

Nachhaltigkeit massiv

AP7

Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau

Leitfaden



Impressum AutorInnen DI (FH) Gerhard Hofer, Dipl. Umwelt-Natw. ETH Márton Varga, DI Margot Grim, Stefan Amann
Für den Inhalt verantwortlich DI (FH) Gerhard Hofer
Theresianumgasse 7/1/8, 1040 Wien Tel +43-1-907 80 26 Fax +43-1-907 80 26 - 10
Email office@e-sieben.at Web www.e-sieben.at

Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau

Leitfaden

Auftraggeber:

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „ENERGIE DER ZUKUNFT“ durchgeführt. Zusätzlich wird das Projekt aus Mitteln des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der Wirtschaftskammer Österreich unterstützt.

AutorInnen:

DI (FH) Gerhard Hofer
Dipl. Umwelt-Natw. ETH Márton Varga
DI Margot Grim
Stefan Amann

Wien, September 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Nutzungsflexibilität im modernen Bürobau.....	3
1.2	Massive Speichermasse im Bürobau	3
1.3	Nutzungsflexibilität und Speichermasse verbinden	5
1.4	Anwendung des Leitfadens	5
1.5	Danksagung	6
2	Wirksame Speichermasse in Bürogebäuden	7
2.1	Wirksame Speichermasse in der Decke	8
2.2	Wirksame Speichermasse im Boden	12
2.3	Wirksame Speichermasse in Zwischenwänden.....	13
2.4	Wirksame Speichermasse in der Außenwand	14
2.5	Wirksame Speichermasse im Gebäudekern.....	15
2.6	Einsatz von latenten Wärmespeichern.....	16
2.7	Zusätzliche gestalterische Elemente zur Speicherung von Wärme.....	18
3	Unterstützende Lösungen für hohe Speichermasse	19
3.1	Unterstützende Lösungen für die Raumkonditionierung.....	19
3.2	Unterstützende Lösungen für Beleuchtung.....	24
3.3	Unterstützende Lösungen in der Raumakustik	24
3.4	Lösungen für Sprinkleranlagen	29
4	Wärmeabführung aus den speicherwirksamen Massen	30
4.1	Wärmeabführung durch Nachtlüftung	30
4.2	Wärmeabführung durch Bauteilaktivierung	31
5	Hilfestellung im Planungsprozess.....	35
5.1	Allgemeine Vorbemerkungen	35
5.2	Initiierungsphase	36
5.3	Entwurfsplanung.....	43
5.4	Detailplanung	45
5.5	Ausführungsphase	45
6	Beispielgebäude	46
6.1	SOL4 Büro- und Seminarzentrum, Mödling	46
6.2	Firmenzentrale Trepka GmbH, Obergrafendorf	47

6.3	ENERGYBase, Wien.....	48
6.4	tamedia Verlagsgebäude, Zürich, Schweiz.....	50
7	Literaturverzeichnis	52

1 Einleitung

1.1 Nutzungsflexibilität im modernen Bürobau

Bürogebäude, welche auf ein klassisches Tätigkeitsprofil ausgerichtet und auf einen bestimmten Arbeitsplatz bezogen sind, sind im stetigen Rückzug. In heutigen Betrieben spielt Arbeit in wiederkehrenden Mustern nur eine untergeordnete Rolle. Vielmehr gilt es, den Austausch von Wissen zu fördern und eine möglichst reibungslose Abwicklung von Projekten in immer neu gebildeten Arbeitsgruppen zu ermöglichen. Somit lässt sich die Arbeitsorganisation von Unternehmen immer weniger in feststehende, räumliche Gebäudestrukturen abbilden; die Gebäude müssen sich den ändernden Nutzungen anpassen, müssen nutzungsflexibel sein. Die Räumlichkeiten sollen die Möglichkeit bieten, bei einer Nutzungsänderung die Raumaufteilung anzupassen, Büroräume zu vergrößern oder zu verkleinern, oder sogar von einem Zellenbüro auf ein Großraumbüro zu wechseln oder umgekehrt.

Neben den unterschiedlichen Bürokonzepten im Laufe der Nutzungsdauer eines Gebäudes erfordert auch der Neubau eines Bürogebäudes meistens flexible Innenausbauten. Vielfach werden neue Büroprojekte errichtet, ohne dass die künftigen NutzerInnen schon in der Planungsphase bekannt wären. Die Gebäude müssen daher so errichtet werden, dass je nach Wunsch der NutzerInnen unterschiedliche Innenausbauten möglich sind.

Um maximale Nutzungsflexibilität zu gewährleisten, werden moderne Bürogebäude meist mit einem leichten Innenausbau, doppelten Böden und abgehängten Decken ausgeführt. Leichte Innenwände können bei Nutzungsänderungen, mit einem vergleichsweise geringen Aufwand, versetzt oder entfernt werden. Abgehängte Decken und doppelte Fußböden erlauben eine leicht änderbare Verlegung von Versorgungsleitungen.

1.2 Massive Speichermasse im Bürobau

Eine einseitige Konzentration auf die Nutzungsflexibilität schränkt jedoch eine andere wesentliche Funktion des Gebäudes ein: Die Schaffung und Aufrechterhaltung von komfortablen Innenraumbedingungen. Gebäuden mit leichtem Innenausbau fehlt die so genannte Speichermasse, die dafür sorgt, dass Temperaturschwankungen im Innenraum ausgeglichen werden. Das Fehlen dieser Speichermasse hat zur Folge, dass sich die Innenräume im Sommer bis weit über die Behaglichkeitsgrenze aufheizen.

Speicherwirksame Masse kann durch den Einsatz von freiliegenden massiven Bauteilen für die Baukonstruktionen erreicht werden. Sind die Bauteile kühl, so nehmen sie bei zunehmender Innenraumtemperatur Wärme auf und geben diese bei abnehmenden Temperaturen wieder in den Raum zurück. Damit werden die Innenraumtemperaturen im Sommer und im Winter stabilisiert, was einerseits zu einer höheren thermischen Behaglichkeit für die NutzerInnen führt, andererseits die Spitzenlasten sowie den gesamten

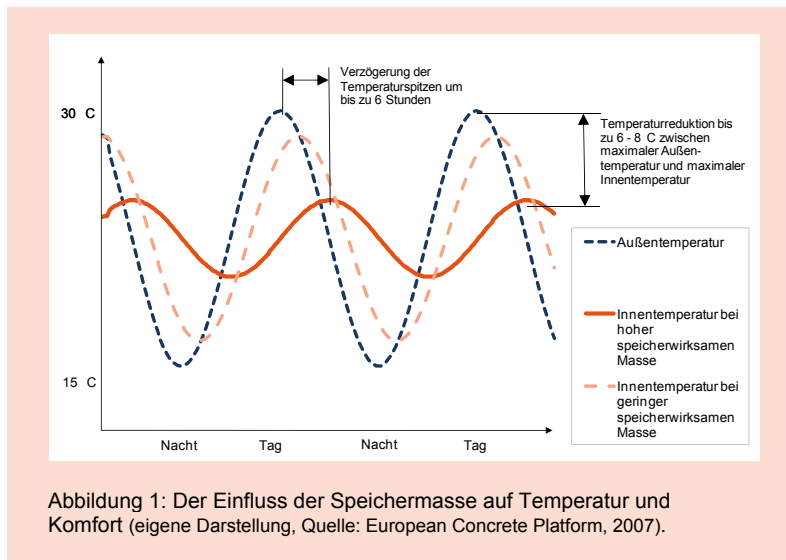


Abbildung 1: Der Einfluss der Speichermasse auf Temperatur und Komfort (eigene Darstellung, Quelle: European Concrete Platform, 2007).

Energieeinsatz für Heizung und Kühlung des Gebäudes und somit Investitions- und Betriebskosten reduziert. Abbildung 1 skizziert diese Wirkung: Bei Gebäuden mit hoher speicherwirksamer Masse ist der Verlauf der Innentemperaturen gleichmäßiger und mit geringerer Amplitude als bei Gebäuden mit geringer Speichermasse. Zusätzlich wird die Temperaturspitze bei Gebäuden mit hoher Speichermasse um bis zu 6 Stunden im Vergleich zur Außentemperatur verschoben und somit in den Abend verlegt.

Für die Wärmespeicherfähigkeit von Baustoffen sind ihre spezifische (materialabhängige) Wärmespeicherkapazität, die eingesetzte Masse und die Größe der verbauten Oberfläche ausschlaggebend. Zu den guten Wärmespeichern zählen Materialien wie Beton, Naturstein, Wasser, Ziegelmauerwerk und Putz. Leichtbaumaterialien, wie beispielsweise Mineralwolle, oder Leichtbaukonstruktionen, wie z.B. Gipskarton-Ständerwände, haben nur eine geringe Wärmespeicherkapazität. Je mehr

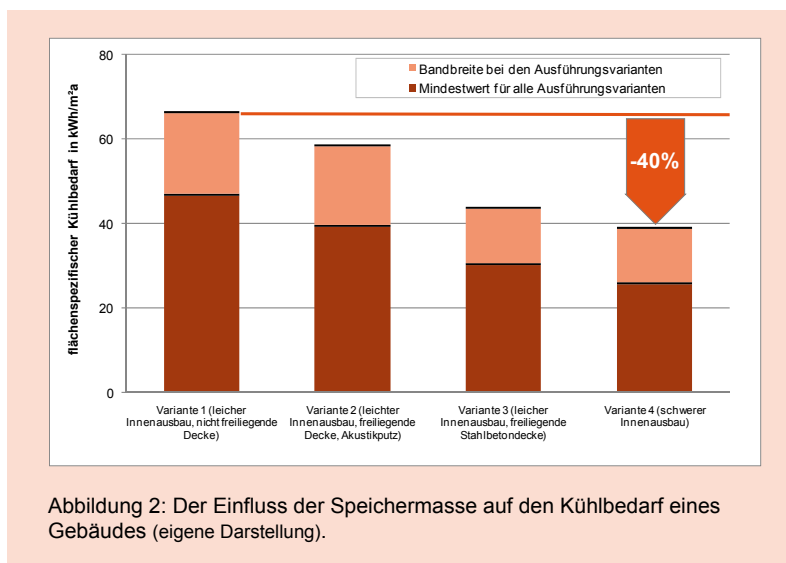


Abbildung 2: Der Einfluss der Speichermasse auf den Kühlbedarf eines Gebäudes (eigene Darstellung).

Wärme die Bauteile aufnehmen und speichern können, umso höher ist die Speichermasse, die im Gebäude vorhanden ist. Im Idealfall kann die gesamte Wärmemenge, die tagsüber (durch Sonneneinstrahlung und Nutzung der Gebäude) entsteht, in den Bauteilen aufgenommen und über Nacht wieder abgegeben werden. Diese Eigenschaft für auch dazu, dass insbesondere zur Kühlung ein geringerer Energieeinsatz erforderlich ist. Rechnerisch kann bei Gebäuden mit hoher Speichermasse der Nutzenergiebedarf zur Kühlung des Gebäudes um bis zu 40% geringer ausfallen als bei Gebäude mit geringen Speichermassen (siehe Abbildung 2).

Entscheidend für die Komfortwirkung ist aber nicht nur die Größe der Speichermasse, sondern auch ihre Zugänglichkeit. So sind praktisch in jedem Bürogebäude massive Bauteile als statisches Tragwerk vorhanden, werden aber systematisch durch abgehängte Decken und doppelte Böden

verkleidet und dadurch thermisch vom Innenraum abgekoppelt. Findet kein Wärmeaustausch mit der Innenraumluft statt, so kann die vorhandene Speichermasse ihre Wirkung nicht entfalten. Teppich, Gipskarton- oder Systemtrennwände bieten nur geringe Möglichkeiten, Wärme aufzunehmen und zu speichern.

1.3 Nutzungsflexibilität und Speichermasse verbinden

Diese Bedingungen stellen gegensätzliche Anforderungen an den Innenausbau von Büroräumlichkeiten. Hohe Nutzungsflexibilität wird in vielen Fällen durch einen leichten Innenausbau umgesetzt (beispielsweise durch Gipskartonbauplatten und abgehängter Decke). Im Gegensatz dazu ist die für behagliche Innenraumbedingungen erforderliche Speichermasse am einfachsten durch frei zugängliche massive Bauteile zu erreichen, die die Flexibilität des Gebäudes für Umbau und verschiedenen Nutzungen im Allgemeinen stark einschränkt.

Das Ziel dieses Leitfadens ist, Lösungen für diese gegensätzlichen Anforderungen an den Innenausbau zu finden. Dabei soll weder die Anforderung an hohe Nutzungsflexibilität noch jene an hohe Behaglichkeit mit geringem Energieeinsatz in Frage gestellt werden. Vielmehr sollen die dargestellten Lösungen die Möglichkeit aufzeigen, wie ein massiver Innenausbau und damit ein hoher Innenraumkomfort, bei gleichzeitiger Wahrung der Nutzungsflexibilität, realisiert werden kann.

1.4 Anwendung des Leitfadens

Der vorliegende Leitfaden richtet sich schwerpunktmäßig an Planer und Entwickler von Büroimmobilien, gleichzeitig auch an NutzerInnen und Bauherrn von Immobilien. Die Informationen dieser Studie können in der Planungsphase eingesetzt werden, um Konzepte mit viel Speichermasse und hoher Innenraumflexibilität realisieren zu können. Sie können gleichzeitig zur Bewusstseinsbildung der NutzerInnen und Bauherrn dienen.

Der Leitfaden ist in folgende Teile strukturiert:

- Abschnitt 2 stellt technische Lösungen für massive Innenbauteile dar und zeigt insbesondere Möglichkeiten auf, mit den mit ihnen einhergehenden Einschränkungen der Nutzungsflexibilität umzugehen.
- Abschnitt 3 stellt unterstützende Lösungen im Bereich der Haustechnik und der Raumakustik dar, so dass frei liegende Decken bzw. Böden realisiert werden können.
- In Abschnitt 4 werden die Möglichkeiten zur geregelten Zu- und Abführung von Wärme der massiven Bauteilen (Bauteilheizung, Bauteilkühlung) erörtert, ebenfalls mit Lösungen für die zu erwartenden Herausforderungen.
- Abschnitt 5 gibt konkrete Hilfestellungen in der Planungsphase, um wichtige Aspekte, die bei der Planung und beim Einbau von speicherwirksamer Masse erforderlich sind, zu berücksichtigen. Zusätzlich sind konkrete Zielformulierungen für die Ausschreibungsunterlagen enthalten.
- In Abschnitt 6 zeigt einige bereits realisierte Beispielgebäude, bei denen die Nutzung der Speichermasse ein integraler Bestandteil der Planung und der Gebäudenutzung ist.

Für eine Darstellung der physikalischen Eigenschaften von Baustoffen, der Anforderungen der thermischen Behaglichkeit und der Raumakustik, die Berücksichtigung der Speichermasse im Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung nach ÖNORM B 8110-3, die Berechnung

des Tagesganges der operativen Temperatur, sowie die Auswirkungen hoher Speichermasse auf die Energiekennzahlen im Energieausweis verweisen wir auf die umfangreichere Studie, die im Rahmen desselben Projektes erarbeitet worden ist. Sie enthält auch weitere Details zu den technischen Lösungen, die in diesem Leitfaden beschrieben sind.

1.5 Danksagung

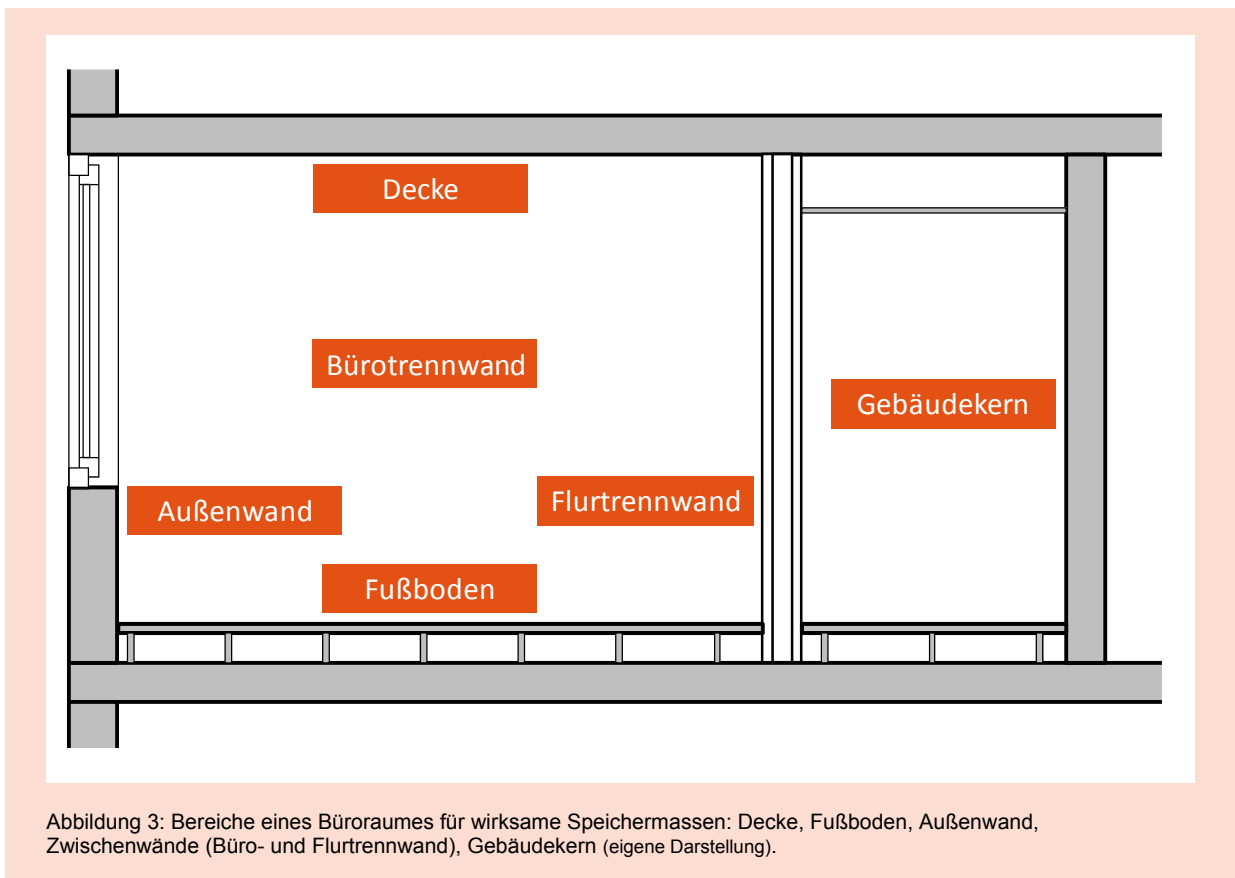
Die Autoren danken allen Teilnehmern der Veranstaltungen und Workshops, die im Rahmen des Arbeitspaketes stattgefunden haben, für die wertvollen inhaltlichen Beiträge zum Projekt. Ganz besonderen Dank gilt Michael Berger (teamgmi Ingenieurbüro GmbH), Anita Preisler (Austrian Institute of Technology, AIT) und Ursula Schneider (pos architekten) für die detaillierte Durchsicht des Entwurfs zu dieser Studie und für ihre wertvollen Anregungen und Ergänzungen, mit denen sie die Studie wesentlich bereichert haben.

Wir möchten uns auch bei den Planern, den Herstellern und Verbänden bedanken, die uns Fotos und Abbildungen von konkreten Lösungen zur Verfügung gestellt haben: Verband der österreichischen Ziegelwerke, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ), DW Systembau GmbH, Ernst Giselbrecht + Partner, architektur zt gmbh, Multigips - VG Orth GmbH & Co KG, Alfred Trepka GmbH, Oberndorfer GmbH & Co KG, Eckelt Glas GmbH, Renz GmbH, Bachschuster Architektur, FOX HOLZ Fußboden und Objektsysteme GmbH, Imhof Akustik AG, Akustik und Malerei Fink², BER Deckensysteme GmbH.

Schließlich möchten wir uns beim gesamten Projektteam des Projektes „Nachhaltigkeit Massiv“ bedanken, für ihre Anregungen sowie für das vielfältige Material an Beispielgebäuden, technischen Lösungen und Bildmaterial, welches sie zur Verfügung gestellt haben.

2 Wirksame Speichermasse in Bürogebäuden

Dieses Kapitel zeigt Möglichkeiten auf, die Speichermasse in Bürogebäuden nutzbar zu machen bzw. zusätzliche Speichermasse einzubringen, ohne die erforderliche Flexibilität zu beeinträchtigen. Prinzipiell ist es möglich, jede abschließende Fläche des Raumes für die Wärmespeicherung nutzbar zu machen: Die Decke, den Boden, die Außenwand oder die Zwischenwände. Die Vereinbarung mit den Kriterien der Nutzungsflexibilität (Verschiebbarkeit von Zwischenwänden, Reorganisation von Arbeitsplätzen, Möglichkeit der Nutzungsänderung) sowie mit Sicherheits-, Brandschutz- und Schallschutzaspekten stellt jedoch jede Lösung vor Herausforderungen.



Im Büroraum bietet die raumabschließende Decke das größte Potenzial zum Einsatz von speicherwirksamer Masse, da sie zum einen in den meisten Fällen aus einem massivem Baustoff hergestellt wird und zum anderen einen hohen Flächenanteil der raumumschließenden Fläche aufweist. Fußböden weisen aufgrund des Fußbodenaufbaus und des Bodenbelags eine geringere Speicherfähigkeit auf. Zwischenwände werden zur Aufrechterhaltung der Flexibilität nur in wenigen Fällen aus massiven Baustoffen hergestellt. Deshalb ist es für eine hohe Speicherfähigkeit des Raumes entscheidend, die Decke zur Wärmespeicherung nutzbar zu machen. Abbildung 3 zeigt die Bandbreite der in den unterschiedlichen Bauteilen vorhandenen Speichermassen für ein Ein-Personen-Zellenbüro. Bei einer offenen Büroform kann statt der nicht vorhandenen Büro- und Flurtrennwände ggf. die Speichermasse des Gebäudekernes in die Berechnung einbezogen werden.

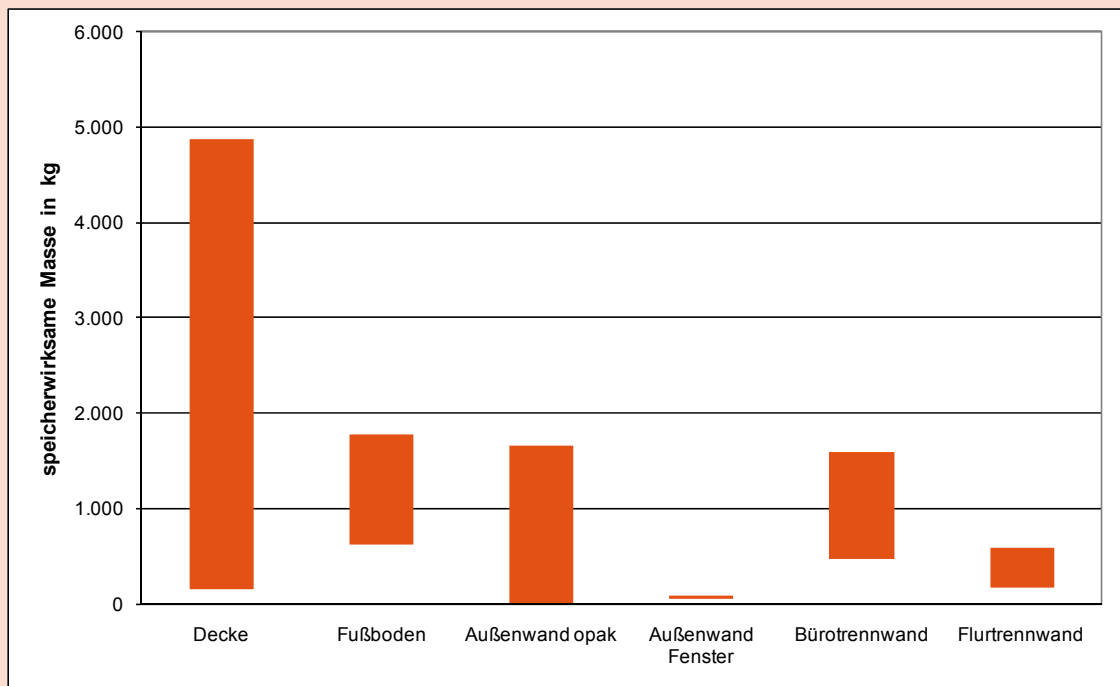
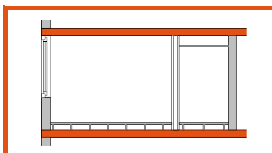


Abbildung 4: Bandbreite der speicherwirksamen Masse von raumabschließenden Flächen eines 1-Personen Zellenbüros (eigene Darstellung).

Tipp: Hohe speicherwirksame Massen in Büroräumen können durch folgende Punkte erreicht werden

- Verzicht auf eine (vollflächig) abgehängte Decke
- Dünner Bodenbelag (z.B. Kunststoff, Parkett) mit darunter liegendem schwimmendem Estrich oder Fließestrich auf Hohlraumboden
- Massive Bauweise der Außenwand
- Geringer Fensterflächenanteil, massives Parapet im Brüstungsbereich
- Zellenbüros mit massiven raumumschließenden Wänden oder offene Bürokonzepte mit massivem Gebäudekern

Die erforderlichen Komfortkriterien für den Innenraum (Temperatur, Raumakustik, etc.) sind dabei zu berücksichtigen. So führt beispielsweise ein Parkettboden zu höheren speicherwirksamen Massen, gleichzeitig jedoch sind Nachteile hinsichtlich der Raumakustik zu erwarten.



2.1 Wirksame Speichermasse in der Decke

Die Zwischendecken von Bürobauten sind in vielen Fällen aus massiven Bauteilen aufgebaut. Diese bieten hervorragende Eigenschaften für die Speicherung von Wärme: Große Speichermasse, große Flächen und eine für den thermischen Komfort ideale Orientierung, da die Wärmestrahlung der Decke direkt über den Kopf der im Raum befindlichen Personen wahrgenommen wird. Daneben bieten massive Decken ideale Voraussetzungen zur Heizung und Kühlung mittels Bauteilaktivierung (siehe Kapitel 4.2).

Im modernen Bürobau wird die Deckenkonstruktion aus Gründen der Raumakustik und der Nutzungsflexibilität häufig verkleidet. Zwischen der eigentlichen Deckenplatte und der abgehängten Decke befinden sich Sprinkleranlagen, Lüftungskanäle und elektrische Leitungen für die Beleuchtung. Die Deckenverkleidung selbst bietet für die Raumakustik gegenüber einer nackten Betonplatte erhebliche Vorteile, besitzt aber nur einen Bruchteil der Speichermasse einer massiven Stahlbetondecke (siehe Abbildung 4).

Die Herausforderung besteht also darin, die Speichermasse der Decken freizulegen und damit wirksam für das thermische Gebäudeverhalten zu machen. Das heißt, es müssen die technischen und akustischen Funktionen, die eine abgehängte Decke übernimmt, in anderen Bauteilen untergebracht oder durch andere haustechnische Lösungen ersetzt werden.

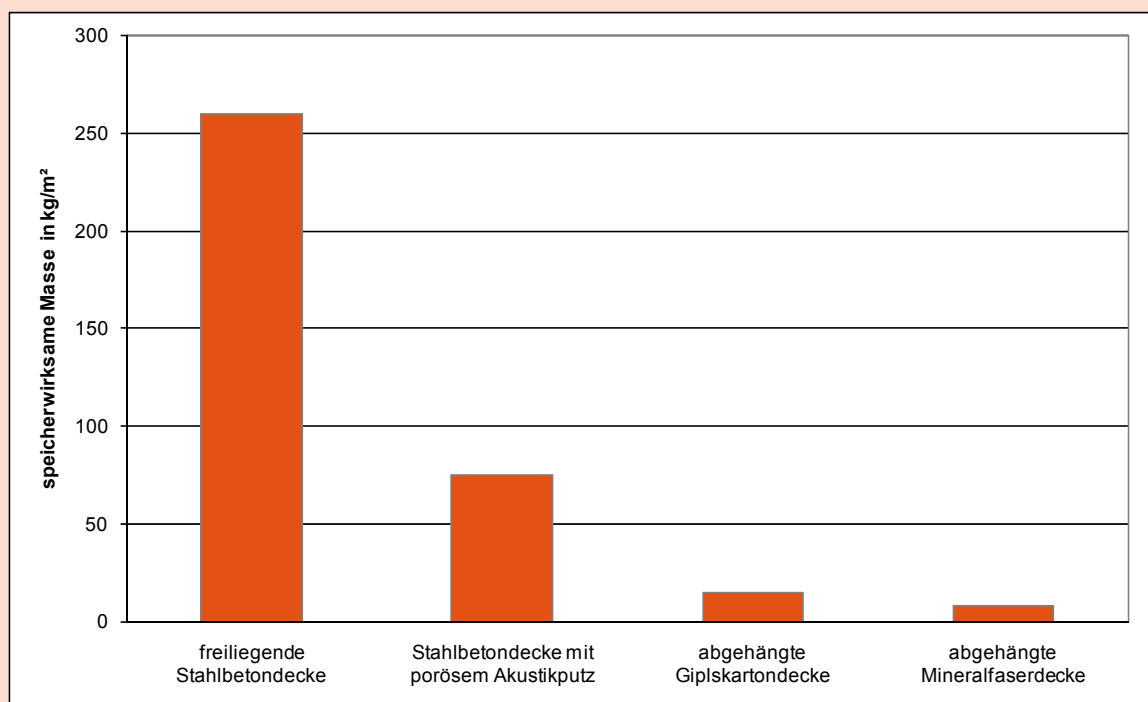


Abbildung 5: Gegenüberstellung der wirksamen Speichermasse von Deckenausbauten (eigene Darstellung).

2.1.1 Erhöhung der Speicherfähigkeit durch Strukturierung der Decke

Die thermische Speicherfähigkeit von Bauteilen hängt direkt mit der Größe der Luftaustauschfläche zusammen. Neben der Einbeziehung zusätzlicher Flächen (Wände, Fußboden usw.) ist es auch möglich, die Luftaustauschfläche der massiven Decke selbst durch Strukturierung zu vergrößern. Selbstverständlich wirkt diese Vergrößerung nur, wenn die Strukturelemente selbst massiv sind und auch eine genügende Bauteiltiefe aufweisen.

Die Strukturierung der Decke ist eine architektonische Maßnahme, die einen wesentlichen Eingriff in die Optik und die Raumakustik darstellt. Um akustische Probleme zu vermeiden, darf die Strukturierung nicht radial sein. Diese würde die Schallwellen an den Arbeitsplätzen unterhalb der Aussparung fokussieren und verstärken. Ein elliptischer oder lang gezogener Querschnitt (siehe Abbildung 5) vermeidet diesen Effekt.



Abbildung 6: Vergrößerung der Luftaustauschfläche durch Strukturierung der Decke. Links: Powergen-Bürogebäude in Coventry, England. Rechts: Wessex Water Operations Centre in Bath, England. In beiden Gebäuden sind Akustik Elemente in die Beleuchtungskörper integriert. Architektur: Bennetts Associates Architects. (Fotos: Peter Cook).

2.1.2 Decke aus Ziegelsteinen

Neben der üblichen Ausführung der Zwischendecke in Stahlbeton kann die Decke auch in Ziegelbauweise gebildet werden. Zum einen über das übliche System des Trägers mit Einlageziegel, vorwiegend für kleinere Gebäude, zum anderen über innovative oder historische Lösungen wie beispielsweise über die Bildung eines Gewölbes. In Abbildung 6 ist die Decke als „Preußische Kappendecke“ errichtet worden, die Tragstruktur wurde dabei aus Stahlträgern realisiert.



Abbildung 7: Deckenverkleidung aus Ziegel (Foto: Norbert Prommer, Verband Österreichischer Ziegelwerke).

2.1.3 Decke für Installationen

Ziel der Decke für Installationen ist, die Ebene der Tragkonstruktion und der Installationen zu vereinen. Möglich wird dies durch die Auflösung der Tragkonstruktion in eine dünne Stahlbetonplatte mit aufgesetzten Stahl-Rippen. Somit kommt es zu einer sehr tragfähigen Konstruktion, welche ein geringes Eigengewicht und große Hohlräume aufweist. In diesen Hohlräumen können Installationsleitungen und Geräte untergebracht werden. Die dünne Stahlbetonplatte wird für die Tragfähigkeit der Decke, aber auch für den erforderlichen Brandschutz, als Auflagerfläche für die Leitungen und für die Wärmespeicherung herangezogen. Da die Installationen in der Decke enthalten sind, kann die Deckenfläche zur Gänze frei bleiben.

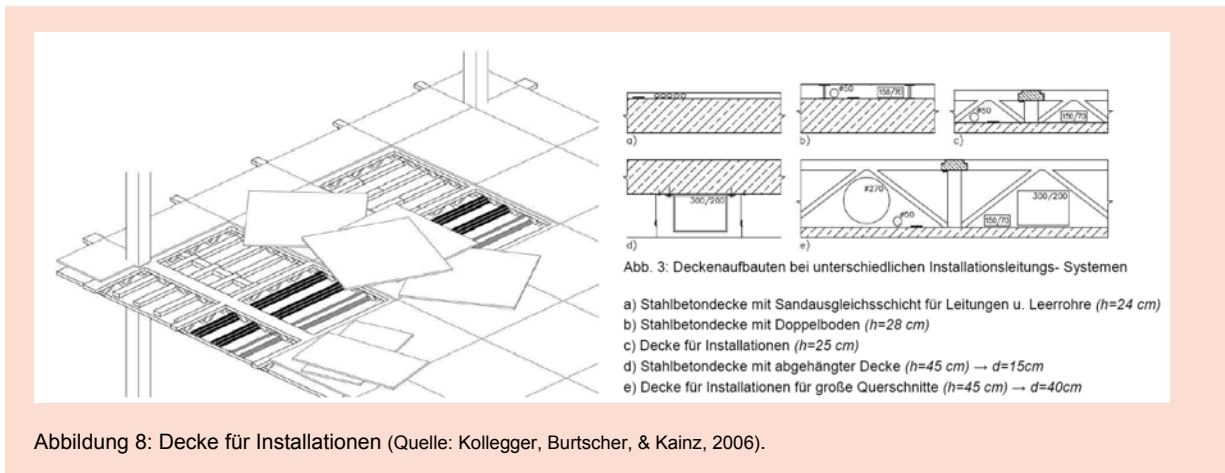


Abbildung 8: Decke für Installationen (Quelle: Kollegger, Burtscher, & Kainz, 2006).

Eine wesentliche Einschränkung stellt allerdings die Revision der Installationen bei unterschiedlich vermieteten Stockwerken dar, weil die Revision grundsätzlich von oben erfolgen muss (im Gegensatz zur abgehängten Decke, bei der sich die Leitungen auf demselben Stockwerk befinden, welches sie versorgen). Gleichzeitig bleiben auch die raumakustischen Herausforderungen einer freien Stahlbetondecke bestehen.

2.1.4 Fertigteildecken mit Lüftung über Hohlkammern

Fertigteildecken werden aus statischen Gründen üblicherweise mit Hohlkammern hergestellt. Dieser Luftraum kann für die Zwecke der Raumlüftung eingesetzt werden. Dabei werden bestimmte Hohlkammern beschichtet, um Unebenheiten auszugleichen und hygienische Anforderungen einzuhalten. Bis zur Montage vor Ort werden die beschichteten Hohlkammern mit Deckeln verschlossen. Aussparungen und Kernbohrungen für Anschlüsse und Auslässe können bereits im Fertigteilwerk erfolgen.

Diese Art der Fertigteildecke wird bisher vorwiegend in Wohngebäuden eingesetzt, insbesondere in Passivhäusern, weil dort die kontrollierte Wohnraumlüftung vorgeschrieben ist. Die gleiche Systemlösung kann jedoch auch für Bürogebäude eingesetzt werden. Eine besondere Form der Lüftung über Decken ist dabei die luftgeführte Bauteilaktivierung (siehe Abschnitt 4.2).

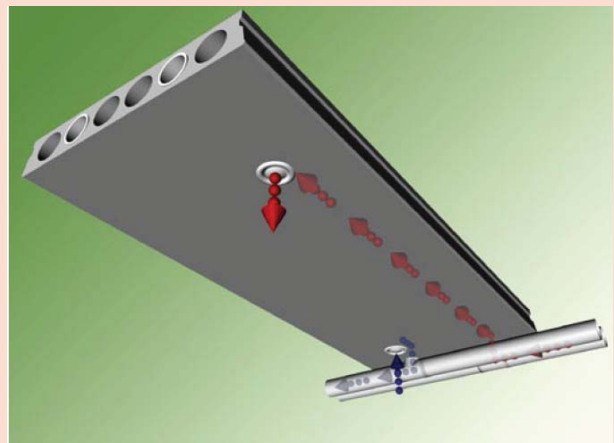
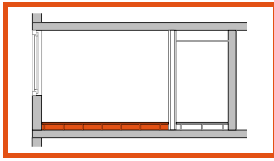


Abbildung 9: Fertigteildecke mit integriertem Lüftungssystem (Quelle: DW Systembau GmbH, BRESPA Lüftungsdecke).



2.2 Wirksame Speichermasse im Boden

Wie die Decke kann auch die Bodenfläche als Speichermasse genutzt werden. Als Wärmespeicher dienen hierbei entweder dieselben Zwischendecken wie bei der Nutzung der Decke oder massive Teile im Fußbodenaufbau, in der Regel ein Estrichbeton.

Moderne Bürobauten verfügen häufig über einen Doppelboden, in dem elektrische und haustechnische Leitungen versteckt sind. Selbst wenn kein doppelter Boden vorhanden ist, wird der Fußboden häufig durch isolierende Bodenbeläge (Teppich u.ä.) von der Innenraumluft abgekoppelt und kann seine wärmespeichernde Wirkung nicht entfalten. Die Herausforderung ist daher ähnlich wie bei der Decke: Die Speichermasse des Fußbodens muss freigelegt werden.

2.2.1 Geeignete Bodenbeläge

Wird der Boden oder der Estrich als Speichermasse benutzt, so sollten Bodenbeläge verwendet werden, die entweder Wärme leiten oder ähnliche thermische Eigenschaften besitzen wie die Bodenplatte selbst. Geeignete Materialien sind z.B. Fliesen, ein dünner Parkettboden oder ein Kunststoffboden. Da Teppichböden wärmeisolierend wirken, verhindern sie den Wärmeaustausch zwischen Luft und Bodenplatte. Sie sind daher bei der Nutzung des Bodens als Speichermasse als Bodenbelag ungeeignet.

2.2.2 Geeigneter Fußbodenaufbau

Anstatt eines Doppelbodens können Bodenaufbauten mit höherer Speichermasse realisiert werden:

In einem Hohlraumboden können Leitungen ähnlich des Doppelbodens verlegt werden. Darüber sorgt eine Schicht mit Fließestrich für den thermischen Ausgleich. Die Bodenelemente jedoch nicht einfach herausgenommen werden – Bodenauslässe sollten daher von Anfang an eingeplant sein.

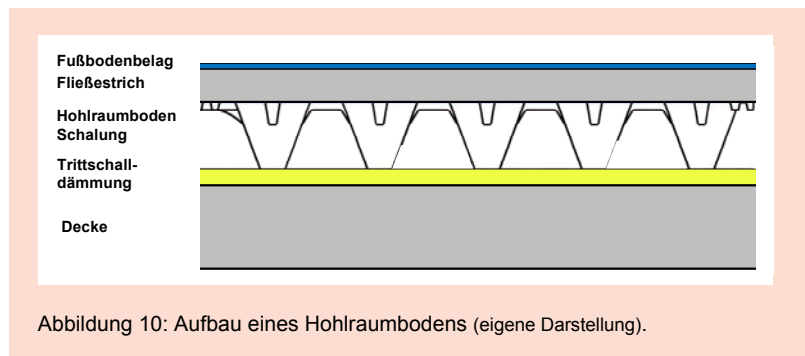
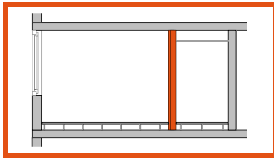


Abbildung 10: Aufbau eines Hohlraumbodens (eigene Darstellung).

Bei Fußböden mit schwimmendem Estrich kann die Flexibilität der Anschlüsse aufrecht erhalten werden, indem man Leitungskanäle in den Bodenaufbau integriert (siehe Abschnitt 3.1.4).



2.3 Wirksame Speichermasse in Zwischenwänden

Zwischenwände werden im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau fast ausnahmslos in Leichtbau (Trockenbau) gefertigt, um sie nach den Wünschen der bei der Planung häufig noch nicht feststehenden NutzerInnen einbauen und bei Nutzungsänderungen mit minimalen Eingriffen versetzen zu können. Diese Flexibilität besitzen massive Zwischenwände nicht: Sie werden fest mit Boden und Decke verbunden, und erfordern für eine Verschiebung größere Umbauarbeiten. Folgende Lösungen bieten sich an, um die Zwischenwände dennoch für die Wärmespeicherung nutzbar zu machen:

2.3.1 Massive Flurtennwände

Da der Gebäudekern auch bei umfassenden Nutzungsänderungen erhalten bleibt, gilt das Erfordernis der Flexibilität der Wand zum Gebäudekern in weit geringerem Maße als den Zwischenwänden zwischen den Büroräumen. Insofern schränkt die massive Ausführung der Wände zum Gebäudekern hin die Nutzungsflexibilität nur in sehr geringem Maße ein. Öffnungsflächen für die flexible Gestaltung von Eingangstüren zu den Büros sind jedoch zu beachten.



Abbildung 11: Massive Flurtennwände im Turm des Bundesamtes für Statistik, Neuchâtel, Schweiz. (Architektur: Bauart Architekten und Planer AG, Bern. Foto: Ruedi Walti, Basel)

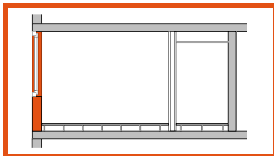
2.3.2 Zwischenwände aus Gips-Wandbauplatten

Gips-Wandbauplatten bestehen homogen aus Gips, besitzen deshalb im Vergleich zu Gipskarton-Ständerwänden eine höhere Speichermasse. Die großen Formate der Wandbauplatten ermöglichen einen raschen Einbau. Die Oberflächen werden verspachtelt und können im Anschluss direkt gestrichen werden.

Die Gips-Wandbauplatten haben ein Wandgewicht unter 100 kg/m^2 und können direkt auf den Estrich gestellt werden. Öffnungen in der Wand können ohne großen Aufwand an der entsprechenden Stelle herausgeschnitten werden. Damit ist der Aufwand bei Änderungen sogar geringer als am Bestand von Gipskarton-Ständerwänden.



Abbildung 12: Gips-Wandbauplatten (Quelle: Multigips, VG Orth GmbH & Co KG).



2.4 Wirksame Speichermasse in der Außenwand

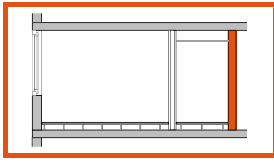
Da von allen abgrenzenden Flächen eines Büroraumes die Fassadenfläche die kleinste ist, können massive Fassadenteile eine massive Decke oder massive Zwischenwände nicht ersetzen. Doch sind sie durchaus eine gute Zusatzmaßnahme, um die Speichermasse eines Gebäudes ohne Einbußen in der Nutzungsflexibilität zu erhöhen. Im modernen Bürobau eignen sich vor allem die Parapete für die massive Ausführung; ist eine Lochfassade geplant, so kann die gesamte Fassade massiv ausgeführt werden. Als zusätzlichen Vorteil schränkt eine massive Fassade den Brandüberschlag stark ein, was bei Vollglasfassaden oft ein Schwachpunkt ist.



Abbildung 13: Massive Parapete im Bürogebäude (Foto: Paul Ott, Architektur: Ernst Giselbrecht + Partner).

Damit die Speichermasse der Fassadenteile für die Innenraumluf-Konditionierung wirksam werden kann, muss sie

- mit der Innenraumluf in Berührung kommen: Eine Innendämmung oder eine Wandverkleidung würde die Speichermasse von der Innenraumluf thermisch abkoppeln;
- innerhalb des gedämmten Gebäudevolumens liegen: Liegt die Speichermasse außerhalb der Dämmschicht, so ist sie für den Innenraum nicht mehr wirksam.



2.5 Wirksame Speichermasse im Gebäudekern

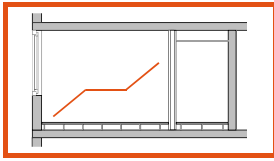
Moderne Büroflächen werden meist um einen Gebäudekern angeordnet. Als einziges durchgehendes Element hat der Kern einerseits eine tragende Funktion, andererseits beheimatet er die räumliche und häufig auch die haustechnische Erschließung. Der Kern wird meistens aus massivem Stahlbeton ausgeführt, was ihm hervorragende wärmespeichernde Eigenschaften verleiht.

Die Nutzungsmöglichkeit des Gebäudekerns als Speichermasse für den Arbeitsplatzbereich ist stark eingeschränkt. Klassischerweise kommt die Innenraumluft der Büroflächen mit den Bauteilen des Gebäudekerns nicht in Berührung, die Arbeitsplätze sind zum Beispiel durch eine Zwischenwand und einen Gang vom Gebäudekern getrennt. Als zweite Einschränkung gilt die im Vergleich mit anderen Bauteilen geringe Wärmeaustauschfläche: der Gebäudekern kann höchstens als zusätzliche Speichermasse dienen, aber nicht die Speichermasse in Decken, Böden, Fassaden oder Zwischenwänden ersetzen.

Die Verkehrswege des Stiegenhauses, die in den meisten Fällen im Kern untergebracht werden, können in einem offenen Konzept auch über das Atrium erfolgen. Auch im Atrium ist es möglich, Speichermasse unterzubringen, es gelten allerdings die gleichen Einschränkungen wie beim Gebäudekern.



Abbildung 14: Massiver Stiegenhauskern und Atrium mit massiven Bauteilen (Foto links: Oberndorfer GmbH & Co KG; rechts: Alfred Trepka GmbH).



2.6 Einsatz von latenten Wärmespeichern

2.6.1 Phase Change Materials (PCM)

Phase Change Materials (PCM), zu Deutsch latente Wärmespeicher, nutzen nicht die Wärmespeicherfähigkeit, sondern die Schmelzwärme geeigneter Materialien, um Wärme zu speichern. Die Materialien werden so ausgewählt, dass sie ihren Schmelzpunkt im gewünschten Temperaturbereich des Innenraumes haben (normalerweise zwischen 22-26 °C). Wird die Schmelztemperatur erreicht, so bewirkt eine weitere Wärmezufuhr das Schmelzen des Materials. Die Wärme wird ohne weitere Temperaturerhöhung, allein durch diesen Übergang vom festen in den flüssigen Aggregatzustand, aufgenommen. Sinkt die Temperatur, so verfestigt sich das Material und gibt die gespeicherte Wärme wieder frei.

Als PCM werden in der Regel Salzhydrate oder Paraffine verwendet und in Materialien des Innenausbau oder der Fassade integriert. Für den Innenausbau sind zum Beispiel PCM-Innenputz oder PCM-Gipskartonplatten mit mikroverkapselten Paraffintröpfchen (Kapselgröße ca. 5-20 µm) erhältlich. Makroverkapseltes PCM wird als Schüttgut oder in Kassetten in abgehängten Deckensystemen verwendet. Wegen des Phasenübergangs können PCM allerdings keine statischen Funktionen übernehmen.

Der große Vorteil von PCM gegenüber anderen Speichermassen ist, dass sich über das Schmelzen und Gefrieren wesentlich

mehr Wärme speichern lässt als über die gewöhnliche Wärmespeicherung bei der Erwärmung eines Bauteils. Aufgrund der hohen Speicherkapazität lässt sich mit wenig Material eine große Speicherwirkung erreichen. So hat zum Beispiel eine 1,5 cm starke PCM-Gipskartonplatte die gleiche Wärmespeicherwirkung wie 17 cm Stahlbeton. Diese Eigenschaften machen PCM zu einer sinnvollen Ergänzung von leichten Bauteilen. Die Verarbeitung als Innenputz, Gipskartonplatten oder Deckenelemente macht sogar den nachträglichen Einbau in Bestandsgebäuden möglich.

Mehr als bei anderen Speichermassen ist bei PCM darauf zu achten, dass das Material die am Tag aufgenommene Wärme in der Nacht wieder abgeben kann. Ist das Material einmal flüssig, so kann es keine nennenswerte weitere Wärme mehr aufnehmen. Damit es am nächsten Tag für die Wärmespeicherung wieder zur Verfügung steht, muss sich das PCM wieder verfestigen, d.h. die Wärme wieder „entladen“.

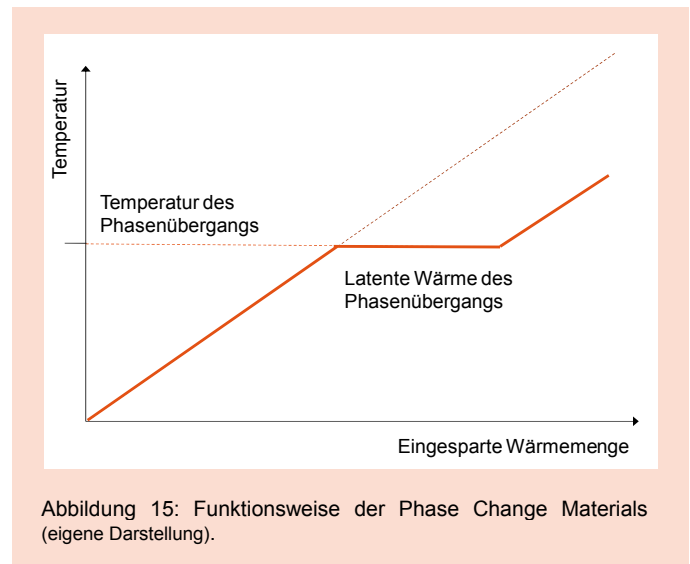


Abbildung 15: Funktionsweise der Phase Change Materials (eigene Darstellung).

2.6.2 Speicherwirksame Masse durch PCM in Innenwänden

Die Einarbeitung von PCM in Gipskartonplatten macht es möglich, Wärme in Leichtbaukonstruktionen zu speichern. PCM-Gipskartonplatten weisen eine ähnliche Speicherfähigkeit auf wie massive Betonwände. In der Verarbeitung sind sie mit herkömmlichen Gipskartonplatten gleichzusetzen und sind somit für den trockenen Innenausbau bestens geeignet.

2.6.3 Transluzente Außenwand mit integrierten PCM-Modulen

In mehreren Beispielgebäuden ist ein System der transparenten Wärmedämmung für die Außenwand mit inkludierten Überhitzungsschutz und thermischer Speicherung verwendet worden. Ein 3-faches Isolierglas sorgt für einen guten Basiswärmeschutz. Das Prismenglas im Scheibenzwischenraum reflektiert die hoch stehende Sommersonne wieder nach außen. Die Wintersonne hingegen passiert in voller Intensität den Sonnenschutz. Zentrales Element ist ein Wärmespeichermodul, das die solare Energie aufnimmt, speichert und zeitverzögert als Strahlungswärme wieder abgibt. Als Speichermedium wird PCM in Form eines Salzhydrates verwendet, das in Polycarbonatbehältern hermetisch eingeschweißt ist. Raumseitig wird das Element durch ein 6 mm starkes Einscheiben-Sicherheitsglas abgeschlossen, das gestalterisch behandelt werden kann. Wird die Wärmespeicherfähigkeit des PCM-Elementes nicht gänzlich durch die Sonneneinstrahlung beansprucht, so ist es auch für den Temperatenausgleich im Innenraum wirksam.

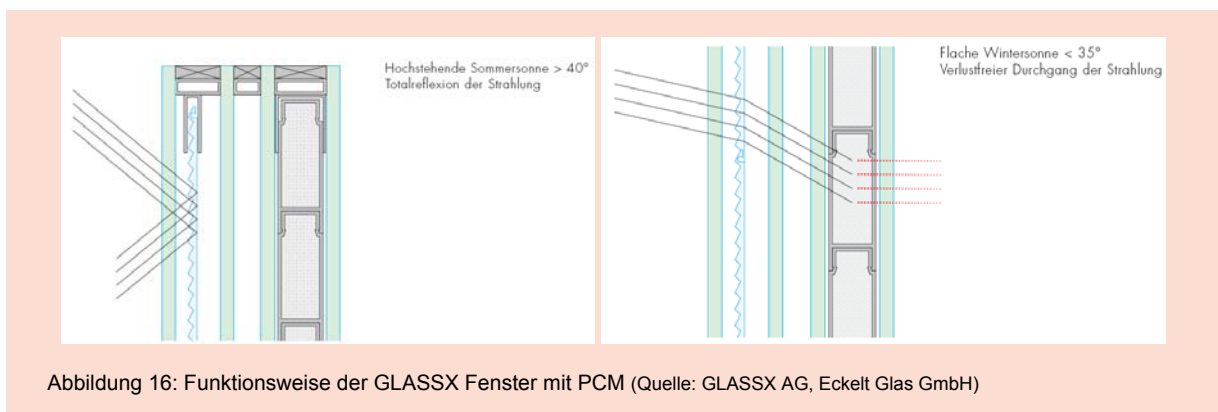
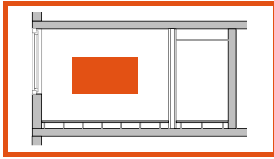


Abbildung 16: Funktionsweise der GLASSX Fenster mit PCM (Quelle: GLASSX AG, Eckelt Glas GmbH)



2.7 Zusätzliche gestalterische Elemente zur Speicherung von Wärme

Sind nur wenige Flächen in einem Büroraum massiv ausführbar, so ist als Ergänzung die Einbringung von Speichermasse in zusätzlichen Elementen möglich, was ein weites Feld für die architektonische Kreativität bietet:

- luftdurchströmte Kiesbetten
- Pflanzentröge
- Säulen
- Skulpturen
- Treppengeländer
- Wasserbecken
- zusätzliche Wände
- usw.

Eine wichtige Einschränkung ist allerdings, dass die Speicherwirkung von der mit der Luft in Berührung stehenden Oberfläche abhängt und damit nur größere Einbauten mit einer entsprechenden Oberfläche tatsächlich eine temperaturregulierende Wirkung haben. Wegen des hohen Platzbedarfs werden diese in Bürogebäuden nur selten, zum Beispiel in Eingangshallen oder Atrien, eingesetzt.



Abbildung 17: Waschbecken aus Beton im Atrium der Firmenzentrale Trepka GmbH (Quelle: Alfred Trepka GmbH).

3 Unterstützende Lösungen für hohe Speichermasse

Wie oben dargestellt, ist die wesentliche Herausforderung nicht das Vorhandensein, sondern das Freilegen der notwendigen Speichermassen. Um zum Beispiel bei einer massive Decke auf eine abgehängte Decke verzichten zu können, sind folgende Details zu lösen:

- Raumkonditionierung: Montage von haustechnischen Verteilleitungen und Abgabesysteme von Lüftungsanlagen, die in üblichen Bürolösungen in der abgehängten Decke enthalten sind;
- Beleuchtung: Lage der Leitungen und Montage von Beleuchtungssystemen;
- Raumakustik: Verschlechterung der Raumakustik durch die freiliegende Decke macht eine sorgfältige Akustikplanung durch Fachleute erforderlich;
- Sprinkleranlage: Verlegung der Sprinkleranlage, so dass dafür keine abgehängte Decke erforderlich ist.

3.1 Unterstützende Lösungen für die Raumkonditionierung

Bei der Raumkonditionierung gibt es viele Möglichkeiten, die Verteilleitungen und Auslässe zu verlegen, so dass eine abgehängte Decke nicht erforderlich ist. Die Verteilleitungen von der Lüftungszentrale können dabei über den Gang, über den Fußboden oder frei sichtbar an der Decke geführt bzw. in den Deckenaufbau integriert werden. Bei einer dezentralen Versorgung mit Be- und Entlüftung über die Außenwand kann auf Verteilleitungen gänzlich verzichtet werden.

3.1.1 Maßnahmen im Bereich der Decke

Verteilung in der Decke

An Stelle der Verlegung in der abgehängten Decke können die Verteilleitungen für die mechanische Be- und Entlüftung im Deckenaufbau einer massiven Decke oder als Decke für Installationen (siehe Abschnitt 2.1.3) ausgeführt werden. Zur Heizung und Kühlung kann das System der Bauteilaktivierung eingesetzt werden, so dass kein zusätzliches Abgabesystem erforderlich ist.

Freiliegende Verlegung

Die einfachste Art, eine Decke ohne abgehängte Zwischendecke zu realisieren, ist, sie frei zu lassen und die Haustechniksysteme (Elektrische Leitungen, Leitungen für Sprinkleranlagen, Lüftungssysteme, usw.) sichtbar an der Decke zu verlegen. Herausforderung hierbei ist, dass bei der sichtbaren Ausführung aus ästhetischen Gründen auf eine hohe Material- und Ausführungsqualität der Leitungen geachtet werden muss, während eventuelle Fehler von einer Zwischendecke gut verdeckt werden können. Frei liegende Systeme erfordern zudem einen höheren Reinigungsaufwand.



Abbildung 18: Sichtbetondecke mit oberflächlicher Verlegung der Beleuchtung, der Lüftungskanäle Rauchmelder sowie Akustik-Baffles. Links: Neubau Donau Universität Krems (Foto: Peter Holzer), Rechts: ENERGYbase, Wien (Foto: Hertha Hurnaus, Architektur: pos architekten).

Teilabgehängte Decke für Luftführung

Wenn es erforderlich ist, die Lüftungskanäle und die restlichen haustechnischen Anlagen im Büroraum unterzubringen, und eine Verlegung innerhalb der Deckenplatte bzw. eine frei liegende Verlegung nicht in Frage kommt, kann dafür auch nur ein Teilbereich als Deckenkoffer oder abgehängte Decke ausgeführt werden. So bleibt der restliche Bereich der Decke für die Wärmespeicherung wirksam.

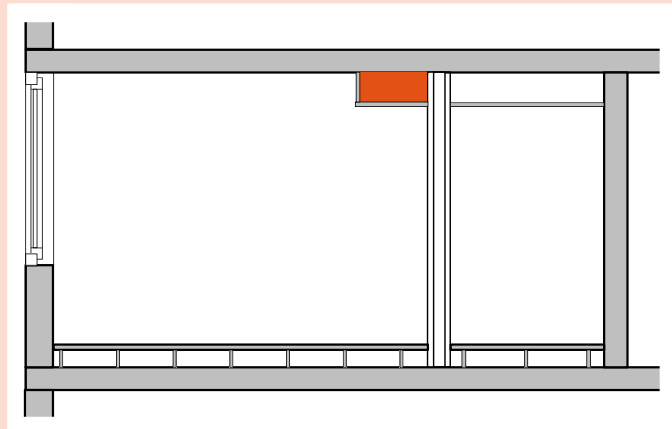


Abbildung 19: Teilabgehängte Decke mit Lüftungskanälen an der Flurtrennwand (eigene Darstellung).

Kühlsegel und Kühlbalken

Kühlsegel und Kühlbalken sind an der Decke montiert und decken nur einen geringen Anteil der Deckenfläche ab, so dass der Rest wirksam für die Wärmespeicherung bleibt. Multifunktionale Kühlbalken können dabei viele Funktionen für den Raum abdecken, so dass keine weiteren Befestigungen an der Decke erforderlich sind: Beleuchtung, Lüftung und Kühlung, Sprinkelung, raumakustische Maßnahmen, Sensoren usw.



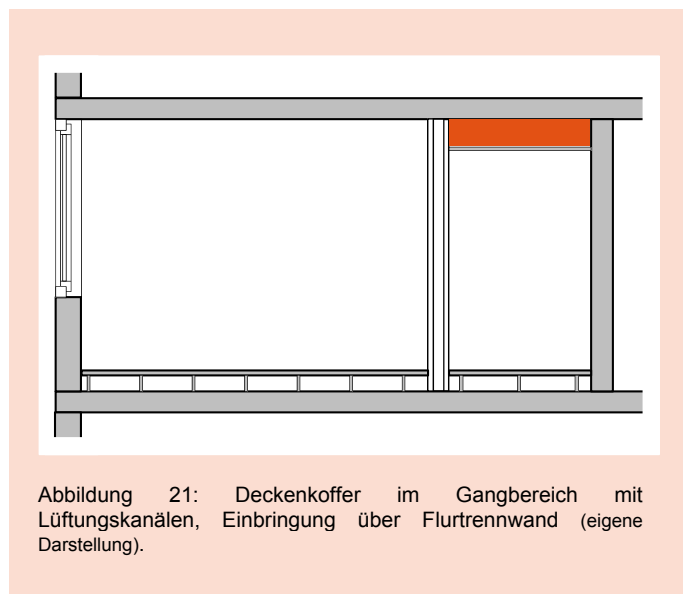
3.1.2 Maßnahmen im Bereich der Zwischenwand

Lüftung über Flurtrennwand

Die Funktionen der Haustechnik, insbesondere der Lüftung, können auch sichergestellt werden, wenn die Anlagen nicht in den Büroräumlichkeiten untergebracht werden. Als übliche Lösung werden die Verteilungen im zentralen Bereich (Gang) verlegt. Die Luft wird z.B. durch eine Weitwurfdüse über die Flurtrennwand oder über den Fußboden eingebracht. Eine abgehängte Decke ist somit nur im Gangbereich notwendig – die Decken über den Arbeitsplätzen können frei bleiben.

Bei der Dimensionierung der Düsen muss darauf geachtet werden, dass der Luftaustausch über die gesamte Raumtiefe

gewährleistet wird und gleichzeitig keine überhöhten Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich der NutzerInnen auftreten.

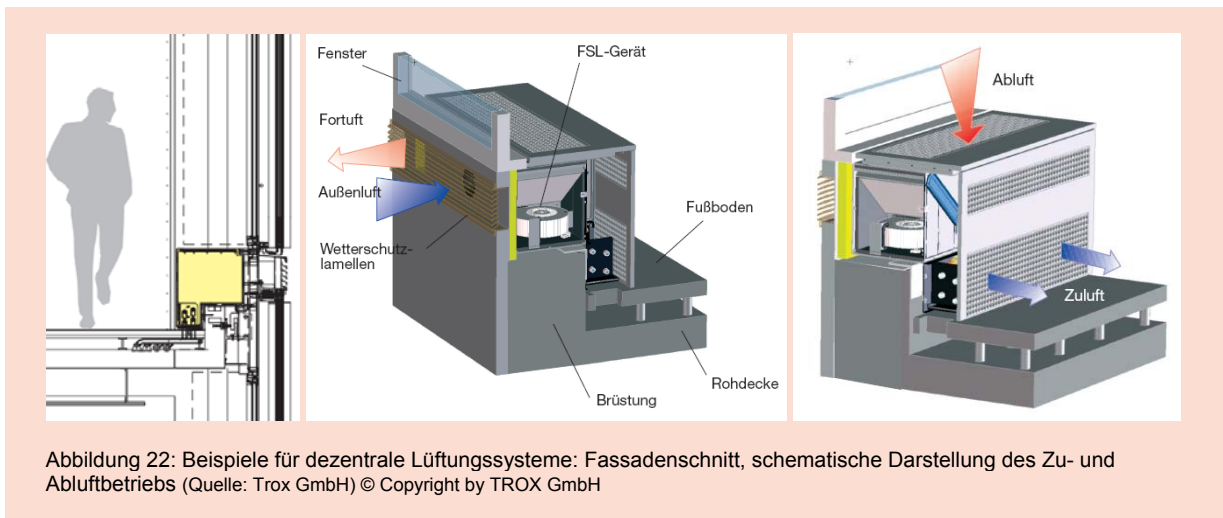


3.1.3 Maßnahmen im Bereich der Außenwand

Dezentrale Haustechnik

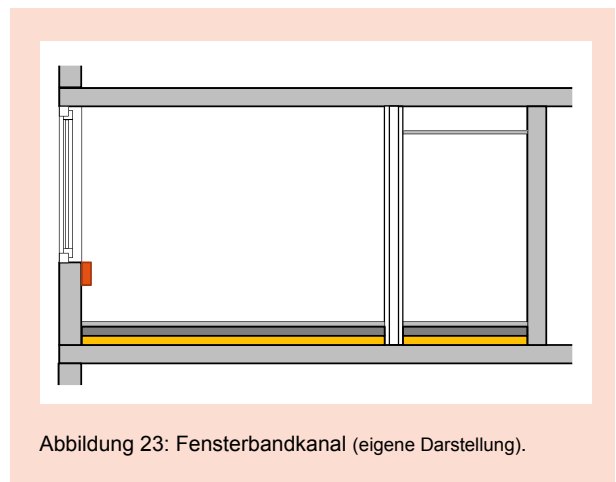
Anstatt über den Gebäudekern oder über die Decke können Leitungen für die Haustechnik auch über die Fassade geführt werden. Bei der Verwendung von dezentralen Lüftungsgeräten verschwindet die Notwendigkeit von Zuluftleitungen gänzlich. Im Vergleich zu zentralen Lüftungsanlagen gehen dezentrale Lüftungsgeräte allerdings mit einem höheren Wartungsaufwand einher (Filtertausch, Motoren, Reinigung, usw.) und weisen zumeist auch einen schlechteren Wärmerückgewinnungsgrad

auf. Bei größeren Gebäuden sind daher über den Lebenszyklus betrachtet zentrale Lüftungsanlagen günstiger.



Arbeitsplatzversorgung an der Fassade

Erlaubt es die Gebäudetiefe, alle Arbeitsplätze entlang der Fassade anzuordnen (was auch aus Gründen der Tageslichtversorgung vorteilhaft ist), so kann die Arbeitsplatzversorgung auch an der Fassade geführt werden, z.B. als umlaufende Kabelkanäle unterhalb des Fensterbretts (Fensterbandkanal).



Komplettlösungen bei der Fassade

Neben den dezentralen Lüftungssystemen können auch Gesamtfassadenlösungen geplant werden, bei denen alle Zuleitungen zur Raumkonditionierung (Be- und Entlüftung, Heizung, Kühlung) in der Fassade geführt werden. Dadurch sind über Decke oder Boden keine Verteilleitungen mehr erforderlich.

3.1.4 Maßnahmen im Bereich des Bodens

Quelllüftung in Bodennähe

Bei der Quelllüftung wird die Zuluft nicht in Decken- sondern in Bodennähe in den Raum eingeblasen. Die Quelllüftung hat neben der Freihaltung der Decke weitere Vorteile: Einerseits wird die Frischluft direkt in den Komfortbereich eingebracht, andererseits sind für die Lüfterneuerung auch geringere Luftmengen erforderlich.



Abbildung 24: Luftauslass für die Quelllüftung im ENERGYbase, Wien. (Foto: Hertha. Hurnaus, Architektur: pos architekten).

Ausgesparte Kabeltrassees im Boden

Wird auch der Boden als Speichermasse benutzt und über die Deckenplatte z.B. ein Estrichboden verlegt, so können hier in regelmäßigen Abständen Kabeltrassees ausgespart werden, um die Arbeitsplatzversorgung sicherzustellen. Diese Lösung schränkt die Arbeitsplatzflexibilität geringfügig ein, denn die Arbeitsplätze müssen nun entlang der Kabeltrassees angeordnet werden. Durch eine sinnvolle Verlegung der Kabeltrassees kann gleichzeitig eine hohe Flexibilität unterschiedlicher Arbeitsplatzbelegungen gewährleistet werden. Eine Herausforderung stellt allerdings der bündige Abschluss mit dem Fußboden dar. Dieser Schwierigkeit kann durch die Verwendung von fertigen Systemlösungen begegnet werden.

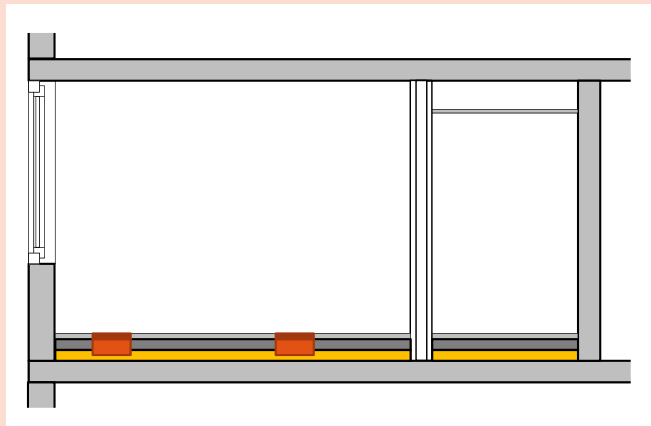


Abbildung 25: Kabeltrasse im Boden (eigene Darstellung).

3.2 Unterstützende Lösungen für Beleuchtung

Deckenleuchten

Deckenleuchten sind die derzeit übliche Form der Bürobeleuchtung. Die Anbringung der Leuchten, egal ob Anbau- oder Pendelleuchten, kann auch bei freigelegten Decken weiterhin erfolgen.

Es ist allerdings dafür zu sorgen, dass die Stromkabel zur jeweiligen Leuchte gelangen. Das kann über eine Leerverrohrung in der Decke oder über eine sichtbare Montage an der Deckenunterseite erfolgen. Wird die Verkabelung in der massiven Decke verlegt, so muss das Beleuchtungskonzept vorab gut durchdacht werden, so dass die Leuchtpunkte für unterschiedliche Nutzungskonzepte optimal gesetzt werden können. Dies kann z.B. durch eine redundante Verlegung von Leerverrohrungen erreicht werden. Wird die Deckenbeleuchtung auf der Decke sichtbar verlegt, so muss auf eine ästhetische Ausführung geachtet werden.

Stehlampen

Alternativ zu Deckenleuchten können für die Arbeitsplatzbeleuchtung auch Boden- oder Tischstehlampen verwendet werden. Bei der Beleuchtung durch Stehlampen muss keine Befestigung an der Decke erfolgen. Sie gewährleisten absolute Arbeitsplatzflexibilität und die Beleuchtungsstärke an den Arbeitsplätzen lässt sich bei vielen Stehleuchten individuell voreinstellen und dimmen. Autonome Steuerung über Tageslichtsensoren und Bewegungsmelder ist integrierbar.



Abbildung 26: Beispiel von Pendelleuchten bei einer massiven Decke im ENERGYbase, Wien (Foto: Hertha Hurnaus, Architektur: pos architekten).



Abbildung 27: Beispiel einer Stehlampe für Büroarbeitsplätze (Foto: Paul Ott, Architektur: Ernst Giselbrecht + Partner).

3.3 Unterstützende Lösungen in der Raumakustik

Unverkleidete Betondecken, großzügige Glasflächen und Naturstein- oder Holzfußböden verschlechtern die raumakustischen Eigenschaften von Büroräumen. Beim Einsatz solcher Elemente müssen daher Kompensationsmaßnahmen mit geringer Nachhallzeit gesetzt werden. Die früher in Büroräumen fast selbstverständliche Akustik-Decke mit porösem und faserigem Dämpfungsmaterial wirkt sich jedoch nachteilig auf die thermischen Eigenschaften des Raumes aus. Die folgenden Lösungen zeigen, wie die Integration von Akustikelementen bei gleichzeitiger Wahrung der

thermischen Speicherfähigkeit der Decke möglich ist. Dabei ist von besonderer Bedeutung, dass für die relevanten Räume eine professionelle Akustikplanung durchgeführt und nicht auf möglicherweise ungenügende Einzellösungen gesetzt wird.

3.3.1 Maßnahmen im Bereich der Decke

Akustikplatten direkt an die Betondecke aufgebracht

Anstatt einer abgehängten Akustikdecke können Akustikplatten direkt auf die Decke aufgebracht und (z.B. über einen wärmeleitungsoptimierten Mörtel) mit dieser thermisch gekoppelt werden. Wenn die akustischen Eigenschaften des Raumes dies erlauben, kann die raumakustische Maßnahme nur für eine kleine Teilfläche der Decke vorgesehen werden. Der restliche Bereich bleibt dann als Speichermasse wirksam.

Akustikplatten aus Materialien, die nur gering wärmeleitend sind, behindern auch die Wirkung einer Bauteilaktivierung. Bei Einsatz einer Bauteilaktivierung ist daher besonders auf die thermischen Eigenschaften der Akustikelemente zu achten, oder nach Möglichkeit nur Teilflächen für Akustikmaßnahmen und frei bleibende Flächen für die Bauteilaktivierung vorzusehen.



Abbildung 28: Akustikplatte an der Decke (Quelle: Renz GmbH).

Einzelne, abgehängte Akustikplatten an der Decke

Wenn Akustikplatten abgehängt an der Decke montiert werden, ist auf einen ausreichenden Abstand zwischen den Elementen sowie zur Decke achten, so dass die Raumluft ungehindert im Zwischenraum zirkulieren kann und dadurch ein Wärmeaustausch mit der Decke gewährleistet ist.



Abbildung 29: Beispiel von der Decke abhängende Akustikplatten (Foto links: Renz GmbH; rechts: alki-Technik-Zentral Ingolstadt, Architektur: Bachschuster Architektur).

Frei schwebende Akustikelemente an der Decke

Akustikelemente, die entweder Schall absorbieren oder den Schall in eine Richtung ablenken, wo er die Mitarbeiter nicht bzw. weniger stört, können auch frei schwebend in den Raum eingebracht, d.h. an die Decke aufgehängt werden.

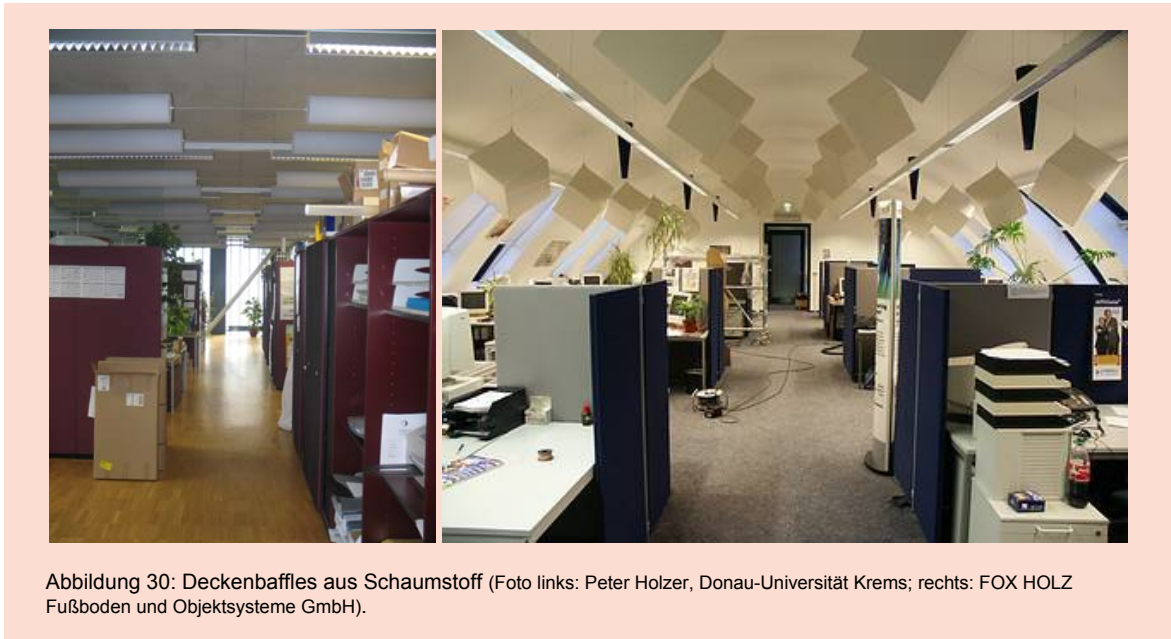


Abbildung 30: Deckenbaffles aus Schaumstoff (Foto links: Peter Holzer, Donau-Universität Krems; rechts: FOX HOLZ Fußboden und Objektsysteme GmbH).

Schallabsorbierende Beleuchtungskörper

Sind keine frei schwebenden Akustikelemente gewünscht und lassen sich Akustiklatten nicht direkt auf die Deckenplatte aufbringen, so können Akustikplatten auch in die Beleuchtungskörper integriert oder die Oberflächen der Leuchten selbst schallabsorbierend gestaltet werden.

Akustikputz

Akustikputze sind poröse Absorber in unterschiedlicher Ausprägung: Putze, die direkt am Objekt auf den Untergrund aufgesprüht werden oder vorab auf glatten, porösen oder gelochten Trägerplatten aufgebracht und am Objekt montiert werden.

Aus thermischer Sicht liegt der Akustikputz in der Mitte zwischen einer freiliegenden Stahlbetondecke (die wirksame Speichermasse wird durch den Akustikputz bis auf einen Drittel reduziert, siehe Abbildung 4), und einer abgehängten Akustikdecke, die praktisch keine Speichermasse mehr besitzt.



Abbildung 31: Akustikputz (Foto: Akustik und Malerei Fink²).

Aus optischer Sicht besteht ein Vorteil der Akustikputze gegenüber abgehängten Decken, nämlich dass sie über ein fugenloses Erscheinungsbild verfügen. Gerade in modernen Gebäuden besteht vielfach der Wunsch nach Oberflächen ohne erkennbare Rasterung (buero-forum, 2008). Dabei kann allerdings die raue Oberfläche von Akustikputzen störend wirken. Es ist daher empfehlenswert, bei der Auswahl des Produktes die Textur anhand von Mustern zu überprüfen.

3.3.2 Maßnahmen im Bereich der Wände

Akustik-Trennwände

Systemtrennwände bestehen meist aus opaken, also nicht durchsichtigen, und aus transparenten Flächen. Die opaken Bestandteile von Systemtrennwänden können mit schallabsorbierenden Materialien bzw. Oberflächen ausgestattet werden, um die Raumakustik zu optimieren.



Abbildung 32: Beispiel einer Akustik Trennwand (Foto: BER Deckensysteme).

Schallschirme

Schallschirme für Büroräume sind Systemtrennwände, die neben einer wirksamen Dämmung auch eine breitbandige Dämpfung durch Akustikelemente gewährleisten. Diese Art der Trennwände wird insbesondere in offenen Bürolandschaften eingesetzt und ist bei einer raumhohen Ausführung am wirksamsten. Oft werden diese Systemtrennwände verglast, also mit Sicht- und Blickkontakt zwischen allen Arbeitsplätzen ausgeführt. Um eine hohe raumakustische Qualität sicherzustellen, können diese Trennwände zwischen zwei Arbeitsplätzen auch verwinkelt angeordnet werden.

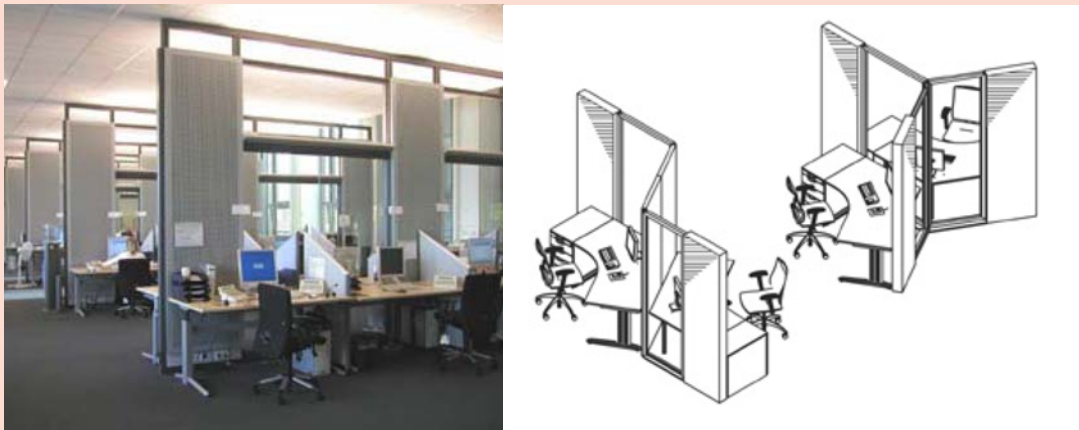


Abbildung 33: Beispiele für Schallschirme (links) und verwinkelte Anordnung für hohe raumakustische Qualität am Arbeitsplatz (rechts) (Quelle: Renz GmbH, Systemlösungen für bessere Arbeitswelten).

Textile Akustikmodule an der Wand

Raumakustische Maßnahmen können auch als gestalterisches Element in Räumen vorgesehen werden. Dazu zählen insbesondere textile Schallabsorber zur Wandgestaltung. Diese Schallabsorber können frei gestaltet und auch großflächig an der Wand montiert werden. Allerdings sollten diese Elemente, insbesondere in Bereichen, die im täglichen Gebrauch berührt oder angestoßen werden, ausgesprochen robust sein.



Abbildung 34: Beispiel eines textilen Akustikmoduls an der Wand (Foto: BER Deckensysteme).

Einrichtungsgegenstände mit raumakustischen Platten

Einrichtungsgegenstände (z.B. Schränke oder Schreibtischelemente) können an der Oberfläche so gestaltet werden, dass sie eine hohe Schallabsorption bewirken.

Ihr Vorteil liegt darin, dass sie flexibel eingesetzt werden können, auch wenn an einem Gebäude keine baulichen Maßnahmen realisierbar sind. Zum anderen können sie im Rahmen ihrer Funktionalität dicht an den Schallquellen im Raum positioniert und damit gezielt auch zur Lärmvermeidung eingesetzt werden.



Abbildung 35: Schränke mit raumakustischen Türen (Foto: BER Deckensysteme).

3.3.3 Maßnahmen im Bereich des Bodens

Wirksame Akustikmaßnahmen sind auch im Bereich des Fußbodens realisierbar. So sind textile Bodenbeläge wie ein Teppich hinsichtlich der Reduktion der Ausbreitung des Körperschalls und der Schallabsorption optimal, auch wenn sie den Wärmeaustausch mit der Bodenplatte verhindern. Ist ohnehin ein Doppelboden ausgeführt, oder weisen die Decken bereits hinreichende Wärmeaustauschflächen auf, so kann der Boden zur Verbesserung der Raumakustik mit einem Teppich belegt werden. Muss jedoch auch der Boden für die thermische Behaglichkeit herangezogen werden oder wird eine Bauteilaktivierung über den Fußboden realisiert, so sind die Vorschläge im Kapitel 2.2 zu beachten.

3.4 Lösungen für Sprinkleranlagen

Wird ein Besprinklerungssystem für ein Bürogebäude vorgeschrieben, so wird dieses meist an der Decke angebracht. Bei einer massiven, freiliegenden Betondecke können mehrere Verlegearten gewählt werden, wie beispielsweise:

- Sichtbare Verlegung ähnlich wie bei Beleuchtungs- und Haustechniksystemen;
- Verlegung im Doppelboden des darüber liegenden Geschosses mit Leerverrohrung im Deckenaufbau zur Durchquerung der Decke;
- Verlegung im Flur und Integration der Sprinklerdüse in die Flurtrennwand;
- Integration in multifunktionale Kühlbalken.

4 Wärmeabführung aus den speicherwirksamen Massen

Wie eingangs ausgeführt, ist der wesentliche Nutzen der speicherwirksamen Masse der Ausgleich der täglichen Temperaturschwankungen, die aufgrund von Sonneneinstrahlung und internen Wärmelasten während der Nutzungszeit entstehen. Um diesen Ausgleich auf längere Zeit zu gewährleisten, muss sich die speicherwirksame Gebäudemasse auch regelmäßig „entladen“, d. h. die gespeicherte Wärme muss wieder aus der Gebäudemasse abgeführt werden. Für die Abführung der Wärme gibt es zwei Möglichkeiten: Durch nächtliche Lüftung und über ein System der Bauteilaktivierung.

4.1 Wärmeabführung durch Nachtlüftung

In Österreich geht die Außenlufttemperatur in der Nacht gegenüber dem Tag deutlich zurück. Auch im Sommer sind Nachttemperaturen häufig unter 20 °C. Durch geeignete Luftführung kann diese kühle Außenluft genutzt werden, um die über den Tag aufgeheizten Gebäudemassen während der Nacht wieder herunterzukühlen. Hierzu ist neben dem Vorhandensein zugänglicher Speichermassen ein erhöhter nächtlicher Luftwechsel notwendig (Luftwechselrate > 2/h). Der Luftwechsel kann entweder durch eine natürliche oder eine mechanische Lüftung, oder durch eine Kombination beider Systeme herbeigeführt werden.

Die natürliche Lüftung geschieht über einfache Lüftung bzw. Querlüftung durch geöffnete Fenster, oder über automatisch gesteuerte natürliche Lüftungssysteme. Bei der einfachen Fensterlüftung sind Hindernisse wie Einbruchsicherheit, Lärm- und Abgasbelastung oder plötzliche Wetterumbrüche zu beachten. Außerdem hängt es im Betrieb von der Sorgfalt der NutzerInnen ab, ob die Fenster abends tatsächlich geöffnet und morgens wieder geschlossen werden.

Ausgeklügeltere natürliche Lüftungssysteme lösen diese Schwierigkeiten durch wetter- und einbruchssichere, automatisch gesteuerte Lüftungsöffnungen an der Fassade. Die Luftbewegung durch das ganze Gebäude wird durch Überströmöffnungen in den Zwischenwänden sowie durch die Nutzung des thermischen Auftriebs im Gebäude, Ausnutzung von Windströmungen oder temperaturinduzierter Kaminwirkungen sichergestellt (siehe Abbildung 35).

Bei der mechanischen Lüftung wird die Luft mit Hilfe von elektrisch betriebenen Ventilatoren bzw. einer zentralen Lüftungsanlage durch das Gebäude gespült. Dabei können die Luftbewegungen innerhalb des Gebäudes über weite Strecken kontrolliert werden. Es ist jedoch zu beachten, dass der für die Abkühlung der Speichermassen notwendige erhöhte Luftwechsel auch mit einem erhöhten Stromverbrauch einhergeht. Um diesen zu minimieren, muss in der Planung der Lüftungsbedarf sorgfältig berechnet und die Anlagen entsprechend

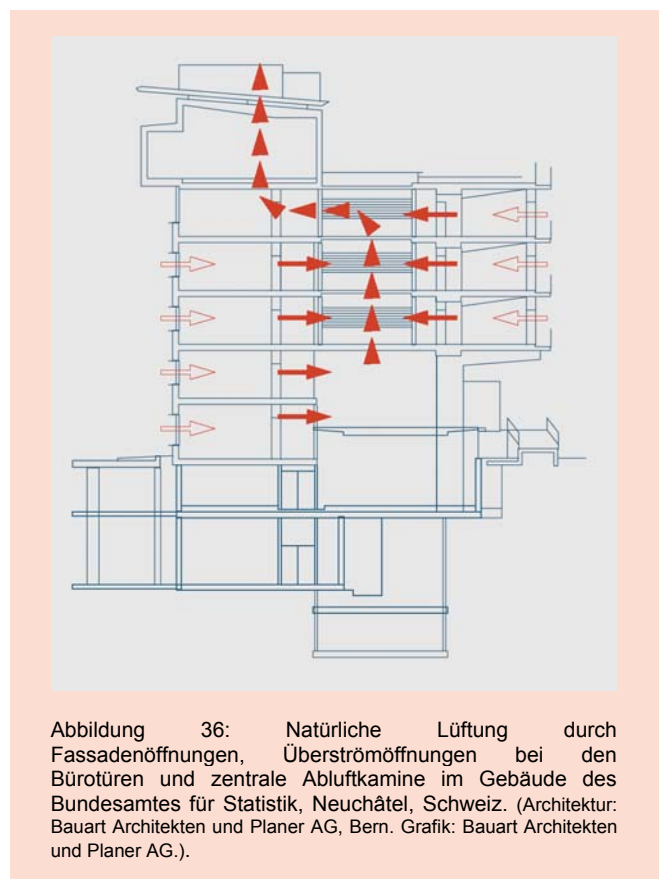


Abbildung 36: Natürliche Lüftung durch Fassadenöffnungen, Überströmöffnungen bei den Bürotüren und zentrale Abluftkamine im Gebäude des Bundesamtes für Statistik, Neuchâtel, Schweiz. (Architektur: Bauart Architekten und Planer AG, Bern. Grafik: Bauart Architekten und Planer AG.).

dimensioniert und eingestellt werden. Manchmal muss man aber auch auf andere Varianten der Wärmeabführung (Bauteilaktivierung oder natürliche Nachtlüftung) zurückgreifen.

Ein hybrides Lüftungskonzept sieht eine Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung vor. Dies bietet den Nutzen einer Ressourcen schonenden natürlichen Lüftung, die bei nicht ausreichenden Luftwechselraten vorhandene Abluftventilatoren hinzuschaltet.

Tipp: Randbedingungen für die Wärmeabführung durch Nachtlüftung

- Damit die Nachtlüftung die Speichermassen abkühlen kann, soll die Außentemperatur in der Nacht mindestens 5 Stunden lang unter 21 °C liegen. Das ist in Mitteleuropa typischerweise gegeben. Das Mikroklima, insbesondere im städtischen Umfeld, ist dabei zu berücksichtigen.
- Nachtlüftung ist als passive Kühlmethode nur in Verbindung mit einer hohen Speichermasse sinnvoll. Um die Speichermassen effektiv abzukühlen, muss der nächtliche Luftwechsel mindestens 2, besser 4 1/h betragen.
- Natürliche Nachtlüftung ist sinnvoll, wenn das Gebäude von der Luft durchströmt werden kann, die Außenluft eine ausreichende Luftqualität aufweist, sowie ein ausreichender Schutz gegen Außenlärm, Schlagregen, Brand und Einbruch gegeben sind.
- Mechanische Nachtlüftung ist nur dann sinnvoll, wenn eine natürliche Nachtlüftung nicht möglich ist, oder hohe Anforderungen an die Raumtemperatur gegeben sind.
- Soll Nachtlüftung als alleinige Kühlmethode angewendet werden, so darf die Tagessumme der Kühllast 150 kWh/m²d nicht überschreiten.

(Quelle: BINE Informationsdienst, 2003)

4.2 Wärmeabführung durch Bauteilaktivierung

4.2.1 Wassergeführte Bauteilaktivierung

Die wassergeführte Bauteilaktivierung (auch bekannt unter den Bezeichnungen Betonkernaktivierung, Baukerntemperierung, thermoaktive Decken, Bauteilkühlung oder thermoaktive Bauteilsysteme) ist ein System der Flächenheizung und/oder -kühlung. Dabei werden in die massiven Deckenplatten (manchmal auch in anderen Bauteilen) Rohrregister integriert, in denen je nach Jahreszeit warmes oder kaltes Wasser zirkuliert und dadurch die Bauteile temperiert. Die Bauteile geben dann über ihre Oberflächen die Wärme an den Raum ab (Heizfall) oder nehmen aus dem Raum Wärme auf (Kühlfall).

Die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung haben einen Durchmesser von 15 bis 20 mm und sind in Abständen von 10 bis 30 cm, meist in der statisch neutralen Zone der Betondecke verlegt. Sie können unterschiedlich angeordnet werden:

- Mittige Anordnung in der massiven Decke: Diese Anordnung kommt dann zum Einsatz, wenn die Kühlung/Heizung sowohl von der Decke als auch vom Fußboden wirksam werden soll. Systeme mit mittiger Anordnung sind vergleichsweise träge, weil die Wärme zuerst das

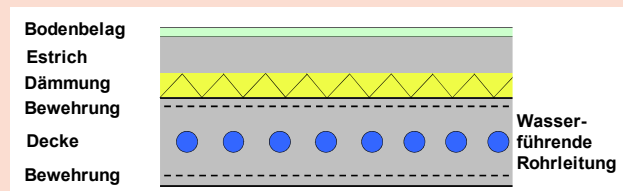


Abbildung 37: Querschnitt Deckenaufbau mit Bauteilaktivierung – mittige Anordnung der wasserführenden Rohrleitungen (eigene Darstellung).

ganze Bauteil durchdringen muss, bevor sie durch die Bauteilaktivierung abgeführt werden kann.

- Anordnung oberhalb der unteren Bewehrung: Diese Anordnung kommt zum Einsatz, wenn die Bauteilaktivierung zur Kühlung/Heizung über die Decke verwendet wird. Bei Vor-Ort Einbau können die Rohrleitungen auf die untere Bewehrungsschicht montiert werden. Im Betrieb besteht hier allerdings die Gefahr, dass aufgrund geringer Betonüberdeckung die Rohrleitungen bei Montagearbeiten, z.B. für die Beleuchtung, beschädigt werden.

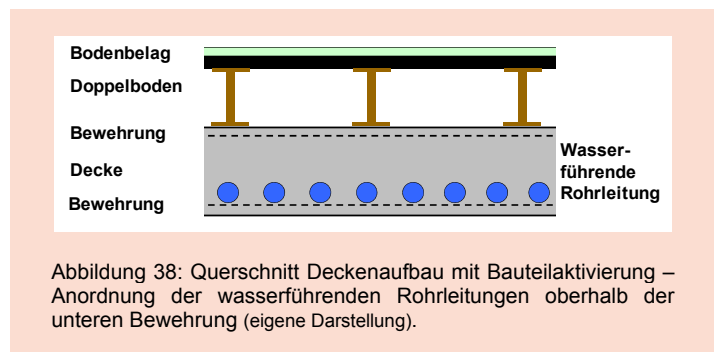


Abbildung 38: Querschnitt Deckenaufbau mit Bauteilaktivierung – Anordnung der wasserführenden Rohrleitungen oberhalb der unteren Bewehrung (eigene Darstellung).

Nutzen

Niedriger Energiebedarf: Aufgrund der großen Abstrahlungsflächen, die für die Bauteilaktivierung zur Verfügung stehen, kann mit einer geringen Temperaturdifferenz zwischen Innenraum- und Wassertemperatur der Rohrregister der Bauteilaktivierung geheizt bzw. gekühlt werden. Für den Heizfall reicht eine Wassertemperatur von 25 bis 27 °C, für den Kühlfall eine Wassertemperatur von 19 bis 20 °C. Wenn keine hohen Heiz- und Kühllasten zu erwarten sind, kann die Bauteilaktivierung auch mit einer konstanten Vorlauftemperatur von rund 22 °C beschickt werden. Sie wirkt dann gleichsam als Heizung, wenn die Raumtemperatur tiefer ist und als Kühlung, wenn sie höher liegt.

Nutzung von Umweltenergie: Solche Vorlauftemperaturen sind auch gut geeignet für die Nutzung von Umweltenergie wie beispielsweise freie Kühlung über Kühltürme, Energiepfähle, Erdreichwärmetauscher oder Solarkollektoren und bietet auch eine energieeffiziente Einsatzmöglichkeit für Wärmepumpen und Kältemaschinen.

Reduktion von Leistungsspitzen: Die hohe Wärme- bzw. Kältespeicherung in der Speichermasse reduziert die Leistungsspitzen wesentlich, was im Vergleich zur Konditionierung über das Lüftungssystem oder Radiatoren bzw. Kühlsegel den Energieeinsatz stark reduzieren kann.

Hoher Komfort: Aufgrund der großen wärmeübertragenden Flächen und der geringen Temperaturdifferenzen zur Raumluft kann mit der Bauteilaktivierung ein hoher Komfort gewährleistet werden.

Geringe Investitionskosten: Da die Heiz- und Kühlflächen schon mit den Bauteilen gegeben sind, ist Bauteilaktivierung weit günstiger als andere Kälteabgabesysteme (Kühldecken, Kühlsegel, Schwerkraftsysteme, Induktionsanlagen, Fan Coil-Anlagen usw.).

Herausforderungen

Die Herausforderungen der freiliegenden Decke (Kapitel 2.1) gelten selbstredend auch für eine freiliegende Decke mit Bauteilaktivierung. Zusätzlich sind für die Bauteilaktivierung folgende Punkte zu beachten:

Tauwasserbildung: Von Kühlsegeln ist bekannt, dass sich bei der Abführung einer höheren Kühlleistung als 40 W/m² Tauwasser bilden kann. Im mitteleuropäischen Klima liegt der Taupunkt bei einer Innenraumtemperatur von 26 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit etwa bei 15 °C. Aufgrund der hohen Vorlauftemperatur in den Kühlregistern ist die Unterschreitung des Taupunktes bei der

Bauteilaktivierung fast nie gegeben. Zur Sicherheit wird in die Regelung meist ein Taupunktwärter eingebaut, der in der Nähe des Taupunktes die Anlage abschaltet.

Verlegung der Rohre: Die Montage und Betonierarbeiten sind sorgfältig auszuführen, da Schäden an den Rohrleitungen nachträglich nicht mehr repariert werden können. Die Rohre können dabei auf drei unterschiedliche Arten verlegt werden:

1. Vor-Ort-Verlegung: Die Rohrregister der Bauteilaktivierung werden dabei vor Ort auf der Baustelle verlegt und montiert. Diese Arbeiten sind in den bestehenden Ablauf der Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten zu integrieren. Eine sorgfältige Abstimmung mit der Tragwerksplanung ist erforderlich.

2. Verlegung von vorgefertigten Rohrträgermatten: Die im Normalfall für das Gebäude individuell gefertigten Module werden werkseitig vorgefertigt und vor Ort auf die untere Armierungsschicht aufgelegt. Durch die Vorfertigung kann die Genauigkeit der Montage erhöht und die Dauer der Vor-Ort-Montage reduziert werden.

3. Fertigteildecke mit integrierten Rohrregistern: Bei diesem System wird der gesamte Deckenaufbau vorgefertigt und vor Ort montiert. Der Anschluss der Fertigteildecken erfolgt über den Flurbereich, der zum Teil mittels Halbfertigteilelementen oder zur Gänze mit Ortbeton hergestellt wird.



Abbildung 39: Verlegung der Rohrträgermatten einer Bauteilaktivierung (Quelle: Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Expertenforum Beton, Heizen + Kühlen mit Beton; Foto: Rehau AG).

Regelbarkeit: Die große thermische Trägheit des Systems ermöglicht kurzfristig keine genaue Regelung der Innenraumtemperaturen. Wenn bestimmte Raumtemperaturen einzuhalten sind, ist ein zusätzliches, regelbares und schnell reagierendes Heiz- bzw. Kühlsystem erforderlich (z.B. Radiatoren, Luftheizung / Kühlung, usw.). Schnell reagierende Systeme können aber auch ein integrierter Bestandteil der Bauteilaktivierung sein. Dabei werden kleinere Rohre im Deckenputz oder unter der Bewehrung in einem kleinen Bereich direkt neben der Fassade eingesetzt. Durch die geringe Überdeckung mit massiver Speichermasse sind rasche Temperaturänderungen möglich.

Zonierung: Bei Bauvorhaben, wo die künftige Belegung noch nicht bekannt ist oder bei Gebäuden mit Einzelraumbelagung sind die Rohrleitungen raumweise in einen eigenen Regelkreis zu verlegen. So können auch die Innenraumtemperatur der Einzelräume unterschiedlich geregelt werden. Auch eine Zonierung unterschiedlicher Gebäudeausrichtungen ist sinnvoll, um z.B. nord-, süd-, oder ost- und westausgerichtete Gebäudeteile unterschiedlich zu temperieren.

4.2.2 Luftgeführte Bauteilaktivierung

Vergleichbar mit der wassergeführten Bauteilaktivierung wird hier die massive Decke durch das Medium Luft temperiert. Um den Wärmeübergang zu optimieren, werden dabei Rohrleitungen aus Aluminium mit berippter Rohrinneuseite verwendet. Sie werden in der statisch neutralen Zone zwischen oberer und unterer Bewehrung verlegt. Die Rohrleitungen lassen sich in Ortbeton und auch in Fertigteildecken verlegen, ohne die statisch bedingte Dimensionierung zu verändern.

Im Gegensatz zur wassergeführten Bauteilaktivierung liegt dabei kein geschlossener Kühlkreis vor, sondern wird die Luft dem Büroraum als Frischluft mittels Quelllüftung zur Verfügung gestellt. Bevor sie durch die Bauteile geleitet wird, wird die Frischluft aufgeheizt bzw. abgekühlt. So kann sie die Speichermasse heizen bzw. kühlen, und immer noch mit einem geringen Temperaturunterschied zur Raumlufttemperatur einströmen – im Sommer etwas kühler, im Winter etwas wärmer als die Raumlufttemperatur.

Der Vorteil des Systems liegt darin, dass Bauteilaktivierung und Frischluftversorgung mit dem gleichen System bewerkstelligt werden kann. Wenn ohnehin eine mechanische Lüftung im Gebäude vorgesehen ist, können durch die Kombination im System Investitionskosten eingespart werden.

Im Vergleich zu Wasser gilt Luft jedoch als Transportmedium für Wärme und Kälte als weniger geeignet, weil die Wärmespeicherfähigkeit von Wasser um ein Vielfaches höher ist als von Luft. Dadurch müssen die Rohrleitungen in der Decke höher dimensioniert werden, was auch in der Tragwerksplanung zu berücksichtigen ist. Gleichzeitig ist, wie zur konventionellen Nachtlüftung auch, ein gegenüber dem reinen Frischluftbedarf erhöhter Luftwechsel vorzusehen.

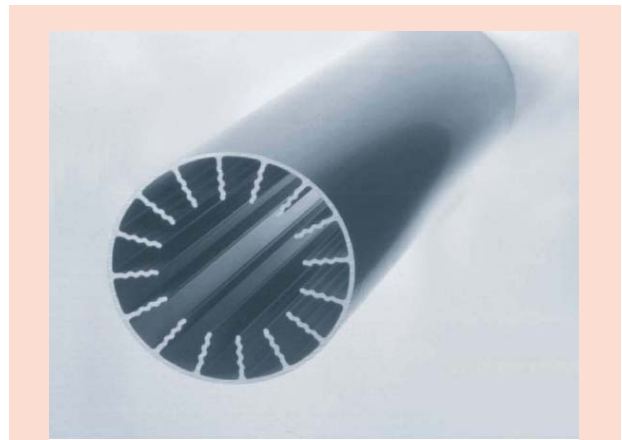


Abbildung 40: Kühlrohr der luftgeführten



Abbildung 41: Verlegung der Kühlrohre einer luftgeführten Bauteilaktivierung (Quelle: Hildebrand, Kiefer Luft- und Klimatechnik, 2006).

5 Hilfestellung im Planungsprozess

5.1 Allgemeine Vorbemerkungen

Im Folgenden werden einige Möglichkeiten aufgezeigt, den Planungsprozess so zu gestalten, dass die derzeit bestehenden Hürden gegen den nutzungsflexiblen Einsatz von Speichermasse umgangen bzw. die Herausforderungen, die energieeffizientes Bauen an die Planung stellt, gelöst werden. Dabei wird der Schwerpunkt auf die frühen Planungsphasen (Initiierung und Entwurf) gelegt, bei denen die wesentlichen Planungsentscheidungen getroffen werden und der größte Einfluss zur Optimierung des Gebäudes gegeben ist.

5.1.1 Integrale Planung

Die integrale oder ganzheitliche Planung bedeutet eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, in der frühzeitig und beständig die verschiedenen Spezialisten, die am Planungsprozess beteiligt sind, zusammengeführt und somit „integriert“ werden. Dadurch können bereits in der frühen Planungsphase alle Aspekte von der Tragwerksplanung über die Architektur, die Statik, die Bauphysik inkl. Raumakustik, die Umwelt und die Haustechnik bis zu betrieblichen und funktionellen Anforderungen berücksichtigt werden. Je früher im Planungsprozess das Gebäude optimiert wird, desto leichter und mit geringeren Umplanungskosten kann in das Konzept eingegriffen werden (siehe Abbildung 41).

Dabei soll eine optimierte Gesamtlösung für die zahlreichen Einzelziele gefunden werden, wenn möglich, auch zu niedrigeren Gesamtkosten als wenn die Einzelziele unabhängig voneinander umgesetzt würden. Die Optimierung erfolgt in Iterationsschritten von der Initiierung bis zur Detailplanung (siehe Abbildung 42). Im ersten Schritt werden die Wünsche und Anforderungen in einem Bedarfsplan definiert. Dabei werden bereits unterschiedliche Sichtweisen und Möglichkeiten diskutiert und optimiert. Bei positiver Evaluierung, wenn also mit dem Bedarfsplan die Wünsche und Ziele des Bauherrn erfüllt werden, kann die Entwurfsplanung beginnen. Erst wenn der Entwurf den Bedarfsplan erfüllt, kann er in die Detailplanung gehen, wo er anhand eines detaillierten Bedarfsprogramms konkretisiert wird.

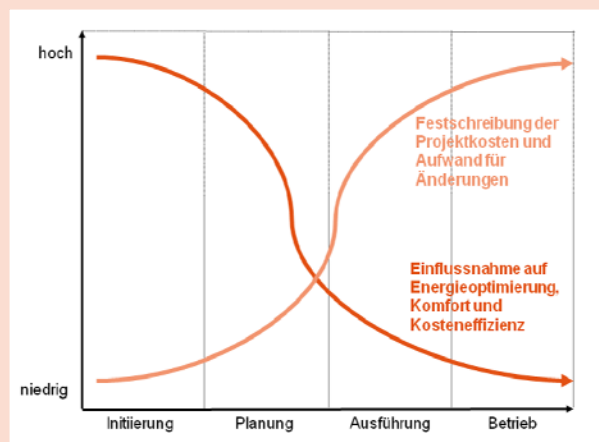
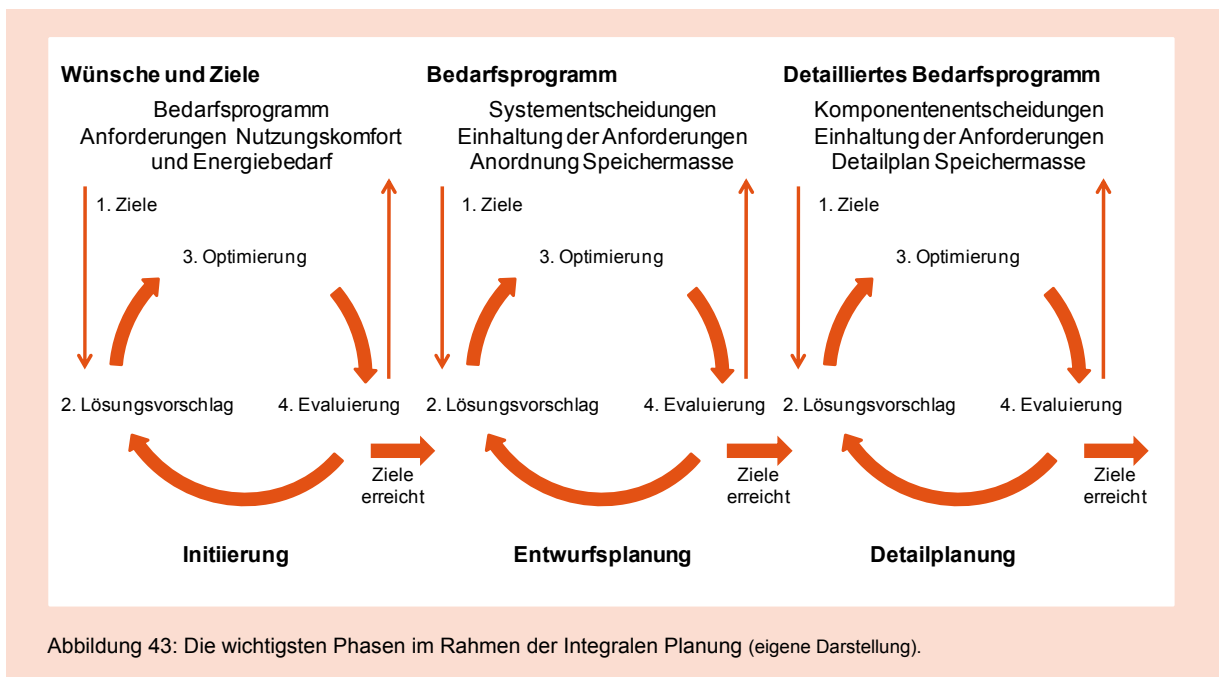


Abbildung 42: Die frühe Planungsphase bietet die beste Gelegenheit für große Eingriffe in die Gebäude-eigenschaften zu den geringsten Umplanungskosten (eigene Darstellung, Quelle: Voss et. al., 2007).



5.1.2 Gebäudesimulation

Bei Gebäuden, die mit möglichst wenig Technik einen hohen energetischen Standard erreichen sollen, ist eine Gebäudesimulation unumgänglich. Die Simulation kann mit realitätsnahen Bedingungen kritische Zonen schon während der Planungsphase darstellen und damit eventuell notwendige Adaptierungen rechtzeitig ermöglichen.

In der **thermischen Simulation**, kann der thermische Komfort von verschiedenen Ausführungsvarianten (viel oder wenig wirksame Speichermasse, unterschiedliche Fassaden- und Haustechniksysteme, etc.) unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen verglichen werden. Eine thermische Gebäudesimulation kann insbesondere die Haustechnikauslegung optimieren, was in den meisten Fällen zu einer Reduktion der Anschlussgröße und damit zu erheblichen Investitionskostenreduktionen führt.

In der **Strömungssimulation** werden Luftströmungen im Gebäude berechnet. Sie ist besonders dann anzuraten, wenn zur „Entladung“ der Speichermassen eine natürliche Lüftung angedacht ist.

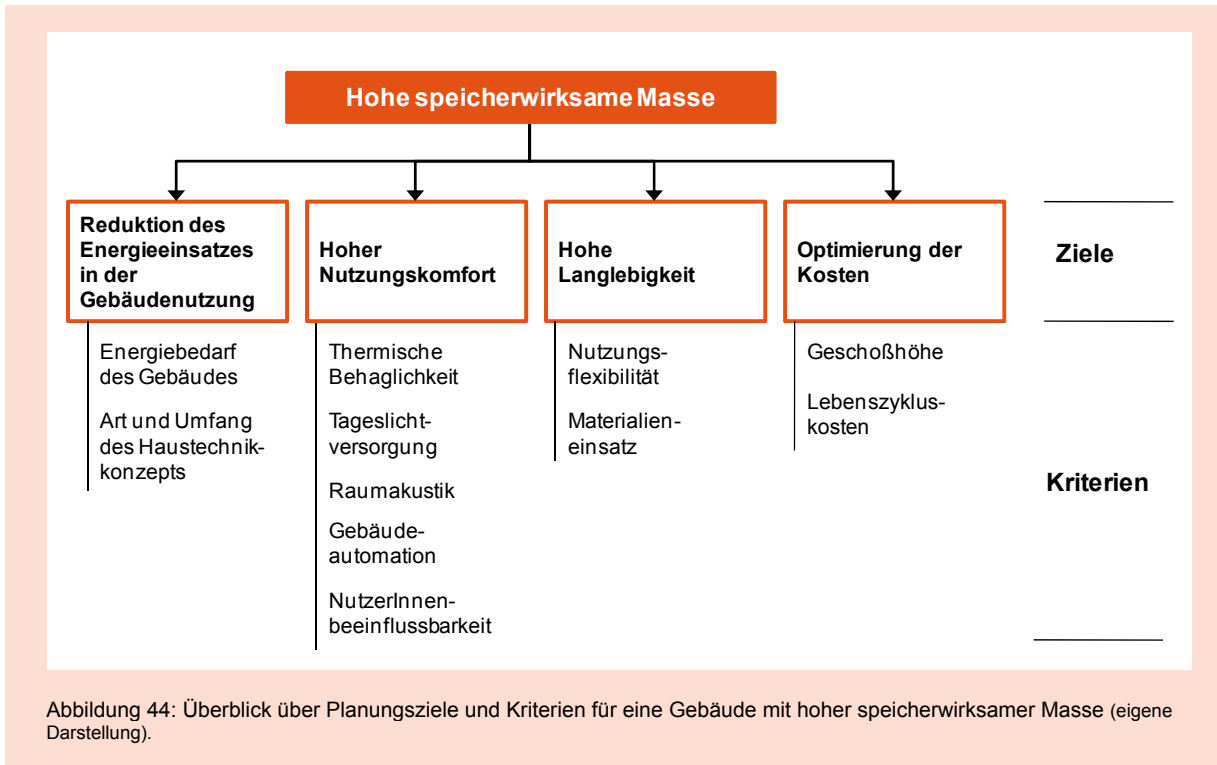
Die **Tageslichtsimulation** ist für die Optimierung der Fensterflächen notwendig. Mit ihrer Hilfe kann der Energieeinsatz für künstliche Beleuchtung und die damit einhergehenden internen Wärmelasten reduziert und so der Kühlbedarf des Gebäudes verringert werden.

5.2 Initiierungsphase

In diesem Schritt sind vom Bauherrn jene Ziele festzusetzen, die das Gebäude nach Fertigstellung bzw. im Betrieb erfüllen soll. Diese Zieldefinition findet vor der Planersuche statt und ist Grundlage für die Ausschreibung der Planung. In dieser Phase sollten auch Qualitätskriterien für die Bereiche Speichermasse, Flexibilität, Komfort und Energiebedarf definiert werden, die den Planern die Priorität eines energieeffizienten Gebäudes mit hoher speicherwirksamer Masse vermitteln. Diese Qualitätskriterien sollten auch in quantitative, überprüfbare Werte oder Kennzahlen münden, die bereits in der Planungsphase den Pfad zur Zielerfüllung sicherzustellen. Auch Qualitätskriterien, die erst nach Fertigstellung bzw. im Betrieb abgeprüft werden können, wie beispielsweise

Innenraumklima, Luftdichtheit, oder die Lebensdauer der eingesetzten Produkte, sollten schon zu Beginn festgesetzt werden.

Die nachfolgenden Planungsziele und Kriterien können als Vorgaben für das Gebäude noch vor dem Beginn der Planung festgelegt werden. Sie forcieren direkt oder indirekt den Einsatz von hoher speicherwirksamer Masse in Gebäuden, oder stellen sicher, dass beim Einsatz von Speichermasse andere ebenso wichtige Kriterien (wie z. B. Raumakustik) erfüllt werden.



5.2.1 Hohe speicherwirksame Masse

Das Niveau der speicherwirksamen Masse in Bürogebäuden hängt von der Art des Innenausbaus ab. Durch das Freilegen der Decke kann bei allen Bürokonzepten ein hohes Ausmaß an Speichermasse sichergestellt werden.

Mögliche Zielformulierung

In Büroräumen sowie Arbeitsbereichen ist eine speicherwirksame Masse von mindestens **6.000 kg/m²** (bezogen auf die Immissionsfläche nach ÖNORM B 8110-3) sicherzustellen.

5.2.2 Reduktion des Energieeinsatzes in der Gebäudenutzung

Energiebedarf des Gebäudes

Scharf formulierte Kriterien an den künftigen Energiebedarf eines Gebäudes begünstigen den Einsatz von Speichermasse, da sie so viel leichter eingehalten werden können als bei Leichtbaukonstruktionen. Beim Einsatz einer Bauteilaktivierung sind für eine optimale Anwendung ein geringer Energiebedarf sowie ein geringer Heiz- und Kühlbedarf sogar unerlässlich.

Mögliche Zielformulierung

Außeninduzierter Kühlbedarf (KB*) < 0,8 kWh/m³a

Heizwärmebedarf (HWB*) < 5 x (1 + 2,5/lc) kWh/m³a

Primärenergiebedarf < 120 kWh/m²a

Darüber hinaus können noch andere Kennzahlen eingesetzt werden, die als Basis den Heizwärme- oder den Kühlbedarf verwenden. Die Niveaus können entsprechend den Zielen des Bauherrn auch niedriger angesetzt werden.

Art und Umfang des Haustechnikkonzepts

Speicherwirksame Masse im Bürobau kann die Auslegung von Heiz- und Kühlsystemen verkleinern, bei sorgfältiger Planung und Einsatz von passiven Kühllösungen können Kälteanlagen sogar gänzlich vermieden werden. Kriterien, die den Verzicht auf eine aktive Kühlung bzw. einen Schwerpunkt auf passive Kühltechnologien vorschreiben, begünstigen daher ebenfalls den Einsatz von Speichermasse.

Mögliche Zielformulierung

Ziel der Planung ist, weitgehend auf aktive Kühlung zu verzichten. Allenfalls vorhandener Kühlbedarf ist durch passive Kühlmethoden (z.B. hohe speicherwirksame Masse und Nachtlüftung) zu befriedigen.

5.2.3 Hoher Nutzungskomfort

Thermische Behaglichkeit im Sommer

Hohe speicherwirksame Massen in Innenräumen bewirken einen höheren thermischen Komfort durch gleichmäßigere, trägere Innenraumklimabedingungen, sind daher für den thermischen Komfort in natürlich belüfteten Gebäuden unverzichtbar.

Solche Gebäude profitieren wiederum davon, dass für sie laut ÖNORM EN 15251 das adaptive Komfortmodell anwendbar ist. In diesem Modell wird berücksichtigt, dass sich das Komfortempfinden der Menschen ein Stück weit nach den jeweils herrschenden Außentemperaturen richtet. Daher sind die vorgeschriebenen

Mögliche Zielformulierung

Einhaltung der Kategorien der thermischen Behaglichkeit nach ÖNORM EN 15251:

Kategorie nach ÖNORM EN 15251	Maschinell geheizte und gekühlte Gebäude	Gebäude ohne maschinelle Kühlung
II	$\theta_i < 26 \text{ °C}$	$\theta_i < 0,33 \cdot \theta_m + 18,8 \pm 3$
III	$\theta_i < 27 \text{ °C}$	$\theta_i < 0,33 \cdot \theta_m + 18,8 \pm 4$

Legende: θ_i ... operative Temperatur, θ_m ... gleitender Mittelwert der Außentemperatur

Dieses Kriterium ist anhand einer thermischen Gebäudesimulation nachzuweisen. Zulässige Überschreitungszeit der Grenzwerte: 6 % der Nutzungszeit.

Komforttemperaturen nicht mehr konstant, sondern lehnen sich nach einem Algorithmus an den exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur an.

Tageslichtversorgung

Beim Verzicht auf eine abgehängte Decke kann bei gleichbleibender Geschoßhöhe die Sturzhöhe in der Fassade höher ausgeführt werden, was den Tageslichteintrag in den Raum erheblich verbessert. Wird zur Tageslichtoptimierung der Verzicht auf eine abgehängte Decke vorgeschrieben, so wird damit gleichzeitig auch der Einsatz von Speichermassen gefördert.

Mögliche Zielformulierung

In Büroräumen ist auf eine abgehängte Decke zu verzichten. Zur Optimierung der Tageslichtversorgung sind die transparenten Bereiche der Fassade (Fenster, Fixverglasung, Pfosten-Riegel-Konstruktion, etc.) ab der Deckenunterkante vorzusehen.

Raumakustik

Massive Flächen führen in der Regel zu einer Verstärkung der Schallreflexion und somit zu einer höheren Nachhallzeit. Die in Kapitel 3.3 beschriebenen Lösungen zeigen, dass auch in massiven Gebäuden Schallschutzmaßnahmen gesetzt werden können, ohne die thermische Speicherfähigkeit zu beeinträchtigen. Bei der Formulierung von raumakustischen Zielen ist dennoch darauf zu achten, dass die Speicherwirksamkeit nicht zugunsten der Raumakustik „geopfert“ wird.

Mögliche Zielformulierung

In Büroräumen sind raumakustische Maßnahmen zu setzen, so dass die Nachhallzeit im Raum zwischen 0,5 und 0,8 Sekunden liegt. Die Nachhallzeit nach ÖNORM B 8115 soll möglichst nahe der optimalen Nachhallzeit von $T_{Soll} = 0,35 \cdot \lg V - 0,17$ liegen.

Bei den akustischen Maßnahmen darf die thermische Speicherfähigkeit des Gebäudes nur in geringem Ausmaß beeinträchtigt werden.

Gebäudeautomation

Speicherwirksame Masse kann dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn im Kühlfall die aufgenommene Wärme effektiv wieder abgegeben werden kann. Das kann wie folgt geschehen:

- natürliche Abgabe in den Raum;
- Abgabe durch forcierte (freie oder mechanische) Nachtlüftung;
- Abgabe durch Bauteilaktivierung.

Mögliche Zielformulierung

Heizung, Kühlung und Lüftung (inkl. Nachtlüftung) muss über die Gebäudeautomation so gesteuert werden, dass die Wärme in der speicherwirksamen Masse der Büroräume täglich entnommen wird, so dass zu Beginn der Betriebszeit die Speichermasse erneut geladen werden kann.

Durch entsprechende Vorgaben in der Zielformulierung können die haustechnischen Konzepte frühzeitig mit den architektonischen Erfordernissen abgestimmt werden.

Bei der Bauteilaktivierung ist in der Detailplanung ein konkreter Vorschlag für die Regelung des Systems vorzulegen. Der Vorschlag hat zumindest Lösungen für die Wahl der Vorlauftemperatur, der zeitlichen Regelung, die Pumpensteuerung und der Zonierung der Bauteilaktivierung zu enthalten.

Nutzerbeeinflussbarkeit

Eingriffe der GebäudenutzerInnen auf die Innenraumtemperatur eines Raumes mit hoher speicherwirksamer Masse entfalten ihre Wirkung erheblich langsamer als bei leichten Innenausbauten. Dieser Charakteristik ist bei der Festlegung der Kriterien der NutzerInnenbeeinflussbarkeit Rechnung zu tragen: Entweder durch das Vorsehen von schnell reagierenden Zusatzsystemen, oder durch die Vorgabe, den Eingriff der NutzerInnen auf die anderen Parameter des Raumklimas (Lufterneuerung, Sonnenschutz, Tageslicht, Kunstlicht usw.) konsequent zu gewährleisten.

Mögliche Zielformulierung

Raumkonditionierung nur durch thermoaktive Systeme: Im Büroraum müssen der Sonnenschutz, der Blendschutz sowie die Steuerung für Tages- und Kunstlicht vom Nutzer direkt beeinflussbar sein. Die Fenster müssen durch den Nutzer jederzeit und einfach geöffnet werden können. Bei nicht zu öffnenden Fenstern muss der Nutzer auch die Lufterneuerungsrate der mechanischen Lüftung verändern können.

Raumkonditionierung durch thermoaktive Systeme mit Zusatzsystemen für eine rasche Konditionierung: Die Kriterien von Punkt 1 sind einzuhalten. Eine individuelle Steuerung der Raumtemperatur um +/- 1K muss ermöglicht werden.

5.2.4 Langlebigkeit

Nutzungsflexibilität

Die hohe Nutzungsflexibilität im Innenraum ist der Hauptgrund für den Einsatz von leichten Innenausbauten.

Wenn für das geplante Bauvorhaben die Flexibilität von Innenräumen nur ein untergeordnetes Kriterium ist, kann auch durch massive Zwischenwände wie beispielsweise aus Ziegel, Lehm oder Beton der Nutzen der Speicherfähigkeit erhöht werden. Bei hohen Anforderungen an die Nutzungsflexibilität sollte der Einsatz der in Kapitel 2 beschriebenen Lösungen empfohlen werden.

Mögliche Zielformulierung (Beispiel)

Der Einsatz von Speichermasse darf nicht zu Lasten der Nutzungsflexibilität erfolgen, noch darf aus Gründen der Nutzungsflexibilität auf die erforderliche wirksame Speichermasse verzichtet werden. So ist bei konsequenter Anordnung der Lüftung und anderer haustechnischer Systeme die Decke von Verkleidungen frei zu lassen, und nach Möglichkeit auch die nicht tragenden Flur- bzw. Bürotrennwände in Ziegel, Lehm oder Gips-Wandbauplatten auszuführen.

Materialieneinsatz

Massive Bauteile stellen die langlebigsten Teile im Gebäude dar. Die Hervorhebung der Langlebigkeit in den Ausschreibungsbedingungen kann daher ein zusätzlicher Impuls sein, massive Bauteile zu verwenden.

Mögliche Zielformulierung

Es sollen weitgehend langlebige Materialien verwendet werden, die im laufenden Gebäudebetrieb geringe Wartungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten aufweisen.

5.2.5 Optimierung der Kosten

Geschoßhöhe

Wird auf eine abgehängte Decke verzichtet, können in der Regel die Geschoßhöhen reduziert werden. Bei mehrgeschossigen Gebäuden besteht sogar die Möglichkeit, dadurch zusätzliche Geschosse vorzusehen, was die Flächeneffizienz und damit die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes wesentlich erhöht. Vorgaben, die aus Sicht der Flächeneffizienz den Verzicht auf abgehängte Decken fordern, setzen zugleich einen Anreiz, die thermischen Speichermassen wirksam einzusetzen.

Mögliche Zielformulierung

In Büroräumen ist auf eine abgehängte Decke zu verzichten. Eine lichte Raumhöhe von 3 m ist in allen Arbeitsräumen einzuhalten. Im Gangbereich kann auf eine lichte Raumhöhe von 2,6 m zugunsten einer abgehängten Decke zurückgegangen werden.

Lebenszykluskosten

Gebäude mit einer hohen speichwirksamen Masse verfügen tendenziell über einen niedrigeren Energieverbrauch und kommen in der Regel mit einem geringeren Anteil an haustechnischer Ausrüstung aus als solche mit geringer Speichermasse. Beides schlägt sich in den Investitions- und Folgekosten eines Gebäudes nieder. Haustechnische Anlagen stellen einen hohen Anteil der Folgekosten dar, die für Wartung, Instandsetzung und Erneuerung dieser Bestandteile notwendig sind.

Mögliche Zielformulierung

Architektonische Konzepte sowie bauliche Konstruktionen sind so zu optimieren, so dass der notwendige Anteil technischer Systeme im Gebäude auf ein unbedingt notwendiges Maß reduziert wird (Low-Tec-Gebäude), was dazu beiträgt, die Lebenszykluskosten zu minimieren.

Daraus lässt sich ableiten, dass eine Beschränkung oder Optimierung der Lebenszykluskosten ein weiteres Argument für Gebäude mit hoher Speichermasse ist.

Checkliste für die Initiierungsphase

Die Checkliste in der Initiierungsphase beinhaltet Fragestellungen, die im Rahmen der Bedarfsplanung für das Gebäude berücksichtigt werden sollen. Die genannten Anforderungen sind im Ermessen des Bedarfs für das konkrete Gebäude festzulegen.

1.1 Soll der Planung ein Nachhaltigkeitszertifikat zugrunde gelegt werden?

In Nachhaltigkeitszertifikaten wie beispielsweise Total Quality Building, DGNB, LEED oder BREEAM sind eine Vielzahl von Anforderungen an ein nachhaltiges und energiesparendes Gebäude enthalten und können somit viele mögliche Ziele eines Bauherrn abdecken.

1.2 Gibt es ein Integrales Planungsteam, das qualifiziert ist, die gesetzten Anforderungen in eine Gebäudelösung überzuführen?

Für die optimale Planung von nachhaltigen Gebäuden mit hoher Speichermasse ist ein multidisziplinäres Planungsteam erforderlich, das die notwendige vielfältige Expertise in sich vereint, und damit ermöglicht, die Planungen für die unterschiedlichen Gewerke (Architektur, Bauphysik, Raumakustik, Haustechnikplanung, Fassadenplanung, Facility Management u.a.) laufend miteinander abzustimmen.

- Ist eine Startbesprechung geplant, um den Prozess, die Ziele und Anforderungen vorzustellen, die Teammitglieder untereinander bekannt zu machen und die Zuständigkeiten zu klären?
- Ein Qualitätssicherungsplan mit Zielen, Meilensteinen und

Zuständigkeiten im Planungsteam ist auszuarbeiten.

- Der Bauherr soll (finanzielle) Anreize für das Planungsteam setzen, um die Optimierung des Gebäudes zu forcieren.

1.3 Ist das Mindestniveau der speicherwirksamen Masse in den Büroräumen festgelegt?

Durch Vorgaben der Höhe an speicherwirksamer Masse in Räumen wird ein bestimmtes Niveau eingefordert; es obliegt dem Planer, wo diese auch wirksam einzusetzen.

- Sind Prioritäten zur Anordnung dieser speicherwirksamen Masse vorgeben?
- Sind Bereiche ausgeschlossen, bei denen keine speicherwirksame Masse eingesetzt werden kann?

1.4 Sind Anforderungs- oder Zielwerte festgelegt, die das maximale Niveau für den Energieeinsatz im Gebäude beschreiben?

Hohe Anforderungen an den Energieeinsatz im Gebäude sind Grundvoraussetzungen für den optimalen Einsatz von Speichermasse und Bauteilaktivierung. Die Anforderungen können durch Energiebedarfskennwerte wie beispielsweise Heizwärmebedarf, Kühlbedarf, Endenergiebedarf oder Primärenergiebedarf festgelegt werden.

- Sind maximal zulässige Energiebedarfskennwerte und die Methode ihrer Überprüfung festgelegt worden?
- Sind maximal zulässige Werte für die spezifische Heiz- und Kühllast definiert?
- Optional: Ist ein Garantiemodell für den realen Energieeinsatz im Gebäudebetrieb geplant?

1.5 Sind Vorgaben für das Haustechnikkonzept festgelegt worden?

Bei Gebäuden mit hoher Speichermasse müssen die Anforderungen an die haustechnischen Lösungen gut vorgegeben werden. Beispielsweise können durch den Einbau einer Bauteilaktivierung gewerkeübergreifende Lösungen umgesetzt werden.

- Ist der Energieeinsatz für das Gebäude so begrenzt, dass ein energieeffizientes Haustechniksystem eingesetzt werden muss?
- Sind Haustechnikkonzepte mit niedrigem Energieeinsatz vorgegeben?
- Ist das Niveau der Vorlauftemperaturen für Heizung und Kühlung begrenzt?
- Ist das Haustechnikkonzept mit dem Konzept der Wärmeabführung aus der Speichermasse abgestimmt (Bauteilaktivierung, Nachtlüftung, etc.)?
- Gibt es Anforderungen an die Gebäudeautomation zur Wärmeabführung aus der Speichermasse (sofern keine natürliche Nachtlüftung vorgesehen ist)?

1.6 Sind die Komfortbedingungen im Gebäudebetrieb festgelegt?

Die Komfortbedingungen in Innenräumen sind im Detail zu spezifizieren, so dass die Rahmenbedingungen für die Planung geklärt sind. Bei hoher speicherwirksamer Masse ist ein besonderes Augenmerk auf den raumakustischen Komfort im Innenraum zu legen.

- Sind Kriterien für den thermischen Komfort im Winter und im Sommer festgelegt?
- Sind die Mindestanforderungen an die Innenraumklimabedingungen bestimmt worden?
- Ist der raumakustische Komfort für die jeweiligen Anforderungen im Innenraum definiert?

1.7 Ist die Art der Nutzerbeeinflussung auf das Innenraumklima festgelegt?

Hohe speicherwirksame Masse führt zu einem trägeren Innenraumklima, so dass gewünschte Komfortbedingungen nur zeitlich verschoben umgesetzt werden können. Um dies zu kompensieren, sind die anderen Einflussmöglichkeiten der NutzerInnen auf das Raumklima konsequent umzusetzen.

- Sind die direkte Beeinflussung des Sonnen- bzw. Blendschutzes sowie die Steuerung für Tages- und Kunstlicht vom Nutzer direkt möglich?

- Sind die Fenster von Hand öffnbar oder ist bei mechanischer Belüftung das Niveau der Zuluft steuerbar?
- Ist die Raumtemperatur geringfügig auch individuell veränderbar?
- Optional: Ist ein Zusatzsystem installiert, das für Heiz- oder Kühlzwecke eingesetzt werden kann und rasch für eine Änderung der Raumtemperatur sorgen kann?

1.8 Sind Ort und Umfang der gewünschten Nutzungsflexibilität im Innenraum festgelegt?

Übertriebene Anforderungen an die Nutzungsflexibilität schränken die Einsatzmöglichkeit von speicherwirksamer Masse ein. Eine genaue Abklärung, in welchen Bereichen eine hohe Nutzungsflexibilität erforderlich ist und in welchen nicht, erhöht die Möglichkeit des Einsatzes von Speichermasse, ohne die tatsächlich benötigte Flexibilität zu beeinträchtigen.

- Sind alle Büroräume so zu gestalten, dass rasch eine veränderte Nutzung vorgesehen werden kann (hohe Nutzungsflexibilität)?
- Können Flurtrennwände oder einzelne Trennwände massiv errichtet werden?

1.9 Sind Rahmenbedingungen für den Gebäudebetrieb festgelegt?

Die Nutzung des Gebäudes in der Betriebsphase soll bereits zu Beginn berücksichtigt werden. Facility Management-Experten für den Gebäudebetrieb sind bereits in der Bedarfsplanung einzubeziehen.

- Sind die Zuständigkeiten, der Leistungsumfang sowie das Vertragsverhältnis (intern, extern; Gesamtanbieter, Einzelleistungen) der Betriebsführung in der Nutzungsphase festgelegt worden?
- Sind die Vorgaben des Gebäudebetriebs (Schnittstellen, technische Ausrüstung, etc.) in der frühen Planungsphase bereits berücksichtigt worden?
- Sind die Vorgaben für das Energieverbrauchsmonitoring des Gebäudes berücksichtigt worden?

1.10 Ist ein Rahmen für die Lebenszykluskosten vorgesehen?

Hohe Speichermasse im Gebäude wirkt sich vorteilhaft auf die Lebenszykluskosten aus. Eine Beschränkung oder Optimierung von Lebenszykluskosten kann Lösungen mit hoher Speichermasse begünstigen.

→ Ergebnis: Die Anforderungen an das Gebäude sind im Bedarfsprogramm festgelegt worden

5.3 Entwurfsplanung

Schon ab der Abgabe des ersten Vorentwurfs ist zu überprüfen, ob dieser das Potenzial aufweist, die vorab definierten Ziele zu erreichen, da die wesentlichen Weichenstellungen für die späteren Gebäudeeigenschaften bereits hier erfolgen. Besonders Dimensionierung, Lage und Wirksamkeit der massiven Bauteile wird in dieser Planungsphase festgesetzt, und kann in späteren Planungsstadien nur noch schwer verändert werden.

Vor dem Hintergrund der stark gewerkeübergreifenden Herausforderungen sind relevante Fachplaner und Experten möglichst früh in die Planung einzubinden. Insbesondere die Bereiche Architektur, Haustechnikplanung, Bauphysik samt Raumakustik, Fassadenplanung, Facility Management und Tragwerksplanung sind schon in der Entwurfsphase miteinander abzustimmen. Werden im Vorentwurf keine Abstimmungen getroffen, so kann passieren, dass aufgrund fehlender Planungsspielräume bestimmte Systeme gar nicht mehr möglich sind. Gegebenenfalls sind Empfehlungen zur weiteren Überarbeitung zu definieren.

Zugleich ist besonders bei großen Projektentwicklungen zu empfehlen, eine Präqualifikation der Planer durchzuführen, um ihren Erfahrungshintergrund mit innovativen Lösungsmöglichkeiten in die Entscheidung der Planerauswahl einbeziehen zu können.

Checkliste für die Entwurfsphase

Die nachfolgenden Punkte sind im Rahmen der Entwurfsplanung einzuhalten, um ein optimiertes Gebäude mit hoher speicherwirksamer Masse sicherzustellen.

2.1 Eine gute Zusammenarbeit im Planungsteam ist sicherzustellen.

- Es sind Planungsworkshops einzuplanen, in denen auch Platz zur Diskussion zur Optimierung des Gebäudes eingeräumt ist.
- Die fachliche Interaktion zwischen dem Architekten und den Fachplanern ist sicherzustellen.
- Der Qualitätssicherungsplan ist laufend am aktuellen Stand zu halten.
- Dem Bauherrn ist eine gemeinsame Lösung des Planungsteams (also des Architekten und der Fachplaner) zu präsentieren.

2.2 Ganzheitliche Optimierung des Gebäudes

- Die technischen Anforderungen des Gebäudes sind im Rahmen einer dynamischen Gebäudesimulation zu optimieren.
- Das gesamte Planungsteam ist für die Lieferung der Eingangsparameter für die Gebäudesimulation verantwortlich; ein Mitglied des Planungsteams führt die Simulation durch.
- Die internen Wärmelasten durch Geräte und deren Anordnung sind zu optimieren.
- Die thermisch-energetischen Eigenschaften des Gebäudes und der Gebäudehülle sind in Abstimmung mit der Gebäudeform und dem Haustechnikkonzept zu optimieren.
- Die Tageslichtversorgung des Gebäudes ist in Abstimmung mit der Gebäude- und Fassadenform und der Beleuchtungsplanung zu optimieren.
- Die raumakustischen Vorgaben sind durch eine professionelle Akustikplanung zu prüfen und zu optimieren.
- Ein Konzept zur Entladung der Wärme aus den Speichermassen ist zu erstellen und zu optimieren.
- Bei Planung einer Nachtlüftung ist die Luftführung durch das Gebäude zu simulieren und optimieren.
- Im Rahmen der Optimierung sind Variantenuntersuchungen für das Gebäude- und Haustechnikkonzept durchzuführen.

2.3 Forcierung von hoher speicherwirksamer Masse im Raum

- Die raumabschließenden Flächen der Innenräume sind hinsichtlich des Einsatzes von massiver Speichermasse zu prüfen.
- Bei einer massiven raumabschließenden Decke ist ein direkter Kontakt mit der Innenraumluft sicherzustellen.
- Die Anordnung von speicherwirksamer Masse im Innenraum ist in Abstimmung mit Maßnahmen zur Optimierung der Raumakustik zu optimieren.
- Die Fassade ist hinsichtlich der Integration eines massiven Parapetes zu prüfen. Der Parapetbereich im Innenraum ist ohne Abdeckung zu gestalten.
- Die Büro- und Flurtrennwände sind unter Berücksichtigung der Anforderung an die Nutzungsflexibilität hinsichtlich einer massiven Ausführung zu prüfen.
- Die massive Ausführung des Fußbodens durch einen schwimmenden Estrich oder einen Hohlraumboden mit Fließestrich ist zu prüfen. Der Fußbodenbelag soll dabei möglichst geringe

Wärmedämmeigenschaften aufweisen. Eine Abstimmung mit der Raumakustikplanung ist erforderlich.

- Der Einsatz von Phase-Change-Materials (PCM) in den raumabschließenden Flächen ist zu prüfen.
- Lösungen im Bereich der Haustechnik, die eine hohe Speichermasse begünstigen, sind in der Variantenuntersuchung zu berücksichtigen.

2.4 Prüfung der Einhaltung der Anforderungen im Bedarfsprogramms

- Die Einhaltung der Kennwerte und Anforderungen des Bedarfsprogramms sind zu prüfen (Nachhaltigkeitszertifikat, Energieeinsatz, Haustechnikkonzept, Nutzungskomfort, Raumakustik, Lebenszykluskosten, ...).
- Bei Abweichungen von den Anforderungen sind Maßnahmen zu setzen, so dass die Anforderungen eingehalten werden. Die Maßnahmen sind im Rahmen der Optimierung des Gebäudes zu prüfen.

→ **Ergebnisse: Die Systementscheidungen des Gebäude- und Haustechnikkonzeptes sind – nach Untersuchung mehrerer Varianten und Optimierung des Entwurfes – festgelegt worden.**

5.4 Detailplanung

Im weiteren Planungsverlauf ist kontinuierlich zu überprüfen, ob die im Bedarfsplan festgelegten Ziele weiterhin erfüllt werden. Auf Basis der erfolgten Systementscheidungen für das Gebäude sind nun die einzelnen Gebäudeelemente und Komponenten zu optimieren. Die Abstimmung der einzelnen FachplanerInnen muss hier sehr intensiv erfolgen. Persönliche Ideen, Interessen und Lösungen einzelner PlanerInnen müssen der optimalen Lösung zwischen Funktionalität, Wirtschaftlichkeit und Ästhetik Platz geben.

Kontinuierliche Planungssitzungen mit allen relevanten Experten sind hier zu empfehlen, um Fehlentscheidungen möglichst rasch erkennen und korrigieren zu können. Unter Umständen ist ein unabhängiger, in der Planung nicht involvierter Moderator sinnvoll, um allen wichtigen Aspekten unparteiisch und gleichwertig Gewicht zu geben. Ein unabhängiger, der Bauherrschaft zugeteilter Moderator ist besonders bei komplexeren Bauvorhaben hilfreich, um im Sinne der Bauherrschaft den Planungsprozess so zu steuern, dass das sie ihr gewünschtes Ergebnis erfüllt bekommt – auch wenn einzelne PlanerInnen im Planungsteam andere Ergebnisse favorisieren.

5.5 Ausführungsphase

Die Praxis zeigt, dass auch bei der besten Planung oft nicht alles genau so umgesetzt wird wie es ursprünglich vorgesehen war. Ändern sich die Verantwortlichen, werden oft, z. B. aus Kostengründen, andere Materialien oder Ausführungsvarianten gewählt. Um die Auswirkungen solcher Änderungen auf die Qualität des Gebäudes gering zu halten, ist die Einrichtung einer unabhängigen, der Bauherrschaft zugeteilten Kontrollinstanz anzuraten.

Auch wenn das Gebäude ohne Abweichungen vom Plan errichtet wird, muss auf eine präzise Ausführung geachtet werden. Besonders bei Schalungen für Sichtbeton, sichtbar verlegten Leitungen oder bei einbetonierten Leitungen sind Genauigkeit und Ästhetik essentiell, da Fehler hier ein fast unmöglich zu korrigierender Mangel sind. Bei Bauunternehmen, die innovative Technologien noch wenig umgesetzt haben, ist eine erhöhte Bauaufsicht zu empfehlen.

6 Beispielgebäude

6.1 SOL4 Büro- und Seminarzentrum, Mödling

Das SOL4 Bürogebäude in Mödling verfügt über eine Nutzfläche von ca. 2.200 m² und stellt Mietflächen für Büronutzung für Klein- und Kleinstbetriebe zur Verfügung. Das Gebäude ist im Passivhausstandard nach dem Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) geplant und errichtet worden.

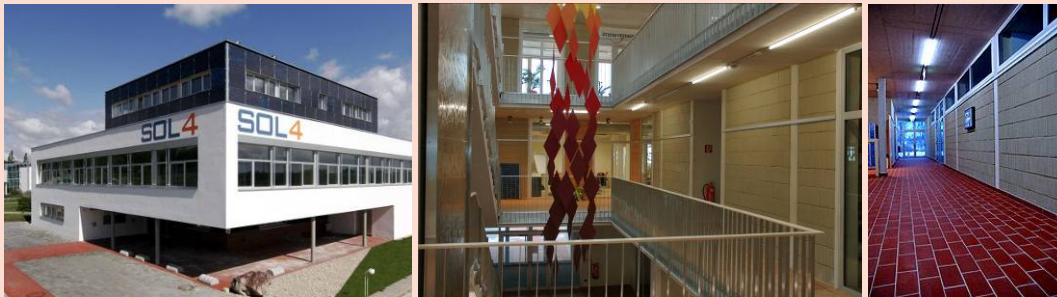


Abbildung 45: SOL4 Bürogebäude (Bauträger: SOLAR 4 YOU Consulting Ges.m.b.H., Fotos: sol4.info, Verband Österreichischer Ziegelwerke)

Architektonisches Konzept

SOL4 stellt die Verbindung von Arbeit und Erholung in einem ökologisch errichteten Passivhaus mit einem nachhaltigen Gebäudekonzept dar.

Das Bürogebäude verfügt über vier Geschosse und ist in Ziegelbauweise errichtet worden. Dabei sind auf einen zweigeschossigen kubischen Baukörper zwei zurückspringende Dachgeschosse aufgesetzt. Im Zentrum des Gebäudes liegt ein Atrium, das auch als Erschließungsbereich für die Büroräume dient.

Energiekonzept

Die Haustechnik sieht entsprechend dem Passivhausstandard eine Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung vor. Die Erzeugung des Restwärmebedarfs erfolgt über eine Wärmepumpe mit Erdsonden. Die Warmwasserbereitung erfolgt teils über die thermische Solaranlage und teils über die Wärmepumpe über einen Warmwasserspeicher. Zur Produktion von elektrischem Strom sind in der Fassade Photovoltaikmodule integriert.

Integrierte Nutzung von Speichermassen

Das Bürogebäude SOL4 nutzt gezielt die hohe Speichermasse des Gebäudes. Der Rohbau wurde in Ziegelbauweise aus neuen, speicheroptimierten Ziegeln mit 20 cm Wandstärke errichtet, die Zwischendecken aus Stahlbeton gefertigt. Die transparenten Fassadenflächen sind moderat, so dass in den Büroräumen eine hohe Speichermasse wirksam werden kann. Ein sehr effektiver außen liegender Sonnenschutz reduziert die Solareinträge von außen, so dass die Speichermasse vorwiegend die internen Wärmelasten aufzunehmen hat. Gleichzeitig ermöglicht der flexible Sonnenschutz, im Winter die Solarstrahlung ins Gebäude zu lassen, so dass die Speichermasse erwärmt wird und auch den Heizwärmebedarf senkt.

Auch das Atrium wird als Wärmespeicher genutzt: Für die Wände des Atriums sind Lehmziegel sichtbar – also ohne Innenputz – eingesetzt worden. Als Fußbodenbelag ist ein keramischer Belag

gewählt worden, der auch über hohe Speicherfähigkeit verfügt. Die Wärme kann im Sommer über eine Schwerkraftlüftung mit Zu- und Abluftklappen ins Freie gebracht werden.

Das Gebäude wurde im Passivhausstandard errichtet. Die Konditionierung des Gebäudes erfolgt zum einen über die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, zum anderen über ein System der Bauteilaktivierung. Diese wird im Winter über die Grundwasser-Wärmepumpe gespeist, im Sommer vorwiegend über Free Cooling aus der Erdwärmesonde.

Ergebnisse:

- Heizwärmebedarf: 9,56 kWh/m²a (bezogen auf die m² beheizte BGF und Jahr, PHPP)
- Heizlast: 33 kW, das entspricht 15 W/m²
- Fassadenintegrierte Photovoltaikanlage: 30 kW_{peak}

6.2 Firmenzentrale Trepka GmbH, Obergrafendorf

Die neue Firmenzentrale der Trepka GmbH wurde 2008 fertiggestellt und als innovatives Bürohaus für 45 Mitarbeiter konzipiert. Das beim NÖ Baupreis 2008 prämierte Bauvorhaben stellt ein Vorzeigeprojekt hinsichtlich Einsatz von vorgefertigten, massiven Betonelementen dar.



Abbildung 46: Die Firmenzentrale der Trepka GmbH in Obergrafendorf (Planung: Bauatelier Schmelz & Partner, Fotos: Fa. Trepka GmbH)

Architektonisches Konzept

Das dreistöckige Gebäude baut auf einen u-förmigen Grundriss auf, der ein nach Süd-West geöffnetes Atrium umschließt. Das Zentrum bildet eine zur Mittagssonne orientierte Halle, die die passive Sonnenenergie optimal einfängt und einen zentralen Kommunikationspunkt schafft. Die komplette Konstruktion besteht überwiegend aus Stahlbeton-Fertigteilen. Großzügig verglaste Innenwände ermöglichen ein offenes und transparentes Arbeiten.

Energiekonzept

Für das Bürohaus wurde ein Energiekonzept verwirklicht, bei dem die gesamte Heiz- und Kühlenergie über ein Grundwasserbrunnen aus dem Grundwasser gewonnen wird. Nach dem Wärmeaustausch wird das Brunnenwasser über einen Schluckbrunnen wieder dem Grundwasser zugeführt. In Verbindung mit einer Bauteilaktivierung in den Stahlbetonfertigteilen, einer Wasser-Wasser Wärmepumpe und einer kontrollierten Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung wurde ein behagliches Raumklima geschaffen. Der Temperatureausgleich im Winter und im Sommer erfolgt über

aktivierte Stahlbeton-Decken (in Sonderanfertigung mit gerippter Untersicht), sowie über Strahlungsflächen in den Fensterparapeten.

Integrierte Nutzung von Speichermassen

Das Selbstverständnis, den Baustoff Beton zu nutzen, ist allein schon durch den Tätigkeitsbereich des Unternehmens Trepka, der Herstellung von Betonfertigteilen, gegeben. Die Anforderung war jedoch, dieses Material mit all seinen technischen und architektonischen Möglichkeiten zukunftsorientiert zu nutzen. Unter dem Schlagwort Bauteilaktivierung wird Beton mit seiner hohen Dichte als Wärmespeicher genutzt und das Gebäude über Heizregister in den Fertigteilelementen beheizt und gekühlt. Dafür wurden die Parapetwände (Betonsandwichwände) und die Betondecken aktiviert.

Die Wärmedämmung ist in den Sandwichplatten, welche die Außenhülle des Bürogebäudes bilden, integriert. Die Fassadenseite der Betonelemente ist 2-fach abgesäuert und hydrophobiert, wodurch sie optimal vor Verschmutzung und Regen geschützt ist.

Bei der Innenraumgestaltung bietet Beton ebenso unzählige Möglichkeiten, wie zum Beispiel als Empfangspult oder als Trinkwasserbrunnen, in verschiedenen Formen, Farben und Oberflächen.

Ergebnisse:

- Heizwärmebedarf: 20 kWh/m²a
- Anteil der Fertigteilelemente am Gesamtgebäude: 74 %
- Länge der Schläuche zur Bauteilaktivierung: 11.900 lfm

6.3 ENERGYbase, Wien

Mit 7.500m² Nutzfläche steht im Wiener 21. Bezirk, in unmittelbarer Nähe zum TECHbase Vienna das Passivhaus-Bürogebäude ENERGYbase für Unternehmen, sowie Forschungs- und Bildungseinrichtungen aus dem Bereich der Erneuerbaren Energien.



Abbildung 47: ENERGYbase in Wien. (Architektur: pos architekten; Fotos: Hertha Hurnaus)

Architektonisches Konzept

Basis des ENERGYbase ist ein energieeffizientes und solares Architekturkonzept. Die Summe der Maßnahmen beginnt beim großen Volumen (30 000 m³ umbauter Raum), und setzt sich fort über die kompakte Oberfläche und die konsequente solare Orientierung. Auch zahlreichen weiteren Parametern, die den Heiz- und Kühlbedarf verringern, wurde hohe Beachtung geschenkt, wie z. B. der Qualität der thermischen Gebäudehülle, der Vermeidung von ungewollten Infiltrationen, der Qualität der Gläser und der Verschattung, dem ausreichenden Anteil an offenbaren Fenstern zur Querlüftung,

der Dimensionierung der Lüftung nach hygienischem Bedarf, und der ausreichenden Speichermasse. So konnte ein Gebäude entworfen werden, das schon prinzipiell einen geringen Heiz- und Kühlenergiebedarf aufweist.

Energiekonzept

Um den Primärenergiebedarf so gering wie möglich zu halten, setzt man im ENERGYbase voll auf den Einsatz erneuerbarer Energieträger. Als primäre Energiequelle dient auch hier Grundwasser, welches mittels Grundwasserbrunnen zur Heizung mit Wärmepumpen und zur Kühlung mit Free-Cooling über die Bauteilaktivierung genutzt wird.

Solarenergie wird über die südseitige Solarfassade in dreifacher Weise aktiv genutzt: Zur solargestützten Frischluftkühlung im Sommer, zur Heizungsunterstützung im Winter und ganzjährig zur Stromproduktion mittels Photovoltaik. Zu diesem Zweck wurde die Fassade mit 400 m² Photovoltaik-Modulen und 300 m² solarthermischen Kollektoren bestückt. Die spezielle Faltung der Südfassade ermöglicht einerseits hohe Energieerträge in den solar aktiven Komponenten und schafft andererseits einen baulichen Sonnenschutz für die dahinter liegenden Bürobereiche.

Integrierte Nutzung von Speichermassen

Im ENERGYbase werden die Speichermassen passiv als Energiespeicher und aktiv im Rahmen einer Bauteilaktivierung eingesetzt. Die Büroräume sind zum Großteil ohne abgehängte Decke ausgeführt, auch der Fußboden ist vorwiegend massiv errichtet, mit Kabeltrassees zur Arbeitsplatzversorgung. Der Gebäudebereich in Richtung Süden ist in einem offenen Bürokonzept vorgesehen, der mit massiven Wänden zu Büros und zum Gebäudekern abschließt. Die Strukturierung der Fassade im Süden vermeidet einen hohen solaren Wärmeeintrag im Sommer, in den restlichen Fassadenflächen ist ein moderater Fensterflächenanteil umgesetzt worden.

Die Bauteilaktivierung wurde in vier Zonen (Nordbüro Ost/West, Südbereich Ost/West) unterteilt, um den Einfluss der Orientierung regeltechnisch ausgleichen zu können. Für die Heiz-/ und Kühlgrenze wird der Mittelwert der Außentemperatur über einen einstellbaren Zeitraum angenommen. Die Be- bzw. die Entladung der Bauteilaktivierung erfolgt grundsätzlich morgens zwischen 4:00 und 8:00. Je nach Bedarf wird zusätzlich tagsüber in einzelnen Zonen nachgeheizt/-gekühlt. Weiters wird über eine einstellbare Zeitspanne der Raumlufttemperatur-Mittelwert gebildet und mit einem Heizsollwert verglichen. Im Falle einer Abweichung kann über eine einstellbare Kennlinie der BTA-Kerntemperatur-Sollwert in beide Richtungen verschoben werden.

Ergebnisse:

- Heizenergiebedarf: ca. 11 kWh/m²a
- Kühlenergiebedarf: < 15 kWh/m²a
- Endenergiebedarf: 25 kWh/m²a
- Gebäudekosten: ca. 15 Mio. Euro

6.4 tamedia Verlagsgebäude, Zürich, Schweiz

Das Verlagsgebäude der tamedia AG wurde 2001 am Sihlufer in Zürich errichtet. Auf einer Nutzfläche von 8.465 m² beherbergt es Redaktionen und die Druckvorstufe von Tageszeitungen und Magazinen der tamedia, welche zu den drei größten Mediengruppen der Schweiz gehört.



Abbildung 48: Das Verlagsgebäude der tamedia AG in Zürich. (Architektur und Fotos: Atelier WW, Zürich)

Architektonisches Konzept

Das zentrale gestalterische Motiv des Mediengebäudes ist „Transparenz“. Es sollte Einblicke, Ausblicke und Durchblicke, zugleich aber einen hohen Arbeitskomfort mit minimalem Energieverbrauch ermöglichen. Neben der voll verglasten Fassade mit 3 x 3 m großen Fassadenelementen verbindet auch innen eine gläserne Stiegenhaushalle sechs der neun Geschosse. Die Verschattung der Glaspaneele mit eigens entwickelten Lamellenstoren aus siebdruckbedrucktem Glas ist ein wichtiger Bestandteil des architektonischen Konzepts.

Energiekonzept

Heizung und Kühlung des Bürogebäudes erfolgt über Bauteilaktivierung. Die Serverräume und die energieintensive Druckvorstufe werden zusätzlich durch Fan-Coils bzw. Kühldecken gekühlt. Zur Vermeidung von Kaltluftabfall ist an den inneren Fassadenoberflächen ein umlaufender Heizkonvektor in den Fußboden eingelassen.

Die Heizenergie wird mit einer Niedertemperatur-Wärmepumpe aus dem Grundwasser gewonnen. Spitzenbedarf kann durch die Heizungsanlage des benachbarten alten Verlagsgebäudes gedeckt werden. Zwei Drittel des jährlichen Kühlbedarfs werden durch Free Cooling über einen Trockenkühlturm auf dem Dach gedeckt. Ein Drittel wird von der bestehenden Kältemaschine im Nachbargebäude mitgetragen.

Integrierte Nutzung von Speichermassen

Als Gegengewicht zur vollflächigen Verglasung sind die massiven Zwischendecken sowohl decken- als auch bodenseitig frei gelassen worden. Dabei ist die Haustechnik weiterhin in der Decke belassen worden. Die Zuluftkanäle, Verteiler und Anschlüsse für Sprinkler sowie die Bauteilaktivierung wurden in die 40 cm starken Betondecken eingebaut.

Die Arbeitsplätze werden durch Stehleuchten beleuchtet, die mit Bewegungsmeldern und Helligkeitssensoren ausgestattet sind. Die elektrischen Leitungen sind im Fußboden verlegt: Im 6 cm hohen Estrichbelag sind 45 cm breite Kabeltrassees ausgespart.

80 % der Heiz- und Kühllast wird von der Bauteilaktivierung getragen. Die wassergeführte Bauteilaktivierung besteht aus 16 mm starken Metall-Kunststoff-Verbundrohren, die im Abstand von 9 und 30 cm von der Deckenoberkante verlegt worden sind. Bei der Bauteilaktivierung werden die

Deckoberflächen konstant zwischen 20 und 21 °C gehalten; dafür reichen Vorlauftemperaturen von 25 °C im Heiz- und 18 °C im Kühlbetrieb.

Rund 70 % der Deckenflächen sind mit Akustikplatten belegt, die thermisch leitend direkt auf die Betonplatten aufgebracht wurden. Der Schallabsorber aus Mineralwolle liegt in einem Aluminiumkasten, der mit einem wärmeleitenden Mörtel nicht nur physisch, sondern auch thermisch an die Decke gekoppelt wurde. Dadurch werden die Nachhallzeiten in den Büroräumen reduziert, ohne die Wirkung der thermoaktiven Decken wesentlich zu reduzieren. Messungen zufolge reduzieren die Akustikplatten den Wärmeübergang um lediglich 14 % im stationären und nur um 7 % im dynamischen Betrieb beim Wechsel von Ladung über den Tag und Entladung in der Nacht (Humm, 2001).

Ergebnisse:

- Die Temperatur an den Büroarbeitsplätzen pendelt ganzjährig zwischen 22 und 26 °C. In Hitzeperioden darf sie für 50 Stunden pro Jahr auf über 27°C und nur für 3 Stunden pro Jahr auf über 28°C steigen.
- Gemessener Endenergieverbrauch (inkl. Strom für die Wärmepumpe und alle elektrischen Geräte): 64 kWh/m²a
- Gebäudekosten: ca. 21 Mio. Euro, davon Haustechnik 4,5 Mio. Euro

7 Literaturverzeichnis

- BINE Informationsdienst (2003). Themeninfo I/2003. Passive Kühlung mit Nachtlüftung. Bonn, FIZ Karlsruhe GmbH.
- Bischof, W., Hellwig, R. T. & Brasche, S. (2007). Thermischer Komfort - die extraphysikalischen Aspekte. Bauphysik 29 (3), 208-212.
- buero-forum (2008). Raumakustik. Akustische Bedingungen am Arbeitsplatz effektiv gestalten. Wiesbaden, Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel.
- Bux, Kersten (2006): Klima am Arbeitsplatz. Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfsanalyse für weitere Forschungen. Dortmund/Berlin/Dresden, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- DEGI Deutsche Gesellschaft für Immobilienforschung, Research & Consulting. Neue Perspektiven, Marktreport 2004. Frankfurt.
- European Concrete Platform (2007): Concrete for energy-efficient buildings. The benefit of thermal mass. Brussels.
- Fanger, P. O. (1970). Thermal Comfort. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Frank, W. (1975). Raumklima und thermische Behaglichkeit. Berichte aus der Bauforschung, Heft 104.
- Hausladen, G, de Saldanha, M. Liedl, P. & Sager, C. (Hrsg., 2005). ClimaDesign: Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik auskommen können. München, Callwey.
- Humm, O. (2001). Hochgerüstete Haustechnik. Ein Glashaus der TA-Media in Zürich beitet den aktuellen Stand der Technik. tec21, 22/2001, 7-18.
- Hildebrand, D. (2006): Betonkühlung mit Zukunft. Besser konditionieren mit weniger Energie. Kiefer Luft- und Klimatechnik. Präsentation im Rahmen des KING Workshops am 9. Mai 2006 in Wien
- Kolleger, J., Burtscher, S. L., & Kainz, A. (2006). Decke für Installationen. Wien, Technische Universität Wien, Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau.
- Oesterle, E., Möhle, P. (2001): Träge und doch aktiv. Heizen und Kühlen mit Betonbauteilen. Deutsche Bauzeitung, Ausgabe 4/2001. S. 120 – 127.
- ÖNORM B 8110-3 (1999-12-01). Wärmeschutz im Hochbau, Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. Wien, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 8110-5 (2007-08-01). Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. Wien, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 8110-6 (2007-08-01). Wärmeschutz im Hochbau. Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Wien, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 8115-1 (2002-02-01). Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Begriffe und Einheiten. Wien, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 8115-3 (2005-11-01). Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Raumakustik. Wien, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 12354-6 (2004-06-01). Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Schallabsorption in Räumen. Wien, Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 13791 (2007-08-01). Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen. Wien, Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 15251 (2007-09-01). Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Wien, Österreichisches Normungsinstitut.

ON-V 31 (2001-12-01). Bauwesen 1 - Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen. Wien, Österreichisches Normungsinstitut. Pol, O., Preisler, A., Haslinger, G. & Kast, H.-J. (2008). City Cooling Intelligente Fernkälteversorgung Wien: Konzeptentwicklung für eine intelligente Fernkälteübergabe und alternative Rückkühlung von zentralen Groß-Absorptionskälteanlagen am Fallbeispiel des Wiener Stadtteils TownTown. Endbericht im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft. Wien: arsenal research.

Preziosi, P., Czernichow, S., Gehanno, P., & Hercberg, S. (2004). Workplace air-conditioning and health services attendance among French middle-aged women: a prospective cohort study. *International Journal of Epidemiology* 33, 1120-1123.

Riccabona, C. & Bednar, T. (2008): Baukonstruktionslehre 4, Bauphysik. Wien, Manz.

Voss K. et al. (2007). Bürogebäude mit Zukunft. 2. Überarbeitete Auflage. Berlin, Solarpraxis.