

# SAMCO

## Guideline for the Assessment of Existing Structures

### 1 INTRODUCTION

As structures are aging, the assessment of buildings, bridges, tunnels, dams and industrial structures is becoming increasingly important. Structural codes have been developed for new design, but they often are not appropriate for assessment since there are significant differences between design and assessment. Design uncertainties arise from the prediction of load and resistance parameters of a new structure. These uncertainties represent the variability of a large population of structures caused by the unequal qualities of material, the different construction practices, and the variability of site specific live loads. Also a conservative design does not result in a significant increase in structural cost while a conservative assessment may result in unnecessary and costly repairs or replacement.

همانطور که از عمر مفید سازه ها کاسته می شود، ارزیابی ساختمان ها، پل ها، تونل ها، سدها و سازه های صنعتی به طور فزاینده ای اهمیت می یابد. آئین نامه های موجود سازه ای برای فرآیند طراحی جدید توسعه یافته اند و اغلب برای ارزیابی سازه های موجود مناسب نیستند، زیرا بین طراحی و ارزیابی تفاوت های قابل توجهی وجود دارد. عدم قطعیت های طراحی از عدم پیش بینی دقیق پارامترهای بار و مقاومت یک سازه جدید حاصل می شود. این عدم قطعیت ها باعث ایجاد اختلاف (طراحی و ساخت) در بسیاری از سازه ها که خود ناشی از کیفیت نابرابر مواد، شیوه های مختلف ساخت و ساز و تنوع خاصی از بارهای زنده است، می شود. لازم به ذکر است طراحی محافظه کارانه باعث افزایش قابل توجه هزینه های سازه نمی شود، در حالی که ارزیابی محافظه کارانه از سازه ممکن است به تعمیرات غیر ضروری و گران قیمت یا جایگزینی منجر شود.

Therefore, there is a clear need for technical rules for the assessment of existing structures. In some countries, participating at SAMCO, especially the UK, assessment codes and guidelines are available, but in most European countries only single assessment routines are discussed within the scientific community, but are rarely applied by practicing engineers. This guideline is developed within the work package 3 "codes and recommendations" and offers a methodological framework for assessment, assuming a stepwise procedure, beginning with simple methods and going on more sophisticated, if necessary.

بنابراین، نیازمندی واقعی به روش های فنی و تایید شده برای ارزیابی سازه های موجود وجود دارد. در برخی از کشورهای دخیل در آماده سازی SAMCO، به خصوص انگلستان، آئین نامه های ارزیابی و دستورالعمل ها در دسترس هستند، اما در اکثر کشورهای اروپایی، تنها روش های ارزیابی در جوامع دانشگاهی مورد بحث قرار می گیرند و به ندرت توسط مهندسان اجرایی استفاده می شود. این دستورالعمل در بسته کاری ۳ "کدهای و توصیه ها" توسعه یافته است و چارچوب مشخصی برای ارزیابی سازه ها، با فرض گام به گام ارائه می دهد که از روش های ساده آغاز می شود و در صورت لزوم پیچیده تر می شود.

In the first chapter the general scope of the guideline is defined. The second chapter describes in detail the principals of structural assessment. A structure of the assessment methodology is introduced and the single procedures for data acquisition, structural analysis and safety verification are described. In the third chapter the proposed assessment levels (Level 0 – Level 5) and associated procedures are explained.

در فصل اول، ابعاد کلی دستورالعمل تعریف شده است. فصل دوم، جزئیات روش های ارزیابی سازه ها را شرح می دهد. یک ساختار کلی از روش ارزیابی معرفی شده است و روش های مجزا برای جمع آوری اطلاعات، تحلیل سازه ها و تایید ایمنی سازه شرح داده شده است. در فصل سوم، سطوح ارزیابی پیشنهادی (سطح ۰ - سطح ۵) و روشهای مربوطه توضیح داده شده است.

## 2 GENERAL

### 2.1 Scope

Structural assessment can be initiated, when there has been a change in resistance. Such as structural deterioration due to time-depending processes (e.g. corrosion, fatigue) or structural damage by accidental actions.

Also when there will be a change in loading (e.g. increased traffic load) or an extension of the design working life. Assessment can also be carried out to analyze the current structural reliability (e.g. for environmental hazards like earthquake or extreme winds and/or waves).

ارزیابی از یک سازه می تواند در شرایط زیر آغاز شود:

- زمانی که تغییر در مقاومت رخ داده است. مانند خرابی های سازه ای به علت فرآیندهای وابسته به زمان (به عنوان مثال خوردگی، خستگی) یا آسیب های سازه ای ناشی از رخداد های تصادفی.
- تغییر در بارهای وارده به سازه (مثلا افزایش بار های زنده یا دینامیکی موجود)
- سپری شدن عمر مفید طراحی سازه
- ارزیابی همچنین می تواند برای بررسی قابلیت اطمینان سازه ی فعلی (به عنوان مثال برای خطرات زیست محیطی مانند زمین لرزه یا باد شدید و / یا امواج) انجام شود.

The proposed guideline presents a methodological framework of the assessment of existing structures and a summarization of the manifold methods developed in recent years for structural assessment. It is intended to describe the coherency and difference between methods and to provide an understanding and to help practicing engineers finding the suitable assessment procedure depending on the assessment objectives as well as on different boundary conditions.

دستورعمل پیشنهادی ارائه شده شامل چارچوب روش مشخصی از ارزیابی سازه های موجود و خلاصه ای از روش های توسعه یافته در سال های اخیر برای ارزیابی سازه ها می باشد. در این دستورعمل سعی شده است تا شباهت و تفاوت روش های موجود با ایجاد درک کلی از موضوع، توضیح داده شود تا مهندسان اجرایی راحت تر بتوانند روشی مناسب جهت ارزیابی سازه متناسب با اهداف ارزیابی و همچنین شرایط مرزی مختلف اتخاذ نمایند.

Within management of groups of structures it is necessary to assessment unify, so that different structures are assessed in the same way and results are comparable between authorities, regions or countries. The guideline is meant to provide a framework to achieve that goal.

در حالی که مدیریت نگهداری از سازه ها بر روی سازه های مختلفی صورت میگیرد، لازم است که ارزیابی به صورت یکپارچه انجام شود، به طوری که سازه های مختلف به یک شیوه و روش خاص مورد ارزیابی قرار گیرند و نتایج آن برای مدیریت های مختلف و مقامات مناطق و نواحی قابل مقایسه باشد. این دستورالعمل برای ارائه چارچوبی برای دستیابی به این هدف است.

It is intended to explain the principles of structural assessment and to feature the several levels of structural assessment, starting with simple but conservative methods and progressing to more refined but also more expensive methods. The guideline can be applied to all kind of existing structures (e.g. bridges and tunnels, buildings, industrial structures on- and offshore) of any type of structural material (concrete, steel, timber, masonry, composite material).

این دستور عمل در نظر دارد که اصول ارزیابی سازه ای را توضیح دهد و سطوح مختلف ارزیابی سازه ای که از روش های ساده اما محافظه کارانه شروع می شود و به روش های پیشرفته تر و همچنین گران تر ختم می شود را ترسیم نماید. این دستورالعمل می تواند به هر نوع سازه موجود (مانند پل ها و تونل ها، ساختمان ها، سازه های صنعتی در داخل و خارج از ساحل) از هر نوع مواد ساختاری (بتن، فولاد، چوب، سنگ تراشی، مواد کامپوزیت) اعمال شود.

The structures to be assessed can be designed based on accepted engineering principles or design rules as well as on good workmanship, historic experience and accepted professional practice.

Since fire resistance requires properties different from those of structural safety and integrity, the assessment of fire resistance is not part of the guideline.

سازه هایی که باید مورد ارزیابی قرار گیرند می توانند براساس اصول مهندسی پذیرفته شده یا قوانین طراحی شناخته شده توسط تیم طراحی مجرب و دارای پروانه حرفه ای تایید شده، طراحی شده باشند. از آنجایی که تعیین مقاومت سازه در برابر آتش نیازمند پارامترهایی متفاوت از ایمنی و یکپارچگی سازه است لذا ارزیابی مقاومت سازه در برابر آتش، بخشی از این دستورالعمل نیست.

### 3.2.2 Assessment levels

As mentioned before, assessment procedures vary in sophistication. It is recommended to start the assessment with simple but conservative low level methods and, in case the assessment failed, move on with more refined upper levels. The grading concerns the specific methods of all three components (Annex A). همانطور که قبلاً ذکر شد، روش های ارزیابی از لحاظ پیچیدگی متنوع هستند. توصیه می شود که ارزیابی را با روش های ساده و محافظه کارانه (سطح پایین) آغاز کنید و در صورت عدم ارضای شرایط ارزیابی، با سطوح بالاتری از ارزیابی ادامه دهید. (پیوست A)

In general within one applied assessment procedure the sophistication of the individual components should be of around the same level. For instance, there is no sense to achieve resistance and load parameters with simple but imprecisely methods and use full probability based methods for the verification. Admittedly, there may be cases where a mixture of methods with low and high complexity is advisable. For instance when a first step low level assessment failed and in a second step the structure specific resistance and load parameters are achieved by more refined investigation methods like NDT, the structural analysis and the verification can be carried out with the same simple methods as in the first step and the assessment may now result in sufficiency.

به طور کلی درحین انجام ارزیابی با یک سطح پیچیدی خاص، پیچیدگی فرآیند اجزای آن روش نیز باید در حدود آن روش ارزیابی باشد. به عنوان مثال نمی توان برای رسیدن به پارامترهای مقاومت و پارامترهای بار از روش های ساده و غیردقیق استفاده کرد و در عین حال

از روش های مبتنی بر احتمال کامل برای تأیید سطح خدمت سازه استفاده کرد. با این حال، ممکن است مواردی وجود داشته باشد که استفاده از روش های ترکیبی با پیچیدگی های کم و زیاد، قابل توصیه باشد. به عنوان مثال زمانی که یک مرحله اول ارزیابی سطح پایین شکست خورد و در مرحله دوم میتوان پارامترهای مقاومتی سازه و پارامترهای بارگذاری را با روش های پیشرفته تر مانند NDT به دست آورد و در عین حال تحلیل سازه و تأیید سطوح عملکردی آن با همان روش های ساده به کار رفته در گام اول انجام شود.

The proposed assessment levels are established for structuring the assessment process.

They are not imperative and the boundaries of the levels are flexible. The levels adhere roughly to those, established in the UK for the assessment of highway bridges [7].

سطوح ارزیابی پیشنهادی برای ساختار دهی به فرآیند ارزیابی ایجاد شده است. آنها اجباری نیستند و شرایط مرزی روش ها انعطاف پذیر هستند

The proposed assessment levels are described below and an outline of the structure shows Fig.1.

**Level 0: Non-formal qualitative assessment:**

Assessment, based on experience of the engineer, is mostly used for a pre-evaluation of the structure. One is able to evaluate visual deterioration effects like corrosion of steel members or visual signs of damage (cracks, spalling).

سطح ۰: ارزیابی کیفی غیر رسمی:

ارزیابی بر اساس تجربه مهندس، بیشتر برای ارزیابی اولیه از شرایط موجود سازه مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش مهندس می تواند اثرات زوال سازه که با چشم قابل تشخیص هستند، مانند خوردگی اعضای فولاد یا نشانه های بصری آسیب (ترک، پوسته پوسته شدن) را ارزیابی کند.

**Level 1: Measurement based determination of load effect:**

Assessment of serviceability by measurement of performance values and comparison with threshold values. There is no structural analysis carried out. The threshold values can be given in codes or individually specified. Details are described in chapter 3.1.

سطح ۱: اندازه گیری بر اساس تعیین اثر بار:

این ارزیابی بر اساس قابلیت خدمت رسانی است و با استفاده از اندازه گیری مقادیر عملکرد و مقایسه آنها با مقادیر نهایی مجاز صورت میگیرد. هیچ تحلیلی بر روی سازه صورت نمی گیرد. مقادیر نهایی مجاز را می توان توسط آئین نامه های مجاز مشخص کرد. جزئیات در فصل ۳.۱ توضیح داده شده است.

**Level 2: Partial factor method, based on document review:**

Assessment of load-carrying capacity and serviceability using information from design, construction and inspection documentation. Structural analysis is generally carried out using simple methods. Safety and serviceability verification is based on partial factors. Details are described in chapter 3.2.1.1.

سطح ۲: روش فاکتور جزئی بر پایه بررسی اسناد موجود :  
ارزیابی در این سطح بر اساس محاسبه ظرفیت حمل بار و قابلیت خدمت رسانی با استفاده از اطلاعات موجود از مراحل طراحی سازه، ساخت و بازرسی های چشمی صورت می گیرد. تحلیل سازه به طور کلی با استفاده از روش های ساده انجام می شود. تأیید ایمنی و قابلیت خدمت رسانی سازه از روش فاکتور جزئی انجام می شود. جزئیات در فصل ۳.۲.۱.۱ شرح داده شده است.

**Level 3: Partial factor method, based on supplementary investigation:**  
Assessment of load-carrying capacity and serviceability using information from site-specific detailed non-destructive investigations. Structural analysis is carried out using refined methods and detailed models. Safety and serviceability verification is based on partial factors. Details are described in chapter 3.2.1.2.

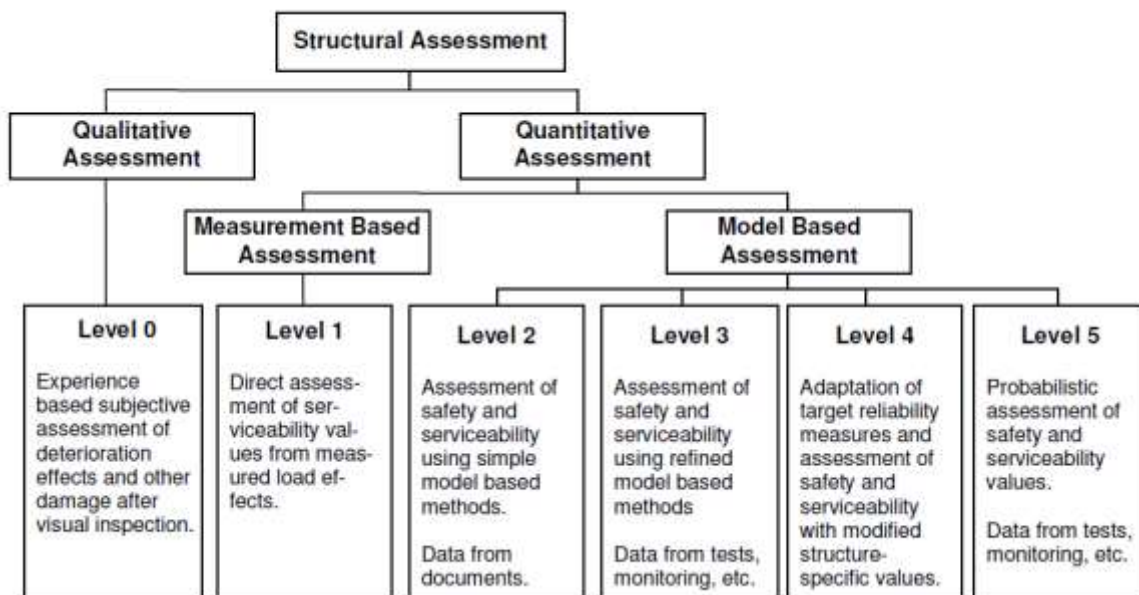
سطح ۳: روش فاکتور جزئی بر پایه انجام تحقیقات تکمیلی:  
در این سطح، ظرفیت حمل بار و قابلیت خدمت رسانی سازه با استفاده از اطلاعات بدست آمده از آزمون های غیر مخرب و دقیق در محل محاسبه می شود. تحلیل سازه نیز با استفاده از روش های پیشرفته و مدل های دقیق انجام می شود. تأیید ایمنی و قابلیت خدمت رسانی سازه نیز از روش فاکتور جزئی محاسبه می شود. جزئیات در فصل ۳.۲.۱.۲ شرح داده شده است.

**Level 4: Modified target reliability, modification of partial factors:**  
Verification of the load-carrying capacity with site-specific modified partial safety factors. Structural properties as well as external circumstances can influence the safety measure. Practically, modifying of partial factors is carried out for groups of structures with similar structural behavior or load influences. Details are described in chapter 3.2.2.

سطح ۴: قابلیت اطمینان هدف اصلاح شده، روش فاکتور جزئی اصلاح شده:  
بررسی ظرفیت حمل بار سازه با روش فاکتور جزئی اصلاح شده حاصل از آزمون های در محل صورت می گیرد. خصوصیات سازه ای و همچنین شرایط محیطی می تواند بر میزان سطوح ایمنی سازه تأثیر بگذارد. عملاً روش فاکتور جزئی اصلاح شده برای گروه های سازه ای با رفتار سازه ای مشابه یا تأثیر بار مشابه انجام می شود. جزئیات در فصل ۳.۲.۲ شرح داده شده است.

**Level 5: Full probabilistic assessment:**  
Assessment, taking into account all basic variables with their statistical properties. Structural reliability analysis is used directly and instead of partial factors. Uncertainties are modeled probabilistically. Details are described in chapter 3.3.

سطح ۵: ارزیابی احتمالاتی کامل:  
ارزیابی، با در نظر گرفتن تمام متغیرهای اساسی با خواص آماری آنها.  
تحلیل قابلیت اعتماد سازه به طور مستقیم و به جای روش فاکتور جزئی استفاده می شود. عدم قطعیت ها به صورت احتمالاتی مدل سازی می شوند. جزئیات در فصل ۳.۳ توضیح داده شده است.



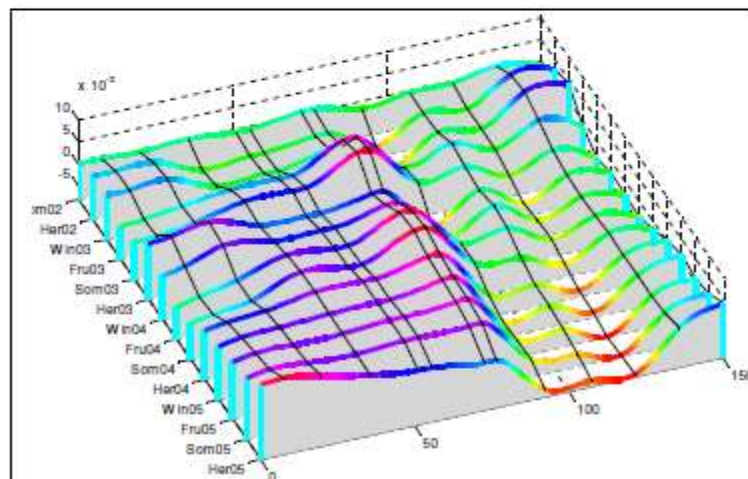
Classes of Assessment	Objectives	Methodology		
<b>NON-FORMAL ASSESSMENT</b> (Level 0)	qualitative condition assessment	Visual Inspections Experience Based Graduation		
<b>MEASUREMENT-BASED ASSESSMENT</b> (Level 1)	quantitative serviceability control and assessment	Determination of Load Effects	Verification	
		Measurement of Performance Values under Service Loading	Comparison with Threshold Values	
<b>MODEL-BASED ASSESSMENT</b>	quantitative safety and serviceability assessment	Determination of Load Effects		Verification
		Data Acquisition	Structural Analysis	
		Document Review	Basic Structural Models	Deterministic (Permissible Stress) -- only exceptional --
		Inspections		
		Monitoring of Static Load Effects and Deterioration (Deformations, Stresses, Cracks, Corrosion etc.)	Refined Models (FEM, Nonlinear Analysis)	Semi-Probabilistic (Partial Safety Factors)
Monitoring of Live Load and Environmental Influences				
Testing and Measurement of Material Properties and Dimensions	Adaptive FE – Models	Probabilistic Approximation Methods (FORM, SORM)		
Monitoring of Dynamic Load Effects (Eigenfrequencies, Mode Shapes)	Stochastic FE – Models	Probabilistic Simulation Methods (MCS, LHC)		

Table A.1: Classification and Structure of the Assessment Process



### A.1.1 Level 1: Measurement Based Assessment

OBJECTIVES
<ul style="list-style-type: none"><li>- Control of the performance of the structure over a certain time period</li><li>- Control of adherence of serviceability and fatigue limit values (deformation, stress, stress range)</li><li>- Control of variable loads and influences</li></ul>
DETERMINATION OF LOAD EFFECTS
<ul style="list-style-type: none"><li>- Measurement of performance values like deformations, stresses and dynamic values</li></ul>
RELIABILITY VERIFICATION
<ul style="list-style-type: none"><li>- Comparison of Measured Data with Threshold Values</li><li>- Analysis of Trends and Correlations with External Influences</li></ul>



**Fig.A1:** Direct Assessment of Monitored Vertical Movements of a Railway bridge Deck during Construction of the Surrounding Station at Lehrter Bahnhof in Berlin



### A.1.2 Level 2: Basic Model Based Assessment

OBJECTIVES
<ul style="list-style-type: none"><li>- Validation of safety and serviceability after extreme load damage or after deterioration damage</li><li>- Determination of safety and serviceability for utility changes</li></ul>
DATA ACQUISITION
<ul style="list-style-type: none"><li>- Load and resistance data from design documents and codes</li><li>- Inspections</li></ul>
STRUCTURAL ANALYSIS
<ul style="list-style-type: none"><li>- Methods and models as used in the design process</li><li>- Refined models</li></ul>
RELIABILITY VERIFICATION
<ul style="list-style-type: none"><li>- Deterministic</li><li>- Semi probabilistic</li></ul>

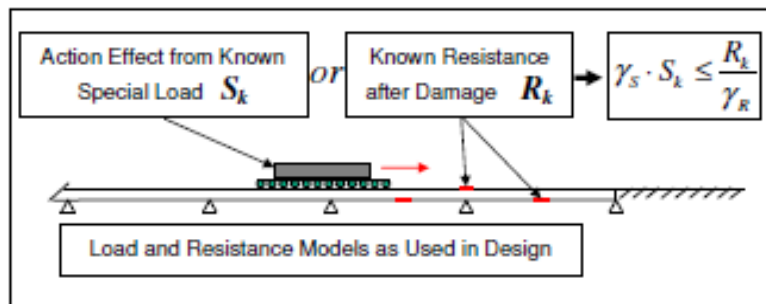
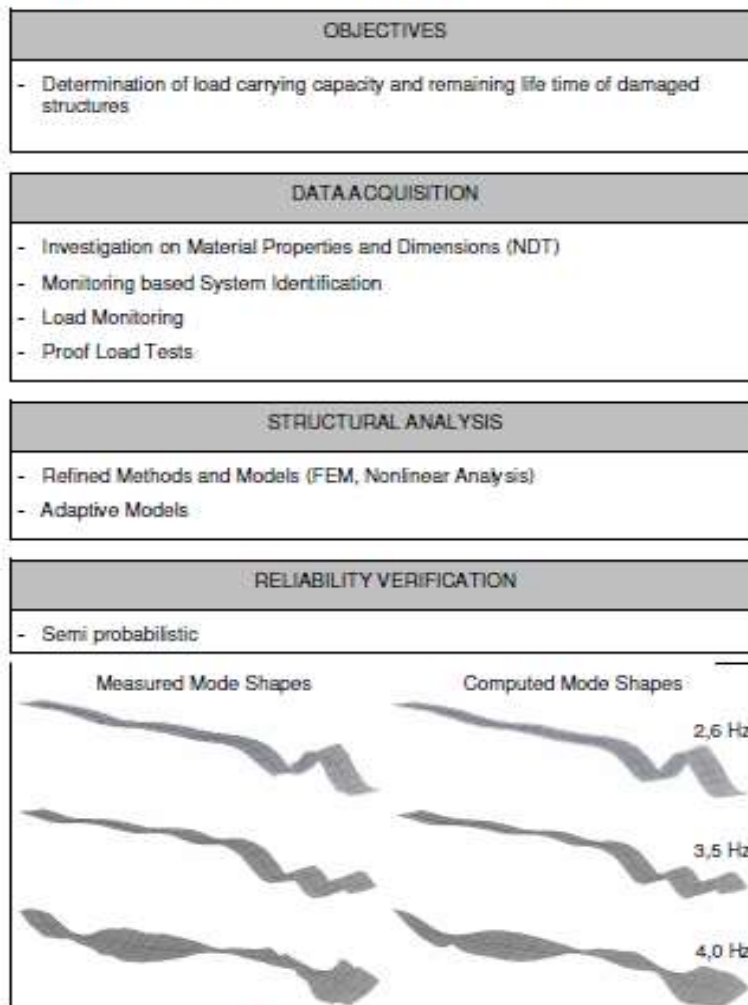


Fig.A2: Simplified Example for Level 2 Assessment

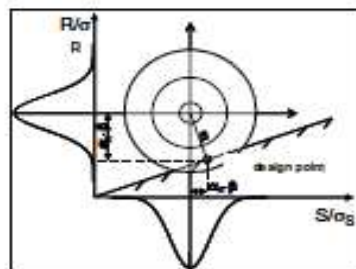
### A.1.3 Level 3: Advanced Model Based Assessment



FigA3: System Identification and Model Improvement at the Deck of Westend Bridge in Berlin

#### A.1.4 Level 4: Assessment with Modified Target reliabilities

OBJECTIVES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adapting of the target safety level in dependence of the consequences of a structural failure, which itself depends on the utility of the structure, redundancy and the failure characteristic.</li> </ul>
DATA ACQUISITION
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigation on Material Properties and Dimensions (NDT)</li> <li>- Monitoring Based System Identification</li> <li>- Load Monitoring</li> <li>- Proof Load Tests</li> </ul>
STRUCTURAL ANALYSIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Refined Methods and Models (FEM, Nonlinear Analysis)</li> <li>- Adaptive Models</li> </ul>
RELIABILITY VERIFICATION
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Semi probabilistic</li> </ul>



$$\gamma_S = \frac{S_d}{S_k} = \frac{1 + \beta \cdot \alpha_S \cdot v_S}{1 + k_S \cdot v_S}$$

$$\gamma_R = \frac{R_k}{R_d} = \frac{1 - k_R \cdot v_R}{1 - \beta \cdot \alpha_R \cdot v_R}$$

Fig.44: Illustration of the Safety Index  $\beta$  in the Standard Normal Space and Description of the Partial Safety Factors as Function of  $\beta$  for Normal Distributed Values

### A.1.5 Level 5: Full Probability Assessment

OBJECTIVES
- Determination of load carrying capacity and remaining life time of damaged structures under consideration of existing uncertainties

DATA ACQUISITION
- Investigation on Material Properties and Dimensions (NDT) - Monitoring based System Identification - Load Monitoring - Proof Load Tests - Statistical Characteristic of Data

STRUCTURAL ANALYSIS
- Simple Models and Methods - Advanced Models and Methods

RELIABILITY VERIFICATION
- Probabilistic approximation methods (FORM, SORM) - Simulation Methods (MCS)

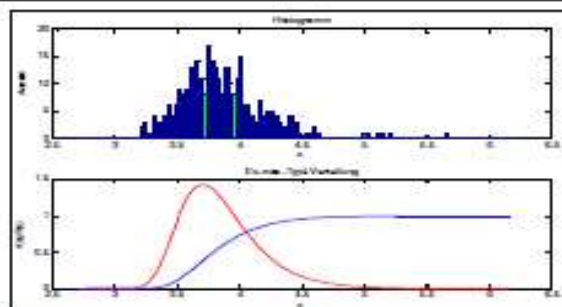


Fig.A5: Histogram and Distribution of Live Load (Simulation)