

Nachhaltigkeit massiv

AP7

Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau

Endbericht



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

Endbericht

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.....	5
1.1	Darstellung des behandelten Problems	5
1.2	Ziel des Arbeitspakets.....	6
1.3	Struktureller Aufbau des Berichts	6
2	Zusammenfassung der Projektergebnisse	7
2.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	7
2.2	Ergebnisse für die Integration in das Gebäudebewertungssystem.....	9
2.3	Ergebnisse für die Bauwirtschaft	10
3	Hintergrund	11
3.1	Nutzungsflexibilität im modernen Bürobau	11
3.2	Massive Speichermasse im Bürobau.....	13
3.3	Nutzungsflexibilität und Speichermasse verbinden	15
3.4	Anwendung des Leitfadens.....	16
3.5	Danksagung.....	17
4	Berechnung der wirksamen Speichermasse	19
4.1	Physikalische Eigenschaften	19
4.2	Nachweis zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung.....	21
4.3	Berechnung des Tagesgangs der operativen Raumtemperatur	24
4.4	Energieausweis.....	26
4.5	Thermische Behaglichkeit.....	30
4.6	Raumakustik	32
	4.6.1 Schall und Schallfrequenz.....	32
	4.6.2 Schallabsorption.....	33
	4.6.3 Nachhallzeit.....	35
	4.6.4 Mittlerer Absorptionsgrad	36
5	Wirksame Speichermasse in Bürogebäuden	39
5.1	Wirksame Speichermasse in der Decke	43
	5.1.1 Erhöhung der Speicherfähigkeit durch Strukturierung der Decke	45
	5.1.2 Decke aus Ziegelsteinen	47

5.1.3	Decke für Installationen.....	47
5.1.4	Fertigteildecken mit Lüftung über Hohlkammern	49
5.2	Wirksame Speichermasse im Boden	49
5.2.1	Geeignete Bodenbeläge	50
5.2.2	Geeigneter Fußbodenaufbau	50
5.3	Wirksame Speichermasse in der Außenwand	51
5.4	Wirksame Speichermasse in Zwischenwänden.....	52
5.4.1	Massive Flurtennwände	52
5.4.2	Zwischenwände aus Gips-Wandbauplatten.....	53
5.5	Wirksame Speichermasse im Gebäudekern.....	54
5.6	Einsatz von latenten Wärmespeichern	56
5.6.1	Phase Change Materials (PCM)	56
5.6.2	Speicherwirksame Masse durch PCM in Innenwänden.....	57
5.6.3	Transluzente Außenwand mit integrierten PCM-Modulen zur Wärmespeicherung	57
5.7	Zusätzliche gestalterische Elemente zur Speicherung von Wärme.....	58
6	Unterstützende Lösungen für hohe Speichermasse	60
6.1	Unterstützende Lösungen für Raumkonditionierung.....	61
6.1.1	Maßnahmen im Bereich der Decke.....	62
6.1.2	Maßnahmen im Bereich der Zwischenwand	65
6.1.3	Maßnahmen im Bereich der Außenwand.....	65
6.1.4	Maßnahmen im Bereich des Bodens	67
6.2	Unterstützende Lösungen für Beleuchtung.....	68
6.3	Unterstützende Lösungen in der Raumakustik.....	69
6.3.1	Maßnahmen im Bereich der Decke.....	70
6.3.2	Maßnahmen im Bereich der Wände	74
6.3.3	Maßnahmen im Bereich des Bodens	76
6.4	Lösungen für Sprinkleranlagen	77
7	Wärmeabführung aus den speicherwirksamen Massen	78
7.1	Abkühlung der Gebäudemasse durch Nachtlüftung	78
7.2	Bauteilaktivierung.....	80
7.2.1	Beschreibung	80
7.2.2	Luftgeführte Bauteilaktivierung.....	86
8	Hilfestellung im Planungsprozess	88

8.1	Allgemeine Vorbemerkungen.....	88
8.1.1	Integrale Planung.....	88
8.1.2	Gebäudesimulation.....	90
8.2	Initiierungsphase.....	91
8.2.1	Hohe speicherwirksame Masse.....	92
8.2.2	Reduktion des Energieeinsatzes in der Gebäudenutzung.....	93
8.2.3	Hoher Nutzungskomfort.....	94
8.2.4	Langlebigkeit.....	98
8.2.5	Optimierung der Kosten.....	99
8.3	Entwurfsplanung.....	102
8.4	Detailplanung.....	104
8.5	Ausführungsphase.....	104
9	Beispielgebäude.....	106
9.1	SOL4 Büro- und Seminarzentrum, Mödling.....	106
9.2	Firmenzentrale Trepka GmbH, Obergrafendorf.....	108
9.3	ENERGYBase, Wien.....	110
9.4	tamedia Verlagsgebäude, Zürich, Schweiz.....	112
10	Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	114
11	Ausblick und Empfehlungen.....	116
12	Verzeichnisse.....	119
12.1	Literaturverzeichnis.....	119
12.2	Weiterführende Literatur.....	120
12.3	Abbildungsverzeichnis.....	121
12.4	Tabellenverzeichnis.....	126

1 Einleitung

1.1 Darstellung des behandelten Problems

Bürogebäude mit klassischen auf einen bestimmten Arbeitsplatz bezogenen Tätigkeitsprofilen sind im stetigen Rückzug. In heutigen Betrieben spielt die Abarbeitung in wiederkehrenden Vorgängen nur mehr 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. Moderne Arbeitsstätten müssen diesen Anforderungen durch unterschiedliche und nutzungsflexible Bürokonzepte Rechnung tragen.

Der hohe Stellenwert der Nutzungsflexibilität ist in Abbildung 1 dargestellt. Hier stellen die Gestaltungsaspekte Flächeneffizienz und Flexibilität der Arbeitswelt die wichtigsten Elemente von innovativen Bürokonzepten dar. Der Aspekt „Flexibilisierung der Arbeitswelt“ weist die höchsten Zuwachsraten auf.

Eine einseitige Konzentration an 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 die Temperaturschwankungen aufgrund von Sonneneinstrahlung und internen Wärmequellen ausgeglichen werden. Das Fehlen eben dieser Speichermasse hat zur Folge, dass sich die Innenräume im Sommer bis weit über die Behaglichkeitsgrenze aufheizen.

Der Innenausbau von Büroräumlichkeiten soll zum einen möglichst flexibel gestaltet sein, so dass mit geringem Aufwand eine Umstrukturierung der Bürolandschaft realisierbar ist. Zum anderen steigert eine hohe Behaglichkeit mittelfristig die Produktivität der Nutzerinnen und Nutzer von Büroräumen. Diese Behaglichkeit soll zudem mit möglichst geringem Energieeinsatz und einem geringen Betriebsaufwand für Wartung und Instandsetzung der Haustechniksysteme gewährleistet werden. In Zuge dessen fallen für das Bürogebäude niedrige Energie- und Betriebskosten an.

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. Diese aber schränken die Flexibilität des Gebäudes für einen Umbau und verschiedenen Nutzungen stark ein.

1.2 Ziel des Arbeitspakets

Das Ziel der vorliegenden Studie ist, Lösungen für diese gegensätzlichen Anforderungen an den Innenausbau zu finden. Dabei soll weder die Anforderung an hohe Nutzungsflexibilität noch jene an die 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.

Die Lösungsmöglichkeiten sind unterschiedlich gegliedert: zum einen sind Lösungen dargestellt, die einen hohen Speichermasseanteil in Büroräumen verwirklichen, zum anderen unterstützende Lösungen im Bereich der Haustechnik und der Raumakustik, die das Freilegen von massiven Gebäudeelementen, insbesondere der Decke, ermöglichen. Darüber hinaus werden auch Möglichkeiten beschrieben, die in den Bauteilen gespeicherte Wärme wieder abzuführen.

Die angeführten Lösungen sollen verstärkt im Planungsprozess eingesetzt werden, um Gebäude mit viel Speichermasse bei optimalem Nutzungskomfort realisieren zu können. Aus diesem Grund sind in der Studie Hilfsmittel für die Planungsphase enthalten. Dazu zählen mögliche Zielkriterien, die als Anforderungen an das Gebäude in die Ausschreibung integriert werden können. Zusätzlich ist eine Checkliste für die frühen Planungsphasen Initiierung und Vorentwurf enthalten, um dort die wichtigsten Fragestellungen zu vergegenwärtigen. Beispielgebäude veranschaulichen bereits realisierte Objekte mit hoher Speichermasse.

1.3 Struktureller Aufbau des Berichts

Der Bericht liefert einen Überblick über die Ergebnisse des Arbeitspaketes in folgenden Bereichen: Berechnungen zur speicherwirksamen Masse, Lösungsmöglichkeiten mit hoher wirksamer Speichermasse und ihre Herausforderungen bei einem flexiblen Innenausbau, unterstützende haustechnische Lösungen für diese Herausforderungen, Wärmeabführung aus der speicherwirksamen Masse, Hilfestellung im Planungsprozess und Beispielgebäude.

2 Zusammenfassung der Projektergebnisse

2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, trotz hoher Anforderungen an die Nutzungsflexibilität Gebäude mit hoher speicherwirksamer Masse zu realisieren. Das größte Potential liegt in der Nutzung der massiven Decke. Durch das Freilegen der Decke ist bereits ein hohes Niveau an Speichermasse gewährleistet. Dieses Niveau kann beispielsweise durch Strukturierung der Decke noch erhöht werden.

Auch in anderen raumabschließenden Flächen gibt es Möglichkeiten, Speichermasse zu integrieren, ohne die Nutzungsflexibilität zu beeinträchtigen. Einzelne Zwischenwände, die auch bei Nutzungsänderungen nicht voraussichtlich nicht verschoben werden müssen, können entweder massiv aus Stahlbeton oder Ziegel errichtet werden. Für die anderen Zwischenwände existieren vorgefertigte Vollgips-Wandbaublatten, die verhältnismäßig leicht wieder entfernbar sind, aber auch Gipskartonplatten mit integrierten latenten Wärmespeichern (Phase Change Materials, PCM), die auch bei leichten Bauteilen eine hohe speicherwirksame Masse ermöglichen. In der Außenwand ist der Einsatz massiver Parapete möglich. Im Boden kann ein massiver Estrich für mehr Speichermasse sorgen. Bei offenen Büroflächen können schließlich auch die massiven Bauteile des Gebäudekerns nutzbar gemacht werden. Für die Komfortwirkung entscheidend ist aber nicht nur die spezifische speicherwirksame Masse, sondern auch die Oberfläche der Bauteile: So sind Decke und Boden für die Wärmespeicherung am geeignetsten, gefolgt von Zwischenwänden und der Außenwand, falls die Fensterflächen überhaupt den Einsatz speicherwirksamer Bauteile zulassen.

Bei Decke und Boden sind die Speichermassen in Form von massiven Stahlbetondeckenplatten in den meisten Gebäuden bereits vorhanden. Die Herausforderung besteht darin, diese Speichermasse auch wirksam werden zu lassen, also für den Wärmeaustausch mit dem Innenraum freizulegen. Dazu müssen insbesondere die haustechnischen Systeme, die üblicherweise hinter einer abgehängten Decke bzw. unter einem Doppelboden geführt sind, anders angeordnet werden. Ein Teil der Studie widmet sich daher unterstützenden Lösungen für die Luftführung, Beleuchtung, Arbeitsplatzversorgung und für die Raumakustik bei der Nutzung der Deckenplatten als Speichermassen. Die Lüftungsleitungen können beispielsweise in die massive Decke einbetoniert, über eine Teilabhängung, freiliegend, über die Gangwand, mit Einzellüftungsgeräten an der Fassade oder als Quelllüftung in Bodennähe geführt werden. Wird auch auf einen Doppelboden verzichtet, so kann die Arbeitsplatzversorgung über Kabelkanäle an der Fassade oder über einzelne, in den Estrichboden eingelassene Kabeltrassees erfolgen. Die Arbeitsplatzbeleuchtung kann z.B.

mit Stehleuchten gelöst werden; wird die Stromführung für Pendelleuchten ebenfalls in die massive Decke eingelassen, so sind für eventuelle Nutzungsänderungen Leerverrohrungen vorzusehen. Eine harte, massive Deckenoberfläche stellt zusätzliche Herausforderungen an die Raumakustik: Die vielfältigen Lösungsmöglichkeiten, die von einer Teilabdeckung mit Akustikplatten über Akustikelemente in Beleuchtungskörpern, Büromöbeln oder frei schwebenden Akustikelementen bis hin zu einem Akustikputz oder einer Änderung des Bodenbelags reichen, werden am besten von der professionellen Hand eines Akustikplaners für das jeweilige Gebäude individuell zusammengestellt.

Die Abführung der in den Bauteilen gespeicherten Wärme darf nicht vernachlässigt werden. Die Speichermassen werden im mitteleuropäischen Klima am sinnvollsten genutzt, wenn sie täglich wieder „entladen“ werden, das heißt, dass die Wärme, die sie an einem Tag aufnehmen, bis zum nächsten Tag wieder abgeführt wird. Die einfachste Möglichkeit zur Wärmeabführung besteht in der natürlichen Nachtlüftung. Gleichzeitig stößt die nächtliche Fensterlüftung in Bürogebäuden auf vielfältige Hindernisse: Die Bedienung ist selten sichergestellt, die Einbruchsicherheit ist nicht gegeben, und Wetterumschwünge in der Nacht können am nächsten Morgen unangenehme Begleiterscheinungen hervorbringen. Wird in der Planungsphase schon auf die natürliche Lüftung Wert gelegt, so können über automatisch gesteuerte Lüftungsöffnungen, der Ausnutzung der Kaminwirkung und der örtlichen Windverhältnisse zuverlässige natürliche Lüftungssysteme konzipiert werden. Bei der Nachtlüftung mit einer mechanischen Lüftungsanlage muss der eingesparten Kühlenergie der erhöhte Stromverbrauch für die Lüftung gegenübergestellt werden.

Die zuverlässigste und auch eleganteste Art der Wärmeabführung ist die Bauteilaktivierung. Hier wird die Wärme über einen eingelegten Kühlkreislauf direkt dem als Speichermasse verwendeten Bauteil entzogen. Als Medium der Wärmeabführung wird meistens Wasser, manchmal auch Luft verwendet, die dann ebenfalls durch die Bauteile geleitet wird. Die Bauteilaktivierung kann im Winter auch für Heizzwecke verwendet werden und ist auch in den Investitionskosten günstiger als andere Wärmeübergabesysteme (z.B. luftgeführte Klimatisierung, Kühlsegel, Kühlbalken, usw.).

Die Änderungen in den Lösungen erfordern zunehmend ein Umdenken im Planungsprozess: Integrale Planung und der Einsatz von Gebäudesimulation werden unumgänglich. Um die vielen Aspekte zu berücksichtigen, die für ein optimales Gebäude zu realisieren sind, sind in diesem Arbeitspaket auch Hilfestellungen für den Planungsprozess entwickelt worden. Daneben sind auch einige beispielhafte Bürogebäude beschrieben, in denen der Speichermasse ein hoher Stellenwert eingeräumt worden ist: Das SOL4 Büro- und Seminarzentrum in Mödling, die Firmenzentrale der Trepka GmbH in Obergrafendorf, das ENERGYbase in Wien und das ta media-Verlagsgebäude in Zürich.

Daneben enthält die Studie auch allgemeine Daten und Berechnungen zur Speichermasse. Dabei sind die physikalischen Eigenschaften und die Wärmespeicherfähigkeit von verschiedenen Bauelementen dargestellt. Die Berücksichtigung der Speichermasse im

Nachweis zur Prüfung der Sommertauglichkeit und im Energieausweis ist detailliert beschrieben. Zusätzlich sind die Auswirkungen der Speichermasse auf die thermische Behaglichkeit und die Raumakustik durch Beispiele und Berechnungen veranschaulicht.

Die Studie bietet somit einen umfassenden und detaillierten Überblick zum Einsatz von Speichermasse in neuen Bürogebäuden, und liefert somit wertvolle Anregungen, wie Gebäude mit hoher speicherwirksamer Masse bei Einhaltung der Anforderungen an Nutzungsflexibilität und Nutzungskomfort geplant und realisiert werden können.

2.2 Ergebnisse für die Integration in das Gebäudebewertungssystem

Gebäude mit einem hohen Anteil an Speichermasse haben in verschiedenen Bereichen von Gebäudebewertungssystemen Vorteile und werden somit bei einzelnen Punkten indirekt berücksichtigt. Gleichzeitig kann das Niveau der Speichermasse für Bürogebäude als Kriterium an sich aufgenommen werden, so dass ein Mindestmaß an speicherwirksamer Masse in nachhaltigen Gebäuden sichergestellt wird.

Indirekt fließt die Speichermasse in Indikatoren ein, die den Energieeinsatz in Gebäuden begrenzen, den Nutzungskomfort bewerten oder die Lebenszykluskosten ermitteln. Gebäude mit hoher Speichermasse sind insbesondere bei der Berechnung des Kühlbedarfs vorteilhaft, wenn die real geplante oder eingebaute Speichermasse in den Berechnungen berücksichtigt und nicht auf eine vereinfachte Berechnung zurückgegriffen wird.

Beim Nutzungskomfort wirkt sich insbesondere die Bewertung der thermischen Qualität vorteilhaft für Gebäude mit viel Speichermasse aus. Im Gegensatz dazu kann der akustische Komfort durch die harten raumumschließenden Flächen beeinträchtigt werden. Wichtig ist dabei, dass keines der beiden Komfortkriterien auf Kosten des anderen optimiert wird.

Gebäude mit einem hohen Anteil an speicherwirksamer Masse können in der Regel mit einem geringeren Anteil an haustechnischer Ausrüstung auskommen. Haustechnische Anlagen stellen einen hohen Anteil der Folgekosten dar, die für die Wartung, Instandsetzung und Erneuerung dieser Bestandteile notwendig sind. Darüber hinaus verfügen Gebäude mit viel Speichermasse tendenziell über einen niedrigeren Energieverbrauch im Vergleich zu Gebäuden mit einem geringen Anteil an Speichermasse. Beides schlägt sich in den Investitions- und Folgekosten eines Gebäudes nieder. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Beschränkung oder Optimierung der Lebenszykluskosten vorteilhaft für Gebäude mit hohem Anteil an speicherwirksamen Massen ist.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, das Kriterium Speichermasse als eigenständiges Kriterium für Bürogebäude aufzunehmen. Methodisch ist dabei auf die ÖNORM B 8110-3 zurückzugreifen. Die Einhaltung der Sommertauglichkeit ist bei Bürogebäude anspruchsvoller als bei Wohngebäuden, da in Wohnungen üblicherweise ein hoher Anteil an

Speichermasse gegeben ist und Bürogebäude zusätzlich auch über einen höheren Fensterflächenanteil und wesentlich höhere interne Wärmelasten verfügen.

2.3 Ergebnisse für die Bauwirtschaft

Wesentliche Ergebnisse für die Bauwirtschaft sind die zwei Endprodukte aus dem Arbeitspaket: die Überblicksstudie und der Leitfaden zur wirksamen Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau.

Der Leitfaden ist eine verkürzte Darstellung der Überblicksstudie und zielt darauf ab, im Planungsprozess Anregungen und Lösungen aufzuzeigen, um bei Einhalten der Anforderungen an Nutzungsflexibilität und Nutzerkomfort Bürogebäude mit möglichst hoher wirksamer Speichermasse zu realisieren. Der Leitfaden richtet sich schwerpunktmäßig an Planer und Entwickler von Büroimmobilien, gleichzeitig aber auch an NutzerInnen und Bauherren von Immobilien.

Die Überblicksstudie ist eine umfangreiche und detaillierte Darstellung dieser Lösungsmöglichkeiten. Zusätzlich sind darin noch Berechnungen zur Speichermasse hinsichtlich Energieeinsparung und Nutzungskomfort enthalten. Die Studie kann neben dem Leitfaden herangezogen werden, um detaillierte Fragestellungen zum Thema Speichermasse in Bürogebäuden zu beantworten.

3 Hintergrund

3.1 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. Moderne Arbeitsstätten müssen diesen Anforderungen durch unterschiedliche Bürokonzepte Rechnung tragen. 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.

Das nutzungsflexible Bürogebäude lässt sich auf zwei Ebenen definieren: Die Nutzungsflexibilität im weiteren Sinne soll die Möglichkeit beinhalten andere Nutzungsformen, wie beispielsweise Wohnungen, mit möglichst geringem Aufwand im Gebäude unterzubringen. Da diese Nutzungsänderung bisher nur selten der Fall ist wird hier nicht näher darauf eingegangen. In der Nutzungsflexibilität im engeren Sinn bleibt die Büronutzung bestehen. Die Räumlichkeiten sollen jedoch die Möglichkeit bieten bei einer Nutzungsänderung die Raumaufteilung anzupassen, Büroräume zu vergrößern oder zu verkleinern, oder sogar von einem Zellenbüro (Abbildung 1) auf ein Großraumbüro (Abbildung 2) zu wechseln oder umgekehrt. Darüber hinaus sollen in den unterschiedlichen Bürokonzepten auch verschiedene Nutzungsformen, wie z.B. Besprechungsräume, Technikräume und Archive, möglich sein um für den entsprechenden Gebrauch optimale Arbeitsbedingungen zu



Abbildung 1: Typische Fluransicht eines Zellenbüros (Quelle: wikipedia.org).

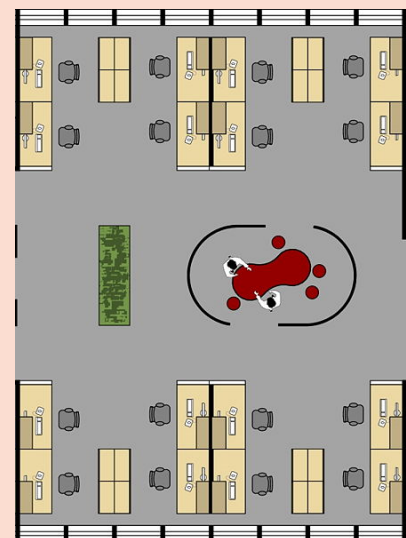


Abbildung 2: Konzept eines Großraumbüros (Quelle: wikipedia.org).

schaffen. Dazu zählt neben leicht adaptierbaren, raumabschließenden Wänden auch eine flexible Gebäudetechnik, die sich an unterschiedliche Versorgungsgrößen und Nutzungen sowie Lage der Arbeitsplätze mit geringem Aufwand anpassen lässt.

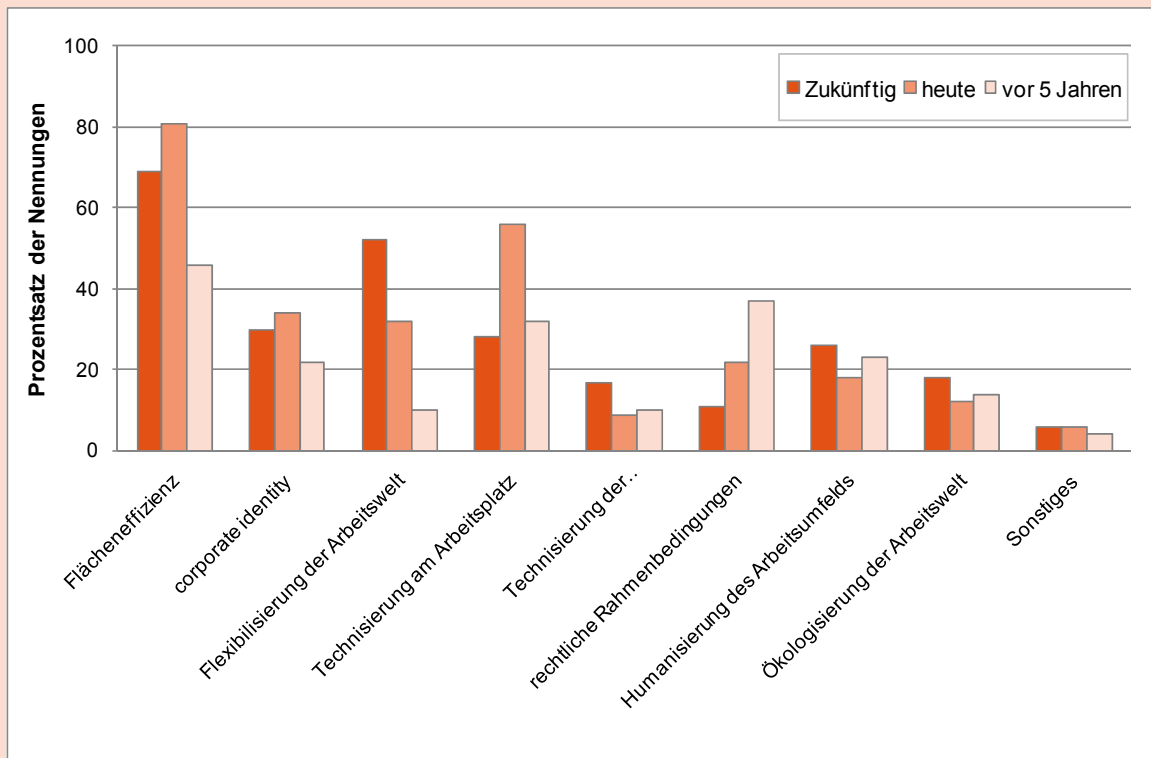


Abbildung 3: Gestaltungsaspekte innovativer Bürokonzepte und ihr Bedeutungswandel (Mehrfachnennungen möglich) (eigene Darstellung, Quelle: DEGI Research & Consulting 2004).

Der hohe Stellenwert der Nutzungsflexibilität wird auch in einer Studie der DEGI Research & Consulting (2004) hervorgehoben: Hier stellen die Gestaltungsaspekte Flächeneffizienz und Flexibilität der Arbeitswelt die wichtigsten Elemente von innovativen Bürokonzepten dar (siehe Abbildung 3). Auch hinsichtlich der Ausstattungsmerkmale bedarfsgerechter Büroimmobilien spielt die Flexibilität eine wichtige Rolle. Variabilität der Raumaufteilung und Flächenteilbarkeit sind nach dieser Umfrage die wichtigsten Merkmale von Büroimmobilien (siehe Abbildung 4).

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.

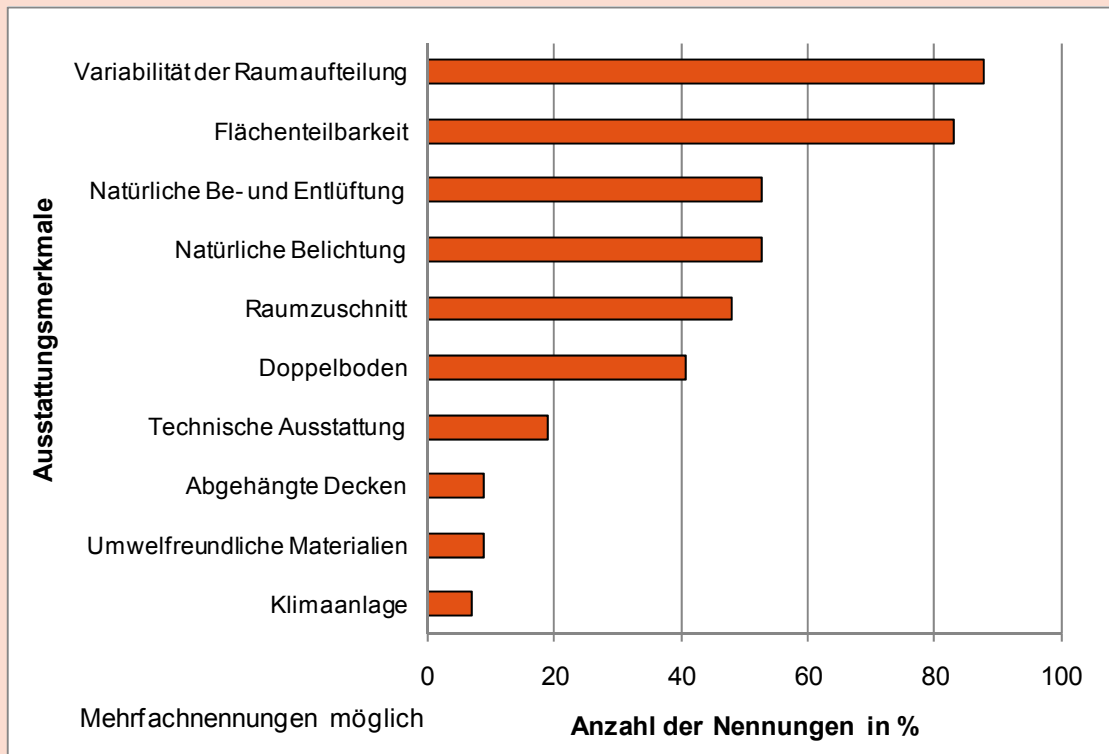


Abbildung 4: Ausstattungsmerkmale bedarfsgerechter Büroimmobilien, Auswahl (Mehrfachnennungen möglich) (eigene Darstellung, Quelle: DEGI Research & Consulting, 2004).

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.

3.2 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. Gebäude mit leichtem Innenausbau fehlt die so genannte Speichermasse, die dafür sorgt, dass die Temperaturschwankungen aufgrund von Sonneneinstrahlung und internen Wärmequellen ausgeglichen werden. Das Fehlen eben 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 Energieeinsatz für Heizung und Kühlung des Gebäudes und somit Investitions- und Betriebskosten reduziert. Abbildung 5 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.

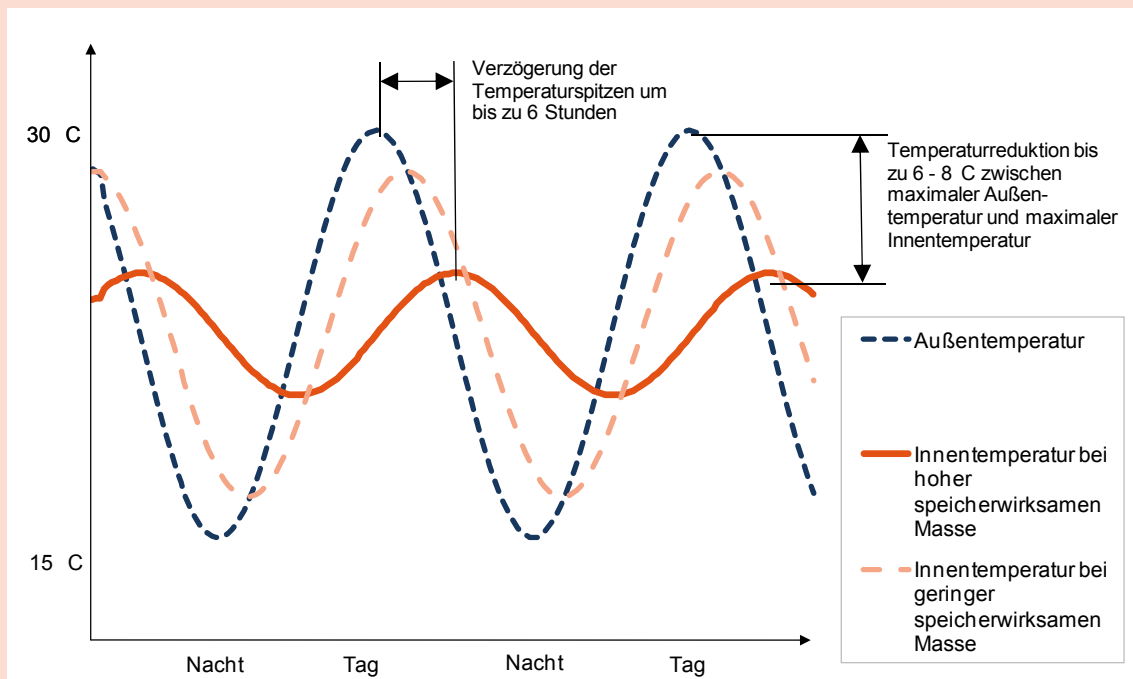


Abbildung 5: Der Einfluss der Speichermasse auf Temperatur und Komfort (eigene Darstellung, Quelle: European Concrete Platform, 2007).

Je mehr 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. Abbildung 6 zeigt dieses Verhalten eindrücklich am Beispiel dreier aufeinanderfolgender warmer Sommertage: Während ein Büroraum in schwerer Bauweise während der gesamten Zeit ohne weitere Maßnahmen im komfortablen Bereich zwischen 19°C und 25°C bleibt, heizt sich derselbe Büroraum (Maximum: 32 °C) in leichter Bauweise an allen drei Tagen bis über die Außentemperatur auf. Eine mittelschwere Bauweise vermag zwar die größten Temperaturspitzen abzufedern, lässt die Innenraumtemperatur aber doch bis auf 27 °C ansteigen.

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. (Kapitel 2.1 beschreibt die physikalischen Vorgänge der Wärmespeicherung und zeigt die wichtigsten Kennwerte auf).

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 (Stahlbeton oder ein Ziegel-Mauerwerk sind zumindest im mitteleuropäischen Raum die üblichste Bauweise für die Baukonstruktionen), 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.



3.3 Nutzungsflexibilität und Speichermasse verbinden

Der Innenausbau von Büroräumlichkeiten soll zum einen möglichst flexibel gestaltet sein, so dass eine Umstrukturierung der Bürolandschaft mit geringem Aufwand realisierbar ist. Zum anderen verbessert eine hohe Behaglichkeit mittelfristig die Produktivität der Nutzerinnen und Nutzer von Büroräumen. Diese Behaglichkeit soll zudem mit möglichst geringem Energieeinsatz und einem geringen Betriebsaufwand für Wartung und Instandsetzung der

Haustechniksysteme gewährleistet werden, so dass für das Bürogebäude niedrige Energie- und Betriebskosten anfallen.

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 dieser Ausarbeitung 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.

3.4 Anwendung des Berichts

Die vorliegende Studie 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 Inhalt dieses Dokuments ist in folgende Teile strukturiert:

- Abschnitt 4 erläutert im Detail die Auswirkungen der speicherwirksamen Masse in den Bereichen Energie, Komfort und Raumakustik.
- Abschnitt 5 stellt technische Lösungen für massive Innenbauteile dar und zeigt insbesondere Möglichkeiten auf mit den damit einhergehenden Einschränkungen der Nutzungsflexibilität umzugehen.
- Abschnitt 6 stellt unterstützende Lösungen im Bereich der Haustechnik und der Raumakustik dar, so dass frei liegende Decken realisiert werden können.
- In Abschnitt 7 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 8 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 zur Erhöhung der speicherwirksamen Masse enthalten.

- In Abschnitt 9 sind bereits realisierte Beispielgebäude enthalten, bei denen die Nutzung der Speichermasse ein integraler Bestandteil der Planung und der Gebäudenutzung ist.

Bestimmte Bereiche und Informationen sind gesondert dargestellt. Nachfolgend sind diese Bereiche erläutert und beispielhaft abgebildet.

- Beispiel: Beispielrechnungen sind in einem eingerahmten Kästchen enthalten.

Beispiel:

- Tipp: Konkrete Hilfestellungen für bestimmte Anwendungsbereiche sind in einem gefärbten Kästchen dargestellt

Tipp:

- BTA: Kritische Punkte, die beim Einsatz einer Bauteilaktivierung zu beachten sind, sind mit den Buchstaben BTA dargestellt.

BTA

3.5 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.

4 Berechnung der wirksamen Speichermasse

4.1 Physikalische Eigenschaften

Die Wirksamkeit von Speichermasse in Räumen beruht auf der Fähigkeit von Baustoffen, Energie in Form von Wärme aufzunehmen. Durch die Aufnahme von Energie in den Bauteilen wird der Temperaturanstieg unter Tags (durch Wärmeaufnahme) und das Auskühlen in der Nacht (durch Wärmeabgabe) reduziert.

Baustoffbezeichnung	Dichte ρ in kg/m^3	Wärmespeicher- fähigkeit c J/kgK	Wärmespeicher- fähigkeit $\rho \times c$ $\text{kJ/m}^3\text{K}$
Wasser (20°C)	998,2	4.182,0	4.174,5
Stahl	7.850,0	480,0	3.768,0
Stahlbeton	2.400,0	1.080,0	2.592,0
Zementestrich	1.800,0	1.080,0	1.944,0
Hochlochziegelmauerwerk	800 - 1.400	1.000,0	800 - 1.400
Gipskartonplatte	900,0	1.050,0	945,0
Fichtenholz	600,0	1.600,0	960,0
Luft (20°C)	1,2	1.010,0	1,2

Tabelle 1: Wärmespeicherfähigkeit von verschiedenen Baustoffen, Luft und Wasser (Quelle: Riccabona & Bednar, 2008; www.baubook.at, September 2009).

Die Wärmespeicherfähigkeit C eines Systems beschreibt die Wärmemenge, die benötigt wird, um die Temperatur um ein Grad Kelvin zu erhöhen (Einheit: J/K). Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit eines beheizten bzw. gekühlten Raumvolumens, also die Wärmemenge, die benötigt wird, um die Innenraumtemperatur um ein Grad Kelvin zu erhöhen, ist die Summe der Wärmespeicherfähigkeiten der raumabschließenden Bauteile und der Innenraumluft. Im Allgemeinen können schwere, dichte Materialien mehr Wärme speichern als leichte und luftige. Eine

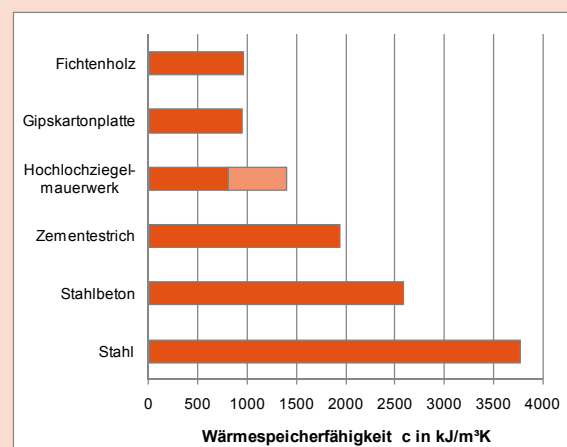


Abbildung 7: Wärmespeicherfähigkeit von verschiedenen Baustoffen (Quelle: Riccabona, & Bednar, 2008; www.baubook.at, September 2009).

Gesamtschau über die Wärmespeicherefähigkeit der gängigsten Baustoffe liefern Tabelle 1 und Abbildung 7.

Da die Außentemperaturen im mitteleuropäischen Klima im Tageszyklus schwanken, spielt für die effektive Wärmespeicherung durch die Bauteile nicht nur ihre spezifische Wärmespeicherefähigkeit eine Rolle, sondern auch ihre Stärke sowie die Fläche, die zum Wärmeaustausch mit der Innenraumluft zur Verfügung steht. Bei täglichen Temperaturschwankungen von 10-20 K dringt die Wärme ca. 10 bis 15 cm tief in die Bauteile ein. Das ist der Grund, warum eine dünne Gipskartonplatte eine weit geringere speicherwirksame Masse hat als eine massive Innenwand, auch wenn die spezifische Wärmespeicherefähigkeit der Baustoffe (pro kg oder m³) in ähnlicher Größenordnung liegt (siehe Abbildung 8). Und je größer die Wärmeaustauschfläche der Bauteile mit der Innenraumluft ist, umso mehr Wärme kann gleichzeitig mit der Luft ausgetauscht werden. Daher sind frei liegende Bauteile für die Wärmespeicherefähigkeit günstiger als teilweise verkleidete; vollständig verkleidete Bauteile, wie z.B. durch eine abgehängte Decken oder ein Doppelboden, stehen für den Wärmeaustausch mit der Luft nicht zur Verfügung.

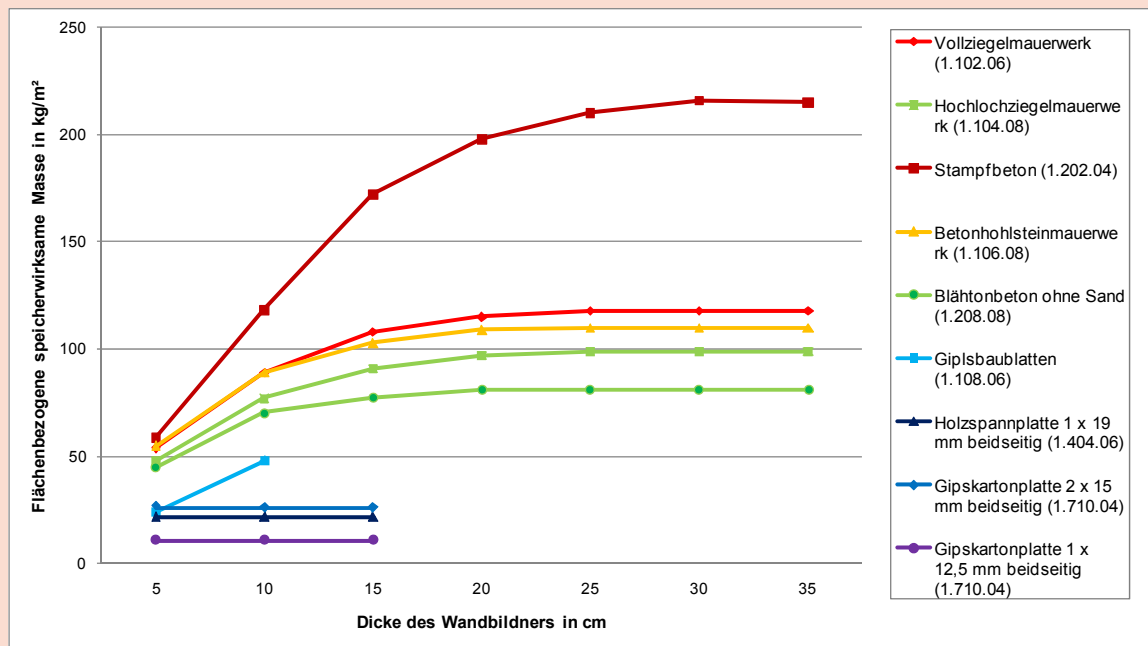


Abbildung 8: Flächenbezogene speicherwirksame Masse verschiedener Wandbildner (ohne außen- oder innenliegender Wärmedämmschicht), außen mit 1,5 cm Kalkzementputz und innen mit 1,5 cm Gipsputz (Quelle: ÖNORM B 8110-3, Klammerwerte: Definition der Bauteile nach Baustoffkatalog ÖNORM V 31).

4.2 Nachweis zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung

In Österreich wird der Nachweis zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung anhand der ÖNORM B 8110-3 Wärmeschutz im Hochbau, Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse durchgeführt.

Die Vermeidung der Überwärmung in Sommer- und Übergangszeiten können durch wirksame (bautechnische) Mittel im Bereich des Sonnenschutzes, der Raumlüftung, der Orientierung der strahlungsdurchlässigen Flächen und nicht zuletzt durch die speicherwirksame Masse der raumumschließenden Flächen sichergestellt werden.

Die Einhaltung der Anforderung an einen ausreichenden Sonnenschutz wird anhand der mindesterforderlichen speicherwirksamen Masse ermittelt. Dabei ist in der Regel von dem hinsichtlich der Überhitzung als kritisch zu betrachtenden Einzelraum auszugehen.

Die erforderliche speicherwirksame Masse hängt vom Luftvolumenstrom im Raum ab. Hoher Luftvolumenstrom kann die anfallende Wärme abführen, so dass für die Wärmespeicherung eine geringere Masse erforderlich ist. Da die Überhitzung stark von den transparenten

Immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom $V_{L,s}$ in $m^3/(h \cdot m^2)$	Immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,l}$ in kg/m^2
> 100	> 2.000
75	> 4.000
50 ¹⁾	> 6.000

¹⁾ Immissionsbezogene Luftvolumenströme von weniger als 50 $m^3/(h \cdot m^2)$ führen zu einem hohen Überwärmungsrisiko und sind daher grundsätzlich zu vermeiden

Tabelle 2: Mindesterforderliche immissionsflächenbezogene Speichermasse $m_{w,l}$ in Abhängigkeit vom immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom $V_{L,s}$ (Quelle: ÖNORM B 8110-3, Vereinfachtes Verfahren).

Flächen der Fassade des Raumes abhängt, bezieht sich die erforderliche speicherwirksame Masse und die mindesterforderliche Lüftung (stündlicher Luftvolumenstrom) eines Raumes auf die Summe der Immissionsflächen (in der Regel Glasflächen).

Beispiel 1: Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung nach ÖNORM B 8110-3 für ein 2-Personen Zellenbüro, Orientierung Süd

In einem 2-Personen Zellenbüro mit den Abmessungen 3,75 x 5,00 x 3,00 m (Netto-Rauminhalt 56 m^3) wird die Überprüfung der sommerlichen Überwärmung nach ÖNORM B 8110-3 durchgeführt. Der Luftvolumenstrom pro Person beträgt 30 m^3/h , insgesamt für den Raum 60 m^3/h . Das entspricht einer Luftwechselrate von ca. 1,10 h^{-1} (Dieser Wert ist etwas geringer als der Luftwechsel im Nutzungsprofil Bürogebäude für die Berechnung des Energieausweises nach ÖNORM B 8110-5.).

Bezeichnung	Wert	Einheit
Fensterhöhe	1,60	m
Rahmenanteil	0,70	-
g-Wert der Verglasung	0,57	-
z-Wert Verschattung Innenjalousie	0,72	-
z-Wert Verschattung Außenjalousie	0,27	-

Für den Büroraum wird eine Bandfassade mit einem 1,60 m hohen Fensterbereich vorgesehen. Als Verschattung werden zwei Varianten vorgeschlagen:

- a) Innenjalousie
- b) Außenjalousie.

Die Effizienz der Verschattungseinrichtung wird über den z-Wert dargestellt, den Abminderungsfaktor einer Abschattungseinrichtung. Für die Verglasung wird ein Wärmeschutzglas mit einem g-Wert von 0,57 eingesetzt.

Aus diesen Werten ergibt sich folgender immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom:

immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom	Wert	Einheit
Innenjalousie	38	m ³ /(h.m ²)
Außenjalousie	57	m ³ /(h.m ²)

Dem immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom wird nun die erforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse entsprechend Tabelle 2 zugeordnet. Bei einer Bandfassade mit normalem Wärmeschutzglas und einer Innenjalousie ist der immissionsflächenbezogene stündliche Luftvolumenstrom so niedrig, dass diese Ausführung nach ÖNORM B 8110-3 grundsätzlich zu vermeiden ist.

Für die Ausführungsvariante mit Außenjalousie ergibt sich ein Wert von 67 m³/(h.m²) für den immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom. Die Immissionsfläche nach ÖNORM B 8110-3 beträgt 1,05 m². Dafür ist eine speicherwirksame Masse von ca. 7.100 kg pro m² Immissionsfläche erforderlich. Die Einhaltung der Vermeidung sommerlicher Überwärmung hängt also maßgeblich vom Niveau der speicherwirksamen Masse ab. Für diesen Büroraum sind nachfolgend Ausführungslösungen für die raumabschließenden Flächen dargestellt und der Wert für die flächenspezifische Speichermasse:

Bauteile	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Außenwand	Pfosten-Riegel	Pfosten-Riegel	Pfosten-Riegel	Stahlbeton
Innenwand	Gipskarton-Ständerwand	Gipskarton-Ständerwand	System-Trennwand	Ziegel-mauerwerk
Decke	Abgehängte Mineralfaser-decke	Keine abgehängte Decke, Akustikputz	Frei liegende Stahlbeton-decke	Frei liegende Stahlbeton-decke
Fußboden	Doppelboden, Teppich	Hohlraum-boden, Kunststoff	Hohlraum-boden, Parkett	Schwimm-ender Estrich, Parkett
Speicherwirksame Masse des Raumes in kg (gerundet)	1.570	3.790	7.520	11.240
Speicherwirksame Masse in kg/m² Immissionsfläche (gerundet)	1.500	3.600	7.200	10.700

Der Nachweis der Vermeidung der sommerlichen Überwärmung nach ÖNORM B 8110-3 für diesen Büroraum kann nur eingehalten werden (Varianten 3 und 4), wenn die Stahlbetondecke frei gelegt ist und als Speichermasse wirksam wird.

Tipp: Vermeidung sommerlicher Überwärmung

- Die sommerliche Überwärmung wird im mitteleuropäischen Klima von vier Faktoren bestimmt: Anteil und Orientierung der Glasflächen, Art des Sonnenschutzes, interne Wärmelasten und die Größe der wirksamen Speichermassen in jedem Raum.
- Der Einsatz von Speichermasse in Büroräumen kann daher die Gefahr der sommerlichen Überwärmung verringern.
- Eine nicht verkleidete massive Stahlbetondecke führt zu einer wesentlichen Erhöhung der Speichermasse im Büroraum.
- Es ist allerdings zu gewährleisten, dass die Speichermassen die aufgenommene Wärme regelmäßig wieder abgeben, sich „entladen“ können. Dies kann über einen erhöhten nächtlichen Luftwechsel („Nachtlüftung“) geschehen oder über die direkte Abführung der Wärme mittels Bauteilaktivierung.
- Bei Bürogebäuden mit moderatem Anteil an verglasten Flächen, geringen internen Wärmelasten und normalem Lüftungsverhalten lässt sich insbesondere durch die Erhöhung der speicherwirksamen Masse im Büroraum eine sommerliche Überhitzung vermeiden.

Hinweis: Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Dokumentes war die ÖNORM B 8110-3 in Überarbeitung, jedoch noch nicht abgeschlossen und herausgegeben. Deshalb konnten die Berechnungen auf Basis der überarbeiteten Norm nicht eingearbeitet werden. Vor Abschluss der Überarbeitung stellten sich bereits Änderungen für den Nachweis der Sommertauglichkeit für Bürogebäude ein. Für diese Gebäudekategorie wird künftig der Nachweis nach dem vereinfachten Verfahren (entsprechend der Darstellung in Beispiel 1) nicht mehr zulässig sein. Künftig wird eine dynamische Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Innentemperatur erforderlich sein, um die Sommertauglichkeit nachzuweisen.

4.3 Berechnung des Tagesgangs der operativen Raumtemperatur

Neben der Berechnung der Einhaltung des Nachweises zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung im vereinfachten Verfahren der ÖNORM B 8110-3, kann die Einhaltung der Sommertauglichkeit auch über den Tagesgang der operativen Raumtemperatur geprüft werden. Diese Berechnung wird über ein dynamisches Berechnungsverfahren auf Basis der ÖNORM EN 13791 durchgeführt.

In Arbeitspaket 12 „Auswirkung verschiedener Baustoffe auf das Sommerverhalten von Gebäuden und den Energieverbrauch“ des Projektes Nachhaltigkeit Massiv wurden Gebäude untersucht und Beispielräume mit diesem Verfahren berechnet.

Bei der Untersuchung der Beispielräume wurden dabei u.a. folgende Erkenntnisse rechnerisch belegt:

- Der Einsatz der Nachtlüftung führt zu einer wesentlichen Reduktion der operativen Raumtemperatur.
- Der Nutzen der Nachtlüftung führt nur dann zur wesentlichen Reduktion der operativen Raumtemperatur, wenn der Innenausbau über hohe speicherwirksame Massen verfügt.

Die nachfolgenden Berechnungen aus Arbeitspaket 12 veranschaulichen diese Wirkung.

Beispiel 2: **Ermittlung des Tagesganges der operativen Raumtemperatur in einem Büroraum**

Rahmenbedingungen der Berechnung:

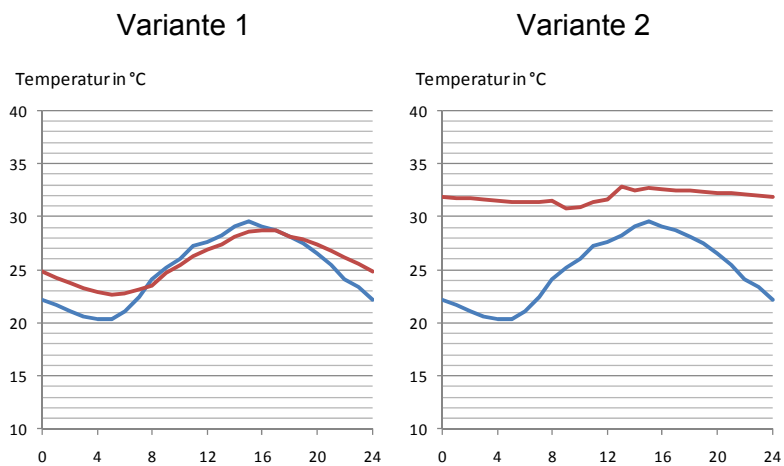
- 2 Arbeitsplätze
- Raumgröße : 4 m x 5 m x 3 m (20 m² Grundfläche)
- Fenster: 8 m² in Orientierung Westen
- Sonnenschutz: außenliegende Verschattung

- Lüftung: Nachts geöffnete Fenster
- Klimadaten: Standardklima entsprechend ÖNORM B 8110-3, innerstädtisch
- Innenausbau mit massivem Mauerwerk

Für diese Randbedingungen wurden folgende Varianten berechnet:

1. Nachtlüftung über ein offenes Fenster
2. Öffnung des Fensters untertags bei Anwesenheit

Darstellung der Berechnungsergebnisse:

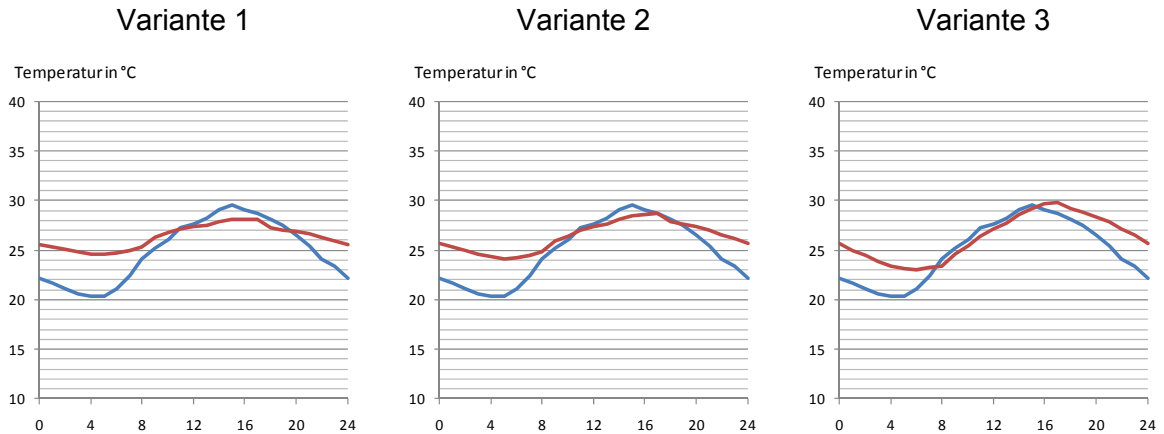


Legende: Rot ... Operative Temperatur innen in °C, Blau ... Lufttemperatur außen in °C

Für Variante 2 (Nachtlüftung über ein offenes Fenster) wurden drei Ausführungsvarianten berechnet:

1. Innenausbau in Massivbau-Stahlbeton
2. Innenausbau in Massivbau-Mauerwerk
3. Leichter Innenausbau

Darstellung der Berechnungsergebnisse:



Legende: Rot ... Operative Temperatur innen in °C, Blau ... Lufttemperatur außen in °C

Aus den drei Varianten ist abzulesen, dass die operative Temperatur bei hohen Speichermassengleichmäßiger ist als bei leichtem Innenausbau. Zusätzlich liegt die höchste operative Innenraumtemperatur bei hoher wirksamer Speichermasse um 2 K niedriger als bei Räumen mit leichtem Innenausbau.

4.4 Energieausweis

Bei der Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden spielt die speicherwirksame Masse des Gebäudes eine wichtige Rolle. -Viel speicherwirksame Masse führt zu einem geringeren Heizwärmebedarf, insbesondere jedoch zur Reduktion des Kühlbedarfs. Der vereinfachte Ansatz zur Ermittlung der

Wärmespeicherfähigkeit **C** für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs des Energieausweises bildet die unterschiedlichen Möglichkeiten von Innenausbauten in Bürogebäuden jedoch unzureichend ab.

Im Energieausweis hängt die Wärmespeicherfähigkeit **C** eines Gebäudes von dessen Bauweise ab und wird anhand der ÖNORM B 8110-6 ermittelt (Formel 1). Basis für die Ermittlung ist das Bruttovolumen des Gebäudes und ein Faktor für die Speicherfähigkeit, der von der Art der Bauweise abhängt (Tabelle 3).

$$C = f_{BW} \cdot V \quad (1)$$

Wobei gilt:

C ... Wirksame Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes in Wh/K

V ... konditioniertes Bruttovolumen in m³

f_{BW} ... spezifische Wärmespeicherfähigkeit einer Bauweise in Wh/m³K

Aus der Beschreibung der Bauweisen geht hervor, dass für Bürogebäude in den meisten Fällen die mittelschwere Bauweise gilt. Zum einen werden diese Gebäude fast ausschließlich nicht in Holzbauart errichtet, zum anderen gibt es wenige Gebäude in denen – aufgrund der Notwendigkeit der Flexibilität – massive Außen- und Innenbauteile vorliegen.

Bezeichnung	Beschreibung der Bauweise	f_{BW} Wh/m ³ K
Leicht	Gebäude in Holzbauart ohne massive Innenbauteile	10
Mittelschwer	Gebäude in Mischbauweise, Gebäude in Massivbauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden	20
Schwer	Gebäude mit großteils massiven Außen- und Innenbauteilen, schwimmenden Estrichen und ohne abgehängte Decken.	30
Sehr schwer	Gebäude mit sehr massiven Außen- und Innenbauteilen (z.B. im Altbaubestand)	60

Tabelle 3: Faktor für die spezifische Wärmespeicherfähigkeit bei unterschiedlichen Bauweisen (Quelle: ÖNORM B 8110-6).

In der Berechnung des Energieausweises wird demnach nicht differenziert in der Bauweise der Innenausbauten. Jedoch ist die Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit C nach ÖNORM B 8110-3 zugelassen, so dass die Ermittlung der wirksamen Speichermasse von Räumen

Varianten	Beschreibung der raumabschließenden Bauteile	Faktor für die Bauweise f_{BW} (gerundet) Wh/m ³ K
Variante 1	Gipskarton-Ständerwand, Abgehängte Mineralfaserdecke, Doppelboden, Teppich	10
Variante 2	Gipskarton-Ständerwand, Keine abgehängte Decke, Akustikputz, Hohlraumboden, Kunststoff	20
Variante 3	System-Trennwand, Freiliegende Stahlbetondecke, Hohlraumboden, Parkett	30
Variante 4	Ziegelmauerwerk, Frei liegende Stahlbetondecke, Schwimmender Estrich, Parkett	40

Tabelle 4: Faktor für die spezifische Wärmespeicherfähigkeit für die Varianten des Innenausbau nach Beispiel 1.

entsprechend den Innenausbauten möglich ist. Wird die speicherwirksame Masse der Innenausbauten von Beispiel 1 jeweils in den Faktor für die Bauweise nach ÖNORM B 8110-6 umgerechnet, dann ergibt sich eine sehr große Bandbreite der Faktoren (siehe Tabelle 4). Beispiel 2 stellt die Auswirkungen einer genaueren Berechnung der Speichermasse im Energieausweis auf die Werte des Heizwärme- und Kühlbedarfs eines Bürogebäudes dar.

Beispiel 3: Ermittlung des Heizwärme- und Kühlbedarfs für ein Bürogebäude mit Ermittlung der speicherwirksamen Masse nach ÖNORM B 8110-3

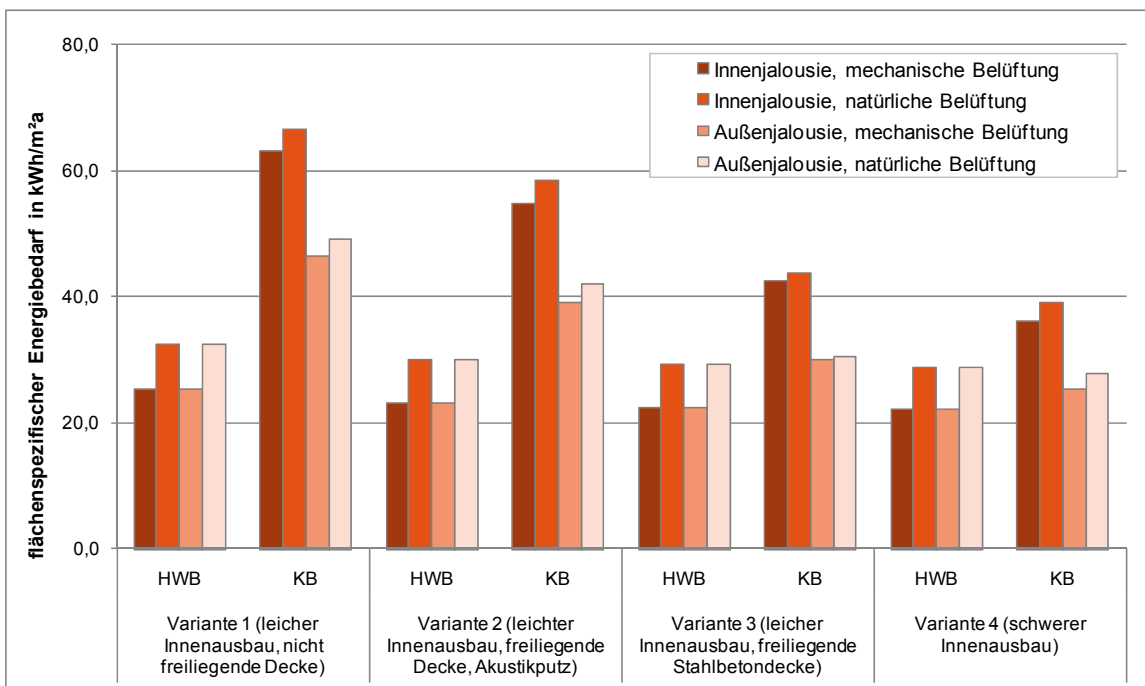
Für ein Bürogebäude (35 m lang, 16 m breit, 6 Geschosse) wird der Heizwärme- und Kühlbedarf nach ÖNORM B 8110-6 ermittelt. Die speicherwirksamen Massen werden entsprechend den Vorgaben der ÖNORM B 8110-3 berechnet (siehe Beispiel 1). Dadurch ergeben sich die Faktoren für die Bauweise f_{BW} nach Tabelle 4.

Das Gebäude hat einen Vollwärmeschutz (U-Werte für Wand 0,20 W/m²K, Decke 0,10 W/m²K und unterste Geschoßdecke 0,30 W/m²K) mit einer Bandfassade (Fenster U-Wert 1,30 W/m²K, g-Wert 0,57) und 50 % Fensterflächenanteil.

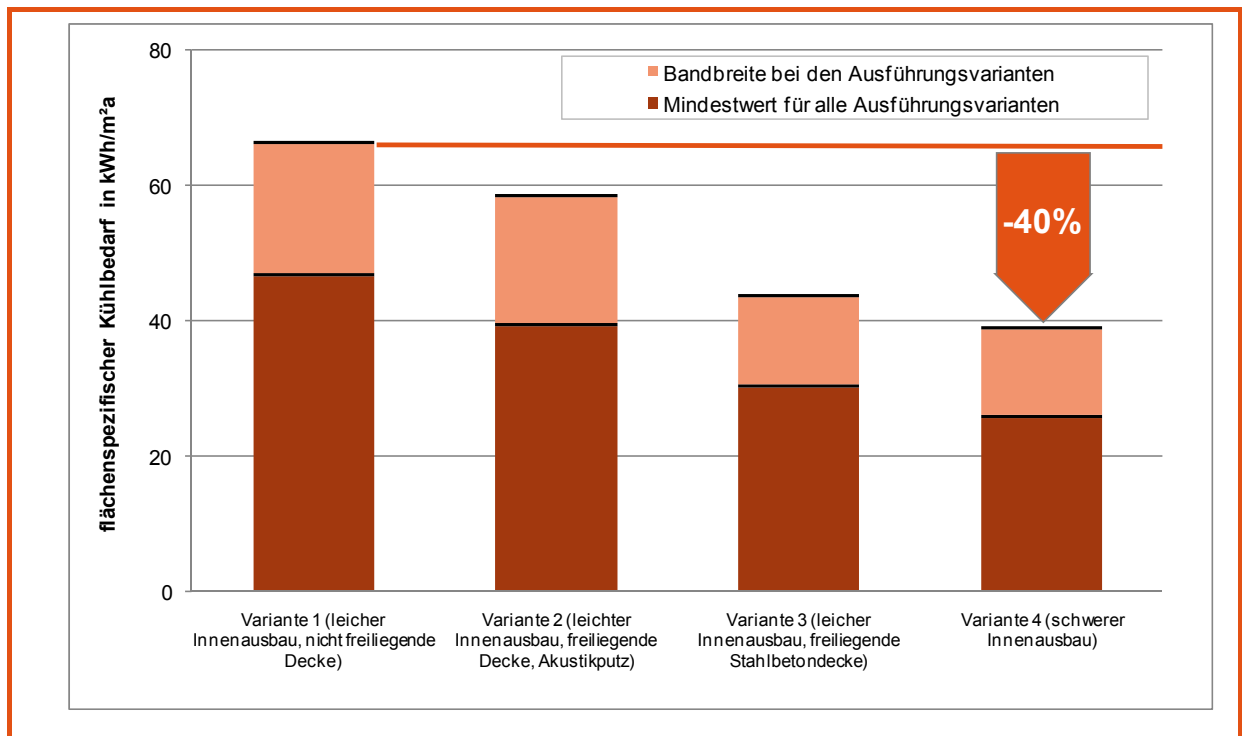
Folgende Ausführungsvarianten werden berechnet:

- a) Verschattungssystem: Innenjalousie und Außenjalousie
- b) Raumluftechnik: Mechanische Belüftung mit Wärmerückgewinnung und natürliche Fensterlüftung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Ergebnisse für den flächenspezifischen Heizwärme- und Kühlbedarf nach ÖNORM B 8110-6 der genannten Ausführungsvarianten für die verschiedenen Innenausbauten aus Beispiel 1 dargestellt.



Hohe Speichermasse hat einen großen Einfluss auf die Reduktion des Kühlbedarfs. Von Variante 1 mit leichtem Innenausbau zur Variante 4 mit schweren Innenausbau können ca. 40 % des rechnerischen Kühlbedarfs eingespart werden.



Tipp: Berechnung des Energieausweises bei Gebäuden mit hoher speicherwirksamer Masse

- Bei der Berechnung des Energieausweises können bei massiven Innenausbauten durch die exakte Ermittlung der speicherwirksamen Masse niedrigere Werte für den Heizwärmebedarf, jedoch insbesondere für den Kühlbedarf ermittelt werden.
- Die Berechnung der speicherwirksamen Masse nach dem vereinfachten Ansatz der ÖNORM B 8110-6 ist für Bürogebäude unzureichend; bei der Ermittlung nach der detaillierteren Methode der ÖNORM B 8110-3 können die Vorteile der Speichermasse auch im Ergebnis des Heizwärme- und Kühlbedarfs einfließen.

4.5 Thermische Behaglichkeit

Die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit in Büroräumen sind hoch, da die NutzerInnen hier lange Zeitspannen verbringen, ohne ihren Aufenthaltsort beliebig wechseln zu können. Bei längerem Aufenthalt in Räumen mit zu hohen Temperaturen verringert sich die Leistungsfähigkeit (siehe Abbildung 9), bei zu niedrigen Temperaturen oder ungünstigen Lüftungsbedingungen kann es zu Erkältungskrankheiten kommen (Hausladen, de Saldanha, Liedl, & Sager, 2005). So ist auch zu

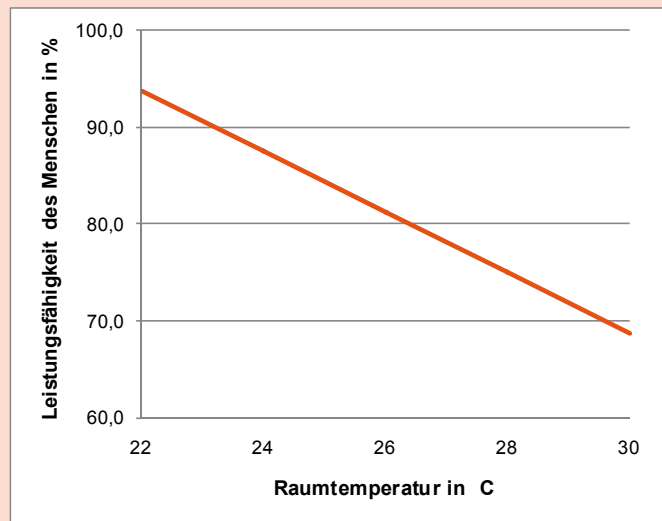


Abbildung 9: geistige Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Raumtemperatur zwischen 22 und 30°C nach D. Wyon (eigene Darstellung, Quelle: Bux, 2006)

verstehen, dass die Krankheitsabsenzzrate in vollklimatisierten Bürogebäuden höher ist als in solchen mit natürlicher Lüftung (eine einschlägige Untersuchung hierzu liefern (Preziosi, Czernichow, Gehanno & Herberg, 2004).

Das Temperaturempfinden eines Menschen wird von vielen Faktoren beeinflusst: Der momentanen Tätigkeit, der Bekleidung, von Alter, Geschlecht, Gesundheit, der Aufenthaltsdauer im Raum, sowie den tatsächlichen raumklimatischen Bedingungen (siehe z.B. Bischof, Hellwig & Brasche, 2007). Letzteres wiederum setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen: Lufttemperatur, Strahlungsverhältnisse, Luftbewegung und Luftfeuchte.

Thermische Behaglichkeit ist nach der Wärmephysiologie des Menschen als ein Gleichgewicht zwischen Wärmeabgabe und Wärmeaufnahme definiert (Fanger, 1970). Diese Definition leitet sich aus dem Bedürfnis ab die Körpertemperatur langfristig konstant zu halten, das heißt, die vom Körper überschüssig produzierte Wärme an die Umgebung abgeben zu können. Die Wärmeabgabe eines normal gekleideten Menschen ohne körperlicher Tätigkeit bei ruhender Luft und 20°C Lufttemperatur setzt sich aus den folgenden vier Prozessen zusammen (Hausladen, de Saldanha, Liedl, & Sager, 2005):

- Strahlung 46 %
- Konvektion (Wärmeabgabe an die Luft) 33 %
- Verdunstung 19 %
- Atmung 2 %

Dabei wird die meiste Wärme über den Kopf (30 %), Hände (20 %) und die Fußsohlen (35 %) abgegeben. Rumpf, Arme und Beine haben mit insgesamt 15 % einen verhältnismäßig geringen Beitrag.

Die Verteilung der Wärmeabgabe zeigt, dass neben der Temperatur der Innenraumluft die Temperatur der raumabschließenden Flächen, insbesondere des Fußbodens und der Decke, einen entscheidenden Einfluss auf die thermische Behaglichkeit der NutzerInnen hat. Entsprechend setzt sich die operative Temperatur, auf die sich die einschlägigen Normen für thermische Behaglichkeit beziehen (siehe z.B. ÖNORM EN 15251), aus dem Mittelwert der Temperatur der raumabschließenden Flächen und der Lufttemperatur zusammen. Dabei sollte die Temperaturdifferenz zwischen der Luft und den Oberflächen höchstens 3 K betragen, wobei auch eine asymmetrische

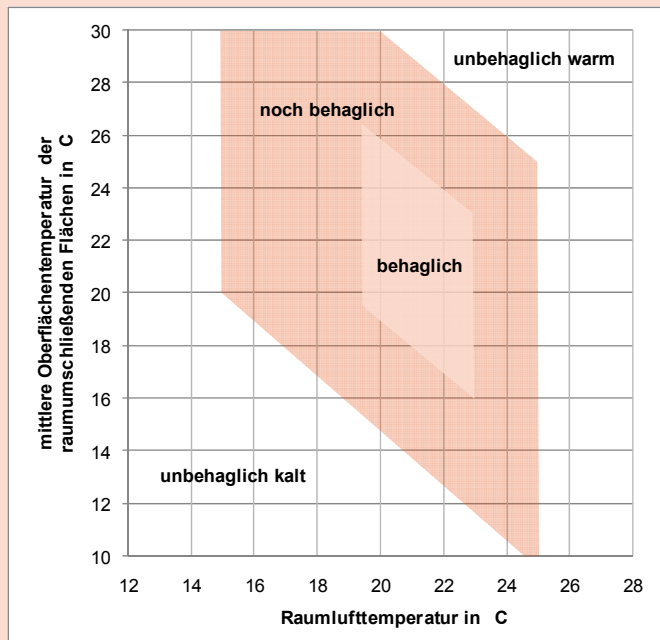


Abbildung 10: Thermische Behaglichkeit bei sitzender Beschäftigung, mittlerer Aktivität und entsprechend angepasster Bekleidung als Funktion der mittleren Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen und der Raumlufttemperatur (eigene Darstellung, Quelle: Frank, 1975).

Verteilung der Strahlungstemperaturen im Raum zu Unbehagen führen kann. Innerhalb dieser Grenzen können auch höhere Lufttemperaturen durch niedrigere Oberflächentemperaturen ausgeglichen werden und umgekehrt. Abbildung 10 zeigt den Zusammenhang von Behaglichkeit und operativer Temperatur bei sitzender Beschäftigung bis mittlerer Aktivität und entsprechend angepasster Bekleidung.

Die ausgleichende Wirkung von Speichermasse ist genau auf diesen Effekt zurückzuführen. Während sich die Oberflächen leichter Bauteile schnell aufheizen und „geladen“ sind, so dass die restliche Wärme im Raum verbleibt, kann ein massiver Bauteil verhältnismäßig viel Wärme aufnehmen und speichern, ohne dass sich seine Oberflächentemperatur nennenswert erhöht. So kann die überschüssige Wärme im Raum in den Bauteilen gespeichert werden. Durch die kühlen Oberflächentemperaturen fällt die empfundene (operative) Temperatur auch an heißen Tagen kühler aus als die Lufttemperatur; über den gesamten Tagesverlauf hinweg werden so die Temperaturspitzen der Luft durch die konstante Oberflächentemperatur ausgeglichen (siehe Abbildung 6 weiter oben).

4.6 Raumakustik

In Räumen mit hoher wirksamer Speichermasse spielt die Berücksichtigung von raumakustischen Aspekten eine zentrale Rolle. Harte Materialien mit hoher Baustoffdichte und glatter Oberfläche, wie etwa verspachtelter Stahlbeton oder Sichtbeton, haben eine hohe Schallreflexion, das zu einer hohen Nachhallzeit im Raum führt. Gerade in energieeffizienten Gebäuden mit hoher Speichermasse, passiven Kühlkonzepten und thermoaktiven Bauteilen gilt es, die raumakustische Qualität zu sichern, ohne das Niveau der speicherwirksamen Massen zu reduzieren. Nachstehend wird der Zusammenhang zwischen Materialien und der Schaffung optimaler Raumakustik kurz dargestellt.

4.6.1 Schall und Schallfrequenz

Schall ist eine Druckschwankung in der Luft (Luftschall) oder in festen Körpern (Körperschall). Luftschall wird durch Töne, Musik, Knistern oder durch gesprochene Sprache ausgelöst und breitet sich in alle drei Raumrichtungen aus. Jede Druckwelle hat eine bestimmte Länge (Wellenlänge λ), die sich in einem bestimmten Zeitraum wiederholt (Frequenz f).

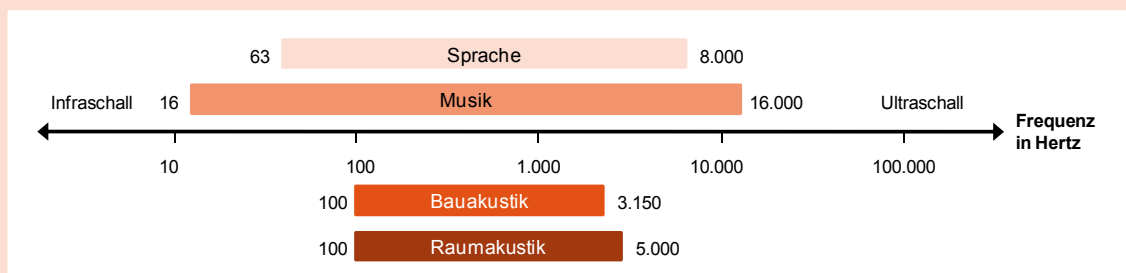


Abbildung 11: Relevanter Frequenzbereich für Bau- und Raumakustik (Quelle: buero-forum, 2008)

Raumakustische Planungen konzentrieren sich üblicherweise auf den Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 5.000 Hz. Im Rahmen der Bau- und Raumakustik werden die Eigenschaften von Räumen und Bauteilen nicht bei jeder einzelnen Frequenz berechnet und geplant, sondern benachbarte Frequenzen zu einem sogenannten Band zusammengefasst. In der Raumakustik wird dabei in der Regel mit den folgenden Frequenzen im Oktavband gearbeitet.



Abbildung 12: Frequenzen des Oktavbands (Quelle: buero-forum, 2008)

Die Charakteristika von schallabsorbierenden Produkten sind vielfach in den Frequenzen des Oktavbands angegeben.

4.6.2 Schallabsorption

Wenn eine Schallwelle auf eine Oberfläche auftrifft, wird ein Teil der Energie reflektiert, der andere Teil absorbiert, d.h. in Wärme umgewandelt. Je härter die Oberfläche eines Stoffes ist, desto höher ist der Anteil der reflektierten Energie, die im Innenraum zu einem höheren Schallpegel führt. Als Schallabsorber

werden demnach weiche Materialien mit porösen oder löchrigen Oberflächen wie beispielsweise Schaumstoffe, Lochplatten mit Vliese oder Akustikputze eingesetzt. Dabei spielt auch die Frequenz der Schallwelle eine Rolle: bei niedriger Frequenz können auch harte Materialien als Schallabsorber eingesetzt werden.

Für Oberflächen und Oberflächenverkleidungen können Richtwerte für den Schallabsorptionsgrad im Oktavband aus Tabelle 6 entnommen werden.

	Schallabsorption	
	klein	groß
Material	hart	weich
Oberfläche	dicht	porös
Reflexion	groß	klein

Tabelle 5: Charakteristika für kleine und große Schallabsorption (Quelle: Riccabona & Bednar, 2008).

Material	Schhallabsorptionsgrad α_S in Oktavbändern, Mittenfrequenz in Hz					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Beton, verputztes Mauerwerk	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Mauerwerk, unverputzt	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Harter Bodenbelag (z.B. PVC, Parkett) auf massiver Bodendecke	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Weicher Bodenbelag auf massiver Bodendecke ≤ 5 mm	0,02	0,03	0,06	0,15	0,30	0,40
Weicher Bodenbelag auf massiver Bodendecke ≥ 10 mm	0,04	0,08	0,15	0,3	0,45	0,55
Holzboden, Parkett auf Leisten	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
Fenster, Glasfassade	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
Türen (Holz)	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
Netz-Vorhang; 0 bis 200 mm vor einer harten Oberfläche	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Vorhang $< 0,2$ kg/m ² ; 0 bis 200 mm vor einer harten Oberfläche; typischer Mindestwert	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22
Vorhang, Webstoff $\approx 0,4$ kg/m ² ; in Falten oder gerüschelt, $> 1:3$, 0 bis 200 mm vor einer harten Oberfläche, typischer Höchstwert	0,10	0,40	0,70	0,90	0,95	1,00
Große Öffnungen (kleines Maß > 1 m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Luftgitter, 50% offene Fläche	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tabelle 6: Typische Werte für den Absorptionsgrad von Oberflächen (Quelle: ÖNORM EN 12354-6)

Der Schallabsorptionsgrad gibt das Verhältnis der absorbierten zur gesamten auftreffenden Energie an. Ein Wert von null entspricht einer totalen Reflexion, ein Wert von eins einer totalen Absorption. Bei Multiplikation des Absorptionsgrades α eines Materials mit der dazugehörigen Fläche S erhält man die äquivalente Absorptionsfläche A_B (ÖNORM B 8115-1).

Die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raumes A nach ÖNORM B 8115-1 wird ermittelt durch die Summe der Raumbegrenzungsflächen sowie den äquivalenten Schallabsorptionsflächen für Personen, Luft und der Einrichtung.

$$A_B = \alpha_S \cdot S \quad (2)$$

Wobei gilt:

A_B ... äquivalente Schallabsorptionsfläche einer Teilfläche in m²

α_S ... Schallabsorptionsgrad der Teilfläche

S ... Teilfläche der Raumbegrenzungsfläche in m²

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{S_i} \cdot S_i + A_E + A_L + A_P \quad (3)$$

Wobei gilt:

A ... äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raumes in m²

A_E ... äquivalente Schallabsorptionsfläche der Einrichtung in m²

A_L ... äquivalente Schallabsorptionsfläche der Luft in m²

A_P ... äquivalente Schallabsorptionsfläche der Personen in m²

4.6.3 Nachhallzeit

Die Nachhallzeit T gilt als die wesentliche raumakustische Kenngröße. Dadurch kann berechnet werden, ob ein Raum von seinen NutzerInnen als akustisch angenehm empfunden wird oder nicht. Ebenso lässt sich damit abschätzen, welche Flächen an Schallabsorbern zusätzlich erforderlich sind. Die Nachhallzeit ist definiert als jene Zeitspanne, in welcher der Schalldruckpegel nach Abschalten der Schallquelle um 60 dB abnimmt, und kann entsprechend der ÖNORM B 8115-1 nach der Sabine'schen Formel ermittelt werden (Formel 4).

$$T = 0,16 \cdot \frac{V}{A} \quad (4)$$

Wobei gilt:

T ... Nachhallzeit in s

V ... Volumen des Raumes in m^3

A ... äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raumes in m^2

Für Konferenz- und Besprechungsräume soll der Wert der Nachhallzeit je nach Größe zwischen 0,8 und 1,2 Sekunden liegen, bei Büroräumen zwischen 0,5 und 0,8 Sekunden. Die optimale Nachhallzeit für einen Raum mit der Nutzung „Kommunikation“ kann in Abhängigkeit des Raumvolumens auf Basis der ÖNORM B 8115-3 nach Formel 5 ermittelt werden. Der Toleranzbereich der optimalen Nachhallzeit in Abhängigkeit der Frequenz ist in Abbildung 13 dargestellt.

$$T_{Soll} = 0,35 \cdot \lg V - 0,17 \quad (5)$$

Wobei gilt:

T_{Soll} ... Nachhallzeit in s

V ... Volumen des Raumes in m^3

Bei zunehmender Raumhöhe wird ein Raum in der Regel halliger. Absorbierende Flächen, wie beispielsweise Teppiche, Gardinen und schallabsorbierende Decken, aber auch Einrichtungsgegenstände oder anwesende Menschen, verringern dagegen die Nachhallzeit.

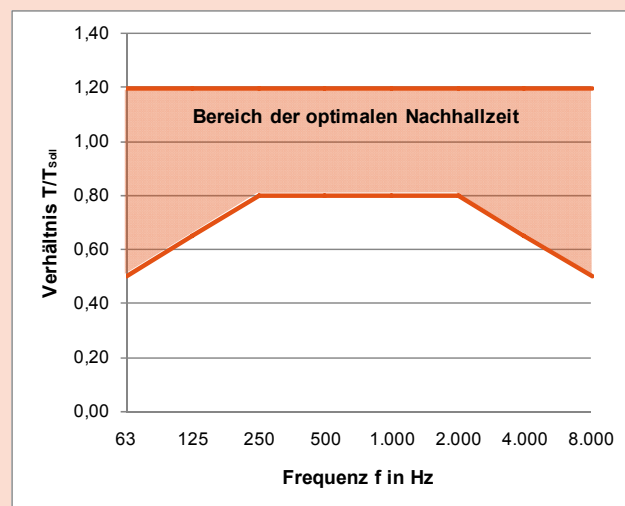


Abbildung 13: Toleranzbereich der optimalen Nachhallzeit (Quelle: ÖNORM B 8115-3).

4.6.4 Mittlerer Absorptionsgrad

Der mittlere Absorptionsgrad gibt das Niveau der Schallabsorption der raumumschließenden Fläche eines Raumes an. Je höher der Wert, desto höher ist die Schallabsorption. Dieses Kriterium ist bei der Auslegung von Büroräumen, Besprechungsräume etc. zu berücksichtigen. Die frequenzabhängigen

Mindestabsorptionsgrade für diese

Räume müssen in Abhängigkeit von den Einrichtungsgegenständen erreicht werden. Eine ausreichende Schallabsorption eines eingerichteten Raumes ist gegeben, wenn die Mindestwerte der nachfolgenden Abbildung 14 überschritten werden.

$$\alpha_m = \frac{A}{\sum S_i} \quad \text{oder}$$

$$\alpha_m = \frac{0,16 \cdot V}{T \cdot \sum S_i} \quad (6)$$

Wobei gilt:

α_m ... mittlerer Schallabsorptionsgrad im Raum

Oktavbandmittenfrequenz in Hz	250	500	1.000	2.000	4.000
α_m	0,25	0,30	0,30	0,30	0,30

Abbildung 14: Mindestwerte für den mittleren Schallabsorptionsgrad α_m in eingerichteten Räumen (Quelle: ÖNORM B 8115-3).

Ein optimaler Wert der Schallabsorptionsfläche kann über die Nachhallzeit nach Formel 4, die optimale Nachhallzeit nach Formel 5 sowie dem Toleranzbereich der optimalen Nachhallzeit nach Abbildung 13 ermittelt werden.

Beispiel 4: Ermittlung der Nachhallzeit für einen Büroraum ohne und mit raumakustischen Maßnahmen.

Berechnungsbasis: Büroraum mit den Abmessungen 5,2 x 6,5 x 3,0 m, einer Fensterhöhe von 1,3 m und ausgelegt für 4 Personen.

In Variante 1 ist die Stahlbetondecke frei zugänglich, die Wände sind glatt. In Variante 2 werden mit raumakustischen Maßnahmen an der Wand 8 m² Schallabsorber und an der Decke ein 5 m² Akustik-Deckensegel 30 cm abgehängt geplant.

Die Nachhallzeit wird für die Frequenzbereiche 500 und 2.000 Hz ermittelt.

Die optimale Nachhallzeit T_{Soll} für ein Raumvolumen von ca. 100 m³ liegt bei 0,47 Sekunden.

Die nachfolgende Tabelle stellt das Ergebnis für die Nachhallzeit t und das Verhältnis von T zu T_{Soll} für einen Büroraum ohne raumakustische Maßnahmen dar (Variante 1).

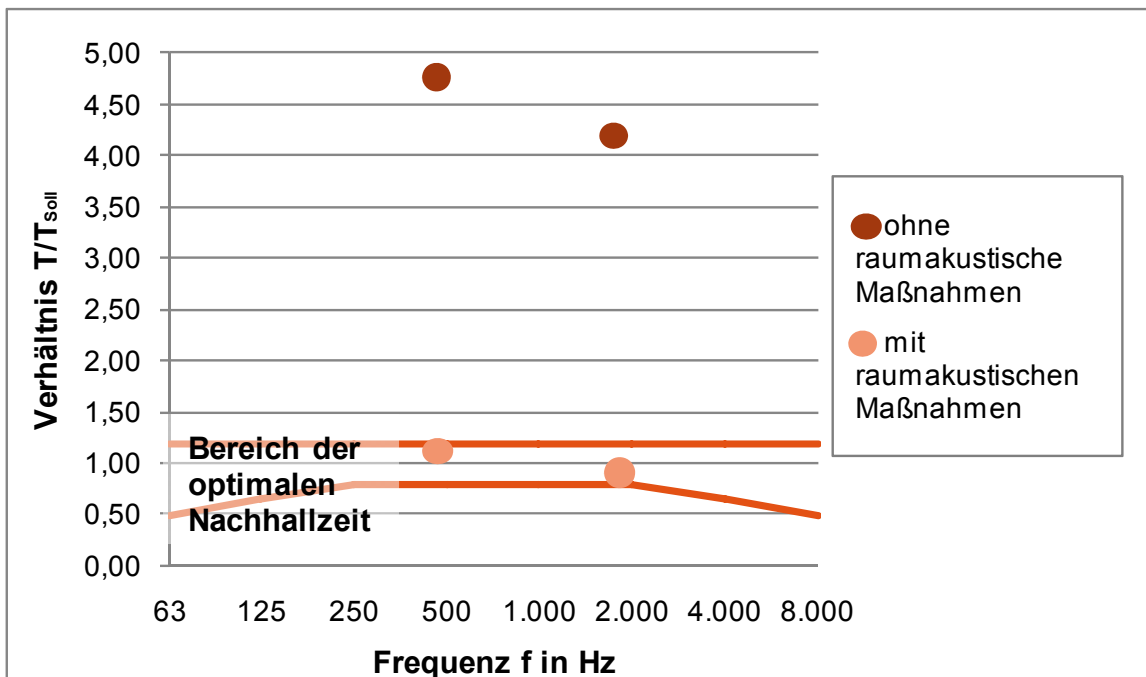
Bezeichnung	Fläche S m ²	Schallabsorptions grad α_s		$\alpha_s \cdot S$	
		500 Hz	2.000 Hz	500 Hz	2.000 Hz
		Wand	61,4	0,01	0,02
Boden	25,6	0,06	0,05	1,54	1,28
Decke	33,8	0,01	0,02	0,34	0,68
Tür	2,0	0,08	0,08	0,16	0,16
Fenster	6,8	0,05	0,03	0,34	0,20
Einrichtung	3,4	0,08	0,08	0,27	0,27
Personen	4,8	0,80	0,95	3,84	8,38
Summe $\Sigma \alpha_s \cdot S$				7,10	0,08
Nachhallzeit T				2,29	1,94
Verhältnis T/T_{Soll}				4,84	4,10

Die nachfolgende Tabelle stellt das Ergebnis für die Nachhallzeit T und das Verhältnis von T zu T_{Soll} für einen Büroraum mit raumakustischen Maßnahmen dar (Variante 2).

Bezeichnung	Fläche S m ²	Schallabsorptions grad α_s		$\alpha_s \cdot S$	
		500 Hz	2.000 Hz	500 Hz	2.000 Hz
		Wand	53,4	0,01	0,02
Boden	25,6	0,15	0,45	3,85	11,54
Decke	28,8	0,01	0,02	0,29	0,58
Tür	2,0	0,08	0,08	0,16	0,16
Fenster	6,8	0,05	0,03	0,34	0,20
Einrichtung	3,4	0,08	0,08	0,27	0,27
Personen	4,8	0,80	0,95	3,84	4,56
Schallabsorber an der Wand	8,0	1,84	1,69	14,72	13,52
akustisches Deckensegel	5,0	1,56	1,94	7,80	9,70
Summe $\Sigma \alpha_s \cdot S$				31,80	41,59
Nachhallzeit T				0,51	0,39
Verhältnis T/T_{Soll}				1,08	0,83

Bei freiliegender, massiver Decke können mit einfachen raumakustischen Maßnahmen

die Anforderungen an die Nachhallzeit eingehalten werden.



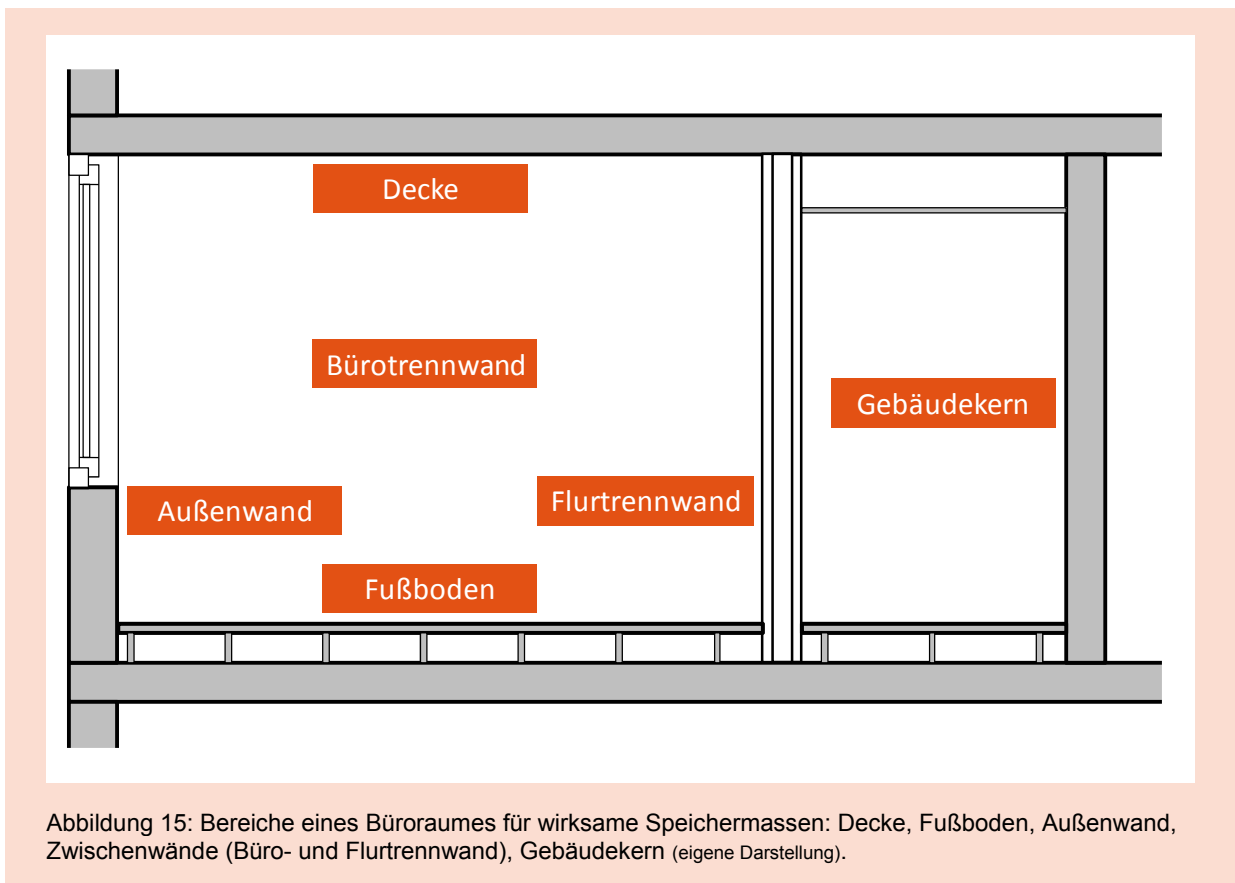
Tipp: Grundsätzliche Erkenntnisse für den Einsatz von Schallabsorbern

- Bei massiven raumabschließenden Flächen ist eine raumakustische Planung und Simulation unerlässlich, um einen hohen Nutzungskomfort gewährleisten zu können.
- Je höher der Schallabsorptionsgrad eines Materials ist, desto stärker senkt es die Nachhallzeit in einem Raum.
- Selbst ein hoch absorbierender Schallabsorber erzielt erst durch den Einsatz einer bestimmten Mindestfläche die gewünschte Wirkung im Raum.
- Umgekehrt kann auch ein relativ schwach absorbierender Schallabsorber den angestrebten Effekt erzielen, wenn seine Fläche entsprechend groß gewählt wird.
- Man kann zur Bedämpfung eines Raumes entweder einen Schallabsorber oder auch eine Kombination aus zahlreichen verschiedenen Schallabsorbern verwenden.

Quelle: buero-forum, 2008.

5 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. Diese orientieren sich an den bestehenden Strukturen eines Büroraumes. 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 massiven 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.

Beispiel 4: **Ermittlung der speicherwirksamen Masse eines Büroraumes**

Für ein 1-Personen Zellenbüro mit den Abmessungen 2,65 x 5,00 x 3,00 m (Netto-Rauminhalt 40 m³) wird die speicherwirksame Masse für zwei unterschiedliche Arten von Innenausbauten ermittelt. Variante 1 stellt einen leichten Innenausbau dar (Minimalwert der Speichermasse), Variante 2 dagegen zeigt das maximale Potenzial der speicherwirksamen Masse in diesem Büroraum.

Die flächenspezifischen Werte für die wirksame Speichermasse von Bauteilen sind nach den Vorgaben der ÖNORM B 8110-3 in einem Softwaretool zur Berechnung des Energieausweises ermittelt worden (Werte gerundet).

Variante 1

Raumabschließende Flächen des Beispielbürraums	Fläche des Bauteils m ²	Art des Innenausbaus	wirksame Speichermasse des Bauteils (gerundet) kg/m ²	wirksame Speichermasse des Bauteils kg
Decke	13,25	Stahlbetondecke	260,00	3445,00
Fußboden	13,25	Schwimmender Estrich, Kunststoffbelag	95,00	1258,75
Außenwand opak	4,51	Stahlbetonwand	260,00	1171,30
Außenwand Fenster	3,45	Verglasung	16,00	95,20
Bürotrennwand	30,00	Hochlochziegel 12 cm	53,00	1590,00
Flurtrennwand	7,95	Hochlochziegel 12 cm	53,00	421,35
Summe	72,40			7981,60

Variante 2

Raumabschließende Flächen des Beispielbürraums	Fläche des Bauteils in m ²	Art des Innenausbaus	wirksame Speichermasse des Bauteils (gerundet) kg/m ²	wirksame Speichermasse des Bauteils kg
Decke	13,25	Mineralfaserdecke abgehängt	8,00	106,00
Fußboden	13,25	Doppelboden, Teppich	33,00	437,25
Außenwand opak	4,51	Pfosten-Riegel-Konstruktion	12,00	24,00
Außenwand Fenster	3,45	Verglasung	12,00	41,34
Bürotrennwand	30,00	Gipskarton-Ständerwand	16,00	480,00
Flurtrennwand	7,95	Gipskarton-Ständerwand	16,00	127,20
Summe	72,40			1215,79

In Büroräumen liegt die Bandbreite der speicherwirksamen Masse zwischen ca. 1.200 und 8.000 kg.

Bei den einzelnen Bauteilen liegt die Bandbreite viel höher als für die gesamte Speichermasse in einem Raum nach Beispiel 4. Insbesondere bei der Decke ist die Bandbreite der speicherwirksamen Masse sehr hoch (siehe Abbildung 16). Das Freilegen der Decke ergibt somit ein sehr hohes Niveau für die Speichermasse.

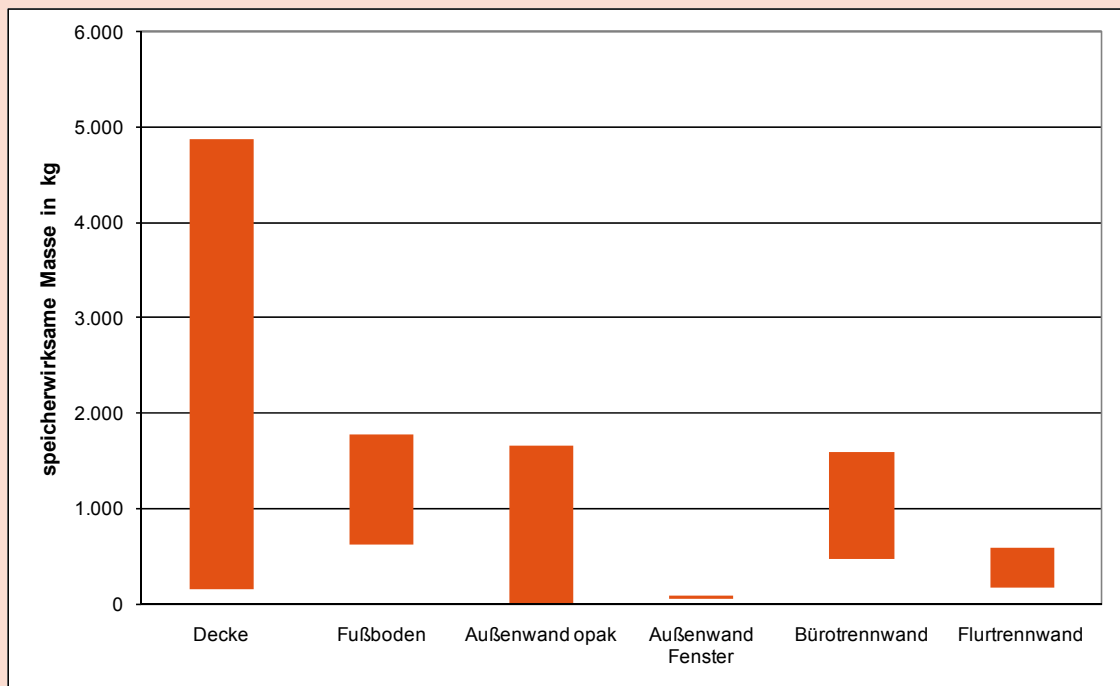


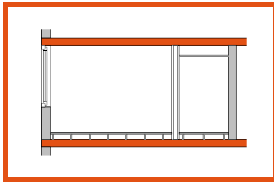
Abbildung 16: Bandbreite der speicherwirksamen Masse von raumabschließenden Flächen eines 1-Personen Zellenbüros (eigene Darstellung).

Im Vergleich zu der Darstellung in Abbildung 16 können bei einer offenen Büroform die Bürotrennwände und Flurtrennwände nicht als speicherwirksame Masse miteinbezogen werden. Dafür können Bereiche, die an den massiven Gebäudekern gerichtet sind, durch die Speichermasse des Gebäudekernes Vorteile lukrieren.

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

- Wirksamkeit der massiven Decke: Verzicht auf eine (vollflächig) abgehängte Decke
- Bodenbelag des Fußbodens: Dünner Bodenbelag (z.B. Kunststoff, Parkett) mit darunter liegendem schwimmendem Estrich oder Fließestrich auf Hohlrumboden
- Konstruktion der Außenwand/Fassade: Massive Bauweise der Außenwand
- Fensterflächenanteil der Außenwand: Geringer Fensterflächenanteil, massives Parapet im Brüstungsbereich
- Art der Bürokonzepte: Zellenbüros mit 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.



5.1 Wirksame Speichermasse in der Decke

Nutzen

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 ohne Berührung direkt über den Kopf der im Raum befindlichen Personen wahrgenommen wird. Im Sommer bietet dies die Möglichkeit, „einen kühlen Kopf zu bewahren“, ohne „kalte Füße zu bekommen“.

Konkret ergeben sich folgende Nutzen der wirksamen Speichermasse in der Decke:

- Hohe Wärmespeicherung durch massiven Bauteil und hohe Fläche;
- Gesteigerter Komfort durch temperierte raumabschließende Flächen mit geringem Temperaturunterschied zur Raumlufttemperatur;
- Ideale Voraussetzungen zur Heizung und Kühlung mittels Bauteilaktivierung (siehe Kapitel 5.2);
- Reduktion der notwendigen Geschosshöhe durch Verzicht auf abgehängte Decke in Büroräumen. Beispiele haben bereits veranschaulicht, dass dadurch bei Ausnützung der maximal zulässigen Gebäudehöhe zusätzliche Geschosse möglich sind.

Bei einem Vergleich von verschiedenen Deckenausbauten ergibt die freiliegende Stahlbetondecke mit Abstand die höchste Speichermasse. Lösungen mit integriertem Akustikputz reduzieren die Speichermasse aufgrund der geringeren Wärmespeicherfähigkeit. Bei abgehängten Decken aus Gipskarton oder Mineralfasermaterial ist nur mehr eine äußerst gering-wirksame Speichermasse verfügbar.

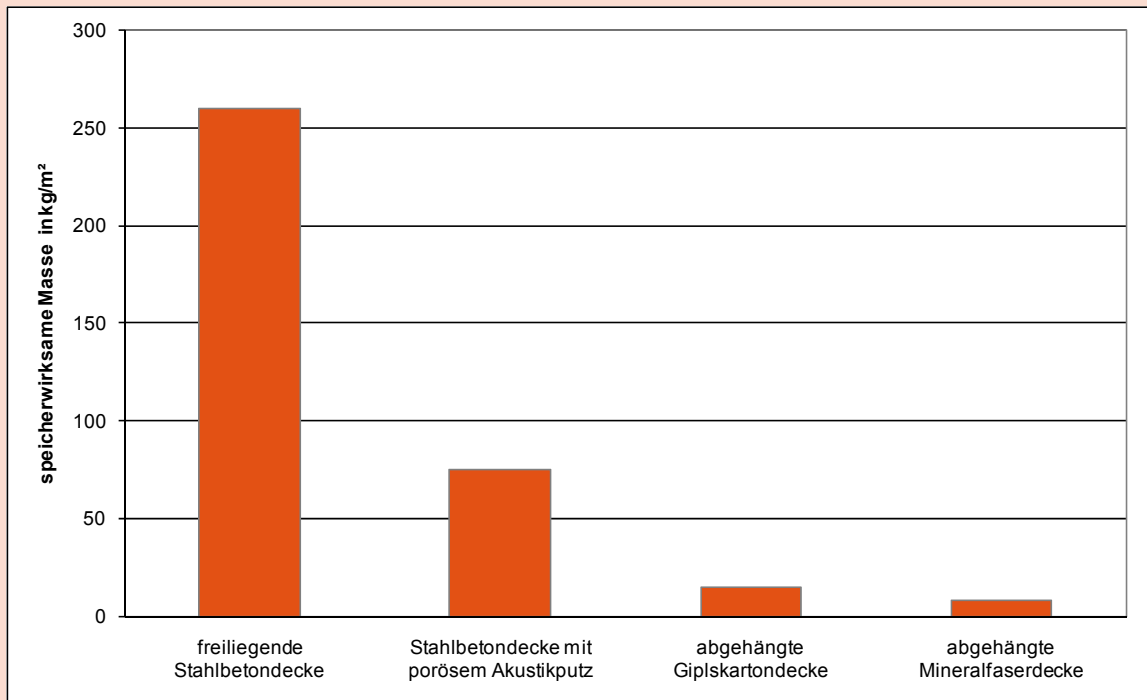


Abbildung 17: Gegenüberstellung der wirksamen Speichermasse von Deckenausbauten (eigene Darstellung).

Tipp: Hohe wirksame Speichermasse in den Decken lässt sich durch folgende Punkte realisieren

- Massive Bauweise der Decke
- Verzicht auf eine durchgängig abgehängte Decke, direkter Luftkontakt zur massiven Decke
- Erhöhung der speicherwirksamen Masse durch Strukturierung der Decke
- Integration von haustechnischen Verteilleitungen und Abgabesysteme in den Deckenaufbau

Beispiele für konkrete technische Lösungen für wirksame Speichermasse in den Decken sind:

- Freiliegende Stahlbetondecke (unterstützende Lösungen für die Freilegung siehe Kapitel 4);
- Erhöhung der Speichermasse durch Strukturierung der Decke (siehe Abschnitt 3.1.1);
- Decke aus Ziegelsteinen (siehe Abschnitt 3.1.2);
- Decke für Installationen (siehe Abschnitt 3.1.3);
- Lüftung über Hohlkammern von Fertigteildecken (siehe Abschnitt 3.1.4).

Herausforderungen für die Umsetzung

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. Damit kann die Verlegung der notwendigen Haustechnik komfortabel erfolgen und die Leitungen ästhetisch versteckt werden. Die Deckenverkleidung selbst aus einem Leichtbaumaterial bietet für die Raumakustik gegenüber einer nackten Betonplatte erhebliche Vorteile.

In den Decken von Büroräumen sind große Mengen an Speichermasse vorhanden. Die Herausforderung besteht darin, diese Speichermasse freizulegen und damit wirksam für das thermische Gebäudeverhalten zu machen. Das heißt, es müssen die Funktionen, die eine abgehängte Decke übernimmt, in anderen Bauteilen untergebracht werden oder durch andere haustechnische Lösungen ersetzt werden.

Nachstehend in diesem Abschnitt befinden sich Lösungen zur Erhöhung der Speichermassen, in Abschnitt 4 sind unterstützende Lösungen im Bereich der Haustechnik und zur Aufrechterhaltung des Nutzungskomforts enthalten.

5.1.1 Erhöhung der Speicherfähigkeit durch Strukturierung der Decke

Die thermische Speicherfähigkeit von Bauteilen hängt direkt mit der Größe der Luftaustauschfläche zusammen. Eine Möglichkeit, diese zu erhöhen, ist es, zusätzliche Flächen (Wände, Fußboden usw.) einzubeziehen, oder aber die Luftaustauschfläche der massiven Decke durch Strukturierung zu vergrößern. Im Vergleich zu einer ebenen Fläche kann eine Balkenstruktur die

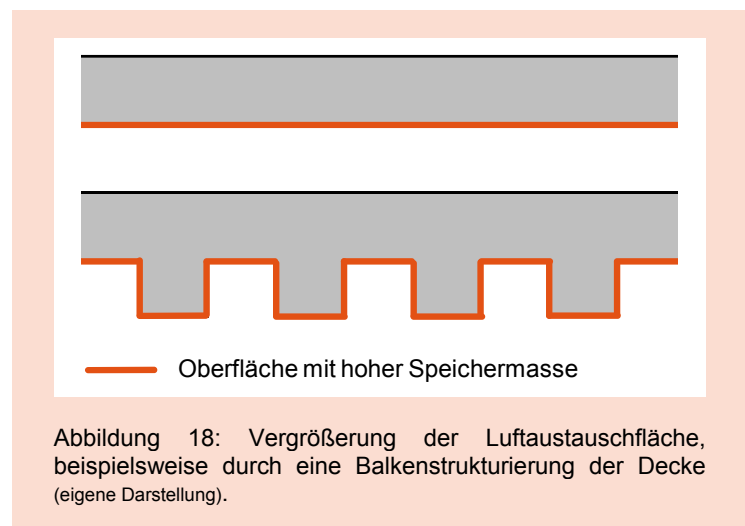


Abbildung 18: Vergrößerung der Luftaustauschfläche, beispielsweise durch eine Balkenstrukturierung der Decke (eigene Darstellung).

Luftaustauschfläche wesentlich vergrößern (siehe Abbildung 18). Selbstverständlich wirkt diese Vergrößerung nur, wenn die Strukturelemente selbst auch massiv sind und auch eine genügende Bauteiltiefe aufweisen.



Abbildung 19: Strukturierte Betondecke im Powergen-Bürogebäude in Coventry, England. Links fertiges Gebäude, rechts als Baustelle. Architektur: Bennetts Associates Architects. (Fotos: Peter Cook).



Abbildung 20: Strukturierte Betondecke in der Wessex Water Operations Centre in Bath, England. Links fertiges Gebäude, rechts als Baustelle. Architektur: Bennetts Associates Architects. (Fotos: Peter Cook).

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 (siehe Abbildung 19) oder lang gezogener Querschnitt (siehe Abbildung 20) vermeidet diesen Effekt. In beiden Gebäuden sind die Akustikplatten in die Beleuchtungskörper integriert.

5.1.2 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 21 ist die Decke als „Preußische Kappendecke“ errichtet worden, die Tragstruktur wurde dabei aus Stahlträgern realisiert.



Abbildung 21: Deckenverkleidung aus Ziegel (Foto: Norbert Prommer, Verband Österreichischer Ziegelwerke).

5.1.3 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.

Die Tragfähigkeit ist dadurch gegeben, dass die dünne Stahlbetonplatte zusammen mit den aufgelösten Rippen eine Fachwerkstruktur bildet, die in eine oder in zwei Richtungen gespannt sein kann. Somit kommt es zu einer sehr tragfähigen Konstruktion, welche ein geringes Eigengewicht und große Hohlräume aufweist. Die Obergurte sind in einem weiten Raster angeordnet, womit sehr große, oben offene Felder entstehen. In diesen Hohlräumen können Installationsleitungen und Geräte untergebracht werden. Da die Rippen bzw. Stege fachwerkartig ausgebildet werden, sind die einzelnen Hohlräume miteinander verbunden und dadurch können die Installationen sehr einfach auf der Stahlbetonplatte verlegt werden. Die dünne Stahlbetonplatte wird für die Tragfähigkeit der Decke, aber auch für den erforderlichen Brandschutz und als Auflagerfläche für die Leitungen herangezogen.

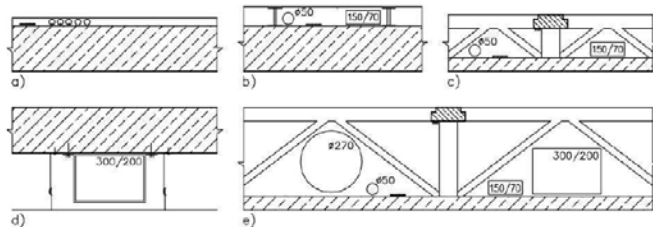
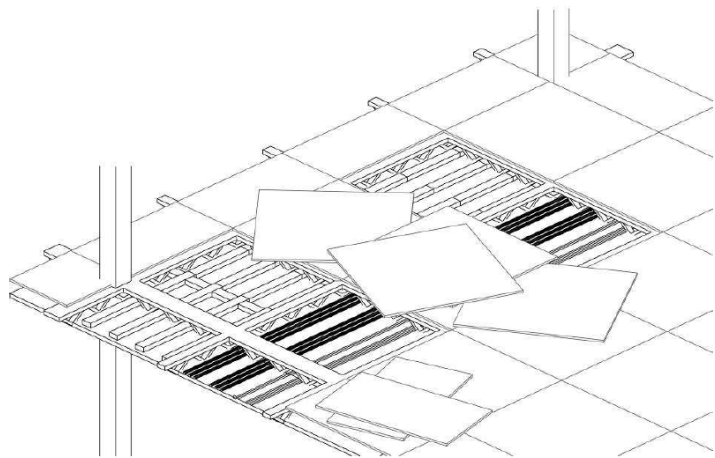


Abb. 3: Deckenaufbauten bei unterschiedlichen Installationsleitungs- Systemen

- a) Stahlbetondecke mit Sandausgleichsschicht für Leitungen u. Leerrohre ($h=24\text{ cm}$)
- b) Stahlbetondecke mit Doppelboden ($h=28\text{ cm}$)
- c) Decke für Installationen ($h=25\text{ cm}$)
- d) Stahlbetondecke mit abgehängter Decke ($h=45\text{ cm}$) $\rightarrow d=15\text{ cm}$
- e) Decke für Installationen für große Querschnitte ($h=45\text{ cm}$) $\rightarrow d=40\text{ cm}$

Abbildung 22: Decke für Installationen (Quelle: Kollegger, Burtscher, & Kainz, 2006).

- Die dünne Stahlbetonplatte an der Unterseite kann für die Wärmespeicherung herangezogen werden.
- Die Deckenfläche kann zur Gänze freigelegt werden, da die Installationen in der Decke enthalten sind.
- Haustechnische Leitungssysteme können in der Decke integriert werden.
- Möglichkeit für Befestigungen in der Decke bleibt erhalten.

Eine wesentliche Einschränkung stellt 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 unter der Betonplatte, also

auf demselben Stockwerk befinden, welches sie versorgen). Gleichzeitig bleiben die akustischen Herausforderungen einer freien Stahlbetondecke bestehen.

5.1.4 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.

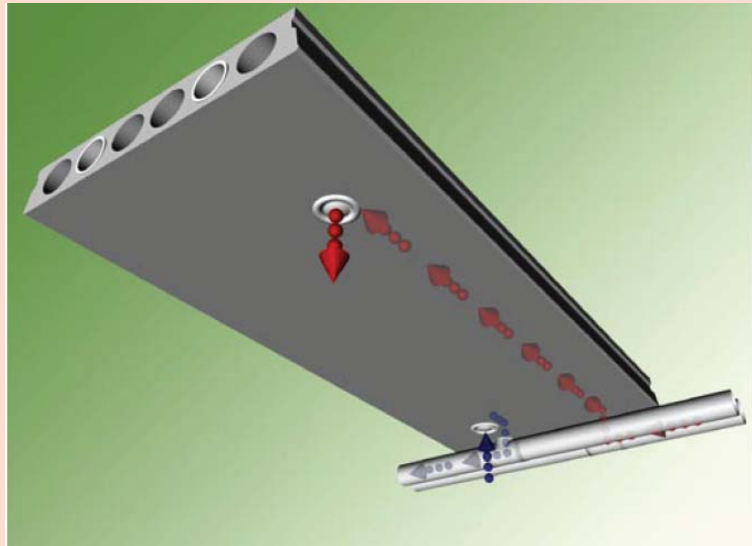
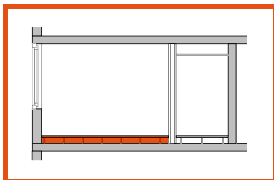


Abbildung 23: Fertigteildecke mit integriertem Lüftungssystem (Quelle: DW Systembau GmbH, BRESPA Lüftungsdecke).

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 5.2).



5.2 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, nur wird statt (bzw. neben) der Unterseite die Oberseite der Betonplatte verwendet, 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.

5.2.1 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:

- Fliesen,
- dünner Parkettboden,
- 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.

5.2.2 Geeigneter Fußbodenaufbau

Fußbodenaufbauten in Bürogebäuden werden in vielen Fällen so konstruiert, dass Elektroleitungen für die Arbeitsplätze oder Bodenauslässe im Fußboden verlegt werden können. Oft kommen Doppelböden zum Einsatz,

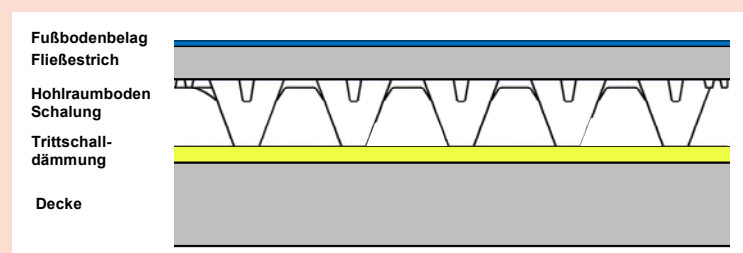
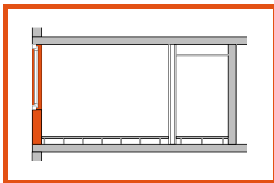


Abbildung 24: Beispiel des Aufbaus eines Hohlraumbodens (eigene Darstellung).

die nur über eine geringe Speichermasse verfügen. Demgegenüber können auch Bodenaufbauten mit höherer Speichermasse und gleicher Funktionalität umgesetzt werden: Der Hohlraumboden verfügt – wie der Name schon ausdrückt – über einen Hohlraum zwischen Decke und Fußbodenaufbau, der für die Verlegung von Leitungen genutzt werden kann. Darüber wird eine Schicht mit Fließestrich eingefügt. Bodenauslässe müssen im Bodenaufbau bereits integriert werden, können jedoch auch im Nachhinein eingebaut

werden. Im Gegensatz zum Doppelboden können die Bodenelemente jedoch nicht einfach herausgenommen werden.

In Bürogebäuden können jedoch auch Fußbodenaufbauten mit schwimmendem Estrich realisiert werden. Um Flexibilität für die Anschlüsse aufrecht zu erhalten, besteht die Möglichkeit, Elektrokanäle in den Bodenaufbau zu integrieren (siehe Abschnitt 4.1.4).



5.3 Wirksame Speichermasse in der Außenwand

In Altbauten (z.B. aus der Gründerzeit) erfüllt die Fassade eine tragende Funktion und ist deshalb entsprechend massiv ausgeführt. Da zusätzlich auch alle Zwischenwände massiv ausgeführt werden, sind Altbauten im Sommer meistens auch bedeutend kühler als moderne Gebäude.

In modernen Bürogebäuden hat die Fassade selten eine tragende Funktion; die Lochfassade ist Fensterbändern oder einer vollflächigen Verglasung gewichen. Aus Gründen des sommerlichen Wärmeschutzes ist ein Fensterflächenanteil von ca. 50% sinnvoll – hier wird das Optimum

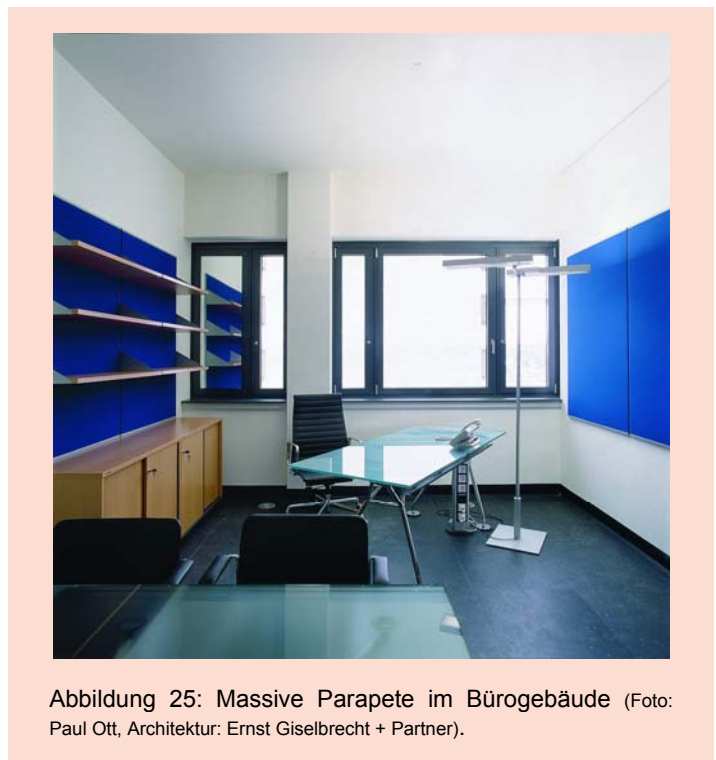


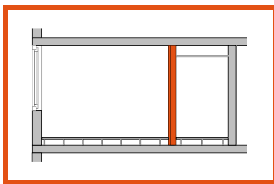
Abbildung 25: Massive Parapete im Bürogebäude (Foto: Paul Ott, Architektur: Ernst Giselbrecht + Partner).

zwischen Tageslichtbedarf und Eingrenzung der solaren Wärmeeinträge erreicht. Die verbleibende opake Fassadenfläche kann wahlweise massiv (Beton, Ziegel) oder als Leichtbaukonstruktionen ausgeführt werden (z.B. als gedämmte Metallfassade).

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.

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

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



5.4 Wirksame Speichermasse in Zwischenwänden

Eine wesentlich größere Fläche als die Fassade weisen in einem Büroraum die Zwischenwände zu anderen Räumlichkeiten auf. Diese 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 einzubauen und bei allfälligen 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:

5.4.1 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 26: Massive Flurtrennwände im Neubau-Turm des Bundesamtes für Statistik, Neuchâtel, Schweiz. (Architektur: Bauart Architekten und Planer AG, Bern. Foto: Ruedi Walti, Basel)

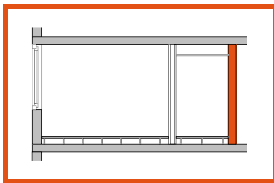
5.4.2 Zwischenwände aus Gips-Wandbauplatten

Leichte Zwischenwände aus Gips-Wandbauplatten sind eine Kombination aus massivem Mauerwerk und dem Trockenbau mit Ständerwänden. Die Wände werden ohne Unterkonstruktion errichtet, bestehen homogen aus Gips, besitzen jedoch 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, müssen also nicht auf die Rohdecke aufgemauert werden. Öffnungen in der Wand können ohne großen Aufwand an der entsprechenden Stelle herausgeschnitten werden. Änderungen am Bestand von Gipskarton-Ständerwänden unterliegen hingegen einem wesentlich größeren Aufwand.



Abbildung 27: Gips-Wandbauplatten (Quelle: Multigips, VG Orth GmbH & Co KG).



5.5 Wirksame Speichermasse im Gebäudekern

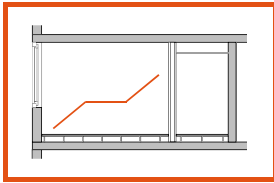
Moderne Büroflächen werden meist um einen Gebäudekern angeordnet. Als einziges durchgehendes Element hat der Kern einerseits eine tragende Funktion, andererseits beheimatet er die räumliche und häufig auch die haustechnische Erschließung. Der Kern wird meistens aus massivem Stahlbeton ausgeführt, was ihm hervorragende wärmespeichernde Eigenschaften verleiht. So sind Stiegenhäuser meistens auch im Sommer angenehm kühl, auch wenn die Büros an der Außenfassade bereits überhitzt sind.



Die Nutzungsmöglichkeit des Gebäudekerns als Speichermasse für den Arbeitsplatzbereich ist stark eingeschränkt, denn um Wärme abzugeben bzw. aufzunehmen müsste die Innenraumluf der Büroflächen mit den Bauteilen des Gebäudekerns in Berührung kommen. Klassischerweise ist dies nicht der Fall: die Arbeitsplätze in einem Einzelraumbüro 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 dort gibt es Möglichkeiten Speichermasse unterzubringen, um somit den Nutzungskomfort mit geringer mechanischer Raumkonditionierung sicherzustellen.

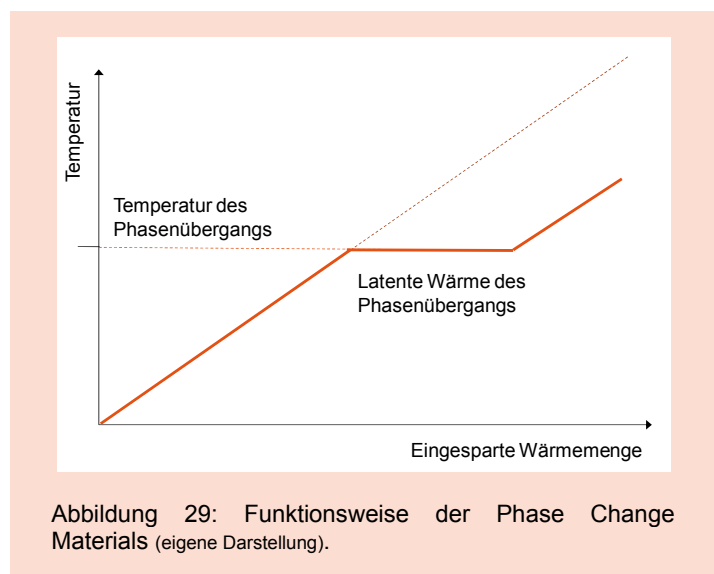


5.6 Einsatz von latenten Wärmespeichern

5.6.1 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 und in Materialien 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.



Mehr als bei massiven 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“.

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. Auch im Wasser ist dieses

Phänomen bekannt: Die Wärmemenge, die zum Beispiel Eis beim Schmelzen zu flüssigem Wasser aufnimmt, würde die gleiche Menge flüssigen Wassers um 80°C aufheizen. Aufgrund der hohen Speicherfähigkeit 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.

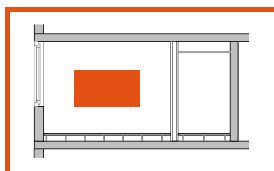
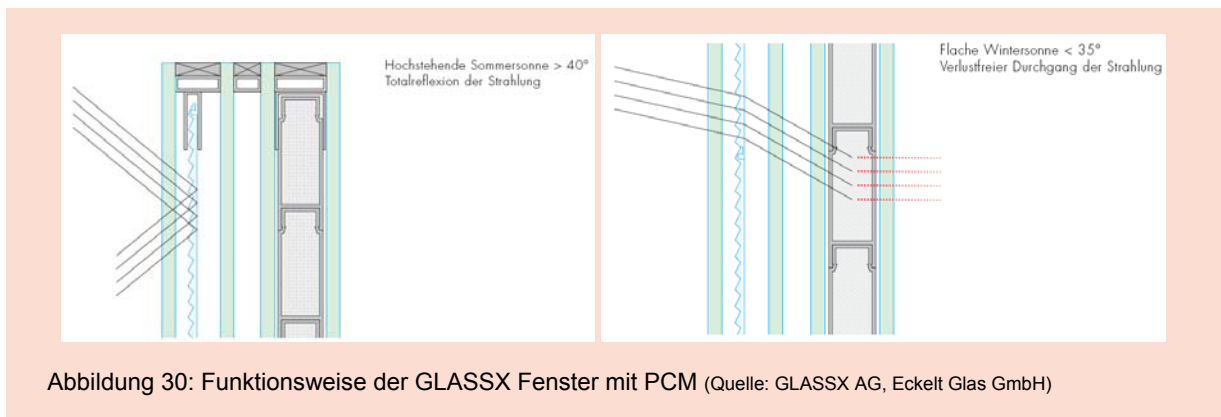
Diese Eigenschaften machen PCM zu einer sinnvollen Ergänzung von leichten Bauteilen. Die Verarbeitung als Innenputz, Gipskartonplatten oder Deckenelemente macht sogar den nachträglichen Einbau in Bestandsgebäuden möglich. Damit könnten PCM einen technologischen Brückenschlag zwischen leichter, flexibler Bauweise und dem Einsatz von Speichermasse darstellen.

5.6.2 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.

5.6.3 Transluzente Außenwand mit integrierten PCM-Modulen zur Wärmespeicherung

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 im Scheibenzwischenraum implementierte Prismenglas reflektiert die hoch stehende Sommersonne mit Einfallswinkeln über 40° 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 angenehme Strahlungswärme wieder abgibt. Als Speichermaterial wird PCM (Phase Change Material) in Form eines Salzhydrates verwendet. Das Salzhydrat ist in Polycarbonatbehältern hermetisch eingeschweißt. 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.



5.7 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.

6 Unterstützende Lösungen für hohe Speichermasse

Wesentliche Herausforderungen bei freiliegenden massiven Decken sind die haustechnischen Lösungen so unterzubringen, dass diese keine abgehängte Decke benötigen, und die Aufrechterhaltung der Anforderungen an den Nutzungskomfort, insbesondere bei der Raumakustik.

Tipp: Bei einer freiliegenden massiven Decke sind folgende Herausforderungen zu lösen, um optimale Bedingungen im Büroraum vorzufinden

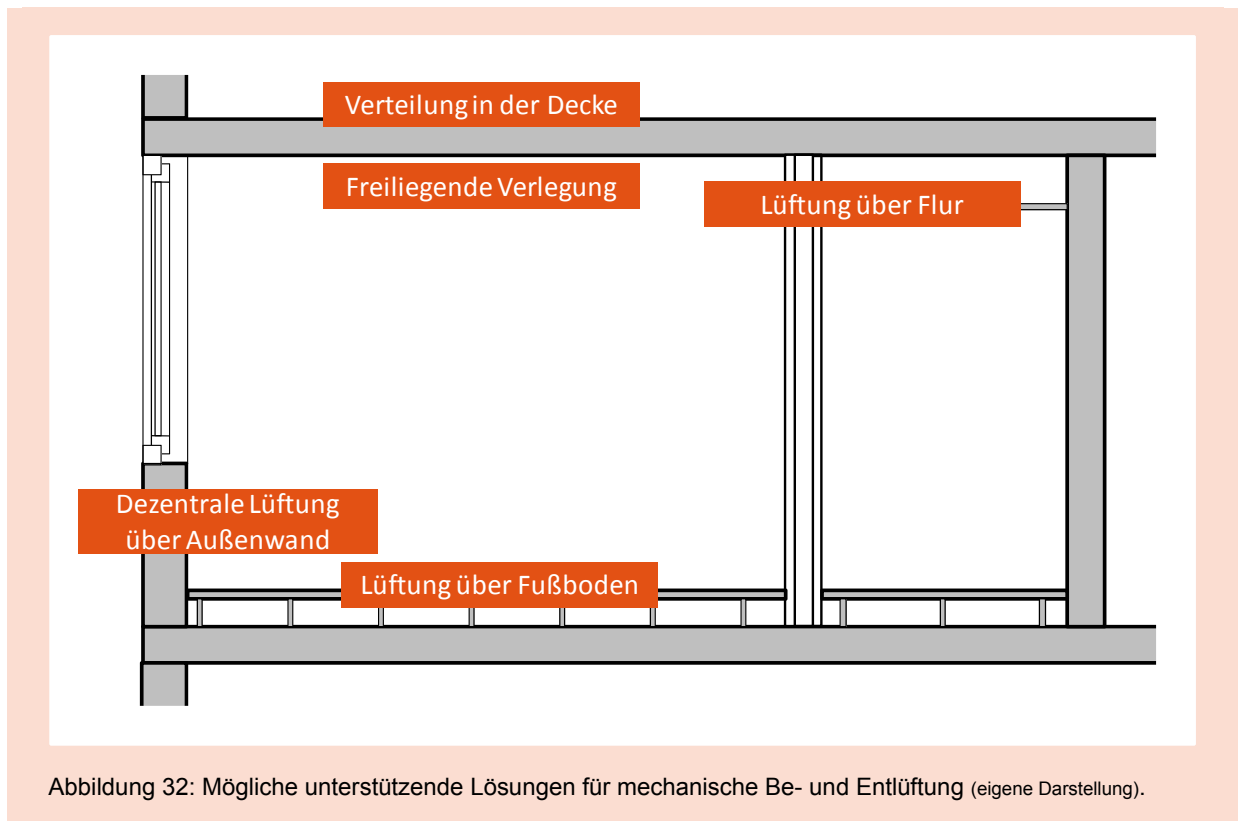
- Be- und Entlüftung (ev. kombiniert mit Heizung und Kühlung): Montage von haustechnischen Verteilungen und Abgabesysteme von Lüftungsanlagen, die in üblichen Bürolösungen in der abgehängten Decke enthalten sind. Mögliche Lösungen:
 - Integration der haustechnischen Verteilungen und Abgabesysteme in den Deckenaufbau;
 - Verlagerung der Verteilungen und Abgabesysteme, z.B. in die Außenwand und zur Flurtrennwand hin;
 - Sichtbare, frei liegende Haustechnikleitungen.
- Heizung und Kühlung, ohne die Decke (vollflächig) zu nutzen. Mögliche Lösungen:
 - Flächenheizung und -kühlung in der Decke, Fußboden oder Wänden
 - Heiz- und Kühlsegel oder Kühlbalken an der Decke, die nur einen geringen Teil der Decke in Anspruch nehmen
 - Heizung als Brüstungsgerät (z.B. in Form von Radiatoren)
- Beleuchtung: Lage der Leitungen und Montage von Beleuchtungssystemen. Mögliche Lösungen:
 - Verlegung der Leitungen für die Beleuchtung in der Decke (Leerverrohrungen);
 - Verlegung und Montage sichtbar an der Decke;
 - Stehlampen ohne erforderlicher Montage und Leitungsverlegung in der Decke.
- Raumakustik: Verschlechterung der Raumakustik durch die freiliegende Decke macht eine sorgfältige Akustikplanung durch Fachleute erforderlich. Mögliche

Lösungen:

- Technische Elemente an der Decke und an den Wänden;
- Schallabsorbierende Fußbodenbeläge;
- Schallabsorbierende Büromöbel;
- Akustikputz an der Decke.
- Sprinkleranlage: Verlegung der Sprinkleranlage, so dass dafür keine abgehängte Decke erforderlich ist. Mögliche Lösungen:
 - Sichtbare Verlegung, wie bei Beleuchtungs- und Haustechniksystemen;
 - Verlegung im Deckenaufbau gemeinsam mit der Bauteilaktivierung;
 - 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.

6.1 Unterstützende Lösungen für Raumkonditionierung

Bei der Raumkonditionierung, also der Heizung und Kühlung des Raumes, sowie die mechanischen Be- und Entlüftung, gibt es mehrere Möglichkeiten die Verteilleitungen und Auslässe zu verlegen und montieren, so dass eine abgehängte Decke nicht erforderlich ist. Die Verteilleitungen von der Lüftungszentrale können dabei über den Gang, über den Fußboden oder direkt, 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.



6.1.1 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 3.1.3) ausgeführt werden. Zur Heizung und Kühlung kann das System der Bauteilaktivierung eingesetzt werden, so dass kein zusätzliches Abgabesystem erforderlich ist.

BTA

Bei Einbau einer Bauteilaktivierung sind neben den Rohrleitungen für die Bauteilaktivierung noch die Lüftungsleitungen und die Leerverrohrung für die Beleuchtung in die Decke zu integrieren. Dabei ist eine sorgfältige Planung und Umsetzung sicherzustellen, um beim Einbau Schwierigkeiten zu vermeiden. Eine gute Abstimmung zwischen der Tragwerksplanung und dem Haustechnikplaner ist erforderlich.

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. Freiliegende Systeme erfordern zudem einen höheren Reinigungsaufwand.



Abbildung 33: 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).

BTA

Bei Bohrungen in Decken mit Bauteilaktivierung muss ein Sicherheitsabstand zu den Aktivierungsregistern eingehalten werden. Bei allzu flacher Verlegung der Aktivierungsregister kann die Befestigung von Deckenleuchten erschwert sein.

Teilabgehängte Decke für Luftführung

Die Funktionen der Haustechnik, insbesondere der Lüftung, können auch sichergestellt werden, wenn die Anlagen nicht in den Büroräumlichkeiten untergebracht werden. Als übliche Lösung werden dabei die haustechnischen Anlagen in der Mittelzone in einem Deckenkoffer untergebracht und die Zuluft über eine Weitwurfdüse in den Raum eingebracht. Wenn es jedoch erforderlich ist die Lüftungskanäle und die restlichen

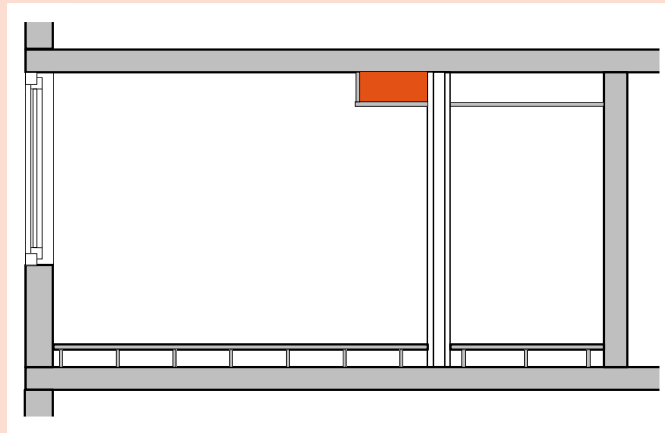


Abbildung 34: Teilabgehängte Decke mit Lüftungskanälen an der Flurtrennwand (eigene Darstellung).

haustechnischen Anlagen im Büroraum unterzubringen kann dafür nur ein Teilbereich als Deckenkoffer oder abgehängte Decke ausgeführt werden. So kann der restliche Bereich wirksam für die Wärmespeicherung bleiben.

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. Im Zentrum stehen dabei die Funktionen Beleuchtung, Lüftung und Kühlung. Zusätzlich kann in multifunktionalen Kühlbalken auch die Sprinkelung, raumakustische Maßnahmen und Sensoren untergebracht werden.

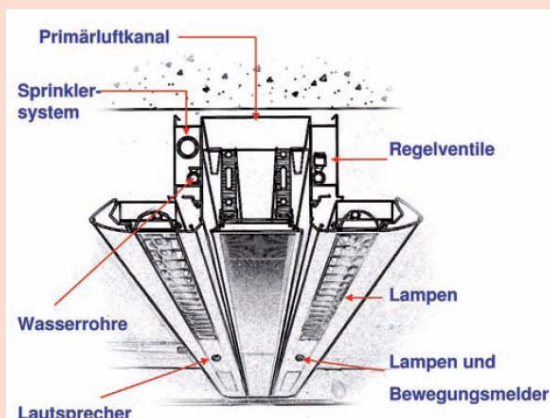


Abbildung 35: Kühlbalken: Darstellung möglicher Funktionen und Einbaubeispiel (Quelle: Trox GmbH) © Copyright by TROX GmbH

6.1.2 Maßnahmen im Bereich der Zwischenwand

Lüftung über Flurtrennwand

In dieser Lösung werden die Verteilleitungen nur im zentralen Bereich (Gang) verlegt. Die Zu- und/oder Abluft wird über die Flurtrennwand eingeblasen. Eine abgehängte Decke ist somit nur im Gangbereich notwendig – die Decken über den Arbeitsplätzen können frei bleiben. Die Luft wird beispielsweise durch eine Weitwurfdüse oder über den Fußboden in den Raum eingetragen. Bei der Dimensionierung der Düsen

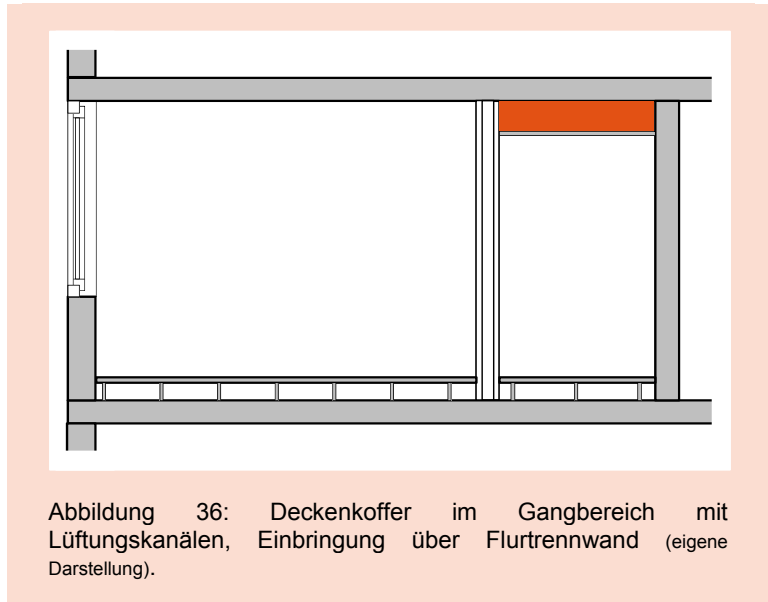


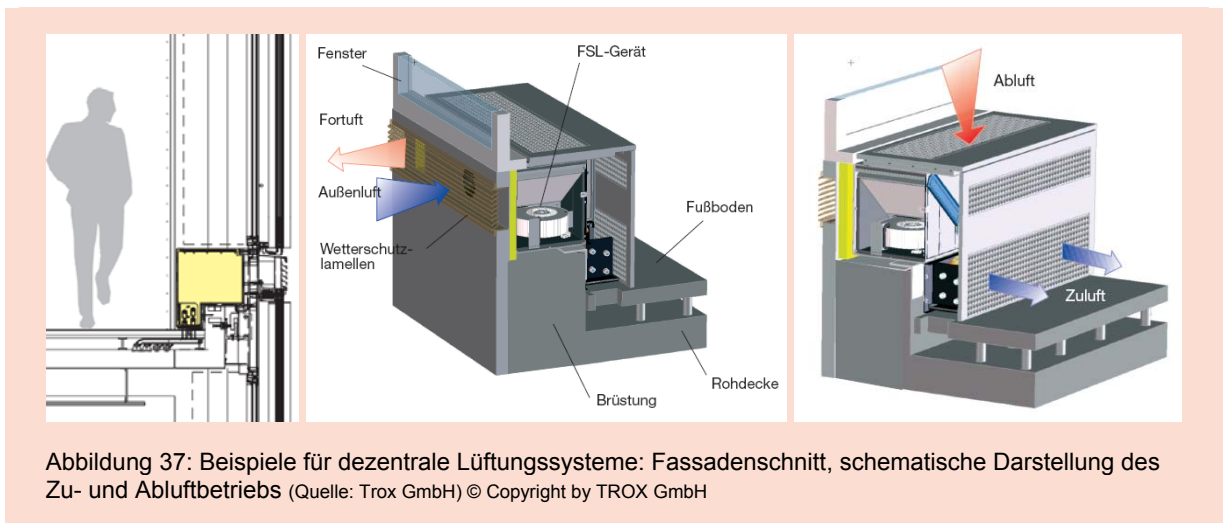
Abbildung 36: Deckenkoffer im Gangbereich mit Lüftungskanälen, Einbringung über Flurtrennwand (eigene Darstellung).

muss darauf geachtet werden, dass der Luftaustausch über die gesamte Raumtiefe gewährleistet wird und gleichzeitig keine überhöhten Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich der NutzerInnen auftreten.

6.1.3 Maßnahmen im Bereich der Außenwand

Dezentrale Haustechnik

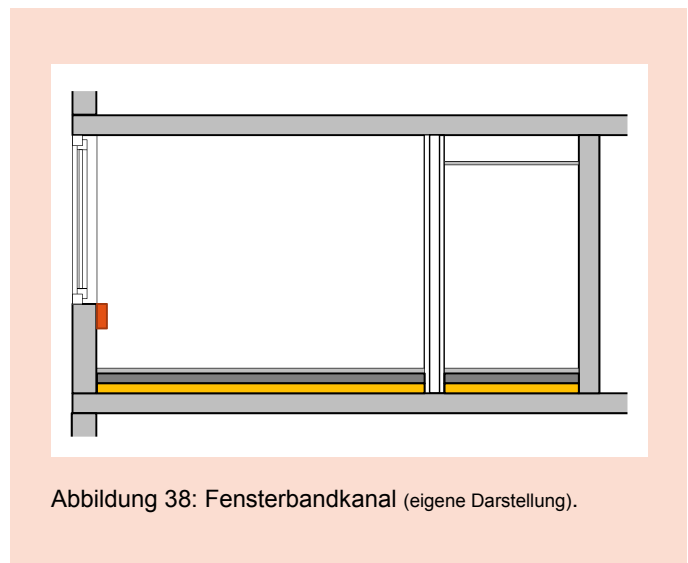
Anstatt über den Gebäudekern oder über die Decke können Leitungen für die Haustechnik auch über die Fassade geführt werden. Bei der Verwendung von dezentralen Lüftungsgeräten verschwindet die Notwendigkeit von Zuluftleitungen gänzlich. Im Vergleich zu zentralen Lüftungsanlagen gehen dezentrale Lüftungsgeräte 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).

Wie schon oben beschrieben, können auch die Haustechnikleitungen statt im Gebäudekern auch in der Fassade geführt werden. Somit erübrigen sich die Zuleitungen im Boden.



Komplettlösungen bei der Fassade

Neben den dezentralen Be- und Entlüftungssystemen, die auch die Funktionen Heizen und Kühlen integrieren, können auch Gesamtfassadenlösungen geplant werden, die bereits sämtliche Geräte zur Raumkonditionierung (Be- und Entlüftung, Heizung, Kühlung) integriert haben. Dadurch sind keine Verteilungen mehr erforderlich.

6.1.4 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 39: Luftauslass für die Quelllüftung im Base, Wien. (Foto: Hertha. Humaus, 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 zu gewährleisten. 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

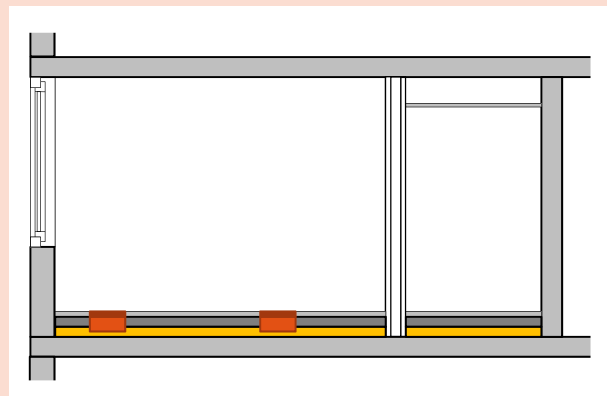


Abbildung 40: Kabeltrasse im Boden (eigene Darstellung).

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.

6.2 Unterstützende Lösungen für Beleuchtung

Pendel- oder Anbauleuchten

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

Der Vorteil der Deckenleuchten liegt darin, dass die Tageslichtsteuerung sowie andere zentrale Lichtsteuerungsfunktionen

(z.B. mögliches Abschalten

der Leuchten am Abend für ganze Bereiche, etc.) leichter umgesetzt werden kann.

Bei freiliegenden Decken ist dafür zu sorgen, dass die Stromkabel zur jeweiligen Leuchte gelangen. Das kann über eine Leerverrohrung in der Decke oder über eine Montage an der Deckenuntersicht 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.

BTA

Bei Bohrungen in Decken mit Bauteilaktivierung muss ein Sicherheitsabstand zu den Aktivierungsregistern eingehalten werden. Bei allzu flacher Verlegung der Aktivierungsregister kann die Befestigung von Deckenleuchten erschwert sein.



Abbildung 41: Beispiel von Pendelleuchten bei einer massiven Decke im ENERGYbase, Wien (Foto: Hertha Hurnaus, Architektur: pos architekten).

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 42: Beispiel einer Stehlampe für Büroarbeitsplätze (Foto: Paul Ott, Architektur: Ernst Giselsbrecht + Partner).

6.3 Unterstützende Lösungen in der Raumakustik

Unverkleidete Betondecken, großflächige Glasflächen und Naturstein- oder Holzfußböden haben zwei Eigenschaften gemeinsam: Sie werden gerne als ästhetische Elemente in der modernen Architektur eingesetzt, gleichzeitig verschlechtern sie 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.

6.3.1 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 als Speichermasse wirksam.



Abbildung 43: Akustikplatte an der Decke
(Quelle: Renz GmbH).

BTA

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. Wie bei der Beleuchtung ist auch bei der Montage der Akustikplatten darauf zu achten, dass die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung nicht beschädigt werden.

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

BTA

Bei der Montage von abgehängten Akustikplatten ist darauf zu achten, dass die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung nicht durch Bohrungen beschädigt werden.

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 45: Deckenbaffles aus Textilien (Foto links: FOX HOLZ Fußboden und Objektsysteme GmbH; rechts: Stefan Bstieler, s Objektmanagement).



Abbildung 46: Deckenbaffles aus Schaumstoff (Foto links: Peter Holzer, Donau-Universität Krems; rechts: FOX HOLZ Fußboden und Objektsysteme GmbH).



Abbildung 47: Deckenbaffles aus Holz (Foto: Paul Ott, Architektur: Ernst Giselbrecht + Partner).

BTA

Bei der Montage der Akustik Elemente ist darauf zu achten, dass die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung nicht durch Bohrungen beschädigt werden.

Schallabsorbierende Beleuchtungskörper

Sind keine frei schwebenden Akustik Elemente 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.



BTA

Bei der Montage der Beleuchtungskörper ist darauf zu achten, dass die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung nicht durch Bohrungen beschädigt 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. Im zweiten Fall ist eine Abhängung möglich, die sich gegebenenfalls günstig auf das Absorptionsverhalten des Materials auswirkt.



Abbildung 49: 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 glatten 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.

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 17), und einer abgehängten Akustikdecke, die praktisch keine Speichermasse mehr besitzt.

6.3.2 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 50: 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. Die Schallwellen dagegen können nicht direkt zu den benachbarten Arbeitsplätzen gelangen. Um eine hohe raumakustische Qualität sicherzustellen, können diese Trennwände zwischen zwei Arbeitsplätzen auch verwinkelt angeordnet werden.

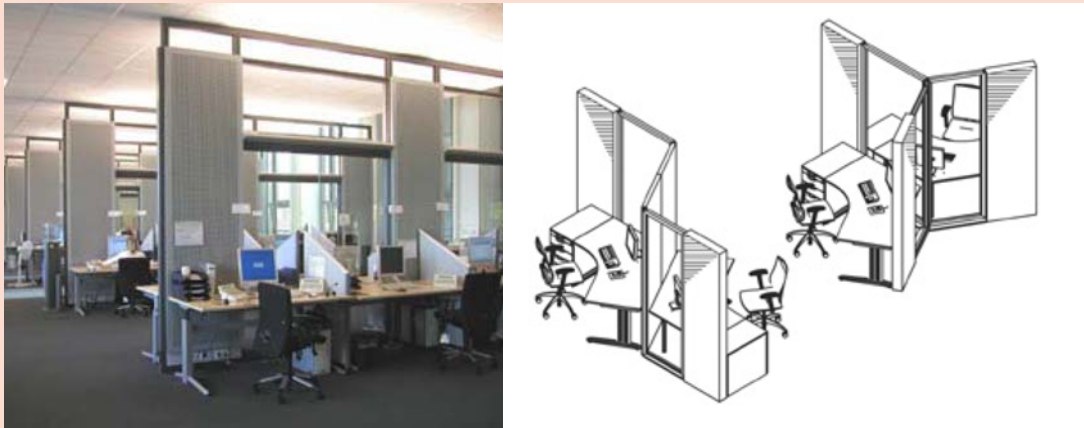


Abbildung 51: Beispiele für Schallschirme (links) und verwinkelte Anordnung für hohe raumakustische Qualität am Arbeitsplatz (rechts) (Quelle: Renz GmbH, Systemlösungen für bessere Arbeitswelten).

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

Einrichtungsgegenstände mit raumakustischen Platten

Einrichtungsgegenstände können an der Oberfläche so gestaltet werden, dass eine hohe Schallabsorption gewährleistet werden kann. So können Schränke oder Schreibtischelemente in die raumakustische Planung von Büros einbezogen werden können.

Der Vorteil von Einrichtungsgegenständen mit integrierten Absorbern liegt darin, dass sie flexibel eingesetzt werden können, auch wenn an einem Gebäude keine baulichen



Abbildung 53: Schränke mit raumakustischen Türen (Foto: BER Deckensysteme).

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.

6.3.3 Maßnahmen im Bereich des Bodens

Fußbodenbelag

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, so sind die Vorschläge im Kapitel 3.2 zu beachten.

BTA

Bei einer Bauteilaktivierung im Fußbodenaufbau ist von einem Teppichbodenbelag unbedingt abzusehen, da dadurch die Wärmeübertragung vom Fußboden in den Raum beträchtlich reduziert wird.

6.4 Lösungen für Sprinkleranlagen

Wird ein Besprinklerungssystem für ein Bürogebäude vorgeschrieben, so wird dieses meist an der Decke angebracht. Dabei erfolgt die Verlegung oft innerhalb der abgehängten Decke. 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;
- Verlegung über Integration in multifunktionale Kühlbalken.

BTA

Bei der nachträglichen Montage der Sprinkleranlage an der Decke ist darauf zu achten, dass die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung nicht angebohrt werden.

7 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: Passiv, z.B. durch natürliche Nachtlüftung, und aktiv, beispielsweise über mechanische Lüftung oder über ein System der Bauteilaktivierung.

7.1 Abkühlung der Gebäudemasse 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 Einbruchssicherheit, 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 54).

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. Im Vergleich zur rein natürlichen Lüftung ermöglicht die mechanische Nachtlüftung eine stabilere Temperatureinstellung. Es ist jedoch zu beachten, dass für die Abkühlung der Speichermassen ein gegenüber den hygienischen Anforderungen erhöhter Luftwechsel nötig ist (2/h bis 4/h), was auch mit einem erhöhten Stromverbrauch einhergeht. Dieser zusätzliche Stromverbrauch kann mitunter auch die durch die Nachtlüftung eingesparte Kühlenergie übersteigen. Dies kann vermieden werden, wenn in der Planung der Lüftungsbedarf sorgfältig berechnet, die Anlagen entsprechend dimensioniert und eingestellt werden – manchmal muss man aber auf andere Varianten der Wärmeabführung (Bauteilaktivierung oder natürliche bzw. hybride Nachtlüftung) zurückgreifen.

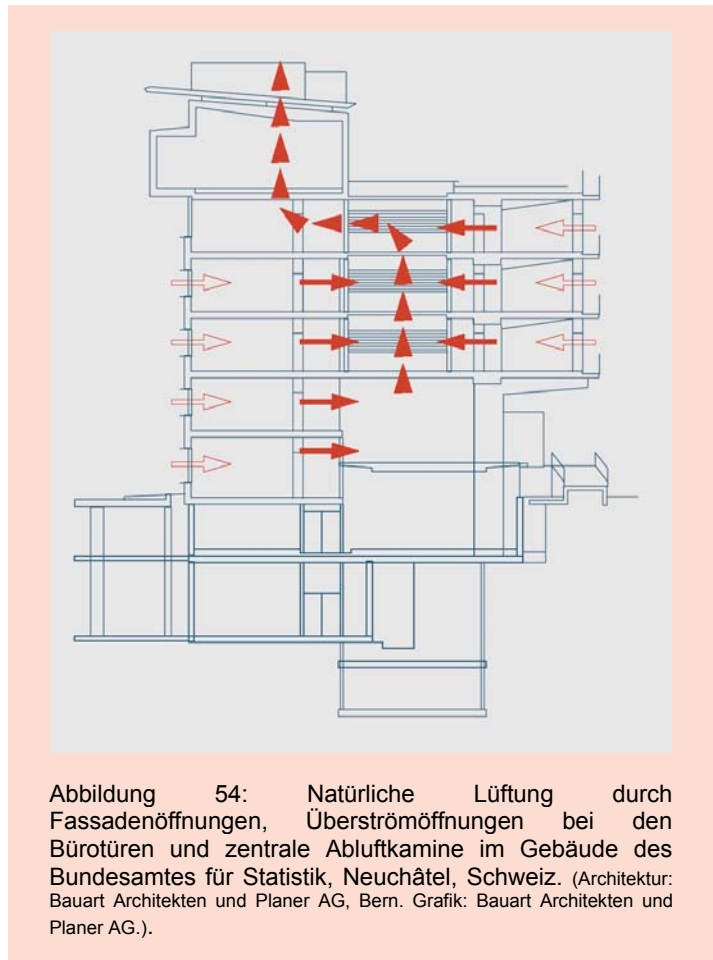


Abbildung 54: Natürliche Lüftung durch Fassadenöffnungen, Überströmöffnungen bei den Bürotüren und zentrale Abluftkamine im Gebäude des Bundesamtes für Statistik, Neuchâtel, Schweiz. (Architektur: Bauart Architekten und Planer AG, Bern. Grafik: Bauart Architekten und Planer AG.).

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.
- Um die Speichermassen effektiv abzukühlen, muss der nächtliche Luftwechsel mindestens 2, besser 4 h⁻¹ betragen.
- Das Gebäude soll auch tagsüber wirksam gelüftet werden.
- 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.
- Nachtlüftung ist als passive Kühlmethode nur in Verbindung mit einer hohen Speichermasse sinnvoll.

Quelle: BINE Informationsdienst, 2003

7.2 Bauteilaktivierung

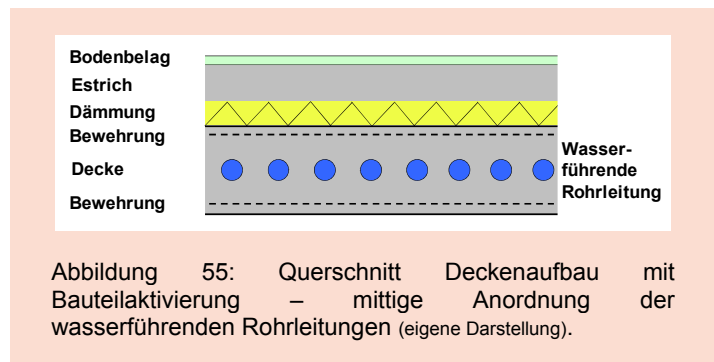
7.2.1 Beschreibung

Die wassergeführte Bauteilaktivierung (auch bekannt unter den Bezeichnungen Betonkernaktivierung, Baukerntemperierung, thermoaktive Decken, Bauteilkühlung oder allgemein unter thermoaktive Bauteilsysteme) ist ein System der Flächenheizung und/oder -kühlung. Dabei werden in der massiven Gebäudedecke (manchmal auch in anderen massiven Bauteilen) Rohrregister meist mäander- oder spiralförmig 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).

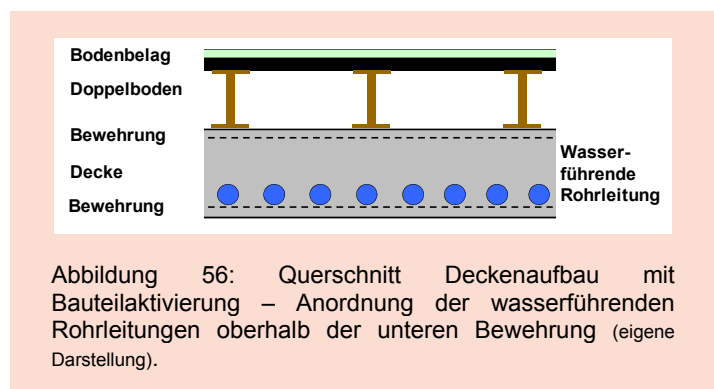
Die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung haben einen Durchmesser von 15 bis 20 mm und sind in Abständen von 10 bis 30 cm, meist in der statisch neutralen Zone der Betondecke verlegt. Sie können unterschiedlich angeordnet werden:

- Mittige Anordnung in der massiven Decke: Diese Anordnung kommt insbesondere dann zum Einsatz, wenn die Kühlung/Heizung sowohl von der Decke als auch vom Fußboden wirksam werden soll. Systeme mit mittlerer



Anordnung sind vergleichsweise träge, weil die Wärme zuerst das ganze Bauteil durchdringen muss, bevor sie durch die Bauteilaktivierung abgeführt werden kann. Ein Vorteil der hohen Betonüberdeckung ist allerdings, dass Montagen an der Decke durchgeführt werden können, ohne dass die Gefahr besteht, dass die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung beschädigt werden.

- 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 oder Rohrleitungsmatten 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.



Bauteilaktivierung kann mit mehreren Systemlösungen kombiniert werden:

- Bauteilaktivierung als alleinige Heiz- und Kühlfläche im Raum, in Kombination mit einer mechanischen Belüftung. Dabei sollte der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) der Fassade 0,8 W/m²K nicht überschreiten,

um einen Kaltluftabfall im Fassadenbereich zu vermeiden. Bei raumhoher Verglasung ist das nur über eine Dreischeibenverglasung möglich. Grundsätzlich ist diese Variante nur bei geringem Heizwärme- und Kühlbedarf eines Gebäudes zu empfehlen.

- Bauteilaktivierung als reine Flächenkühlung, in Kombination mit konventionellen Heizungssystemen (z.B. Radiatoren) und natürlicher oder mechanischer Lüftung.
- Bauteilaktivierung mit ergänzenden Systemen, die für die individuelle und bedarfsgerechte Raumkonditionierung sorgen. Die Bauteilaktivierung sorgt dabei für die Deckung der Grundlast, Zusatzsysteme werden für die Spitzenlast oder für rasche, individuelle Änderungen der Raumklimaverhältnisse eingesetzt.

Die Temperaturdifferenz zwischen dem Raum und der mittleren Wassertemperatur aus Vor- und Rücklauf ist gering: Für den Heizfall reicht eine Wassertemperatur von 25 bis 27 °C, für den Kühlfall eine Wassertemperatur von 19 bis 20 °C. Damit können Kühlleistungen von 30 bis 40 W/m² sowie eine Heizleistung von 25 bis 30 W/m² erreicht werden.

Das System der Bauteilaktivierung kann als Ortbetonlösung eingesetzt, jedoch auch in Fertigteilen integriert werden (siehe Abbildung 57).

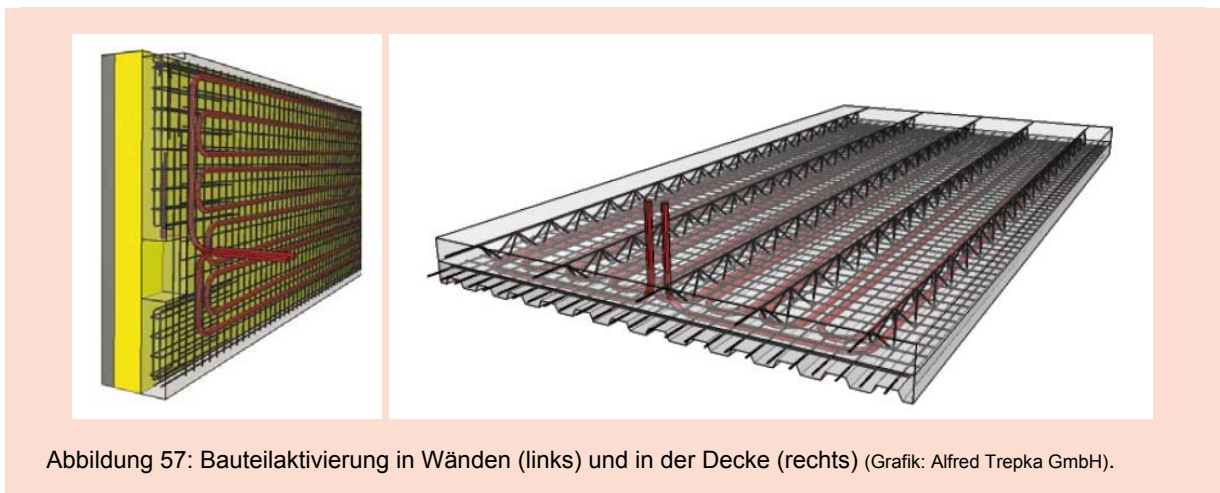


Abbildung 57: Bauteilaktivierung in Wänden (links) und in der Decke (rechts) (Grafik: Alfred Trepka GmbH).

Nutzen

Niedriger Energieeinsatz und Reduktion der Lastspitzen: Aufgrund der großen Abstrahlungsflächen (meist die gesamte Decke), die für die Bauteilaktivierung zur Verfügung stehen, kann mit einer geringen Temperaturdifferenz zwischen Innenraum- und Wassertemperatur der Rohrregister der Bauteilaktivierung geheizt bzw. gekühlt werden. Das ermöglicht eine niedrige Vorlauftemperatur bei der Beheizung sowie eine hohe Vorlauftemperatur bei der Kühlung. 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

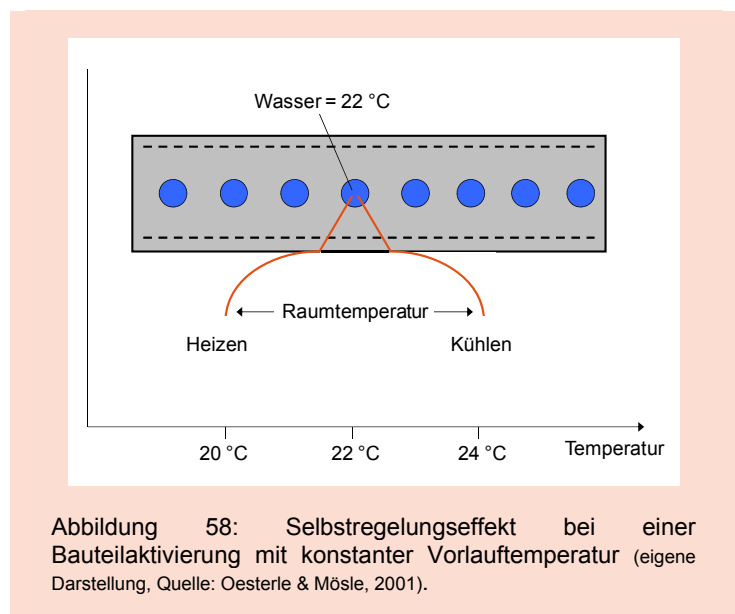
Energieeinsatz stark reduzieren kann: Die Wärmebereitstellung bzw. die Kühlung kann zu Zeiten erfolgen, in denen keine Lastspitzen zu erwarten sind, die Wärme- bzw. Kälteabgabe erfolgt zeitverzögert während den Betriebszeiten.

Nutzung von alternativen Energiequellen: Das Niveau der Wassertemperatur der Bauteilaktivierung (unabhängig ob für Heizung oder Kühlung, da bei beiden annähernd gleiche Temperaturen notwendig sind) ist 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.

Hoher Komfort: Die wichtigsten Einflussgrößen auf den thermischen Komfort für den Menschen sind die Temperaturen der Luft sowie der Umgebungsflächen (siehe Kapitel 2.5). Das Behaglichkeitsgefühl nimmt zu, wenn diese Werte zwischen 20 und 24 °C liegen und nur wenig voneinander abweichen. Zusätzlich soll darauf geachtet werden, dass die Temperaturen der raumumschließenden Flächen nicht zu unterschiedlich ausfallen (Strahlungstemperaturasymmetrien). Eine einseitige Erwärmung oder Abkühlung ist für Menschen nicht behaglich. Aufgrund der großen wärmeübertragenden Flächen bei der Bauteilaktivierung und der geringen Temperaturdifferenzen zur Raumluft stellt sich dieses Problem nicht ein, so dass ein hoher Komfort gewährleistet werden kann.

Geringe Investitionskosten: Wie aus einem Kostenvergleich im Rahmen des City Cooling Projekts hervorgeht (Pol, Preisler, Haslinger & Kast, 2008), ist die Bauteilaktivierung mit 30-40 EUR/m² Investitionskosten weit günstiger als alle anderen gängigen Kälteabgabesysteme (angebaute Kühldeckensysteme, Kühldecke mit geschlossener und offener Decke, Kühlsegel, Schwerkraftsysteme, Induktionsanlagen und Fan Coil-Anlagen).

Selbstregelungseffekt: 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 (siehe Abbildung 58).



Herausforderungen

Die Herausforderungen der freiliegenden Decke (Kapitel 3.1) 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/m^2 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. Praxisbeispiele haben gezeigt, dass es auch bei extremen Wetterbedingungen (plötzlicher Wetterumschwung bei einem schwülen Sommertag) zu keiner Tauwasserbildung kommt. 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.



Abbildung 59: Verlegung der Rohrträgermatten einer Bauteilaktivierung (Quelle: Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Expertenforum Beton, Heizen + Kühlen mit Beton; Foto: Rehau AG).

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 Fertigteilenelementen oder zur Gänze mit Ortbeton hergestellt wird.



Abbildung 60: Fertigteildecke mit integrierten Rohrregistern zur Bauteilaktivierung und Anschluss der Fertigteildecke im Flurbereich mit Fertigteildecken und Ortbeton (Foto links: Oberndorfer GmbH & Co KG; rechts: Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Expertenforum Beton, Heizen + Kühlen mit Beton, Foto: Tilt Rehau Gesellschaft m.b.H.).

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.

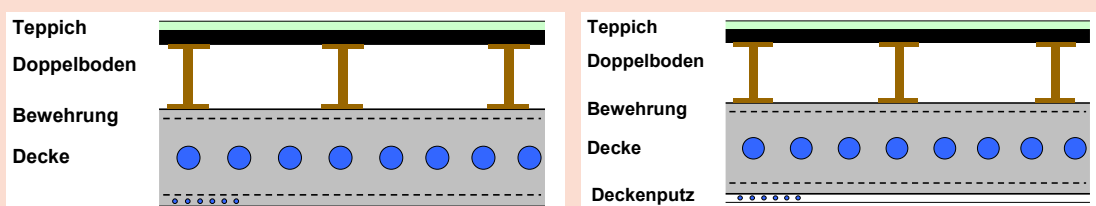


Abbildung 61: Schnell reagierende Heiz- und Kühlsysteme als Bestandteil der Bauteilaktivierung – Integration in der Stahlbetondecke bzw. im Deckenputz (eigene Darstellung).

Zonierung: Bei Bauvorhaben, wo die künftige Belegung noch nicht bekannt ist oder bei Gebäuden mit Einzelraumbelegung 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.

7.2.2 Luftgeführte Bauteilaktivierung

Vergleichbar mit der Betonkernaktivierung durch wassergeführte Rohre wird hier durch das Medium Luft die massive Decke temperiert. In diesem Fall bestehen die Rohrleitungen aus gut wärmeleitendem Aluminium mit berippter Rohrinne, um den Wärmeübergang zu optimieren. Die Rohrleitungen werden in der statisch neutralen Zone zwischen oberer und unterer Bewehrung verlegt. Die Lage wird durch Abstandshalter und gegen Aufschwimmen fixiert. Die Rohrleitungen lassen sich in Ortbeton und auch in Fertigteildecken verlegen, ohne die statisch bedingte Dimensionierung zu verändern.

Dabei liegt im Gegensatz zur wassergeführten Bauteilaktivierung 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.

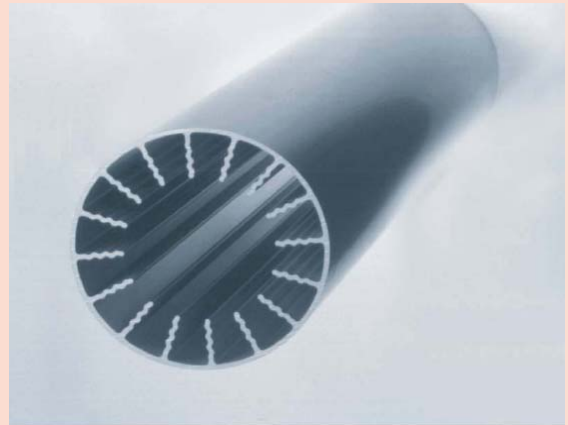


Abbildung 62: Kühlrohr der luftgeführten Bauteilaktivierung (Quelle: Hildebrand, Kiefer Luft- und Klimatechnik, 2006).



Abbildung 63: Verlegung der Kühlrohre einer luftgeführten Bauteilaktivierung (Quelle: Hildebrand, Kiefer Luft- und Klimatechnik, 2006).

Im Vergleich zu Wasser gilt Luft jedoch als Transportmedium für Wärme und Kälte als weniger geeignet, weil die Wärmespeicherkapazität 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.

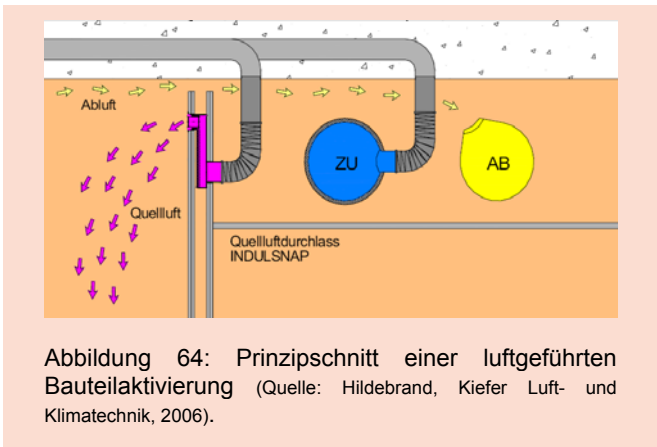


Abbildung 64: Prinzipschnitt einer luftgeführten Bauteilaktivierung (Quelle: Hildebrand, Kiefer Luft- und Klimatechnik, 2006).

8 Hilfestellung im Planungsprozess

8.1 Allgemeine Vorbemerkungen

Viele der beschriebenen Maßnahmen erfordern, aufgrund neuer Schnittstellen zwischen einzelnen Gewerken oder neuen bauphysikalischen, statischen und/oder funktionellen Eigenschaften, ein Umdenken im Planungsprozess. Als Faustregel kann für jedes Gebäude angenommen werden, dass mit der Minimierung des Energiebedarfs der Abstimmungsbedarf in der Planung zwischen den einzelnen Fachplanern steigt. Besonders die Gewerke Architektur, Haustechnik, Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR), Bauphysik, Raumakustik und Tragwerksplanung müssen in einer sehr frühen Planungsphase miteinander abgestimmt werden. Auch die Ausführung erfordert eine höhere Sorgfalt, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erlangen.

Diese Punkte sind charakteristische Nachteile eines Standard-Planungsprozesses: Die einzelnen Gewerke werden oft unabhängig voneinander geplant, und häufig werden gut gemeinte, aber aufwendigere Vorschläge von Fachplanern in der Detailplanung bzw. in der Bauausführung wieder unberücksichtigt gelassen.

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.

8.1.1 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 ist, desto leichter und mit geringeren Umplanungskosten kann in das Konzept eingegriffen werden (siehe Abbildung 64).

Das Ziel der ganzheitlichen Planung ist, eine optimierte Gesamtlösung für die zahlreichen Einzelziele zu finden, wenn möglich, auch zu niedrigeren Gesamtkosten als wenn Lösungen für die Einzelziele unabhängig voneinander umgesetzt würden. Durch die ganzheitliche Betrachtung von verschiedenen Aspekten und Zielen können scheinbar nicht zusammenhängende Ziele miteinander in Beziehung gebracht werden, was auch Synergieeffekte möglich macht. Die Optimierung erfolgt in Iterationsschritten von der Initiierung bis zur Detailplanung. In den

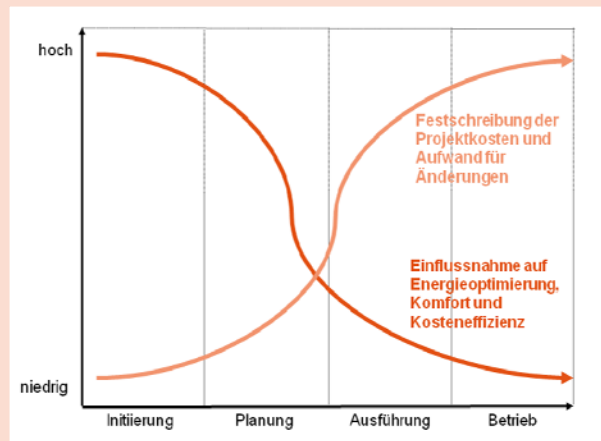


Abbildung 65: Die frühe Planungsphase bietet die beste Gelegenheit für große Eingriffe in die Gebäudeeigenschaften zu den geringsten Umplanungskosten (eigene Darstellung, Quelle: Voss et. al., 2007).

Iterationsschritten wird vom gesamten Planungsteam das Optimum für die jeweilige Aufgabenstellung und Ziel gesucht (siehe Abbildung 65). 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 optimal 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.

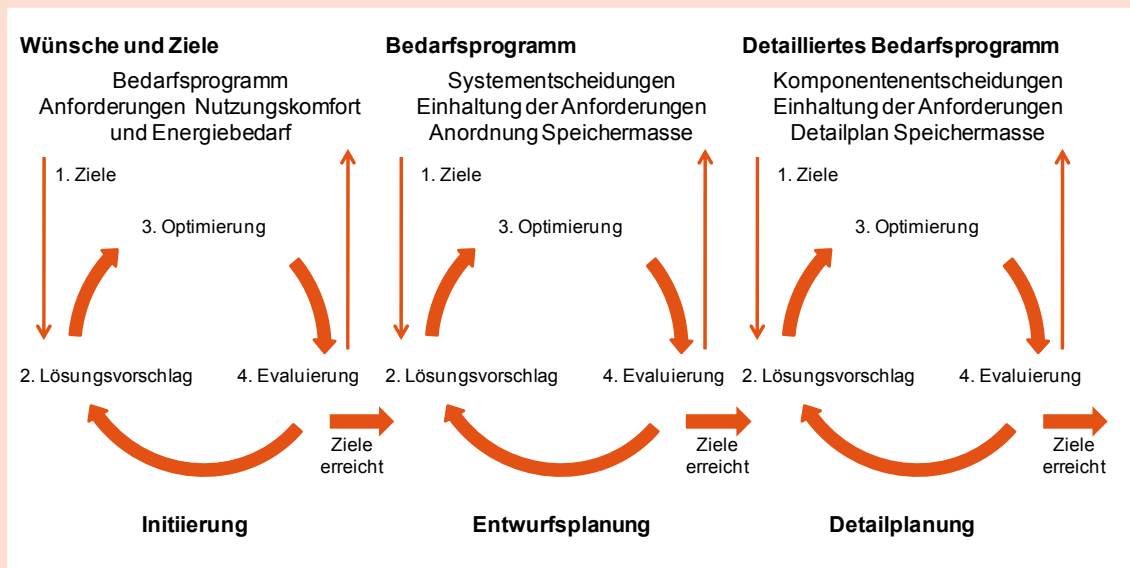


Abbildung 66: Die wichtigsten Phasen im Rahmen der Integralen Planung (eigene Darstellung)

Gerade, wenn eine Bauweise mit hohen speicherwirksamen Massen in Büroräumen angestrebt wird, ist ein interdisziplinärer Ansatz möglichst früh in der Planungsphase von entscheidender Bedeutung. Schließlich müssen hier Aspekte der Tragwerksplanung, der Raumakustik, der Fassadenplanung sowie der gesamten haustechnischen Planung miteinander in Beziehung gebracht werden. Ein frühzeitiges Zusammenarbeiten und Lösen von kritischen Schnittstellen fördert ein möglichst reibungsloses Planen und Umsetzen eines Gebäudes mit hoher Speichermasse.

8.1.2 Gebäudesimulation

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

Dazu zählt einerseits die thermische Simulation, die den Komfort von verschiedenen Ausführungsvarianten (viel oder wenig wirksame Speichermasse, unterschiedliche Fassaden- und Haustechniksysteme, etc.) unter unterschiedlichen Temperatur- und Feuchtebedingungen, bzw. -anforderungen vergleichen kann. Ähnlich einem Flugsimulator wird das Gebäude im Vorfeld kennengelernt und die technische Gebäudeausrüstung und die Bauphysik können zu einem harmonischen Ganzen verschmolzen werden. Neben der Verringerung des Energiebedarfes steht dabei vor allem die Reduzierung der Investitionskosten im Vordergrund. Größere Planungssicherheit führt zu dem Verzicht auf große Zuschläge bei der Auslegung und spart somit neben Energie- auch Investitionskosten ein. Eine thermische Gebäudesimulation kann damit die Haustechnikauslegung optimieren, was in den meisten Fällen zu einer Reduktion der Anschlussgröße und damit zu erheblichen Investitionskostenreduktionen führt.

Ferner ist auch eine Strömungssimulation anzuraten. Besonders dann, wenn zur „Entladung“ der Speichermassen eine natürliche Lüftung angedacht ist. Damit kann erkannt werden, ob der sommerliche Komfort allein durch diese Maßnahmen gewährleistet werden kann, oder ob eine mechanische Luftführung bzw. eine Bauteilaktivierung notwendig ist.

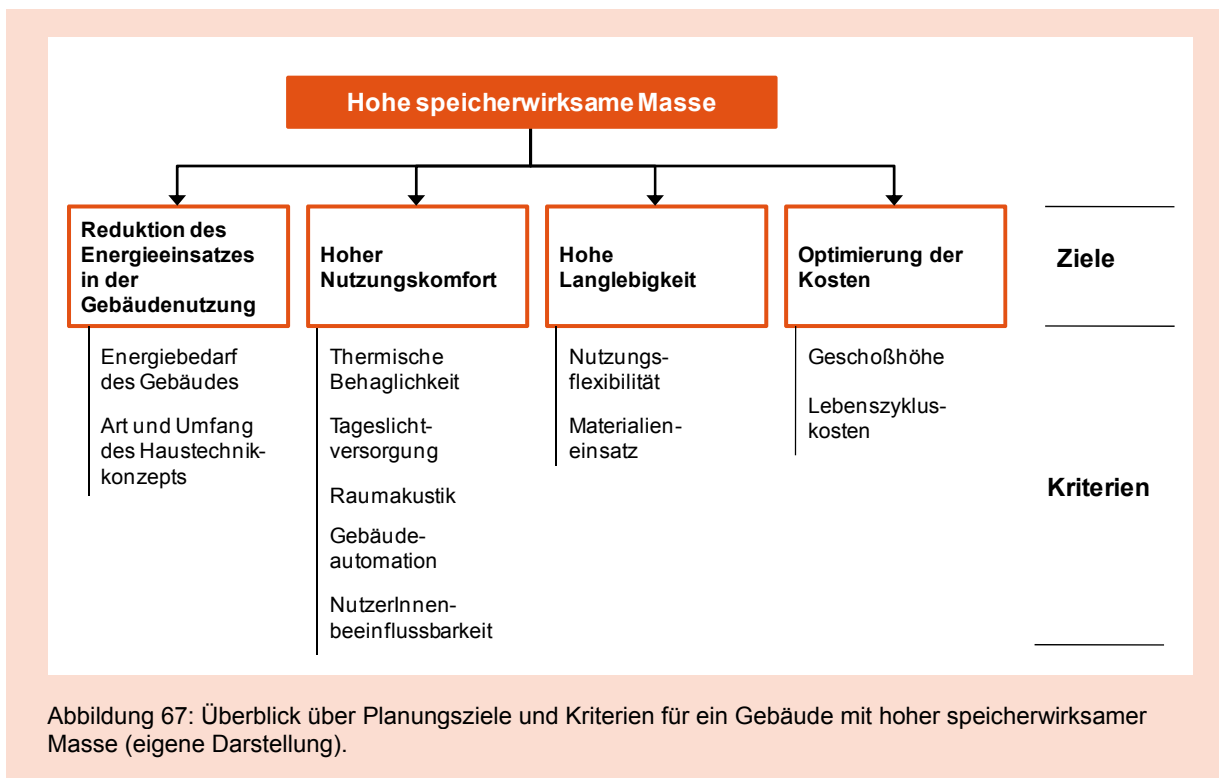
Die Tageslichtsimulation hat in Bezug auf den Einsatz von Speichermasse nur insofern Relevanz, als sie notwendig ist für die Optimierung von Fensterflächen bei Loch- und Bandfassaden, die gegebenenfalls mit massiven Elementen ausgeführt werden. Im Sinne der Reduktion des Energieeinsatzes für die künstliche Beleuchtung ist die Optimierung anhand einer Tageslichtsimulation jedenfalls sehr wertvoll. Gleichzeitig hilft sie auch, die

internen Wärmelasten durch die Beleuchtung und damit den Kühlbedarf des Gebäudes zu verringern.

8.2 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 (Architekturbriefing). 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 können in quantitative, überprüfbare Werte oder Kennzahlen münden, die bereits in der Planungsphase näherungsweise abgeschätzt werden können (z.B. voraussichtlicher Energiebedarf, wirksame Speichermasse in den Büroräumen, Investitionskosten, etc.), um den Pfad zur Zielerfüllung sicherzustellen. Aber auch Qualitätskriterien, die erst nach Fertigstellung bzw. im laufenden Betrieb abgeprüft werden können, wie beispielsweise Innenraumklima, Luftdichtheit der Fassade, Lebensdauer der tatsächlich eingesetzten Produkte, etc., sollten schon zu Beginn festgesetzt werden, um den Planern die Ziele des Bauherrn so konkret wie möglich zu vermitteln.

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, usw.) erfüllt werden.



8.2.1 Hohe speicherwirksame Masse

Das Niveau der speicherwirksamen Masse in Bürogebäuden hängt von der Art des Innenausbaus ab. So ist in einem Zellenbüro aufgrund der höheren raumabschließenden Fläche ein höheres Niveau an Speichermasse möglich als bei offenen Bürokonzepten. Jedoch kann durch das Freilegen der Decke 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.

8.2.2 Reduktion des Energieeinsatzes in der Gebäudenutzung

Energiebedarf des Gebäudes

Wie eingangs dargestellt, bewirkt der Einsatz wirksamer Speichermasse in den raumumschließenden Flächen von Innenräumen einen niedrigeren Heizwärme- und Kühlbedarf. Scharf formulierte Kriterien an den künftigen Energiebedarf eines Gebäudes begünstigen daher 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 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 noch 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.

8.2.3 Hoher Nutzungskomfort

Thermische Behaglichkeit im Sommer

Hohe speicherwirksame Massen in Innenräumen bewirken einen höheren thermischen Komfort durch gleichmäßigere, trägere Innenraumklimabedingungen.

Sie sind daher für den thermischen Komfort in natürlich belüfteten und/oder gekühlten 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 Komforttemperaturen nicht mehr konstant, sondern lehnen sich nach einem Algorithmus an den exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur an. Der dadurch definierte Komfortbereich ist einerseits das menschliche Komfortempfinden näher, andererseits auch breiter (und damit mit einem geringeren Energieaufwand herstellbar) als die für maschinell gekühlten Gebäude vorgeschriebene standardisierte Temperatur.

Um das adaptive Komfortmodell anwenden zu können, müssen folgende Kriterien eingehalten werden:

- Die Räume müssen über Fenster verfügen, die sich zur Außenluft öffnen lassen und von den Nutzern leicht geöffnet und wieder geschlossen werden können.
- Maschinelle Lüftung mit ungekühlter Luft darf verwendet werden, jedoch muss dem Öffnen und Schließen von Fenstern zur Regelung des Raumklimas der Vorzug gegeben werden.

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	$\theta_i < 26 \text{ °C}$	$\theta_i < 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 \pm 3$
III	$\theta_i < 27 \text{ °C}$	$\theta_i < 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 \pm 4$

Legende: θ_i ... operative Temperatur, θ_{rm} ... gleitender Mittelwert der Außentemperatur

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

- Zusätzlich können weitere energiearme Möglichkeiten zur persönlichen Regelung der Innentemperatur angewendet werden wie beispielsweise Ventilatoren, Jalousien, Nachtlüftung etc.

Die Kategorien der ÖNORM EN 15251 werden wie folgt definiert:

- Kategorie II: normales Maß an Erwartungen, empfohlen für neue und renovierte Gebäude;
- Kategorie III: annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden.

Tageslichtversorgung

Beim Verzicht auf eine abgehängte Decke werden nicht nur die Speichermassen der Deckenplatten wirksam, sondern kann bei gleichbleibender Geschoßhöhe die Sturzhöhe in der Fassade höher ausgeführt werden, was den Tageslichteintrag in den Raum erheblich verbessert. Die Sturzhöhe

des Raumes ist ein wesentlicher Indikator dafür, wie weit das Tageslicht in den Raum eindringt und in welchem Ausmaß auf Kunstlicht verzichtet werden kann. 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 („schallharte“) Flächen mit hohen speicherwirksamen Massen führen in der Regel zu einer Verstärkung der Schallreflexion und somit zu einer höheren Nachhallzeit. Die in Kapitel 4.3 beschriebenen Lösungen zeigen, dass auch in massiven Gebäuden Schallschutzmaßnahmen gesetzt werden können, ohne die thermische Speicherfähigkeit des Gebäudes zu beeinträchtigen. Bei der Formulierung

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 $T_{Soll} = 0,35 \cdot \lg V - 0,17$ (siehe Formel 5 in Kapitel 2.6) liegen.

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

von raumakustischen Zielen ist dennoch darauf zu achten, dass die Speicherwirksamkeit nicht zugunsten der Raumakustik „geopfert“ wird.

Gebäudeautomation

Die Steuerung von Heizung und Kühlung, insbesondere wenn diese durch eine Bauteilaktivierung erfolgen, sowie die Steuerung der Lüftung und Beleuchtung haben hohe Auswirkungen auf die Nutzbarkeit der speicherwirksamen Masse.

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.

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.

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. Wird der Raum nur durch Bauteilaktivierung geheizt bzw. gekühlt, so sind schnelle Temperaturänderungen durch den Nutzer nur eingeschränkt möglich.

Dieser Charakteristik ist bei der Festlegung der Kriterien von 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

1. 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 Lüfterneuerungsrate der mechanischen Lüftung verändern können.

2. Raumkonditionierung durch Hybridsysteme (thermoaktive Systeme als Grundlast mit Zusatzsystemen für eine rasche Konditionierung):

Die Kriterien von Punkt 1 sind einzuhalten. Eine individuelle Steuerung der Raumtemperatur um +/- 1K muss durch rasch wirksame Zusatzsysteme ermöglicht werden.

8.2.4 Langlebigkeit

Nutzungsflexibilität

Die hohe Nutzungsflexibilität im Innenraum ist der Hauptgrund für den Einsatz von leichten, einfach veränderbaren Innenausbauten, die nur geringe wirksame Speichermassen enthalten.

Wenn für das geplante Bauvorhaben die Flexibilität von Innenräumen kein oder 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 3 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 Flur- bzw. Bürotrennwände in Ziegel, Lehm oder Gips-Wandbauplatten auszuführen. Diese Wände dürfen jedoch keine tragende Funktion erfüllen, um nachträgliche Veränderungen zu ermöglichen.

Materialieneinsatz

Massive Bauteile sind jene Materialien im Gebäude, die meist von der Errichtung bis zum Rückbau erhalten bleiben und stellen so die langlebigsten Teile im Gebäude dar. Die Hervorhebung der Langlebigkeit in den Ausschreibungsbedingungen kann daher ein zusätzlicher Impuls sein, massive Bauteile zu verwenden (ohne jedoch die in Kapitel 3 dargestellten Probleme der Wirksamkeit zu lösen).

Mögliche Zielformulierung

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

8.2.5 Optimierung der Kosten

Geschoßhöhe

Wird auf eine abgehängte Decke zu Gunsten der Speichermasse verzichtet, können in der Regel die Geschoßhöhen reduziert werden. Bei mehrgeschoßigen Gebäuden mit einer vorgegebenen maximal zulässigen Gebäudehöhe besteht sogar die Möglichkeit, dadurch zusätzliche Geschoße vorzusehen, was die Flächeneffizienz und damit die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes wesentlich erhöht.

Mögliche Zielformulierung

In Büroräumen ist auf eine abgehängte Decke zu verzichten. Eine lichte Raumhöhe von 3 m ist in allen Arbeitsräumen einzuhalten. In Räumen mit höheren Kühllasten als in den Büroräumlichkeiten (z.B. Besprechungsräume) sind Zusatzkühlsysteme zu wählen, die keine Erhöhung der lichten Raumhöhe erfordern.

Im Gangbereich kann auf eine lichte Raumhöhe von 2,6 m zugunsten einer abgehängten Decke zurückgegangen werden.

Vorgaben, die aus Sicht der Flächeneffizienz den Verzicht auf abgehängte Decken fordern, setzen somit zugleich einen Anreiz, die thermischen Speichermassen wirksam einzusetzen.

Lebenszykluskosten

Gebäude mit einer hohen speichwirksamen Masse können in der Regel mit einem geringeren Anteil an haustechnischer Ausrüstung auskommen. Haustechnische Anlagen stellen einen hohen Anteil der Folgekosten dar, die für die 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.

Darüber hinaus verfügen Gebäude mit hoher Speichermasse tendenziell über einen niedrigeren Energieverbrauch im Vergleich zu Gebäuden mit geringer Speichermasse.

Beides schlägt sich in den Investitions- und Folgekosten eines Gebäudes nieder. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Beschränkung oder Optimierung der Lebenszykluskosten vorteilhaft 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 offenbar 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**

8.3 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 einzubeziehen.

So kann beispielsweise das generelle Haustechnikkonzept abgeklärt und die wesentlichen Flächen- und Statikanforderungen für die Haustechnik und deren Positionierung vorgesehen werden. 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 Planungswshops 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.**

8.4 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.

8.5 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 – wenn z. B. der Planer bzw. die Planerin nicht mehr für die Umsetzung zuständig ist – werden oft, z. B. aus Kostengründen, andere Materialien oder Ausführungsvarianten gewählt. Um die Auswirkungen solcher Änderungen auf die Qualität des Gebäudes (z.B. niedrige Betriebskosten und Komfort) 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.

9 Beispielgebäude

9.1 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.

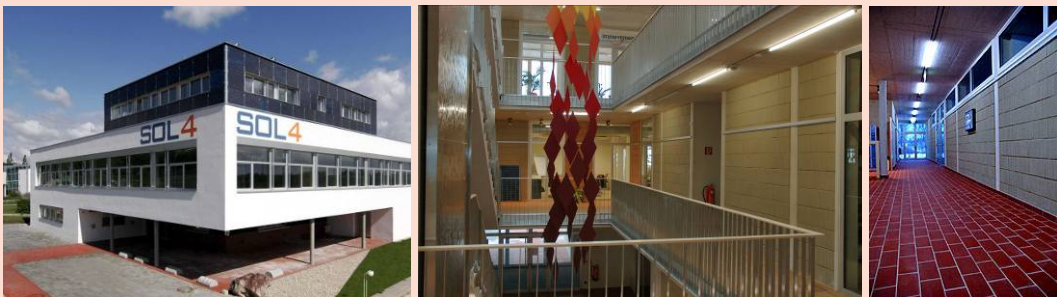


Abbildung 68: SOL4 Bürogebäude (Bauträger: SOLAR 4 YOU Consulting Ges.m.b.H., Fotos: sol4.info, Verband Österreichischer Ziegelwerke)

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}

9.2 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.



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 Temperaturengleich 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

9.3 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 70: 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 Bürokonzepnt 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 Raumlufftemperatur-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

9.4 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 71: 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

10 Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Gebäude mit einem hohen Anteil an speicherwirksamer Masse zu planen und zu errichten ist grundsätzlich nichts Neues. Schließlich ist ein Großteil der bestehenden Gebäude im mitteleuropäischen Raum in massiver Bauweise errichtet. Viele kennen die Vorteile des hohen Nutzungskomforts im Sommer, beispielsweise von Gründerzeitgebäuden. Durch viel Speichermasse und geringe Strahlungseinträge bleiben diese Räume im Sommer weitgehend behaglich bezüglich der Innenraumtemperatur.

Für die Büronutzung haben sich in den letzten Jahrzehnten die Anforderungen an Gebäude wesentlich verändert. Gebäude werden errichtet, ohne über die künftigen NutzerInnen Bescheid zu wissen. Organisationsstrukturen in Unternehmen ändern sich in kurzer Zeit, deshalb muss auch die Gebäudenutzung auf die Änderungen reagieren können. Innenausbauten mit leichten Konstruktionen setzten sich durch, weil mit diesen Bauteilen rasch auf Nutzungs- oder Nutzeränderungen eingegangen werden kann.

Mit dem anhaltenden Trend zu nachhaltigem und energieeffizienten Bauen werden Bürogebäude mit hoher Speichermasse wieder verstärkt geplant und umgesetzt. Insbesondere die Raumkonditionierung über Bauteilaktivierung der Decken führt dazu, dass die massiven Decken frei gelegt und nutzbar gemacht werden.

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. Die Nutzung der Außenwände mit massiven Parapeten oder Stürzen, speicherwirksame, jedoch leichte Zwischenwände, oder die Nutzung von Phase Change Materials (PCM) bieten zusätzliche Chancen, die wirksame Speichermasse im Gebäude zu erhöhen.

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. Damit kann die Verlegung der notwendigen Haustechnik komfortabel erfolgen und die Leitungen ästhetisch versteckt werden. Die Deckenverkleidung selbst aus einem Leichtbaumaterial bietet für die Raumakustik gegenüber einer nackten Betonplatte erhebliche Vorteile. Die Herausforderung besteht also darin, die Decken

freizulegen und die in ihnen enthaltene Speichermasse somit wirksam für das thermische Gebäudeverhalten zu machen. Das heißt, es müssen die Funktionen, die eine abgehängte Decke übernimmt, in anderen Bauteilen untergebracht werden oder durch andere haustechnische Lösungen ersetzt werden. Hierzu existiert eine Vielzahl an Lösungen, die in Beispielgebäuden bereits erfolgreich eingesetzt werden, wie zum Beispiel alternative Luftführungsmöglichkeiten, eine Teilabhängung oder freiliegende Installationen, und Leerverrohrungen bzw. flexible Stehleuchten für die Beleuchtung.

In Räumen mit hoher wirksamer Speichermasse spielt die Berücksichtigung von raumakustischen Aspekten eine zentrale Rolle. Harte Materialien mit hoher Baustoffdichte und glatter Oberfläche, wie etwa verspachtelter Stahlbeton oder Sichtbeton, haben eine hohe Schallreflexion, was zu einer hohen Nachhallzeit im Raum führt. Gerade in energieeffizienten Gebäuden mit viel Speichermasse, passiven Kühlkonzepten und thermoaktiven Bauteilen gilt es, die raumakustische Qualität zu sichern, ohne das Niveau der speicherwirksamen Massen zu reduzieren.

Viele der beschriebenen Maßnahmen erfordern, aufgrund neuer Schnittstellen zwischen einzelnen Gewerken oder neuen bauphysikalischen, statischen und/oder funktionellen Eigenschaften, ein Umdenken im Planungsprozess. Als Faustregel kann für jedes Gebäude angenommen werden, dass mit der Minimierung des Energiebedarfs der Abstimmungsbedarf in der Planung zwischen den einzelnen Fachplanern steigt. Besonders die Gewerke Architektur, Haustechnik, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR), Bauphysik und Tragwerksplanung müssen in einer sehr frühen Planungsphase miteinander abgestimmt werden. Auch die Ausführung erfordert eine höhere Sorgfalt, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erlangen. Aus diesem Grund muss künftig verstärkt ein integrales Planungsteam eingesetzt werden. Die integrale oder ganzheitliche Planung bedeutet eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, in der frühzeitig und beständig die verschiedenen Spezialisten, die am Planungsprozess beteiligt sind, zusammengeführt bzw. „integriert“ werden. Dadurch können bereits in einer frühen Planungsphase alle Aspekte von der Tragwerksplanung über die Architektur, die Statik, die Bauphysik, die Umwelt und die Haustechnik bis zu betrieblichen und funktionellen Anforderungen berücksichtigt werden.

Abschließend ist zu erwähnen, dass bei der Recherche nicht entscheidend war, neue Lösungsmöglichkeiten zu entdecken und zu beschreiben, sondern vor allem bestehende Techniken und Produkte darzustellen, die auch schon in einzelnen Bürogebäuden eingesetzt und erprobt worden sind. Gerade die Verfügbarkeit von erprobten und verlässlichen Lösungsmöglichkeiten kann dazu beitragen, dass Gebäude vermehrt mit einem hohen Anteil an Speichermasse errichtet werden. Einzelne innovative Lösungen, die noch nicht breit erprobt sind, aber einen vielversprechenden Ansatz bieten, haben dennoch Eingang in die Studie gefunden, so zum Beispiel die Entwicklung einer massiven „Decke für Installationen“ oder ein transluzentes Fensterelement mit integrierten PCM-Modulen zur Wärmespeicherung.

11 Ausblick und Empfehlungen

Der Einsatz von hoher Speichermasse in Bürogebäuden wird künftig ansteigen. Das System der Bauteilaktivierung für Heizen und Kühlen wird derzeit in vielen Architekturwettbewerben und Neubauplanungen projiziert, so dass die Nutzung der Decke als speicherwirksame Masse zunimmt.

Gleichzeitig gibt es noch Vorbehalte gegenüber der Bauteilaktivierung und beim Freilegen der massiven Decke: zusätzliche Planungsaktivitäten und Abstimmungsbedarf, geringe Beeinflussung der Nutzer auf die Temperatursteuerung aufgrund der Trägheit und unzureichende Raumakustik in Räumen sind nur einzelne kritische Punkte. Diesen Vorurteilen ist durch Information und technischen Lösungen gegenüberzutreten. Der Bericht und der Leitfaden zu massiven Speichermassen im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau soll dazu einen Beitrag bieten.

Weitere Aktivitäten in diesem Bereich sind jedoch erforderlich: Bürogebäude, die mit hoher Speichermasse errichtet werden, sind gut zu dokumentieren und analysieren. Durch ein Monitoring des Energieeinsatzes und des Nutzungskomforts im Gebäudebetrieb soll eine gute Datenbasis und Argumente für die Bauweise geschaffen werden. Eine umfangreiche Dokumentation der Planung und Ausführung kann als Basis für die Entwicklung weiterer Hilfsmittel in der Gebäudeumsetzung dienen.

In der Planung und Ausführung von Gebäuden mit einem hohen Anteil an Speichermasse sind Methoden und Hilfsmittel für die Qualitätssicherung zu entwickeln und in den Markt einzuführen. Beispielsweise können mit einer detaillierten Gebäudesimulation über thermisch-energetische Auswirkungen sowie über die Luftführung im Gebäude wichtige Erkenntnisse über das Betriebsverhalten erlangt werden. Diese Methoden und Werkzeuge sind weiter zu standardisieren und in den Planungsprozess zu integrieren, so dass die Gebäudesimulation als standardisiertes Produkt eingesetzt wird. Neben dem Instrument ist auch der gesamte Planungs- und Ausführungsprozess neu zu definieren. Integrale Planung verlangt einen neuen Ansatz in der Interaktion zwischen Fachplaner und Architekten und finanzielle Anreize zur Optimierung des Gebäudes. Das Honorar des Planungsteams soll abhängig sein vom Erfolg des Projektes hinsichtlich Nachhaltigkeit, Energieeinsparung und niedriger Lebenszykluskosten.

Die ökonomischen Auswirkungen eines Gebäudes mit viel Speichermasse sind detaillierter zu analysieren: welche Investitions- und Folgekosten sind zu erwarten? Sind geringere Investitionskosten für die Haustechnik zu erwarten? Welche Zusatzausgaben fallen an? Wie sind die Wartungs- und Instandsetzungskosten von Gebäuden mit Bauteilaktivierung? Eine ökonomische Analyse von Gebäuden mit hoher Speichermasse durch Erhebung von Kosten

für Investition, Betrieb und Aufbereitung in Form einer Lebenszykluskostenberechnung wäre ein sinnvoller nächster Schritt in diese Richtung.

Von großer Bedeutung kann zukünftig auch die natürliche Entladung der Speichermasse sein. Durch Bauteilaktivierung oder mechanische Lüftung kann die Wärme aus den Bauteilen abgeführt werden. Konzepte mit freier Lüftung und Luftführung durch das Gebäude spielen eine große Rolle, weil diese ohne Antriebsenergie und Heiz- oder Kühlmedium auskommen und somit zu einem geringeren Energieeinsatz führen. Für diesen Bereich sind planerische Lösungen für die Luftführung im Gebäude (z.B. unter Einbeziehung eines Atriums) sowie technische Lösungen für Öffnungen in der Fassade und am Dach zu entwickeln, so dass der natürliche Luftwechsel geregelt durchgeführt werden kann.

Ein wesentliches Argument für den Einsatz von Speichermasse ist der thermische Komfort und die Behaglichkeit. Dieser hohe Nutzungskomfort hat Auswirkungen auf die Produktivität der NutzerInnen des Gebäudes. Um den Nutzen von hoher Speichermasse besser darstellen zu können, muss die Produktivität als ökonomischer Faktor in eine Lebenszykluskostenbetrachtung einfließen. So kann – neben den Ersparnissen im Bereich der Energie- und Haustechnikkosten – auch der Nutzungskomfort ökonomisch bewertet werden. Dazu gibt es bisher nur wenige Untersuchungen, ein Fokus auf den Bereich Speichermasse, Komfort, Produktivität und deren ökonomischen Auswirkungen ist anzustreben.

Weiters ist auch eine Weiterentwicklung der Komfortkriterien in Bürogebäuden in Richtung eines adaptiven Komfortmodells sinnvoll. Im Gegensatz zum üblicherweise verwendeten statischen Komfortmodell, welches in Abhängigkeit von Kleidung und Tätigkeit eine fixe Komforttemperatur vorgibt, besagt das adaptive Komfortmodell, dass die von Menschen tatsächlich als komfortable Temperatur auch von der Außentemperatur der vergangenen Tage abhängt und somit variabel ist. Wird den entsprechenden Normen und der Auslegung und Regelung der Heiz- bzw. Kühlsysteme eines Gebäudes das adaptive Komfortmodell zugrunde gelegt, so führt dies zu einem merklich geringeren Energiebedarf für Heizung und Kühlung und macht auch die Einhaltung der Normen mit rein passiven Kühlsystemen möglich. Da aber die Untersuchungen für die Entwicklung dieses Modells mehrheitlich in natürlich belüfteten Gebäuden stattgefunden haben, gilt es in der ÖNORM EN 15251 nur für solche Gebäude, während für zentral klimatisierte weiterhin eine festgelegte Komforttemperatur herangezogen wird. Gebäude mit einer Bauteilaktivierung und einer zentralen Frischluftversorgung bilden eine Grauzone, die je nach Auslegung mit dem statischen oder dem adaptiven Komfortmodell bewertet werden können. Untersuchungen in solchen Gebäuden wie auch in Gebäuden mit zentraler Klimatisierung sollen zeigen, inwieweit das adaptive Komfortmodell auch hier Anwendung finden kann.

Die Planung und Realisierung eines Gebäudes mit einem hohen Anteil an Speichermasse ist eine Frage des Know-hows. Immobilienentwickler, Planer und Ausführende sollen deshalb einfache und spezifische Weiterbildungsangebote erhalten, um optimale Gebäude mit hoher

Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau

Nachhaltigkeit und geringem Energieeinsatz zur Zufriedenheit des Besitzers und der Nutzer zu erhalten.

12 Verzeichnisse

12.1 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). KlimaDesign: 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). Eingangsparemeter 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.

12.2 Weiterführende Literatur

Allé, N. (2007). PCM – Speichern ohne Masse. Solares Bauen. Ausgabe Mai 2007.

BINE Informationsdienst (2007). Themeninfo I/2007. Thermoaktive Bauteilsysteme. Bonn, FIZ Karlsruhe GmbH.

Braham, D., Barnard, N., & Jaunzens, D. (2001). Thermal mass in office buildings. Part 1 An introduction. London, Building Research Establishment BRE.

Braham, D., Barnard, N., & Jaunzens, D. (2001). Thermal mass in office buildings. Part 2 Design Criteria. London, Building Research Establishment BRE.

British Cement Association (2001): ecoconcrete. The contribution of cement and concrete to a more sustainable built environment. Berkshire.

De Saulles, Tom (2006): Utilisation of Thermal Mass in Non-Residential Buildings. Guidance on system design, floor types, surface finish and integration of services. Camberly, The Concrete Centre.

De Saulles, T. (2005): Thermal Mass. A concrete solution for the changing climate. Camberly, The Concrete Centre.

Hausladen G., de Saldanha, M., & Liedl, P. (Hrsg., 2006). ClimaSkin. Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten. München: Callwey.

IKB Immobilien Management GmbH (2004). IAV Plus – Haus der Mechatronik. Neubau Bürogebäude mit Halle in Gifhorn. Düsseldorf.

Jakob, J.-P. (2007): Concrete for energy efficient buildings. The benefits of thermal mass. Brussels, Platform European Concrete.

Kiefer Luft- und Klimatechnik (2008). Betonkerntemperierung mit Zuluft Concretcool. Stuttgart.

Krec, K. (2006): Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden. Endbericht. Schönberg am Kamp.

Roth, H.W. (2007). Energieeffiziente, dezentrale Lüftung in der Fassade. BdB Nachrichten, Ausgabe 3/2007.

Uponor (2008): Wirtschaftlich Kühlen und Heizen: Betonkernaktivierung Uponor Contec. Haustechnik.ch. Nr. 2, August 2008, S, 28 - 31.

VG Orth GmbH & Co KG (2007). Massive Trennwände aus Gips-Wandbauplatten. Element + BAU, Ausgabe 5/2007.

Zumthor, P. (2003, 4. Aufl.). Kunsthaus Bregenz. archiv kunst architektur, Werkdokumente 12. Ostfildern-Ruit (Deutschland), Hatje Cantz.

12.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typische Fluransicht eines Zellenbüros (Quelle: wikipedia.org)..... 11

Abbildung 2: Konzept eines Großraumbüros (Quelle: wikipedial.org).....	11
Abbildung 3: Gestaltungsaspekte innovativer Bürokonzepte und ihr Bedeutungswandel (Mehrfachnennungen möglich) (eigene Darstellung, Quelle: DEGI Research & Consulting 2004).....	12
Abbildung 4: Ausstattungsmerkmale bedarfsgerechter Büroimmobilien, Auswahl (Mehrfachnennungen möglich) (eigene Darstellung, Quelle: DEGI Research & Consulting, 2004).....	13
Abbildung 5: Der Einfluss der Speichermasse auf Temperatur und Komfort (eigene Darstellung, Quelle: European Concrete Platform, 2007).	14
Abbildung 6: Einfluss der nutzbaren Speichermasse auf das Raumklima. Es wurde die Innenraumtemperatur eines typischen Büroraums an drei aufeinander folgenden heißen Sommertagen mit Nachlüftung von 18:00 – 8:00 Uhr bei einer Luftwechselrate von 4,0 h ⁻¹ in Abhängigkeit von der Bauweise simuliert. Schwere Bauweise: Innenwände massiv, Boden und Decke frei. Mittelschwere Bauweise: Mittelschwer: Innenwände leicht, Boden und Decke frei. Leichte Bauweise: Innenwände leicht, Doppelboden, Decke abgehängt. Die anderen Rahmenbedingungen sind für alle drei Fälle gleich: Büroraum für zwei Personen; Südfassade, Glasflächenanteil 70%, Interne Lasten: 2 Personen, 2 PC-s. (Quelle: Hausladen, de Saldanha, Liedl, & Sager, 2005).....	15
Abbildung 7: Wärmespeicherfähigkeit von verschiedenen Baustoffen (Quelle: Riccabona, & Bednar, 2008; www.baubook.at, September 2009).....	19
Abbildung 8: Flächenbezogene speicherwirksame Masse verschiedener Wandbildner (ohne außen- oder innenliegender Wärmedämmschicht), außen mit 1,5 cm Kalkzementputz und innen mit 1,5 cm Gipsputz (Quelle: ÖNORM B 8110-3, Klammerwerte: Definition der Bauteile nach Baustoffkatalog ÖNORM V 31).....	20
Abbildung 9: geistige Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Raumtemperatur zwischen 22 und 30°C nach D. Wyon (eigene Darstellung, Quelle: Bux, 2006)	30
Abbildung 10: Thermische Behaglichkeit bei sitzender Beschäftigung, mittlerer Aktivität und entsprechend angepasster Bekleidung als Funktion der mittleren Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen und der Raumlufttemperatur (eigene Darstellung, Quelle: Frank, 1975).	31
Abbildung 11: Relevanter Frequenzbereich für Bau- und Raumakustik (Quelle: buero-forum, 2008).....	32
Abbildung 12: Frequenzen des Oktavbands (Quelle: buero-forum, 2008)	32
Abbildung 13: Toleranzbereich der optimalen Nachhallzeit (Quelle: ÖNORM B 8115-3).	35
Abbildung 14: Mindestwerte für den mittleren Schallabsorptionsgrad α_m in eingerichteten Räumen (Quelle: ÖNORM B 8115-3).....	36

Abbildung 15: Bereiche eines Büroraumes für wirksame Speichermassen: Decke, Fußboden, Außenwand, Zwischenwände (Büro- und Flurtrennwand), Gebäudekern (eigene Darstellung).	39
Abbildung 16: Bandbreite der speicherwirksamen Masse von raumabschließenden Flächen eines 1-Personen Zellenbüros (eigene Darstellung).	42
Abbildung 17: Gegenüberstellung der wirksamen Speichermasse von Deckenausbauten (eigene Darstellung).	44
Abbildung 18: Vergrößerung der Luftaustauschfläche, beispielsweise durch eine Balkenstrukturierung der Decke (eigene Darstellung).	45
Abbildung 19: Strukturierte Betondecke im Powergen-Bürogebäude in Coventry, England. Links fertiges Gebäude, rechts als Baustelle. Architektur: Bennetts Associates Architects. (Fotos: Peter Cook).	46
Abbildung 20: Strukturierte Betondecke in der Wessex Water Operations Centre in Bath, England. Links fertiges Gebäude, rechts als Baustelle. Architektur: Bennetts Associates Architects. (Fotos: Peter Cook).	46
Abbildung 21: Deckenverkleidung aus Ziegel (Foto: Norbert Prommer, Verband Österreichischer Ziegelwerke).	47
Abbildung 22: Decke für Installationen (Quelle: Kollegger, Burtscher, & Kainz, 2006).	48
Abbildung 23: Fertigteildecke mit integriertem Lüftungssystem (Quelle: DW Systembau GmbH, BRESPA Lüftungsdecke).	49
Abbildung 24: Beispiel des Aufbaus eines Hohlraumbodens (eigene Darstellung).	50
Abbildung 25: Massive Parapete im Bürogebäude (Foto: Paul Ott, Architektur: Ernst Giselbrecht + Partner).	51
Abbildung 26: Massive Flurtrennwände im Neubau-Turm des Bundesamtes für Statistik, Neuchâtel, Schweiz. (Architektur: Bauart Architekten und Planer AG, Bern. Foto: Ruedi Walti, Basel).	53
Abbildung 27: Gips-Wandbauplatten (Quelle: Multigips, VG Orth GmbH & Co KG).	54
Abbildung 28: Massiver Stiegenhauskern und Atrium mit massiven Bauteilen (Foto links: Oberndorfer GmbH & Co KG; rechts: Alfred Trepka GmbH).	55
Abbildung 29: Funktionsweise der Phase Change Materials (eigene Darstellung).	56
Abbildung 30: Funktionsweise der GLASSX Fenster mit PCM (Quelle: GLASSX AG, Eckelt Glas GmbH).	58
Abbildung 31: Waschbecken aus Beton im Atrium der Firmenzentrale Trepka GmbH (Quelle: Alfred Trepka GmbH).	58

Abbildung 32: Mögliche unterstützende Lösungen für mechanische Be- und Entlüftung (eigene Darstellung).	62
Abbildung 33: 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).	63
Abbildung 34: Teilabgehängte Decke mit Lüftungskanälen an der Flurtrennwand (eigene Darstellung).	64
Abbildung 35: Kühlbalken: Darstellung möglicher Funktionen und Einbaubeispiel (Quelle: Trox GmbH) © Copyright by TROX GmbH.....	64
Abbildung 36: Deckenkoffer im Gangbereich mit Lüftungskanälen, Einbringung über Flurtrennwand (eigene Darstellung).	65
Abbildung 37: Beispiele für dezentrale Lüftungssysteme: Fassadenschnitt, schematische Darstellung des Zu- und Abluftbetriebs (Quelle: Trox GmbH) © Copyright by TROX GmbH	66
Abbildung 38: Fensterbandkanal (eigene Darstellung).....	66
Abbildung 39: Luftauslass für die Quelllüftung im Base, Wien. (Foto: Hertha. Hurnaus, Architektur: pos architekten).	67
Abbildung 40: Kabeltrasse im Boden (eigene Darstellung).	67
Abbildung 41: Beispiel von Pendelleuchten bei einer massiven Decke im ENERGYbase, Wien (Foto: Hertha Hurnaus, Architektur: pos architekten).	68
Abbildung 42: Beispiel einer Stehlampe für Büroarbeitsplätze (Foto: Paul Ott, Architektur: Ernst Giselbrecht + Partner).	69
Abbildung 43: Akustikplatte an der Decke (Quelle: Renz GmbH).	70
Abbildung 44: Beispiel von der Decke abhängende Akustikplatten (Foto links: Renz GmbH; rechts: alki-Technik-Zentral Ingolstadt, Architektur: Bachschuster Architektur).	71
Abbildung 45: Deckenbaffles aus Textilien (Foto links: FOX HOLZ Fußboden und Objektsysteme GmbH; rechts: Stefan Bstieler, s Objektmanagement).	71
Abbildung 46: Deckenbaffles aus Schaumstoff (Foto links: Peter Holzer, Donau-Universität Krems; rechts: FOX HOLZ Fußboden und Objektsysteme GmbH).	72
Abbildung 47: Deckenbaffles aus Holz (Foto: Paul Ott, Architektur: Ernst Giselbrecht + Partner).	72
Abbildung 48: Schallabsorbierende Leuchten (Foto links: Modulisa - Schallabsorbierende Leuchte; Foto rechts: Imhof Akustik, Produkt der Fluora Leuchten AG).	73
Abbildung 49: Akustikputz (Foto: Akustik und Malerei Fink ²).	73

Abbildung 50: Beispiel einer Akustik Trennwand (Foto: BER Deckensysteme).	74
Abbildung 51: Beispiele für Schallschirme (links) und verwinkelte Anordnung für hohe raumakustische Qualität am Arbeitsplatz (rechts) (Quelle: Renz GmbH, Systemlösungen für bessere Arbeitswelten).	75
Abbildung 52: Beispiel eines textilen Akustikmoduls an der Wand (Foto: BER Deckensysteme).	75
Abbildung 53: Schränke mit raumakustischen Türen (Foto: BER Deckensysteme).	76
Abbildung 54: Natürliche Lüftung durch Fassadenöffnungen, Überströmöffnungen bei den Bürotüren und zentrale Abluftkammine im Gebäude des Bundesamtes für Statistik, Neuchâtel, Schweiz. (Architektur: Bauart Architekten und Planer AG, Bern. Grafik: Bauart Architekten und Planer AG.).	79
Abbildung 55: Querschnitt Deckenaufbau mit Bauteilaktivierung – mittige Anordnung der wasserführenden Rohrleitungen (eigene Darstellung).	81
Abbildung 56: Querschnitt Deckenaufbau mit Bauteilaktivierung – Anordnung der wasserführenden Rohrleitungen oberhalb der unteren Bewehrung (eigene Darstellung).	81
Abbildung 57: Bauteilaktivierung in Wänden (links) und in der Decke (rechts) (Grafik: Alfred Trepka GmbH).	82
Abbildung 58: Selbstregelungseffekt bei einer Bauteilaktivierung mit konstanter Vorlauftemperatur (eigene Darstellung, Quelle: Oesterle & Mösle, 2001).	83
Abbildung 59: Verlegung der Rohrträgermassen einer Bauteilaktivierung (Quelle: Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Expertenforum Beton, Heizen + Kühlen mit Beton; Foto: Rehau AG).	84
Abbildung 60: Fertigteildecke mit integrierten Rohrregistern zur Bauteilaktivierung und Anschluss der Fertigteildecke im Flurbereich mit Halbfertigdecken und Ortbeton (Foto links: Oberndorfer GmbH & Co KG; rechts: Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie , Expertenforum Beton, Heizen + Kühlen mit Beton, Foto: Tiltz Rehau Gesellschaft m.b.H.). .	85
Abbildung 61: Schnell reagierende Heiz- und Kühlsysteme als Bestandteil der Bauteilaktivierung – Integration in der Stahlbetondecke bzw. im Deckenputz (eigene Darstellung).	85
Abbildung 62: Kühlrohr der luftgeführten Bauteilaktivierung (Quelle: Hildebrand, Kiefer Luft- und Klimatechnik, 2006).	86
Abbildung 63: Verlegung der Kühlrohre einer luftgeführten Bauteilaktivierung (Quelle: Hildebrand, Kiefer Luft- und Klimatechnik, 2006).	86
Abbildung 63: Prinzipschnitt einer luftgeführten Bauteilaktivierung (Quelle: Hildebrand, Kiefer Luft- und Klimatechnik, 2006).	87

Abbildung 64: Die frühe Planungsphase bietet die beste Gelegenheit für große Eingriffe in die Gebäudeeigenschaften zu den geringsten Umplanungskosten (eigene Darstellung, Quelle: Voss et. al., 2007).	89
Abbildung 65: Die wichtigsten Phasen im Rahmen der Integralen Planung (eigene Darstellung)	89
Abbildung 66: Überblick über Planungsziele und Kriterien für ein Gebäude mit hoher speicherwirksamer Masse (eigene Darstellung).....	92
Abbildung 67: SOL4 Bürogebäude (Bauträger: SOLAR 4 YOU Consulting Ges.m.b.H., Fotos: sol4.info, Verband Österreichischer Ziegelwerke).....	106
Abbildung 68: Die Firmenzentrale der Trepka GmbH in Obergrafendorf (Planung: Bauatelier Schmelz & Partner, Fotos: Fa. Trepka GmbH).....	108
Abbildung 69: ENERGYbase in Wien. (Architektur: pos architekten; Fotos: Hertha Hurnaus)	110
Abbildung 70: Das Verlagsgebäude der tamedia AG in Zürich. (Architektur und Fotos: Atelier WW, Zürich).....	112

12.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wärmespeicherfähigkeit von verschiedenen Baustoffen, Luft und Wasser (Quelle: Riccabona & Bednar, 2008; www.baubook.at, September 2009).	19
Tabelle 2: Mindest erforderliche immissionsflächenbezogene Speichermasse $m_{w,Al}$ in Abhängigkeit vom immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom $V_{L,s}$ (Quelle: ÖNORM B 8110-3, Vereinfachtes Verfahren).	21
Tabelle 3: Faktor für die spezifische Wärmespeicherfähigkeit bei unterschiedlichen Bauweisen (Quelle: ÖNORM B 8110-6).....	27
Tabelle 4: Faktor für die spezifische Wärmespeicherfähigkeit für die Varianten des Innenausbaus nach Beispiel 1.....	27
Tabelle 5: Charakteristika für kleine und große Schallabsorption (Quelle: Riccabona & Bednar, 2008).	33
Tabelle 6: Typische Werte für den Absorptionsgrad von Oberflächen (Quelle: ÖNORM EN 12354-6)	34