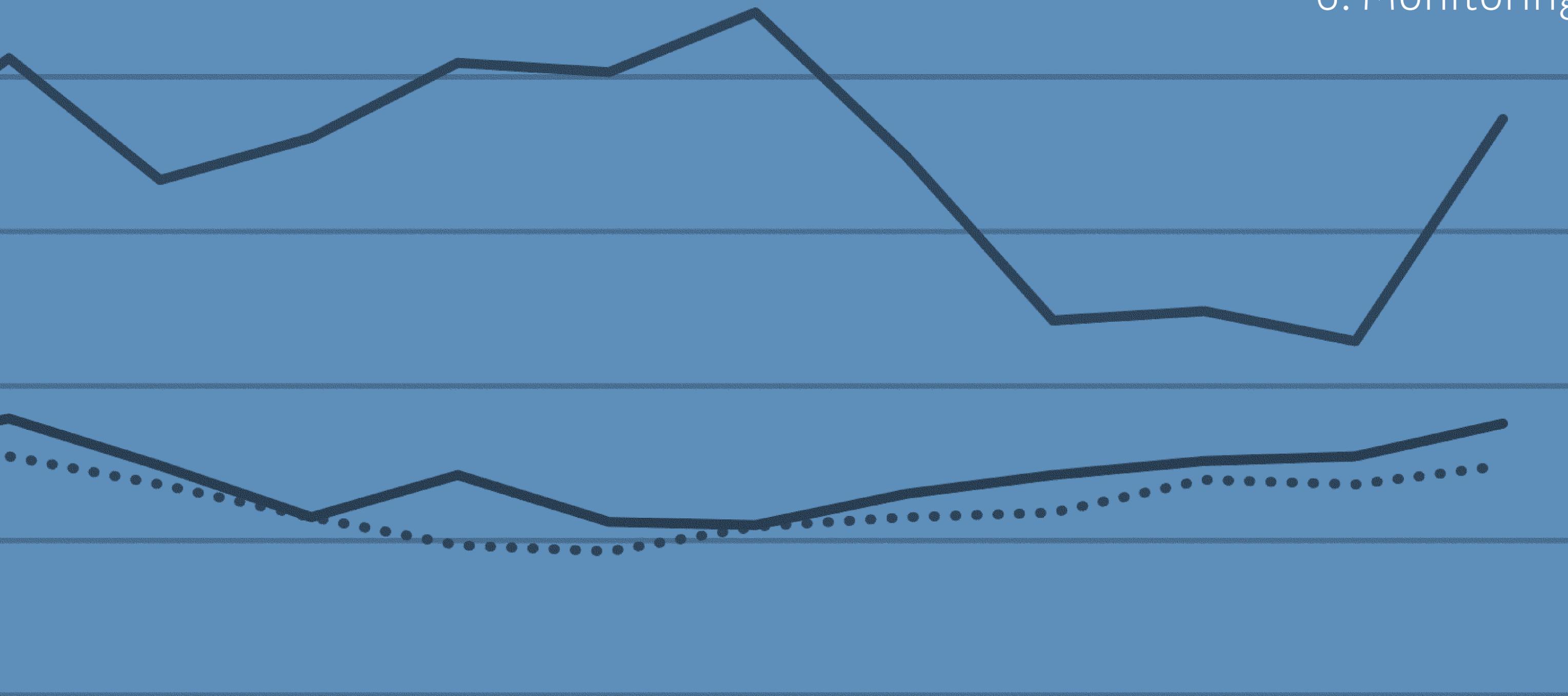


6. Monitoring



6. Monitoring

*„Miss alles, was sich messen lässt,
und mach alles messbar, was sich nicht messen lässt.“*

Archimedes (287–212 v. Chr.) griechischer Physiker, Mathematiker und Mechaniker

Eine regelmäßige und kontinuierliche Erfassung des Wärme- und Stromverbrauchs ist, unabhängig davon ob Low-Tech Gebäude oder nicht, sinnvoll und wichtig. Durch die Erfassung und Auswertung kann überprüft werden, ob der vorgesehene Energiestandard eingehalten wird. Anlagendefekte oder Leckagen können frühzeitig erkannt werden. Verbesserungsmöglichkeiten durch Anpassungen der Regelungseinstellungen können identifiziert und umgesetzt werden.

Von Anfang an daran denken!

Der Aufwand und die Kosten für ein Monitoring sollten am besten schon von Beginn an eingeplant werden. Schon in der Kostenschätzung während der Entwurfsphase ist es sinnvoll, eine Kostenposition für zusätzliche Zähler, Messfühler und den Anschluss an die Gebäudeleittechnik oder die Energiemanagementsoftware vorzusehen. Die gesammelten Daten sollten nach Fertigstellung des Gebäudes über mindestens zwei Heizperioden ausgewertet werden. Parallel dazu sollte das Planungsteam die Anlagen einregulieren um einen möglichst energiesparenden Betrieb bei bestmöglicher Behaglichkeit für die Nutzenden zu erreichen.

Zielsetzung

Grundlegend kann zwischen einer Verbrauchserfassung und einem wissenschaftlichen Monitoring unterschieden werden. Durch eine Verbrauchserfassung werden Energiemengen (Wärme, Strom und Wasser) erfasst, um Aussagen über die Energieeffizienz des Gebäudes zu ermöglichen.

Bei einem wissenschaftlichen Monitoring werden Energieflüsse und Anlagenzustände erfasst, um die Effizienz einzelner Anlagenkomponenten oder die Funktion von Low-Tech Elementen oder Komponenten nachzuweisen. So können beispielsweise Parameter erfasst werden um die Wirksamkeit der Nachtlüftung in heißen Sommerwochen zu überprüfen. Dabei ist eine Plausibilitätsprüfung der Daten bzw. ein Abgleich mit den berechneten Werten aus dem Passivhaus-Projektierungs-Paket, der SIA 380/1-Berechnung mit Minergie-Nachweisen oder aus Gebäudesimulationsprogrammen sinnvoll.

Erfassbare Parameter

Bei einem fertig gestellten Gebäude können für eine Verbrauchserfassung oder für ein wissenschaftliches Monitoring verschiedene Messgrößen (Energiemengen, Raum- und Systemtemperaturen, relative Luftfeuchtigkeit, CO₂-Gehalt der Raumluf, Luftmengen, Strömungsgeschwindigkeiten, Warmwasserverbrauch, Leistungswerte) über unterschiedliche Erfassungszeiträume (Stunden, Tage, Wochen, Monate, Heizperiode, Jahr) gesammelt und ausgewertet werden:

Nachweis	Art der Erfassung
Endenergieverbrauch Wärmeanwendungen	Erfassung der verbrauchten Menge Endenergie für Gebäudeheizung und Brauchwarmwasserbereitung: Holzhackschnitzel [srm] > Wärmemengenzähler am Wärmeerzeuger Holzpellets [t] > Wärmemengenzähler am Wärmeerzeuger Nah/Fernwärme [MWh] > Wärmemengenzähler Strom für Heizzwecke [kWh] > Stromzähler Energieversorger, ggf. Unterzähler notwendig Erdgas [m ³] > Gaszähler Energieversorger Heizöl [Liter] > Ölmengenzähler vorsehen
Endenergieverbrauch Stromanwendungen	Erfassung der verbrauchten Menge Endenergie für Beleuchtung, Lüftung, Klimatisierung, EDV, Haushaltsstrom: Stromzähler Energieversorger, wenn möglich Unterzähler für verschiedene Verwendungen vorsehen (z.B. getrennte Erfassung des Strombedarfs für Klimatisierung)
Thermischer Komfort	Messung und Aufzeichnung der Raumlufthtemperatur und rel. Raumlufftfeuchte mit Datenlogger in (repräsentativen) Räumen Einmalige oder mehrmalige Messung der operativen Temperatur (T _{op}), als Mittelwert aus der Raumluffttemperatur (T _i) und der mittleren Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen (T _s): $T_{op} = 0,5 \cdot (T_i + T_s)$
Raumlufftqualität	Messung und Aufzeichnung CO ₂ -Gehalt der Raumlufft mit Datenlogger in repräsentativem Raum

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf [HWB; Einheit: kWh/(m²a)] ist die rechnerisch ermittelte Menge an thermischer Energie pro Quadratmeter, die benötigt wird um ein Gebäude auf eine bestimmte Temperatur zu beheizen. Die Höhe des Heizwärmebedarfs hängt von der Art der Nutzung, der energetischen Qualität der Gebäudehülle und dem Standort ab. Zusätzlich berücksichtigt der Heizwärmebedarf Lüftungswärmeverluste sowie solare und interne Gewinne.

Nutzenergie

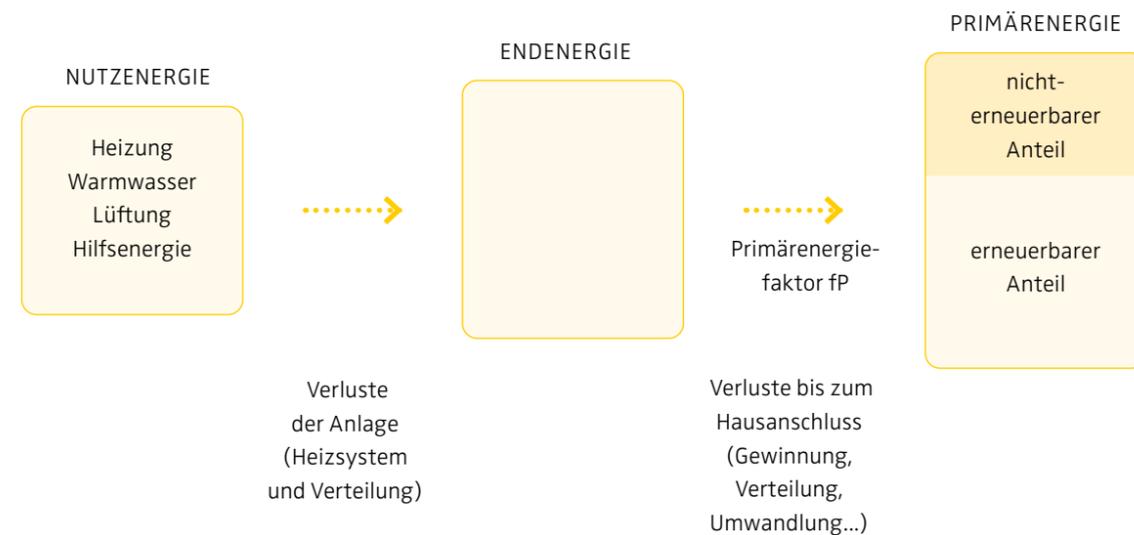
Die Summe der Energie, die für die Beheizung der Räume, die Warmwassererzeugung und die Belüftung und Beleuchtung der Räume benötigt wird, wird als Nutzenergie bezeichnet. Mit dieser Energie werden die Bedürfnisse des Gebäudenutzenden nach einem behaglichen Raumklima gedeckt.

Endenergie

Die Endenergie ist die Energiemenge (Strom, Öl, Erdgas, Biomasse), die verwendet wird um die benötigte Nutzenergie zu erzeugen. Darin enthalten sind auch Umwandlungs- und Erzeugungsverluste der Anlagentechnik.

Primärenergie

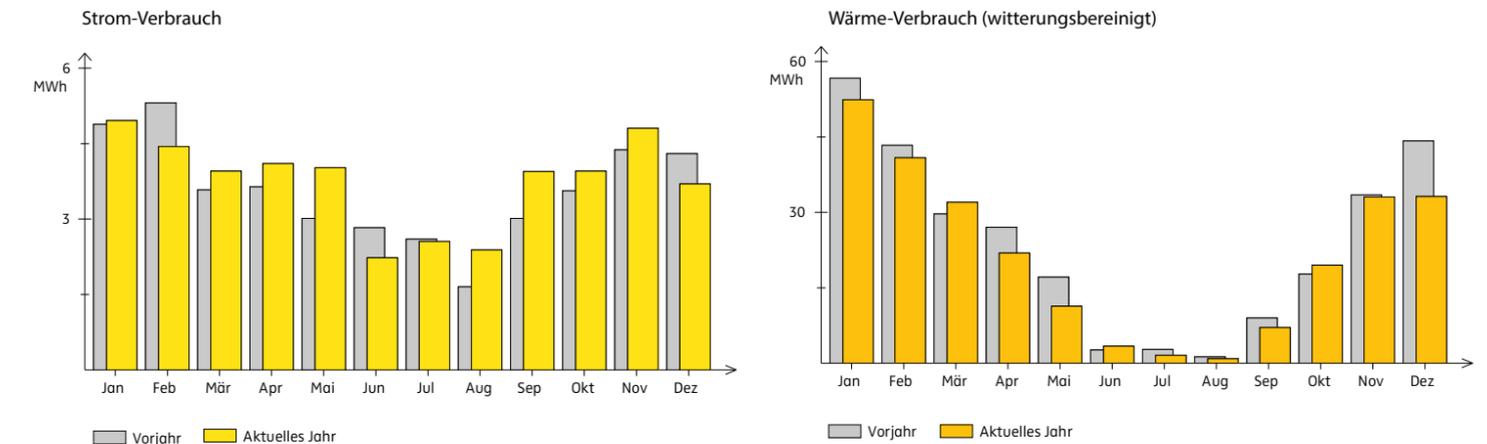
Der Primärenergieverbrauch beschreibt den Verbrauch an natürlichen Ressourcen, die zur Deckung des Energieverbrauchs benötigt werden. Dabei werden auch die Herstellung und die Transporte der Energieträger in Betracht bezogen und mit dem sogenannten Primärenergiefaktor bewertet. Es wird in nicht-erneuerbare Primärenergie (Kohle, Erdgas, Heizöl, Uran) und erneuerbare Primärenergie (Holz, Biomasse, Sonne, Wind, Wasserkraft) unterschieden.



Energieverbrauch

Regelmäßige Verbrauchserfassung

Für die kontinuierliche Erfassung des Wärme- und Stromverbrauchs werden meist fest installierte Zähler (z.B. Gas-Zähler, Strom-Zähler, Wärmemengenzähler etc.) installiert. Die Erfassung der Zählerstände erfolgt entweder manuell oder über ein Gebäudeautomationsystem. Hierbei werden die aufgezeichneten Messgrößen periodisch abgespeichert und über das Internet automatisch übertragen. Die Auswertung der Daten sollte mit einer Energiemanagement-Software erfolgen. Dies gilt insbesondere für Zähler, die an eine Gebäudeleittechnik oder ein Gebäudeautomatisierungssystem angeschlossen sind. Durch die Software können verschiedene Auswertungen (Jahres-, Monatsberichte) erstellt werden. Bei einem Vergleich des Energieverbrauchs über mehrere Jahre, müssen die Energieverbräuche witterungsbereinigt werden.



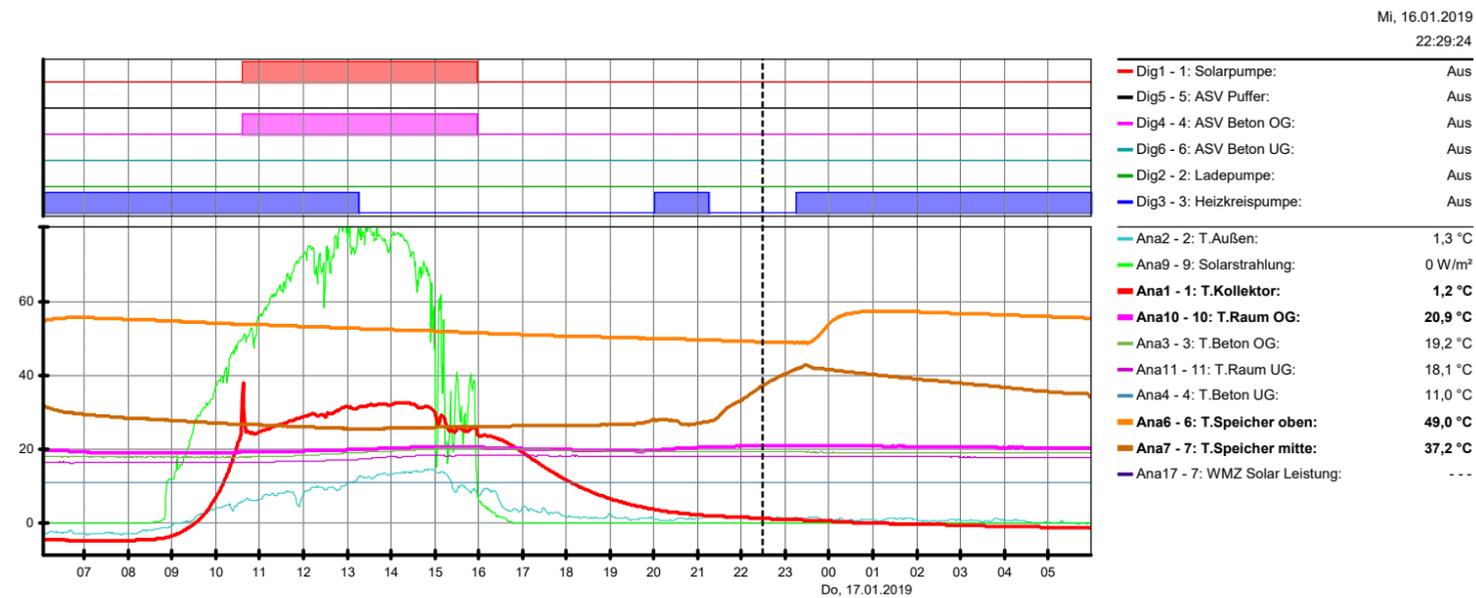
Zusätzlich bzw. ergänzend können zeitlich begrenzte Messungen mit mobilen Messgeräten sinnvoll sein. Mit solchen Messungen können Funktionsprinzipien oder sich im späteren Gebäudebetrieb nicht mehr ändernde Zustände überprüft und optimiert werden. Für die Auswertungen der zeitweisen Messungen kann meist Excel verwendet werden.

Detaillierte Messung von Anlagenkomponenten

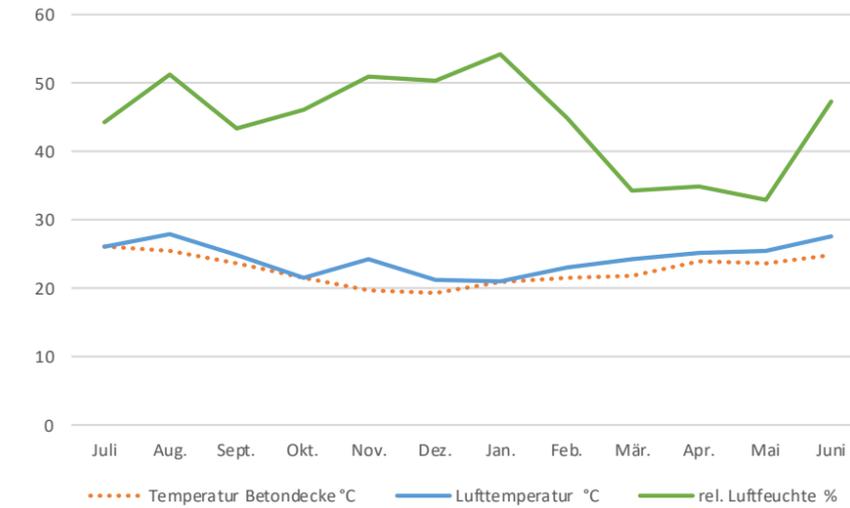


Praxisbeispiel Schnifis

Im Pilotgebäude Schnifis wurde seit der Fertigstellung zur Kontrolle der Anlagentechnik ein durchgängiges Monitoring durchgeführt. Neben den Raumtemperaturen in den Wohnräumen, werden auch die Temperaturen im Speicher für Heizung und Warmwasser und den aktivierten Betondecken aufgezeichnet. Ein Wärmemengenzähler an der thermischen Solaranlage erfasst den Solarertrag. Weitere Fühler erfassen die CO₂-Konzentration in der Raumluft. Durch die erfassten Meßwerte kann die Energiebilanz (Input zu Output) verglichen werden. Allgemein gilt, das so überprüft und sichtbar gemacht werden kann, wie effizient eine Anlage funktioniert. Es kann schnell erkannt werden, wenn Energie verloren geht oder ineffizient bereitgestellt wird.



Die Grafik zeigt den Temperaturverlauf über 1,5 Tage im Januar. Die Erträge der thermischen Solaranlage (rote Linie) werden in die thermisch aktivierten Decken eingespeichert. Am Abend wird der Lehm-Grundofen in Betrieb genommen und der Pufferspeicher damit erwärmt (braune und obere rote Linie).



Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte im erweiterten Komfortbereich

Die Raumlufttemperaturen bewegen sich in einem erweiterten Komfortbereich von 21,5 bis 28 °C. Die Oberflächentemperaturen der aktivierten Betondecken befinden sich nahe an der Raumlufttemperatur. Dadurch wird eine sehr gute Behaglichkeit im Gebäude erreicht. Die relative Luftfeuchtigkeit hat im Jahresverlauf eine Bandbreite von 32 bis 54%.



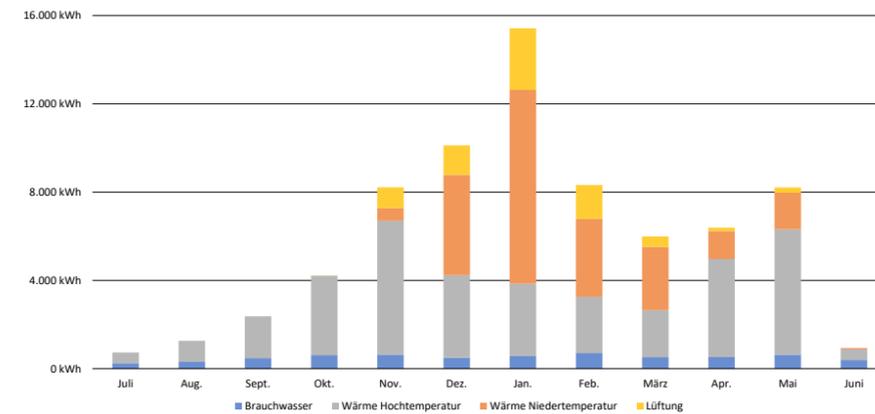
Heizraum und Digitale Ables Haus Schnifis





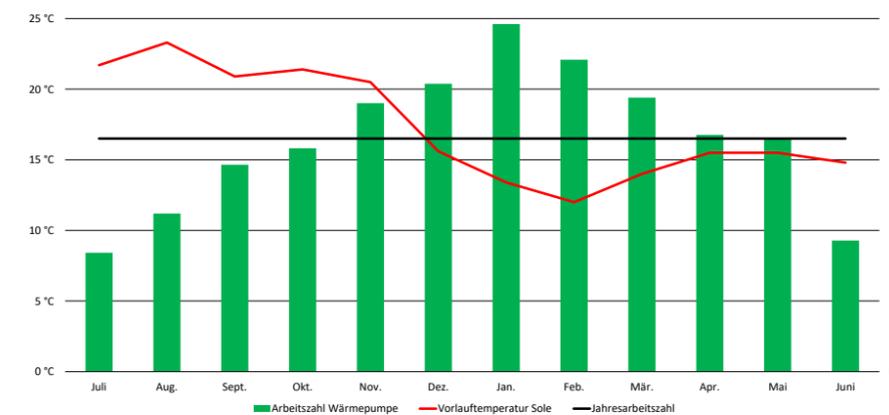
Praxisbeispiel Metzler

Über ein umfangreiches Monitoring können die Energieflüsse exakt nachvollzogen und die Effizienz der Anlage überprüft werden. Beim Betriebsgebäude der Firma Metzler kann über ein umfangreiches Monitoring die Energieflüsse exakt nachvollzogen werden und die Effizienz der Anlage überprüft werden. Das Gebäude wird direkt und indirekt mit Solarenergie versorgt und die Wärme in einem großen Schotterspeicher unter dem Gebäude gespeichert.



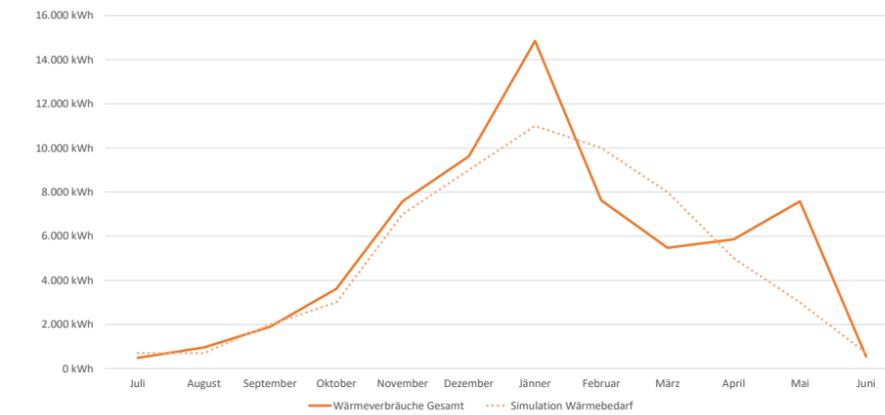
Energieflüsse Wärme

Die Grafik zeigt den Energieverbrauch im Jahresverlauf. Die gestapelten, und verschiedenfarbigen Säulen des Diagramms zeigen jeweils den Verbrauch der einzelnen Bereiche (Heizung, Lüftung, Brauchwasser).



Arbeitszahl Wärmepumpe

Durch ein kontinuierliches Monitoring können verschiedene Parameter der Anlagentechnik überwacht werden. Im Diagramm dargestellt ist die Arbeitszahl der Wärmepumpe im Jahresverlauf (grüne Balken), die Jahresarbeitszahl (schwarze Linie) und die Temperatur der Wärmequelle.



Vergleich Simulation zu Verbrauch

Der Vergleich der Messdaten aus dem Monitoring mit den Ergebnissen der Gebäudesimulation zeigt, dass trotz witterungsbedingten Schwankungen, der Energieverbrauch im geplanten Bereich liegt.

Die Gebäudesimulation wurde mit dem Programm Polysun erstellt, welches mit stündlichen Klimadatensätzen (Temperatur, Strahlung) ein 1-Zonen-Gebäudemodell abbildet. Das Gebäudemodell berücksichtigt die Gebäudehüllqualität, Speichermasse, Fensterflächenanteile für die verschiedenen Himmelsrichtungen, interne Lasten, Luftwechselraten, Luftdichtheit und die gewünschte Solltemperatur. Die Genauigkeit der vereinfachten Simulation ist nicht gleichzusetzen mit einem detaillierten dynamischen Gebäudemodell. Die Ergebnisse sind jedoch vergleichbar mit Berechnungen aus statischen Gebäudemodellen wie PHPP oder SIA und ermöglichen die Effizienz des haustechnischen Systems zu bewerten.

6.2 Auswerten und Vergleichen

Während fast jede Auto fahrende Person den Kraftstoffverbrauch seines Autos kennt, haben die wenigsten Nutzenden eine Vorstellung vom Energieverbrauch ihres Hauses, ihrer Wohnung oder ihres Arbeitsplatzes. Zur Einordnung des Verbrauchs des eigenen Gebäudes ist es sinnvoll, den durchschnittlichen Verbrauch ähnlicher Gebäude zu kennen.

Gemessener Verbrauch Wohngebäudebestand

Die gemessenen Energieverbräuche für Heizung und Warmwasser von 110.000 Öl- und gasbeheizten Mehrfamilienhäusern in Deutschland (Brunata-Metrona) zeigen, dass der mittlere, gemessene Verbrauch (Median) aufgrund der Verschärfung der energetischen Mindestanforderungen von 155 kWh/(m²a) für die Gebäude Baujahr 1962 auf etwa 85 kWh/(m²a) (Baujahr 2006) gesunken ist. Da seitdem die Mindestanforderungen in Deutschland nur noch geringfügig verschärft worden sind, kann davon ausgegangen werden, dass die mittleren Verbräuche von Neubauten dem Wert der Gebäude des Baujahrs 2006 entsprechen.

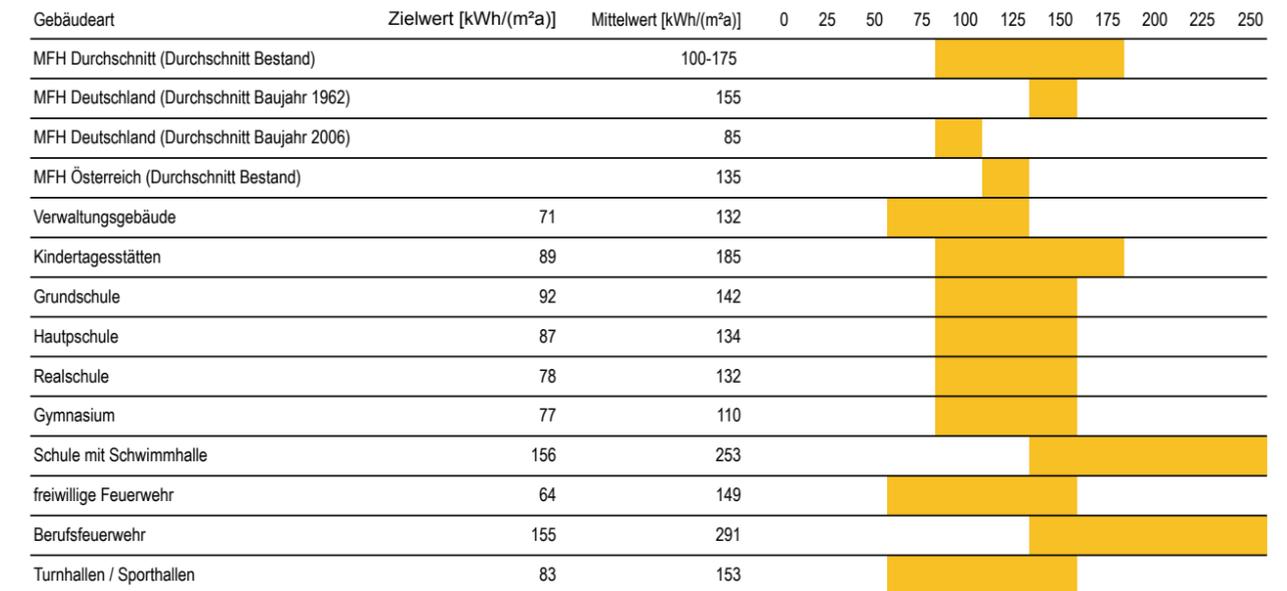
Die Häufigkeitsverteilung des spezifischen Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser von 78.400 Mehrfamilienhäusern in ganz Deutschland mit knapp 1 Million Wohneinheiten (Techem) zeigt, dass ein großer Teil der Mehrfamilienhäuser spezifische Verbräuche zwischen 100 und 175 kWh/(m²a) aufweist. Nur ein kleiner Anteil hat einen Verbrauch von weniger als 75 kWh/(m²a). Ausgewertet wurden Gebäude mit den Energieversorgungssystemen Heizöl, Erdgas und Fernwärme, die über eine gekoppelte Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser verfügen.

Der spezifische Endenergieverbrauch von 434 Mehrwohnhäusern des größten gemeinnützigen Wohnbauträgers in Vorarlberg (Vogewosi) schwankt zwischen knapp 40 und etwa 250 kWh/(m²a), der Median liegt bei 135 kWh/(m²a). Die Gebäude wurden zwischen 1950 und 2011 errichtet. Berücksichtigt sind sowohl Neubauten als auch Bestandsgebäude, die über gekoppelte Wärmeversorgungssysteme für Heizung und Warmwasser verfügen. Ein großer Teil des Bestands wurde zumindest bereits teilsaniert.

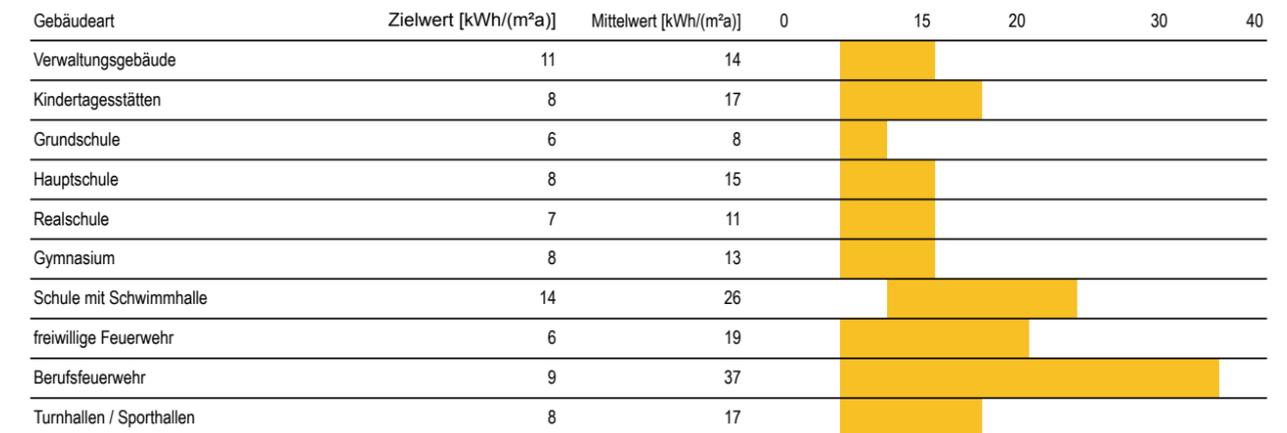
Vergleichswerte Wärme und Strom

Durch einen Vergleich des spezifischen Verbrauchs (kWh/(m²a)) mit Vergleichswerten von Gebäuden gleicher Nutzung (Benchmark), kann überprüft werden wie energieeffizient ein Gebäude ist.

Endenergie Wärme



Endenergie elektrische Energie (Strom)

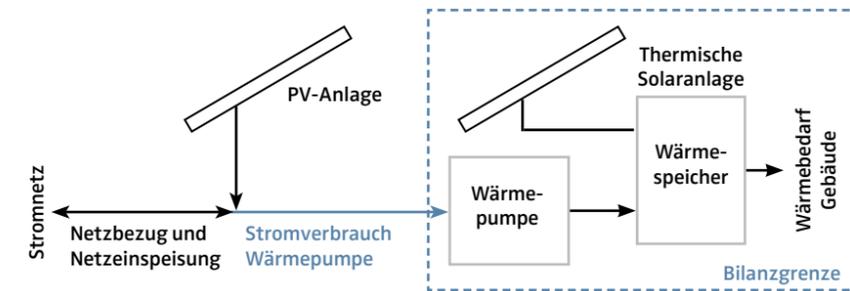


6.3 Die Wahrheit liegt in der Messung

Im folgenden Abschnitt sind die Verbräuche von energetisch sehr effizienten Mehrwohnhäusern im deutschsprachigen Raum zusammengestellt. Dargestellt sind Gebäude, deren reale Energieverbräuche aus Verbrauchsabrechnungen oder als Ergebnisse wissenschaftlicher Messkampagnen vorliegen. Für alle Gebäude ist der gemessene Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser bezogen auf die Wohnnutzfläche angegeben.

Wärmepumpe

Die Abbildung zeigt die Messbilanz für die Gebäude, welche mit einer Wärmepumpe beheizt sind. Die in der Tabelle angegebenen, gemessenen Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser entsprechen dem Stromverbrauch der Wärmepumpe ohne Berücksichtigung einer möglichen PV-Eigennutzung.

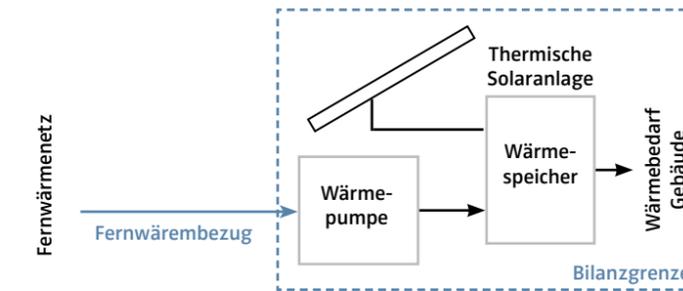


Messbilanz Wärmepumpe

Projektstandort	Langenegg, Österreich	Frankfurt, Deutschland	Feldkirch, Österreich
Wohnnutzfläche	399 m ²	6.644 m ²	1.263 m ²
Wärmeerzeuger	Erdsonden-WP	Abwasser-WP	Erdsonden-WP
Solarsystem	Solarthermische Anlage	PV-Anlage (nicht in Messbilanz)	Solarthermische Anlage
Lüftungsanlage	dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung pro Wohneinheit	dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung pro Wohneinheit	Abluftanlage
Stromverbrauch WP für Heizung und Warmwasser	9,9 kWh/(m ² a)	11,0 kWh/(m ² a)	14,6 kWh/(m ² a)

Fernwärme

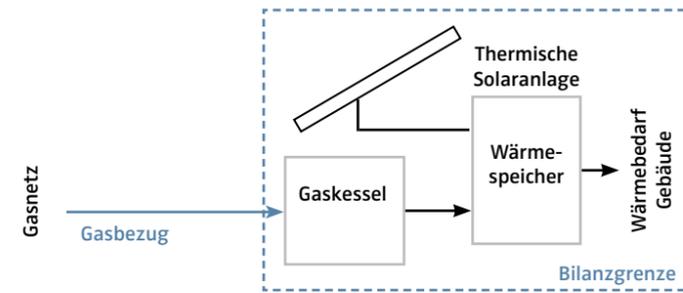
Die Abbildung zeigt die Messbilanz für die Gebäude, welche mit Fernwärme beheizt sind. Die in der Tabelle angegebenen, gemessenen Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser entsprechen dem Wärmebezug aus dem Fernwärmenetz.



Projektstandort	Frastanz, Österreich	München, Deutschland
Wohnnutzfläche	1.529 m ²	1.405 m ²
Wärmeerzeuger	Fernwärme erneuerbar	Fernwärme erneuerbar
Solarsystem	Solarthermische Anlage	PV-Anlage (nicht in Messbilanz)
Lüftungsanlage	dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung pro Wohneinheit	Zentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung
Fernwärmebezug für Heizung und Warmwasser	29,8 kWh/(m ² a)	39,6 kWh/(m ² a)

Gas

Die Abbildung zeigt die Messbilanz für die Gebäude, welche mit Gas beheizt sind. Die in der Tabelle angegebenen, gemessenen Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser entsprechen dem Gasbezug aus dem Gasnetz.



Projektstandort	Frankfurt, Deutschland	Ludesch, Österreich
Wohnnutzfläche	1.842 m ²	1.044 m ²
Wärmeerzeuger	Gas	Gas
Solarsystem		Solarthermische Anlage
Lüftungsanlage	dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung pro Wohneinheit	Zentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung
Gasbezug für Heizung und Warmwasser	39,7 kWh/(m ² a)	40,7 kWh/(m ² a)



Außenbereich
Volksschule Höchst,
Kirchdorf