SUBSTANZ

ISSN 2625-0888

Ausgabe 7/2021

Das URETEK Magazin für Architekten, Bauingenieure und Geologen

Hoffentlich ist es Beton?!

Schwerpunktthema
Nachhaltiges Bauen

URETEK®
BEWAHREN, WAS UNS TRÄGT

Inhalt

3 Editorial

SCHWERPUNKT – NACHHALTIGES BAUEN

4 Hoffentlich ist es Beton?!

6 Nachhaltiges Bauen: Unsere Zukunft positiv gestalten

10 Betonwandel – Baustoff sucht Nachfolger

16 Klimaneutrale Betonbauweise – Wege in die Praxis

20 Ausgebaut und eingebaut?!

26 Vom Ende zum Anfang gedacht – Das Recyclinghaus in Hannover

30 Nichts für Betonköpfe

34 Pfähle im „bösen Grund" – Hölzerne Gründungen des vorindustriellen Zeitalters

38 Wiedernutzung von Bestandsgründungen

42 Die Crux mit dem Kunststoff

46 Geozellen – Mechanismus und Anwendungsbeispiele

KOLUMNE

33 Die Zukunft der Geotechnik

AUS UNSERER PRAXIS

51 Projekte zur Baugrundverstärkung

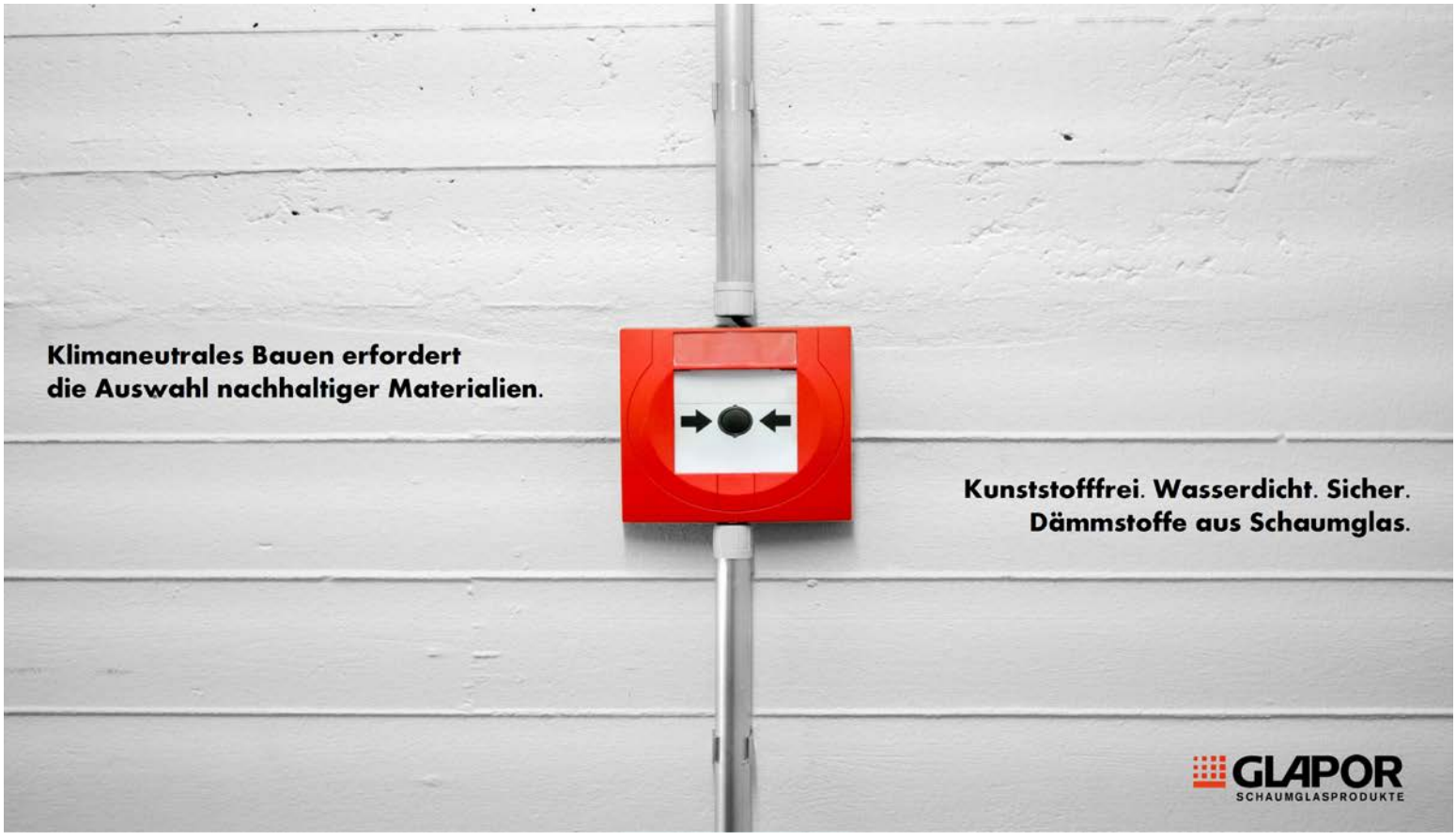
56 Weich gebettet

52 Boden des Jahres 2021: Lössboden

60 Rückblick 7. Deutscher Geotechnik-Konvent 2021

62 Veranstaltungen / Das letzte Wort

63 Impressum



Editorial

Dr. Niels Kegel
Geschäftsführer
URETEK Deutschland GmbH

„Um der Verschwendung im Bauwesen entgegenzutreten, würde ich auf die Frage, was das nachhaltigste Gebäude ist, nicht sagen, jenes, das nicht gebaut wird, sondern das, was bereits gebaut ist.“ [...].“
(Jan Jongert, Superuse Studios, Rotterdam)

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

was macht nachhaltiges Bauen aus?

Ist es etwa damit getan, auf den Baustoff Beton, hier Zement, weitgehend zu verzichten, um damit dem Klimaschutz Genüge zu tun? Oder reicht eine gewisse Dekarbonisierung im Produktionsprozess aus?

Was gibt es da für Alternativen? Ist das Recyclen von gebrauchten Baumaterialien das Mittel der Wahl? Oder gar das komplette Bauen mit gebrauchten Baustoffen? Wie sieht es mit Kunststoffen aus oder Holz? Neben einer guten Ökobilanz rücken aktuell ökonomische Auswirkungen in den Mittelpunkt: steht überhaupt genügend Baumaterial zur Verfügung? Und zu welchen Preisen?

Wir versuchen in der vorliegenden Ausgabe der SUBSTANZ, einige dieser Fragen zu beantworten und wollen dabei auch aufzeigen, welche Rolle die Geotechnik beim nachhaltigen Bauen spielen kann.

Wir wünschen Ihnen wieder eine anregende Lektüre.

Ihr

Dr. Niels Kegel
Geschäftsführer

PS: Bleiben Sie bei Fragen rund um das Bauen im Bestand auf dem Laufenden. Unser Newsletter informiert Sie über (Online-) Veranstaltungen und spannende Projekte: uretek.de/newsletter.

SCHWERPUNKT – NACHHALTIGES BAUEN

Hoffentlich ist es Beton?!

Vermutlich erinnert sich der eine oder die andere Leser*in auch an den Werbeslogan der Zementindustrie aus den 1990er Jahren. Ein bekanntes und sogar prämiertes Werbemotiv zeigt eine Reihe von Elefanten, die im Gänsemarsch eine filigrane Brücke überqueren. Beton bietet Stabilität und Verlässlichkeit – das sollte die Image- und Informationskampagne des Informationszentrums Beton suggerieren. Und es hat gewirkt: die Imagewerte haben über die Jahre deutlich zugenommen.

Früher galt Beton als kalt und künstlich, farblos und trist. Diese Sichtweise hat sich gründlich gewandelt: purer, nackter Beton – Sichtbeton – ist in der Architektur etabliert und wird sogar in Innenräumen zunehmend als Gestaltungsmittel gewählt. Die Möglichkeiten sind nahezu unerschöpflich.

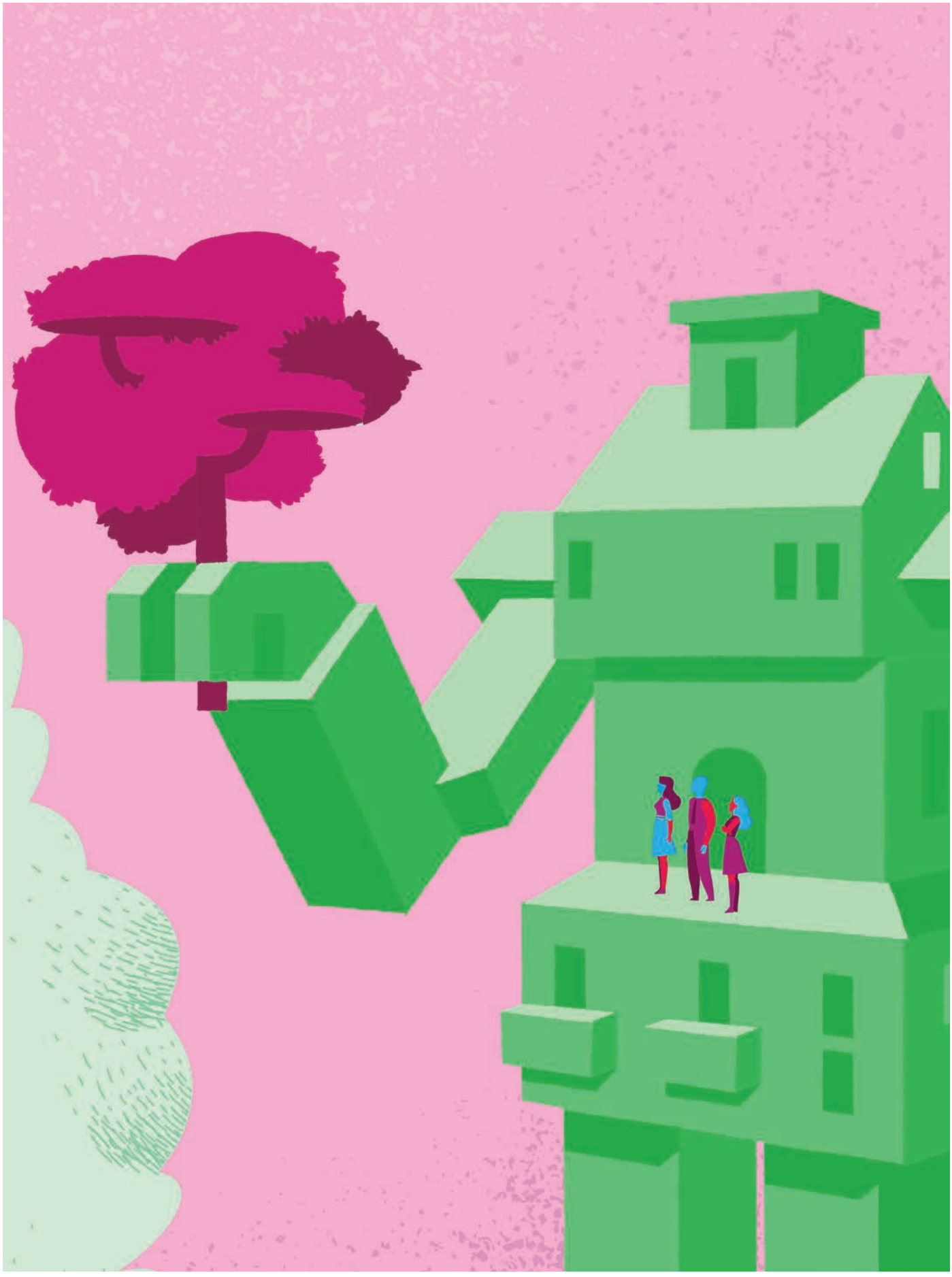
Ursprünglich haben wohl schon die alten Römer mit Beton gebaut. Und heute wird weltweit dreimal so viel Zement (für Beton) hergestellt wie 2001. Dieser Baustoff wird für einen großen Teil der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich gemacht. Bei der Zementherstellung wird mit der Verbrennung von Abfällen – auch Autoreifen – geheizt und es gibt Ausnahmen vom Emissionsschutz für Zementwerke. Diese Horrorbilanz ließe sich noch weiter fortsetzen. Trotzdem wird weiter auf diesen Baustoff gesetzt, da er günstig zu bekommen ist. Und so steht Indien als nächstes Schwellenland vor immensen Bauaufgaben. Über den Umgang mit Zement wird in diesem Magazin noch an verschiedener Stelle eingegangen.

Die Produktion von Zement als (möglichen) Klimakiller einseitig an den Pranger zu stellen, ist hier keineswegs die Absicht. Das wäre auch in der Tat zu eindimensional. Vielmehr sollte der Blick auch über die eingesetzten Baustoffe hinaus zu den Gebäuden gerichtet werden, in denen wir leben und arbeiten. Gibt es nicht auch hier Möglichkeiten und Ansätze für Nachhaltigkeit, zum Beispiel mit Gebäudeaufstockungen oder -umnutzungen?

Ein Vorschlag von Grünen-Fraktionschef Anton Hofreiter zu möglichen Einschränkungen beim Bau von Einfamilienhäusern hat eine kontroverse Debatte ausgelöst: „Einparteienhäuser verbrauchen viel Fläche, viele Baustoffe, viel Energie, sie sorgen für Zersiedelung und damit auch für noch mehr Verkehr". Im Bezirk Hamburg-Nord wird es schon praktiziert: hier dürfen seit gut einem Jahr keine neuen Einfamilienhäuser mehr entstehen. Die Politik möchte regulieren – beim sogenannten Mietendeckel hat das nicht funktioniert. Ob das der Königsweg ist?

Baust du noch, oder wohnst du schon nachhaltig?

Diese an einen anderen bekannten Werbespruch angelehnten Fragen weisen den Weg: Es ist sicher nicht abwegig, über Mehrgenerationenhäuser, das Wohnen und Leben im Alter schlechthin, über Wohnquartiere und Ähnliches nachzudenken. Metropolen wie Barcelona gehen da mit gutem Beispiel voran: es entstehen immer mehr sogenannte Superblocks, in denen die meisten Straßen in fußgängerfreundliche öffentliche Räume verwandelt werden, in denen sich die Bürger treffen. Es sind durch Autofreiheit verbundene Wohnquartiere und jeder Bewohner kann die Stadt durchqueren, um andere zu besuchen, ohne überhaupt ein Auto zu benötigen. Klingt irgendwie utopisch, ist und wird aber speziell in Barcelona immer mehr Realität. Für uns ein Anlass zum Träumen, was in unserem Umfeld möglich wäre in Sachen Nachhaltigkeit?



Karl Urban

SCHWERPUNKT – NACHHALTIGES BAUEN

Betonwandel
Baustoff sucht Nachfolger

Beton lässt sich günstig herstellen und leicht in Form bringen. Doch derzeit baut der Mensch so viele Häuser, Brücken und Dämme wie nie zuvor – mit globalen Folgen, die dringend verringert werden müssten.

Ohne Beton wären Bauwerke wie diese Brücke kaum denkbar.
Quelle: https://unsplash.com/@winglingsux

Zerkleinerte Betonreste bilden den Rohstoff für Recycling-Beton. Quelle: Heinrich Feeß GmbH & Co. KG

Ein riesiger Bagger hebt eine 500 Kilogramm schwere Betonplatte an und zerdrückt sie wie einen Butterkeks. Auf dem Entsorgungsbetrieb östlich von Stuttgart beginnt der Bauabfall hier ein zweites Leben: Der grob zerkleinerte Betonbruch wandert dann über Förderbänder in einen Backenbrecher, wo das Material zu murmelgroßem Granulat zerkleinert wird. Die Betonreste werden sortiert und am Ende an Betonwerke geliefert. Es ist Rohstoff für Recycling-Beton, der aber auf dem Markt noch immer ein absolutes Nischendasein fristet. Fast der gesamte Beton wird bis heute aus frischen Materialien hergestellt, mit immensen Folgen.

Bild 2: Der Rosenstein-Pavillon kann als Beweis dafür angesehen werden, dass Strukturoptimierung neue Gestaltungspotenziale in der Architektur schafft. Foto: Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK), Universität Stuttgart

Laut dem Weltklimarat gehen drei Milliarden Tonnen CO_2 jährlich allein auf die Produktion des Bindemittels Zement zurück[1]. Das sind bis zu zehn Prozent des vom Menschen ausgestoßenen Treibhausgases und etwa dreimal mehr als der Flugverkehr. Bei der Herstellung von einem Kubikmeter Stahlbeton plus des darin befindlichen Stahls werden im Durchschnitt 330 Kilogramm CO_2 abgegeben, so viel wie ein ganzer Wald aus 4000 Bäumen an einem Tag umsetzen kann. Die Probleme des Betons sind bei den meisten Entsorgungsunternehmen, vor allem aber in der Bauwirtschaft, längst noch nicht angekommen. Dabei gibt es etliche Ideen, die ökologischen Folgen des erfolgreichsten Baustoffs der Menschheit zu drosseln.

Mut zur Lücke

Wer die Idee des nachhaltigen Bauens zurückverfolgen will, kommt an Werner Sobek nicht vorbei. In den 1970er Jahren studierte er Architektur und Bauingenieurwesen, zwei Fächer mit sehr unterschiedlichen Ansprüchen. Sobek wollte gleichzeitig nüchtern berechnen und Architektur ästhetisch gestalten – und war unzufrieden. „Ich habe Beton immer als etwas gesehen, das auf der Baustelle missbraucht wird", sagt er, „weil Beton der einzige Baustoff signifikanter Festigkeit ist, den man in beliebige Formen bringen kann." Durch Schalung werde Beton für gewöhnlich in rechtwinklige Formen gegossen, die dem Naturell des Baustoffs in keinster Weise entspreche, sagt Sobek. Als junger Architekt beobachtete er in den frühen 1990er Jahren, dass die Dämmung immer wichtiger wurde. Gebäude wurden in immer mehr Styropor und andere Materialien eingepackt. Doch unter dieser Dämmschicht steckte wie eh und je viel Beton.

Werner Sobek gründete damals ein Architekturbüro, das sich heute weltweit einen Namen im Leichtbau gemacht hat. Ihm geht es darum, die Treibhausgase zu reduzieren, die jeder neu gegossene Kubikmeter Beton freisetzt. Sobek will diese graue Energie einsparen, indem er in der Substanz leichter baut, mit Holz und Textilien. Als Professor an der Universität Stuttgart arbeitete er jetzt zwei Jahrzehnte lang am nächsten großen Wurf.

Sobek führt durch sein ehemaliges Institut – seit Mai 2020 ist er im Ruhestand – und zeigt auf einen Tisch, auf dem verschiedene Betonwürfel stehen, mit runden, ovalen oder gewundenen Hohlräumen. Es ist Beton mit der Porenstruktur eines Schwamms, den der Unternehmer Gradientenbeton nennt. Ein leichter und doch stabiler Baustoff. Aber der Teufel stecke im Detail: Wie ist die physische Beanspruchung in einem solchen dreidimensionalen Gebilde verteilt?

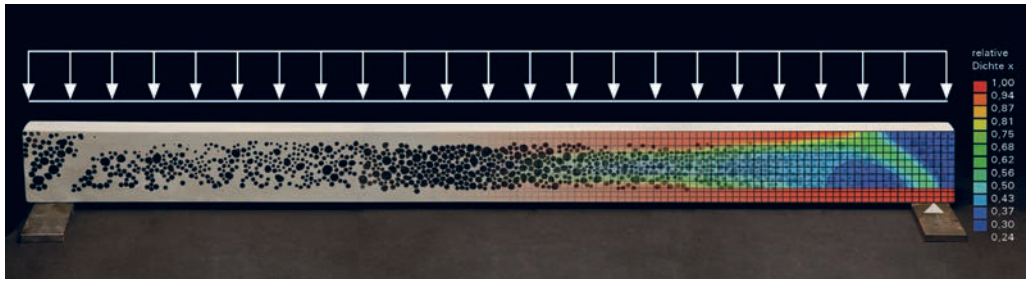


Bild 3: Der nächste große Wurf? Gradientenbeton – ein leichter und doch stabiler Baustoff – könnte die Zukunft des Betons entscheidend mitprägen. Quelle: Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK), Universität Stuttgart

[1] *Scrivener et al.: Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry: http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25281/eco_efficient_cements.pdf (2016)*

Wo können Poren welcher Größe platziert werden? Wie berechnet man das Ergebnis und wie stellt man das her? Diese Fragen hätten Sobek nun „zwei Jahrzehnte seines Lebens" gekostet. Denn wer ein Haus baut, muss wissen, was er tut. Es muss vielleicht nicht für die Ewigkeit halten. Aber das Haus sollte für ein Jahrhundert stehen, ohne die Bewohner unerwartet unter sich zu begraben.

Aus alt mach neu

„Man ist am Anfang natürlich immer skeptisch, wenn man ein anderes Material einsetzt - hat es tatsächlich die gleiche Tragfähigkeit?", sagt auch Rolf Bickelmann. Er ist Leiter des städtischen Hochbauamtes von Tübingen. Und er hatte 2015 eine Idee, wie er zwei Probleme gleichzeitig lösen könnte. Da ist zum einen ein städtisches Gebäude, Baujahr 1954, energetisch völlig veraltet und viel zu klein. Es handelte sich ausgerechnet um das technische Rathaus, das auch Sitz des Hochbauamtes ist. Und da ist zum anderen das Ziel Tübingens, bis 2030 CO_2-neutral werden zu wollen[2]. Die Idee der Planer bestand darin, nur einen Teil des alten Zweckbaus abzubrechen, das alte Satteldach und einige Zwischenwände. Bei diesem Abriss entstünde genügend Bauschutt aus Ziegeln und Betonteilen. Diese Teile sollten zerkleinert, gemahlen und wieder zu neuem Beton für den Anbau werden.

Eine Baustoffprüferin der Hochschule Konstanz schickte eigens zwei Studentinnen nach Tübingen, die den Recyclingbeton auf Eignung prüften[3]. Und die machten im Altbauteil des Technischen Rathauses eine unerwartete Entdeckung. Der alte Teil des Gebäudes, der direkt nach dem Krieg entstand, wurde auch schon aus Recycling-Beton gebaut – und zwar aus recyceltem Bauschutt, der damals überall herumlag. In Tübingen hatte man unwissentlich einer uralten Idee neuen Glanz verliehen.

Nun führt Bickelmann in sein neues altes Arbeitsdomizil. Von außen eine helle Klinkerfassade, hinter dem Eingang ein überdachter Lichthof, der den neuen mit dem alten Gebäudeteil verbindet. Mehrere Decken und Wände bestehen aus recyceltem Beton. Aber wurde dabei auch CO_2 eingespart? Altbeton wurde zerkleinert und zuletzt im Betonwerk mit frischem Zement, Wasser und Sand vermengt. Das heißt, der Kies im Recyclingbeton ist der einzige echte recycelte Rohstoff. Damit kann der Recyclingbeton zwar helfen,

Bild 4: Das technische Rathaus, Sitz des Hochbauamtes, nach dem Umbau. Quelle: www.tuepedia.de © dktue

Rohstoffe zu sparen, stellte eine Studie der Technischen Universität Cottbus fest[4]. Doch in der CO_2-Bilanz des Betons spielt der Transport der Zuschlagsstoffe, von Kies und Sand, nur eine winzige Rolle, und das unabhängig davon, ob die Schüttgüter aus Recyclingwerken oder aus einer Kiesgrube stammen. Denn über 98 Prozent der CO_2-Emissionen des Betons stammen aus einer ganz anderen Quelle, nämlich aus der Zementherstellung.

Neue Rezepturen für Zement

Das Rezept für Zement ist uralt. Schon die Griechen und Römer verwendeten ein solches Bindemittel, allerdings in leicht anderer Form. Sie verwendeten einen Mörtel aus gebranntem Kalkstein, Ziegelmehl und Vulkanasche. Antike Betonteile brauchten entsprechend Wochen, um hart zu werden, aber ihre Festigkeit überzeugt bis heute: Nach beinahe 1900 Jahren ist das Pantheon in Rom noch immer der weltweit größte Kuppelbau ohne Stahlverstärkung, der maßgeblich aus Beton besteht.

„Man hat erst im 19. Jahrhundert erkannt, dass sich bei einem Brennprozess bei diesen 1450 Grad ein wesentlich reaktiveres Material bildet", sagt Frank Winnefeld von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt in Dübendorf bei Zürich. „Und das hat man dann damals aus Marketinggründen Portlandzement genannt, aufgrund der Farbe der daraus hergestellten Baustoffe, die ähnlich war wie ein spezieller Sandstein in Großbritannien." Dieser Portlandzement ist ein wahres Wundermaterial. Er machte Betonbauten, gemeinsam mit Stahl, im heutigen Sinne erst möglich. Jede Autobahnbrücke und jeder Wolkenkratzer verdankt seine

---

[2] *www.tuebingen.de/klimaneutral2030*

[3] *Stürmer & Kulle: Untersuchung von Mauerwerksabbruch und Ableitung von Kriterien für die Anwendung in Betonen mit rezyklierter Gesteinskörnung für den ressourcenschonenden Hochbau, DBU (2017)*

[4] *Mettke et al.: Ökologische Prozessbetrachtungen – RC-Beton, BTU (2010)*

Bild 5: Der weltweit größte Kuppelbau ohne Stahlverstärkungen – das Pantheon in Rom. Quelle: pixabay.com © djedj

immense Festigkeit ihm. Portlandzement ist leicht herzustellen, zu transportieren und er ist billig.

Der geringe Preis ist aber laut der Chemikerin Karen Scrivener gleichzeitig das größte Problem. Sie versteht wohl so viel von den Problemen des Zements wie sonst kaum jemand. Sechs Jahre verbrachte sie in der Forschungsabteilung eines französischen Zementkonzerns, bis sie an die Eidgenössische Technische Hochschule in Lausanne wechselte. 2016 veröffentlichte sie mit mehreren Kollegen einen Bericht für das Umweltprogramm der Vereinten Nationen, der deutlich machte: Zwar entsteht bei der Herstellung von einer Tonne Zement weniger CO_2 als bei der Verhüttung von Stahl. Aber die schiere Menge, 4,6 Milliarden Tonnen pro Jahr, sind ein ernstes und nur schwer lösbares Problem.

Scrivener versucht diese Zahl greifbar zu machen: „Wenn man nur fünfundzwanzig Prozent dieser Betonmenge durch Holz ersetzen will, müsste man einen neuen Wald pflanzen, der anderthalb mal so groß ist wie die Fläche Indiens", sagt die Forscherin und folgert: „Beton ist da, um zu bleiben." Die Zementindustrie sucht seit Jahrzehnten nach einer Lösung für dieses Dilemma: Klimaverträgliche, gute technische Lösungen schienen fern zu sein. Wenn es auch zahlreiche Versprechen gab.

Das wohl kühnste Versprechen wurde 2010 vorgestellt. Das Start-up Novacem aus London versprach einen Zement, der über seine Lebenszeit mehr CO_2 aufnimmt als bei seiner Herstellung entsteht. Einmal gegossen und erstarrt, sauge der Beton durch einfache chemische Reaktionen jahrelang das Treibhausgas aus der Atmosphäre. Der damals vorgestellte Zement basierte auf Magnesiumsilikaten, die keinen Kohlenstoff enthalten. Und die Weltreserven für den Rohstoff, das Mineral Olivin, liegen bei zehntausend Milliarden Tonnen und sollten laut Berechnungen der Firma reichen.

Novacem überzeugte etliche Investoren. Und doch scheiterte das Vorhaben, weil sich das Verfahren nicht großtechnisch umsetzen ließ. Novacem ging 2016 bankrott. Karen Scrivener stieß bei ihrer Forschung wieder und wieder auf dieses fundamentale Problem: Über 33 Milliarden Tonnen Beton pro Jahr müssen aus Rohstoffen hergestellt werden, die in der Erdkruste weit verbreitet sind. Auch der Beton der Zukunft muss einen Massenmarkt bedienen.

In riesigen Zementwerken werden heute in langen Drehrohröfen zwei wesentliche Rohstoffe verarbeitet: Kalkstein und Ton. Bei 1450 Grad Celsius entsteht daraus der Zementklinker, ein kugelförmiges Material, das gemahlen der wichtigste Bestandteil von Zement ist. Um diesen Prozess klimafreundlicher zu machen, wurde schon einiges getan. Die Drehrohröfen werden mit Autoreifen, Altöl, gebrauchten Lösungsmitteln und Tiermehl befeuert, die bei 1450 Grad auch gleich rückstandslos verbrennen. Auch Wasserstoff wäre denkbar. Aber all das ändert nur wenig an der CO_2-Bilanz.

Der Klimabilanz hilft heute etwas Anderes: Dem Zementklinker werden zunehmend auch Schlacke aus Hochöfen der Stahlproduktion und Flugasche aus Kohlekraftwerken beigemischt. Dank dieser Zusätze wird pro Tonne Zement mittlerweile deutlich weniger kohlenstoffhaltiges Karbonatgestein benötigt. So paradox es klingt: Die Reste der Kohleverbrennung und von Stahlwerken haben dazu beigetragen, den Zement klimafreundlicher zu machen. Nachhaltig ist das trotzdem nicht, sagt Karen Scrivener: „60 Prozent der weltweiten CO_2-Emissionen stammen aus Kohlekraftwerken und damit müssen wir natürlich als allererstes aufhören."

Vor einigen Jahren wird Scrivener von einem Kollegen angerufen, einem Professor in Kuba, der sie unbedingt besuchen möchte. In Lausanne angekommen, erzählt er von der schwierigen Zementproduktion in seinem Land. Denn auf Kuba gibt es kaum Hochofenschlacke oder Flugasche, um sie dem Zement beizumischen. Nur Ton, in Form des natürlich vorkommenden Gesteins, gibt es zu Hauf. Und Ton hat eine besondere Eigenschaft, wenn man ihn mit Kalk zusammenbringt. Unsere Antwort lautete: kalzinierter Ton", sagt Scrivener.

Tone können, wenn man sie mit etwas Kalk versetzt, sehr reaktive Materialien produzieren. Das heißt, wenn man sie auf etwa achthundert Grad Celsius erhitzt. Und obwohl diese Erhitzung ein wenig Energie benötigt, ist der Beitrag zum CO_2-Budget viel geringer als beim gewöhnlichen Zementklinker. Vor allem der reduzierte Kalkstein-Anteil macht diese Zementform interessant: Es entstehen pro hergestellter Tonne nur noch ein Drittel bis ein Viertel des Kohlendioxids. Würde man den Zement global so herstellen, entspräche die Reduktion immerhin dem CO_2-Ausstoß Großbritanniens. Aber schon für diesen moderaten Schritt ist noch viel Arbeit notwendig.

Wer wagt den Betonwandel?

Das Tempo ist es, das die Visionäre im Betonbau und der Zementherstellung stört. Viele beschreiben diese Industrie als äußerst konservativ. Auch die Planer zögern. Selbst staatliche Bauherren schreiben Recyclingbeton nur selten aus. Und das, obwohl die Zuschlagsstoffe, also Kies und Sand, immer knapper werden. In Deutschland werden Gebäude dank strenger Gesetze so gut gedämmt wie nie zuvor, aber der Energieverbrauch bei der Betonherstellung, die Graue Energie, ist noch immer nicht eingepreist. Im Sommer 2020 verabschiedete der Bundestag zwar ein neues Gebäudeenergiegesetz, das die Graue Energie erwähnt. Nur Instrumente zum Betonsparen enthält es nicht.

Ökologisch hergestellte Baustoffe dürften dem Ziel einer CO_2-ärmeren Bautätigkeit nur untergeordnet weiterhelfen: Zwar gibt es mittlerweile zehngeschossige Gebäude aus Holz, und auch Ziegel, Lehm oder Stroh werden wieder häufiger eingesetzt. Aber diese Werkstoffe können die immense Betonmenge niemals ersetzen. Und wenn doch, ergäben sich unweigerlich neue ökologische Probleme.

Der Hunger nach dem erfolgreichsten Baustoff der Menschheit bleibt groß. In Südasien und Afrika wächst der Anteil der Stadtbevölkerung – und damit die Städte selbst. Der Beton ist zu billig, zu einfach herzustellen und zu praktisch. Der Beton ist hier, um zu bleiben. Die Frage ist: in welcher Form? Recyclingbeton, neue Zementtypen und der Gradientenbeton mit Hohlräumen könnten den immensen CO_2-Fußabdruck der Betonindustrie aber bei gleichbleibender Bauaktivität um 60 bis 70 Prozent senken. Jedenfalls auf dem Papier – und das ist geduldig.

Wie die Zukunft aussehen könnte, möchte Werner Sobek im Garten des Stuttgarter Instituts zeigen. Umgeben von Zweckbauten des Unicampus steht hier auf einer Wiese ein Träger, gut vier Meter lang und dick wie ein Oberschenkel. Murmelgroße Löcher in regelmäßigen, aber wechselnden Abständen durchziehen ihn. Werner Sobek sagt: Dieser Träger sei genauso stark wie massiver Stahlbeton. Aber er enthielte 50 Prozent weniger Beton, auch 60 bis 70 Prozent Einsparung wären denkbar. Das bedeutet, dass aus der gleichen Betonmenge eines einzelnen Hauses mit Gradientenbeton mehr als zwei gebaut werden könnte. Nur bis heute existiert kein einziges. Ein erstes Deckenfeld soll im Frühjahr 2021 gegossen werden.

Die globale Zukunft des Betons wird ohnehin nicht auf Baustellen in Tübingen, Stuttgart oder Brüssel entschieden. Europa schluckt

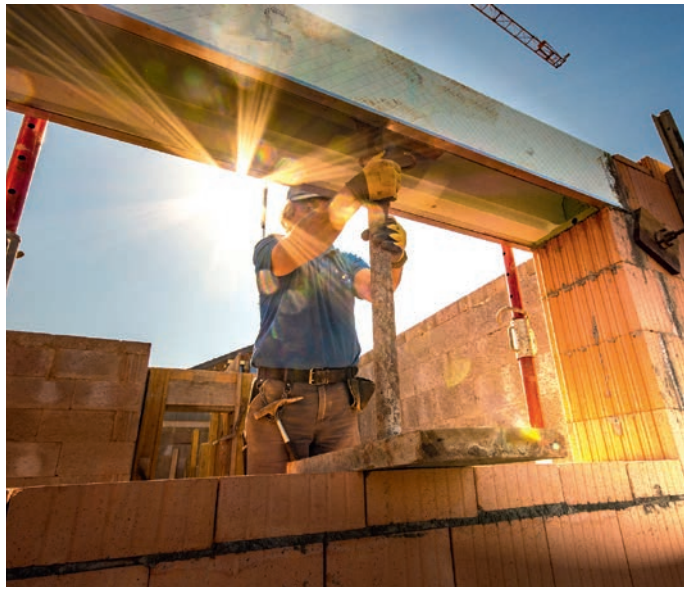


Bild 6: Bauen mit Zement – das wird uns noch eine ganze Weile erhalten bleiben. Quelle: pixabay.com ©cooltig

heute etwa fünf Prozent des weltweiten Zementverbrauchs. 90 Prozent entfallen auf Schwellen- oder Entwicklungsländer, allen voran China. Aber das Land hat in den letzten Jahrzehnten viele seiner Bauarbeiten fertiggestellt. Nun sind es Indien und viele afrikanische Staaten mit ihrer jungen und wachsenden Bevölkerung.

Es sind Fragen, die längst nicht nur Werner Sobek beschäftigen: „Wie viel Baustoff benötige ich, um eine gebaute Heimat für diese Menschen herzustellen, die eine Frischwasserversorgung, eine Abwasserentsorgung, eine Abfallentsorgung, Zugang zu Bildung und Zugang zu medizinischer Versorgung in einigermaßen vernünftiger Art und Weise hergibt?“ Das seien nach Sobeks Rechnung 250 bis 300 Tonnen pro Person. Unter dem gehe es nicht. Das würde bedeuten, dass pro Sekunde zusätzlich 800 bis 1000 Tonnen Rohmaterialien aus Steinbrüchen abgebaut und zu Beton verarbeitet werden müssten. Ohne einen Betonwandel, ohne einen effizienteren Einsatz des erfolgreichsten Materials der Menschheit, sind damit alle gesteckten Ziele für den globalen Klimaschutz kaum zu erreichen.

Autor

Karl Urban
Wissenschaftsjournalist, Tübingen
www.die-fachwerkstatt.de/urban

Hendrik Ramm

SCHWERPUNKT – NACHHALTIGES BAUEN

Wiedernutzung von Bestandsgründungen

Etwas Vorhandenes wieder zu nutzen, spart erstmal Ressourcen und ist somit nachhaltig. Wie sieht es da mit Bestandsfundamenten aus, die bei Neu- oder Umbaumaßnahmen vorhanden sind? Da muss geprüft und gerechnet werden …

1 Einleitung

Die Nachfrage nach neuwertigen, zeitgemäßen Gebäuden ist speziell in urbanen Zentrumslagen hoch, unbebaute Grundstücke stehen dort kaum für Neubauten zur Verfügung. Speziell bei größeren Gebäuden werden daher zur Revitalisierung oft aufwändige Umbaumaßnahmen vorgenommen. Mit derartigen Umbauten gehen häufig Gebäudeteilabbrüche, Entkernungen und Anbauten oder Aufstockungen einher, aus denen relevante Laständerungen resultieren, die von den bestehenden und je nach Erfordernis auch zusätzlich zu erstellenden Gründungselementen aufgenommen werden müssen. Die einhergehenden Verformungen müssen für das Gebäude selbst, aber auch für angrenzende Bauwerke verträglich sein. Angesichts der Relevanz der Fragestellung waren verschiedene Aspekte wie z. B.

- technische Risiken,
- rechtliche und finanzielle Randbedingungen,
- Möglichkeiten der Bewertung von Bestandsfundamenten im Hinblick auf eine Wiedernutzung und die
- Untersuchungsmethodik zur Bestimmung des Zustandes von Bestandsfundamenten

bereits Gegenstand der Forschungsprojekte „Reuse of Foundations on Urban Sites“ (RuFUS) (Butcher et al. 2006) und „Untersuchung des Zustands von Bestandsfundamentierungen und Etablierung von Entscheidungsbäumen zur wirtschaftlich optimierten Weiter- und Nachnutzung“ (Refund) (Niederleithinger & Katzenbach 2016). Ramm (2019) dokumentiert eine Vielzahl von Bauvorhaben, bei denen Bestandsfundamente wiedergenutzt wurden.

Der Entwurf und die Bemessung einer Gründung, die bestehende Gründungselemente integriert, erfordert die realistische Einschätzung des Ent- und Wiederbelastungsverhaltens dieses Gründungssystems. Daher kommt den in numerischen Simulationsberechnungen verwendeten Stoffgesetzen für den Boden und deren Eignung, die mit solchen Lastwechseln einhergehenden Baugrundverformungen zutreffend abzubilden, eine besondere Bedeutung zu.

2 Ökonomische Aspekte

Die Wiedernutzung von Bestandsgründungen kann zu Kosten- beziehungsweise Bauzeiteinsparungen, aber auch zu zusätzlich erforderlichen Aufwendungen führen. In Abhängigkeit von der jeweiligen Baumaßnahme können diese in sehr unterschiedlichem Umfang eintreten. Die Wiedernutzung von Bestandsgründungen kann aufgrund des abnehmenden Platzes, der für neue Gründungen zur Verfügung steht, zukünftig aber für viele Bauvorhaben die einzige Möglichkeit sein, ein wirtschaftliches Gründungssystem herzustellen.

Eine Wiedernutzung von Bestandsgründungen hat grundsätzlich zur Folge, dass neue Gründungen nicht oder nur in geringerem Umfang hergestellt werden müssen.

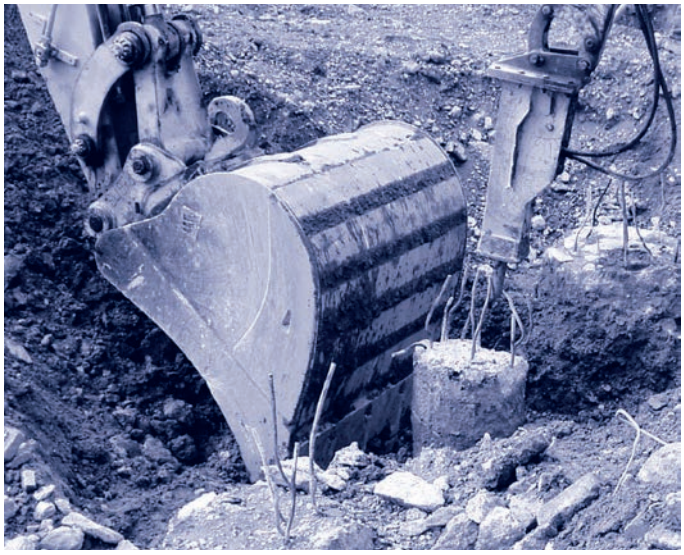


Bild 1: Abbrucharbeiten im Kopfbereich von Bestandspfählen

3 Mögliche Schäden

An Gründungen können zu unterschiedlichen Zeitpunkten Schäden entstehen. Schallert (2010) fasst die Ursachen der am häufigsten auftretenden Schäden in den folgenden vier Gruppen zusammen:

- unzureichende Baugrundbewertung,
- fehlerhafte Bemessung,
- unsachgemäße Herstellung und
- Beschädigungen durch den Bauablauf im Nachgang der Herstellung.

In der Nutzungsphase können Schäden aus unvorhergesehenen Einwirkungen, wie beispielsweise erhöhten beziehungsweise unplanmäßigen Lasten, Baugrundverformungen oder Grundwasserspiegeländerungen, resultieren. Durch materialangreifende Inhaltsstoffe im Grundwasser oder Karbonatisierung können Schäden verursacht werden. Auch im Zuge der Abbruch- und Bauarbeiten kann es zu Beschädigungen kommen (Bild 1).

4 Prüfverfahren

Im Rahmen einer Bestandsanalyse sind im Hinblick auf eine Wiedernutzung von Bestandsgründungen und der damit erforderlichen Beurteilung deren äußeren und inneren Tragfähigkeiten die folgenden Eigenschaften und Parameter der Gründung festzustellen beziehungsweise zu untersuchen:

- Gründungsart und Lage der Gründungselemente
- Geometrie
- Integrität
- Bestandteile, Materialien
- Materialeigenschaften und Dauerhaftigkeit
- Tragfähigkeit und Last-Setzungsverhalten

Um eine Wiedernutzung von Bestandsgründungen zu ermöglichen, dürfen diese durch die erforderlichen Untersuchungen nicht beschädigt werden. Zerstörungsfreie Prüfverfahren, wie beispielsweise die Low-Strain-Methode (auch: Hammerschlagmethode) zur Prüfung von Pfählen, sind daher ein wesentliches Werkzeug zur Klärung der Gründungseigenschaften.

Mit der Low-Strain-Methode (Bild 2) können Fehlstellen entlang des im Boden eingebetteten Pfahlschaftes und Bereiche mit mangelhafter Betonqualität identifiziert werden (Kirsch & Klingmüller 2003). Im Bereich des Kopfes des zu testenden Pfahls wird mit einem Hammerschlag eine Impulswelle eingeleitet (Anregung), die sich im Pfahl ausbreitet und die an Stellen, an welchen eine Querschnittsänderung oder -störung vorliegt, reflektiert wird.

5 Last-Setzungsverhalten

Zur direkten Bestimmung des Last-Setzungsverhaltens von Bestandsgründungen sind Probebelastungen erforderlich. Soweit die Bestandskonstruktion noch vorhanden ist, kann deren Einsatz als Widerlager geprüft werden. Die zur Probebelastung erforderlichen Lasten können dann ggf. in die bestehende Struktur eingeleitet werden. Anhand von Probebelastungen können bei ausreichend groß gewählter Belastung Aussagen zum Last-Setzungsverhalten von Gründungselementen gewonnen werden.

Über die im Zuge der Gebäudeabbrucharbeiten vorgenommene Aufzeichnung der auftretenden Entlastungshebungen bestehender Gründungselemente können ggf. Hinweise auf deren Tragverhalten gewonnen werden. Die hierzu eingesetzten Messmethoden müssen entsprechend robust sein, um die Abbrucharbeiten unbeschädigt zu überstehen.

Bild 2: Prinzip der Low-Strain-Methode

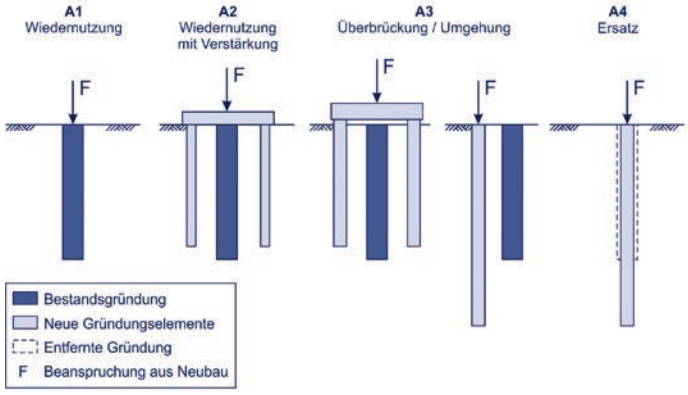


Bild 3: Alternativen im Umgang mit einer Bestandsgründung, schematische Darstellung am Beispiel einer Pfahlgründung

6 Planungsalternativen

Bei der Planung eines Neubaus im Bereich der Grundfläche eines Bestandsgebäudes stehen prinzipiell mehrere Alternativen im Umgang mit der Bestandsgründung zur Auswahl (Bild 3). Dabei kommt es häufig zu einer Kombination von mehreren Herangehensweisen (Chapman et al. 2007).

Die Wiedernutzung der Bestandsgründung (A1) ist mit dem geringsten Aufwand an Material und Bauarbeiten verbunden.

Eine Wiedernutzung mit Verstärkung oder hinzugefügten Gründungselementen (A2) kann beispielsweise erforderlich werden, wenn höhere Gebäudelasten abgetragen oder geänderte Lastpositionen berücksichtigt werden müssen.

Bei einer Überbrückung bzw. Umgehung (A3) wird die Bestandsgründung nicht genutzt und verbleibt im Baugrund. Die Lasten des Neubaus werden in neue Gründungselemente eingeleitet.

Zum Ersatz einer Bestandsgründung (A4) wird diese entfernt und eine neue Gründung am gleichen Ort hergestellt. Speziell das Entfernen von Tiefgründungselementen kann, soweit überhaupt möglich, sehr aufwändig sein.

7 Modellversuche

Am Institut und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt wurden umfangreiche Modellversuche zum Last-Setzungsverhalten von Flach-, Pfahl- und Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP) bei Ent- und Wiederbelastungsvorgängen durchgeführt, wie sie bei einem Gebäudeabbruch und -neubau auftreten (Ramm 2019).

Beispielhaft wird in Bild 4 die Versuchsanordnung für eine Kombinierte Pfahl-Plattengründung mit fünf Pfählen dargestellt. Pfähle und Platte bestanden aus Aluminium. Als Versuchsboden wurde der Darmstädter Sand, ein enggestufter Mittelsand, eingebaut, der in der Vergangenheit bereits in einer Vielzahl von Forschungsarbeiten in Modell- und Elementversuchen zum Einsatz kam.

Die Belastung der Modellgründung erfolgte vertikal über einen Hydraulikzylinder, wobei die Belastung i.d.R. kontinuierlich gesteigert und bis zu fünf vollständige Entlastungsschleifen zwischengeschaltet wurden. Die aufgebrachte Last wurde mit einer Kraftmessdose, die Setzung der Platte mit Wegaufnehmern und der Kraftfluss in den Pfählen mit Pfahlkraftmesselementen automatisch erfasst. Beispielhaft zeigt Bild 6 die Last-Setzungslinie einer KPP (Anzahl der Pfähle np = 5; Pfahllänge Lp = 55 cm; Pfahldurchmesser dp = 2,5 cm).

8 Numerische Simulation

Die Ergebnisse der Modellversuche wurden dann zur Validierung numerischer Modelle zur Abbildung des Last-Setzungsverhaltens von Gründungen bei Be- und Entlastungsvorgängen, wie sie bei der Wiedernutzung von Gründungen auftreten, herangezogen. Die numerischen Simulationen der durchgeführten Modellversuche erfolgten mit einem dreidimensionalen FE-Modell (Bild 5) unter Berücksichtigung von zwei Symmetrieebenen. Bei den mit dem Programmsystem Abaqus geführten Simulationsberechnungen wurden dreidimensionale Kontinuumselemente mit linearem Verschiebungsansatz sowohl für den Boden als auch die Pfähle als auch die Platte verwendet. Als Stoffgesetz kam das Cap-Model mit einem aus bodenmechanischen Laborversuchen abgeleiteten Parametersatz zur Anwendung.

In Bild 6 wird die berechnete Last-Setzungslinie mit den Versuchsergebnissen verglichen. Das gewählte Stoffgesetz wird, ausgehend von den Ergebnissen der Simulationsberechnungen und dem Vergleich zu den Modellversuchen, als grundsätzlich geeignet zur Anwendung für realmaßstäbliche Berechnungen mit einfachen Ent- und Wiederbelastungsvorgängen angesehen.

Sowohl in den Modellversuchen, als auch in den numerischen Simulationen wurden unter bestimmten Randbedingungen während der Entlastungen der Kombinierten Pfahl-Plattengründungen Zugkräfte in den Pfählen festgestellt. Dieser Effekt wird auf

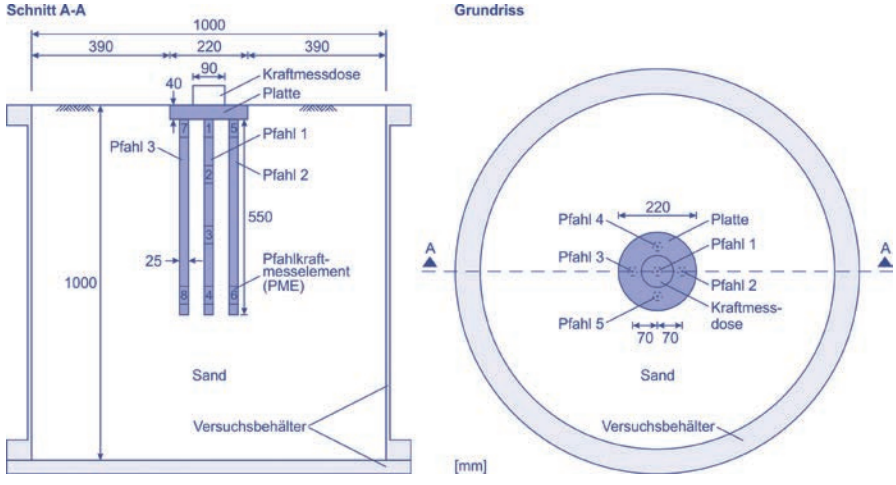


Bild 4: Versuchsanordnung für eine Kombinierte Pfahl-Plattengründung mit fünf Pfählen

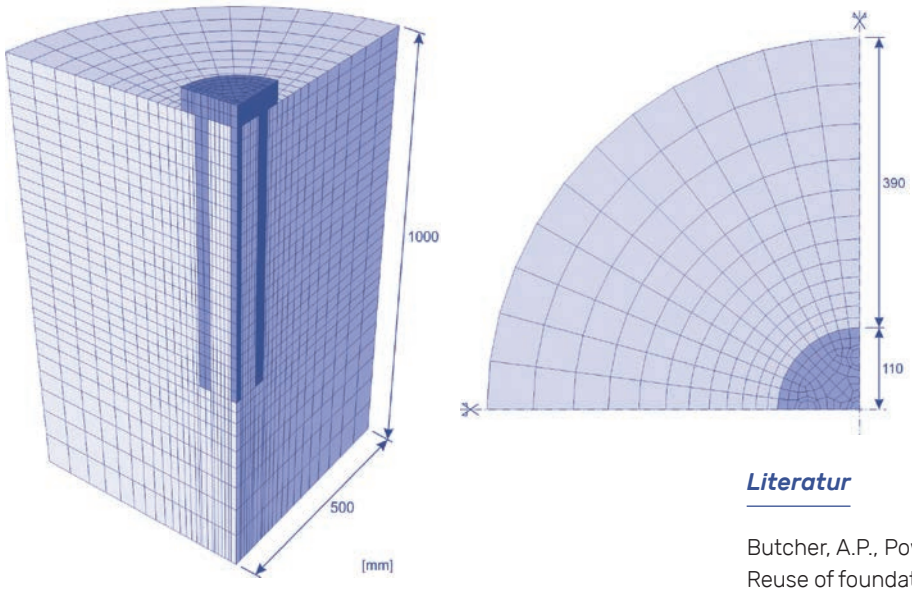


Bild 5: 3D-FE-Simulationsmodell für KPP mit fünf Pfählen

eine Verspannung der Pfähle bei einer Entlastung des Bodens unter der Platte der KPP zurückgeführt und geht einher mit einer negativen Mantelreibung der Pfähle.

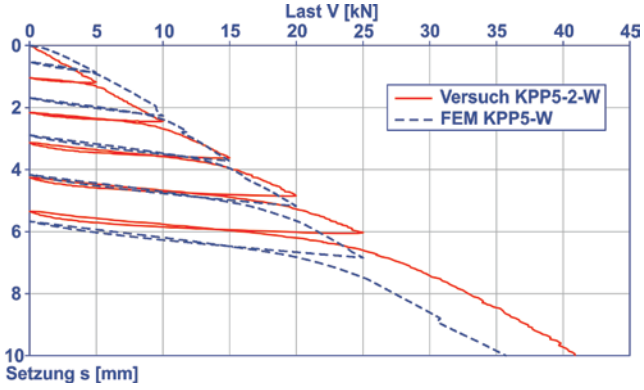


Bild 6: Kombinierte Pfahl-Plattengründung mit fünf Pfählen (KPP5) – Vergleich der Last-Setzungslinien aus Versuch und FEM

9 Ausblick

Die Wiedernutzung einer Bestandsgründung kann aus vielfältigen Gründen erforderlich beziehungsweise attraktiv sein. Im Sinne einer nachhaltigen Konstruktion wird der Ressourcenverbrauch, wie auch der Umfang des Eingriffs in den noch ungenutzten Baugrund reduziert.

Im Hinblick auf das Tragverhalten von Gründungselementen, die wiedergenutzt werden sollen, ist die richtige Beurteilung des Ent- und Wiederbelastungsverhaltens der Gründung und dessen zutreffende Abbildung in numerischen Simulationsberechnungen von entscheidender Bedeutung.

In den kommenden Jahren wird die Frage des Umgangs mit im Baugrund vorhandenen Bestandsgründungen weiter an Bedeutung gewinnen. Speziell in dicht bebauten Großstädten besteht ein zunehmender Bedarf, im Zuge von Neu- oder Umbaumaßnahmen vorhandene Bestandsgründungen wiederzunutzen.

Literatur

Butcher, A.P., Powell, J.J.M., Skinner, H.D. (2006a)
Reuse of foundations for urban sites - a best practice handbook. IHS BRE Press, Bracknell

Chapman, T.J.P., Anderson, S., Windle, J. (2007)
Reuse of foundations. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), C653, London

Kirsch, F., Klingmüller, O. (2003)
Erfahrungen aus 25 Jahren Pfahl-Integritätsprüfung in Deutschland - Ein Bericht aus dem Unterausschuß „Dynamische Pfahlprüfungen" des Arbeitskreises 2.1 „Pfähle" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.. Bautechnik 80, Heft 9, 640 – 650

Niederleithinger, E., Katzenbach, R. (2016)
Handbuch zur Wiedernutzung von Bestandsgründungen. Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 98

Ramm, H. (2019)
Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Wiedernutzung von Bestandsgründungen. Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 106

Schallert, M. (2010)
Faseroptische Mikrodehnungsaufnehmer für die Bewertung der Struktur von Betonpfählen. Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Heft Nr. 93

Autor

Dr.-Ing. Hendrik Ramm
CDM Smith Consult GmbH, Bickenbach
www.cdmsmith.com