

Messung des Trag- und Verformungsverhaltens einer Arbeitsplattform für Mobilkrane in einem Windpark

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann, Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart
Julian Lehn, M.Sc., GTU, Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Dr.-Ing. Martin Tazl, BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Espelkamp
Rainer Worbes, M.Eng., Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart

Für die Aufstellung schwerer mobiler Baumaschinen wie Drehbohr- oder Schlitzwandgeräte, Rammen, Fahrzeug- und Raupenkränen, Autobetonpumpen usw. werden am Einsatzort häufig temporäre Arbeitsplattformen in Form von aufgeschütteten und verdichteten, teilweise mit Geogittern bewehrten Erdbaustoffen geschaffen, da der anstehende Baugrund selber nicht ausreichend tragfähig ist. Diese Arbeitsplattformen müssen eine sichere und gebrauchstaugliche Aufstellung der Baumaschinen unter Berücksichtigung aller maßgebenden Betriebs- und Lastzustände gewährleisten; sie sind daher von zentraler Bedeutung für die Arbeitssicherheit. In diesem Zusammenhang besteht dringender Verbesserungs- und Optimierungsbedarf, da die Anforderungen der Baumaschinen häufig nicht mit den vorbereiteten Arbeitsplattformen korrelieren und da für die Bemessung solcher temporären Arbeitsplattformen aus unbewehrten und bewehrten Tragschichten keine allgemein anerkannten technischen Regelwerke vorhanden sind. Im Rahmen eines am Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart bearbeiteten Forschungsvorhabens wurde ein Versuchsfeld in einem Windpark erstellt, um das Tragverhalten einer bewehrten Tragschicht über Weichschichten unter realen Bedingungen zu untersuchen. Die instrumentierte Tragschicht (2-lagig bewehrt) wurde schrittweise mit 40 t bis zu einer Gesamtlast von 280 t belastet. In diesem Beitrag wird über die Ergebnisse der Dehnungs-, Erddruck- und Verformungsmessungen des Tragschichtsystems berichtet. Die Messergebnisse zeigen einen deutlichen Einfluss der Geokunststoffbewehrung auf die Lastausbreitung, wodurch die am Rand der Kranmatte auftretenden Spannungsspitzen in der Weichschicht reduziert werden.

1 Einleitung

Für den Einsatz schwerer mobiler Baumaschinen wie z.B. Drehbohr- oder Schlitzwandgeräte, Rammen, Fahrzeug- und Raupenkränen, werden am Einsatzort häufig temporäre Arbeitsplattformen in Form von aufgeschütteten und verdichteten, teilweise mit Geogittern bewehrten Erdbaustoffen geschaffen. Gerade bei schweren Arbeitsmaschinen, reicht die Tragfähigkeit des anstehenden Untergrundes oft nicht aus, um eine sichere und gebrauchstaugliche Aufstellung unter Berücksichtigung aller maßgebenden Betriebs- und Lastzustände zu gewährleisten. Bei einer Vielzahl von Bauprojekten, wie z.B. dem Bau von Windkraftanlagen und der Herstellung von Tiefgründungen müssen schwere Arbeitsmaschinen auf weichem und wenig tragfähigem Baugrund eingesetzt werden. Die Verwendung von Arbeitsplattformen und deren richtige Dimensionierung sind daher von zentraler Bedeutung für die Standsicherheit der Baumaschinen und damit für die Arbeitssicherheit. In diesem Zusammenhang besteht Optimierungsbedarf, da häufig die Anforderungen der Baumaschinen nicht mit den vorbereiteten Arbeitsplattformen korrelieren und für die Bemessung solcher temporären Arbeitsplatfor-

men aus unbewehrten und bewehrten Tragschichten keine allgemein anerkannten technischen Regelwerke zur Verfügung stehen. Ziel eines vom Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart initiierten Forschungsvorhabens ist daher die Entwicklung eines solchen Bemessungsansatzes, mit dem eine sichere und gebrauchstaugliche Aufstellung von mobilen Baumaschinen unter Baustellenbedingungen gewährleistet wird. Aus den gewonnenen Erkenntnissen soll eine Empfehlung für die Dimensionierung, den Bau, die Überprüfung und den Unterhalt von temporären Arbeitsplattformen abgeleitet werden, welche die Bemessung der Arbeitsplattformen zugleich technisch und ökonomisch optimieren soll. Die Forschungsstrategie stützt sich dabei auf experimentelle und numerische Untersuchungen. Mit Hilfe der in kleinmaßstäblichen Modellversuchen und bei Feldversuchen gewonnenen Messdaten werden die numerischen Simulationsmodelle validiert. Auf der Basis einer numerischen Parameterstudie wird der Einfluss der geometrischen und geotechnischen Parameter untersucht, um ein verbessertes Verständnis des Trag- und Verformungsverhaltens des Zweischichtsystems zu gewinnen. Der Fokus dieser Veröffentlichung liegt auf der Darstellung der Ergebnisse von Feldmessungen im Windpark Rethwisch, welche im Rahmen des oben

genannten Forschungsprojekts durchgeführt wurden.

2 Aufbau und Herstellung des Testfelds und Eigenschaften des Untergrunds

Für die Errichtung des Windparks Rethwisch bei Hamburg war der Einsatz eines schweren Mobilkrans mit hohen Pratzkraften geplant, welcher auf einer schwimmend gegründeten und bewehrten Tragschicht aufgestellt werden sollte. Für die Versuchsdurchführung wurde neben der bestehenden Arbeitsplattform ein ca. 20 m x 20 m großes Testfeld erstellt. Der Feldversuch wurde mit Unterstützung der Fa. NAUE GmbH & Co. KG, der BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG und der Vestas Deutschland GmbH durchgeführt. Der Untergrund besteht aus einer ca. 2,5 m mächtigen organischen Weichschicht, welche von etwa 4,0 m lockerem Sand unterlagert wird. Die Weichschicht besteht überwiegend aus schluffigem Torf, mit einem mittleren natürlichen Wassergehalt von $w_L = 230\%$. Nominell weist der Torf damit eine weiche bis breiige Konsistenz auf.

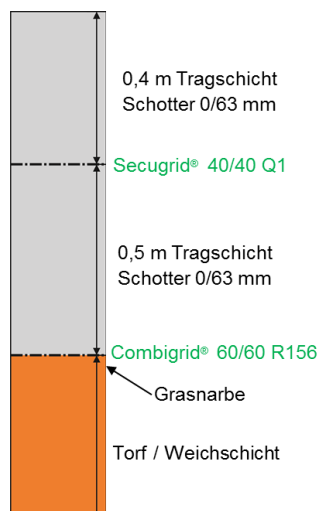


Abbildung 1: Aufbau der Arbeitsplattform des Testfelds im Windpark Rethwisch

Für die Tragschicht aus gebrochenem Schottermaterial (0/63) wurden eine Höhe von 0,90 m und eine zweilagige Bewehrung mit Geokunststoffen vorgesehen. Die untere Bewehrungslage wurde zwischen dem Untergrund und der Tragschicht angeordnet und mit einem Kombinationsprodukt, bestehend aus einem Vlies und einem Geogitter mit einer biaxialen Kurzzeitzugfestigkeit von 60 kN/m, bewehrt. Die Grasnarbe blieb während der Herstellung der Tragschicht erhalten, sodass die Bewehrungslage direkt auf dieser aufliegt. Der Schichtaufbau des Versuchsfeldes ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Die obere Bewehrungslage wird in etwa

0,50 m über der Weichschicht angeordnet, wobei hier ein Geogitter mit einer geringeren Zugfestigkeit von 40 kN/m verwendet wurde. Der Einbau der werksseitig mit Sensoren instrumentierten Bewehrungslagen erfolgte zeitgleich mit dem Einbau der regulären Bewehrung. Hierfür wurden Aussparungen vorgesehen, in welche die vorbereitete Bewehrung unter Einhaltung der statisch erforderlichen Überlappungslängen eingebaut werden konnte. Die Schottertragschicht wurde mit einem Hydraulikbagger eingebaut und mit Hilfe einer Vibrationswalze auf zwei Lagen verdichtet. Zum Schluss wurde eine Kranmatte aus zwei, jeweils 20 cm hohen und orthogonal zueinander ausgerichteten Lagen Bongosiholz mit einer Länge von rd. 6,0 m und einer Breite von rd. 5,0 m hergestellt. Die einzelnen Balken wurden zur Aussteifung in Querrichtung zusätzlich im Abstand von ca. 1,0 m mit Gewindestangen verschraubt. Hierdurch soll der Lastabtrag der Balken in Querrichtung verbessert werden, sodass näherungsweise das Verhalten einer isotropen Platte angenommen werden kann.

3 Messkonzept

Für die messtechnische Erfassung der Spannungs- und Verformungszustände in der bewehrten Tragschicht wurden verschiedene Sensortypen verwendet. Diese wurden auf Höhe der beiden Bewehrungslagen angeordnet. Als maßgebende Messachse wird dabei, ausgehend von der Mitte der Kranmatte die kürzere der beiden Seiten betrachtet. Im Randbereich der Kranmatte wurden senkrecht dazu zusätzliche Messstellen angeordnet. Die Messsensoren wurden dabei auf mehrere Lagen verteilt, wobei der Schwerpunkt auf der unteren Lage auf Höhe des Planums liegt. Die Anordnung und Bezeichnung der Messsensoren ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Dehnungen des Geokunststoffes werden an insgesamt 19 Messstellen mit linearen Folien-Dehnungsmessstreifen (DMS) gemessen. Diese wurden direkt auf die Längs- bzw. Querstege des Geogitters appliziert. Um mögliche Dehnungen infolge Biegung und Temperaturänderungen zu kompensieren, wurde jede Messstelle als Vollmessbrücke mit jeweils vier einzelnen Dehnungsmessstreifen ausgeführt. Um die Dehnungsmessstreifen gegen Feuchtigkeit, austretendes Porenwasser und mechanische Beschädigungen zu schützen, wurden diese zusätzlich mit Dichtmasse und Klebefolie umhüllt. Insgesamt werden sechs Messstellen in der oberen und 13 Messstellen in der unteren Lage angeordnet. Zur Messung des vertikalen Erddrucks und zur Beurteilung der Lastausbreitung in der mineralischen Tragschicht wurden insgesamt sieben Erddruckmessdosen eingebaut. Hierbei wurden vier quadratische (20x30 cm) und drei runde ($\varnothing 50$ cm) Erddruckmessdosen mit piezoe-

lektrischen Drucksensoren auf zwei Höhenlagen eingebaut. Die untere Lage wird direkt auf der unteren Geogitterlage eingebaut. Die Erddruckmessdosen in der oberen Lage (zwei Stück) wurden 0,10 m unterhalb der Tragschichtoberkante eingebaut und ermöglichen so eine Abschätzung der Sohl- druckspannungen der Kranmatte.

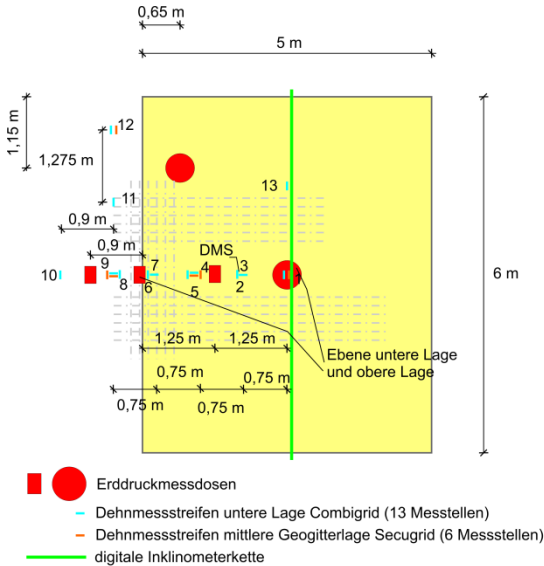


Abbildung 2: Messkonzept

Diese wurden jeweils in der Mitte der Kranmatte und im kennzeichnenden Punkt im angeordnet. Zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Belastung und zur Minimierung von Messungenauigkeiten werden die Erddruckmessdosen mit Feinsand eingebettet. Die Setzungen in der Weichschicht wurden mit einer digitalen Inklinometerkette, welche direkt unterhalb der Tragschicht eingebaut wurde, gemessen. Dies ermöglicht eine durchgehende Deformationsmessung unterhalb der Kranmatte und damit die Aufzeichnung der auftretenden Setzungsmulde.

4 Belastung

Die Belastung der Kranmatte auf der Versuchsfläche erfolgte durch das schrittweise Aufstapeln von Kranballastgewichten mit je 10 t. Diese wurden, wie in Abbildung 3 dargestellt, lagenweise auf vier Stapeln mit bis zu sieben Lagen auf der Kranmatte verteilt. Um Einflüsse aus der asymmetrischen Belastung möglichst zu vermeiden, wurden die Lastschritte im Abstand von 40 t gewählt, was einer vollständigen Lage an Ballastgewichten entspricht ($4 \times 10 \text{ t} = 40 \text{ t/Lage}$). Die Laststeigerung erfolgte in sieben Schritten bis zu einer maximalen Gesamtlast von 280 t, was einer gemittelten Sohl- druckspannung von ungefähr 100 kN/m^2 entspricht. Die Kran- stellfläche wurde lediglich auf eine mittlere Flächen- druckspannung von 62 kN/m^2 dimensioniert, was einer Belastung der Kranmatte von 220 t entspricht, so-

dass eine rechnerische Überbelastung erzielt wurde. Für die Berücksichtigung des zeitlichen Einflusses auf die Setzungen aus der Konsolidation, wurde die Maximallast für eine Zeit von rund 80 Minuten gehalten bevor mit der Entlastung begonnen wurde.



Abbildung 3: Versuchsfeld mit der maximalen Auflast von 280 t

5 Ergebnisse

5.1 Verformungsmessung

In Abbildung 5 sind die Messergebnisse der digitalen Inklinometerkette dargestellt. Aufgetragen ist die Setzung der Weichschicht in der mittleren Achse der Kranmatte für die einzelnen Belastungsschritte. Zur Visualisierung ist die Kranmatte als grauer Balken dargestellt. Von Beginn an wurden ungleiche Setzungen der Kranmatte beobachtet. Mit zunehmender Belastung verkippt die Kranmatte stärker und die Setzungszunahme pro Lastschritt vergrößert sich, was eine deutliche Nichtlinearität im Tragverhalten erkennen lässt. Zudem sind deutlich die Hebungen neben der Kranmatte infolge der Verdrängung der Weichschicht zu erkennen. Die ge-



Abbildung 4: Setzung der Kranmatte und ausgepresstes Porenwasser nach Entlastung

strichelten Kurven zeigen die Verformungen nach Erreichen der Maximallast von 280 t. Hierbei ist eine starke zeitabhängige Verformungszunahme zu beobachten, welche annähernd zu einer Verdoppelung der Setzungen auf etwa 20,0 cm führt. Maßgebend hierfür ist die Konsolidation der nahezu wassergesättigten Weichschicht, was zu starken Wasseraustritten an der Oberfläche führte. Nach der Entlastung der Kranmatte stellten sich in der Mitte der Kranmatte Hebungen von ungefähr 4,5 cm ein. Dabei reduzieren sich die Hebungen neben der Kranmatte nach der Entlastung wieder näherungsweise auf die Werte direkt nach der Aufbringung der Maximallast, was zeigt, dass es sich bei den Verformungen überwiegend um volumenkonstante Gestaltänderungen handelt. Des Weiteren wurde vor dem Ausbau der Tragschicht ein Flächennivellament durchgeführt, bei dem die Verformungen an der Geländeoberkante gemessen wurden. In Abbildung 6 ist deutlich das Einstanzen der Kranmatte in die Tragschicht zu erkennen, welches im Punkt (-2|3) einen Maximalwert von etwa 20 cm erreicht.

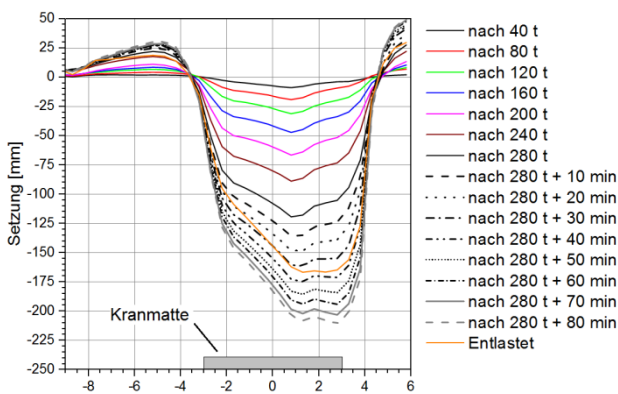


Abbildung 5: Setzungen in der Weichschicht während der einzelnen Belastungsschritte

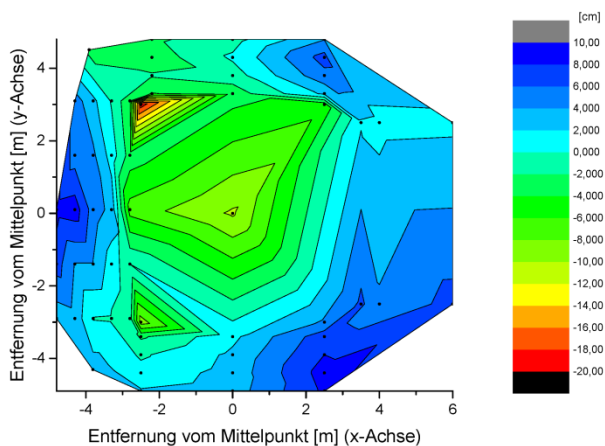


Abbildung 6: Vertikale Verformungen der Tragschicht an der Geländeoberkante nach Entlastung und Entfernen der Kranmatte

5.2 Spannungsmessung

Die Spannungen in der Arbeitsplattform wurden gemäß des in Abbildung 2 dargestellten Messkonzepts an sieben Stellen auf zwei Höhenlagen gemessen. In Abbildung 7 werden exemplarisch die Ergebnisse der Erddruckmessdosen im Mittelpunkt und unter der Kante der Kranmatte für die beiden Lagen dargestellt. Die Werte der Erddruckmessdosen in der unteren Lage steigen bis zur Maximallast bei beiden Messstellen näherungsweise linear an, wobei die Werte an der Kante höher als in Feldmitte sind. In der oberen Lage überwiegen zunächst die Spannungen in der Mitte der Kranmatte. Der Zuwachs verringert sich dabei mit zunehmender Belastung, sodass ab einer Belastung von 240 t die Spannungen im Bereich der Kante überwiegen. Diese steigen aufgrund der Spannungskonzentration und der relativ steifen Kranmatte im Bereich der Kante mit zunehmender Belastung immer weiter an, was zusätzlich durch das Verkippen verstärkt wird.

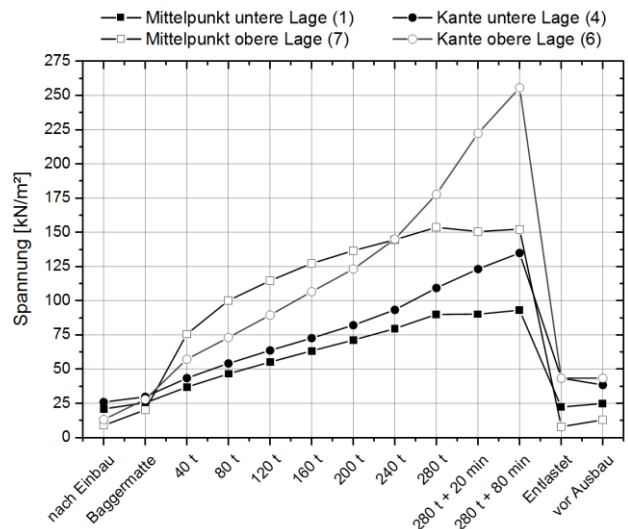


Abbildung 7: Erddruck im Mittelpunkt und an der Kante der Kranmatte (obere und untere Lage)

Nach Erreichen der Maximallast bleiben die Spannungen in der Feldmitte sowohl in der oberen, als auch in der unteren Lage konstant, während die Spannungen an der Kante weiter ansteigen. Verantwortlich hierfür ist hauptsächlich die Konsolidation der Weichschicht, die ein weiteres Einsinken der Kranmatte bewirkt. Die totalen Spannungen in Feldmitte, die von den Erddrucksensoren gemessen werden, bleiben trotz des Auspressens des Porenwassers konstant. Das weitere Einsinken der Kranmatte hingegen bewirkt eine zusätzliche Spannungskonzentration an der Kante. Die gemessenen Spannungen in der oberen Lage entsprechen annähernd den Sohldruckspannungen unter der Kranmatte und sind um etwa 50 % höher als die gemessenen Spannungen in der unteren Lage, was

auf eine deutliche Lastausbreitung infolge der Tragschicht schließen lässt.

5.3 Dehnungsmessung im Geogitter

Neben der Spannungsverteilung im umliegenden Boden sind vor allem die Dehnungen des Geogitters wichtige Indikatoren für den Tragmechanismus der Arbeitsplattform. In den Abbildung 9 sind die Ergebnisse der mittleren Achse in den Messstellen 3, 5, 7 und 9 sowohl für die obere, als auch die untere Lage dargestellt. Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass die Dehnungen in beiden Lagen bis zur Maximalbelastung von 280 t überproportional ansteigen und am Rand der Kranmatte ihre Maximalwerte erreichen. Dies resultiert aus dem Durchstanzen der Kranmatte, was die Dehnungen des Geogitters in diesem Bereich stark erhöht. Beim Ausbau der Tragschicht waren die Verformungen durch einen deutlichen Versatz des Geogitters an der Kante sichtbar.



Abbildung 8: Versatz von ca. 10 cm des Geogitters in der oberen Lage im Randbereich der Kranmatte

Die Dehnungen in der unteren Lage nehmen auch nach Erreichen der Maximalbelastung aufgrund der Konsolidation weiter zu, wobei der Zuwachs mit der Zeit immer geringer wird. Nach der Entlastung verbleiben immer noch erhebliche Dehnungsanteile im Geogitter, die aus der Verspannung infolge der verformungsbedingten Aktivierung resultieren. In der oberen Lage treten außerhalb der Kranmatte aufgrund der Konsolidationssetzung zunehmend Stauchungen des Geogitters auf, die bei der Entlastung weiter zunehmen. Die Dehnungen in der oberen Lage nehmen bei geringeren Lasten ebenfalls positive Werte an, da hier die Tragfähigkeit des Geogitters nicht vollständig durch Verformungen aktiviert ist. Hierdurch wird die Erwartung des zunehmenden Einflusses der Bewehrungswirkung im unteren Bereich der Tragschicht bestätigt. Die gemessenen Dehnungen der Geogitter verhalten sich dabei nicht proportional zu deren Dehnsteifigkeiten.

Die fehlenden Messpunkte sind auf Ausfälle der Dehnungsmessstreifen infolge einer Überschreitung des Messbereiches zurückzuführen.

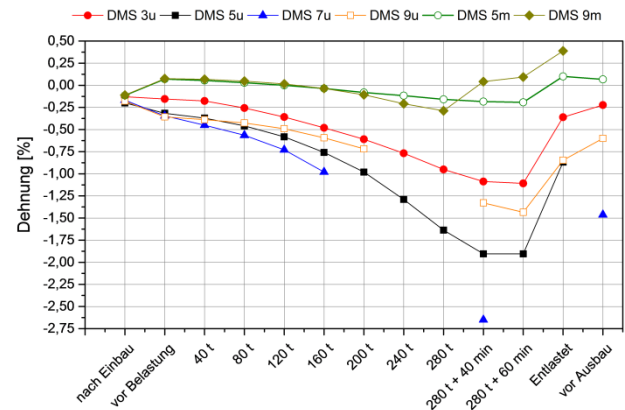


Abbildung 9: Dehnungen im Geogitter im Hauptmessausschnitt in Abhängigkeit von der Belastung

6 Numerische Simulation

Numerische Simulationen der Versuchsdurchführung ergaben für die Dehnungen im Geogitter eine relativ gute Übereinstimmung in beiden Bewehrungslagen. Exemplarisch werden im Folgenden die Ergebnisse für eine Belastung von 160 t, die in Abbildung 10 dargestellt sind, betrachtet. Die Simulation ergibt für die obere Bewehrungslage ebenfalls wesentlich geringere Dehnungen als in der unteren Lage, die vor allem am Rand der Kranmatte ihre Minimal- und Maximalwerte aufweisen. Im Gegensatz zu den berechneten Dehnungen weisen die berechneten Spannungen größere Abweichungen von den gemessenen Werten auf, zeigen aber vor allem für die untere Lage eine gute Affinität zum Verlauf der gemessenen Spannungen. Diese Abweichungen resultieren sehr wahrscheinlich aus systematischen Ungenauigkeiten der Erddruckmessdosen, deren Messwerte durch den Einbau und die Bettung der Sensoren beeinflusst werden, was die Messung von Absolutwerten erschwert. Die im numerischen Modell berechneten Setzungen auf Höhe der Weichschicht sind durchweg höher als die im Feldversuch gemessenen Werte, zeigen aber zum Rand hin einen sehr ähnlichen Verlauf. Mögliche Ursache hierfür sind mögliche Abweichungen der Steifigkeitsparameter der verwendeten Stoffmodelle und die Schwierigkeit der Abschätzung der Durchlässigkeit zur Berücksichtigung der Konsolidationseffekte. Die numerischen Berechnungen wurden für ein dreidimensionales Finite-Elemente Modell mit der Software PLAXIS durchgeführt. Der Boden wurde mit dem Stoffgesetz Hardening-Soil Small Strain Stiffness (HSS) abgebildet. Es wurden hydraulisch-mechanisch gekoppelte Berechnungen durchgeführt, um Porenwasserdrücke und die starken zeitabhängigen Effekte abbilden zu können.

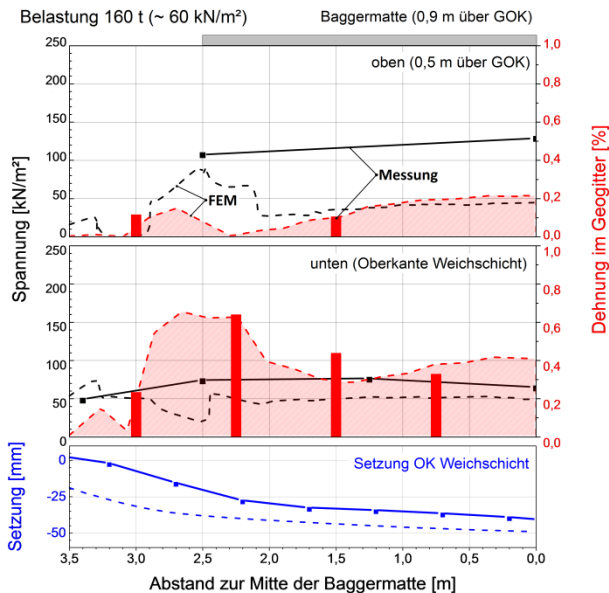


Abbildung 10: Spannungs-, Dehnungs- und Verformungsmessung und numerische Simulationsergebnisse im Schnitt auf Höhe der unteren und der oberen Geokunststofflage bei einer Belastung von 160 t

Die Ergebnisse zeigen eine gute Korrelation zwischen der Numerik und den Messungen, sodass in Zukunft weitere Parameterstudien mit einem validierten Simulationsmodell durchgeführt werden können.

7 Fazit und Ausblick

Der durchgeführte Feldversuch in Rethwisch ist ein Fallbeispiel für den erfolgreichen Einsatz einer mehrlagig bewehrten Tragschicht mit hohen Einwirkungen auf einer nur sehr gering tragfähigen organischen Weichschicht. Die Bewehrung mit Geokunststoffen verbessert die Ausbreitung der Last und ermöglicht somit eine gleichmäßige Verteilung auf die Weichschicht. Es ist ein deutlicher Einfluss der Geogitterlagen auf die Spannungsverteilung im Randbereich der Kranmatte zu beobachten, wobei hier die Geogitterbewehrung in der unteren Lage als maßgebend betrachtet wird. Diese wird durchweg stärker beansprucht als die obere Lage und weist dadurch wesentlich größere Dehnungen auf.

Zudem zeigt dieser Feldversuch auch sehr deutlich den starken zeitlichen Einfluss auf die Verformungen der Tragschicht infolge der Konsolidation bei wassergesättigten organischen Böden.

In dem Forschungsvorhaben „Arbeitsplattformen für mobile Baumaschinen und für Kranstellflächen“ sind weitere Feldversuche geplant. Zur Klärung der Sohldruckverteilung unter kettengetriebenen mobilen Baumaschinen wurden zusätzlich Spannungsmessungen unter einem schweren Raupenkran durchgeführt. Zudem sind noch weitere Messungen unter dem Raupenfahrwerk eines Großdrehbohrgerätes und den Stützbeinen unter Mobilkränen wäh-

rend des Betriebs geplant. Die Feldmessungen unterstützen dabei die Validierung und Optimierung des numerischen Simulationsmodells. Die Forschungsergebnisse sollen zu einer Empfehlung für die Dimensionierung, den Bau, die Überprüfung und den Unterhalt von Arbeitsplattformen führen, in der die optimierten, vereinfachten, praxistauglichen Bemessungsansätze in Abhängigkeit von gerätespezifischen Anforderungen verankert sind. Der Leitfaden soll die Abstimmung an der Schnittstelle zwischen Baumaschine und Untergrund bzw. Bauunternehmung und Maschinenführer regeln, um die Sicherheit beim Einsatz mobiler Baumaschinen zu erhöhen und somit schwere Arbeitsunfälle zu vermeiden.

8 Danksagung

An dieser Stelle bedanken sich die Autoren herzlich bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, dem Forschungsträger des oben genannten Forschungsvorhabens und allen Projektbeteiligten für die engagierte Mitarbeit im projektbegleitenden Ausschuss.

Die Autoren möchten sich herzlich bei den Firmen Naue GmbH & Co. KG und BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG für die maßgebende Unterstützung und das Engagement bei den gemeinsam durchgeführten Feldmessungen, sowie der Vestas Deutschland GmbH für das Ermöglichen des Testfeldes im Windpark Rethwisch bedanken.

Literaturverzeichnis

- Klompaker, J., Psiorz, C. (2013) *Monitoring einer geogitterbewehrten Kranstellfläche in einem Windkraftprojekt*. 13. Informations- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik FS-KGEO, München
- Lehn, J., Moormann, C. (2017). *Investigations on a geosynthetic reinforced bearing layer under static and cyclic loading*. 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul, Korea.
- Moormann, C., Lehn, J., Worbes, R. (2017). *Bewehrte Tragschichten für Arbeitsplattformen von mobilen Baumaschinen und Kranstellflächen – Tragverhalten und Optimierungsansätze*. 10. Geokunststoff-Kolloquium, Bad Gögging.