

STUDIENARBEIT FESTIGKEITSNACHWEIS DREHGESTELLRAHMEN VIRTURO



Autor Nico Caratiola, 25.1.1994
Studium Maschinenbau/
Schienenfahrzeugtechnik;

Kontakt:
Nico.Caratiola@mailbox.tu-dresden.de

Betreuer Dipl.-Ing Holger Fricke

MOTIVATION

Im Rahmen des Studiengangs Maschinenbau gibt es mehrere Vertiefungsrichtungen, zu denen unter anderem die Vertiefungsrichtung Schienenfahrzeugtechnik gehört. Um dort schon während des Studiums viel Praxis zu vermitteln wurde vom Lehrstuhl Technik spur-gebundener Fahrzeuge das Lehr- und Lernprojekt „virturo“ ins Leben gerufen. Dort wird die in Abbildung 1.1 dargestellte Diesellokomotive (Name: virturo) als virtuelles Modell in 3D konstruiert. Großes Ziel dieses Projektes ist es am Ende eine funktionsfähige Lokomotive zu haben.



Abbildung 1: virturo [5]

In den letzten Semestern wurde ein verstärkter Fokus auf das Drehgestell, insbesondere den Drehgestellrahmen gelegt.

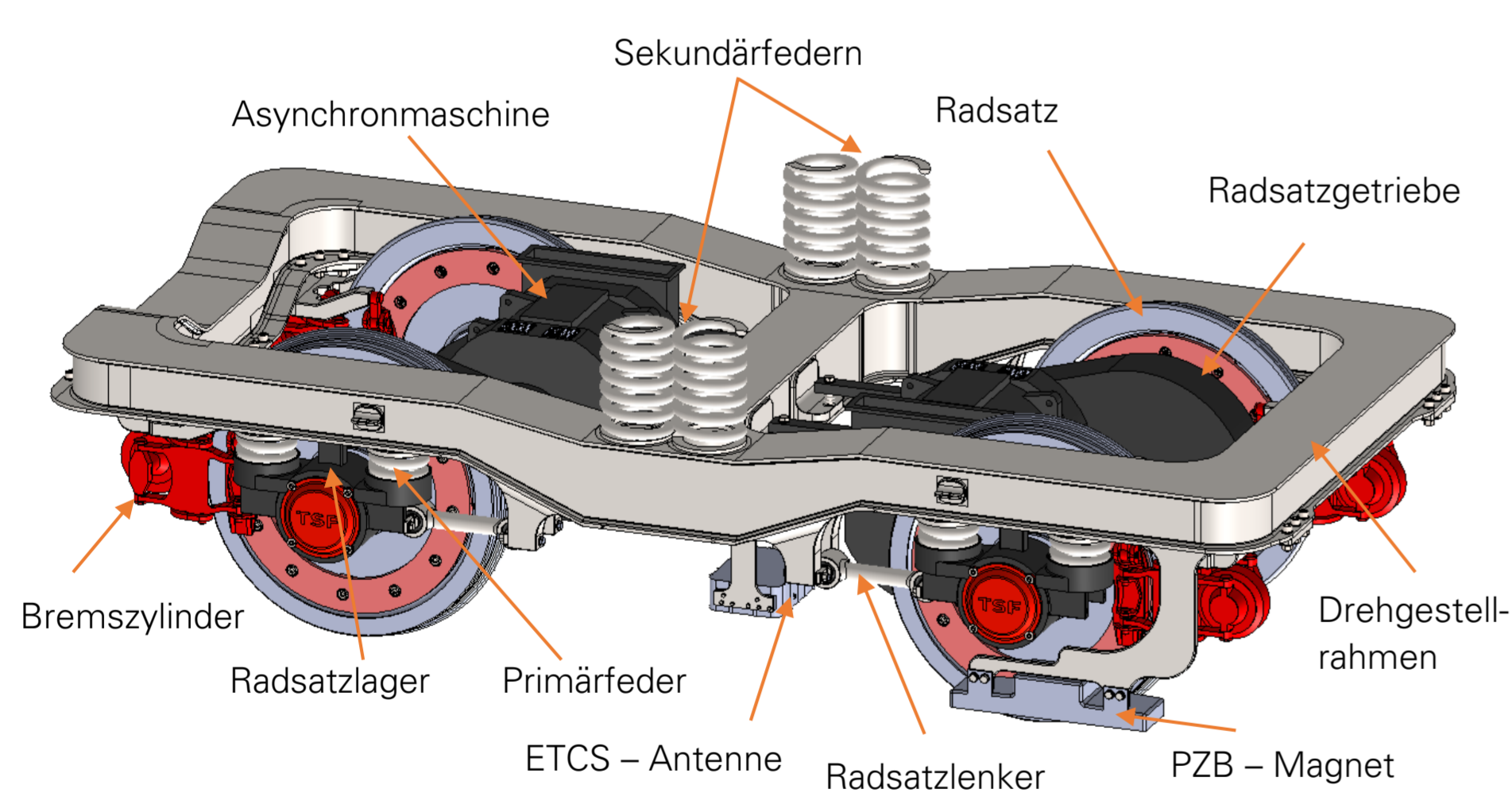


Abbildung 2: virturo Drehgestell

Für den Drehgestellrahmen müssen noch ein statischer Festigkeitsnachweis und ein Ermüdungsfestigkeitsnachweis erbracht werden. Hierfür sind alle Lastfälle zu ermitteln. Da es sich hierbei um ein mehrfach statisch unbestimmtes Tragwerk handelt, ist es sinnvoll die Festigkeitsnachweise mittels der Finite Elemente Methode (FEM) zu erbringen. Ein besonderes Augenmerk soll hierbei auf die Schweißnahtberechnung gelegt werden. Diese wird mit dem Strukturspannungskonzept durchgeführt.

LASTANNAHMEN

Zuerst muss die Belastungssituation für den Drehgestellrahmen geklärt werden. Die nachzuweisenden Lastfälle werden für Drehgestellrahmen in der DIN EN 13749 beschrieben, wobei der Festlegung der Stoß- und Betriebsfaktoren für den Antrieb eine besondere Bedeutung zukommt. Der Antrieb kann je nach Fahrzeug stark variieren, sodass hier keine allgemeinen Angaben gemacht werden können.

Die Stoß- und Betriebsfaktoren für den Antrieb sind daher individuell abzuschätzen. Das virturo Drehgestell besitzt zwei Tatzlagerantriebe. Eine Asynchronmaschine treibt über eine Kupplung und ein einstufiges Getriebe die Radsatzwelle an. Nach Körner kann das Kurzschlussmotormoment das fünffache des Nennmomentes betragen, sodass der Stoßfaktor hierfür gleich fünf gesetzt werden kann.

Hinzu kommen noch die Trägheitskräfte des Antriebs während des Anfahrens oder Bremsens. Diese sind nach DIN EN 13749 ebenfalls individuell für die jeweilige Antriebsvariante festzulegen. Für die Studienarbeit wurde der Antrieb wie ein Anbauteil behandelt, wodurch sich die Stoßfaktoren für die x Richtung zu $c_s = 3g$, für die y- Richtung zu $c_s = 10g$ und für die z Richtung zu $c_s = 20g$ ergeben. Die Betriebsfaktoren ergeben sich für die x Richtung zu $c_b = 2,5g$, für die y- Richtung zu $c_b = 5g$ und für die z Richtung zu $c_b = 6g$.

STRUKTURSPANNUNGSKONZEPT

Bei einem Festigkeitsnachweis wird die vorhandene Spannung mit der zulässigen Spannung verglichen. Je nach Nachweiskonzept (Nennspannungs-, Strukturspannungs-, Kerbspannungskonzept) werden spannungserhöhende Effekte, wie Kerben oder Werkstoffinhomogenitäten auf der Widerstandsseite des Werkstoffs oder in Berechnungsmodell berücksichtigt.

Das Strukturspannungskonzept bildet alle spannungserhöhenden Effekte die aus der Konstruktion an sich resultieren im Rechenmodell ab. Werkstoffinhomogenitäten sowie die Schweißnahtübergangs- und Schweißnahtwurzelkerbe werden auf der Widerstandsseite des Werkstoffs berücksichtigt. Sodass sich für die konstruktiven Details der in Abbildung 3 gezeigt Spannungsverlauf ergibt.

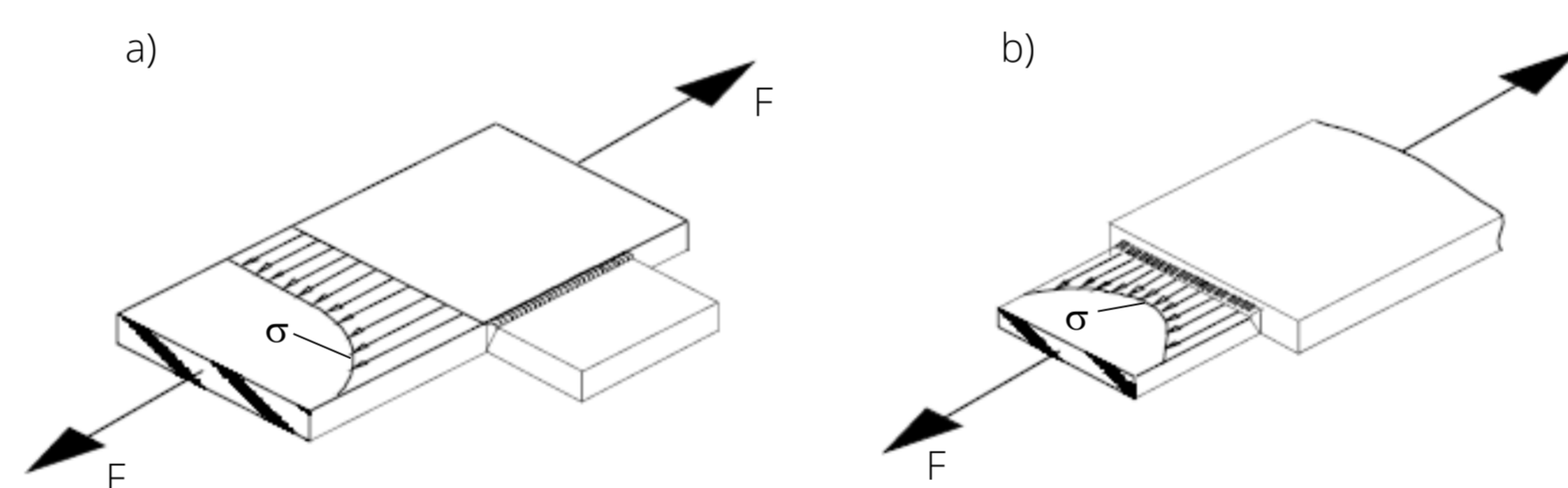


Abbildung 3: Strukturspannung am konstruktiven Detail [4].

Nach [4] wird die Strukturspannung nach Abbildung 4 mittels Spannungsextrapolation an der Schweißnahtübergangskerbe ermittelt.

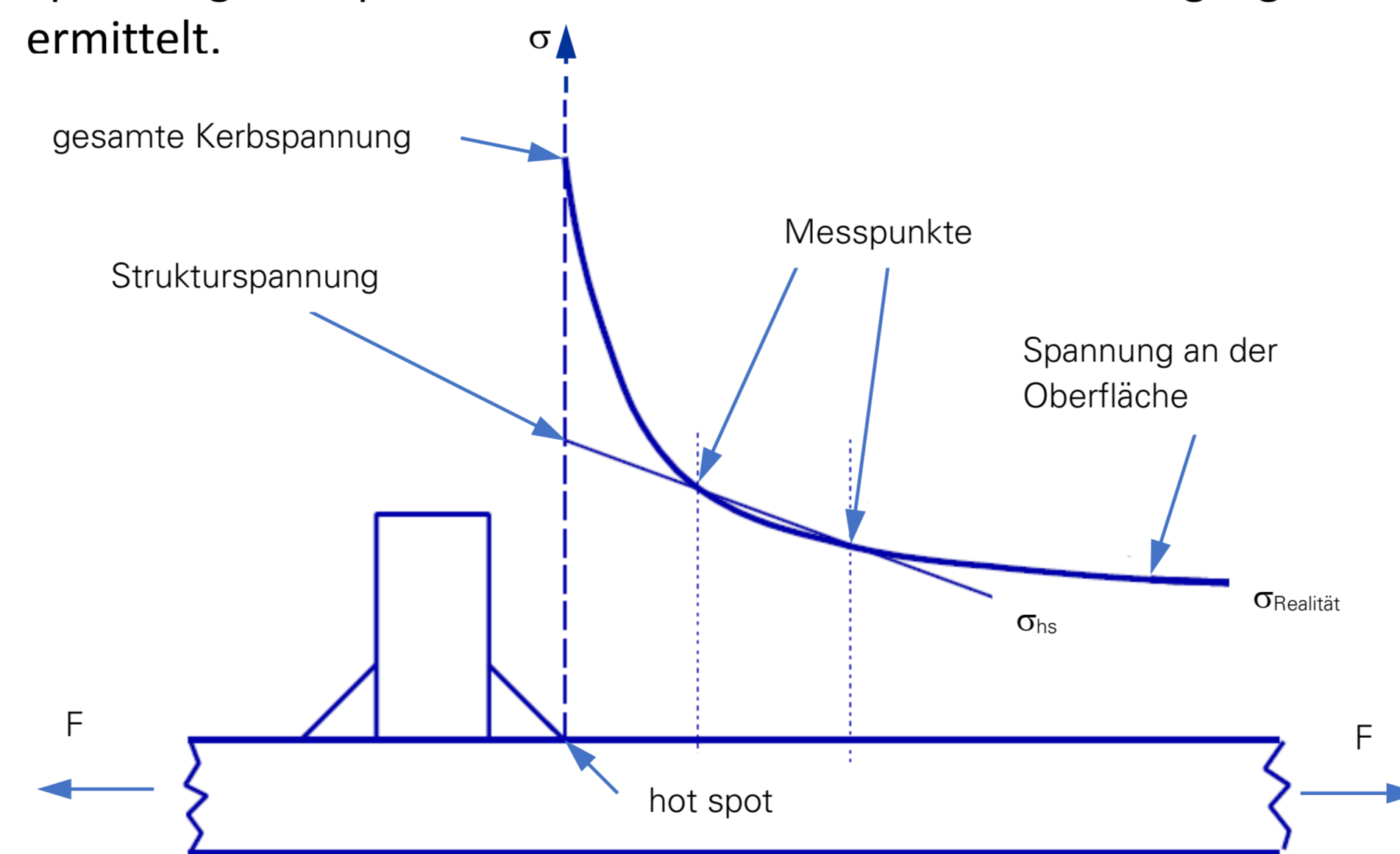


Abbildung 4: Strukturspannungsermittlung [4].

Der Vorteil des Strukturspannungsnachweis liegt im Gegensatz zum Nennspannungskonzept darin, dass beim Ermüdungsfestigkeitsnachweis die Wöhlerlinien nur die spannungserhöhenden Effekte der Schweißnaht an sich, nicht jedoch die konstruktiven Details beinhalten müssen, da diese im Berechnungsmodell mit berücksichtigt werden.

Sind im Wöhlerlinienkatalog für das Nennspannungskonzept konstruktive Details enthalten, mit denen die Situation am Drehgestellrahmen beschrieben werden kann, kann die Wöhlerlinie ebenfalls verwendet werden. Es muss dafür eine Umbewertung der Wöhlerlinie erfolgen um diese für das Strukturspannungskonzept anwenden zu können. Dazu sind zwei Referenzmodelle zu erstellen, eins für das in der Wöhlerlinie

dargestellte konstruktive Detail und eins für die am Drehgestellrahmen vorhandene Situation. Anschließend werden die gleichen Lasten aufgebracht und die Ergebnisse der Modelle miteinander verglichen. Nach 4 ergibt sich die neue Fatigue class (FAT) Klasse zu:

$$FAT_{\text{bewertet}} = \frac{\sigma_{\text{stru,ref}}}{\sigma_{\text{stru,bewertet}}} \cdot FAT_{\text{ref}}$$

ERGEBNISSE

Für den statischen Festigkeitsnachweis konnte für den Drehgestellrahmen an der höchst belastetsten Stelle eine Auslastung von 0,85 bei Vernachlässigung plastischer Tragreserven und eine Auslastung von 0,16 unter Berücksichtigung plastischer Tragreserven ermittelt werden.

Im Dauerfestigkeitsnachweis wurde für die höchst belastetste Stelle eine Auslastung von 0,8 ermittelt.

Insgesamt kann der Festigkeitsnachweis damit als erbracht angesehen werden.

FAZIT

Hauptaufgabe war es den Drehgestellrahmen so weiter zu entwickeln, dass der Festigkeitsnachweis erbracht wird. Dazu wurden verschiedene Varianten entwickelt und anschließend per FEM bzgl. ihrer Festigkeit bewertet, was viel Zeit in Anspruch genommen hat.

Die gewählten Stoßfaktoren für die Lastannahmen des Antriebs sind sehr hoch, sodass eine Überprüfung der Annahmen mit einem Mehrkörpersimulationsmodell erfolgen sollte.

Die Berechnung des Drehgestellrahmens mittels Strukturspannungskonzept lässt sich zwar in FEM gut durchführen. Allerdings ist die Bestimmung der zulässigen Spannung für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis sehr aufwendig. Oft müssen die Wöhlerlinien vom Nennspannungskonzept in das Strukturspannungskonzept überführt werden, um den Drehgestellrahmen nicht über zu dimensionieren. Das stellt insgesamt einen Mehraufwand gegenüber dem Nennspannungskonzept da, sodass der Festigkeitsnachweis mit dem Nennspannungskonzept schneller erfolgen kann.

LITERATUR

- [1] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2011. EN 13749: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Festlegungen für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen. Berlin: Beuth Verlag, Juni 2011
- [2] DVS – DEUTSCHER VERBAND FÜR SCHWEISSEN UND VERWANDTE VERFAHREN E.V., 2014. DVS 1612: Gestaltung und Dauerfestigkeitsbewertung von Schweißverbindungen mit Stählen im Schienenfahrzeugbau. Düsseldorf: DVS Media GmbH, August 2014
- [4] HOBACHER, Adolf, 2014. Recommendation for fatigue design of welded joints and components: International Institute of Welding, doc XIII-2460-13/XV-1440-13. Paris, May 2014
- [5] KÖRNER, Olaf, 2004. Vergleich mechanischer Antriebskonzepte für Drehstrom- Hochleistungslokomotiven. In: Elektrische Bahnen. 2004(11), Seiten (463-473). ISSN: 0013-5437
- [5] TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN, 2019, virturo: Das Lehr- und Lernprojekt für Studierende der TU Dresden, 19.05.2019 [Zugriff am: 19.06.2019] Verfügbar unter: https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ibb/sft/studium/virturo/?set_language=de