

Einflüsse auf die Homogenität von Referenzdichten in Sand

(Factors affecting homogeneity in the determination of reference densities in sandy soils)

Johanna Batereau, ehem. Saturnus

Einleitung

Dichteversuche stellen im Bereich der Geotechnik eine wesentliche Rolle dar. Ziel der Arbeit soll sein, die Homogenität von Einbauproben zu untersuchen und falls vorhanden, Entmischungsneigungen zu charakterisieren. Für die Versuche werden die Ausgangsmaterialien Dresdner Sand (SE), Filtersand (SE), Hostun Sand (SE) und Guttauer Ton (CIV) verwendet. Im Rahmen der Homogenitätsanalyse erfolgt neben den genannten Ausgangsmaterialien eine Betrachtung von gezielt hergestellten Mischproben. Der Fokus der Analyse wird auf die Versuche zur Bestimmung der Grenzlagerungsdichten nach DIN 18126:2022-10 sowie dem laborinternen Verfahren zur lockersten Lagerung unter Wasser gelegt. Zudem sollen die Versuchsdurchführungen zu den Dichtebestimmungen hinsichtlich Reproduzierbarkeit, Einordnung der Trockendichten in den Bereich der Grenzlagerungen und Korrelationen von Bodenparametern untersucht werden.

Lockerste Lagerung unter Wasser

Der Versuch zur lockersten Lagerung unter Wasser (LLUW) beschreibt einen Dichteversuch, der in der Vorgehensweise analog zur lockersten Lagerungsgrenze zu betrachten ist. Der Einbau des Versuchsmaterials erfolgt regulär über das Trichterverfahren, jedoch im vollgesättigten Zustand. Einzelne Teilschritte zur Durchführung des Versuches sind Abb. 1 zu entnehmen.

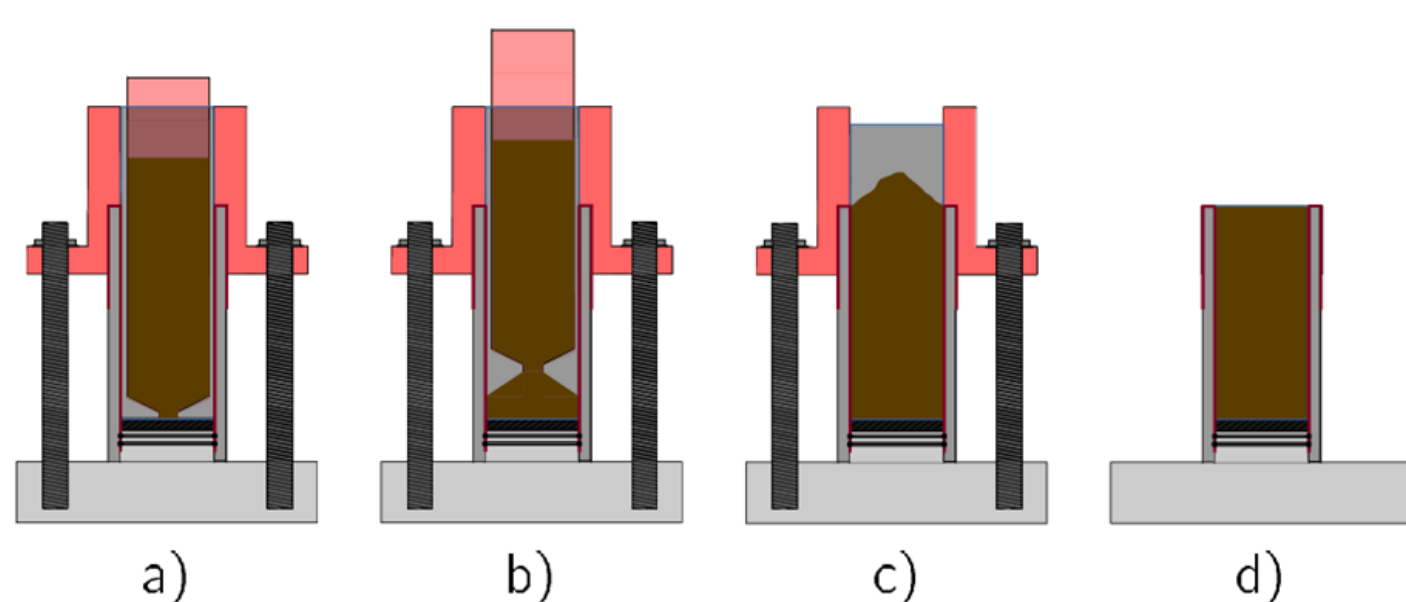


Abb. 1: Vorgehensweise des Versuches zur LLUW (Bačić, 2024)

Ausgangssituation stellt ein mit Versuchsmaterial gefüllter, zentrisch in den Versuchszylinder installierter und in Vertikalrichtung beweglicher Trichter dar (siehe Abb. 1a)). In Abb. 1b) wird der Trichter gleichmäßig unter stetigem Kontakt zu der sich im Versuchszylinder einstellenden Schüttkegelspitze vertikal nach oben befördert. Das Versuchsmaterial befindet sich in Abb. 1c) nun vollständig eingebaut innerhalb des Versuchszylinders. Über Abnahme eines Aufsatzes wird aufliegendes Probenmaterial auf Höhe der Oberkante des Versuchszylinders abgeglichen, sodass das Volumen der Einbauprobe dem Volumen des Versuchszylinders gleichgesetzt werden kann (siehe Abb. 1d)). Im Folgenden lassen sich über das Verhältnis Masse zu Volumen die entsprechenden Dichten der Einbauprobe bestimmen.

Der Versuch zur lockersten Lagerung unter Wasser steht im Mittelpunkt der im Rahmen der Projektarbeit durchgeführten Untersuchungen und Analysen. Die Durchführung zur Bestimmung der lockersten Lagerung unter Wasser wurde ursprünglich aufgrund einer Erweiterung von Dichteversuchen für die Untersuchung von beauftragtem Tagebaumaterial am IGT der TUD entwickelt. Aufbauend auf der Dissertation von B. Bačić (2024) und der Diplomarbeit von T. Zschernig (2023) erfolgen in dieser Arbeit ergänzende Untersuchungen unter dem Ziel der Kenntniserweiterung zur Vorgehensweise dieses Versuches. Um die Ergebnisse des Versuches zur LLUW einordnen zu können, wird durchgängig Bezug auf die nach DIN 18126:2022-10 genormten Lagerungsgrenzdichten genommen. Die Abmessungen der Versuchszylinder sind bei den genannten Dichteversuchen identisch.

Homogenitätsanalyse

Die Einbauproben der Dichteversuche werden anhand der folgenden drei Versuchsreihen

- 1 - Ausgangsmaterial,
- 2 - Mischungsmaterial und
- 3 - Variation Einbaumethode des Versuches zur LLUW

auf Homogenität der Kornstrukturen analysiert.

Teilungskonzept

Grundlage der Homogenitätsanalyse stellt eine Teilung der aus den Dichteversuchen erhaltenen Einbauproben in entsprechende Homogenitätsbereiche dar. Senkrecht wird sich bei dem Teilungskonzept auf eine Unterteilung in drei Abschnitte (Kern- und zwei Randbereiche) festgelegt. Infolge einer horizontalen Unterteilung in fünf Ebenen gleicher Schichthöhen h_s ergeben sich insgesamt 15 Homogenitätsbereiche (siehe Abb. 2), die im Folgeschritt und Rahmen der Homogenitätsanalyse auf mittleren Korngrößendurchmesser untereinander verglichen werden. Der Ausbau und die gleichzeitige Teilung der Homogenitätsbereiche aus dem Versuchszylinder erfolgt je nach Zustand der Einbauprobe über eine Saugapparatur, Ausstechen bzw. Abschneiden oder Auslöffeln.

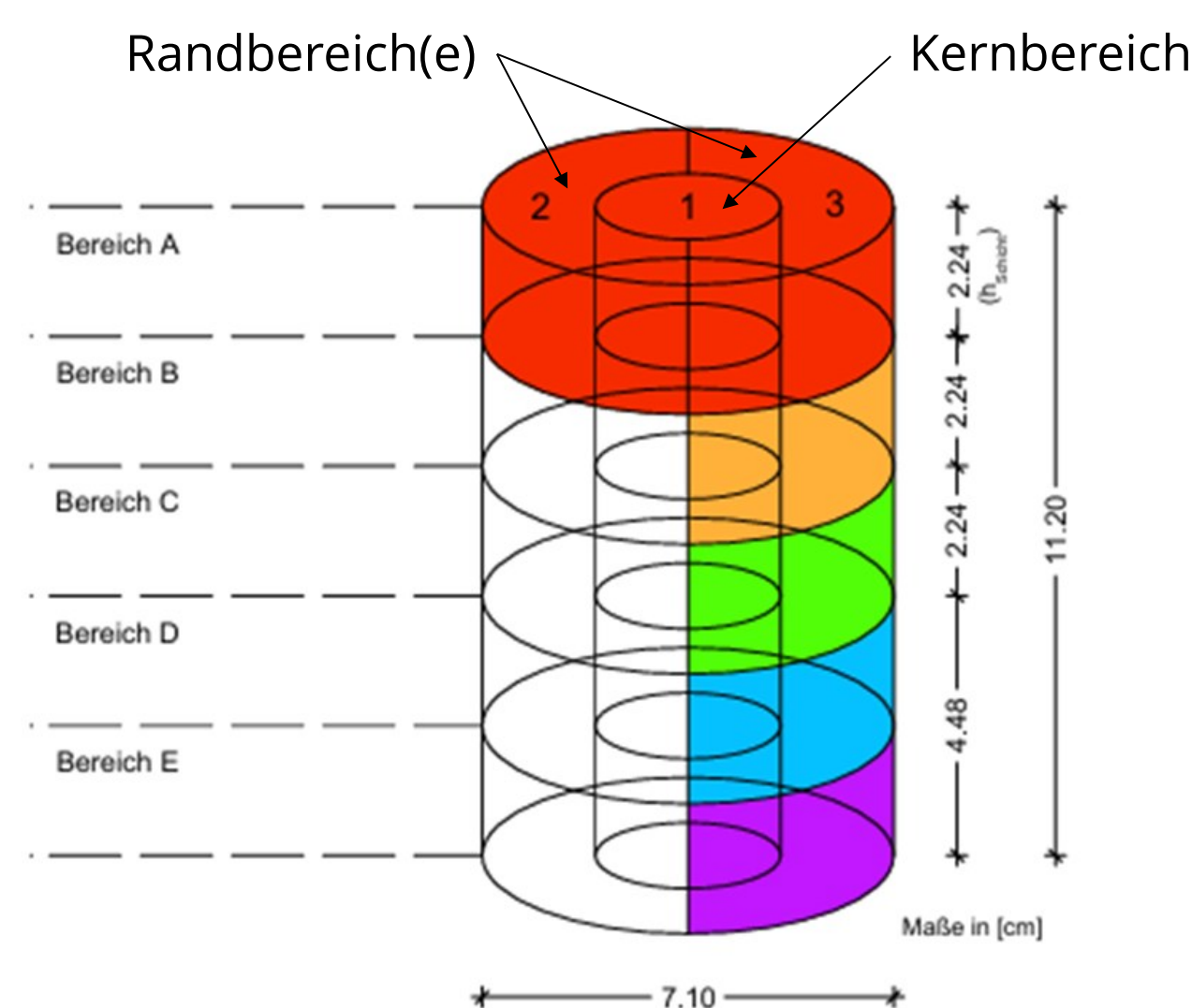


Abb. 2: Teilungskonzept Homogenitätsbereiche je Einbauprobe

Auswertung

Je Einbauprobe werden die Korngrößenverteilungen der 15 Teilproben mittels dynamischer Bildanalyse mit der *Analysette 28 Imagesizer* von Fritsch bestimmt.

Ergebnisse

Anhand der Durchführung der jeweiligen Versuchsreihen der Homogenitätsanalyse konnte festgestellt werden, dass sich eine Entmischung bei allen Versuchsmaterialien einstellt. Dresdner Sand zeichnet dabei die stärksten Abweichungen der Korndurchmesser je Homogenitätsbereich.

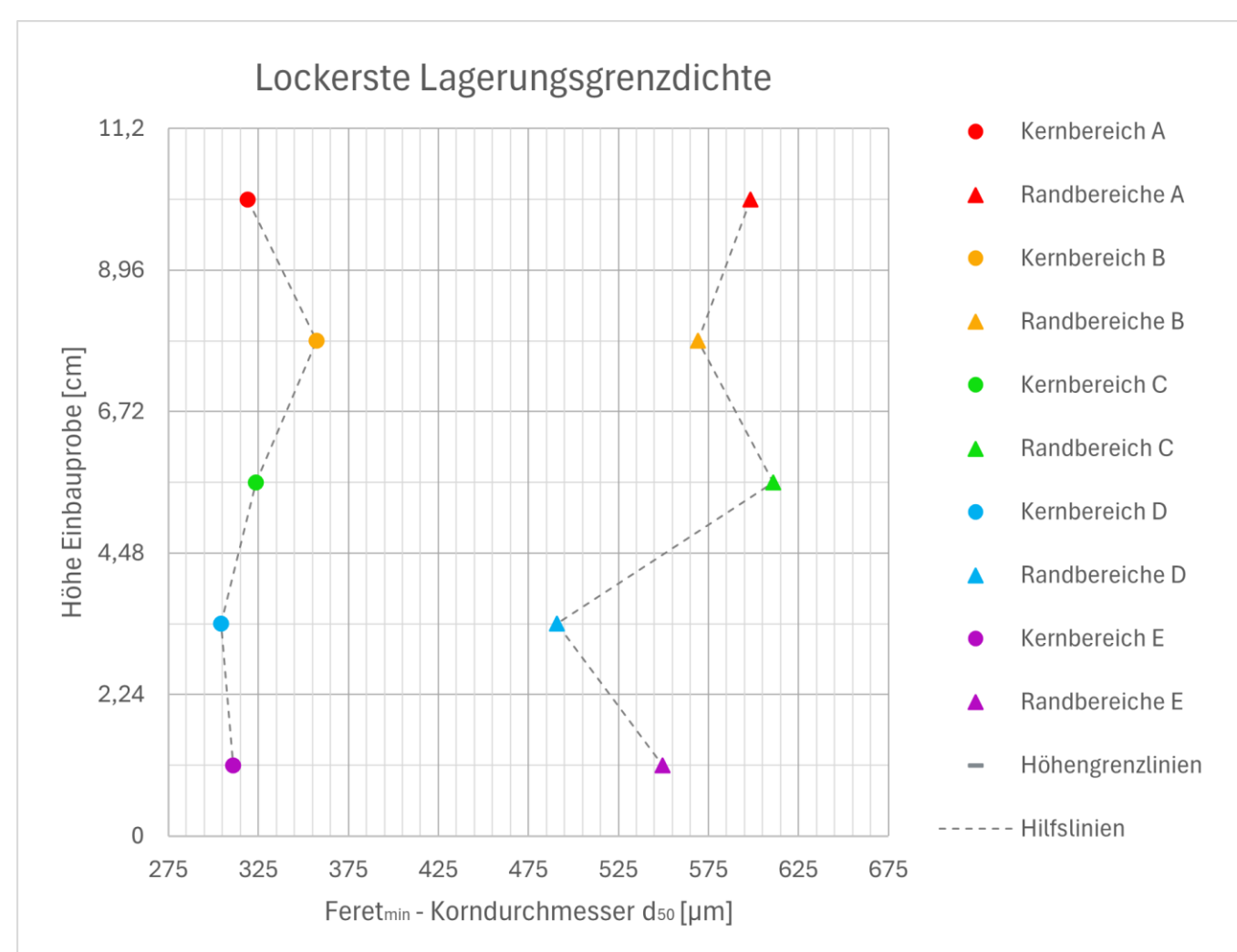


Abb. 3: Korndurchmesser der Einbauprobe, Dresdner Sand

Die Versuche der lockersten Lagerungen weisen basierend auf Anwendung gleichen Probenmaterials im Vergleich zur Einbauprobe der dichtesten Lagerungsgrenze stärkere Entmischungsneigungen auf. Besonders deutlich werden die Entmischungserscheinungen über Bezug der Einbauhöhe zum mittleren Korndurchmesser je Homogenitätsbereich (Abb. 3, am Bsp. Dresdner Sand). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Entmischungsneigung bei steigender Ungleichförmigkeit C_u zunimmt. Einfluss auf die Ergebnisse der Homogenitätsanalyse hat ebenfalls die Einbaumethode, wobei sich zentrische Trichterbefüllung am auffälligsten hinsichtlich Kornumlagerungen verhält. Das Ausgangsmaterial entmischt sich, trotz Engstufung, überwiegend auf horizontaler Ebene (siehe Abb. 3). Im Kernbereich lassen sich über die Höhe betrachtet im Mittel Kornpartikel kleineren Durchmessers feststellen.

Die in Versuchsreihe 2 erstellte Mischprobe MP1 weist idealisiert ein prozentuales Mischverhältnis von 95 % Dresdner Sand zu 5 % Guttauer Ton auf. Es lassen sich anhand der drei Dichteversuche unter Zunahme der Einbauprobenhöhe grundsätzlich sinkende Korndurchmesser verzeichnen (siehe Abb. 4, am Bsp. des Versuches zur lockersten Lagerungsgrenze). Infolge eines erhöhten Feinkornanteils über Hinzugabe von Guttauer Ton erhält der Dresdner Sand vor allem unter Wasserkontakt horizontale höhere Stabilität im Korngewebe. Dies führt zu geringeren Streuungen der Korndurchmesser zwischen Kern- und Randbereich.

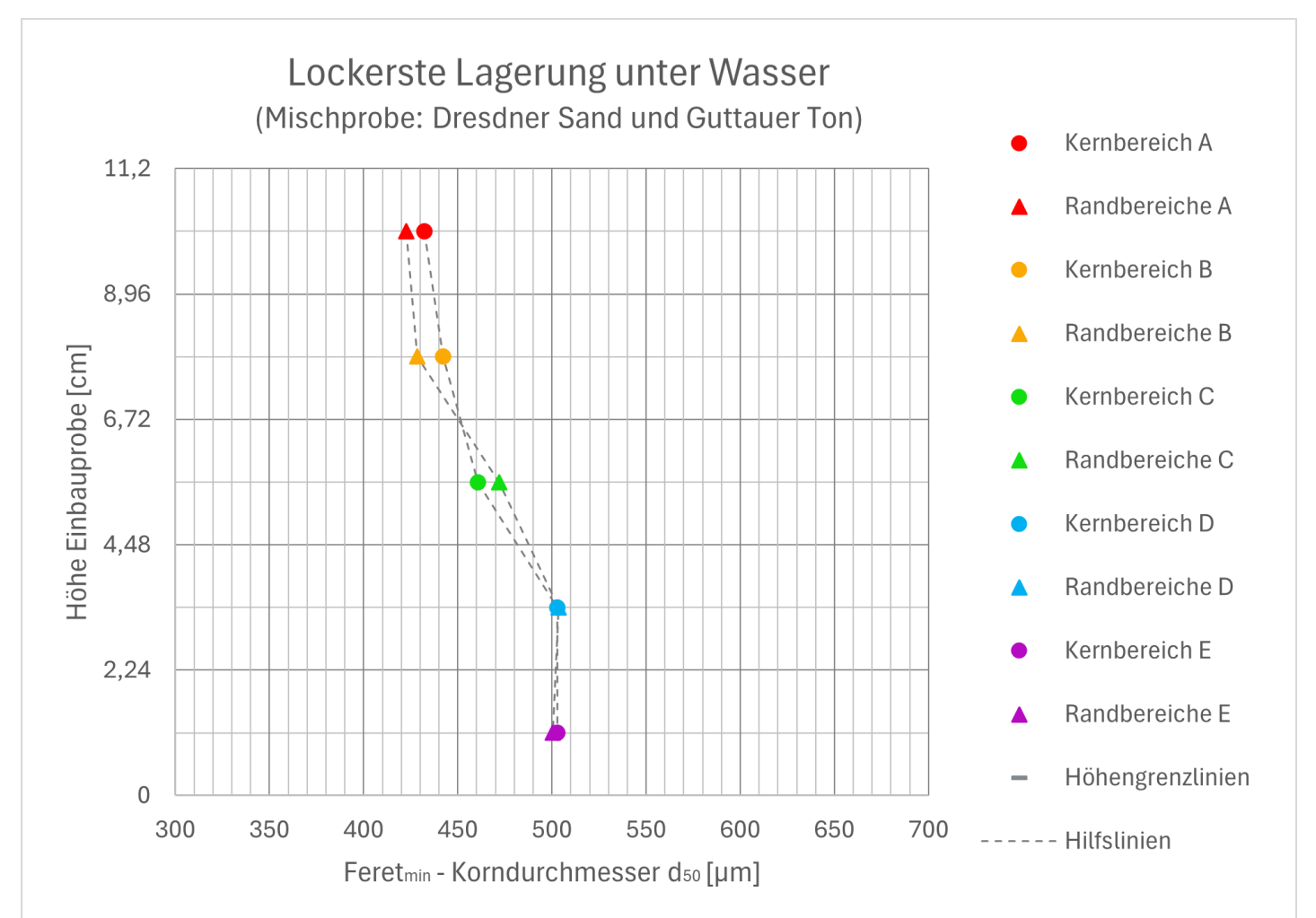


Abb. 4: Korndurchmesser der Einbauprobe, Mischprobenmaterial

Zusammenfassung

Anhand der Projektarbeit wird die Reproduzierbarkeit des Versuches zur lockersten Lagerung unter Wasser nachgewiesen. Entmischungen von Kornpartikeln sind bereits bei enggestuftem Kornmaterial erkennbar, verstärkt unter Einbau des Trichterverfahrens, wodurch die Theorie nach Schulze (2019) bestätigt wird. Die Intensität der Entmischung ist abhängig von der Ungleichförmigkeit C_u . Eine Erhöhung des Feinkornanteils bewirkt im Gegensatz zu dem Ausgangsmaterial eine Zunahme der horizontalen Stabilität im Korngerüst der Einbauprobe. Gleiches kann bei der Verwendung von Wasser festgestellt werden. Vertikal lagern sich feinere Kornpartikel verstärkt im oberen Bereich der Einbauprobe ab.

Projekt
Projektarbeit

Hochschullehrer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden

Wissenschaftliche Betreuung
Dr.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden
Dipl.-Ing. (FH) Claudia Bräunig, TU Dresden

Abgabe
Februar 2026