

Leitfaden

Monitoring von Plusenergie- Gebäuden

Monitoring der Leitprojekte aus HAUSderZukunft

Tobias Steiner
Veronika Huemer-Kals
Rudolf Binting
Bernhard Lipp

Herausgeber: IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
in Kooperation mit Österreichisches Ökologie-Institut

Inhaltsverzeichnis

Vorwort: Haus der Zukunft | Ein Forschungs- und Technologieprogramm für nachhaltiges Bauen und Sanieren 7

Teil 1: Einleitung, Grundlagen, Beispiele	8
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangslage	8
1.1.1 Hintergründe	8
1.1.2 Plusenergie als Zielstandard	8
1.1.3 Warum Monitoring?	8
1.1.4 Energiebilanz	8
1.1.5 Raumkomfort	8
1.2 Zum Leitfaden Monitoring von Plusenergie-Gebäuden	9
1.2.1 Zielsetzung und Zielgruppe	9
1.2.2 Aufbau und Handhabung	9
2 Monitoring - Grundlagen und Konzept	9
2.1 Was bedeutet „Monitoring“?	9
2.2 Bestehende Definitionsansätze	9
2.2.1 Systemgrenzen der Energiebereitstellung (aus [1])	9
2.2.2 Energiebilanz (aus [1])	11
2.2.2.1 Bilanzierungszeitraum	11
2.2.2.2 Systemgrenzen der Energiebilanz	11
2.2.2.3 Art der Bilanzierung und Konversionsfaktoren	11
2.3 Berechnung und Messung	12
2.3.1 Annahmen Berechnung	13
2.3.2 Voraussetzung Messung	14
2.4 Realisierte Projekte in Österreich	15
2.4.1 Projekt 1 – Kindergarten Wolkenschiff, Gänserndorf	15
2.4.2 Projekt 2 – Windkraft Simonsfeld	16
2.4.3 Projekt 3 – Technologiezentrum Aspern IQ	17
Teil 2: Messaufgabe, Messkonzept und Messtechnik	19
3 Messaufgabe	19
4 Messkonzept	19
4.1 Einleitung	19
4.2 Messgröße	19
4.3 Messobjekt	19
4.4 Messung	19
4.5 Messergebnis	20
4.5.1 Messergebnis	20
4.5.2 Messwert	20
4.5.3 Vollständiges Messergebnis	20
4.5.4 Messunsicherheit	20
4.6 Messeinrichtung	20
4.7 Messgerät	20
4.7.1 Messbereich	20
4.7.2 Übertragungsverhalten	20
4.7.3 Ansprechschwelle	20
4.7.4 Empfindlichkeit	20
4.7.5 Auflösung	20
4.7.6 Rückwirkung	20
4.7.7 Messgerätedrift	20
4.7.8 Einstelldauer	20
4.7.9 Messabweichung	20
4.7.10 Kalibrierung und Justieren	21
4.8 Messdatenerfassung	21
4.8.1 Messintervall	21
4.8.2 Messdatenspeicher	21
4.8.3 Auslesen der Messdaten	21
4.9 Dokumentation	21

4.10	Rechtliche Aspekte	21
5	Messtechnik	23
5.1	Grundbegriffe der Messtechnik	23
5.2	Messinstrumente	25
5.2.1	Messung der Lufttemperatur	25
5.2.1.1	Beschreibung	25
5.2.1.2	Anwendungshinweise für Messung mit einem Thermometer	26
5.2.1.2.1	Minderung des Strahlungseinflusses	26
5.2.1.2.2	Thermische Trägheit des Messwertaufnehmers	26
5.2.1.3	Empfohlene Geräteeigenschaften	26
5.2.2	Messung der mittleren Strahlungstemperatur	26
5.2.2.1	Beschreibung	26
5.2.2.2	Anwendungshinweise für die Messung mit einem Kugel-Thermometer	26
5.2.2.3	Empfohlene Geräteeigenschaften	27
5.2.3	Messung der Flächenstrahlungs-Temperatur	27
5.2.3.1	Beschreibung	27
5.2.3.1.1	Effektivradiometer	27
5.2.3.1.2	Konstantlufttemperaturscheibe	27
5.2.3.2	Empfohlene Geräteeigenschaften	28
5.2.4	Messung der Luftfeuchte	28
5.2.4.1	Allgemein	28
5.2.4.2	Messung der absoluten Luftfeuchte mittels Psychrometrie	28
5.2.4.2.1	Beschreibung	28
5.2.4.2.2	Anwendungshinweise zur Messung der absoluten Luftfeuchte mittels Psychrometrie	28
5.2.4.3	Messung der Feuchte mittels Lithiumchloridhygrometer	29
5.2.4.3.1	Beschreibung	29
5.2.4.3.2	Anwendungshinweise für die Messung der Feuchte mittels Lithiumchlorid-Hygrometer	29
5.2.4.4	Messung der Luftgeschwindigkeit	29
5.2.4.4.1	Beschreibung	29
5.2.4.4.2	Heißkugel-Anemometer	30
5.2.4.4.3	Anwendungshinweise für die Messung der Luftgeschwindigkeit mittels Heißkugel-Anemometer	30
5.2.4.5	Empfohlene Geräteeigenschaften	30
5.2.5	Messung der Oberflächen-Temperatur	30
5.2.5.1	Beschreibung	30
5.2.5.2	Kontaktthermometer	30
5.2.5.3	Infrarot-Radiometer	30
5.2.5.4	Empfohlene Geräteeigenschaften	31
5.2.6	Messung der operativen Raumtemperatur	31
5.2.6.1	Beschreibung	31
5.2.6.2	Direkte Messung operative Raumtemperatur	31
5.2.7	Messung der solaren Einstrahlung	31
5.2.7.1	Beschreibung	31
5.2.7.2	Pyranometer	32
5.2.7.3	Anwendungshinweise für die Messung mit einem Pyranometer	33
5.2.7.4	Empfohlene Geräteeigenschaften	33
5.2.8	Messung Wechselstrom	33
5.2.8.1	Empfohlene Geräteeigenschaften	35
5.2.8.2	Beschreibung	35
5.2.8.3	Anwendungshinweise für die Messung von Wärmemengen	35
5.2.8.4	Empfohlene Geräteeigenschaften	35
5.2.8.4.1	Temperatursensorkörper	35
5.2.8.4.2	Durchflusssensor	36
5.2.9	Messung der Innenraumluftqualität	36
5.2.9.1	Beschreibung	36
5.2.9.2	Formaldehyd-Messung	36
5.2.9.3	VOC-Messung	36
5.2.9.4	CO ₂ -Konzentration der Luft	37
5.2.9.5	Anwendungshinweise für die Messung der Innenraumluftqualität	37
5.2.9.6	Empfohlene Geräteeigenschaften	38
6	Montage	38
6.1	Montage von Gehäusefühlern	38
6.1.1	Messung der Lufttemperatur in Räumen	38

6.1.2	Messung der Außenlufttemperatur.....	39
6.2	Montage von Stab- und Kabelfühlern.....	39
6.2.1	Messung der Temperatur von Flüssigkeiten in Rohrleitungen und Behältern.....	39
6.2.2	Messung der Temperatur von Luft und Abgasen in Kanälen und Rohrleitungen.....	39
6.3	Montage von Anlegefühlern.....	39
6.4	Montage von Kapillarfühlern.....	40
6.5	Montage von Wärmesählern.....	40
Teil 3: Energiemonitoring.....		41
7	Energetische Bewertung von Gebäuden.....	41
7.1	Anwendungen.....	41
7.2	Möglichkeiten zur Angabe der Energie-effizienz.....	41
7.2.1	Energiekennwerte:.....	41
7.2.2	Energieeffizienzkennwerte der technischen Gebäudeausrüstung.....	41
7.3	Berechnung der Energieeffizienz.....	42
7.3.1	Bilanz elektrische Energie.....	42
7.3.2	Berechnungsverfahren.....	43
7.3.3	Wärmebedarf des Gebäudes und exportierte Wärme.....	43
7.3.4	Technische Gebäudeausrüstung.....	43
7.3.5	Betriebsbedingungen.....	43
7.3.6	Klimatische Daten.....	43
7.4	Messung der Energieeffizienz.....	44
7.4.1	Energieverbrauchskennwerte und Vergleich mit Berechnungen.....	44
7.5	Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden.....	44
7.5.1	Gebäudekategorien.....	44
7.5.2	Technische Gebäudeausrüstung.....	44
8	Energiebilanz.....	44
8.1	Allgemeines.....	44
8.2	Bilanzgrenzen.....	44
8.2.1	Allgemeine Grundsätze.....	44
8.2.2	Konditionierter Bereich.....	45
8.2.3	Gebäudestandort.....	45
8.2.4	Außerhalb des Gebäudestandorts.....	45
8.2.5	Zeitschritte.....	45
8.3	Zonierung.....	45
8.3.1	Zonierung des Gebäudes.....	45
8.3.2	Bestimmung der Nutzenergie je Zone.....	45
8.3.3	Bestimmung der Nutzenergie für Heizung und Kühlung.....	45
8.3.4	Bestimmung der technischen Verluste, der End- und Primärenergien.....	45
8.3.5	Bilanzierung der Nutzenergie.....	46
8.4	Energieströme.....	46
8.5	Energie aus erneuerbaren Energiequellen.....	46
9	Dokumentation zur energetischen Bewertung.....	46
9.1	Ergebnisdarstellung.....	46
9.1.1	Berichtsform.....	46
9.1.2	Tabellarische Übersicht.....	47
9.1.3	Energieflussdiagramm.....	47
Teil 4: Monitoring Innenraumklima.....		48
10	Einleitung.....	48
10.1	Thermischer Komfort.....	48
10.2	Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV).....	48
10.3	Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD).....	48
11	Lokale thermische Behaglichkeit – retrospektive Betrachtung.....	48
11.1	Allgemeines.....	48
11.2	Methodik.....	48
11.3	Lokale thermische Behaglichkeit.....	49
11.4	Darstellungsform.....	49
11.5	Betrachtungszeitraum.....	50
12	Lokale thermische Behaglichkeit – Insitu-Verfahren.....	52
12.1	Komfort-Beurteilung vor Ort.....	52
12.1.1	¹⁾ Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV).....	53

12.1.2	2) Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD).....	53
12.2	Gegenüberstellung Berechnung und Messung – Komfort.....	53
Teil 5: Rohdaten, Datenaufbereitung, Dokumentation.....		56
13	Rohdaten	56
13.1	Output	56
13.2	Datenvolumen.....	56
14	Datenaufbereitung	56
14.1	Plausibilitätsprüfung.....	56
14.2	Fehlstellen.....	56
14.3	Datenreduktion, Mittelwertbildung.....	59
14.4	Rundung und Umgang mit Datentypen.....	60
14.5	Vorbereitung der Daten.....	60
15	Dokumentation.....	60
Teil 6: Daten richtig bewerten		62
16	Auswertung von Messungen.....	62
16.1	Echte Fehler vermeiden	62
16.2	Umgang mit Messabweichungen (Fehlerrechnung).....	62
16.2.1	Begriffe.....	62
16.2.2	Ablauf der Auswertung.....	63
16.2.3	Modell	64
16.2.4	Vorbereitung der Eingangsdaten	65
16.2.5	Berechnung des vollständigen Messergebnisses – das Gauß-Verfahren.....	67
16.2.6	Ausgleichsrechnung.....	67
16.2.7	Angabe des vollständigen Messergebnisses	67
17	Überwachung/Qualitätssicherung	68
17.1	Vorgehensweise	68
17.1.1	Kriterien zur Qualitätssicherung.....	68
17.1.2	Kalibrieren und Justieren	68
17.1.3	„Alarm“-Meldungen	68
17.2	Ursachen für systematische Messabweichungen	68
17.3	Sonstige mögliche Quellen für Messunsicherheit	68
18	Darstellung der Ergebnisse.....	69
18.1	Energiemonitoring.....	69
18.1.1	Jahresbilanz, Energiefluss-Diagramm	69
18.1.2	Monatsbilanzen.....	69
18.1.3	Wochen- und Tagesverläufe	70
18.2	Monitoring Innenraumklima.....	70
18.2.1	Rohdaten und abgeleitete Größen beurteilen	70
18.2.2	Betrachtungszeiträume	72
18.2.3	Zusatzinformationen	72
18.2.4	Ergebnisgrößen für das Energiemonitoring.....	72
19	Literatur.....	73

Haus der Zukunft | Ein Forschungs- und Technologieprogramm für nachhaltiges Bauen und Sanieren

Das Forschungs- und Technologieprogramm „Haus der Zukunft“ wurde 1999 vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) initiiert und baute auf zwei zu diesem Zeitpunkt zentralen Entwicklungen im Bereich des solaren und energieeffizienten Bauens auf: der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus. Unter „Haus der Zukunft“ waren im Sinne des Programms Neubauten und sanierte Altbauten zu verstehen, die im Vergleich zur gängigen Bau- und Sanierungspraxis folgende Kriterien erfüllen:

- deutliche Reduzierung des Energie- und Stoffeinsatzes
- verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, insbesondere von Solarenergie
- erhöhte und effiziente Nutzung nachwachsender bzw. ökologischer Materialien
- Berücksichtigung sozialer Aspekte und Erhöhung der Lebensqualität
- vergleichbare Kosten zur herkömmlichen Bauweise und damit hohes Marktpotenzial

Nach fünf Ausschreibungen wurden 2008 die Programmziele unter dem Titel „Haus der Zukunft Plus“ dahingehend erweitert, dass die technologischen Voraussetzungen für die Herstellung von „Plus-Energie-Gebäuden“ geschaffen werden, also Gebäuden, die über den gesamten Lebenszyklus mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen. Angestrebt wurden eine signifikante Erhöhung der Energieeffizienz, die Schaffung intelligenter Gesamtsysteme und eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energieträger.

Viele der Demonstrationsgebäude von „Haus der Zukunft“ entstanden im Rahmen der so genannten Leitprojekte. Leitprojekte im Programm "Haus der Zukunft Plus" waren mehrjährige, strategisch ausgerichtete Verbundprojekte mit Fokus auf Gebäudeverbände - Siedlungen und/oder Industrie- und Gewerbegebiete und auf richtungsweisende Modernisierungen von Gebäuden. Richtungsweisende Siedlungsprojekte wurden unterstützt, z.B. die Seestadt Aspern in Wien, die Energy City Graz Reininghaus oder der „Stadtumbau Lehen“ in Salzburg. Neben der Forschungsförderung, die auch die Umsetzung von Ergebnissen in Demonstrationsprojekten umfasst, waren die innovative Wirtschaftsförderung mit dem Ziel der industriellen Umsetzung von entwickelten Technologien sowie eine inhaltliche Begleitung des Programms weitere Schwerpunkte. Die Programmträgerschaft wurde daher gemeinsam von drei Institutionen wahrgenommen: der Forschungsförderungsgesellschaft FFG, der Austria Wirtschaftsservice aws und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik ÖGUT.

Weitere Informationen zu Gebäuden und Projekten finden Sie unter www.HAUSderZukunft.at

Diese Publikation wurde mit öffentlichen Mitteln aus Haus der Zukunft Plus gefördert. Haus der Zukunft Plus ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik ÖGUT abgewickelt.

Teil 1: Einleitung, Grundlagen, Beispiele

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

1.1.1 Hintergründe

Die im Rahmen der Leitprojekte von Haus der Zukunft PLUS zu errichtenden Demonstrationsbauten verfolgen ehrgeizige Ziele: Höchste Ansprüche an Energieeffizienz in Richtung Plusenergiehaus, umweltverträgliche Gesamtkonzeption, NutzerInnenakzeptanz bei gleichzeitiger Wahrung wirtschaftlicher Bauweisen im Lebenszyklus sind von zentraler Bedeutung. Im Projekt „Monitor PLUS“ werden sämtliche Monitoring- und Evaluierungsarbeiten zu den energietechnischen, umweltrelevanten und sozialwissenschaftlichen Zielen der einzelnen Leitprojekte mit abgestimmten Erhebungsmethoden zusammengeführt. „Monitor PLUS“ führt auf Basis der von der „Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – ÖGNB“ veröffentlichten Methodik mit TQB eine gesamthafte Bewertung der Objekte durch. Das Projekt ist die Fortsetzung der bisherigen Evaluierung von Demonstrationsbauten der Programmlinie und schafft dadurch eine kommunizierbare Basis für die attraktive Verbreitung wesentlicher Ergebnisse der Leitprojekte.

1.1.2 Plusenergie als Zielstandard

Am 8. Juli 2010 trat eine Novellierung der EU Gebäude-richtlinie (Richtlinie 2010/31/EU) in Kraft, die unter anderem dem Energieausweis einen höheren Stellenwert zuweist und die Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden noch einmal deutlich verschärft. So sollen ab 2021 neue Gebäude nur noch als so genannte Niedrigstenergiegebäude errichtet werden. Als Niedrigstenergiegebäude werden in der EU-Richtlinie Gebäude definiert, die eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweisen und ihren geringen Energiebedarf zu einem wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – decken. Analog zu diesen Entwicklungen auf politischer Ebene gehen auch die Entwicklungen im Bereich der Gebäudestandards vom Niedrigenergie- über das Passivhaus derzeit in Richtung Plusenergiehaus – in Richtung eines Gebäudes also, das über das ganze Jahr betrachtet mehr Energie erzeugt als es verbraucht.

Aufgrund ihrer geringeren Energiedichte und ihrer räumlichen Verteilung eignen sich erneuerbare Energieträger wie Sonne, Wind oder Biomasse gut für eine dezentrale Strom- oder Wärmeerzeugung. Auch für die Anwendung der hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung bieten sich dezentrale Energiesysteme an, da auf diese Weise Leitungsverluste weitgehend vermieden werden können. Die Dezentralisierung der Energieerzeugung ist daher eine der wesentlichen Voraussetzungen für die verstärkte Nutzung regenerativer Energien und effizienter Energieerzeugungstechnologien. Das heißt Energie sollte zukünftig möglichst dort produziert werden wo sie verbraucht wird. Für den in der EU-Gebäude richtlinie formulierten Zielstandard Niedrigstenergie- bzw. Plusenergiehaus wird daher

neben einer energieeffizienten Bauweise und Ausstattung auch die Produktion von Wärme und Strom aus erneuerbaren Energieträgern am Standort selbst gefordert. Die Energieerzeugung aus regenerativen Energiequellen ist in der Regel mit einem vergleichsweise hohen Flächenbedarf verbunden. Dieser Nachteil kann durch die Nutzung bereits vorhandener Flächen ausgeglichen werden. Ein Beispiel dafür ist die Einbindung von Energieträger-technologien wie Photovoltaik und Solarthermie in die Gebäudehülle. In diesem Fall spricht man von gebäudeintegrierter Solartechnik. Neben der Einsparung kostbarer Bodenfläche bietet die Gebäudeintegration jedoch noch weitere Vorteile. So lassen sich etwa durch die Substitution von Bauteilen Synergieeffekte erzielen und nicht zuletzt bietet z.B. gebäudeintegrierte Solartechnik auch interessante neue Gestaltungsmöglichkeiten [1].

1.1.3 Warum Monitoring?

Die energetische Performance realisierter Gebäude kann durch die Gegenüberstellung der tatsächlichen Verbräuche bzw. Erträge mit den im Voraus berechneten Werten beurteilt werden. Voraussetzung für diese Bewertung ist die separate Erfassung der relevanten Energieverbräuche nach Energieträgern und Anwendungen.

Die Verbrauchserfassung dient u.a. der Überprüfung der Planungsziele und dem Kosten-Controlling. Sie kann auch dazu genutzt werden, eventuelle Mängel, etwa an den technischen Systemen, aufzuspüren und ggf. zu beseitigen. Des Weiteren kann durch eine genaue Kenntnis der Verbräuche das Nutzerverhalten (der Umgang mit Energie) hinterfragt und angepasst werden.

Soll die thermische Behaglichkeit – das Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt –, beurteilt werden, sind Raumklimadaten wie Temperatur und Relative Luftfeuchte zu erfassen.

1.1.4 Energiebilanz

Die energetische Performance realisierter Gebäude kann durch die Gegenüberstellung der tatsächlichen Verbräuche bzw. Erträge mit dem im Voraus berechneten Werten beurteilt werden. Voraussetzung für diese Bewertung ist die separate Erfassung der relevanten Energieverbräuche nach Energieträgern und Anwendungen.

Die Verbrauchserfassung dient u.a. der Überprüfung der Planungsziele und dem Kosten-Controlling. Sie kann auch dazu genutzt werden, eventuelle Mängel, etwa an den technischen Systemen, aufzuspüren und ggf. zu beseitigen. Des Weiteren kann durch eine genaue Kenntnis der Verbräuche das Nutzerverhalten (der Umgang mit Energie) hinterfragt und angepasst werden.

1.1.5 Raumkomfort

Thermische Behaglichkeit ist definiert als das Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt. Unzufriedenheit kann durch Unbehagen des Körpers auf Grund der Einwirkung von Wärme oder Kälte, ausgedrückt durch PMV und PPD, verursacht werden. Auf Grund individueller Unterschiede ist es unmöglich, ein Umgebungsklima festzulegen, das jedermann zufrieden stellt.

Es wird immer einen Prozentsatz an Unzufriedenen geben. Es ist jedoch möglich, ein Umgebungsklima festzulegen, von dem vorausgesagt werden kann, dass es von einem gewissen Prozentsatz der dem Klima ausgesetzten Personen als annehmbar empfunden wird. (vgl. [2])

1.2 Zum Leitfaden Monitoring von Plusenergie-Gebäuden

1.2.1 Zielsetzung und Zielgruppe

Hohe und oft sehr spezielle Anforderungen an Plusenergie-Gebäude stellen Architekten und Planer ebenso wie Bauherren und Nutzer vor neue Herausforderungen.

Der Umgang mit neuen Technologien und architektonischen Konzepten erfordert nicht nur zeitnahe Informationen über Verbräuche und Gewinne sondern auch Strategien für den Betrieb.

Damit wirtschaftliche und zugleich überzeugende Gesamtlösungen entstehen können, ist ein begleitendes Monitoring von Energie und Innenraumklima unter Berücksichtigung der Nutzer notwendig.

Der vorliegende Leitfaden soll daher Planer, Architekten und Bauherren bei Projekten mit dem geplanten Ziel „Plus-Energie“ im Bereich des Energie- und Innenraumklima-Monitorings unterstützen und durch Vermittlung des erforderlichen Basiswissens die Zusammenarbeit und Kommunikation mit Fachplanern erleichtern.

1.2.2 Aufbau und Handhabung

Der Leitfaden Monitoring von Plusenergie-Gebäuden gliedert sich in fünf Abschnitte mit folgenden Inhalten: Teil 1 enthält eine kurze Einleitung zur Thematik und befasst sich mit dem Konzept des Monitorings von Plusenergiegebäuden. Hier werden grundlegende Überlegungen zum Thema Monitoring angeführt, unterschiedliche Bilanzierungs- und Definitionsmöglichkeiten vorgestellt und die aktuellen Entwicklungen anhand einiger ausgeführter Beispiele gezeigt.

In Teil 2 werden Aspekte und Fragestellungen zu Messaufgabe, Messkonzept und Messtechnik im Bereich des Monitoring von Energie und Innenraumklimas thematisiert. Teil 3 behandelt die wesentlichen Punkte des Energie-Monitorings wie Bilanzgrenzen, Messgrößen, Stoffflüsse und gibt Hinweise warum es zu erheblichen Abweichungen zwischen Berechnungen in der Planung und den Messergebnissen im Betrieb kommen kann und der prognostizierte Wirkungsgrad diverser haustechnischer Anlagen nicht erreicht wird.

Im Teil 4 des Leitfadens wird das Monitoring des Innenraumklimas behandelt. Hier wird außerdem die Bewertung mittels Berechnung von PMV- und PPD- Index anhand ermittelter Raumklimadaten dargestellt und auch die Möglichkeit von Insitu-Messung des Raumkomforts vor Ort beschrieben.

Teil 5 gibt Hinweise zum Umgang mit Rohdaten, Datenaufbereitung und Dokumentation,

Teil 6 zur Auswertung und Darstellung der Ergebnisse.

2 Monitoring – Grundlagen und Konzept

2.1 Was bedeutet „Monitoring“?

Unter Monitoring kann grundsätzlich jede Form der Evaluation verstanden werden. Die Inhalte und Empfehlungen dieses Leitfadens befassen sich mit der messtechnischen Begleitung und Erfassung hinsichtlich Energie und Innenraumklima. Die Evaluation anderer, aber nicht minder wichtiger Aspekte, wie beispielsweise sozialer oder ökonomischer Aspekte, ist nicht Gegenstand dieses Leitfadens.

2.2 Bestehende Definitionsansätze

Zurzeit existiert keine einheitliche Auffassung eines Gebäudestandards Plusenergie. Da sich die genaue Definition bei der Errichtung eines Plusenergiegebäudes sowohl auf den Gebäudeentwurf als auch auf die gewählten Strategien zur Erzielung einer positiven Energiebilanz auswirkt, muss sie vor Projektstart eindeutig festgelegt werden und für alle Projektbeteiligten verständlich sein. Wie in [1] beschrieben unterscheiden sich verschiedene Ansätze zur Definition eines Plusenergiestandards in Bezug auf die Festlegung von Systemgrenzen bei der Energiebereitstellung, die Art der Bilanzierung, die bei der Bilanzierung berücksichtigten Größen und den Bilanzierungszeitraum, sowie die Auswahl der für die Bilanzierung verwendeten Konversionsfaktoren (vgl. Marszal et al. 2011 und Sartori et al. 2010). Nachfolgend sind die Definitionsansätze zu Energiebilanz, Bilanzierungszeitraum sowie Systemgrenzen der Energiebilanz aus [1] übernommen, da diese für das Energie-Monitoring von Plusenergie ident sind mit jenen für die Planung von Plusenergiegebäuden.

2.2.1 Systemgrenzen der Energiebereitstellung (aus [1])

Niedrigstenergiegebäude, wie sie in der EU Gebäuderichtlinie von 2010 (Richtlinie 2010/31/EU) definiert werden, sollen ihren geringen Energiebedarf zu einem wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen, sowie Energie die am Standort oder in der Nähe aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird, decken. Damit ergeben sich bei der Bilanzierung unterschiedliche Möglichkeiten, die Systemgrenzen für die Energiebereitstellung zu ziehen. Zunächst lässt sich unterscheiden, ob die erneuerbaren Energiequellen am Standort selbst verfügbar sind (Solarenergie, Windenergie, ...), oder ob Energiequellen außerhalb des Standortes genutzt werden (Biomasse, Energie aus Wasserkraft, ...). Bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen am Standort kann weiter unterschieden werden, ob die Energie am Gebäude selbst (z.B. durch gebäudeintegrierte PV oder Solarthermie) oder am dazugehörigen Gelände (z.B. mit Kleinwind- und -wasserkraftwerken oder PV am Grundstück) erzeugt wird. Stammen die genutzten regenerativen Energiequellen nicht vom Gebäudestandort, so lässt sich differenzieren, ob erneuerbare Energieträger wie Biomasse, Pellets oder ähnliches zum Standort transportiert werden, oder ob Energie aus Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung zugekauft wird (z.B. „Ökostrom“) bzw. Investitionen in solche Anlagen getätigt werden (siehe Abbildung 1).

Diese Unterscheidung wurde 2006 von Torcellini et al. vorgeschlagen und zugleich auch in eine empfohlene Reihenfolge zur Wahl regenerativer Energieversorgungsmaßnahmen gebracht (siehe Tabelle 1). Bei der Festlegung der Systemgrenzen muss nicht zuletzt auch entschieden werden, ob die Bilanzierung für ein einzelnes Gebäude oder eine Gebäudegruppe (eine Siedlung

oder einen ganzen Stadtteil) erfolgt. Wird eine ganze Gebäudegruppe betrachtet, so können und müssen auch gemeinschaftliche Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung oder interne Energieversorgungsnetze (z.B. Nahwärmenetz, ...) bei der Bilanzierung berücksichtigt werden.

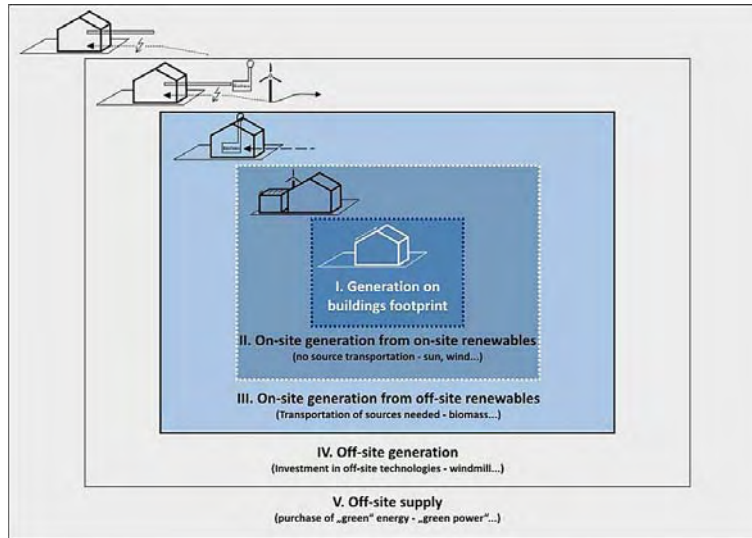


Abbildung 1: Mögliche regenerative Energieversorgungsmaßnahmen und Systemgrenzen zur Bilanzierung von Plus-Energiegebäuden (Quelle: Marszal et al. 2011, S. 5)

Maßnahmen Nr.	Energieversorgungsmaßnahmen	Beispiele
0	Reduktion des Energieverbrauchs durch optimierte Gebäudebauteile	Natürliche Belichtung, energieeffiziente Gebäudetechnik, natürliche Belüftung
	Energiebereitstellung am Grundstück	
1	Nutzung erneuerbarer Energiequellen an der Gebäudehülle	PV, Solarthermie und Kleinwindkraft am Gebäude
2	Verwendung erneuerbarer Energiequellen am Gebäudegrundstück	PV, Solarthermie, Kleinwind- und Kleinwasserkraft am Grundstück
	Energiebereitstellung durch externe Quellen	
3	Energieerzeugung am Grundstück unter Einsatz zugelieferter, erneuerbarer Energieträger	Biomasse, Pellets, Ethanol oder Biodiesel, vor Ort entstehende Abfallströme, die zur Erzeugung von Strom oder Wärme genutzt werden können
4	Ankauf von erneuerbarer Energie oder von Zertifikaten	Ökostrom aus z. B. Wind oder Photovoltaik, Fernwärme aus Biomasse, Ankauf von Emissionszertifikaten oder Umweltzertifikaten

Tabelle 1: Hierarchische Darstellung der empfohlenen Energieversorgungsmaßnahmen für Null- oder Plusenergiegebäude nach Torcellini et al. 2006, S.3

2.2.2 Energiebilanz (aus [1])

2.2.2.1 Bilanzierungszeitraum

In den meisten gängigen Plusenergie-Definitionen beträgt der Bilanzierungszeitraum ein Jahr. Ein Plusenergie-Gebäude muss also im Laufe eines Jahres mehr Energie in ein Energieversorgungsnetz einspeisen als es daraus bezieht. Theoretisch sind auch andere Bilanzierungszeiträume – z.B. eine monatliche Bilanzierung, oder eine Bilanzierung über den ganzen Lebenszyklus des Gebäudes – denkbar. Da die Nutzung von Sonnenenergie für die meisten Plusenergiekonzepte eine wesentliche Rolle spielt und es dadurch in vielen Klimaregionen zu starken saisonalen Schwankungen bei der Energieerzeugung kommt, bietet sich eine Bilanzierung auf Jahresbasis für unsere Breitengrade an.

2.2.2.2 Systemgrenzen der Energiebilanz

Gängige Auffassungen von Plusenergiegebäuden unterscheiden sich auch in Bezug auf die Festlegung der Bilanzgrenzen, also in Bezug darauf, welche Größen in der Energiebilanz berücksichtigt werden. Einige Definitionsansätze betrachten hier lediglich den mit dem Gebäudebetrieb verbundenen Energiebedarf (Heizung, Klimatisierung und Hilfsenergie), während andere Ansätze auch Energielasten berücksichtigen, die mit der Gebäudenutzung zusammenhängen (Beleuchtung, Warmwasser, Elektrogeräte, ...). Besonders ambitionierte Plusenergie-Definitionen berücksichtigen bei der Bilanzierung auch die im Gebäude enthaltene graue Energie, jene Energie also, die für Herstellung, Transport und Entsorgung der Baustoffe und Materialien, sowie für Herstellung, Abbruch und Entsorgung des Gebäudes benötigt wird.

2.2.2.3 Art der Bilanzierung und Konversionsfaktoren

Ein weiterer Punkt, in dem Plusenergie-Definitionen voneinander abweichen, ist die Art der Bilanzierung bzw. in welchem „Maßstab“ die Bilanzierung erfolgt.

Von Torcellini et al. wurden 2006 vier häufig verwendete Bilanzierungsmethoden definiert und mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen dargestellt (siehe auch Tabelle 2):

Bei der einfachsten Art der Bilanzierung wird die im Bilanzierungszeitraum bezogene Endenergie der im gleichen Zeitraum eingespeisten Energiemenge direkt gegenübergestellt (Site ZEB). Bei rein strombetriebenen (also auch strombeheizten) Gebäuden ist diese Art der Bilanzierung relativ problemlos anwendbar. Schwieriger wird es, wenn bei der Bilanzierung unterschiedliche Energieträger berücksichtigt werden sollen - wenn also das Gebäude beispielsweise mit Erdgas oder Holzpellets beheizt wird, wenn nicht nur Strom, sondern auch Wärmeenergie importiert oder exportiert wird (Fern- oder Nahwärme), oder wenn zwischen „Öko-“ und „Normalstrom“ unterschieden werden soll.

Die am häufigsten angewandte Bilanzierungsmethode besteht daher darin, nicht die bezogene und eingespeiste Endenergie, sondern die jeweiligen Primärenergiemengen zu betrachten (Source ZEB). Dazu werden die importierten und exportierten Energiemengen mit einem Primärenergiefaktor multipliziert. Da die jeweiligen Konversionsfaktoren einen erheblichen Einfluss auf das Bilanzergebnis haben können, müssen sie sehr sorgfältig ausgewählt werden.

Ähnliches gilt für einen weiteren Definitionsansatz, bei dem nicht die Energiemengen, sondern die damit verbundenen CO₂-Emissionen betrachtet werden (Emissions ZEB, Null-Emissionshaus). Die bezogenen und eingespeisten Energiemengen werden daher vor der Gegenüberstellung mit entsprechenden CO₂-Konversionsfaktoren multipliziert.

Schließlich besteht auch die Möglichkeit, Energiekosten mit Gewinnen aus der Netzeinspeisung aufzurechnen (Cost ZEB). Weitere in Fachkreisen diskutierte Bilanzierungsmöglichkeiten bestehen darin, den Exergiegehalt der bezogenen Energie zu betrachten oder durch die Wahl geeigneter Konversionsfaktoren ökologische und politische Aspekte in die Bilanzierung einfließen zu lassen.

(vgl. Sartori et al. 2010, S. 5)

Definition	Pluses	Minuses	Other Issues
Site ZEB	<p>Easy to implement. Verifiable through on-site measurements. Conservative approach to achieving ZEB. No externalities affect performance, can track success over time. Easy for the building community to understand and communicate. Encourages energy-efficient building designs.</p>	<p>Requires more PV export to offset natural gas. Does not consider all utility costs (can have a low load factor). Not able to equate fuel types. Does not account for non-energy differences between fuel types (supply availability, pollution).</p>	
Source ZEB	<p>Able to equate energy value of fuel types used at the site. Better model for impact on national energy system. Easier ZEB to reach.</p>	<p>Does not account for non-energy differences between fuel types (supply availability, pollution). Source calculations too broad (do not account for regional or daily variations in electricity generation heat rates). Source energy use accounting and fuel switching can have a larger impact than efficiency technologies. Does not consider all energy costs (can have a low load factor).</p>	<p>Need to develop site-to-source conversion factors, which require significant amounts of information to define.</p>
Cost ZEB	<p>Easy to implement and measure. Market forces result in a good balance between fuel types. Allows for demand-responsive control. Verifiable from utility bills.</p>	<p>May not reflect impact to national grid for demand, as extra PV generation can be more valuable for reducing demand with on-site storage than exporting to the grid. Requires net-metering agreements such that exported electricity can offset energy and nonenergy charges. Highly volatile energy rates make for difficult tracking over time.</p>	<p>Offsetting monthly service and infrastructure charges require going beyond ZEB. Net metering is not well established, often with capacity limits and at buyback rates lower than retail rates.</p>
Emissions ZEB	<p>Better model for green power. Accounts for nonenergy differences between fuel types (pollution, greenhouse gases). Easier ZEB to reach.</p>		<p>Need appropriate emission factors</p>

Tabelle 2: Vor- und Nachteile häufig verwendeter Bilanzierungsmethoden nach Torcellini et al. (Quelle: Torcellini et al. 2006, S. 11)

2.3 Berechnung und Messung

Zur Beurteilung der energetischen Qualitäten neu errichteter oder sanierter Gebäude können die tatsächlich gemessenen Werte den vorausgerechneten Werten (z.B. Berechnung nach PHPP) gegenübergestellt werden. Unter Berücksichtigung - im Vergleich zur Berechnung - geänderter Randbedingungen und Parameter (z.B. tatsächliches Außenklima, tatsächliche Nutzung, Teilbetrieb des Gebäudes, u.ä.) können Rückschlüsse erfolgen, ob der geplante

(energetische) Standard hinsichtlich Energie und Komfort erreicht und Anlagen effizient betrieben werden. Bei der Anpassung sind die maßgeblichen u. bekannten bzw. erhobenen Parameter (z.B. Außenklima und Innenraumklima) zu berücksichtigen. Ebenso ist eine Anpassung von Erträgen aus Inneren Lasten u.a. Aspekten erforderlich, sofern diese erfasst wurden. Liegen keine detaillierten Daten über Anwesenheit und Nutzung vor, ist es sinnvoll, die Normnutzungsprofile der Berechnung beizubehalten.

2.3.1 Annahmen Berechnung

Für die Berechnung des Heizwärme- und des Kühlbedarfs sowie für Berechnung von weiteren Energiekennzahlen im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie des Europäischen Parlaments vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, insbesondere von energetischen Kennwerten für Haustechnik- und Heizsysteme, werden u.a. in der ÖNORM B 8110-5 [3] Rahmenbedingungen wie Normnutzungsprofile und Normklima festgelegt. Für die Berechnung von Heizwärme- und Kühlbedarf maßgeblich relevant sind Temperatur und Strahlungseinträge. Von der Darstellung der Klimadaten anhand von Heizgradtagen ist abzusehen, da diese – weil die für den Heizwärmebedarf maßgebliche Einflussgröße Solarstrahlung nicht berücksichtigt wird – nicht zielführend für eine Beurteilung ist.

Die Unterschiede zwischen dem für die Berechnung des Heizwärme- und ggf. Kühlbedarfs herangezogenen Referenzklima (hier halbsynthetischer Klimadatensatz für Wien, langjähriges statistisches Mittel 1978 bis 2008) und dem tatsächlich vorherrschenden Klima werden anhand von Temperatur und Globalstrahlung für das Jahr 2011 exemplarisch dargestellt.

Abbildung 2 zeigt den Vergleich der Monatsmittelwerte Temperatur Standort Wien, Hohe Warte für das Jahr 2011 zu den der Berechnung zugrunde gelegten Daten auf Basis langjähriger Messungen. Abbildung 3 zeigt den Vergleich der mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche Standort Wien, Hohe Warte für das Jahr 2011 zu den der Berechnung zugrunde gelegten Daten auf Basis langjähriger Messungen.

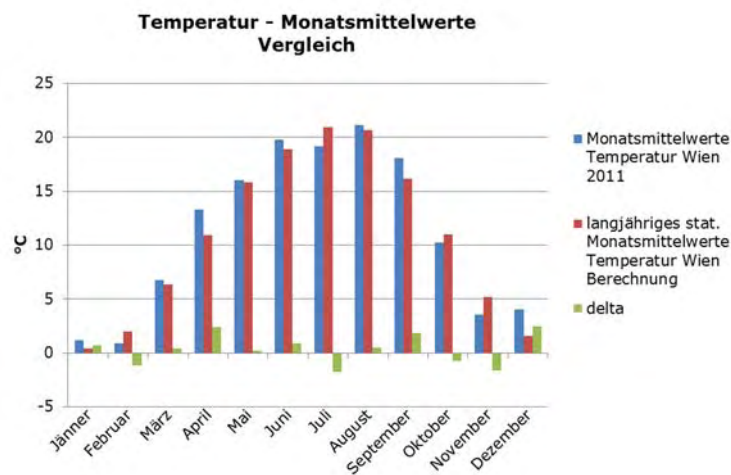


Abbildung 2: Temperatur – Vergleich der Monatsmittelwerte des Jahres [2011] mit langjährigen statistischen Mittelwerten. Delta in Grün dargestellt, Standort Wien Hohe Warte, Datengrundlage ZAMG.

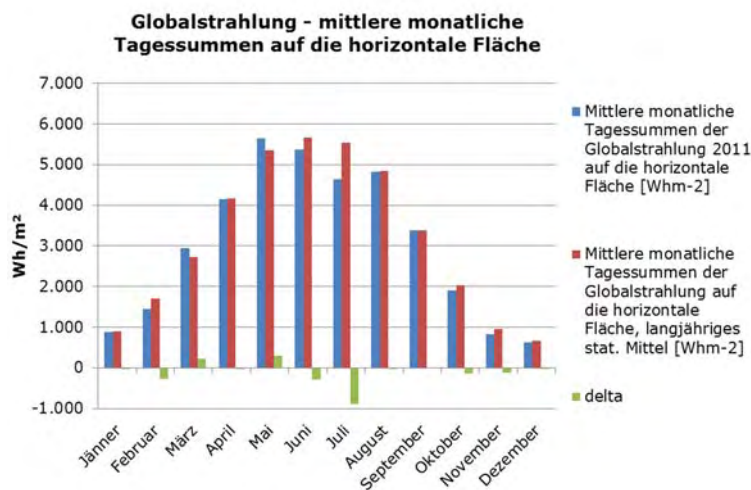


Abbildung 3: Globalstrahlung – Vergleich der mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche im Jahr [2011] mit langjährigen statistischen Mittelwerten. Delta in Grün dargestellt, Standort Wien Hohe Warte, Datengrundlage ZAMG.

Weichen die gemessenen Klimadaten von den bei der Berechnung verwendeten Daten ab, ist für eine aussagekräftige Beurteilung eine Klimabereinigung durchzuführen.

Klimabereinigt bedeutet, dass, im Vergleich zu Normklimadaten lt. [3], mit tatsächlich gemessenen Werten gerechnet wird.

Weicht die tatsächliche Nutzung von jenen der Berechnung zugrunde gelegten Annahmen ab, was die Regel und nicht die Ausnahme darstellt, ist zu versuchen diese Abweichung – soweit bekannt und erfassbar – zu korrigieren. Beispielsweise kann eine Nutzerbereinigung durch die Anpassung der Innenraumlufttemperatur auf die während der Heizperiode tatsächlich gemessene Innenraumlufttemperatur erfolgen. Dies beeinflusst u.a. die Energiebilanz, spezifische Verluste und Gewinne wie in Abbildung 4 bis Abbildung 7 dargestellt.

Für ein saniertes Wohngebäude wurde mittels PHPP, auf Basis übermittelter Pläne, Bauteilaufbauten, Nutzungsdaten u.ä. unter Verwendung des Klimadatenatzes (HSKD) ein Heizwärmebedarf von 24,28 kWh/(m²a) errechnet, wobei sich die Energiebilanz Heizwärme entsprechend Abbildung 4 darstellt. Energiebilanz, spezifische Verluste und Gewinne sind in Abbildung 5 dargestellt

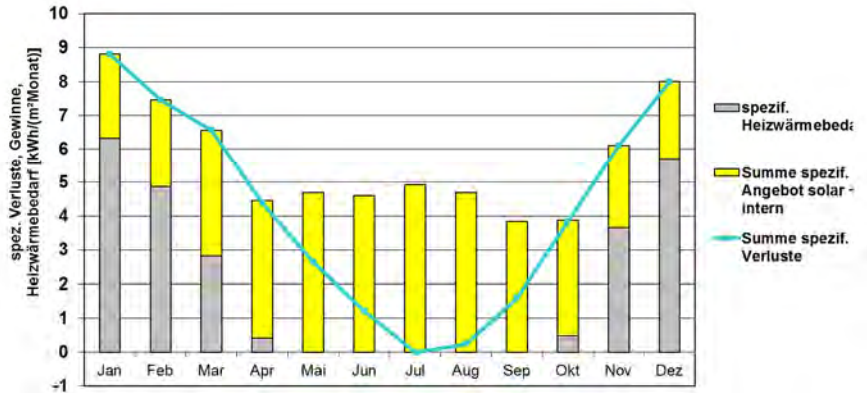
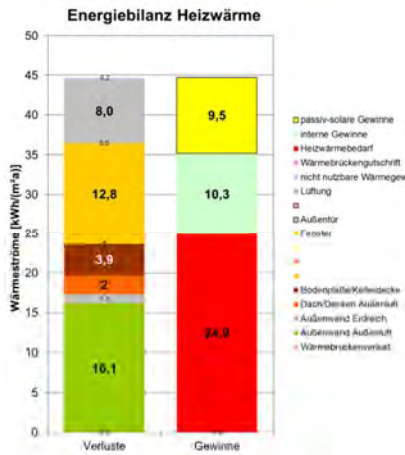


Abbildung 4: Energiebilanz Heizwärme aus Berechnung PHPP

Abbildung 5: Heizwärmebedarf, spez. Verluste, Gewinne pro Monat

Unter Verwendung der für 2011 ermittelten Klimadaten wurde bei Berücksichtigung einer Norminnenraumlufttemperatur von 20 °C ein Heizwärmebedarf von 25,25 kWh/(m²a) errechnet. Bei Verwendung der für 2011 ermit-

telten Klimadaten (Klimabereinigung) und Berücksichtigung einer mittleren Innenraumlufttemperatur (Nutzerbereinigung) während der Heizperiode von 22,86 °C wurde ein Heizwärmebedarf von 34,48 kWh/(m²a) errechnet.

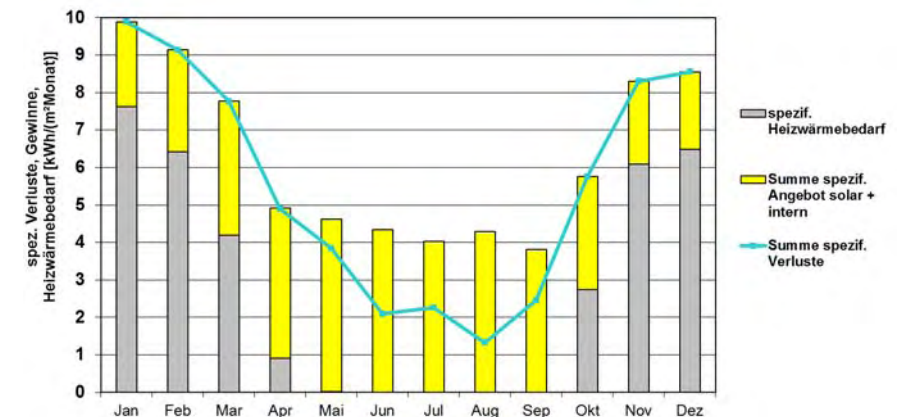
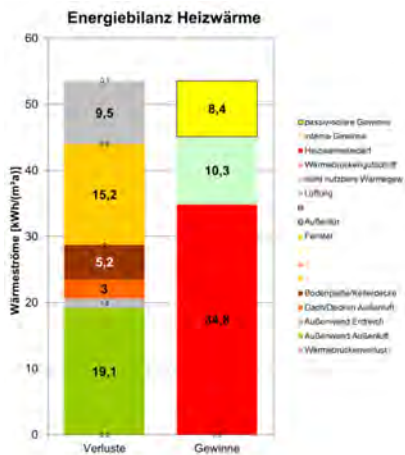


Abbildung 6: Energiebilanz Heizwärme aus Berechnung PHPP klima- und nutzerbereinigt, 2011

Abbildung 7: Heizwärmebedarf, spez. Verluste, Gewinne pro Monat, klima- und nutzerbereinigt, 2011

2.3.2 Voraussetzung Messung

Hohe Ansprüche an Energieeffizienz in Richtung Plusenergiehaus, umweltverträgliche Gesamtkonzeption, NutzerInnenakzeptanz bei gleichzeitiger Wahrung wirtschaftlicher

Bauweisen im Lebenszyklus sind bei zeitgemäßen Bauvorhaben von zentraler Bedeutung. Die energetische Performance realisierter Gebäude kann durch die Gegenüberstellung der tatsächlichen Verbräuche

bzw. Erträge mit den im Voraus berechneten Werten beurteilt werden. Voraussetzung für diese Bewertung ist die separate Erfassung der relevanten Energieverbräuche nach Energieträgern und Anwendungen.

Die Verbrauchserfassung dient u.a. der Überprüfung der Planungsziele und dem Kosten-Controlling. Sie kann auch dazu genutzt werden, eventuelle Mängel, etwa an den technischen Systemen, aufzuspüren und ggf. zu beseitigen. Des Weiteren kann durch eine genaue Kenntnis der Verbräuche das Nutzerverhalten (der Umgang mit Energie) hinterfragt und angepasst werden.

Die Umsetzung von Plusenergiegebäuden und damit einhergehende neue Konzepte und Strategien zur Erreichung hoher Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung wirft in der Regel vielfältige Fragen auf.

In der Planungs- und Umsetzungsphase auftretende Fragen werden durch Berechnung und Simulation teilweise oder zur Gänze beantwortet. Messungen am realisierten

Objekt geben Aufschluss über die sich im Betrieb tatsächlich einstellenden Bedingungen und erlauben Rückschlüsse auf die Qualität der Planung, der Umsetzung und des Gebäudebetriebs.

Im Regelfall steht das Interesse an der Gebäudeperformance des Gesamtgebäudes, als Erfolgskontrolle bzw. Überprüfung der Funktion des Gebäudes im Vordergrund (vgl. [4]). Aber auch detaillierte, auf Teilbereiche und einzelne Aspekte des Gebäudes bezogene Fragestellungen sind zu erwarten.

Die Klärung der Fragestellung bildet die Basis für die Entwicklung des Messkonzepts. Wo sitzen die Messensoren? Welche Energie- und Stoffflüsse und andere Messgrößen sind zu erfassen? In Teil 2 des Leitfadens „Messaufgabe, Messkonzept und Messtechnik“ werden diese und weitere Themen und Fragen behandelt und geben eine Hilfestellung für die projektspezifische Entwicklung eines Messkonzepts.

2.4 Realisierte Projekte in Österreich

2.4.1 Projekt 1 – Kindergarten Wolkenschiff, Gänserndorf

Ein Kindergartenneubau in Passivhausstandard in Gänserndorf Süd ausgezeichnet mit dem klima:aktiv-Gold-Standard, gebaut vom Atelier für naturnahes Bauen Deubner.



Abbildung 8: Kindergarten Wolkenschiff in Gänserndorf

Projektbezeichnung:	Kindergarten Wolkenschiff
Standort:	Gänserndorf, Niederösterreich
Anspruch/Bezeichnung:	Plus-Energie-Haus
Objektart:	Plus-Energie-Haus
Fertigstellung:	2012
Architektur:	Atelier für naturnahes Bauen Deubner, Mag. arch. Helmut Deubner
Bauphysik:	IBO Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Bauherr:	Gemeinde Gänserndorf
Heizwärmebedarf:	<14 kWh/m ² (Waebed)
PV:	20kWp
Art der Anbringung:	teilweise als Vordach mit Sonnenschutzfunktion und teilweise über dem zentralen Steildachbereich

Wind:	nein
Solarthermie:	passive Solarenergienutzung: Gebäudeausrichtung nach Südwesten mit steuerbarer Beschattungsmöglichkeit
Wärmepumpe:	Grundwasser-Wärmepumpe
Raumheizung:	Grundwasser-Wärmepumpe, kontrollierte Raumlüftung (Abluftwärmerückgewinnung), Fußbodenheizung
Warmwasserbereitung:	Elektrischer Durchlauferhitzer
Sonstiges:	Verwendung nachwachsender Rohstoffe bei den Baumaterialien (s.a. IBO-Passivhaus-Bauteilkatalog)
Informative Links:	http://www.atelierdeubner.at/de/2010_kiga_gaenserndorf_sued.asp
Quelle Projektdaten:	Atelier für naturnahes Bauen Deubner, DI Magnus Deubner Hochwaldstrasse 37/5A 2230 Gänserndorf email: m.deubner@atelierdeubner.at www.atelierdeubner.at fon: +43(0)2282/70289-15
Ansprechperson:	Arch. DI Magnus Deubner

2.4.2 Projekt 2 – Windkraft Simonsfeld

Das neue Bürogebäude (Firmenzentrale) der Firma Windkraft Simonsfeld AG in Ernstbrunn wurde – ausgehend von

einer Plusenergiehaus-Planung – über eine positive Energiebilanz hinaus zu einem Demonstrationsprojekt von „Haus der Zukunft Plus“ und zu einem der ersten betrieblichen Netto-Plus-Energiegebäude Niederösterreichs weiterentwickelt.



Abbildung 9: Windkraft Simonsfeld, Plusenergie-Verwaltungsgebäude Ernstbrunn

Projektbezeichnung:	Windkraft Simonsfeld
Standort:	Ernstbrunn, Niederösterreich
Anspruch/Bezeichnung:	Energieeffektiv und Nachhaltig
Objektart:	Netto-Plus-Energiegebäude, 1500m ² NFL
Fertigstellung:	2014
Förderungen:	Unterstützung durch das Programm „Haus der Zukunft“
Architektur:	Architekturbüro Reinberg ZT GesmbH
Bauphysik:	IBO Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Bauherr:	Windkraft Simonsfeld
PV:	50 kWp
Art der Anbringung:	193 m ² an der Fassade und 444 m ² am Dach
Wind:	direkte mechanische Nutzung von Windkraft
Solarthermie:	34 m ² thermische Kollektoren und 3000 Liter Pufferspeicher
Art der Anbringung:	an der Fassade

Wärmepumpe:	ja
Raumheizung:	Wandheizung
Warmwasserbereitung:	Solarthermie
Sonstiges:	Ökologische Optimierung von Gebäude und Verkehr zum und vom Gebäude unter Nutzung der Eigenenergiegewinnung, umweltfreundliche Baustellentransporte während der Bauzeit, Unterstützung von Smart Grids durch ein optimiertes Lastmanagement ("Smart House")
Auszeichnungen:	Siegerprojekt eines Architekturwettbewerbes 2011
Literatur:	„Smart und simpel, so einfach kann Nachhaltigkeit sein“ von Georg W. Reinberg und DI Bernhard Herzog, 2011 "Wettbewerbe Architekturjournal", Okt./Nov. 2011, Nr. 301, S.8-12
Informative Links:	http://www.reinberg.net/architektur/270/infobox http://www.hausderzukunft.at/results.html/id7080
Quelle Projektdaten:	Architekturbüro Reinberg ZT GesmbH A-1070 Wien, Lindengasse 39/10 fon: +43 1 5248280 DI Christian Federmair federmair@reinberg.net Mag. Arq.lic. Martha Enriquez- Reinberg, M. Arch. Martha Isabel Carvallho, Mag. Arch. Antonio Leonte www.reinberg.net Arch. Georg W. Reinberg
Ansprechperson:	

2.4.3 Projekt 3 – Technologiezentrum Aspern IQ

Die Seestadt Aspern ist Wiens größtes Stadtentwicklungsgebiet und europaweit wegweisend in der interdisziplinären Konzipierung neuer Siedlungsgebiete.

Das Technologiezentrum Aspern IQ inmitten der Seestadt soll das Leuchtturmprojekt des Stadtentwicklungsgebiets darstellen. Alle weiteren Projekte sollen sich am Plusenergie-Technologiezentrum orientieren und die verwendeten Technologien sollen einen Vorzeigecharakter für weitere Projekte haben.



Abbildung 10: Aspern IQ

Projektbezeichnung:	Technologiezentrum Aspern IQ
Standort:	Seestadt Aspern, Wien
Anspruch/Bezeichnung:	Ökologisches Bürogebäude mit dem Plus an Energie
Objektart:	Plusenergiegebäude
Fertigstellung:	2012
Förderungen:	Projekt „Haus der Zukunft“
Architektur:	ATP Architekten Ingenieure

Bauphysik:	IBO Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Bauherr:	Wirtschaftsagentur Wien
Heizwärmebedarf:	8 kWh/m ² a
PV:	162 MWh/a
Art der Anbringung:	1061m ² am Dach und an der Add-On-Fassade
Wind:	2 Kleinwindkraftanlagen
Solarthermie:	nein
Wärmepumpe:	Grundwasser-Wärmepumpe
Raumheizung:	Bauteilaktivierung
Warmwasserbereitung:	elektrischer Durchlauferhitzer
Sonstiges:	umfassendes Bauproduktmanagement
Auszeichnungen:	klima:aktiv Passivhaus und TQB Zertifikat der ÖGNB 2012
Literatur:	ATP (2010) Pläne, Renderings Projekt: Aspern IQ, Technologiezentrum. Wien Lechner, R. & Zelger, Th. (2010) PH Office, Standard für energieeffiziente Bürogebäude. Endbericht, Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie MA21B (2008) Masterplan Flugfeld Aspern. Wien, Magistrat der Stadt Wien MA21 B – Stadtteilplanung und Flächennutzung Zielgebietskoordination U2 Donaustadt / Flugfeld Aspern
Informative Links:	http://www.asperniq.at/fakten/aspern-iq-das-plusenergie-buerogebaeude/ http://www.atp.ag/integrale-planung/ueber-atp/auszeichnungen/aspern-iq-klimaaktiv-passivhaus-und-tqb-zertifikat-der-ognb/index.htm
Quelle Projektdaten:	ATP Wien Planungs GmbH Landstraßer Hauptstr. 99-101, 1030 Wien Telefon: +43 1 71164 Fax: +43 1 71164660 info_wien@atp.ag www.atp.ag
Ansprechperson:	Arch. DI Hannes Achammer

Teil 2: Messaufgabe, Messkonzept und Messtechnik

3 Messaufgabe

Die im Rahmen der Leitprojekte von Haus der Zukunft PLUS zu errichtenden Demonstrationsbauten verfolgen ehrgeizige Ziele: Höchste Ansprüche an Energieeffizienz in Richtung Plusenergiehaus, umweltverträgliche Gesamtkonzeption, NutzerInnenakzeptanz bei gleichzeitiger Wahrung wirtschaftlicher Bauweisen im Lebenszyklus sind von zentraler Bedeutung.

Die energetische Performance realisierter Gebäude kann durch die Gegenüberstellung der tatsächlichen Verbräuche bzw. Erträge mit den im Voraus berechneten Werten beurteilt werden. Voraussetzung für diese Bewertung ist die separate Erfassung der relevanten Energieverbräuche nach Energieträgern und Anwendungen.

Die Verbrauchserfassung dient u.a. der Überprüfung der Planungsziele und dem Kosten-Controlling. Sie kann auch dazu genutzt werden, eventuelle Mängel, etwa an den technischen Systemen, aufzuspüren und ggf. zu beseitigen. Des Weiteren kann durch eine genaue Kenntnis der Verbräuche das Nutzerverhalten (der Umgang mit Energie) hinterfragt und angepasst werden.

Die Umsetzung von Plusenergiegebäuden und damit einhergehende neue Konzepte und Strategien zur Erreichung hoher Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung werfen in der Regel vielfältige Fragen auf. In der Planungs- und Umsetzungsphase auftretende Fragen werden durch Berechnung und Simulation teilweise oder zur Gänze beantwortet. Messungen am realisierten Objekt geben Aufschluss über die sich im Betrieb tatsächlich einstellenden Bedingungen und erlauben Rückschlüsse auf die Qualität der Planung, der Umsetzung und des Gebäudebetriebs.

Im Regelfall steht das Interesse an der Gebäudeperformance des Gesamtgebäudes, als Erfolgskontrolle bzw. Überprüfung der Funktion des Gebäudes, im Vordergrund (vgl. [1]). Aber auch detaillierte, auf Teilbereiche und einzelne Aspekte des Gebäudes bezogene Fragestellungen sind zu erwarten.

Die Klärung der Fragestellung bildet die Basis für die Entwicklung des Messkonzepts.

4 Messkonzept

4.1 Einleitung

Bei der Entwicklung des Messkonzepts ist es hilfreich, sich an Definitionen und Vereinbarungen aus der Gebäudeberechnung (Bilanzierung) der Planungsphase zu orientieren. Einige Bestandteile eines Messkonzepts, wie die Definition der Bilanzgrenzen, können von dort übernommen oder zumindest daran angelehnt werden. Dadurch wird eine Gegenüberstellung von Berechnung und Messergebnis möglich.

Die energetische Bilanzierung von Plusenergiegebäuden ist nicht Gegenstand dieses Leitfadens. Annahmen und Rahmenbedingungen für Berechnung und Messung sind jedoch vielfach ähnlich und Methodik wie auch Begriffsdefinitionen deshalb an [2] angelehnt.

Beim Entwickeln des Messkonzepts sind - aufbauend auf der zuvor festgelegten Messaufgabe - folgende Punkte zu definieren:

- Messgröße
- Messobjekt (Tabelle 4)
- Messung (Messprinzip, Messmethode, Messverfahren, u.ä. (Tabelle 5))
- Korrektur, zulässige Messunsicherheit, u.ä. (Tabelle 6)
- Messeinrichtung (Messgeräte, zusätzliche Einrichtungen, u.ä.)
- Messgerät (Messbereich, Empfindlichkeit, u.ä. (Tabelle 7))
- Messdatenerfassung (Messdatenspeicher, Messintervalle, u.ä.)
- Dokumentation (Lage der Messpunkte, Bezeichnung der Messpunkte, u.ä.)

4.2 Messgröße

Die für die Beantwortung der Messaufgabe zu erfassenden Messgrößen sind projektspezifisch festzulegen. Je nach Fragestellung ist der erforderliche Detaillierungsgrad (z.B. zeitlich, räumlich) zu definieren.

Als Messgröße wird jene physikalische Größe (z.B. Raumlufttemperatur) verstanden, der die Messung gilt. Die Messgröße muss nicht unmittelbarer Gegenstand der Messung sein. Sie kann auch indirekt über bekannte physikalische oder festgelegte mathematische Beziehungen mit denjenigen Größen zusammenhängen.

Eine Messgröße hängt im Allgemeinen von mehreren physikalischen Größen ab. Insbesondere kann sie zeit- oder ortsabhängig sein.

4.3 Messobjekt

Unter Messobjekt ist der Träger der Messgröße zu verstehen. Messobjekt können z.B. Innenraumluft oder Wasser in einer Leitung, aber auch eine haustechnische Anlage, ein Raum oder ein Gebäude sein.

4.4 Messung

Die Tätigkeiten beim Messen sind überwiegend praktischer Art, schließen jedoch theoretische Überlegungen und Berechnungen ein. Grundsätzlich ist zwischen

- Dynamischer Messung, bei der die Messgröße entweder zeitlich veränderlich ist, oder ihr Wert sich abhängig vom gewählten Messprinzip wesentlich aus zeitlichen Änderungen anderer Größen ergibt und
- Statischer Messung, bei der eine zeitlich unveränderliche Messgröße nach einem Messprinzip gemessen wird, das nicht auf der zeitlichen Veränderung anderer Größen beruht

zu unterscheiden.

Als Messprinzip wird die physikalische Grundlage der Messung bezeichnet. Die vom Messprinzip unabhängige Art des Vorgehens bei der Messung ist die Messmethode. Das Messverfahren – die praktische Anwendung eines Messprinzips und einer Messmethode – wird im Rahmen dieses Leitfadens als Messung bezeichnet.

In der Regel wird die Messgröße von anderen Größen beeinflusst, die nicht Gegenstand der Messung sind (z.B. Umgebungstemperatur, Feuchte, Luftdruck, u.ä.). Diese Einflussgrößen sind bei oder nach der Messung im Ergebnis geeignet zu berücksichtigen. Gegebenenfalls sind diese Größen gesondert zu erfassen.

4.5 Messergebnis

4.5.1 Messergebnis

Der aus Messungen gewonnene Schätzwert für den wahren Wert einer Messgröße wird als Messergebnis definiert. Grundlage für das Schätzen des wahren Wertes sind die Messwerte, systematische Messabweichungen aber auch physikalische Beziehungen und sonstige Kenntnisse und Erfahrungen. Wird der wahre Wert nicht durch das arithmetische Mittel berichtigter Messwerte geschätzt - sondern z.B. durch deren Median - ist dies anzugeben.

4.5.2 Messwert

Der Messwert x setzt sich zusammen aus:

$$x = x_w + e_r + e_s \quad [\text{Formel 1}]$$

x_w : Wahrer Wert.

e_r : Zufällige Messabweichung. Sie ist nicht genau bekannt.

e_s : Systematische Messabweichung. Sie ist im Allgemeinen nicht vollständig bekannt.

4.5.3 Vollständiges Messergebnis

Für die Darstellung des vollständigen Messergebnisses sind die quantitativen Angaben zur Genauigkeit erforderlich. Die anzugebenden Grenzen bedeuten, dass der wahre Wert der Messgröße zwischen ihnen erwartet wird oder jeder der von ihnen eingeschlossenen Werte als wahrer Wert in Frage kommt.

$$x = M \pm u \quad [\text{Formel 2}]$$

x .. vollständiges Messergebnis

M .. Messergebnis

u .. Messunsicherheit

4.5.4 Messunsicherheit

Die Messunsicherheit ist jener Kennwert, der aus den Messungen gewonnen wird und zusammen mit dem Messergebnis zur Kennzeichnung eines Wertebereiches für den wahren Wert der Messgröße dient. Relative Messunsicherheit bezieht sich auf den Betrag des Messergebnisses.

Die zulässige Messunsicherheit ist je nach Fragestellung festzulegen. Die Anforderung geringer Messunsicherheiten ist in der Regel mit erhöhtem messtechnischen Aufwand bzw. erhöhten Kosten verbunden.

4.6 Messeinrichtung

Die Gesamtheit aller Messgeräte und zusätzlicher Einrichtungen zur Erzielung eines Messergebnisses wird als Messeinrichtung bezeichnet. Eine Messeinrichtung kann beispielsweise Wärmemengen von Heizungsanlage, Speicher und Verteilsystem, Verbrauch von (Warm-)Wasser und Strom, Temperaturen, relative Feuchte und CO₂-Konzentration der Raumluft, Strahlungseinträge einer Photovoltaikanlage und Ähnliches ermitteln und die gewonnenen Messwerte zusammenführen und speichern.

Umfang und System der Messeinrichtung hängen stark von der Messaufgabe und dem definierten Messkonzept und der Dauer der vorgesehenen messtechnischen Begleitung ab.

4.7 Messgerät

Das Messgerät ist allein oder in Verbindung mit anderen Einrichtungen für die Messung einer Messgröße vorgesehen. Bei der Auswahl eines für die Erfüllung der Messaufgabe geeigneten Messgerätes spielen nach DIN 1319-1 [3] folgende Eigenschaften eine wesentliche Rolle:

4.7.1 Messbereich

Bereich derjenigen Werte der Messgröße, für die gefordert ist, dass die Messabweichungen eines Messgerätes innerhalb festgelegter Grenzen bleiben.

4.7.2 Übertragungsverhalten

Beziehung zwischen den Werten der Eingangsgröße und den zugehörigen Werten der Ausgangsgröße eines Messgerätes unter Bedingungen, die Rückwirkung des Messgerätes ausschließen.

4.7.3 Ansprechschwelle

Kleinste Änderung des Wertes der Eingangsgröße, die zu einer erkennbaren Änderung des Wertes der Ausgangsgröße eines Messgerätes führt.

4.7.4 Empfindlichkeit

Änderung des Wertes der Ausgangsgröße eines Messgerätes, bezogen auf die sie verursachende Änderung des Wertes der Eingangsgröße.

4.7.5 Auflösung

Angabe zur quantitativen Erfassung des Merkmals eines Messgerätes, zwischen nahe beieinanderliegenden Messwerten eindeutig zu unterscheiden.

4.7.6 Rückwirkung

Einfluss eines Messgerätes bei seiner Anwendung, der bewirkt, dass sich die vom Messgerät zu erfassende Größe von derjenigen Größe unterscheidet, die am Eingang des Messgerätes tatsächlich vorliegt.

4.7.7 Messgerätedrift

Langsame zeitliche Änderung des Wertes eines messtechnischen Merkmals eines Messgerätes.

4.7.8 Einstelldauer

Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt einer sprunghaften Änderung des Wertes der Eingangsgröße eines Messgerätes und dem Zeitpunkt, ab dem der Wert der Ausgangsgröße dauernd innerhalb vorgegebener Grenzen bleibt.

4.7.9 Messabweichung

Langsame zeitliche Änderung des Wertes eines messtechnischen Merkmals eines Messgerätes.

4.7.10 Kalibrierung und Justieren

Mit einer Kalibrierung wird der Zusammenhang zwischen Messwert oder Erwartungswert der Ausgangsgröße und dem zugehörigen wahren oder richtigen Wert der als Eingangsgröße vorliegenden Messgröße für eine betrachtete Messeinrichtung bei vorgegebenen Bedingungen ermittelt. Ziel des Justierens ist das Einstellen oder Abgleichen eines Messgerätes, um systematische Messabweichungen so weit zu beseitigen, wie es für die vorgesehene Anwendung erforderlich ist.

4.8 Messdatenerfassung

4.8.1 Messintervall

Das Messintervall ist abhängig von der zeitlichen Veränderung der Messgröße, den angestrebten Aussagen, den Möglichkeiten des Messgerätes, dem verfügbaren Messdatenspeicher und den damit verbundenen erforderlichen Ausleseintervallen. Je nach angestrebter Aussage sind Messintervalle von Jahres-, Monats-, Stunden- Minuten- oder manchmal auch Sekundenabständen erforderlich.

4.8.2 Messdatenspeicher

Werden Messdaten direkt im Messgerät gespeichert (z.B. Datenlogger für die Aufzeichnung von Temperatur und relativer Feuchte), bevor sie ausgelesen werden, ist auf die verfügbare Speicherkapazität zu achten. Grundsätzlich sind Geräte mit nicht flüchtigem Speicher zu bevorzugen, da es bei diesen auch ohne Stromversorgung des Messgerätes zu keinem Verlust der Messdaten kommt. Zu beachten ist, dass Messdaten nicht unbeabsichtigt überschrieben werden, wenn der Speicher voll ist.

4.8.3 Auslesen der Messdaten

Werden Kurzzeit-Messungen (z.B. Messdauern bis zu 1 Tag) durchgeführt, wird in der Regel ein Messtechniker vor Ort das Messsystem einrichten, die Ergebnisse vor Ort auslesen und das Messsystem wieder abbauen.

Bei Langzeit-Messungen - mehrere Tage, Wochen, Monate, Jahre - können die Messdaten in definierten Intervallen vor Ort ausgelesen werden. Dies ist in der Regel mit einem erhöhten Personal- und Koordinationsaufwand verbunden. Alternativ bietet sich eine Fernauslesung an, bei der - z.B. durch das mit der Messung beauftragte Unternehmen oder den Auftraggeber - auf die Daten zugegriffen werden kann.

Für die technische Umsetzung einer Fernauslesung ist die Übertragung per Funk, GSM -Netz oder Internet möglich. Ausfälle des Messsystems können durch eingebaute „Alarm“-Meldungen oder regelmäßige Auslesung und Begutachtung schnell erkannt und behoben werden.

4.9 Dokumentation

Die Dokumentation der messtechnischen Begleitung sollte – neben den für einen Bericht allgemeingültigen formalen Kriterien - folgende Punkte umfassen:

- Projektkurzbeschreibung
- Planliche Darstellung
- Beschreibung der Messaufgabe
- Beschreibung des Messkonzepts
- Informationen zur Messung
- Zusammenstellung der (aufbereiteten) Messdaten

Je nach Messaufgabe und Projekt variiert die Relevanz einzelner Punkte der Dokumentation. Im Messbericht ist flexibel darauf zu reagieren.

4.10 Rechtliche Aspekte

Von Messeinrichtungen dürfen keine gesundheitlichen und ähnlichen Gefahren für Menschen, den Gebäudebetrieb und die Bausubstanz ausgehen. Mögliche Gefahren sind im Vorfeld zu evaluieren und geeignete Maßnahmen zu treffen.

Die hohe Anzahl an Projektbeteiligten mit unterschiedlichsten Zuständigkeitsbereichen macht es erforderlich, die mit dem Monitoring verbundenen Verantwortungsbereiche, Eigentums- und Besitzrechte sowie die Wartungs- und Geheimhaltungspflichten im Vorfeld schriftlich zu vereinbaren. Die Zugangsmöglichkeit zu Messgeräten zwecks Wartung, Auslesen und Demontage oder Rückbau ist von besonderer Bedeutung und sollte ebenfalls im Vorfeld abgeklärt und schriftlich vereinbart werden.

Wird ein Messsystem erst nach Fertigstellung des Gebäudes installiert, ist vorab zu klären, ob Bauteil- oder andere Öffnungen erforderlich sind, wer diese durchführt und wer für eventuelle Schäden haftet.

Messdaten sowie andere im Zuge des Monitorings erworbene Kenntnisse sind grundsätzlich als vertrauliche bzw. sensible Daten einzustufen. Speicherung, Auswertung und Veröffentlichung bedarf der Einverständniserklärung des Betroffenen und des Auftraggebers. Werden Daten per Funk, GSM-Netz oder Internet zwischen einzelnen Geräten oder zum Auslesen übertragen, sind geeignete sichere Verbindungen erforderlich.

Grundsätzlich sind alle relevanten Projektbeteiligten in den Monitoring-Prozess miteinzubeziehen. Die damit verbundene Vorlaufzeit ist zu berücksichtigen. Eine gute Abstimmung, umfangreiche Information und Abklärung rechtlicher und organisatorischer Fragen im Vorfeld beugt späteren Streitigkeiten vor und stellt die Grundlage für ein erfolgreiches Monitoring dar.

Gemäß Datenschutzgesetz [4] hat jedermann, insbesondere auch im Hinblick auf die Achtung seines Privat- und Familienlebens, Anspruch auf Geheimhaltung ihn betreffender personenspezifischer Daten, soweit ein schutzwürdiges Interesse daran besteht.

Der Betroffene hat das Recht auf Auskunft darüber, wer welche Daten über ihn verarbeitet, woher die Daten stammen und wozu sie verwendet werden.

Benennung	Definition und Anmerkungen
Daten	
personenbezogene Daten	Angaben über Betroffene, deren Identität bestimmt oder bestimmbar ist.
nur indirekt personenbezogene Daten	sind Daten für einen Auftraggeber, Dienstleister oder Empfänger einer Übermittlung, wenn der Personenbezug der Daten derart ist, dass dieser Auftraggeber, Dienstleister oder Übermittlungsempfänger die Identität des Betroffenen mit rechtlich zulässigen Mitteln nicht bestimmen kann.
sensible Daten	Besonders schutzwürdige Daten; Daten natürlicher Personen über ihre rassische und ethnische Herkunft, politische Meinung, Gewerkschaftszugehörigkeit, religiöse oder philosophische Überzeugung, Gesundheit oder ihr Sexualleben.
Auftraggeber	Natürliche und juristische Personen, welche die Entscheidung getroffen haben, Daten zu verwenden, unabhängig davon ob sie die Daten selbst verwenden oder damit einen Dienstleister beauftragen.
Datenanwendung	Alle Verwendungsschritte, die zur Erreichung eines inhaltlich bestimmten Ergebnisses führen.
Verwenden von Daten	Jede Art der Handhabung von Daten
Verarbeiten von Daten	Ermitteln, Erfassen, Speichern, Aufbewahren, Ordnen, Vergleichen, Verändern, Verknüpfen, Benutzen u.ä.
Überlassen von Daten	Die Weitergabe von Daten zwischen Auftraggeber und Dienstleister.
Übermitteln von Daten	Weitergabe von Daten an andere Empfänger als den Betroffenen
Zustimmung	Die gültige, insbesondere ohne Zwang abgegebene Willenserklärung des Betroffenen, dass er in Kenntnis der Sachlage für den konkreten Fall in die Verwendung seiner Daten einwilligt.

Tabelle 3: Definitionen Datenschutz (vgl. [4])

Grundsätzlich dürfen Daten (vgl. [4]) nur

- nach Treu und Glauben und auf rechtmäßige Weise verwendet werden;
- für festgelegte, eindeutige und rechtmäßige Zwecke ermittelt und nicht in einer mit diesen Zwecken unvereinbaren Weise weiterverwendet werden; die Weiterverwendung für wissenschaftliche oder statistische Zwecke ist zulässig;
- soweit sie für den Zweck der Datenanwendung wesentlich sind, verwendet werden und über diesen Zweck nicht hinausgehen;
- so verwendet werden, dass sie im Hinblick auf den Verwendungszweck im Ergebnis sachlich richtig sind;
- solange in personenbezogener Form aufbewahrt werden, als dies für die Erreichung der Zwecke, für die sie ermittelt wurden, erforderlich ist; eine längere Aufbewahrungsdauer kann sich aus besonderen gesetzlichen, insbesondere archivrechtlichen Vorschriften ergeben.

Schutzwürdige Geheimhaltungsinteressen sind bei Verwendung nicht-sensibler Daten dann nicht verletzt, wenn der Betroffene der Verwendung seiner Daten zugestimmt

hat, wobei ein Widerruf jederzeit möglich ist und die Unzulässigkeit der weiteren Verwendung der Daten bewirkt oder überwiegende berechnete Interessen des Auftraggebers oder eines Dritten die Verwendung erfordern.

Bei der Verwendung von zulässigerweise veröffentlichten Daten oder von nur indirekt personenbezogenen Daten gelten schutzwürdige Geheimhaltungsinteressen als nicht verletzt.

Schutzwürdige Geheimhaltungsinteressen sind insbesondere auch dann nicht verletzt, wenn die Verwendung der Daten zur Erfüllung einer vertraglichen Verpflichtung zwischen Auftraggeber und Betroffenen erforderlich ist.

Neben den Pflichten des Dienstleisters, Angaben zur Datensicherheit, Publizität der Datenanwendung, Informationspflicht des Auftraggebers werden die Rechte des Betroffenen und die Verwendung von Daten in der wissenschaftlichen Forschung in [4] geregelt.

Bei Monitoring von Plusenergie-Gebäuden werden in der Regel nicht-sensible, bzw. nur indirekt personenbezogene Daten erfasst. Auch bei Erfassung der Anwesenheit von Personen zur Beurteilung der inneren Lasten handelt es sich - sofern die Identität der Betroffenen nicht bekannt oder bestimmbar ist - um indirekt personenbezogene Daten.

5 Messtechnik

Werden die allgemeinen Grundbegriffe der Metrologie (Wissensbereich der sich auf Messungen bezieht) angewandt, bzw. sind diese den Projektbeteiligten bekannt, können Unklarheiten in der Kommunikation und Schwierigkeiten bei Auswertung und Interpretation der Messergebnisse

reduziert werden. Die Aussagekraft von Ergebnissen und Erkenntnissen wird dadurch maßgeblich erhöht.

5.1 Grundbegriffe der Messtechnik

Die Definition ausgewählter Grundbegriffe der Messtechnik sowie für die Messung im Gebäudebereich relevanter Hinweise erfolgt in Anlehnung an [3].

Benennung	Definition und Anmerkungen
Messgröße	Physikalische Größe, der die Messung gilt. Die Messgröße muss nicht unmittelbar Gegenstand der Messung sein. Sie kann auch indirekt über bekannte physikalische oder festgelegte mathematische Beziehungen mit denjenigen Größen zusammenhängen, denen unmittelbare Messungen gelten. Eine Messgröße hängt im Allgemeinen von mehreren physikalischen Größen ab. Insbesondere kann sie zeit- oder ortsabhängig sein.
Messobjekt	Träger der Messgröße. Messobjekt können z.B. Gebäude, Raum, haustechnische Anlage, Leitung, Innenraumluft sein.
Wahrer Wert	Wert der Messgröße als Ziel der Auswertung von Messungen. Nach Auswertung der Messungen ist der wahre Wert der Messgröße in aller Regel nicht genau bekannt. Er ist ein ideeller Wert, der aus den vorliegenden Messungen geschätzt wird.
Richtiger Wert	Bekannter Wert für Vergleichszwecke, dessen Abweichung vom wahren Wert für den Vergleichszweck als vernachlässigbar betrachtet wird.

Tabelle 4: Grundbegriffe der Messtechnik (vgl. [3])

Messungen	
Messung	Ausführung von geplanten Tätigkeiten zum quantitativen Vergleich der Messgröße mit einer Einheit Die Tätigkeiten beim Messen sind überwiegend praktischer (experimenteller) Art, schließen jedoch theoretische Überlegungen und Berechnungen ein.
Dynamische Messung	Messung, wobei die Messgröße entweder zeitlich veränderlich ist, oder ihr Wert sich abhängig vom gewählten Messprinzip wesentlich aus zeitlichen Änderungen anderer Größen ergibt.
Statische Messung	Messung, wobei eine zeitlich unveränderliche Messgröße nach einem Messprinzip gemessen wird, das nicht auf der zeitlichen Veränderung anderer Größen beruht.
Zählen	Ermitteln des Wertes der Messgröße. Anzahl der Elemente einer Menge.
Messprinzip	Physikalische Grundlage der Messung.
Messmethode	Spezielle, vom Messprinzip unabhängige Art des Vorgehens bei der Messung.
Messverfahren	Praktische Anwendung eines Messprinzips und einer Messmethode.
Einflussgröße	Größe, die nicht Gegenstand der Messung ist, jedoch die Messgröße beeinflusst. z.B. Umgebungstemperatur, Feuchte, Luftdruck. Bei der Messung vorkommende Abweichungen der Werte der Einflussgrößen von ihren vorgesehenen Werten sollen bei oder nach der Messung im Ergebnis geeignet berücksichtigt werden.

Tabelle 5: Messungen, Begriffe und Definitionen (vgl. [3])

Ergebnisse von Messungen	
Ausgabe	Durch ein Messgerät oder eine Messeinrichtung bereitgestellte und in einer vorgesehenen Form ausgegebene Information über den Wert einer Messgröße.
Messwert	Wert, der zur Messgröße gehört und der Ausgabe eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung eindeutig zugeordnet ist. Der Messwert x setzt sich zusammen aus: x_w : Wahrer Wert. e_r : Zufällige Messabweichung. Sie ist nicht genau bekannt. e_s : Systematische Messabweichung. Sie ist im Allgemeinen nicht vollständig bekannt. $x = x_w + e_r + e_s$
Messergebnis	Aus Messungen gewonnener Schätzwert für den wahren Wert einer Messgröße. Grundlage für das Schätzen des wahren Wertes sind Messwerte und bekannte systematische Messabweichungen, auch bekannte physikalische Beziehungen und sonstige Kenntnisse und Erfahrungen. Wird der wahre Wert nicht durch das arithmetische Mittel berichteter Messwerte geschätzt, sondern z.B. durch deren Median, so ist dies anzugeben.
Berichtigen	Beseitigen der im unberichtigten Messergebnis enthaltenen bekannten systematischen Messabweichung.
Korrektion	Wert, der nach algebraischer Addition zum unberichtigten Messergebnis oder zum Messwert die bekannte systematische Messabweichung ausgleicht. Abhängig von den Bedingungen bei der Messung können zu unterschiedlichen Messwerten derselben oder einer sich ändernden Messgröße unterschiedliche Korrekturen gehören.
Messabweichung	Abweichung eines aus Messungen gewonnenen und der Messgröße zugeordneten Wertes vom wahren Wert.
Zufällige Messabweichung	Abweichung des unberichtigten Messergebnisses vom Erwartungswert.
Systematische Messabweichung	Abweichung des Erwartungswertes vom wahren Wert.
Messunsicherheit	Kennwert, der aus Messungen gewonnen wird und zusammen mit dem Messergebnis zur Kennzeichnung eines Wertebereiches für den wahren Wert der Messgröße dient.
Relative Messunsicherheit	Messunsicherheit, bezogen auf den Betrag des Messergebnisses.
Vollständiges Messergebnis	Messergebnis mit quantitativen Angaben zur Genauigkeit. $x = M \pm u$ x .. vollständiges Messergebnis, M .. Messergebnis, u .. Messunsicherheit Die anzugebenden Grenzen bedeuten, dass der wahre Wert der Messgröße zwischen ihnen erwartet wird oder jeder der von ihnen eingeschlossenen Werte als wahrer Wert in Frage kommt.

Tabelle 6: Ergebnisse von Messungen, Begriffe und Definitionen (vgl. [3])

Messgeräte	
Messgerät	Gerät, das allein oder in Verbindung mit anderen Einrichtungen für die Messung einer Messgröße vorgesehen ist.
Messeinrichtung	Gesamtheit aller Messgeräte und zusätzlicher Einrichtungen zur Erzielung eines Messergebnisses.
Messkette	Folge von Elementen eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung, die den Weg des Messsignals von der Aufnahme der Messgröße bis zur Bereitstellung der Ausgabe bildet.
Kalibrierung	Ermitteln des Zusammenhangs zwischen Messwert oder Erwartungswert der Ausgangsgröße und dem zugehörigen wahren oder richtigen Wert der als

Messgeräte	
	Eingangsgröße vorliegender Messgröße für eine betrachtete Messeinrichtung bei vorgegebenen Bedingungen.
Justieren	Einstellen oder Abgleichen eines Messgerätes, um systematische Messabweichungen so weit zu beseitigen, wie es für die vorgesehene Anwendung erforderlich ist.
Messbereich	Bereich derjenigen Werte der Messgröße, für die gefordert ist, dass die Messabweichungen eines Messgerätes innerhalb festgelegter Grenzen bleiben.
Übertragungsverhalten eines Messgerätes	Beziehung zwischen den Werten der Eingangsgröße und den zugehörigen Werten der Ausgangsgröße eines Messgerätes unter Bedingungen, die Rückwirkung des Messgerätes ausschließen.
Ansprechschwelle	Kleinste Änderung des Wertes der Eingangsgröße, die zu einer erkennbaren Änderung des Wertes der Ausgangsgröße eines Messgerätes führt.
Empfindlichkeit	Änderung des Wertes der Ausgangsgröße eines Messgerätes, bezogen auf die sie verursachende Änderung des Wertes der Eingangsgröße.
Auflösung	Angabe zur quantitativen Erfassung des Merkmals eines Messgerätes, zwischen nahe beieinanderliegenden Messwerten eindeutig zu unterscheiden.
Rückwirkung eines Messgerätes	Einfluss eines Messgerätes bei seiner Anwendung, der bewirkt, dass sich die vom Messgerät zu erfassende Größe von derjenigen Größe unterscheidet, die am Eingang des Messgerätes tatsächlich vorliegt.
Messgerätedrift	Langsame zeitliche Änderung des Wertes eines messtechnischen Merkmals eines Messgerätes.
Einstelldauer	Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt einer sprunghaften Änderung des Wertes der Eingangsgröße eines Messgerätes und dem Zeitpunkt, ab dem der Wert der Ausgangsgröße dauernd innerhalb vorgegebener Grenzen bleibt.
Messabweichung eines Messgerätes	Langsame zeitliche Änderung des Wertes eines messtechnischen Merkmals eines Messgerätes.

Tabelle 7: Messgeräte, Begriffe und Definitionen (vgl. [3])

5.2 Messinstrumente

Für die Ermittlung wesentlicher Messgrößen werden geeignete Messinstrumente vorgestellt und Anwendungs-Hinweise gegeben. Folgende, besonders für den thermischen Komfort relevante Messgrößen werden behandelt (vgl. [5]):

- **Lufttemperatur**
Die Lufttemperatur ist die Temperatur der den Menschen umgebenden Luft.
- **mittlere Strahlungstemperatur**
Die mittlere Strahlungstemperatur ist die gleichmäßige Temperatur eines gedachten Hüllraumes, in dem die strahlungsbedingte Wärmeübertragung vom menschlichen Körper weg ebenso groß ist wie die in dem realen inhomogenen Hüllraum.
- **Flächenstrahlungs-Temperatur**
Die Flächenstrahlungs-Temperatur ist die gleichmäßige Temperatur eines Hüllraumes, in dem die Bestrahlungsstärke auf einer Seite eines kleinen ebenen Elements gleich derjenigen in der tatsächlichen heterogenen Umgebung ist.
- **Strahlungstemperatur-Asymmetrie**
Der Unterschied zwischen den Werten der Flächenstrahlungstemperatur von zwei gegenüberliegenden Seiten eines kleinen ebenen Elements.
- Absolute Luftfeuchte

- Die **absolute Luftfeuchte** macht eine Aussage über den tatsächlichen Wasserdampfgehalt der Luft. Demgegenüber beschreiben Größen wie die relative Luftfeuchte oder der Sättigungsgrad die Wasserdampfmenge in der Luft bezogen auf die maximal mögliche Wasserdampfmenge, die die Luft bei gegebener Temperatur und gegebenem Druck aufnehmen kann.
- **Luftgeschwindigkeit**
Die Luftgeschwindigkeit ist eine Größe, die durch ihre Stärke und Richtung definiert ist.
- **Oberflächentemperatur**
Die Oberflächentemperatur ist die Temperatur einer gegebenen Oberfläche.
- **Operative Raumtemperatur**

5.2.1 Messung der Lufttemperatur

5.2.1.1 Beschreibung

Die Messung der Lufttemperatur erscheint zwar einfach, führt aber zu beträchtlichen Fehlern, wenn relevante Aspekte nicht beachtet werden. Eine Temperatur wird über die Messung physikalischer Größen, wie Länge von festen Körpern, Volumen von Flüssigkeiten, elektrischer Widerstand, elektromotorische Kraft u.ä. erfasst.

5.2.1.2 Anwendungshinweise für Messung mit einem Thermometer

5.2.1.2.1 Minderung des Strahlungseinflusses

Ist das Thermometer der Strahlung benachbarter Wärmequellen ausgesetzt ist die gemessene Temperatur nicht die wirkliche, sondern eine zwischen der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur liegende Temperatur. Der Strahlungseinfluss auf das Thermometer kann reduziert werden durch:

- Reduzierung des Emissionsgrades des Messwertaufnehmers, durch Anwendung eines polierten Messwertaufnehmers oder durch Aufbringen eines reflektierenden Farbanstrichs.
- Anordnung reflektierender Schirme aus dünnen, reflektierenden Metallfolien (z.B. Aluminium-Folie) zwischen Messwertaufnehmer und Wänden.

- Erhöhung des Wärmeübertragungskoeffizienten durch Konvektion beispielsweise über eine Zwangsbelüftung des Messwertaufnehmers mittels Ventilator oder durch Verringerung der Größe des Messwertnehmers (Thermistor, Thermoelement).

5.2.1.2.2 Thermische Trägheit des Messwertaufnehmers

Wird ein Thermometer einem Umgebungsklima ausgesetzt, benötigt es zum Erreichen des Beharrungszustandes und dem anzeigen der Temperatur eine gewisse Zeit. Je kleiner und leichter der Messwertnehmer und je geringer die spezifische Wärmekapazität ist desto schneller spricht ein Thermometer an. Ebenso je besser der Wärmeaustausch mit der Umgebung ist.

5.2.1.3 Empfohlene Geräteeigenschaften

Zur Messung der Lufttemperatur in Innenräumen werden folgende Geräteeigenschaften empfohlen:

Lufttemperatur	t_a
Messbereich	10 °C bis 40 °C
Fehlergrenzen	Mindestwert: $\pm 0,5$ °C Idealwert: $\pm 0,2$ °C Diese Werte müssen mindestens für eine Differenz $ t_r - t_a < 10$ °C eingehalten werden.
Einstellzeit (90%)	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.
Bemerkung	Der Temperatur-Messwertaufnehmer muss wirksam vor Strahlung von warmen oder kalten Wänden geschützt werden. Der Mittelwert über 1 min sollte angegeben werden.

Tabelle 8: Empfohlene Geräte-Eigenschaften für die Messung der Lufttemperatur

5.2.2 Messung der mittleren Strahlungstemperatur

5.2.2.1 Beschreibung

Der Betrag an Wärmestrahlung, der vom menschlichen Körper abgegeben oder aufgenommen wird, ist die algebraische Summe aller Strahlungsflüsse, die von den der Strahlung ausgesetzten Teilen der Körpers mit den verschiedenen in der Umgebung befindlichen Wärmequellen ausgetauscht wird. Jeder dieser Strahlungsflüsse lässt sich aus den Maßen, den thermischen Eigenschaften (Oberflächentemperatur, Emissionskoeffizient) und der Anordnung der Strahlungsquelle und des ihr ausgesetzten Körpers oder Bekleidungsstücks ermitteln. Die mittlere Strahlungstemperatur kann mit Hilfe eines Kugel-Thermometers anhand der Kugeltemperatur und der Temperatur sowie Geschwindigkeit der die Kugel umgebenden Luft zu beschreiben werden (detailliert in [5]).

Das Kugel-Thermometer besteht aus einer geschwärzten Kugel, in deren Mittelpunkt sich ein Thermometer (z. B. Quecksilberthermometer, Thermoelement, Widerstandsthermometer) befindet. Der Einfluss von Lufttemperatur und -geschwindigkeit ist umso größer je kleiner der Kugeldurchmesser ist, wodurch sich die Genauigkeit der

Messung verringert. Um die Absorption der von den Wänden des umgebenden Raumes ausgehenden Strahlung durch die Kugeloberfläche sicherzustellen, muss diese geschwärzt sein.

Die Kugel wird in dem Raum angeordnet, in dem die mittlere Strahlungstemperatur gemessen werden soll. Unter der Wirkung des Wärmeaustausches durch Strahlung von den Wärmequellen im Raum und des Wärmeaustausches durch Konvektion erreicht die Kugel ein thermisches Gleichgewicht. Mit dem Thermometer im Innern der Kugel kann deren mittlere Temperatur gemessen werden. Denn die Temperatur an der Innenfläche der Kugel und die Lufttemperatur direkt außerhalb der Kugel sind praktisch gleich der mittleren Außentemperatur der Kugel.

5.2.2.2 Anwendungshinweise für die Messung mit einem Kugel-Thermometer

- Bei heterogener Strahlung sind drei geschwärzte Kugeln zu verwenden. Die geschwärzten Kugeln sind in festgelegten Punkten anzuordnen. Die mittlere Strahlungstemperatur ist dann gleich dem anhand definierter Faktoren gewichteten Mittel der Messwerte.

- Die Einstellzeit eines Kugel-Thermometers beträgt etwa 30 Minuten. Ob sich das thermische Gleichgewicht bereits eingestellt hat kann durch mehrfaches Ablesen festgestellt werden. Bei sich schnell änderndem Umgebungsklima ist das Kugel-Thermometer nicht zur Bestimmung der Strahlungstemperatur geeignet.
- Die Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur mittels Kugel-Thermometer kann nur näherungsweise erfolgen. Die von einer Decke oder dem Boden kommende Strahlung wird von der Kugel, im Vergleich zu der Strahlung, die ein stehender oder sitzender Mensch empfängt, überbewertet.
- Wird das Kugel-Thermometer für kurzwellige Strahlung (z. B. Sonnenstrahlung) eingesetzt muss die Kugel mit einem Farbanstrich versehen sein, der annähernd das gleiche Absorptionsvermögen für kurzwellige Strahlung hat wie die Außenfläche einer bekleideten Person.
- Der Emissionsgrad des Farbanstrichs für langwellige Strahlung sollte etwa 0,95 sein. Alternativ kann eine geschwärzte Kugel verwendet und die mittlere Strahlungstemperatur unter Berücksichtigung des Absorptionsvermögens der getragenen Kleidung errechnet werden.

5.2.2.3 Empfohlene Geräteeigenschaften

Zur Messung der mittleren Strahlungstemperatur in Innenräumen werden folgende Geräteeigenschaften empfohlen.

Mittlere Strahlungstemperatur	tr
Messbereich	10 °C bis 40 °C
Fehlergrenzen	Mindestwert: ± 2 °C Idealwert: $\pm 0,2$ °C Bei handelsüblichen Instrumenten sind diese Werte z.T. nicht eingehalten. In diesem Fall ist die erreichte Messgenauigkeit anzugeben.
Einstellzeit	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.
Bemerkung	Bei Messung mit einer schwarzen Kugel kann je nach Umgebungsklima und der Fehlergrenzen für v_a , t_a und t_g die Messgenauigkeit ± 5 °C betragen.

Tabelle 9: Empfohlene Geräte-Eigenschaften für die Messung der mittleren Strahlungstemperatur

5.2.3 Messung der Flächenstrahlungs-Temperatur

5.2.3.1 Beschreibung

Der Mensch ist in der Regel einer asymmetrischen Wärmestrahlung ausgesetzt. Diese Strahlungs-Asymmetrie, kann u.a. mittels Effektivradiometer anhand der Differenz zwischen den Flächenstrahlungstemperaturen der gegenüberliegenden Seiten eines kleinen ebenen Elements beurteilt werden.

Die Flächenstrahlungstemperatur kann mittels eines erwärmten Messwertaufnehmers aus einer reflektierenden (vergoldeten) Scheibe und einer absorbierenden (mattschwarz angestrichenen) Scheibe gemessen werden. Die reflektierende Scheibe gibt ihre Wärme fast vollständig durch Konvektion, die schwarze Scheibe durch Konvektion und Strahlung ab. Werden beide Scheiben auf die gleiche Temperatur gebracht, so ist die Wärmezufuhrdifferenz zu den beiden Scheiben gleich der Wärmeübertragung durch Strahlung zwischen der absorbierenden Scheibe und der Umgebung.

5.2.3.1.1 Effektivradiometer

Das Effektivradiometer besteht aus einem kleinen schwarzen Flächenelement mit einem integrierten Wärmestrommesser zwischen den beiden Seiten des Elements. Der effektive Wärmestrom zwischen den beiden Seiten des Flächenelements ist gleich dem Unterschied in der übertragenen Strahlungswärme im Bereich der beiden Seiten des Flächenelements. Zur Verminderung des Einflusses der Luftgeschwindigkeit ist das Flächenelement im Allgemeinen von einer dünnen Kugel aus Polyethylen umgeben.

5.2.3.1.2 Konstantlufttemperaturscheibe

Beim diesem Verfahren der Konstantlufttemperaturscheibe wird ein kleines Flächenelement auf der Temperatur der umgebenden Luft gehalten. Die erforderliche Wärmezufuhr zum Flächenelement ist gleich dem Wärmeaustausch durch Strahlung.

5.2.3.2 Empfohlene Geräteeigenschaften

Zur Messung der Flächenstrahlungs-Temperatur in Innenräumen werden folgende Geräteeigenschaften empfohlen.

Flächenstrahlungs-Temperatur	t_{pr}
Messbereich	0 °C bis 50 °C
Fehlergrenzen	Mindestwert: $\pm 0,5$ °C Idealwert: $\pm 0,2$ °C Diese Werte müssen mindestens für eine Differenz $ t_{pr} - t_a < 10$ °C eingehalten werden.
Einstellzeit	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.
Bemerkung	-

Tabelle 10: Empfohlene Geräte-Eigenschaften für die Messung der Flächenstrahlungs-Temperatur

5.2.4 Messung der Luftfeuchte

5.2.4.1 Allgemein

Bei einer bestimmten Temperatur kann Luft nur eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Bei weiterer Erhöhung des Wasserdampfgehalts kondensiert er. Mit steigender Lufttemperatur erhöht sich auch die Wasserdampfmenge, die die Luft aufnehmen kann.

Feuchtegehalt – das Verhältnis der Masse an Wasserdampf zur Masse der trockenen Luft – und der Partialdruck des Wasserdampfs – der Druck des Wasserdampfs in feuchter Luft, den der Wasserdampf ausüben würde, wenn er das Volumen der feuchten Luft bei gleicher Temperatur einnähme – dienen zur Beschreibung der absoluten Luftfeuchte. Die relative Luftfeuchte ist das Verhältnis zwischen Partialdruck des Wasserdampfs in feuchter Luft und dem Sättigungsdampfdruck bei gleicher Temperatur und dem gleichem Gesamtdruck.

Bauart	Funktionsprinzip
Taupunkthygrometer	Kondensation von in der Luft enthaltenen Wasserdampf an einem Spiegel, der auf den Taupunkt des Wasserdampf-Luftgemisches abgekühlt wird.
Lithiumchlorid-Hygrometer (zur Messung der absoluten Luftfeuchte)	Bestimmung der absoluten Luftfeuchte durch Messung der Temperaturänderung als Folge einer Änderung der elektrischen Leitfähigkeit des Messwertaufnehmers.
Kapazitives Hygrometer (zur Messung der relativen Luftfeuchte)	Bestimmung der relativen Feuchte durch Messung der Änderung der elektrischen Kapazität des Messwertaufnehmers.
Absorptionshygrometer (Haarhygrometer)	Verformung oder Dehnung bestimmter organischer Materialien als Folge der Oberflächenspannung von Wasser in den Poren dieser Materialien. Dieser Hygrometertyp ist häufig zu kalibrieren.
Psychrometer	Kühlung eines Feuchtttermometers durch Verdunstung in einem Luftstrom

Tabelle 11: Bauarten von Hygrometern

5.2.4.2 Messung der absoluten Luftfeuchte mittels Psychrometrie

5.2.4.2.1 Beschreibung

Ein Psychrometer besteht aus zwei Thermometern und einer Einrichtung zu deren Belüftung. Das eine Thermometer misst die Trocken-Lufttemperatur, das Andere der Feuchttemperatur.

Das letztgenannte Thermometer ist mit einem feuchten Strumpf überzogen, der im Allgemeinen aus engmaschigem Baumwollgewebe besteht, und dessen unteres Ende in einen Behälter mit Wasser getaucht ist. Durch Kapillarkwirkung steigt das Wasser aus dem Behälter zum Thermometer und verdunstet mit einer von der Luftfeuchte abhängigen Geschwindigkeit. Die dabei entstehende Abkühlung

ist desto stärker je trockener die Luft ist. Die absolute Luftfeuchte wird aus der gemessenen Trocken- und Feuchttemperatur bestimmt.

5.2.4.2.2 Anwendungshinweise zur Messung der absoluten Luftfeuchte mittels Psychrometrie

- Das Feuchttthermometer ist ausreichend (Luftgeschwindigkeit von 4 m/s bis 5 m/s) zu belüften.
- Trocken- und Feuchttthermometer sollten gegen Wärmestrahlung abgeschirmt werden.
- Ist die mittlere Strahlungstemperatur höher oder niedriger als die Lufttemperatur, sollte das Thermometer für die Lufttemperatur mit einer oder mehreren Abschirmungen geschützt werden. Gleiches gilt für das Feuchttthermometer.
- Der Strumpf um das Feuchttthermometer sollte über dessen messwertaufnehmenden Teil hinausreichen.

Zum Befeuchten des Strumpfs sollte destilliertes Wasser verwendet werden.

- Der Strumpf des Feuchttthermometers sollte so beschaffen sein, dass das Wasser leicht durch Kapillarkwirkung zirkulieren kann, insbesondere bei niedriger absoluter Luftfeuchte. In diesem Fall erfordert die verstärkte Verdunstung von Wasser am Thermometer einen verstärkten Nachfluss an Wasser aus dem Behälter. Verunreinigte Strümpfe sind zu ersetzen.
- Der Barometerdruck muss, wenn er von 101,3 kPa merklich (2 %) abweicht, gemessen werden, da die Verdunstung vom atmosphärischen Druck abhängt

5.2.4.3 Messung der Feuchte mittels Lithiumchloridhygrometer

5.2.4.3.1 Beschreibung

Die Messung der Feuchte mittels Lithiumchloridhygrometer basiert auf der Erscheinung, dass der Sättigungsdruck über gesättigten hygroskopischen Salzlösungen, insbesondere Lithiumchloridlösungen, kleiner ist als derjenige über Wasser gleicher Temperatur. Der Taupunkt über einer gesättigten Lithiumchloridlösung, wie der Dampfdruck, liegt in weiten Bereichen über der Umgebungstemperatur und kann deshalb durch Erwärmen der Lösung erreicht werden. Dies ermöglicht eine Erwärmung und Einstellung der Erwärmungsleistung mit einfachen Mitteln.

Der wirksame Teil des Messwertaufnehmers besteht im Allgemeinen aus einem dünnen Isolierrohr, das von mit Lithiumchlorid-Lösung getränkter Glaswolle umhüllt ist. Zwei nebeneinander verlaufende Elektroden aus Edelmetall werden spiralförmig über die Glaswolle geführt, das Ganze wiederum ist mit einer gelochten Schutzhülle überzogen. Die beiden Elektroden sind mit einer Niedervoltwechselspannungsquelle verbunden. Durch den Stromfluss erwärmt sich die Lithiumchlorid-Lösung, und das vorher absorbierte Wasser verdampft. Nach dem Verdampfen kristallisiert die Lösung. Dadurch vermindert sich die elektrische Leitfähigkeit und damit auch die Stromstärke erheblich, und die Temperatur sinkt wieder.

Die Lithiumchlorid-Lösung kann dann den Wasserdampf in der Luft absorbieren, wodurch sich die Leitfähigkeit der Lösung erhöht. Die Stromstärke steigt und führt wieder zur Verdampfung des Wassers.

Zwischen dem Wasserdampfgehalt der Luft, der Heizleistung und der Temperatur des Hygrometers stellt sich schnell ein Gleichgewicht ein. Dabei hängt die Gleichgewichtstemperatur, die mit einem Thermometer gemessen wird, ausschließlich vom Wasserdampfdruck der Luft ab, wodurch sich der Taupunkt oder die absolute Luftfeuchte direkt messen lässt. Dies ist einer der Vorteile bei der Anwendung eines Lithiumchlorid-Hygrometers.

5.2.4.3.2 Anwendungshinweise für die Messung der Feuchte mittels Lithiumchlorid-Hygrometer

- Die Geschwindigkeit der auf das Hygrometer auftreffenden Luft sollte je nach Art der Abschirmung des

- Messwertaufnehmers einen bestimmten Wert nicht überschreiten, da sonst das Hygrometer zu niedrige Werte anzeigt. In diesem Zusammenhang sind die Herstellerhinweise zu beachten.
- Nach Inbetriebnahme des Hygrometers sollte die elektrische Leistung konstant gehalten werden. Nach dem Abschalten des Geräts absorbiert das Lithiumchlorid Wasserdampf aus der Luft, was bei erneuter Inbetriebnahme zu Spannungen in den Elektroden führen kann.
- Leitfähige Verunreinigungen (z. B. Staub) auf dem aktiven Teil des Messwertaufnehmers können zu Verzerrungen der Anzeige führen.
- Die Lithiumchloridlösung sollte regelmäßig erneuert werden, wobei auf eine vorhergehende Reinigung des Hygrometers zu achten ist.
- Das Ablesen des Hygrometers sollte erst erfolgen, nachdem der Messwertaufnehmer sein thermisches Gleichgewicht erreicht hat. Die Einstellzeit des Lithiumchloridhygrometers liegt bei 6 min.

5.2.4.4 Messung der Luftgeschwindigkeit

5.2.4.4.1 Beschreibung

Im Allgemeinen ist es schwierig, die genaue Luftgeschwindigkeit in Räumen zu bestimmen, da die Luftströmung in der Regel turbulent ist, d. h. die Luftgeschwindigkeit ebenso wie die Windrichtung ändern sich häufig und zufällig. Bei der Messung der Luftgeschwindigkeit sind v.a. die Empfindlichkeit des Messwertaufnehmers hinsichtlich der Strömungsrichtung, die Empfindlichkeit hinsichtlich Schwankungen der Luftgeschwindigkeit und die Fähigkeit des Messinstrumentes sowohl mittlerer als Luftgeschwindigkeit, als auch Standardabweichung über ein Messintervall auszugeben.

Eine genaue Messung der mittleren Geschwindigkeit hängt von der Kalibrierung des Instrumentes ab. Die Messgenauigkeit der Standardabweichung, d. h. der Intensität der Turbulenzen, hängt von der Einstellzeit ab. Ein Gerät mit einer langen Einstellzeit wird keine schnellen Geschwindigkeitsänderungen messen können. Für Messungen eines Luftstroms mit starker Turbulenz und langsamen Geschwindigkeitsänderungen benötigt man eine längere Messzeitperiode als für Luftströme mit einer niedrigen Turbulenz und raschen Geschwindigkeits-Änderungen.

Die Luftgeschwindigkeit kann entweder mit einer richtungsunempfindlichen Messsonde (z.B. Heizkugel), die nur von der Höhe der Geschwindigkeit - unabhängig von deren Richtung - beeinflusst wird oder mittels drei richtungsempfindlichen Messwertaufnehmern, die die Komponenten der Luftgeschwindigkeit in drei zueinander senkrecht stehenden Ebenen messen können ermittelt. Zu beachten ist, dass eine genaue Messung in einer Richtung in der Praxis sehr schwierig zu realisieren ist. Im Fall einer gerichteten Luftströmung kann auch eine einzelne richtungsempfindliche Sonde eingesetzt werden (Blatt-Anemometer, Hitzdrahtanemometer usw.)

Bauart	Beschreibung
Flügelradanemometer	richtungsempfindlich
Hitzdraht-Anemometer	richtungsempfindlich
Pulsdraht-Anemometer	richtungsunempfindlich
Heißkugel- und Thermistor-Anemometer	richtungsunempfindlich
Ultraschall-Anemometer	richtungsunempfindlich
Laser-Doppler-Anemometer	richtungsunempfindlich

Tabelle 12: Bauarten von Anemometern für den Einsatz in Räumen

5.2.4.4.2 Heißkugel-Anemometer

Das Prinzip des Heißkugelanemometers basiert - wie bei allen beheizten Messwertaufnehmern zur Messung der Luftgeschwindigkeit - auf der Messung der Wärmeübertragung zwischen einem erhitzten Feststoff und der Umgebungsluft. Eine der Messung vorausgehende Kalibrierung des Instruments erlaubt eine Umrechnung der Wärmeübertragung in die Luftgeschwindigkeit.

Das Anemometer besteht aus einer elektrisch auf eine die Umgebungslufttemperatur übersteigende Temperatur beheizten Kugel. Das Heizelement verliert vorrangig durch Konvektion Wärme an seine Umgebung. Mit Hilfe der Angaben zur Heizleistung, zur Temperatur des Elements und

zur Lufttemperatur kann die Luftgeschwindigkeit berechnet werden, wenn der Wärmeübertragungskoeffizient durch Konvektion berücksichtigt wird.

5.2.4.4.3 Anwendungshinweise für die Messung der Luftgeschwindigkeit mittels Heißkugel-Anemometer

- Das Heißkugel-Anemometer weist eine reduzierte Empfindlichkeit, das Heizdraht-Anemometer eine hohe Empfindlichkeit für die Richtung des Luftstroms auf.
- Die bauliche Ausführung des Messwertaufnehmers sollte den Luftstrom nicht beeinflussen.

5.2.4.5 Empfohlene Geräteeigenschaften

Zur Messung der Luftgeschwindigkeit in Innenräumen werden folgende Geräteeigenschaften empfohlen:

Luftgeschwindigkeit	v_a
Messbereich	0,05 m/s bis 1 m/s
Fehlergrenzen	Mindestwert: $\pm (0,05 + 0,05 v_a)$ m/s Idealwert: $\pm (0,02 + 0,07 v_a)$ m/s Diese Werte sind unabhängig von der Strömungsrichtung für einen Raumwinkel von $3\pi sr$ einzuhalten.
Einstellzeit	Mindestwert: 0,5 s Idealwert: 0,2 s
Bemerkung	Außer bei einer gerichteten Luftströmung muss der Messwertaufnehmer unabhängig von der Strömungsrichtung die Effektivgeschwindigkeit messen. Der Mittelwert und die Standardabweichung über ein Messintervall von 2 min sollten angegeben werden.

Tabelle 13: Empfohlene Geräte-Eigenschaften für die Messung der Luftgeschwindigkeit

5.2.5 Messung der Oberflächen-Temperatur

5.2.5.1 Beschreibung

Die Oberflächen-Temperatur ist die Temperatur einer gegebenen Oberfläche. Die Oberflächen-Temperatur kann entweder mit einem, mit der Oberfläche in Kontakt stehenden Messwertaufnehmer (Kontaktthermometer) oder berührungslos mit einem Infrarot-Messwertaufnehmer gemessen werden.

Die Anwendung eines Kontaktthermometers verändert den Wärmeaustausch zwischen der Oberfläche und der Umgebung. Dies kann bei Oberflächen mit einer geringen thermischen Leitfähigkeit problematisch sein.

Messungen mit Infrarot-Messwertaufnehmern werden maßgeblich durch das Emissionsvermögen der zu messenden Oberfläche beeinflusst.

5.2.5.2 Kontaktthermometer

Ein Kontaktthermometer besteht aus einem Temperatur-Messwertaufnehmer, der mit der Oberfläche in Kontakt gebracht werden kann. Dabei ist wichtig, dass der Wärmeaustausch zwischen dem Messwertaufnehmer und der Oberfläche deutlich höher ist als der Wärmeaustausch zwischen dem Messwertaufnehmer und der Umgebung. Dies kann durch eine Erhöhung des Anpressdruckes, Einsatz von Wärmeleitpasten u. ä. erreicht werden.

5.2.5.3 Infrarot-Radiometer

Infrarot-Radiometer ermöglichen eine berührungslose Messung von Oberflächentemperaturen. Die meisten dieser Geräte arbeiten passiv und erfordern die Beleuchtung des zu messenden Objektes mit Infrarotstrahlung. Mittels

abtastender Messgeräte können Temperaturschwankungen über eine Fläche angezeigt werden. Bei allen passiven Strahlungsmessern wird die Strahlungsenergie des zu messenden Objekts mittels eines optischen Systems auf einen Infrarotempfänger fokussiert. Das resultierende Ausgangssignal ist proportional zur auftretenden Strahlung. Radiometer werden in der Regel über die verwendeten Empfänger - thermische oder photoelektrische Detektoren - klassifiziert. Bei thermischen Detektoren wird eine Änderung der elektrischen Eigenschaften durch die strahlungsbedingte Erwärmung verursacht. Bei photoelektrischen Detektoren verändern sich die elektrischen Eigenschaften durch Absorption der auftretenden Photonen an der Oberfläche. Da diese Detektoren keiner Temperaturänderung

zur Aktivierung bedürfen, ist die Einstellzeit dieses Typs deutlich kürzer als bei thermischen Detektoren. Ein Radiometer misst naturgemäß nur die auf den Detektor auftretende Strahlung. Diese setzt sich zusammen aus der Strahlung, die durch das Objekt ausgesendet wird, sowie der Strahlung, die an der Oberfläche des zu messenden Objektes reflektiert wird. Eine genaue Messung der Oberflächentemperatur erfordert daher die Kenntnis über das Langwellen-Emissionsvermögen des zu messenden Objektes und Kenntnis über das Strahlungsfeld in der Objektumgebung. Um absolute Oberflächentemperaturen messen zu können ist eine Bezugstemperatur erforderlich. Die Temperaturauflösung eines Radiometers nimmt mit der Objekttemperatur ab.

5.2.5.4 Empfohlene Geräteeigenschaften

Zur Messung der Oberflächentemperatur in Innenräumen werden folgende Geräteeigenschaften empfohlen.

Oberflächen-Temperatur	t_s
Messbereich	0 °C bis 50 °C
Fehlergrenzen	Mindestwert: ± 1 °C Idealwert: $\pm 0,5$ °C
Einstellzeit	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.
Bemerkung	-

Tabelle 14: Empfohlene Geräte-Eigenschaften für die Messung der Oberflächen-Temperatur

5.2.6 Messung der operativen Raumtemperatur

5.2.6.1 Beschreibung

Die operative (wirksame) Raumtemperatur ist definiert als die einheitliche Temperatur einer Umhüllung, in der eine Person die gleiche Wärmemenge durch Strahlung und Konvektion austauschen würde wie in der bestehenden nicht-einheitlichen Umgebung.

5.2.6.2 Direkte Messung operative Raumtemperatur

Zur direkten Messung der operativen Raumtemperatur ist es erforderlich, dass das Verhältnis zwischen Wärmeaustauschkoeffizient durch Strahlung und Konvektion gleich dem einer Person ist. Bei der Messung der operativen

Raumtemperatur sind die Hinweise für die Messung der mittleren Strahlungstemperatur unter Einsatz eines Kugel-Thermometers zu beachten. Die Form des Messwertempfängers ist, allem bei nichteinheitlichen Strahlungsverhältnissen wichtig. Im Falle kurzwelliger Strahlung ist die Farbe des Messwertempfängers von Bedeutung.

5.2.7 Messung der solaren Einstrahlung

5.2.7.1 Beschreibung

ÖNorm M 9490-7 Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhalte Teil 7: Strahlungsmessung und Messung der Sonnenscheindauer. Die Definition ausgewählter Grundbegriffe der meteorologischen Strahlungsmessung erfolgt in Anlehnung an [6].

Benennung	Definition und Anmerkungen
Albedo	Verhältnis von reflektierter zu einfallender Strahlung, in %
Diffuse Himmelsstrahlung	Auf eine horizontale Fläche fallende Strahlung (Differenz aus Globalstrahlung und direkter Sonnenstrahlung)
Direkte Himmelsstrahlung	Direkt von der Sonne zum Beobachtungspunkt gelangende Strahlung
Globalstrahlung	Auf eine horizontale Fläche fallende kurzwellige Strahlung (Summe von direkter Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung)
Kurzwellige Reflexstrahlung	im Wellenlängenbereich von 0,3 μm bis 3,0 μm von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung
Sonnenstrahlung	Elektromagnetische Strahlung der Sonne
Sonnenscheindauer	Zeitraum in s, während die direkte Sonneneinstrahlung einen Schwellwert von 120 W/m^2 überschreitet

Benennung	Definition und Anmerkungen
Strahlung	Von der Sonne erhaltene oder von der Erde abgestrahlte Energie in Form elektromagnetischer Wellen Flächenbezogene Einheiten W/m ² für die Strahlungsleistung J/m ² für die Strahlungsenergie
Terrestrische Strahlung	Die von der Erdoberfläche und der Atmosphäre emittierte Strahlung ab einer Wellenlänge > 3,0 µm. Terrestrische Strahlung wird als langwellige Strahlung bezeichnet.

Tabelle 15: Grundbegriffe der meteorologischen Strahlungsmessung (vgl. [6])

Die beschriebenen Messverfahren beruhen im Allgemeinen auf Messungen der Temperaturerhöhung einer von der

einfallenden Strahlung erwärmten geschwärzten, horizontalen Fläche.

Bezeichnung	Messbereich – Wellenlängenbereich
Pyranometer	0,3 µm bis 3 µm
Pyrradiometer	0,3 µm bis 50 µm
Pyrgeometer	3 µm bis 50 µm
Pyrheliometer	0,2 µm bis 4 µm, gegen Himmelstrahlung abgeschirmt

Tabelle 16: Messgeräte, Wellenlängenbereiche

Messung der Sonnenscheindauer

Die Messung der Sonnenscheindauer basiert auf der Ermittlung des Zeitraumes, in dem die direkte Sonneneinstrahlung einen Schwellenwert von 120 W/m² überschreitet. Dafür stehen verschiedene Messprinzipien zur Verfügung:

- Kontinuierliche Messung der direkten Sonnenstrahlung mit einem Pyrheliometer mit automatischer Sonnennachführung und Auswertung der Zeit, während der Schwellenwert überschritten wird.
- Messgeräte mit rotierendem Abschattung: Ein zylindrisches Sensorelement, bestehend aus mehreren Fotozellen in Kombination mit einem rotierenden Abschattung, liefert ein periodisches Ausgangssignal,

dessen Amplitude der direkten Sonnenstrahlung proportional ist. Im Winterbetrieb ist eine Beheizung des Gerätes notwendig.

- Messgeräte mit unterschiedlich ausgerichteten Fotozellen: Aug geeigneter Differenzberechnung der Signale der einzelnen Sensorelement kann ein der direkten Sonneneinstrahlung proportionaler Wert ermittelt werden. Diese Messgeräte kommen ohne mechanisch bewegte Teile aus. Im Winterbetrieb ist eine Beheizung des Gerätes notwendig.

5.2.7.2 Pyranometer

Zur Messung der Strahlungsleistung für den Wellenlängenbereich von 0,3 µm bis 3 µm werden Pyranometer eingesetzt

Bezeichnung	Beschreibung
Schwarzflächen-Pyranometer	Geräte mit einer doppelten Glasabdeckung über einer geschwärzten Empfängerfläche. Bei einer durch Strahlung verursachten Temperaturänderung dieser Empfängerfläche wird mittels einer Thermosäule die Temperaturdifferenz zu einem thermisch trägen Gehäuseteil gemessen. Die Temperaturdifferenz ist der auftretenden Strahlungsleistung proportional.
Schwarzweißflächen-Pyranometer	Der zu messende Wellenlängenbereich wird durch die spektralen Absorptionseigenschaften der geschwärzten und geweißten Empfängerflächen bestimmt. Die auftretenden Temperaturunterschiede zwischen den schwarzen und weißen Flächen werden mittels Thermoelementen bestimmt und sind der zu messenden Strahlungsleistung proportional.
Silizium-Pyranometer	Die auf photovoltaischem Prinzip basierenden Strahlungsmessgeräte zeigen grundsätzlich eine spektrale Abhängigkeit der Ausgangsspannung. Durch geeignete Filter kann annähernd eine Wellenlängenunabhängigkeit in einem eingeschränkten Bereich erzielt werden.

Tabelle 17: Pyranometer, Funktionsprinzip (in Anlehnung an [6])

5.2.7.3 Anwendungshinweise für die Messung mit einem Pyranometer

Aufstellungsort sollte wegen regelmäßig durchzuführender Wartungs- und Kontrollarbeiten leicht zugänglich sein. Werden Messeinrichtungen durch Objekte (z.B. durch Masten, Bäume, Gebäude, Berge während des Tages beschattet ist auf die Repräsentativität des Standorts für Messaufgabe und Messort zu achten. Auf jeden Fall muss die Horizontüberhöhung von 0° bis 360° Azimut für jeden Gerätestandort ermittelt und protokolliert werden.

Um Messfehler durch Beschlag der Geräte zu reduzieren wird empfohlen die Geräte zu beheizen und zu ventilieren. Die Beheizung ist so durchzuführen, dass die Messwerte nicht verfälscht werden.

Bezüglich der Durchführung des Messprogramms wird eine Abtastrate von mindestens 10s, ein Halbstunden-Mittelwert als Kennwert, bzgl. Sonnenscheindauer die Summe der Minuten innerhalb einer halben Stunde sowie eine Qualitätssicherung mit Plausibilitätskontrolle entsprechend [6] empfohlen.

5.2.7.4 Empfohlene Geräteeigenschaften

Solare Einstrahlung	
Messbereich	Globalstrahlung: 0 W/m ² bis 1500 W/m ²
Fehlergrenzen	Strahlungsmessung: ± 10 % bis zu einer Sonnenscheindauer von 5 h/d: ± 6 min/d Sonnenscheindauer über 5 h/d: ± 2 % der Tagessumme
Zeitkonstante	≤ 20 s
Auflösung	1 W/m ² Sonnenscheindauer: 1 min
Bemerkung	Bei der Messung der Strahlungsbilanz müssen die Spezifikationen für alle Komponenten eingehalten werden (kurzwellig- und langwellig).

Tabelle 18: Empfohlene Geräte-Eigenschaften für die Messung der Oberflächen-Temperatur

5.2.8 Messung Wechselstrom

Gemäß [7] wird zwischen Zählern die zum Einsatz in Innenräumen und im Freien vorgesehen sind und Zählern der Schutzklasse I und II unterschieden. Die jeweiligen Angaben werden als Mindestwerte angesehen um die sichere Funktion des Zählers unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen zu gewährleisten.

In [7] werden Angaben zu elektromechanischen und elektronischen Zählern für die innenraum- und Freiluftanwendung gemacht, die aus einem Messwertgeber und Anzeigestellen bestehen, die zusammen in einem Gehäuse untergebracht sind. Weiters können im Zähler Messwertgeber für mehr als eine Energieart oder andere Funktionselemente wie Maximumanzeigen, elektronische Tarifanzeigenspeicher, Schaltuhren, Schnittstellen für die Datenübertragung u.ä. integriert sein.

Bezeichnung	Definition und Beschreibung
Elektromechanischer Zähler	Zähler, in dem Ströme durch feststehende Spulen mit Strömen wechselwirken, die in dem leitenden, sich bewegenden Bauelement (eine oder mehrere Scheiben), induziert werden. Dadurch entsteht einer zur gemessenen Energie proportionale Bewegung
Elektronischer Zähler	Zähler, in dem Strom und Spannung auf statische (elektronische) Bauelemente einwirken, um ein der gemessenen Energie proportionales Ausgangssignal zu erzeugen
Wirkverbrauchsähler	Gerät zur Messung von Wirkverbrauch durch Integration der Wirkleistung über der Zeit
Blindverbrauchsähler	Zähler zur Messung von Blindenergie durch Integration der Blindleistung über der Zeit
Blindleistung	Blindleistung für sinusförmige Kurvenformen bei einer einzelnen Frequenz in einem einphasigen Stromkreis ist definiert als das Produkt der Effektivwerte von Stromstärke und Spannung und dem Sinus ihres Phasenverschiebungswinkels
Wirkleistung	Bei periodischen Bedingungen der Mittelwert der Momentanleistung p über eine Periode T.

Bezeichnung	Definition und Beschreibung
Scheinleistung	Produkt von Effektivwert der elektrischen Spannung U zwischen den Polen eines zweipoligen Netzwerkelements oder Zweipols mal Effektivwert der elektrischen Stromstärke I in dem Element oder dem Zweipol
Wirkarbeit Wirkenergie	Elektrische Energie, die in eine andere Energieart umgewandelt werden kann
Leistungsfaktor	Bei periodischen Bedingungen Verhältnis des Betrags der Wirkleistung P zur Scheinleistung S

Tabelle 19: Allgemeine Begriffe ([7], ÖNorm 50470-1)

Bezeichnung	Definition und Beschreibung
Impuls	Welle, die sich von ihrem ursprünglichen Niveau für eine begrenzte Zeitdauer entfernt und wieder zu ihrem Anfangsniveau zurückkehrt
Impulseinrichtung (für Elektrizitätszähler)	Funktionseinheit zum Aussenden, Übertragen oder Empfangen von elektrischen Impulsen, die festgelegte Mengen repräsentieren, z.B. Energiemengen, die üblicherweise vom Zähler zu einer Empfangseinheit übertragen werden
Optischer Prüfausgang	Optische Impulsausgabe die zur Prüfung des Zählers eingesetzt wird
Elektrischer Prüfausgang	Elektrische Impulsausgabe, die zur Prüfung des Zählers eingesetzt wird
Register	Teil des Zählers, der die Bestimmung des gemessenen Wertes ermöglicht
Konstante für elektromechanische Zähler	Wert, der die Relation zwischen der vom Zähler angezeigten Energie und dem entsprechenden Wert am Prüfausgang herstellt. Wenn dieser Wert einer Impulszahl entspricht, kann die Konstante entweder Impulse je Kilowattstunde (imp/kWh) oder Wattstunden je Impuls (Wh/imp) sein

Tabelle 20: Begriffe für Funktionseinheiten ([7])

Bezeichnung	Definition und Beschreibung
Nennstrom	
Anlaufstrom(stärke)	Der kleinste Wert des Stromes, bei dem der Zähler anläuft und fortfährt, die Energie zu registrieren
Basisstrom(stärke)	Wert des Stromes, für den ein direkt angeschlossener Zähler konstruiert und ausgelegt bzw. bemessen ist
Grenzstrom(stärke)	Höchster Wert des Stromes, für den der Zähler die Genauigkeitsanforderungen dieser Norm erfüllen soll
Nennspannung	Wert der Spannung, für den ein Zähler konstruiert und ausgelegt bzw. bemessen ist
Nennfrequenz	Wert der Spannung, für den ein Zähler konstruiert und ausgelegt bzw. bemessen ist
Festgelegter Messbereich	Wertebereich einer gemessenen Größe, für den die Messabweichungen des Zählers in spezifizierten Grenzen liegen müssen
Genauigkeitsklasse	Kennzahl, die die Grenzen für die zulässige prozentuale Messabweichung für alle Stromwerte zwischen $0,1 I_b$ und I_{max} oder zwischen $0,05 I_n$ und I_{max} bei Leistungsfaktor 1 (und bei mehrphasigen Zählern mit symmetrischen Strömen) festgelegt, wenn der Zähler unter Referenzbedingungen geprüft wird

Tabelle 21: Begriffe der Zähler-Nenngrößen

Bezeichnung	Definition und Beschreibung
Einflussgröße	Jede Größe, die im Allgemeinen von außen auf den Zähler einwirkt und sein Betriebsverhalten beeinflussen kann
Referenzbedingungen	Geeignete Gruppe von Einflussgrößen und charakteristischen Eigenschaften, mit ihren Referenzwerten, ihren Toleranzen und Referenzbereichen; auf diese wird Bezug genommen bei der Definition der Messabweichung bei Referenzbedingungen
Änderung der Messabweichung durch Einwirken einer Einflussgröße	Differenz zwischen den prozentualen Messabweichungen des Zählers, wenn nur eine Einflussgröße nacheinander zwei festgelegte Werte annimmt, von denen einer der Referenzwert ist
Klirrfaktor	Verhältnis des Effektivwertes des Gehaltes an Harmonischen (den man durch Subtraktion der Grundschwingung von der nicht sinusförmigen Wechselgröße erhält) zum Effektivwert der nicht sinusförmigen Größe. Der Klirrfaktor wird üblicherweise in Prozent angegeben
Elektromagnetische Störung	Leitungsgebundene oder eingestrahlte elektromagnetische Beeinflussungen, die die Funktionsweise oder Messfähigkeit des Zählers beeinträchtigen
Thermische Stabilität	Wenn die Änderung der Messabweichung als Folge von thermischen Effekten in 20 Minuten nicht mehr als das 0,1 fache der höchstzulässigen Messabweichung für die betreffende Messung erreicht ist der Zähler als thermisch stabil anzusehen

Tabelle 22: Begriffe der Einflussgrößen

Die wesentlichen Begriffe der Wechselstrom-Messung sind in Tabelle 19 bis 22 beschrieben. Bei der Anwendung sind je nach Gegebenheit vor Ort und Ziel der Messung die Geräte-Anforderungen und die damit verbundenen Einsatzgrenzen und Genauigkeiten festzulegen.

5.2.8.1 Empfohlene Geräteeigenschaften

Besondere Anforderungen und Grenzwerte wie maximale Messabweichung, Auswirkung von Störungen, Beständigkeit, Zuverlässigkeit und Schutz gegen Manipulation werden für Elektromechanische Wirkverbrauchszähler der Genauigkeitsklasse A und B werden in Teil 2 der ÖNorm EN 50470, Elektronische Wirkverbrauchszähler der Genauigkeitsklassen A, B und C in Teil beschrieben. Messung der Wärmemenge

5.2.8.2 Beschreibung

Messung der Wärmemenge, die in einem Wärmetauscher-Kreislauf durch eine als Flüssigkeit aufgenommen oder abgegeben wird (vgl. [8]).

Ein, entweder im Vor- oder im Rücklauf montierter Durchflusssensor gibt ein Signal in Abhängigkeit des Volumen- oder Massendurchflusses der Wärmeträgerflüssigkeit ab. Zusammen mit den erfassten Vor- und Rücklauf-Temperaturen der Wärmeträgerflüssigkeit wird im Rechenwerk die ausgetauschte Wärmemenge bestimmt.

5.2.8.3 Anwendungshinweise für die Messung von Wärmemengen

Kriterien für die Auswahl eines Wärmezählers - Typ, Größe, Genauigkeits- und Umgebungs-kategorie - werden u.a. durch die Betriebs- und Umgebungsbedingungen am Einbauort und Berücksichtigung folgender Punkte bestimmt [9]:

- Druck der Wärmeträgerflüssigkeit
- Physikalische und chemische Eigenschaften der Wärmeträgerflüssigkeit
- Zulässiger Druckverlust im Wärmezähler
- Genauigkeitsanforderungen
- Temperaturbereiche in Vorlauf- und Rücklaufleitungen des Heizungssystems und die Temperaturdifferenz im System
- Erwarteter maximaler und minimaler Durchfluss der Wärmeträgerflüssigkeit
- Erforderliche Wärmeleistung des Heizungssystems
- Art des Durchflusses durch den Wärmezähler

5.2.8.4 Empfohlene Geräteeigenschaften

Entsprechend Punkt 9 und 10 von 1434 -1 [8]

5.2.8.4.1 Temperatursensorpaar

$$E_t = \pm(0,5 + 3 \frac{\Delta\theta_{min}}{\Delta\theta})$$

Dabei ist der Fehler E_t auf den angezeigten Wert zum konventionell wahren Wert des Verhältnisses zwischen dem

Ausgangssignal des Temperatursensorpaares und der Temperaturdifferenz bezogen.

5.2.8.4.2 Durchflusssensor

Klasse 1: $E_f = \pm (1 + 0,01 q_p/q)$, aber nicht mehr als $\pm 3,5\%$

Klasse 2: $E_f = \pm (2 + 0,02 q_p/q)$, aber nicht mehr als $\pm 5\%$

Klasse 3: $E_f = \pm (3 + 0,05 q_p/q)$, aber nicht mehr als $\pm 5\%$

Dabei bezieht die Fehlergrenze E_f den angegebenen Wert zum konventionell wahren Wert des Verhältnisses zwischen dem Ausgangssignal des Durchflusssensors und der Masse oder des Volumens.

Hinsichtlich der Umgebungsbedingungen können die Geräte nach [8] entsprechend Tabelle 23 klassifiziert werden. Der Anbieter hat dem Anwender Spezifikationen entsprechend bekannt zu geben. Die erforderlichen Angaben für Durchflusssensor, Temperaturfühlerpaar, Rechenwerk und vollständigen Wärmezähler sind in [8] detailliert zusammengefasst

Klassifikation	Beschreibung
Umgebungs-kategorie A Haushaltsgebrauch, Innenraum-Installation	Umgebungstemperatur +5 °C bis +55 °C Geringe Feuchtigkeitsbeanspruchung Übliche elektrische und elektromagnetische Beanspruchung Niedrige mechanische Beanspruchung
Umgebungs-kategorie B Haushaltsgebrauch, Außeninstallation	Umgebungstemperatur -25 °C bis +55 °C Übliche Feuchtigkeitsbeanspruchung Übliche elektrische und elektromagnetische Beanspruchung Niedrige mechanische Beanspruchung
Umgebungs-kategorie C Industrielle Anwendungen	Umgebungstemperatur +5 °C bis +55 °C Übliche Feuchtigkeitsbeanspruchung hohe elektrische und elektromagnetische Beanspruchung Niedrige mechanische Beanspruchung

Tabelle 23: Klassifikation nach Umgebungsbedingungen für die Verwendung von Wärmezählern (nach [8])

5.2.9 Messung der Innenraumlufthqualität

5.2.9.1 Beschreibung

Vor der Festlegung der Probenahmestrategie von Innenraumlufthuntersuchungen ist es notwendig Zweck, wann, wo, wie oft und über welche Dauer Proben genommen werden sollen. Nach [10] werden Luftuntersuchungen in Innenräumen hauptsächlich aus einem der folgenden Gründe durchgeführt:

Raumnutzer beschwerten sich über eine schlechte Luftqualität.

Exposition der Raumnutzer gegenüber bestimmten Stoffen soll ermittelt werden.

Die Einhaltung vorgegebener Grenz- oder Richtwerte soll untersucht werden.

Die Effektivität einer Sanierung ist zu prüfen.

Gesundheitliche Beeinträchtigungen der Raumbenutzer durch die Innenraumlufth werden beobachtet oder vermutet. Planung von Probenahme und Messstrategie hat bei Innenraumlufthuntersuchungen kommt eine besondere Bedeutung zu, da sich die Stoffkonzentration der zu untersuchenden Substanzen durch die Quellstärke, menschliche Aktivität, Lüftungsrate, klimatische bzw. raumklimatische Bedingungen u.ä. laufend verändern kann.

Die Art des zu messenden Stoffes und seine Wirkung auf den Menschen haben einen erheblichen Einfluss auf die für die Messung zu wählenden Randbedingungen.

Nachfolgend werden die Verfahren zur Messung von Formaldehyd, VOC und CO₂-Konzentration beschrieben sowie Hinweise zur Anwendung und weiterführende Regelwerke angeführt. In der Regel wird bei der kontinuierlichen

messtechnischen Begleitung die CO₂-Konzentration als Indikator für die Innenraum-Lufthqualität herangezogen.

5.2.9.2 Formaldehyd-Messung

Verfahren zur Messung von Formaldehyd lassen sich in Kurzzeitmessverfahren (< 1 h) mit aktiver Probenahme, Langzeitmessverfahren mit aktiver oder passiver Probenahme, kontinuierliche Messverfahren und Verfahren zur Vorprüfung mit direkt ablesbaren Prüfröhrchen unterscheiden.

Als Kurzzeitmessverfahren wird bei EN ISO 16000-3 ein Mehrkomponenten-Verfahren beschrieben, bei dem Formaldehyd mit Dinitrophenylhydrazin zu dem entsprechenden Hydrason reagiert welches mittels HPLC qualitativ und quantitativ bestimmt wird.

Für Langzeitmessungen bietet sich die Probenahme mittels Passivsammler an, die nach dem Prinzip der Diffusion eines Schadstoffes an ein reaktives Medium arbeitet.

5.2.9.3 VOC-Messung

Ein definiertes Probengasvolumen wird aus der Raumlufth gezogen und über ein oder mehrere Sorptionsröhrchen geführt. Die flüchtigen organischen Verbindungen werden in dem Sorptionsröhrchen zurückgehalten. Die Analyse erfolgt anschließend im Labor. Die gesammelten VOC werden thermisch vom Röhrchen desorbiert und in einem Gaschromatographen ausgewertet. (Prinzip detailliert in [11] beschrieben).

5.2.9.4 CO₂-Konzentration der Luft

Das meist verbreitete Messprinzip ist nach [12] die nicht-dispersive Infrarot-Spektrometrie. Daneben wird auch die photoakustische Spektroskopie eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird die im infraroten Bereich absorbierte Anregungsenergie in ein Signal umgesetzt. Die CO₂-Messung erfolgt mit einem schmalbandigen IR-Filter. Beide Verfahren erfordern bei der Kalibrierung einen Abgleich gegen Quereinflüsse, insbesondere Wasserdampf. Die nach diesen Verfahren arbeitenden Messgeräte ermöglichen eine zuverlässige und kontinuierliche CO₂-Bestimmung im Konzentrationsbereich von 1 bis 5000 ppm. Für eine erste Abschätzung im Innenraum können auch Prüfröhrchen eingesetzt werden, bei denen die Luft mittels einer Pumpe durch ein Prüfröhrchen gesaugt wird. Die für

die im Innenraum interessierende Konzentration eingesetzten Prüfröhrchen sollen einen Einsatzbereich von 100 ppm bis 3000 ppm abdecken. In der Lüftungs- und Klimatechnik werden neben Kohlendioxid-Fühlern die auf dem 2-Kanal-Infrarot-Absorptionsprinzip arbeiten, auch elektrochemische Sensoren und Halbleiter-Gassensoren eingesetzt.

5.2.9.5 Anwendungshinweise für die Messung der Innenraumluftqualität

EN ISO 16000-1 [10] fasst die Allgemeinen Aspekte der Probenahmestrategie zur Messung von Innenraumluftverunreinigungen zusammen. Nachfolgend sind wesentliche Punkte zu Probenahmetechnik, Zeitpunkt der Probenahme, Dauer der Probenahme und Häufigkeit der Messungen, Ort der Messung angeführt.

Messung der Innenraumluftqualität	Wesentliche Aspekte
Probenahmetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitauflösung - Das stündliche Probenahmevervolumen muss kleiner sein als das Volumen das 10% der Luftwechselrate entspricht - Einsatz von Passivsammlern bei Messungen über längere Zeiträume (z.B. 8h). Bei Sammler mittels Diffusionsprinzip ist auf ausreichende Anströmgeschwindigkeit zu achten.
Zeitpunkt der Probenahme	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitliche Veränderung der Konzentration ist bei der Beurteilung zu berücksichtigen - Luftwechsel, Art der Quelle, Raumnutzer und ihre Aktivitäten, Raumgeometrie, Temperatur und relative Luftfeuchte sind bei der Wahl des Messzeitpunktes zu beachten - Empfehlungen bzgl. Lüftung im Vorfeld der Messung formulieren - Bei Emissionen aus diskontinuierlichen Quellen definieren ob Spitzenbelastung oder Durchschnittsbelastung erfasst werden soll - Bei Räumen mit Lüftungstechnischen Anlagen sind u.a. Betriebsparameter der Anlage anzugeben
Dauer der Probenahme und Häufigkeit der Messungen	Dauer der Probenahme ist abzustimmen auf: <ul style="list-style-type: none"> - Art der betrachteten Stoffe - Wirkungseigenschaften der betrachteten Stoffe - Emissionscharakteristik der Quelle - Grenzen des Verfahrens - Ziel der Messung
Ort der Messung	<ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung der örtlichen Abhängigkeit der Konzentration - Geeignete Stelle zur Messung ist in der Regel Raummitte - Abstand Probenahmesammelgerät zu Wand > 1 m - Höhe 1 m - 1,5 m über dem Fußboden - Herrschende Luftbewegung im Raum ist bei der Wahl des Messortes zu berücksichtigen
Parallele Außenluftmessung	<ul style="list-style-type: none"> - Infolge permanenten Luftaustausches zwischen Innenraum- und Außenluft aufgrund von Infiltration und Lüftungsprozessen ist es sinnvoll die Innenraumluftmessungen durch zeitgleiche Außenluftmessungen zu ergänzen.

Tabelle 24: Ausgewählte Aspekte bei der Messung der Innenraumluftqualität (in Anlehnung an [10])

5.2.9.6 Empfohlene Geräteeigenschaften

Beschreibung der einzelnen Verfahren zur Messung der Innenraumluftqualität sowie Angaben zu den damit verbundenen erforderlichen Geräteeigenschaften sind u.a. in EN ISO 16000-1 bis 17 sowie in den VDI-Richtlinien 2100 Blatt 1-5, 3484 Blatt 1 u. 2, 3492, 3498 und 4300 Blatt 1-9 zusammengestellt.

6 Montage

Nachfolgend werden Hinweise für die sachgemäße und messtechnisch richtige Montage ausgewählter Temperaturfühler, für die Messung der Lufttemperatur in Räumen und im Freien, in Rohrleitungen und Kanälen, die Messung der gefühlten Temperatur in Räumen und im Freien, die Messung der Temperatur von Flüssigkeiten in Rohrleitungen und Behältern und die Messung der Temperatur von Abgasen geben (vgl. [13]).

Bauform	Gefühlte Temperatur	Raumlufttemperatur/ Außenlufttemperatur	Lufttemperatur im Kanal	Flüssigkeits- temperatur in Behältern und Rohr- leitungen	Abgas- tempera- tur
Gehäusefühler	BTF, Witterungsfühler	Raumtemperaturfühler, Außentemperaturfühler			
Stabfühler Ein- baufühler			Kanalfühler	Rohrleitungs- fühler	Abgas- fühler
Anlegefühler				Rohrleitungs- fühler	
Kapillarfühler			Kanalfühler		
Patronenfühler mit Kapillarrohr			Kanalfühler	Rohrleitungs- fühler	
Kabelfühler			Kanalfühler		
Mittelwert-/ Rutenfühler			Kanalfühler		

Tabelle 25: Anwendungsbereiche verschiedener Fühlerbauformen (Tabelle 1, [13])

6.1 Montage von Gehäusefühlern

6.1.1 Messung der Lufttemperatur in Räumen

- Fühler müssen frei von der Raumluft umströmt werden können, das heißt, in Raumecken ist ein Abstand von 50 cm von der nächsten Wand einzuhalten. Montage in Nischen und Gestellen sowie hinter Vorhängen ist zu vermeiden.
- Sofern sich aus der Raumnutzung keine andere sinnvolle Montagehöhe ergibt, ist eine Montagehöhe von ca. 1,5 m über dem Fußboden zu wählen.
- Falls es bei größeren Räumen nicht einen einzelnen repräsentativen Ort für die Temperatur in der Aufenthaltszone gibt, sind mehrere Fühler zu installieren, deren Messwert durch eine – gegebenenfalls gewichtete – Mittelwertbildung zusammengefasst wird.
- Für Fühler im Inneren von Unterputzgehäusen sind zur Messung der Lufttemperatur wenig sinnvoll und daher zu vermeiden.
- Fühler dürfen nicht oberhalb von Wärmequellen (z. B. Heizkörper, Leuchten) angebracht werden.
- Fühler dürfen nicht der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt werden.
- Die Montage von Fühlern an Außenwänden ist nur dann fachgerecht, wenn aufgrund der Wärmedämmung der Wand an deren innerer Oberfläche keine Erniedrigung der lokalen Lufttemperatur zu erwarten ist.
- Fühler sind auf Massivbauteilen (Stahl, Beton usw.) nur mit wärmedämmender Unterlage zu montieren.
- In oder auf der Wand hinter dem Montageort dürfen sich keine Fremdwärmequellen (Kamin, Heizungsrohre, Warmwasserrohre usw.) befinden.
- Wird die elektrische Zuleitung in das Gehäuseinnere durch Installationsrohre geführt, so sind diese abzudichten; ansonsten ist hier Zugluft möglich.
- Fühlergehäuse dürfen nicht mit Farbe überstrichen werden.
- Behaglichkeitsfühler sind vom Grundsatz her ebenfalls Gehäusefühler zur Messung der gefühlten Temperatur. Die Sensorspitze kann zur besseren Erfassung der Raumumgebungsparameter aus dem Gehäuse herausgeführt werden. Für die Auswahl eines geeigneten Montageorts gelten sinngemäß ähnliche Überlegungen wie sie oben für Gehäusefühler erörtert wurden. Ziel muss auch hier sein, einen geeigneten Messort zu finden, der den Raumumgebungs- und Raumnutzungsbedingungen am Referenzort möglichst umfassend ausgesetzt ist.

6.1.2 Messung der Außenlufttemperatur

- Fühler dürfen nicht der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt werden. Abschattungsmaßnahmen, die zu einem Wärmestau führen (z. B. Montage unter einem Dachvorsprung) sind zu vermeiden.
- Außenfühler dürfen nicht auf Fassaden mit großer Auftriebswärme, z. B. Metallfassaden, und auf Fassaden, die durch Sonneneinstrahlung aufgeheizt werden, montiert werden.
- In der Wand hinter dem Montageort dürfen sich keine Fremdwärmequellen (Kamin, Heizungsrohre, Warmwasserrohre usw.) befinden.
- Am Montageort darf keine Luft aus dem Gebäudeinneren vorbeiströmen. Dies ist der Fall z. B. über Fenstern, über Lüftungs-Austrittsschächten sowie an der Laibung von Lüftungs-Austrittsöffnungen.
- Fühlergehäuse dürfen nicht mit Farbe überstrichen werden.
- Wird die elektrische Zuleitung in das Gehäuseinnere durch Installationsrohre geführt, so sind diese abzudichten; ansonsten ist hier Zugluft möglich.
- Der Montageort muss ohne größeren Aufwand zugänglich bleiben.
- Bei der Auswahl eines geeigneten Montageort für einen Witterungsfühler gelten sinngemäß ähnliche Überlegungen wie sie oben für Gehäusefühler erörtert wurden. Besonderheit der Witterungsfühler ist, dass sie zusätzlich auch der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein sollen. Ziel muss sein, einen geeigneten Messort zu finden, der den Witterungsbedingungen am Referenzort möglichst umfassend ausgesetzt ist.
- Stabfühler/Kabelfühler 4.1 Allgemeines
- Grundsätzlich resultieren die folgenden Einbauhinweise für den Einbau von Stab- und Kabelfühlern in Luftkanäle und flüssigkeitsführende Rohrleitungen aus ähnlichen Überlegungen wie im Fall der Gehäusefühler für Lufttemperatur: Der Messort muss repräsentativ sein für die zu messende Temperatur; Fehler durch Fremdwärmeeintrag bzw. Wärmeableitung müssen vermieden werden. Weitere Hinweise ergeben sich bei dieser Bauform aus der Tatsache, dass ihr temperaturempfindlicher (aktiver) Bereich häufig keine Punktform besitzt, sondern eine Ausdehnung von mehreren cm Länge entlang der Fühlerachse. Bei Kabelfühlern ist darauf zu achten, dass die Sensoren herstellerseits in Wärmeleitpaste eingebettet sind.

6.2 Montage von Stab- und Kabelfühlern

6.2.1 Messung der Temperatur von Flüssigkeiten in Rohrleitungen und Behältern

- Für Stab- und Kabelfühler sind grundsätzlich Tauchhülsen vorzusehen. Beim Einbau der Fühler ist dabei auf einen guten thermischen Kontakt zwischen Tauchhülse und Messeinsatz zu achten, der in erster Linie durch engen mechanischen Kontakt, gegebenenfalls unterstützt durch Wärmeleitpaste, sichergestellt werden kann.
- Tauchhülsen mit einer Länge von weniger als 100 mm sind in Edelstahl auszuführen.

- Fühler müssen auf ihrer ganzen aktiven Länge vom Medium angeströmt werden, das heißt, sie sind gegen die Flussrichtung in einem 45°-Stutzen, einem Rohrbogen oder einem Bypassrohr einzubauen. T-Stücke oder Kreuzstücke sind in keinem Fall geeignet.
- Die Mitte des aktiven Bereichs muss im Mittelpunkt des Leitungsquerschnitts liegen.
- Rohrleitung und Stutzen der Tauchhülse müssen auf einer Länge von ± 30 cm ab Messstelle ausreichend wärmegeklärt sein. Sofern das Schutzrohr eines Fühlers aus der Tauchhülse herausragt, ist auch hier eine ausreichende Wärmedämmung erforderlich.
- Bei Kaltwasser- oder Kältemittelleitungen ist der Durchfeuchtung der Rohrdämmung infolge Kondensation entgegenzuwirken. Aus diesem Grund müssen Tauchhülsen innerhalb der Wärmedämmung mit einem Kunststoffnippel verlängert werden; die Unterbrechung der Dampfsperre im Bereich der Durchführung ist durch Abdichtung zu beseitigen.
- Nach Mischung zweier Flüssigkeitsströme mit unterschiedlichen Temperaturen darf die Entfernung zum Messort das Fünffache des Rohrleitungsdurchmessers nicht unterschreiten, um Messfehler infolge Strahlenbildung zu vermeiden.
- Der Einbauort ist so zu wählen, dass ein späteres Herausziehen des Fühlers aus der Tauchhülse zu Wartungszwecken ohne Demontage von Teilen der Anlage möglich ist.

6.2.2 Messung der Temperatur von Luft und Abgasen in Kanälen und Rohrleitungen

- Der Fühler muss auf seiner gesamten aktiven Länge von Luft umströmt sein.
- Die Mitte des aktiven Bereichs muss im Mittelpunkt des Leitungsquerschnitts liegen.
- Hinter Einbauten darf die Entfernung zum Messort das Fünffache des Rohrleitungsdurchmessers nicht unterschreiten, um Messfehler infolge Strahlenbildung zu vermeiden.
- Wo Schichtungen möglich sind (z. B. nach Mischklappen oder Registern), sind übliche Stab- oder Kabelfühler zur Temperaturmessung nicht geeignet. Hier ist der Einsatz von Mittelwertfühlern zu prüfen.
- Für den Einsatz in Abgasen sind Schutzrohre aus speziellen Werkstoffen erforderlich.

6.3 Montage von Anlegefühlern

Bei der Montage von Anlegefühlern zur Messung der Temperatur von Flüssigkeiten in Rohrleitungen sind folgende Einbauhinweise zu beachten:

- Die Oberfläche der Rohrleitung muss blank sein (keine Farbe, kein Rost).
- Der Fühler muss dauerhaft fest und möglichst großflächig an der Oberfläche anliegen.
- Es ist Wärmeleitpaste unter Beachtung des Temperatureinsatzbereichs zu verwenden.
- Wärmeaustausch mit der Umgebung ist durch ausreichend dicke Wärmedämmung des Fühlers und der angrenzenden Rohrleitung auf einer Länge von ± 30 cm ab Messstelle zu minimieren.

- Die Zuleitung zum Fühler ist über eine Länge von ca. 30 cm auf der Rohrleitung entlang einer Isotherme zu verlegen.

6.4 Montage von Kapillarfühlern

In gebäudetechnischen Anlagen werden Kapillarfühler zur Messung der Lufttemperatur in Lüftungskanälen eingesetzt - entweder als Mittelwertfühler zur Messung einer repräsentativen Temperatur über einen größeren Kanalquerschnitt oder in Verbindung mit Frostschutzthermostaten. Beim Einbau sind bauformbedingt folgende Punkte zu beachten:

- Das Kapillarrohr darf nicht zu eng gebogen werden (Biegeradius > 50 mm).
- Durchführung durch Wände mittels thermisch entkoppeltem Hüllrohr.
- Befestigung im Kanal mittels geeigneter mechanische Hilfsmittel.
- Das Fühlerelement ist über seine gesamte Länge entsprechend dem Strömungsprofil über den gesamten Querschnitt des Kanals zu verteilen.
- Mindestabstand (ca. 5 cm) zwischen Wärmeaustauscher und Fühler.

Beim Einbau von Patronenfühler mit Kapillarrohr sind folgende Hinweise für die generelle Funktionsfähigkeit zu beachten:

- Der Gerätekopf ist höher als die Fühlerpatrone zu installieren.
- Die Führung des Kapillarrohrs muss vom Gerätekopf ausgehend abwärts gerichtet sein.
- Die Fühlerpatrone muss nach unten geneigt sein.

6.5 Montage von Wärmezählern

Einbau und Inbetriebnahme

Bei Einbau und Inbetriebnahme von Wärmezählern sind entsprechend [9] u.a. folgende wesentliche Anforderungen und Hinweise zu beachten:

- Durchspülen und Beseitigen von Verunreinigungen des Kreislaufes in den der Durchflusssensor eingebaut werden soll.
- Schutz des Wärmezählers vor Beschädigungen, Stöße, Schwingungen und Spannungen
- Wärmezähler mit Netzversorgung sind entsprechend der gültigen elektrischen Vorschriften anzuschließen
- Es sind Maßnahmen zu treffen um den Wärmezähler vor ungünstigen hydraulischen Einflüssen (Rückströmung, Druckstöße, u.a.) zu schützen
- Nach Einbau des Wärmezählers hat eine Kontrolle und Abnahme zu erfolgen.

Teil 3: Energiemonitoring

7 Energetische Bewertung von Gebäuden

7.1 Anwendungen

Die Anwendungsbereiche für die energetische Bewertung von Gebäuden sind vielfältig. Sie wird für verschiedene Zwecke durchgeführt, beispielsweise:

- Ermittlung von Gesamtenergiebilanz und Energieeffizienz von Gebäuden
- Bewertung der Einhaltung von Bauvorschriften oder vertraglichen Vereinbarungen in Form einer Begrenzung des Energiebedarfs oder damit zusammenhängender Größen
- Überwachung der Effizienz Haustechniksysteme

- Optimierung haustechnischer Systeme hinsichtlich Effizienz und Funktion
- Überwachung des Nutzungskomforts
- Optimierung des Nutzungskomforts
- Hilfestellung bei Planung und Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen durch Vorhersagen möglicher Energieeinsparungen.

7.2 Möglichkeiten zur Angabe der Energieeffizienz

7.2.1 Energiekennwerte:

In der Folge wird eine Übersicht unterschiedlicher Energiekennwerte mit ihren Definitionen und Systemgrenzen dargestellt:

Benennung	Definition und Anmerkungen
Energiebedarfskennwert	Auf Grundlage von Berechnungen gewichtete Netto-Endenergie, die im Gebäude für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung gebraucht wird.
Planungs-Energiebedarfskennwert	Auf Bemessungsdaten und Standard-Nutzungsbedingungen basierender Energiekennwert.
Energieklasse	leicht verständliche Einteilung zur Angabe der Energieeffizienz eines Gebäudes.
Energieeffizienzkennwert	Energiekennwert bezogen auf die konditionierte Fläche.
Energieeffizienz eines Gebäudes	berechnete oder gemessene Menge der Netto-Endenergie, die tatsächlich verbraucht oder veranschlagt wird, um den Anforderungen im Rahmen der Normnutzung gerecht zu werden.
Energiekennwert	Energieeffizienz eines Gebäudes auf der Grundlage der Summe des berechneten oder gemessenen Verbrauchs von Energieträgern.
Energieeffizienz-Verbrauchskennwert	Energieverbrauchskennwert bezogen auf die konditionierte Fläche.
Energieverbrauchskennwert	Energiekennwert auf der Grundlage der gemessenen Mengen an Endenergie und exportierter Energie.
Bezugswert	genormter, gesetzlich festgelegter oder berechneter Wert, mit dem ein Energiekennwert verglichen wird.
Standard-Energieeffizienz-Bedarfskennwert	Standard-Energiebedarfskennwert bezogen auf die konditionierte Fläche.
Standard-Energiebedarfskennwert	rechnerischer Energiekennwert auf der Grundlage der tatsächlichen Gebäudedaten und Standard-Nutzungsbedingungen
Angepasster Energiebedarfskennwert	rechnerischer Energiekennwert auf der Grundlage tatsächlicher Gebäudedaten sowie tatsächlicher Klima- und Belegungsdaten

Tabelle 26: Definitionen Energiekennwerte (vgl. [1])

7.2.2 Energieeffizienzkennwerte der technischen Gebäudeausrüstung

Hinsichtlich Überprüfung und Optimierung des Energieverbrauchs der technischen Gebäudeausrüstung sind Teil-Energieeffizienzkennwerte der technischen Gebäudeausrüstung zu ermitteln bzw. erfassen. Hierunter fallen:

- Heizsysteme
- Trinkwarmwasserbereitungssysteme
- Klimatisierungssysteme
- Lüftungssysteme
- Beleuchtungssysteme

Der Energieeffizienzkennwert für gebäudetechnische Anlagen entspricht dem Verhältnis zwischen dem Energiebedarf und dem Anteil nicht erneuerbarer Primärenergie. Beispielsweise ist für Erzeugung von Wärme und Verteilung von Wärme die Effizienz des Systems als das Verhältnis der Energieabgabe (Nutzenergie) zur Energieaufnahme (Energiebedarf) definiert.

Um die Energieaufnahme, die Energieabgabe und den Anteil nicht erneuerbarer Primärenergie zu bestimmen und die Verluste der gemeinsamen Teilsysteme an die zugehörigen Anlagen zu übertragen sind gemäß [1] u.a. folgende Punkte zu beachten. Die Übertragung von Verlusten (z. B. Gutschriften für Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen) können auch gesondert behandelt werden.

- die Betrachtung erfolgt ausgehend vom Bedarfszweck hin zur Primärenergie
- Energieversorgungsarten werden getrennt berücksichtigt
- Innerhalb der Systeme werden Wärmeenergie und elektrische Energie getrennt betrachtet
- für Erzeugungssysteme wird der Anteil des jeweiligen Energieträgers den einzelnen Energienutzungen entsprechend ihres Anteils zugeordnet
- zur Berechnung der Energiekennwerte wird der Anteil jedes Energieträgers mit dem zugehörigen Umrechnungsfaktor (Primärenergie, CO₂, usw.) multipliziert.

7.3 Berechnung der Energieeffizienz

7.3.1 Bilanz elektrische Energie

Die Bilanz der elektrischen Energie ermöglicht die getrennte Berücksichtigung von vor Ort erzeugter Elektrizität:

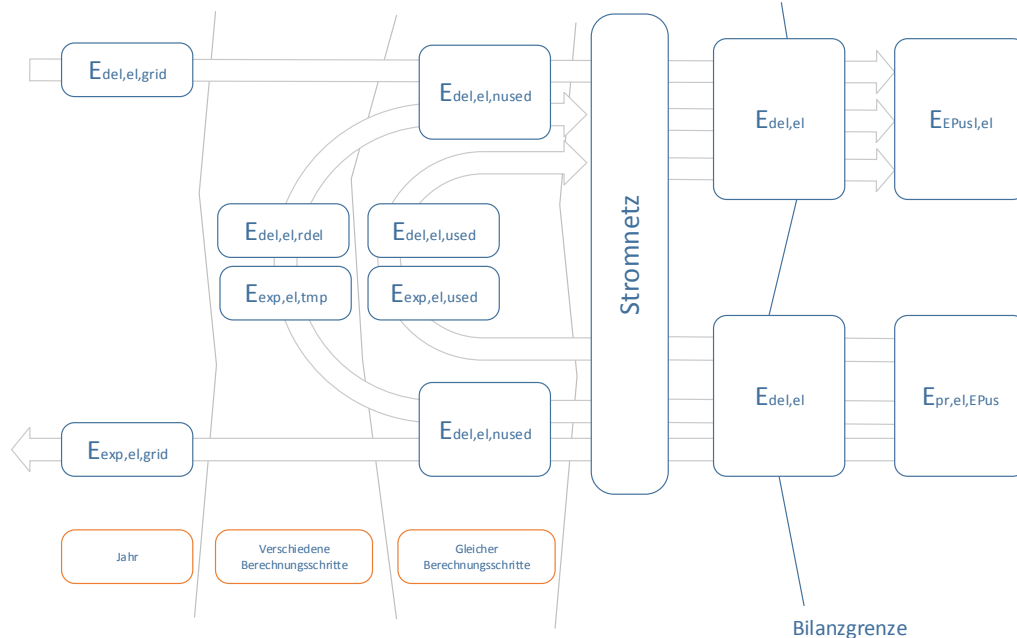


Abbildung 11: Referenzdiagramm für Elektrizitätsbilanz (vgl. [1] Abb13)

Benennung	Definition und Anmerkungen
$E_{exp,el,used}$	elektrische Energie, die durch die technische Gebäudeausrüstung wie $E_{del,el,used}$ im gleichen Berechnungszeitschritt verbraucht wird
$E_{exp,el,tmp}$	elektrische Energie, die vorübergehend exportiert und anschließend in einem anderen Berechnungszeitschritt durch die technische Gebäudeausrüstung als $E_{del,el,r,rdel}$ verbraucht wird
$E_{exp,el,grid}$	elektrische Energie, die nicht durch die technische Gebäudeausrüstung verbraucht wird
$E_{pr,el,EPus,t}$	vor Ort im Berechnungsschritt t erzeugte elektrische Energie, die für das betrachtete gebäudetechnische System zur Verfügung steht
$E_{EPus,el,t}$	elektrische Energie, die im Berechnungsschritt t durch die technischen Systeme verbraucht wird
$E_{del,el,nused,t}$	elektrische Energie, die zusätzlich zur erzeugten Energie durch die technischen Anlagen benötigt wird und im Berechnungsschritt t vom Stromnetz bezogen werden muss
$E_{exp,el,nused,t}$	vor Ort erzeugte elektrische Energie, die zusätzlich zu der im Berechnungsschritt t verbrauchten Energie erzeugt wird

Benennung	Definition und Anmerkungen
$E_{exp,el,used,t}$	die vor Ort erzeugte Elektrizität, die von den technischen Systemen im Berechnungsschritt verbraucht wird und dem kleineren der beiden Werte $E_{pr,el;EPus,t}$ und $E_{EPus,el,t}$ entspricht
$E_{exp,tmp,t}$	die vor Ort erzeugte Elektrizität, die in einem Berechnungsschritt ins Stromnetz exportiert wird und in einem anderen Berechnungsschritt als der Erzeugung durch technische Systeme als $E_{del,el;rdel,t}$ verbraucht wird
$E_{exp,el;grid;an}$	die in der energetischen Bewertung zu berücksichtigende Elektrizität, die den jährlichen Bedarf für die technische Gebäudeausrüstung übersteigt und jährlich an das Stromnetz exportiert wird
$E_{del,el,grid,an}$	die jährlich vom Stromnetz bezogene elektrische Energie

Tabelle 27: Elektrizitätsbilanz (vgl. [1])

Die vor Ort erzeugte elektrische Energie $E_{pr,el;EPus,t}$ ist vorrangig für die technische Gebäudeausrüstung als $E_{exp,el,used,t}$ zu verwenden.

7.3.2 Berechnungsverfahren

Verfahren der zur Berechnung der Primärenergie benötigte jährlich gelieferte und/oder exportierte Elektrizität wird beispielsweise in der [1] in Kap. 11.3.2 beschrieben.

7.3.3 Wärmebedarf des Gebäudes und exportierte Wärme

Wärmebedarf des Gebäudes, Wärmeübertragung des Gebäudes sowie Wärmegewinne und rückgewinnbare Wärmeverluste des Gebäudes werden wie folgt angegeben

Benennung	Definition und Anmerkungen
$Q_{H,nd}$	Energiebedarf für Raumheizung (ohne Befeuchtung)
$Q_{C,nd}$	Energiebedarf für Raumkühlung (ohne Entfeuchtung)
$Q_{W,nd}$	Energiebedarf für Trinkwarmwasser
$Q_{H,hat}$	Transmissions- und Lüftungswärmetransfer des Gebäudes im Heizbetrieb
$Q_{C,hat}$	Transmissions- und Lüftungswärmetransfer des Gebäudes im Kühlbetrieb
$Q_{H,gn}$	innere und solare Wärmegewinne des Gebäudes im Heizbetrieb
$Q_{C,gn}$	innere und solare Wärmegewinne des Gebäudes im Kühlbetrieb
$Q_{H,ls,rbl}$	rückgewinnbare Wärmeverluste der gebäudetechnischen Anlagen im Heizbetrieb
$Q_{C,ls,rbl}$	rückgewinnbare Wärmeverluste der gebäudetechnischen Anlagen im Kühlbetrieb
$Q_{H,hum,nd}$	Wärmeenergie für Befeuchtung
$Q_{C,dhum,nd}$	Wärmeenergie für Entfeuchtung

Tabelle 28: Wärmebedarf des Gebäudes (vgl. [1])

Die Wirkung des Energieverbrauchs für Wärmeerzeugung oder Export von Wärmeenergie, die nicht in der Berechnung der Energieeffizienz berücksichtigt werden darf, ist in der Bilanz auszugleichen.

7.3.4 Technische Gebäudeausrüstung

Systemverluste, die elektrische Energie und Hilfsenergie ohne Energieerzeugung sind nach Art der Verluste/Hilfsenergie für die technischen Systeme Heizung, Kühlung, Trinkwassererwärmung, Lüftung und Beleuchtung anzugeben. Bei Art der Verluste/Hilfsenergie kann nach elektrischer Energie, Wärmeverluste des Systems, Rückgewinnbare Wärmeverluste des Systems und Wärmezufuhr zum Verteilungssystem unterschieden werden. Wärmeverluste der Systeme, ohne Berücksichtigung der Erzeugungsvorrichtungen des Gebäudes, umfassen die Verluste durch Emission, Verteilung und Speicherung der jeweiligen Systeme.

Die Wärmeabgabe des Kühlverteilungssystems umfasst den Wärmebedarf für die Entfeuchtung. Die Wärmeabgabe des Lüftungssystems umfasst den Wärmebedarf für die Befeuchtung.

7.3.5 Betriebsbedingungen

Für alle Berechnungen sind gemeinsame Betriebsbedingungen zu verwenden.

7.3.6 Klimatische Daten

Für alle Berechnungen sind gemeinsame Klimadaten zu verwenden.

7.4 Messung der Energieeffizienz

7.4.1 Energieverbrauchskennwerte und Vergleich mit Berechnungen

Zur Bewertung der energetischen Wirksamkeit möglicher Verbesserungsmaßnahmen sowie zur Beurteilung, ob die geplanten Ziele realisiert werden konnten, ist wie in Abschnitt X beschrieben der Vergleich von Berechnung und Messung unter Berücksichtigung von Aspekten, die von den Standardannahmen für den Energiebedarfskennwert abweichen, (Korrekturen für Witterung, Belegung, Raumkomfort u.ä.) durchzuführen.

7.5 Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden

7.5.1 Gebäudekategorien

Im ersten Schritt ist festzustellen, welche Gebäudekategorien im Gebäude oder in der Gebäudeeinheit vorhanden sind; danach ist jeder Bereich des Gebäudes oder der Gebäudeeinheit einer der Kategorien (z.B. Wohngebäude, Bürogebäude, Krankenhäuser, Hotels und Restaurant u.ä.) zuzuordnen.

Im zweiten Schritt werden Teile eines Gebäudes mit unterschiedlicher Kategorie und einer Nutzfläche von geringer als ein angegebener prozentualer Anteil der angrenzenden Kategorie zugeordnet. Falls Bereiche mit unterschiedlichen Kategorien an den betreffenden Teil angrenzen, ist die Kategorie mit der größten Nutzfläche zu wählen.

7.5.2 Technische Gebäudeausrüstung

Die Bewertung des jährlichen Energiebedarfs muss die nachfolgend angeführten gebäudetechnischen Systeme einschließen, wobei der jährliche Energiebedarf zum Betrieb der technischen Gebäudeausrüstung die Hilfsenergie und die Verluste aller Systeme mit einschließt. Weitere gebäudetechnische Einrichtungen - mit optional gekennzeichnet - können berücksichtigt werden:

- Heizung
- Kühlung
- Lüftung
- Befeuchtung
- Entfeuchtung
- Trinkwarmwasser
- Beleuchtung für Nichtwohngebäude (optional)
- Außenbeleuchtung (optional)
- Geräte (optional)
- Transport von Menschen (optional)

8 Energiebilanz

8.1 Allgemeines

Nachfolgend werden Annahmen für die Energiebilanzierung für ein Gebäude getroffen. Diese Beschreibung ist allgemein gehalten, d. h., sie umfasst alle Bereiche. Vor der energetischen Bilanzierung wird ein Gebäude in Zonen unterteilt. Dabei werden jeweils jene Bereiche eines Gebäudes zu einer Zone zusammengefasst, die durch gleiche Nutzung gekennzeichnet sind und keine bedeutenden Unterschiede hinsichtlich der Art der Konditionierung und anderer Zonenkriterien aufweisen.

Wesentliche Kriterien der energetischen Bilanzierung werden nachfolgend von der Nutz- über die End- bis zur Primärenergie beschrieben. Die Bilanz wird für alle Arten der Konditionierung bzw. für alle technischen Gewerke (Heizung, Kühlung, Be- und Entlüftung, Befeuchtung, Beleuchtung und Trinkwarmwasser-Versorgung) erläutert.

Die Bilanzierung der Energieströme folgt jeweils der gleichen Vorgehensweise: Der Endenergiebedarf ergibt sich aus dem Nutzenergiebedarf des Gebäudes und den technischen Verlusten für die Übergabe, Verteilung und Speicherung und den Verlusten der Energieerzeugung für die einzelnen Konditionierungsarten. Der Primärenergiebedarf wird aus dem Endenergiebedarf bestimmt, wobei die Endenergie je nach Energieträger mit Faktoren hinsichtlich ihrer Umweltwirksamkeit bewertet wird. (vgl. [2]).

8.2 Bilanzgrenzen

8.2.1 Allgemeine Grundsätze

Gebäude, wie sie in der EU Gebäuderichtlinie von 2010 (Richtlinie 2010/31/EU) definiert werden, sollen ihren geringen Energiebedarf zu einem wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen sowie Energie, die am Standort oder in der Nähe aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird, decken. Damit ergeben sich bei der Bilanzierung unterschiedliche Möglichkeiten, die Systemgrenzen für die Energiebereitstellung zu ziehen. Allgemeine Grundsätze der Systemgrenzen der Energiebereitstellung sind in 2.2.1, Abb.1 und Tabelle 1 des ersten Teils des Leitfadens beschrieben.

Die Energiebilanz wird durch die Bilanzgrenzen definiert. Energie kann durch die Bilanzgrenze aufgenommen oder exportiert werden. Die Bilanzgrenze definiert den Ort, an dem die gelieferte und exportierte Energie bewertet wird. Innerhalb der Bilanzgrenze werden die Systemverluste explizit in der Energiebilanz berücksichtigt. Außerhalb der Bilanzgrenze werden sie im Umrechnungsfaktor für den Energieträger berücksichtigt.

Einige dieser Energieströme (z. B. Gas, Elektrizität, Fernwärme und Wasser) können mit Hilfe von Verbrauchszählern mengenmäßig bestimmt werden.

Bei aktiven Sonnen-, Wind- bzw. Wasserenergieanlagen wird die einfallende Sonnenstrahlung bzw. die kinetische Energie des Windes oder des Wassers nicht in der Energiebilanz des Gebäudes berücksichtigt.

Lediglich die durch die Erzeugungsvorrichtungen abgegebene Energie, die für die Zuführung der Energie von der Quelle (z. B. Sonnenkollektor) zum Gebäude erforderliche

Hilfsenergie und die thermischen Verluste werden in der Energiebilanz berücksichtigt. (vgl. [1])

Nach EN 15603 wird zwischen dem Gebäudestandort und außerhalb des Gebäudestandorts (nah oder fern) unterschieden. Beleuchtung, die an der Außenseite der Gebäudehülle angebracht wird, wird bei der Berechnung der Energieeffizienz nicht berücksichtigt.

Umrechnungsfaktoren für Primärenergie werden für jeden Energiestrom, der durch die Bilanzgrenze hindurch geliefert oder exportiert wird, unter Berücksichtigung der Herkunft der gelieferten Energie und des Ziels der exportierten Energie definiert.

8.2.2 Konditionierter Bereich

Die Grenzen des konditionierten Bereichs gelten für die Berechnung des Energiebedarfs und für die Bereiche, auf die sich der Energieeffizienzkennwert bezieht. Nicht konditionierte Bereiche sind je nach Art, Innenraumkonditionen und Lage bei der Berechnungsmethodik sowie bei der Flächenaufstellung entsprechend zu berücksichtigen.

Für die Bewertung bestehender Gebäude wird in der Regel angenommen, dass Bereiche, die als nicht konditionierte Bereiche angesehen werden, im Kontext der energetischen Bewertung als konditionierte Bereiche gelten, wenn sie in der Praxis regelmäßig genutzt werden. Wird ein unbeheizter Bereich als konditionierter Bereich angesehen, so gilt er als solcher für die gesamte Bewertung (Heizung, Kühlung, Beleuchtung, u. ä.).

8.2.3 Gebäudestandort

Im Falle von Grundstücken mit mehreren Gebäuden bezieht sich die Bilanzgrenze auf das zu bewertende Objekt (z. B. Gebäude, Gebäudeeinheit). Falls auf dem Grundstück mehrere Gebäude durch die dem Grundstück zugehörigen Energieanlagen versorgt werden, aber getrennt bewertet werden, werden die Systemverluste dennoch explizit berücksichtigt, jedoch abhängig von der Energie, die an die verschiedenen Gebäude geliefert wird, aufgeteilt.

8.2.4 Außerhalb des Gebäudestandorts

Die Grundstücksgrenzen gelten für den Energieträger und die gelieferte und exportierte Energie, die nach den Primärenergiefaktoren gewichtet werden. Außerhalb der Bilanzgrenzen wird zwischen „nahe“ und „fern“ unterschieden.

Als „nahe“ wird eine Energiequelle bezeichnet, die nur örtlich oder in der Gegend benutzt werden kann und für die besondere Einrichtungen benötigt werden, um sie mit dem zu bewertenden Gebäude oder der zu bewertenden Gebäudeeinheit zu verbinden (z. B. Fernheizung oder -kälte). Als „fern“ werden alle anderen Energiequellen bezeichnet, die nicht unter die vorstehende Definition fallen.

8.2.5 Zeitschritte

Die Bilanzierung des End- oder Primärenergiebedarfs erfolgt für den Zeitraum eines Jahres. Die Bilanzanteile können in kleineren Zeitschritten, z. B. tages- oder monatsweise, bestimmt werden. (vgl. [2])

8.3 Zonierung

8.3.1 Zonierung des Gebäudes

Vor der energetischen Bilanzierung ist das Gebäude in Zonen zu teilen. Für jede Zone sind alle relevanten Energiekennwerte zu bestimmen. Wichtigstes Merkmal einer Zone ist die gleiche Nutzung und gleiche Art der Konditionierung aller in ihr enthaltenen Räume. (vgl. [2])

8.3.2 Bestimmung der Nutzenergie je Zone

Der Nutzenergiebedarf (für Heizung, Kühlung bzw. Klimatisierung, mechanische Be- und Entlüftung, Befeuchtung, Beleuchtung und Trinkwarmwasserversorgung) ist für jede Zone eines Gebäudes anschließend getrennt zu bestimmen. (vgl. [2])

8.3.3 Bestimmung der Nutzenergie für Heizung und Kühlung

Der Nutzenergiebedarf für Heizung und Kühlung (Heizwärmebedarf, Kühlbedarf) wird in einem iterativen Verfahren bestimmt. Da zur Bestimmung der Nutzenergie allen Wärmequellen alle Wärmesenken gegenübergestellt werden müssen, sind diese zunächst vollständig zu berechnen. Die Höhe der Wärmequellen und Wärmesenken hängt u. a. von baulichen Gegebenheiten und von der Nutzung ab. Die meisten Bilanzanteile können einmalig ohne Iteration ermittelt werden (z. B. innere Wärmequellen aus Personen, Transmission, Lüftung, solare Wärmequellen usw.). Die anlagentechnisch bedingten Wärmequellen und Wärmesenken (z. B. Wärmeeinträge aus Heizungsverteilleitungen) sind jedoch von der Nutzenergie selbst abhängig. Da die Nutzenergie aber erst das Ziel der Gegenüberstellung von Wärmequellen und Wärmesenken ist, erfolgt eine Iteration (vgl. [1]).

8.3.4 Bestimmung der technischen Verluste, der End- und Primärenergien

Für die Bestimmung der technischen Verluste, der End- und Primärenergien sind gemäß [2] folgende Schritte erforderlich:

- Sind mehrere Versorgungssysteme vorhanden, wird der ermittelte Nutzenergiebedarf je Zone auf diese aufgeteilt.
- Für alle Versorgungssysteme werden die technischen Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung zum Nutzenergiebedarf addiert. Diese Energiemenge ist vom Erzeuger bereitzustellen.
- Anschließend erfolgt die Bewertung des Erzeugers. Sie umfasst die Ermittlung der Erzeugerverluste und gegebenenfalls die Berücksichtigung von regenerativen Energien.
- Abschließend erfolgen die Bestimmung der Endenergien, welche den Erzeugern zugeführt werden, und die primärenergetische Bewertung dieser Endenergien. Die End- und Primärenergiebilanzen enthalten auch die Aufwendungen für elektrische Hilfsenergien.

8.3.5 Bilanzierung der Nutzenergie

Für die Bilanzierung der Nutzenergie wird im ersten Schritt für jedes technische Gewerk der resultierende Nutzenergiebedarf anhand der Nutzungsbedingungen bestimmt:

- Nutzenergie für die Beleuchtung
- Nutzwärmebedarf (Heizwärmebedarf)
- Nutzkältebedarf (Kühlbedarf)
- Nutzenergie für die Luftaufbereitung
- Nutzenergie für die Trinkwarmwasserbereitung

Bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen werden der berechnete Nutzwärme- und Nutzkältebedarf in der Gebäudezone je nach Art des Anlagensystems verschiedenen Komponenten des Heiz- und Kühlsystems zugeordnet. Nutzwärme- und Nutzkältebedarf wird somit auf mehrere Versorgungssysteme aufgeteilt.

8.4 Energieströme

Energieströme für Berechnung und Messung der Energiebilanz sind vorab zu identifizieren. Für das Gebäude sind gebäudetechnische Systeme, die am Gebäudestandort vorhanden sind und Energie an den betrachteten Bereich liefern sowie gebäudetechnische Systeme, die am Gebäudestandort vorhanden sind und Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugen, zu berücksichtigen.

Zur Berechnung des Anteils der erneuerbaren Energie sind am Gebäudestandort gewonnene thermische Solar-Energie, freie Kühlung und freie Heizung, sowie durch Wärmepumpen gewonnene Wärme zu berücksichtigen. Weiter Fernwärme in naher Umgebung. Strom auch in großer Entfernung.

8.5 Energie aus erneuerbaren Energiequellen

Energie aus erneuerbaren Quellen betrifft gebäudetechnische Systeme, die am Gebäudestandort vorhanden sind und Energie an den betrachteten Bereich liefern sowie gebäudetechnische Systeme, die am Gebäudestandort vorhanden sind und Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugen.

9 Dokumentation zur energetischen Bewertung

9.1 Ergebnisdarstellung

9.1.1 Berichtsform

Berichte zur energetischen Bewertung von Gebäuden sollten folgende Angaben beinhalten:

Benennung/Themenbereich	Erforderliche Angaben
Allgemeine Angaben:	<ul style="list-style-type: none"> • Verweis auf die Norm, auf die Bezug genommen wird • Zweck des Energiekennwertes • Beschreibung von Gebäude, Standort, Nutzung, technischer Ausrüstung und Belegung • Art des Kennwertes • Mindestangaben für Energiebedarfs- und den Energieverbrauchskennwert • die für den Energiebedarfskennwert eingesetzten oder bekannten Klimaparameter
für den Bedarfskennwert:	<ul style="list-style-type: none"> • der Inhalt des Berichtes nach den entsprechenden Normen • Annahmen für die Berechnung des Energiebedarfs für Trinkwarmwasserbereitung und Beleuchtung • Energiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasserbereitung und Beleuchtung • Tabelle und Grafik mit dem monatlichen Energiebedarf für Heizung und Kühlung und die mittleren monatlichen Innen- und Außentemperaturen • Balkendiagramm mit dem monatlichen Energiebedarf für Heizung, aufgeteilt in Transmissions- und Lüftungsverluste gegenüber solaren und inneren Wärmegewinnen • Balkendiagramm mit dem monatlichen Energiebedarf für Kühlung, aufgeteilt in Transmissions- und Lüftungsverluste gegenüber solaren und inneren Wärmegewinnen • Grafik der mittleren stündlichen Leistung für jeden Energieträger in Abhängigkeit von der Außentemperatur • Grafik mit stündlichen Werten für Schlüsselvariablen für vier repräsentative Wochen: Mitte des Winters, Mitte des Sommers und zwei Wochen dazwischen
für den Energieverbrauchskennwert, für jeden Energieträger	<ul style="list-style-type: none"> • Bewertungszeitraum; • das zur Bewertung des Energiebedarfs angewendete Verfahren • die verbrauchte Menge • die zur Extrapolation und zur Wetterkorrektur angewendeten Verfahren

Teil 4: Monitoring Innenraumklima

10 Einleitung

10.1 Thermischer Komfort

Die ÖNORM EN ISO 7730:2006 bestimmt Bewertungsverfahren zum thermischen Komfort, die die Wärmebilanz des Körpers als Ganzes gegenüber der Umgebung abbilden: das vorausgesagte mittlere Votum, PMV (Predicted Mean Vote) und den davon abgeleiteten vorausgesagten Prozentsatz an Unzufriedenen PPD, (Predicted Percentage of Dissatisfied). (vgl. [1]).

Für Gebäude ohne aktive Kühlung, die ausschließlich auf natürliche Kühlmaßnahmen setzen (z.B. verstärkter nächtlicher Fensterluftwechsel, verstärkter Fensterluftwechsel auch am Tag), wird für die quantitative Beurteilung der thermischen Behaglichkeit ÖNORM EN 15251 angewandt. Wesentlich am dort angewendeten adaptiven Modell ist der Ansatz, dass das Empfinden von thermischem Komfort nicht nur von klimatischen Bedingungen des Innenraums

(neben Aktivität und Kleidung) abhängen, sondern auch von den Außenbedingungen (in der Norm der gleitenden Außenlufttemperatur). Die Anpassung des Nutzers an das Raumklima durch Änderung der Bekleidungsstärke oder die Öffnung der Fenster muss möglich sein, dadurch werden deutlich wärmere Raumzustände noch als komfortabel eingeschätzt [2].

10.2 Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)

PMV ist eine auf Versuchsreihen basierende empirische Größe, die Aussagen über das thermische Behaglichkeitsempfinden im Untersuchungsgebiet ermöglicht. Da diese Größe eine Vielzahl von Einflussgrößen, wie die Luft- und Strahlungstemperatur, die Luftgeschwindigkeit, die Bekleidung sowie die Aktivität der Personen berücksichtigt, ist sie als ein summatives Behaglichkeitskriterium aufzufassen. PMV kann entsprechend der 7-stufigen Beurteilungsskala (Tabelle 30) Werte von -3 (kalt) bis +3 (heiß) annehmen, wobei 0 als thermisch neutral, also uneingeschränkt behaglich einzustufen ist. (vgl. [2])

Klimabeurteilungsskala	
+3	heiß
+2	warm
+1	etwas warm
0	neutral
-1	etwas kühl
-2	kühl
-3	kalt

Tabelle 30: Klimabeurteilungsskala (vgl. [1])

10.3 Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

Das PMV sagt die durchschnittliche Komfortbeurteilung einer großen Gruppe von Personen voraus, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind. Einzelne Urteile streuen jedoch um diesen Mittelwert und es ist nützlich, die Anzahl der Personen voraussagen zu können, die das Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden.

Der PPD ist ein Index, der eine quantitative Voraussage des Prozentsatzes der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen darstellt, die es als zu kalt oder zu warm empfinden und nach der 7-stufigen Klimabeurteilungsskala in Tabelle 1 entweder mit heiß, warm, kühl oder kalt urteilen. [1]

11 Lokale thermische Behaglichkeit – retrospektive Betrachtung

11.1 Allgemeines

Werden Raumklimaparameter und Energieverbrauch in kurzen Zeitintervallen erhoben und stehen diese online zu Verfügung, können durch geeignete Regelung und Steuerung - beispielsweise des Luftvolumenstroms der Lüftungsanlage oder der Vorlauftemperatur der Heizungsanlage - der Komfort für die Nutzer positiv beeinflusst werden. Durch prädiktive Regelungen - beispielsweise in Abstimmung mit der Wettervorhersage - lassen sich, neben einer Komforterrhöhung auch erhebliche Energieeinsparungen realisieren.

11.2 Methodik

Retrospektiv kann aus gemessenen Daten (Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte), abgeleiteten Größen (aus Messgrößen berechnete Größen, wie z.B. Oberflächentemperatur) ein warmes und kaltes Unbehaglichkeitsempfinden, des Körpers, ausgedrückt durch PMV (Abbildung 13) und PPD-Index (Abbildung 14), berechnet und zur Beurteilung des tatsächlichen Komforts herangezogen werden.

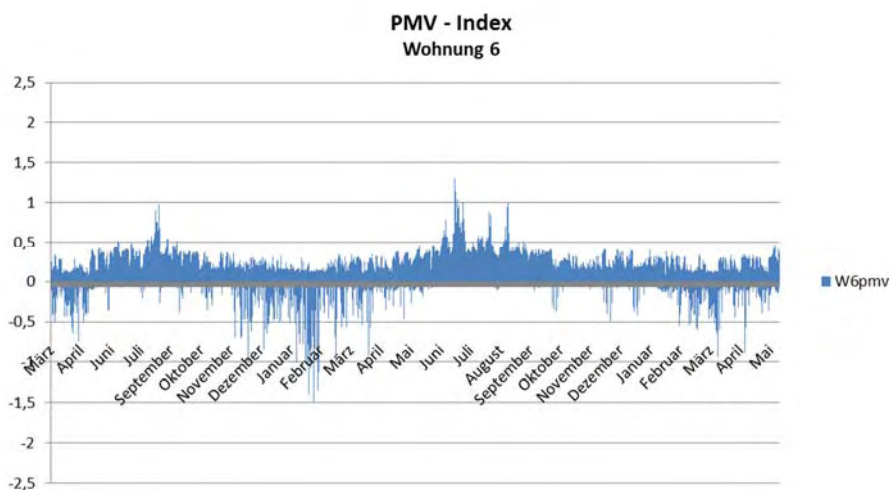


Abbildung 13: Auf Basis von Messdaten berechneter PMV - Index

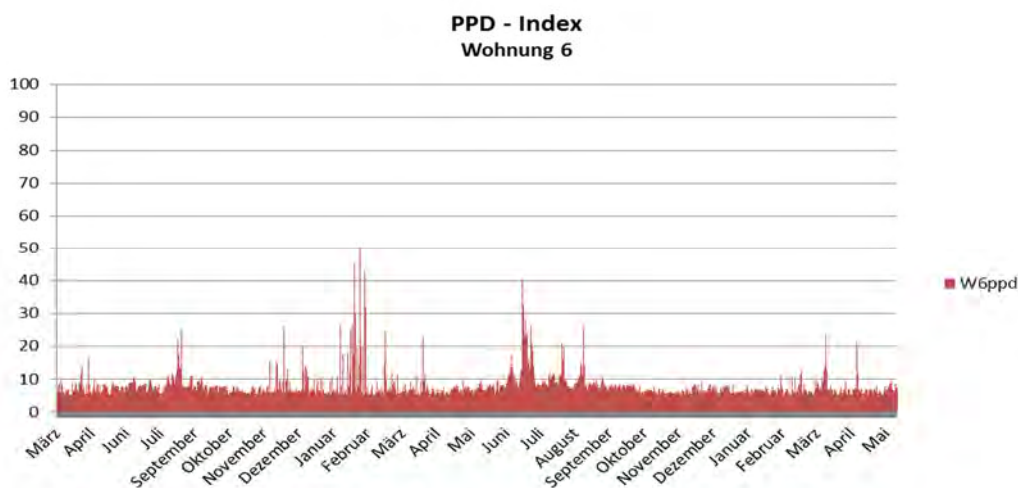


Abbildung 14: Auf Basis von Messdaten berechneter PPD - Index

11.3 Lokale thermische Behaglichkeit

Aus den gemessenen Daten (Raumlufthtemperatur, Raumluftfeuchte) und daraus abgeleiteten Größen (z.B. Oberflächentemperatur) lassen sich ein warmes und kaltes Unbehaglichkeitsempfinden des Körpers berechnen, und ausgedrückt durch PMV- und PPD-Index, zur Beurteilung des tatsächlichen Komforts heranziehen.

Für die Beurteilung der Ergebnisse ist neben der Kenntnis der räumlichen Situation und der technischen Ausrüstung, z.B. die Art der Lüftung der einzelnen Räume von essenzieller Bedeutung.

11.4 Darstellungsform

Je nach Fragestellung sind unterschiedliche Darstellungsformen für die Beurteilung zielführend. Eine Darstellung der Rohdaten Temperatur, relative Luftfeuchte und CO₂-Konzentration im zeitlichen Verlauf ist hinsichtlich thermischer Behaglichkeit schwer beurteilbar. Auch eine Darstellung der Raumtemperatur über der Außenlufttemperatur (wie bei [3]) zur Darstellung des thermischen Komforts ist schwer lesbar bzw. interpretierbar.

Bereits eine geringe Aufbereitung der Daten, erhöht die Aussagekraft. Werden mit Hilfe der Rohdaten entsprechend [1] PMV- und PPD-Index berechnet, kann die Lesbarkeit weiter verbessert und eine qualitative wie auch quantitative Aussage hinsichtlich des Komforts getroffen werden.

Teil 4: Monitoring Innenraumklima

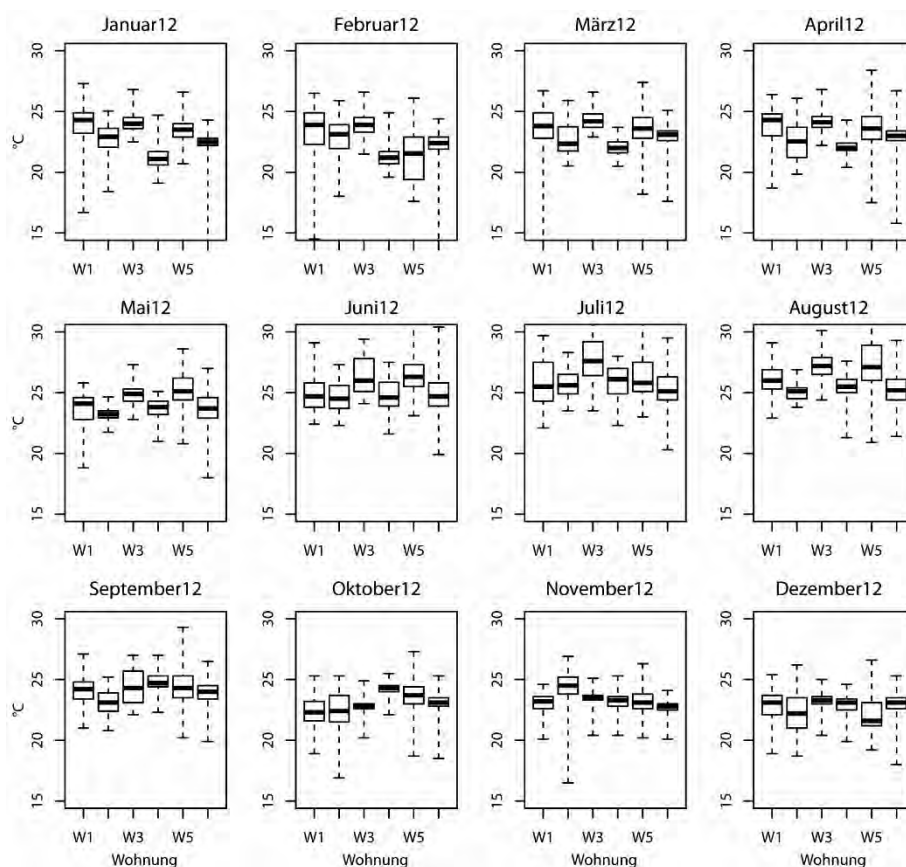


Abbildung 15: Temperatur Raumlft in den Monaten des Jahres 2012, Vergleich gemessener Wohnungen

In Abbildung 15 sind die tabellarischen dokumentierten Rohdaten (hier Innenraumluft-Temperatur) statistisch aufbereitet für einzelne Monate dargestellt. Zur direkten Vergleichbarkeit der Daten wurden die beobachteten Wohnungen jeweils in einem Diagramm dargestellt. Für die Beurteilung der

Rohdaten bzw. der daraus abgeleiteten Größen (PMV- und PPD-Index) sinnvoll. Dadurch können neben qualitativen Aussagen auch quantitative Schlussfolgerungen gezogen werden.

11.5 Betrachtungszeitraum

Je nach Fragestellung sind unterschiedliche Betrachtungszeiträume für die Beurteilung zielführend. Während für eine grobe Abschätzung der Gesamtsituation die Abbildung des gesamten Betrachtungszeitraums (Abbildung 16) ausreichend bzw. zielführend sein kann, ist für eine detaillierte Analyse, Beurteilung und Optimierung eine Darstellung in kleineren Zeitschritten, beispielsweise auf Monatsbasis (Abbildung 17) erforderlich.

Teil 4: Monitoring Innenraumklima

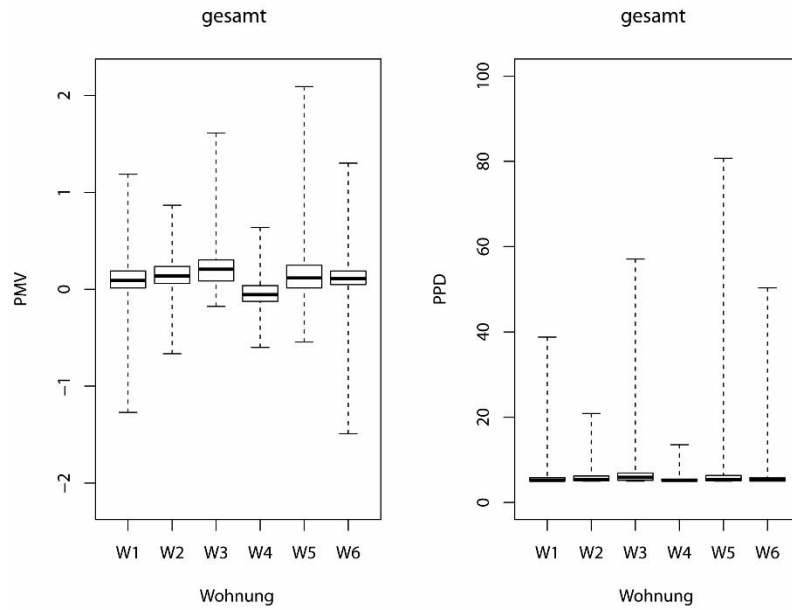


Abbildung 16: PMV¹, PPD² gesamter Betrachtungszeitraum, Vergleich der gemessenen Wohnungen

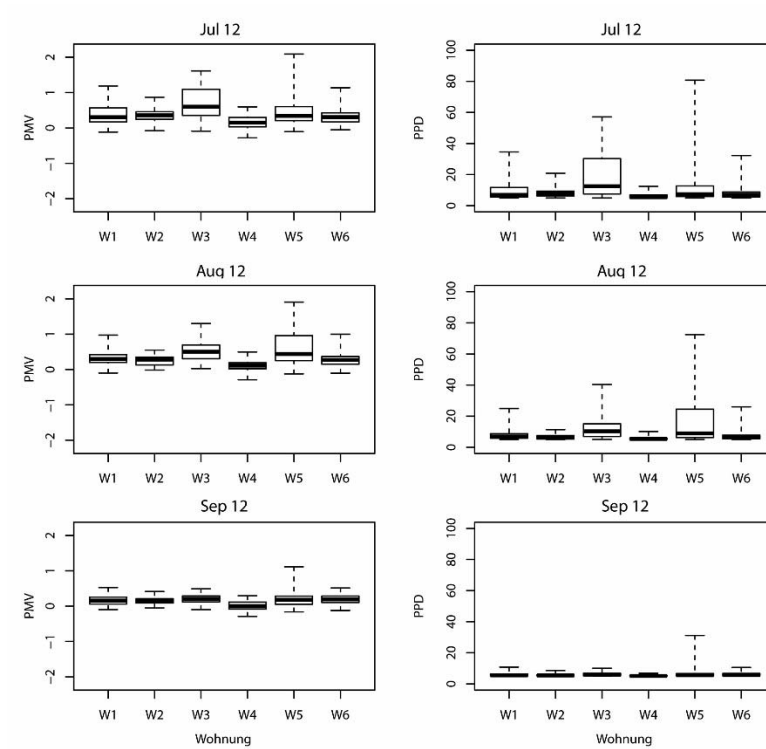


Abbildung 17: PMV¹, PPD² Betrachtungszeitraum, Juli, August, September, Vergleich der gemessenen Wohnungen

12 Lokale thermische Behaglichkeit – Insitu-Verfahren

12.1 Komfort-Beurteilung vor Ort

Für die Bestimmung der thermischen Behaglichkeit vor Ort stehen Multifunktions-Messgeräte zur Verfügung, die auf

Basis der ermittelten Messgrößen (u.a. Raumluftgeschwindigkeit, Raumluftfeuchte, Raumlufttemperatur, Abbildung 20 bis Abbildung 22) PMV- und PPD-Index berechnen (Abbildung 18 und Abbildung 19).

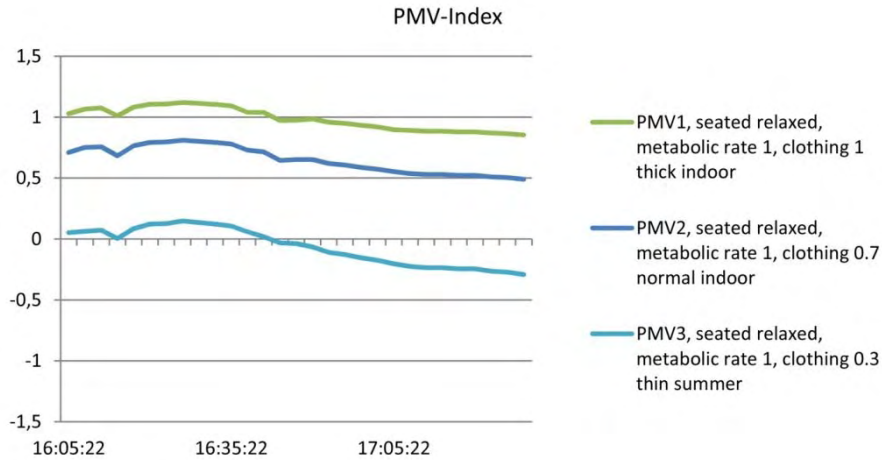


Abbildung 18: Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV-Index mittels Swema ISO 7730 Mess-System

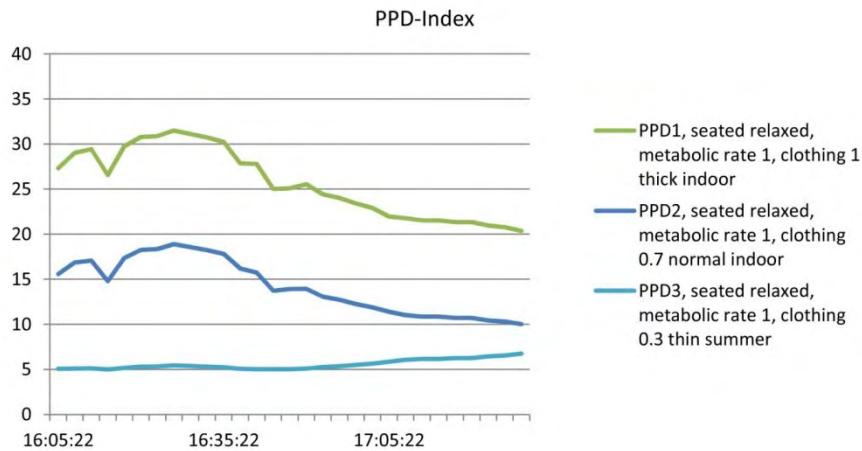


Abbildung 19: Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PPD-Index mittels Swema ISO 7730 Mess-System



Abbildung 20: Messung Luftgeschwindigkeit [m/s], Sensor Swema 03+, Swema ISO 7730 Mess-System

Teil 4: Monitoring Innenraumklima

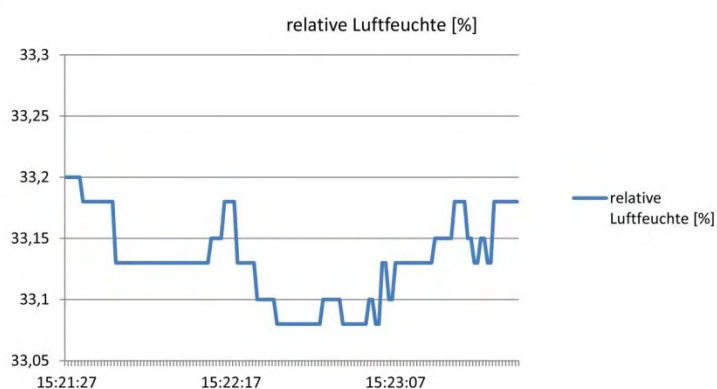


Abbildung 21: Messung relative Luftfeuchte [%], Sensor Hygroclip Rotronic HC-2, Swema ISO 7730 Mess-System

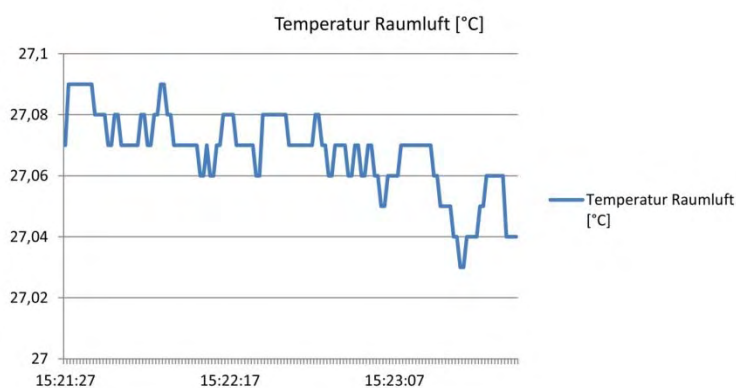


Abbildung 22: Messung Temperatur Raumluft [°C], Sensor Hygroclip Rotronic HC-2, Swema ISO 7730 Mess-System

12.1.1 ¹⁾ Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)

PMV ist eine auf Versuchsreihen basierende empirische Größe, die Aussagen über das thermische Behaglichkeitsempfinden im Untersuchungsgebiet ermöglicht. Da diese Größe eine Vielzahl von Einflussgrößen, wie die Luft- und Strahlungstemperatur, die Luftgeschwindigkeit, die Bekleidung sowie die Aktivität der Personen berücksichtigt, ist sie als ein summatives Behaglichkeitskriterium aufzufassen. PMV kann entsprechend der 7-stufigen Beurteilungsskala Werte von -3 (kalt) bis +3 (heiß) annehmen, wobei 0 als thermisch neutral, also uneingeschränkt behaglich einzustufen ist. (vgl. [2])

12.1.2 ²⁾ Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

Das PMV sagt die durchschnittliche Komfortbeurteilung einer großen Gruppe von Personen voraus, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind. Einzelne Urteile streuen jedoch um diesen Mittelwert und es ist nützlich, die Anzahl

der Personen voraussagen zu können, die das Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden.

Der PPD ist ein Index, der eine quantitative Voraussage des Prozentsatzes der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen darstellt, die es als zu kalt oder zu warm empfinden und nach der 7-stufigen Klimabeurteilungsskala in Tabelle 1 entweder mit heiß, warm, kühl oder kalt urteilen. [1]

12.2 Gegenüberstellung Berechnung und Messung – Komfort

Wird bei der Komfort-Messung ein hoher Diskomfort festgestellt kann mittels Simulationen das thermische Raumverhalten detailliert analysiert und Verbesserungs-Maßnahmen (z.B. hinsichtlich Wärmeabgabe und Verteilung im Raum) auf Ihre Wirksamkeit hin untersucht werden. Abbildung 23 bis Abbildung 26 zeigt die Analyse eines Wohnraums.

Teil 4: Monitoring Innenraumklima

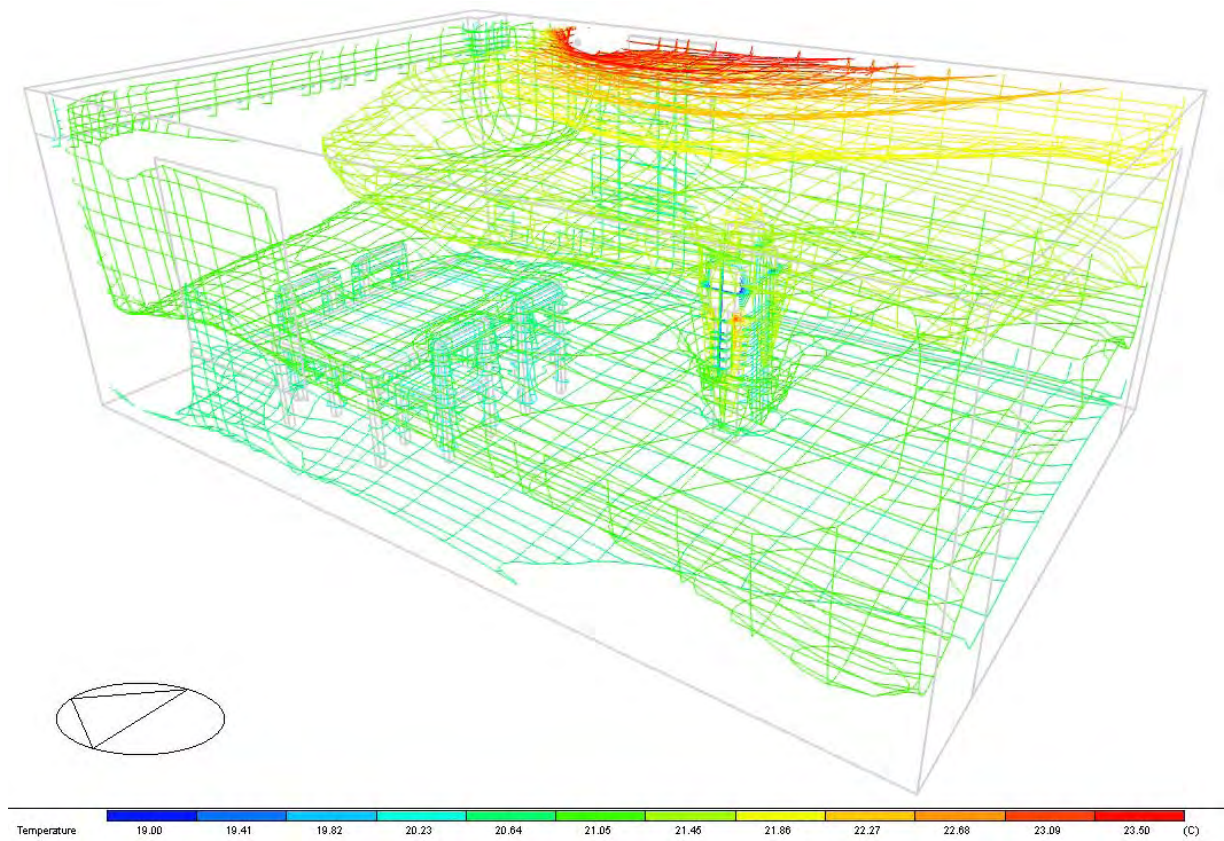


Abbildung 23: Konturen Isothermen Lufttemperatur, Skala 19-23,5°; Berechnung und Darstellung Softwarepaket Design Builder

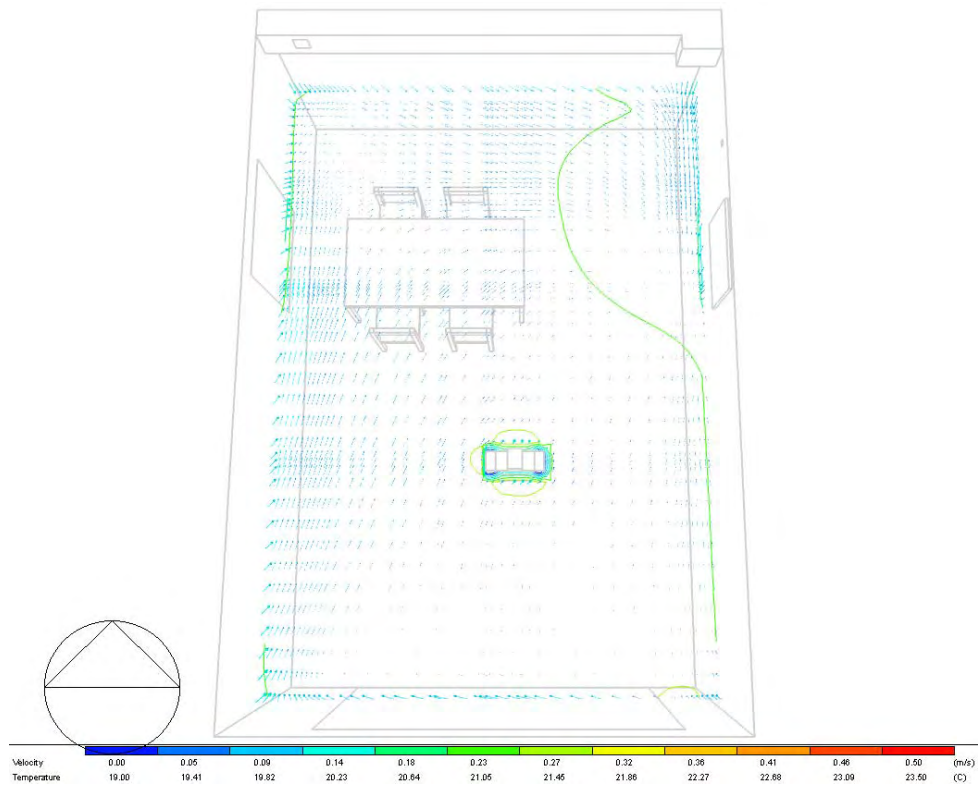


Abbildung 24: Luftgeschwindigkeit (Pfeile) und Lufttemperatur Schnitthöhe 1,25 m, Skala 19-23,5°C; Berechnung und Darstellung Softwarepaket Design Builder

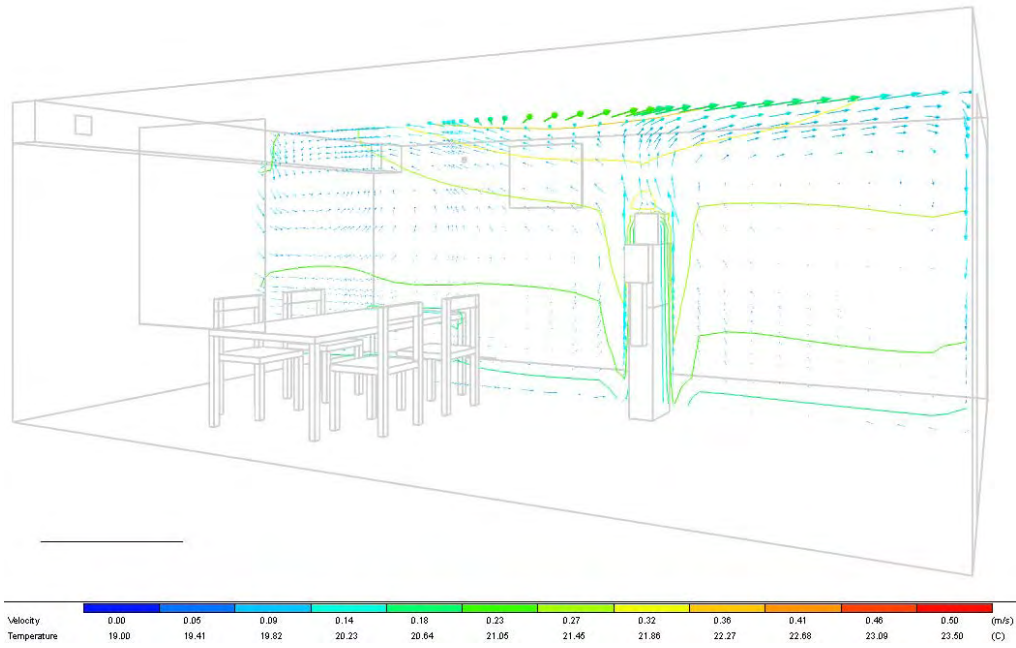


Abbildung 25: Luftgeschwindigkeit (Pfeile) und Lufttemperatur Schnitt vertikal, Skala 19-23,5°C; Berechnung und Darstellung Softwarepaket Design Builder

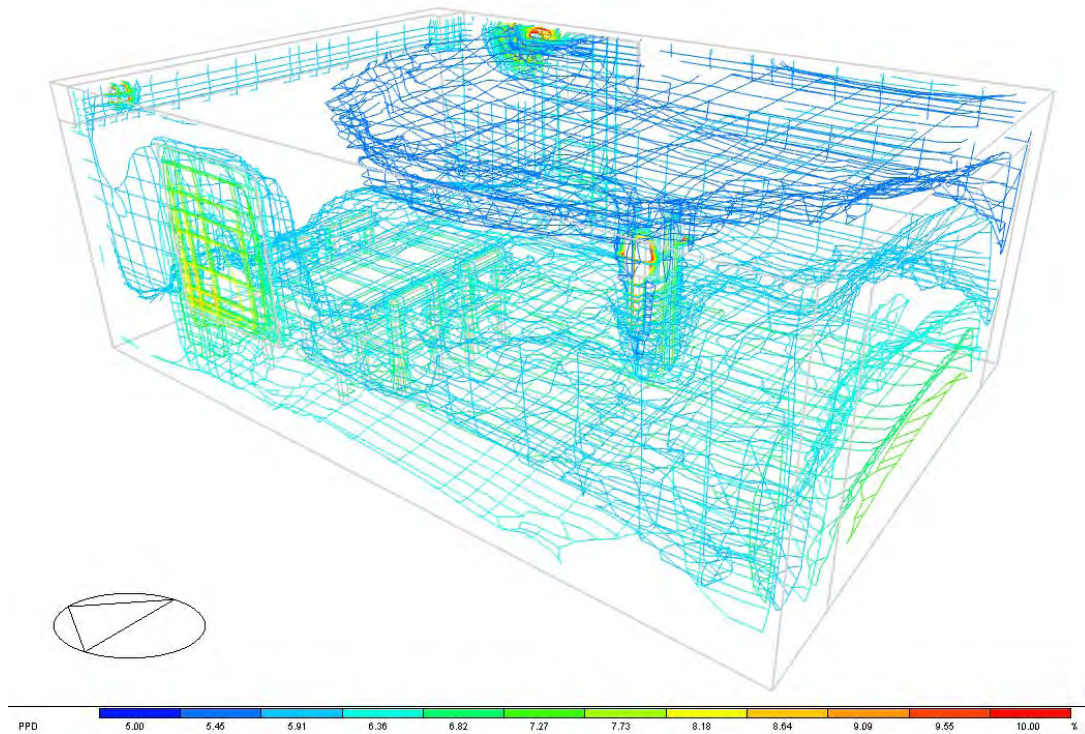


Abbildung 26: Konturen PPD-Index, Skala 5-10 %; Berechnung und Darstellung Softwarepaket Design Builder

Systeme der Wärmebereitstellung und Lüftung können ebenso wie die klimatischen und baulichen Randbedingungen detailliert modelliert und für einen kritischen Zeitpunkt

– beispielsweise einem kalten Wintertag – simuliert und die empfundene Temperatur sowie der lokale Komfort – gemäß EN ISO 7730 – für den gesamten Raum berechnet und dargestellt werden.

Teil 5: Rohdaten, Datenaufbereitung, Dokumentation

13 Rohdaten

13.1 Output

Quantität und Qualität der ausgegebenen Daten hängen von folgenden Faktoren ab, die im Messkonzept festgelegt wurden (siehe Teil 2 des Leitfadens, Kap. 2):

- zu erfassende Messgrößen
- Messzeitpunkte und -intervalle
- Messdauer
- Messgerät
- Lage der Messpunkte

In Teil 3 und 4 finden sich Empfehlungen zu Genauigkeit, Empfindlichkeit und anderen Eigenschaften der Messgeräte für die Messung verschiedener Größen.

Je nach System werden die Daten in verschiedenen Formaten ausgegeben (z.B. txt-, csv- oder xls-Dateien) und danach für die Auswertung vorbereitet. Ziel der Auswertung ist die Angabe des vollständigen Messergebnisses (siehe Teil 6). Die zulässige Messunsicherheit wurde im Messkonzept bestimmt.

Die Nachvollziehbarkeit des gesamten Prozesses wird durch die Dokumentation gewährleistet.

13.2 Datenvolumen

Ein hoher Detaillierungsgrad ist für die Interpretation der Daten hilfreich, jedoch können die Datenmengen rasch hohe Ausmaße annehmen. Zu beachten ist, dass das Datenvolumen handhabbar bleibt. Bei diesem Aspekt ist nicht nur der Speicherplatz der Daten, sondern auch die erforderliche Bandbreite zur Übertragung sowie die damit

verbundene Leistung – welche wiederum stark auf die Einsatzdauer batteriebetriebener Systeme Einfluss hat – zu berücksichtigen.

Für manche Fragestellungen sind zwar kurze Messintervalle für die spätere Auswertung erforderlich, nicht aber dass diese ständig per Fernauslese zu Verfügung stehen. In diesen Fällen können Daten beispielsweise in einem Messintervall von einer Sekunde erfasst, im Datenlogger zwischengespeichert und einmal täglich per GSM, WLAN oder ähnlichem an die Datenbank übermittelt werden. Dadurch kann die Einsatzdauer batteriebetriebener Systeme wesentlich erhöht und dadurch erforderliche Wartungsintervalle zwecks Akkutausch reduziert werden. Werden die Messwerte im Datenlogger zwischengespeichert, können diese bei Ausfällen der Übertragung (z.B. Ausfall GSM-Netz, Internet oder Serverproblemen) – später noch abgerufen werden.

Nachteil dieser Variante ist, dass Ausfälle des Mess-Systems nicht sofort, sondern erst nach nicht erfolgter Übertragung – also zeitverzögert – bemerkt werden können.

14 Datenaufbereitung

14.1 Plausibilitätsprüfung

Daten sind stets auf Plausibilität zu prüfen. Fehler und systematische Messabweichungen (siehe Teil 6) können dadurch frühzeitig festgestellt und korrigiert werden.

14.2 Fehlstellen

Aufgrund von Ausfällen des Messsystems (Abbildungen 27, 28), aber auch durch die Wahl der Messintervalle, können zur weiteren Beurteilung Zwischenwerte für die Interpretation erforderlich sein. Es liegt in der Verantwortung des Bearbeitenden, zu beurteilen, inwieweit bei Fehlstellen oder einem Ausfall des Messsystems eine weitere Verarbeitung der Daten sinnvoll und eine Interpretation der Ergebnisse zulässig ist.



Abbildung 27: Ausfall Mess-System für 1 Woche, da der Trockenbauer bei der Applikation des Innendämmsystems die Sensoren vom Mess-System getrennt hat, um besser hantieren zu können.

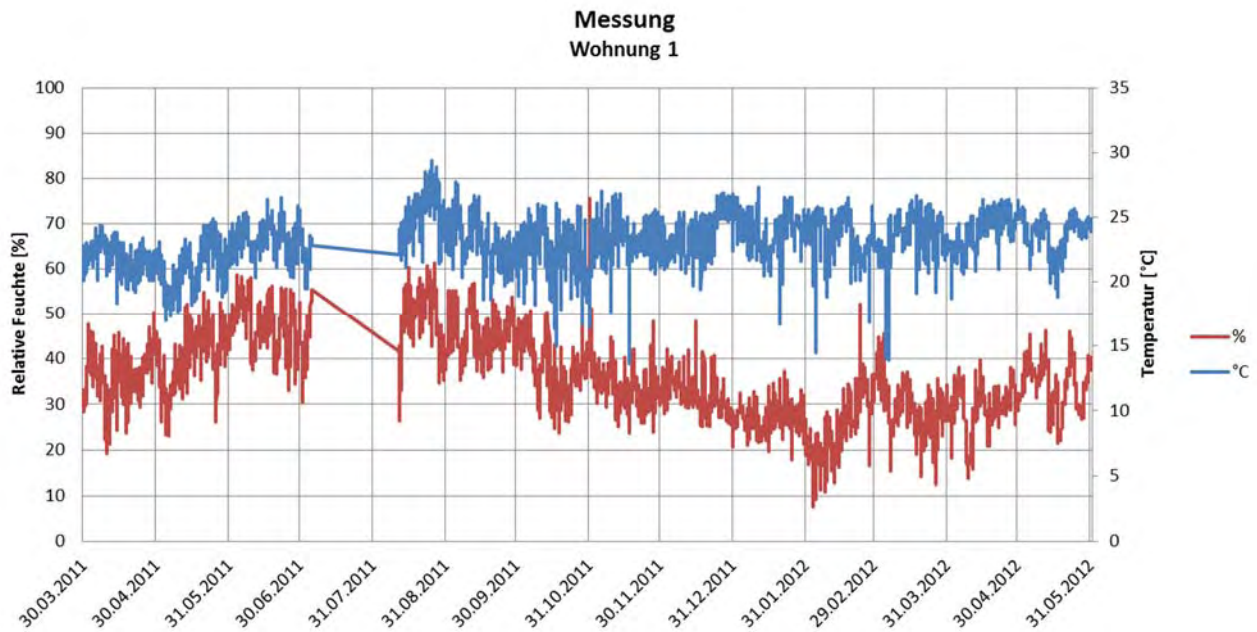


Abbildung 28: Ausfall Mess-System für 1,5 Monate auf Grund des Ausfalls der Mess-Zentrale

Aus der Mathematik stehen für die Interpolation von Daten verschiedene Verfahren zur Verfügung, die auch auf die Aufbereitung von Messdaten angewendet werden können. Hier sind Verfahren wie die Interpolation durch Polynome (z.B. lineare oder quadratische Interpolation), trigonometrische oder Spline-Interpolation zu nennen.

Zum Teil sind solche Funktionen bereits in Messdatenbanken implementiert. Statistische und mathematische Softwarepakete bieten ebenfalls geeignete Funktionen an (z.B. MATLAB-Funktion „resample“ u.ä., Abbildung 29 bis 32).

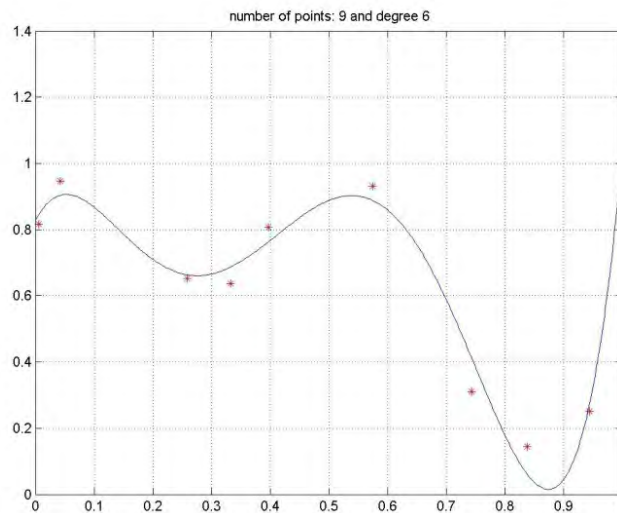


Abbildung 29: Polynomiale Regression, Sammlung von Plots (Quelle: Sammlung von Plots <http://www.univie.ac.at/NuHAG/FEICOURS/ws0203/polreg1.jpg>, Softwarepaket MATLAB, Stand von Di., 3.Dez. 2002, HGFei)

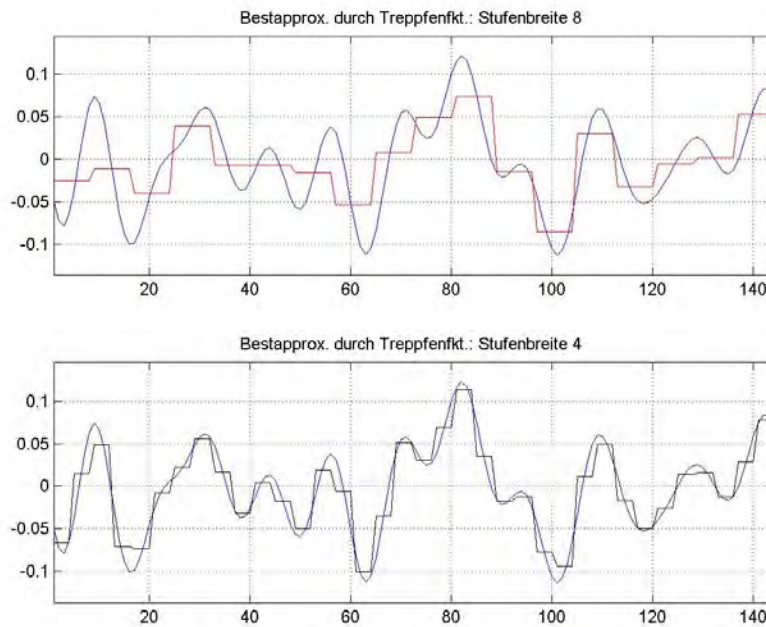


Abbildung 30: Best Approximation durch Treppenfunktion (Quelle: Sammlung von Plots <http://www.uni-vie.ac.at/NuHAG/FEICOURS/ws0203/polreg1.jpg>, Softwarepaket MATLAB, Stand von Di., 3.Dez. 2002, HGFei)

[http://www.uni-](http://www.uni-vie.ac.at/NuHAG/FEICOURS/ws0203/polreg1.jpg)

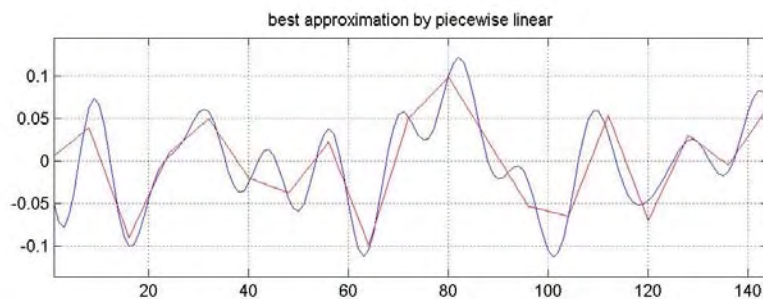


Abbildung 31: Best Approximation durch stückweise lineare Funktion (Quelle: Sammlung von Plots <http://www.uni-vie.ac.at/NuHAG/FEICOURS/ws0203/polreg1.jpg>, Softwarepaket MATLAB, Stand von Di., 3.Dez. 2002, HGFei)

[http://www.uni-](http://www.uni-vie.ac.at/NuHAG/FEICOURS/ws0203/polreg1.jpg)

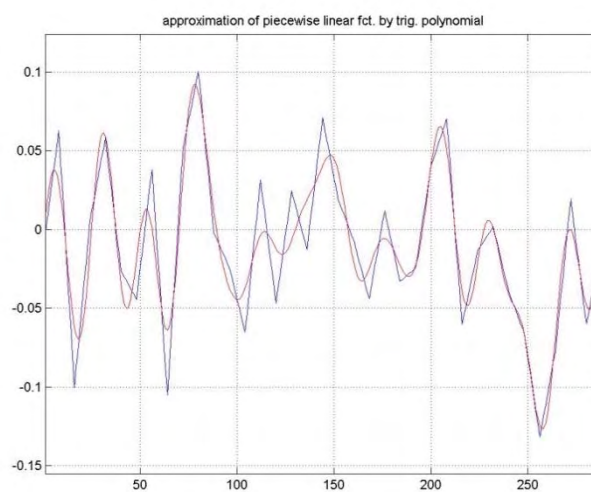


Abbildung 32: Best Approximation einer stückweise linearen Funktion durch niedrige Frequenzen

14.3 Datenreduktion, Mittelwertbildung

Gerade bei großen Datensätzen mit hoher Intervalldichte ist es oft zielführend, neben den Rohdaten Stunden-, Tages- oder Monatsmittelwerte zu bilden. Dadurch kann schnell ein erster Eindruck über die Daten gewonnen werden, bevor weitere Detailanalysen erfolgen. Dabei ist stets

zu beachten, dass mit einer Datenreduktion in der Regel auch Informationen verloren gehen. Abbildung 33 bis Abbildung 35 zeigen die Unterschiede zwischen 10-Minuten-, Stunden- und Tagesmittelwerten für eine Messreihe. Das Verfahren zur Berechnung des Mittelwerts ist anzugeben (z.B. arithmetischer oder quadratischer Mittelwert oder Median).

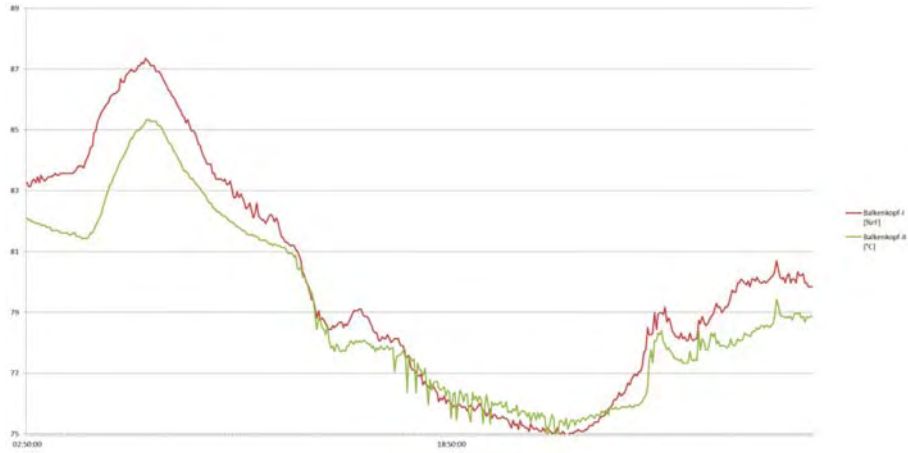


Abbildung 33: Mess- bzw. Darstellungsintervall 10 min

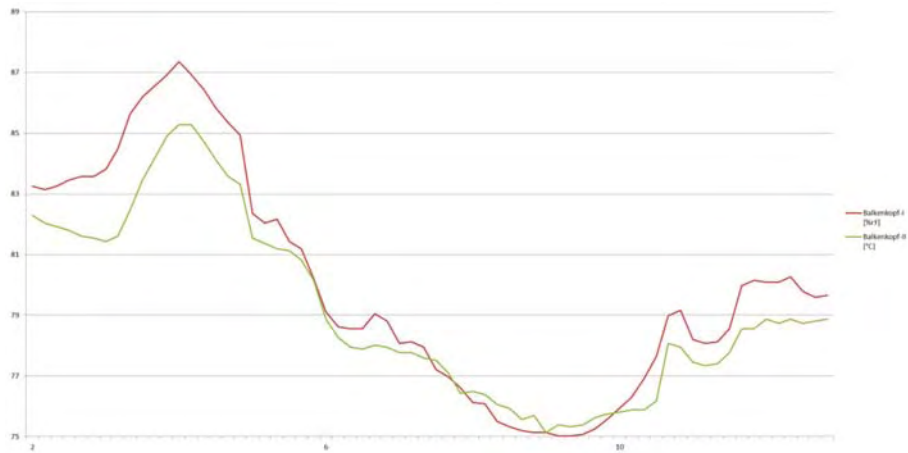


Abbildung 34: Bildung von Stundenmittelwerten

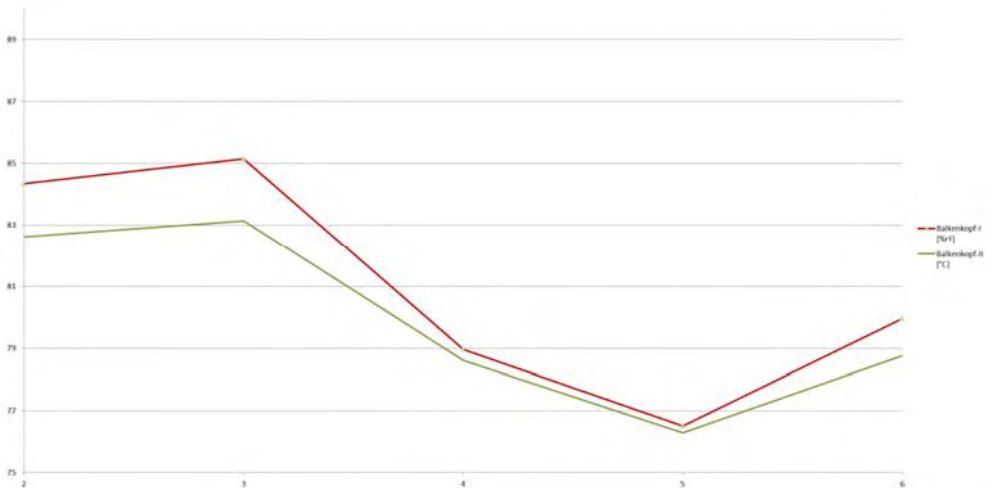


Abbildung 35: Darstellung von Tagesmittelwerten

14.4 Rundung und Umgang mit Datentypen

In Messdatenbanken und Berechnungsprogrammen können je nach Programmiersprache und Messgröße verschiedene Datentypen (z.B. Integer, Double, Float, u.ä., Beispiel siehe Tabelle 31) definiert werden. Abhängig vom

gewählten Datentyp ist die Genauigkeit, aber auch die Speicherkapazität. Gleiches gilt für die Rundung von Messwerten.

Für die Zahlenwerte des Messergebnisses und der Messunsicherheit sind die Rundungsregeln nach DIN 1319 [1] anzuwenden.

Genauigkeit von Gleitkommazahl-Typen				
	Bitanzahl n	Wertebereich von - bis		Stellen
Half	16	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^4$	3
Single	32	$1,5 \cdot 10^{-45}$	$3,4 \cdot 10^{38}$	7–8
Real	48	$2,9 \cdot 10^{-39}$	$1,7 \cdot 10^{38}$	11–12
Double	64	$5,0 \cdot 10^{-324}$	$1,7 \cdot 10^{308}$	15–16

Tabelle 31: Vergleich verschiedener Datentypen

14.5 Vorbereitung der Daten

Thematisch kann die Vorbereitung der Daten sowohl Teil 5 „Rohdaten, Datenaufbereitung, Dokumentation“ als auch Teil 6 „Daten richtig bewerten“ zugeordnet werden. In Anlehnung an die in DIN 1319 getroffene Einteilung wird diese in Teil 6 behandelt.

15 Dokumentation

Der gesamte Monitoring-Prozess ist genau zu dokumentieren. Beim Einbau der Sensoren werden folgende Informationen festgehalten:

- eindeutige Bezeichnung der Sensoren
- gemessene Größe
- Platzierung (Foto, Plan)
- Messintervalle und –dauern
- Messbereich

Spätere Phasen werden mittels Logbuch protokolliert. Wesentlich ist auch die Klärung der Zuständigkeiten für Installation und Weiterverarbeitung.

Für eine effiziente Auswertung und Dokumentation von verschiedenen Geräten (Datenlogger, Bus-Systeme, u.ä.), einer hohen Anzahl an Sensoren und kurzen Aufzeichnungsintervallen (<15min) ist eine Datenbank unumgänglich. Beispielhaft wird hier die am IBO entwickelte Datenbank vorgestellt. Es wurde eine relationale Datenbank aufgrund der Entwicklungskosten, der Sicherstellung der Datenintegrität und der Möglichkeit der Verknüpfung der Daten gewählt. So werden die Rohdaten gespeichert sowie einem Sensor zugeordnet. Die Sensoren wiederum werden zu Geräten gruppiert. Theoretisch sind die Geräte wiederum geographisch und/oder Projektweise gruppierbar.

Auf der Basis der Rohdaten werden normierte Daten gebildet. So können normierte Daten auf Stunden- oder Tageswerten gebildet werden. Dies auch, wenn keine genauen Rohdaten zur Verfügung stehen. Je nach Sensorart können zum Beispiel diverse Mittelwertalgorithmen oder Annäherungsalgorithmen zur Ermittlung eines Wertes für den fixen Zeitpunkt X zur Anwendung kommen. Folgende Funktionen werden von der Datenbank bereitgestellt:

- Dokumentation der Sensoren und Geräte, Zuordnung einer Identifikationsnummer, Festlegen der Berechnungsart, z.B. Mittelwert, Tagesdifferenz, etc. (Abbildung 36)
- Automatische Bildung von Mittelwerten (15min, Stunden, Tag)
- Datenvisualisierung von mehreren Sensoren gleichzeitig (Abbildung 37)
- Datenexport über vordefinierte oder frei wählbare Zeiträume
- Benachrichtigung bei Ausfällen von Geräten

Von großem Vorteil im Arbeitsalltag erweist sich die schnelle und einfache Datenverfügbarkeit da die Daten auf einem lokalen Server gespeichert werden und mittels Web-Interface aufgerufen werden können. Die Visualisierungsmöglichkeiten der Datenbank beschränken sich derzeit auf eine Y-Achse die jedoch in der Skalierbarkeit variiert werden kann wodurch die Interpretation für den Nutzer wesentlich vereinfacht wird. Für aufwändigere graphische Darstellungen und (statistische) Auswertungen werden Softwarepakete wie Excel, R oder Matlab herangezogen. Auch hierbei bietet die Datenbank einen entscheidenden Vorteil, da die Daten beliebiger Zeitspannen in vorab definierter Auflösung abrufbar sind.

Teil 5: Rohdaten, Datenaufbereitung, Dokumentation

Sensor Info Id	Tageswert	Gerät	Sensor Id	Name	Einheit	Berechnungsart	Extremwert kleiner	Extremwert größer	Anmerkungen	Erstellt	Erstellt Von	Bearbeitet	Bearbeitet Von
62	<input type="checkbox"/>	ibobuero	1092	[kWh]-IBO-Serverraum	kWh	Keine			Digitaler Stromzähler im Schaltschrank. Impulszähler überträgt Daten per Funk an Enderät.	04.04.2014	IBONET.rudolf	19.02.2015	IBODBSERVER.rudolf

Tageswert	<input type="checkbox"/>	Gerät	ibobuero
Sensor Id	1092	Name	[kWh]-IBO-Serverraum
Einheit	kWh	Berechnungsart	Keine
Extremwert kleiner		Extremwert größer	
Anmerkungen	Digitaler Stromzähler im Schaltschrank. Impulszähler überträgt Daten per Funk an Enderät.		

[Aktualisieren](#) [Abbrechen](#)

Abbildung 36: Dokumentation der Sensoren, IBO Datenbank

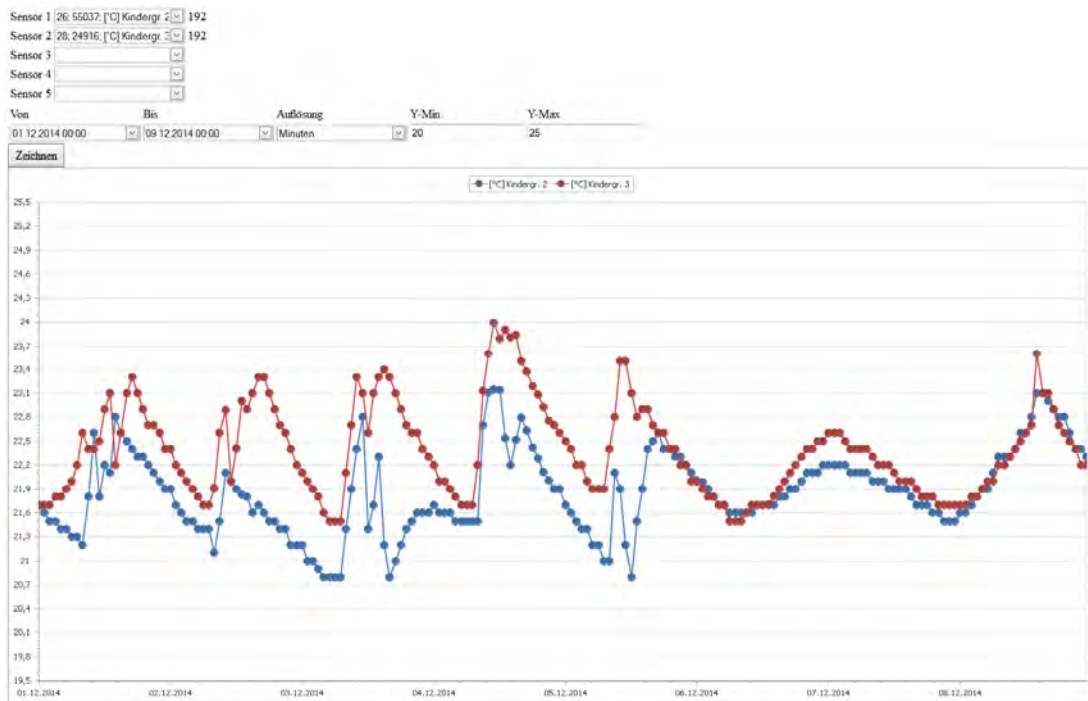


Abbildung 37: Visualisierung der Sensoren, IBO Datenbank

Teil 6: Daten richtig bewerten

16 Auswertung von Messungen

Im Teil 2 dieses Leitfadens bzw. in der DIN 1319 [1] wurde das Messergebnis als „der aus Messungen gewonnene Schätzwert für den wahren Wert einer Messgröße“ definiert. Ziel der Auswertung ist es, einen möglichst genauen Schätzwert zu finden.

16.1 Echte Fehler vermeiden

Der „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen [2]“ merkt an:

„Falsches Registrieren oder Analysieren von Daten kann eine beträchtliche unbekannte Abweichung des Messergebnisses zu Folge haben. Schwere Bearbeitungsfehler lassen sich gewöhnlich durch eine geeignete Überprüfung der Daten erkennen; leichte Fehler könnten durch zufällige

Variationen verdeckt sein oder als solche erscheinen. Maße der Unsicherheit sind nicht dafür gedacht, solche Fehler zu berücksichtigen.“

16.2 Umgang mit Messabweichungen (Fehlerrechnung)

16.2.1 Begriffe

Im Allgemeinen weicht der Messwert vom wahren Wert ab, oder wie es in [2] treffend ausgedrückt wird: „Eine Messung ist im allgemeinen mit Unvollkommenheiten verbunden, die eine Messabweichung ... im Messergebnis hervorrufen.“

Vollständiges Messergebnis = Messergebnis ± Messunsicherheit

Folgende Visualisierungen stellen die Zusammenhänge zwischen den Begriffen nach DIN 1319 [1] dar. In Tabelle 32 sind die Definitionen wiedergegeben.

Messwert		
wahrer Wert	Messabweichung	
wahrer Wert	systematische Messabweichung	zufällige Messabweichung
Erwartungswert		zufällige Messabweichung

Abbildung 38: Darstellung Messwert (falls die zufällige Messabweichung einen positiven Wert annimmt)

Die systematische Messabweichung kann in ihren bekannten und unbekanntem Anteil zerlegt werden und ist einseitig gerichtet. Die zufällige Messabweichung ist hingegen nicht gerichtet, sondern die Werte streuen um einen

„Erwartungswert“. Oft kann man die Wahrscheinlichkeitsverteilung der zufälligen Messabweichung als Normalverteilung annehmen [3]. Die Unterscheidung zwischen unbekannter systematischer Abweichung und zufälliger Abweichung ist nicht immer möglich.

Messergebnis Schätzwert für wahren Wert	Korrektur - bekannte systematische Messabweichung
Unberichtigtes Messergebnis Schätzwert für Erwartungswert	

Abbildung 39: Darstellung Messergebnis

Die Messunsicherheit ist jener Kennwert, der aus den Messungen gewonnen wird und zusammen mit dem Messergebnis zur Kennzeichnung eines Wertebereiches für den wahren Wert der Messgröße dient.

Dieser Kennwert wird nicht nur für Ergebnisgrößen betrachtet, sondern für alle bei der Auswertung von

Messungen beteiligten Größen. Die Messunsicherheit eines Paares von Messgrößen wird als gemeinsame Komponente der Messunsicherheit – im Unterschied zur individuellen Komponente der Messunsicherheit – bezeichnet. Soll betont werden, dass die Messunsicherheit durch eine Standardabweichung ausgedrückt wird, spricht man von Standard(mess)unsicherheit.

Ergebnisse von Messungen	
Ausgabe	Durch ein Messgerät oder eine Messeinrichtung bereitgestellte und in einer vorgesehenen Form ausgegebene Information über den Wert einer Messgröße.
Messwert	Wert, der zur Messgröße gehört und der Ausgabe eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung eindeutig zugeordnet ist. Der Messwert x setzt sich zusammen aus: x_w : Wahrer Wert. e_r : Zufällige Messabweichung. Sie ist nicht genau bekannt. e_s : Systematische Messabweichung. Sie ist im Allgemeinen nicht vollständig bekannt. $x = x_w + e_r + e_s$
Messergebnis	Aus Messungen gewonnener Schätzwert für den wahren Wert einer Messgröße. Grundlage für das Schätzen des wahren Wertes sind Messwerte und bekannte systematische Messabweichungen, auch bekannte physikalische Beziehungen und sonstige Kenntnisse und Erfahrungen. Wird der wahre Wert nicht durch das arithmetische Mittel berichtigter Messwerte geschätzt, sondern z.B. durch deren Median, so ist dies anzugeben.
Berichtigen	Beseitigen der im unberichtigten Messergebnis enthaltenen bekannten systematischen Messabweichung.
Korrektion	Wert, der nach algebraischer Addition zum unberichtigten Messergebnis oder zum Messwert die bekannte systematische Messabweichung ausgleicht. Abhängig von den Bedingungen bei der Messung können zu unterschiedlichen Messwerten derselben oder einer sich ändernden Messgröße unterschiedliche Korrekturen gehören.
Messabweichung	Abweichung eines aus Messungen gewonnenen und der Messgröße zugeordneten Wertes vom wahren Wert.
Zufällige Messabweichung	Abweichung des unberichtigten Messergebnisses vom Erwartungswert.
Systematische Messabweichung	Abweichung des Erwartungswertes vom wahren Wert.
Messunsicherheit	Kennwert, der aus Messungen gewonnen wird und zusammen mit dem Messergebnis zur Kennzeichnung eines Wertebereiches für den wahren Wert der Messgröße dient.
Relative Messunsicherheit	Messunsicherheit, bezogen auf den Betrag des Messergebnisses.
Vollständiges Messergebnis	Messergebnis mit quantitativen Angaben zur Genauigkeit. $x = M \pm u$ x .. vollständiges Messergebnis, M .. Messergebnis, u .. Messunsicherheit Die anzugebenden Grenzen bedeuten, dass der wahre Wert der Messgröße zwischen ihnen erwartet wird oder jeder der von ihnen eingeschlossenen Werte als wahrer Wert in Frage kommt.

Tabelle 32: Ergebnisse von Messungen nach DIN 1319 [4]

16.2.2 Ablauf der Auswertung

Die Auswertung erfolgt nach DIN 1319 [1] in vier Schritten:

- Aufstellung eines Modells
- Vorbereitung der gegebenen Messwerte und Daten
- Berechnung des vollständigen Messergebnisses
- Angabe des vollständigen Messergebnisses der Ergebnisgrößen

In Teil 2, Abschnitt 2.4, wurde zwischen

- Dynamischer Messung, bei der die Messgröße entweder zeitlich veränderlich ist, oder ihr Wert sich abhängig vom gewählten Messprinzip wesentlich aus zeitlichen Änderungen anderer Größen ergibt und
- Statischer Messung, bei der eine zeitlich unveränderliche Messgröße nach einem Messprinzip gemessen

wird, das nicht auf der zeitlichen Veränderung anderer Größen beruht

unterschieden. Wenn beim Monitoring Daten über einen längeren Zeitraum gemessen werden, kann man die Messung als dynamisch auffassen. Ein anderer Ansatz wäre, von einer mehrmaligen Messung derselben Größe zu sprechen und die Variationen der Randbedingungen als zufälligen Einfluss zu betrachten. [3]

Für alle zu verschiedenen Zeiten gemessenen Werte derselben Messgröße wird das Modell identisch sein, die Messunsicherheit kann sich aber verändern, etwa wenn eine systematische Messabweichung durch Alterung des Messgeräts auftritt.

16.2.3 Modell

Die interessierenden Messgrößen bezeichnen wir mit Y_1, \dots, Y_n . Oft können diese Ergebnisgrößen nach bekannten physikalischen oder mathematischen Zusammenhängen als Funktionen von verschiedenen Eingangsgrößen X_1, \dots, X_m dargestellt werden.

Im einfachen Fall der mehrmaligen direkten Messung einer einzigen Messgröße unter Berücksichtigung einer systematischen Messabweichung stellt sich das Modell als folgende Gleichung dar:

$$Y = X_1 - X_2 = \text{unberichtigte Ausgabe} - \text{systematische Messabweichung}$$

Für Ergebnisgrößen aus dem Energie- oder Innenraumklima-Monitoring werden wesentlich komplexere Modelle benötigt; siehe weiter unten für die Ergebnisgröße PMV.

In das Modell gehen also direkt gemessene Größen sowie Einflussgrößen ein, weiter können Ergebnisse vorangegangener Auswertungen, Größen zur Kalibrierung oder Daten aus der Literatur als Eingangsgrößen dienen.

In [1] wird die Bedeutung einer sorgfältigen Analyse aller Zusammenhänge und Einflüsse in der Messung hervorgehoben und es wird empfohlen, das Modell bereits bei der Planung zu entwickeln:

„Das Modell muss der gestellten Auswertungsaufgabe individuell angepasst sein, diese beschreiben und es erlauben, das vollständige Messergebnis für die interessierenden Messgrößen aus Messwerten und anderen verfügbaren Daten zu berechnen. Die Gleichungen des Modells müssen alle mathematischen Beziehungen umfassen, die zwischen den beiden auszuwertenden Messungen beteiligten physikalischen und anderen Größen, einschließlich der Einflussgrößen, bestehen.“

Ist das Modell unzulänglich, sind zusätzliche Eingangsgrößen einzubeziehen [5], etwa die Abweichung einer nur näherungsweise bekannten Modellfunktion. [6]

In der verallgemeinerten mathematischen Formulierung des Modells [5] müssen die Ergebnisgrößen nicht explizit als Funktionen der Eingangsgrößen gegeben sein. Das Auswertungsproblem wird stattdessen implizit als Matrixgleichung dargestellt:

Begriff	Mathematische Darstellung
Eingangsgrößen	$X = (X_1, \dots, X_m)^t$
deren Schätzwerte	$x = (x_1, \dots, x_m)^t$
Ergebnisgrößen	$Y = (Y_1, \dots, Y_n)^t$
deren Schätzwerte	$y = (y_1, \dots, y_n)^t$
Funktionen	$F_j: \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}, j = 1, \dots, n_F$
Matrix der Funktionen	$F = (F_1, \dots, F_{n_F})^t$
Gleichungen, die das Modell beschreiben	$F_j(X, Y) = 0$
Modell	$F(X, Y) = 0$

Tabelle 33: Mathematische Darstellung des Modells

Jeder Eingangs- und Ergebnisgröße wird eine Variable, ein „Schätzer“, zugeordnet. Die Eingangs- und Ergebnisgrößen sowie ihre Schätzwerte werden jeweils in einer Spaltenmatrix zusammengefasst (Schreibweise in Tabelle 33 als transponierte Zeilenmatrizen). Schlussendlich wird man das Messergebnis y als Lösung der Gleichung $F(x, y) = 0$ berechnen.

Die Anzahl der Gleichungen n_F muss größer oder gleich der Anzahl der Ergebnisgrößen n sein – ansonsten ist das Auswertungsproblem unterbestimmt und besitzt im Allgemeinen keine eindeutige Lösung. Gilt $n_F > n$, ist das Gleichungssystem überbestimmt und eine Ausgleichsrechnung (siehe Abschnitt 16.2.6) durchzuführen.

Im Spezialfall, dass die Ergebnisgrößen explizit durch Funktionen berechnet werden können, stellt sich das Modell folgendermaßen dar:

Begriff	Mathematische Darstellung
Funktionen	$G_j: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}, j = 1, \dots, n$ $G_j(X) = Y_j$
Gleichungen, die das Modell beschreiben	$F_j(X, Y) = Y_j - G_j(X) = 0$
Modell	$F(X, Y) = 0$

Tabelle 34: Modell im Spezialfall $Y_j = G_j(X)$

Als Beispiel betrachten wir das Modell der Ergebnisgröße „Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)“, die für die

Bewertung des Innenraumklimas herangezogen wird. Die Berechnung des PMV-Index wird in EN ISO 7730 [7], 4.1 erklärt. Folgende Eingangsgrößen spielen eine Rolle:

Bez.	Abk.	Begriff	Einheit
X ₁	M	Energieumsatz	W*m ⁻²
X ₂	W	Wirksame mechanische Leistung	W*m ⁻²
X ₃	I _{cl}	Bekleidungsisolations	m ² *K/W
X ₄	f _{cl}	Bekleidungsflächenfaktor	
X ₅	t _a	Lufttemperatur	°C
X ₆	\bar{t}_r	Mittlere Strahlungstemperatur	°C
X ₇	rF	Relative Luftfeuchte	%
X ₈	v _{ar}	Relative Luftgeschwindigkeit	m/s
X ₉	p _a	Wasserdampfpartialdruck	Pa
X ₁₀	h _c	Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient	W*m ⁻² K ⁻¹
X ₁₁	t _{cl}	Oberflächentemperatur der Bekleidung	°C

Tabelle 35: Eingangsgrößen für die Ergebnisgröße PMV

Für die Hauptparameter M , I_{cl} , t_a , \bar{t}_r , v_{ar} , p_a sind Grenzen vorgegeben, außerhalb welcher der Index nicht angewendet werden sollte.

16.2.4 Vorbereitung der Eingangsdaten

Zur Vorbereitung auf die Berechnung des vollständigen Messergebnisses werden Werte für alle beteiligten Eingangsgrößen und ihre Unsicherheiten (das bedeutet sowohl individuelle als auch gemeinsame Komponenten der Messunsicherheit) abgeschätzt. Diese Schätzwerte, in das Modell eingesetzt, liefern das Messergebnis. Mit dem **Gauß-Verfahren** oder **Unsicherheits-Fortpflanzungsgesetz** ergibt sich je nach Modell aus den Messunsicherheiten der Eingangsgrößen die Messunsicherheit der Ergebnisgrößen.

Ansätze für Eingangsgrößen:

Allen beteiligten Eingangsgrößen X_1, \dots, X_m wird jeweils ein Schätzwert x_1, \dots, x_m zugeordnet. Dabei sollten sinnvolle empirische Ansätze gewählt werden, beispielsweise [6]:

- Eingangsgrößen, die mehrmals direkt gemessen werden: Als Schätzwert für den Erwartungswert wird meist der arithmetische Mittelwert aus n Messungen gewählt:
 - $x_i = \bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_j$
 - Wird eine andere Methode zur Mittelwertbildung verwendet (z.B. Median), so ist dies anzugeben.
 - Einzelwert: z.B. Messwert oder Wert aus der Literatur
 - Untere und obere Grenze: Kann angenommen werden, dass die Eingangsgröße einen Wert im Intervall [a, b] annimmt, so lautet der Ansatz [1]
- $$x_i = \frac{a + b}{2}$$
- Solche Grenzen können z.B. aus den Angaben des Herstellers einer anzeigenden Messeinrichtung hervorgehen.
 - Im Beispiel der Ergebnisgröße PMV kann für die Eingangsgrößen angesetzt werden:

Bez.	Abk.	Ansatz/Quelle	Einheit
X ₁	M	$M = 1,2 * 58,15$ bei sitzender Tätigkeit [7]	W*m ⁻²
X ₂	W	Annahme: $W = 0$	W*m ⁻²
X ₃	I _{cl}	z.B. $I_{cl} = 0,155$ nach „Clothing-Algorithmus“ [7]	m ² *K/W
X ₄	f _{cl}	Berechnung aus I _{cl}	
X ₅	t _a	Messwert	°C
X ₆	\bar{t}_r	Annahme: Messwert Alternative: Berechnung mittels zusätzlicher Eingangsgrößen wie U-Wert, Flächen	°C
X ₇	rF	Messwert	%
X ₈	v _{ar}	Annahme als konstanter Wert 0,1 Alternativ: Messung	m/s
X ₉	p _a	Berechnung aus t _a und rF	Pa
X ₁₀	h _c	Berechnung aus v _{ar} bzw. aus t _{cl} (erste Abschätzung) und t _a	W*m ⁻² K ⁻¹
X ₁₁	t _{cl}	Erste Abschätzung mittels t _a und I _{cl} Iterative Berechnung mittels der ersten Abschätzung und der Eingangsgrößen M, W, I _{cl} , f _{cl} , t _a , \bar{t}_r , h _c	°C

Tabelle 36: Ansätze für die Eingangsgrößen, Beispiel PMV

Ansätze für Messunsicherheit:

Für alle beteiligten Eingangsgrößen wird die Messunsicherheit aus den Eigenschaften des zugeordneten

Schätzers abgeschätzt und in einer der folgenden Formen angegeben:

Begriff	Mathematische Darstellung
Messunsicherheit als empirische Varianz des zugeordneten Schätzers $s^2(x_i)$	$u^2(x_i) = s^2(x_i)$
Messunsicherheit als empirische Standardabweichung des zugeordneten Schätzers $s(x_i)$	$u(x_i) = s(x_i)$
relative Messunsicherheit	$u_{rel}(x_i) = u(x_i)/ x_i $

Tabelle 37: Darstellung der individuellen Komponenten der Messunsicherheit

Sind zwei Eingangsgrößen, genauer gesagt ihre Schätzer, korreliert, dann muss auch die gemeinsame Komponente der Messunsicherheit berücksichtigt werden; dies geschieht in Form der empirischen Kovarianz der Schätzer

oder ihres Korrelationskoeffizienten (siehe Tabelle 38). Bei Unkorreliertheit wird für $u(x_i, x_j)$ und $r(x_i, x_j)$ der Wert 0 angesetzt.

Begriff	Mathematische Darstellung
Messunsicherheit als empirische Kovarianz der zugeordneten Schätzer $s(x_i, x_j)$	$u(x_i, x_j) = s(x_i, x_j)$
Messunsicherheit als empirischer Korrelationskoeffizient der zugeordneten Schätzer $s(x_i, x_j)/s(x_i)s(x_j)$	$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)} = \frac{s(x_i, x_j)}{s(x_i)s(x_j)}$

Tabelle 38: Darstellung der gemeinsamen Komponenten der Messunsicherheit

Die Matrix mit den Einträgen $u(x_i, x_j)$ wird Unsicherheitsmatrix U_x genannt und zur Berechnung der Messunsicherheit der Ergebnisgrößen benötigt. Ihre Diagonalelemente sind die Varianzen $u^2(x_i) = u(x_i, x_i)$. Die Unsicherheitsmatrix ist nichtnegativ definit, was man überprüfen sollte: Andernfalls liegt ein Fehler im Ansatz vor, und die individuellen Komponenten der Messunsicherheit der Ergebnisgrößen könnten negativ werden.

- $u^2(x_i) = \frac{(b-a)^2}{12}$
- (entspricht einer Rechteckverteilung des Schätzers)
- Gemeinsame Messung mehrerer Größen: Kovarianz der Mittelwerte
- $u^2(x_i, x_k) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (v_{ij} - \bar{v}_i)(v_{kj} - \bar{v}_k)$
- bzw. Korrelationskoeffizient
- Eingangsgrößen, die von anderen funktional abhängen, können eventuell eliminiert werden und dadurch Korrelationen unberücksichtigt bleiben. Ansonsten setzt man im Fall $X_i = g_i(X_k, \dots)$
- $u(x_i, x_k) = \frac{\partial g_i}{\partial x_k} u^2(x_k)$
- Gelten $X_i = g_i(X_l, \dots)$ und $X_k = g_k(X_l, \dots)$, so stellt sich die gemeinsame Messunsicherheit als
- $u(x_i, x_k) = \frac{\partial g_i}{\partial x_l} \frac{\partial g_k}{\partial x_l} u^2(x_l)$ dar
- Bei Größen mit geringer Auswirkung kann die Messunsicherheit ggf. vernachlässigt werden; ebenso die gemeinsame Komponente der Messunsicherheit von näherungsweise unkorrelierten Eingangsgrößen.

Sinnvolle empirische Ansätze für die Messunsicherheit:

- Eingangsgrößen, die mehrmals direkt gemessen werden: Empirische Varianz des Mittelwerts \bar{v} aus n Messungen
- $u^2(x_i) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (v_j - \bar{v})^2$
- Einzelwerte oder wenige Werte [6]: Ansatz für Unsicherheit aus den verfügbaren Informationen oder nach Erfahrung
- Untere und obere Grenze (a bzw. b):

Bez.	Abk.	Ansatz
$u^2(x_5)$	t_a	Annahme: Messgenauigkeit $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow u^2(x_5) = 1/12$
$u^2(x_6)$	\bar{t}_r	Annahme: Messgenauigkeit $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow u^2(x_6) = 1/12$
$u^2(x_8)$	v_{ar}	Annahme: $\pm 0,02 \text{ m/s} \rightarrow u^2(x_8) = 4/3 * 10^{-4}$

Tabelle 39: Ansätze für die Messunsicherheiten (Auswahl), Beispiel PMV

16.2.5 Berechnung des vollständigen Messergebnisses – das Gauß-Verfahren

Das vollständige Messergebnis setzt sich, wie in Tabelle 32 definiert, aus Messergebnis und Messunsicherheit zusammen.

Das Messergebnis $y=(y_1, \dots, y_n)$ berechnet man aus den Schätzwerten x_k als Lösung der Modellgleichung $F(x, y) =$

0. Ist diese nicht explizit nach y auflösbar, so kann man nach dem Newton- oder Gradienten-Verfahren bzw. der Regula falsi vorgehen.

Die Messunsicherheit wird als Unsicherheitsmatrix U_y angegeben:

Begriff	Mathematische Darstellung
Modell	$F(X, Y)=0$
Matrizen der partiellen Ableitungen mit eingesetzten Größenwerten x und y	F_x, F_y
Unsicherheitsmatrix U_x	U_x mit Einträgen $u(x_i, x_j)$
Empfindlichkeitsmatrix Q	$Q = -F_y^{-1}F_x$
Unsicherheits-Fortpflanzungsgesetz: Formel für Unsicherheitsmatrix U_y	$U_y = Q U_x Q^t$

Tabelle 40: Berechnung der Unsicherheitsmatrix U_y

Hier wird vorausgesetzt, dass die Anzahl der Modellgleichungen n_F gleich der Anzahl der Ergebnisgrößen n ist. Gilt $n > n_F$, so reicht das Modell nicht aus, um die Werte y_i zu ermitteln [1]. Falls $n < n_F$, führt man eine Ausgleichsrechnung durch (siehe Abschnitt 16.2.6).

Falls die Ergebnisgrößen durch Funktionen der Eingangsgrößen gegeben sind, setzt man die Schätzwerte x_k in diese Modellfunktionen ein.

Begriff	Mathematische Darstellung
Messergebnis	$y_j = G_j(x_1, \dots, x_m)$
Partielle Ableitung mit eingesetzten Schätzwerten (Notation)	$\frac{\partial G_i}{\partial x_k} = \left(\frac{\partial G_i}{\partial X_k} \right) \Big _{(x_1, \dots, x_m)}$
Gemeinsame Komponenten der Messunsicherheit	$u(y_i, y_j) = \sum_{k,l=1}^m \frac{\partial G_i}{\partial x_k} \frac{\partial G_j}{\partial x_l} u(x_k, x_l)$
Individuelle Komponenten der Messunsicherheit	$u(y_j) = \sqrt{u(y_j, y_j)}$
Individuelle Komponenten der Messunsicherheit, falls die Eingangsgrößen unkorreliert sind	$u(y_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^m \left(\frac{\partial G_j}{\partial x_k} \right)^2 u^2(x_k)}$

Tabelle 41: Vollständiges Messergebnis im Spezialfall $Y_j = G_j(X)$

Die Modellfunktionen leitet man jeweils nach den Variablen X_1, \dots, X_m ab, setzt die Schätzwerte x_1, \dots, x_m ein und berechnet nach den Formeln in Tabelle 41 (in die auch die Varianzen und Kovarianzen der Eingangsgrößen einfließen) die Messunsicherheit.

Eine Alternative zur Berechnung mittels der partiellen Ableitungen ist es, mit Hilfe der Differenzen

$$\Delta_k G_i = G_i \left(x_1, \dots, x_k + \frac{1}{2} u(x_k), \dots, x_m \right) - G_i \left(x_1, \dots, x_k - \frac{1}{2} u(x_k), \dots, x_m \right)$$

die gemeinsamen Komponenten der Messunsicherheit

$$u(y_i, y_j) = \sum_{k,l=1}^m (\Delta_k G_i) (\Delta_l G_j) r(x_k, x_l)$$

zu ermitteln [1].

16.2.6 Ausgleichsrechnung

Ist die Anzahl der Modellgleichungen n_F größer als die Anzahl der Ergebnisgrößen n und die Gleichung $F(x, y) = 0$

nicht lösbar, so versucht man, Werte y_i zu finden, die mit den Eingangsdaten „möglichst gut verträglich“ sind. Dafür benutzt man die „Methode der kleinsten Quadrate“ und rechnet mit einem adaptierten Modell, das aus n Gleichungen besteht. Detailliert in DIN 1319-4, Abschnitt 8.1. [1]

16.2.7 Angabe des vollständigen Messergebnisses

Nach [1] ist für jede Ergebnisgröße das vollständige Messergebnis anzugeben, bestehend aus dem Messergebnis und der Messunsicherheit (Standardmessunsicherheit oder relative Standardmessunsicherheit) in einer der Schreibweisen lt. Tabelle 42. Weiters gibt man für Paare von Ergebnisgrößen die gemeinsamen Komponenten der Messunsicherheit oder Korrelationskoeffizienten an.

Für die Zahlenwerte des Messergebnisses und der Messunsicherheit sind die Runderegeln nach DIN 1333 anzuwenden. [4]

Angabe des vollständigen Messergebnisses einer Ergebnisgröße (Schreibweisen)
$y, u(y)$
$y, u_{rel}(y)$
$Y = y(u(y))$
$Y = y \pm u(y)$
$Y = y \cdot (1 \pm u_{rel}(y))$

Tabelle 42: Angabe des vollständigen Messergebnisses (Schreibweisen)

Darüber hinaus sind Informationen zu den getroffenen Annahmen sinnvoll: Schätzwerte, Erläuterungen zu den Ansätzen der Messunsicherheiten, Modellfunktionen, ggf. die Anzahl der Messungen.

17 Überwachung/Qualitätssicherung

17.1 Vorgehensweise

17.1.1 Kriterien zur Qualitätssicherung

Wesentliche Kriterien zur Sicherung der Qualität im Energie- und Komfort-Monitoring sind u.a.

- eine sorgfältige Planung und Ausführung der Messung
- eine frühe Plausibilitätsprüfung
- eine regelmäßige Prüfung auf Vollständigkeit

bis hin zur Auswertung von Dummy-Daten vor der Messung (vgl. [3]). Es gilt häufig in der Praxis gemachte Fehler zu vermeiden. Nachfolgend sind einige dieser – leicht vermeidbaren – Fehler aufgezählt:

- Beim Vergleich der Daten mehrerer Jahre werden verschiedene Jahreszeiten betrachtet
- der Messbereich ist nicht für die Anwendung geeignet
- die Trägheit der Messgeräte wird bei Messung und/oder Beurteilung nicht berücksichtigt
- die Zeitumstellung von Sommerzeit auf Winterzeit wird nicht beachtet
- es gibt keine Synchronisation der Messzeit bei der Messung mit mehreren Datenloggern
- bei Stromzählern wird ein Verbraucher mit erfasst, der nicht in die Messung gehört
- der Messwert des Sensors wurde im Vorfeld nicht kontrolliert bzw. justiert
- Wärmehähler die im falschen Strang oder verkehrt herum eingebaut sind
- Temperaturfühler von Wärmehälern, die nicht ausreichend weit ins Medium reichen
- Korrekturen, die vergessen wurden (wie z.B. für Frostschutzmittel im Solekreis)
- Temperaturfühler, die direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind
- Kabel mit Wackelkontakt

17.1.2 Kalibrieren und Justieren

Systematische Messabweichungen können durch Kalibrierung der Messkette identifiziert und korrigiert werden. Weiter können Korrekturfaktoren angewendet werden, um systematische Einflüsse auszugleichen. Der Erwartungswert einer durch systematische Einflüsse hervorgerufenen

Messabweichung wird nach der Korrektur mit Null angenommen. (vgl. [5])

Mit einer Kalibrierung (siehe auch Teil 2, Kap. 2.7) wird der Zusammenhang zwischen Messwert oder Erwartungswert der Ausgangsgröße und dem zugehörigen wahren oder richtigen Wert der als Eingangsgröße vorliegenden Messgröße für eine betrachtete Messeinrichtung bei vorgegebenen Bedingungen ermittelt. Durch Justieren, ein Einstellen oder Abgleichen eines Messgerätes, können systematische Messabweichungen so weit beseitigt werden, wie es für die vorgesehene Anwendung erforderlich ist.

17.1.3 „Alarm“-Meldungen

Ausfälle des Messsystems können durch eingebaute „Alarm“-Meldungen oder regelmäßige Auslesung und Begutachtung schnell erkannt und behoben werden.

17.2 Ursachen für systematische Messabweichungen

Beispiele für Ursachen von systematischen Messabweichungen sind nach [4] und [3]:

- eine ungeeignete Übertragungsfunktion des Sensors bedingt durch Offset, Nichtlinearität oder eine Hysterese
- eine Beeinflussung der Messgröße durch die Messung, Eigenerwärmung eines Sensors, Erhöhung des Stromverbrauchs eines Gebäudes durch den Betrieb der Messtechnik
- Alterung und andere Veränderungen der Sensorübertragungsfunktion

17.3 Sonstige mögliche Quellen für Messunsicherheit

In der Regel wird die Messgröße von Größen beeinflusst, die nicht Gegenstand der Messung sind (z.B. Umgebungstemperatur, Feuchte, Luftdruck, u.ä.). Diese Einflussgrößen sind bei oder nach der Messung im Ergebnis geeignet zu berücksichtigen. Gegebenenfalls sind diese Größen gesondert zu erfassen. Eigenschaften des Messgerätes, insbesondere die Herstellerangaben zur Genauigkeit. Mögliche Quellen für die Messunsicherheit sind:

- eine nicht repräsentative Probenahme (Sensor an nicht aussagekräftiger Position, zu wenige Sensoren zur Beantwortung der Fragestellung)
- Unzureichende Kenntnis der Einflüsse von Umweltbedingungen oder unvollkommene Messung der Umweltbedingungen
- Personell bedingte systematische Abweichungen beim Ablesen analoger Messgeräte

- In der Messmethode und dem Messverfahren enthaltene Näherungen und Annahmen
- Variationen bei mehrmaligen Beobachtungen der Messgröße unter scheinbar identischen Bedingungen

18 Darstellung der Ergebnisse

Je nach Fragestellung sind unterschiedliche Darstellungsformen und Betrachtungszeiträume für die Beurteilung zielführend. Während für eine grobe Abschätzung der Gesamtsituation die Abbildung des gesamten Betrachtungszeitraums ausreichend sein kann, ist für eine detaillierte Analyse, Beurteilung und Optimierung eine Darstellung in kleineren Zeitschritten, beispielsweise auf Monatsbasis, erforderlich.

Um die Lesbarkeit zu erhöhen und Daten zu beurteilen kann es zielführend sein, aus den direkt gemessenen tabellarisch dokumentierte Daten statistisch aufzubereiten und beispielsweise als Boxplot und Histogramm darzustellen. Ein Beispiel, wie dies im Bereich den Innenraumklima- und Komfort-Monitorings aussieht, gibt 1.1.

18.1 Energiemonitoring

Die Darstellung von Ergebnissen aus dem Energiemonitoring ist dem jeweiligen Nutzer und Anwendungsfall anzupassen. Eine richtig ausgeführte Jahressbilanz ist vor allem

für den Anlageninhaber interessant, da hier einfach und schnell erkennbar ist, ob die Anlage die anvisierten Werte erreicht. Der Weg zu einer richtigen Jahresbilanz (klimabereinigt und unter Berücksichtigung der Innentemperaturen) ist jedoch nur möglich, wenn entsprechend genaue Planungs- bzw. Berechnungswerkzeuge oder Simulationsprogramme zu verwendet werden, die z.B. auch eine Anpassung der tatsächlichen Innenraumtemperaturen oder der Klimadaten erlauben. Zur Optimierung bzw. Inbetriebnahme von Anlagen muss auf wesentlich kürzere Betrachtungszeiträume (Tages- oder Wochenverläufe) zurückgegriffen werden, um Fehlerquellen ausfindig machen zu können.

18.1.1 Jahresbilanz, Energiefluss-Diagramm

Ergänzend zu Jahresbilanzen in tabellarischer Form bietet eine Ergebnisdarstellung anhand von Energiefluss-Diagrammen den Vorteil der Nachvollziehbarkeit der Energieflüsse. In Abbildung 40 ist auch der Primärenergiebedarf dargestellt. Die Grafik veranschaulicht Informationen, für die in der Regel mehrere Balkendiagramme erforderlich wären

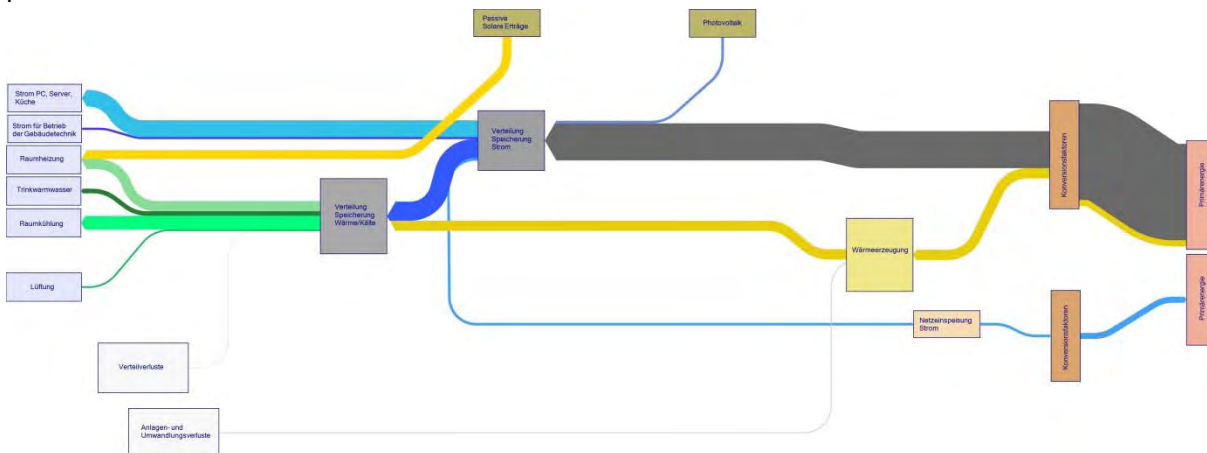


Abbildung 40: Energiefluss-Diagramm, Beispiel

18.1.2 Monatsbilanzen

Aufbauend auf Tages- und Wochenbewertungen können Monatsbilanzen gebildet werden, welche wiederum die Basis für eine Jahresbilanz bilden. Es werden Vergleichswerte benötigt, die beispielsweise aus PHPP entnommen

werden können (siehe Abbildung 41). Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, sind auch hier – analog zur Jahresbilanz – im Berechnungsprogramm Außentemperatur, Globalstrahlung und die tatsächlichen Innenraumtemperaturen nachzuziehen. Weiter sind Umwandlungs- und Verteilverluste der Haustechnik zu berücksichtigen.

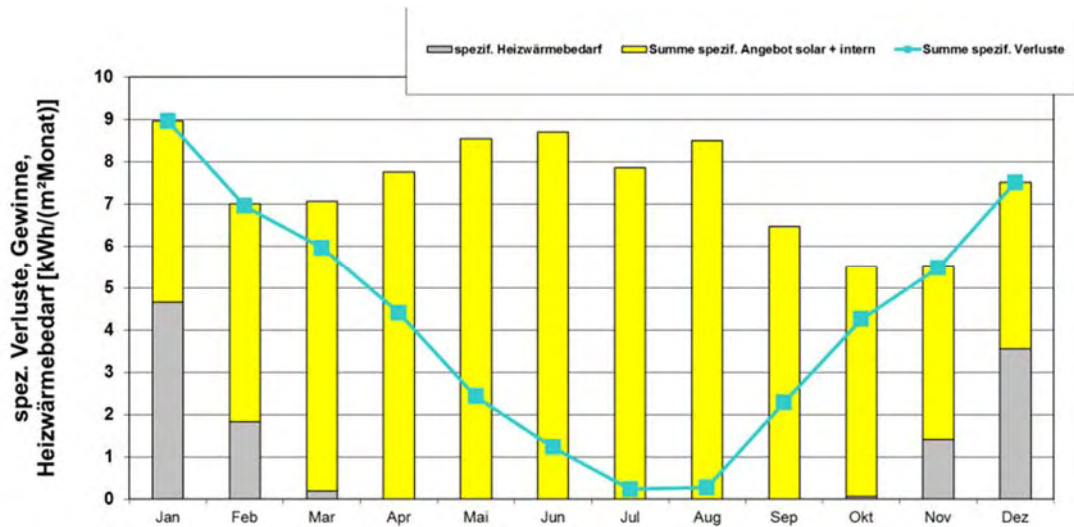


Abbildung 41: Sollwerte Monatsbilanz, Heizwärmebedarf nach PHPP

18.1.3 Wochen- und Tagesverläufe

Zur Fehlersuche bei erhöhten Stromverbräuchen sind beispielsweise Wochenverläufe hilfreich. In Abbildung 42 wird dafür exemplarisch der Lastgang einer Lüftungsanlage im Wochenverlauf dargestellt. Die Monatsbilanz ergab im Ver-

gleich zur Prognose einen doppelt so hohen Stromverbrauch. Nach Abgleich der Simulationsannahmen und des tatsächlichen Lastgangs wurden nahezu doppelt so lange Betriebszeiten festgestellt. Analog sind Wochen- oder Tagesverläufe bspw. zur Analyse von Ein- und Ausschaltzeiten von Wärmepumpen anzuwenden.

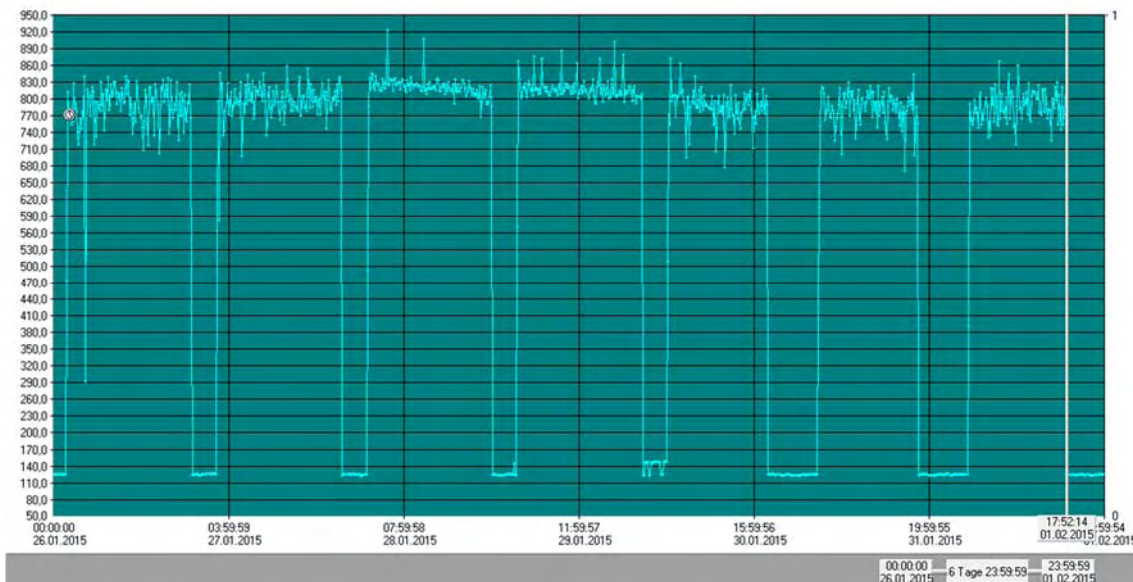


Abbildung 42: Wochenverlauf, Lastgang Lüftungsanlage in Watt

18.2 Monitoring Innenraumklima

18.2.1 Rohdaten und abgeleitete Größen beurteilen

Eine Darstellung der Rohdaten Temperatur, relative Luftfeuchte (Abbildung 43) und CO₂-Konzentration im zeitlichen Verlauf ist hinsichtlich thermischer Behaglichkeit schwer beurteilbar. Auch eine Darstellung der Raumtemperatur über der Außenlufttemperatur [8] zur Darstellung

des thermischen Komforts ist schwer lesbar bzw. interpretierbar. Bereits eine geringe Aufbereitung der Daten, wie in Abbildung 45, erhöht die Aussagekraft. Werden mit Hilfe der Rohdaten entsprechend [2] PMV- und PPD-Index berechnet (Abbildung 46), kann die Lesbarkeit weiter verbessert und eine qualitative wie auch quantitative Aussage hinsichtlich des Komforts getroffen werden.

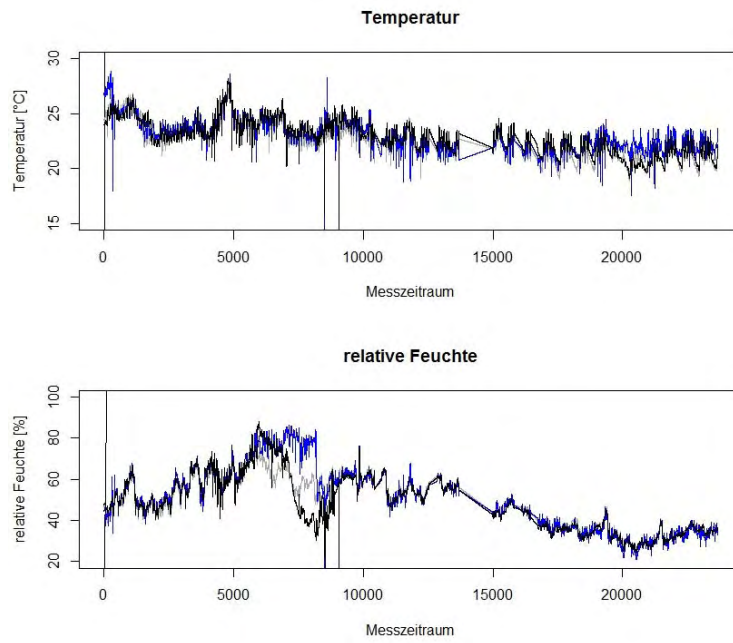


Abbildung 43: Temperatur und relative Feuchte im zeitlichen Verlauf von 3 Messpunkten

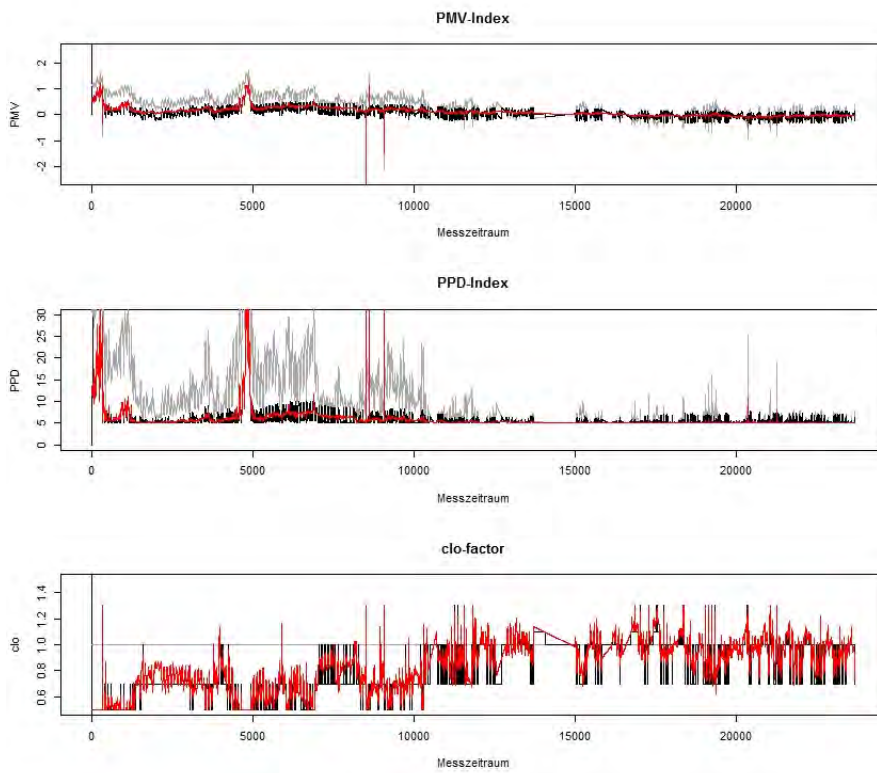


Abbildung 44: PMV-, PPD-Index und Clothing-Faktor im zeitlichen Verlauf

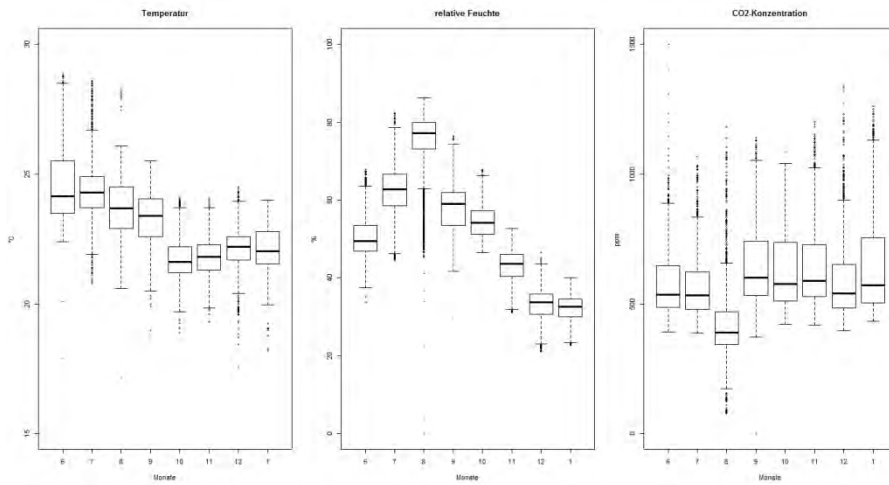


Abbildung 45: Temperatur, relative Feuchte und CO₂-Konzentration nach Monaten

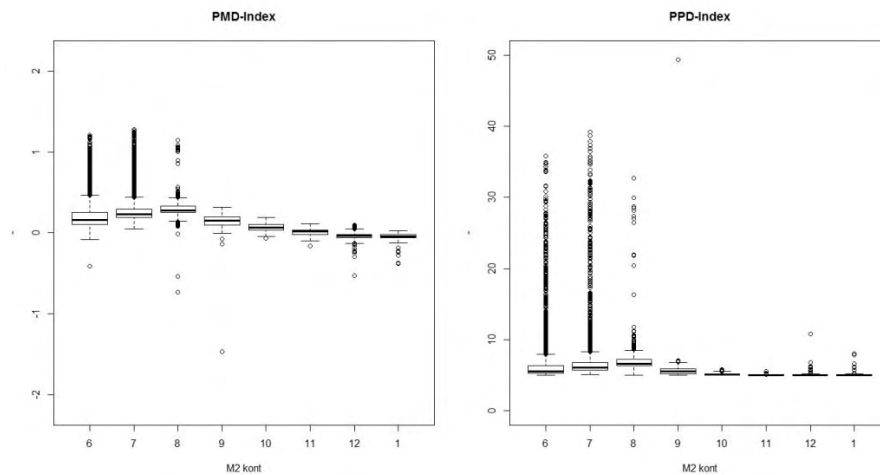


Abbildung 46: PMV- und PPD-Index nach Monaten

18.2.2 Betrachtungszeiträume

Je nach Fragestellung sind unterschiedliche Darstellungsformen für die Beurteilung zielführend. Generell sind tabellarisch dokumentierte Rohdaten statistisch aufzubereiten und beispielsweise als Boxplot und Histogramm darzustellen. Zur direkten Vergleichbarkeit der Daten können die beobachteten Werte direkt in einem Diagramm dargestellt werden. Für die Beurteilung der Rohdaten bzw. der daraus abgeleiteten Größen (PMV- und PPD-Index) ist sowohl eine Darstellung des gesamten Messzeitraums zur groben Einschätzung, aber auch eine detaillierte Aufstellung nach Monaten, Stunden oder Tagen möglich.

Auch eine Selektion nach Werktagen und Wochenenden kann ebenfalls sinnvoll sein. Dadurch können neben qualitativen Aussagen auch quantitative Schlussfolgerungen gezogen werden.

18.2.3 Zusatzinformationen

Für die Beurteilung der Ergebnisse ist neben der Kenntnis der räumlichen Situation, die Bauweise, die thermische Qualität der Bauteile, die Art von Heizung und Lüftung, aber auch die Art der Nutzung in den untersuchten Räumen von essenzieller Bedeutung.

18.2.4 Ergebnisgrößen für das Energiemonitoring

Die beim Innenraumklima- und Komfort-Monitoring gemessenen Raumlufttemperaturen können als Eingangsgröße für die im Zuge der Beurteilung im Energiemonitoring erforderliche Klima- und Nutzerbereinigung dienen.

19 Literatur

Teil 1: Einleitung Grundlagen, Projektbeispiele

1. Ipsen, C., R. Bointner, and K. Stieldorf, Planungsleitfaden Plusenergie - Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträgertechnologien in Vorentwurf und Entwurf - Teil 1 - Einleitung, Grundlagen und Projektbeispiele. GEBIN 2012.
2. ÖNorm, ÖNorm EN ISO 7730 Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit 2006.
3. ÖNorm, ÖNorm B 8110-5 Wärmeschutz im Hochbau Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile 2010.
4. Feist, W., et al., Richtig messen in Energiesparhäusern, in Protokollband Nr. 45 P.I.D.W. Feist, Editor. 2012, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V: Darmstadt.

Teil 2: Messaufgabe, Messkonzept und Messtechnik

1. Feist, W., et al., Richtig messen in Energiesparhäusern, in Protokollband Nr. 45 P.I.D.W. Feist, Editor 2012, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V: Darmstadt.
2. DIN, DIN EN 15603 Entwurf Energieeffizienz von Gebäuden - Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte. 2013.
3. DIN, DIN 1319-1 Grundlagen der Meßtechnik Teil 1: Grundbegriffe, 1995.
4. Datenschutzgesetz. 2014.
5. DIN, DIN EN ISO 7726 Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen. 2002.
6. ÖNorm, ÖNorm M 9490-7 Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinheit Teil 7: Strahlungsmessung und Messung der Sonnenscheindauer. 2009.
7. ÖNorm, ÖVE/ÖNorm EN 62052-11 Wechselstrom-Elektrizitätszähler - Allgemeine Anforderungen, Prüfungen und Prüfbedingungen Teil 11: Messeinrichtungen. 2004.
8. DIN, DIN EN 1434-1 Wärmezähler - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. 2007.
9. DIN, DIN EN 1434-6 Wärmezähler - Teil 6: Einbau, Inbetriebnahme, Überwachung und Wartung. 2007.
10. DIN, DIN EN ISO 16000-1 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie 2006.
11. ISO, D, DIN ISO 16000-6 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID, 2004.
12. VDI, VDI 4300 Blatt 9 Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Messstrategie für Kohlendioxid CO<(Index)2>, 2005.

13. VDE, V., VDI VDE 3512 Blatt 3 Temperaturmessung für die Gebäudeautomation Montage von Temperaturfühler, 2009.

Teil 3: Energiemonitoring

1. ÖNorm, ÖNorm EN 15603 Energetische Bewertung von Gebäuden - Rahmennorm zur Europäischen Gebäuderichtlinie. 2013.
2. DIN, DIN V 18599-1 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger, Berichtigung zu DIN V 18599-1:2011-12. 2013.

Teil 4: Monitoring Innenraumklima

1. ÖNorm, ÖNorm EN ISO 7730 Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit, 2006.
2. Waltjen, T., et al., Handbuch Komfort für Passivhaus-Büros. 2011, Wien: IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie.
3. Leitfaden - Ergebnisse der messtechnischen Begleituntersuchungen von "Haus der Zukunft" - Demonstrationsbauten.

Teil 5: Rohdaten, Datenaufbereitung

1. DIN, DIN 1319-1 Grundlagen der Meßtechnik Teil 1: Grundbegriffe. 1995.

Teil 6: Daten richtig bewerten

1. DIN, DIN 1319-4 Grundlagen der Meßtechnik Teil 4: Auswertung von Messungen Meßunsicherheit. 1999.
2. DIN, DIN V ENV 13005 Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen. 1999.
3. Schnieders, J, Messgenauigkeit und Fehlergrößen, in: Richtig messen in Energiesparhäusern - Protokollband 45, A.k. Passivhäuser, Editor. 2012: Darmstadt.
4. DIN, DIN 1319-1 Grundlagen der Meßtechnik Teil 1: Grundbegriffe. 1995.
5. ENV, D.V., DIN V ENV 13005 Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen Beiblatt 1. 2012.
6. DIN, DIN 1319-3 Grundlagen der Meßtechnik Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Meßgröße Meßunsicherheit. 1996.
7. ÖNorm, ÖNorm EN ISO 7730 Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit, 2006.

IMPRESSUM

Diese Publikation wurde mit öffentlichen Mitteln aus „Haus der Zukunft Plus“ gefördert.

Herausgeber, Medieninhaber
IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Alserbachstraße 5/8, 1090 Wien
www.ibo.at



in Kooperation mit
Österreichisches Ökologie-Institut
Seidengasse 13, 1070 Wien
www.ecology.at



Druck
GRASL Fair Print, Lizenznummer: UW 715
Gedruckt nach der Richtlinie „Druckerzeugnisse“ des Österreichischen Umweltzeichens
Papier: Garda Pat 11



Die Fotorechte liegen bei:
Seite 15 Kindergarten Wolkenschiff: Atelier für naturnahes Bauen Deubner
Seite 16 Windkraft Simonsfeld, Seite 17 Asperrn IQ: Österreichisches Ökologie-Institut (RSF Fotografie, Renate Schrattenecker-Fischer)

Sämtliche Angaben in diesem Buch erfolgen trotz sorgfältiger Bearbeitung und Prüfung ohne Gewähr;
eine Haftung der AutorInnen sowie der Herausgeber ist ausgeschlossen.

ISBN 978-3-901269-03-5

Wien, November 2014