

edition beton



Thomas Giel

Handbuch Betonkernaktivierung

VERLAG  BAU+TECHNIK

Handbuch Betonkernaktivierung
Planung, Bau, Betrieb

VLB-Meldung

Giel, Thomas

Handbuch Betonkernaktivierung

Planung, Bau, Betrieb

Erkrath: Verlag Bau+Technik GmbH, 2016

ISBN 978-3-7640-0609-9

© by Verlag Bau+Technik GmbH
Gesamtproduktion: Verlag Bau+Technik GmbH,
Steinhof 39, 40699 Erkrath
www.verlagbt.de

Druck: B.O.S.S Medien GmbH, 47574 Goch

Handbuch Betonkernaktivierung

Planung, Bau, Betrieb

Prof. Dipl.-Ing. Thomas Giel

Dieses Buch entstand unter der Mitarbeit von:

M. Eng. Alper Baydogan

M. Eng. Ali Dönmez

Die Inhalte und Lösungsvorschläge in diesem Buch sind nach bestem Wissen zusammengestellt. Hinsichtlich der Anwendung der Inhalte kann vom Autor und dem Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. Das Buch ersetzt nicht die projektbezogene Planungsleistung. Sie entbindet nicht von der Pflicht zur Prüfung der Normvorgaben und ihrer Gültigkeit für den jeweiligen Anwendungsfall. Die Anwendung der Inhalte und Lösungsvorschläge berechtigt zu keinerlei Regressansprüchen gegenüber dem Autor und dem Verlag. Die im Buch erwähnten Logos, Marken und Produktnamen sind markenrechtlich geschützt, auch wenn dies am Ort der Erwähnung nicht gesondert aufgeführt wird. Die Inhalte und Abbildungen in diesem Buch unterliegen dem Urheberschutz. Eine Verwendung oder Vervielfältigung – auch auszugsweise – ist nur mit der Genehmigung des Verlags in jedem Einzelfall möglich.

| | |
|--|-----------|
| Vorwort | 9 |
| Abkürzungsverzeichnis..... | 10 |
| Symbolverzeichnis | 10 |
| 1 Einleitung | 11 |
| 1.1 Problemstellung | 11 |
| 1.2 Ziel | 11 |
| 1.3 Methode..... | 11 |
| 1.4 Aufbau..... | 11 |
| 2 Grundlagen und Definitionen | 15 |
| 2.1 Betonkernaktivierung..... | 15 |
| 2.1.1 Historische Entwicklung..... | 15 |
| 2.1.2 Aufbau und Herstellung des Betonkerns | 17 |
| 2.1.3 Funktionsprinzip..... | 19 |
| 2.1.4 Leistungsfähigkeit | 22 |
| 2.2 Wärmeübertragungsmechanismen..... | 23 |
| 2.2.1 Wärmeübertragung durch Wärmeleitung..... | 23 |
| 2.2.2 Wärmeübertragung durch Konvektion..... | 24 |
| 2.2.3 Wärmeübertragung durch Strahlung | 25 |
| 2.3 Die Wärmequellen..... | 26 |
| 2.3.1 Interne Lasten | 26 |
| 2.3.2 Externe Lasten | 28 |
| 2.4 Thermische Behaglichkeit..... | 29 |
| 2.4.1 Definition nach Richtlinien | 30 |
| 2.4.2 Einflussfaktoren..... | 30 |
| 3 Berechnungsgrößen zur Auslegung und Dimensionierung | 37 |
| 3.1 Mathematische Darstellung der thermodynamischen Vorgänge | 37 |
| 3.1.1 Grundgleichung der Flächenheizung/Flächenkühlung | 37 |
| 3.1.2 Wärmedurchgangskoeffizient U | 38 |
| 3.1.3 Wärmeleitfähigkeit λ | 39 |
| 3.1.4 Wärmeübergangskoeffizient h | 41 |
| 3.1.5 Wärmeleitung | 41 |
| 3.1.6 Konvektion | 42 |
| 3.1.7 Strahlung..... | 44 |
| 3.1.8 Kombierter Wärmeübergangskoeffizient $h_{K/S}$ | 46 |
| 3.2 Speichervermögen und Leistungsfähigkeit der Bauteile | 47 |
| 3.2.1 Einfluss der Rohrabstände, Rohrdimensionen und des Rohrmaterials..... | 50 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2.2 | Einfluss der Wassergeschwindigkeit..... | 60 |
| 3.2.3 | Einfluss der Lage der Register im Bauteil..... | 63 |
| 3.2.4 | Einfluss von Boden- und Deckenbelägen..... | 66 |
| 3.2.5 | Einfluss auf den Ladevorgang..... | 69 |
| 4 | Planung | 71 |
| 4.1 | Eignung der Betonkernaktivierung..... | 71 |
| 4.1.1 | Akzeptanzerklärung des Auftraggebers/Nutzers | 71 |
| 4.1.2 | Gebäudehülle, Glasflächen und Bauschwere | 71 |
| 4.1.3 | Geeignete Einsatzgebiete | 72 |
| 4.2 | Planungsablauf und Beteiligte | 74 |
| 4.2.1 | Beteiligte und deren Aufgaben in einem Bauprojekt | 74 |
| 4.2.2 | Planungsablauf | 75 |
| 4.3 | Beteiligte und deren Aufgaben bei der Planung einer Betonkernaktivierung | 75 |
| 4.3.1 | Systemhersteller | 77 |
| 4.3.2 | Objektplanung..... | 77 |
| 4.3.3 | Tragwerksplanung..... | 78 |
| 4.3.4 | Thermische Bauphysik..... | 79 |
| 4.3.5 | Technische Gebäudeausrüstung (TGA) | 80 |
| 4.4 | Auslegung und Dimensionierung | 80 |
| 4.5 | Zoneneinteilung | 82 |
| 4.6 | Energiebereitstellung | 84 |
| 4.6.1 | Energie aus dem Erdreich | 84 |
| 4.6.2 | Energie aus dem Grundwasser..... | 84 |
| 4.6.3 | Energie aus der Außenluft..... | 86 |
| 4.6.4 | Wärmepumpe | 87 |
| 4.6.5 | Abwärmenutzung..... | 88 |
| 4.7 | Akustik | 91 |
| 4.8 | Lüftung..... | 92 |
| 4.9 | Oberflächengestaltung..... | 93 |
| 4.10 | Weitere Planungsdetails..... | 94 |
| 5 | Montage und Bauausführung | 97 |
| 5.1 | Ablauf und Beteiligte..... | 97 |
| 5.2 | Ausführungsarten..... | 98 |
| 5.2.1 | Vor-Ort-Montage..... | 98 |
| 5.2.2 | Vorgefertigte Module..... | 99 |
| 5.2.3 | Verlegung auf Elementdecken | 101 |
| 5.2.4 | Betonfertigteildecken..... | 102 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.3 | Deckendurchführung | 102 |
| 5.4 | Durchführung der Druckprüfung | 104 |
| 5.5 | Beispielhafter Montageablauf | 104 |
| 5.6 | Randbedingungen für die Ausführung | 106 |
| 5.6.1 | Abgehängte Decken | 106 |
| 5.6.2 | Bodenbelag..... | 108 |
| 6 | Ausführungsfehler und Folgen..... | 111 |
| 6.1 | Kommunikation und Informationsaustausch | 111 |
| 6.2 | Abstandhalter und Bewehrung | 112 |
| 6.3 | Verlegung auf der Baustelle | 115 |
| 6.4 | Rohre..... | 116 |
| 6.4.1 | Beschädigung der Rohre vor dem Betonieren..... | 117 |
| 6.4.2 | Beschädigung der Rohre nach dem Betonieren..... | 118 |
| 6.5 | Druckprüfung | 119 |
| 6.6 | Sichtbeton..... | 119 |
| 7 | Betrieb und Regelung | 123 |
| 7.1 | Regelungsgrundlagen | 123 |
| 7.2 | Simulation verschiedener Regelungsstrategien..... | 124 |
| 7.2.1 | Randbedingungen der Simulation | 124 |
| 7.2.2 | Regelstrategien | 128 |
| 7.3 | Auswertung der Simulationsergebnisse | 130 |
| 7.3.1 | Auswertung: Betriebszeit der Betonkernaktivierung..... | 131 |
| 7.3.2 | Auswertung: Betriebsweise der Umwälzpumpe | 132 |
| 7.3.3 | Auswertung: Wassertemperatur-Regelung | 134 |
| 7.3.4 | Zusammenfassung der Simulationsergebnisse | 137 |
| 8 | Fazit | 139 |
| 8.1 | Zusammenfassung | 139 |
| 8.2 | Handlungsempfehlung..... | 142 |
| | Quellenverzeichnis | 147 |
| | Bildnachweis..... | 150 |



Vorwort

Es gibt zu wenig Wohnraum in Deutschland, weshalb die Länder wieder die Erstellung von sozialem Wohnraum fördern. Dabei haben wir immer noch keine Sanierungsquote, die zufrieden stellt. Das mag auch daran liegen, dass oft die Sanierung und der Erwerb für ein erschwingliches Haus zum Arbeiten und Wohlfühlen bei äußerst niedrigen Aufwendungen für den laufenden Betrieb als Luxus erscheinen. Dabei gibt es Lösungen, alte Bestände zu erschwinglichen Preisen zu modernisieren. Bei Neubauten sollten innovative Konzepte wie die hier vorgestellte Betonkernaktivierung berücksichtigt werden.

Schwerpunkte jedes effizienten Energiespar-Konzepts sind neben einer hervorragend gedämmten Gebäudehülle, einer einfachen Lüftungstechnik und tageslichtabhängiger Beleuchtungssteuerung das Heizen und Kühlen mittels nachhaltiger Erzeugung sowie die Energieübertragung an das Gebäude. Die Betonkernaktivierung ist hier eine Lösung, die Behaglichkeit, Flexibilität und Energieeffizienz optimal kombiniert. Immer genau das richtige Maß an Wärme oder Kühlung – behagliches Raumklima ist gerade in großen Nutz- oder Wohngebäuden kein Luxus, sondern wichtige Voraussetzung für die volle Arbeitsfähigkeit der Mitarbeiter bzw. das Wohlfühlen der Bewohner.

Was zunächst zwingend nach hohem Energieeinsatz und teuren Verbrauchskosten aussieht, lässt sich heute mit ökologischen Konzepten wirtschaftlich planen und umsetzen. Leider gab es bis jetzt wenig Literatur zu dem Thema Betonkernaktivierung. Das liegt vielleicht daran, dass es sich dabei um ein Teilgewerk handelt, welches – nach dem klassischen Bauprozess – in ganz vielen unterschiedlichen Gewerken berücksichtigt werden muss. Durch die thermische Aktivierung der Betondecken wird das ganze Gebäude zum Energiespeicher. Beim Bau spart die Betonkernaktivierung entscheidend Investitionskosten, weil durch die Kombination von Heiz- und Kühlsystem eine eigene, aufwendige Verteilung für die Kühlung entfällt. Speist man in die Betondecke während der Nachtstunden kühles Wasser – gewonnen aus kühler Nachtluft, aus dem Erdreich oder durch überschüssige regenerative Energie – ein, können die Decken während der Nutzungszeit kontinuierlich den Räumen Wärme entziehen und dadurch für eine angenehme Kühlwirkung sorgen. In kalten Witterungsperioden wird nachts z.B. Erdwärme bzw. Niedrigtemperatur-Heizenergie aktiv in die Betondecke eingespeist, die dann tagsüber durch Wärmeabstrahlung den Raum temperiert. Die von Klimaanlage bekannten Nachteile wie Geräuschbelästigungen, Zugerscheinungen oder das Aufwirbeln von Staub gibt es bei der Betonkernaktivierung nicht.

In diesem Buch wird nun alles beschrieben, was ein Konstrukteur, ein Bauherr, ein Handwerker oder ein FM-Manager über das Konzept wissen sollte. Ein Buch für alles. Das ist neu und gibt der Betonkernaktivierung die Chance, weiter verbreitet zu werden.

Eveline Lemke

MdL Fraktion Bündnis 90/Die Grünen, Sprecherin für Bildung, Weiterbildung, Wissenschaft und Kultur sowie Petitionen; ehem. Stellvertretende Ministerpräsidentin und Ministerin für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung in Rheinland-Pfalz

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------|--|
| clo | clothing |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| EN | Europäische Norm |
| EnEV | Energieeinsparverordnung |
| HOAI | Honorarordnung für Architekten und Ingenieure |
| ISO | International Organization for Standardization |
| LP | Leistungsphase |
| MSR | Mess-Steuer-Regelungstechnik |
| o. J. | ohne Jahresangabe |
| o. V. | ohne Verfasser |
| Op. | Operative |
| PE | Polyethylen |
| Raumtemp. | Raumtemperatur |
| TGA | Technische Gebäudeausrüstung |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure |
| vgl. | vergleiche |
| VOB | Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen |

Symbolverzeichnis

| | |
|---------------|--|
| ρ | Rohdichte |
| λ | Wärmeleitfähigkeit |
| a | Absorptionsgrad |
| A | Fläche |
| c | spezifische Wärmekapazität |
| C | Wärmekapazität |
| C_s | Strahlungskonstante |
| d | Dicke bzw. Durchmesser |
| h | Wärmeübergangskoeffizient |
| l | Rohrabstand |
| m | Masse |
| Nu | Nusseltzahl |
| Q bzw. q | Wärmemenge bzw. Wärmestromdichte |
| R | Widerstand |
| Re | Reynolds-Zahl |
| T bzw. t | Temperatur |
| U | Wärmedurchgangskoeffizient |
| ν | Luftgeschwindigkeit (bzw. kinematische Viskosität) |
| w | Strömungsgeschwindigkeit |
| ε | Emissionsgrad |

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Betonkernaktivierung wird als innovative und kostengünstige Methode zur Temperaturregelung von Gebäuden immer interessanter. Mit relativ geringem Energieaufwand nutzt sie die Fähigkeit von Wänden und Decken im Gebäude, thermische Energie zu speichern und damit die Räume zu heizen oder zu kühlen. Mittlerweile ist diese Methode häufiger Bestandteil der modernen Architektur, vor allem bei Büro- und Verwaltungsgebäuden, Schulen oder Krankenhäusern. Aber dennoch ist den meisten Menschen – wenn überhaupt – lediglich der Begriff „Betonkernaktivierung“ bekannt. Was sich genau dahinter verbirgt und wie das ganze System funktioniert, ist für die breite Masse ungewiss. Der Mangel an aussagekräftiger Literatur zu diesem Thema macht die ganze Sache noch schwieriger: Es gibt nach dem Kenntnisstand der Autoren kein Buch, welches das gesamte System von der Planung bis hin zum Betrieb beschreibt.

1.2 Ziel

Hauptanliegen ist die Zusammenstellung eines informativen Handbuchs für das breite Themengebiet der Betonkernaktivierung. Es soll zunächst alle wichtigen Grundlagen, Definitionen und Hintergrundinformationen beinhalten, die zum Verständnis des Gesamtsystems erforderlich sind. Zusätzlich soll es – anhand von mathematischen Zusammenhängen und Formeln – ausschlaggebende Berechnungsgrößen aufzeigen, die für die Auslegung der Betonkernaktivierung unerlässlich sind. Anschließend soll das Handbuch alle wichtigen Informationen von der Planung über den Bau bis hin zum Betrieb und zur Regelung der Betonkernaktivierung wiedergeben.

1.3 Methode

Das Buch ist methodisch so aufgebaut, dass zuerst theoretisch die physikalische Funktion, die Auslegung und der Bau der Betonkernaktivierung erklärt werden, um dann den Betrieb zu erläutern. Da die Betonkernaktivierung ein sehr komplexes Instrument ist, soll dadurch der optimale Einsatz ermöglicht werden.

1.4 Aufbau

Das Buch gliedert sich in acht Kapitel, welche sich wiederum aus mehreren Unterkapiteln zusammensetzen.

In der *Einleitung* werden zunächst die Problemstellung, das Ziel und der Aufbau der Ausarbeitung dargestellt. Zweck dieses Kapitels ist die Heranführung an das Thema.

Das zweite Kapitel beinhaltet die *Grundlagen und Definitionen*. Hier werden grundlegende Hintergrundinformationen zusammengefasst, die für das Verständnis der Betonkernaktivierung zwingend erforderlich sind. Es wird unter anderem auf die historische Entwicklung, den Aufbau und die Herstellung des Betonkerns sowie auf das Funktionsprinzip eingegangen. Weiterhin werden die drei Wege der Wärmeübertragung, die in Gebäuden auftretenden Wärmelasten sowie die Hauptkriterien für die thermische Behaglichkeit erläutert.

Im Anschluss erfolgt im dritten Kapitel eine detaillierte Darstellung der wichtigsten *Berechnungsgrößen für die Auslegung und Dimensionierung* thermisch aktivierter Bauteile. Die zuvor beschriebenen Wärmeübertragungsmechanismen, die bei der Betonkernaktivierung ablaufen, werden nochmals im Licht der Mathematik, also mit den dazugehörigen Berechnungsformeln, betrachtet. Außerdem gehören Untersuchungen zum Speichervermögen und zur Leistungsfähigkeit der temperierten Bauteile ebenfalls zum Inhalt dieses Kapitels: Es wird analysiert, welchen Einfluss Parameter wie beispielsweise „Rohrabstand“, „Rohrdimension“, „Wassergeschwindigkeit“, „Lage der Rohre“ oder „Boden- und Deckenbeläge“ ausüben.

Im nächsten großen Kapitel geht es um die wichtigsten Punkte der *Planung* von thermoaktiven Bauteilen. Fragen zur Eignung der Betonkernaktivierung für verschiedene Fälle sowie Ablauf und Beteiligte der Planungsphase werden hier abgehandelt. Planungskriterien für Auslegung und Dimensionierung sowie Einteilung von Regelzonen; die Einplanung von günstigen Umweltenergiequellen wie auch essenziell systembeeinflussenden Faktoren wie Akustik, Lüftung und Oberflächengestaltung gehören ebenfalls in dieses Kapitel.

Nach der Planung geht es über zur *Montage und Bauausführung*. Auch hier werden wieder der Ablauf und die beteiligten Parteien vorgestellt. Danach werden die Besonderheiten der verschiedenen Ausführungsarten wie die „Vor-Ort-Montage“, die Verwendung von „vorgefertigten Modulen“ oder auch die Ausführung mit „Betonfertigteildecken“ erläutert. Wie die Rohre durch die Decke geführt werden, wie die Druckprüfung zur Kontrolle auf Schäden im System zu erfolgen hat sowie weitere wichtige Randbedingungen, die für die Ausführung von Bedeutung sind, soll der Leser ebenfalls an dieser Stelle erfahren. Weiterhin wird beispielhaft ein Montageablauf mit Bildern Schritt für Schritt dargestellt.

Kapitel 6 knüpft an die Bauausführung an und fasst einige *Ausführungsfehler und deren Folgen* zusammen. Durch den Hinweis auf erfahrungsgemäß häufig auftretende Fehler wird hier deren Vermeidung angestrebt.

Der letzte Themenbereich der Betonkernaktivierung ist schließlich deren optimaler *Betrieb und Regelung*. Im ersten Schritt sind hierbei die systembedingten Regelungsgrundlagen aufzuzeigen. Anschließend werden anhand von Computersimulationen verschiedene Regelungsstrategien analysiert und ausgewertet. Veränderliche Regelungsparameter sind hierbei die Betriebszeit der Betonkernaktivierung, die Betriebsweise der Umwälzpumpe sowie die Regelung der Wassertemperatur in den Rohrregistern.

Den Abschluss der Ausarbeitung stellt Kapitel 8 mit dem *Fazit* dar. Die Auswertung und die wichtigsten Erkenntnisse der gesamten Ausarbeitung werden noch einmal zusammengefasst. Zusätzlich wird an dieser Stelle auch noch eine persönliche Handlungsempfehlung gegeben.

