

FREILAND-PV-ANLAGEN

GRÜNDUNG VON FREILAND-PV-ANLAGEN AUF KLEINPFÄHLEN WIRTSCHAFTLICH, SCHNELL UND SICHER

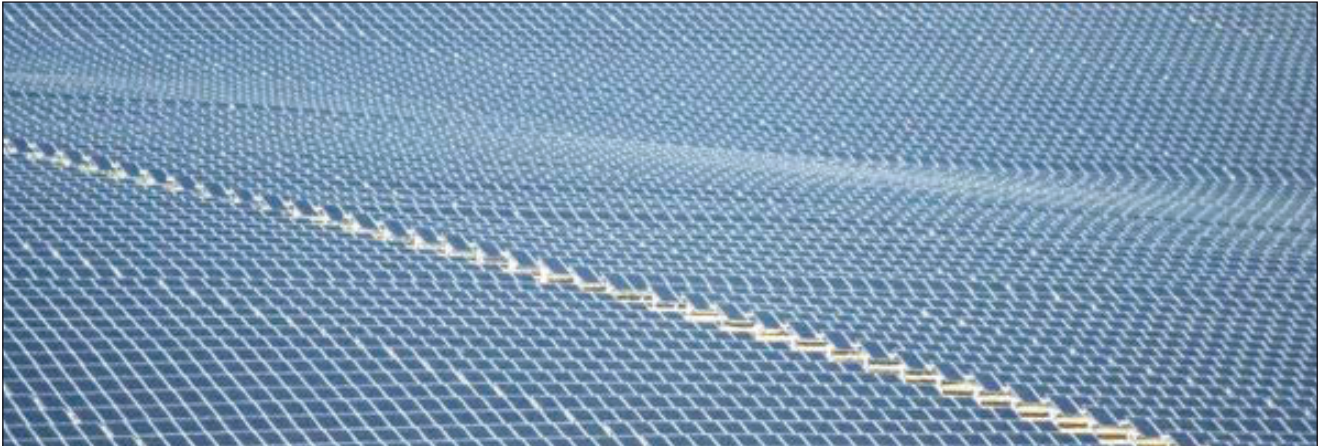


Bild 1: Pro Freiflächen-PV-Anlage werden bei starren Systemen mehrere tausend Gründungspunkte benötigt

Balanceakt zwischen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit

Das Bindeglied zwischen Boden und Freiflächen-PV-Montagesystem – die Gründung (Bild 2) – muss Lasten aus Eigengewicht sowie aus Wind und Schnee sicher in den Boden einleiten. Zwar sind diese Einwirkungen im Vergleich zu massiven Ingenieurbauwerken verhältnismäßig klein, aber da der Verkehrslastanteil aus Wind- und Böentätigkeit relativ hoch ist im Vergleich zum Eigengewicht der Konstruktion, und da pro Freiflächen-PV-Anlage immerhin mehrere Tausend Gründungspunkte benötigt werden (Bild 1), verdient die fachlich richtige Konzeption dieses Anlagenteils gebührende Aufmerksamkeit. Sichere

und gleichermaßen wirtschaftliche Fundamente zu entwerfen ist Aufgabe des Geotechnikers, des auf Baugrundfragen und die ingenieurmäßige Bemessung von Gründungen spezialisierten Bauingenieurs.

Gewappnet für alle (Last)Fälle

Wind wirkt nicht nur statisch – Böen belasten Montagesystem und Gründung zudem zyklisch-dynamisch; dieses Phänomen, auch als wiederholte Einwirkungen bezeichnet, kann bei nicht ausreichend bemessenen Gründungselementen Lockerungseffekte zur Folge haben, d.h. eine sukzessive Schädigung über die Lebensdauer des Bauwerkes – bis hin zum

Versagen (Bild 3).

Weiterhin zu berücksichtigen sind neben den in Abs. 1 genannten Verkehrs- und Eigenlasten Zwängungen infolge Temperaturänderungen sowie eine ungleichmäßige Lastverteilung infolge unterschiedlicher steifer Auflager (Lastfall „Auflagerverschiebung“).

Da die genannten Belastungen gleichzeitig auftreten können, muss vom Ingenieur auch die Überlagerung aller Lastfälle betrachtet werden, um die Konstruktion gegenüber den ungünstigsten Lastfallkombinationen mit den erforderlichen Sicherheiten zu bemessen. Dies geschieht in der Geotechnik z.B. nach dem Teilsicherheitskonzept des EC 7 bzw. der DIN 1054-100.

Bild 2: Einwirkungen auf Freiland-PV-Anlagen und Weiterleitung der resultierenden Kräfte über die Gründung in den Boden

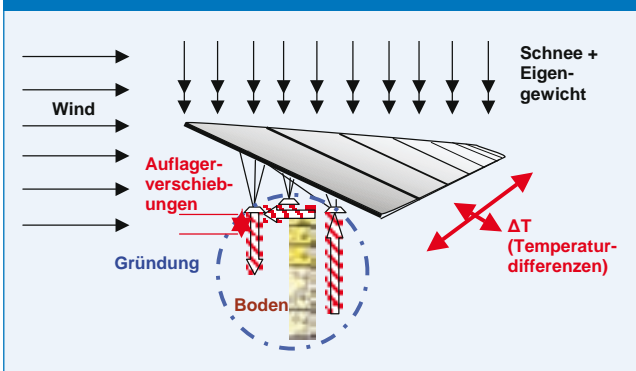
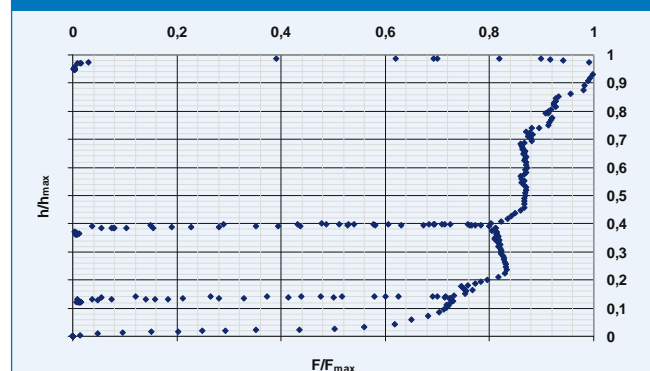


Bild 3: Entfestigung, Verformungszunahme und Bruch eines Fundamentes bei zyklischer axialer Zugbelastung



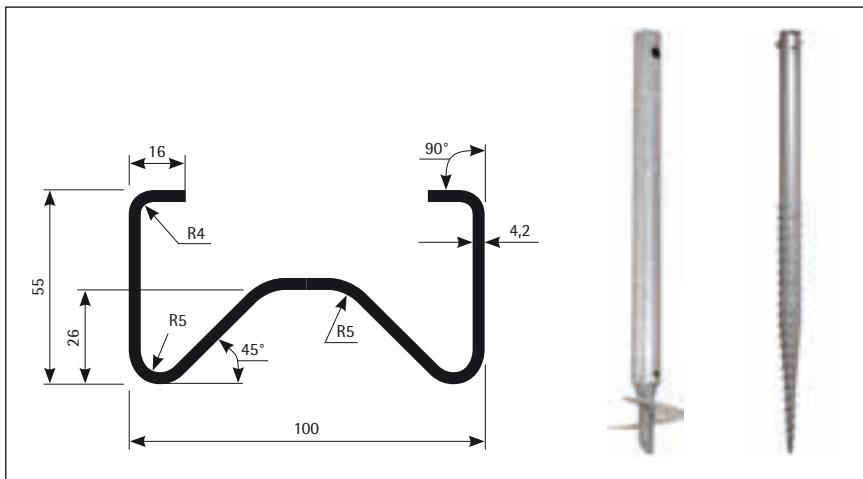


Bild 4: Kleinpfehlprodukte verschiedener Hersteller: links Querschnitt eines Rammfundamentes, Mitte und rechts Beispiele eindreh-/ einschraubbarer Lösungen (exemplarisch)

Lösungsvielfalt bei der Gründung von PV-Freiflächenanlagen

Neben konventionellen Stahlbeton-Flachgründungen sowie Brunnenringen kamen bisher auch Schwergewichtslösungen in Form von ballastierten, mit Boden gefüllten Kunststoff-Formwannen sowie Gabionen zum Einsatz, um insbesondere die Zug- und Horizontalkräfte aus Windbelastung adäquat aufnehmen zu können.

Im Lockergestein – d.h. Kies, Sand, Schluff und Ton – haben sich in den vergangenen Jahren zunehmend Kleinpfehlösungen (Bild 4) durchgesetzt, auf deren Besonderheiten bei der geotechnischen Bemessung im Folgenden näher eingegangen werden soll.

Bemessung von Kleinpfehlen auf Basis von Probelastungen

Während bei Flach- und Schwergewichtgründungen ein konventionelles Baugrundgutachten ausreichend ist, das Bodenarten und -zustand der Schichten des Untergrundes beschreibt sowie

klassifiziert und das auf ggfs. in der Gründungstiefe vorhandenes Grund-/ Schichtenwasser eingeht, sind bei Kleinpfehlgründungen ergänzende Untersuchungen erforderlich, sogenannte Pfahlprobelastungen (Bild 5). Diese simulieren die axiale und transversale Belastung, welche die Bauwerksgründung später aufzunehmen hat. Über die Baufläche verteilt wird eine statistisch ausreichende Anzahl Pfähle zyklisch z.B. mit Zugkräften, aber auch Horizontalkräften und Momenten belastet, ent- und wiederbelastet sowie anschließend bis zum Bruchzustand belastet; dabei werden die aufgetragenen Kräfte bzw. Momente und die zugehörigen Verformungen aufgezeichnet (Bild 6).

Es ist im Hinblick auf die Minimierung der Untersuchungskosten sinnvoll, die Anfertigung der Baugrunderkundung wie auch der Probelastungen integral in einem Gutachten durchführen zu lassen.

Auf Basis der Baugrundbeschreibung sowie der statistischen Auswertung der Arbeitslinien wird die Tragsicherheit der Gründung gegenüber zyklischer Entfestigung / Erreichen des Bruchzustandes sowie deren Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen; in das zugrunde liegende Sicherheitskonzept gem. DIN 1054 geht auch die Streuung der Versuchswerte aus den Probelastungen mit ein.

Nutzen von Rechenmodellen

Es gibt zwar Modelle für die Berechnung der Tragfähigkeit von Kleinpfehlen, jedoch können diese die in Abs. 4 genannten Probelastungen nicht ersetzen, allenfalls ergänzen. Die für den Einsatz der Modelle benötigten Eingangsparameter, z.B. der Bettungsmodul bei der Berechnung horizontal belasteter Pfähle, unterliegen in der Natur einer hohen Streubreite – der Bettungsmodul ist kein fester Kennwert, sondern eine von der Beanspruchung abhängige Größe – und lassen sich aus einem konventionellen Baugrundgutachten i.d.R. nicht zuverlässig ableiten. Ein Grund hierfür liegt in der geringen Gründungstiefe von Freiflächen-PV-Anlagen: Die Mutterbodenschicht, aber auch der oberflächennahe Boden bis mindestens 1,2m Tiefe, sind den klimatischen, zyklisch stattfindenden Prozessen wie Frost, Niederschlag und Austrocknung ausgesetzt; diese bewirken Entfestigungs- wie auch Verfestigungsprozesse, die – geotechnisch als Konsistenz und Konsolidierungsgrad des Bodens beschreibbar, aber im jahreszeitlichen Verlauf schwer vorhersehbar – in starkem Maße dessen Festigkeit im Verbund mit dem Kleinpfehl bestimmen.

Während es für die Abschätzung der Grenzlast verschiedene Modelle gibt [vgl. die Aufzählung in Schulz & Schmid,



Bild 5: Projektspezifische Probelastung eines Kleinpfehlelementes

Bild 6: Normierte Arbeitslinien aus Zugversuchen an verschiedenen Kleinpfehlen in Löß-/ Auelehm (weich – steif)

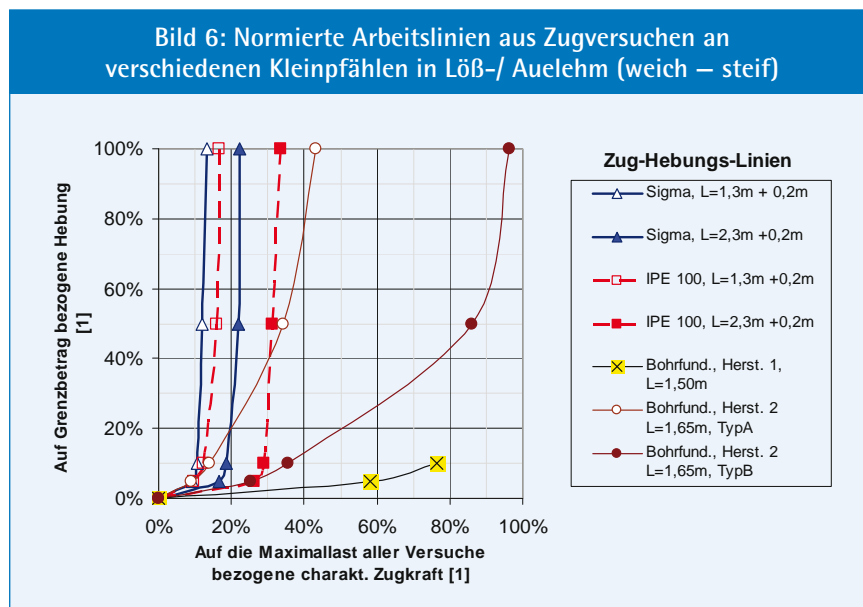
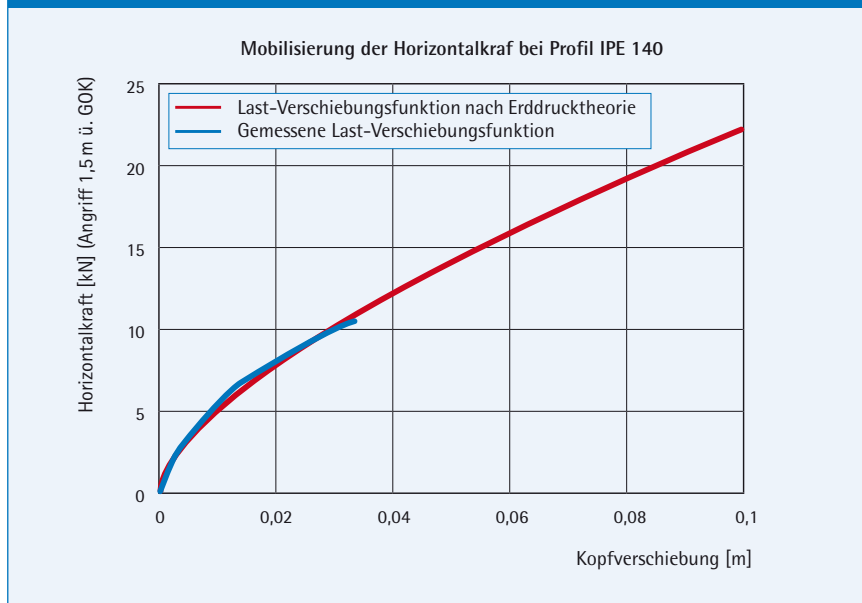


Bild 7: Messung und Nachrechnung der Probebelastung eines IPE140-Profiles in Sandboden [Schulz, H., 2009, unveröffentlicht]



2006], muss für die Prognose bzw. Modellierung der Verformungen i.d.R. auf Finite-Element-Modelle (FEM) zurück gegriffen werden.

Rechnerisch sind Probebelastungen bzw. insbesondere die Grenzlastbeträge von Kleinpählen am besten in Sandböden modellierbar (Bild 7), während beispielsweise Lehm- und Tonböden schwieriger zu handhaben sind.

Sonstige Hinweise für den Entwurf und die Bemessung

Der Bodenzustand bestimmt, wie in Abs. 5 beschrieben, neben der Bodenart die Festigkeit der Gründung im Verbund mit dem Kleinpahl; der Bodenzustand insbesondere bindiger Böden hängt dabei auch stark von den Entwässerungsbedingungen des Oberflächen- sowie ggfs. vorhandenen Schichtenwassers ab,

also von der Topologie und Exposition des Hanges, z.B. Mulden- oder Sattellage und den Abschlagslängen bis zum nächsten Vorflutgraben, sowie von den Möglichkeiten der Fläche, über Verdunstung überschüssiges Wasser wieder an die Atmosphäre abzugeben, wobei süd-exponierte Hangflächen hier im Vorteil gegenüber ebenen Flächen sind.

Als kritische Bemessungssituation sind daher insbesondere Frühjahrsstürme anzusehen, die auf einen wassergesättigten bindigen Boden z.B. in Muldenlage treffen (Bild 8) und auf den die Gründung ggfs. vorher nicht bemessen wurde. Zu den Aufgaben des die Gründung entwerfenden Geotechnikers gehört daher, im Zuge der Durchführung von Baugrunderkundung und Probebelastungen die topologisch-hydrologische Situation mit anzusprechen und im Gutachten wie auch



Bild 8: Beispiel für einen massiven Schadensfall an einer PV-Freiflächen-Pfahlgründung im wassergesättigten, bindigen Frühjahrsboden nach Durchzug eines Orkanes [nachführbare Anlage, Panels und Montagesystem nach dem Schaden wieder demontiert; Bilder unveröffentlicht]

beim Entwurf der Kleinpahlgründung mit zu berücksichtigen; ggfs. müssen z.B. am Hangfuß Drainageeinrichtungen angeordnet und Muldenlagen sowie ungünstig lange Strecken hinsichtlich einer verbesserten Entwässerung von Oberflächenwasser durch Zwischendrainagen und Geländemodellierungen optimiert werden.

Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Pfahlprobebelastungen und der aktuelle Bodenzustand im Zusammenhang mit der jahreszeitlichen Situation einzuordnen und diese Bewertung bei der Bemessung der Gründung mit zu berücksichtigen.

Zusammenfassung

Stahl-Kleinpfähle haben sich als wirtschaftliche, schnelle, sichere und schließlich am Ende der Lebensdauer der PV-Anlage auch wieder gut rückbaubare Variante zur Gründung von PV-Freiflächenanlagen etabliert.

Wichtige Grundlage für die Bemessung einer Kleinpahlgründung sind integral mit der üblichen Baugrunderkundung durchgeführte Pfahlprobebelastungen. Planung und Auswertung haben die spätere Situation des Lastangriffes, die natürlichen lokalen wie auch jahreszeitlichen Streuungen der Baugrundeigenschaften und die zyklische Natur der Einwirkungen zu berücksichtigen.

Rechenmodelle können die Probebelastungen vor Ort nicht ersetzen, stellen jedoch ein sinnvolles Werkzeug bei der Optimierung der Gründung dar, sofern sie an projektspezifischen Probebelastungsergebnissen kalibriert werden.

ZU DEN AUTOREN:

► *Dipl.-Ing. (Univ.) Jürgen Schmid*
Geschäftsführender Gesellschafter der Ing.-Ges. AquaSoli GmbH & Co. KG, München, ist Bauingenieur mit besonderer Vertiefung im Bereich Geotechnik und Fachgutachter im Ausschuss der Gütegemeinschaft Solarenergieanlagen e.V.

juergen.schmid@aquasoli.de

► *Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Schulz*
Geschäftsführer und Senior Consultant der Ing.-Ges. AquaSoli GmbH & Co. KG, München, ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Geotechnik, Erd- und Grundbau
prof.hartmut.schulz@aquasoli.de