



Herausgegeben von
Christian Moormann
Carola Vogt-Breyer



13. Kolloquium Bauen in Boden und Fels

**Fachtagung über aktuelle
Herausforderungen der Geotechnik**

Tagungshandbuch 2022

13. Kolloquium Bauen in Boden und Fels

1. und 2. Februar 2022

Technische Akademie Esslingen

Herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann

Prof. Dr.-Ing. Carola Vogt-Breyer

13. Kolloquium

Bauen in Boden und Fels

Fachtagung über aktuelle
Herausforderungen der Geotechnik

Tagungshandbuch 2022

Medienpartner



expert›

TAE Technische Akademie Esslingen
Ihr Partner für Weiterbildung

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das vorliegende Werk wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Fehler können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder Verlag noch Autoren oder Herausgeber übernehmen deshalb eine Haftung für die Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes und seiner elektronischen Bestandteile.

© 2022. Alle Rechte vorbehalten.

expert verlag GmbH
Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen
E-Mail: info@verlag.expert
Internet: www.expertverlag.de

Technische Akademie Esslingen e. V.
An der Akademie 5 · D-73760 Ostfildern
E-Mail: bauwesen@tae.de
Internet: www.tae.de

Printed in Germany

ISBN 978-3-8169-3545-2 (Print)
ISBN 978-3-8169-8545-7 (ePDF)

Vorwort

Der Ausbau der Infrastruktur sowie die Verdichtung in den Ballungsräumen führen dazu, dass die Bedeutung des Bauens in Boden und Fels sowie die Anforderungen bei der Errichtung unterirdischer Bauwerke zunehmen. Dadurch ergeben sich bedeutende und interessante Fragestellungen für die Geotechnik, die beim Kolloquium Bauen in Boden und Fels dargestellt und diskutiert werden.

Das alle zwei Jahre an der Technischen Akademie Esslingen (TAE) stattfindende Kolloquium mit begleitender Ausstellung hat sich in den letzten 25 Jahren sukzessive als führende Veranstaltung in Süddeutschland und dem angrenzenden deutschsprachigen Ausland etabliert.

Das Kolloquium Bauen in Boden und Fels richtet sich an Ingenieure und Naturwissenschaftler, die in planenden oder beratenden Büros, ausführenden Firmen, Verwaltungen, Hochschulen und Verbänden an der Weiterentwicklung von Techniken und Verfahren in der Geotechnik arbeiten.

Ein thematischer Schwerpunkt des 13. Kolloquium Bauen in Boden und Fels am 1. und 2. Februar 2022 ist die Digitalisierung im Bauwesen, die in der Geotechnik sowohl für vernetzte Planungen als auch zur Optimierung von Prozessen angewendet und weiterentwickelt wird.

Der Programmausschuss unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann, Universität Stuttgart, und Prof. Dr.-Ing. Carola Vogt-Breyer, Hochschule für Technik Stuttgart, wählte etwa 50 Plenar- und Fachvorträge zu folgenden Themen aus:

- Digitalisierung in der Geotechnik
- Baugruben
- Baugrunderkundung
- Gründung
- Bauen im Grundwasser
- Erdbau
- Tunnelbau
- Hangsicherung
- Messtechnik
- Forschung und Innovation

Das vorliegende Tagungshandbuch enthält die vorab eingereichten Beiträge zu den Vorträgen und gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik sowie neueste Entwicklungen und Trends in der Geotechnik. Weitere Informationen unter www.tae.de/go/fels.

Inhaltsverzeichnis

P Plenarvorträge

- P.1 (Geo-)Thermische Aktivierung von Abwasserkanälen und deren Einbettung in ein Wärme-Kälteverbundnetz – Konkrete Anwendung eines Quartieransatzes** 15
M.Sc. Till Kugler, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann
-
- P.2 Digitalisierung in der Geotechnik – Status Quo und aktuelle Entwicklungen** 25
Dr.-Ing. Dipl. Wirtsch.-Ing. Jörg Bauer
-
- P.3 Spezialtiefbau digital – Nutzung des digitalen Zwillings in der Bauausführung** 41
Dipl.-Ing. Marcus Daubner
-
- P.4 Digitalisierung in der Geotechnik – Möglichkeiten und Herausforderungen** 45
Dr.-Ing. Lisa Wilfing, Thomas Hausperger
-
- P.5 Probabilistische Baugrundmodellierung für BIM unter Berücksichtigung der Unsicherheiten im Baugrundaufbau und den Bodeneigenschaften – Konzept und Beispiele** 51
M.Sc. Andreas Witty, Dr.-Ing. Andres Pena Olarte, Prof. Dr.-Ing. Roberto Cudmani
-
- P.6 Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Umsetzung von BIM in Spezialtiefbauprojekten** 61
M.Sc. M.Sc. Mirna Mamar Bachi
-

1 Baugruben

- 1.1 Bauvorhaben Four – Deckelbauweise mit 4 Hochhäusern mitten in Frankfurt** 71
Dr.-Ing. Simon Meißner, M. Eng. Maximilian Kies, Dipl.-Ing. Bernd Cronen
-
- 1.2 Autobahnkreuz Herne – Neubau des Tunnels Baukau** 79
M.Sc. Dennis Clostermann, Dr.-Ing. Carsten Peter, Dipl.-Ing. Guido Meinzer
-
- 1.3 Komplexe schlüsselfertige Baugrube in Ludwigsburg** 85
Christian Schmitz, Markus Astner
-

2 Tunnelbau

- 2.1 Unterirdische Querungen sensibler (DB-)Infrastruktur – Anforderungen an Planung und Ausführung des grabenlosen Kanal-/Leitungsbaus** 95
Dipl.-Ing. (FH), MBA, Dennis Edelhoff
-
- 2.2 Erkundung Tunnel Calw – Straßentunnel im Stadtgebiet Calw, Unterfahrung von Bestandsgebäuden und Bahnlinien auf zwei Ebenen** 103
Dipl.-Geol. Peter Kordeuter, M. Sc. Andreas Jakobi
-
- 2.3 Felsstatische Berechnungen in drückendem Gebirge** 111
Jörg-Martin Hohberg
-
- 2.4 Möglichkeiten der Sicherung von Laibung und Ortsbrust beim Spritzbetonvortrieb im nichtbindigen Lockergestein** 123
Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Fillibeck, M.Sc. Johannes Jessen
-
- 2.5 Planen unter speziellen artenschutztechnischen Randbedingungen** 131
M.Sc. Aline Merkl, Dipl.-Ing (FH) Achilles Häring, Dr.-Ing. Axel Möllmann
-

3	Bauerkundung	
3.1	Empfehlungen und Empfehlungsarbeit des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der DGGT	139
	Dr. Ralf Plinninger, Dr.-Ing. Thomas Frühwirt, Thomas Mutschler	
3.2	Schlitzwandtechnik mal anders genutzt – Herstellung von Schlitzten bis in 251 m Tiefe im Rahmen eines Erkundungs- und Proben-Sammlungsprogramms	143
	Dipl. Ing. Franz-Werner Gerressen, Dipl. Ing. Stefan Schwank, M. Sc. Alexander Blatt	
3.3	Smart Density Determination (SDD): Insitu-Bodendichtebestimmung mittels Photogrammetrie und digitaler Wassergehaltsermittlung als innovative Alternative zu konventionellen Verfahren	151
	Tobias Griessmair, Gerald Fuxjäger, Otto Leibniz, Roman Marte	
4	Bauen im Grundwasser	
4.1	Wasserdruckansätze für Uferspundwände von Kanälen bei schneller Wasserspiegelabsenkung	187
	M.Sc. Helen Machacek, Dr.-Ing. Bernhard Odenwald	
4.2	Abschätzung von Restwassermengen für einen Spundwandverbau in tiefen Baugruben im Frankfurter Baugrund	197
	M.Eng. Christin Kübel, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, Dr.-Ing. Heiko Huber	
4.3	Entspannungsbrunnen zur Erhöhung der Standsicherheit von Wehrsohlen	211
	Dipl.-Ing. Kerstin Ratz, Dr.-Ing. Bernhard Odenwald	
4.4	Stand der Technik beim Bauen im Heilquellenschutzgebiet in Stuttgart	219
	Dr. rer. nat. Annette Strasser, Dr.-Ing. Annette Lächler	
4.5	Wasserdichte Baugruben für den Karoline-Luise-Tunnel in Karlsruhe	227
	Dipl.-Ing. Sven Köthe, Dr.-Ing. Bertram Schulze	
4.6	Der Stadionneubau SAP Garden in München – Ein geotechnisch spannendes Bauvorhaben im Olympiapark	239
	Dipl.-Ing. Michael Kupka, Dr.-Ing. Thomas Rumpelt, Dr. rer. nat. Lisa Krienen	
4.7	Langzeitabhängigkeit der Baugrundverformungen von Grundwasserentspannungen im Frankfurter Ton am Beispiel Projekt U5	247
	Dr.-Ing. Heiko Huber, M.Sc. Henning von der Werth, Dipl.-Ing. Sven Kirchner	
5	Messtechnik	
5.1	Erhaltungsprojekt Muri-Rubigen – ein Erfahrungsbericht zur Anwendung der InSAR-Technologie in der Erhaltungsplanung von Nationalstrassen	255
	Jürg Ryser	
5.2	DMT SAFEGUARD LIDAR – Echtzeitassistenz zur Gefahrenabwehr im Bergbau, Infrastrukturbereich und von Naturgefahren	263
	M.Sc. Daniel Schröder	
6	Erdbau	
6.1	Filtern mit Geokunststoffen: Überprüfung der Anwendung der Filterregeln für Geokunststoffe im Erd- und Straßenbau	269
	M.Sc. Moritz Schlee, M.Sc. Jana Liebl, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann	

6.2	Qualifizierte Bodenverbesserung / Bodenverfestigung – Einfluss des Ausgangsbodens und des verwendeten Bindemittels Monika Schad	279
6.3	Stabilisierung von organischen, arsenbelasteten Erdstoffen zur bautechnischen Verwertung Dr.-Ing. Olaf Düser	283
6.4	Lastaufteilung in Lastverteilungsschichten über Stabilisierungssäulen M.Eng. Florian Spirk, Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart	287
7	Forschung/Innovation	
7.1	Entwicklung eines neuen Verfahrens für eine hohlraumfreie und dynamisch dauerhafte stabile Verfüllung von Bohrlöchern Rainer Dallwig	301
7.2	Modellierung der gekoppelten thermischen und hydraulischen Transportprozesse in ZFSV-Bettungen bei erdverlegten Höchstspannungsleitungen M. Eng. Louis Zrenner, Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart	311
7.3	Resonanzfrequenzmessungen an Festgesteins- und Mörtelproben Andreas Becker, Alexander Stegnos, Ronald Günther, Christos Vrettos	323
7.4	Untersuchungen zum Einfluss der Mikrowellenbestrahlung auf die Änderung der Festigkeitseigenschaften von unterschiedlichen Gesteinsarten Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Burbaum, M.Sc. Gabriel Lehmann, Dr. rer. nat. Heiko Käsling	329
8	Digitalisierung in der Geotechnik	
8.1	Die Transformation vom klassischen 2D zum digitalen 3D Beratungs- und Planungsprozess in der Geotechnik Dr.-Ing. Johannes Labenski, M.Sc. Friedemann Kötzel, Dipl.-Ing. Sebastian Schnell, Dr.-Ing Harald Vogel	341
8.2	Parametrisierung und Attribuierung von BIM-Fachmodellen für Aufgabenstellungen aus dem Bereich der Geotechnik und des Tunnelbaus Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, M.Eng. Claudio Cortese, Dr. rer. nat. Joachim Michael, Dr.-Ing. Simon Meißner	351
8.3	Erfahrungen zur 3D-, 4D- und 5D-Ebene im Rahmen der praktischen Anwendung von BIM bei der Planung einer tiefen Baugrube M. Eng. Janosch Sauerbrey, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, Dr.-Ing. Hendrik Ramm	361
9	Gründung	
9.1	Realisierung eines 84 m hohen Hochhauses auf einem S-Bahntunnel in Berlin Bauvorhaben Dr.-Ing. Simon Meißner, Dr. rer. nat. Joachim Michael, M. Eng. Maximilian Kies	369
9.2	Anwendung von verschiedenen Bodenverbesserungstechniken beim Innerstädtischen Spezialtiefbau in Göteborg – Westlink Project Robert Thurner, Sami U. Raja	375
9.3	Verdrängungsprozess geschraubter Pfähle: neueste Erkenntnisse O. Bernecker, K. Kliesch, L. Schneider, C. Vogt-Breyer	379

10	Hangsicherung	
10.1	Burg Hohenzollern - Baugrunderkundung und Geotechnische Beratung in exponierter Lage	389
	Dipl.-Ing. Holger Jud, Dr. Martin Brodbeck	
10.2	Mehrphasige messtechnische Überwachung eines Rutschhangs an der Benediktinerabtei Plankstetten / Oberpfalz	397
	Dr. Ralf Plinninger, Klaus Keilig, Dr. Judith Festl, Dr. John Singer	
10.3	Numerische Untersuchungen zur statischen Beurteilung von Baugrubenböschungen infolge Porenwasserdruck-Reaktionen auf Dilatanz	405
	Denis Maier	
10.4	Planung einer komplexen Hangsicherung mittels Böschungsvernagelung am Beispiel BAB A 70 in Thurnau	413
	M.Sc. Hassan Alkayyal, M.Sc. Philipp Siebert	
Anhang		
	Programmausschuss	423
	Autorenverzeichnis	425

weiterbilden
weiterkommen

TAE

Bauwesen, Energieeffizienz und Umwelt

Bis zu
50 %
Zuschuss
möglich

Besuchen Sie unsere Seminare, Lehrgänge und Fachtagungen.

Geotechnik

Verkehrswegebau und Wasserbau

Konstruktiver Ingenieurbau

Bautenschutz und Bausanierung

Umwelt- und Gesundheitsschutz

Energieeffizienz

Baubetrieb und Baurecht

Facility Management



EUROPÄISCHE UNION



Chancen fördern
EUROPÄISCHER SOZIALFONDS
IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Ein Großteil unserer Seminare wird unterstützt durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds. Profitieren Sie von der ESF-Fachkursförderung und sichern Sie sich bis zu 50 % Zuschuss auf Ihre Teilnahmegebühr. Alle Infos zur Förderfähigkeit unter www.tae.de/foerdermoeglichkeiten

Weitere Informationen und Anmeldung unter www.tae.de/go/bauwesen

FOCUS

TOP

ANBIETER FÜR
WEITERBILDUNG

2022

FOCUS 43/2021
IN KOOPERATION MIT
FACT-FIELD



Plenarvorträge

(Geo-)Thermische Aktivierung von Abwasserkanälen und deren Einbettung in ein Wärme-Kälteverbundnetz – Konkrete Anwendung eines Quartiersansatzes

Till Kugler M.Sc.

Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik (IGS), Deutschland

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann

Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik (IGS), Deutschland

Zusammenfassung

Einen wichtigen Baustein der Wärmewende stellt der energetische Quartiersansatz dar, bei dem das Energieerzeugungssystem die im Quartier vorhandenen energetischen Ressourcen verwertet und verteilt. Das Projekt IWAES nutzt hierfür die ohnehin notwendige Infrastruktur der Siedlungswasserwirtschaft, um parallele Infrastrukturen zu vermeiden und Synergieeffekte zu heben. Das energetische Angebot eines Quartiers setzt sich aus den im Quartier vorhandenen erneuerbaren Ressourcen (Solarthermie, PV, Geothermie, Abwasserthermie, Abwärme) zusammen, welche effizient genutzt und transportiert werden müssen. Im Forschungsvorhaben IWAES wird als thermische Energiequelle und -senke primär die thermische Aktivierung des Abwassersystems vorgesehen, welches auch als thermische Infrastruktur genutzt wird. Die thermische Nutzung von Abwasserkanälen hat den Vorteil, dass das Temperaturniveau des Abwassers und des umgebenden Erdreichs sowie der Kanalluft sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet werden kann. Der thermisch aktivierte Abwasserkanal besteht aus in der Regel an der Außenwandung angebrachten helixförmigen Absorberleitungen und kann durch einen Rinnenabsorber ergänzt werden. Optional zusätzliche oberhalb des Abwasserkanals installierte Transportleitungen ermöglichen einen thermischen Ausgleich zwischen Wärmeangebot und -nachfrage zwischen den einzelnen Nutzern im Quartier. Mit Hilfe dreidimensionaler hydro-thermisch gekoppelten Simulationen wird die Heiz- und Kühlleistung der Abwasserabsorber ermittelt. Ferner wurde untersucht, welche Material- und Betriebsparameter die Entzugsleistung des aktivierten Abwasserkanals maßgebend beeinflussen und inwiefern die Geometrie hinsichtlich Leistung und wirtschaftlichen, fertigungstechnischen sowie ökologischen Fragestellungen optimiert werden kann.

1. Einleitung

Das Urteil des Bundesverfassungsgerichts im April 2021 verpflichtet die Bundesrepublik zur Überarbeitung des bisherigen Klimaschutzgesetzes, mit dem Ziel, bereits im Jahr 2045 treibhausneutral zu sein.

Über 75 % der deutschen Bevölkerung lebt gegenwärtig in Städten. Im Jahr 2019 entfielen in Deutschland mehr als 35 % des gesamten Primärenergieverbrauchs (903 TWh) auf die eingesetzte Gebäudeenergie (21,7 Mio. Gebäude), wovon die Wärme- und Kälteversorgung mit 78,5 % den größten Anteil einnimmt. Nach dem Verkehrssektor bietet der Gebäudesektor demnach das zweitgrößte Treibhaus-Einsparpotential [1], eine massive Reduzierung der hier entstehenden Treibhausgase ist somit ein unabdingbarer Bestandteil der deutschen Strategie zur Energiewende. Das Forschungsvorhaben „Integrative Betrachtung einer nachhaltigen Wärmebewirtschaftung

von Stadtquartieren im Stadtentwicklungsprozess“, kurz „IWAES“, setzt genau hier mit dem Ziel energetisch autarker Stadtquartiere an, bei denen Heiz- und Kühlenergie aus thermisch aktivierten Infrastruktureinrichtungen der Siedlungswasserwirtschaft gezogen und über Abwasserkanäle thermische Energie transportiert wird.

Energieeffiziente Konzepte der Wärme- und Kälteversorgung besitzen das Ziel der energetischen Autarkie, i.e. dass die vor Ort benötigte Energie ebenfalls vor Ort produziert wird und keine externe Energielieferungen über die Quartiersgrenzen hinweg notwendig werden. Durch die räumliche Nähe zwischen Energieproduktion und Energieverbrauch ist ein Energietransport kaum oder nur im geringen Umfang notwendig, etwaige Leitungsverluste sind daher gering und erhöhen folglich die Energieeffizienz.

Das Forschungsprojekt IWAES stellt hier die Abwasserkanäle in den Fokus, deren Verwendung einerseits als Energiequelle und -senke und andererseits als Transport-

system bietet in mehrfacher Hinsicht Synergieeffekte. Die thermische Energie kann mit geringen Transportverlusten zwischen Energieproduzent und -verbraucher transportiert werden; es ist hierbei unerheblich, ob es um Abwärme oder um eigens produzierte thermische Energie handelt. Die Abwasserthermie, als Teil der Geothermie, stellt regenerative und grundlastfähige thermische Energie bereit, welche sowohl zum Kühlen als auch zum Heizen eingesetzt werden kann.

Das vom Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart initiierte und geleitete Verbundforschungsvorhaben IWAES entwickelt hierzu einen thermisch entwickelten Hybridkanal, welcher thermische Energie transportieren und auf verschiedenen Laststufen generieren kann und wendet diese Entwicklung theoretisch auf das Rosensteinquartier in Stuttgart an.

2. Rosensteinquartier

Als Untersuchungsgebiet wurde das Rosensteinquartier in Stuttgart gewählt. Es entsteht auf ehemaligen Gleisflächen, die durch den Bau des neuen Stuttgarter Tiefbahnhofes überflüssig werden. Das neue Wohnquartier soll nach Vorgaben der Stadt Stuttgart ein Energieplusquartier werden. Im Quartier soll mehr Energie erzeugt werden als verbraucht wird. Das geplante Quartier zeichnet sich durch eine hohe Verdichtung und dadurch bedingte erhöhte Abwasserabflusswerte aus. Der Untergrund besteht hauptsächlich aus Auffüllungen und nichtbindigen Böden, in denen nicht mit Grundwasser zu rechnen ist.

Die direkte Lage des Quartiers in der Kernzone des Stuttgarter Heilquellenschutzgebiets verbietet die Verwendung von Glykol als Wärmeträgerfluid. Um Frostschäden an den Absorbern zu vermeiden, kann die Temperatur des Vorlaufes bei Verwendung reinen Wassers daher nicht unter 0°C gesenkt werden.

3. Thermischer Energiebedarf

Der Siegerentwurf des Büros asp Architekten bildete die Grundlage der Bearbeitung. Zuerst wurden alle städtebaulich relevanten Kennzahlen ermittelt, u.a. die zu erwartende Einwohnerzahl, die Grundfläche der Gebäude und die zu aus statischen Werten generierten möglichen Nutzungen samt der typischen Nutzungsgröße. Aus diesen Daten wurde durch Summation des thermischen Bedarfs ein Gebäudelastgang entwickelt. Der Gebäudelastgang berücksichtigt bereits einen gebäudeinternen thermischen Lastausgleich, d.h., sofern im Gebäude gleichzeitig ein Nutzer Heizbedarf und ein anderer Nutzer Kühlbedarf hat, wird die Abwärme des Kühlens zum Heizen verwendet. Der thermische Bedarf wurde auf Basis der Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes für das Jahr 2045 ermittelt. Erste Ergebnisse zeigen, dass der Kühlbedarf höher sein wird als der Heizbedarf.

4. Thermische Aktivierung

Der Begriff 'Thermische Aktivierung' beschreibt das Ausrüsten eines bautechnisch notwendigen Elements mit Absorberleitungen. Die Absorberleitungen sind Rohrleitungen aus Kupfer oder Kunststoff, die von einem Wärmeträgerfluid durchströmt werden. Das Wärmeträgerfluid ist, sofern es die wasserrechtlichen Bestimmungen zulassen, ein Wasser-Glykol Gemisch, welches den Vorteil bietet, dass auch mit Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes gearbeitet werden kann. Im als Modellquartier gewählten Rosensteinquartier ist bedingt durch die Lage im Heilquellenschutzgebiet die Verwendung von Glykol nicht zulässig. Das Funktionsschemata sieht vor, dass der erste Kreislauf mit den Absorberleitungen mit einer Wärmepumpe gekoppelt wird, die die Temperatur des Wärmeträgerfluides mittels elektrischer Kompressionsenergie dann auf das gewünschte Temperaturniveau hebt.

Um der Forderung nach energetischer Autarkie des Quartiers gerecht zu werden, wurden alle im Quartier vorhandenen erneuerbaren thermischen Energiequellen untersucht. Im Fokus stand hier die thermische Aktivierung der Abwasserkanäle, da diese nicht nur als Energiequelle, sondern auch als Energietransportsystem fungieren. Die thermischen Restbedarfe werden anschließend mittels thermisch aktivierten Gründungselementen, Erdwärmesonden und Solarenergie gedeckt. Photovoltaische-thermische Kollektoren generieren hierbei aus der Solarenergie nicht nur thermische Energie, sondern auch elektrische Energie, welche zur thermischen Aufbereitung der thermischen Energie aller Absorbereinheiten mittels Wärmepumpe notwendig ist.

Die thermische Aktivierung unterirdisch liegender statisch oder siedlungswassertechnisch notwendiger Infrastruktur bietet den Vorteil, dass keine zusätzlichen Ressourcen für den Bau geothermischer Anlagen (z.B. Erdwärmesonden, Erdkollektoren) verwendet werden müssen, da kein zusätzlicher baulicher Eingriff notwendig wird. Die thermische Aktivierung des Untergrunds wirkt auch der Bildung innerstädtischer Wärmeinseln entgegen. Bedingt durch Oberflächenversiegelung, fehlende Vegetation und Wärmeabstrahlung erhöht sich die Temperatur im urbanen Mikroklima signifikant, so werden in Stuttgart zwischen der Innenstadt und den Randzonen des Stadtkessels ca. 6 K Differenz gemessen [2]. Die oberflächliche Wärme speichert sich in den Untergrund ein, sodass auch hier ein Anstieg der Grundwassertemperatur zu verzeichnen und hiermit verbundene negative ökologische Auswirkungen verbunden sind [3]. Die Verwendung oberflächennaher geothermischer Systeme zum Heizen der Gebäude führt zum Abkühlen des Untergrunds und ist auch unter diesem Gesichtspunkt ökologisch positiv zu bewerten.

5. Hybridkanal

Der 'Hybridkanal' ist ein Abwasserkanalsegment, das zu einem die originäre Aufgabe des Abwassertransportes erfüllt, infolge der thermischen Aktivierung der Tunnelschale aber auch dem umgebenden Erdreich, der Kanalluft und dem Abwasser thermische Energie entziehen als auch zuführen kann. Ein Rinnenabsorber (gleichbedeutend zu den inneren Absorbern) zum gezielten Wärmeentzug aus dem Abwasser kann zusätzlich in das System integriert werden. Daneben kann der Hybridkanal mit zwei oder drei Leitungen ausgerüstet werden, mit denen thermische Energie auf unterschiedlichen Energiestufen durch das Quartier transportiert werden kann (Abb. 1).

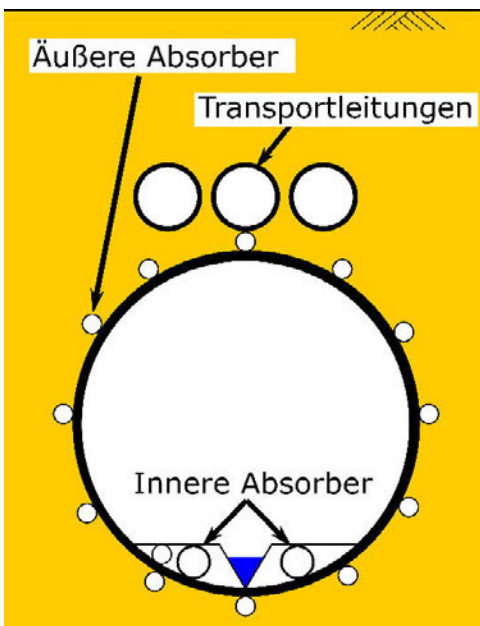


Abb. 1: Thermisch aktivierter Hybridkanal

Unterschiedliche thermische Bedürfnisse der Nutzer erfordern unterschiedliche thermische Nutzungen des Hybridkanals. Meldet ein Nutzer einen Bedarf an thermischer Energie an, so wird eine Ablaufschemata gestartet. Als erstes wird überprüft, ob ein anderer Nutzer im Netz einen Überschuss an thermischer Energie abgeben will, wenn ja erfolgt ein Transport von thermischer Energie (Abb. 3). Ist jedoch kein Nutzer mit thermischem Überschuss im Netz vorhanden, wird die thermische Energie durch Aktivierung der außen liegenden Absorber gewonnen, da hier kurzzeitige Speicherkapazitäten bestehen (Abb. 2). Außenliegende Absorber können bei Kanälen ab einem Durchmesser von 300 mm appliziert werden. Für in das System optional integrierbare Rinnenabsorber muss ein Kanal hingegen einen Mindestdurchmesser von 800 mm haben, um im Reversionsfall von einer Person begangen werden zu können. Reicht die thermische Energie, die durch Aktivierung der äußerlichen Absorber generiert wird, nicht

aus, werden zusätzlich die Rinnenabsorber (innenliegende Absorber) mit direktem Kontakt zum Abwasser aktiviert (Abb. 4).

Die Absorber werden für den Wärmeentzug mit einem kalten Wärmeträgerfluid beaufschlagt, um durch das Abwasser bzw. umgebende Erdreich erwärmt zu werden; bei der Gebäudekühlung wird dem Kanal Kälte entzogen. Die so gewonnene Energie wird mittels einer Wärmepumpe auf ein verwertbares Niveau gehoben. Transportierte thermische Energie benötigt im besten Fall keine Anhebung der Temperatur mittels Wärmepumpe, folglich ist in diesem Fall kein zusätzlicher Aufwand für eine die Wärmepumpe notwendig.

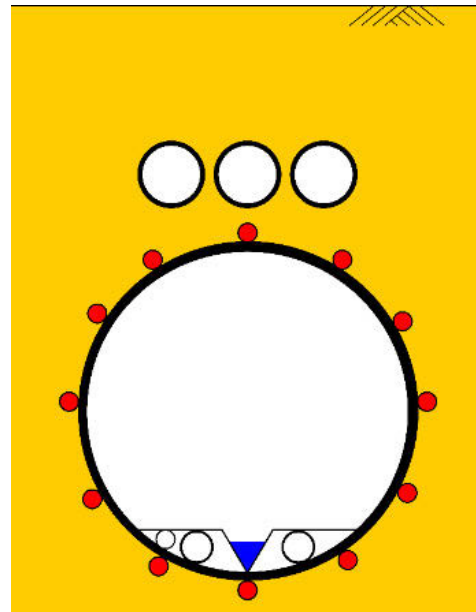


Abb. 2: Eintrag ins Erdreich

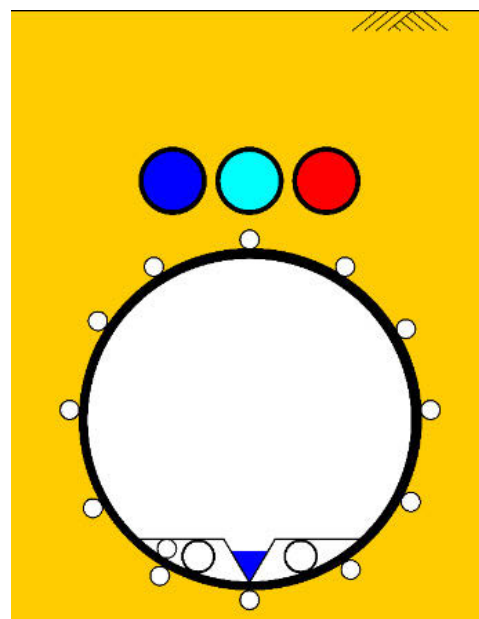


Abb. 3: Transport thermischer Energie

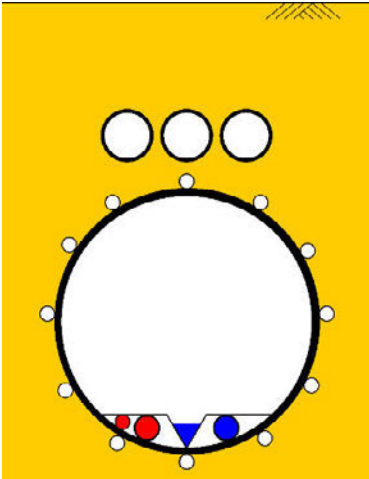


Abb. 4: Entzug der thermischen Energie aus dem Abwasser

Zur optimalen Realisierung der Kanalquerschnitte werden die Hybridkanäle in ihrer geometrischen Anordnung und Rohrkonfiguration variiert. Kleine Absorber Rohrdurchmesser werden gewählt, wenn ein hoher Wärmeübergang zwischen Absorber und Umgebung gebraucht wird.

Eine Reduzierung des Querschnittes erhöht die Strömungsgeschwindigkeit und den dimensionslosen Wärmeübergangskoeffizienten. Ein großer Durchmesser hingegen reduziert die Strömungsgeschwindigkeit und verringert so den Wärmeübergang [4].

Die dreidimensionale Ausgestaltung des Hybridkanals sieht ein aktiviertes Kanalstück aus Kunststoff vor. Im untersuchten Fall wird eine Länge von 6 Metern angenommen, andere Kanallängen sind jedoch denkbar. An der äußeren Oberfläche des Kanals ist die Absorberleitung in Form einer Helix angebracht, mit der Konsequenz, dass es pro Hybridkanalsegment einen Vor- und einen Rücklauf gibt. Die Koppelung mehrerer Kanalsegmente zu einem Element mit ebenfalls nur einem Vor- und Rücklauf ist möglich, erhöht jedoch die erforderliche Pumpenenergie. In Abb. 5 ist das Grundmodell des thermisch aktivierten Hybridkanals zu sehen, welcher sowohl Abwasser transportiert als auch über die äußerliche Absorberleitung dem umgebenen Boden, aber auch der Kanalluft und dem Abwasser thermische Energie entzieht.



Abb. 5: Thermisch aktivierter Hybridkanal

Die Anbindung der Vor- und Rücklaufleitung an den Hausanschluss erfolgt über Verbindungsleitungen. Im Hausanschluss wird die thermische Energie über einen Wärmetauscher an eine Wärmepumpe zur weiteren Verwendung aufbereitet (siehe Abs. 6). Bei der Verbindung der Hybridkanäle mit dem Hausanschluss kann die Anbindung der Hybridkanäle entweder in Parallelschaltung oder in Reihenschaltung erfolgen, d.h. entweder wird jedes Kanalsegment einzeln mit dem Hausanschluss mit jeweils eines Vor- und Rücklaufs verbunden oder es gibt eine Vorlaufleitung, aus der alle Hybridkanäle versorgt werden, und einen Rücklauf, der alle Rückläufe sammelt. Um hydraulische Druckverluste und folglich Leistungsabnahmen zu vermeiden, werden die Hybridkanäle bei der Reihenschaltung im Tichelmann-Prinzip verlegt, wodurch die Summe der Rohrlängen der Vor- und Rücklaufleitung bei jedem Hybridkanal gleich groß ist. Jedes Kanalsegment wird folglich von einem annähernd gleichgroßen Volumenstrom durchströmt, da jedes Kanalsegment durch die gleichen Leitungslängen den gleichen Druckverlust infolge Rohrreibung aufweist (Abb. 6). In Abb. 6 wird der Hausanschluss als 'HUB' bezeichnet. Die Parallelschaltung wurde im Projekt IWAES nicht verwendet, da bei ca. 475 zu erwartenden Hybridkanalsegmenten die Anzahl an Vor- und Rücklaufleitungen im Untergrund schwer Platz finden würde. Positiv bei der Verwendung der Parallelschaltung wäre hingegen, dass die Zulauf- und Rücklaufleitungen ebenfalls als thermischer Kollektor wirken würden.

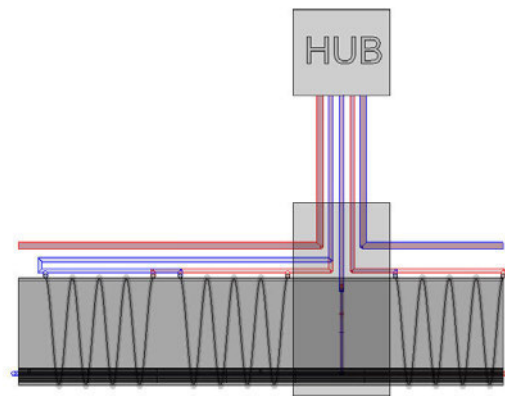


Abb. 6: „Tichelmann“ Anbindung der Hybridkanäle

Der Zugang zu den innenliegenden Absorbern erfolgt über Abwasserschächte die räumlich direkt vor den Hausanschlüssen installiert werden (Abb. 7). In derselben Abbildung sind die oben liegenden Transportleitungen (blau, gelb, rot) zu erkennen, deren Verbindung mit dem Hausanschluss ebenfalls über denselben Abwasserschacht läuft.

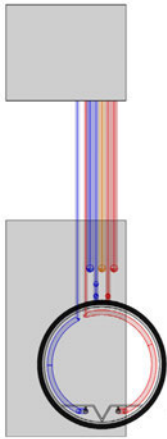


Abb. 7: Anbindung der Transportleitungen und der innenliegenden Absorber.

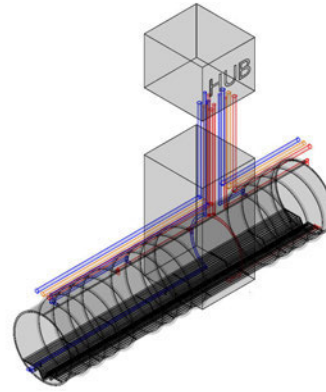


Abb. 8: Ansicht des Hybridkanalsystems

In Abb. 8 wird die zentrale Funktion des Abwasserschachtes deutlich, der das Verbindungsstück zwischen der Kanalisation, Absorbereinheiten, Transporteinheiten und dem Hausanschluss bildet.

6. Verbundnetz

1. Ebene

2. Ebene

3. Ebene

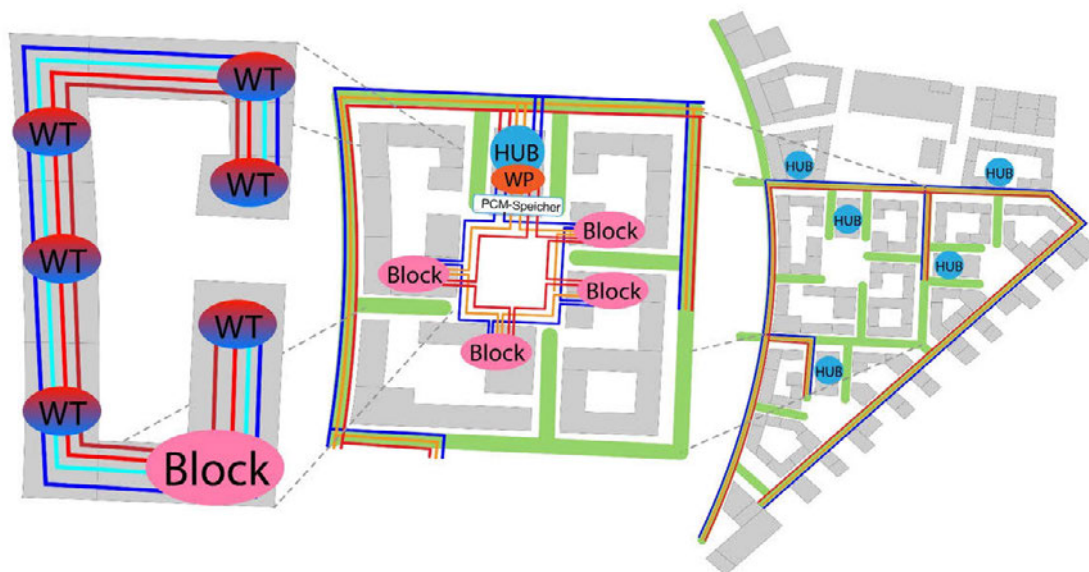


Abb. 9: Dreistufiger thermischer Quartiersansatz mit Integration des thermisch aktivierten Abwassernetzes, von links beginnend Block, Hubareal, Quartier. (WT: Wärmetauscher, WP: Wärmepumpe)

Das Verbundnetz hat die Aufgaben, gleichzeitig als Absorber als auch als Transporteinheit zu fungieren. Der bereits erwähnte Grundgedanke ist es, thermische Bedarfe und thermische Überschüsse auf Quartiersebene miteinander zum Ausgleich zu bringen, sodass eine zusätzliche Energieerzeugung überflüssig wird. Hierfür muss das Transportnetz zur Aufnahme und Abgabe von thermischer Energie unterschiedlichen Niveaus fähig sein. Würde ein Nutzer eines Wärmenetzes nur mit einer Vor- und einer Rücklaufleitung thermische Energie auf einem hohen Niveau aus dem Netz

ziehen und verwerten, sodass dieser Nutzer die Temperatur auf einem mittleren Niveau wieder einspeisen möchte, stellt sich die Frage, ob dieser Rücklauf der warmen Vorlauf- oder der kalten Rücklaufleitung zugeführt werden soll, beides würde die nutzbare Exergie entweder zum Kühlen oder zum Heizen reduzieren. Um diese Reduktion der Exergie zu verringern, wurde in Analogie zur Elektrotechnik ein dritter Leiter als Neutralleiter hinzugefügt, in welchen thermische Energie auf mittlerem Temperaturniveau eingeleitet wird und bei Bedarf entnommen wird.

In den Hausanschlüssen wird die thermische Energie, die aus innenliegenden und außenliegenden Absorbern gewonnen oder durch die Transportleitungen verschoben wurde aufbereitet, i.e. die thermische Energie wird über Wärmetauscher der Wärmepumpe zugeführt und auf die gewünschte Temperatur gehoben. Wärmepumpen besitzen immer einen Kompressor und einen Verdampfer, ersterer erhöht die Temperatur letzterer senkt diese ab. Sowohl am Kompressor als auch am Verdampfer sind Wärmetauscher angebracht, welche die „Kälte“ als auch „Wärme“ entweder an das Gebäude selbst oder ans Netz abgeben. Sofern die Temperatur bereits auf verwertbaren Temperaturniveau ist kann durch einen hydraulischen Bypass die Wärme direkt verwertet werden. Des Weiteren ist in einem Hausanschluss auch ein PCM Speicher installiert, welcher thermische Leistungsspitzen abfedern und den thermischen Bedarf vom thermischen Angebot entkoppeln soll.

Da es absehbar ist, dass das energetische Potential der Abwasserkanäle nicht zur Deckung der Energiebedarfe ausreicht, können weitere im Quartier befindliche Energiequellen in Betracht gezogen werden, u.a. eine thermische Aktivierung der Gebäudegründungen, Erdwärmesonden als auch Solarthermie. Die Einbindung und thermischer Aufbereitung dieser weiteren Energiequellen erfolgt ebenfalls im Hausanschluss. Wenn jeder einzelne Nutzer einen voll ausgestatteten Hausanschluss samt modifizierten Abwasserschacht benötigt, ist dies ökologisch als auch ökonomisch ungünstig. Die Effizienz thermischer Anlagen nimmt mit der installierten Leistung zu, weshalb die Bündelung thermischer Bedarfe angestrebt werden sollte.

7. Mehrstufiges Konzept

Das mehrstufige Konzept orientiert sich an der Bebauung des jeweiligen Quartiers. Im Forschungsprojekt IWAES wurde exemplarisch der städtebauliche Entwurf von *asp*-Architekten für das Rosensteinquartier als Grundlage herangezogen. Der Entwurf sieht eine Unterteilung des Quartiers in mehrere Hubareale vor. Die Hubareale setzen sich wiederum aus mehreren Gebäudeblöcken zusammen (Abb. 9). Hubs sind Gebäude, die städtebaulich kennzeichnend für ein Areal sein sollen, konkret handelt es sich hier um eine öffentlich zugängliche Einrichtung (z.B. Bibliothek etc.). In diesen Hubs sollen gemäß städtebaulichem Entwurf auch die notwendigen Technikzentralen untergebracht sein. Im Rahmen von IWAES wurde in diesen Hub auch ein modifizierter Hausanschluss, inklusive PCM-Speicher untergebracht.

Zur Bündelung der thermischen Energiebedarfe der Nutzer wurde ein mehrstufiges thermisches Konzept entwickelt, bei dem nicht jeder Nutzer singular thermisch versorgt wird, sondern im Verbund.

Das Konzept umfasst in IWAES drei Ebenen der thermischen Bilanzierung:

- Erste Ebene: Gebäudeblock
- Zweite Ebene: Hubareal
- Dritte Ebene: Gesamtes Quartier

Jede Ebene besitzt ein eigenes Verbundnetz, in dem die jeweils niedrigere Ebene als Nutzer auftritt. In der ersten Ebene wird innerhalb des Gebäudeblocks ein Ausgleich zwischen den einzelnen Nutzern angestrebt, wird dieser jedoch verfehlt, wird die notwendige thermische Restenergie dem Hubnetz entnommen. Der Gebäudeblock ist über einen Hausanschluss mit dem Hubnetz verbunden. Ist im Hubnetz ebenfalls kein thermisches Gleichgewicht zwischen den Blöcken möglich, wird die thermische Energie aus dem Quartiersnetz gezogen (dritte Ebene). Ist in der dritten Ebene ebenfalls kein Ausgleich möglich, wird die thermische Energie aus den Hybridkanälen gewonnen und sofern diese Absorber ebenfalls nicht ausreichen, werden zusätzlich noch die thermisch aktivierten Gründungselemente, Erdwärmesonden und Solarthermie Einheiten aktiviert.

8. Numerische Untersuchungen

Zur Ermittlung der thermischen Leistungsfähigkeit der Hybridkanäle wurden numerische zweidimensionale und dreidimensionale Berechnungen mittels der Simulationssoftware COMSOL durchgeführt, dass hier verwendete Modell ist in Abb. 10 dargestellt.

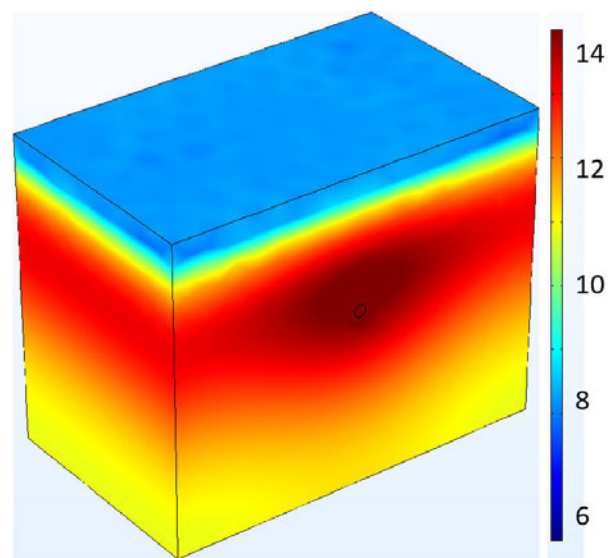


Abb. 10: Dreidimensionales numerisches Modell (Legende Temperatur in °C)

Die einwirkenden atmosphärischen Einflüsse wurden mittels der stündlich aufgelösten Testreferenzjahre des Jahres 2045 des Deutschen Wetterdienstes abgebildet. Die thermischen Einflüsse aus Abwassertemperatur wurden aus stündlichen Temperaturmessungen am Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen gebildet. Aus dem städtebaulichen Entwurf wurde von einem Pro-

jektpartner die siedlungswassertechnische Planung für das Rosensteinquartier entworfen. Der Entwurf gibt für jeden Kanalabschnitt den Durchmesser, Länge und die durchschnittlich zu erwartende Abwasserströmungsgeschwindigkeit an, die dann in der numerischen Simulation als Strömungsgeschwindigkeit angenommen wurde. Geothermische Anlagen werden üblicherweise leicht turbulent durchströmt, da dies das energetische Optimum zwischen eingesetzten Pumpenstroms und extrahierter Wärmeenergie darstellt [7]. Für die Daten der Kanalluft wurden in IWAES gesonderte Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse in die numerischen Untersuchungen flossen, siehe Kap. 8

Als Bodenkontinuum wurden ein für das Rosensteinquartier typisches nichtbindige Bodenmaterial ohne Grundwasserströmung aber gesättigt angenommen. Der aufgetragene Lastgang wurde im Rahmen des Projektes für einen typischen Gebäudeblock entwickelt. Für den Lastgang wurde wie bei der Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Geothermieanlagen üblich, eine Arbeitszahl von 3,5 angenommen anstelle des für die KfW als untere Mindestgrenze angegebenen Wertes von 4,3, wodurch eine konservative Bemessung des Hybridkanals gewährleistet wird. Als minimale Vorlauftemperatur wurde ein Wert von 2°C und als maximale Vorlauftemperatur ein Wert von 35°C angenommen. Der obere Grenzwert ergibt sich nach [8] als die maximale Zulauftemperatur zu den Abwasserkanälen. Die minimale Temperatur von 2°C ergibt sich aus der Vorgabe des Heilquellenschutzes, kein Glykol als Frostschutz verwenden zu dürfen und der Verwendung von Rohr-bündelwärmetauschern.

Bei der numerischen Berechnung wurde der Lastgang durch die Anzahl an Hybridkanälen geteilt, die für die Bewältigung des Lastgangs notwendig sind. Als maßgebender Parameter wurde die Vorlauftemperatur des Hybridkanals gewählt, die die 35°C-Schranke nicht über- und die 2°C Schranke nicht unterschreitet. In Abb. 11 ist die Vorlauftemperatur eines Hybridkanals aufgezeigt, der hierbei aufgebrachte Lastgang wurde durch 70 dividiert, i.e. 70 Hybridkanalsegmente sind notwendig um den Lastgang abarbeiten zu können.

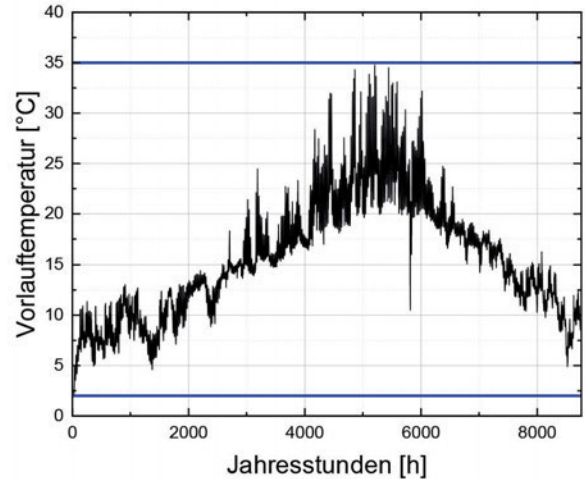


Abb. 11: Numerische Untersuchung eines DN800 Hybridkanals

Die Leistung des Hybridkanals wurde mittels der folgenden Gleichung ermittelt und durch die Anzahl an Jahresvolllaststunden dividiert (Heizlaststunden: 1240 h, Kühl-laststunden: 357 h).

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot c_p \cdot \rho \cdot (\vartheta_{\text{Rücklauf}} - \vartheta_{\text{Vorlauf}})$$

Werden die Leistungen auf die innere Oberfläche bezogen, ergeben sich die in Tab. 1 und 2 gegebenen Werte.

Tab. 1: Wärmeentzugsleistung bei 1240 Volllaststunden

Kanaldurchmesser	innere Oberfläche	gesamtes Netz
[mm]	[W/m ²]	[kW]
300	143	281
400	129	37
800	117	159

Tab. 2: Wärmeeintragsleistung bei 357 Volllaststunden

Kanaldurchmesser	innere Oberfläche	gesamtes Netz
[mm]	[W/m ²]	[kW]
300	830	1633
400	709	203
800	641	871

Insgesamt können alle Hybridkanäle allein durch die äußerlich angebrachten Absorber eine durchschnittliche, jährliche Leistung von 477 kW und eine Kühlleistung von 2700 kW erbringen. Bei der Kühlleistung muss be-

rücksichtigt werden, dass Temperaturen bis 35°C zugelassen werden, was eine Kühlung mittels Wärmepumpe zwingend nötig macht. Eine abschließende Validierung des numerischen Modells steht mangels Messdaten noch aus und soll in der Verfestigungs- und Umsetzungsphase des IWAES Projektes erfolgen.

9. Untersuchungen zur Kanalluftströmung

Untersuchungen bei thermisch aktivierten Tunnelbauwerken belegten einen signifikanten Einfluss der Tunnelluft auf die mögliche Wärmeextraktion [5], [6].

Um die thermische Leistungsfähigkeit der Hybridkanäle zu ermitteln, ist es daher wichtig, Temperatur und die Strömung der Kanalluft zu kennen. Der Forschungsstand zur Kanalluft beinhaltet keine genauen Messungen der Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit im Bezug zur Abwassertemperatur, weshalb im Frühjahr 2021 Untersuchungen zu diesem Sachverhalt an der Universität Stuttgart durchgeführt wurden. Hierfür wurden unterschiedliche Kanaldurchmesser und Gefälle messtechnisch ausgerüstet und untersucht (Abb. 12). Bedingt durch eventuelle Faulgase in der Kanalisation musste eine explosionsgesicherte Messkonstruktion entwickelt werden, sodass anstatt eines Hitzdrahtanemometers zur Messung der Kanalluftgeschwindigkeit ein Windrad verwendet wurde, welches eine Messschwelle von ca. 0,2 m/s besitzt. In Abb. 13 ist die Messung aller relevanten Temperaturen des Kanals 66 (Durchmesser 700 mm) aufgezeigt, es zeigt sich, dass die Temperatur der Kanalluft konstant und weitestgehend unabhängig von der Oberflächentemperatur ist, aber auch nicht direkt abhängig von der Abwassertemperatur ist. Dieser Zusammenhang ist nur durch die thermische Beeinflussung des Erdreichs zu erklären. In Abb. 14 ist zu erkennen, dass es im Kanal 66 eine Kanalluftströmung gibt und diese unabhängig von der Abwasserströmungsrichtung sein kann. Abb. 15 zeigt, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen Kanallufttemperatur und Abwassertemperatur gibt; je größer der Durchmesser des Abwasserkanals ist desto eindeutiger ist der Zusammenhang zwischen Kanallufttemperatur und der Temperatur des Abwassers. Abb. 16 zeigt, dass insbesondere für große Kanaldurchmesser ein Zusammenhang zwischen Kanallufttemperatur und Außentemperatur besteht. Zusammenfassend wird deutlich, dass je größer der Kanaldurchmesser ist, desto eher ist die Kanallufttemperatur in Interaktion mit der Außentemperatur; ein Grund könnten die erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten des Abwassers sein, welche den Wärmeübergang zwischen Kanalluft und Außentemperatur und Kanalluft und Abwasser erhöhen. Größere Kanal-

durchmesser kommen bei größeren Abflusswerten zum Einsatz, welche zumeist eine größere Abflussgeschwindigkeiten aufweisen.

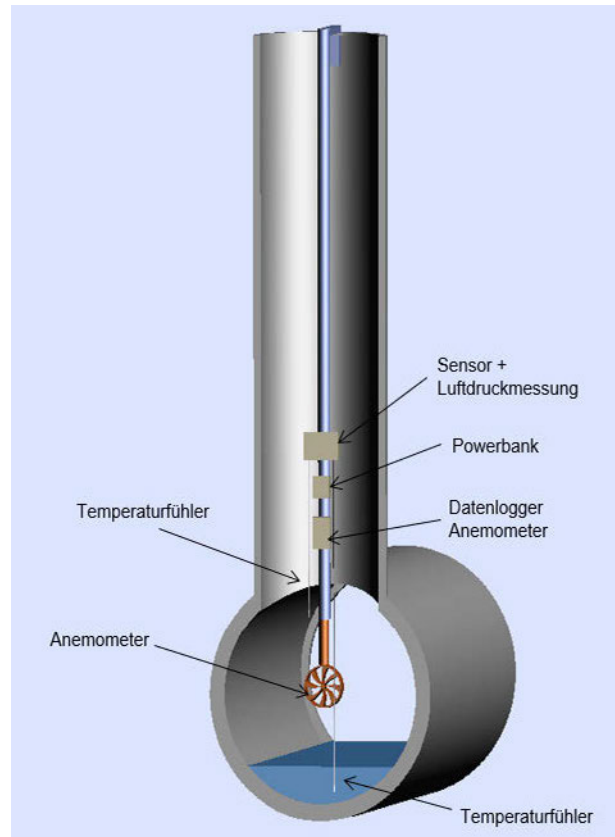


Abb. 12: Schematische Darstellung des Messkonzeptes

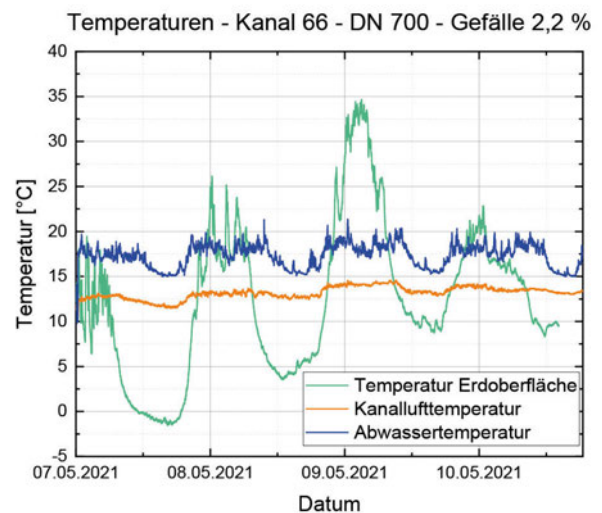


Abb. 13: Messungen der relevanten Temperaturen

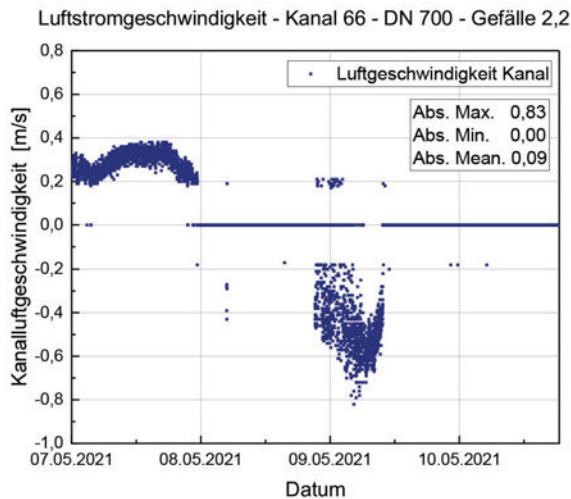


Abb. 14: Messungen der Kanalluftgeschwindigkeit

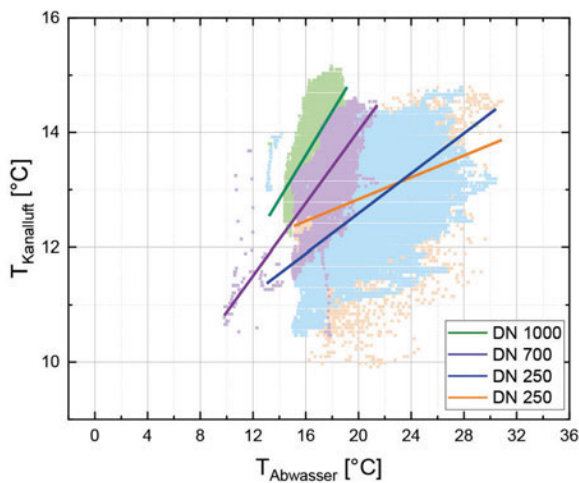


Abb. 15: Kanallufttemperatur über Abwassertemperatur

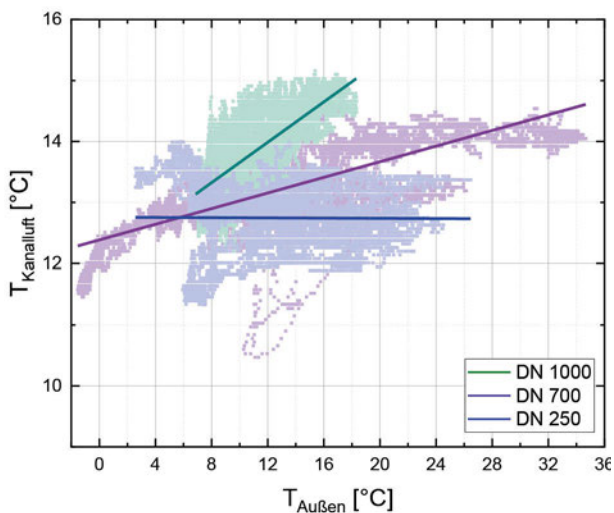


Abb. 16: Kanallufttemperatur über Außentemperatur

10. Fazit

Der im Forschungsprojekt IWAES entwickelte Ansatz des mehrstufigen thermischen Verbundsystems auf Basis thermisch aktivierter Hybridkanäle stellt ein zukunftsfähiges Instrument der Wärmewende im innerstädtischen Kontext dar. Besonders hinsichtlich der immer wichtiger werdenden Kühlung von Gebäuden kann das Konzept einen wesentlichen Beitrag leisten. In das Konzept können einfach weitere regenerative Energiequellen eingebunden werden.

11. Danksagung

Das Forschungsprojekt IWAES wird vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Forschungsoffensive „Ressourceneffiziente Standquartiere für die Zukunft“ (RESZ) gefördert.

Literatur

- [1] Deutsche Energie Agentur GmbH 2021
- [2] Baumüller, J., Hoffmann, U., Reuter, U. (2012): Städtebauliche Klimafibel, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg
- [3] Griebler, C., Kellermann, C., Stumpp, C., Hegler, F., Kuntz, D., Walker-Hertkorn, S. (2015): Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften – Empfehlungen für eine umweltverträgliche Nutzung. 2015
- [4] von Böckh, W. (2015): Wärmeübertragung, Springer Vieweg
- [5] Buhmann, P. (2019): Energetisches Potential geschlossener Tunnelgeothermiesysteme. Institut für Geotechnik. Mitteilungendes Instituts für Geotechnik der Universität Stuttgart, Heft 73, 2019
- [6] Schneider, M. (2013): Zur energetischen Nutzung von Tunnelbauwerken – Messungen und numerische Berechnungen am Beispiel Fasanenhof, Institut für Geotechnik. Mitteilungen des Instituts für Geotechnik der Universität Stuttgart, Heft 68, 2013
- [7] VDI 4620 Blatt 2, Thermische Nutzung des Untergrunds – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, 2019
- [8] Satzung der Landeshauptstadt Stuttgart über die öffentliche Abwasserbeseitigung (Abwasserbeseitigungssatzung – Abws), Amtsblatt der Landeshauptstadt Stuttgart Nr. 51/52, 2019

Digitalisierung in der Geotechnik – Status Quo und aktuelle Entwicklungen

Dr.-Ing. Dipl. Wirtsch.-Ing. Jörg Bauer
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Deutschland

Zusammenfassung

Mit der verpflichtenden Anwendung der Methode des Building Information Modeling (BIM) ab spätestens 2025 für Infrastrukturprojekte von öffentlichen Auftraggebern im Verantwortungsbereich des BMVI stellen sich vielfältige Herausforderungen an die Geotechnik. Die bisher überwiegend analog ablaufenden Prozesse wie die Erstellung von geotechnischen Schnitten, die Angabe von geotechnischen Eigenschaften und Kennwerten sowie die Interaktion zwischen Projektbeteiligten sind dazu in digitale Prozesse zu überführen. Voraussetzung hierfür ist die Erstellung eines Fachmodells Baugrund, welches zusammen mit dem Geotechnischen Bericht abzugeben ist und mit anderen Fachmodellen wie bspw. der Bauwerke in Interaktion tritt. Diese neue Arbeitsweise erfordert die Erarbeitung einheitlicher Definitionen, Vorgehensweisen und Zuständigkeiten, ohne eine wesentliche Veränderung der bisherigen rechtlichen Randbedingungen herbeizuführen. Der vorliegende Beitrag beschreibt den aktuellen Stand der Erfahrungen mit dem Fachmodell Baugrund sowie aktuelle Aktivitäten zu Empfehlungen und Standardisierungen für die Anwendung von BIM in der Geotechnik.

1. Einleitung

Gemäß dem *Stufenplan Digitales Planen und Bauen* [1], eingeführt im Jahr 2015 durch das *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)*, müssen zukünftig alle neuen Infrastrukturprojekte von öffentlichen Auftraggebern im Verantwortungsbereich des *BMVI* mit der BIM-Methode durchgeführt werden. Der zunächst in [1] anvisierte verpflichtende Zeitpunkt für die flächendeckende Anwendung von BIM als Regelprozess Anfang 2021 wurde zwischenzeitlich auf spätestens 2025 festgesetzt. Die Zeit bis 2025 soll zum weiteren Aufbau der für BIM erforderlichen Kompetenzen und Kapazitäten sowie zur Implementierung der Methode dienen [2], [3]. Unter BIM wird im Allgemeinen eine Arbeitsmethode verstanden, bei der in einem Gesamtmodell eines Bauwerks oder Infrastrukturprojekts alle relevanten Informationen erfasst, verwaltet und zwischen den Projektbeteiligten ausgetauscht werden. Das Gesamtmodell ergibt sich dabei aus der Gesamtheit aller einzelnen, gewerkspezifischen Fachmodelle, die je nach Zuständigkeit von den Projektbeteiligten erstellt werden. So liefert bspw. der Vermesser sein Fachmodell mit dem Digitalen Geländemodell (DGM), der Geotechniker das Fachmodell Baugrund und der Planer ein Fachmodell mit seinen Planungsinhalten. Die Interaktion dieser einzelnen Fachmodelle findet im Gesamtmodell statt.

Anzuwenden ist BIM für den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojekts. Dies umfasst die Planung und Ausführung genauso wie den Betrieb von Bauwerken. Derzeit liegt

der Fokus der ersten Anwendungsversuche von BIM nahezu ausschließlich beim Planungs- und Herstellungsprozess von Bauprojekten [4]. Darüber hinaus wird auch für den Betrieb von Anlagen die Anwendung von BIM einen erheblichen Mehrwert aufweisen, bspw. bei der strukturierten Speicherung und Zurverfügungstellung von Informationen von Inspektionsergebnissen und Sanierungsmaßnahmen. Dabei unterscheiden sich jedoch teilweise die Anforderungen an die Betriebsphase gegenüber jenen der Planungs- und Herstellungsphase. Die Herausarbeitung dieser Anforderungen müssen zukünftig auch für das Fachmodell Baugrund noch verstärkt angegangen werden. Mit der Implementierung von BIM ergeben sich für alle Projektbeteiligten, auf Auftraggeber- wie Auftragnehmerseite, viele Fragestellungen, die oftmals anhand von Erfahrungen mit konkreten Bauprojekten herausgearbeitet werden können. Dazu wurden unmittelbar nach Veröffentlichung des *Stufenplan Digitales Planen und Bauen* [1] Pilotprojekte im Verkehrswasserbau, Eisenbahnbau und Straßenbau ausgewählt – zumeist Bauprojekte, die unabhängig von BIM bereits große technische Herausforderungen darstellen. Die anfänglich überschaubare Anzahl an BIM-Projekten hat sich durch die Erprobung der Methode an vielen kleineren Bauprojekten zwischenzeitlich potenziert. Mit dem Ziel, die Aktivitäten, Erkenntnisse und Erfahrungen zum Einsatz von BIM zusammenzuführen, wurde 2020 vom *BMVI* und *BMI* die Arbeitsgruppe *BIM Deutschland* gegründet, die neben der Informationsbündelung u. a. auch Standardisierungen vorantreiben soll.

2. Das Fachmodell Baugrund

2.1 Allgemeines

Die folgenden Beschreibungen in diesem Abschnitt sind den ersten drei Empfehlungen des Arbeitskreises *Digitalisierung in der Geotechnik* der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), [5], [6] und [7], entnommen, in dem der Autor Mitglied ist. Diese Empfehlungen formulieren Zielvorstellungen von BIM in der Geotechnik und spiegeln nur zum Teil die derzeit gelebte Praxis wider (Abschnitt 3). Viele Voraussetzungen zur konsequenten Umsetzung von BIM in der Geotechnik müssen zunächst noch geschaffen werden (Abschnitt 4), wofür die genannten Empfehlungen einen Weg aufzeigen sollen.

2.2 Einordnung und Definitionen

Das Fachmodell Baugrund basiert auf dem Geotechnischen Bericht und enthält definitionsgemäß sämtliche Informationen, die den Baugrund beschreiben. Dies sind zum einen *geometrische Informationen*, wie bspw. die Mächtigkeiten der Baugrundsichten, und zum anderen *semantische beschreibende, nicht geometrische Informationen*, wie bspw. die Bodenarten und geotechnische Kenngrößen. Zusammen mit anderen gewerkspezifischen Fachmodellen erfolgt eine Vernetzung des Fachmodells Baugrund im gewerkübergreifenden Gesamtmodell (Abb. 1).

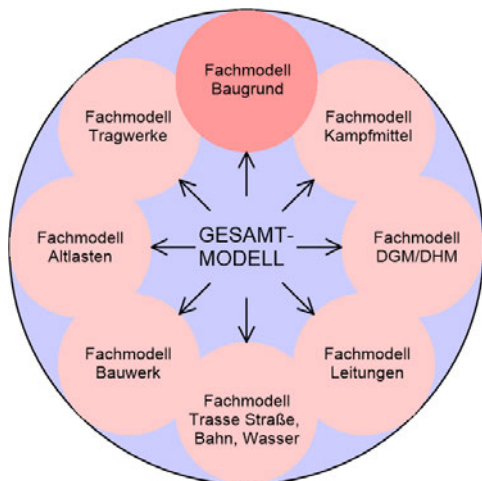


Abb. 1: Einbettung des Fachmodells Baugrund im Gesamtmodell aus [5]

Mit Fertigstellung des geotechnischen Berichts sollte sich das Fachmodell Baugrund mindestens aus den folgenden *Sub-Fachmodellen* zusammensetzen:

- Sub-Fachmodell der Aufschlüsse,
- Sub-Fachmodell der Baugrundsichten,
- Sub-Fachmodell der Homogenbereichsschichten (nach VOB, Teil C),
- Sub-Fachmodell der Grundwasserschichten und -körper.

Der Begriff *Sub-Fachmodell* wird dabei in Abgrenzung zum Begriff *Teilmodell* für einen datentechnischen Ausschnitt verwendet. Im Gegensatz dazu beschreibt das Teilmodell einen geometrischen Ausschnitt, bspw. einen Bauabschnitt, der mit der gesamten Datenbank des Projekts verknüpft ist.

Darüber hinaus kann das Fachmodell Baugrund eine Vielzahl weiterer Sub-Fachmodelle und Fachdaten aufweisen wie bspw. geophysikalische Daten, Altlasten, Kampfmittel, Informationen aus anderen Projekten oder Informationen aus der Bauausführung. Weiterführende Erläuterungen zu den Fachdaten des Fachmodells Baugrund enthält [5].

Abb. 2 zeigt die geometrischen Informationen in einem Fachmodell Baugrund mit dem DGM und einem Bauwerk sowie den Sub-Fachmodellen der Aufschlüsse und der Baugrundsichten.

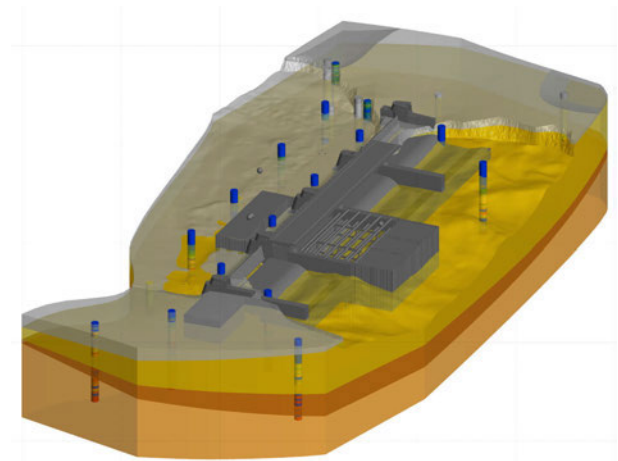


Abb. 2: Fachmodell Baugrund mit DGM und Bauwerk sowie den Sub-Fachmodellen der Aufschlüsse und der Baugrundsichten (Screenshot aus Leapfrog Works) aus [8]

Datentechnisch besteht das Fachmodell Baugrund im Wesentlichen aus *Fachobjekten* und *Eigenschaften*.

Eigenschaften, auch als *Merkmale* bezeichnet, sind die semantischen Informationen im Fachmodell wie bspw. die Ergebnisse der Bodenansprache der Bohrungen, Schichtinformationen und die Eigenschaften und Kennwerte gemäß VOB/C. Eigenschaften werden oftmals nach thematischer Zusammengehörigkeit gruppiert [5].

Fachobjekte bilden thematisch einen fachplanungsspezifischen Aspekt ab, z. B. alle Eigenschaften des Aufschlusses 1, des Aufschlusses 2 etc. Fachobjekte bestehen neben den Eigenschaften, also beschreibenden Informationen, auch aus geometrischen Informationen. So bildet ein Aufschluss, eine Baugrundsicht, eine Homogenbereichsschicht oder eine Grundwasserschicht jeweils ein Fachobjekt.

2.3 Hinweise zur datentechnischen Struktur des Fachmodells Baugrund

Alle Informationen im Fachmodell Baugrund bedürfen einer strukturierten Speicherung in Form von *Datenbanken*. Grundlage für eine Datenbank ist ein *Datenmodell* mit einer standardisierten datentechnischen Struktur, die die Beziehungen zwischen den zu speichernden Daten abbilden kann. Eine Speicherung der Daten als Freitext ist nicht zielführend, da Freitexte für eine weiterführende Anwendung mit Algorithmen nur schwer interpretiert werden können.

Soll bspw. eine automatisierte Massenermittlung mit dem Fachmodell Baugrund erfolgen, ist neben dem zu bewegenden Volumen aus dem geometrischen Modell die Dichte des Baugrunds erforderlich. Diese Dichte muss dem Fachmodell Baugrund in Form einer Eigenschaft (bspw. Feuchtdichte $\rho = 1,9 \text{ g/cm}^3$) zugeführt werden. Dazu sind u. a. der Begriff "Feuchtdichte", das Symbol " ρ ", die Einheit "g/cm³" sowie der Typ der Angabe, hier ein Einzelwert oder ein Wertepaar (Minimal- und Maximalwert, ggf. noch getrennt für vor und nach dem Lösen), zu standardisieren. Eine Angabe dieser Informationen frei nach der Entscheidung eines einzelnen Projektbearbeiters mit Freitext ist nicht zielführend. Dem Projektbearbeiter obliegt lediglich die Aufgabe festzustellen, ob der Wert der Feuchtdichte für den spezifische Baugrundsicht sinnvoll ist, um ihn in dem Fall mittels einer Untersuchung festzustellen und im Modell anzugeben.

Diesen Vorgang der Angabe von Eigenschaften bezeichnet man als *Attribuierung*.

Aufgrund der sehr großen Komplexität von geotechnischen Informationen sind auch ebenso komplexe Datenmodelle erforderlich. Einige geotechnische Besonderheiten im Vergleich zu anderen Gewerken sind bspw.:

- Der "Baustoff" Baugrund tritt in unendlicher Variationsvielfalt auf und bedarf einer Beschreibung auf Grundlage einer Vielzahl von Vorschriften (Normen, Regelwerke, Empfehlungen etc.). Die Möglichkeiten der Variation von Eigenschaften und Kennwerten zur Beschreibung von Baugrund sind ebenfalls nahezu unendlich.
- Oftmals erfolgt die Beschreibung in Kombination mehrerer Vorschriften, die zudem auch unterschiedlichen Normengenerationen angehören können. So bspw. bei der Beschreibung von Homogenbereichen: Die Norm der VOB/C verweist hierfür auf spezifische Vorschriften zur Beschreibung des Baugrundes. Jedoch kann die Baugrunduntersuchung schon längere Zeit zurückliegen. Während die angewendete Ausgabe der VOB/C aktuell ist, wurde die bereits angewendete spezifische Vorschrift ggf. schon durch eine neuere Ausgabe der Vorschrift ersetzt.
- Je nach Verwendungszweck der Information sind für den gleichen Baugrund unterschiedliche Werte erforderlich. Bspw. ist die undrained Kohäsion auf der

sicheren Seite liegend für eine Standsicherheitsberechnung in einer andere Größe (und Bandbreite) maßgebend, als für den Homogenbereich Bohrarbeiten.

- Kennwerte für die Baugrund-Bauwerk-Interaktion wie die Angabe eines Steifemoduls haben nur für eine bestimmte Kombination von Geometrien Gültigkeit, nämlich einer bestimmten Bauwerkabmessung in einem bestimmten Bereich einer bestimmten Baugrundsicht.

Datenmodelle, die in der Geotechnik Anwendung finden können, müssen diesen und weiteren Besonderheiten Rechnung tragen. Ein Vorschlag, wie ein praktikables Datenmodell in der Geotechnik aufgebaut sein könnte, findet sich in [5].

2.4 Entwicklungsstufen

Wie alle Fachmodelle wird das Fachmodell Baugrund über den gesamten Lebenszyklus des Projekts fortgeschrieben. So existieren im Lebenszyklus des Fachmodells mehrere Entwicklungsstufen, die jeweils Vertragsbestandteil bei der Vergabe einer nächsten Planungsphase bis hin zur Ausführung und dem Betrieb sind. Innerhalb der jeweiligen Planungsphase wird das Fachmodell Baugrund durch Integration von neu generierten Fachdaten weiterentwickelt. In [6] sind folgende Entwicklungsstufen definiert:

- Fachmodell in der *Stufe Vorplanung*:
- Es enthält nur rudimentäre Informationen zu Baugrundsichten, z. B. für eine Variantenuntersuchung für Trassierungen oder zur Planung der geotechnischen Aufschlusskampagne.
- Fachmodell in der *Stufe Entwurfsplanung und Genehmigungsplanung*:
- Diese enthalten alle notwendigen Informationen aus dem Geotechnischen Bericht und ggf. dem Geotechnischen Entwurfsbericht.
- Fachmodell in der *Stufe Ausführungsplanung und Werksplanung*:
- Diese enthalten Informationen aus der Fortschreibung des Geotechnischen Entwurfsberichts infolge der fortgeschrittenen Planung, z. B. aus zusätzlichen Baugrunduntersuchungen und Probeversuchen. Das finale Ergebnis ist ein Modell, das der Bauausführung übergeben wird.
- Fachmodell in der *Stufe Fertigstellung*:

Es enthält ergänzende, bei der Ausführung gewonnene Informationen, z. B. Anpassungen von Schichtverläufen nach Eingriffen in den Baugrund, u. a. infolge eines Informationsgewinns durch Baumaschinen (Herstellern), und Informationen aus der Bauüberwachung. Das finale Ergebnis ist das As-Built Modell, das dem Betrieb übergeben wird

- Fachmodell in der *Stufe Betrieb*:
- Es enthält Ergänzungen der Baugrundverhältnisse, die zum Zeitpunkt des Modells in der Stufe Fertigstellung nicht bekannt waren, z. B. Änderung der Grundwasserverhältnisse.

Die Reihenfolge der Aufzählung der Entwicklungsstufen stellt einen Regelfall mit einer linearen Entwicklung des Fachmodells Baugrund dar, kann aber je nach Eigenheiten des spezifischen Projekts oder der Vertragsgestaltung zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber von dieser Abfolge abweichen.

Die Beschreibung der Entwicklung eines Fachmodells mit Berücksichtigung des zunehmenden Informationsgehalts erfolgt mit der *Informationsbedarfstiefe*, dem *Level of Information Need (LOIN)* [9]. Die Entwicklungsstufe und das *LOIN* sind demnach gleichbedeutend. Dabei ist auch eine Zuordnung bzw. Korrelation des *LOIN* zu den Projektphasen und zu den Leistungsphasen der *HOAI* möglich, die in [6] aufgezeigt ist.

Die ebenfalls bei BIM für Hochbau und Infrastrukturbau gebräuchlichen *Level of Geometry (LOG)* und *Level of Information (LOI)* können in der Geotechnik nicht sinnvoll angewendet werden. Eine Begründung findet sich in [6].

2.5 Attribuierung und LOIN

Der Großteil der Eigenschaften im Fachmodell Baugrund ergeben sich aus dem Geotechnischen Bericht bzw. Geotechnischen Entwurfsbericht gemäß DIN 4020. Darüber hinaus werden Eigenschaften u. a. bei der Ausführung oder beim Betrieb des Bauwerks gewonnen, bspw. Ergebnisse von Langzeitmessungen oder langfristige Änderungen der Grundwasserverhältnisse.

Eine Definition der Mindestanforderung an die Attribuierung in Abhängigkeit der Entwicklungsstufen bzw. des *LOIN* des Fachmodells Baugrund befindet sich in [6]. Ein darüber hinausgehender projektspezifischer Informationsbedarf wird in den *Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA)* (Abschnitt 2.7) festgelegt.

Um die Anforderung einer konsistenten Erfassung, Verwaltung und Austauschfähigkeit aller Fachdaten innerhalb des Lebenszyklus gemäß BIM erfüllen zu können, ist eine projektübergreifende, allgemeingültige Definition aller Fachobjekte und Eigenschaften essenziell. Für diesen Akt einer weitgehenden Standardisierung müssen noch die Voraussetzungen geschaffen werden. Projektspezifische, lokale Lösungen für die Attribuierung führen zu Insellösungen und sind nicht im Sinne von BIM. Der derzeitige Arbeitsstand zu diesen Standardisierungen ist in Abschnitt 5 beschrieben.

Die umfangreichen datentechnischen Anforderungen an die Entwicklung standardisierter Fachobjekte und Eigenschaften sind in [5] und [6] beschrieben. Als eine

der vielen Anforderungen sei an dieser Stelle lediglich die zwingende Trennung von *Eigenschaftsnamen* und *Eigenschaftswerten* erwähnt. Während die *Eigenschaftsnamen* vom Auftraggeber in den *AIA* festgelegt werden und vom Auftragnehmer im *BIM-Abwicklungsplan (BAP)* (Abschnitt 2.7) angepasst werden können, sind die *Eigenschaftswerte* stets vom spezialisierten Auftragnehmer, z. B. dem Sachverständigen für Geotechnik, festzustellen und dem Modell hinzuzufügen.

2.6 Anwendungsfälle

Anwendungsfälle beschreiben, zu welchem konkreten Zweck BIM-Modelle im Projekt genutzt werden, z. B. für Standsicherheitsberechnungen, Massenermittlungen oder Kosten- und Terminplanungen. Sie stellen einen fachlichen Informationsprozess dar und werden i. d. R. direkt im Gesamtmodell oder indirekt mit dem Gesamtmodell, z. B. nach Ableitung von Schnitten, durchgeführt. Somit lässt sich die gesamte Projektarbeit und somit jede Projektleistung in Anwendungsfälle partitionieren, die sich durch die Anforderungen und Aufgaben der Projektbeteiligten an die Projektarbeit ergeben. Festgelegt werden die Anwendungsfälle vom Auftraggeber in den *AIA*.

Die Durchführung bestimmter Anwendungsfälle setzt einen bestimmten Informationsgehalt und damit bestimmte Entwicklungsstufen des Fachmodells Baugrund voraus. Eine Zuordnung des Informationsbedarfs, der Entwicklungsstufen und der Anwendungsfälle hat [6] zum Inhalt.

Vom *BMVI* wurden in [10] und [11] 20 Anwendungsfälle für Projekte im Infrastrukturwesen definiert, die Grundlage für die Ableitung von Anwendungsfällen für das Fachmodell Baugrund in [7] waren. Diese sind in Tab. 1 zusammengestellt, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Eine genaue Beschreibung dieser einzelnen Anwendungsfälle enthält [7]. Von der Zusammenstellung in Tab. 1 abzugrenzen sind Anwendungsfälle, für die das Fachmodell Baugrund nicht die unmittelbare Basis darstellt, sondern die das Fachmodell Baugrund lediglich nutzen. Dies ist insbesondere ab der Projektphase der Ausschreibung des Bauprojekts der Fall, bei der die wesentliche Grundlage die Fachmodelle des Hoch-,Infrastruktur- oder Ingenieurbaus (einschließlich Bauwerke des Spezialtiefbaus) darstellen. Ausführung zu diesen Anwendungsfällen finden sich ebenfalls in [7].

Ebenso wie die Entwicklung standardisierter Fachobjekte und Eigenschaften für das Fachmodell Baugrund bedarf es einer projektübergreifenden Standardisierung der Anwendungsfälle. Die für das konkrete Bauprojekt erforderlichen Anwendungsfälle werden dann aus dieser projektübergreifenden Standardisierung ausgewählt und vom Auftraggeber mit den *AIA* eingefordert.

Tab. 1: Anwendungsfälle des Fachmodells Baugrund mit Nutzung weiterer Fachmodelle

Anwendungsfall	Weitere erforderliche Fachdaten im Gesamtmodell *
Bestandserfassung	ggf. Bestandsbauwerke, Altlasten etc.
Planungsvariantenuntersuchung	Bestandsbauwerke, Bauwerke oder Trasse etc.
Koordination	Bestandsbauwerke, Bauwerke des Spezialtiefbaus etc.
Fachliche Beurteilung	Bestandsbauwerke, Bauwerke des Spezialtiefbaus etc.
Bemessung und Nachweisführung	Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke
Grundwasserhaltung	Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke
Ableitung geologischer Schnitte	Bestandsbauwerke, Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke
Mengenermittlungen	Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke
Kostenschätzung und Kostenberechnung	Bauwerke oder Trasse, ggf. weitere Gewerke

* Eine Vernetzung mit dem Fachmodell DGM wird grundsätzlich vorausgesetzt

2.7 Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungsplan (BAP)

Die AIA sind das Dokument, in dem der Auftraggeber die für ihn relevanten Ziele und vor allem die Anforderungen zu Workflows beim Datenfluss, bei der Modellierung, Qualitätssicherung und Kollaborationen definiert. Die AIA geben somit die Rahmenstruktur für die allgemeine spezifische Projektabwicklung mit BIM vor und sind Vertragsbestandteil zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer (Abb. 3).



Abb. 3: Aspekte von Auftraggeberinformationsanforderungen aus [12]

U. a. werden in den AIA für das konkrete Bauprojekt folgenden Inhalte definiert:

- Welche BIM-Ziele sollen erreicht werden?
- Welche Anwendungsfälle sind durchzuführen?
- In welcher Entwicklungsstufe bzw. in welchen LOINs der Modelle erfolgt die Durchführung der Anwendungsfälle?
- Die Art und Weise der Durchführung aller Prozesse der Informationsverarbeitung inklusive der Vorgabe der einzusetzenden Methoden (u. a. Vorgabe der datentechnischen Struktur der Modelle).
- Die erforderlichen Eingangsinformationen inklusive deren Bezugsquellen in einer detaillierten Beschreibung (u. a. Vorgabe der Eigenschaftsnamen für die Attribuierung der Modelle).
- Die Zuständigkeiten innerhalb der Workflows.
- Die Anforderungen an die Qualität für alle Liefergegenstände (Modelle mit den daraus abgeleiteten Ergebnissen) im BIM-Prozess.

Die detaillierten Vorgaben der Liefergegenstände in den AIA sind erforderlich, um u. a. die Prüfung der BIM-Modelle mit wiederverwendbaren Prüfverfahren zu ermöglichen [12]. Dazu bedarf es einer weitgehenden projektübergreifenden Standardisierung der Prozesse – nur so kann BIM konsequent umgesetzt werden. Entsprechend fordert [12] die Erarbeitung von *AIA-Vorlagen*, aus denen die projektspezifischen AIA abzuleiten sind. Diese AIA-Vorlagen enthalten gemäß [12] u. a.:

- einheitliche Definitionen der Fachmodelle,
- einheitliche Klassifikationssysteme für Fachobjekte der Fachmodelle, damit eine eindeutige Begriffs- und Funktionsbeschreibung möglich wird,
- einheitliche Definitionen für die Eigenschaften bzw. Merkmale der Fachobjekte.

Dies führt in [12] zu Handlungsvorschlägen zur Erarbeitung von Standardisierungen u. a. in Merkmalsdatenbanken, AIA-Datenbanken und Objektvorlagen. Während – vereinfacht zusammengefasst – in den AIA das “Was” vom Auftraggeber definiert wird, wird im