



Technische Universität München



TUM School of Engineering  
and Design  
Lehrstuhl für Massivbau

**Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Dipl.-Wirt. Ing.  
Oliver Fischer**

Theresienstraße 90  
Gebäude N6  
80333 München  
Germany

Tel +49.89.289.23039  
Fax +49.89.289.23030

massivbau@tum.de  
<https://www.cee.ed.tum.de/mb>

TUM School of Computation,  
Information and Technology  
Lehrstuhl für Machine Learning

**Prof. Dr.sc. ETH Zürich  
Reinhard Heckel**

Theresienstraße 90  
Gebäude N3  
80333 München  
Germany

Tel +49.89.289.28020

reinhard.heckel@tum.de  
<https://www.ce.cit.tum.de/mli>

# Themenvorschlag für eine Master Thesis

## Single Sensor Bridge Weigh-In-Motion (B-WIM) Ansatz unter Anwendung von Convolutional Neural Networks (CNN)

### Betreuer

Thibault Tepho, M.Sc. (Lehrstuhl für Massivbau)  
Dipl.-Ing. (FH) Marcel Nowak, M.Sc. (Lehrstuhl für Massivbau)

Raum: N1614  
Tel.: +49.89.289.23028  
E-Mail: [thibault.tepho@tum.de](mailto:thibault.tepho@tum.de)  
[marcel.nowak@tum.de](mailto:marcel.nowak@tum.de)

Jiayu Liu, M.Sc. (Lehrstuhl für Machine Learning)

Raum: N6304  
Tel.: +49.89.289.28023  
E-Mail: [jiayu.liu@tum.de](mailto:jiayu.liu@tum.de)

### Motivation

Die Verkehrslastmodellierung für Brückenbauwerke erfordert genaue Kenntnisse über den Schwerverkehr welcher die Brücke passiert. Eine Möglichkeit Fahrzeuge des Schwerverkehrs und deren Parameter zu erfassen, ist das Bridge Weigh-In-Motion (B-WIM). [1]

Ein B-WIM System erfasst und wiegt die Fahrzeuge im fließenden Verkehr über die Tragwerksreaktionen einer betrachteten Brücke. Diese sind bspw. die Dehnungen / Stauchungen an der Brückenunterseite. Zur Erfassung dieser Größe werden meist Dehnmessstreifen (DMS) hergenommen. Anhand der erfassten Signale können dann Rückschlüsse auf die Fahrzeugparameter gezogen werden. [2]

Für B-WIM Systeme gibt es i.A. zwei Vorgehensweisen: Auf der einen Seite wird ein intelligentes Sensorlayout aufgestellt. Dieses besteht i.d.R. aus vielen Sensoren. Durch die spezifizierte Analyse der Signale der einzelnen Sensoren und nachfolgendem Kombinieren der Ergebnisse, können die Fahrzeugparameter des Schwerverkehrs relativ einfach bestimmt werden. Ein Nachteil ist jedoch der hohe Monitoringaufwand aufgrund der hohen Anzahl an Sensoren. Auf der anderen Seite können theoretisch aus wenigen Sensoren alle Fahrzeugparameter bestimmt werden. Hierfür sind jedoch komplexe Algorithmen erforderlich. Diese sind meist numerisch aufwendig und sehr empfindlich gegenüber Änderungen.

Um letzteres Problem zu beheben, bieten sich die Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) an [3]. Hierbei gibt es für B-WIM Systeme bereits erste Forschungsarbeiten, wie bspw. [4] und [5]. In diesen Ansätzen werden die Algorithmen jedoch meist mit numerischen Messdaten trainiert.

## Ziel

In Anlehnung an [5] soll im Rahmen dieser Arbeit ein B-WIM Algorithmus anhand von KI-Methoden entwickelt werden. Hierbei soll ein Ansatz verfolgt werden, bei dem mit nur einem Sensor (nahezu) alle Fahrzeugparameter bestimmt werden. Hierfür sollen Convolutional Neural Networks (CNN) genutzt werden [5].

Dabei sollen nur Einzelüberfahrten auf einem Bauwerk betrachtet werden. Mit einem System aus einem (oder mehreren) CNN werden über die DMS-Signale die Brücke passierende Fahrzeuge detektiert sowie deren Geschwindigkeit, die (Quer-)Position auf der Brücke und die Achszahl ermittelt werden. Dies erfolgt in Anlehnung an [5]. Darüber hinaus soll untersucht werden, ob es möglich ist bestehendes Konzept, um die Ermittlung der Fahrzeugparameter Achsabstand und -gewicht zu erweitern. Hierfür sollen die Methoden aus [4] betrachtet werden. Die Genauigkeit und Güte der Ergebnisse gilt es im Anschluss zu analysieren. Zuletzt soll als Ausblick die Berücksichtigung einer Mehrfachüberfahrt (z.B. Überholmanöver auf der Brücke) und die Anwendung des trainierten Systems auf andere Bauwerke (Transfer Learning) konzipiert werden.

## Prinzipieller Ablauf

- Literaturrecherche B-WIM & KI (Fokus: Convolutional Neural Network, Deep Learning, Transfer Learning)
- Konzept aufstellen (in Anlehnung an [5]):
  - Erfassung der Fahrzeuge und der Fahrzeugparameter Geschwindigkeit, (Quer-)Position des Fahrzeugs auf der Brücke, Achszahl mithilfe von CNN
  - Untersuchung der Erweiterung dieses Ansatzes um die Parameter Achsabständen und Achsgewicht (in Anlehnung an [4])
  - Wahl des Sensors festlegen
- Algorithmus trainieren und testen
  - „Trainingskonzept“ für den Algorithmus (Trainings- Validierungs- und Testdatensatz) aufstellen; ggf. unter Zuhilfenahme von Simulationen am FE-Modell
  - Validierung und Testung des Algorithmus
- Beurteilung der Genauigkeit und Güte der Ergebnisse:
  - Vergleich mit allgemeingültigen B-WIM Methoden
  - Ggf. Beurteilung gemäß COST 323
- Ausblick:
  - Konzept aufstellen für Sondersituationen wie z.B. Mehrfachüberfahrten oder Stausituationen
  - Konzept aufstellen für die Anwendung des Algorithmus an anderen Brückenbauwerken (Transfer Learning)

## Vorkenntnisse

- Motivation und Interesse an der Thematik
- Gute Kenntnisse im Umgang mit der Programmiersprache Python ; ggf. Kenntnisse im Umgang mit dem FE-Programm SOFiSTiK
- Gute Kenntnisse in den Grundlagen und der Anwendung von KI

- Grundkenntnisse im Bereich Statik / Einflusslinien
- Sprache: Deutsch oder Englisch

### Literatur

- [1] Nowak, M.; Fischer, O.: Objektspezifische Verkehrslastansätze für Straßenbrücken. In: Beton- und Stahlbetonbau, Wiley, Nr. 112, S. 804-814, 2017.
- [2] Lydon, M.; Taylor, S. E.; Robinson, D.; Mufti, A. & O'Brien, E. J.: Recent developments in bridge weigh in motion (B-WIM). In: Journal of Civil Structural Health Monitoring, Springer Science and Business Media LLC, Nr. 6, S. 69-8, 2015.
- [3] Wedel, F. & Marx, S.: Prognose von Messdaten beim Bauwerksmonitoring mithilfe von Machine Learning. In: Bautechnik, Wiley, 2020.
- [4] Wu, Y.; Deng, L. & He, W.: BwimNet: a novel method for identifying moving vehicles utilizing a modified encoder-decoder architecture. In: Sensors, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Nr. 20, 2020.
- [5] Kawakatsu, T.; Aihara, K.; Takasu, A. & Adachi, J.: Deep sensing approach to single-sensor vehicle weighing system on bridges. In: IEEE Sensors Journal, IEEE, Nr. 19, S. 243-256, 2018



Technische Universität München



TUM School of Engineering  
and Design  
Chair of Concrete Structures

**Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Dipl.-Wirt. Ing.  
Oliver Fischer**

Theresienstraße 90  
Gebäude N6  
80333 München  
Germany

Tel +49.89.289.23039  
Fax +49.89.289.23030

massivbau@tum.de  
<https://www.cee.ed.tum.de/mb>

TUM School of Computation,  
Information and Technology  
Chair of Machine Learning

**Prof. Dr.sc. ETH Zürich  
Reinhard Heckel**

Theresienstraße 90  
Gebäude N3  
80333 München  
Germany

Tel +49.89.289.28020

reinhard.heckel@tum.de  
<https://www.ce.cit.tum.de/ml>

# Proposal for Master's Thesis

## Single Sensor Bridge Weigh-In-Motion (B-WIM) approach using Convolutional Neural Networks (CNN)

### Supervisor

Thibault Tepho, M.Sc. (Chair of Concrete Structures)  
Dipl.-Ing. (FH) Marcel Nowak, M.Sc. (Chair of Concrete Structures)  
Raum: N1614  
Tel.: +49.89.289.23028  
E-Mail: [thibault.tepho@tum.de](mailto:thibault.tepho@tum.de)  
[marcel.nowak@tum.de](mailto:marcel.nowak@tum.de)

Jiayu Liu, M.Sc. (Chair of Machine Learning)

Raum: N6304  
Tel.: +49.89.289.28023  
E-Mail: [jiayu.liu@tum.de](mailto:jiayu.liu@tum.de)

### Motivation

The development of traffic load models for bridges requires knowledge about heavy traffic crossing the bridge and its properties. These are e.g. the vehicle speed, weight and dimensions. To record passing vehicles and determine its characteristics, Bridge Weigh-In-Motion (B-WIM) can be applied. [1]

A B-WIM system captures and weighs vehicles in traffic through the analysis of the structural response of a bridge, e.g. the strain at bottom side of a bridge. The sensors used therefore are generally strain gauges. Through the measured signals vehicle parameters can be determined. [2]

In general, there are two procedures regarding B-WIM systems: On the one hand, the data analysis is done by using a smart sensor layout which usually consists out of many sensors. Through specific analysis of the signals from single sensors and correct combination of these results, the vehicle parameters can be determined quite easily. However, there are high monitoring costs due to the high number of sensors. On the other hand, it is theoretically possible to determine all vehicle parameters with only few sensors. Therefore complex algorithms are necessary which mostly leads to high numerical costs and results sensitive to changes.

Artificial Intelligence (AI) methods are a helpful tool to solve the latter problem in an efficient way [3]. Regarding B-WIM first research studies have been done, as e.g. in [4] and [5]. In the context of these studies, however, the algorithms are mostly trained with numerical data.

## Objective

The aim of this thesis is to develop a B-WIM algorithm with AI methods following [5]. The chosen approach is to determine (almost) all vehicle parameters by using only a single sensor on the bridge. This will be done using Convolutional Neural Networks (CNN) [5].

For this task, only single events of a vehicle passing the bridge should be considered with a system of one (or multiple) CNN. Through signals of a strain gauge, passing vehicles are detected and their speed, (transversal) position on the bridge and number of axles are determined. This should be done in accordance to [5]. Furthermore, the extension of the algorithm to determine the axle spacing and axle weight of the vehicle should be investigated, by considering the methods used in [4]. The accuracy and quality of the results should be analyzed afterwards. Finally, as part of the outlook, the adaptation of the algorithm for the passing of multiple vehicles simultaneously shall be designed as well as the application of the trained algorithm on other bridge structures (Transfer Learning).

## Procedure

- Literature review for B-WIM and AI (Focus on Convolutional Neural Networks, Deep Learning, Transfer Learning)
- Create a concept in accordance to [5]:
  - Detection of vehicles and determination of vehicle speed, the (transversal) position of the vehicle on the bridge and the number of axles using CNN
  - Investigate the extension of this approach, including the determination of the axle spacing and weight (following [4])
  - Choice of sensor on the bridge
- Train and test the algorithm
  - Development of a “training concept” for the algorithm (training, validation and test data sets), eventually using finite element simulations
  - Validation and testing of the algorithm
- Evaluate the accuracy and quality of the results:
  - Comparison to general B-WIM methods
  - Eventually evaluate according to COST 323
- Outlook:
  - Establish a concept for special traffic situations as e.g. multiple events on a bridge or traffic jams
  - Establish a concept for the application of the algorithm to other bridge structures (Transfer Learning)

## Previous knowledge

- Motivation and interest in the topic
- Good knowledge in Python, eventually knowledge in SOFiSTiK (FE-Program)

- Good knowledge of the basics of AI and its application
- Knowledge in the areas of static calculation and influence lines
  
- Language: German or English

## References

- [1] Nowak, M.; Fischer, O.: Objektspezifische Verkehrslastansätze für Straßenbrücken. In: Beton- und Stahlbetonbau, Wiley, Nr. 112, S. 804-814, 2017.
- [2] Lydon, M.; Taylor, S. E.; Robinson, D.; Mufti, A. & O'Brien, E. J.: Recent developments in bridge weigh in motion (B-WIM). In: Journal of Civil Structural Health Monitoring, Springer Science and Business Media LLC, Nr. 6, S. 69-8, 2015.
- [3] Wedel, F. & Marx, S.: Prognose von Messdaten beim Bauwerksmonitoring mithilfe von Machine Learning. In: Bautechnik, Wiley, 2020.
- [4] Wu, Y.; Deng, L. & He, W.: BwimNet: a novel method for identifying moving vehicles utilizing a modified encoder-decoder architecture. In: Sensors, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Nr. 20, 2020.
- [5] Kawakatsu, T.; Aihara, K.; Takasu, A. & Adachi, J.: Deep sensing approach to single-sensor vehicle weighing system on bridges. In: IEEE Sensors Journal, IEEE, Nr. 19, S. 243-256, 2018