



Doctoral Thesis

## Ökologische Bewertung oberflächentechnologischer Massnahmen im Stahlbetonbau

**Author(s):**

Haag, Christine

**Publication Date:**

2001

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004270013> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Ökologische Bewertung oberflächentechnologischer  
Massnahmen im Stahlbetonbau

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZÜRICH

vorgelegt von:

Christine Haag

dipl. Bau-Ingenieurin ETH

lic. oec. HSG

geboren am 15. März 1973

aus Luxemburg

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. F.H. Wittmann

Prof. Dr. H.-W. Reinhardt

Dr. K. Richter

Zürich 2001

## Abstract

Building constructions are in permanent interaction with the environment. While strongly influencing the ecological system, they are themselves exposed to environmental conditions that can attack and damage them. Thus restoration measures already represent a considerable part of construction work. As these measures most often involve energy and material intensive processes, their ecological impact may be considerable. Protecting building structures through adequate preventive measures (which most often involve higher expenditure during the construction phase) and thereby preventing damage and restoration of the building substance may therefore be ecologically profitable.

The present work investigates under which conditions protecting reinforced concrete elements with preventive measures is ecologically interesting. The ecological impact of preventive measures during the life time of a reinforced concrete element are being determined and compared to the impact of restoration measures. This comparison will lead to the formulation of criteria for the ecological evaluation of protective measures.

In a first step an adequate evaluating instrument is determined. The most important methods for ecological evaluation, i.e. risk analysis (focusing on events), product life cycle assessment, ecological business assessment (focusing on periods), environmental impact assessment (focusing on whole projects), and regional material flows analysis, are being discussed and characterized. Their respective applications reach from individual processes over products to businesses and whole projects. Their focus differ accordingly.

The requirements that the instrument must fulfil depend on properties and exposure conditions of the structural element, on relevant ecological effects and on the phase in the planning process, during which the instrument is meant to be applied. For the present investigation the instrument should support the ecological choice of materials and products, in particular integrating durability of materials and the protective function of preventive measures for reinforced concrete structures into the evaluation. Moreover the potential influences of the persons involved, the economical-ecological actors, shall be quantified. The most adequate method for these tasks is the life cycle assessment, which considers ecological effects along the normal undisturbed life cycle of a product, additionally showing off optimizing potentials.

As the respective damage mechanisms and restoration measures strongly differ, Outdoor structures (represented by the pillar of a bridge) and indoor elements (represented by jointless industrial floors) are being distinguished. For given exposure conditions respective preventive measures are presented and their actual effect on the representing examples is discussed. For industrial floors, the investigated measures are:

- polymer resin floorings (based on epoxy resin, polyurethane, polymethyl methacrylate)
- mineral based floors (hard concrete floors, magnesia floors)
- bitumen based floors (asphalt floors)

The life cycles of these flooring materials are compared within a life cycle assessment. Estimates regarding the protective performance of these materials are drawn from expe-

---

rience. This allows to determine for which applications the respective floor convenes the most. Next to the ecological importance of durability the impact of cleanability is also analysed. The potential influence of economic-ecological actors is shown off.

As preventive measures for pillars of bridges against chloride induced corrosion surface technological measures are being proposed:

- deep water repellent treatment (application of a cream)
- thin coating (coating based on acrylic resin)
- thick coating (cementitious protective layer)

Surface technological measures most often have to be renewed at the end of their effective life time.

For protection against the risk of carbonation, a concrete technological measure was proposed as example:

- high performance superplasticizer (melamine formaldehyde sulfonate condensate)

The ecological impact of the preventive measures of protection are compared to the impact of restoration measures. Preventive measures are ecologically interesting as long as their application (or repeated application, for the case of surface technological measures) show lower ecological impact than a restoration. Based on this premise, criteria for a sensible application can be determined from the comparison (such as risk of damage of the structural element and effective life time of protective measures).

For all the investigated measures relevant ecological effects during production, use and waste disposal have been determined. The presumptions on which the life cycle assessment is based are described with precision. Moreover the influence of differing data sources as well as data unsecurity are analysed and taken into consideration within the evaluation.

By means of an investment appraisal, economic requirements regarding the minimum requested effective life time are determined for the example of surface technological measures for outdoor structures. They are compared to ecological requirements in order to evaluate which requirement will be the most stringent.

---

## Zusammenfassung

Bauwerke stehen in ständiger Wechselwirkung mit der Umwelt. Einerseits stellen sie bedeutende ökologische Eingriffe dar, andererseits sind sie schädigenden Einwirkungen ausgesetzt, welche sie angreifen und beschädigen können. Instandsetzungsmassnahmen machen auch bereits einen beachtlichen Anteil der Baumassnahmen aus. Es handelt sich dabei häufig um energie- und materialintensive Bauprozesse, welche mit einem bedeutenden ökologischen Einfluss verbunden sind. Es kann daher ökologisch interessant sein, Bauwerke durch geeignete präventive Schutzmassnahmen (welche i.d.R. einen Mehraufwand bei der Herstellung des Bauwerks darstellen) zu schützen, und so eine Schädigung und Instandsetzung der Bausubstanz zu verhindern.

In der vorliegenden Arbeit wird überprüft, unter welchen Bedingungen präventive Schutzmassnahmen im Stahlbetonbau ökologisch sinnvoll sind. Dazu werden die ökologischen Auswirkungen von Schutzmassnahmen innerhalb des gesamten Lebenszyklus eines Stahlbetonbauteils bestimmt und mit den Auswirkungen von Instandsetzungsmassnahmen verglichen. Aus diesem Vergleich werden Kriterien für die ökologische Bewertung von Schutzmassnahmen entwickelt.

Zunächst wird eine geeignete Methode der ökologischen Bewertung bestimmt. Die wichtigsten Methoden der ökologischen Bewertung, namentlich die ereignisorientierte Risikoanalyse, die Produktökobilanz, die periodenorientierte Ökobilanz, die projektorientierte Umweltverträglichkeitsprüfung und die regionale Stoffstromanalyse, werden diskutiert und charakterisiert. Ihre jeweiligen Anwendungen reichen von einzelnen Prozessen über Produkte zu Betrieben und ganzen Projekten. Entsprechend sind auch ihre Schwerpunkte ausgerichtet.

Die Anforderungen, denen Methoden der ökologischen Bewertung im Bauwesen gerecht werden müssen, hängen von Charakteristiken und Umwelteinflüssen des Bauobjektes, von den interessierenden ökologischen Auswirkungen sowie von der Planungsphase ab, während welcher das Instrument eingesetzt werden soll. Im gegebenen Fall soll das Instrument die ökologische Material- und Produktauswahl unterstützen und insbesondere die Beständigkeit von Baustoffen und die Schutzfunktion präventiver Schutzmassnahmen im Stahlbetonbau in der Bewertung berücksichtigen. Es soll ausserdem erlauben, die ökologischen Einflussmöglichkeiten der beteiligten Personen, d.h. der wirtschaftlich-ökologischen Akteure, zu quantifizieren. Als geeignet erscheint die Methode der Produktökobilanz, welche ökologische Auswirkungen innerhalb des normalen, störungsfreien Lebenszyklus eines Produktes erfasst und Verbesserungspotentiale aufzeigt.

Da die jeweiligen Schadensmechanismen und Instandsetzungsmassnahmen sich stark unterscheiden, wird zwischen Aussenbauteilen (analysiert am Beispiel eines Brückenpfeilers) und Innenbauteilen (analysiert am Beispiel fugenloser Industrieböden) unterschieden. Für definierte Einwirkungen werden jeweils präventive Schutzmassnahmen vorgestellt und ihre konkrete Wirkung an den Modellbeispielen diskutiert. Bei Industrieböden sind es:

- Kunstharzbeläge (Epoxidharzbeläge, PUR- und PMMA-Beläge)
  - Mineralische Estriche (Magnesiaestriche, Hartbetonestriche)
-

- Bituminöse Estriche (Asphaltbetonestriche)

Die Lebenszyklen dieser Bodenbeläge werden in einer Ökobilanz miteinander verglichen. Zur Abschätzung der Schutzwirkung werden Erfahrungswerte herangezogen. So kann bestimmt werden, für welche Anwendungen die jeweiligen Beläge am besten geeignet sind. Neben dem Einfluss der Beständigkeit wird ausserdem der Einfluss der Reinigungsfähigkeit der Bodenbeläge analysiert. Am Beispiel der Industrieböden wird der Einfluss der ökologisch-wirtschaftlichen Akteure aufgezeigt.

Als präventive Massnahmen bei Brückenpfeilern wurden einerseits oberflächentechnologische Massnahmen (Schadensmechanismus chloridinduzierte Korrosion) vorgesehen:

- Tiefenhydrophobierung (Hydrophobierungspaste),
- Dünnbeschichtung (Acrylharzbeschichtung),
- Dickbeschichtung (zementöse Opferschicht),

Oberflächentechnologische Massnahmen werden nach Ablauf ihrer Wirksamkeitsdauer häufig erneuert.

Andererseits wurde eine betontechnologische Massnahme im Fall von Carbonatisierungsgefahr aufgezeigt:

- Hochleistungsverflüssiger (sulfoniertes Melaminformaldehydkondensat)

Die ökologischen Auswirkungen der präventiven Schutzmassnahmen werden mit den Auswirkungen von Instandsetzungsmassnahmen verglichen. Da Schutzmassnahmen solange ökologisch sinnvoll sind, wie ihr (bei oberflächentechnologischen Massnahmen ggf. wiederholter) Einsatz geringere Auswirkungen hat als eine Instandsetzung, lassen sich aus diesem Vergleich Kriterien für eine sinnvolle Anwendung entwickeln (v.a. bezüglich Wirksamkeitsdauer und Instandsetzungsrisiko eines ungeschützten Brückenpfeilers).

Für sämtliche untersuchten Massnahmen sind die ökologisch relevanten Einflüsse der Herstellung, Nutzung und Entsorgung ermittelt worden. Die jeweiligen Annahmen, auf denen die Ökobilanz basiert, werden genau angegeben. Ausserdem wird der Einfluss unterschiedlicher Datenquellen sowie die Datenunsicherheit speziell untersucht und in die Bewertung mit einbezogen.

Am Beispiel der Schutzmassnahmen für Aussenbauteile wird ausserdem, mit Hilfe einer Investitionsrechnung, überprüft, ob eher Anforderungen ökologischer oder wirtschaftlicher Art massgebend werden für die geforderte minimale Wirksamkeitsdauer oberflächentechnologischer Schutzmassnahmen.