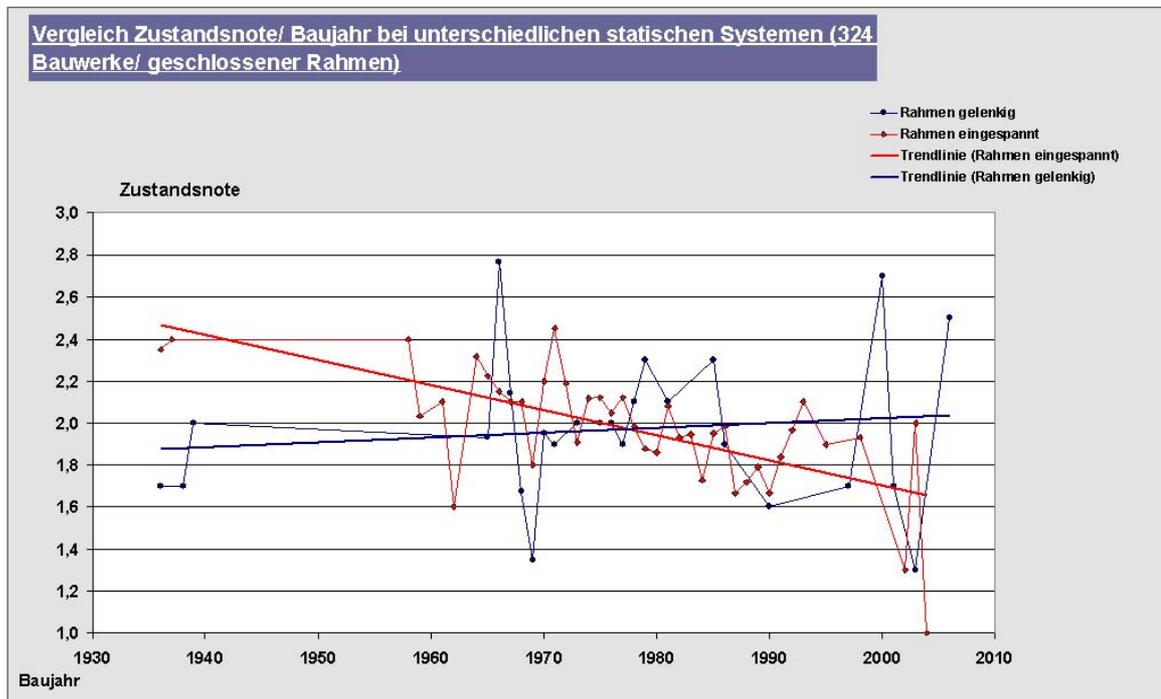


Abbildung 14

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

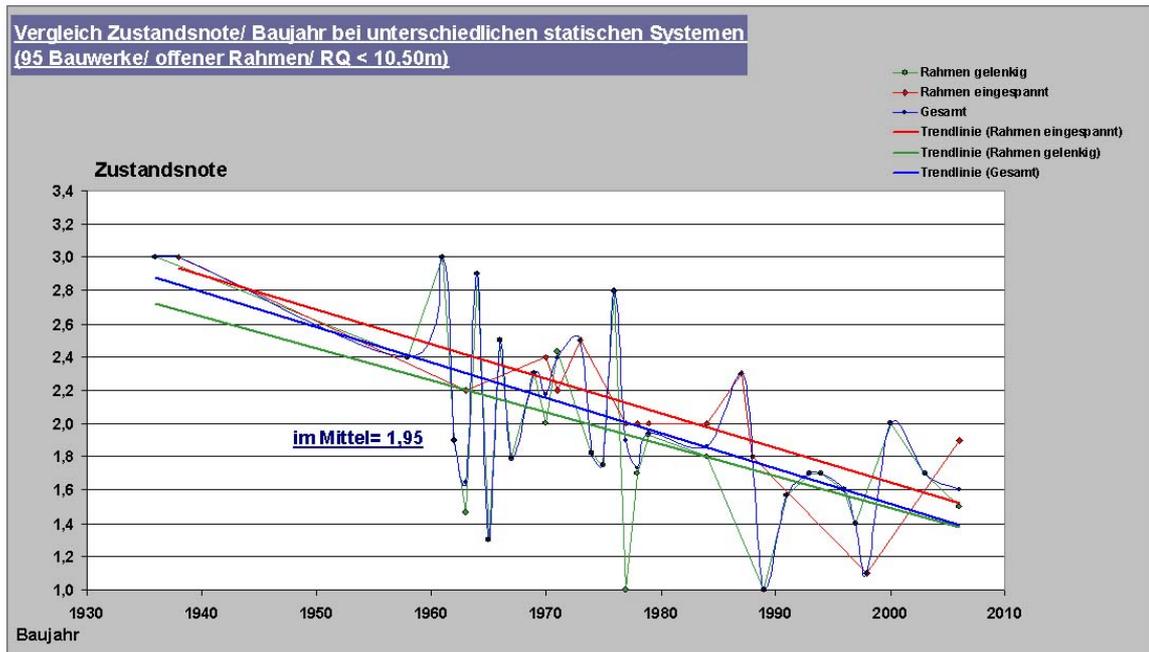


Abbildung 15  
Abbildung 13,14,15 Zustandsnote und Baujahr allgemein und RQ < 10,50 m

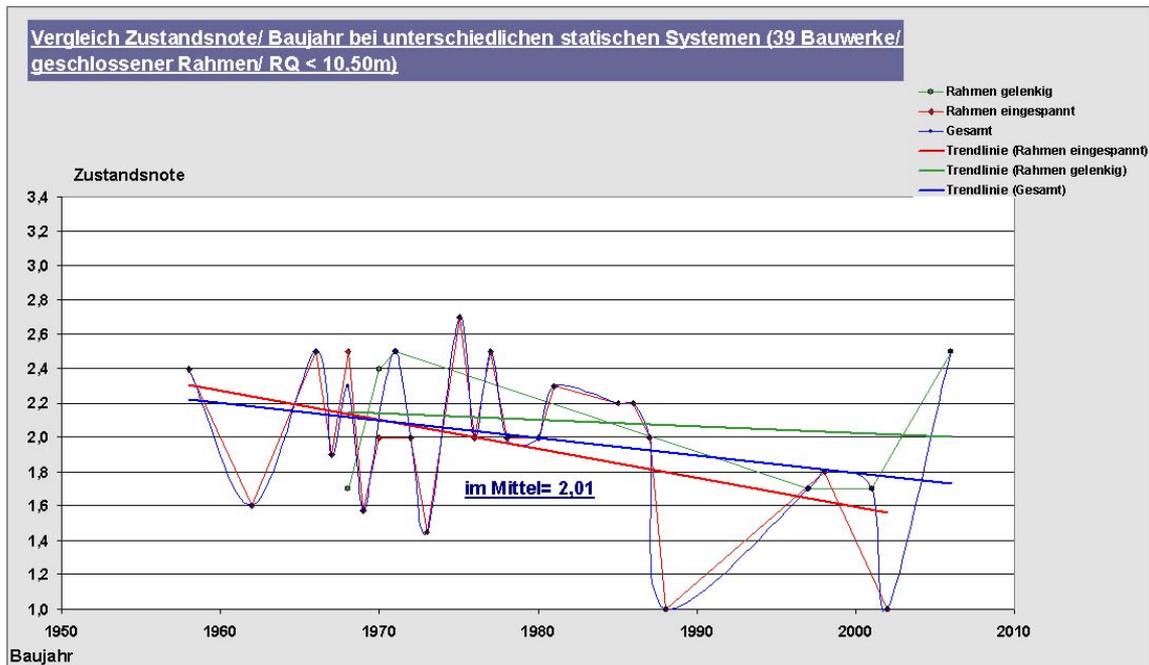


Abbildung 16

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

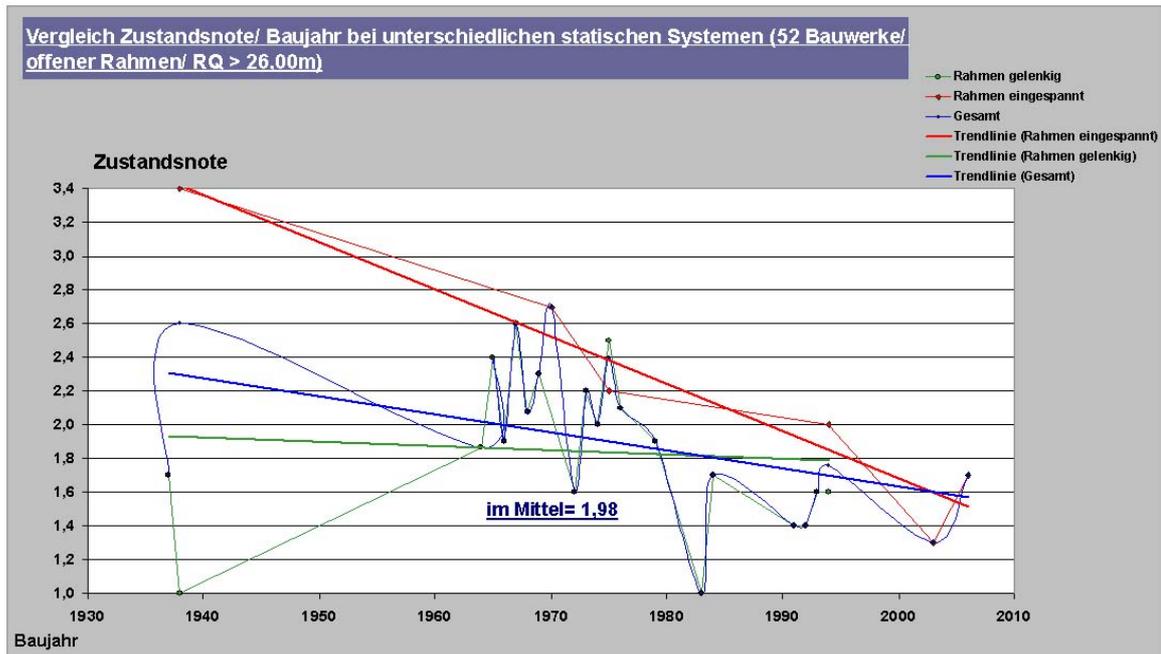


Abbildung 17

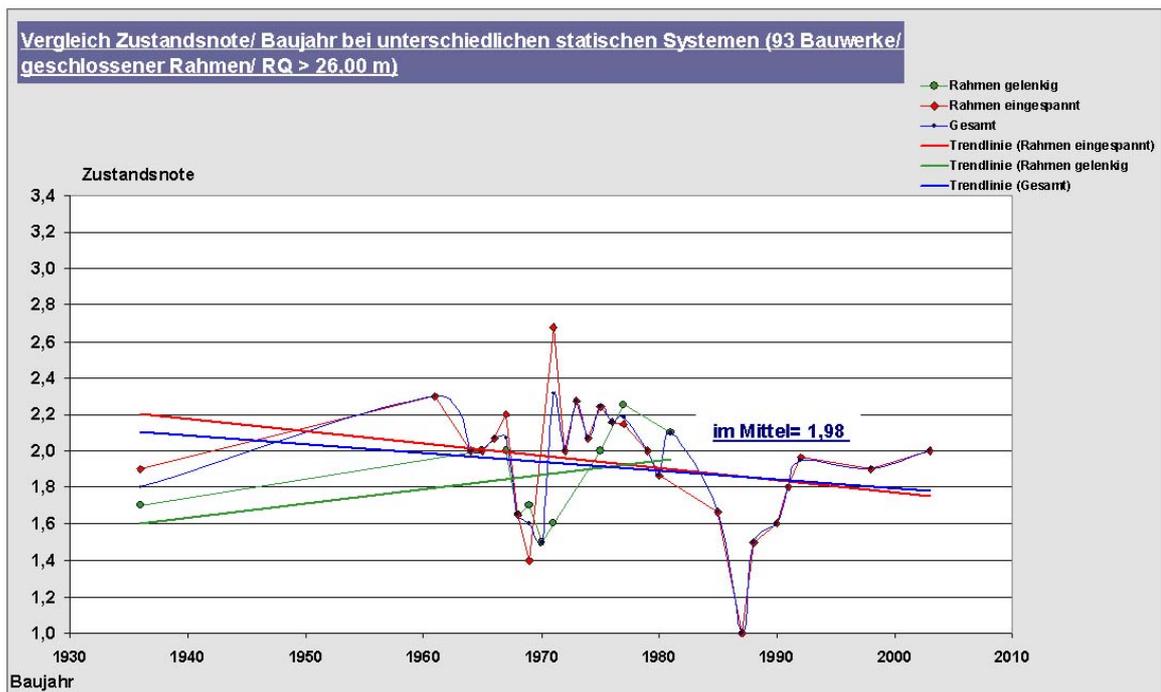


Abbildung 18

Abbildung 16, 17, 18 Zustandsnote und Baujahr allgemein und  $RQ < 10,50$  m bzw.  $> 26,00$  m

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

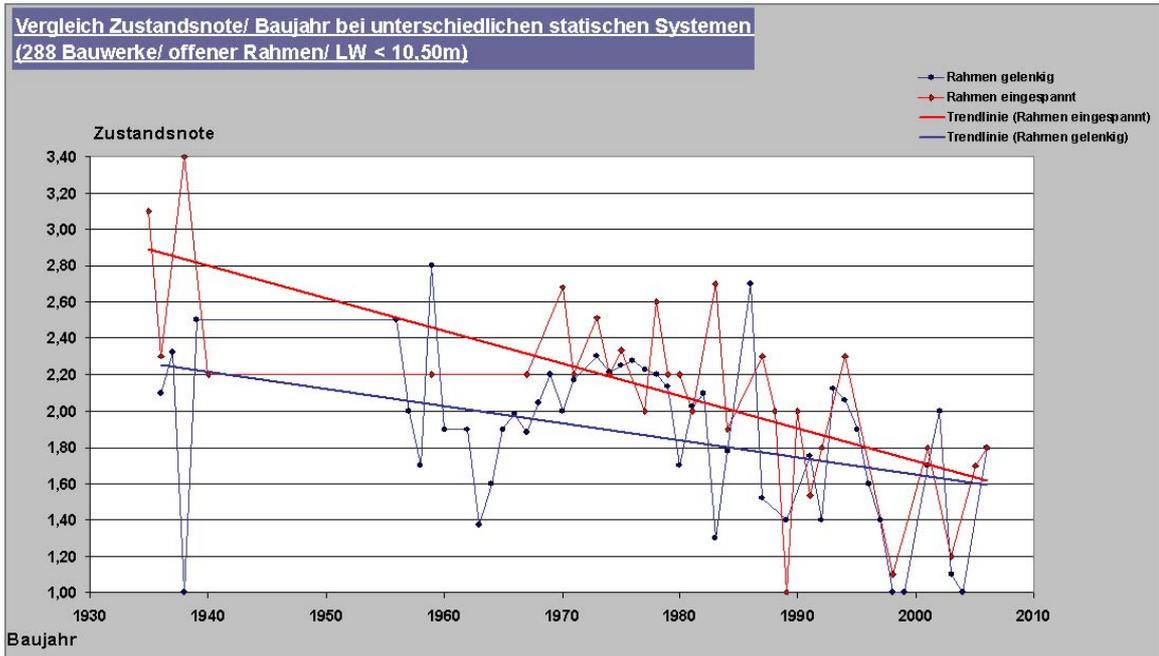


Abbildung 19

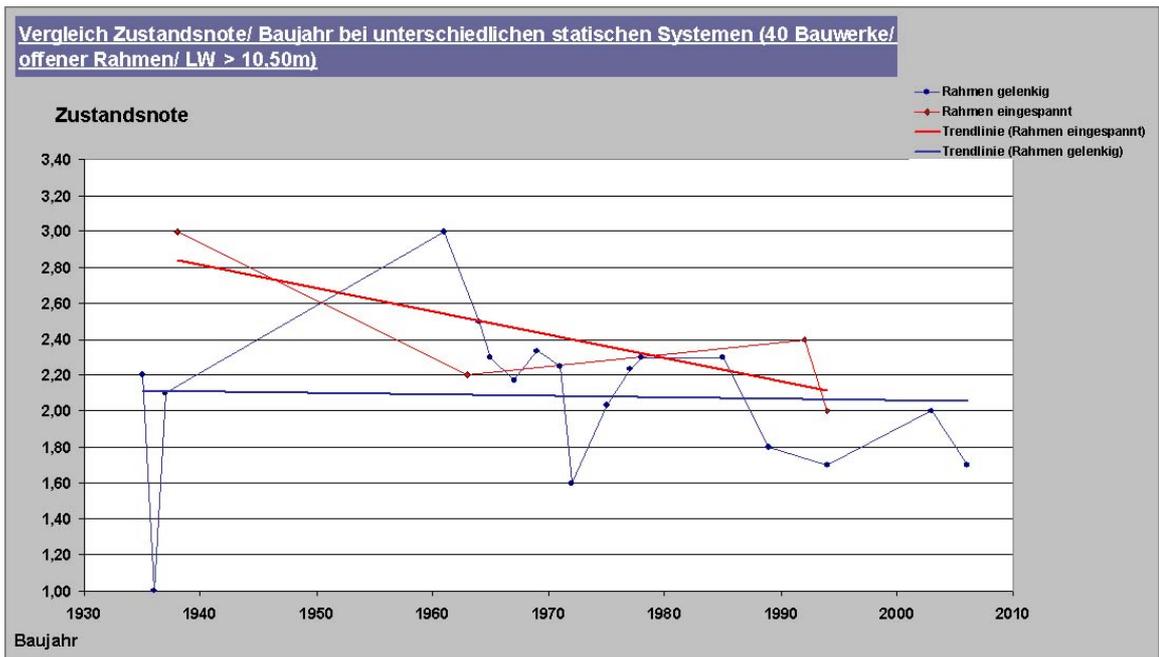


Abbildung 20

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

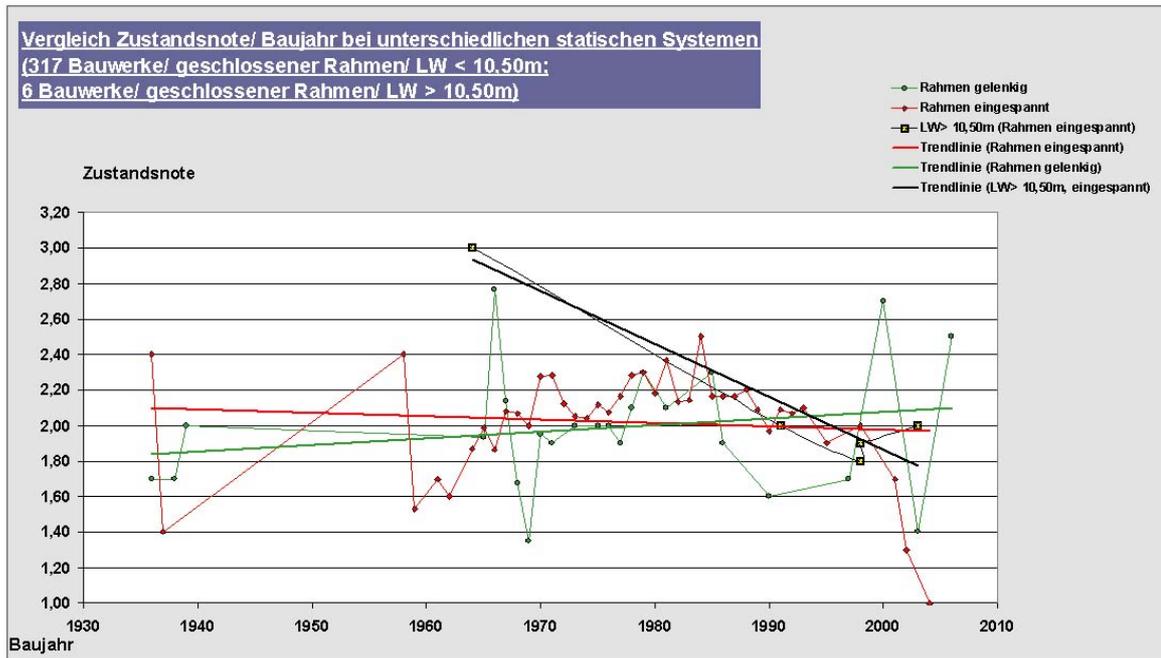


Abbildung 21  
 Abbildung 19,20,21 Zustandsnote und Baujahr geschlossener oder offener Rahmen

## 3.4. Trend Standardkonstruktion des Bestandes

Letztendlich lassen sich alle Diagramme in eine einfache Aussage zusammenfassen. Der Rahmen ist das gängige Bauwerk, die Konstruktionsart „offen“ oder „geschlossen“ hängt im Wesentlichen von der Länge der Unterführung ab. Dies erklärt sich z.B. dadurch, dass sich eine Straßenentwässerung und eine Durchführung der Medien im „offenen“ Rahmen leichter bewerkstelligen lässt.

Lichte Weite $\leq 10,50\text{m}$ Rahmenlänge $\leq RQ10,5$  „Rahmen – geschlossen“ Eingespannt – ohne Gelenke	Lichte Weite $\leq 10,50\text{m}$ Rahmenlänge $\geq RQ26,0$  „Rahmen – offen“ Eingespannt – ohne Gelenke
Lichte Weite $\geq 10,5\text{m}$ Rahmenlänge $\leq RQ10,5$  „Rahmen – offen“ Eingespannt – ohne Gelenke	Lichte Weite $\geq 10,5\text{m}$ Rahmenlänge $\geq RQ26,0$  „Rahmen – offen“ Eingespannt – ohne Gelenke

Abbildung 22 Trend der Konstruktionen Bestand

## 3.5. Herstellungsverfahren / Bauzeiten

Eine Analyse der Bauwerksbücher hat ergeben, dass hier nicht ausreichend Daten erfasst sind, um im Sinne einer statischen Auswertung einen Bezug der Kosten zu Herstellungsverfahren und benötigter Bauzeit herleiten zu können.

## 3.6. Auswertung von Bauten anderer Verkehrsträger

In diesem Abschnitt wird auf ausgewählte Beispiele anderer Verkehrsträger, insbesondere der DB AG eingegangen. Fokus der Betrachtungen ist die Herstellung mit Bauverfahren, die geringe Verkehrseinschränkungen ermöglichen oder die Bauzeit innerhalb dieser Einschränkungen minimieren. Es wird daher in den Beispielen insbesondere auf Bauverfahren wie den Querverschub oder Fertigteilösungen eingegangen.

Die Betriebserschwerungskosten der Deutschen Bahn während einer Baumaßnahme auf stark belasteten Strecken übersteigen oft bei weitem die reinen Herstellungskosten. Bausysteme und Herstellungsarten sind daher darauf ausgerichtet, den Verkehrsfluss so wenig wie möglich zu beeinflussen. In bestehenden Strecken hat sich daher der Ersatzneubau durch Rahmenbrücken als Standardbauweise durchgesetzt. Die Rahmen werden seitlich hergestellt und in kurzen Sperrzeiten der Bahnstrecke in ihre endgültige Lage verschoben und unterbrechen somit den Betrieb kaum.

Eine Wochenendsperrpause reicht als Zeitfenster oft für den Neubau oder manchmal auch für den Austausch eines bestehenden Bauwerks aus.

Ein typischer Bauablauf wird am Beispiel der Eisenbahnbrücke im Zuge der zweigleisigen Hauptstrecke München-Donauwörth erläutert, die als Zweifeldrahmen die Bundesstraße 17a im Stadtgebiet von Augsburg überspannt. Für jedes Gleis wurde in Seitenlage ein Rahmen auf seiner Verschiebbahn hergestellt. Nach dem Trennen und Herausheben des Gleisrosts erfolgt der Aushub im Bereich der Widerlager und Pfeiler, sowie direkt anschließend der Einbau der Verschiebbahn aus Fundamentfertigteilen, auf denen ein Stahlträger als Verschiebträger aufgelegt wird. In der endgültigen Lage angelangt, wird das Bauwerk angehoben, ausgerichtet, die Verschiebträger entfernt und der Hohlraum zwischen den Verschiebfundamenten und den Fundamenten des Bauwerks mit Fließbeton vergossen. Bis die Hinterfüllung lagenweise eingebaut, Schotterkörper und Gleisrost ergänzt, sowie die Schienen verschweißt sind, ist der Fließbeton unterhalb der Fundamente soweit erhärtet, dass das Bauwerk in Betrieb genommen werden kann. Innerhalb von zwei Tagen ist ein komplettes Bauwerk an Ort und Stelle.

Andere Verfahren bei geringeren Abmessungen der Bauwerke ermöglichen es sogar, Fertigteile zu verwenden, die dann lokal zum Gesamtbauwerk zusammengesetzt werden.

## STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE



Abbildung 23 S-Bahn Rhein-Main – Rodgaustrecken EÜ Werner-von-Siemens-Straße, Unterführung in Fertigteilbauweise, Einschub der Einzelblöcke unter Vollsperrung in 2 Tagen

Weitere gängige Verfahren der DB AG, die Herstellung des Bauwerks unter Einsatz von Hilfsbrücken, ist für den Straßenbau nur bedingt geeignet. Die Einschränkungen im Verkehrsfluss, die sich bei der DB AG in diesen Fällen nur durch Langsamfahrstellen und somit in der Zugfolge ausbildet, sind bei Straßenbrücken ungleich größer und rentieren sich nur bei hohen Verkehrsdichten ab DTV 100.000.

Weitere Möglichkeiten bestehen in Einpressverfahren, bei denen keinerlei Einschränkungen im Betrieb auftreten. Dabei ist aber auf die notwendige Überdeckung zu achten, die bei der DB AG wiederum durch den Einsatz von Hilfsbrücken oder anderer Konstruktionen minimiert werden kann. Erfahrungsgemäß liegt die Vorpressgeschwindigkeit dabei zwischen 0,35 m und 1,00 m pro Stunde.



Abbildung 24 EÜ Weingarten, Gesamtübersicht während des Einpressvorgangs

Eine Übertragung der Konstruktionen der DB (Querverschub, Einpressverfahren) auf den Straßenverkehr ist daher nur bedingt möglich, da hier die wesentlichste Grundvoraussetzung, nämlich die Nutzung von Hilfsbrücken, nicht zur Kostenreduzierung eingesetzt werden kann.

Da es für den gleisgebundenen Schienenverkehr in den meisten Fällen keine weiteren Alternativen zur lokalen Umleitung gibt, ist das Konzept mit Hilfsbrücken bei der DB in sich wirtschaftlich. Dies trifft aber nicht auf den spurgebundenen Straßenverkehr zu, da es hier vielfältig andere Möglichkeiten zur lokalen „Umleitung“ gibt.

Hinzu kommen, neben den reinen Kosten, noch weitere Randbedingungen, die für diese Verfahren notwendig werden. Beim Querverschub/Einpressverfahren ist dies der notwendige seitliche Freiraum zur Vorfertigung bzw. Lagerung der zu verschiebenden Bauwerkselemente sowie die Möglichkeit zum Aufbau einer Verpressstation insbesondere für das Einpressverfahren.

Ferner ist die Bauhöhe der Hilfsbrücken zu beachten, die zusätzlich in der Höhenentwicklung der Gesamtkonstruktion zu beachten ist. Bei direkt befahrenen Bauwerken führt diese Zusatzhöhe unweigerlich zu Mehrkosten in der Gesamtkonstruktion.

Das Einpressverfahren der DB setzt voraus, dass eine Lagesicherung der Gleise durch Kleinhilfsbrücken, Schwellenersatzverfahren erfolgt und somit Ausbrüche an der Ortsbrust (Erdkörper direkt hinter der Schneide) im Zuge des notwendigen Erdabbaus im vorgepressten Rahmen abgesichert werden. Diese Konstruktion wäre im Straßenbau nicht möglich, so dass hier analog zu Tunnelbauwerken eine Mindestüberdeckung in der Stärke der Spannweite (hier 7,0m bzw. 10,0m) bei normalem Boden notwendig wird. Diese Kennwerte liegen außerhalb der Randbedingungen für einen Standardrahmen. Die alternative Möglichkeit, z.B. einen Erdkörper durch HDI-Injektionen oder Vereisungen standsicher zu bekommen, bedeutet wiederum eine Mindeststärke von ca. 3,0m für den Erdkörper. Zusätzlich entstehen erhebliche Kosten für diese Bodenverbesserungsmaßnahmen, während gleichzeitig der Vorteil der Nichtbeeinträchtigung des Verkehrs weitestgehend aufgehoben wird, da diese Verpressarbeiten zum großen Teil von der Oberfläche (= Straßenbereich) ausgeführt werden müssen.

Erst ab sehr hohen Verkehrsdichten DTV 100.000 Kfz/Tag und extrem begrenzten Platzverhältnissen zur Umleitung/ Einengung von Fahrspuren lohnt es sich daher, Verfahren mit Hilfsbrücken und Querverschub zu untersuchen bzw. die Kosten mit den Kosten für Standardbauweisen zu vergleichen. Das Einpressverfahren stellt keine Alternative zu den Standardbauweisen dar und kann nur für Spezialfälle untersucht werden, bei denen oben genannte Randbedingungen gegeben sind.

## 4. Betrachtungen zu Standardkonstruktionen / Regelbauweisen

### 4.1. Vorbemerkungen zur Standardisierung

Gemäß den Auswertungen aus dem Bestand wurde die Konstruktion des geschlossenen und offenen Rahmens weiter verfolgt. Dabei wurden die Vorgaben für die Planung integraler und semi-integraler Straßenbrücken gemäß dem Entwurfsheft integraler Brücken [1], sowie den Erweiterten Grundlagen für integrale Straßenbrücken aus dem Gutachten von König und Heunisch [2] in die weiteren Ausarbeitungen mit aufgenommen.

Die dort aufgezählten Vorteile, wie

- ⇒ Einspannung in die Widerlager erlaubt schlanke Überbauten.
- ⇒ Höherer Fahrkomfort durch Vermeidung der Übergangskonstruktionen
- ⇒ Dauerhafte und wartungsunabhängige Vermeidung von direktem Taumittelzutritt zu
- ⇒ Konstruktionsteilen unterhalb der Fahrbahn
- ⇒ Verringerung der Gefahr von ungleichmäßigen Setzungen
- ⇒ Größere Traglastreserven durch Umlagerungsmöglichkeiten für die Schnittgrößen im
- ⇒ Grenzzustand der Tragfähigkeit

treffen auf die ausgewählte Konstruktion des Rahmens zu. Insofern wurde auf diese Konstruktionsart in den folgenden Überlegungen das Hauptaugenmerk gelegt.

Der wichtigste Vorteil integraler Konstruktionen ist die vollständige Einsparung von Lagern und Übergangskonstruktionen. Diese Bauteile sind besonders schadensanfällig und aufwendig im Unterhalt. Weiterhin sind Schäden an Dehnfugen und Lagern auch die Ursache für Schäden an der Konstruktion, z. B. infolge Taumittelangriff bei undicht gewordenen Übergangskonstruktionen.

Aufgrund der geringen Abmessungen der betrachteten Bauwerke und dem daraus resultierenden geringen Kostenanteil für diese Verschleißbauteile ist es aber notwendig, diese Aussage noch durch weitere Betrachtungen zu untermauern bzw. deren Grenzen aufzuzeigen.

Ist es im Sinne einer Standardisierung generell richtig, dass bei einem Wegfall von Lagern, Übergangskonstruktion und z.B. einem Teil der Abdichtung (und Ersatz durch WUB-KO) das Bauwerk Rahmen insgesamt trotzdem das „wirtschaftlichste“ bleibt?

Hierzu werden die Herstellungsverfahren, die Bauzeiten und darauf folgend die Life-Cycle-Costs genauer betrachtet, um eine belastbare Antwort zu erhalten.

## 4.2. Herstellungsverfahren / Bauzeiten

Für die Standardkonstruktion der Rahmen ist die klassische Herstellung die Ortbetonbauweise. Nach dem Betonieren der Fundamente erfolgt der Bau der aufgehenden Bauteile der Widerlagerwände und der Flügelwände. Der Überbau, ebenfalls in Stahlbeton, wird mit Hilfe von Traggerüsten erstellt.

Rahmen werden überwiegend mit einer Arbeitsfuge zwischen Widerlagerwand und Überbau hergestellt. Um ein ansprechendes Fugenbild zu erzielen, wird die Arbeitsfuge ca. 3 cm über Unterkante Überbau angeordnet, damit diese nicht mehr sichtbar ist. Die Bewehrungsführung in der Rahmenecke muss mit der Schalung der Widerlager abgestimmt werden. Beim Einsatz von Großflächenschalungen überragt die Wandschalung häufig die Oberkante des Überbaus, so dass die Übergreifung der Bewehrung nur im Bereich der Rahmenecke erfolgen kann. Reicht diese Länge für die Ausbildung eines Übergreifungsstoßes nicht aus, wird mit Muffenstößen gearbeitet, oder es kann die Arbeitsfuge auf der Widerlagerrückseite nach unten abgesetzt werden.

Die gemeinsame Herstellung von Widerlagerwänden und Überbau zur Vermeidung von kritischen Arbeitsfugen in Höhe der OK Widerlagerwände (rissgefährdet), erzeugt erheblich höhere Kosten in der Vorhaltung der Schalung und in der Aussteifung des Traggerüstes sowie längere Bauzeiten und wird daher in den Betrachtungen aus wirtschaftlichen Gründen nicht weiter betrachtet.

Exemplarisch wurden für verschiedene Szenarien zur Erstellung eines Standardrahmens in Ortbeton mit einer überführten Strasse RQ 10,5 und einem darunterliegenden Wirtschaftsweg Muster-Bauzeitenpläne erstellt. Diese sind unter dem Punkt 5.6 dieses Berichts abgelegt und zeigen bei einer Herstellung in einem Bauabschnitt eine Bauzeit von 200 Tagen auf. Bei einer Herstellung in zwei Bauabschnitten erhöht sich die Bauzeit auf 262 Tage, wobei dann aber ein wechselseitiger Verkehr auf dem Bauwerk möglich wäre.

Bei zwingender Aufrechterhaltung von Verkehr (Straßenbahn, Linienbus, hohes Verkehrsaufkommen) mit einem großen erforderlichen Lichtraumprofil in der unterführten Strasse ist die Konstruktion des Rahmens nur bedingt einsetzbar. Hier könnten andere Bauverfahren z.B. Fertigteil- oder Halbfertigteilkonstruktionen für den Überbau zur Anwendung kommen. Diese Konstruktionen werden durch die vorliegenden Musterbauwerkspläne nicht erfasst, in den Muster-Bauzeitenplänen sind zur Abschätzung der erforderlichen Bauzeiten und Bauweisen weitere Beispiele aufgeführt.

Bei der volkswirtschaftlichen Betrachtung von Brückenbaumaßnahmen sind aber nicht nur die Kosten für die Herstellung und den Unterhalt zu berücksichtigen. Die Kosten, die dem Nutzer der Verkehrswege durch die Verkehrseinschränkungen während der Bauzeit und bei Instandsetzungen entstehen, sind beträchtlich und können in Einzelfällen sogar die Baukosten übersteigen. Weiter Überlegungen hierzu sind unter dem Kapitel Life-Cycle-Costs aufgeführt.

## 4.3. Life-Cycle-Costs

### 4.3.1 Grundlagen

Grundlage der Betrachtung sollen dabei die Berichte der BAST „Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz“ Stufe 1-2 und 3 [5] [6] sein.

Insbesondere mit den in Stufe 3 Kapitel 4.3 genannten Strategien zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit zur „Absenkung der Eingreifwerte“ werden die einzelnen Bauteile (Überbau, Abdichtung, Unterbau, Lager, Fahrbahnübergangskonstruktionen, Kappen) vergleichenden Betrachtungen unterzogen und in den Life-Cycle-Costs bewertet.

Die zugehörigen Schlagworte „Verzicht auf Verschleißbauteile“, „Verringerung der Eingreifwerte“ durch Erhöhung der Qualität und „Senkung der Anforderungen an die Zustände der Bauteilgruppen“ durch konsequente Ausbildung von Standardkonstruktionen für Verschleißbauteile fließen dabei genauso ein.

Ausgehend von den in dem Bericht genannten Nutzungsdauern der einzelnen Verschleißbauteilgruppen, deren zugehörigen Beschreibung der Zustandsverschlechterung und der generellen Beschreibung des Zustandsverlaufes von Betonüberbauten wird ein fiktives Szenario einer Instandhaltung einer Standardbrücke für ca. 110 Jahre entworfen.

Es wird dabei derselbe Brückentyp untersucht, wobei die Bauteile nach Erreichen der Zustandsnote 3,5 (für Kappen evtl. 4,0) instandgesetzt bzw. erneuert werden.

Durch den Wegfall von bestimmten Verschleißbauteilen (Lager, ÜKO) kann in einem ersten Schritt die generelle Abhängigkeit in den Gesamtkosten aufgezeigt werden.

Im zweiten Schritt wird dargestellt, welche Vorteile sich aus der Qualitätserhöhung des Materials (Beton) und dem Wegfall weiterer Verschleißbauteile (Abdichtung) ergeben kann.

Ein weiterer Vorteil, die Standardisierung der Kappenkonstruktion, ermöglicht auch die Lockerung des Eingreifwertes zur Sanierung. Dieser Vorteil wurde ebenfalls mit eingearbeitet.

Jedes Szenario der drei Brücken geht von denselben Herstellungskosten aus. Kostenersparnisse z.B. aus dem Wegfall von Lagern werden durch höhere Güten z.B. Betonqualität anderer Bauteile aufgewogen. Nicht betrachtet wird der Aufwand für die Auswechslung von Belag, Geländer und Schutzplanken. Diese Bauteile haben in dieser Betrachtung keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und sind für alle drei Brückenmodelle gleich.

## 4.3.2 Beispiele

Bei den vergleichenden Beispielen wird von einer Konstruktion mit 8 m Spannweite und einem überführten Regelquerschnitt von RQ 10,5 m ausgegangen. Dadurch ergibt sich eine Brückenfläche von ~92 m<sup>2</sup>. Diese wird mit einem Kostenansatz von 2.000,- €/m<sup>2</sup> belegt, so dass sich für die Standardbrücke Kosten von 184.000 € ergeben. Für die einzelnen Bauteile ergibt sich eine prozentuale Aufteilung der Kosten, wobei, wie angesprochen, in dieser Betrachtung Kosten für wegfallende Bauteile durch höhere Kosten für andere Bauteile ersetzt werden.

### Bsp.1 fiktive Brücke mit Lagern und ÜKO

Aufteilung	Fundamente/Stahlbeton	20%
	Widerlager/Stahlbeton	30%
	Überbau/Stahlbeton	26%
	Fugen/Fugenbänder	1,5%
	Abdichtung	3,0%
	Entwässerung	0,5%
	ÜKO	2,0%
	Lager	4,0%
	Kappen	<u>6,0%</u>
		93%
	(Geländer + Schutzplanken)	2,0%
	(Belag)	<u>5,0%</u>
		100%

### Bsp.2 fiktive Brücke ohne Lager ohne ÜKO mit Abdichtung, Kappen wird mit Note 3,5 saniert

Aufteilung	Fundamente/Stahlbeton	20%
	Widerlager/Stahlbeton	32,5%
	Überbau/Stahlbeton	30%
	Fugen/Fugenbänder	1,0%
	Abdichtung	3,0%
	Entwässerung	0,5%
	ÜKO	0,0%
	Lager	0,0%
	Kappen	<u>6,0%</u>
		93%
	(Geländer + Schutzplanken)	2,0%
	(Belag)	<u>5,0%</u>
		100%

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

## Bsp.3 fiktive Brücke ohne Lager ohne ÜKO „ohne“ Abdichtung, Kappen wird mit Note 4,0 saniert

Aufteilung	Fundamente/Stahlbeton	20%
	Widerlager/Stahlbeton	32,5%
	Überbau/Stahlbeton	31%
	Fugen/Fugenbänder	0,5%
	Abdichtung	1,0%
	Entwässerung	0,5%
	ÜKO	0,0%
	Lager	0,0%
	Kappen	<u>7,5%</u>
		93%
	(Geländer + Schutzplanken)	2,0%
	(Belag)	<u>5,0%</u>
		100%

Die Bauteile unterliegen unterschiedlichen Altersverläufen. Exemplarisch ist hier der Alterungsverlauf inkl. Sanierung ab Zustandsnote 3,5 für die Verschleißbauteile an der Brücke Bsp.1 dargestellt.

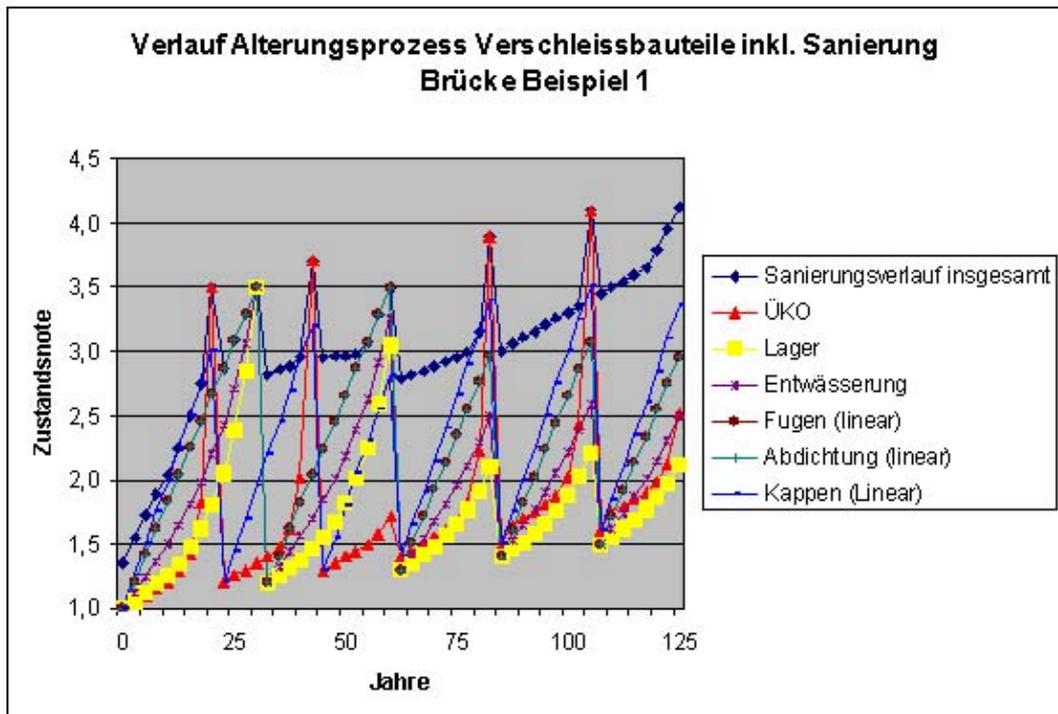


Abbildung 25 Verlauf Alterungsprozess Verschleißbauteile Beispiel 1

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

Dies gilt ebenso für die Betonbauteile mit längeren Laufzeiten ebenfalls dargestellt am Bsp.1

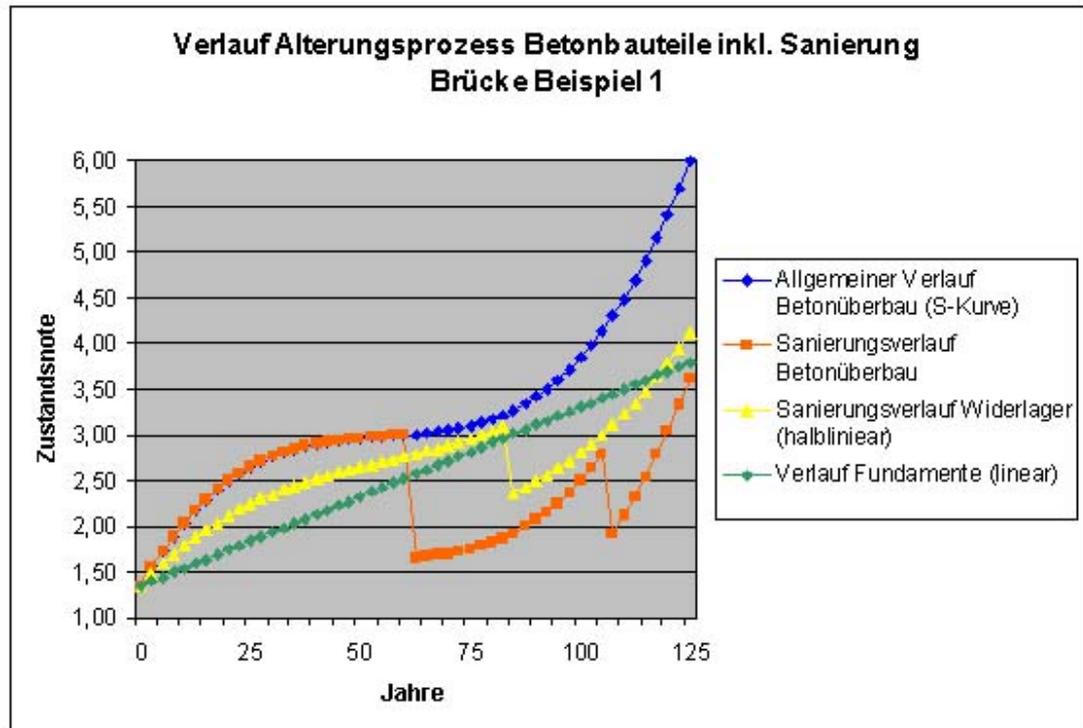


Abbildung 26 Verlauf Alterungsprozess Betonbauteile Beispiel 1

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

In Kombination ergibt sich folgender Gesamtverlauf der Unterhaltung mit den summierten Kosten zu Beispiel 1.

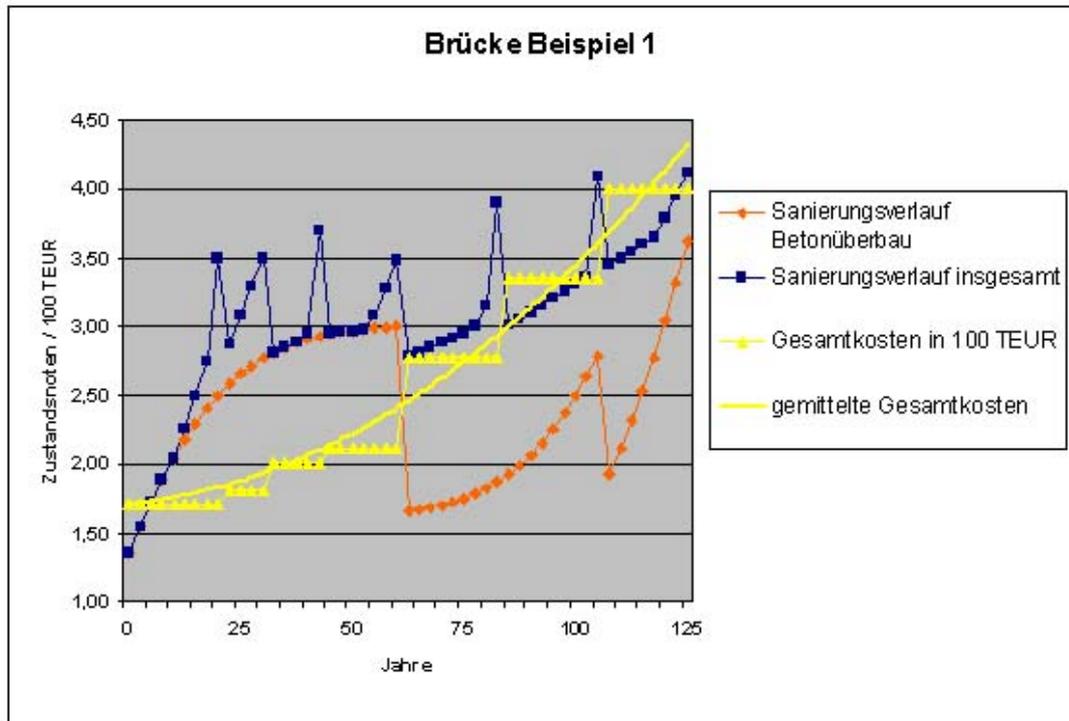


Abbildung 27 Verlauf Sanierungsprozess und Kosten Beispiel 1

Dieser ganze Prozess der Ermittlung des Sanierungsbedarfs, der zugehörigen Einzelkosten und die Auswirkungen auf die Gesamtkosten wird genauso für die Brücken nach Bsp. 2 und Bsp. 3 durchgeführt.

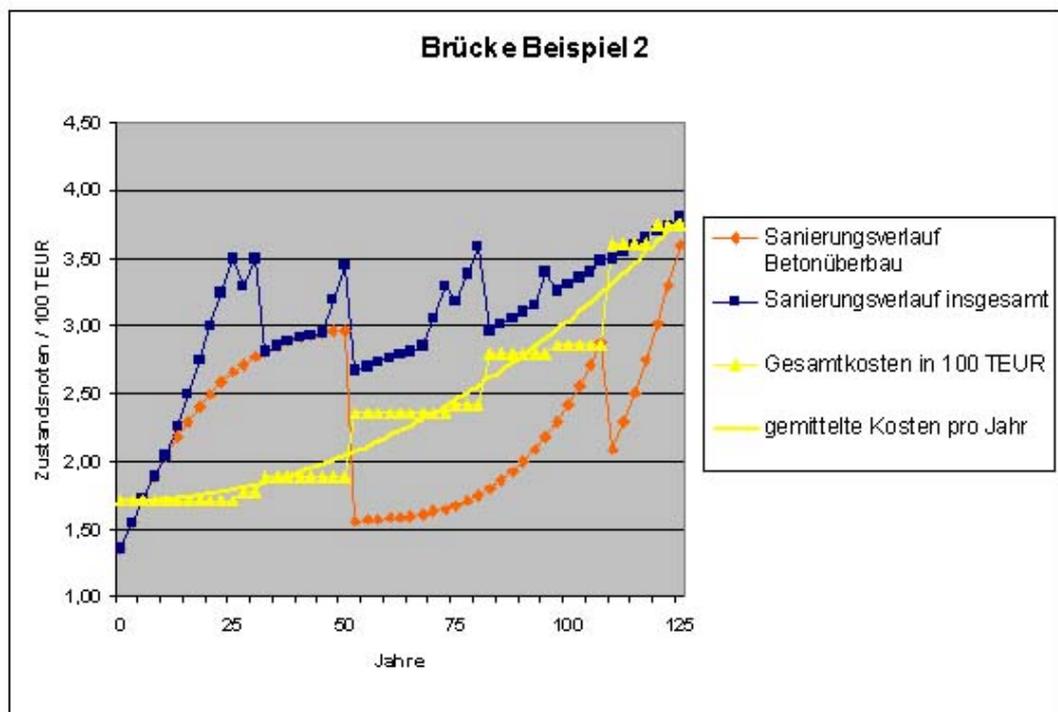


Abbildung 28 Verlauf Sanierungsprozess und Kosten Beispiel 2

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

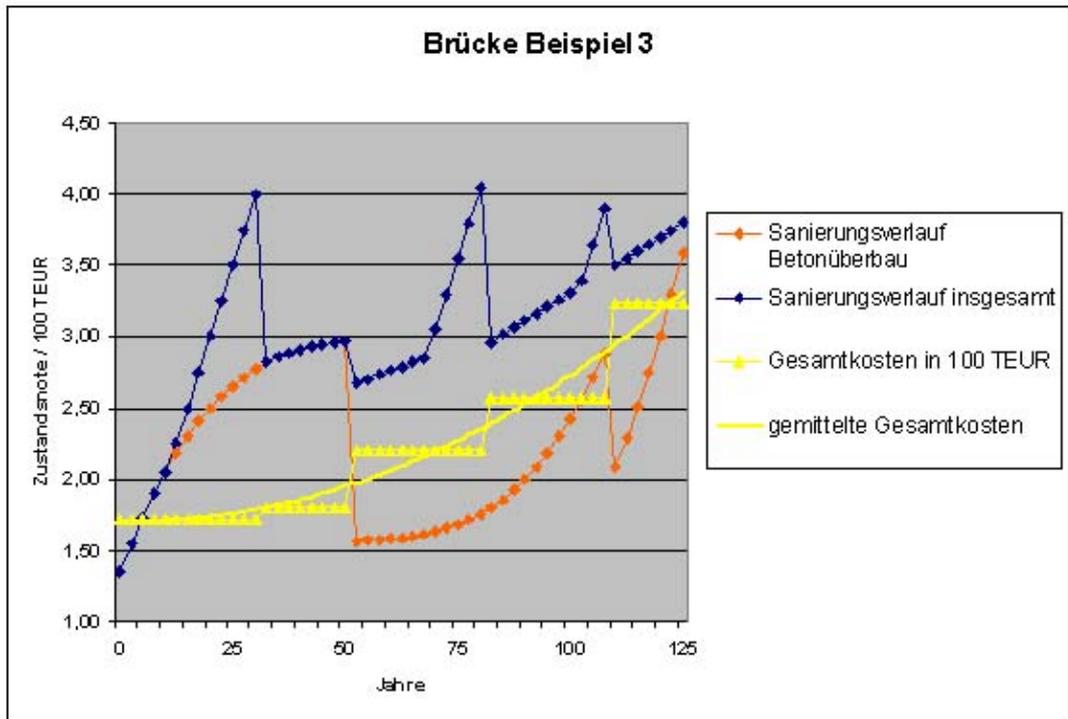


Abbildung 29 Verlauf Sanierungsprozess und Kosten Beispiel 3

Die wesentlichen Unterschiede treten in den Verschleißbauteilen auf. Hier fallen vor allem die in Ihrem exponentiellen Alterungsverlauf kritischen Bauteile Übergangskonstruktion und Lager negativ auf. Negativ im Bezug auf den Sanierungsrhythmus ist auch die Nutzungsdauer der Kappen von 25 Jahren zu bewerten, so dass sich bei einer Anhebung des Sanierungszeitpunkts bei einer Benotung von 3,5 auf 4,0 für dieses Bauteil insgesamt günstigere Gesamtanierungskosten ergeben. Dies ist in den unterschiedlichen Verläufen der Beispiele 2 und 3 erkennbar.

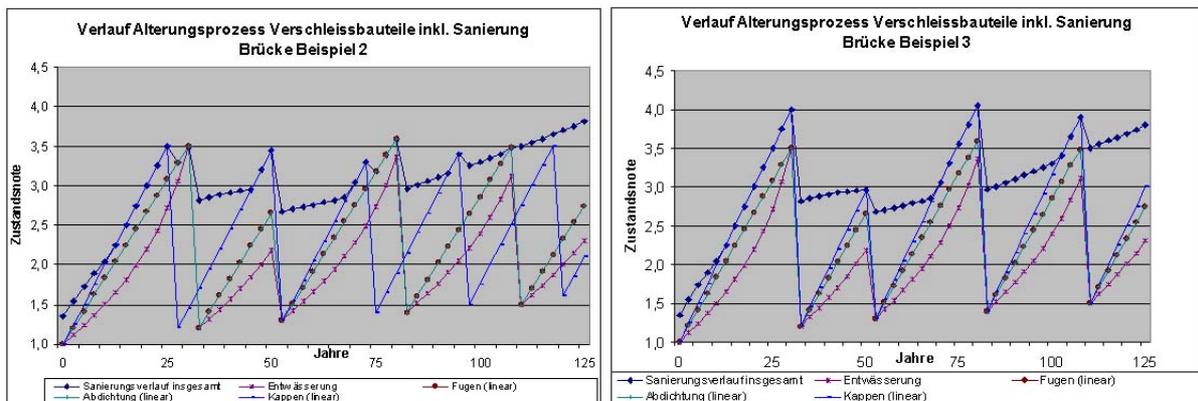


Abbildung 30,31 Verlauf Sanierungsprozess Verschleißbauteile Beispiel 2 und 3

Zusammenfassend ergibt sich für die Kosten folgender Verlauf.

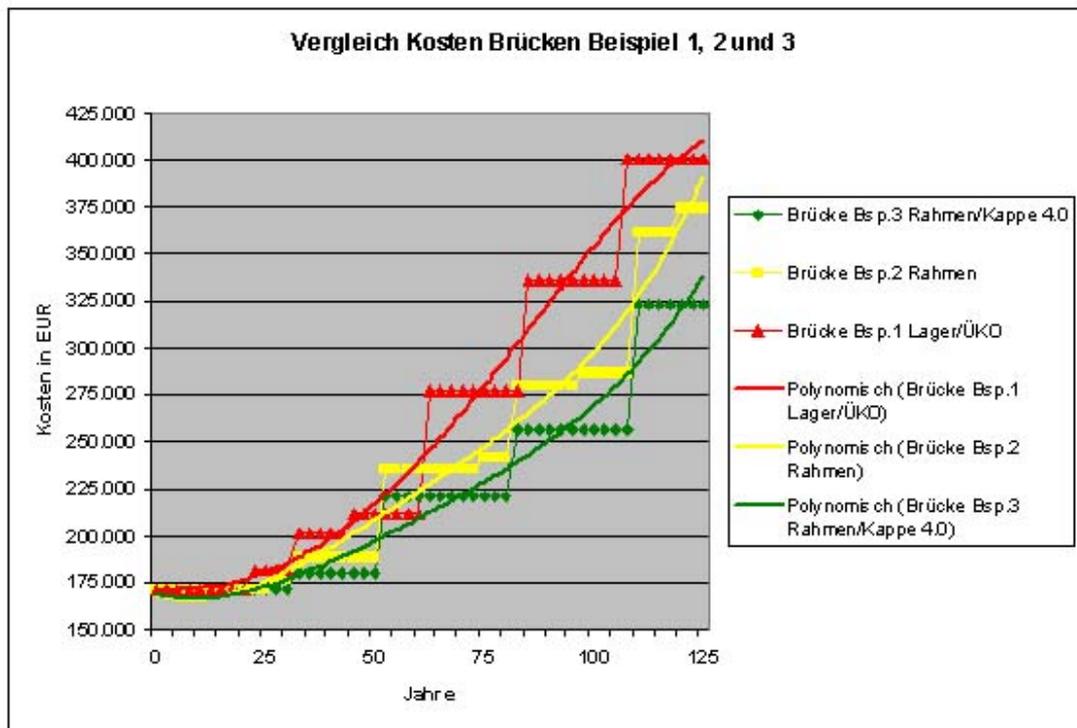


Abbildung 32 Vergleich Herstellung- und Sanierungskosten Beispiele

Bei einer Betrachtung über eine Gesamtlebenszeit von ~ 110 Jahren, ab der sich bei diesen Konstruktionen eine weitere Instandhaltung nicht mehr rechnet, sind für die Beispiele 1,08%, 0,89% bzw. 0,71% der Herstellungskosten zur Instandsetzung anzusetzen. Der erste Wert deckt sich, unter Berücksichtigung von Instandsetzung von Belag und Geländer in etwa mit der z.B. vom Bayrischen Landtag veröffentlichten Zahl von rund 1,2%.

Nicht berücksichtigt sind dabei natürlich die möglichen Erfordernisse aus der Verkehrsentwicklung (höhere Lasten, höhere Lastfrequenz, Verbreiterungen des Querschnitts) oder dem Schutzbedürfnis (Sicherheitssystem, Überwachung). Gleichzeitig können auch positive Entwicklungen insbesondere bei den Verschleißbauteilen (innovative Materialien bei der Abdichtung, Lager, ÜKO) oder der Betonzuschlagstoffe nicht im Detail betrachtet werden.

### 4.3.3 Empfehlung für die Standardkonstruktion / Regelbauweisen

Die Analyse der Life-Cycle-Costs zeigt eindeutig den Vorteil robuster Bauwerke, wobei jedes Verschleißbauteil hier ungünstig zu Buche schlägt.

Für das „Verschleißbauteil“ Kappe trifft diese Aussage nur bedingt zu, da hier die Schädigung der Kappe eindeutig der Schädigung des Gesamtbauwerks vorzuziehen ist.

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

Ein Vorteil in den Life-Cycle-Costs ergibt sich daher vor allem bei einer robusten Ausbildung des Kappenbereiches in Zusammenhang mit dem Bauwerk. Eine einfache Instandhaltung bzw. Sanierungsfähigkeit ergibt nachvollziehbar günstigere Gesamtkosten.

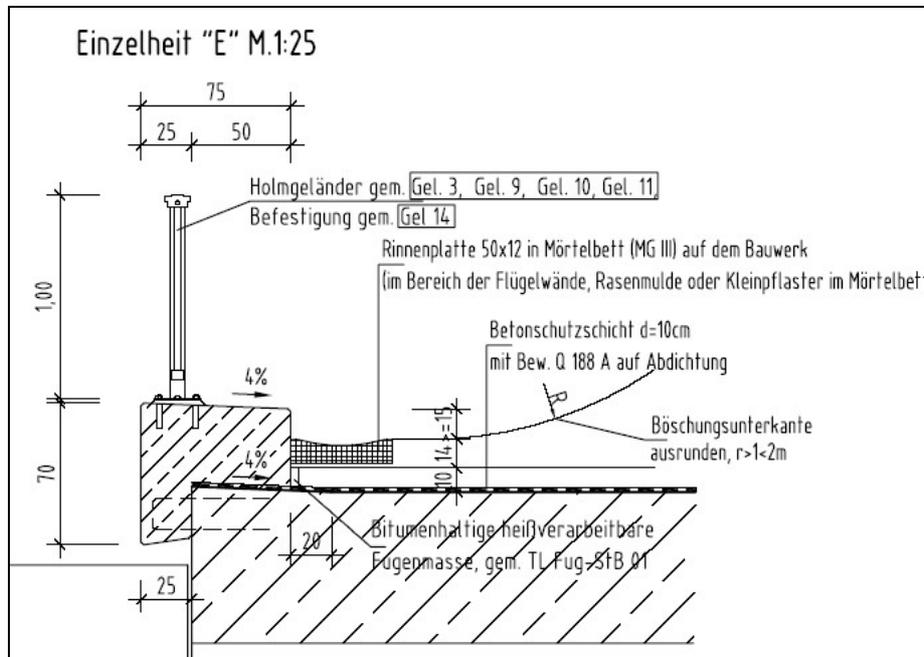


Abbildung 33 Standard Kappe

Dasselbe gilt für die Ausbildung der Abdichtung, insofern nicht durch die Betonqualität des Bauwerks gleichwertige Randbedingungen geschaffen werden können. Hier liegt nach heutigem Kenntnisstand die Grenze für diese Bauwerkstypen in der Höhe einer Überschüttung von ca. 1,0 m, ab der die Wirkung von betonangreifenden Stoffen nicht durch eine Abdichtung abgemindert werden muss.

Einschränkend muss aber auf das Herstellungsverfahren eingegangen werden.

Insbesondere Brücken in Bereichen mit „Verkehrswachstum“ unterliegen einem kürzeren Umbaurhythmus, so dass hier nicht unbedingt der Endzustand in 110 Jahren betrachtet werden sollte. Der tatsächliche geldwerte Vorteil in den ersten 60 Jahren ist aber nicht so hoch, dass generell andere Bauweisen ausgeschlossen werden können, insofern sich an der Hauptkonstruktion Betonüberbau und Betonwiderlager nichts ändert.

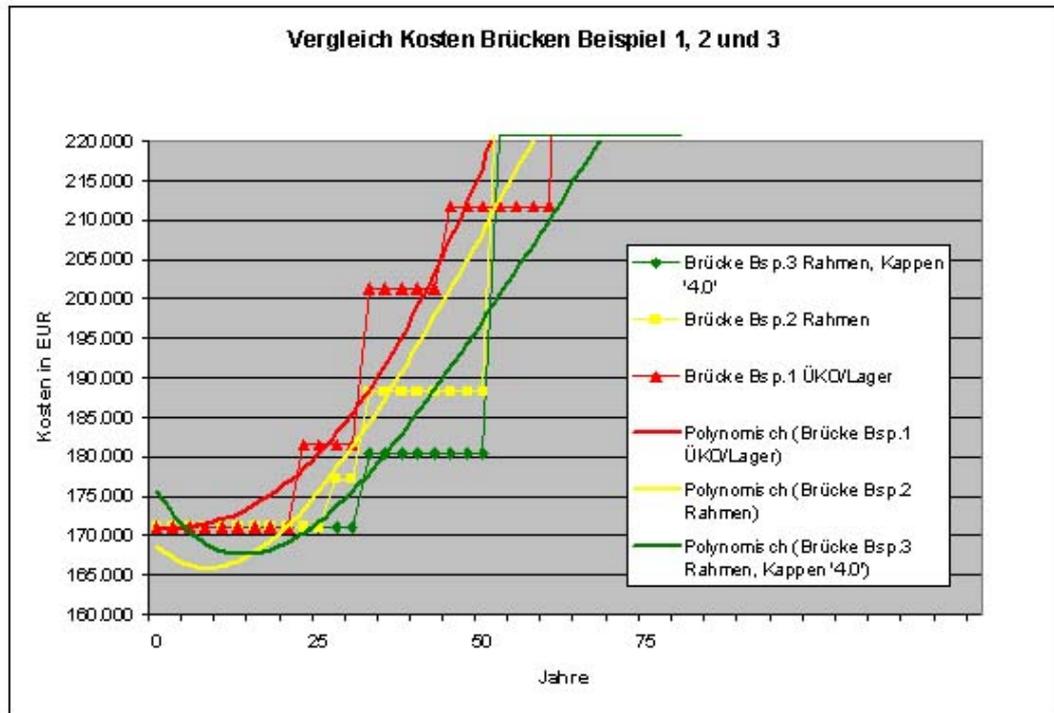


Abbildung 34 Auszug Vergleich Herstellung- und Sanierungskosten Beispiele

Die Kosten zur Herstellung (Bauverfahren, Baugrubenverbau, Verkehrseinschränkungen etc.) des „robusten Bauwerks“ im Vergleich zur Herstellung des „weniger robusten Bauwerks“ dürften in diesen Beispielen nicht mehr als ~20.000 € ergeben, um sicherzustellen, dass das „robustere Bauwerk“ weiterhin das „wirtschaftlichere Bauwerk“ ist.

Es ergibt sich somit die Randbedingung, dass die im Herstellungsprozess zusätzlichen Kosten für das Standardbauwerk Rahmen eine bestimmte prozentuale Summe der Herstellungskosten des Standardbauwerks nicht überschreiten sollten.

Vorgeschlagen wird als Anhaltswert, dass die im Herstellungsprozess zusätzlich auftretenden Kosten für das „robuste Bauwerk“ nicht mehr als

**[60 Jahre x (1,1-0,7)%/Jahr] => ~25% der Herstellungskosten**

des Standardbauwerks betragen dürfen.

Bei diesem Wert handelt es sich nicht um das Ergebnis einer finanzmathematischen Berechnung; Rentenbarwertfaktoren, Inflationsraten und Wertsteigerungen bleiben außen vor. Eine genauere Ermittlung ist hier nicht zielführend, da auch die Basisdaten nur mit Hilfe von Kennzahlen und Anhaltswerten ermittelt werden konnten und somit gewisse Unschärfen aufweisen.

Es handelt sich hierbei jedoch um eine sinnvolle Festlegung zur Abschätzung, inwieweit sich in der Herstellung etwas teurere, aber robustere Konstruktionen gegenüber Standardbauwerken mit während der Lebenszeit höheren Instandsetzungskosten „rechnen“.

## 4.3.4 Berücksichtigung des Bauverfahrens / DTV Zahlen, Verkehrsführung

Für diese zusätzlich auftretenden Kosten ergeben sich zwei Hauptkomponenten. Die eine ergibt sich aus den rein örtlichen Gegebenheiten der Umgebung und des Baugrundes. Hier tragen die Komponenten Baugrubenverbau, Traggerüst, Baubehinderung durch Bestand und die Tragfähigkeit des Baugrunds maßgeblich zu den Kosten bei.

Die andere Komponente bilden die Kosten für die Verkehrsführung. Diese lässt sich wiederum in zwei Komponenten aufteilen. Dies sind zum einen die erfassbaren Kosten für die Ausbildung von Umleitungen, Ampelverkehr, Hilfsbrücken, Querverschub etc. in Abhängigkeit zum gewählten Bauverfahren. Diese sind über Grobkostenschätzungen am individuellen Bauwerk oder aus den statistischen Herstellungskosten ablesbar.

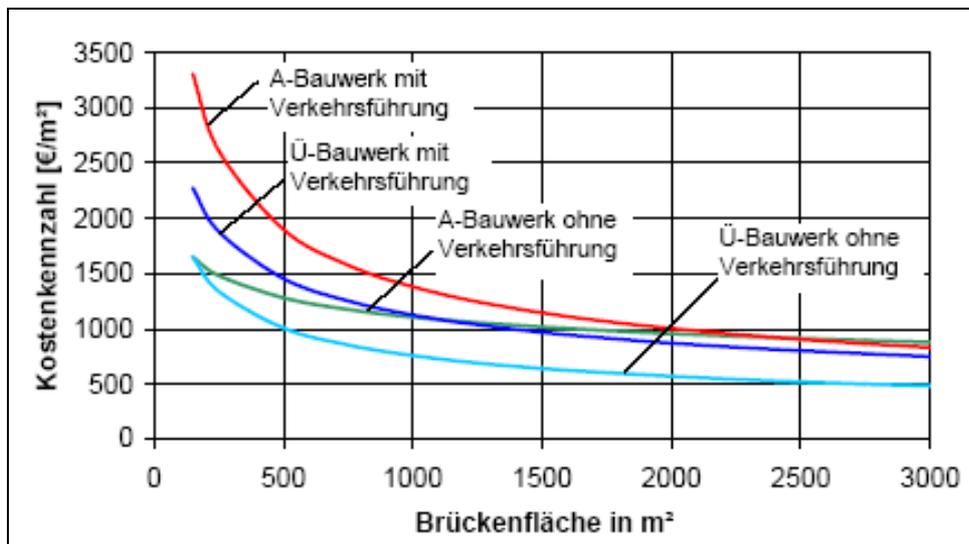


Abbildung 35 Kostenkennzahlen (A-Bauwerk = Autobahn / Ü-Bauwerk = Überführung)

Die andere Komponente bilden die „fiktiven Kosten“ der Erschwernisse im Verkehr. Kürzere Bauzeiten und Bauverfahren, welche die Verkehrsführung günstig beeinflussen, sind die mindernden Faktoren für diesen zweiten großen Kostenkomplex. Mit der EWS 1997 und der ARS Nr. 12/2003 stehen hier zwei Möglichkeiten zur Verfügung, diese sozioökonomischen Einflüsse in den Kosten zu berücksichtigen. Im folgenden wird auf die gemäß dem 1990 eingeführten Allgemeine Rundschreiben ARS Nr. 7/1990 „vertretbaren Mehrkosten“ eingegangen, da hier zusätzlich eine Kostenbetrachtung in Abhängigkeit zu den DTV-Zahlen möglich ist. Nach einer von der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST durchgeführten Untersuchung gelten für die Verkehrsführung „3+1“ und „4+0“ die gleichen Kostenansätze (vgl. hierzu ARS Nr. 3/1995).

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

DTV = Kfz / Tag (während der Bauzeit)	Verkehrsführungen für BAB mit 4 Fahrstreifen [€ / km / Tag]		
	2 + 2	3 + 1	4 + 0
10.000 – 20.000	200	900	900
20.000 – 30.000	300	1.350	1.350
30.000 – 40.000	400	1.800	1.800
40.000 – 50.000	550	2.250	2.250
50.000 – 60.000	650	2.700	2.700
60.000 – 70.000	800	3.150	3.150
> 70.000	900	3.650	3.650

Abbildung 36 „vertretbare Mehrkosten“

Hieraus lässt sich eine kostenmäßige Abhängigkeit von Verkehrsbelastung, Straßenführung und Bauzeit herleiten und z.B. auf die Einheitsbaukosten je Bauwerk umlegen.

Für andere Verkehrsführungen außerhalb der BAB sind sinnvolle Annahmen zu treffen.

- z.B. Bundesstrasse 2 Fahrstreifen 1+1 = BAB 2+2  
oder Landesstrasse 1 Fahrstreifen 1+0 = BAB 4+0)

Es zeigt sich, dass für die Bauwerke mit Verkehrsführungen 3+1 (4+0) auf jeden Fall Zusatzuntersuchungen schon bei geringen Verkehrsbelastungen notwendig werden. Weitere Kostenberechnungen an den Standardbauwerken ergeben ebenfalls eine Überschreitung der „Zusatzkosten“ für eine DTV ab 60.000 Kfz/Tag auch für die Verkehrsführung 2+2. Zur schnellen Übersicht wurden hier Tabellen (Abbildungen 37 und 38) erstellt und die Bereiche mit notwendigen Zusatzuntersuchungen grün markiert. Die Einflusslänge (km) wird dabei gemäß den Vorgaben auf den Mindestwert von 2 km festgelegt.

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

Verkehrsführung <b>2+2</b>	Bauzeitverlängerung infolge Bauverfahren				Vertretbare Mehrkosten durch Verkehrsführung [€]		
	DTV = Kfz/Tag	+1 Woche	+2 Wochen	+3 Wochen	+4 Wochen	+5 Wochen	+6 Wochen
10.000	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	
20.000	3.000	6.000	9.000	12.000	15.000	18.000	
30.000	4.000	8.000	12.000	16.000	20.000	24.000	
40.000	5.000	11.000	16.500	22.000	27.500	33.000	
<b>50.000</b>	<b>6.500</b>	13.000	19.500	26.000	32.500	39.000	
60.000	8.000	16.000	24.000	32.000	40.000	48.000	
70.000	9.000	18.000	27.000	36.000	45.000	54.000	
<b>Erhöhung in % für Brücken mit 100 m<sup>2</sup> bezogen auf den Einheitspreis 1.700 €/m<sup>2</sup></b>							
10.000	1%	2%	4%	5%	6%	7%	
20.000	2%	4%	5%	7%	9%	11%	
30.000	2%	5%	7%	9%	12%	14%	
40.000	3%	6%	10%	13%	16%	19%	
50.000	4%	8%	11%	15%	19%	23%	
60.000	5%	9%	14%	19%	24%	28%	
70.000	5%	11%	16%	21%	26%	32%	
<b>Erhöhung in % für Brücken mit 150 m<sup>2</sup> bezogen auf den Einheitspreis 1.700 €/m<sup>2</sup></b>							
10.000	1%	2%	2%	3%	4%	5%	
20.000	1%	2%	4%	5%	6%	7%	
30.000	2%	3%	5%	6%	8%	9%	
40.000	2%	4%	6%	9%	11%	13%	
50.000	3%	5%	8%	10%	13%	15%	
60.000	3%	6%	9%	13%	16%	19%	
70.000	4%	7%	11%	14%	18%	21%	
<b>Erhöhung in % für Brücken mit 200 m<sup>2</sup> bezogen auf den Einheitspreis 1.700 €/m<sup>2</sup></b>							
10.000	1%	1%	2%	2%	3%	4%	
20.000	1%	2%	3%	4%	4%	5%	
30.000	1%	2%	4%	5%	6%	7%	
40.000	2%	3%	5%	6%	8%	10%	
50.000	2%	4%	6%	8%	10%	11%	
60.000	2%	5%	7%	9%	12%	14%	
70.000	3%	5%	8%	11%	13%	16%	

Abbildung 37 %- Erhöhung der Kosten bezogen auf DTV, Bauzeit und Brückenfläche bei Verkehrsführung 2+2

### Erläuterungen zu den Tabellen (Abbildungen 37 und 38):

Mit Hilfe dieser Tabellen können die Mehrkosten bei Standardkonstruktionen durch ungünstigere Verkehrsführungen ermittelt werden. Im jeweils oberen Tabellenteil sind die Mehrkosten in € ausgewiesen, im unteren Teil für verschiedene Brückenflächen prozentual zu den Baukosten dargestellt.

Bei prozentualen Mehrkosten < 25% (weiße Zellen) bleibt der Standardrahmen – selbst bei Alternativkonstruktionen mit gleichen Baukosten – in der Gesamtbetrachtung die günstigere Konstruktion. Bei Mehrkosten > 25% (grüne Zellen) sind weitere Zusatzbetrachtungen notwendig. Die im Anschluss aufgeführten Zahlenbeispiele sind in den Tabellen gelb hinterlegt.

# STANDARDISIERUNG UF-BAUWERKE

Verkehrsführung <b>3+1/4+0</b>	Bauzeitverlängerung infolge Bauverfahren						Vertretbare Mehrkosten durch Verkehrsführung [€]
	DTV = Kfz/Tag	+1 Woche	+2 Wochen	+3 Wochen	+4 Wochen	+5 Wochen	+6 Wochen
10.000	9.000	18.000	27.000	36.000	45.000	54.000	
20.000	13.500	27.000	40.500	54.000	67.500	81.000	
30.000	18.000	36.000	54.000	72.000	90.000	108.000	
40.000	22.500	45.000	67.500	90.000	112.500	135.000	
50.000	27.000	54.000	81.000	108.000	135.000	162.000	
60.000	31.500	63.000	94.500	126.000	157.500	189.000	
70.000	36.500	73.000	109.500	146.000	182.500	219.000	
Erhöhung in % für Brücken mit <b>100 m<sup>2</sup></b> bezogen auf den Einheitspreis 1.700 €/m <sup>2</sup>							
10.000	5%	11%	16%	21%	26%	32%	
20.000	8%	16%	24%	32%	40%	48%	
30.000	11%	21%	32%	42%	53%	64%	
40.000	13%	26%	40%	53%	66%	79%	
50.000	16%	32%	48%	64%	79%	95%	
60.000	19%	37%	56%	74%	93%	111%	
70.000	21%	43%	64%	86%	107%	129%	
Erhöhung in % für Brücken mit <b>150 m<sup>2</sup></b> bezogen auf den Einheitspreis 1.700 €/m <sup>2</sup>							
10.000	4%	7%	11%	14%	18%	21%	
20.000	5%	11%	16%	21%	26%	32%	
30.000	7%	14%	21%	28%	35%	42%	
40.000	9%	18%	26%	35%	44%	53%	
50.000	11%	21%	32%	42%	53%	64%	
60.000	12%	25%	37%	49%	62%	74%	
70.000	14%	29%	43%	57%	72%	86%	
Erhöhung in % für Brücken mit <b>200 m<sup>2</sup></b> bezogen auf den Einheitspreis 1.700 €/m <sup>2</sup>							
10.000	3%	5%	8%	11%	13%	16%	
20.000	4%	8%	12%	16%	20%	24%	
30.000	5%	11%	16%	21%	26%	32%	
40.000	7%	13%	20%	26%	33%	40%	
50.000	8%	16%	24%	32%	40%	48%	
60.000	9%	19%	28%	37%	46%	56%	
70.000	11%	21%	32%	43%	54%	64%	
Erhöhung in % für Brücken mit <b>250 m<sup>2</sup></b> bezogen auf den Einheitspreis 1.700 €/m <sup>2</sup>							
10.000	2%	4%	6%	8%	11%	13%	
20.000	3%	6%	10%	13%	16%	19%	
30.000	4%	8%	13%	17%	21%	25%	
40.000	5%	11%	16%	21%	26%	32%	
50.000	6%	13%	19%	25%	32%	38%	
60.000	7%	15%	22%	30%	37%	44%	
70.000	9%	17%	26%	34%	43%	52%	
Erhöhung in % für Brücken mit <b>300 m<sup>2</sup></b> bezogen auf den Einheitspreis 1.700 €/m <sup>2</sup>							
10.000	2%	4%	5%	7%	9%	11%	
20.000	3%	5%	8%	11%	13%	16%	
30.000	4%	7%	11%	14%	18%	21%	
40.000	4%	9%	13%	18%	22%	26%	
50.000	5%	11%	16%	21%	26%	32%	
60.000	6%	12%	19%	25%	31%	37%	
70.000	7%	14%	21%	29%	36%	43%	

Abbildung 38 %- Erhöhung d. Kosten bezogen auf DTV, Bauzeit u. Brückenfläche, 3+1/4+0

Im Sinne einer Standardisierung mit Festlegung des Bauwerks - in diesem Falle der Festlegung z.B. auf einen Rahmen - kann auf diese Randbedingungen nur in einer Entscheidungsmatrix mit einer Definition von erlaubten Kennwerten eingegangen werden (siehe Kapitel 6.2). Dazu ist die Bauzeit und die mögliche Verkehrsführung vorher abzuschätzen.

## 1. Beispiel: 50.000 DTV

### Standardkonstruktion

Standardrahmen ~ 200 m<sup>2</sup> => Baukosten ~ 340.000 €

Bauzeit 30 Wochen: Verkehrsführung 2+2 (24 Wo) und 3+1 (6 Wo)

### alternativ: Variante 1 (Beispiel in Tabellen **gelb** markiert)

Fertigteillösung mit Lagern/ÜKO. Baukosten ~ 370.000 €

Bauzeit 26 Wochen: Verkehrsführung 2+2 (25 Wo) und 3+1 (1 Wo)

=> (6-1=) 5 Wochen Bauzeit 3+1 135.000 €

=> (24-25=) -1 Woche Bauzeit 2+2 -6.500 €

Ersparnis gegenüber Standard 128.500 € - (370.000 € - 340.000 €) = 98.500 €

98.500 € / 340.000 € = 29% > 25%

=> die Ersparnis ist höher als der Qualitätsvorsprung des Standardrahmens

=> Variante 1

### alternativ: Variante 2

Rahmen mit Querverschub/Hilfsbrücke Baukosten ~ 430.000 €

Bauzeit 28 Wochen: keine Verkehrseinschränkung (16 Wo),

Verkehrsführung 3+1 (4 Wo), Verkehrsführung 2+2 (8 Wo)

=> (24-8=) 16 Wochen Bauzeit 2+2 104.000 €

=> (6-4=) 2 Wochen Bauzeit 3+1 54.000 €

Ersparnis gegenüber Standard 158.000 € - (430.000 € - 340.000 €) = 68.000 €

68.000 € / 340.000 € = 20% < 25%

=> die Ersparnis ist – insbesondere im Hinblick auf den noch zusätzlich benötigten, aber „preislich“ nicht berücksichtigten Platzbedarf für die Verschiebungskonstruktion – geringer als der Qualitätsvorsprung des Standardrahmens

=> Standard

## 2. Beispiel: 70.000 - 100.000 DTV

### alternativ: Variante 2

Rahmen mit Querverschub/Hilfsbrücke Baukosten ~ 430.000 €

Bauzeit 28 Wochen: keine Verkehrseinschränkung (16 Wo),

Verkehrsführung 3+1 (4 Wo), Verkehrsführung 2+2 (8 Wo)

=> (24-8=) 16 Wochen Bauzeit 2+2 144.000 €

=> (6-4=) 2 Wochen Bauzeit 3+1 73.000 €

Ersparnis gegenüber Standard  $217.000 \text{ €} - (430.000 \text{ €} - 340.000 \text{ €}) = 127.000 \text{ €}$

$127.000 \text{ €} / 340.000 \text{ €} = 37\% < 25\%$

=> die Ersparnis ist höher als der Qualitätsvorsprung des Standardrahmens

=> Variante 2 (falls ausreichend Platz für Verschiebung vorhanden)

=> Eine Anwendung von Sonderkonstruktionen in der Herstellung, insbesondere des Querverschubs oder des Einpressverfahren, ist erst ab hohen DTV-Zahlen von 100.000 Kfz/Tag in Erwägung zu ziehen. (s.a. Anmerkungen 3.6)

Eine Zuordnung der DTV-Zahlen in Hessen in Straßenkategorien erweist sich als schwierig. Die Werte schwanken sehr stark, z.B. die DTV-Werte für Bundesstraßen zwischen 5.620 - 21.429, die Werte für Landesstraßen von 1.611 - 9.611 und die Werte von Kreisstraßen von 874 - 11.000. Geht man in die Strecke und untersucht einzelne Netzknoten, dann schwanken diese Werte (auch nach oben) noch stärker auch in Abhängigkeit der Anzahl der Fahrspuren. Für Vorbetrachtungen kann man für die Autobahnen des Rhein-Main Gebiets von einer DTV von 100.000 Kfz/Tag ausgehen (sonstige BAB 62.516 Kfz/Tag).

Dieser Wert kann auf Teilstrecken (z.B. A5 AK Frankfurter Kreuz) aber auch schon Größenordnungen von über 150.000 Kfz/Tag annehmen. Es gibt also keinen "typischen Wert" einer Bundes-, Landes- oder Kreisstraße. Der Ansatz ist daher, die DTV-Zahlen zu ermitteln, ab der sich ein spezielles Bauverfahren "rechnet". Entscheidungsparameter ist daher zunächst die DTV, aber nicht die Straßenkategorie B, L oder K.

## 5. Muster-Bauwerkspläne der Standardkonstruktionen / Regelbauweise

### 5.1. Vorbemerkungen, Randbedingungen

Die Standardkonstruktion für die Musterbauwerkspläne ergibt sich im wesentlichen aus dem „Trend“ der robusten Konstruktionen des Bauwerkbestandes und den Erkenntnissen der beispielhaften Life-Cycle-Costs Berechnungen.

Die Rahmenkonstruktion (geschlossener oder offener Rahmen) hat sich gemäß diesen Daten als robusteste Konstruktion erwiesen.

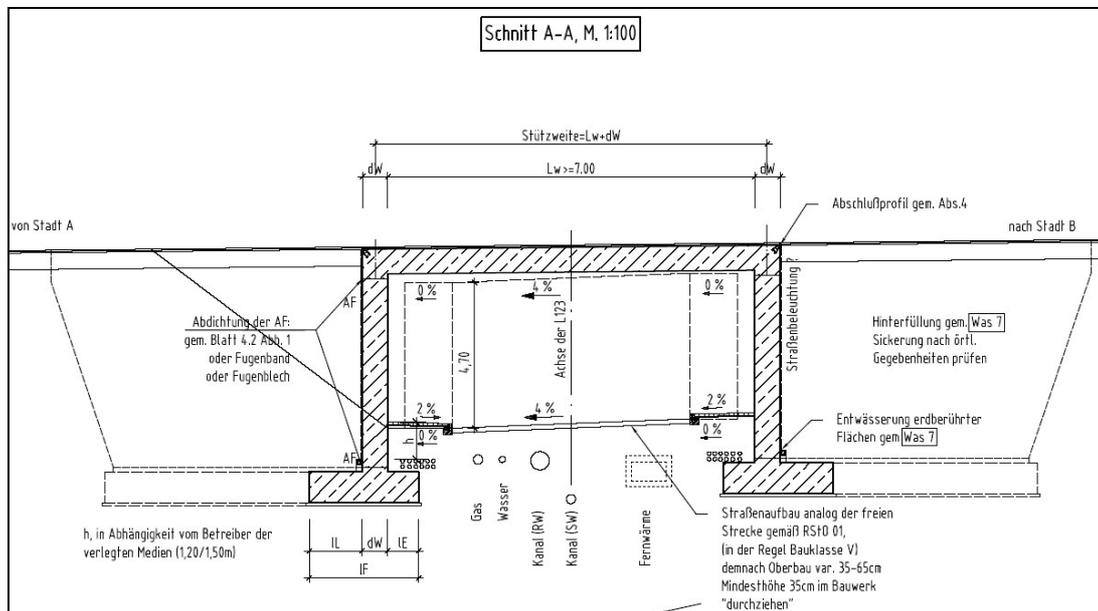


Abbildung 39 „robuste“ Rahmenkonstruktion

Für verschiedene Verkehrswegesituationen (Lage, Breite und Gradiente der überführten Strasse in Bezug zur unterführten Strasse) werden daher einzelne Standardkonstruktionen vorgegeben. Ergänzende Musterbauwerkspläne hierzu wurden für bestimmte Konstellationen (Einschränkungen in den zugehörigen Kreuzungswinkeln) erstellt.

Für die zeichnerische Darstellung wird dabei von einer Flachgründung ausgegangen, da diese bei guten Baugrundverhältnissen die wirtschaftlichste Lösung darstellt. An andere Randbedingungen insbesondere aus den Vor-Ort-Bedingungen (Boden, Gründungssituation, Grundwasserstand, Bestandsmedien, Entwässerung) kann die jeweilige Rahmenkonstruktion individuell angepasst werden (z.B. Flachgründung, Tiefgründung, offener Rahmen, geschlossener Rahmen, trägerrostartiger Rahmen).

Bei mäßigen bis schlechten Baugrundverhältnissen werden vorzugsweise Großbohrpfähle vorgesehen. Die Pfähle werden meist in einer Reihe mittig unter den Widerlagerwänden angeordnet, damit eine ausreichende Verankerung bzw. Übergreifung der Pfahlbewehrung sichergestellt ist. Die Anordnung von Pfahlkopfplatten ist bei einreihigen Pfahlgründungen nicht erforderlich.

Entsprechende Erläuterungsberichte zum Bauwerksentwurf sind gemäß RAB-ING zu erstellen. Beispielfhaft sei hier der Bericht zum Musterbeispiel 4 Rahmenbrücke zu erwähnt.

Für das Herstellungsverfahren sind zusätzliche Überlegungen und Einschränkungen notwendig. Hierzu wird eine Entscheidungsmatrix vorgegeben, so dass die Auswahl der zugehörigen Standardkonstruktion durch ein Flussdiagramm ermittelt wird.

## 5.2. Statische Belastungsansätze

Grundsätzliche Überlegungen hierzu sind dem Heft 50 –2004 der Schriftenreihe der Hessischen Straßen und Verkehrsverwaltung „Entwurfshilfen für integrale Straßenbrücken“ zu entnehmen [1]. Diese sind für die hier verwendeten Standardkonstruktionen eines Rahmens anzusetzen. Für die in den Regelzeichnungen dargestellten Konstruktionen wurde hierbei von einer Flachgründung ausgegangen. Bei einer notwendigen Ausbildung z.B. mit einer Tiefgründung wären die Zeichnungen den statischen Erfordernissen anzupassen.

Folgende Randparameter sind in der Statischen Berechnung zur Anwendung der Standardkonstruktionen einzuhalten (Auszüge aus Heft 50):

Die Berechnung und Bemessung der Bauwerke ist auf der Grundlage der seit 01.05.2003 gültigen DIN-Fachberichte 100 bis 102 durchzuführen.

Für die Einbindung ergänzender Regelungen sowie besonderer technischer Vertragsbedingungen gelten die jeweils aktuellen Festlegungen des BMVBW.

Für den Nachweis der Sicherheit gegenüber Ermüdung wird eine Nutzungsdauer von 100 Jahren zugrunde gelegt. Weitere Angaben zur Beschreibung des Verkehrs sind von der vorgesehenen Nutzung abhängig und müssen daher für jedes Projekt im Einzelfall durch die zuständige Behörde gemäß ARS 11/2003 festgelegt werden.

Für allgemeine Entwurfshilfen können keine konkreten Baugrundkennwerte zugrunde gelegt werden. Die im Folgenden angegebenen Werte stellen die günstigsten Bodenkennwerte dar. Die Baugrundannahmen gemäß Tabelle 3 sind daher im Einzelfall zu überprüfen.

Tabelle 3 Baugrundannahmen nach DIN 1054 (2003-01)

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$\delta_a$ [°]	$\tan \delta_{s,k}$ [-]	$E_a, E_0, E_p$ [-]	$\sigma_{zul}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Fundamente	20	35	–	0,58	$k_{s,max}$ $k_{s,min}$	1)	0
Hinterfüllung nach Was 7	19	35	0	0 -0,43	$E_{mob}(s_H)$ $k_H(s_H)$	–	0

<sup>1)</sup> Festlegung im Einzelfall durch den Bodengutachter erforderlich

Abbildung 40 Tabelle 3 Baugrundannahmen (Auszug aus Heft 50)

Das Statische System ist als Gesamtsystem abzubilden. Die Nachgiebigkeit der Gründung ist ausgehend von den wahrscheinlichen Baugrundbewegungen realitätsnah im statischen System abzubilden. Wegen der Streuung der Bodenkenngrößen ist i. d. R. die Berechnung mit oberen und unteren charakteristischen Werten einer linear-elastischen Bettung erforderlich.

Die horizontale Bettung der Widerlagerwände durch die Hinterfüllung kann i. d. R. für mittlere Bodenkennwerte abgebildet werden. Bei symmetrischen Verhältnissen kann vereinfachend eine Berechnung ohne horizontale Bettung durchgeführt werden.

Im Falle einer Tiefgründung ist die Bettung der Pfähle im Baugrund zu berücksichtigen. Für den Steifemodul E ist dabei jeweils der obere und untere charakteristische Grenzwert zu untersuchen. Bei Pfählen in vorgeschütteten Dämmen ist der Einfluss der Dammsetzung auf die Mantelreibung zu beachten.

Bei der Bemessung der Gründung sind die Verkehrslasten aus FB 101 als veränderliche statische Einwirkung zu betrachten. Der in den Verkehrsregellasten berücksichtigte Schwingbeiwert wird deshalb auch für die Bemessung der Gründung angesetzt. Eine Reduzierung der Verkehrsregellasten für die Bemessung der Gründung ist nicht zulässig.

Die Einwirkungen aus Bauzuständen bei der Herstellung sind entsprechend dem gewählten Bauverfahren und dem zeitlichen Ablauf der Herstellung zu berücksichtigen. Systemwechsel sind bei der Ermittlung der Schnittgrößen zum jeweils betrachteten Zeitpunkt zu berücksichtigen.

Ein Ersatz von Baugrund oder Hinterfüllbereichen durch steifere Baumaterialien, wie z. B. Magerbeton o. ä. wirkt sich ungünstig auf die Nachgiebigkeit der Unterbauten aus. Ohne genauen statischen Nachweis ist daher eine solche Änderung nicht zulässig. Die in der statischen Berechnung vorgegebene zeitliche Abfolge einzelner Bauschritte ist einzuhalten. Bei Abweichungen, insbesondere bei Verkürzungen einzelner Bauphasen, ist der Einfluss auf die zeitabhängigen Verformungen und die daraus resultierenden Zwangsschnittkräfte nachzuweisen.

Zur Abschätzung der benötigten Bauteilabmessungen wurden im Zuge des Berichtes Entwurfsstatiken aufgestellt. Dabei wurden verschiedene Parameter variiert, um möglichst viele Rahmentypen zu erfassen.

Die Statiken wurden unter dem Gesichtspunkt der Dauerhaftigkeit, Wirtschaftlichkeit und Baubarkeit (z.B. Bewehrungsgrad, Eckausbildung etc.) analysiert und entsprechende Vorschläge für die einzelnen Bauteilabmessungen daraus entwickelt. Diese wurden in einer Tabelle zusammengefasst und liegen als Plan 7 den Muster-Bauwerksplänen bei. Zusätzlich werden in Plan 8 Musterbeispiele zur Ermittlung der Kennwerte dargestellt.

Die Variationen erfolgen einerseits über die vorgesehenen Rahmentypen (geschlossen, offen – lichte Weite 7m, lichte Weite 10m - direkt befahren, 1,5m Überschüttung, 3,0m Überschüttung), andererseits über die Vor-Ort-Randbedingungen wie „Höhe“ und Bodenkennwerte. Dabei wurde von baulich vertretbaren „Grenzwerten“ ausgegangen, um zwischen den einzelnen Ergebnissen interpolieren zu können. So wird versucht, auch für alle Zwischenwerte eine Angabe möglich zu machen. Baulich nicht sinnvolle Abmessungen wurden aber angepasst, die rechnerischen möglichen Abmessungen werden zur Interpolation in Klammerwerten weiter angegeben.

Die Vor-Ort-Kennwerte wurden dabei folgendermaßen variiert:

- Höhe Bauwerk  
Die Höhe wird definiert als Abstand OK Fundament zu UK Überbau. Das Minimum ergibt sich aus 4,5m lichte Höhe + Straßenaufbau/Frostfreie Gründung von ~ 1,0m = 5,5m. Das Maximum wird mit 7,0 m angenommen. Hierdurch werden Randbedingungen erfasst für max. 1,5m zusätzlicher lichter Höhe, Tieferlegung der Gründung um max. 1,5m (ohne Bodenaustausch) sowie für einen Bodenaustausch max. 1,5m bei schlechtem Baugrund. Zwischenwerte (z.B. für 0,5m Bodenaustausch) können dabei interpoliert werden. Für das innerörtliche Bauwerk wird von größeren Werten ausgegangen, da hier zusätzlicher Platzbedarf für Medien benötigt wird. Das Minimum ergibt sich hier aus 5,0m lichte Höhe + Straßenaufbau 1,0m + Medien/Leitungen 1,5m = 7,5m, das Maximum analog +1,5m zu 9,0m.
- Bodenkennwert Reibungswinkel Boden phi (und Kohäsion  $c_u$ )  
Der Bodenkennwert Reibungswinkel wird als einheitlicher minimaler Wert mit  $\phi = 30^\circ$  angenommen. Eine Kohäsion wird dabei nicht angesetzt ( $c_u = 0 \text{ kN/m}^2$ ). Maßgebend für den Nachweis bei den Stützwänden ist dabei der Grundbruch des anstehenden Bodens. Der Wert einer möglichen Hinterfüllung mit  $\phi = 35^\circ$  liegt für die Konstruktionsangaben somit auf der sicheren Seite. Als maximaler Wert wird ein Reibungswinkel mit  $\phi = 25^\circ$  definiert. Da dieser Kennwert des Bodens in den meisten Fällen mit einer Kohäsion korrespondiert, wird hier zusätzlich ein Wert von  $c_u = 5 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Dieser Mindestwert ist bei den Stützwänden für die angegebenen Abmessungen zwingend notwendig, bei den Rahmen kann er auf  $c_u = 0 \text{ kN/m}^2$  reduziert werden. Bei den Stützwänden ergeben sich bei schlechten Bodenkenwerten teilweise so große Abmessungen der Gründungkörper, dass diese sich geometrisch überschneiden. Hier wird empfohlen, einen Trogquerschnitt auszubilden.

Bei unwirtschaftlichen Abmessungen werden keine Angaben gemacht. Hier sind Sonderkonstruktionen notwendig, die sich nicht innerhalb der Standardkonstruktion abbilden lassen (z.B. Verankerung, Bodenaustausch, Anbindung an Rahmen etc.). Für die Stützwände wird vorausgesetzt, dass bei den 5,5m hohen Bauwerken ein Erdkeil in Höhe des Sporns, bei 7,0m ein Erdkeil zuzüglich 1m zum Nachweis der Standsicherheit vorhanden ist.

- Bodenkennwert Bodenpressung  
Hier werden nochmals die Abmessungen der Gründungselemente in Abhängigkeit zur zulässigen Bodenpressung, die sich nach Angaben eines Bodengutachters aus der möglichen bzw. wahrscheinlichen Setzung des Bauwerks ergeben (ca. 0,5 bis max. 1 cm), variiert. Dabei kann zusätzlich eine Wahl über die Ausbildung des vorderen Sporns getroffen werden. Da dieser evtl. durch Bestandsbauwerke, Medien etc. eingeschränkt werden muss, sind hier mehrere Sporngrößen (von 120 cm bis 30 cm) angegeben. Es empfiehlt sich mindestens einen Sporn von ca. 50 cm auszubilden, da dieser für den Standardrahmen als Gründungselement für Traggerüste/Schalung genutzt werden kann.

## 5.3. Konstruktionsparameter

### 5.3.1 Straßen und Bauwerksachsen

- I. Die Ausbildung der Bauwerke erfolgt geradlinig, d.h. keine Krümmung der Bauwerksachsen bzw. keine Anpassung an Straßenachse der oben liegenden bzw. untenliegenden Straßenführung. Gegebenenfalls werden innerhalb bestimmter Parameter die Bauwerksabmessungen vergrößert.
- II. Die Bauwerke werden nach Möglichkeit rechtwinklig zum oben liegenden Verkehrsweg positioniert, da für schiefwinklige Bauwerke ein erhöhter Aufwand (Planung, Prüfung, Abmessungen, Fugenkonstruktionen etc.) entsteht. Es wird eine Begrenzung des Winkels vorgegeben, da die Wirtschaftlichkeit nur bis zu einem bestimmten Kreuzungswinkel gegeben ist.

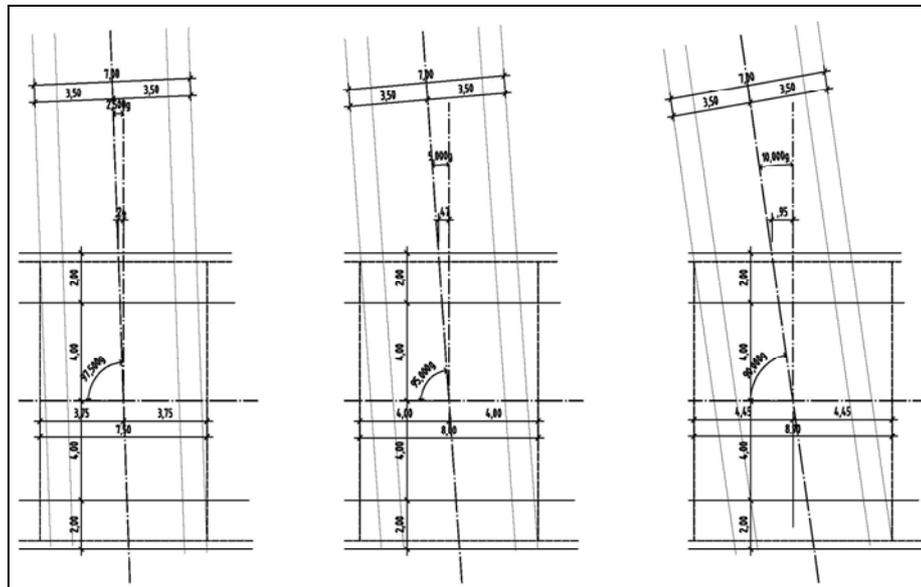


Abbildung 41 Zweistreifiger Wirtschaftsweg – Rahmenlänge ~11,0m

- a) Kreuzungswinkel 97,5gon – Lichte Weite 7,0m
- b) Kreuzungswinkel 95,0gon – Lichte Weite Rahmen 7,50m
- c) Kreuzungswinkel 90,0gon – Lichte Weite Rahmen 8,00m

Im Falle eines überschütteten Rahmens ist eine Reduzierung der Überschüttungshöhe durch die Straßenplanung des Wirtschaftsweges bzw. des zu unterquerenden Verkehrsweges anzustreben. Dadurch wird die Rahmenlänge reduziert und die Dammneigung kann auf 1:1,5 angepasst werden.

## 5.3.2 Abmessungen, Stütz- und Flügelwände

- I. Die Rahmensohle wird möglichst horizontal (Neigung 0% - max. 2,5%) hergestellt und zwischen den einzelnen Blöcken abgetrept. (Minimierung Schalungs- und Bewehrungsaufwand)
- II. Bei geschlossenen Rahmen kann die Gesamtdicke des Fahrbahnoberbaus in der Unterführung auf 35cm reduziert werden, da Frostsicherheit durch Betonrahmensohle gegeben ist
- III. Die Ausführung der Flügel erfolgt mit Pressfuge als Winkelstützwand oder als Trog in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten, da diese robuste Standardisierung komplizierten Eckanschlüssen vorzuziehen ist. Das Bauwerk wird luftseitig, wenn möglich, eingeschüttet, um Betonmassen zu sparen.
- IV. Es erfolgt kein rechtwinkliger Anschluss der Flügel an das Rahmenbauwerk, wenn dadurch die Flügellänge reduziert werden kann. Damit einhergehend ist die Anpassung der Böschung im Fußbereich des Flügels um unnötige Flügellänge zu sparen.
- V. Abmessungen und Bauteilstärken werden als Variable angegeben und können durch die Angaben in Plan 7 der Musterbauwerkspläne bei Kenntnis der Entwurfsparameter und der Baugrundeigenschaften mit konkreten Werten unterlegt werden.

## 5.3.3 Bauwerksabdichtung, Ausstattung, Auswahl Baustoffe

Die Ausbildung der Abdichtung erfolgt gemäß den Vorgaben und Richtzeichnungen der ZTV-ING bzw. den Entwurfshilfen der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung. Abweichend hierzu wird bei einer Überschüttung von mehr als 1,0 m vorgeschlagen, auf eine Abdichtung zu verzichten und in Übereinstimmung mit der ZTV-Tunnel eine Ausführung von Teilen in WU-Beton zu favorisieren. Das Ziel ist dabei die Reduktion der schadensanfälligen Abdichtung, die als Verschleißbauteil zudem hohe Instandhaltungskosten verursacht.

Die Baustoffe werden gemäß ZTV-ING und den DIN-Fachberichten in Abhängigkeit der äußeren Belastungen gewählt. Die Ausnahme bildet wiederum der oben genannte überschüttete Rahmen unter Beachtung der Randbedingung Aggressivität des Wassers.

Baustoffangaben				
Bauteil:	Beton	Expositionsklasse	Baustahl	Betonstahl
Kappen	C 25/30 1)	XD3, XF4	-	B St 500 S
Decke	C 35/45 "WUB-K0" $w_{\leq 0,2}$	XD1, XF2, XC4, XA1/2	-	B St 500 S
Decke	C 35/45 mit Abdichtung*	XD1, XF2, XC4	-	B St 500 S
Wände	C30/37*	XD1, XF2, XC4, XA1/2	-	B St 500 S
Wände	C35/45*	XD1, XF2, XC4, XA3	-	B St 500 S
Sohle/Fundamente	C30/37*	XD2, XF2, XC2, XA1/2	-	B St 500 S
Sohle/Fundamente	C35/45*	XD2, XF2, XC2, XA3	-	B St 500 S
Schutzschicht	C 12/15	X0	-	B St 500 M
Sauberkeitsschicht	C 12/15	X0	-	-
1) Mindestluftporengehalt nach ZTV-ING: Tab. 3.1.1, max. W/Z - Wert 0,50 n. ZTV-ING, Abschnitt 4 (5)				
* Rissweitenbeschränkung gem. DIN FB 101, Tabelle 4.1.8 Anforderungsklasse D, $w_{\leq 0,2}$ mm				

Abbildung 42 Baustoffangaben

### 5.3.4 Grundsätzliche Überlegungen zu den Muster-Bauwerksplänen

Für die grundsätzliche Unterscheidung der Bauwerke in „Offene Rahmen“ und „Geschlossene Rahmen“ sind folgende Entscheidungskriterien zu beachten:

- Wasserverhältnisse, Grundwasserstand
- Geologie, Eigenschaften des Bodens
- Gründungsverhältnisse, aufnehmbare Lasten bzw. Lastverteilung in der Gründungssohle
- Überschüttungshöhe
- Straßenentwässerung
- Medien

Für beide Bauweisen ist es auch möglich, für den jeweiligen Überbau Fertigteil-Konstruktionen zu verwenden, wobei grundsätzlich der Ortbetonkonstruktion der Vorzug gegeben werden sollte, da die Ausbildung der Rahmenecke bei Fertigteil-Lösungen der Schwachpunkt der Gesamtkonstruktion ist (Bewehrungsführung, Bewehrungskonzentration, Arbeitsfugen, Betonierbarkeit etc.). Der sinnvolle Einsatzbereich von Fertigteilen lässt sich durch die Entscheidungsmatrix bzw. gemäß den Anmerkungen zu den Life-Cycle-Costs feststellen.

Innerhalb der Muster-Bauwerkspläne wird für die innerörtliche Lage nur der direkt befahrene offene Rahmen dargestellt. Die Ausbildung als geschlossener Rahmen erscheint aufgrund der innerörtlich im Gründungsbereich zu verlegenden Medien nicht sinnvoll, eine Überschüttung aufgrund der meist beengten Platz- und Verkehrsverhältnisse unwahrscheinlich.

## 5.4. Muster-Bauwerkspläne

5.4.1.	Geschlossener Rahmen	RQ 10,5 WW	direkt befahren	Plan 1.1
5.4.2.	Geschlossener Rahmen	RQ 10,5 WW	überschüttet	Plan 1.2
5.4.3.	Offener Rahmen	RQ 10,5 WW	direkt befahren	Plan 2.1
5.4.4.	Offener Rahmen	RQ 10,5 WW	überschüttet	Plan 2.2
5.4.5.	Offener Rahmen	RQ 10,5 innerörtlich	direkt befahren	Plan 3.1
5.4.6.	Geschlossener Rahmen	RQ 35,5	direkt befahren	Plan 4.1
5.4.7.	Geschlossener Rahmen	RQ 35,5	überschüttet	Plan 4.2
5.4.8.	Offener Rahmen	RQ 35,5	direkt befahren	Plan 5.1
5.4.9.	Offener Rahmen	RQ 35,5	überschüttet	Plan 5.2
5.4.10.	Details zu den Plänen 1.1 bis 5.2			Plan 6
5.4.11.	Tabellarische Zusammenfassung der Bauteilabmessungen			Plan 7
5.4.12.	Beispiele zur Ermittlung der Bauteilabmessungen			Plan 8

Die Muster-Bauwerkspläne sind in der Anlage 5 abgelegt.

## 5.5. Muster-Baukosten

Die Muster-Baukosten beruhen auf angenommenen Kosten unter Berücksichtigung des Preisindizes April 2008. Da die statisch erforderlichen Querschnitte sich erst unter Beachtung der örtlichen Verhältnisse und hier insbesondere der Gründungssituation ergeben, sind die eingetragenen Werte nur Anhaltswerte. Besondere Bauverfahren oder Kosten, die sich aus einer Verkehrseinschränkung ergeben, sind nicht berücksichtigt.

Da die Daten nur zur Abschätzung dienen können, wurde vor allem der Unterschied zwischen den einzelnen Rahmenkonstruktionen (geschlossen, offen) und der Einfluss von Überschüttung und/oder einer Ausbildung mit Lagern aufgezeigt. Es liegen folgende Kostenschätzungen vor:

Fall 1a) Geschlossener Rahmen	RQ 10,5 WW	direkt befahren	1.854,81 €/m <sup>2</sup>
Fall 2a) Geschlossener Rahmen	RQ 10,5 WW	überschüttet	1.747,55 €/m <sup>2</sup>
Fall 1b) Offener Rahmen	RQ 10,5 WW	direkt befahren	1.802,73 €/m <sup>2</sup>
Fall 2b) Offener Rahmen	RQ 10,5 WW	überschüttet	1.697,42 €/m <sup>2</sup>
Fall 3) Offener Rahmen	RQ 10,5 WW	innerörtlich	1.858,00 €/m <sup>2</sup>

Ergänzend zur Abschätzung:

Fall 2c) Überbau mit Lagern	RQ 10,5 WW	überschüttet	1.750,07 €/m <sup>2</sup>
Fall 2d1) Geschloss. Rahmen im Querverschub ohne Hilfsbrücke	RQ 10,5 WW	überschüttet	1.917,60 €/m <sup>2</sup>
Fall 2d2) Geschloss. Rahmen im Querverschub mit Hilfsbrücken für zwei Spuren	RQ 10,5 WW	überschüttet	2.133,41 €/m <sup>2</sup>
Fall 2e) Geschloss. Rahmen im Einpressverfahren für 3m Erdkörper und Injizierung	RQ 10,5 WW	überschüttet	2.695,43 €/m <sup>2</sup>

Die Kostenzusammenstellung ist der Anlage 2 zu entnehmen.

## 5.6. Muster-Bauzeitenpläne

Die Muster - Bauzeitenpläne enthalten Anhaltswerte zur Erstellung der oben genannten Musterbauwerke. Da die tatsächlichen Bauzeiten sich erst unter Beachtung der örtlichen Verhältnisse und hier insbesondere der Verkehrssituation ergeben, sind die eingetragenen Werte nur Anhaltswerte. Besondere Bauverfahren oder Zusatzzeiten, die sich aus einer Verkehrseinschränkung ergeben, sind nicht berücksichtigt.

Da die Daten nur zur Abschätzung dienen können, wurde vor allem der Unterschied zwischen den einzelnen Rahmenkonstruktionen, der Einfluss von Überschüttung, Abdichtung und/oder einer Ausbildung mit Lagern aufgezeigt. Weiterhin wurden Zeiten für eine mögliche Ausbildung des Überbaus aus Fertigteilen bzw. Querverschub abgeschätzt, um die Zeitunterschiede für verschiedene Bauverfahren in den einzelnen Bauphasen erkennen zu können. Die Muster - Bauzeitenpläne gelten für das Beispiel Offener Rahmen RQ 10,5 WW. Es liegen folgende Bauzeitenpläne vor:

Ortbetonbauweise	1 BA	Rahmen direkt befahren	mit Abdichtung	Bauzeit 200 Tage
Ortbetonbauweise	2 BA	Rahmen direkt befahren	mit Abdichtung	Bauzeit 262 Tage
Ortbetonbauweise	1 BA	Überbau mit Lagern	mit Abdichtung	Bauzeit 210 Tage
Ortbetonbauweise	1 BA	Rahmen überschüttet	ohne Abdichtung	Bauzeit 191 Tage
Quereinschub (FT)	1 BA	Rahmen direkt befahren	mit Abdichtung	Bauzeit 168 Tage
Quereinschub (FT)	2 BA	Rahmen direkt befahren	mit Abdichtung	Bauzeit 207 Tage
Einpressverfahren	1 BA	Rahmen 3,0m überschüttet	ohne Abdichtung	Bauzeit 186 Tage

Die Bauzeitenpläne sind in der Anlage 3 abgelegt.

## 6. Ergebnisse

### 6.1. Vorteile, Einsatzgrenzen

Mit den Bauwerksplänen wird dem Bauherrn sofort ein definiertes Regelwerk nach anerkanntem Stand der Technik zur Hand gegeben, mit dem er einen wirtschaftlichen Neubau unter Beachtung der Gesamtkosten (Life-Cycle-Costs) abwickeln kann. Er ist dabei auf die individuelle Leistungsfähigkeit von weiteren Planern nicht angewiesen.

Ferner kann er sich unmittelbar einen belastungsfähigen Termin- und Kostenplan erstellen und frühzeitig zur Abstimmung mit anderen am Bau Beteiligten bringen.

Er kann sich außerdem sicher sein, dass das so erstellte Bauwerk aus heutiger Sicht den Anforderungen der nächsten 60 Jahre entspricht.

Grenzen werden hier durch die individuelle Herstellungssituation und die Lagebeziehung der Verkehrswege zueinander gezogen. Hier sind Einschränkungen vorhanden, die in den Entscheidungsleitlinien genauer definiert werden.

### 6.2. Entscheidungsleitlinien zur Festlegung von UF-Bauwerken

#### 6.2.1 Flussdiagramm

Die Entscheidungsleitlinien führen mit Hilfe eines Flussdiagramms auf die Auswahl der anzusetzenden Standardrahmenkonstruktionen und der Musterbauwerkspläne.

Grundlegend ist zu beachten, dass die Kriterien „Einschränkung des Betriebs“, „Bauzeit“ und damit verbunden wiederum die „Dauer der Einschränkung des Betriebs“ in die Überlegungen zur Auswahl der Konstruktion einbezogen werden müssen. Da diese in vielen Fällen nicht quantifizierbar sind (Ausnahmen z.B.: Busbetrieb, Straßenbahnbetrieb, Aufrechterhaltung Feuerwehrezufahrt bzw. anderer Interessen öffentlicher Belange) kann hier schnell die vorteilsmäßige Kostensparnis durch die Robustheit verloren gehen.

Hier sind generelle Vorüberlegungen unabhängig von dem Flussdiagramm zu treffen. Überlegungen und Beispiele hierzu sind den Ausführungen zu den Life-Cycle-Costs Kapitel 4.4.3 zu entnehmen.

Hierzu dient der Teil1 ALTERNATIVEN des Flussdiagramms. Hier können Vorüberlegungen zu den Bauverfahren und Bauweisen getroffen werden. Die Priorität richtet sich dabei nach der Standardkonstruktion des Rahmens. Vergleichend sind Bauverfahren zu untersuchen, die diesen Rahmen auch unter Verkehrseinschränkungen herstellbar machen (Einschubverfahren, Herstellung mit Hilfe von Überfahrten (Hilfsbrücken) oder temporären Umfahrungen, Einpressverfahren).

Fast gleichberechtigt sind die Verfahren mit der Ausbildung des Überbaus in Fertigteilen, bzw. einem getrennten Überbau aus Fertigteilen und Lagern. Diese Alternativen sollten zuerst miteinander verglichen werden.

Erst danach sollten andere Bauweisen wie die Herstellung des Gesamtsystems aus Fertigteilen, Widerlageraus- bzw. -bildung z.B. aus Spundwänden oder Bohrpfähle oder Verbundkonstruktionen untersucht werden. Dabei ist immer zu beachten, dass für bestimmte Standorte K.O. Kriterien gelten können (z.B. Naturschutz, Denkmalschutz etc). Ergänzende Hinweise dazu werden im Kapitel 6.2.1 gegeben.

Entscheidende Kriterien innerhalb des Flussdiagramms sind

## 1.) *die örtliche Herstellungssituation*

Es wird vorausgesetzt, dass die Herstellung des Rahmens mit den üblichen Mitteln möglich ist. Als übliche Mittel werden definiert

- die Herstellung des Bauwerks in einer offenen Baugrube bzw. mit kostengünstigem Baugrubenverbau (Trägerbohlwand oder evtl. Spundwand) ohne größere Wasserhaltung
- eine Verkehrsführung während der Bauzeit ohne zusätzliche Bauhilfskonstruktionen im Bereich des Bauwerks (Hilfsbrücken, Einpressen, Querverschub, Vereisung etc.)
- die Erstellung der Betonkörper mit handelsüblichen Schalungen bzw. Traggerüsten (keine Fertigteile)

Eine Herstellung in Teilabschnitten ist mit den Bauverfahren für eine Rahmenkonstruktion vereinbar und deshalb kein Ausschlusskriterium. Die Fugenaus- bzw. -bildung ist im Plan 6 der Musterbauwerkspläne vorgegeben und kann somit auch für die Regelbauwerke mit überführten Strassen des RQ 10,5 angewendet werden. Dasselbe gilt für die Fugenaus- bzw. -bildung z.B. im Zuge eines Querverschubverfahrens.

## 2.) *der vorhandene Kreuzungswinkel*

Die Darstellungen der Musterbauwerkspläne setzen einen bestimmten Kreuzungswinkel für die Verkehrswege voraus. In den Bauwerksplänen werden dabei kleinere Abweichungen durch Aufweitungen in der lichten Weite kompensiert, es bleibt aber eine Restriktion auf max. 95 gon–105 gon bestehen. Für nicht in dieses Schema passende Konstruktionen gelten dann zwar die konstruktiven Vorgaben, geometrische Angaben oder Bauwerksabmessungen sind aus den Plänen aber nicht mehr ableitbar.

Bei einem kleineren Kreuzungswinkel ist es trotzdem möglich, Teile des Bauwerks (Innenbereiche) den Richtzeichnungen zuzuordnen. Ebenso könnte man die Bauwerke durch eine entsprechende Verlängerung am Anfang und Ende des Bauwerks wieder in den Bereich des „fiktiven“ zulässigen Kreuzungswinkels von 95 gon -105 gon zurückführen.

Diese Entscheidungen sind individuell mit dem Bauherrn am Einzelobjekt zu treffen.

Die Flussdiagramme sind als Anlage 4 dem Bericht beigelegt.

## 6.2.2 Berücksichtigung Interessen Dritter

Abschließend muss hier noch angemerkt werden, dass wiederum diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung alleine nicht ausschlaggebend sein darf. Die Wahl einer Variante sollte die Wirtschaftlichkeitsberechnung und die Bewertung einer Beurteilungsmatrix mit den Interessen Dritter gleichermaßen berücksichtigen.

Beispielhaft sei hier eine Beurteilungsmatrix für die Auswahl EM bzw. ZM aufgeführt, die hier im Prinzip für die Auswahl zwischen verschiedenen Varianten angewendet werden kann.

Variante:	Erstmaßnahme (EM): Instandsetzung Unterbauten/Überbauten Zweitmaßnahme (ZM): bauartgleiche Erneuerung Unterbauten/Überbau				
Kriterien	Bewertung für EM bzw. ZM				
	++	+	0	-	--
<b><u>Ingenieurbau</u></b>					
Standsicherheit	- nach Fertigstellung				
Verkehrssicherheit	- nach Fertigstellung				
Dauerhaftigkeit	- nach Fertigstellung				
Gestaltung	- nach Fertigstellung				
<b><u>Verkehrsplanung</u></b>					
Verkehrsführung	- während der Bauzeit				
Leistungsfähigkeit	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Lärmschutz	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Gewässer- und Bodenschutz	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Natur- und Landschaftsschutz	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Weitere Umweltschutzaspekte	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
<b><u>Durchführbarkeit</u></b>					
Personal					
Bau und Planungsrecht					
Grunderwerb					
Haushalt					
Bauzeit					
<b><u>Sonstiges</u></b>					
Kapazitätsveränderung: EM: keine; ZM: wie Var. 1					
++ = sehr gut		- = schlecht			
+ = gut		-- = sehr schlecht			
0 = mittel					

Abbildung 42 Beurteilungsmatrix

## 7. Zusammenfassung

Es besteht die Möglichkeit, Ingenieurbauwerke zu „standardisieren“. Es werden dabei aber keine neuen Konstruktionen „erfunden“, sondern das Bewährte in Form gebracht.

Entscheidend ist, dass es mit einer Festschreibung eines Standards möglich wird, den immer wichtiger werdenden Part der Unterhaltung und der notwendigen Sanierungen von Verschleißbauteilen terminlich und kostenmäßig genauer zu erfassen.

Die Planung dieser Kosten über viele Bauwerke hinweg und die sich dadurch ergebenden Synergieeffekte sind der wesentliche Nutzen der Standardisierungen. Dies sollte auch bei den Planungen dieser „kleinen“ Bauwerken immer bedacht werden.

## 8. Normen und Richtlinien, Literatur

- [1] Entwurfsheft integraler Brücken, Wiesbaden: Schriftenreihe der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung Heft 50,2003
- [2] Erweiterte Grundlagen für integrale Straßenbrücken in Stahlbetonbauweise. Gutachten der König und Heunisch Planungsgesellschaft, Beratende Ingenieure für Bauwesen, Frankfurt, für die Hess. Straßen- und Verkehrsverwaltung, AZ 05 0207/Ag, Bg, Zk
- [3] Allgemeinverfügung Brücken- und Ingenieurbau Nr. 15/2006 vom 21.11.2006, AZ 38 - 25
- [4] Kuhlmann, U., Hauf, G., Steher, J., Aul, M.: Bewertung von Bauverfahren für Stahlverbundbrücken, Gutachten für das Hessische Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden, 2006
- [5] Dr.-Ing. Peter Haardt: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz Stufe 1 und 2, BAST August 2002
- [6] Dipl.-Ing. Ralph Holst: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz Stufe 3, BAST August 2005

### [DIN Fachberichte 101]

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.:  
DIN-Fachbericht 101 - Einwirkungen auf Brücken,  
2. Auflage. Beuth Verlag, Berlin, 2003

### [DIN Fachbericht 102]

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.:  
DIN-Fachbericht 102 – Betonbrücken,  
2. Auflage. Beuth Verlag, Berlin, 2003

- [DTV-Zahlen Hessen 2002/2003] Verkehrszentrale Hessen: Durchschnittlicher Täglicher Verkehr 2002 / 2003, Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden, Daten über Verkehrsstärken wurden uns vom HLSV zur Verfügung gestellt
- [EWS 1997] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen EWS (Entwurf) – Aktualisierung der RAS-W 86, Ausgabe 1997, FGSV Verlag, Köln, 1997
- [BMVBW, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr]: Musterentwürfe für ein-feldrige Verbundüberbauten zur Überführung eines Wirtschaftsweges (WW) und eines RQ 10,5 (Ausgabe 1999). Schüßler-Plan. Potsdam 1999
- [Engelsmann, S., Schlaich, J. und Schäfer, K.] Entwerfen und Bemessen von Betonbrücken ohne Fugen und Lager. DAFStb (Hrsg.), Heft 496 der Schriftenreihe, Beuth, Berlin 1999
- [Pötzl, M., Schlaich, J. und Schäfer, K.] Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung lager- u. fugenloser Brücken. DAFStb, Heft 461, Beuth, Berlin 1996
- [Pötzl, M. und Naumann, F.] Fugenlose Betonbrücken mit flexiblen Widerlagern, Beton- und Stahlbetonbau, Heft 8, 2005
- [Früh, H. P.] „Einpressen von Kreuzungsbauwerken unter Betrieb und unter Berücksichtigung der bodenmechanischen Randbedingungen“, in memoriam Prof. Dr. J. Jaky, Prof. Dr. Dr. A. Kezdi, Auslage der Max Früh GmbH & Co. KG Achern