ENERGIEWENDEBAUEN
Wissenschaftliche Begleitforschung

Leitfaden

Handlungsempfehlung zur Integration des Monitorings in die Planungs- und Ausführungsprozesse

Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund 3

2 Prozedur zur Einbindung von Monitoringvorhaben in die Integrale Planung und Ausführung von Bauvorhaben 5

2.1 Prozessschritte 5

2.2 Beispielhaftes Leistungsbild 8

3 Literatur 13

1 Hintergrund

Monitoringvorhaben werden häufig dann kostenintensiv, wenn sie erst nachträglich eingeplant und installiert werden. Eine rechtzeitige Integration des Monitoringteams in den Planungsprozess ist daher wichtig. In einem vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) durchgeführten Workshop im Rahmen eines Projektleitertreffens der Begleitforschung Energiewendebauen [1] mit knapp 30 Teilnehmern wurden die Erfahrungen aus BMWi-Projekten hinsichtlich der Einbindung des Monitorings in den Planungsablauf gesammelt und Hinweise für eine optimale Einbindung erarbeitet (siehe Bild 1). Die Ergebnisse sollen mittels dieser Handlungsempfehlung in Hinweise und Empfehlungen für neue Projektleiter münden.

Bild 1: Foto aus dem Workshop der Begleitforschung Energiewendebauen zu Monitoring als Baustein der integralen Planung.

Anhand eines Erfahrungsberichts [2] des langjährigen Projektleiters diverser Demonstrations- und Monitoringvorhaben Johann Reiß vom Fraunhofer IBP evaluierten die Workshopteilnehmer die darin vorgestellte Prozedur zur frühzeitigen und erfolgreichen Einbindung des Monitorings in die integrale Planung.

Die beteiligten Akteure am Planungs-, Umsetzungs- und Monitoringprozess umfassen:

- Bauherr
- Planer: Architekt und Fachplaner inkl. Elektroplaner
- Forschungsteam: verantwortlich für das Energiekonzept und weitere Forschungsaufgaben
- Monitoringteam: verantwortlich für die Evaluierung, meist nicht identisch mit dem Forschungsteam
- Nutzer

2 Prozedur zur Einbindung von Monitoringvorhaben in die Integrale Planung und Ausführung von Bauvorhaben

Die auf langjährige Erfahrungen basierte vorgeschlagene Prozedur gliedert sich in die Beschreibung von Prozessschritten und ein zugehöriges Leistungsbild für Monitoringanbieter.

2.1 Prozessschritte

Die Integration von Monitoringvorhaben in die Planung und Ausführung von Bauvorhaben kann in folgende sinnvolle 12 Prozessschritte unterteilt werden, aufgeteilt in die HOAI-Leistungsphasen (LP) Entwurfsplanung, Ausführungsplanung, Ausschreibung, Umsetzung und Objektbetreuung:

1. Entwurfsplanung (LP 3)	Der Monitoringplaner erläutert den Gebäude- und Anlagenplanern das Energiekonzept und das grobe Messkonzept. *-> In dieser Phase kann bspw. der Elektroplaner noch leicht die Stromschemen entsprechend den Anforderungen der Messtechnik anpassen.*
2. Entwurfsplanung (LP 3)	Abklärung möglicher Einschränkungen durch Datenschutzanforderungen.
3. Ausführungsplanung (LP 5)	Der Monitoringplaner trägt die Sensoren in die Grundrisspläne ein, der Anlagenplaner und der Architekt übernehmen die Angaben.
4. Ausführungsplanung (LP 5)	Der Monitoringplaner stellt die komplette Messplanung in einem Dokument zusammen. Darin enthalten sind eine Sensorliste und der Einbauort aller Sensoren.
5. Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe (LP 6&7)	Alle Planer übernehmen die Anforderungen des Messprogramms in ihre Ausschreibungsunterlagen. Es ist anzustreben, dass das Monitoring eine eigene Ziffer im Bereich der Gebäudeautomation erhält. Die Planer beschreiben alle Sensoren ausführlich in den Ausschreibungsunterlagen. *-> Dafür benötigt der Anlagenplaner in der Regel Hilfestellung vom Monitoringplaner bei der Definition (bzw. Beschreibung) der Sensoren.*
6. Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe (LP 6&7)	In den Ausschreibungsunterlagen muss angegeben werden, welche Kanäle für das Monitoring benötigt werden. Ferner müssen die durch das Monitoring bedingten Zusatzleistungen erläutert werden, wie z. B. Trenderfassungen und graphische Darstellung der gewünschten Ergebnisse, Exportieranforderungen zur weiteren Verarbeitung der Trendwerte in gängige Formate oder integrierte Editoren zur Erstellung graphischer Oberflächen.

7. Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe (LP 6&7)	In den Ausschreibungsunterlagen muss angegeben werden, wie die Datenübertragung erfolgt, z. B. Fernzugriff über eine Server/Client-basierte Software (Intranet, Internet, Modemverbindung)
8. Objektüberwachung/Umsetzung (LP 8)	Die Installation der Sensoren und deren Überwachung erfolgt im Rahmen der Anlagenmontage.
9. Objektbetreuung/Inbetriebnahme/1. und 2. Messjahr (LP 9)	Die Datenerfassung erfolgt wo möglich mittels Gebäudeleittechnik.
10. Objektbetreuung/Inbetriebnahme/1. und 2. Messjahr (LP 9	Datenübertragung sicherstellen
11. Objektbetreuung/Inbetriebnahme/1. und 2. Messjahr (LP 9)	Import der Daten in Datenbank
12. Objektbetreuung/Inbetriebnahme/1. und 2. Messjahr (LP 9)	Analyse und Auswertung, z. B. mit spezialisierten Programmen wie MoniSoft oder auch über MS Excel oder Origin.

Es hat sich gezeigt, dass die Erläuterung des Monitoringkonzepts durch das Monitoringteam für die Planer sehr hilfreich ist. Daher beginnt der Prozess in Schritt 1 sinnvollerweise mit dieser Aufgabe. Gleichzeitig erfolgt im Schritt 2 eine Abklärung möglicher Einschränkungen durch Datenschutzanforderungen. Sollte es Hindernisse bei der Erfassung und Übertragung der Messdaten wie z. B. den Einspruch der Nutzer gegen Teile der Datenaufzeichnung geben, müssen diese rechtzeitig ausgeräumt oder entsprechend die Messplanung angepasst werden.

Nachdem das Gebäudekonzept festgelegt ist, werden vom Anlagenplaner Anlagenschemen gezeichnet, die alle Anlagenkomponenten enthalten (Wärme- und Kälteerzeuger, Wärme- und Kälteverbraucher, Wärme- und Kälteverteilung). In gleicher Weise erfolgt dies auch im Elektro- und Sanitärbereich. In diese Schemen trägt das Monitoringteam im Schritt 3 die notwendigen Verbrauchszähler ein. Die Zähler werden gemäß dem Monitoringleitfaden so positioniert, dass Energiebilanzen innerhalb der Anlagentechnik gebildet werden können. Auf diese Weise ist eine stetige Kontrolle der Anlagenfunktion möglich. Zusätzlich zu den Verbräuchen ist die Erfassung der Temperaturen des Wärme- und Kälteübertragungsmediums notwendig, um die Funktion der Anlagentechnik zu überprüfen zu können. Das Monitoringteam erstellt eine komplette Messplanung, in der alle Sensoren aufgeführt sind (Schritt 4). Die Angaben müssen von den Planern in die Ausschreibungsunterlagen übernommen werden (Schritt 5). Da üblicherweise nicht alle Daten, die von der Gebäudeautomation erfasst werden, für die Validierung des Energiekonzepts notwendig sind, werden vom Monitoringteam die notwendigen Datenpunkte festgelegt (Schritt 6). Für diese Datenpunkte müssen in der Gebäudeautomation Trends angelegt werden. In den Ausschreibungsunterlagen der Gebäudeautomation muss die Datenübertragungsprozedur angegeben werden (Schritt 7).

Der Einbau der Messsensoren erfolgt im Rahmen der Anlagenausführung. Der Einbau der Sensoren wird vom Monitoringteam überwacht, um spätere Fehlmessungen zu vermeiden (Schritt 8).

Die Erfassung der Monitoringdaten erfolgt idealerweise durch die Gebäudeautomation. Ergänzend ist einzuplanen, dass die Daten während des mehrjährigen Monitorings kontinuierlich über Fernübertragung an den Auswerterechner, der häufig in Forschungsinstituten steht, übertragen werden (Schritt 9). Es ist darauf zu achten, dass dieser Datentransfer nie unterbrochen wird (Schritt 10). Im Forschungsinstitut werden die Daten in eine Datenbank eingepflegt, um eine übersichtliche Datenkontrolle zu haben (Schritt 11). In der Inbetriebnahmephase, die im ersten Messjahr stattfindet, sollte das Monitoringteam unterstützend mitwirken, da anhand der Messdaten Fehlfunktionen schnell aufgedeckt werden können (Schritt 12).

Die Daten müssen während des gesamten Messzeitraums (mehrere Jahre) kontinuierlich überprüft werden, um beispielsweise einen Sensorausfall oder eine Fehlfunktion schnell beheben zu können. Das Monitoring-team sollte daher aufgedeckte Fehler unverzüglich dem Bauherrn/Bauherrenvertreter melden. Mit den Messdaten wird final die Validierung des Energiekonzepts vorgenommen. In einem Abschlussbericht werden die durchgeführten Arbeiten beschrieben und das Ergebnis des Monitorings zusammengestellt.

Die Erfahrung zeigt, dass der Architekt und der HLK-/Elektroplaner während der Inbetriebnahme und dem 1. Messjahr möglichst noch nicht völlig aus dem Projekt ausgeschieden sein sollten, um bei Nachbesserungsarbeiten als Ansprechpartner zur Verfügung zu stehen. Es wird ausdrücklich empfohlen, einen sehr frühen Einstieg des Monitoringteams in das Projekt (schon in der Entwurfsplanung) vorzusehen. Dies kann sich aber aufgrund der langen Planungsphase und den vielen Planungsmeetings als aufwändig erweisen. Alternativ kann das für das Energiekonzept zuständige Forschungsteam aus der Planungsphase die Messplanung bis zur Umsetzungsphase übernehmen und danach die Messung an das Monitoringteam übergeben. Hierfür sollte aber eine ausreichende Überlappung zwischen den beiden Teams während der Umsetzungsphase vorgesehen werden.

Der Messleitfaden der Begleitforschung Energiewendebauen für Demonstrationsvorhaben [3] unterstützt die Monitoringteams bei der Planung des Messkonzepts. Wirtschaftliche Rahmenbedingungen stellen jedoch oftmals Grenzen in der Umsetzung von Messvorhaben dar. Zusätzlich können Fehler in der Bauphase bei der Umsetzung der Messplanung auftreten. Deshalb sollte ein Experte aus dem Monitoringteam auf jeden Fall bei der Abnahme des Gebäudes und der Anlagentechnik dabei sein. Ein Budget für Nacharbeiten im Bereich der MSR (Mess-, Steuer- und Regelungstechnik) sollte eingeplant werden. Das Nachrüsten von Messungen wird allgemein als schwierig angesehen.

Bei der Messplanung ist auch wichtig, frühzeitig ein Datenkonzept für die Speicherung der Daten zu erarbeiten. Weil jedes GLT-System anders ist, können durch z. B. unterschiedliche Zeitraster (z. B. Change of Value) Probleme mit Datenbanken entstehen. Hier erwies sich z. B. das Programm MoniSoft [4] als eine gute Lösung. Ein monatlicher Handaufschrieb (und von Hand ablesbare Zähler) sind ein wichtiger Back-up für die elektronische Messübertragung.

Der Stromverbrauch der Messtechnik ist in detaillierten Messvorhaben sowohl energetisch als auch kostenmäßig nicht vernachlässigbar und sollte getrennt ermittelt werden.

2.2 Beispielhaftes Leistungsbild

Die Arbeitsschritte sollten in objektspezifischen Leistungsbildern spezifiziert werden. In Tabelle 1 sind diese exemplarisch für einen fiktiven Hochschulneubau aufgelistet. Je nach Zusammensetzung des Planungsteams und der Aufgabenübernahme durch den Bauherrn ergeben sich unterschiedliche Leistungsbausteine. Die Tabelle ist daher nur exemplarisch zu verstehen.

Tabelle 1: Beispielhaftes Leistungsbild für ein Monitoringprojekt in einem exemplarischen Hochschulbau.

Entwurfsplanung [LP 3]
Ableiten der für das Gebäude und die zu berücksichtigenden Anlagen relevanten spezifischen Sollwerte und Parameter aus der Fachplanung bzw. Abstimmung und Festlegung mit der Fachplanung.
Abklärung und Dokumentation etwaiger Einschränkungen durch Datenschutzanforderungen bei der Erfassung, Übertragung und Verarbeitung von Messdaten
Zusammenführung der Mess- und Zählerkonzepte der einzelnen Gewerke übergreifend zu einem Konzept, einschließlich aller Schnittstellen und Übergabeformate.
Erstellung eines Ablaufplans für die folgenden Projektphasen mit dem Inhalt der Leistungen des Monitorings, insbesondere Anzahl, Zeitpunkte und Dauer der Probebetriebe, sowie der gegebenenfalls notwendigen Zuarbeiten anderer Projektbeteiligten. Übergabe der Unterlagen an die entsprechenden Fachplaner zur Berücksichtigung.
Mitwirkung bei der Festlegung der Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten für die einzelnen Schritte des Technischen Monitorings in Abstimmung mit dem Bauherrin und dem künftigen Betreiber.
Zusätzliche Leistungen: …..
Ausführungsplanung [LP 5]
Sichtung der Unterlagen der Ausführungsplanung und Fortschreibung des Monitoring-Konzepts.
Nachführung der Änderungen von Sollwerten und der Mess- und Datentechnik im Monitoring-Konzept und Kommunikation an die Fachplanung.
Sicherstellung der Datenbereitstellung und Datenübergabe durch Integration der Vorgaben in die Leistungsbeschreibungen der Gebäudeautomation.
Planung der Aktivitäten während der Inbetriebnahmephase.
Qualitätssicherung der Ausführungsplanung in Form einer Durchsicht der Planungsunterlagen im Hinblick auf Qualitäten, Nutzung, Energieeffizienz, Inbetriebnahmen und Ausführbarkeit der Projektanforderungen der Bauherrin.
Planung der Gewerke übergreifenden Anforderungen an die Mess- und Zähleinrichtungen im Hinblick auf die Nachweisführung während der Inbetriebnahmephase sowie des Probebetriebs hinsichtlich der Einhaltung der geschuldeten Leistungen und im Hinblick auf das Energiemonitoring und die Datenauswertung für den späteren Gebäudebetrieb.
Überprüfung der Ausführungsplanung auf Zugänglichkeiten bei der Inbetriebnahme und späteren Wartung.
Zusammenstellen der Bauherrinnen- und Nutzeranforderungen sowie der Projektziele wie z. B. die technischen Rahmenbedingungen, die Systembeschreibung der technischen Anlagen und die Konzeption des Gebäudebetriebs. Dokumentation der Projektziele unter Verwendung klarer Zielsetzungen und messbarer Erfolgskriterien (z. B. Temperaturen, Verbräuche etc.
Vorgabe eines einheitlichen Dokumentenstandards für die Erstellung der Revisionsunterlagen wie z. B. Datenstruktur, Formate, Bezeichnungen bzw. Nutzervorgaben für die Fachplaner zur Einarbeitung in die Leistungsverzeichnisse.
Feststellung und Dokumentation des Umfangs der Anlagen und Systeme, welche den Inbetriebnahmeprozess betreffen in Form eines detaillierten technischen Anlagenverzeichnisses sowie eines Verzeichnisses für funktionale Bauteile.

Erstellung einer Gewerkebeziehungsmatrix und Entwicklung eines Schnittstellenkatalog nach VDI 6039.
Integration der Anforderungen an das Projekt in den Inbetriebnahmeplan. Der Zeitplan zur Positionierung der einzelnen Maßnahmen während der Planungs- und Errichtungsphase ist unter Einbeziehung des Bauzeitenplans zu erstellen.
Kontinuierliche Prozessfortschreibung durch Fortschreibung des Zeitplans für die Gewerke übergreifende Inbetriebnahme und das Erarbeiten von Checklisten und Prüfprotokollen zur Unterstützung der ausführenden Firmen bei der Inbetriebnahme, der Abnahme und der Übergabe zur Dokumentation von erbrachten Funktionsnachweisen und Leistungsmessungen.
Zusätzliche Leistungen: …..
Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe [LP 6&7]
Definieren der Anforderungen an eine Gewerke übergreifende Inbetriebnahme und implementieren in die Ausschreibungstexte der Fachplaner (Textbausteine).
Unterstützung der Fachplanung hinsichtlich funktionaler Leistungsbeschreibungen wie z. B. Funktionsprüfungen, Zähler- und Datenabgleiche.
Prüfung der Ausführungsplanung und der Leistungsverzeichnisse in Bezug auf die korrekte Übernahme der Vorgaben des Technischen Monitorings und hinsichtlich der geforderten Qualitäten.
Unterstützung des Vergabeprozesses durch Prüfung der Berücksichtigung der Vorgaben des Technischen Monitorings in den Angeboten sowie Teilnahme an Vergabegesprächen.
Ergänzen der Anforderungen an die Instandhaltung und implementieren in die Ausschreibungstexte der Fachplaner (Textbausteine).
Qualitätssicherung durch Überprüfung der Angebots-Leistungsverzeichnisse auf Einhaltung der Planungs- und Bauherrinnenanforderungen
Zusätzliche Leistungen: …..
Objektüberwachung [LP 8]
Detaillierte Abstimmung des Ablaufplans für das Monitoring vor der Inbetriebnahme mit den Fachplanern und den entsprechenden Errichterfirmen für die einzelnen Probebetriebe (Voraussetzungen, Termine, Teilnehmer etc.).
Auswertung und Bewertung der aus dem Probebetrieb erhaltenen Betriebsdaten in Bezug auf die Erreichung der Sollwerte und Erstellung eines entsprechenden Monitoring Berichts. Dokumentation etwaige Mängel (z. B. nicht erreichte Sollwerte oder fehlerhafte Betriebsdaten) und Kommunikation an die Bauverwaltung bzw. Fachplaner, Errichter und/oder Betreiber.
Prüfung der korrekten Datenerfassung und Datenübermittlung zusammen mit dem Errichter vor Durchführung des Probebetrieb.
Durchführung der Probebetriebe entsprechend dem Monitoring-Konzept. Speicherung der geforderten Messdaten entsprechend dem Monitoring-Konzept für die Dauer eines Probebetriebs.
Prüfung der Sollwerte auf Grundlage der Messdaten aus dem Gebäude. Die Messdaten sind entsprechend dem Monitoring-Konzept vom Errichter der jeweiligen Anlage für die Zeiträume der vereinbarten Probebetriebe elektronisch aufzuzeichnen und zu übergeben.
Prüfung auf Umsetzung der Vorgaben zur Regelung der technischen Anlagen (wie z. B. Zeiten, Kurvenverläufe und Temperaturen) und Umsetzung der Vorgaben aus den Leistungsbeschreibungen (wie z. B. Messstellen, Regelfunktionen und Datenfluss) im Rahmen der Abnahme.

Prüfung der Inhalte der Checklisten und Prüfprotokolle nach Dokumentenrücklauf auf Vollständigkeit und Plausibilität.
Sicherstellen der Durchführung aller notwendigen Prüfungen als Voraussetzung für die Funktions- und Leistungstests.
Erstellung der Konzeption für den Ablauf der Funktions- und Leistungstests der einzelnen Anlagen ebenso wie integrale (Gewerke übergreifende) Tests wie z. B. Teillast, Volllast, Notbetrieb etc.
Abstimmung und Einbeziehung von Zulassungs- und Genehmigungsbehörden.
Koordination und Überwachung der Funktions- und Leistungstests in Abstimmung mit ausführenden Firmen und Fachplanern.
Protokollierung der Funktions- und Leistungstests und Überprüfung auf Konformität mit den Projektanforderungen.
Erstellung eines Betriebshandbuches.
Koordination und Überwachung der Einweisungen des Betreibers in die Anlagentechnik.
Sicherstellung der Mängelbeseitigung von Mängeln aus der Abnahme, die festgestellt wurden und für einen funktionalen Betrieb erforderlich sind.
Ausarbeitung eines Abschlussberichtes mit einer Zusammenfassung der durchgeführten Funktions- und Leistungstests, dem Hinweis auf Betreiber- und Nutzerschulungen.
Durchführung einer Abschlussbesprechung mit dem Auftraggeber.
Zusätzliche Leistungen: …..
Objektbetreuung [LP 9]
Optimierung des Anlagenbetriebs während der Einregulierungsphase als kontinuierliche Betriebsüberwachung durch Anpassung der Anlagenparameter an die realen Betriebsverhältnisse in Abstimmung mit dem Betreiber der Anlagen.
Aufnahme, Analyse und Dokumentation der Betriebsparameter der Anlagen entsprechend dem Monitoringkonzept.
Auswertung der erhaltenen Betriebsdaten unter Bildung von Kennzahlen in Bezug auf die Erreichung der Sollwerte aus (Soll-Ist-Vergleich) und Erstellung der vorgesehenen Berichte. ☐ wöchentlich ☐ monatlich ☐ vierteljährlich ☐ halbjährlich ☐ jährlich
Unterstützung des Betreibers während der Einregulierungsphase,
Erstellung eines Abschlussberichtes nach Abschluss der Einregulierungsphase. Dokumentation der in den ersten zwei Betriebsjahren erreichten Vorgaben im Vergleich zu den angestrebten Vorgaben.
Führen und Nachverfolgen einer Mängeldokumentation der während der Gewährleistung auftretenden Mängel.
Unterstützung des Auftraggebers bei der Abwicklung der Mängel mit vertragskonformen Schriftverkehr
Führung eines ein Soll/Ist-Abgleich hinsichtlich des Zustands der technischen Gebäudeausrüstung gegen Ende der Gewährleistungsphase unter Berücksichtigung der aufgetretenen und angezeigten Mängel.
Aktualisierung und Nachführung der Dokumentationsunterlagen hinsichtlich Änderungen, die sich während der Gewährleistungsphase ergeben haben.
Zusätzliche Leistungen: ……

3 Literatur

[1] Wissenschaftliche Begleitforschung: Integrales Planen, Bauen und Betreiben. Dokumentation 2. Projektleitertreffen Energiewendebauen, Lüneburg, 22.-23. September 2017. September 2017. Verfügbar unter: https://projektinfos.energiewendebauen.de/publikationen/publikation/integrales-planen-bauen-und-betreiben/.

[2] Reiß, J.: Frühzeitige Einbindung des Monitorings – Erfahrungen am Kinderhaus Höhenkirchen-Siegertsbrunn. Präsentation auf dem 2. Projektleitertreffen Energiewendebauen, Lüneburg, 22.-23. September 2017. Unveröffentlicht

[3] Erhorn-Kluttig, H. et al.: Messleitfaden für Demonstrationsvorhaben im Bereich „Energie in Gebäuden und Quartieren“. Veröffentlichung der Wissenschaftlichen Begleitforschung Energiewendebauen. September 2020. Verfügbar unter: https://projektinfos.energiewendebauen.de/fileadmin/user_upload/Messleitfaden_Update_2020_V2.pdf

[4] Technische Hochschule Rosenheim: Weiterentwicklung der Software "MoniSoft". Webseite der Software „MoniSoft“ für Monitoring und energetische Betriebsoptimierung. Verfügbar unter: https://www.th-rosenheim.de/forschung-entwicklung/kompetenzfelder-und-projekte/energietechnik-und-energieeffizienz/monisoft-20/.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber: Wissenschaftliche Begleitforschung_ENERGIEWENDEBAUEN
RWTH Aachen University
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Mathieustraße 10
52074 Aachen

E-Mail: begleitforschung@eonerc.rwth-aachen.de
Internet: energiewendebauen.de

Autoren: Hans Erhorn[1], Johann Reiß[1] und Heike Erhorn-Kluttig[1] unter Mitwirkung weiterer Mitglieder der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN

Bildquelle: Wissenschaftliche Begleitforschung

Für den Inhalt und das Bildmaterial der einzelnen Beiträge tragen alleine die Autoren die Verantwortung.
Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN 978-3-00-068657-3

---

[1] Fraunhofer-Institut für Bauphysik