

Geothermisch aktivierte Bodenmischwände als dauerhafte Bestandteile eines nachhaltigen Energiesystems

Zur Nutzung von Geothermie lassen sich unterschiedliche Gründungselemente geothermisch aktivieren, indem sie mit Erdwärmesonden bestückt werden. Das Prinzip: Mithilfe von Sonnenkollektoren, etwa auf Gebäudedächern, wird in den Sommermonaten Energie gewonnen und über verbaute Erdwärmesonden in den Boden abgegeben und gespeichert. Im Winter wird diese Energie dem Boden wieder entzogen und beispielsweise zum Heizen von Gebäuden verwendet. Geotechnischen Gründungselementen, die temporär als statisches Tragwerk genutzt werden, kommt so eine erweiterte Rolle zu und sie können ein dauerhafter Bestandteil eines schlüssigen Systems erneuerbarer Energien werden.

Zusätzlich zu einzelnen ausgeführten privaten Bauvorhaben kann Erdwärme durchaus für große öffentliche Bauvorhaben oder Infrastrukturprojekte eingesetzt werden und dadurch deren Nachhaltigkeit signifikant steigern. Besonders das Konzept der Niedertemperaturwärme und die Nutzung des Baugrunds als Wärmespeicher haben das Potenzial, geothermische Energie quasi flächendeckend verfügbar zu machen.

Im Bereich geothermischer Aktivierung gelten Bodenmischverfahren aufgrund des günstigen Wärmeübergangs vom Boden zu den Erdwärmesonden, die an die statisch erforderlichen Stahlträger komplementär angebracht werden, als ideale Ausführungsmethode. Der Schlüssel für solche nachhaltigen Erfolgsprojekte liegt darin, den Spezialtiefbauexperten schon in einem frühen Stadium in die Planung mit einzubeziehen, um beispielsweise die Verbauwand als nachhaltigen Wärme- und Kältespeicher zu berücksichtigen.

Mixed-in-Place-Verfahren

Eine Mixed-in-Place-Wand (MIP-Wand) weist aktuell eine nominale Stärke von 400 oder 550 mm auf. Mit dem vom Spezialtiefbauunternehmen Bauer erfundenen Verfahren wird dem anstehenden Boden eine Bindemittelsuspension bis in

(derzeit) maximal 23,5 m Tiefe mit einer Dreifachschnecke eingemischt, sodass ein in seiner Zusammensetzung homogener Bodenmörtel über die Höhe der MIP-Wand entsteht. Die Anwendungsgrenzen wurden und werden sukzessive auf Grundlage entsprechender Projektanforderungen und in Abhängigkeit gerätetechnischer Möglichkeiten erweitert.

Die oben genannten Daten sind in der allgemeinen Bauartgenehmigung des Deutschen Instituts für Bautechnik für die Anwendung des MIP-Verfahrens zur Herstellung statisch relevanter Tragglieder hinterlegt.

Um eine durchgehende MIP-Wand im Erdreich herzustellen, werden die Lamellen im doppelten Pilgerschrittverfahren



Abb. 2 – Eine typische, durch eine MIP-Wand gesicherte Baugrube in München

» Alle Beteiligten können gemeinsam beeinflussen, inwiefern die anfängliche Bauphase im Lebenszyklus eines Gebäudes die Umwelt beeinträchtigt. «

ausgeführt. Zunächst werden die Primärlamellen hergestellt, bevor die Sekundärlamellen die Lücke zwischen den Primärlamellen entlang der geplanten Wandachse schließen. Danach werden in den Überlappungsbereichen zusätzliche Lamellen vorgesehen, sodass am Ende jeder Abschnitt der Wand mindestens zweimal gemischt wurde (Abb. 2). In den noch frischen Bodenmörtel, das heißt vor Erstarungsbeginn des darin enthaltenen Zements, werden Stahlträger eingebaut, zwischen denen sich im erhärteten Bodenmörtel ein Druckgewölbe zur Lastableitung der Erddruckkräfte ausbildet. Mit

einem Lasergerät wird sichergestellt, dass die Träger in der richtigen Höhenlage eingebracht werden.

Einfluss des Bauverfahrens auf die Nachhaltigkeit eines Bauwerks

Der für die Herstellung einer MIP-Verbauwand anfallende äquivalente Kohlendioxidausstoß (CO₂eq) wird häufig verwendet, um den klimawirksamen Fußabdruck eines Bauprodukts (englisch: Product Carbon Footprint = PCF) anzugeben. Neben dem Carbon Footprint haben auch die erforderlichen baustellenbezogenen Transporte einen maßgeblichen Einfluss

auf die Nachhaltigkeit, weil das Verkehrsaufkommen auch ein Maß für Lärm und Luftverschmutzung ist. Der EFFC/DFI Carbon Calculator erlaubt die systematische Berechnung des PCF sowie einen objektiven und transparenten Vergleich geotechnischer Produkte zur Lösung einer Bauaufgabe. Auch wenn dabei nur der Zeitraum bis einschließlich der Herstellung berücksichtigt wird, u. a. die lange Nutzungsdauer des Gebäudes also nicht abgedeckt wird, stellen die so ermittelten Zahlen dennoch einen wesentlichen Anteil an der gesamten Ökobilanz eines Gebäudes dar.

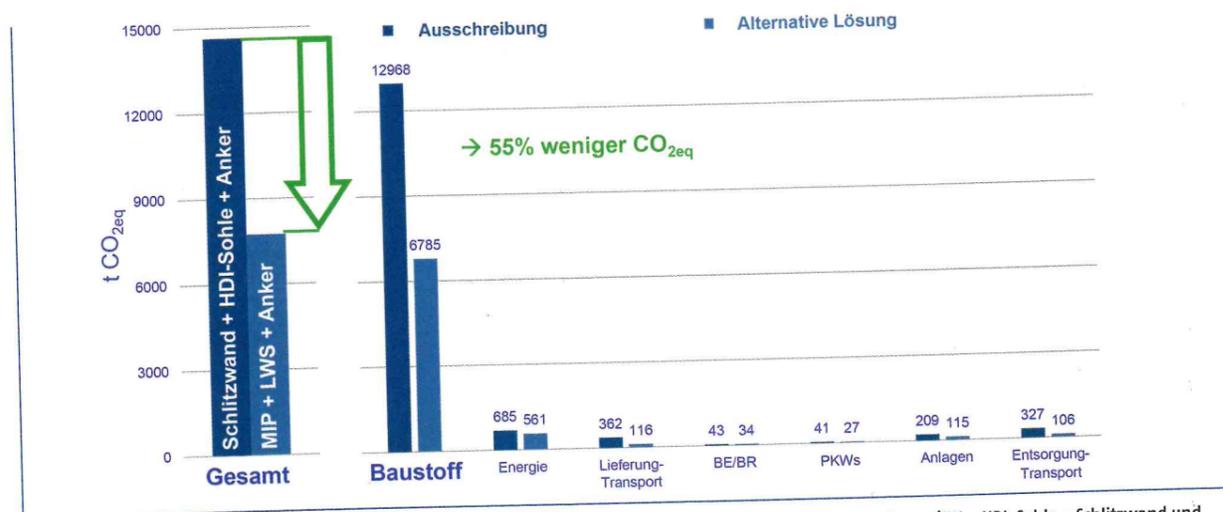


Abb. 3 – CO₂eq-Bilanzen für die geotechnischen Arbeiten am QH-Track (Berlin) bei Ausführung der entsprechenden Lösung (SW + HDI-Sohle = Schlitzwand und HDI-Sohle) im Vergleich zur Alternative (MIP + LWS = Mixed-in-Place-Verbauwand und BAUER LWS Softgel-Sohle)

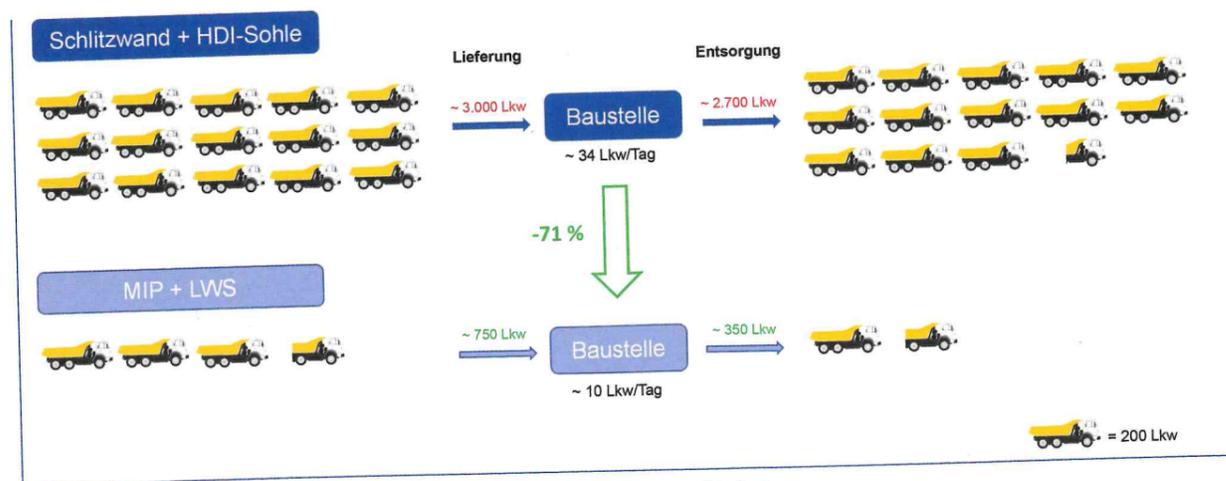


Abb. 4 – Darstellung des Transportaufkommens für die geotechnischen Arbeiten am QH-Track in Berlin mit der entsprechenden Lösung (SW + HDI-Sohle) im Vergleich zur Alternative (MIP + Weichgelsohle)

Solche Berechnungen können zeigen, welche enormen Einsparungen hinsichtlich Nachhaltigkeit allein durch die Wahl alternativer Bauverfahren erzielt werden können und belegen so das Nachhaltigkeitspotenzial insbesondere von Bodenmischverfahren. Eine mit dem MIP-Verfahren hergestellte Verbauwand kann etwa den PCF im Vergleich zu herkömmlicher Schlitzwandtechnik um 30 % und mehr reduzieren. Ähnliche Vergleichsberechnungen unterstützen den Trend, dass der vorwiegende Anteil der Emissionen in den verwendeten Baustoffen begründet ist (Abb. 3). Diese Erkenntnis führt zu der Schlussfolgerung, dass die Höhe der Reduzierung des PCF überschlägig durch die Bewertung der CO₂eq-Einsparung bei den Baustoffen eingeschätzt werden kann.

Auf Basis der gleichen Datensammlung kann auch nachgewiesen werden, dass die Reduzierung der Transporte zur und von der Baustelle ein weiterer Vorteil des Mixed-in-Place-Verfahrens ist. Die signifikante Einsparung von Transporten ist ein eigener und ebenso bedeutender Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit geotechnischer Arbeiten.

Grundsätzlich liegt die Nachhaltigkeit – inklusive der Ressourceneffizienz – des Mixed-In-Place-Verfahrens in der Herstellung eines betonähnlichen Materials unter Verwendung des anstehenden natürlichen Bodens begründet. Weil der Boden in-situ als Gesteinskörnung verwendet wird, entfällt nicht nur der Abtransport von ausgehobenem Material von der Baustelle, sondern auch die Lieferung von Beton zur Baustelle (Abb. 4).

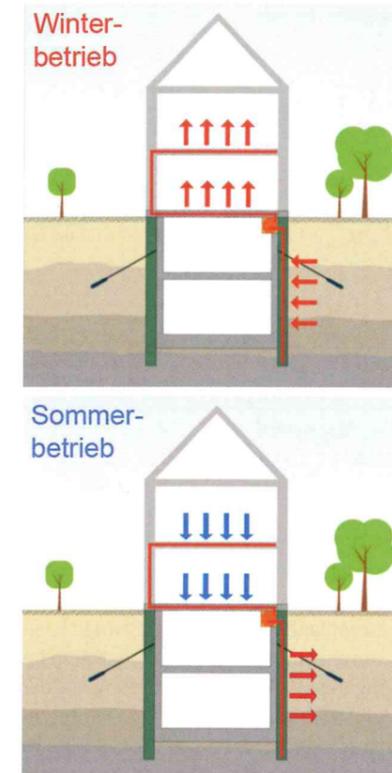


Abb. 5 – Typischer Anwendungsfall für geotechnische Bauteile zur Erdwärmennutzung für ein Gebäude

Geothermische Aktivierung des Bodens

Die Nutzbarmachung geothermischer Energie ist keine grundsätzlich neue Idee. Das Potenzial der Aktivierung von temporären oder permanenten geotechnischen Bauteilen scheint aber bisher noch lange nicht ausgeschöpft zu sein. Neben privaten, zumeist kleineren Wohnbauprojekten bietet der Spezialtiefbau Erdwärme auch in

großen Projekten wie dem prestigeträchtigen „The Circle“ am Flughafen Zürich zur Verwendung an. Für das Schweizer Großprojekt hat Bauer Bohrpfähle hergestellt, die geothermisch aktiviert wurden.

Besonders das Konzept von Niedertemperatur-Wärmetechnologie (tatsächlich: Kälte und Wärme) bietet ein breites Anwendungsfeld für geothermische Energie. Zum Beispiel werden dabei geotechnische Bauteile als zentraler Bestandteil eines in einem ganzen Stadtteil betriebenen Systems (basierend auf rein erneuerbarer Energie) betrachtet, in dem der Boden auch als Speicher vorgesehen wird, um jahreszeitliche Perioden im System auszugleichen (Abb. 5). Selbsterklärend ist die erforderliche Bedingung, dass für die Integration in die Haustechnik die bauliche Umsetzung der geothermischen Aktivierung geotechnischer Bauteile bereits in einem sehr frühen Planungsstadium einer Bauaufgabe berücksichtigt werden muss. Das ist allerdings in der Regel bisher nicht der Fall. Folglich sollten solche nachhaltige Überlegungen a priori in den frühen Planungsprozesse einziehen.

Im Hinblick auf die geothermische Aktivierung sind tiefreichende Bodenstabilisierungen wie mit dem MIP-Verfahren ideal. Aufgrund der granularen Verzahnung des Bodens mit der Boden-Zement-Mischung (Bodenmörtel) wird Wärme ohne Unterbrechung (durch eine „kalte Fuge“) in die geothermisch aktivierten Bauteile und weiter zu den an den Stahlträgern angebrachten Sonden geleitet. Diese Idee ist Teil eines Patents, das BAUER Spezialtiefbau erteilt wurde. Für ein Wohngebäude

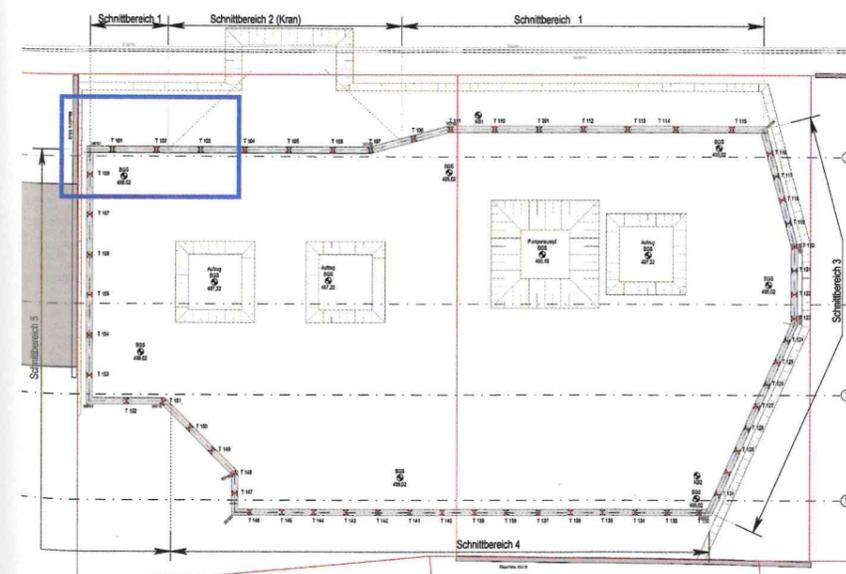
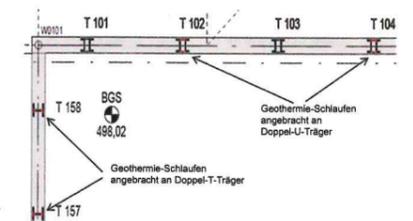


Abb. 6a – Beispielhafter Grundriss einer Baugrube mit einer umschließenden BAUER-Energiewand

Abb. 6b – Detailsicht mit einfachen Breitflansch-Doppel-T-Trägern oder Doppel-U-Trägern und teilweise zu installierenden Erdwärmesonden (rote Markierung)



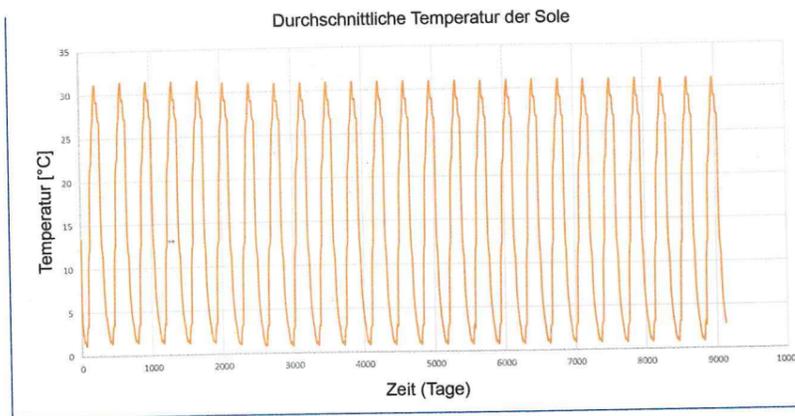


Abb. 7 – Ausgeglichene Temperaturkurve der Sole des Systems über mehrere Jahre, aus einer numerischen Simulation (mit finitem Element)

mit 14 Wohneinheiten in Füßen, für das Mixed-in-Place-Verbauwände hergestellt wurden, produziert die BAUER Energiewand, wie Messungen zeigen, erfolgreich 5,5 kW mit nur 1,0 kW eingesetzter Elektrizität, was einen Leistungsfaktor von 5,5 ergibt und als sehr guter Wert gilt.

Abbildung 6a zeigt den Grundriss einer Baugrube, die von einer MIP-Verbauwand umschlossen ist. Vertikale Stahlträger wurden als statisch wirksame Tragglieder eingebaut (Abb. 6b). Eine analytische Studie ergab die Anzahl der Wärmesonden und welche Stahlträger damit ausgestattet wurden. Diese beinhaltet auch das Energiekonzept für die gesamte planmäßige Nutzungsdauer des Gebäudes. So wird die

temporäre Verbauwand tatsächlich ein integraler Bestandteil des permanenten Bauwerks.

Grundlage eines funktionierenden Energiekonzepts mit Geothermie ist die Eignung des Bodens (in Verbindung mit der Wand selbst), was in einer Voruntersuchung festgestellt und mit dem Bauherrn besprochen werden muss. Wenn die geothermische Aktivierung des Bodens in das Gesamtkonzept integriert werden soll, muss die entsprechende Genehmigung beim örtlichen, zuständigen Wasserwirtschaftsamt eingeholt werden. Im Hinblick auf die langfristige Verwendung des Bodens als Wärme- und Kälteakkumulator führte Bauer zuletzt eine Überprüfung

durch. Es wurde nachgewiesen, dass die Energie, die für das Gebäude während der Betriebsdauer aufgebracht wird, tatsächlich erneuerbar ist. Hierfür wurden Thermal-Response-Tests (TRT) und numerische Simulationen auf der Grundlage von TRT herangezogen. Die wiederholbare Regeneration des Bodens und Grundwassers ist essenziell für die Nachhaltigkeit des Energieversorgungssystems. Um die wiederholte geothermische Nutzung in den Wintermonaten zu ermöglichen, muss in den warmen Sommermonaten – in der Regel – Wärme in den Boden zurückgeleitet werden, während die gewonnene niedrigere Temperatur aus dem Boden das Kühlsystem des Gebäudes unterstützt (Abb. 5). Diese insgesamt ausgewogene Nutzung kann durch numerische Simulationen bestätigt werden, die die angepasste Temperatur der zirkulierenden Sole im geothermischen System im Lauf der Zeit berechnet (Abb. 7).

Auch dem Profil des in die Verbauwand eingebauten Stahlträgers kommt bei der Planung und Ausführung eine Rolle zu. Die Geothermie-Rohre werden normalerweise im Schutz der Flansche am Steg angebracht und das Anschlussdetail hängt im Detail vom Profil ab (Abb. 8). Da die in den Rohren enthaltene Sole als Wärmeträgerflüssigkeit durch die Röhren zirkulieren muss, sind sie als Schleifen über die Länge des Trägers konzipiert, wobei sie bei üblicher Ausführung nicht weniger als 1 m unter der Geländeoberkante enden.

Für das zuvor genannte Wohngebäude wurde ein Kellergeschoss mit einer MIP-Verbauwand mit den statisch erforderlichen Stahlträgern zur Umschließung der Baugrube sowie mit Erdwärmesonden geplant und ausgeführt. Letztere wurden an den Stahlträgern befestigt, bevor sie in den noch frischen Bodenmörtel eingebracht wurden (Abb. 9). Die an den Stahlträgern befestigten Erdwärmesonden müssen später über spezielle Verbindungsstücke gekoppelt werden, die für den Einbauvorgang durch Stahlplatten geschützt wurden. Die Verbindungen werden entweder seitlich am (Doppel-T-) oder mittig im (Doppel-U-)Träger aus der Wand herausgeführt. Am Kopf der Stahlträger können die Verbindungen der Erdwärmesonden oberhalb der Geländeoberkante sein und dort später gekoppelt werden.

Um das System zu vervollständigen oder es redundanter zu machen, kann es – wie in Füßen geschehen – mit Solarpanelen verbunden werden, um eine weitere erneuerbare Energiequelle für das Haussystem ins Spiel zu bringen. Ebenso kann darü-

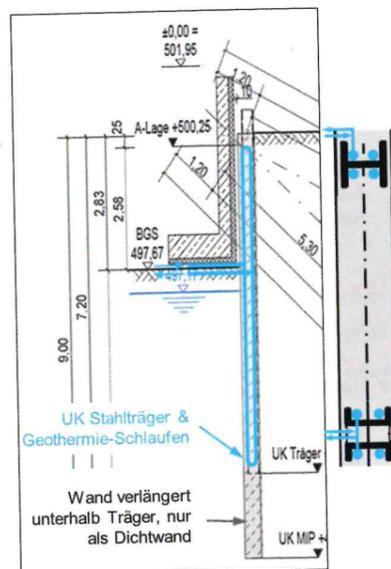


Abb. 8 – Schnittdarstellung der MIP-Wand mit geothermischen Röhren, mit Durchlass im unteren Bereich unterirdisch (links) sowie eine schematische Darstellung der Durchlassverbindungen zwischen U-Profil oder an der Seite eines Stahlwalzträgers (rechts)



Abb. 9 – Unteres Ende einer Erdwärmesondenschleife, befestigt an die Stahlträger und bereit für den Einbau



Abb. 11 – Blick in die Baugrube: Vorbereitung der geothermischen Aktivierung, hier mit dem Auslass der Geothermie-Rohre aus der MIP-Wand unter GOK, auf Höhe der späteren Bodenplatte.

ber hinaus die Bodenplatte geothermisch aktiviert und die zusätzliche Energie in das System integriert werden (Abb. 11). Nach der Herstellung des Gebäudes müssen die Erdwärmesonden an die Wärmepumpen angeschlossen werden. Der Kälte-Wärme-Kreislauf kann anschließend initiiert werden.

Schlussfolgerung und Ausblick

Das Bauen im Untergrund wird auch in Zukunft nicht ohne Eingriff in die Natur ausgeführt werden können. Alle Beteiligten können allerdings gemeinsam beeinflussen, inwiefern die anfängliche Bauphase im Lebenszyklus eines Gebäudes die Umwelt beeinträchtigt. Auch der Spezialtiefbau vermag wesentlich zu einem nachhaltigeren, „grüneren“ Bauen beizutragen. Eine Kooperation basierend auf Partnerschaft kann die gemeinsame Entwicklung der projektspezifisch nachhaltigsten Lösung erlauben, mit wenigen Einschränkungen und Mut für Innovationen. Geotechnische Bauwerke sind oft temporär, sollten aber in jedem Fall bezüglich der Auswirkungen bei deren Erstellung für den gesamten Lebenszyklus des Ge-

samtbauwerks eingeordnet, also integraler Bestandteil eines nachhaltigen Konzepts des Gebäudes werden. Eine nachhaltige Lösung ist die Verwendung von Erdwärme durch tiefe Gründungen oder Verbauwände. Das Bodenmischverfahren kann hier als ideale Anwendung festgestellt werden. Abgesehen von der Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks verringern weniger Transporte ebenso die Geräuschemission und die Luftverschmutzung in der unmittelbaren Umgebung und tragen so direkt auch zu den Nachhaltigkeitszielen bei. Im Besonderen durch den verzahnten Kontakt mit dem umliegenden Boden wird die Mixed-in-Place-Technik zu einem bevorzugt nachhaltigen Verfahren, weil sich günstige Wärmeübertragungseigenschaften einstellen. Dadurch werden die oft temporär genutzten Tragkonstruktionen zu einem dauerhaften Teil der Gebäudetechnik.

Wenn die BAUER-Energiewand in die Haustechnik des Gebäudes integriert werden soll, ist es notwendig, schon sehr früh mit der Planung anzufangen. Bei Bauwerken, die mit Gründungspfählen oder Verbauwänden bereits mit geothermischen

Sonden ausgestattet sind, werden diese geotechnischen Elemente erfolgreich als Akkumulatoren verwendet. Die Grundidee beginnt mit dem Bauherrn und berücksichtigt, dass die lokalen Behörden erneuerbare Energien mit nachhaltigem Wärme- und Kältekreislauf unterstützen. Sobald die Machbarkeit bestätigt wurde, kann ein Gesamtkonzept für den Kälte-Wärme-Kreislauf für das Gebäude erarbeitet werden. In der Praxis und in der numerischen Simulation wurde gezeigt, dass die Verwendung der geothermalen Speicher der MIP-Elemente und des umgebenden Bodens ein essenzieller Teil dieser nachhaltigen Konzepte sein kann.

Autoren

Stefan Jäger
Dr. Hursit Ibuk
Dr. Karsten Beckhaus
BAUER Spezialtiefbau GmbH
BAUER-Str. 1
86529 Schrobenhausen
Tel.: +49 (0) 8252 97-0
bst-bt-sek@bauer.de
www.bauer.de