ZWISCHENBERICHT

FFG Projektnummer	864688	**eCall Antragsnummer**	12875148
Kurztitel	RDVK-Vibrocontrol	**FörderungsnehmerIn**	TU Wien Institut für Geotechnik
Bericht Nr.	2. Zwischenbericht	**Berichtszeitraum**	01.01.2019 – 31.12.2019
Bericht erstellt von	Peter Nagy		

Richtwert für den Umfang: 10-15 Seiten

1. Ziele und Ergebnisse

- Inwieweit wurden die dem Förderungsvertrag zugrunde liegenden Ziele bisher erreicht?
  Sind diese Ziele noch aktuell bzw. realistisch?
  Achtung: Änderungen von Zielen erfordern eine Genehmigung durch die FFG.
- Vergleichen Sie die Ziele mit den erreichten Ergebnissen.
- Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

Im zweiten Forschungsjahr konnten die im Forschungsantrag beschriebenen Projektziele realisiert werden. Dabei standen die Vorbereitung und Durchführung der zweiten Versuchsserie der großmaßstäblichen experimentellen Untersuchungen sowie die Auswertung der aufgezeichneten Messdaten der ersten Versuchsserie im Vordergrund.

Im Rahmen der zweiten Versuchsserie der großmaßstäblichen experimentellen Untersuchungen konnte ein umfangreiches Messprogramm umgesetzt werden. Ein Tiefenrüttler wurde mit einem weiterentwickelten Mess- und Datenübertragungssystem aufgerüstet und zahlreiche Verdichtungsversuche durchgeführt. Diese Experimente fanden auf einem Versuchsfeld in Singapur statt.

Des Weiteren konnten bei der numerischen Modellierung des Rüttler-Boden Interaktionssystems wesentliche Fortschritte erzielt werden. Dabei wurde in erster Linie auf das Oberflächenwellenfeld konzentriert. Die numerischen Simulationsergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung mit den messtechnisch erfassten Daten.

2. Arbeitspakete und Meilensteine

2.1 Übersichtstabellen

Erläuterung:
Die Tabellen sind analog zum Förderungsansuchen aufgebaut.
Basistermin: Termin laut Förderungsansuchen bzw. laut Vertrag gültigem Projektplan
Aktuelle Planung: Termine entsprechend der zum Zeitpunkt der Berichtslegung gültigen Planung

Tabelle 1: Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertig-stellungs-grad	Basistermin		Aktuelle Planung		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anfang	Ende	Anfang	Ende	
1	Projektmanagement	66%	Q1 18	Q4 20	Q1 18	Q4 20	siehe Pkt. 2.2
2	Voruntersuchungen	100%	Q1 18	Q3 18	Q1 18	Q3 18	siehe Pkt. 2.2
3	Großmaßstäbliche experimentelle Untersuchungen	100%	Q4 18	Q1 19	Q4 18	Q4 19	siehe Pkt. 2.2
4	Numerische Simulationen	50%	Q1 18	Q4 20	Q1 18	Q4 20	siehe Pkt. 2.2
5	Auswertung und Interpretation	25%	Q1 19	Q4 20	Q1 19	Q4 20	siehe Pkt. 2.2
6	Veröffentlichung	20%	Q2 19	Q4 20	Q2 19	Q4 20	siehe Pkt. 2.2

2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

- Beschreiben Sie die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten aller beteiligten Partner, strukturiert nach den Arbeitspaketen.
- Konnten die Arbeitsschritte und -pakete gemäß Plan erarbeitet werden? Gab es wesentliche Abweichungen?
- Die Beschreibung beinhaltet ebenso eine allfällige Änderung der angewandten Methodik. Achtung: Änderungen an der Methodik und wesentliche Änderungen im Arbeitsplan erfordern eine Genehmigung durch die FFG.

AP1 Projektmanagement

Beteiligte Projektpartner: TU Wien, UIBK, Keller

Im Rahmen von Projektbesprechungen wurden die Erfahrungen der ersten Versuchsserie der großmaßstäblichen experimentellen Untersuchungen in Untersiebenbrunn, die aktuellen Ergebnisse der numerischen Modellierung sowie die erforderlichen Änderungen am Messsystem und auf dem Verdichtungsgerät eingehend diskutiert. Im Zuge dieser Treffen wurden der Ablaufplan und das Messkonzept für die zweite Versuchsserie der Experimente erarbeitet sowie der Projektablaufplan und der Projektzeitplan aktualisiert. Darüber hinaus wurden im Laufe des zweiten Forschungsjahres regelmäßig fachliche Diskussionen in kleineren Arbeitskreisen geführt.

AP2Voruntersuchungen

Beteiligte Projektpartner: TU Wien, UIBK, Keller

Nachdem im Zuge der ersten Versuchsserie nicht das ursprünglich geplante Versuchsprogramm abgewickelt werden konnte, wurde eine zweite Versuchsserie geplant und durchgeführt. Diese Versuche fanden in Oktober und November 2019 statt.

Diese Experimente wurden im Rahmen einer Baustelle in Singapur realisiert, da dort die Randbedingungen für derartige Experimente ideal geeignet waren. Dieser Umstand ermöglichte es auch, den mit Messsensorik aufgerüsteten Tiefenrüttler unter Baustellenbedingungen zu testen. Des Weiteren waren dadurch Experimente bei Untergrundverhältnissen möglich, die von jenen am

Versuchsfeld in Untersiebenbrunn maßgeblich abwichen. Somit konnte der Verdichtungsprozess unter drei voneinander deutlich unterschiedlichen Untergrundbedingungen untersucht werden.

Auslegung eines Mess- und Datenübertragungskonzepts

Aufgrund der im Zuge der Versuchsdurchführung in Untersiebenbrunn aufgetretenen Probleme am Verdichtungsgerät und am Messsystem war die Ausrüstung eines zweiten Tiefenrüttlers mit Messsensorik erforderlich. Das angewendete Mess- und Datenübertragungssystem entsprach grundsätzlich jenem der ersten Versuchsserie. Auf Basis der Erfahrungen wurde dieses jedoch geringfügig adaptiert und durch zusätzliche Messaufnehmer ergänzt. Unter anderem wurde ein Drehbeschleunigungsaufnehmer auf dem Rüttlerkörper installiert sowie ein Digitalkompass zur Dokumentation der Verdrehung des Rüttlerkörpers während des Verdichtungsvorgangs herangezogen. Das Messsystem wurde in der Werkstatt der Firma Keller in Renchen auf den Tiefenrüttler installiert und anschließend sorgfältig getestet. Nach Feststellung der Funktionsfähigkeit des Verdichtungsgerätes und des Messsystems wurde der Tiefenrüttler auf die Baustelle nach Singapur transportiert.

<u>AP3 Großmaßstäbliche experimentelle Untersuchungen</u>

Beteiligte Projektpartner: TU Wien, UIBK, Keller

Erarbeitung eines detaillierten Abwicklungsplans für die Experimente

Da die großmaßstäblichen experimentellen Untersuchungen im Zuge des Baustellenbetriebs ausgeführt worden sind, war der Raster des Testfelds durch den Austeilungsplan der Baustelle vorgegeben. Der Ablaufplan dieser Verdichtungsversuche ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Darüber hinaus wurde ein zweites Testfeld geplant, welches sich in vier Bereiche mit unterschiedlichem Abstand der Rüttleransatzpunkte unterteilen ließ. Das Ziel dieser Experimente war, eine Grundlage für die Optimierung der Rüttleransatzpunkte zu schaffen. Der Ablaufplan der Experimente und das Untergrunderkundungskonzept wurden gemeinsam von TU Wien, UIBK und Keller in enger Zusammenarbeit mit der örtlichen Bauleitung erarbeitet.

Die Erkundung des Untergrundes auf dem Versuchsfeld erfolgte in erster Linie mittels Kernbohrungen und Drucksondierungen. Um den Ausgangszustand im Untergrund feststellen zu können, wurden vor Beginn der Verdichtungsversuche am Testfeld zahlreiche Drucksondierungen (CPTu) im unverdichteten Boden durchgeführt. Diese Untersuchungsergebnisse ließen auf weitestgehend homogene Untergrundverhältnisse schließen.

Des Weiteren wurde in unmittelbarer Nähe des Versuchsfeldes eine Kernbohrung bis zu einer Tiefe von 15,0 m abgeteuft. Aus dem Bohrkern wurden Bodenproben entnommen. Diese werden sowohl in einem lokalen Erdbaulaboratorium in Singapur als auch im Erdbaulaboratorium des Institutes für Geotechnik, an der TU Wien untersucht.

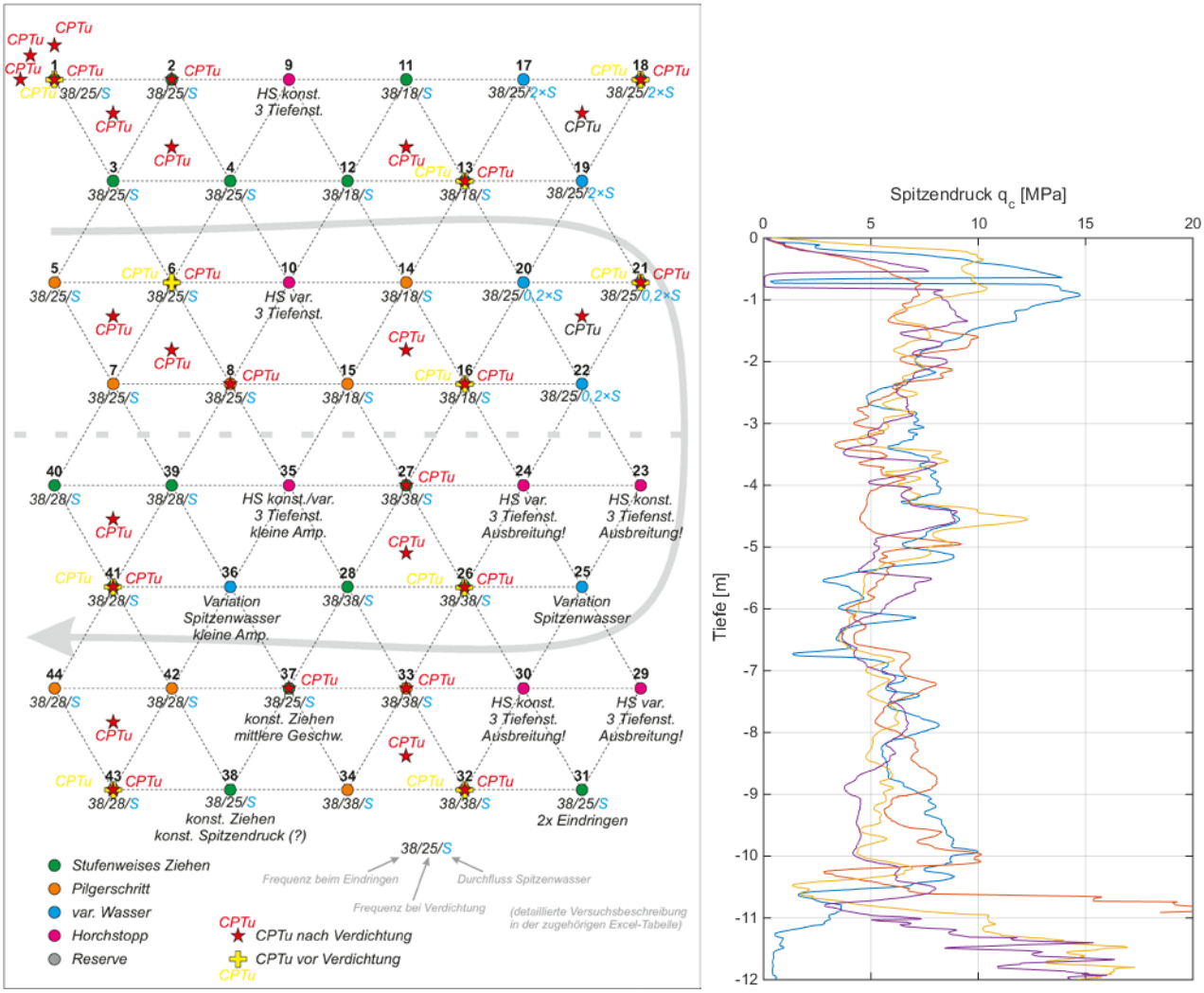

Abbildung 1. Auszug aus Ablaufplan der Verdichtungsversuche (links), Ergebnisse von Drucksondierungen auf dem Versuchsfeld (rechts)

Die Verdichtungstiefe wurde für sämtliche Versuche bei einer Tiefe von 11,7 m unter Geländeoberkante festgelegt. Die Randbedingungen auf der Baustelle waren ideal geeignet für die Durchführung der geplanten Experimente.

Installation des Messystems auf dem Verdichtungsgerät

Auf der Baustelle wurde der mit Messsensorik ausgerüstete Tiefenrüttler und die weiteren Messaufnehmer auf das Trägergerät installiert und anschließend das Messsystem in Betrieb genommen. Der Tiefenrüttler wurde vorerst in der Luft hängend in Schwingung gebracht und das Mess- und Datenübertragungssystem getestet und die aufgezeichneten Messsignale auf Plausibilität geprüft. Nach einem erfolgreichen Test des Mess- und Datenübertragungssystems konnte mit den Verdichtungsversuchen begonnen werden.

Durchführung der Experimente

Vorerst wurden außerhalb der geplanten Versuchsfelder Testversuche durchgeführt. Dabei wurden in erster Linie wesentliche Verfahrens- und Prozessparameter für den standardmäßigen

Rüttlerbetrieb festgelegt, sowie die Zusammenarbeit zwischen mit dem lokalen Personal trainiert.

Im Zuge der Verdichtungsversuche wurde der standardmäßige Rüttlerbetrieb eingehend untersucht. Bei der Rütteldruckverdichtung erfolgt die Verdichtung von unten nach oben, wobei grundsätzlich die folgenden zwei unterschiedlichen Arten von Verdichtungsabläufen zu unterscheiden sind:

- Der Tiefenrüttler wird stufenweise angehoben und bei der jeweiligen Tiefenstufe bei konstanter Rütteltiefe gehalten.
- Im Pilgerschrittverfahren wird der Rüttler periodisch angehoben und anschließend wieder in den zu verdichtenden Boden abgesenkt.

Im Zuge der experimentellen Untersuchungen wurden beide Arten von Verdichtungsabläufen getestet und dadurch eine Grundlage für eine systematische Gegenüberstellung geschaffen. Darüber hinaus wurden zahlreiche Parametervariationen durchgeführt, wobei beispielsweise die Rüttlerfrequenz, die zugeführte Wassermenge und die Höhe der Verdichtungsschritte variiert worden sind.

Zufolge der Rüttlerschwingung breiten sich seismische Wellen im Untergrund aus. Ein Teil dieser Wellen erreicht die Geländeoberfläche und pflanzt sich als Oberflächenwelle fort. Das Oberflächenwellenfeld wurde im Zuge der Verdichtungsversuche mit Schwingbeschleunigungsaufnehmern erfasst. Im Zuge der großmaßstäblichen experimentellen Untersuchungen wurden insgesamt vier Messsensoren auf der Geländeoberfläche, in unterschiedlichen Abständen vom jeweiligen Rüttleransatzpunkt, positioniert.

Während der Verdichtungsversuche wurden an der Leitstelle auf dem Trägergerät die Verdichtungsversuche koordiniert sowie die Messsignale laufend beobachtet und ihre Qualität geprüft. Dadurch konnte auf unerwartete Ereignisse während der Versuche sofort reagiert werden und eine eventuelle Fehlfunktion der Messaufnehmer oder des Messcomputers sofort erkannt werden. Die Messaufnehmer auf der Geländeoberfläche wurden vor jedem Experiment in der Nähe des bearbeiteten Verdichtungspunktes aufgestellt. Der Abstand zwischen den einzelnen Messaufnehmern und dem Verdichtungsgerät wurde bei jedem Verdichtungsversuch protokolliert.

Abbildung 2. Durchführung der Experimente auf dem Versuchsfeld in Singapur

Bereits im Zuge der experimentellen Untersuchungen erfolgte eine Vorauswertung und Plausibilitätskontrolle der aufgezeichneten Messdaten. Diese Überprüfung gewährleistete eine hohe Qualität der aufgezeichneten Messsignale.

Im Zuge der experimentellen Untersuchungen wurden laufend Vergleichsversuche mit der Drucksonde (CPTu) durchgeführt. Diese sind für eine Verifizierung der zu erwartenden Auswertungsergebnisse unerlässlich.

Die experimentellen Untersuchungen auf dem Versuchsfeld in Singapur sind als äußerst erfolgreich anzusehen. Über das ursprünglich geplante Versuchsprogramm hinaus konnten auch zusätzliche Verdichtungsversuche geplant und ausgeführt werden. Unter anderem konnte die Erfassung es Porenwasserdruckes in unmittelbarer Nähe des Tiefenrüttlers mit dem Porenwasserdruckgeber einer Drucksonde realisiert werden.

AP4 Numerische Untersuchungen

Beteiligte Projektpartner: UIBK

Im Zuge von durchgeführten Plausibilitätskontrollen und Sensitivitätsanalysen wurde – wie im 1. Zwischenbericht dargelegt – festgestellt, dass die Fundamentallösungen gemäß Banerjee und Mamoon[1] („Modell Banerjee“, siehe Abbildung 3) die betrachteten Grenzfälle einer statischen

[1] Banerjee, P. und S. Mamoon (1990). *A fundamental solution due to a periodic point force in the interior of an elastic half-space*. Earthquake Engineering und Structural Dynamics 19, S. 91-105.

Horizontallast (Lastangriffspunkt an der Oberfläche und im Unendlichen) nicht „exakt“ abbilden.

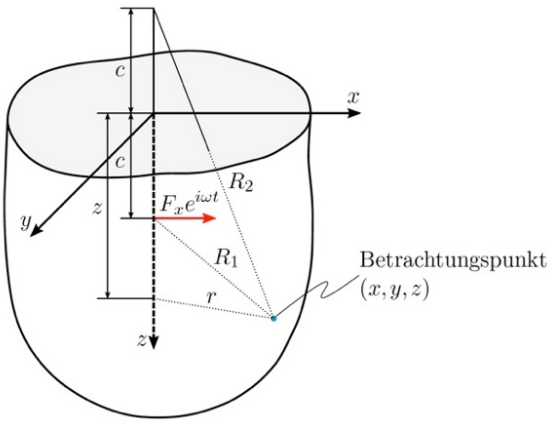

Abbildung 3. Dynamisches Halbraumproblem für eine im Halbrauminneren, parallel zur Oberfläche angreifende periodische Einzelkraft (schematisch)

Die Lösung des dynamischen Halbraumproblems ergibt sich aus der Superposition von sechs Vollraumlösungen. Die folgende Gleichung beschreibt die Lösung im Frequenzbereich am Beispiel der Verschiebung U_{xx} in x-Richtung zufolge einer in der Tiefe $z_F = c$ und in x-Richtung wirkenden harmonischen Einzelkraft $F_x(t) = F_x e^{i\omega t}$:

$$
\begin{aligned}
U_{xx} &= \sum_{l=1}^{6} U_{xx}^{(l)} = U_{xx}^{(1)} + U_{xx}^{(2)} + U_{xx}^{(3)} + U_{xx}^{(4)} + U_{xx}^{(5)} + U_{xx}^{(6)} = \\
&L_1\left[P_1 - Q_1\left(\frac{\partial R_1}{\partial x}\right)^2\right] + L_2\left[P_2 - Q_2\left(\frac{\partial R_2}{\partial x}\right)^2\right] + L_3\left[P_3\left(\frac{\partial R_2}{\partial z}\right)^2 - T_3\right]\left(\frac{\partial R_2}{\partial x}\right) + \\
&L_4\int_{\xi=-c}^{-\infty}\left[P_4\left(\frac{\partial R}{\partial x}\right)^2 - Q_4\right]\left(\frac{\partial R}{\partial z}\right)d\xi + L_5\left[P_5 + Q_5\left(\frac{\partial R_2}{\partial x}\right)^2\right] + \\
&L_6\int_{\xi=-c}^{-\infty}\left[P_6 + Q_6\left(\frac{\partial R}{\partial x}\right)^2\right](\xi - c)\,d\xi
\end{aligned}
\qquad \text{Gl. 1}
$$

mit den radialen Abständen

$$
R = \sqrt{r^2 + (z+\xi)^2}\ ,\ R_1 = \sqrt{r^2 + (z-c)^2}\ ,\ R_2 = \sqrt{r^2 + (z+c)^2}\ ,\ r^2 = x^2 + y^2 \qquad \text{Gl. 2}
$$

Die Faktoren L_1 bis L_6 in Gl. 1 hängen von der Querdehnzahl ν und dem Schubmodul μ (= G) sowie von der Lastangriffstiefe c wie folgt ab:

$$
\begin{aligned}
&L_1 = L_2 = \frac{1}{4\pi\mu}\ ,\ L_3 = \frac{c}{2\pi\mu}\ ,\ L_4 = -\frac{(1-2\nu)}{2\pi\mu} \\
&L_5 = -\frac{c^2}{2\pi\mu(3-4\nu)}\ ,\ L_6 = -\frac{(1-\nu)(1-2\nu)}{\pi\mu(3-4\nu)}
\end{aligned}
\qquad \text{Gl. 3}
$$

P_1 bis P_6 sowie Q_1 bis Q_6 in Gl. 1 sind komplexe Funktionen ($s = -i\omega$) in Abhängigkeit von den radialen Abständen gemäß Gl. 2 sowie der Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit (c_1

bzw. c_2):

$$
\begin{aligned}
P_1 &= \left(\frac{c_2^2}{s^2R_1^2}+\frac{c_2}{sR_1}+1\right)\frac{e^{-sR_1/c_2}}{R_1}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{c_1^2}{s^2R_1^2}+\frac{c_1}{sR_1}\right)\frac{e^{-sR_1/c_1}}{R_1}\\
P_2 &= \left(\frac{c_2^2}{s^2R_2^2}+\frac{c_2}{sR_2}+1\right)\frac{e^{-sR_2/c_2}}{R_2}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{c_1^2}{s^2R_2^2}+\frac{c_1}{sR_2}\right)\frac{e^{-sR_2/c_1}}{R_2}\\
P_3 &= \left(\frac{15\,c_2^2}{s^2R_2^2}+\frac{15\,c_2}{sR_2}+\frac{sR_2}{c_2}+6\right)\frac{e^{-sR_2/c_2}}{R_2^2}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{15\,c_1^2}{s^2R_2^2}+\frac{15\,c_1}{sR_2}+\frac{sR_2}{c_1}+6\right)\frac{e^{-sR_2/c_1}}{R_2}\\
P_4 &= \left(\frac{15\,c_2^2}{s^2R^2}+\frac{15\,c_2}{sR}+\frac{sR}{c_2}+6\right)\frac{e^{-sR/c_2}}{R^2}-\\
P_5 &= \left(\frac{3\,c_2^2}{s^2R_2^2}+\frac{3\,c_2}{sR_2}+1\right)\frac{e^{-sR_2/c_2}}{R_2^3}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{3\,c_1^2}{s^2R_2^2}+\frac{3\,c_1}{sR_2}+\frac{sR_2}{c_1}+2\right)\frac{e^{-sR_2/c_1}}{R_2^3}\\
P_6 &= \left(\frac{3\,c_2^2}{s^2R^2}+\frac{3\,c_2}{sR}+1\right)\frac{e^{-sR/c_2}}{R^3}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{3\,c_1^2}{s^2R^2}+\frac{3\,c_1}{sR}+\frac{sR}{c_1}+2\right)\frac{e^{-sR/c_1}}{R^3}
\end{aligned}
\qquad \text{Gl. 4}
$$

bzw.

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= \left(\frac{3\,c_2^2}{s^2R_1^2}+\frac{3\,c_2}{sR_1}+1\right)\frac{e^{-sR_1/c_2}}{R_1}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{3\,c_1^2}{s^2R_1^2}+\frac{3\,c_1}{sR_1}+1\right)\frac{e^{-sR_1/c_1}}{R_1}\\
Q_2 &= \left(\frac{3\,c_2^2}{s^2R_2^2}+\frac{3\,c_2}{sR_2}+1\right)\frac{e^{-sR_2/c_2}}{R_2}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{3\,c_1^2}{s^2R_2^2}+\frac{3\,c_1}{sR_2}+1\right)\frac{e^{-sR_2/c_1}}{R_2}\\
Q_3 &= \left(\frac{3\,c_2^2}{s^2R_2^2}+\frac{3\,c_2}{sR_2}+1\right)\frac{e^{-sR_2/c_2}}{R_2^2}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{3\,c_1^2}{s^2R_2^2}+\frac{3\,c_1}{sR_2}+1\right)\frac{e^{-sR_2/c_1}}{R_2^2}\\
Q_4 &= \left(\frac{3\,c_2^2}{s^2R^2}+\frac{3\,c_2}{sR}+1\right)\frac{e^{-sR/c_2}}{R^2}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{3\,c_1^2}{s^2R^2}+\frac{3\,c_1}{sR}+1\right)\frac{e^{-sR/c_1}}{R^2}\\
Q_5 &= -\left(\frac{15\,c_2^2}{s^2R_2^2}+\frac{15\,c_2}{sR_2}+\frac{sR_2}{c_2}+6\right)\frac{e^{-sR_2/c_2}}{R_2^3}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{15\,c_1^2}{s^2R_2^2}+\frac{15\,c_1}{sR_2}+\frac{s^2R_2^2}{c_1^2}+\frac{4\,sR_2}{c_1}+9\right)\frac{e^{-sR_2/c_1}}{R_2^3}\\
Q_6 &= -\left(\frac{15\,c_2^2}{s^2R^2}+\frac{15\,c_2}{sR}+\frac{sR}{c_2}+6\right)\frac{e^{-sR/c_2}}{R^3}-\frac{c_2^2}{c_1^2}\left(\frac{15\,c_1^2}{s^2R^2}+\frac{15\,c_1}{sR}+\frac{s^2R^2}{c_1^2}+\frac{4\,sR}{c_1}+9\right)\frac{e^{-sR/c_1}}{R^3}
\end{aligned}
\qquad \text{Gl. 5}
$$

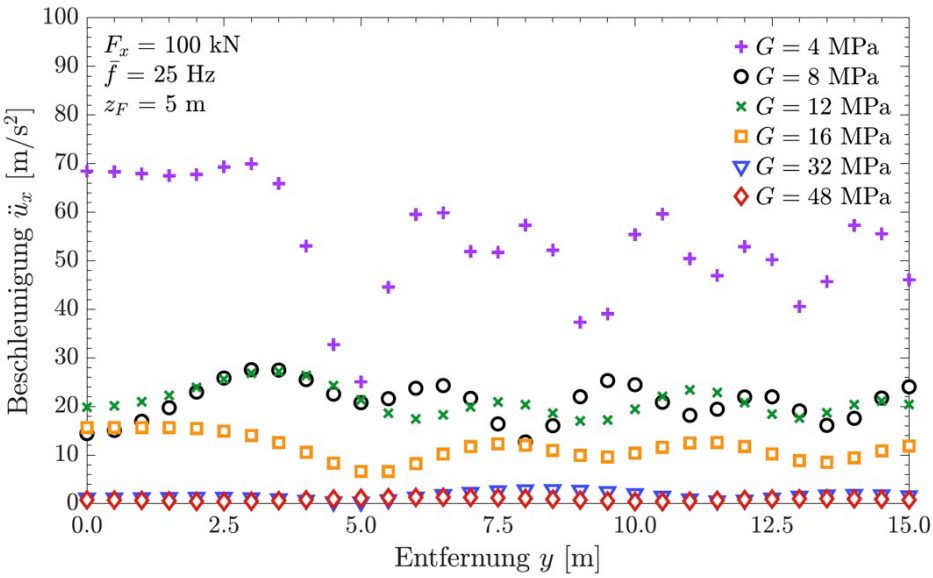

Abbildung 4. Horizontale Bodenbeschleunigung an der Oberfläche vs. Entfernung von einer

harmonischen horizontalen Einzelkraft – Variation des Schubmoduls G

Die mit Gl. 1 berechneten Horizontalbeschleunigungen $\ddot{u}_x$ an der Halbraumoberfläche sind in Abbildung 3 als Maximalwerte über den horizontalen Abstand vom Lastangriffspunkt für ausgewählte Untergrundsteifigkeiten *G* ausgewertet. Daraus ist ersichtlich, dass sich mit dem „Modell Banerjee“ kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Schwingungsantwort und Entfernung vom Lastangriffspunkt ergibt. Folglich kann das zu erwartende Abklingverhalten der Beschleunigungsantwort mit zunehmendem Abstand von der Belastung nicht abgebildet werden.

Daher wurde ein 3-dimensionales Finite Elemente Modell („FE-Modell“) entwickelt, mit dem die Wirkung des Rüttlers idealisiert als harmonische horizontale Einzelkraft, die in einem homogenen, linear elastischen, isotropen Halbraum (Schubmodul *G*: 4 - 48 MN/m^2, Querdehnzahl $\nu = 0{,}30$, Dichte $\rho = 2000$ kg/m^3) angreift, untersucht werden kann. Der Boden wurde als Halbkugel modelliert („Nahbereich“), umgeben von sogenannten unendlichen Elementen („Fernbereich“), die den halbunendlichen Bodenbereich simulieren (siehe Abbildung 3).

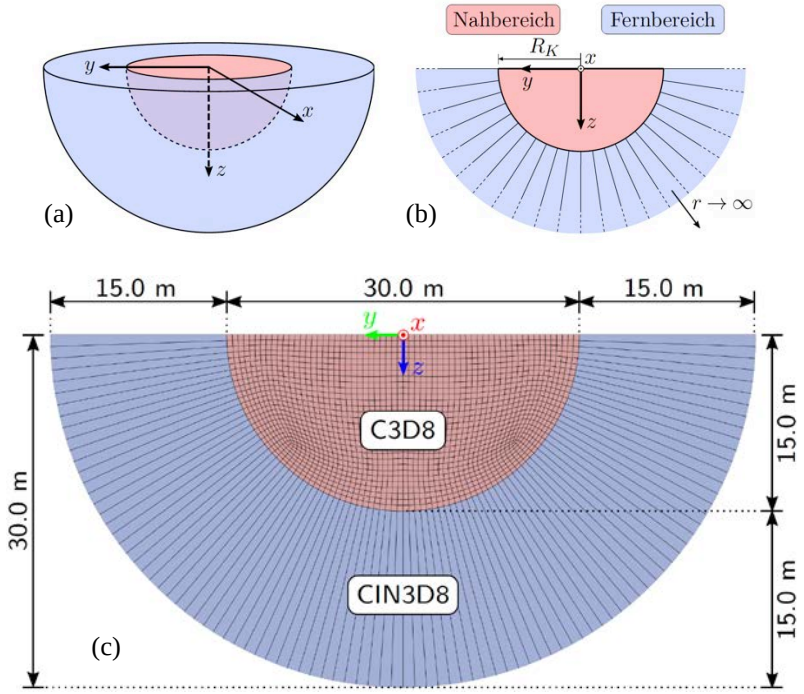

Abbildung 5. FE-Modell: (a) 3D-Modell schematisch, (b) Schnitt (schematisch), (c) Schnitt diskretisiert (103.040 Elemente)

Die mit dem FE-Modell numerisch ermittelten Horizontalbeschleunigungen $\ddot{u}_x$ und $\ddot{u}_y$ (Beschleunigungen in x- und y-Richtung) an der Halbraumoberfläche wurden gegeneinander geplottet und mit Messergebnissen für eine Entfernung von rund 20 m verglichen (siehe Abbildung 3). Daraus ist ersichtlich, dass sich Messung und Simulation quantitativ zwar unterscheiden, was im Wesentlichen auf die im Feld nicht homogenen Untergrundverhältnisse

sowie insbesondere der nicht exakt gleichen Anregung zurückgeführt werden kann. In qualitativer Hinsicht stimmen Berechnungs- und Messergebnisse jedoch sehr gut überein. Die resultierende Überlagerungsfigur (sogenannte *Lissajous*-Figur) ist in beiden Fällen eine Ellipse, deren Größe und Neigung die Untergrundsteifigkeit widerspiegelt. Da das entwickelte 3D FE-Modell für umfangreiche Parameterstudien nicht geeignet ist, sind in weiterer Folge darauf aufbauende semi-analytische Modellierungen geplant, welche auf eine detaillierte Untersuchung der beschriebenen Zusammenhänge abzielen.

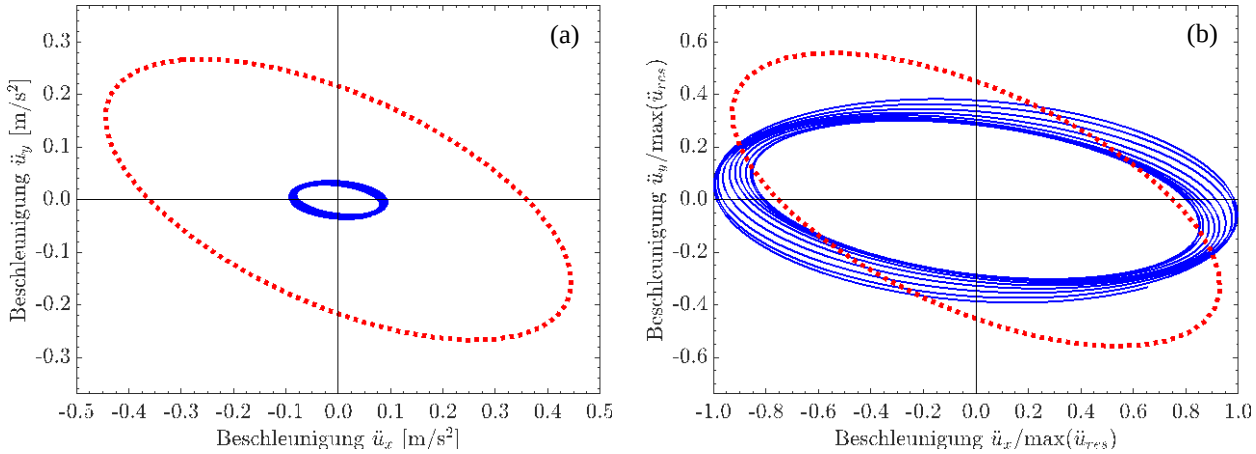

Abbildung 6. Plot $\ddot{u}_y - \ddot{u}_x$: (a) Absolutbeschleunigungen, (b) Beschleunigungen normiert auf die maximale resultierende Beschleunigung (blau: Messung, rot: FE-Simulation für G = 16 MN/m²)

AP5 Auswertung und Interpretation

Beteiligte Projektpartner: TU Wien, UIBK

Im zweiten Forschungsjahr erfolgte hauptsächlich die Auswertung und Interpretation der Messergebnisse, die im Zuge der ersten Versuchsserie der experimentellen Untersuchungen in Untersiebenbrunn aufgezeichnet worden sind. Über die Ergebnisse der Verdichtungsversuche hinaus wurden die Ergebnisse der begleitenden Untersuchungen, der durchgeführten Druck- und Rammsondierungen ausgewertet. Die geringe Anzahl der erfolgreichen Verdichtungsversuche aufgrund der Probleme mit dem Verdichtungsgerät (Kühlung) und der Messsensorik ermöglichten keine systematische Auswertung bzw. keine klaren Aussagen über dem Zusammenhang zwischen Rüttlerbewegung und dem Verdichtungserfolg. Jedoch können ausgewählte Versuchsergebnisse zu einem Vergleich mit den Messergebnissen der zweiten Versuchsserie herangezogen werden. Daher sind diese Versuchsergebnisse als eine wertvolle Ergänzung der Experimente in Singapur anzusehen.

Im dritten Forschungsjahr liegt der Fokus auf der Auswertung und Interpretation der Messergebnisse der Experimente in Singapur. Dabei werden in erster Linie die folgenden Themenbereiche betrachtet:

- Auswertungen zum dreidimensionalen Bewegungsverhalten des Tiefenrüttlers
- Systematische Erkundung der Zusammenhänge zwischen der Rüttlerbewegung und bestimmten Verfahrensparametern
- Auswertung der begleitenden Untersuchungen
- Gegenüberstellung des Systemverhaltens bei unterschiedlichen Untergrundverhältnissen (Betrachtung ausgewählter Ergebnisse der Versuche in Untersiebenbrunn)

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeiten ist, einen Indikator für den Verdichtungserfolg zu definieren, welcher sich unmittelbar aus den messtechnisch erfassten Parametern ableiten lässt. Des Weiteren sollen Empfehlungen für einen optimierten Verfahrensablauf bei der Rütteldruckverdichtung sowie Hinweise für die Dimensionierung der Verdichtungsgeräte erarbeitet werden.

AP6 Veröffentlichung

Beteiligte Projektpartner: TU Wien, UIBK, Keller

Im zweiten Forschungsjahr erfolgte keine Veröffentlichung der Ergebnisse des Forschungsprojektes in Form von Journalpublikationen oder Tagungsbeiträgen.

2.3 Änderungen im weiteren Projektverlauf

- Sind Änderungen geplant (Methodik, Arbeits- und Zeitplan, Kostenplan?) Welche Auswirkungen haben diese? Legen Sie gegebenenfalls eine adaptierte Planung bei.

Im Zeitpunkt der Berichtslegung sind keine Änderungen im weiteren Projektverlauf geplant.

3. Projektteam und Kooperation

- Gibt es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne SchlüsselmitarbeiterInnen und externe Partner/Drittleister)?
- Beschreiben Sie die Zusammenarbeit im Konsortium.
- Gehen Sie auf Änderungen in der Arbeitsaufteilung ein.
  Gibt es Auswirkungen auf die Kosten- / Finanzierungsstruktur und die Zielsetzung?

Diese zusätzlich durchgeführten Experimente bewirken keine maßgebliche Änderung der Methodik oder des Arbeits- und Kostenplans. Die zweite Versuchsserie bedeutete jedoch einen zusätzlichen Zeitaufwand für die großmaßstäblichen experimentellen Untersuchungen.

4. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

- Die Abrechnung ist als eigene Datei (siehe Excel-Vorlage) hochzuladen bzw. direkt über die ecall-Kosteneingabe durchzuführen. Beachten Sie den FFG Kostenleitfaden: (https://www.ffg.at/recht-finanzen/kostenleitfaden) bzw. Ausschreibungsdokumente.
- Abweichungen vom Kostenplan sind an dieser Stelle zu beschreiben und zu begründen.
- Ist mit Änderungen am Kostenplan bis zum Projektende zu rechnen?
  Wenn ja, erläutern Sie diese. Achtung: Größere Änderungen sind genehmigungspflichtig!

TU Wien: Über die Kostenumschichtung zwischen TU Wien und UIBK hinaus ist aus heutiger

Sicht mit einer geringfügigen Verringerung der Sach- und Materialkosten zu rechnen. Diese Kosten werden auf Personalkosten umgeschichtet.

UIBK: Über die Kostenumschichtung zwischen UIBK und TU Wien hinaus ist aus heutiger Sicht mit einer geringfügigen Verringerung der Sach- und Materialkosten zu rechnen. Diese Kosten werden auf Personalkosten umgeschichtet.

Keller: Aus heutiger Sicht ist mit keinen Änderungen am Kostenplan bis zum Projektende zu rechnen.

Zusammenarbeit im Konsortium

Die Ausführung der großmaßstäblichen experimentellen Untersuchungen auf dem Versuchsfeld erfolgte durch die Fa. Keller, welche hierfür das Personal und die notwendige Gerätschaft und Baustelleneinrichtung für die Dauer der Experimente zur Verfügung stellte.

Die geplanten Experimente wurden durchgehend vom Fachpersonal der Universität Innsbruck begleitet, da in Abhängigkeit von den örtlichen Verhältnissen, der gewählten Arbeitsmethodik und der aufgezeichneten Messdaten jederzeit Adaptierungen des geplanten Experimentverlaufes notwendig waren. Hierfür wurden die aufgezeichneten Messergebnisse aus den aktuellen Experimenten vor Ort laufend ausgewertet und interpretiert.

Die Durchführung der numerischen Simulationen erfolgt an der Universität Innsbruck.

Die aktuellen Forschungsergebnisse und die weitere Vorgehensweise werden in regelmäßigen Zeitintervallen, im Rahmen von Projektbesprechungen, eingehend diskutiert. Hierfür ist die Teilnahme aller beteiligten Projektpartner erforderlich.

5. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen

- Gehen Sie auf projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen (laut §5.1 des Förderungsvertrags) ein, sofern diese im Förderungsvertrag vereinbart wurden.

1. Der von allen Partnern rechtsgültig unterschriebene Konsortialvertrag liegt bei der Konsortialführung vor.
2. Mindestens 80% der vertraglich vereinbarten erforderlichen Restfinanzierung der Unternehmenspartner wurde bereits überwiesen. Die Überweisungsbestätigungen der ersten, zweiten und dritten Rate wurden ins eCall-System hochgeladen.
3. Die Überweisung der vierten Rate der Restfinanzierung ist am 20.11.2020 fällig.
4. Aus heutiger Sicht ist nicht mit einer Unterschreitung der anerkennbaren Gesamtkosten zu rechnen.
5. Die von der FFG erhaltenen Fördermittel und die Restfinanzierung der Unternehmen wurden in Relation zu den genehmigten Kosten aufgeteilt und weitergeleitet.

- *Nur für BRIDGE 1 Projekte:*

Bitte geben Sie hier die Summe der bereits von dem/den VerwertungspartnerIn an den/die wissenschaftlichen Partner überwiesenen Raten der vertraglich vereinbarten Restfinanzierung an. **Für die Erfüllung der Restfinanzierungsauflagen im Fördervertrag sind zusätzlich die Überweisungsbestätigungen via eCall-Nachricht hochzuladen!**

Name der Firma	vertraglich vereinbarte Restfinanzierung	bisher überwiesen	am (Datum)
Keller Grundbau Ges.m.b.H.	16 886	16 886	19.01.2018
	16 886	16 886	22.11.2018
	16 886	16 886	18.12.2019
	5 628		
GESAMT	56 286	50 658	

6. Meldungspflichtige Ereignisse

Gibt es besondere Ereignisse rund um das geförderte Projekt, die der FFG mitzuteilen sind (siehe auch Richtlinien – Anhang zu 5.3., 5.3.5), z.B.

- Änderungen der rechtlichen und wirtschaftlichen Einflussmöglichkeiten dem/der Förderungsnehmer/in
- Insolvenzverfahren
- Ereignissen, die die Durchführung der geförderten Leistung verzögern oder unmöglich machen
- Weitere Förderungen für dieses Projekt

Es gibt keine meldungspflichtigen Ereignisse aus dem zweiten Forschungsjahr.

7. Änderungen bei wesentlichen Vertragsdaten

Inwieweit zeichnen sich notwendige Änderungen bei den Vertragseckdaten ab?
Auf Basis dieser Angaben entscheidet die FFG über eventuelle Vertragsänderungen.

Hinweis: Unten angeführte Punkte sollen auf gesicherten Angaben basieren.
Änderungen des Förderzeitraums und der Kostenstruktur sind auch zu einem späteren Zeitpunkt innerhalb der Projektlaufzeit noch möglich.

- Änderung des Förderungszeitraums: *Voraussichtliches Ende des Forschungsjahres angeben*
- Maßgebliche Änderung der Kostenstruktur (Gesamtkosten bleiben unverändert)

Aus heutiger Sicht ist nicht mit einer Änderung des im Förderungsvertrag festgehaltenen Förderungszeitraumes zu rechnen.

Bei der Eingabe der aktuellen Werte in die unten stehenden Tabellen wurde die Kostenumschichtung zwischen TU Wien und UIBK in der Höhe von € 107.100 berücksichtigt.

Kosten des Partners **TU Wien**:

	Genehmigt lt. Vertrag	voraussichtl. neuer Wert	Änd in% v.Gesamt
Personalkosten	140.203	34.603	-70%
F&E-Infrastrukturnutzung	0	0	0%
Sach- und Materialkosten	2.500	1.000	-1%
Drittkosten	0	0	0%
Reisekosten	7.625	7.625	0%
GESAMT	150.328	43.228	-71%

Kosten des Partners **UIBK:**

	Genehmigt lt. Vertrag	voraussichtl. neuer Wert	Änd in% v.Gesamt
Personalkosten	62.071	169.171	164%
F&E-Infrastrukturnutzung	0	0	0%
Sach- und Materialkosten	0	0	0%
Drittkosten	0	0	0%
Reisekosten	3.375	3.375	0%
GESAMT	65.446	172.546	164%

Kosten des Partners **Keller**:

	Genehmigt lt. Vertrag	voraussichtl. neuer Wert	Änd in% v.Gesamt
Personalkosten	35 390	31 076	-9%
F&E-Infrastrukturnutzung	14 650	18 964	9%
Sach- und Materialkosten	0	0	0%
Drittkosten	0	42 244	84%
Reisekosten	0	0	0%
GESAMT	50 040	92 284	84%

- Sonstige Änderungen: