

Physikalische und numerische Modellierung von Hochwasserschutzmaßnahmen im urbanen Raum

Dirk Carstensen, Jens Wilhelm, Markus Schuckert & Rocco Zimmermann

Neben den eigentlichen Bemessungsparametern (Wasserstand, Fließgeschwindigkeit) für Hochwasserschutzbauwerke und den damit im Zusammenhang stehenden Maßnahmen sind im Rahmen von Bemessungsstrategien unter Verwendung sinnvoller und bemessungsrelevanter Randbedingungen (vegetationsphasenbedingte Rauheitsparameter, W-Q-Beziehungen und/oder Abflussganglinien) für die i.d.R. durchzuführende Modellierung auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Verweilzeit des Hochwassers im urbanen Raum, das Retentionsvermögen oder die daran gekoppelten Ausgleichsmaßnahmen zu betrachten.

Die Ergebnisse numerischer oder physikalischer Modelle finden heutzutage beispielsweise Eingang in Hochwasserschutzkonzepte, Maßnahmen im Rahmen von Alarmierungsstufen, Evakuierungspläne oder Festlegungen im Zusammenhang mit der Durchsetzung von Bebauungsplänen.

Schwerpunktmäßig wird die Erstellung sowie die Ergebnisse numerischer Simulationen (Elbe, Landeshauptstadt Dresden) und einer hybriden Modellierung (Hochwasserschutz Stadt Grimma) für Sommer- und Winterhochwasser in Bezug auf die Realisierung von Hochwasserschutz- bzw. Hochwasservorsorgemaßnahmen erläutert.

Stichworte: numerische hydrodynamische Modelle, physikalische Modellversuche, Modellapproximation, Hochwasser, Hochwasservorsorge

1 Einleitung

Wie bereits in DKKV (2003) bemerkt wurde, wird es keinen absoluten Schutz vor Hochwasser geben. Ebenfalls wird in dieser Veröffentlichung des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge e. V. darauf hingewiesen, dass es generell besser wäre, statt von Hochwasserschutz von Hochwasservorsorge zu sprechen und vom „Sicherheitsversprechen“ zum „Umgang mit dem Risiko“ überzuleiten.

Unter Berücksichtigung dieser Vorbemerkungen sind die aus den physikalischen Modellversuchen und numerischen Modellen abgeleiteten Ergebnisse, die in die-

ser Veröffentlichung erläutert werden, als Schutzmaßnahmen vor Überflutungen des Hinterlandes zu verstehen. Es handelt sich demzufolge um Arbeiten im Sinne der Hochwasservorsorge, da sie ein statistisches Hochwasserabflussereignis (HQ), in der Regel das HQ mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (HQ100), als Randbedingung berücksichtigen. Sämtliche Arbeiten im Zusammenhang mit der Modellierung setzen stets ein hohes Maß an fachlicher Kompetenz und Verantwortungsbewusstsein, eine interdisziplinäre Kommunikation im Rahmen der Lösungsfindung sowie eine intensive Erkenntnisvermittlung während der Planung und öffentlichen Diskussion voraus.

2 Datenlage und Modellapproximation

Aufgrund des hohen Standards bezüglich der Datenaufbereitung und der Genauigkeitsanforderungen sowie des Anspruches sämtlicher Beteiligter im Untersuchungs- und Planungsprozess sind für Bundeswasserstraßen sowie Fließgewässer 1. und 2. Ordnung folgende Daten und Darstellungen grundsätzlich verfügbar:

- Längs- und Querschnitte des Fließgewässers im Untersuchungsgebiet;
- Topografische Karten, Lage- und Höhenpläne, Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung auf der Grundlage von Color-Infrarot-Luftbildern (CIR), Kartierungen der Planungselemente;
- Digitale Geländemodelle (DGM);
- Bildflugdaten, Orthophotos und Intensitätenkarten;
- Angaben und Bestandspläne von Brücken, Querbauwerken, Straßen und gegebenenfalls vorhandenen Uferbauwerken.

Um eine hohe Präzision im Rahmen der jeweiligen Modellierung erreichen zu können, müssen Fehler in den Ausgangsdaten von vornherein unterbunden werden. Dazu sind die Ausgangsdaten auf Konsistenz, Genauigkeit und Umfang zu prüfen. Sofern Defizite ermittelt werden, z.B. ein sehr großer Abstand von Querprofilen im Flusslauf, sollten im Vorgang zur Modellierung ergänzende Vermessungen vorgenommen werden. Dadurch kann eine Verdichtung und teilweise Vervollständigung der Datenbasis erreicht werden bzw. werden Kontrollmöglichkeiten, z.B. der bestehenden Lage- und Höhenkoordinaten, geschaffen.

Für die heute im Rahmen der Hochwasservorsorge in der Regel anzufertigenden zweidimensionalen (2d) hydrodynamischen numerischen (HN) Modelle werden parallel Geo-Informationen-Systeme (GIS) erstellt oder mit entsprechenden Daten erweitert. Um den Anforderungen an die Genauigkeit der Messdaten gerecht werden zu können, sollten für die Aufnahme von Sohl- und Vorlandhöhen, die Messung der Fließgeschwindigkeitsverteilung, die Ermittlung von querschnitt-

sbezogenen Durchflüssen, die Bestimmung von morphologischen Parametern oder die Kartierung von Vegetationsparametern hohe Ansprüche an die Messtechnik oder die Bestimmungsmethoden gestellt werden. Beispielsweise sollte DGPS-Technik (Differential Global Positioning System) zur Ermittlung von Lagekoordinaten oder zur Vermessung von Bauwerken, Peillote zur Erhebung von Bathymetriedaten oder Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) zur Beschreibung des Strömungsfeldes oder des zeitabhängigen Abflusses eingesetzt werden. Auf der Grundlage solcher Datensätze ist dann in der Regel die Kalibrierung und Validierung eines dem heutigen Stand der Technik angemessenen zweidimensionalen HN-Modells auf hohem Niveau möglich.

Bezüglich der Modellanforderungen oder der Approximation der in der Natur vorstatten gehenden Vorgänge gelten heute in der Hydraulik für die physikalische und numerische Modellierung ähnliche Ansprüche.

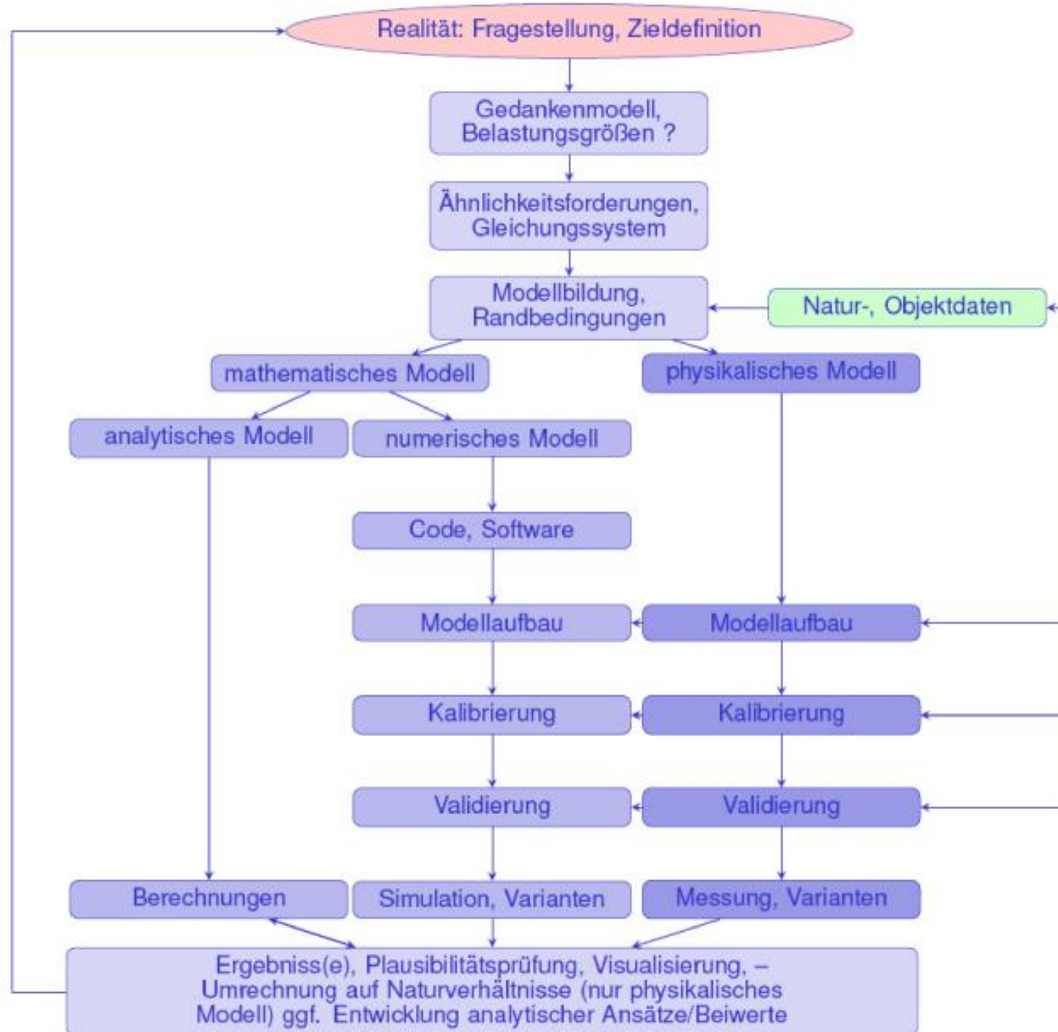


Abbildung 1 Modellbildung, Modellerstellung und Approximation der Vorgänge

Im urbanen Raum werden, maßgeblich motiviert durch die Extremhochwasser an der Elbe und Mulde im August 2002, heutzutage verschiedenste stationäre und mobile Systeme zum Schutz vor Überflutungen bei Hochwasser eingesetzt. In den seltensten Fällen wurden im Rahmen der Stadtplanung in den vergangenen Jahrhunderten weiträumige Vorländereines innerstädtischen Flusses oder sogar Flutmulden als Maßnahmen der Hochwasservorsorge angesehen und gewürdigt. Die Schwierigkeit in der Modellierung besteht oft darin, sämtliche Vorsorgemaßnahmen so abzubilden, dass ihre hydraulische Funktion richtig wiedergegeben wird.

3 Modelle

3.1 Numerisches Modell

Verschiedene dokumentierte Hochwasser der Elbe haben die Wirkungen von Eis (Eisgang, -stau) und Verklausungen an Brücken sowie die Effekte des Verlustes von Querschnittsfläche für den Abfluss des Flusses infolge anthropogener (Sandackverbau, Kleingartenanlagen, etc.) und geogene (Anlagerungen von Feststoffen im Vorlandbereich) Veränderungen für den Wasserstand und die Ausbildung der Wasserspiegellage in urbanen Gebieten verdeutlicht.

Seit dem Hochwasser der Elbe im Jahr 2002 können mittels eines am Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD) der Technischen Universität Dresden entwickelten zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen (2d-HN) Modells (Horlacher & Carstensen & Gierra, 2003 und Horlacher & Carstensen & Wilhelm, 2006) die Auswirkungen von historisch bedingten Flussregelungen, von errichteten Deichen und Flutmulden, von zivilisationsbedingten Versiegelungen der Geländeoberfläche innerhalb der Stadt, von Auflandungen in den Vorlandbereichen nach Hochwasserereignissen sowie von temporär eingeleiteten Schutzmaßnahmen auf die Ausbildung des Wasserstandes der Elbe, die Überflutungsflächen und die Strömungsverhältnisse in speziellen Bereichen bei unterschiedlichen Hochwasserabflüssen ermittelt werden. Die Ausdehnung des Modells beträgt 50 km Flusslänge und reicht von Elbekilometer (El-km) 30+000 bis 80+000. Die Kalibrierung und Validierung konnte sowohl für Hochwasser-, Mittelwasser- und Niedrigwasserabflüsse vorgenommen werden. Ein wichtiger Referenzpunkt ist dabei stets der Pegel Dresden (El-km 55+600).

Die Flexibilität und Erweiterbarkeit numerischer Modelle kann mittels eines im vergangenen Jahr durchgeführten Projektes unter Anwendung des oben erwähnten Modells belegt werden (Carstensen & Wilhelm & Zimmermann & Küllig, 2012). Wie bereits bei verschiedensten Projekten im Nahfeld der Elbe wurde im

Rahmen einer Bebauungsplanung im Bereich des Neustädter Hafens in Dresden die Frage aufgestellt, welche Einflüsse für die Ausbildung der Wasserspiegellage und der Geschwindigkeitsverteilung beim Bemessungshochwasser zu erwarten sind und in welcher Größenordnung sich Veränderungen ausbilden können.



Abbildung 2 Detail des Modell-/Untersuchungsbereiches stromab der Marienbrücke in Dresden – Neustädter Hafen (Quelle: GeoSN)

Im bis zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Modell war dieser Bereich den hydraulischen Erfordernissen entsprechend diskretisiert worden. Die Erweiterung des Modellgitters, welche aufgrund der geplanten Umgestaltung und Bebauungsplanung notwendig wurde, kann für den ersten Planungsabschnitt der folgenden Abbildung entnommen werden.

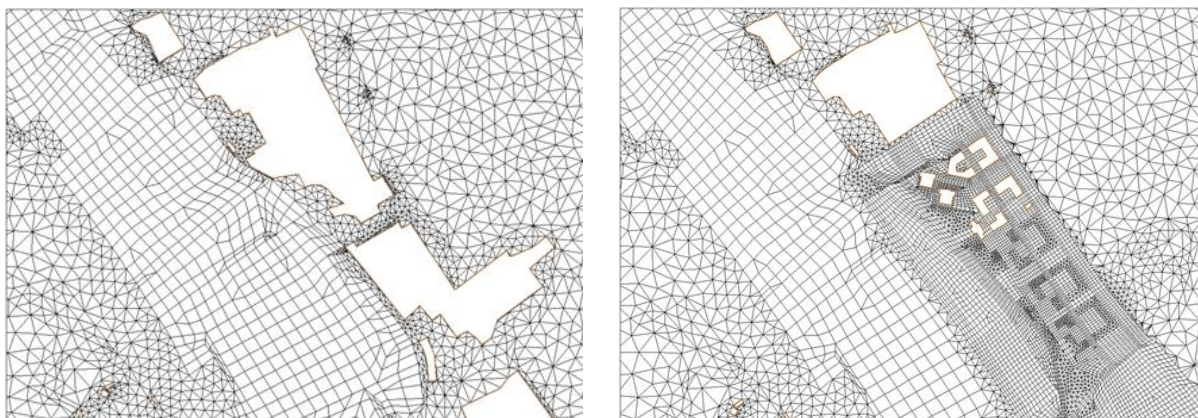


Abbildung 3 Detail Modellgitter des 2d_HN-Modells der Elbe (El-km 30,0 bis 80,0) stromab der Marienbrücke in Dresden – links: Ist-Zustand vor der Modellierung des Planungsgebietes Neustädter Hafen – rechts: Modellvariante mit Planungsgebiet Neustädter Hafen

Die hydraulischen Rauheiten innerhalb des neu modellierten Gebietes wurden anhand von Erfahrungswerten sowie den aus der Literatur bekannten Angaben-

festgelegt. Für die Ermittlung von Bemessungswerten für die Hochwasservorsorge wurden quasi-stationäre Berechnungen für den Ist- und den Planzustand durchgeführt. Die Ergebnisse für die Ausbildung der Wassertiefe bei einem HQ100 werden in Abbildung 4 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Veränderungen marginal sind und eine Neutralität der Abflussausbildung bestätigt werden konnte.

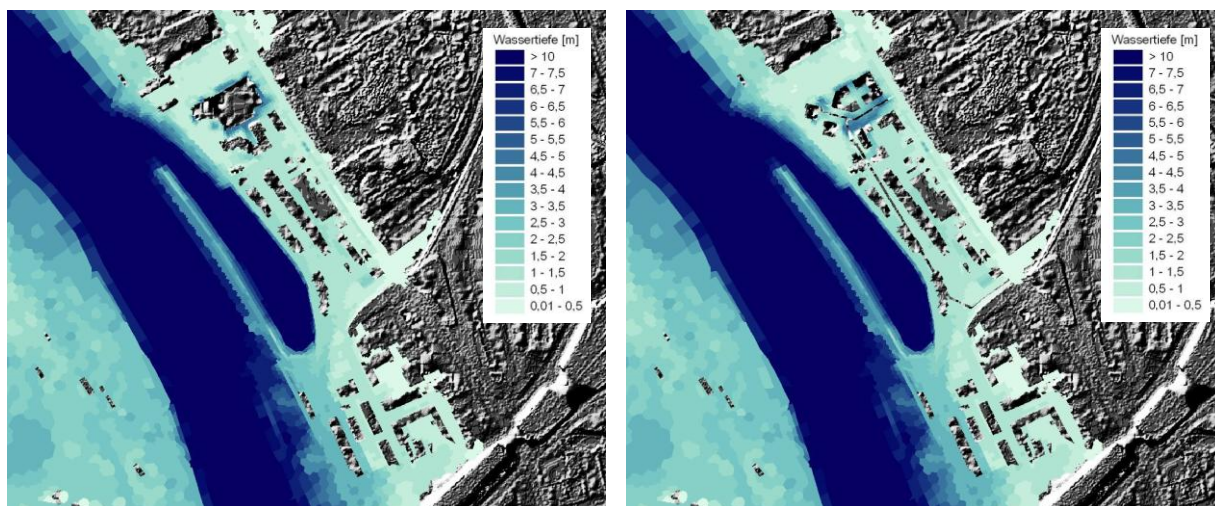


Abbildung 4 Ergebnisse des 2d-HN-Modells – links: Wassertiefenausbildung infolge eines HQ100 der Elbe unter Berücksichtigung des IST-Zustandes vor der Modellierung des Planungsgebietes Neustädter Hafen – rechts: Wassertiefenausbildung infolge eines HQ100 der Elbe unter Berücksichtigung einer Modellvariante mit Planungsgebiet Neustädter Hafen

3.2 Physikalisches Modell

Die im Freistaat Sachsen gelegene Stadt Grimma erstreckt sich linksseitig der Vereinigten Mulde (Mulden-km 80+830 bis 79+000). Das Stadtgebiet ist gerade wegen seiner Lage in einem aufgeweiteten Talraum extrem hochwassergefährdet. An der Großmühle in Grimma sind die seit Jahrhunderten immer wiederkehrenden Überflutungen eindrucksvoll dokumentiert.

Speziell nach dem Hochwasser des Jahres 2002 bestand bei der für den Hochwasserschutz an der Vereinigten Mulde zuständigen Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) mit dem Betrieb Elbaue / Mulde / Untere Weiße Elster ein zwingender Informationsbedarf zur Risikoabschätzung und Bemessung verschiedener Hochwasserschutzanlagen, die sowohl die hydraulischen Bedingungen als auch die städtebaulichen Gegebenheiten berücksichtigen sollten. Dazu wurden verschiedene Ingenieurbüros und Forschungseinrichtungen mit Planungsaufgaben und speziellen Untersuchungen beauftragt. Das IWD wurde in diesem Zusammenhang von o.g. Betrieb mit der hybriden Modellierung der hydraulischen Verhältnisse bei Hochwasser der Vereinigten Mulde in

Grimma beauftragt. Da es sich hierbei um einen ca. 10 km langen Modellbereich handelte, wurde aus Platz- und Kostengründen nur ein Teilbereich physikalisch und der Gesamtbereich in Form eines 2d-HN-Modells modelliert.

Mit dem am IWD durchgeführten Projekt sollten einerseits Untersuchungen zur ingenieurtechnischen Beurteilung strömungsbedingter Zusammenhänge durchgeführt und andererseits eine transparente Darstellung hydraulischer Probleme in Verbindung mit städteplanerischen und landschaftskulturellen Entwicklungen vollzogen werden. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, wurde hauptsächlich ein physikalisches Modell in einem angepassten Maßstab (1:50) erstellt. Unter Berücksichtigung der zum damaligen Zeitpunkt vorhandenen Datenlage wurde für den physikalischen Modellversuch das nach William Froude (1810–1879) benannte Ähnlichkeitsgesetz der Hydraulik verwendet. Danach ergaben sich folgende Maßstabfaktoren (ML, L = Länge):

Länge $ML = 50$; Fläche $ML^2 = 2.500$; Volumen $ML^3 = 125.000$;

Kräfte $ML^3 = 125.000$; Geschwindigkeit $ML^{1/2} = 7,071$; Abfluss $ML^{5/2} = 17,678$



Abbildung 5 Physikalischer Modellversuch im Maßstab 1:50 [K. Eckhold, TU Dresden]

Die Motivation für die Durchführung des hydraulischen Modellversuches bestand einerseits darin, primäre Aussagen zur Ausbildung des Wasserstandes in Abhängigkeit vom Hochwasserereignis, den gewählten Varianten der Profilierung des Flussbettes und des Vorlandes sowie den implementierten Bauwerken und Hochwasserschutzanlagen zu erarbeiten und andererseits einem breiten Publikum transparente Eindrücke über die hydraulischen Zusammenhänge zu vermitteln.

Im Nachgang wurden an diesem Modell ebenfalls Untersuchungen zur Vermeidung eines Eisstaus unter Berücksichtigung verschiedener Brückenplanungen für die Steinbrücke (Pöppelmannbrücke) durchgeführt und Lösungsvorschläge bezüglich des optimalen lichten Pfeilerabstandes im Verhältnis zur Eisschollen-

konzentration bzw. der relativen Kantenlänge der Eisschollen gemacht (Carstensen, 2010 und 2012).

4 Resümee

Die vorangegangenen Ausführungen haben verdeutlicht, dass numerische und physikalische Modellierungen für die Hochwasservorsorge unabdingbare Hilfsmittel sind. Die Flexibilität und Prognosefähigkeit bei der Anwendung numerischer Modelle steht dabei dem höheren Visualisierungsfaktor und den weitaus höheren Kosten des physikalischen Modells gegenüber.

5 Referenzen

Carstensen, D.: A laboratory investigation of the hydraulics and mechanics of model ice floes at bridge piers; In: Wang Yuanzhan (Hrsg.): Proceedings of the Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering (CGJoint 2010), Tianjin, China. : published by Tianjin University Press; 457-462

Carstensen, D.: Flow under ice cover and jam effects; In: Murillo Munoz: Proc. of the intl. Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2012) Sept. 2012, San Jose, Costa Rica, 5-7 September, CRC Press Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-62129-8, pp. 1139-1144

Carstensen, D., Wilhelm, J., Zimmermann, R., Küllig, A. (2012): Hydraulisches Gutachten im Plangebiet des Neustädter Hafens in Dresden, IWD, FO2012/11

Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) (2003): Hochwasservorsorge in Deutschland – Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet

Horlacher, H.-B., Carstensen, D., Gierra, T. (2003): Zweidimensionale Analyse von Wasserständen und Fließvorgängen der Elbe und der Weißeritz bei definierten Abflussverhältnissen und Randbedingungen im Stadtgebiet von Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD), TU Dresden, FO2003/14

Horlacher, H.-B., Carstensen, D., Wilhelm, J. (2006): Potenzielles Überflutungsgebiet der Elbe im Stadtgebiet der Landeshauptstadt Dresden bei ausgewählten Abflussszenarien, IWD, FO2006/09

Horlacher, H.-B.; Carstensen, D.; Buhr, St.; Haufe, H.; Schuckert, M. (2006): Hochwasserschutz Vereinigte Mulde, Stadt Grimma - Hydraulische Modellierung zur Erfassung der Hochwasserabflussverhältnisse und zur Ermittlung der Auswirkungen von Hochwasserschutzmaßnahmen, IWD, FO2006/11

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen
dirk.carstensen@ohm-hochschule.de

Dipl.-Ing. Jens Wilhelm
jens.wilhelm@ngi.de

Dipl.-Ing. Markus Schuckert
m.schuckert@koban-schuckert.de

Dipl.-Ing. Rocco Zimmermann
rocco.zimmermann@tu-dresden.de