

# Low-Tech Gebäude

## Prozess Planung Umsetzung

Das Buch ist ein Ergebnis des Projekts  
**Low-Tech-Gebäude in der Bodenseeregion**  
der Internationalen Bodensee-Konferenz  
[www.bodenseekonferenz.org](http://www.bodenseekonferenz.org)





## Vorworte



*Der Abschluss dieses Projektes mit der Bezeichnung „Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche LOW TECH-Gebäude im Bodenseeraum“ fällt in eine Zeit, in der wir uns wieder richtig bewusst geworden sind, wie wichtig die Zusammenarbeit über die Grenzen hinaus ist. Gerade zur Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses und bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels bedarf es eines entschlossenen gemeinsamen Handelns auf verschiedenen Ebenen. Die Zusammenarbeit und der fachliche Austausch innerhalb der IBK bringen wertvolle Impulse, welche die Energieeffizienz weiter verbessern und den Umstieg auf erneuerbare Energien intensivieren.*

*Die strategischen IBK-Ziele in der Klima- und Energiepolitik sind festgelegt. Zur Umsetzung hat die Plattform Klimaschutz und Energie der Kommission Umwelt ein weiteres spannendes Projekt fertiggestellt. Dieses durch die IBK und Interreg finanzierte Projekt ermöglichte es den Bauprozess, wie er heute routinemässig vollzogen wird, zu überprüfen und nach neuen und besseren Lösungen zu suchen.*

*Mit der Sammlung von Erkenntnissen zum Thema „LOW-TECH“-Gebäude, zusammengefasst in diesem Buch, ist eine weitere Grundlage für nachhaltiges Bauen gelegt. Es ist ein gelungenes Beispiel der Zusammenarbeit im IBK-Raum.*

*Dieses Projekt zeigt, wie die Ansprüche der Ökologie mit jenen der Ökonomie in noch besserer Art vereint werden können. In gewissen Situationen ist es eben kein Widerspruch nachhaltig und zeitgleich kostenbewusst zu bauen. Dies zeigen verschiedene in diesem Buch vorgestellte Ansätze und Beispiele. Damit ist ein weiteres IBK-Ziel erreichbar. Der Gebäudepark muss künftig Stück für Stück auf eine bezahlbare und umweltverträgliche Energieversorgung umgestellt werden.*

*Mir ist es ein Anliegen, dass Erkenntnisse aus den Forschungen zu den „LOW-TECH“-Lösungen in der Praxis zu unser aller Nutzen Anwendungen finden. Dies ist das Ziel dieser Publikation und ich möchte Sie ermutigen, wo immer möglich und sinnvoll, diese Ansätze in Ihre tägliche Arbeit einfliessen zu lassen. Ich wünsche Ihnen gutes Gelingen bei neuen, hoffentlich nach „LOW-TECH“-Ansätzen entworfenen, Gebäuden.*

Regierungsrat Fredy Fässler  
Kanton St.Gallen, Vorsitzender der IBK 2021



*Wie viel Technik braucht das nachhaltige Haus? Genau diese Frage hatte das Projekt „Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche LOW TECH – Gebäude im Bodenseeraum“ zum Thema. Schon früh wurde klar, dass eine eindeutige Definition von „LOW TECH“ schwierig ist und jeder etwas anderes unter diesem Begriff versteht.*

*Der Ansatz des „minimalen“ Technikeinsatzes wurde innerhalb der IBK weiter diskutiert und es entstand das Interreg Projekt, mit dem das Wissen über „Low-Tech“-Ansätze verbreitet werden soll.*

*Die Projektpartner validierten und dokumentierten Gebäude und begleiteten diese bei Planung und Bau. Die wichtigsten Erkenntnisse daraus finden sich nun in diesem Buch und können beispielgebend sein. Dieses Buch soll Bauämter und öffentlichen Planungsträger, aber auch private Bauherren und Bauträger mit Hinweisen bei der Erreichung nachhaltiger Baustandards anleiten. Viele Empfehlungen können zudem für bau- und planungsrechtliche Vorgaben durch öffentliche Verwaltungen und Baubehörden verwendet werden.*

*Beim Begriff „Low-Tech“ könnte man auch den Eindruck bekommen, dass man hier einem technikfeindlichen Konzept nachlebt und alles Neue und Moderne verdrängt. Aber genau das soll es nicht sein. Eher sollte man es mit „so viel Technik wie sinnvoll“ beschreiben.*

*Die Arbeiten rund um das Thema „Low-Tech“ haben mir wieder in Erinnerung gerufen, dass sich alles um die Nutzerbedürfnisse und die Bauphysik dreht. Letztlich muss man die Bauphysik im Einzelfall möglichst gut studieren und verstehen, um ein erfolgreiches „Low-Tech“ Gebäude bauen zu können. Also da haben wir es wieder. Das „TECH“ hat sich einfach ins Verständnis der Physik verschoben und wird nicht mehr als bewegliche und surrende Technik sichtbar.*

*Bauwillige müssen sich also mit Bautechnik oder zumindest mit Bauphysik und letztlich mit den natürlich ablaufenden Naturgesetzen auseinandersetzen. Das ist ein gewisser Planungsaufwand, der aber betrieben werden muss, um ein Gebäude möglichst einfach, ohne korrigierendes Zutun von technischen Systemen, funktionieren zu lassen.*

*Noch etwas hat das Projekt aus meiner Sicht gezeigt: Es braucht Auftraggeber, die die Idee von „Low-Tech“ und die damit verbundenen notwendigen Anpassungen im Planungsprozess mittragen. Dazu ist es notwendig, dass ein Planungsteam eingesetzt wird, welches das Gebäude integral über den gesamten Lebenszyklus betrachtet.*

*In diesem Sinne wünsche ich Ihnen mit diesem Buch viele gute Inspirationen und eine erfolgreiche Umsetzung von guten Projekten.*

Jürg Senn

Vorsitzender der Plattform Klimaschutz und Energie der IBK-Kommission Umwelt

# 1. Einstieg

1.1 Weniger Technik im Gebäude

1.2 Vorteile von Low-Tech Gebäuden

1.3 Low-Tech Komponenten und Ansätze

# 1. Einstieg

## 1.1 Weniger Technik im Gebäude

Diese Veröffentlichung ist der Abschluss eines fünfjährigen Interreg Projektes mit dem Titel „Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche „Low-Tech“-Gebäude im Bodenseeraum“, dessen Aufgabe es war, über Definition und Analysen bestehender Gebäude eine Eingrenzung des Themas vorzunehmen und danach durch die Begleitung von Pilotgebäuden Handlungsempfehlungen abzuleiten und zu veröffentlichen.

Der Begriff Low-Tech lässt sich am Beispiel eines Dosenöffners verdeutlichen. Sowohl der elektrische als auch der manuelle Dosenöffner erfüllen ihre Aufgabe. Ein manueller Dosenöffner ist jedoch günstiger in der Anschaffung, hält länger und verbraucht keine Energie. Es bedarf allerdings der körperlichen Anstrengung bei der Benutzung.

In heutigen Gebäuden sind viele technische Komponenten und Systeme komplex zu steuern, verbrauchen bei der Herstellung graue Energie und erhöhen sowohl Baukosten und Endenergiebedarf der Gebäude als auch die Kosten im laufenden Betrieb. So müssen z.B. elektrisch angetriebene Bauteile regelmäßig gewartet, repariert und im Lebenszyklus eines Gebäudes mehrfach ausgetauscht werden. Es gibt aber oft einfachere bauliche Lösungen, die den gleichen Zweck erfüllen.

Über den Austausch in der Projektgruppe, durch die Analyse von Bestandsgebäuden und die Begleitung von Pilotgebäuden wurden im Low-Tech Projekt Maßnahmen und Ausführungsvarianten identifiziert, die mit reduziertem technischen Aufwand den gleichen Nutzen stiften und dabei geringere Errichtungs- und Folgekosten produzieren.

Die untersuchten Gebäudetypen wie Wohnbauten, Schulen, Dienstleistungs- und Verwaltungsbauten, waren nicht miteinander vergleichbar. Deswegen haben wir unsere Erfahrungen und Projektbeispiele anhand eines typischen Bauablaufes gegliedert und uns bemüht, allgemeine Hinweise mit spezifischen Erfahrungen aus dem Projekt zu ergänzen.

Low-Tech ist oft nicht in ganzen Gebäuden, sondern treffsicherer an einzelnen Komponenten und Ansätzen eines Gebäudes fest zu machen. Natürlich gibt es noch das mit einem Kachelofen beheizbare Blockhaus mit dem Brunnen vor der Tür. Hinsichtlich unserer Intention ist dieser Typus aber nicht vereinbar mit den Anforderungen Energieeffizienz und Klimaverträglichkeit in unserem Arbeitstitel.

In der folgenden Tabelle werden die Anforderungen des Gebäudes mit den Low-Tech Ansätzen für Baukonstruktion und Bautechnik gegenübergestellt.

Anforderung	Low-Tech Gedanke	Baukonstruktion	Haustechnik
<b>Thermischer Komfort</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Zur konsequenten Umsetzung des Low-Tech Ansatzes muss eine größere Toleranz der Raumtemperatur möglich sein, d.h. minimal 20 °C im Winter und maximal 28 °C im Sommer. Das ist jedoch nur in Gebäuden mit flexiblen Nutzenden hinsichtlich ihrer Tätigkeit und ihres Bekleidungsgrades möglich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Speichermasse mit viel Oberfläche zur Ausgleichung von Temperaturschwankungen</li> <li>› Gute Verwertung solarer Gewinne und innerer Lasten</li> <li>› Schutz vor Überhitzung durch bewegliche oder feste Elemente an Fassade und Dach</li> <li>› Geeigneter Fensterflächenanteil</li> <li>› Geringe Wärmeverluste durch sehr gute thermische Hülle und 3-Scheiben-Verglasung mit hohem Energiedurchlassgrad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Technik als Ergänzung zur Gebäudehülle zur Versorgung mit Wärme, Schatten und Kühlung</li> <li>› Verzicht auf Raumkühlung, wenn Gebäudenutzung es zulässt</li> </ul>
<b>Raumluftqualität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Bei kontrollierter Be- und Entlüftungsanlage mit WRG: fixierte Volumenströme, auf tatsächliche Nutzung ausgelegt (kein Regelungsaufwand, keine Überdimensionierung).</li> <li>› Kaskadenlüftung, Hybridlüftung, Abluftanlage mit Nachströmungsöffnungen</li> <li>› Thermische Effekte nutzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Verwendung umweltfreundlicher, gesundheitlich unbedenklicher Baustoffe</li> <li>› Nachhaltige Ausschreibung und Chemikalienmanagement</li> <li>› Aufnahme und Wiederabgabe von Feuchtigkeit aus der Raumluft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Einsatz geeigneter Lüftungssysteme je nach Bauaufgabe</li> <li>› Verzicht auf Befuchtung, wenn bei Bauaufgabe möglich (bevorzugt Be- und Entfeuchtung durch Enthalpiewärmetauscher)</li> </ul>
<b>Beleuchtung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Kunstlichtvermeidung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Tageslichtoptimierte Fassaden und Grundrissplanung (Raumhöhen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Nutzung von LED-Lampen</li> <li>› Manuelle Bedienung wenn möglich, ansonsten nur einfache Regelungen</li> </ul>
<b>Nutzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Mehrfachnutzung und Flexibilität für Nutzungsschwankungen</li> <li>› Gebäudetechnik soll für alle Altersgruppen einfach und intuitiv bedienbar sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Klare Struktur, einfache Erschließung</li> <li>› Nutzungsneutrale Raumzuschnitte</li> <li>› suffizientes Raumprogramm</li> <li>› Außenbezüge bieten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Auslegung auf Minimum statt auf Maximum</li> <li>› Mut zur Normabweichung</li> <li>› Strategien zur Bewältigung von Extremsituationen</li> <li>› komplexe Vorgänge in Einzelmodule zerlegen</li> </ul>
<b>Betrachtung nach Lebenszyklus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Ziele frühzeitig setzen, ausführliche Planungsphase</li> <li>› Lebenszykluskosten beachten</li> <li>› Recyclingfähigkeit erhalten</li> <li>› Reduktion der „grauen Energie“, der eingesetzten Baustoffe und Komponenten</li> <li>› Minimierung des Verbrauchs von Energie und Ressourcen</li> <li>› Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Annuitäten über Lebensdauer des Gebäudes mit Berücksichtigung von Instandsetzung, Wartung und Energiepreisteigerungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Qualität des regionalen Handwerks nutzen (regionale Wertschöpfung)</li> <li>› Trennbarkeit von Baustoffen (einfache Verbindungen, Stecken statt Kleben)</li> <li>› Ökologische und ökonomische Optimierung der Material und Konstruktionswahl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Einsatz von energieeffizienten Haustechnikkomponenten</li> <li>› Einbau von Messeinrichtungen zur Feststellung der Energieeffizienz im Betrieb</li> </ul>
<b>Dauerhaftigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Resilienz und Ressourcenschonung</li> <li>› Würdevolles Altern, Denken in Erneuerungsphasen, Modulare Bauweise</li> <li>› Einsatz von Komponenten mit hoher Nutzungsdauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Steigerung der Dampfdiffusion von innen nach außen</li> <li>› Konstruktiver Wetterschutz</li> <li>› Berücksichtigung der gegebenen Dauerhaftigkeit von Baumaterialien ohne zusätzlichen Einsatz von chemischen Zusätzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Trennung Struktur und Haustechnik</li> <li>› Kurze, zugängliche Leitungswege in speziellen Installationsbereichen</li> <li>› Jede Komponente muss für sich alleine funktionieren, Systeme parallel gesteuert</li> <li>› Einfache und modulare Wartung und Reparatur</li> <li>› Gut erweiterbare Infrastruktur</li> <li>› Ersatzteilgarantie von Herstellern</li> </ul>

Mit Hilfe dieser Einordnung konnten wir die Anforderungen dann auch sprachlich benennen und sammeln. Die Wichtigsten sind hier zusammengefasst:

- › Ein „Low-Tech“-Gebäude erfüllt in den Kategorien Behaglichkeit, Baukonstruktion, Ressourceneffizienz und Gebäudetechnik die oben beschriebenen Anforderungen. Der Einsatz aller Materialien im „Low-Tech“-Gebäude erfolgt unter dem Gesichtspunkt größtmöglicher Ressourceneffizienz. Dabei wird dem Einsatz natürlicher und lokaler Materialien der Vorzug gegeben.
- › Für die Baukonstruktion ist Dauerhaftigkeit im Sinne einer guten Sanierbarkeit, sowie eine hohe Flexibilität gefordert. Alle baukonstruktiven Elemente unterstützen die Behaglichkeitsanforderungen durch die hohe Ausführungsqualität und wo sinnvoll, die intelligente Nutzung von Sonnenenergie.
- › Die Gebäudetechnik im „Low-Tech“-Gebäude ist auf unbedingt notwendige Komponenten beschränkt. Einfache Wartung und Unterhalt der verbleibenden technischen Komponenten stehen immer im Vordergrund.
- › Das „Low-Tech“-Gebäude weist einen sehr geringen Energiebedarf und einen hohen Anteil erneuerbarer Energien in der Wärme- und Stromversorgung auf.
- › Barrierefreiheit und damit Zugänglichkeit und Verständlichkeit für alle Generationen ist wichtiges Merkmal eines „Low-Tech“-Gebäudes. Die Anforderungen, die hiermit verbunden sind, sind planerisch, baukonstruktiv und bei der Gebäudetechnik umfassend umgesetzt. Besonders die im „Low-Tech“-Gebäude genutzte Technik ist einfach bedienbar und generationenübergreifend benutzbar.
- › Die Behaglichkeit im „Low-Tech“-Gebäude ist geprägt durch hohen thermischen Komfort, beste Luftqualität und einen hohen Tageslichtanteil.
- › Grundsätzlich wird ein weitgefasserter Ansatz als in den jeweils relevanten Normen vorausgesetzt, um ein „Low-Tech“-Gebäude realisieren zu können. Die Grenzen zu den gültigen Normen sind im detaillierten Anforderungskatalog ausführlich festgehalten.
- › Das Ziel von Low-Tech Gebäuden ist eine hohe Wirtschaftlichkeit über die gesamte Lebensdauer zu erreichen.

In dem hier vorliegenden Leitfaden zur Realisierung von Low-Tech Gebäuden versuchen wir, unsere Erfahrungen aus dem gemeinsamen Projekt nutzbar zu machen und an vielen Beispielen zu erklären. Nach der Definition und der Beschreibung der von uns analysierten Komponenten und Ansätze gibt es viele Hinweise zur Entscheidungsfindung und übertragbare Methoden zur Überzeugung wichtiger Beteiligter. Es folgen Empfehlungen durch den ganzen Planungsprozess bis zum anschließenden Monitoring. Der Leitfaden ist nicht als Fachbuch gedacht, das von vorne bis hinten gelesen wird, sondern eher als Nachschlagewerk in den jeweiligen Planungsphasen.

Aus eigener Erfahrung haben wir Projekte erlebt, die mitten im Planungsprozess scheiterten, Projekte bei denen am Ende der Planung von der Low-Tech Idee nichts mehr zu erkennen war und Projekte bei denen gute Ansätze plötzlich doch nicht ausgeführt wurden. Auch diesen Fehlschlägen ist ein Kapitel gewidmet, genau wie den Projekten, die mit mutigen Innovationen interessante Beispiele geliefert haben. Wir hoffen, dass andere von unseren Erfahrungen profitieren können und danken für die finanzielle Unterstützung des Intereg-Programms „Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein“ und der Internationalen Bodensee-Konferenz, ohne die diese Veröffentlichung niemals zustande gekommen wäre.

## Definition

*Low-Tech Gebäude sind energieeffizient, ressourcenschonend und wirtschaftlich. Sie sind robust und auf eine lange Lebensdauer ausgelegt. Ihre Baukonstruktion ist entsprechend geplant und ausgeführt und bietet den Nutzenden Behaglichkeit im gesamten Jahresverlauf. Die noch notwendige, reduziert eingesetzte Gebäudetechnik ist einfach in Bedienung und Instandhaltung.*

## 1.2 Vorteile von Low-Tech Gebäuden

Low-Tech ist kein Schlagwort oder neuer Anglizismus, der versucht die Gebäudetechnik in Verruf zu bringen oder auszugrenzen. Vielmehr besinnt sich Low-Tech auf Traditionen des Handwerks und greift auf bewährte Tugenden der Architektur zurück. Im Gegensatz zur standardisierten Vorgehensweise, jeder baulichen Herausforderung reflexartig mit einem technischen Hilfsmittel zu begegnen, wird das Gebäude dabei als ganzheitliches System betrachtet. Durch die kluge Kombination der einzelnen, oft auch allgemein bekannten Komponenten und Ansätze und dem präzisen Einsatz angemessener Technik kann ein geplantes Objekt zu einem Low-Tech Gebäude werden.

Wie in vielen anderen Bereichen liegt auch hier der Schlüssel zum Erfolg in der frühzeitigen Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen (integrale Planung), in der Bauleute, Architekturschaffende und fachplanende Personen gemeinsam Anforderungen an ein Gebäude erarbeiten:

*Was muss das Gebäude leisten?*

*Welche Bedürfnisse muss es bedienen?*

*Wieviel Komfort verlangen die Nutzenden?*

Bekannte Denkmuster und Automatismen müssen dafür durchbrochen werden. Generell nehmen die Planenden starken Bezug auf die Nutzung, den Bauort und seine Umgebung. Der Planungsaufwand für ein Low-Tech Gebäude ist größer als bei Standardbauten, da doppelte Sicherheiten vermieden werden müssen. Durch die Besinnung auf das Wesentliche können leicht verständliche und erweiterbare Gebäudestrukturen entstehen.

Für Bauleute und Investierende kann ein Low-Tech Gebäude wirtschaftlich attraktiv sein. Denn trotz des höheren Planungsaufwands und der höheren Kosten durch den Einsatz hochwertiger Materialien, haben Low-Tech Gebäude über den gesamten Nutzungszyklus betrachtet oft ökonomische und ökologische Vorteile. Um dies nachzuweisen, sollten von Planungsbeginn an mehrere Varianten untersucht werden. Denn durch den zurückhaltenden Einsatz von Material und Technik, sowie der Verwendung langlebiger Konstruktionen aus wiederverwertbaren Materialien können Ressourcen und Kosten über den gesamten Lebenszyklus hinweg eingespart werden. Auch die Wartungs- und Unterhaltskosten können durch weniger technische Infrastruktur gering gehalten werden. Im Betrieb ist ein Low-Tech Gebäude energieeffizient. Durch den hohen energetischen Standard fallen niedrige Betriebskosten an.

Aus Sicht der Nutzenden stehen gut nutzbare Räume und die Behaglichkeit des Gebäudes im Fokus. Ebenso wichtig sind einfache Bedienbarkeit, Adaptierbarkeit und günstiger Unterhalt.

## 1.3 Low-Tech Komponenten und Ansätze

Ein Low-Tech Gebäude ist ein hocheffizientes Gebäude, das mit einfachen aber sehr dauerhaften und ressourcenschonenden baulichen Komponenten und Ansätzen über den gesamten Jahreszyklus hinweg die Bedürfnisse seiner Nutzenden umfassend erfüllt. Low-Tech Gebäude sind robust und auf eine lange Lebensdauer ausgelegt. Der Einsatz aller Komponenten und Ansätze eines Low-Tech Gebäudes erfolgt unter dem Gesichtspunkt größtmöglicher Ressourceneffizienz über den gesamten Lebenszyklus.

Die einzelnen Komponenten und Ansätze eines Low-Tech Gebäudes lassen sich in drei Bereiche unterteilen: Nutzung, Bautechnik und Gebäudetechnik. Die Relevanz der jeweiligen Komponenten und Ansätze ist allerdings stark abhängig vom Gebäudetyp. Was im Einfamilienhaus zu berücksichtigen ist, kann unter Umständen bei der Planung eines Schulbaus von geringer Bedeutung sein.

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick über die wichtigsten Komponenten und Ansätze von Low-Tech Gebäuden, deren Merkmale und Anwendungsbeispiele aufgezeigt.

Die Grafik auf der nächsten Seite bietet einen ersten Überblick über die Komponenten und deren Eignung im jeweiligen Gebäudetyp. Weitere Informationen zu den einzelnen Komponenten und Ansätzen finden sich im folgenden Kapitel.

	EFH	MFH	Schule	Verwaltung	Produktion
<b>NUTZUNG</b>					
 Weglassen	●	●	●	●	●
 Mehrfachnutzung	○	◐	●	●	◐
 Flexible Grundrisse	◐	◐	●	●	◐
 Tageslichtnutzung	●	●	●	●	○
<b>BAUKONSTRUKTION</b>					
 Gebäudehülle	●	●	●	●	●
 Solare Einträge nutzen	●	●	◐	○	○
 Speichermasse	◐	●	●	●	●
 Graue Energie	●	●	●	●	●
 Dauerhaftigkeit	●	●	●	●	●
 Feststehender Sonnenschutz	◐	●	●	●	●
 Natürliche Lüftung	●	●	◐	◐	◐
<b>GEBÄUDETECHNIK</b>					
 Verzicht	◐	○	○	○	○
 Vereinfachte Lüftungssysteme	●	●	●	●	●
 Installationen leicht zugänglich	●	●	●	●	●
 Passive Kühlung	◐	◐	◐	○	○
 Reduzierte Wärmeverteilung/-erzeugung	◐	○	○	○	○

● immer   ◐ häufig   ○ manchmal

## Nutzung

Zunächst muss das Gebäude seinen Zweck möglichst ideal erfüllen: Es muss geeigneten Raum für die geforderte Nutzung bieten. Behaglichkeit, beste Luftqualität und ein hoher Tageslichtanteil wird natürlich auch in Low-Tech Gebäuden vorausgesetzt.

### Weglassen

Welche Bedürfnisse muß ein Gebäude erfüllen und was ist dafür erforderlich? Das sollten alle Projektbeteiligten während des gesamten Projektzeitraums, von der Idee über die Planungsphasen bis hin zur Fertigstellung und auch im Betrieb, kritisch hinterfragen. Alles was weggelassen werden kann, verursacht weder Investitionskosten, noch muss es gewartet werden. Strukturelles, räumliches und konstruktives Einsparungspotential kann bereits abgeklärt werden, bevor über Gebäudetechnik nachgedacht wird. Beispielsweise lassen sich mit einer tageszeitlich verschobenen Mehrfachnutzung mitunter Räume einsparen.

### Mehrfachnutzung

Wenn Räume funktional bemessen und gestaltet sind, lassen sie verschiedene Nutzungen zu und können somit auch durchgängiger in Verwendung sein. Aufenthaltsräume oder Speisesäle können außerhalb der Essenszeiten für Schulungen oder Besprechungen genutzt werden. Sporadisch benötigte Räume für Besprechungen, Pausen oder beispielsweise auch Gästezimmer können mehreren Nutzenden (z.B. unabhängigen Büros im selben Gebäude, Wohnungsmietpartei, etc.) zur Verfügung stehen. Die Organisation zur Raumbellegung kann von einem Online-Reservationskalender übernommen werden.

### Flexible Grundrisse

Die Grundrissplanung bietet viel Gestaltungspotential. Vielfältig nutzbare Räume sind hier auf die Lebensdauer betrachtet ein Vorteil. Die vielen Nutzungsmöglichkeiten von Altbauten aus der Gründerzeit sind zum Beispiel legendär. In diesen Wohnungen wird heute noch gerne gelebt, aber auch Praxen, Büros und Yogastudios betrieben. Der Grund dafür sind gleichwertige, gut belichtete Räume mit hohen Raumhöhen und einer einfachen Erschließung.

Auch in Verwaltungsgebäuden mit hohem Installationsbedarf können beispielsweise durch installationsfreie Trennwände Raumaufteilungen nachträglich adaptiert und auf die jeweiligen Anforderungen angepasst werden.

### Tageslichtnutzung

Wo viel Tageslicht in die Räume gelangt, steigt die Behaglichkeit und der Aufwand für die Beleuchtung sinkt. Die optimale Größe, Anordnung und Position der Fenster sind auf die Art der Nutzung und auf die mögliche Abschattung durch Häuser, Bäume, etc. abzustimmen. Raumhohe Fenster vergrößern den Lichteinfall, schränken aber die Möblierung ein. Hohe Fensterbrüstungen (100 cm und höher) verwehren hingegen im Sitzen den Ausblick. Von Vorteil sind sturzffreie Fenster und Fensterleibungen in hellen Farben, die das Tageslicht tiefer in den Raum leiten.

## Baukonstruktion

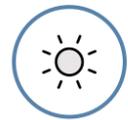
Ein Low-Tech Gebäude erfüllt die meisten Anforderungen an Klimatisierung und Komfort schon durch seine Konstruktion. Eine Umsetzung mit robusten Baustoffen und einem ökologisch nachhaltigen Ressourcenverbrauch ist anzustreben. Dauerhaftigkeit im Sinne von Haltbarkeit, guter Sanierbarkeit und Austauschbarkeit ist gewünscht. Alle baukonstruktiven Elemente unterstützen die Behaglichkeitsanforderungen durch die hohe Ausführungsqualität und wenn möglich auch die intelligente Nutzung von Sonnenenergie.



### Gebäudehülle

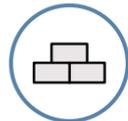
Eine hocheffizient dämmende Gebäudehülle ist Voraussetzung für ein funktionierendes Low-Tech Gebäude. Sie dämpft die Auswirkungen der natürlichen Schwankungen von Außentemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonnenlicht etc. Die Gebäudehülle schützt im Sommer vor Überhitzung und im Winter vor Auskühlung.

Neben der Erfüllung der energetischen Ansprüche ist die Gebäudehülle eines Low-Tech Gebäudes zudem einfach konstruiert, langlebig sowie gut sanierbar.



### Solare Einträge nutzen

Die Sonnenenergie, die über die Gebäudehülle ins Innere gelangt und von Gebäudeteilen wie Wänden, Böden und Einrichtung absorbiert wird, trägt zur Erwärmung eines Gebäudes bei. Vor allem bei gut gedämmten Gebäuden können die solaren Einträge in der kalten Jahreszeit einen wesentlichen Anteil des Wärmebedarfs decken. Im Sommer können die solaren Gewinne jedoch zu einer Überhitzung des Gebäudes führen. Durch die richtige Positionierung und Dimensionierung der Fensterflächen und die Wahl geeigneter Verschattungsmöglichkeiten können die solaren Einträge im Winter optimal genutzt werden, ohne in den warmen Sommermonaten zur Überhitzung zu führen.



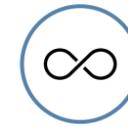
### Speichermasse

Schwere, kompakte Bauteile aus Beton, Stein, Kalksandstein oder Lehm haben eine hohe thermische Speichermasse. Die Bauteile nehmen die Wärmespitzen im Tagesverlauf auf und geben sie in den kühleren Nachtstunden wieder ab. Das Innenraumklima wird dadurch gegenüber den äußeren Temperaturschwankungen stabilisiert. Diese Trägheit der thermischen Masse hat entscheidenden Einfluss auf die Raumtemperaturen, im Sommer und auch im Winter.



### Graue Energie

Weglassen, was nicht notwendig ist, spart große Mengen an grauer Energie. Bei Materialien in Innenräumen genügen vielfach unbehandelte Oberflächen. Natürliche, regionale Materialien wie Holz, Lehm und pflanzliche Fasern benötigen über den gesamten Lebenszyklus deutlich geringere Energiemengen als beispielsweise Aluminium, Asphalt und Kunststoff. Auch exotische Materialien mit langen Transportwegen weisen einen hohen grauen Energiebedarf auf. Recyceltes oder wiederverwendetes Material sowie einheitliche und einfache Konstruktionen, die sich leicht zurückbauen und entsorgen lassen, verbrauchen hingegen wenig graue Energie.



### Dauerhaftigkeit

Je nach Aufgaben und Beanspruchungen ist die Nutzungsdauer der Materialien unterschiedlich. Entsprechend robuste und langlebige Materialien senken die Unterhaltskosten, schonen die Ressourcen und ersparen frühzeitige Erneuerungen. Bei mehrschichtigen Bauteilen sollte sich die äußerste oder oberste Schicht austauschen lassen, ohne darunterliegende Schichten zu beschädigen. Von Vorteil sind deshalb lösbare oder rückbaubare Verbindungen wie Schrauben, Nägel oder Metallbeschläge.



### Feststehender bzw. außenliegender Sonnenschutz

Bauliche Maßnahmen an der Fassade schützen vor übermäßiger Blendung und Überhitzung. Auskragende Vordächer, Balkone und Laubengänge beschatten bei hochstehender Sommersonne die Glasflächen auf den besonnten Fassaden. Dem Gebäude vorgelagerte gestalterische Elemente wie geschosshohe vertikale Lamellen oder Kastenelemente, erzielen dieselbe Wirkung. In der Praxis sind solche feststehende Sonnenschutzelemente aber nicht immer anwendbar. Auch mit einem außenliegenden Sonnenschutz in Form von Rafflamellenstoren etc. kann der sommerlichen Überhitzung von Räumen wirksam entgegengewirkt werden.



### Natürliche Lüftung / Sommerliche Nachtauskühlung

Eine natürliche Lüftung ist, sofern es die Lage und die Nutzung des Gebäudes zulassen, möglich, wenn ein Raum oder Raumverbund über mindestens zwei Fenster quer gelüftet werden kann. Eine Variante davon ist die Auftriebslüftung. Durch geöffnete Fenster oder Klappen strömt kalte Frischluft in das Gebäude ein. Die verbrauchte Luft gelangt im Gegenzug mit Hilfe von Auftrieb oder Durchzug ins Freie. So kann im Sommer die tagsüber gespeicherte Wärme durch die vorgesehenen Öffnungen abtransportiert und das Gebäude über Nacht ausgekühlt werden. Diese Nachtauskühlung kann von Hand oder mit gesteuerten Stellmotoren betrieben werden. In der Heizperiode führt die freie Fensterlüftung allerdings zu deutlichen Wärmeverlusten und zu einem steigenden Heizwärmebedarf.



Eingang Mehrzweckgebäude Mellau

## Gebäudetechnik

Wurde die Hülle entsprechend geplant, kann der Einsatz von Technik in Low-Tech Gebäuden auf die notwendigsten Komponenten reduziert werden. Eine bewusst einfache technische Gestaltung, z.B. mechanische Komponenten mit einfacher Bedienung, Wartung und Unterhalt, trägt wesentlich zur Umsetzung eines Low-Tech Gebäudes bei. Der Verzicht auf Haustechnik sollte aber in keinem Fall zu höherem Energieverbrauch oder geringerer Effizienz führen.

Einzelkomponenten sollen austauschbar, robust, reparabel und ohne erhöhten Aufwand wiederherzustellen sein. Ein Defekt einer Einzelkomponente, z.B. einer Steuerung, darf nicht kaskadenartig zum Komplettaustausch der technischen Gesamtanlage führen. Dies ist besonders wichtig, da technische Komponenten in der Lebensdauer eines Gebäudes mehrfach ausgetauscht werden müssen. Aufgrund der geringeren Erneuerungszyklen der Haustechnik im Vergleich zu den bautechnischen Komponenten, ist eine wirtschaftliche Überprüfung auch hier unerlässlich.



### Verzicht

Grundsätzlich wird ein weitgefassterer Ansatz als in den jeweils relevanten Normen vorausgesetzt, um ein Low-Tech Gebäude realisieren zu können. Beispielsweise können bewusst höhere Temperaturen im Sommer oder nach einem Winterwochenende etwas niedrigere Temperaturen in Kauf genommen werden, wenn damit auf zusätzliche technische Komponenten verzichtet werden kann.



### Vereinfachte Lüftungssysteme

Speziell in Gebäuden bzw. Räumen mit hohen Belegungszahlen kann die hygienische Luftqualität nur durch Lüftungsanlagen gewährleistet werden. Auch hier bietet der Low-Tech Ansatz viel Potential.

Durch die richtige Auslegung, Dimensionierung und Steuerung der Anlagen kann die Größe der Lüftungsanlage reduziert werden. In der Planung werden die Luftmengen auf realistische Szenarien ausgelegt und nicht auf selten auftretende Nutzungsspitzen. In der Nutzung können verschiedene Lüftungsstufen per Hand geregelt werden. Bei wechselnder Belegung, wie sie in Unterrichts- oder Besprechungsräumen vorkommen, kann eine CO<sub>2</sub>-Steuerung sinnvoll sein.

Auch Kaskadenlüftung bietet beispielsweise einen guten Low-Tech Ansatz für eine ausreichende Frischluftzufuhr. Bei dieser Form der kontrollierten Belüftung gelangt die frische Luft in Schlafräume oder Büros und durchströmt danach Korridore, Wohn- und Aufenthaltsbereiche. In Räumen mit stark verunreinigter Luft wie WC und Küche wird die Abluft abgeführt. So können Leitungen reduziert werden.



### Installationen einfach zugänglich

Versorgungsinstallationen haben wesentlich kürzere Nutzungszyklen als Wände und Decken. Sämtliche Kabel, Leitungen und Rohre sollen entweder Aufputz oder einfach zugänglich in Installations-schächten geführt werden. Die offene Montage macht eine flexible Nutzung und Einrichtung möglich.

Bürogebäude be 2226,  
Lustenau



### Passive Kühlung

Unter passiver Kühlung oder Free cooling versteht man Kühlung ohne Kompressorkälte. Zum Beispiel kann die Erdwärme mit einer Wärmepumpe im Winter zum Heizen und im Sommer zur Kühlung der Fußbodenheizung oder einer aktivierten Decke benutzt werden. Die Temperatur im Erdreich wird dadurch erhöht, was im Winter zu einer besseren Effizienz der Wärmepumpe führt. Eine Nachtauskühlung über geöffnete Fenster oder Klappen wird als Free cooling bezeichnet.



### Reduzierte Wärmeverteilung oder Wärmeerzeugung

Bei richtigem Einsatz der Nutzungsansätze und Bautechnikkomponenten kann unter Umständen auf ein Wärmeverteilungssystem oder sogar auf eine Wärmeerzeugung verzichtet werden. Damit im Winter niemand friert, muss das Gebäude als System genau simuliert und die einzelnen Komponenten optimiert werden.

In einem gut gedämmten Gebäude wirken neben den solaren Einträgen auch kleine Wärmequellen wie interne Wärmelasten von Menschen, Geräten oder Abwärme aus Prozessen. Dezentrale Wärmequellen wie Stückholz- oder Pelletöfen bieten dann genug Energie. Besitzen diese Öfen die Speicherfähigkeit von Schamottsteinen oder Lehm, strahlen sie die Wärme langsam und kontinuierlich ab. Die Wärme verteilt sich über die Thermik oder eine kontrollierte Be- und Entlüftung.

Das Bürogebäude be 2226 in Lustenau, Vorarlberg, kommt beispielsweise ganz ohne Heizung aus. Neben den solaren Einträgen reichen die internen Gewinne durch PCs und Beleuchtung zur Erwärmung des Gebäudes.



## 2. Low-Tech Ansätze im Prozess

- 2.1 Grundsätzliche Entscheidungen
- 2.2 Integrale Planung
- 2.3 Qualitätssicherung im Prozess
- 2.4 Erfahrungen aus der Praxis – „So nicht!“

## 2. Low-Tech Ansätze im Prozess

### 2.1 Grundsätzliche Entscheidungen

Am Anfang steht die Frage, ob das Gebäude überhaupt notwendig ist. Vielleicht gibt es stattdessen Möglichkeiten, den Bestand umzunutzen oder Flächen mit anderen Nutzenden zu teilen. Errichtete Flächen sollen möglichst ständig genutzt werden. Wenn das nicht der Fall ist, kann vielleicht ganz darauf verzichtet werden oder die Räume werden mit anderen Nutzenden geteilt. Dazu ist es sinnvoll die Grundrisse so zu gestalten, dass sie nutzungs offen und leicht anzupassen sind. Zwei Beispiele aus der Begleitung der Pilotgebäude:

#### Praxisbeispiel Mehrfachnutzung

Die Räume im Neubau am Landwirtschaftlichen Zentrum SG in Salez werden über das ganze Jahr genutzt. Das Gebäude dient nicht nur als Gewerbeschule für Landwirte, sondern auch als Ferienlager für Vereine in der Schulferienzeit. Es werden Kurse, Weiterbildungen und Informationen zur Haus- und Landwirtschaft angeboten. An das Schulgebäude angeschlossen ist ein Wohntrakt, der angereisten Personen eine Schlafmöglichkeit bietet und somit auch das Pendeln reduziert.

#### Praxisbeispiel Flexible Grundrisse

Im Rahmen des Interreg-Projektes wurde auch ein Pilotgebäude im genossenschaftlichen Wohnungsbau in Niederösterreich begleitet. Bei den untersuchten Gebäuden handelt es sich um sehr gut gedämmte Baukörper mit je sechs Wohneinheiten, davon vier Eckmaisonetten und zwei Dachwohnungen.

Die Größe der Maisonetten orientiert sich mit ca. 100 m<sup>2</sup> an jener von kleinen Einfamilien- und Reihenhäusern und sie können bei Bedarf unkompliziert in zwei ca. 50 m<sup>2</sup> große Zweizimmerwohnungen aufgeteilt werden. So kann zum Beispiel nach Auszug der Kinder die Hälfte der Wohnfläche vermietet oder erwachsenen Kindern zur Verfügung gestellt werden. Im Staffelgeschoss gibt es zwei 70 m<sup>2</sup> Wohnungen, die sich nach drei Seiten orientieren und eine Dachterrasse besitzen. Die Gebäude sollen in Gebieten mit vielen Einfamilienhäusern ein qualitativvolles und verdichtetes Wohnen ermöglichen.

### 2.2 Umsetzung im Prozess

In der Praxis ist es oft schwierig, von altbekannten Strukturen abzuweichen und Neues zu wagen. Wichtig für die Umsetzung von Low-Tech Projekten ist deshalb die Sensibilisierung der wichtigsten Beteiligten wie

- › Auftraggebende – Stadtoberhäupter, Gemeinderät\*innen, Bauleute, Geschäftsleitende, private Investor\*innen, ...
- › Zukünftige Nutzende – die später mit dem Gebäude „leben“ müssen
- › Architekturschaffende – die ihre Ideen verwirklichen wollen
- › Fachplanende Personen – die für Licht, Luft, Wärme und warmes Wasser im Gebäude sorgen

Die Sensibilisierung kann beispielsweise durch Vorträge über die Möglichkeiten und Vorteile von Low-Tech erfolgen. Auch Workshops, in denen neben Wünschen und Vorstellungen der Bauleute bereits erste Konzepte oder Lösungsmöglichkeiten erarbeitet werden, bieten sich hierfür an. Neben Informationsmaterial sind Exkursionen zu bereits gebauten und funktionierenden Gebäuden eine gute Möglichkeit für die Bekanntmachung von Low-Tech Ansätzen.

Erfahrungsberichte von Nutzenden geben zusammen mit Informationen und Kostenaufstellungen zu verschiedenen Gebäude- und Anlagenkonzepten Anreize für die Umsetzung von Low-Tech Ansätzen.

#### Klare Vorgaben der Bauleute

Bei der Bauentscheidung spielen Referenzbauten im Umfeld der Bauleute oft eine bedeutende Rolle. Trotz der großen Bedeutung von finanziellen Aspekten wie Anschaffungskosten, Förderungen oder Betriebskosten werden Kaufentscheidungen oft emotional getroffen. Low-Tech Gebäude bieten Komponenten und Ansätze, um behagliche Häuser mit eigenem Ausdruck und Mehrwert zu entwerfen. Wenn es gelingt, positive Emotionen zu wecken, können höhere Investitionen freigesetzt werden als mit rein rationalen Entscheidungen.

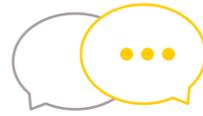
Akzeptanz und Mitwirken der Nutzenden sind für den Erfolg von Low-Tech Ansätzen in Gebäuden von großer Bedeutung. Folglich müssen sich die Bauleute diesem Thema gegenüber nicht nur offen zeigen, sondern sich auch über die gesamte Bauphase dafür einsetzen.

Eine Definition der energetischen und ökologischen Ziele durch die Bauleute dient als Zielvorgabe für das Planungsteam und sollte möglichst frühzeitig festgeschrieben werden. Folgende Aspekte sollten berücksichtigt werden:

- › Energiestandard und Verwendung erneuerbarer Energie
- › Ökologische Baustoffe und Materialwahl
- › Reduktion der grauen Energie
- › Gesunde Innenraumluft
- › Anpassung an Klimawandel und Extremwetterereignisse

#### Aktive Nutzende

Für ein Low-Tech Gebäude benötigt es die Bereitschaft der Nutzenden, auf einige Automatisierungen zu verzichten und wieder selbstständig zu handeln. Das Spektrum reicht von Licht ausschalten, Fenster öffnen und schließen bis zur Akzeptanz einer größeren Temperaturtoleranz. Sind die Bauleute nicht auch gleichzeitig die Nutzenden des Gebäudes, so kommt ihnen große Verantwortung zu. Sie müssen abstimmen und entscheiden, wieviel Regelung die Nutzenden selbst übernehmen sollen.



## Interview Bauherrin

Im Folgenden steht die Bauherrin eines privaten Low-Tech Einfamilienhauses Rede und Antwort. Das Gebäude ist hochwärmegedämmt und verfügt über ein Heizsystem aus Solarthermie und Bauteilaktivierung. Ergänzt wird das System durch einen Holzofen.

### Wie kam es zu der Entscheidung, ein Low-Tech Haus zu bauen?

Für uns war es ein emotionaler Entschluss uns für ein Low-Tech Haus zu entscheiden. Es ist ein System, das unabhängig von dem ist, was die Zukunft bringt. Auch die übernächste Generation kann das Gebäude noch ohne große Investitionen nutzen.

### Warum haben Sie sich für ein Low-Tech Heizsystem entschieden?

Für uns war klar, dass wir eine nachhaltige Heizung wollen, die uns unabhängig macht von fossilen Brennstoffen. Unser Architekt hat uns dieses Heizsystem empfohlen, da er bei einem anderen Projekt gute Erfahrungen damit gemacht hat. Freunde von uns haben das gleiche Heizsystem und haben uns mit ihren Erfahrungsberichten in dem Entschluss gestärkt.

### Wie beurteilen Sie Ihr Low-Tech Haus aus finanzieller Sicht?

Wir wissen, dass die Investitionskosten höher waren, als bei einem herkömmlichen Gebäude. Wir sehen das Haus nicht nur als Investition für uns, sondern für mehrere Generationen. Die Kosten amortisieren sich irgendwann. Eine genaue Berechnung der Lebenszykluskosten haben wir aber gar nicht gemacht. Im Betrieb haben wir so gut wie keine Betriebskosten. Das Holz holen wir selber, die Kosten für den Betriebsstrom sind sehr gering.

### Wie zufrieden sind Sie mit dem Low-Tech Heizsystem?

Für uns als Nutzende ist das System total einfach, da es automatisch im Hintergrund läuft. Fußbodenheizung haben wir nur an den Stellen, an denen sie wirklich gebraucht wird, also im Bad, in der Küche und vor den Fenstern. Den Ofen müssen wir nur anheizen, wenn an ein paar aufeinander folgenden kalten Tagen die Sonne nicht scheint. Ansonsten wird der Ofen vor allem der Gemütlichkeit wegen angefeuert.

### Wie funktioniert der sommerliche Wärmeschutz im Haus?

Wir haben einen fest verbauten Sonnenschutz. Die großen Fenster bei der Terrasse sind zurückversetzt. Dadurch kommt im Sommer gar kein direktes Sonnenlicht ins Gebäude. Ansonsten haben wir nur eine ornamentierte Holzfassade. Das Haus überhitzt gar nicht. Wir regeln alles mit Durchzug während der Nacht. Mit einem geöffneten Dachfenster in der Galerie und einem geöffneten Fenster unten funktioniert das bestens.



Haus Schnifis, Küche mit Lehmofen, mama Architektur

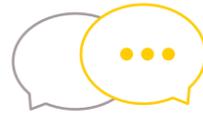


## 2.2 Integrale Planung

Wirtschaftliches Bauen wird insbesondere durch eine sorgfältige und abgestimmte Planung erreicht. Für das Gelingen von integralen Planungsprozessen ist eine frühzeitige und fortlaufende Zusammenarbeit von Fachpersonen aus der Architektur, Haustechnik, Elektroplanung und Bauphysik sowie den Bauleuten und den Nutzenden wichtig. Der Low-Tech Gedanke sollte möglichst frühzeitig in den Bau- bzw. Sanierungsprozess integriert werden. Die Bauleute sollten deshalb auf eine frühzeitige Beauftragung aller Planungsleistungen sowie auf einen gemeinsamen Planungsstart bestehen. Gebäudehülle und Anlagentechnik sollten als Gesamtsystem betrachtet und daher gemeinsam konzipiert und geplant werden. Fragen und Unklarheiten können zeitnah geklärt, Schnittstellen eindeutig definiert und dadurch unnötige Komplikationen verhindert werden.

Für eine erfolgreiche integrale Planung sollte auch ausreichend Zeit zur Verfügung stehen, um verschiedene Varianten zu entwickeln. Will man die berühmten „Hosenträger zum Gürtel“ weglassen, müssen alle Verantwortlichen die Gewissheit haben, dass das Gebäude auch ohne technische Reserven funktioniert. Dazu sind oft detaillierte Berechnungen und Simulationen notwendig. Soll zum Beispiel mit Phasenverzögerung gearbeitet werden, muss die Aktivierung von Speichermassen frühzeitig eingeplant werden und darf nicht durch nachträglich abgehängte Decken entkoppelt werden.

Eine gute Kommunikation aller Beteiligten ist stets essentiell für das Gelingen des Bauprojekts. Hierbei ist im Besonderen auf einen verlustfreien Informationsfluss und die Einbeziehung der wichtigen Personen in relevante Entscheidungen wichtig. Hierfür bietet sich die Etablierung von regelmäßigen Besprechungsterminen an.



## Interview Planer

### Wie kann interdisziplinäres Planen gelingen?

Florian Lang: Um einen integralen Planungsprozess anzustoßen, muss das Team möglichst früh aufgestellt werden. Das ist schwierig realisierbar, weil es beim öffentlichen Bauen nur über Vergabeverfahren geregelt werden kann. Wir regen deswegen bei privaten wie bei öffentlicher Bauherrschaft an, von einer reinen Preisentscheidung wegzugehen und ein Punktesystem zu verwenden, das die Qualität bewerten kann. Auch die Zusammensetzung der Teams ist extrem wichtig, sowie dass alle planende Personen Vorschläge zu anderen Fachdisziplinen machen können, auch wenn das nicht ihr eigentlicher Kompetenzbereich ist.

### Warum ist die Umsetzung so schwierig?

Florian Lang: Jeder redet über „integral planen“. In der Realität ist es oft so, dass die Fachingenieur\*innen warten, bis eine fertige Werkplanung vorliegt, auf die die Haustechnik aufgesetzt wird. Wir versuchen stattdessen schnell eine erste Entwurfsberechnung zu machen. Dazu brauchen wir schon im frühen Planungsstadium Luftmengen oder die Dimensionen von Kanälen. Wir fordern dann die Angaben ein und sagen „Skizziert das doch mal mit dem Bleistift auf.“ So können sehr frühe Planungsentscheidungen gefällt werden, ohne dass schon die komplette Anlagentechnik in 3D gezeichnet wird.

### Gibt es weitere Erfolgsfaktoren für einen gelungenen Prozess?

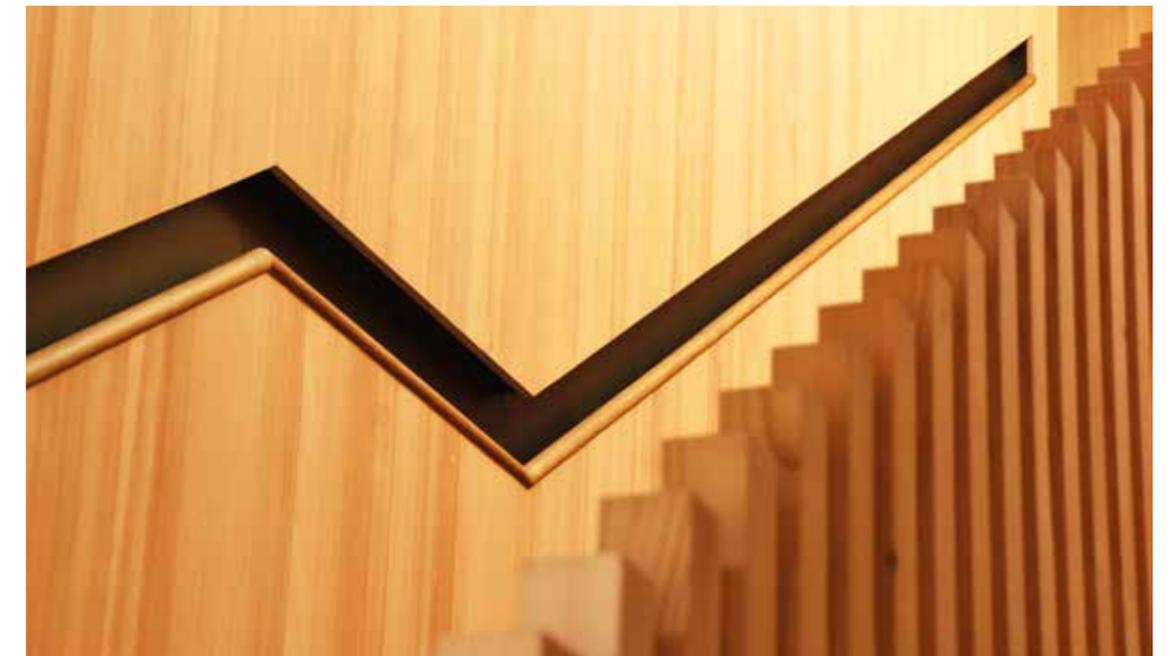
Florian Lang: Zeit ist ein wichtiger Erfolgsfaktor der oft bei öffentlichen Bauten fehlt. Wenn ich in der frühen Phase Geld sparen will, dann brauche ich aber diese Zeit. Die größte Möglichkeit, Kosten zu beeinflussen gibt es am Anfang. Mit fortschreitendem Planungsprozess wird das immer weniger. Damit müsste jedem klar sein: Ganz am Anfang, da werden die Weichen gestellt. Im öffentlichen Bauen ist der Zeitablauf aber manchmal so eingeschränkt, dass nicht einmal die Möglichkeit besteht, Varianten zu untersuchen oder die Lebenszykluskosten verschiedener Lösungen zu betrachten.

## Architekturwettbewerbe nutzen

Bei Ideen- und Architekturwettbewerben sollten die Planungsziele für Energiestandard und Low-Tech fester Bestandteil der Ausschreibung und der Wettbewerbskriterien sein. Dazu hat sich in der Praxis beispielsweise der folgende Text bewährt:

Für die Bauleute ist es ein ausdrückliches Ziel, dass der Wärmeschutz, der Schutz vor sommerlicher Überhitzung, eine gute Luftqualität und eine gute Belichtung mit feststehenden Bauteilen und dadurch mit reduziertem Technikeinsatz sichergestellt werden. Dafür soll ein einfaches und robustes Low-Tech Gebäude- und Haustechnikkonzept entwickelt werden. Diese Ziele werden bei der Bewertung der Projekte berücksichtigt.

Diese Ziele sollten schon in der Vorprüfung untersucht werden und durch eine kompetente Person im Preisgericht vertreten werden. Sinnvoll ist es auch, bei Wettbewerben die Integration eines Haustechnik-Konzepts zu fordern. Dies kann durch eine Zusammenarbeit bzw. Arbeitsgemeinschaft von Architekturschaffenden und Heizung Lüftung Sanitär-planenden Personen erreicht werden. Erfolgt die Ausschreibung des Wettbewerbs nicht in Form eines Generalplanungs-Wettbewerbs, so kann alternativ dazu auch ein separates Verfahren für die Vergabe der Haustechnik durchgeführt werden.



Stiegenhaus Sicherheitszentrum Bezau



### Praxisbeispiel Schule Hittisau

#### Ausschreibung Fachplanung Haustechnik

In einem traditionellen Planungsverfahren wird die Haustechnikfachplanung beauftragt, nachdem die Architektur im Entwurf feststeht. Die Fachplanung bietet ihre Leistung nach den Baukosten an und wird über ihre Honorarordnung an steigenden Baukosten beteiligt. Nach der Auftragsvergabe Komponenten im eigenen Fachgebiet einzusparen, ist unattraktiv, weil dadurch das eigene Honorar, nicht aber der Aufwand geschmälert wird. Zudem ist durch den bereits fertigen architektonischen Entwurf vieles nicht mehr in Frage zu stellen, z.B. muss wegen hohen Solareinträgen einer großen, nach Süden oder Westen orientierten Glasfassade auf jeden Fall maschinell gekühlt werden.

Um Fachplanende zu finden, die bereit sind, schon im Konzept Haustechnik einzusparen, wurde ein neues, zweistufiges Ausschreibungskonzept für fachplanende Personen entwickelt und bei der Schule Hittisau getestet.

In der ersten Stufe werden die Fachplanungsbüros hinsichtlich ihrer Erfahrungen mit Referenzprojekten und den Erfahrungen des Schlüsselpersonals beurteilt und gereiht. Eine Gewichtung der beiden Faktoren – Referenzprojekte und Schlüsselpersonal – ist dabei ebenso möglich wie zusätzliche Bewertungskriterien, beispielsweise für die örtliche Nähe des jeweiligen Planungsbüros zum geplanten Bauvorhaben.

Die fünf höchstbewerteten Büros erarbeiten in der zweiten Stufe ein haustechnisches Konzept für das konkrete Projekt und präsentieren dieses vor einer Kommission. Dafür erhalten sie eine Unkostenvergütung, in diesem Fall beispielsweise von 1.500 € zzgl. MwSt. Bei dem Konzept kann es sich, wie am Beispiel des Siegerprojekts bei der Schule in Hittisau untenstehend gezeigt, um eine Handskizze oder ein grobes Gedankenkonzept handeln.

Die Kommission bewertet die angebotenen Konzepte beispielsweise anhand des unten dargestellten Bewertungsschemas. Neben einer fachlichen Beurteilung sind dabei auch das Planungshonorar, die Kosten des Haustechniksystems und der zu erwartende Reparatur- und Wartungsaufwands relevant. Für unglaubliche Kostenschätzungen können Minuspunkte vergeben werden.

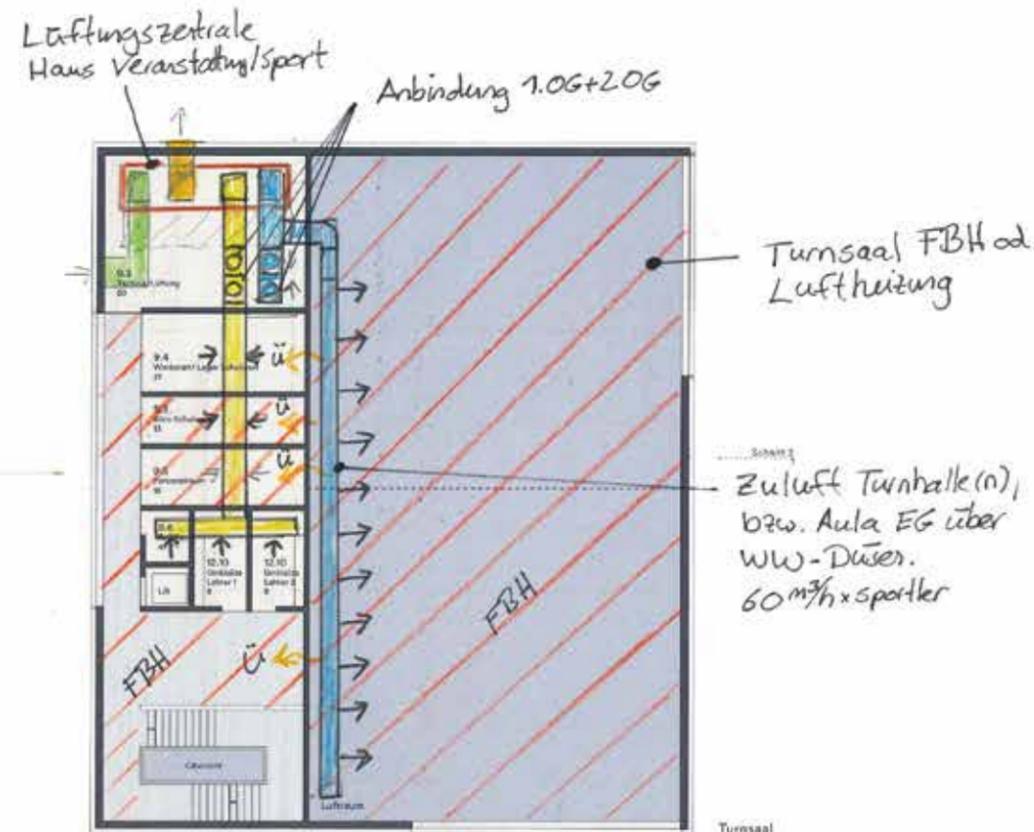
Die Besonderheit dieser Ausschreibungsform ist, dass schlanke, sparsame Konzepte belohnt werden können. Somit erfolgt eine Umkehrung der Interessen hinsichtlich sparsamer Technikplanung schon vor der Beauftragung.

Kriterien	Gewichtung
Planungshonorar	20 Punkte
Gesamtkosten Haustechnik-System gem. Schätzung	30 Punkte
Zu erwartender Reparatur- und Wartungsaufwand	10 Punkte
Kommissionelle Beurteilung der angebotenen Qualität (Bewertung Konzept)	40 Punkte
<b>Maximal erreichbare Gesamtpunktzahl</b>	<b>100 Punkte</b>

Low-Tech Gebäude erfordern andere Denk- und Herangehensweisen als übliche Standard-Projekte. Mit der Ausschreibung für die Fachplanenden in Hittisau wurde ein rechtskonformer Weg gefunden, bei dem Low-Tech von Anfang an zentraler Bestandteil des Konzepts ist.

### Schule Hittisau - HT-Konzept

NMS/PS



- Legende**
- Außenluft
  - Fortluft
  - Abluft
  - Zuluft
  - ü Überströmung
  - // Fußbodenheizung
  - Heizkörper
  - /// Abhangdecke

1.OG

Die Handskizze der Haustechnik zeigt die wesentlichen Planungsgrundsätze im neuen Schulgebäude. Sie wurde vom Planungsteam E-Plus zur Bewerbung um die Planung der Haustechnik eingereicht. Zu erkennen sind die Führung der Zu- und Abluft, die Überströmbereiche, die Übergaben von Außenluft und Abluft und die Lage der Heizkörper oder Fußbodenheizungen.

## 2.3 Qualitätssicherung im Prozess

Neben anderen wichtigen Prozessteilen wie Bürger\*innenbeteiligung, Bildung eines Projektteams und der Aufstellung eines kompetenten Planungsteams hat es sich bewährt, einen Katalog von energetischen und ökologischen Kriterien anzuwenden. Dieser soll die Qualität des Gebäudes beurteilen und eine Vergleichbarkeit mit anderen Gebäuden ermöglichen. Außerdem soll er allen Projektbeteiligten über den gesamten Bauablauf als Leitfaden zur Verfügung stehen.

Die Qualitätssicherung im Bauprozess kann beispielsweise durch verschiedene Zertifizierungssysteme wie die SNBS (Standard für nachhaltiges Bauen Schweiz), DGNB, LEED, BREEAM etc. erfolgen.

Die Projektpartner aus der Schweiz, Österreich, Liechtenstein und Deutschland setzten hier unterschiedliche Werkzeuge ein, um unter anderem auch den länderspezifischen Vorgaben gerecht zu werden.

### Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS)

Der Kriterienbeschrieb Hochbau des SNBS ist das Grundlagenwerkzeug für die Planung von nachhaltigen Bauten in der Schweiz. Der dazu entwickelte Leitfaden zur Anwendung des Kriterienbeschriebs Hochbau vom runden Tisch Energie und Bauen St. Gallen dient zur Übersicht, was in welcher Planungsphase zu tun ist.

### Nachhaltig Bauen Baden-Württemberg (NBBW)

Der Kriterienkatalog zielt ganz konkret auf die Steigerung der ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Gebäudequalitäten ab. Im Mittelpunkt stehen Gebäudenutzende, deren Lebens- und Arbeitsbedingungen funktionsgerecht, gesundheitsverträglich und behaglich sein sollen.

Die Nachhaltigkeitskriterien konzentrieren sich auf die Reduzierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs, die Reduzierung der über den gesamten Lebenszyklus summierten Gebäudekosten, die Verwendung von gesundheits- und umweltverträglichen Baustoffen und die Schaffung behaglicher Nutzungsbedingungen. Darüber hinaus wird mit den Kriterien beschrieben, wie Planung und Bauausführung diese Qualitäten sichern können.

### Kommunaler Gebäudeausweis Vorarlberg

In Vorarlberg wird hierfür seit dem Jahr 2011 der sogenannte „Kommunale Gebäudeausweis“ (KGA) als Prozessbegleitung sowohl für Neubau als auch für Generalsanierungen von öffentlichen Gebäuden eingesetzt. Der KGA ist ein übersichtliches und einfach anwendbares Bewertungstool für die ökologische und energetische Qualität eines Gebäudes. Er setzt sich zusammen aus 14 unterschiedlich gewichteten Kriterien in den vier Bewertungskategorien:

- › Prozess- und Planungsqualität
- › Energie und Versorgung
- › Gesundheit und Komfort
- › Baustoffe und Konstruktion

Mittels Muss- oder Kann-Kriterien können maximal 1000 Punkte erreicht werden. Die energetische und ökologische Qualität eines Gebäudes ist durch das Punktesystem übersichtlich ablesbar.

Gebäude hoher Punktezahl im KGA und folglich mit hoher energetischer und ökologischer Qualität werden durch höhere Bedarfszuweisungen aus der Landesförderung unterstützt.

Begleitet werden die Bauleute durch ein Team aus Expert\*innen der Bereiche Energie, ökologisches Bauen, Beschaffungsverfahren und Qualitätssicherung. Wichtig ist auch, dass bereits sehr früh im Planungsprozess ein erster KGA als Zielvorgabe erstellt wird. Dadurch kann mit dem KGA der gesamte Bauprozess von der Idee des Low-Tech Gebäudes über die Vorplanung bis hin zur Fertigstellung begleitet werden.

Der KGA lässt sich auch ohne das hinterlegte Fördersystem sinnvoll anwenden.

Das KGA-System wurde im Juli 2020 im Landkreis Ravensburg übernommen und somit auch in Deutschland angewendet.

## 2.4 Erfahrungen aus der Praxis – „So nicht!“

Ohne den Einsatz von Technik kann heutzutage praktisch kein Gebäude mehr betrieben werden. Technik wird in den letzten Jahren auch eingesetzt, um planerische Fehler, sowohl hinsichtlich der Gebäudehülle als auch in Bezug auf die Gebäudetechnik, auszugleichen.

Viele technischen Anlagen sind so komplex, dass sie von den Gebäudenutzenden oder den Gebäudeverantwortlichen nicht mehr eigenständig bedient und gewartet werden können.

Die Bedienung und Einstellung der Steuerung müssen von Sachkundigen übernommen werden. Und selbst dann sind die Geräte oft nicht optimal auf die Bedürfnisse und Ansprüche der Nutzenden abgestimmt.

Häufige auftretende Probleme sind:

- › Zugluft
- › Kaltluftseen
- › zu trockene Luft
- › Überhitzung
- › Steuerungsprobleme
- › hohe Betriebskosten



Ausblick Sicherheitszentrum Bezau

Im Folgenden werden einige typische Probleme anhand von Praxisbeispielen erklärt und Lösungsansätze aufgezeigt.

### → Fehlende Anpassung an die Nutzenden und fehlende integrale Planung

In einem Kindergarten wurde die Haustechnik ungewöhnlich komplex gestaltet. Beispielsweise durften aufgrund der architektonischen Vorgabe keine Lüftungsleitungen zu sehen sein. Daher wurde eine Überströmlüftung eingebaut, bei der die Luft zentral im Fußbereich der Garderobe eingeblasen wird. Dadurch entstehen aber Zugerscheinungen und es kommt zu Beschwerden über kalte Füße.

Das Gebäude hat wenig zu öffnende Fenster und wird im Sommer mit einer erhöhten Nachtlüftung passiv gekühlt. Dabei werden 6.000 m<sup>3</sup> Luft pro Stunde mit der Lüftungsanlage im Gebäude umgewälzt. Für die normale Nutzung während des Tages reicht bereits ein Drittel davon aus. Da die Anlage aber dauerhaft mit der maximalen Leistung betrieben wird, ist die Luft im Winter viel zu trocken. Dies wiederum führt zu merklich erhöhten Krankheitsausfällen. Des Weiteren kommt es bei der komplexen Anlagentechnik zu täglichen Störungen an der Gebäudeleittechnik.

#### Lösung

Architektur und Anlagentechnik sollten aufeinander abgestimmt geplant werden.

Die Luftmengen von 75 m<sup>3</sup>/h pro Person für die Nachtlüftung im Sommer können während der Nutzungszeit auf 15-18 m<sup>3</sup>/h reduziert werden.

### → Typische Probleme mit Luftheizung und -kühlung

Eine zum Passivhausstandard sanierte Schule wird über eine Lüftungsanlage beheizt. Die Zuluftöffnungen befinden sich in der abgehängten Decke, direkt über den Tischen der Nutzenden. Die Temperatur der von oben einströmender Zuluft muss über der Raumtemperatur liegen. Dadurch kommt es häufig zu einer Überhitzung des Klassenzimmers. Wird die Nachheizung reduziert, entstehen unangenehme Zugerscheinungen für die Lernenden.

Die Beheizung mit Luft und die hohen Volumenströme sorgen für sehr trockene Luft. Der Regelbereich der Volumenströme wird nicht ausgenutzt und verschärft das Problem zusätzlich. Außerdem entsteht durch die dauerhaft laufende Lüftung ein sehr hoher Stromverbrauch.

Auch die Kühlung über die Zuluft sorgt für Zugerscheinungen, dadurch ist eine Kühlung während des Schulbetriebs im Sommer nicht möglich.

#### Lösung

Geeignete Luftauslässe mit waagrechter statt senkrechter Ausrichtung an der Decke. Regelbereich der Lüftungsanlage durch richtige Einstellung der Parameter voll ausnutzen.

### → Überhitzung und Kaltluftseen

Ein Bürogebäude wird mit einer Lüftungsanlage und einer Betonkernaktivierung mit zusätzlichen Direktheizflächen in den Randbereichen konditioniert. Die warme oder kalte Zuluft wird im Bodenbereich eingeblasen. Im Kühlfall entstehen dadurch Zugscheinungen und Kaltluftseen.

Die hohen internen Energiegewinne führe zu einer dauerhaften Überhitzung des Gebäudes. In den Büroräumen in den Gebäudeecken hingegen ist es oft zu kühl. Die Betonkernaktivierung bietet dort zu wenig Heizleistung und die direkten Heizflächen sind ungünstig angeordnet. Um die Temperatur in den Eckräumen zu erhöhen, wurde sowohl die Temperatur der Betonkernaktivierung als auch jene der Direktheizflächen angehoben. Die Folge ist eine Überhitzung aller anderen Räume.

Der Sitzungssaal wurde, trotz deutlich höherer interner Wärmegevinne, wie die Büroräume klimatisiert. Die Folge ist eine ganzjährige Überhitzung bei Nutzung.

Bei der Gebäudeleittechnik wurden Visualisierung und Installation getrennt vergeben. Bei Störungen und Fehlern fühlt sich niemand verantwortlich und gibt die Schuld dem jeweils anderen.

### Lösung

Eine an die Gegebenheiten und die Nutzung angepasste Dimensionierung der Haustechnik in den unterschiedlichen Zonen (Sitzungssaal, Eckbüros, Standardbüros). Ein auftragnehmende bzw. verantwortliche Person pro System, z.B. für Installation und Visualisierung der Gebäudeleittechnik.



Kontrolle und Optimierung Anlagentechnik

### Fazit

Beispiele mit schlecht funktionierenden Haustechniksystemen gibt es leider sehr viele. Auf diese Weise sind vor allem Lüftungsanlagen zu Unrecht in Verruf geraten. Ungünstig platzierte Zuluftöffnungen und zu hoch eingestellter Luftwechsel über das ganze Jahr führen zu Zugscheinungen und trockener Luft.

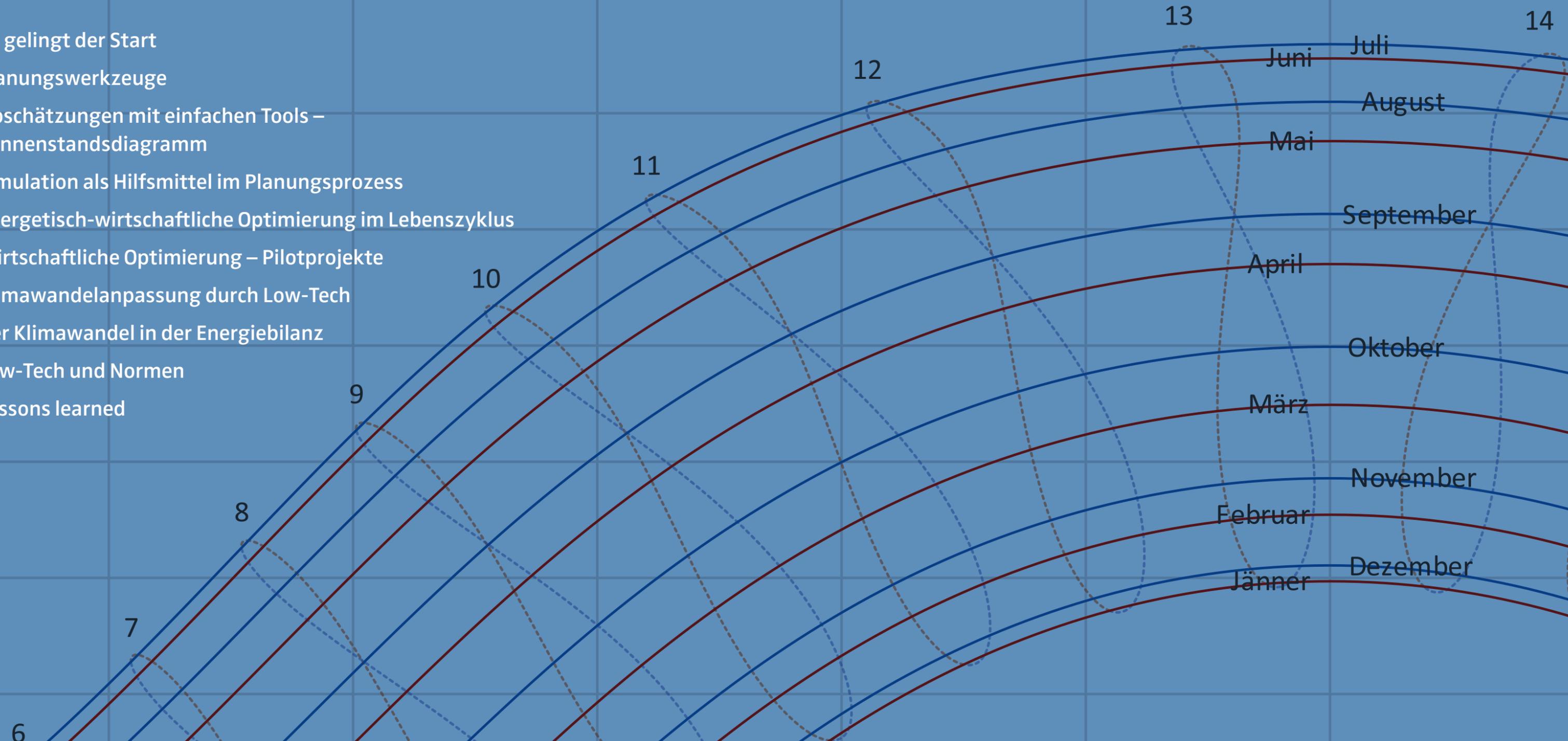
Geräusche durch Luftströmungen können leicht vermieden werden, wenn die Lüftungen so einreguliert werden, wie es die Nutzung der Räume tatsächlich erfordert. Es macht einen großen Unterschied, ob eine Normklasse mit 25 Personen in einem Raum unterrichtet wird oder ob sich Lernende auf mehrere Räume verteilen. Auch die Lüftungsauslässe können zu Problemen führen, wenn an ungünstigen Orten, z.B. in Bodennähe, ungeheizte Luft eingebracht wird.

Die Trennung von Heizung und Lüftung hat sich schon länger durchgesetzt. So muss wegen fehlender Wärme nicht stärker gelüftet werden. Ein weiteres Problem sind Steuerungen, bei denen einfache Wünsche, wie ein wenig mehr Wärme in den Räumen, nur von speziellen Steuerungsfirmen umgesetzt werden können. Wenn diese lange Anreisewege haben und Nutzende mehrere Wochen auf Temperaturanpassungen warten müssen, widerspricht dies jedem Komfortgedanken. Einfache Anpassungen der Haustechnik müssen unbedingt vom Gebäudepersonal durchgeführt werden können.

Die genannten Probleme wären durch eine veränderte Herangehensweise vermeidbar gewesen. Low-Tech muss als klare Zielvorgabe vom Auftraggebenden formuliert und konsequent eingefordert werden. Darauf kann eine Planung aufbauen, bei der bereits in der Konzeptionsphase das Gebäude- und Energiekonzept auf Low-Tech ausgerichtet ist.

# 3. Planen von Low-Tech Gebäuden

- 3.1 So gelingt der Start
- 3.2 Planungswerkzeuge
- 3.3 Abschätzungen mit einfachen Tools – Sonnenstandsdiagramm
- 3.4 Simulation als Hilfsmittel im Planungsprozess
- 3.5 Energetisch-wirtschaftliche Optimierung im Lebenszyklus
- 3.6 Wirtschaftliche Optimierung – Pilotprojekte
- 3.7 Klimawandelanpassung durch Low-Tech
- 3.8 Der Klimawandel in der Energiebilanz
- 3.9 Low-Tech und Normen
- 3.10 Lessons learned



## 3. Planen von Low-Tech Gebäuden

### 3.1 So gelingt der Start

Das Planungsteam stellt in dieser Projektphase die Weichen für den gesamten Verlauf des Bauprojekts und fällt grundlegende Entscheidungen. Es definiert das Projekt, erstellt die Projektierungsgrundlagen und verfasst unter Umständen ein Projektpflichtenheft. Darin werden die, nicht nur hinsichtlich Low-Tech Komponenten und Ansätze, relevanten Entscheidungen festgehalten und der weitere Projektverlauf vorgegeben. Bereits mit dem Beschreiben und Skizzieren von Lösungsansätzen für die Bauaufgabe legt das Planungsteam fest, wie sie das Bauvorhaben in Richtung eines Low-Tech Gebäudes lenkt.

Am Beispiel der festzulegenden Bauweise lässt sich die Tragweite der hier gefällten Entscheidungen gut aufzeigen. Ein Holzbau mit vorgefertigten Elementen, ein Massivbau, ein Stahl- oder Betonskelettbau haben ganz unterschiedliche Eigenschaften. Die Entscheidung des Planungsteams für eine Bauweise, oder auch eine Kombination aus mehreren, ist projektbezogen von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängig. Bei sehr günstigen Standortgegebenheiten, großer Speichermasse und weiteren optimierten Komponenten kann ein Bauprojekt beispielsweise ohne herkömmliche Heizung auskommen.

Für die Gebäudetechnik gilt im übertragenen Sinn das Gleiche: Ein zentraler Wärmespeicherofen wird von Hand mit Stückholz beschickt. Die Nutzenden sorgen selber für eine angenehme Raumtemperatur. Der Technisierungsgrad ist so gering wie bei keinem anderen Heizsystem. Dem gegenüber steht ein Heizsystem mit einer hydraulisch ausgeklügelten Wärmeverteilung. Hier sind Pumpen, Wärmezähler, Regelventile und Temperaturfühler meist über ein Gebäudeleitsystem verbunden und regeln die Raumtemperatur automatisch. Die Frage an das Planungsteam ist hier: Übernehmen die Nutzenden das Regeln selbst oder benötigt das Gebäude eine hohe Technisierung? Wer sich die Frage nicht stellt, bekommt meist eine hoch technisierte Lösung angeboten.

### 3.2 Planungswerkzeuge

Der Einsatz von unterschiedlichen Planungswerkzeugen hilft den Bauleuten und Planenden, das Bewusstsein für den Wert einer angemessenen Lösung des Bauens im Allgemeinen und der Thematik des Low-Tech Gedanken im Besonderen zu entwickeln.

#### **Energiebedarfsermittlung (z. B. PHPP, SIA 380/1 mit Minergie-Nachweisen)**

Im Rahmen von öffentlich-rechtlichen Nachweisen ist eine Abbildung der realen Verbräuche durch Berücksichtigung der künftigen Nutzenden und der lokalen Klimagegebenheiten nur unzureichend möglich. Deshalb werden bei Bedarf zusätzliche Softwarelösungen eingesetzt, mit dessen Ergebnissen eine auf das Low-Tech Gebäude angepasste minimalistische Haustechnik entwickelt werden kann. Auch Aussagen zum sommerlichen Wärmeschutz können mit Hilfe von Energiebedarfssoftware getroffen werden. Voraussetzung dafür sind aber gute Grundlagenkenntnissen der Fachplanenden in den Bereichen Bauphysik und Gebäudetechnik.

#### **Ökobilanzierung (z.B. Eco2Soft, Expert MINERGIE Graue Energie)**

Ökobilanzen für Gebäude werden benötigt, um die Energie- und Materialaufwände für Errichtung, Erneuerung und Entsorgung darstellen zu können. Die graue Energie ist vor allem in Gebäuden mit niedrigem Energiebedarf zu einer relevanten Betrachtungsgröße geworden.

Das Online-Tool Eco2Soft ist beispielsweise ein praktikables Werkzeug, um schnell und einfach Ökobilanzen erstellen zu können. Als Teil der Baubook-Datenbank sind umfassend Bauprodukte mit den relevanten Umwelt-Kennwerten hinterlegt und können den Bauteil-Aufbauten rasch und intuitiv zugewiesen werden.

#### **Simulationsprogramme (z.B. IDA Ice, TRNSYS)**

Simulationen liefern in der dynamischen und multizonalen Simulationsanwendung für die Beurteilung des Innenraumklimas und des Energieverbrauchs komplexerer Gebäude der Realität entsprechende Ergebnisse. Es besteht somit zum Beispiel die Möglichkeit, die Wirksamkeit des sommerlichen Wärmeschutzes in Low-Tech Gebäuden mit passiven Konzepten wie natürlicher Belüftung, der Nutzung von Bauteilmassen, feststehender Sonnenschutzsysteme oder Dämmmaßnahmen verlässlich zu überprüfen.

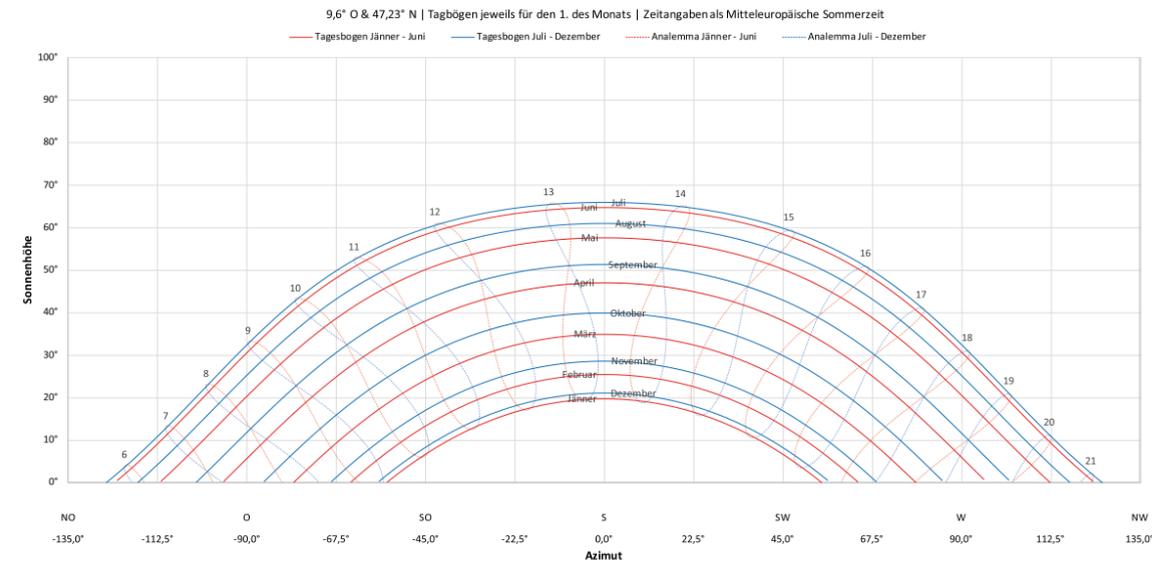
#### **Wirtschaftlichkeitsberechnungen (z.B. EconCalc, EconCalcLight)**

Die Tools werden zur Wirtschaftlichkeitsberechnung für einzelne Energieeffizienzmaßnahmen und zum Vergleich von Gebäudevarianten unterschiedlicher energetischer Qualität und Kosten eingesetzt. Mit der Berechnung der Lebenszykluskosten in Abhängigkeit von den Wünschen der zukünftigen Nutzenden können die aus wirtschaftlicher Sicht optimalen Maßnahmen zusammengestellt werden.

#### **Fazit**

Die in den unterschiedlichen Werkzeugkategorien beispielhaft genannten Tools können den Weg zu einem Low-Tech Gebäude begleiten und vereinfachen, da aufgrund der implementierten Rahmenparameter der einzelnen Verfahren klare Gesamtvorgaben zum Beispiel bzgl. der thermischen Qualität der Gebäudehülle und der Auslegung der technischen Gebäudeausstattung (TGA) auf ein Minimum möglich sind.

### 3.3 Abschätzungen mit einfachen Tools – Sonnenstandsdiagramm



Sonnenstandsdiagramm für Feldkirch, Österreich (9,6° O & 47,23° N)

Das **Azimut** ist in der Astronomie ein nach einer Himmelsrichtung orientierter Horizontalwinkel.

Der Begriff **Analemma** wird am häufigsten für die Figur gebraucht, die der Sonnenstand bei konstanter mittlerer Ortszeit erzeugt. Diese Figur entsteht zum Beispiel durch Fotos der Sonne, die man täglich zur selben mittleren Ortszeit über ein Jahr macht. Wenn man nach Ablauf eines Jahres alle diese Sonnenbilder in einer Fotomontage überlagert, erkennt man eine langgestreckte Acht: das Analemma.

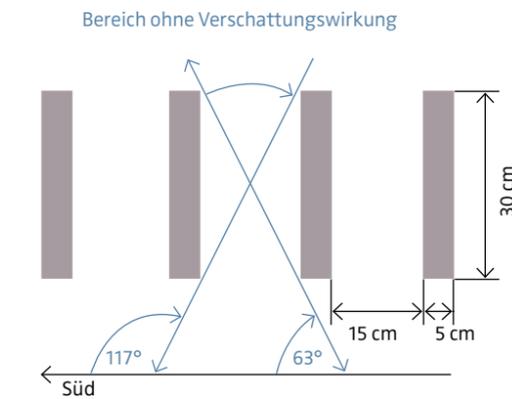
Mithilfe des Sonnenstandsdiagramms kann die Wirkungsweise einer konstruktiven Verschattung (beispielsweise vertikale oder horizontale Verschattungslamellen oder Überstände) einfach abgeschätzt werden.

Auf der x-Achse des Diagramms ist der Azimut der Sonne dargestellt. Auf der y-Achse ist die zugehörige Sonnenhöhe dargestellt. Die roten und blauen Tagesbögen stellen den Sonnenverlauf am jeweils ersten Tag des Monats dar.

Von den Schnittpunkten der Sonnenverlaufslinie mit den gestrichelten Linien in Form einer „8“, genannt Analemma, lässt sich der Sonnenstand zur jeweiligen Uhrzeit und im jeweiligen Monat ablesen. Die in diesem Diagramm dargestellte Uhrzeit entspricht der Mitteleuropäischen Sommerzeit. Die rote Seite des Analemmas gilt dabei für das erste Halbjahr und die blaue Seite für das zweite Halbjahr. Beispielsweise hat die Sonne am 1. Mai um 14 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit einen Azimut von 18,5° und eine Sonnenhöhe von 57°.

Wie kann mithilfe dieses Diagramms nun die Wirkungsweise von Dachvorsprüngen oder vertikalen und horizontalen Verschattungslamellen abgeschätzt werden?

### Vertikale Verschattungslamellen



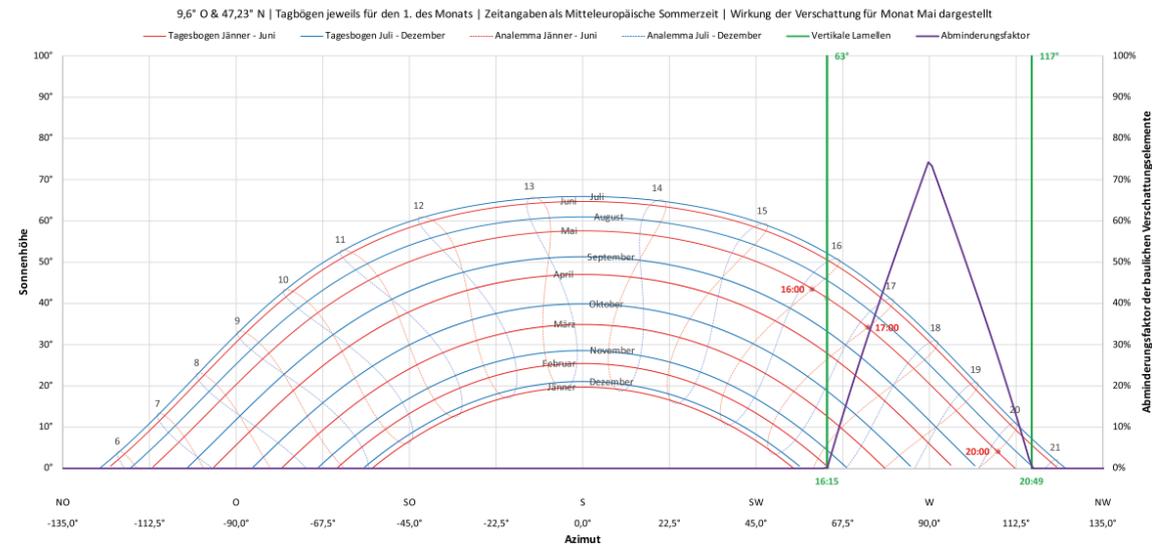
Schema vertikale Verschattungslamellen

Die vertikalen Verschattungslamellen, wie in der schematischen Abbildung dargestellt, sind direkt vor die westorientierte Fassade gestellt. Im Schema ist ersichtlich, dass die Lamellen im Azimut-Bereich zwischen 63° und 117° keine Verschattungswirkung erzielt.

Werden diese Winkel nun in das Sonnenstandsdiagramm eingetragen, dann lassen sich die Uhrzeiten ermitteln, zwischen welchen die Verschattung nicht wirksam ist. Am Beispiel vom 01. Mai ist im Sonnenstandsdiagramm dargestellt, wie die Uhrzeit abgelesen wird.



Gemeindehaus Lochau



Wirkung von vertikalen Verschattungslamellen, im Sonnenstandsdiagramm dargestellt (grüne Linien)

#### Zeitraum ohne Wirksamkeit der vertikalen Verschattungslamellen

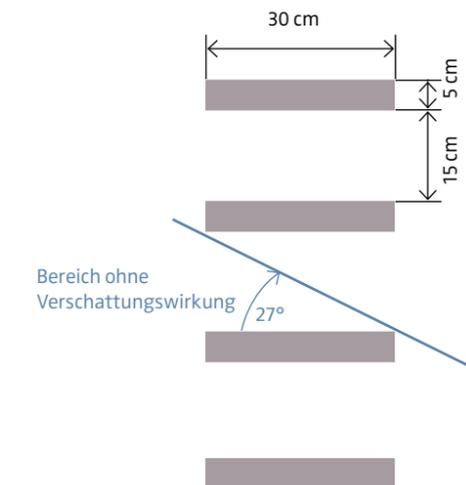
01. Februar	17:13 – 17:20 MEZ (SU)
01. März	16:42 – 18:00 MEZ (SU)
01. April	16:56 – 19:45 MESZ (SU)
01. Mai	16:15 – 20:30 MESZ (SU)
01. Juni	15:51 – 20:24 MESZ
01. Juli	15:53 – 20:26 MESZ
01. August	16:14 – 20:45 MESZ (SU)
01. September	16:39 – 19:55 MESZ (SU)
01. Oktober	17:03 – 18:55 MESZ (SU)
01. November	16:33 – 17:00 MEZ (SU)

MEZ = Mitteleuropäische Winterzeit  
MESZ = Mitteleuropäische Sommerzeit  
SU = Sonnenuntergang

Die Schnittpunkte zwischen dem roten Mai-Tagesbogen und der roten Seite des 16 Uhr- und 17 Uhr-Analemmas (rote Punkte im Diagramm) geben die vollen Stunden an. Der Schnittpunkt des 63° Azimut und des Mai-Tagesbogens (grüner Punkt im Diagramm) liegt bei ca. 16:15 Uhr. Die Wirkung der vertikalen Verschattungslamellen endet am 01. Mai also um ca. 16:15 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit.

In der Tabelle ist für jeden Monat der Zeitraum angegeben, in dem die vertikalen Verschattungslamellen nicht wirksam sind. Im Januar und Dezember geht die Sonne vor dem Bereich ohne Verschattungswirkung unter (16:40 Uhr MEZ bzw. 16:30 Uhr MEZ), weshalb die beiden Monate nicht angeführt sind.

## Horizontale Verschattungslamellen



Schema horizontale Verschattungslamellen

Die horizontalen Verschattungslamellen, wie in der schematischen Abbildung dargestellt, sind direkt vor die Fassade gestellt. Im Schema ist ersichtlich, dass die Lamellen im Sonnenhöhen-Bereich unter 27° keine Verschattungswirkung erzielt.

Wird dieser Winkel in das Sonnenstandsdiagramm eingetragen, dann lassen sich die Uhrzeiten ermitteln, zwischen welchen die Verschattung wirksam ist. Am Beispiel vom 01. Oktober ist in der Abbildung gezeigt, wie die Uhrzeit abgelesen wird.

#### Zeitraum mit Wirksamkeit der horizontalen Verschattungslamellen

01. März	10:13 – 14:57 MEZ
01. April	9:48 – 17:05 MESZ
01. Mai	8:52 – 17:46 MESZ
01. Juni	Lamellen durchgängig wirksam
01. Juli	Lamellen durchgängig wirksam
01. August	8:47 – 18:09 MESZ
01. September	9:22 – 17:21 MESZ
01. Oktober	10:13 – 16:09 MESZ
01. November	11:54 – 13:16 MEZ

MEZ = Mitteleuropäische Winterzeit  
MESZ = Mitteleuropäische Sommerzeit

Der Schnittpunkt der 27° Sonnenhöhe und des Oktober-Tagesbogens (oranger Punkt im Diagramm) liegt bei ca. 10:13 Uhr. Die Wirkung der horizontalen Verschattungslamellen beginnt am 01. Oktober also um ca. 10:13 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit und endet um 16:09 Uhr.

Die Tabelle gibt für jeden Monat den Zeitraum an, in dem die horizontalen Verschattungslamellen wirksam sind. Im Januar, Februar und Dezember liegt die maximale Sonnenhöhe im Bereich ohne Verschattungswirkung, weshalb diese Monate nicht angeführt sind.

Im Juni und Juli wirken die horizontalen Verschattungslamellen während des gesamten Zeitraums der Solarstrahlung auf die Südfassade.

#### Verschattungswirkung

Die Verschattungswirkung der horizontalen Lamellen ist stark abhängig von der Orientierung der Fassade, an welcher die Lamellen angebracht sind. Ideal eignen sie sich für eine Süd-orientierte Fassade aufgrund des höheren Sonnenwinkels im Vergleich zur Ost- und West-Orientierung. Die horizontalen Verschattungslamellen wirken sich jedoch nachteilig auf die Tageslichtnutzung aus, da sie den Blick auf den Himmel beeinträchtigen und es dadurch im Innenraum dunkler wirkt. Im Gegensatz dazu, ergibt sich durch die vertikalen Verschattungslamellen eine hellere Innenraumwirkung. Die Verschattungswirkung der vertikalen Lamellen ist stark abhängig vom Verhältnis der Lamellentiefe und dem Abstand der einzelnen Lamellen. Wird die Tiefe bei gleichbleibendem Abstand erhöht, dann verringert sich der Azimut-Bereich, in welchem die Lamellen nicht wirksam sind. Vor allem bei vertikalen Lamellen kann es bei Sonnenschein zu starken Hell-Dunkel Kontrasten kommen, die die Sehaufgaben beeinträchtigen können.

### 3.4 Simulation als Hilfsmittel im Planungsprozess

Durch den frühzeitigen Einsatz eines Simulationsmodells im Planungsprozess können Low-Tech Konzepte auf ihre Wirksamkeit überprüft, Varianten untersucht und technische Doppelungen verhindert werden. Mittels der Simulation kritischer Gebäudeteile werden bereits im Vorentwurfsstadium wichtige Erkenntnisse gewonnen, durch deren Berücksichtigung im weiteren Planungsverlauf technische Komponenten und damit auch entscheidende Kosten eingespart werden können.

#### Simulation oder Bauchgefühl

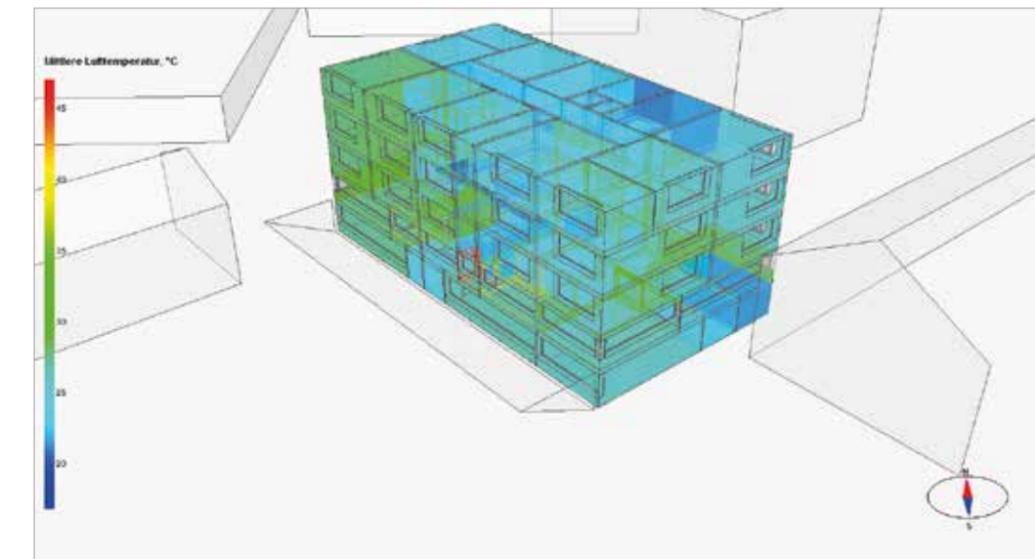
Ein Bauchgefühl ist eine gute Sache und hat schon viele Planer\*innen die richtige Entscheidung treffen lassen. Es eignet sich aber leider nicht um Innovationen einzuführen und diesbezügliche Zweifel auszuräumen. In diesem Fall sind wissenschaftliche Methoden verlässlich und überzeugend. Durch Simulationen lassen sich neue Planungsansätze schon in der Entwurfsphase austesten. Bei Low-Tech Maßnahmen geht es oft um weniger Technik. Um Bauleute davon zu überzeugen, dass weniger ausreicht, sind Simulationen im frühen Planungsprozess sehr hilfreich. Ähnlich verhält es sich bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Viel zu oft wird noch immer nach den Investitionskosten entschieden und die

dreißigjährige Belastung durch Energierechnungen außer Acht gelassen. Die Zusammenführung von sämtlichen möglichen Varianten mit ihren Lebenszykluskosten zeigen den Bauleuten die wirtschaftlichsten Lösungen ohne gleich auf eine bestimmte Ausführungsvariante zu verengen. So bekommen auch innovative Lösungen leichter eine Chance auf Umsetzung.

**Beispiel:** Das Schulzentrum in Hittisau wird als Low-Tech Gebäude teilweise saniert und neu errichtet. Von Beginn an war es der Gemeinde wichtig, möglichst wenig Gebäudetechnik einzusetzen. Bereits im Architekturwettbewerb und bei der Ausschreibung der fachplanenden Personen wurde darauf geachtet, dass möglichst viele Funktionen zur Konditionierung des Gebäudes von langlebigen Baukonstruktionskomponenten übernommen werden können, wie z.B. Wärmeschutz, Schutz vor sommerliche Überhitzung, Lüftung, Nachtauskühlung und Belichtung.

In einem intensiven Low-Tech Workshop mit den fachplanenden Personen wurden Low-Tech Konzepte festgelegt, die in weiterer Folge anhand eines repräsentativen Gebäudeausschnitts und mit Hilfe eines Simulationsmodells untersucht wurden. Dadurch konnte beispielsweise schon sehr früh im Planungsprozess nachgewiesen werden, dass auch der kritischste Gebäudeteil im Sommerfall mit manueller Fensterlüftung über Nacht gelüftet werden kann, ohne dass dadurch nennenswerte Unterkühlungen auftreten.

Diese und weitere daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem weiteren Workshop präsentiert und konnten im weiteren Planungsprozess von allen fachplanenden Personen berücksichtigt werden.



Sommerliche Überwärmung des Gebäudes, dargestellt im Simulationsmodell

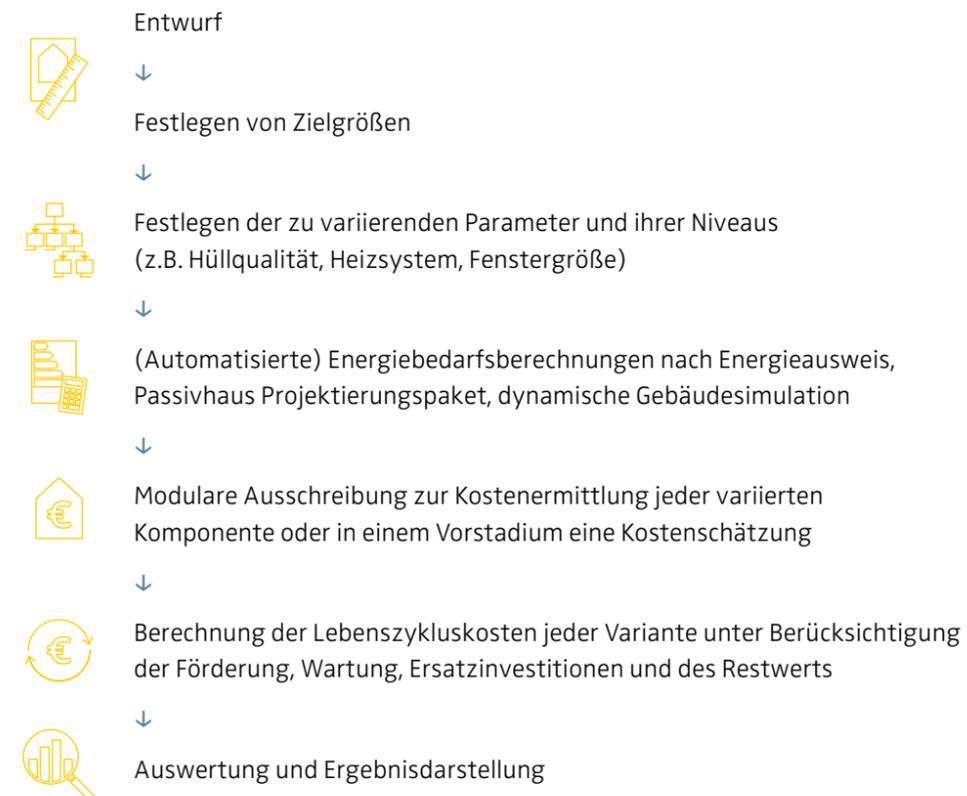
### 3.5 Energetisch-wirtschaftliche Optimierung im Lebenszyklus

Beim klassischen Planungsablauf entwickeln Bauleute, Architektur- und Fachplanung ein Gebäude mit der zugehörigen Ausstattung und Haustechnik. Oftmals beschränkt sich die Planung dabei auf den „eigenen“ Bereich, das Bauvorhaben als Ganzes wird jedoch aus den Augen verloren.

Anstelle der Planung einer mechanischen Kühlung zur Gewährleistung des Sommerkomforts könnte beispielsweise auch interdisziplinär über geeignete Fenstergrößen, Verschattungsmöglichkeiten oder natürliche Lüftungskonzepte nachgedacht werden.

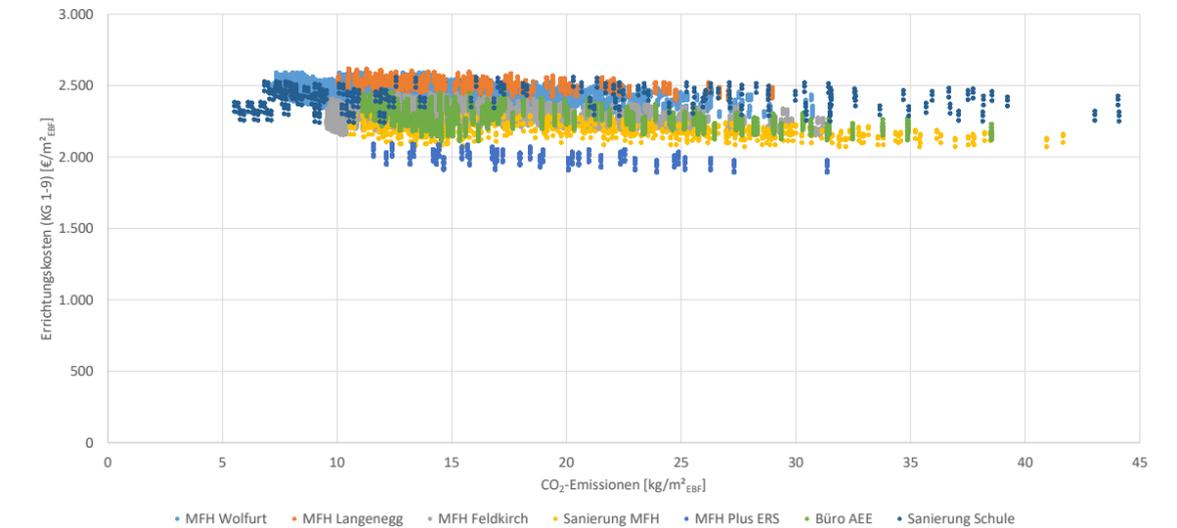
Im klassischen Planungsablauf werden meist nur wenige Varianten betrachtet und oftmals nicht parallel geplant und analysiert. So kann es passieren, dass ein Gebäude gebaut wird, dessen Nutzung hohe Betriebskosten verursacht. Werden hingegen in der Planungsphase bereits mehrere Varianten, auch über die Lebenszykluskosten realistisch miteinander verglichen, so kann hier schon im Vorfeld eine fundierte Entscheidung getroffen werden.

#### Vereinfachte Vorgehensweise einer energetisch-wirtschaftlichen Optimierung



#### Automatisierte Lebenszykluskostenberechnung

Durch die Verwendung von MS-Excel basierten Tools wird für die Berechnung der Lebenszykluskosten selbst mit einem Standard-PC nur wenige Sekunden benötigt. Mehrere tausend Varianten können so automatisch und mit geringem Zeit- und Arbeitsaufwand berechnet werden.



Errichtungskosten (KG 1-9) über den CO<sub>2</sub>-Emissionen der Varianten für alle sieben Beispielgebäude  
(Bezogen auf Energiebezugsfläche PHPP/ Berechnungen PHPP/ CO<sub>2</sub>-Faktoren OIB RL-6 2015/ keine CO<sub>2</sub>-Gutschrift für eingespeisten Strom)

#### Errichtungskosten

In obenstehender Abbildung sind für sieben Beispielprojekte die Errichtungskosten über den CO<sub>2</sub>-Emissionen als Punktwolke dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei allen Projekten deutlich mehr Bandbreite aufweisen als die Errichtungskosten. Die Errichtungskosten steigen zwar mit abnehmenden CO<sub>2</sub>-Emissionen tendenziell leicht an, es können aber mit ähnlichen Errichtungskosten um ein Vielfaches weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht werden. Man kann also ohne eine wesentliche Erhöhung der Errichtungskosten die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 30 auf 10 kg CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>a) reduzieren.

#### Lebenszykluskosten

Wird der Betrachtungszeitraum der Lebenszykluskosten von 30 Jahren auf 50 Jahre erhöht, so schneiden energetisch hochwertige Lösungen mit höheren Erstinvestitionskosten deutlich besser ab, da ihre niedrigeren Verbrauchskosten auch über einen längeren Zeitraum nicht ins Gewicht fallen. Energetisch schlechte Varianten haben höhere Verbrauchskosten und diese summieren sich bei 50 Jahren Betrachtungszeitraum länger auf. Die Streuung zwischen energetisch guten und schlechten Lösungen nimmt zu.

### 3.6 Wirtschaftliche Optimierung – Pilotprojekte



Mehrfamilienhaus Weissensberg



#### Praxisbeispiel Mehrfamilienhäuser in Weissensberg

Die Fragestellung der Bauleute war, welcher Gebäudestandard und welche Anlagentechnik beim Neubau der drei Mehrfamilienhäuser sinnvoll, kostengünstig und zukunftsweisend sind. Dazu wurde vom Energiezentrum Allgäu (eza!) eine ENEV-Berechnung (nach DIN 18599) für eines der drei Gebäude erstellt. An dieser Berechnung wurden verschiedene Varianten untersucht:

Komponente	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Gebäudehülle	ENEV-Standard	Effizienzhaus 55 (KfW)	Effizienzhaus 40 (KfW)
Lüftung	Fensterlüftung	Zu/Abluft mit Wärmerückgewinnung	Abluftanlage
Wärmeerzeuger	Gas-Brennwert Kessel	Wärmepumpe Luft-Wasser	Wärmepumpe Sole - Wasser
Trinkwasserbereitung	Zentral mit der Heizung	Dezentral elektrisch	Wohnungszentral mit Wärmepumpe

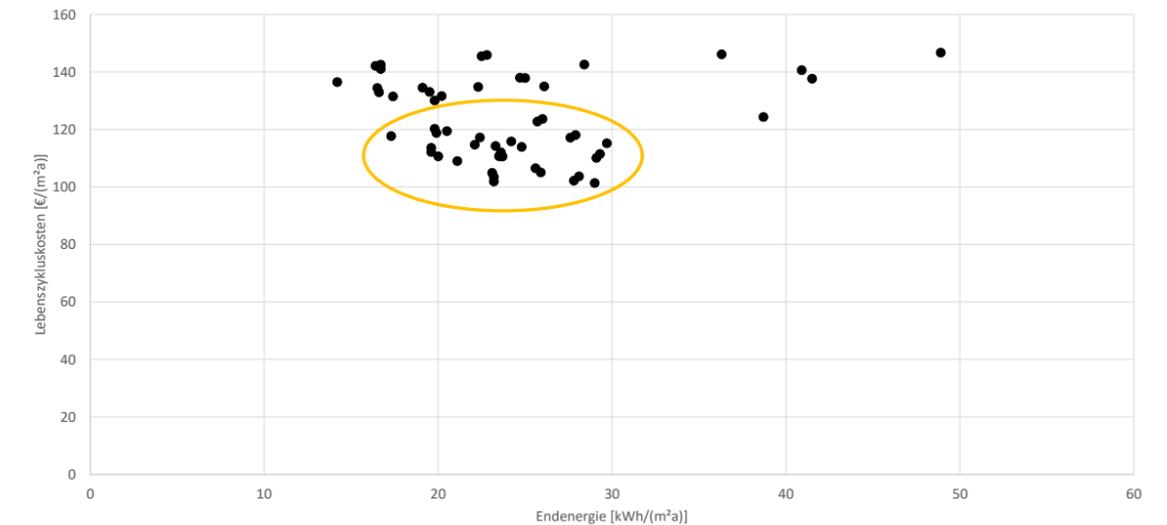
Es ergeben sich 81 mögliche Maßnahmenkombinationen. Für die Berechnung wurden Annahmen zur Gebäudehülle und zur Anlagentechnik getroffen. Hierzu wurde auf normative Standardwerte für die Anlagentechnik zurückgegriffen und in der Gebäudehülle auf Werte, welche den angestrebten Energiestandard konservativ sicher erfüllen können.

54 Varianten erfüllen die gesetzlichen Anforderungen an Neubauten in Deutschland. Diese wurden im Zuge einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren genauer untersucht.

Folgenden Kostenbestandteile wurden betrachtet:

- › Baukosten KG 300 + 400 (Gebäudehülle, Wärmeerzeuger und Wärmeverteilung, Trinkwassererwärmung, Lüftungstechnik)
- › Mögliche Förderung (KfW EH 55 bzw. EH 40 und BAFA-Förderung)
- › Finanzierungskosten, Wartungskosten und Energiekosten

In nachfolgender Grafik sind der spezifische Endenergieverbrauch und die Gesamtkosten pro m<sup>2</sup> dargestellt. Hier ergibt sich eine Bandbreite von 14,2 bis 48,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) für den spezifischen Endenergieverbrauchskennwert und eine Bandbreite von ca. 100 bis ca. 150 €/m<sup>2</sup> für die jährlichen Gesamtkosten.



Als wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll sollte für den Neubau eine der Varianten aus dem Bereich 15 – 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) und 100 – 120 €/m<sup>2</sup>a gewählt werden (siehe eingekreister Bereich). Daraus wurden – ebenfalls aus wirtschaftlichen und ökologischen Überlegungen – all jene Varianten ausgewählt, die auch dem KfW 55 bzw. KfW 40 Standard entsprechen.

Nr	Variante	Endenergie [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	CO <sub>2</sub> [t/a]	KfW - Standard	Lebenszykluskosten [€/m <sup>2</sup> a]
33	EH55, Fenster, WP Luft, TWW WP	20,0	13	EH55	110,68 €
42	EH55, Zu-Abluft, WP Luft, TWW WP	20,5	13	EH55	119,45 €
43	EH55, Zu-Abluft, WP Sole, TWW zentral	19,9	13	EH55	118,79 €
45	EH55, Zu-Abluft, WP Sole, TWW WP	19,8	13	EH55	120,27 €
49	EH55, Abluft, WP Luft, TWW zentral	19,6	12	EH55	112,17 €
51	EH55, Abluft, WP Luft, TWW WP	19,6	12	EH55	113,65 €
54	EH55, Abluft, WP Sole, TWW WP	22,1	14	EH55	114,72 €
61	EH40, Fenster, WP Sole, TWW zentral	19,8	13	EH40	130,12 €
63	EH40, Fenster, WP Sole, TWW WP	20,2	13	EH40	131,63 €
66	EH40, Zu-Abluft, Gas-Bw, TWW WP	28,4	11	EH40	142,62 €

In einem Betrachtungszeitraum zur Wirtschaftlichkeit von 20 Jahren schneiden die Varianten 43 und 45 am besten ab. Wird allerdings der Betrachtungszeitraum auf 30 Jahre und mehr ausgeweitet, ist eine passivhaustaugliche Gebäudehülle am wirtschaftlichsten. Der Vorteil hiervon ist, dass viel einfacher Low-Tech taugliche Komponenten und Ansätze in Bezug auf die Haustechnik eingesetzt werden können:

- › Reduzierung der Heizleistung der geplanten Sole-Wasser Wärmepumpe um 50%
- › Reduzierung der Rohrleitungslängen der Fußbodenheizung, da ein größerer Verlegeabstand realisiert werden kann
- › Effektivere Nutzung der passiven Kühlung der Sole-Wasser Wärmepumpe aufgrund der passivhaustauglichen Gebäudehülle
- › Reduzierung der Anzahl der Brauchwarmwasserwärmepumpen – kleinere Wohnungen (< 60 m<sup>2</sup>) teilen sich die Wärmepumpe; Abrechnung mittels Wärmemengenzähler



### Praxisbeispiel Theresienfeld

Auf Wunsch des Bauträgers, einer Genossenschaft, wurde noch während der Entwurfsphase eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedene Haustechniksysteme durchgeführt. Bei den untersuchten Gebäuden handelt es sich um sehr gut gedämmte Baukörper mit je sechs Wohneinheiten.

Ein dezentrales System, bestehend aus Infrarotheizungen und dezentralen Warmwasserboilern, wurde zunächst von den Bauleuten präferiert. Es wurde mit einer zentralen Luftwärmepumpe mit zentraler Warmwasserbereitung verglichen. Beide Varianten wurden jeweils mit einer Komfortlüftung und mit einer reinen Abluftanlage untersucht. Zusätzlich wurde ermittelt, wieviel Strom aus der eigenen PV Anlage verbraucht werden kann.

Der Vergleich der Endenergiebedarfe zeigte erwartungsgemäß einen gut doppelt so hohen Endenergiebedarf für die Infrarotheizungen als für die Luftwärmepumpenvarianten, sowie einen etwas höheren Hilfsstromanteil bei den Varianten mit Komfortlüftung.

Bei der Simulation der PV-Anlage stellte sich heraus, dass die 15° Ost/West geneigte Anlage den höchsten Eigenverbrauch deckt. Obwohl die Infrarotheizungsvarianten ca. 700 kWh/a und damit etwa 9% mehr eigenproduzierten PV Strom verbrauchen als die Wärmepumpenvarianten, wird der größte Anteil der zusätzlich benötigten Endenergie für Infrarotpaneele und Boiler zugekauft (20.000 kWh/a). Pro Jahr und Wohneinheit bedeuten dies Mehrkosten von 600 €.

Basierend auf den vorliegenden Angebotspreisen wurden Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit insgesamt 76.000 Varianten durchgeführt. Betrachtet wurden dabei sowohl unterschiedliche Gebäudehüllqualitäten und Haustechniksysteme, verschiedene Betrachtungszeiträume (30, 50, 100 Jahre) und Nutzendenverhalten sowie drei Szenarien der Energiepreissteigerung. Am Ende des Variantenvergleichs standen 50 Systeme mit den besten Lebenszykluskosten, die in der Folge vergleichend analysiert wurden.

Die 50 wirtschaftlichsten Varianten haben folgende Gemeinsamkeiten hinsichtlich der Gebäudehüllqualität und Haustechniksysteme:

- › 100% verwenden den Ytong 25 cm mit VWS 18 cm
- › 52% sind mit Holz-Alu Fenstern, 48% mit PVC-Fenstern ausgestattet
- › 92% besitzen eine Abluftanlage, 8% eine dezentrale Komfortwohnraumlüftung
- › 64% werden pro Gebäude mit einer Luftwärmepumpe beheizt, 4% mit zwei Luftwärmepumpen pro Gebäude, 32% mit einer zentralen Sole Wärmepumpe für 4 Häuser
- › 100% der besten Varianten werden über Bauteilaktivierung geheizt
- › 40% verfügen über 2,5 kWp PV und 60% über eine 10 kWp PV Anlage



Wohnanlage  
Theresienfeld

Aus den günstigsten Varianten stellten die Bauleute die inzwischen realisierten vier Gebäude zusammen:

- › Gebäudehülle mit Passivhausqualität
- › Zentrale, reversible Luft/Wasser-Wärmepumpe in jedem Gebäude
- › Warmwasserbereitung über Mini-Wärmepumpe mit Speicher in jeder Wohnung
- › Wärmeverteilung über Bauteilaktivierung (27 – 35 °C)
- › Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung
- › Photovoltaikanlage mit 10 kWp auf jedem Gebäude

Die mittels Bauteilaktivierung aktivierte Gebäudemasse ist zur Speicherung von netzseitiger Umweltenergie vorgesehen, um in der Zukunft flexible Stromtarife nutzen zu können. Bei niedrigen Strompreisen bzw. bei Ertrag der hauseigenen Photovoltaikanlage wird das Gebäude gezielt beheizt, um dann langsam auskühlen zu können.



Verlegung Bauteilaktivierung

Hervorzuheben ist auch die Warmwasserbereitung, welche einen separaten Rohrkreislauf in der aktivierten Decke als Quelle nutzt. Zirkulationsverluste und Verteilverluste für die Bereitstellung von Warmwasser sind nicht gegeben, da das Warmwasser in jeder Wohnung separat erzeugt wird.

Die prognostizierten Verbrauchskosten der Wohnungen ergeben Kosten von ca. 73 € (Stand 2020) monatlich inklusive Haushaltsstrom und setzen sich so zusammen:

### Vergleich der Verbrauchskosten pro Wohneinheit

• <b>Beispiel Maisonette mit LW-WP WW dezentral</b>	99,76 m <sup>2</sup>	
Heizen incl. Hilfsstrom	12,7 kWh/a x 99,76 m <sup>2</sup> x 0,174 € =	220,70 €/a
Warmwasser incl. Hilfsstrom	9,6 kWh/a x 99,76 m <sup>2</sup> x 0,174 € =	166,90 €/a
Kühlung incl. Hilfsstrom	1,4 kWh/a x 99,76 m <sup>2</sup> x 0,174 € =	24,30 €/a
Haushaltsstrom	30 kWh/a x 99,76 m <sup>2</sup> x 0,174 € =	520,70 €/a
Gebühren Zähler jährlich		148,20 €/a
<b>PV Eigennutzung</b>	12,4 kWh/a x 99,76 m <sup>2</sup> x -0,174 € =	-215,50 €/a
Gebühren Mieterstrommodell pro Jahr		8,00 €/a
• <b>Gesamtkosten Mieter</b>		<b>873,30 €/a</b>
<b>Nebenkosten incl. Haushaltsstrom pro Monat ca. 72,80 €</b>		

#### Angenommener Strompreis:

EVN Optima Flex Natur (Stand 2020)

17,40 ct/kWh

#### Zählergebühren pro Wohneinheit:

12 x 7/6 x 10,58 €

148,20 €/a

Mieterstrom 0,5 € x 12 x 8/6

8,00 €/a

Für die Bauleute war ein Heizsystem, das in jedem Raum in die Steckdose gesteckt werden kann, die Wunschvariante mit am wenigsten Technik. Zunächst ist das ja auch plausibel: keine Leitungen, kein Heizraum, kein Brennstoff und außerdem positive Erfahrungen aus dem sanierten Bestand der Genossenschaft, bei denen Einzelöfen durch Infrartheizungen ersetzt worden waren. Ist die Infrartheizung aber auch ein energieeffizientes und auf Dauer wirtschaftliches System? Der Aussage konnte mit Hilfe der Variantenstudien klar widersprochen werden. Schon nach wenigen Jahren ist die Infrartheizung als direkte Stromheizung teurer als ein zentrales System. Was sich allerdings auf die gesamte Lebenszeit des Gebäudes positiv auswirkt, ist eine sehr gut gedämmte Hülle. Nur die gute Hülle ermöglicht außerdem ein träges Verteilsystem in der aktivierten Decke einzusetzen, da sie bedeutend zur Phasenverzögerung beiträgt.

### 3.7 Klimawandelanpassung durch Low-Tech

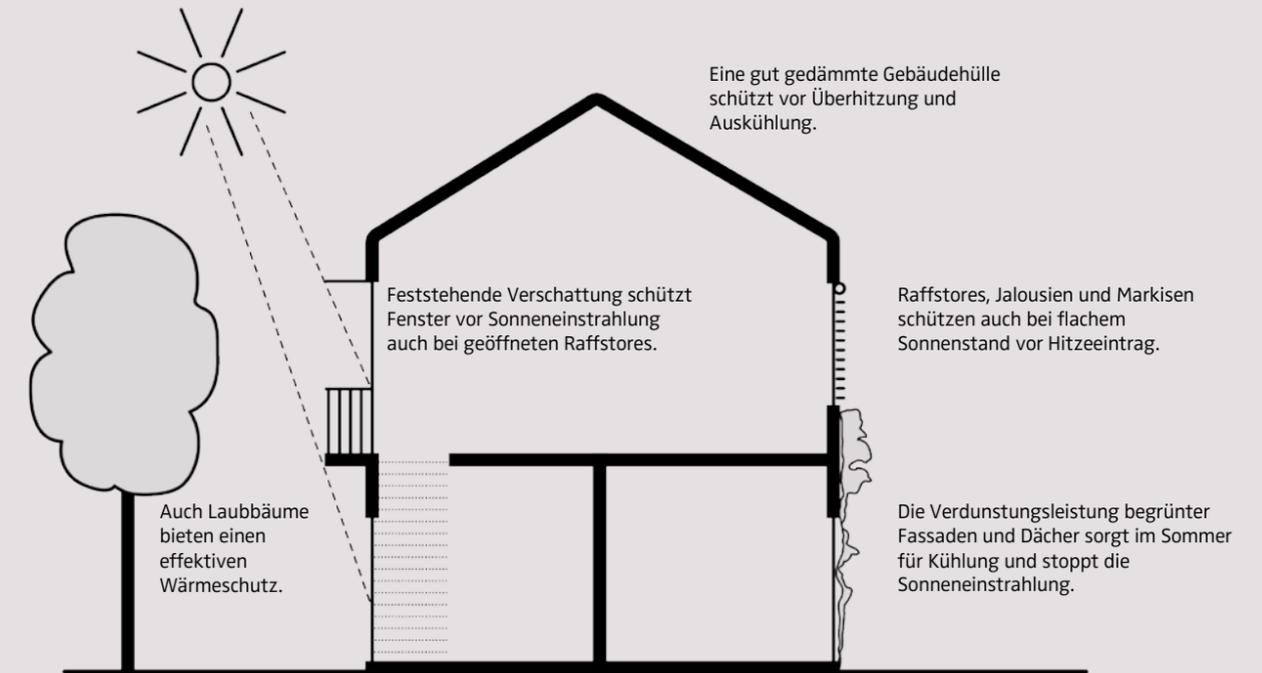
Der Klimawandel scheint ohne drastische Maßnahmen unaufhaltsam. In den kommenden Jahrzehnten wird in unseren Breitengraden der Wechsel von der gemäßigten Zone in die subtropische Zone spürbar. Eine steigende Anzahl von Hitzetagen und Tropennächten im Sommer sowie mildere Winter sind prognostiziert, begleitet von einer wachsenden Intensität und Frequenz von Niederschlägen und Dürreperioden. Bauwerke werden auf eine jahrzehntelange Nutzung über mehrere Generationen ausgelegt. Folglich ist vorausschauend Gebäudeplanung gefragt.

#### Überhitzung vermeiden

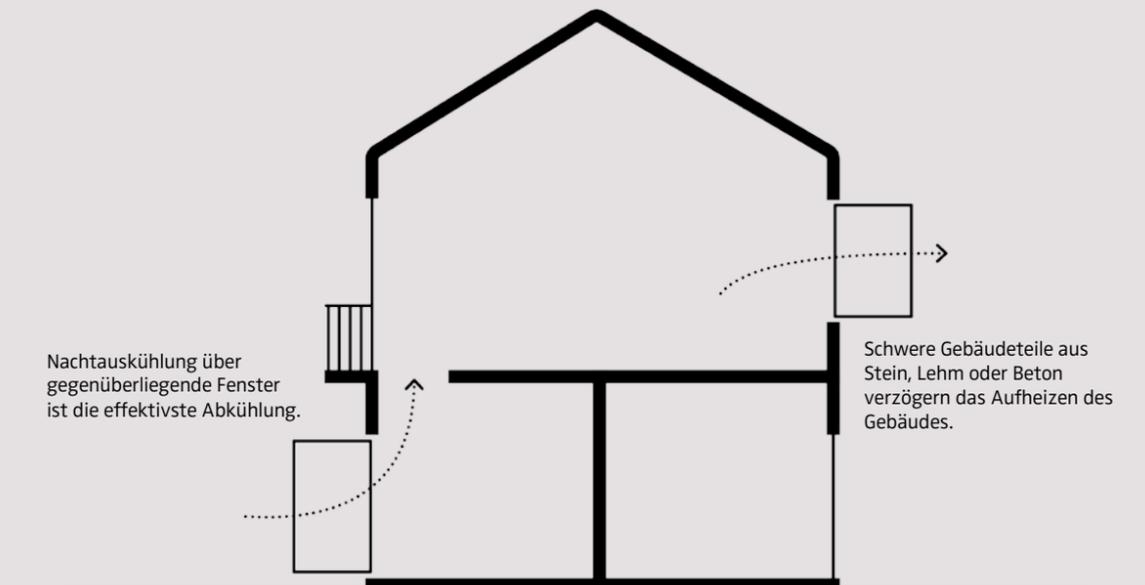
Durch den Temperaturanstieg sowie vermehrte Hitzetage und Tropennächte, rückt die Problematik der Überhitzung immer mehr in den Vordergrund. Generell geht es dabei nicht nur um das Komfortbedürfnis nach einem kühlen Wohnraum, sondern auch um die Gesundheit und Energieeinsparungen durch den Verzicht auf Klimaanlage. Die Sommertauglichkeit des Gebäudes hängt entscheidend von vier Faktoren ab: Dämmstandard, Masse des Gebäudes, Abschattung der Fenster und nächtliche Auskühlung durch Fensterlüftung oder einer Komfortlüftung.

Gute Außenwanddämmung schützt wie eine Thermoskanne nicht nur vor Auskühlung, sondern auch vor Erwärmung. Masse auf der Innenseite der Bauteile verzögert beides, aber lässt sich im Sanierungsfall nicht mehr wesentlich beeinflussen. Die Temperaturamplitudendämpfung und die Phasenverschiebung sind als vergleichbare Qualitätsmerkmale für die Beurteilung des Hitzeschutzes von Bauteilen hilfreich. Allerdings ist der Wärmeeintrag durch direkte Sonneneinstrahlung über die Fenster ca. 200 – 1000 Mal größer, als der Wärmeeintrag durch eine gedämmte Wand. Eine Verschattung der Fenster lässt sich aber leicht nachrüsten durch Raffstores, Fallmarkisen, Schiebeläden, Klappläden aber auch durch Vordächer, Veranden und Balkone, die die Nutzungsqualität auch anderweitig erhöhen. Auch mit der Begrünung von Fassaden und Dächern sowie Laubbaumpflanzungen lässt sich nachträglich Überhitzung verhindern.

Zur nächtlichen Auskühlung sind vertikale Fenster günstig, die möglichst auf gegenüberliegenden Fassadenseiten liegen und die nachts geöffnet bleiben können. Unterschiedliche Höhenniveaus unterstützen die Durchlüftung durch Thermik.



Maßnahmen zur Überhitzungsvermeidung



Kühlungsstrategien

Besitzt das Gebäude eine Wärmepumpe mit Erdsonde kann auch über die Fußbodenheizung gekühlt werden.

### Schutz vor Starkregen

Der Klimawandel führte in den letzten Jahren zu vermehrten und heftigen Regenereignissen.

Starkniederschläge und Hochwasser können eine Überlastung von Regenentwässerungs- sowie Abwasserentsorgungssystemen hervorrufen und massive Gebäudeschäden verursachen.

Die Überflutung von Kellerräumen, Tiefgarage und Erdgeschoss in tiefen Lagen sind oft die Folge. Durch einfache Maßnahmen lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels auf Gebäude und ihre Nutzenden reduzieren:

- › Geländeneigung vom Gebäude weg
- › Aufkantung oder Bodenschwellen zum Schutz von Gebäudeöffnungen (Fenster, Türen, Lichtschächte und weitere notwendige Durchdringungen der Gebäudehülle)
- › Abdichtungen
- › Rinnen und Mulden vor Terrassen und Eingängen
- › Rückstausicherung der Abwasserleitungen
- › Erhöhung der Wasserversickerung und der Speicherkapazität des Bodens durch gezielte Bepflanzung der Umgebung

### Gestaltung des Außenraums

Klimawandelanpassung kann nicht nur durch gebäudetechnische Maßnahmen erreicht werden. Um den Low-Tech Gedanken treu zu bleiben und zu versuchen so wenig, so ökologisch und wirtschaftlich wie möglich zu bauen, kann unterstützend die Natur bzw. die Umgebung des Gebäudes zu Hilfe gezogen werden. Durch das Pflanzen von Bäumen kann die Bodenerosion minimiert werden sowie eine Auflockerung des Bodens durch die Wurzeln und somit eine bessere Wasserversickerung erreicht werden.

Baumgruppen und geeignete Anpflanzungen sorgen für eine ausgeglichene Temperatur in der Umgebung von Gebäuden. Sie werfen Schatten und kühlen die Luft durch ihre Verdunstung.

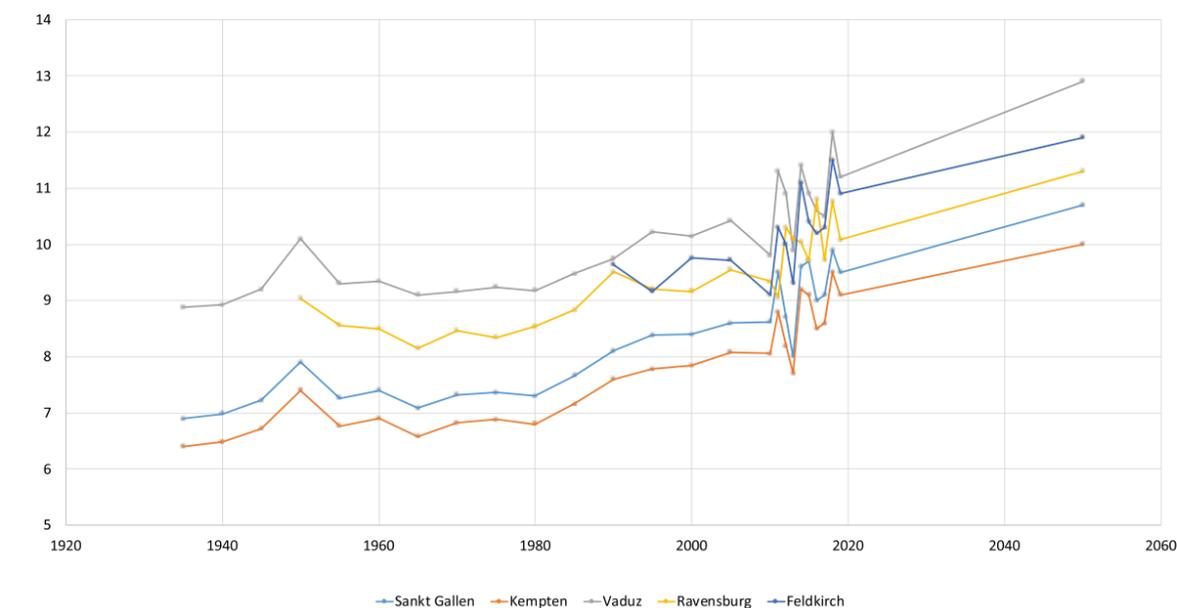
Durch die Berücksichtigung eines vordefinierten Äquivalents an begrünter Fläche und Wasserfläche, einer wirksamen Verschattung und Oberflächen, die sich wenig aufheizen, kann der Hitzeentwicklung in urbanen Gebieten entgegengewirkt werden.

### Vorsorge ist besser

Auch wenn diese Maßnahmen unbeliebt sind, weil sie zusätzliches Geld kosten, sind sie im Verhältnis zum Schadensfall günstig. Hundertjährige Wetterereignisse finden mittlerweile innerhalb weniger Jahre mehrfach statt, deswegen ist Vorsorge die klügste Herangehensweise.

Bei der Dimensionierung und Auslegung der Maßnahmen sollten die zu erwartenden Klimaextreme der nächsten Jahrzehnte berücksichtigt und Reserven eingeplant werden. Speziell bei langlebigen oder schwer zu verändernden Komponenten wie beispielsweise Fensterflächen sollte der Klimawandel und der damit verbundenen Anstieg der Temperaturen nicht außer Acht gelassen werden.

## 3.8 Der Klimawandel in der Energiebilanz



Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen von 1930 – 2020

In obenstehender Grafik sind die Jahresmitteltemperaturen in Städten der Bodenseeregion seit den 1930er Jahren in Fünfjahresschritten dargestellt. Ab dem Jahr 2010 liegen jährliche Daten vor. Seit dem Jahr 1980 ist ein stetiger Anstieg der mittleren Jahresdurchschnittstemperaturen ersichtlich. Ab dem Jahr 2010 wurden die in der Tendenz steigenden Jahresdurchschnittstemperaturen jährlich erfasst, wobei erkennbar ist, dass die Schwankung bis zu 2 K betragen kann. Im Mittel sind die Temperaturen in den letzten 50 Jahre um ca. 2 K angestiegen.

Für Low-Tech Gebäude hat dies zur Folge, dass der sommerliche Wärmeschutz unter Berücksichtigung zukünftig längerer Hitzeperioden funktionieren muss. Auch die Heizung muss im Falle einer längeren Kälteperiode, welche auch in Zukunft immer wieder vorkommen werden, ausreichend dimensioniert sein.

Ältere Klimadaten haben auf die Energiebedarfsberechnungen und die Auslegung der Heizlast eines Gebäudes lediglich den Einfluss, dass die errechneten Daten auf der konservativ sicheren Seite liegen und die Beheizbarkeit des Gebäudes auch in einem kälteren Winter in Zukunft mit Sicherheit gegeben sein wird. Allerdings kann es durchaus Sinn machen bei Gebäuden mit großzügigen Glasflächen, in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz die Simulation mit zukünftigen Klimadatensätzen durchzuführen. Dabei sollten Strategien entwickelt werden, wie bei dem zu erwartenden Temperaturanstieg die Nutzendenzufriedenheit mit dem Gebäude sichergestellt werden kann (Reduzierung der Fensterflächen, Lüftungsstrategie, Kühlung). Möglichkeiten hierfür sind zum Beispiel die Reduzierung von Fensterflächen, Entwicklungen von Lüftungs- und Kühlkonzepten.

Die lokale Witterung und das regionale Klima haben einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf eines Gebäudes. Für die bessere Vergleichbarkeit von Gebäuden unterschiedlicher Standorte wird im Energieausweis bzw. Energienachweis sowohl in Deutschland, Österreich, Liechtenstein als auch in der Schweiz der Energiebedarf auch für einen Referenzstandort bzw. für ein Referenzklima angegeben. Dies wurde auf Grund der steigenden Durchschnittstemperaturen in den letzten Jahren angepasst. Die Länder gehen dabei unterschiedlich vor:

#### Deutschland

Gerechnet wird im Allgemeinen mit dem vom Deutschen Wetterdienst ermittelten Testreferenzjahr (TRY) 2011. Um die klimatischen Anforderungen an die Heiz-, Klimatisierungs- und Lüftungstechnik auch für den Zeitraum einer längeren Betriebsdauer berücksichtigen zu können, wurden zusätzlich Testreferenzjahre auf Basis von regionalen Klimamodellen für den Zeitraum 2031 bis 2060 entwickelt, welche dann auch für die Berechnungen eingesetzt werden könnten.

#### Österreich

Die Monatsmitteltemperaturen, die in der Berechnung des österreichischen Energieausweises verwendet werden, wurden im Jahr 2019 mit der ÖNORM B 8110 5:2019 03 auf den Einfluss des Klimawandels angepasst. Die Werte sind gegenüber der Vorgängernorm im Mittel über alle sieben Klimaregionen um +1,1 K im Winterhalbjahr und +1,4 K im Sommerhalbjahr erhöht. Beim gesamtösterreichischen Referenzklima wurde ein weit stärkerer Temperaturanstieg angenommen. Alle Monatswerte wurden um +2 K nach oben korrigiert.

#### Schweiz – Fürstentum Liechtenstein

In der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein sind die Monatsmitteltemperaturen, die für die Berechnung des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 verwendet werden, in der Norm SIA 2028 definiert. Die Klimadaten stammen von einzelnen Klimastationen, die über die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein verteilt sind. Die aktuellste Version der Norm ist aus dem Jahr 2010, in welcher der bisherige und aktuelle Einfluss des Klimawandels noch nicht berücksichtigt ist.

## 3.9 Low-Tech und Normen

Low-Tech Ansätze können im Widerspruch zu gültigen Normen stehen. Insbesondere geringere Luftwechselraten, erweiterter Bereich der Raumlufttemperaturen oder „Weglassen“ von beispielsweise haustechnischen Anlagen, können zu Einwänden der Planenden und Ausführenden oder auch der zuständigen Behörden führen. Bei Nichteinhaltung von Normen drohen im Fall von Mängeln Rechtsstreitigkeiten, welche selbst bei explizitem Wunsch des Auftraggebenden zur Schadensersatzpflicht bei den Planenden und Ausführenden führen können. Da die Auftraggebenden meist fachunkundig sind, können sie nach Ansicht der Rechtssprechung die Auswirkungen von Normenabweichungen nicht vollumfänglich einschätzen. Trotz allem gibt es gebaute Beispiele, bei denen mit entsprechendem Mut und Vertrauen Normen großzügiger ausgelegt werden konnten.

#### Weglassen braucht mutige Entscheidungen

Für den Neubau eines kommunalen Gebäudes wurde vom Planungsbüro eine Heizlastberechnung durchgeführt. Für einen Nebenraum wurde eine Heizlast von 200 W ermittelt. Da eine Unterschreitung der Soll-Temperatur um wenige Grad keine große Nutzungseinschränkung bedeutet, wollte die Kommune auf den Heizkörper verzichten. Trotz den Einwänden der Fachplanung, entschied sich der Gemeinderat für das Weglassen des Heizkörpers. Der Kommune war es in diesem Fall wichtiger, den Ressourcenverbrauch und dadurch eine Kostensenkung zu erreichen.

#### An die Grenzen gehen

Normen an sich sind Empfehlungen. Sie werden verbindlich durch Bezugnahme, zum Beispiel in einem Vertrag zwischen Bauleuten und ausführender Firma oder in Gesetzen und Verordnungen. Die verschiedenen Normen geben Richtwerte und Grenzen vor. Hierbei sind oft „Von-bis-Angaben“ vorhanden. Um mit wenig Technik auszukommen, können die unteren Grenzen der Norm verwendet werden.

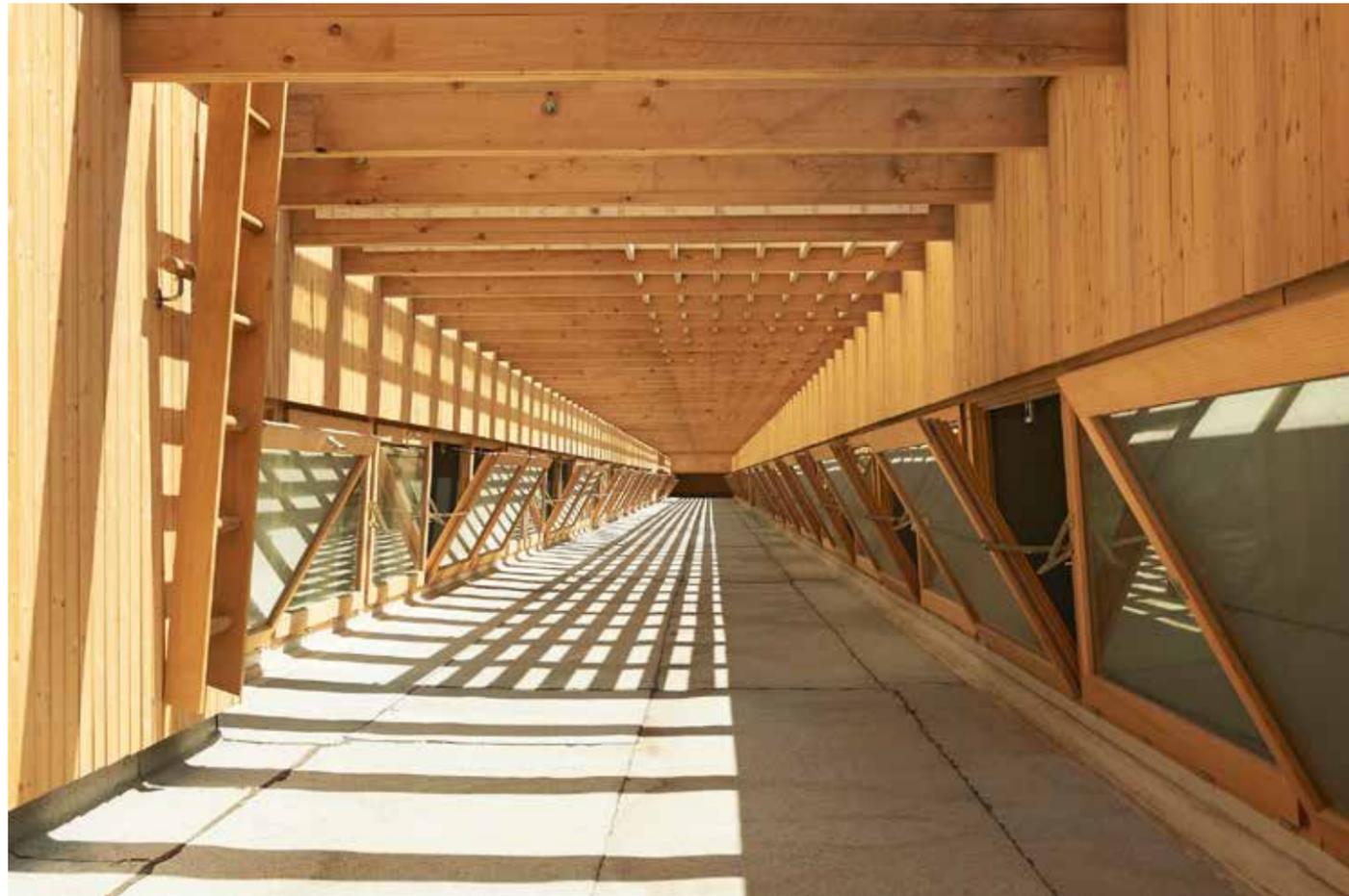
So konnte bei Lüftungsanlagen nach DIN EN 13799 mit einer Bandbreite von unter 22 bis über 54 m<sup>3</sup> pro Stunde je Person geplant werden. Durch eine Auslegung der Luftmenge an Hand des ausreichend gute Luftqualität liefernden Wertes, reduzieren sich die benötigten Rohrquerschnitte um 35%. Durch geringere Rohr- und Kanalgrößen können die Deckenabhängungen kleiner dimensioniert, die Geschosshöhen reduziert und die Investitionskosten geringer gehalten werden. Die Anlage befindet sich aber immer noch im Bereich der geltenden Normen.

#### Neue Wege in der Planung

Bei der Umsetzung von Low-Tech Gebäuden können durch neue Denk- und Planungsansätze gute Lösungen innerhalb des bestehenden Normengerüsts gefunden werden. So wurde zum Beispiel beim Neubau des Kindergartens Oberlinhaus in Kempten, die Leistung der Wärmepumpe nach dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) festgelegt. Die Fußbodenheizung wurde auf Grundlage der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 dimensioniert. Dies hat zur Folge, dass der Wärmerezeuger tendenziell zu klein und die Heizflächen zu groß ausgelegt sind. Im Falle einer Wärmepumpe, die mit niedrigen Systemtemperaturen und langen Laufzeiten besonders effizient arbeitet, ist dies aber ein Vorteil.

### Die zukünftigen Nutzenden berücksichtigen

Beim Neubau des Landwirtschaftlichen Zentrums St. Gallen in Salez wurde ein Belüftungssystem für die Klassenräume realisiert, das über thermischen Auftrieb und Windlasten funktioniert. Bei der Berufsschule für angehende Landwirte werden die Klassenräume über in die Fassade integrierte Elemente mit Frischluft versorgt. Die Abluft wird durch natürliche Konvektion über Lüftungsschächte abgeführt. Das Lüftungskonzept funktioniert ohne Ventilatoren oder elektrische Bauteile. Das Lüftungskonzept findet Akzeptanz, da die Nutzenden durch ihre tägliche Arbeit im Stall und im Freien an Temperaturschwankungen und Luftbewegungen gewöhnt sind. Durch ein Hinterfragen der sonst üblichen Herangehensweisen und eine Berücksichtigung der Bedürfnisse der Nutzenden konnte hier eine überzeugende Low-Tech Lösung gefunden werden.



Freie Lüftung, Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez

## 3.10 Lessons learned

„Low-Tech Architektur“: Gefeiert und veröffentlicht werden oft die gebauten Manifeste des technikreduzierten, energieeffizienten und ressourcenschonenden Bauens. Dieses Kapitel nimmt sich der Projekte und Ideen an, die vielleicht nie publiziert werden. Es stellt sich die Frage: Lag das am Low-Tech Gedanken oder gab es andere Gründe? Und was können wir von den Projekten lernen?

### → Neubau Wohn- und Geschäftshaus

Bei einem dekonstruktivistischen Gebäude aus Beton, das auf Grund der Bauweise einen hohen Einsatz von grauer Energie benötigt hätte, war ein Haustechnikkonzept nach dem Low-Tech Ansatz geplant. Einige ressourcenschonende, sinnvolle Low-Tech Ansätze konnten in die Planung eingebracht werden, wie beispielsweise Pellets-Öfen in jeder Etage anstelle einer wassergeführten Zentralheizung. Die Baueingabe scheiterte mehrfach auf Grund der eigenständigen Formensprache. Durch neue, während der Planungsphase in Kraft getretene Vorgaben der Kommune, war eine zeitnahe Baugenehmigung nicht mehr absehbar und das Projekt wurde von den Bauleuten nicht weiterverfolgt.

#### Lessons learned

Low-Tech ist nicht an eine Architektursprache oder Bauweise gebunden. Low-Tech kann funktionieren, wenn Gebäudehülle und Anlagentechnik sinnvoll aufeinander abgestimmt sind.

### → Atelierwohnen in ehemaliger Industriehalle

In einer alten Industriehalle sollte ein alternatives Projekt für gemeinschaftliches Arbeiten und Wohnen für mehrere Parteien entstehen. Zwei turmartige Wohngebäude, eines im östlichen und eines im westlichen Bereich, ragten durch die bestehende Dachfläche der Halle. Der zentrale Hallenbereich sollte unverbaut erhalten bleiben und unbeheizt für Bike-Repair und Sozialflächen genutzt werden. Durch die Südverglasung konnten solare Einträge für die Wohngebäude genutzt werden. Der Einsatz von grauer Energie hätte sich durch die überwiegende Verwendung von Massivholz und Lehm reduziert. Die Lebensdauer der alten Halle sollte durch einfache Instandhaltungsmaßnahmen wie kleine Reparaturen am Dach nochmals um mindestens einen Sanierungszyklus von 25 Jahren verlängert werden. Das vielversprechende und vielschichtige Projekt konnte leider aus persönlichen Gründen der Bauleute nicht realisiert werden.

#### Lessons learned

Einfachheit und Reduktion ermöglichen niedrige Investitionskosten.

### → Neubau eines Kindergartens

Die Bauleute hatten großes Interesse daran, den Neubau des Kindergartens mit reduzierter Technik zu realisieren. Die Planung war zu Beginn bereit, sich auf innovative Ideen und Low-Tech Ansätze einzulassen. Diese wurden in der konkreten Projektumsetzung auf Grund von äußeren Zwängen und unterschiedlichen Ansichten leider nicht so umgesetzt.

Einerseits konnte, angeregt durch die Impulse während der Low-Tech Projektbegleitung, die Komplexität der Lüftungsanlage reduziert werden. Andererseits wurde zusätzliche Anlagentechnik eingebaut, durch die sich die energetische Situation im angrenzenden Schulzentrum verbessert. Durch zusätzliche Technik, auf die man bei einem Low-Tech Gebäude eigentlich gerne verzichtet hätte, kann das Gebäude im Sommer aktiv gekühlt werden. Die Abwärme der Rückkühlwerke wird zur Warmwasserbereitung in der nahe gelegenen Turnhalle verwendet und reduziert dort den Stromverbrauch der elektrisch beheizten Boiler.

#### Lessons learned

Während der Projektbegleitung konnten sonst übliche Ansätze und Herangehensweisen diskutiert werden. Dadurch gab es Änderungen in Richtung von Low-Tech Ansätzen. Auch wenn das Gebäude vielleicht kein mustergültiges Low-Tech Gebäude ist, hat die Beschäftigung mit dem Thema Denkweisen verändert. Neue Wege entstehen dadurch, dass man sie geht.

### → Sanierung einer Schule

Bei der Sanierung einer Schule wurde Low-Tech bereits in der Wettbewerbsausschreibung vorgesehen und ambitioniert in die Planungen integriert. Für das Nachtlüftungskonzept wurde ein Lüftungsflügel mit Insektengitter und Regenschutz entwickelt. Es war geplant, dass die Lüftungsflügel zur Nachtauskühlung am Vorabend vom Reinigungspersonal manuell geöffnet werden und über Nacht bzw. über das gesamte Wochenende geöffnet bleiben. Eine mögliche Unterkühlung der Innenräume bei einem plötzlichen Wetterumschwung wurde dabei in Kauf genommen. Die Behaglichkeit der Nutzenden ist stark abhängig von der Entscheidung des Reinigungspersonals. Werden die Lüftungsflügel geöffnet, so kann der Raum über Nacht auskühlen. Bleiben die Lüftungsflügel geschlossen, startet der Schultag bereits in einem zu warmen Klassenzimmer. Aufgrund dieser starken Abhängigkeit wurde die Wirksamkeit der manuell zu öffnenden Lüftungsflügel zu einem späteren Planungszeitpunkt wieder in Frage gestellt und die Bauleute entschieden sich stattdessen dazu automatisch öffnende Lüftungsflügel einzusetzen. Selbst in Teams, in denen alle eigentlich den Low-Tech Weg mitgehen möchten, von Architekturschaffenden, Fachplanung und Bauleuten bis hin zu Nutzenden und Wartungspersonal, kann es zu „Rückfällen“ kommen. Gemeinsam getroffene Entscheidungen werden zurückgenommen. Was zuvor geklärt und protokolliert war, steht plötzlich wieder zur Diskussion.

#### Lessons Learned

Von den Nutzenden zu bedienende Low-Tech Elemente müssen richtig verwendet werden, damit sie wie geplant funktionieren. Sollte die richtige Bedienung des Elementes angezweifelt werden, kann es nicht realisiert werden.



Panoramaspiegelung

#### Fazit

Die Auseinandersetzung mit Low-Tech birgt Chancen und manchmal ist der Weg wichtiger als das Ziel. Um zu einem erfolgreichen Projektabschluss zu kommen und Low-Tech nicht auf dem Weg zu verlieren, braucht es einen hohen Einsatz der Planenden und den Mut der Bauleute. Oft ist eine Abweichung vom Bekannten nötig, sogar manchmal von Sicherheit vermittelnden Normen.

Essentiell ist ein überzeugtes und kompetentes Team aus Bauleuten, nachhaltigkeitsplanenden Personen und Architekturschaffenden, denen es gelingt, die Nutzenden sowie das Facility Management und die Gebäude-Erhaltenden von der Konzeption über die Planung bis in den Betrieb mit Monitoring zu begleiten. Die Erfahrung zeigt: „Nur jene Technik, die wir einfach kontrollieren und dauerhaft mit angemessenem Aufwand betreiben können, schafft Vertrauen und Wohlbefinden“.

# 4. Low-Tech in der Werkplanung

4.1 Low-Tech in der Baukonstruktion

4.2 Low-Tech in der Haustechnik



## 4. Low-Tech in der Werkplanung

Die Zielvorgaben der Bauleute bilden, zusammen mit den Entscheidungen und Ergebnissen aus der Vorplanung, die Grundlage für die Projektierung. Das Planungsteam erarbeitet im Vorprojekt räumliche, gestalterische, konstruktive und betriebliche Konzepte. Im Bauprojekt ergänzt es diese Konzepte und arbeitet sie weiter aus. In der Werkplanung bzw. der Ausführungsplanung konkretisiert das Planungsteam unter gegenseitigem Einfluss das endgültige und interdisziplinäre Konzept für ein Low-Tech Gebäude. Je mehr Aufgaben die Bausubstanz abdeckt, desto weniger Gebäudetechnik ist erforderlich.

In dieser Phase mit zahlreichen Beteiligten ist es besonders wichtig, dass niemand aus dem Planungsteam den Fokus auf ein Low-Tech Gebäude aus den Augen verliert. Nach Abschluss der Werkplanung soll das Bauprojekt keine wesentlichen Projektänderungen mehr erfahren.

Eine auf das notwendige optimierte Gebäudetechnik und aufwändige Architekturdetails senkt die graue Energie und die Kosten für den Betrieb, die Wartung und Instandhaltung markant. Allgemein hat diese Projektphase einen entscheidenden Einfluss auf die Jahreskosten im Betrieb des Gebäudes und somit viel Potential zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit. Hält man sich konsequent an die Vorsätze von Low-Tech wird ein betriebsgünstiges, wirtschaftliches Gebäude entstehen.

**Ein Beispiel:** Einige Low-Tech Ansätze wie beispielsweise „Reduzierte Luftmengen“, befinden sich außerhalb der geltenden Normen. Ist die Nutzung und die Personenbelegung bekannt und nicht veränderbar, kann das Planungsteam von den normativen Vorgaben abweichen und auf den realen Bedarf hin die Lüftungsanlage dimensionieren. So optimiert das Planungsteam die Größe der Anlage und gewährleistet dennoch die Behaglichkeit.

### Spannungsfelder

Selbst bei gut funktionierenden und kommunizierenden Projektteams sind Konflikte im Prozess nicht immer zu vermeiden. Für die Realisierung eines Low-Tech Gebäudes ist das Zusammenspiel von Gebäudegestaltung, Nutzung und Haustechnik erforderlich. Dadurch entsteht auch automatisch eine Einmischung in die Kompetenzfelder anderer Planenden. Gestalterisch relevante Komponenten wie beispielsweise Dachüberstände oder ein feststehender Sonnenschutz müssen als Teil des architektonischen Gesamtkonzepts auch der gewünschten Formensprache sein. Low-Tech darf nicht nur auf den Bereich Haustechnik reduziert werden.

Das Honorar der Planenden wird üblicherweise auf Grundlage der Investitionssummen berechnet. Der Verzicht auf Technik reduziert das Honorar und ist somit bei Fachingenieur\*innen unbeliebt. Das Planungshonorar soll in Low-Tech Projekten also auf anderer Grundlage bemessen werden.

Sofern weitere Beteiligte in den Prozess eingebunden sind, müssen diese als weitere Beteiligte berücksichtigt werden. Sie sorgen durch gezielte Fragen und Anregungen ggf. für „Unruhe“ und erzeugen möglicherweise Planungsänderungen. Hier ist eine frühzeitige Einbindung absolut notwendig.

### 4.1 Low-Tech in der Baukonstruktion

Die Behaglichkeit im Low-Tech Gebäude ist geprägt durch hohen thermischen Komfort, beste Luftqualität und einen hohen Tageslichtanteil. Eine durchdachte und effiziente Baukonstruktion und die intelligente Nutzung von Sonnenenergie ermöglichen den Einsatz einer optimierten und langlebigen Gebäudetechnik.

Für die Baukonstruktion sind Dauerhaftigkeit im Sinne einer guten Sanierbarkeit, aber auch eine hohe Flexibilität gefordert.

#### Material- und Konstruktionswahl

Ein erfolgreiches Bauprojekt beginnt mit einem durchdachten Architekturkonzept. Aus der Bauaufgabe und dem straffen Raumprogramm entwickeln die Planenden ausgewogene Kubaturen und Raumabmessungen. Ein kompakter Baukörper benötigt generell weniger Material als ein langgezogener, komplexer oder verwinkelter Baukörper.

Beton, Glas, Holz, Lehm, Metall und Ziegelsteine: Jedes Baumaterial hat seine physikalischen Eigenheiten. Sie bestimmen, für welche Aufgaben ein Material geeignet ist und für welche nicht. Low-Tech Gebäude sind materialgerecht gebaut. Die Planenden stimmen beispielsweise Rastermaße und Spannweiten auf die Materialeigenschaften ab. Damit reduzieren sie den Materialeinsatz auf die notwendige Menge. Die Wahl der Baumaterialien hat Einfluss auf das Raumklima und die Behaglichkeit. Regionale Baumaterialien stiften zudem Identität.



Mehrzwecksaal Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez

## Graue Energie

Die graue Energie beschreibt die nicht erneuerbare Primärenergie, die der Bau, Betrieb, Unterhalt und Rückbau eines Gebäudes benötigt. Sie lässt sich mit verschiedenen Maßnahmen reduzieren. Das senkt die Menge an grauer Energie und schont Ressourcen. Weiter lässt sich graue Energie einsparen durch zurückhaltenden, sparsamen Materialeinsatz und reduzierten Tiefbau. Der Tiefbau verursacht pro Fläche aufgrund des Aushubs und des Massivbaus generell mehr graue Energie als der Hochbau. Einfache und einheitliche Baukonstruktionen ermöglichen das spätere Recycling oder die Wiederverwendung. Zusätzlich lohnt es sich, die Art der Oberflächenbehandlung gut zu überlegen. Vielerorts genügen unbehandelte Oberflächen. Glatte und fugenlose Oberflächen ermöglichen eine einfache und sparsame Reinigung.

Eine Übersicht bieten beispielsweise die KBOB Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016 oder die baubook Datenbank.



Kindergarten Mellau

## Dauerhaftigkeit

Langlebige Baumaterialien senken die Lebenszykluskosten und schonen die Ressourcen. Unterputz installierte Haustechnik und unzureichende Revisionsöffnungen bergen die Gefahr, dass beim Unterhalt oder bei Umnutzungen Wände und Decken abgebrochen werden müssen. Wenn immer möglich sind daher Haustechnikinstallationen, insbesondere mechanische Teile, aufputz zu verlegen.

Ein gut durchdachtes Architekturkonzept sieht Umnutzungen im Gebäude vor, die bei einem Mietpartei üblich sind. So sind Anpassungen an einem Bauteil möglich, ohne die angrenzenden zu beschädigen. Einzelne Schichten oder Verkleidungen lassen sich demontieren und später wieder anbringen. Möglich machen dies formschlüssige und kraftschlüssige Verbindungen und Konstruktionen wie etwa Schrauben, Nägel, Stifte, Nieten, Klemmen; aber auch Beschläge, Klett- und Reißverschlüsse, Nut und Feder, Schlitz- und Zapfenverbindungen. Im Vergleich zu den stoffschlüssigen Verbindungen (Kleben, Schweißen, Löten) sind diese lösbar.

Zeitloses Design von Inneneinrichtungen verlängert ebenfalls deren Nutzungsdauer. Eine einfache und schlichte Gestaltung mit qualitativ hochwertigen Produkten bildet eine gute Voraussetzung für eine lange Nutzung.



Inneneinrichtung Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez



Terrasse Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez



### Praxisbeispiel Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez

Das hauptsächlich verwendete Baumaterial beim Landwirtschaftlichen Zentrum SG in Salez ist Holz. Die Decken- und Wandoberflächen sind weitgehend unbehandelt. In den Nasszellen sind, wo nötig, rückbaufähige Spritzschutzabdeckungen angebracht. Die Bodenflächen sind mit Kasein-Spachtelung beschichtet. Kasein ist ein Milcheiweiß, das mit Kalk aufgeschlossen ein dauerhaftes, starkes und natürliches Klebemittel bildet. Alle Haustechnikinstallationen sind aufputz montiert und somit einfach rückbau- oder erweiterungsfähig. Die Raumtrennwände bestehen hauptsächlich aus Holz und sind mit Mineralwolle gedämmt. Das macht sie ebenfalls rückbaufähig und wiederverwertbar. Bei den Bauteilverbindungen wurden hauptsächlich wieder lösbare Befestigungs- und Verbindungstechniken angewendet.

### Thermische Gebäudehülle

Eine möglichst luftdichte und hochwärmedämmende Gebäudehülle bildet die Grundlage für einen niedrigen Energiebedarf. Zur thermischen Gebäudehülle gehören auch die Fenster, bei welchen besonders auf gute Wärmekennwerte geachtet werden soll.

Je besser die Wärmedämmung der Gebäudehülle ist, desto kleiner kann die Wärmeerzeugung dimensioniert werden. Je nach Standortgegebenheiten kann bei einer optimalen Sonnenorientierung des Gebäudes auch komplett auf eine Wärmeerzeugung verzichtet werden.

Nicht nur für den winterlichen, sondern auch für den sommerlichen Wärmeschutz ist die Planung einer luftdichten, thermischen Gebäudehülle essentiell. Eine sehr gut gedämmte und luftdicht gebaute Gebäudehülle verzögert die Innenraumerwärmung in den Sommermonaten, sofern solare Wärmeeinträge durch ein funktionierendes Verschattungssystem vermieden werden. Durch interne Wärmelasten von Menschen und Geräten erwärmen sich die Innenräume dennoch. Um zu hohe Temperaturen im Gebäude zu vermeiden, muss sichergestellt werden, dass die Innenräume auch in Hitzeperioden wieder abkühlen können.

### Sommerlicher Wärmeschutz

Bereits in einem sehr frühen Planungsstadium können die Planenden Einfluss auf das Aufwärmverhalten des Gebäudes nehmen. Relevante Parameter sind hierbei:

- › Ausrichtung des Gebäudes und der Hauptfassaden
- › hohe Wärmespeicherfähigkeit der Oberflächenmaterialien im Raum
- › Größe der Fensterflächen in Relation zur Raumgröße
- › niedriger Energiedurchlassgrad (g-Wert) der Fenstergläser
- › guter außenliegender Sonnenschutz mit ebenfalls tiefem Energiedurchlassgrad
- › Nachtauskühlung der Räume
- › bauliche Verschattungen durch Nachbargebäude oder des eigenen Gebäudes
- › reduzierte interne Wärmelasten (durch weniger Technik)
- › naturnahe Umgebungsgestaltung (Bäumen, Büschen oder einer begrünten Fassade)

### Fenster und Sonnenschutz

Die direkte Sonneneinstrahlung über die Fenster kann einen Innenraum überhitzen. Gewöhnliche dreifach verglaste Fenster lassen rund 50 % (g-Wert= 0,50) der eintreffenden Sonnenenergie in den Innenraum, der Rest wird nach außen reflektiert. Außenliegende Sonnenschutzelemente senken diesen Energiedurchlassgrad markant. Feste Sonnenschutzmaterialien wie bei Rafflamellenstoren senken den Energieeintrag durch die Fenster auf rund 7% (g-tot.-Wert= 0,07) Das garantiert einen ausreichenden sommerlichen Wärmeschutz. Leichtere und weniger dichte Materialien wie Stoffmarkisen oder innenliegende Verschattungen reduzieren die Sonneneinstrahlung weniger stark.

In Gebieten mit Hitzeperioden und gleichzeitig starken Winden (Föhnlagen) muss besonders auf die Windstabilität des außenliegenden Sonnenschutzelements geachtet werden. Müssen die Sonnenschutzelemente aufgrund des starken Windes hochgefahren werden, kann es zu einer starken Erwärmung der Innenräume führen.



Sonnenschutz Kindergarten Göfis



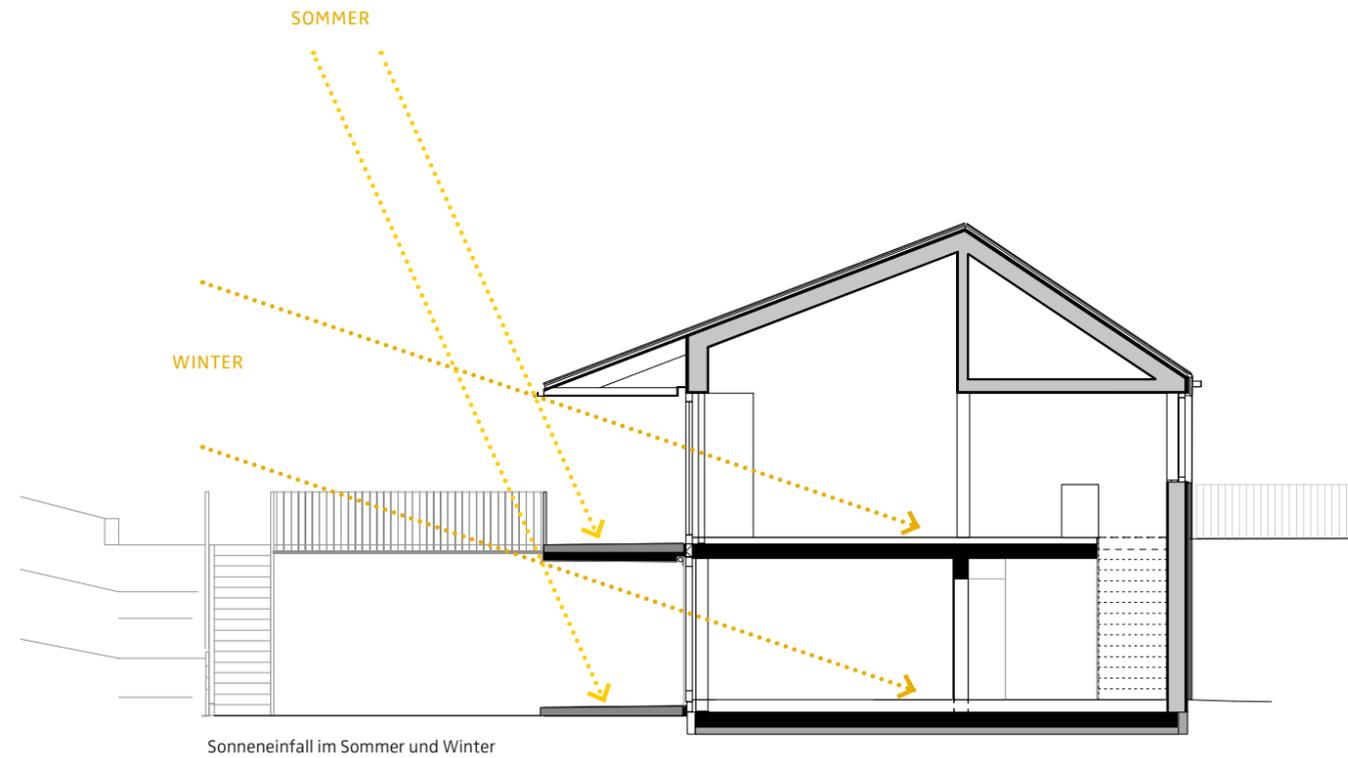
Fassade Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez

### Bauliche Verschattung

Im Sommerhalbjahr steht die Sonne in unseren Breitengraden in einem wesentlich steileren Winkel zur Erdoberfläche als im Winterhalbjahr. Dieser Umstand lässt sich für den sommerlichen Wärmeschutz gut nutzen, zum Beispiel durch kurze Balkonauskragungen (1 – 2 m) nahe über dem Fenstersturz. Auch Verschattungen von der Seite oder durch Nachbargebäude haben einen wesentlichen Einfluss.

### Verschattungssituation ermitteln

Es gibt zahlreiche Tools zur Ermittlung der horizontalen und vertikalen Verschattungswinkel an einem bestimmten Standort und zu beliebigen Tagen und Uhrzeiten im Jahr. Diese Tools basieren auf dem Modell des Sonnenstandsdiagramms. Die manuelle Anwendung des Sonnenstandsdiagramms ist im Kapitel 3 Vorplanung erklärt.



### Praxisbeispiel EFH Schnifis

Das EFH Schnifis steht hangparallel auf einem freien Südhang auf 700 m Seehöhe. Anstelle der marktüblichen Raffstores wurden hier ein fest installierter Sonnenschutz in Form einer ornamentierten Holzfassade angebracht.



Haus Schnifis, mama Architektur



Galeriegesschoss im Wohnraum Haus Schnifis, mama Architektur

### Wärmespeicherfähigkeit

Ein Baumaterial mit hoher Wärmespeicherfähigkeit wird auch als träge bezeichnet. Das ist für den sommerlichen Wärmeschutz eine durchwegs positive Eigenschaft. Die Wärme während des Tages wird von den Innenraumoberflächen aufgenommen, gespeichert und erst bei sinkender Raumlufttemperatur langsam wieder abgegeben. Eine effiziente thermische Gebäudehülle und hohe Wärmespeicherfähigkeit verzögern die Erwärmung der Innenräume. Es muss jedoch sichergestellt sein, dass die eingebrachte Wärme durch interne Wärmelasten auch in Hitzeperioden wieder abgeführt werden kann.

### Naturnahe Umgebungsgestaltung

Neben einer Vielzahl weiterer Vorzüge hat eine naturnahe Umgebungsgestaltung eine kühlende Wirkung. Das ist zwar bekannt, wird jedoch vielfach vernachlässigt oder unterschätzt. Pflanzen und insbesondere Bäume kühlen die Umgebungstemperatur um mehrere Grad, weil sie stetig Wasser verdunsten. Und dank des Schattenwurfs der Bäume auf die Fassade heizt sich diese weniger schnell auf. Die Temperaturunterschiede halten die Luft in Bewegung und verhindern einen Hitzestau an der Fassade.

### Nachweis Sommerlicher Wärmeschutz

Die einfachste Art den sommerlichen Wärmeschutz zu überprüfen ist eine Ermittlung des Sonneneintragskennwerts für kritische Räume, d.h. für Räume bei denen eine Überhitzung wahrscheinlich erscheint. Der Sonneneintragskennwert beschreibt das Verhältnis von transparenten Flächen (Fensteröffnung x Abminderungsfaktor für Sonnenschutz) zur Raumgröße. Dieser Wert wird mit einem maximal zulässigen Wert verglichen, der individuell entsprechend der Bauart, Nachtlüftung, Fensterflächen und passiver Kühlung ermittelt wird. Genauere Ergebnisse lassen sich mit einer thermischen Gebäudesimulation erzielen. Hier wird das Gebäude „virtuell“ gebaut und der Temperaturverlauf kann über einen längeren Zeitraum exakt berechnet und dargestellt werden.

### Sommerlicher Wärmeschutz versus Tageslichtnutzung

Ein Sonnenschutz darf nicht allein aufgrund seiner thermischen Schutzeigenschaften ausgewählt werden. Auch die Nutzung des Tageslichts soll beachtet werden. Rafflamellenstoren lassen in 45°-Stellung genügend diffuses Sonnenlicht in den Raum und lenken die Wärmestrahlung der hochstehenden Sonne nach außen. Zu beachten ist, dass durch, insbesondere senkrechte, feststehende Lamellen, im Innenraum Schatten mit starken Hell-Dunkel Kontrasten entstehen können. Diese können unter Umständen die Sehaufgaben der Nutzenden beeinträchtigen.

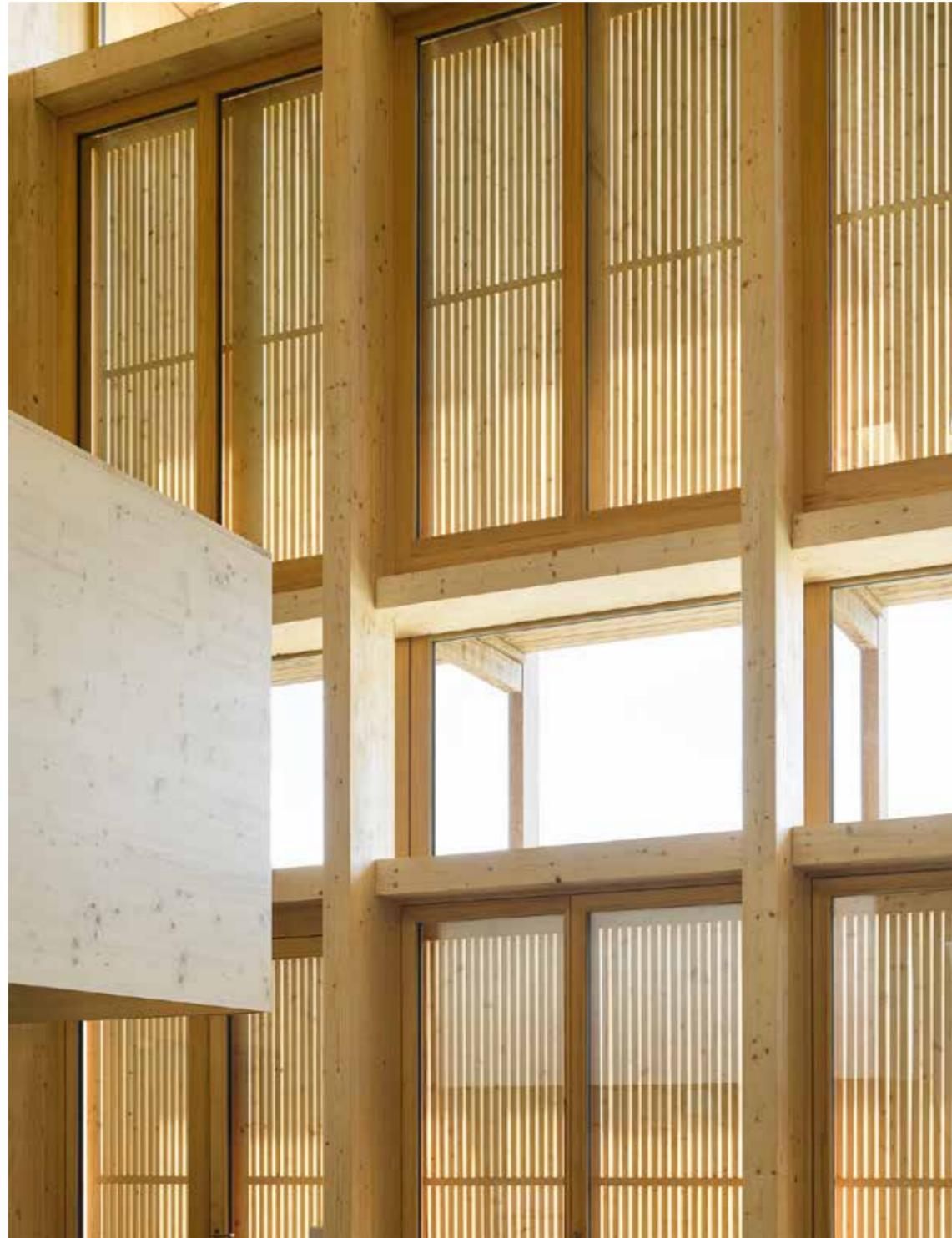


### Praxisbeispiel Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez

Die Fassade des Neubaus am Landwirtschaftlichen Zentrum SG in Salez kombiniert zwei Fenstertypen: schmale, bodentiefe Fenster und ein darüber liegendes durchlaufendes Oberlichtband. Die schmalen Fenster wechseln sich ab mit geschlossenen Fassadenteilen und haben als außenliegenden Sonnenschutz Holzschiebeläden. Die darin eingelassenen Holz-Lamellen lassen einen Anteil Tageslicht durch. Das Oberlichtband erstreckt sich über die gesamte Fassadenlänge. Das weit auskragende Vordach und der Laubengang wirken als Sonnenschutz. Das hat den Vorteil, dass genügend Tageslicht eintritt und die Räume in der gesamten Tiefe ausleuchtet. Die Fensterflächen und deren Anordnung wurden in der Planung mittels Tageslichttool weitgehend optimiert. Die Umgebung des Schulgebäudes ist begrünt und Bäume dienen zur zusätzlichen Verschattung.



Außenansicht Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez



Fassadendetail  
Landwirtschaftliches  
Zentrum SG in Salez

### Tageslichtnutzung

Gutes Licht ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal von Innenräumen. Je nachdem, wozu wir einen Raum nutzen, stellen wir unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtung. Gutes Licht ist ausreichend hell, blendet aber nicht. Es schafft eine angenehme Atmosphäre und gibt die Farben naturgetreu wieder. Unsere Augen sind auf das natürliche Tageslicht geeicht. Es ist die Referenzgröße für Farben, Oberflächen und Ausleuchtung. Deshalb deckt eine gute Innenbeleuchtung so viel wie möglich mit Tageslicht ab. Bezogen auf Low-Tech minimiert ein hoher Tageslichtanteil den Aufwand für Kunstlicht und den Grad der Technisierung.

Für einen hohen nutzbaren Tageslichtanteil spielt nicht nur das Verhältnis der Glasfläche zur Raumfläche eine zentrale Rolle. Vielmehr ist die Positionierung der Fenster und der Lichttransmissionsgrad der Gläser entscheidend.

Bei der Auslegung der künstlichen Beleuchtung haben diese Größen maßgebenden Einfluss und sind in den gängigen Planungstools wichtige Parameter.

### Raumwirkungsgrad

Die im Raum verbauten Materialien beeinflussen aufgrund ihrer Oberflächenstrukturen und Farben den Wirkungsgrad der natürlichen und künstlichen Beleuchtung. Glatte Oberflächen spiegeln das Licht, raue brechen es. So reflektiert beispielsweise ein reinweißer Farbanstrich 80 % des auftretenden Lichts, Sichtbeton hingegen nur noch 20 % davon. Nicht nur Decken, Wände und Böden, sondern auch die Möblierung hat Auswirkungen auf die Beleuchtung. Helle und glatte Oberflächen senken die spezifische elektrische Aufnahmeleistung der Beleuchtung, können im ungünstigen Fall aber blenden.



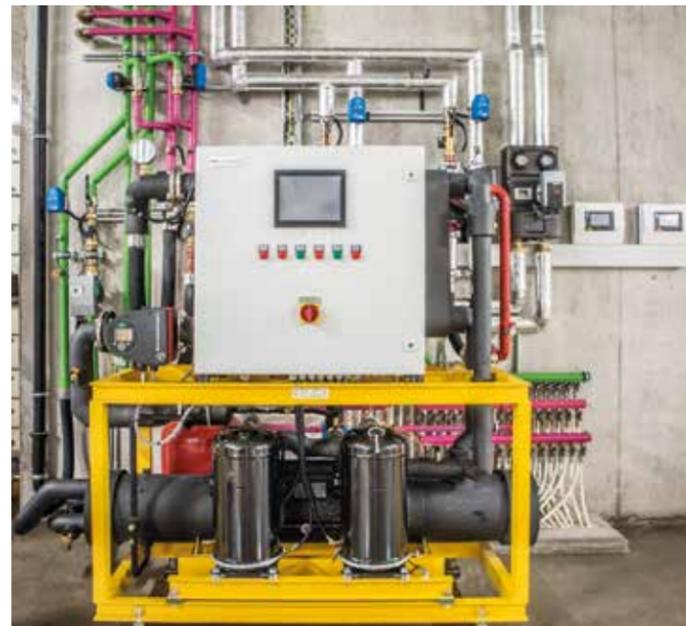
Speisesaal  
Landwirtschaftliches  
Zentrum SG in Salez

## 4.2 Low-Tech in der Haustechnik

Die folgende Tabelle zeigt, worauf der Fokus bei bestimmten Planungsaufgaben liegen sollte.

	Wohnbau		Bildung		Büro		Produktion
	gering	hoch	Kinder	Erwachsene	gering	hoch	
Belegung							
Wärme	●	◐	○	○	◐	○	○
Lüftung	○	●	●	●	◐	●	◐
Warmwasser	●	●	◐	◐	○	○	○
Kühlung	○	◐	●	●	◐	●	◐
Strom/ Beleuchtung	○	○	●	●	●	●	●

● sehr wichtig ◐ wichtig ○ weniger wichtig



Wärmepumpe gespeist von Solarthermie:  
vorne 2 x 9 kW Verdichter, hinten NT-Wärmetauscher,  
rechts oben HT Wärmetauscher, links oben  
Soleanschluss (Wärmequelle)  
Naturkosmetik Metzler, Egg

	Erzeugung	Verteilung	Übergabe	Steuerung
<b>Wärme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› solartherm. Anlage</li> <li>› Biomassekessel</li> <li>› Einzelöfen</li> <li>› Kraft-Wärme-Kopplung BHKW</li> <li>› Brennwertkessel</li> <li>› Elektroheizung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Heizkreise</li> <li>› Pufferspeicher</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Heizkörper</li> <li>› Fußbodenheizung</li> <li>› Wandheizung</li> <li>› Bauteilaktivierung</li> <li>› Luftheizung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Zentrale Regelung</li> <li>› Einzelraumregelung</li> <li>› Gebäudeleittechnik</li> </ul>
<b>Lüftung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› zentrales Lüftungsgerät</li> <li>› dezentrales Lüftungsgerät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Lüftungskanäle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Quellluftauslass</li> <li>› Weitwurfdüse</li> </ul>	
<b>Warmwasser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› siehe Wärmeerzeugung</li> <li>› zentraler Boiler</li> <li>› dezentrale Boiler</li> <li>› Wärmepumpenboiler</li> <li>› Warmwasserspeicher</li> <li>› Frischwasserstation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Zirkulationsleitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Entnahmestelle</li> </ul>	
<b>Kühlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Free cooling</li> <li>› Kompressionskältemaschine</li> <li>› Verdunstungskühlung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Kaltluft</li> <li>› Kühlwasserkreis</li> </ul>		
<b>Elektrische Energie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Photovoltaikanlage</li> <li>› Brennstoffzelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Elektroleitungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Leuchten - Lampen</li> <li>› Elektrische Geräte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Raumweise Regelung</li> <li>› präsenzabhängige, tageslichtabhängige Regelung</li> </ul>



## Erzeugung – Wärme

### Solarthermische Anlage

In einer solarthermischen Anlage wird Solarenergie in Wärme umgewandelt. Trifft solare Strahlung auf einen Flach- oder Röhrenkollektor, wird die darin befindliche Flüssigkeit erwärmt. Die Flüssigkeit strömt in einen Pufferspeicher und übergibt dort die Wärme an das Heizungssystem. Die Kollektoren können auf dem Dach oder der Fassade installiert werden. In der Regel reicht die Wärme nicht aus, um den gesamten Wärmebedarf in der Heizperiode zu decken. Deshalb wird eine solarthermische Anlage meistens zusätzlich zu einem anderen Heizsystem installiert. Zur Trinkwassererwärmung reicht eine solarthermische Anlage in den Sommermonaten meistens aus.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Der Grad der Komplexität einer solarthermischen Anlage hängt stark von der Planung und den verbauten Komponenten ab. Prinzipiell kann eine solarthermische Anlage aber als einfaches System aufgebaut werden. Durch die Nutzung der Solarenergie entstehen keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt. Außerdem werden dabei viele vorgelagerte Prozesse, im Vergleich zur Nutzung anderer Energieträger, wie Strom, Öl, Gas oder Biomasse, vermieden. Solarenergie muss weder hergestellt noch transportiert werden. Dies macht sie aus Low-Tech Sicht attraktiv.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Eine solarthermische Anlage muss regelmäßig kontrolliert und gewartet werden. Da das solare Strahlungsangebot vor allem in den Wintermonaten sehr niedrig ist und der Betrieb der Anlage wetterabhängig ist, müssen in der Regel noch andere Wärmeerzeuger mit eingeplant werden.



Produktionshalle,  
Naturkosmetik Metzler, Egg

### Biomassekessel

Biomassekessel nutzen vorwiegend Holz als Brennstoff. Die drei gängigsten Formen, in denen das Holz als Brennstoff vorliegt sind Stückholz, Holzpellets und Hackschnitzel. Stückholzkessel werden zumeist von Hand befüllt, während Holzpellets und Hackschnitzel automatisch aus einem Lager in den Kessel transportiert werden.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Holz ist ein nachwachsender Rohstoff der regional verfügbar ist. Dadurch können weite Transportwege vermieden werden.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Der Wartungs- und Bedienungsaufwand ist deutlich höher als beispielsweise bei Erdgas- oder Ölkesseln. Dies liegt vor allem an dem deutlich inhomogeneren Brennstoff bei Scheitholz und Hackschnitzel. Auch wenn Holzpellets sehr homogen sind, ist ein höherer Wartungsaufwand zu verzeichnen, der sich bei gut eingestellten Systemen aber in Grenzen hält. Außerdem beeinflusst die Qualität des eingesetzten Brennstoffs auch die Betriebssicherheit und Effizienz. Des Weiteren muss ein ausreichend großes Brennstofflager vorhanden sein.

### Biomasse Einzelöfen

Bei hochwärmegedämmten Gebäuden mit sehr geringem Energiebedarf kann es sein, dass der Einbau eines konventionellen Heizsystems nicht mehr sinnvoll ist. Holzbefeuerte Einzelöfen mit oder ohne Speichermasse, aber ohne Wärmeverteilsystem sind hier eine gute Alternative.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Bei dezentralen Biomasse befeuerten Einzelöfen handelt es sich um technisch einfache Systeme. Durch ihre, verglichen mit einem Heizkessel, geringe Größe können sie direkt dort aufgestellt werden, wo die Wärme benötigt wird. Ein separater Technikraum ist nicht notwendig. Durch automatische Regelungen für die Verbrennungsluft-Zuführung haben die Öfen einen guten Wirkungsgrad und es entstehen nur geringe Mengen an Ruß und Asche. Moderne Pelletöfen haben eingebaute Zeitsteuerungen und regeln ihre Leistung nach der Raumtemperatur. Speicheröfen hingegen müssen nur einmal angefeuert werden und geben dann über längere Zeit die Wärme ab. Holz ist ein nachwachsender Brennstoff, der regional verfügbar ist.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Dezentrale Holz-Einzelöfen erfordern mehr Handarbeit als zentrale Gas- oder Ölkessel. So muss regelmäßig die Asche entfernt werden und die Bereitstellung des Brennstoffes erfordert ggf. mehr körperlichen Einsatz. Außerdem ist ein Lagerplatz für einen ausreichenden Holzvorrat notwendig. Die Temperaturregelung von mit Stückholz befeuerten Öfen ohne Speichermasse ist etwas schwieriger, da die Leistungsabgabe von der Menge der in den Ofen eingebrachten Holzstücke abhängt.



### Praxisbeispiel Lehmofen Haus Schnifis

Beim Lehm-Ofen handelt es sich um einen Grundofen, welcher ohne Technik und mit nachhaltigen Baustoffen auskommt. Solche Öfen haben schon eine jahrtausendalte Historie. Neben seinen hervorragenden baubiologischen Vorteilen und seinem hohen Speichervermögen haben Lehm-Öfen auch eine besondere Raumwirkung.

Bei Grundöfen wird die im Feuerraum freigesetzte Energie verzögert über Stunden an den Raum abgegeben. Geheizt wird in einem gemauerten Feuerraum. Die Rauchgase ziehen durch Kanäle des „Wärmespeichers“, um dann wieder langsam diese Energiemenge über seine Oberfläche an den Raum abzugeben. Die Speicherfähigkeit wird hier überwiegend durch das Gewicht beeinflusst und kann, abhängig vom Typ des Ofens, bis zu 24 Stunden lang die Räume beheizen.

Ein Lehmofen bringt gerade für das Wohnraumklima sehr viele Vorteile mit sich. Das liegt zum einen an der sehr angenehmen Strahlungswärme, über die der Ofen seine Wärme an den Raum in großem Maß abgibt und zum anderen am Baustoff Lehm, der nicht nur optimal Wärme speichern, sondern zudem sehr gut Feuchtigkeit regulieren kann. Die typische trockene Heizungsluft tritt also nicht auf. Die Abgabe über Wärmestrahlung hat u.a. auch den Vorteil, dass durch die geringe Konvektion Hausstaub-Allergiker ein weiterer positiver Effekt daraus ziehen können (geringe Luftumwälzung bedeutet weniger Staub in der Luft). Und der Brennstoff ist regional und nachhaltig.

### Wärmepumpe

Wärmepumpen erzeugen Wärme, indem sie mit Hilfe von elektrischer Energie Wärme aus der Umgebung aufnehmen und auf ein höheres Temperaturniveau bringen. Das gleiche Prinzip nutzen Kühlschränke, nur dass der Nutzen nicht die hohe Temperatur, sondern die niedrigere Temperatur ist. Das Verhältnis der verfügbaren Wärmeenergie zur eingesetzten elektrischen Energie wird Leistungszahl genannt und kann unter guten Bedingungen bei 4 bis 5 liegen. Das heißt, dass mit einer eingesetzten kWh elektrischer Energie bis zu 5 kWh Wärmeenergie zur Verfügung stehen können. Je kälter allerdings die Umgebungswärme und je höher das benötigte Temperaturniveau für die Heizungsanlage liegt, desto niedriger wird die Leistungszahl. In ungünstigen Fällen liegt die Leistungszahl dann beinahe bei 1.

Das bedeutet, dass der eingesetzte Strom direkt in Wärme umgewandelt wird. Über das Jahr gesehen wird die Leistung einer Wärmepumpe in der Jahresarbeitszahl gemessen. In Mitteleuropa liegt die Jahresarbeitszahl durchschnittlich zwischen 3 und 4,5. Für den Einsatz einer kWh elektrischer Energie stehen demnach zwischen 3 und 4,5 kWh Wärme zur Verfügung.

### Vorteile aus Low-Tech Sicht

Wärmepumpen sind skalierbar für viele Leistungsgrößen. Die Wärmepumpentechnik ist ein bewährtes und langlebiges System und es gibt damit viel Erfahrung. Außerdem stoßen Wärmepumpen lokal keine Abgase aus.



#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Bei fehlerhafter Planung (z.B. zu klein dimensionierte Wärmequellen oder keine Niedertemperatur Heizflächen) kann eine Wärmepumpe eine schlechte Jahresarbeitszahl haben und damit sehr hohe Heizkosten verursachen. Außerdem sollte berücksichtigt werden, dass der elektrische Strom in Mitteleuropa zu ca. 2/3 aus nicht erneuerbaren Energiequellen stammt. Der eigene Strom aus der Photovoltaikanlage kann nur sehr eingeschränkt genutzt werden, da in der Regel Strom von der Wärmepumpe benötigt wird, wenn wenig solare Strahlung zur Verfügung steht. Die Nutzung von Erdwärme bedeutet einen hohen Aufwand bei der Erschließung.

#### **Kraft-Wärme-Kopplung BHKW**

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) verbindet die Wärmeproduktion mit der Produktion von elektrischer Energie. Üblicherweise wird dafür in Verbrennungsmotoren Erd- oder Biogas verbrannt.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Die dezentrale Produktion von elektrischer Energie ist generell zu begrüßen. Dadurch wird das öffentliche Netz entlastet. Bei Einsatz von Biogas wird die Möglichkeit geschaffen, erneuerbaren Strom zu erzeugen. In der Heizperiode ist der Ertrag von Photovoltaikanlagen generell gering. Ein Vorteil von BHKWs ist, dass sie auch im Winter und bei Dunkelheit Strom produzieren und damit eine gute Ergänzung zu Photovoltaikanlagen darstellen.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Blockheizkraftwerke besitzen viele bewegliche Teile und benötigen daher einen erhöhten Wartungsaufwand. Der Betrieb von BHKWs lohnt sich meist wirtschaftlich nur, wenn sowohl Strom als auch Wärme selbst genutzt werden können.

#### **Brennwertkessel**

Ein Brennwertkessel erzeugt Wärme durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Erdgas, Flüssiggas oder Heizöl. In Brennwertkesseln wird das Abgas so weit abgekühlt, dass der im Abgas enthaltene Wasserdampf kondensiert und Wärme frei wird. Durch die Nutzung dieser Kondensationswärme kann nahezu der gesamte Energieinhalt des Brennstoffes genutzt werden.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Brennwertkessel werden in Masseproduktion hergestellt. Dadurch ergibt sich ein Kostenvorteil und eine gute Verfügbarkeit. Die Größe der Kessel ist sehr gut skalierbar. Damit kann nahezu jede Leistungsgröße abgedeckt werden. Die Technik ist einfach und über viele Jahre erprobt.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Die Verbrennung von fossilen Brennstoffen ist aus Sicht der Nachhaltigkeit generell zu vermeiden. Außerdem werden in der Praxis die versprochenen hohen Wirkungsgrade oft nicht erreicht, da durch zu hohe Rücklauftemperaturen des Heizungssystems die Kondensation nicht einsetzen kann. Der Grund hierfür ist eine fehlende Anpassung von verbrauchenden Personen und Erzeuger und kein, bzw. ein unzureichender hydraulischer Abgleich. Notwendig für niedrige Rücklauftemperaturen sind Flächenheizungen und ein sehr guter hydraulischer Abgleich.

#### **Elektroheizung**

Eine Elektroheizung wandelt Strom durch einen Widerstand in Wärme um. Dieses Prinzip nutzen Nachtspeicherheizungen genauso wie elektrische Radiatoren und moderne Infrartheizungen. Allerdings unterscheidet diese Systeme die Art und der Zeitpunkt der Wärmeabgabe. Während Radiatoren die Wärme hauptsächlich über Konvektion an den Raum abgeben, erwärmen Infrartheizungen den Raum größtenteils über Wärmestrahlung. Nachtspeicherheizungen nutzen beide Arten der Wärmeübertragung.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Elektroheizungen sind sehr einfach zu installieren. Es wird lediglich ein Stromanschluss benötigt. Dadurch kann auf eine Verteilung der Wärme über einen Heizkreis verzichtet werden und so Rohrleitungen eingespart werden. Außerdem sind Elektroheizungen sehr wartungsarm.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Der größte Nachteil von Elektroheizungen ist die Ineffizienz im Hinblick auf die Primärenergie. Sie wandeln vor Ort zwar nahezu 100% der elektrischen Energie in Wärme um, aber zur Erzeugung des Stroms entstehen erhebliche Verluste, die auch berücksichtigt werden sollten. Durch die, im Vergleich zu anderen Energieformen, relativ teureren Kosten für elektrische Energie entstehen auch höhere Kosten beim Betrieb einer Elektroheizung. Bei Nachtspeicherheizungen kann deren Trägheit, insbesondere in der Übergangszeit und bei hohen passiven Gewinnen, zu einer zu hohen Wärmeabgabe führen. Diese Wärme muss dann ungenutzt abgeführt werden.

## Infokasten Lüftungsprinzipien

Die mechanische Lüftererneuerung in Innenräumen kann nach verschiedenen Lüftungsprinzipien erfolgen. Zwei davon sind erwähnenswert: die Kaskaden- und die Verbundlüftung. Die Kaskadenlüftung ist das effektivste Prinzip. Die frische Zuluft gelangt über Zuluftauslässe oder Außenluftdurchlässe in Zimmer oder Büros. Hier ist die Verunreinigung der Luft am kleinsten. Dank natürlicher Umwälzung durchströmt sie Korridore, Wohn- und Aufenthaltsbereiche. In den Räumen mit feuchter und stärker verunreinigter Luft wie Bad, WC und Küche wird die Abluft mechanisch abgeführt. Wer dieses Lüftungsprinzip wählt, hält den Aufwand für die technische Installation gering, ohne an Komfort einzubüßen. Abhängig vom Grundriss kann das Kaskadenprinzip bei allen Lüftungssystemen angewendet werden, so auch bei der Fensterlüftung von Hand.

Das zweite Lüftungsprinzip mit geringem Installationsaufwand ist die Verbundlüftung. Auch dieses Prinzip kommt ohne horizontale Zuluftkanäle aus. Die frische Zuluft strömt in einen zentralen Raum, vielfach ist das der Korridor, und verteilt sich durch die natürliche Umwälzung. Kleine Verbundlüfter leiten die Luft von dort in die angrenzenden Räume.

Aus Bad, WC und Küche führen Abluftventilatoren feuchte und stärker verunreinigte Luft direkt ab. Aus Arbeits-, Schlaf- oder Wohnräumen gelangt die wenig verunreinigte Luft zurück in den zentralen Raum und von dort zu den Abluftventilatoren. Die Verbundlüfter sind in das Türblatt oder in die Trennwand eingebaut und so konstruiert, dass sie die Luft in beide Richtungen transportieren können. Daher sind sie auch unter der Bezeichnung aktive Überströmer bekannt. Ein Kontaktschalter sorgt dafür, dass der Verbundlüfter nur bei geschlossener Türe arbeitet. Steht eine Türe offen, sorgt die natürliche Umwälzung meist für ausreichend Zuluft. Dieses Lüftungsprinzip bietet die Möglichkeit, für jeden Raum einzeln zu entscheiden, ob ein Verbundlüfter erforderlich ist oder nicht. Sogenannt intelligente, weil technisch mit Temperatur-, Feuchte- und VOC-Sensoren hochgerüstete Verbundlüfter, sind für den Wohnungsbau überstechnisiert

## Erzeugung – Lüftung

### Zentrale Lüftungsgeräte

Gute Luftqualität ist für Gesundheit und Wohlbefinden der Raumnutzenden essentiell. Eine Lüftungsanlage kann dies erreichen. Es wird zwischen Abluftanlagen und Zu-/Abluftanlagen unterschieden. Wärmerückgewinnung ist nur bei Zu-/Abluftanlagen möglich. Außerdem gibt es Anlagen mit Sommer-By-Pass, Heizregister, Kühlregister und/oder Frostwächter.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Durch integrale Planung lassen sich Systeme deutlich vereinfachen. Eine Lüftungsanlage muss nicht so komplex sein wie oft angenommen. Durch Wärmerückgewinnung lässt sich Energie einsparen.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Für zentrale Lüftungsanlagen werden in der Praxis oft zu aufwendige Luftkanäle geplant. Nicht bedarfsgerecht geplante Anlagen können dadurch hohen Materialeinsatz und Investitionskosten verursachen. Außerdem können durch nicht angepasste Betriebsweisen hohe Energiekosten und trockene Luft entstehen.

### Dezentrale Lüftungsgeräte

Dezentrale Lüftungsgeräte sind kleine Lüftungsgeräte, die direkt in die Außenwand eingebaut werden und einzelne Räume belüften können. Die meisten Geräte sind mit einer integrierten Wärmerückgewinnung ausgestattet. Sie sind besonders für das Nachrüsten von Altbauten geeignet. Für Neubauten eignen sie sich für einen nutzungsunabhängigen Feuchteschutz, wenn keine zentrale Lüftungsanlage geplant ist.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Dezentrale Lüftungsgeräte benötigen in der Regel keine Luftkanäle und können meist komplett in der Außenwand untergebracht werden. Dadurch sparen sie viel Planungsaufwand und Material gegenüber zentralen Lüftungsanlagen ein. Durch die Wärmerückgewinnung wird Energie eingespart.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Jedes Gerät benötigt einen separaten Stromanschluss und damit zusätzliche Elektroleitungen.

Je nach Modell können die Betriebsgeräusche als störend wahrgenommen werden.

Beim Einbau muss eine Kernbohrung erfolgen, wodurch die Wärmedämmung an dieser Stelle unterbrochen wird. Die hier entstehenden Wärmeverluste sind aber sehr gering.

Die Einbaumöglichkeiten sind im Vergleich zu zentralen Systemen begrenzt, da die Lüfter in eine Außenwand eingebaut werden müssen. Sie sind dadurch auch von außen erkennbar.

Bei normgerechter Auslegung als Lüftungsanlage sind häufig viele Einzelgeräte notwendig, wodurch der Kostenvorteil gegenüber einer zentralen Lüftungsanlage schwindet. Es besteht außerdem durch den Filterwechsel an jedem einzelnen Gerät ein erhöhter Wartungsaufwand.



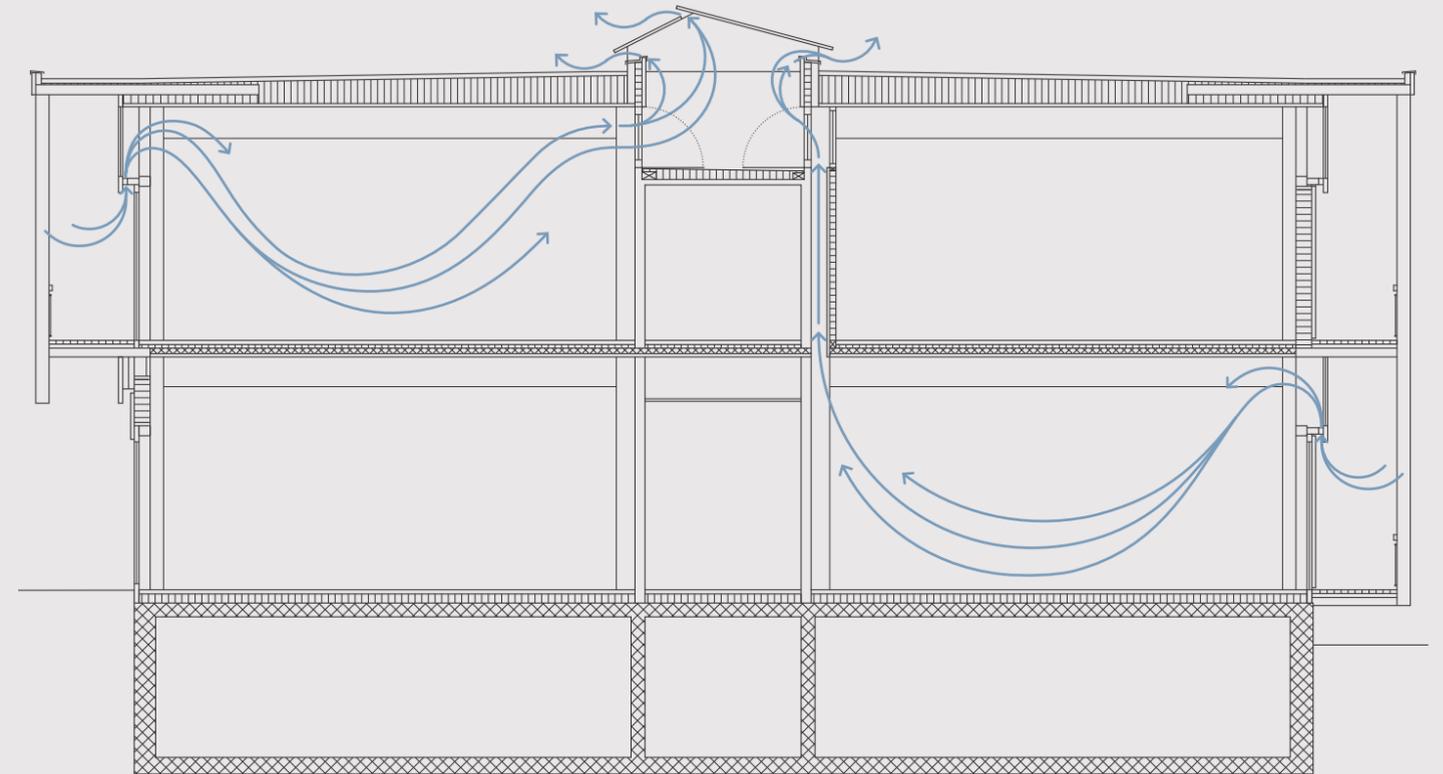
### Praxisbeispiel Lüftung des Landwirtschaftlichen Zentrums SG in Salez

Die Nutzenden des Neubaus am Landwirtschaftlichen Zentrum SG in Salez lüften die Schulräume von Hand. Sie nutzen das physikalische Prinzip der Auftriebslüftung, auch als Kamineffekt bekannt, auf ausgeklügelte Weise. Der Kämpferbereich der Fenster liegt auf rund drei Metern Höhe. Dort sind die manuellen Lüftungsklappen eingebaut, durch die frische Außenluft in die Räume strömt. Die Klappen werden im Frühling geöffnet und im Herbst geschlossen. Entlang der Mittelachse und in Längsrichtung des Neubaus erstreckt sich der Korridor. Darüber verläuft ein horizontaler, begehbare Lüftungsschacht außerhalb der thermischen Gebäudehülle. Die Fenster zwischen den Schulräumen und diesem Lüftungsschacht in drei bis vier Metern Höhe bedienen die Nutzenden von Hand mit einer Kurbel über einen Seilzug. Öffnen sie die Fenster, entsteht dank des Kamineffekts und den vorherrschenden Winddruckverhältnissen eine Querlüftung des Raums ohne den Einsatz von elektrischen Antrieben.

Das funktioniert insbesondere deshalb gut, weil der Neubau auf einer weitestgehend unbebauten Ebene steht und keinen nennenswerten Immissionen ausgesetzt ist. Die verbrauchte Raumluft gelangt durch die Fenster in den Lüftungsschacht. Das offene Glasdach darüber lässt die Luft nach draußen strömen und schützt den Lüftungsschacht vor Nässe. Dieses Lüftungssystem versorgt das Gebäude nicht nur mit Frischluft. Ein weiterer Vorteil ist die passive Kühlung (auch Free cooling genannt) in den Übergangsmonaten von Frühling zu Sommer und von Sommer zu Herbst tagsüber und im Sommer nachts.



Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez  
Kurbel Mechanismus Lüftungsschacht



Physikalisches Prinzip Auftriebslüftung

## Erzeugung – Warmwasser

### Zentrale Warmwasserbereitung

Bei der zentralen Warmwasserbereitung werden alle Zapfstellen eines Hauses von einer zentralen Stelle versorgt. Die zentrale Warmwasserbereitung kann durch den Wärmeerzeuger der Heizung oder durch einen eigenständigen Speichererwärmer erfolgen. Es sind somit viele verschiedene Energieträger einsetzbar.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Bei hohen Komfortansprüchen und hohen Warmwassermengen kann die Gesamtenergiebilanz günstiger sein als bei einer dezentralen Versorgung. Es werden insgesamt weniger Geräte benötigt. Außerdem kann die Warmwasserbereitung auch durch regenerative Energieträger, wie Biomasse oder Solarenergie, erfolgen.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Im Vergleich zu einer dezentralen Warmwasserbereitung werden mehr Warmwasserleitungen und ggf. Zirkulationsleitungen benötigt. Dies hat einen höheren Installationsaufwand und höhere Leitungsverluste und Betriebskosten zur Folge. Auf die Gefahr der Keimbildung ist bei einer zentralen Warmwasserbereitung stärker zu achten. Wird ein Warmwasserspeicher installiert, braucht dieser auch den entsprechenden Platz.

### Dezentrale Warmwasserbereitung

Bei der dezentralen Warmwasserbereitung wird das Wasser direkt an der benötigten Stelle erhitzt. Hierfür können Durchlauferhitzer oder Warmwasserspeicher (umgangssprachlich Boiler) verwendet werden. Als Energiequelle wird meist Strom oder Gas verwendet. Bei der wohnungszentralen Warmwasserbereitung, einer besonderen Form der dezentralen Warmwasserbereitung, wird die gesamte Wohnung mit einem leistungsstarken Warmwasserspeicher oder Durchlauferhitzer versorgt. Möglich sind hier auch Frischwasserstationen, die über die Heizungsverteilleitungen mit Wärme versorgt werden.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Im Vergleich zur zentralen Warmwasserbereitung wird bei der dezentralen Warmwasserbereitung nur eine Kaltwasserleitung benötigt. Dadurch entstehen keine Leitungsverluste und der Installationsaufwand ist an dieser Stelle geringer. Auch die Abrechnung in Mehrfamilienhäusern kann sich mit solchen Systemen einfacher gestalten.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Es werden deutlich mehr Geräte benötigt, die installiert und gewartet werden müssen.

### Frischwasserstation

In Frischwasserstationen wird mit Wärme aus dem Heizungssystem Trinkwasser mit dem Durchlauferhitzerprinzip erwärmt. Das heißt, dass das Warmwasser immer dann erzeugt wird, wenn dieses gebraucht wird. Dies geschieht entweder direkt am Pufferspeicher der Heizung oder wohnungszentral.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Je näher die Frischwasserstation an den Zapfstellen ist, umso kleiner ist das Warmwassernetz. Auf Zirkulationsleitungen kann häufig verzichtet werden. Es erfolgt keine Bevorratung von Warmwasser, das Wasser wird bedarfsabhängig erzeugt. Deshalb ist auch die Trinkwasserhygiene hinsichtlich einer Keimbildung nicht gefährdet.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Auf Grund der Verkalkungsgefahr des Wärmetauschers sind regelmäßige Wartungen erforderlich. Alternativ kann auch eine Enthärtungsanlage eingebaut werden, die allerdings auch gewartet werden muss und einen Kostenfaktor darstellt.

### Wärmepumpen-Boiler

Bei diesem System erfolgt die Warmwasserbereitung dezentral mit einem Wärmepumpen-Boiler pro Wohneinheit. Als Wärmequelle verwenden Wärmepumpen-Boiler entweder das Heizungswasser von Niedertemperatur-Heizungssystemen, die Abluft aus einem Lüftungssystem oder die Außenluft über Wanddurchlässe. In Kombination mit dem Niedertemperatur-Heizungssystem arbeiten die Wärmepumpen-Boiler im Kaskadenprinzip. Eine zentrale Wärmepumpe stellt Wärme auf Niedertemperatur-Niveau (30 bis 35 °C) für die Heizung und die dezentralen Wärmepumpen-Boiler zur Verfügung. Die Niedertemperaturwärme wird dann mithilfe der dezentralen Wärmepumpen-Boiler zur Bereitung des Warmwassers auf Hochtemperatur-Niveau (45 bis 50 °C bzw. 60 °C zur thermischen Desinfektion in der Regel einmal pro Woche) gebracht.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Im Vergleich zu elektrischen Durchlauferhitzern wird der Strom in einer Wärmepumpe deutlich effizienter genutzt (siehe auch Kapitel Wärmepumpe).

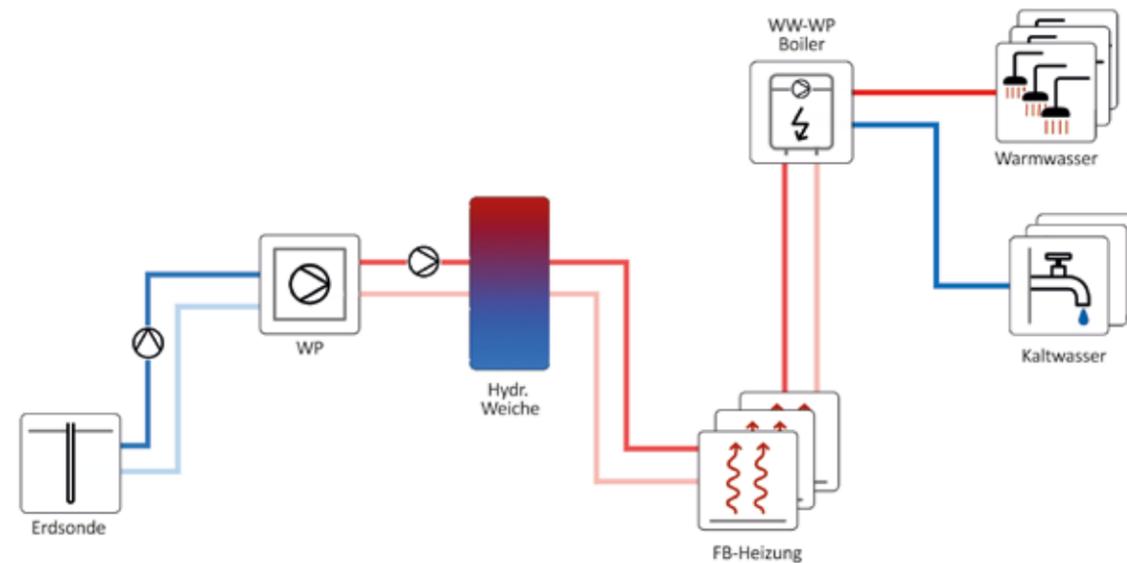
#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

In großen Wohngebäuden mit mehrheitlich kleinen Wohneinheiten können sich durch die vielen benötigten Wärmepumpen-Boiler höhere Investitionskosten als bei anderen Warmwasserbereitungssystemen ergeben. Zudem wird in den Wohneinheiten Platz für den Wärmepumpen-Boiler benötigt, vorzugsweise in einem separaten Abstellraum, um den Schallpegel in der restlichen Wohnung bei Betrieb zu minimieren.



## Praxisbeispiel Pilotprojekt Viertel hoch Zwei

In jeder Wohnung wird ein dezentraler Wärmepumpen-Boiler mit 150 Liter Speicher zur Warmwasserbereitung eingesetzt, welche einen separaten Rohrkreislauf in der Mitte der aktivierten Decke als Quelle nutzt. Zirkulations- und Verteilverluste für die Bereitstellung von Warmwasser sind nicht gegeben, da das Warmwasser in jeder Wohnung separat erzeugt wird. Ein dezentraler Wärmepumpen-Boiler ist im Badezimmer jeder Wohnung situiert und besitzt eine maximale elektrische Aufnahmeleistung von 500 W bei einer Warmwasser-Solltemperatur von 60 °C.



Einbindung der dezentralen Wärmepumpen-Boiler in den Heizkreis

In den Sommermonaten, in welchen die Heizung sowie die zentrale Wärmepumpe im Normalfall nicht benötigt werden, kann das Heizungswasser durch die Warmwasserbereitung bis auf ca. 18 °C abgekühlt werden. Dieses abgekühlte Heizungswasser kann in der Flächenheizung zur sommerlichen Kühlung des Gebäudes genutzt werden. Die zentrale Wärmepumpe stellt in dieser Zeit sicher, dass die Temperatur des Heizungswassers nicht unter 18 °C abfällt, da ansonsten im Fall einer Fußbodenheizung Kondensatfeuchte im Fußbodenaufbau anfallen könnte.

Die Vorteile der dezentralen Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen-Boiler sind die Vermeidung von hohen Wärmeverlusten durch die Verteilung von zentral bereitetem Warmwasser sowie für die Raumkühlung nutzbare Kühlenergie in den Sommermonaten. Zudem ist keine gesonderte Warmwasserabrechnung inklusive Warmwasserzähler notwendig, da der bezogene Wärmebedarf mithilfe der wohnungsweisen Wärmemengenzähler erfasst wird und der Strombedarf der Wärmepumpen-Boiler über den jeweiligen Stromzähler der Wohneinheit abgerechnet wird. Der Nachteil dabei ist, dass pro Wohneinheit ein einzelner Wärmepumpen-Boiler eingesetzt wird, für welchen Wartungs- und Instandhaltungsaufwand anfällt und welcher im Betrieb eine Schallbelastung für den Wohnraum darstellt.

## Erzeugung – Kälte

Die sommerliche Überhitzung sollte durch aktiven Sonnenschutz oder durch bauliche Maßnahmen vermieden werden. Doch dies reicht, insbesondere bei Gebäuden mit hohen internen Gewinnen, nicht immer aus. Bei diesen Gebäuden kann eine aktive Kälteerzeugung notwendig sein. In Gebäuden mit geringen internen Gewinnen sind passive Kühlmaßnahmen wie beispielsweise Nachtauskühlung mit Fensterquerlüftung oder Direktnutzung von vorhandenen Kältequellen (Erdsondenanlagen, Grundwasserbrunnen etc.) oft ausreichend.

## Nachtauskühlung – Free cooling

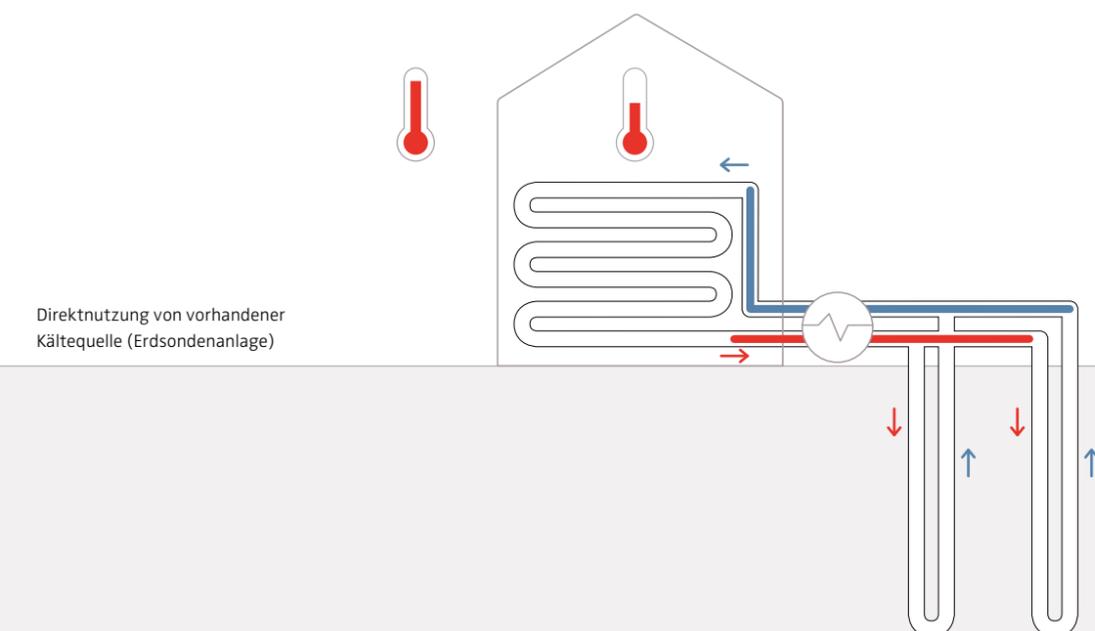
Im Sommer ist es durch die steigende Anzahl heißer Tage wichtig, die über den Tag angefallene Wärme über die Nacht wieder aus dem Gebäude abzuführen. Dazu kann aus Effizienzgründen auf die Nachtauskühlung zurückgegriffen werden. Sie nutzen das physikalische Prinzip der Auftriebslüftung, auch als Kamineffekt bekannt. Dort werden z.B. Lüftungsklappen eingebaut, durch die kühle Außenluft in die Räume strömt. Die Klappen werden im Sommerhalbjahr nachts geöffnet um eine Durchspülung des gesamten Luftraums im Gebäude zu ermöglichen. Sollte der natürliche Kamineffekt nicht ausreichen sind auch Ventilatoren zur Unterstützung des Effekts möglich.

## Vorteile aus Low-Tech Sicht

Es ist eine energieeffiziente Möglichkeit die sommerliche Aufheizung des Gebäudes zu reduzieren.

## Nachteile aus Low-Tech Sicht

Die Nachtauskühlung ist sehr stark abhängig von der Bedienung der Nutzenden. Der Einsatz in Nichtwohngebäuden ist deshalb nur eingeschränkt möglich, da die Nutzung oftmals nur während des Tages erfolgt. Die Einbruchsicherheit kann je nach Situation nicht gewährleistet werden. Hier muss ein tragfähiges Konzept entwickelt werden. Auch die Wetterabhängigkeit, z.B. bei plötzlich auftretenden Gewittern außerhalb der Betriebszeit, muss mit eingeplant werden.

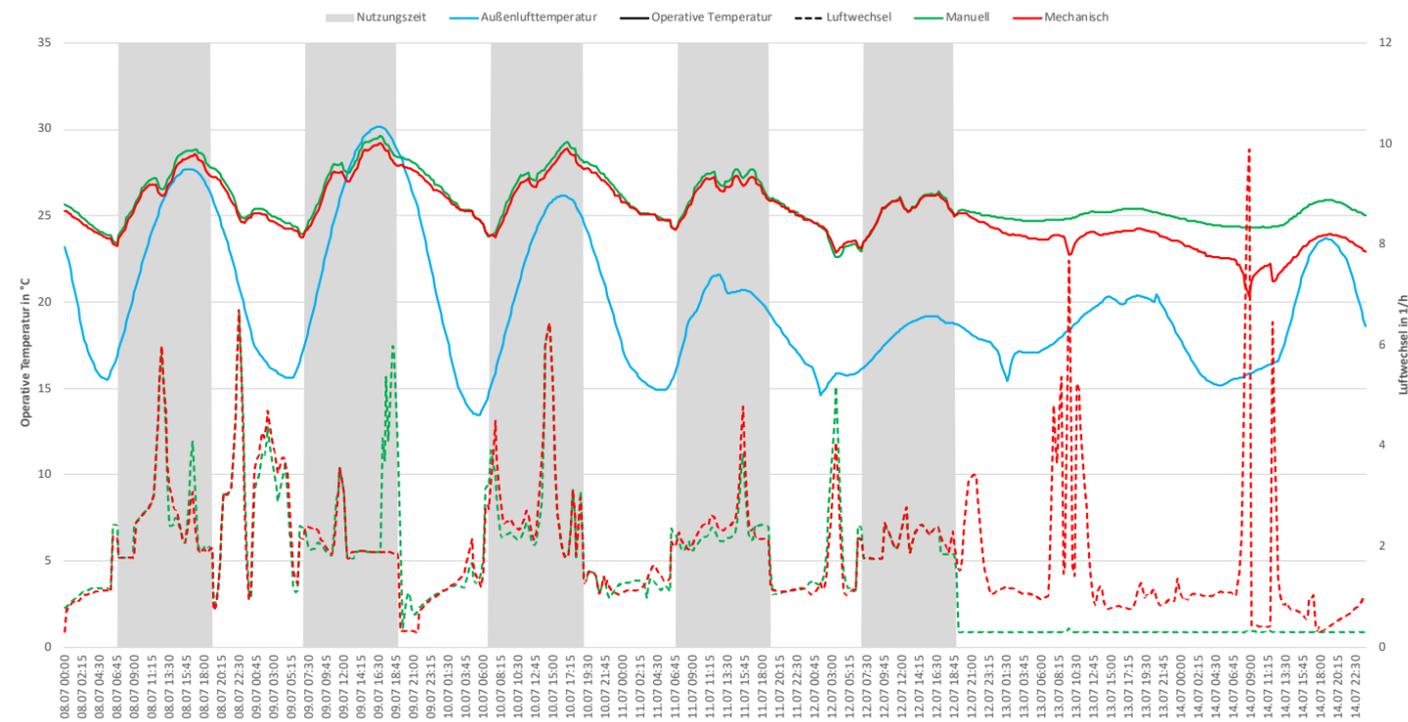


Direktnutzung von vorhandener Kältequelle (Erdsondenanlage)

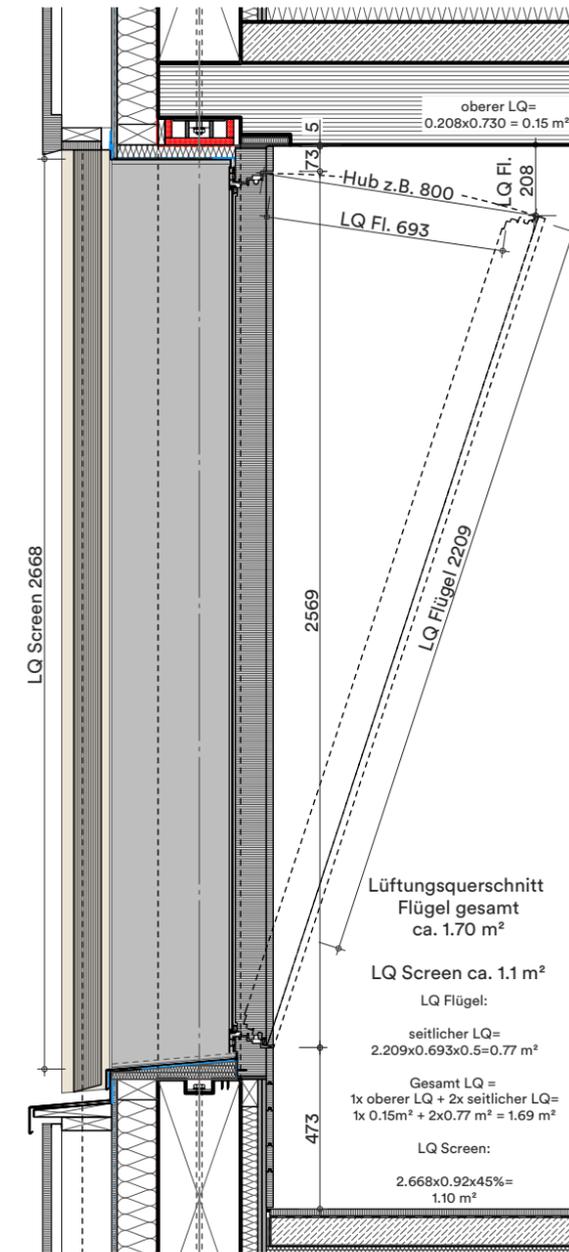


### Praxisbeispiel Nachtlüftungsflügel Schulzentrum Hittisau

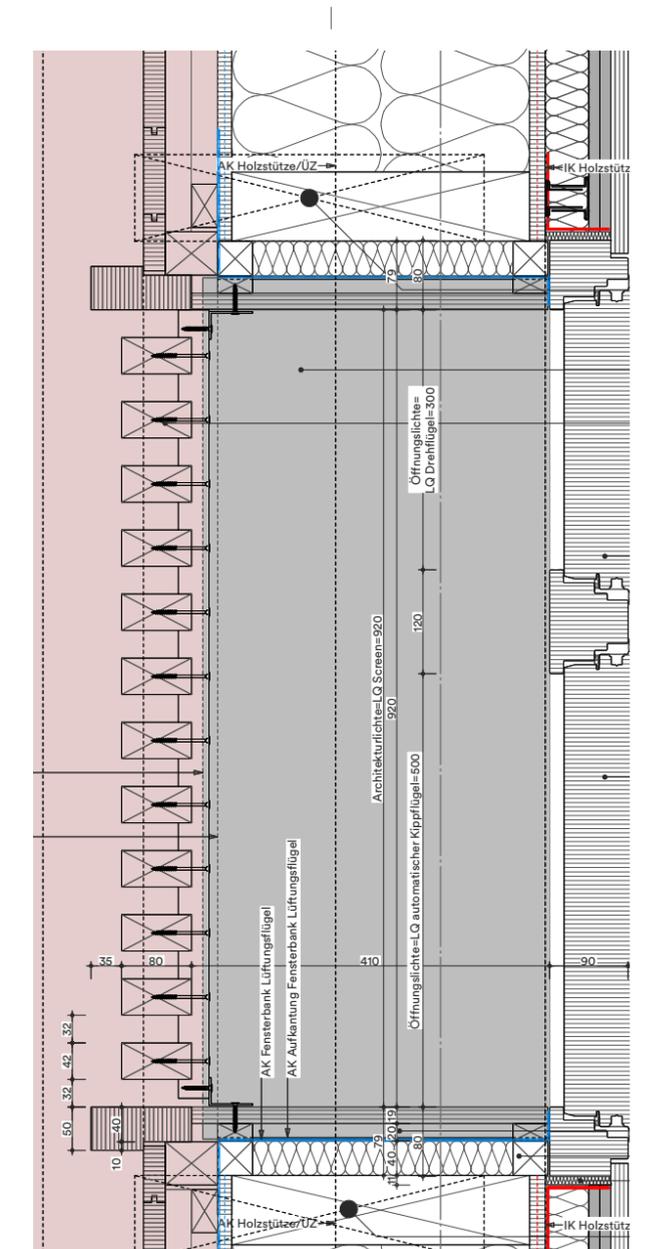
Da beim Pilotprojekt Schulzentrum in Hittisau weniger Gebäudetechnik als üblich zum Einsatz kommen soll, wurde beschlossen, die Lüftungsanlage des Gebäudes nur auf die normale Schulnutzung auszulegen und bei abweichender Nutzung (z.B. Schulfest) zusätzlich über die Fenster zu lüften. Aufgrund des minimal ausgelegten Luftvolumenstroms kann die Lüftungsanlage im Sommer nicht für eine maschinelle Nachtauskühlung genutzt werden. Um den Einsatz einer aktiven Kühlung zu vermeiden, wurde eine natürliche Nachtquerlüftung im Gebäude mithilfe des Simulationsmodells untersucht. Das nachfolgende Diagramm zeigt die Außenlufttemperatur und die simulierte operative Innenraumtemperatur eines kritischen Raumes der Schule Hittisau für ein rein manuelles und ein mechanisch zu öffnendes Lüftungselement sowie deren Luftwechselraten für die Kalenderwoche 28 (8. bis 14. Juli). Die Temperaturen sind dabei als durchgezogene Linien und die Luftwechselraten als gestrichelte Linien dargestellt. Die Nutzungszeit ist als grau hinterlegte Bereiche gekennzeichnet.



Operative Innenraumtemperatur und Luftwechselrate, Kalenderwoche 28



Schnitt rein manuell zu öffnendes Lüftungselement und Doppelflügelement (ein Flügel wird manuell, der andere mechanisch geöffnet)



Das starke Aufheizverhalten des Raumes mit Beginn der Nutzungszeit aufgrund der Personenbelegung ist bei beiden Lüftungselementen ähnlich und klar ersichtlich. Das mechanisch gesteuerte Lüftungselement kann die operative Temperatur des Raumes auf einem etwas geringeren Temperaturniveau halten, da es entgegen dem manuell zu öffnenden Lüftungselement flexibler auf die Änderung der Außentemperatur reagieren kann. Das ist vor allem am Wochenende relevant, da hier bei der manuellen Variante entschieden wurde, die Lüftungselemente das gesamte Wochenende geschlossen zu halten.

Ursprünglich war geplant, rein manuell zu öffnende Lüftungselemente einzusetzen, welche vom Reinigungspersonal in den Sommermonaten am Abend zur Nachtquerlüftung geöffnet werden. Im Zuge der Planungsphase wurde jedoch entschieden, mechanisch zu öffnende Lüftungselemente einzusetzen, da die Regensicherheit und tatsächliche Auskühlung (Temperaturdifferenz zwischen Außen und Innen) mit dem gesteuerten Element zuverlässiger funktioniert als die ursprüngliche rein manuelle Lösung.

Die mechanischen Fensterelemente dürfen aufgrund der Einklemmgefahr gemäß Vorgaben der Gebäudenutzenden nur außerhalb der Nutzungszeit geöffnet und geschlossen werden. Da in diesem Zeitraum trotzdem ein Lüftungsflügel geöffnet werden soll, wurde im Planungsteam beschlossen, ein Doppelflügelement einzusetzen, von dem ein Flügel manuell und der andere mechanisch geöffnet werden soll.

### Kompressionskältemaschine

Eine Kompressionskältemaschine nutzt die Verdampfungswärme bei Wechsel des Aggregatzustandes eines Kältemittels von flüssig zu gasförmig. Sie sind in den meisten Kühlschränken zu finden und werden auch für die Gebäudeklimatisierung eingesetzt. Eine Wärmepumpe kann, wenn sie entsprechend dafür ausgerüstet ist, statt zum Heizen auch zum Kühlen verwendet werden. Der physikalische Prozess ist beim Heizen und Kühlen der gleiche, einmal wird jedoch die warme und einmal die kalte Seite genutzt. Aus Low-Tech Sicht sollten Gebäude möglichst so gebaut sein, dass sie keinen technischen Kühlbedarf mehr besitzen. Auf eine Kompressionskältemaschine könnte dann verzichtet werden.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Wenn ohnehin eine Wärmepumpe zum Heizen verbaut ist, so kann diese bei entsprechender Planung auch zum Kühlen verwendet werden.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Wird eine separate Kompressionskältemaschine eingebaut und nicht eine ohnehin vorhandene Wärmepumpe genutzt, stellt dies eine zusätzliche Anlage mit Wartungsaufwand und Betriebskosten dar. Es soll durch Fehler in Planung oder Steuerung auch schon vorgekommen sein, dass Gebäude gleichzeitig gekühlt und geheizt werden, wodurch sinnlos Energie verbraucht wird.

### Verdunstungskühlung

Die Verdunstungskühlung kann in Kombination mit einer Raumlufttechnik-Anlage eingesetzt werden. Sie nutzt den Effekt, dass verdunstende Flüssigkeit (in der Regel Wasser) der Umgebung Wärme entzieht. Da die dabei entstehende Feuchtigkeit allerdings nicht in das Gebäude gelangen soll, wird die Abluft befeuchtet und auf diese Weise gekühlt. Die Abluft kühlt dann in einem Wärmetauscher die einströmende Zuluft. Um die Verdunstungskühlung nutzen zu können, muss eine raumlufttechnische Anlage mit Wärmerückgewinnung vorhanden sein.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Sehr einfaches Prinzip mit sehr geringem Energiebedarf.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Durch die Feuchte, die sich im Gerät niederschlagen kann, ist ein erhöhter Wartungsaufwand zu erwarten. Außerdem muss entmineralisiertes Wasser bereitgestellt werden.

### Erzeugung – Elektrische Energie

#### **Photovoltaikanlage**

Photovoltaikanlagen gibt es in verschiedenen Konfigurationen. Zentrale Elemente sind die Photovoltaikmodule und der Wechselrichter. Optional gibt es Batteriespeichersysteme, um den Eigenverbrauch zu erhöhen.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Dezentrale Stromproduktion am eigenen Gebäude fördert die Unabhängigkeit von der Versorgungsinfrastruktur und die Abkehr von fossilen Brennstoffen. Schon nach wenigen Jahren hat sich eine Photovoltaikanlage in Mitteleuropa energetisch amortisiert. Photovoltaikanlagen lassen sich gut in die Architektur integrieren und können unter Umständen Dacheindeckung oder Fassadenbekleidung ersetzen.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Zur Herstellung werden Ressourcen gebraucht.

#### **Brennstoffzelle**

Eine Brennstoffzelle wandelt Wasserstoff in einem chemischen Prozess in elektrische Energie und Wärme um. Derzeit am Markt verfügbare Brennstoffzellen verwenden Erdgas als Wasserstoffquelle.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Ähnlich wie bei einem Blockheizkraftwerk ist es sinnvoll einen Energieträger nicht nur in Wärme umzuwandeln, sondern auch elektrische Energie zu erzeugen. In einer Brennstoffzelle gibt es kaum bewegliche Teile und damit auch einen geringeren Wartungsaufwand.

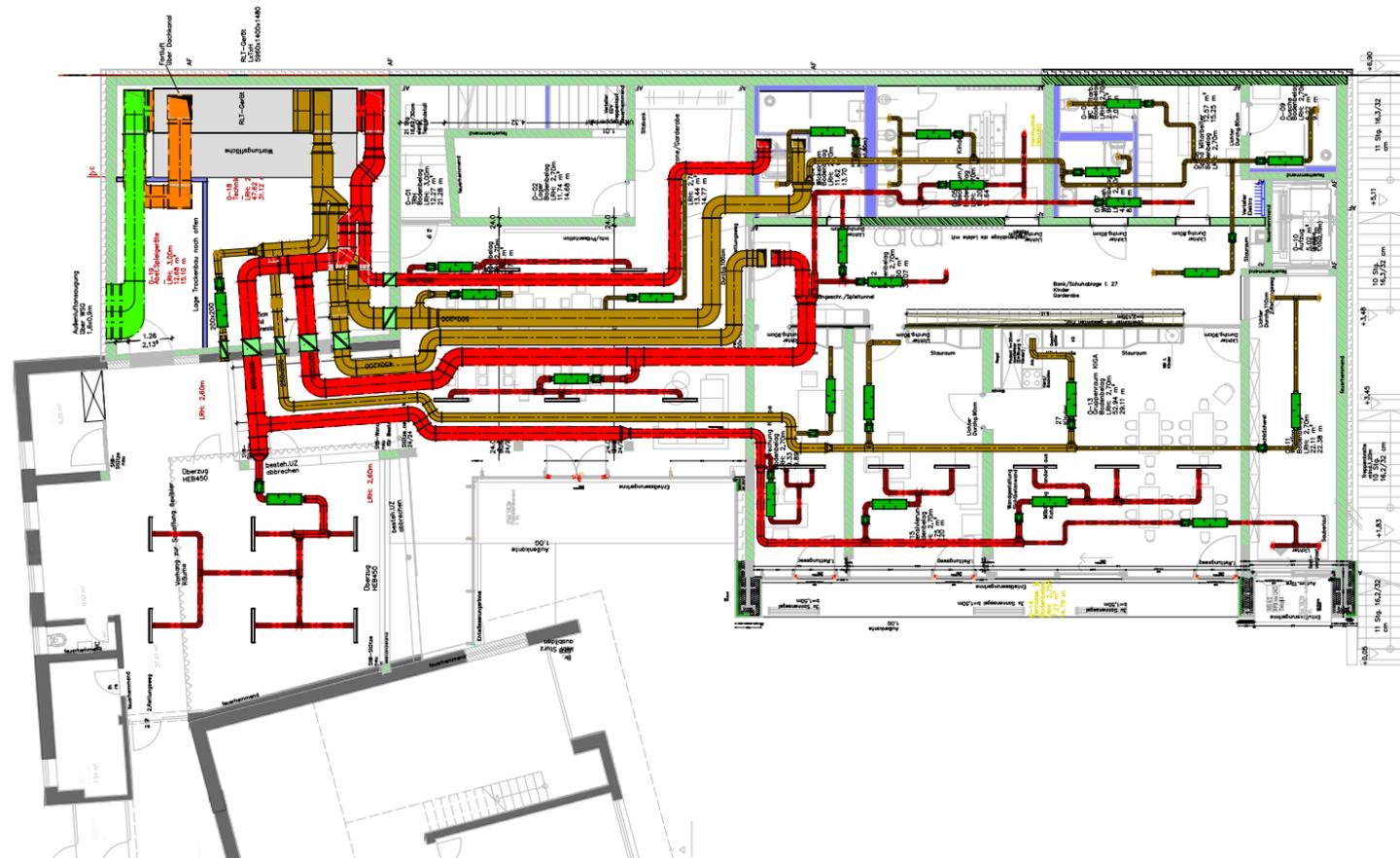
#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Wegen der relativ kleinen Leistungen wird neben einer Brennstoffzelle, oft noch ein Spitzenlastkessel benötigt, um den Wärmebedarf voll decken zu können. Beim Betrieb einer Brennstoffzelle sollte darauf geachtet werden, dass sowohl Strom als auch Wärme gebäudeintern verbraucht werden können.



## Kindergarten Betzigau

Der Kindergarten Betzigau wird über eine zentrale Lüftungs-Anlage mit Wärmerückgewinnung belüftet. Das Lüftungsgerät ist in einem Technikraum im Erdgeschoss aufgestellt, die Fortluft bzw. Außenluft wird über Lüftungstürme auf dem Dach der Technikzentrale geführt. Die Zuluft kann nachgeheizt werden und wird mit verzinkten Blechkanälen und Wickelfalzrohren verteilt, die in den abgehängten Decken verlegt werden. In den Gruppen- und Aufenthaltsräumen wird die Zuluft über Schlitzauslässe, in den Neben- und Sanitärräumen mit Tellerventilen eingeblasen. Die Abluft wird über Schattenfugen in offene Kanal-Enden abgeführt. In den Sanitärräumen wird die Abluft über Tellerventile abgesaugt. Die Luftmengen werden über Konstantvolumenstromregler eingestellt.



## Kindergarten Halde Nord

Beim Neubau des Kindergartens Halde Nord wird eine Lüftungsanlage mit stark reduziertem Kanalnetz realisiert. Die Zuluft wird zentral an einem Punkt im Gebäude im Flurbereich eingeblasen. Die Verteilung der Zuluft erfolgt über die Flure. Die Absaugung der Abluft erfolgt in den Gruppenräumen. Zum Teil werden Räume überströmt, dafür sind in den Zwischenwänden schallgedämmte Überströmöffnungen mit fest eingestellten Volumenstromreglern vorhanden. Dadurch konnte 50% des Kanalnetzes eingespart werden. Durch geringe Luftmengen und die Einblassituation der Zuluft kann auf eine Nachheizung der Zuluft verzichtet werden.

Messungen bei einer Kemptener Schule, mit einem vergleichbaren realisierten Lüftungssystem, ergaben, dass die Raumluft zu 70 – 90% im Bereich IDA 1 d.h. unter 800 ppm CO<sub>2</sub> liegt.



Kriterium	Kindergarten Betzigau		Kinderkrippe Ketershausen		Kita Halde Nord	
Konditionierte Fläche (von der Lüftungsanlage versorgte Fläche):	875 m <sup>2</sup>		150 m <sup>2</sup>		1.410 m <sup>2</sup>	
Konditioniertes Raumvolumen (s.o.)	2.225 m <sup>3</sup>		321 m <sup>3</sup>		4.780 m <sup>3</sup>	
Luftmenge pro Nutzendem:	k. A. m <sup>3</sup> /h pro Erw.	k. A. m <sup>3</sup> /h Kind	18 m <sup>3</sup> /h Erw.	12 m <sup>3</sup> /h pro Kind	20 m <sup>3</sup> /h Erw.	15 m <sup>3</sup> /h pro Kind
Anzahl Nutzende (Annahme)	15 Erwachsene	80 Kinder	3 Erw	6 Kinder		
Luftmenge gesamt	4.500 m <sup>3</sup> /h		240 m <sup>3</sup> /h		2.350 m <sup>3</sup> /h	
Luftmenge pro Nutzendem (gesamt):	32 m <sup>3</sup> /h		13 m <sup>3</sup> /h			
Lüftungsstufe (Minimallüftung)	500 m <sup>3</sup> /h Minimum	17%	75 m <sup>3</sup> /h	31%	-	-
Lüftungsstufe (Standardlüftung)	3.000 m <sup>3</sup> /h Standard	100%	240 m <sup>3</sup> /h	100%	2.350 m <sup>3</sup> /h	100%
Lüftungsstufe (Maximallüftung)	4.500 m <sup>3</sup> /h Maximal	150%	390 m <sup>3</sup> /h	162%	-	-
Angestrebte Luftqualität (IDA1,2,3,4 / ppm über Aussenluft)	IDA 4	< 1.400 ppm			IDA 3-4	< 1.500 ppm
Installierte Leistung Lüftungsgerät(e) (elektrische Leistungsaufnahme)	Ca. 3 kW		0,01 kW/Gerät	0,06 kW gesamt	1,831 kW	
Investitionskosten total [€] RLT-Anlagen	120.000 €	142.800 €	11.507 €	13.693 €	60.000 €	71.400 €
Investitionskosten pro m <sup>2</sup> Nutzfläche [€]	Ca. 140 €/m <sup>2</sup>	163 €/m <sup>2</sup>		91 €/m <sup>2</sup>	43 €/m <sup>2</sup>	51 €/m <sup>2</sup>
Investitionskosten Gerät	Ca. 32.000 € netto		6.700 €	7.973 €	34.000 € netto	
Investitionskosten Kanalnetz	Ca 40.000 € netto		-		37.000 € netto	
Investitionskosten für Überströmungen (Bauteile)	Ca 33.000 € netto		275 €		23.000 € netto	
Jährliche Wartungskosten ca.	n.n. €		25 €/Gerät			
Länge Kanalnetz	343 m		kein Kanalnetz		~80 m Zuluftleitungen	~300 m Abluftleitungen



Lüftungsanlage

### Fazit

Lüftungsanlagen sind für eine gute Raumluftqualität in Kindergärten notwendig. Die Erfahrung zeigt, dass die Luftmengen sowie die technische Ausgestaltung oft überdimensioniert sind. Die Investitionskosten und die spätere Akzeptanz der Nutzenden hängen stark von einer intelligenten Planung ab.

Konzepte mit reduziertem Kanalnetz, wie z.B. die Lüftungsanlage in Kindergarten Halde Nord, bieten tragfähige Konzepte mit niedrigen Investitions- und Betriebskosten.

Low-Tech Empfehlung: 15 m<sup>3</sup>/h pro Person sind vollkommen ausreichend für gute Luftqualität.

Die DIN-Norm 13779 gibt viel zu hohe Luftmengen vor.

## Verteilung – Warmwasser

### Zirkulationsleitung

Bei zentralen Warmwasserversorgungssystemen sind die Zapfstellen oft weit von der Wärmeerzeugung entfernt. Ohne Zirkulationsleitung kühlt das Warmwasser in den Leitungen zwischen zwei Zapfvorgängen immer wieder ab. In einer Zirkulationsleitung wird das Warmwasser zwischen Wärmeerzeugung und Zapfstelle von einer Pumpe ständig im Kreis gepumpt. Dadurch ist bei den Zapfstellen ständig warmes Wasser verfügbar. Durch eine Zirkulationsleitung kann Wasser gespart werden, da bei einer Warmwasserzapfung nicht so viel abgekühltes Wasser ungenutzt abfließen muss. Durch eine schnelle Warmwasserbereitstellung ist der Komfort deutlich besser.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Durch die Zirkulation sind die Leitungsverluste deutlich höher. Außerdem wird durch die Zirkulationspumpe elektrische Energie verbraucht. Der Installations- und Materialaufwand ist zudem höher als bei Verzicht auf eine Zirkulationsleitung.

## Übergabe Wärme

### Heizkörper

Heizkörper erwärmen den Raum durch Konvektion und Strahlung, wobei in der Regel der Strahlungsanteil eine untergeordnete Rolle spielt.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Heizkörper sind sehr robust, reaktionsschnell und langlebig.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Heizkörper benötigen ein höheres Temperaturniveau als beispielsweise Flächenheizungen. Durch die daraus resultierende höhere Rücklauftemperatur sinkt der Wirkungsgrad von Brennwertkesseln, Solarthermieanlagen und Wärmepumpen. Bei fehlendem hydraulischem Abgleich kann es zu einer ungleichmäßigen Wärmeverteilung und Strömungsgeräuschen kommen.

### Luftheizung

In Gebäuden mit einem sehr niedrigen Energiebedarf kann in zentrale Lüftungsanlagen ein Heizregister eingebaut werden, das die gesamte benötigte Heizwärme zur Verfügung stellt. Hauptsächlich werden Luft-Nachheizregister aber zusätzlich zu einem klassischen Wärmeabgabesystem eingebaut, um befürchtete Zugerscheinungen durch die Lüftungsanlage zu verhindern (Vergleich mit Praxisbeispiel Schulsanierung Kapitel 2.4).

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Wenn ausschließlich über die Luft geheizt wird, kann auf zusätzliche Verteilsysteme und Heizflächen verzichtet werden. Die benötigte Technik ist damit sehr kompakt.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Bei alleinigem Heizbetrieb wird die Luft sehr oft zu trocken. Außerdem erhöhen sich die Betriebskosten durch die hohe Stromaufnahme des Ventilators, der meist auf maximaler Stufe laufen muss.

### Flächenheizung

Flächenheizungen sind Strahlungsheizungen mit niedrigem Temperaturniveau. Sie können als Wand-, Decken- und Fußbodenheizungen ausgebildet sein.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Flächenheizungen benötigen durch die große Wärmeübertragungsfläche nur niedrige Vorlauftemperaturen. Dadurch können Wärmepumpen und Brennwertanlagen effizient arbeiten. Auch die Einbindung von Solarthermieanlagen ist effizienter. Bei Integration der Heizung in Boden oder Decke können Räume im Vergleich zu mit Heizkörpern beheizten Räumen flexibler möbliert werden.

### Bauteilaktivierung

Bei der Bauteilaktivierung werden massive Bauteile, wie zum Beispiel Betondecken für die Wärmespeicherung und Wärmeübertragung an den Raum genutzt.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Statische Bauteile können aktiv zur Grundbeheizung oder Kühlung von Gebäuden verwendet werden.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Wenn z.B. Rohrleitungen in Beton eingegossen werden vermindert dies die Recyclingfähigkeit. Umbau und Wartung der Bauteilaktivierung ist nur schwer möglich. Es werden in den meisten Fällen noch zusätzliche Wärmeübergabesysteme, die schneller reagieren können, benötigt.

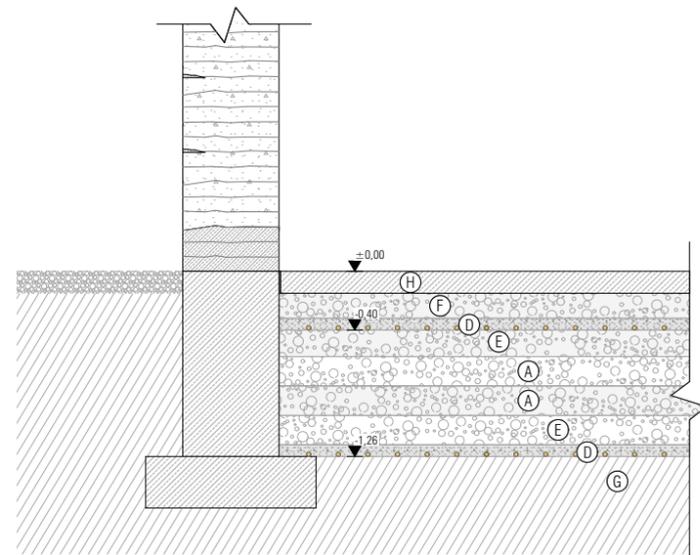


## Praxisbeispiel Stampflehm-Speicher bei Werkhalle Martin Rauch

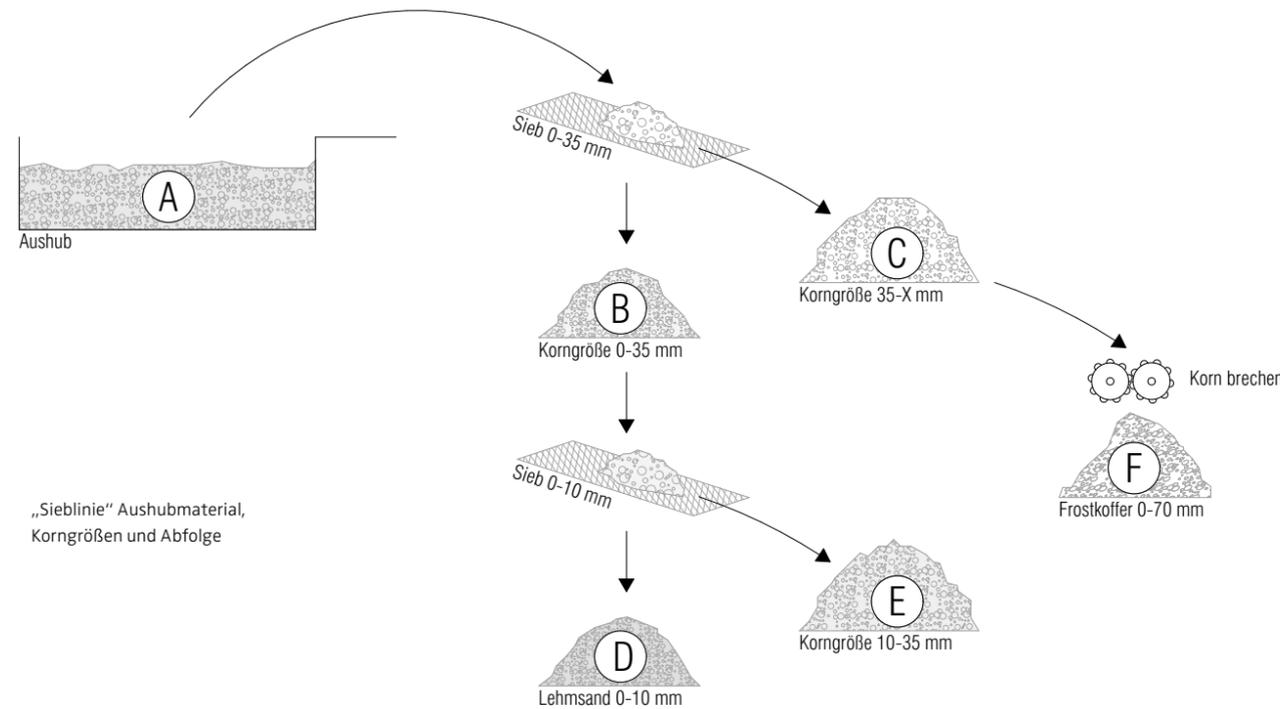
Das System der Solarthermie mit Bauteilaktivierung wurde seit dem Pilotprojekt Metzler weiterentwickelt und wurde im Frühjahr 2020 beim Neubau der Werkstatthalle des Lehm- und Pioniers in Schilns in Vorarlberg verbaut. So konnte eine zweite Betonplatte für die Bauteilaktivierung durch das vereinte Know How entfallen und so der Graue Energieeinsatz weiter reduziert werden.

Zunächst lagerte das Aushubmaterial in großen Haufen am Bauplatz. Ein Teil wurde durch Sieben und Brechen mit den eigenen Maschinen direkt auf dem Bauplatz aufbereitet und schichtweise im gesamten Hallenboden direkt wieder eingebaut und verdichtet. Der Massenspeicher arbeitet mit zwei Leitungsebenen, einer auf gewachsenem Boden G auf -1,26 m und der zweite auf -0,40 m unter dem fertigen Hallenboden. Um die Leitungen voll zu umschließen und diese ihre volle Wirkung entfalten können, wurden sie rund 6 cm mit Lehmsand (0–10 mm) und Wasser eingeschlämmt – D.

Danach folgen 4 Schichten von je 20 cm Stärke. Mit gesiebt Material der Korngröße 10–35 mm für die unterste und oberste der 4 Schichten, werden zwei Schichten von unbearbeitetem Aushubmaterial von den Leitungen sicher ferngehalten, sodass größere Steine den Leitungen nichts anhaben können. Über der oberen, eingeschlämmt Leitungsebene wurde gebrochenes Material verdichtet, als Unterbau für den Hallenboden eine 15 cm dicke Stahlbetonplatte.



Detailschnitt Systemaufbau des Hallenbodens mit Anschluss an Stampflehmwand mit Sockel Stampfbeton



„Sieblinie“ Aushubmaterial, Korngrößen und Abfolge



Bauprozess in der bereits aufgerichteten Halle

## Regelung und Steuerung

### Regelung und Steuerung – Wärme / Lüftung / Kälte / Warmwasser

#### Zentrale Regelung

Bei der zentralen Regelung werden Heizzeiten nach Nutzung und Vorlauftemperaturen nach der Außentemperatur geregelt. Die Raumtemperatur wird über Thermostatventile gesteuert. Bei sehr gut gedämmten Gebäuden sollte die Vorlauftemperatur zusätzlich nach der Raumtemperatur geregelt sein.

#### Vorteile aus Low-Tech Sicht

Gängiges und flexibel den Anforderungen anpassbares System.

#### Nachteile aus Low-Tech Sicht

Die Regelungseinstellungen verbleiben oft auf Werkseinstellung und sind damit nicht optimal an das Gebäude angepasst. Zum Teil werden auch für die Montagesituation unpassende Thermostate verbaut. Die Folgen können ein höherer Energieverbrauch und verminderter Komfort sein.

### Einzelraumregelung

Die Heizzeiten- und Temperaturregelung erfolgt raumweise. Sie ist sowohl Außen- als auch Innentemperaturabhängig. Die Regelung im Raum erfolgt durch elektrische Stellantriebe.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Diese Regelungsart ist besonders in größeren Gebäuden bei stark schwankenden Nutzungen sinnvoll.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Haltbarkeit von Stellmotoren und -antrieben in öffentlichen Bereichen ist durch Vandalismus gefährdet.

### Gebäudeleittechnik

Die Gebäudeleittechnik ist eine zentrale und vernetzte Regelung für Heizung, Lüftung, Kühlung und Warmwasser. Sie erfolgt meist auf einem zentralen Rechner und kann über Bildschirme visualisiert werden.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Bei angepasster Planung und bei Ausschöpfung aller Möglichkeiten kann die Gebäudeleittechnik ein effizientes und wirtschaftliches System sein.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Die Anlagen bleiben oft bei den Standardeinstellungen und die vielfältigen Möglichkeiten für mehr Effizienz werden nicht vollumfänglich genutzt. Oftmals behindern auch unentdeckte Fehler und Fehlprogrammierungen einen effizienten Betrieb der Anlagen. Das Bedienungspersonal ist für diese komplexen Anlagen oft nicht ausreichend geschult.

## Regelung und Steuerung

### Elektrische Energie / Beleuchtung

#### **Bussystem**

In einem Bussystem können alle technischen Systeme der Haustechnik wie Beleuchtung, Beschattung, Heizung, Klima und Lüftung über eine gemeinsame Steuerleitung frei programmiert werden.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Es entstehen sehr flexible Systeme.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Die Bedienung eines Bussystems ist meist nicht intuitiv. Das System ist zudem sehr fehleranfällig und hat einen hohen Instandhaltungsaufwand. Zu den teuren Komponenten und damit hohen Investitionskosten kommt noch der Eigenstromverbrauch, der die Betriebskosten erhöht.

### Raumweise Ein-/Ausschalter

Raumweise Ein-/Ausschalter sind herkömmliche Schalter, die zum Ein- oder Ausschalten der Beleuchtung dienen.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Die Beleuchtung über herkömmliche Ein-/Ausschalter zu steuern ist ein einfaches und bewährtes System, das wenig fehleranfällig ist und von den Benutzenden intuitiv verstanden wird.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Der Umbau von Räumen (z.B. Einfügen einer Trennwand) kann aufwendiger sein als beispielsweise mit einem Bussystem, da die Beleuchtung und die zugehörigen Schalter auf eine Position festgelegt sind.

### Präsenzabhängige Steuerung

Die Beleuchtung wird durch Bewegungsmelder eingeschaltet und nach Ablauf einer gewissen Zeit wieder ausgeschaltet.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Durch das automatische Abschalten kann Energie gespart werden.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Nicht immer wird dieses System wirklich benötigt. Es kann in vielen Fällen auch darauf verzichtet werden.

### Tageslichtabhängige Steuerung

Die Beleuchtungsstärke wird in Abhängigkeit des Tageslichtanteils im Raum gesteuert. Wahlweise kann dieses System auch zusätzlich mit einer präsenzabhängigen Steuerung versehen werden.

#### *Vorteile aus Low-Tech Sicht*

Durch diese Technik wird Energie eingespart.

#### *Nachteile aus Low-Tech Sicht*

Es werden Sensoren und eine recht aufwändige Steuerung benötigt. Oftmals wird dieses System auch mit einer Gebäudeleittechnik gekoppelt. Dadurch werden Wartung und Reparatur aufwendig.

# 5. Low-Tech in der Realisierung

5.1 Ausschreibung und Vergabe

5.2 Ausführungsphase

5.3 Projektabschluss



## 5. Low-Tech in der Realisierung

### 5.1 Ausschreibung und Vergabe

Mit der Ausschreibung der Arbeiten und Leistungen werden die Low-Tech Ideen und Visionen zur gebauten Realität. Alle Entscheidungen, die in den vorherigen Planungsphasen getroffen wurden, werden schriftlich formuliert. Die Ausschreibungstexte berücksichtigen Low-Tech Komponenten und Ansätze. Sie definieren zu verwendende Materialien und Bauprodukte und regeln Produktions-, Fertigungs-, Montagetechniken. Neben Qualitätsanforderungen an Baustoffe sollten Ökologie- und Nachhaltigkeitskriterien festgelegt werden. Die präzisen Formulierungen stellen beispielsweise Anforderungen an die „Dauerhaftigkeit“, minimieren die „graue Energie“ und beschreiben, wie „Installationen einfach zugänglich“ sein müssen. Vor dem Einholen der Angebote sollten die Ausschreibungen nochmals an Hand der Low-Tech Kriterien und auch auf etwaige Widersprüche zur geplanten Low-Tech Lösung geprüft werden.

#### Checkliste Ausschreibung

- Wird das Low-Tech Konzept in den Ausschreibungen entsprechend berücksichtigt?
- Verhindern in den Vorbemerkungen genannte Normen, Richtlinien oder anerkannte Regeln der Technik die Umsetzung der Low-Tech Ansätze?
- Sind die vorgesehenen energetischen Qualitäten in den LV-Positionen entsprechend beschrieben?
  - g-Werte
  - U-Werte
  - Sonnenschutz
- Sind die ökologischen Kriterien in den LV-Positionen entsprechend berücksichtigt und (EU)-konform beschrieben
  - Halogenfreie Elektrokabel
  - Lösemittelfreie Produkte
- Sind für ein Gebäude mit reduzierter Anlagentechnik essentielle Leistungen wie der Hydraulische Abgleich und das Einregulieren der Lüftungsanlage berücksichtigt?

Unterstützung bei der Umsetzung nachhaltiger Gebäude bietet die Web-Plattform [baubook \(www.baubook.info\)](http://www.baubook.info). Sie bietet ökologische Kriterien zur Produktbewertung sowie eine kostenlose Produktdatenbank mit vielfältigen Informationen.

#### Umgang mit Neben- und Alternativangeboten

Änderungen in der Ausführungsphase sollten auch immer an Hand der energetischen Planung überprüft werden. So haben z.B. Änderungen am g-Wert oder U-Wert der Verglasungen eine direkte Auswirkung auf den Energiebedarf. Gerade bei Gebäuden mit geringem Energiebedarf können auch vermeintlich kleine Änderungen gravierende Auswirkungen haben. Fehlende solare Gewinne können hier nicht einfach durch eine groß dimensionierte Heizungsanlage ausgeglichen werden. Eine Änderung oder Abweichung von der Planung hat möglicherweise eine Erhöhung der Energiekosten über den gesamten Lebenszyklus zur Folge. Daher muss vor Auftragsvergabe geprüft werden, ob von den Firmen vorgeschlagene Varianten oder Alternativprodukte Auswirkungen auf den Bereich Energie haben.

### 5.2 Ausführungsphase

Wie bei jedem anderen Bauvorhaben geht es bei der Realisierung von Low-Tech Gebäuden in der Ausführungsphase darum, einen reibungslosen Bauablauf sicherzustellen. In dieser Projektphase kommen durch die ausführenden Firmen viele weitere Beteiligte dazu. Wesentliche Elemente sind eine effiziente Kommunikation unter allen Beteiligten, eine Lenkung des Bauprozesses sowie eine Überwachung der auszuführenden Arbeiten.

#### Kommunikation

Eine gute Kommunikation aller Beteiligten ist essentiell für das Gelingen eines jeden Bauprojekts. Hierbei ist im Besonderen auf einen verlustfreien Informationsfluss und die Einbeziehung der richtigen Personen in relevante Entscheidungen wichtig. Hierfür bietet sich die Etablierung von regelmäßigen Besprechungsterminen an.

#### Themen

- › inhaltliche und gestalterische Entscheidungen
- › Planungs- und Bauablauf
- › Abstimmung zwischen Architektur und Fachplanung
- › Zeit- und Kostenmanagement
- › Umgang mit Abweichungen von Normen

#### Format: Planer Jour-fixe

- › Besprechung technischer und gestalterischer Aspekte
- › Diskussion von Varianten und Lösungsmöglichkeiten
- › Vorbereitung von Themen für die Entscheidungen der Bauleute notwendig sind

#### Format: Bauleute Jour-fixe

- › Entscheidungen und Beschlüsse
- › Nutzung, Gestaltung und Architektur
- › Finanzen



### Beispiel: Handwerkende-Infoabende

Vorgaben, die vom anerkannten Stand der Technik abweichen, können auch auf der Baustelle für Gesprächsstoff sorgen. In Vorarlberg hat sich in den letzten Jahren die Durchführung von Infoabenden für Handwerkende bewährt: Unmittelbar nach der Auftragserteilung werden die Handwerkenden im Rahmen des Servicepakets „Nachhaltig:Bauen in der Gemeinde“ über die ökologischen Anforderungen informiert. Dabei können auch die energetischen und ökologischen Ziele sowie die Low-Tech Ansätze vorgestellt und erläutert werden. Die Umsetzung von unkonventionellen Lösungen werden möglich, wenn die Ausführenden nachvollziehen können, aufgrund welcher Fakten bewusst und gewollt neue Wege beschritten werden und wo unter Umständen von Normen abgewichen wird. So informiert können sie diese Entscheidungen auch mittragen.

#### Den Überblick behalten

Drei Protokolle von den drei unterschiedlichen fachplanenden Personen zu einem Bauvorhaben? Das ist keine Seltenheit bei kommunalen Bauvorhaben. Zielführend im Sinne einer guten Zusammenarbeit ist dies aber nicht. Es ist wichtig, dass alle Entscheidungen dokumentiert werden und die Projektbeteiligten entsprechend informiert werden. Die Erstellung eines verbindlichen Protokolls sollte durch die Projektleitung erfolgen. So kann vermieden werden, dass es zu widersprüchlichen Annahmen kommt oder offene Punkte unerledigt bleiben.

#### Bauleitung

Die Aufgabe der Bauleitung ist es, die Realisierung des Bauvorhabens zu organisieren, zu leiten und zu überwachen. Sie achtet besonders bei der „Dauerhaftigkeit“ darauf, dass Verbindungen geschraubt und nicht gewohnheitsbedingt geklebt oder geschäumt werden. Damit „Installationen einfach zugänglich“ bleiben, prüft die Bauleitung die Lage und Funktionsfähigkeit der Revisionsöffnungen. Bei Aufputzmontagen ist wichtig, dass sie mit der gebotenen Sorgfalt ausgeführt werden.

## 5.3 Projektabschluss

Zum Abschluss eines Bauvorhabens erfolgt die Abnahme des Bauwerks. Die technischen Anlagen werden in Betrieb genommen und noch bestehende Mängel müssen behoben werden. Mit der Übergabe des Bauwerks sollten die Bauleute eine vollständige Projektdokumentation erhalten. Die Projektleitung muss sicherstellen, dass die Planenden für das Gebäude und die technischen Anlagen eine ausführliche und allgemeinverständliche, gewerkeübergreifende Nutzungs- und Betriebsanleitung anfertigen. Dies soll gewährleisten, dass die in der Planung vorgegebenen wirtschaftlichen Ziele auch im Gebäudebetrieb erreicht werden. Diese Dokumentation enthält alle erforderlichen Informationen, um das Low-Tech Gebäude seiner Bestimmung nach zu bewirtschaften, zu unterhalten und zu gegebener Zeit zu erneuern.

### Information der Nutzenden

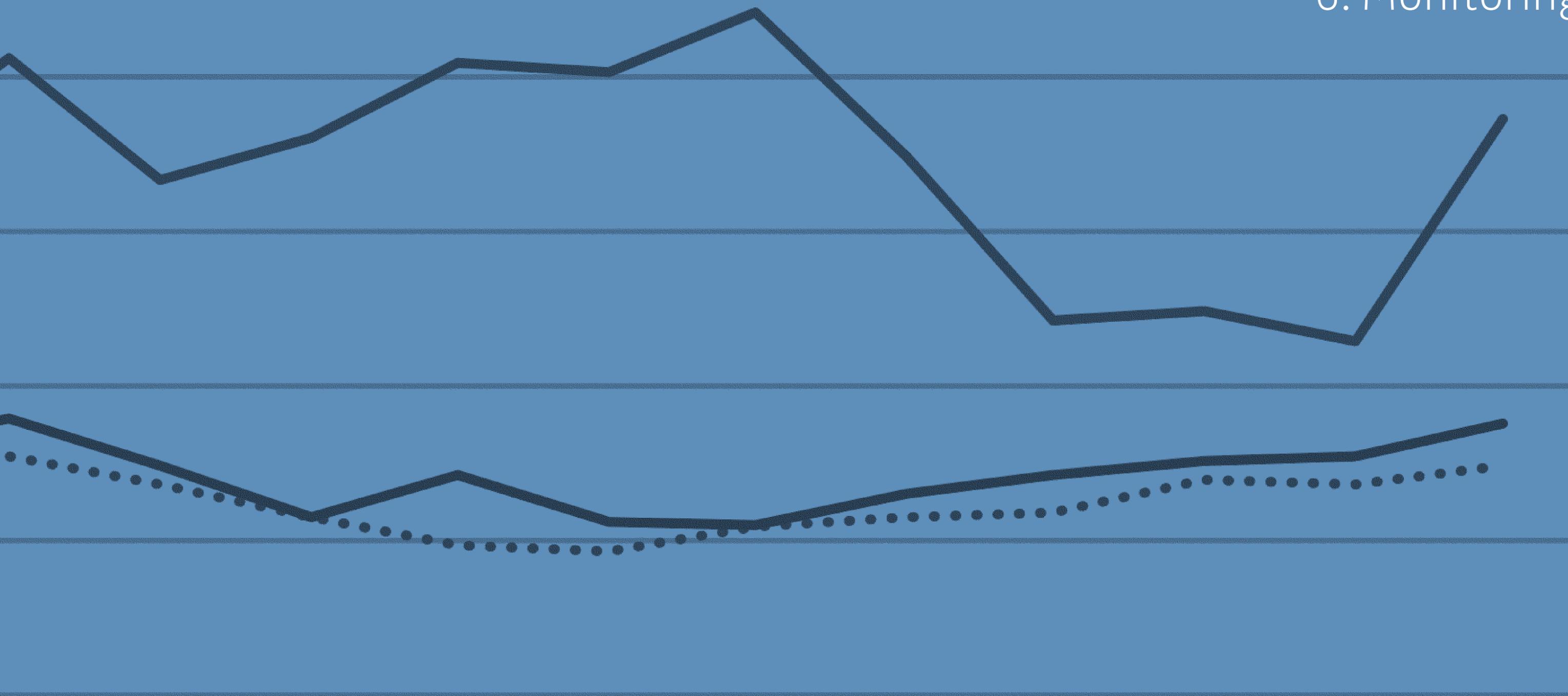
Low-Tech Gebäude funktionieren möglicherweise anders als „normale“ Gebäude. So kann sich zum Beispiel durch reduzierte Luftmengen oder bewusst klein dimensionierte Wärmeerzeuger der Einfluss der Nutzenden stärker auswirken als in hochtechnisierten Gebäuden. Unpassendes bzw. unangepasstes Verhalten kann nicht einfach durch eine leistungsstarke Anlagentechnik ausgeglichen werden. Auf der anderen Seite sorgt eine auf den realen Bedarf geplante und effiziente Anlage für dauerhaft niedrige Betriebs- und Wartungskosten. Daher sollte eine ausführliche Einweisung der Nutzenden und Gebäudeverantwortlichen zur Bedienung der technischen Anlagen durchgeführt werden. Hierbei muss auch eine Erläuterung der Besonderheiten des Low-Tech Gebäudes erfolgen.

### Die richtige Einstellung

Neben niedrigen Lebenszykluskosten sind zufriedene Nutzende das Ziel von Low-Tech Gebäuden. Ein angenehmes Raumklima ist wichtig für die Akzeptanz von modernen, energieeffizienten Gebäuden mit geringem Technikeinsatz. Durch den reduzierten Technikeinsatz sind Low-Tech Gebäude weniger fehlertolerant. Neben einer sorgfältigen Planung und einer fachgerechten Ausführung ist auch die korrekte Inbetriebnahme sehr wichtig. Bei energieeffizienten Low-Tech Gebäuden sollten insbesondere auf diese Punkte geachtet werden:

- › Blower-Door-Tests zur Überprüfung der Dichtigkeit der Gebäudehülle: Eine luftdichte Gebäudehülle vermeidet Bauschäden und sorgt für einen niedrigen Energieverbrauch
- › korrekte Einregulierung der Lüftungsanlage: Angepasste Luftmengen vermeiden Zugerscheinung und störende Strömungsgeräusche in den Lüftungskanälen
- › Durchführung des Hydraulischen Abgleichs: Gleichmäßig warme Räume und eine energieeffiziente Heizungsanlage durch passende Volumenströme im Verteilnetz
- › Anpassung von Heizzeiten und Heizkurven: Unabhängig von Wetter immer die richtige Raumtemperatur zum richtigen Zeitpunkt
- › Überprüfung der korrekten Messstellen/Fühlereinstellungen zur Erfüllung des Monitoringkonzepts und Überwachung des Energieverbrauchs

## 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, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluf, Luftmengen, Strömungsgeschwindigkeiten, Warmwasserverbrauch, Leistungswerte) über unterschiedliche Erfassungszeiträume (Stunden, Tage, Wochen, Monate, Heizperiode, Jahr) gesammelt und ausgewertet werden:

Nachweis	Art der Erfassung
<b>Endenergieverbrauch Wärmeanwendungen</b>	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 <sup>3</sup> ] > Gaszähler Energieversorger Heizöl [Liter] > Ölmengenzähler vorsehen
<b>Endenergieverbrauch Stromanwendungen</b>	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)
<b>Thermischer Komfort</b>	Messung und Aufzeichnung der Raumlufthtemperatur und rel. Raumlufthfeuchte mit Datenlogger in (repräsentativen) Räumen Einmalige oder mehrmalige Messung der operativen Temperatur (T <sub>op</sub> ), als Mittelwert aus der Raumlufthtemperatur (T <sub>i</sub> ) und der mittleren Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen (T <sub>s</sub> ): T <sub>op</sub> = 0,5*(T <sub>i</sub> +T <sub>s</sub> )
<b>Raumlufthqualität</b>	Messung und Aufzeichnung CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumlufth mit Datenlogger in repräsentativem Raum

### Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf [HWB; Einheit: kWh/(m<sup>2</sup>a)] 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

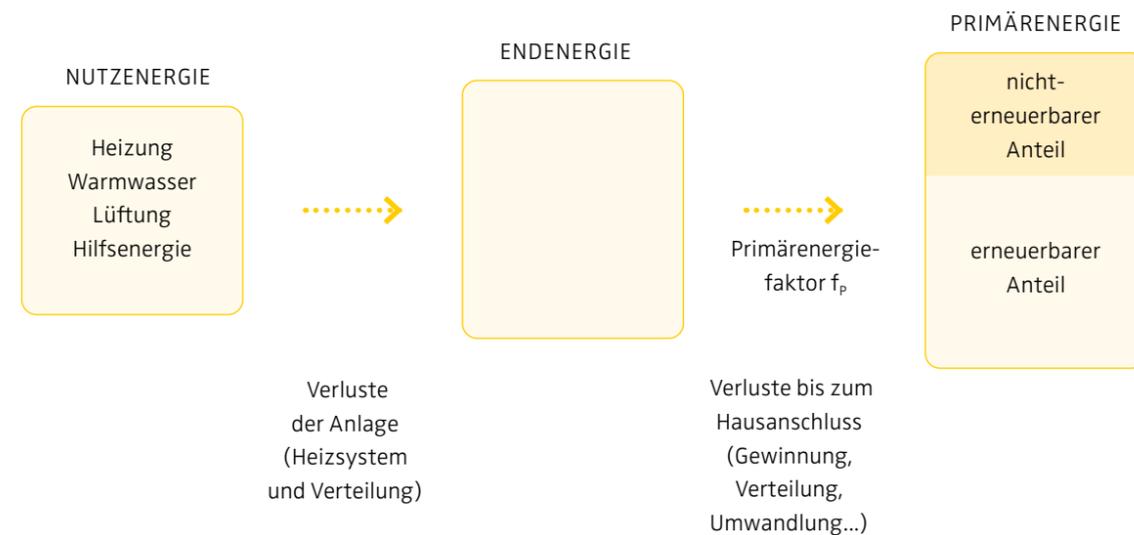
Die Summe der Energie, die für die Beheizung der Räume, die Warmwassererzeugung und die Belüftung und Beleuchtung der Räume benötigt wird, wird als Nutzenergie bezeichnet. Mit dieser Energie werden die Bedürfnisse des Gebäudenutzenden nach einem behaglichen Raumklima gedeckt.

### 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

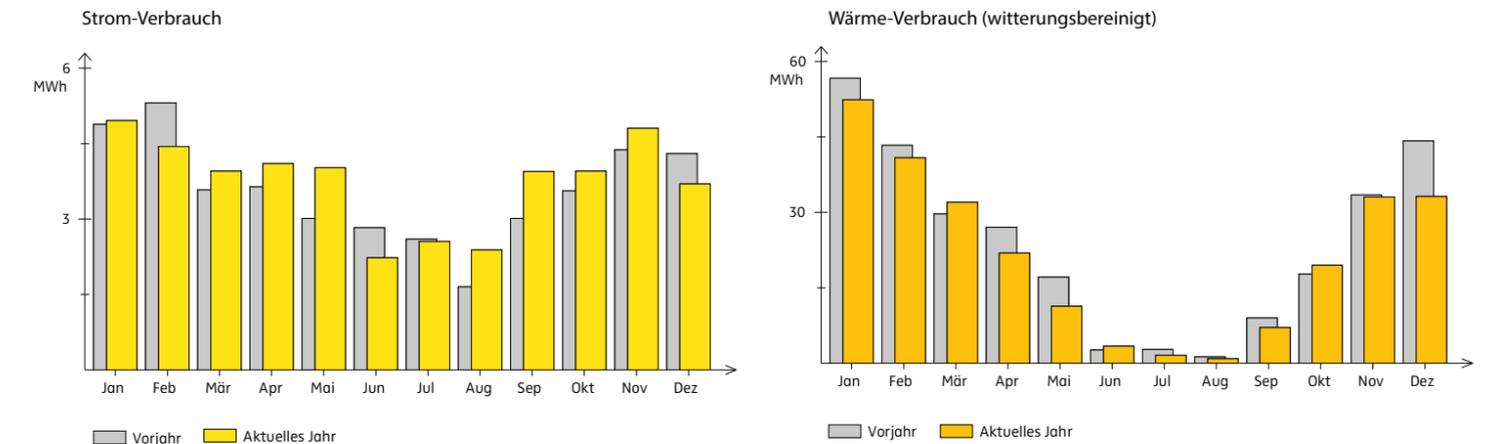
Der Primärenergieverbrauch beschreibt den Verbrauch an natürlichen Ressourcen, die zur Deckung des Energieverbrauchs benötigt werden. Dabei werden auch die Herstellung und die Transporte der Energieträger in Betracht bezogen und mit dem sogenannten Primärenergiefaktor bewertet. Es wird in nicht-erneuerbare 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.



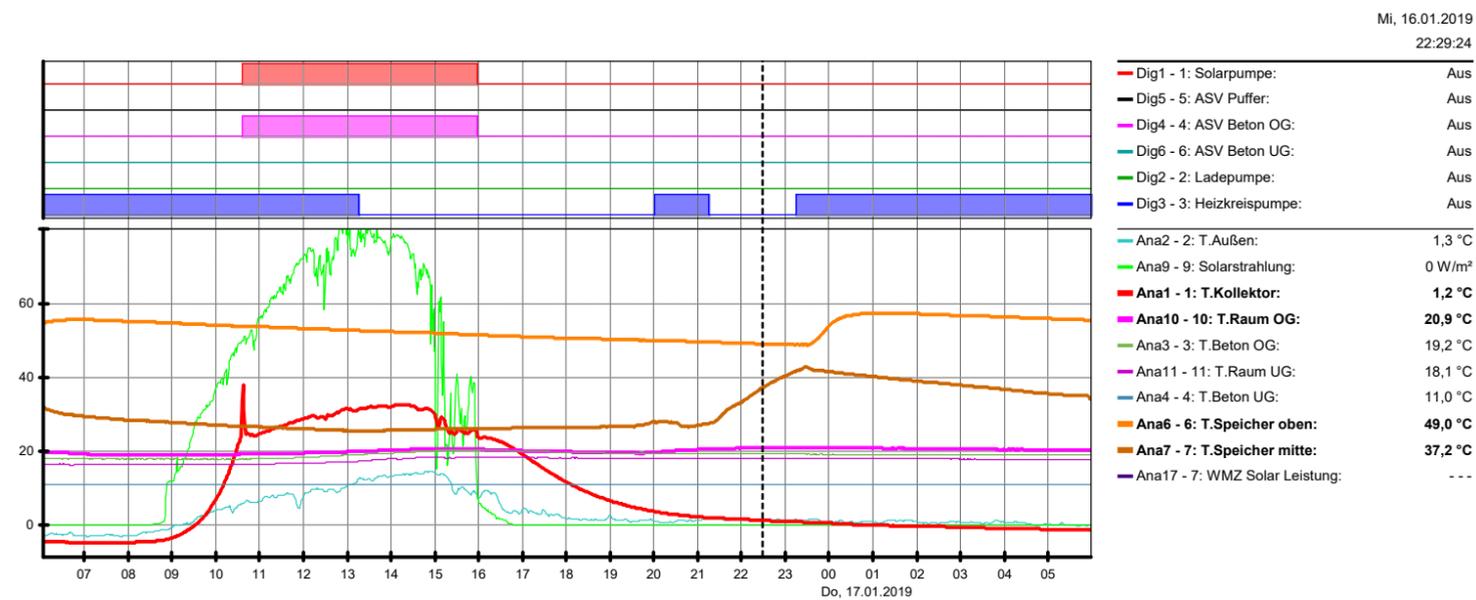
Zusätzlich bzw. ergänzend können zeitlich begrenzte Messungen mit mobilen Messgeräten sinnvoll sein. Mit solchen Messungen können Funktionsprinzipien oder sich im späteren Gebäudebetrieb nicht mehr ändernde Zustände überprüft und optimiert werden. Für die Auswertungen der zeitweisen Messungen kann meist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

## Detaillierte Messung von Anlagenkomponenten

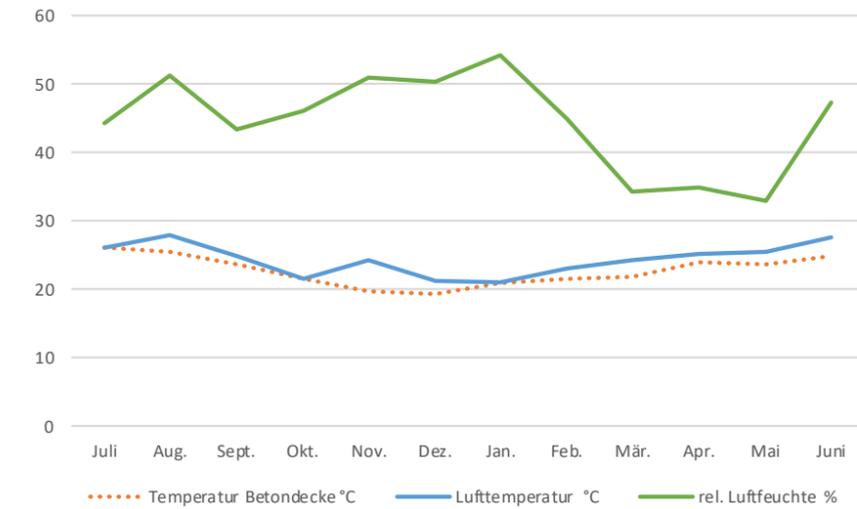


### Praxisbeispiel Schnifis

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 CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft. Durch die erfassten Meßwerte kann die Energiebilanz (Input zu Output) verglichen werden. Allgemein gilt, dass 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 Firma Metzler

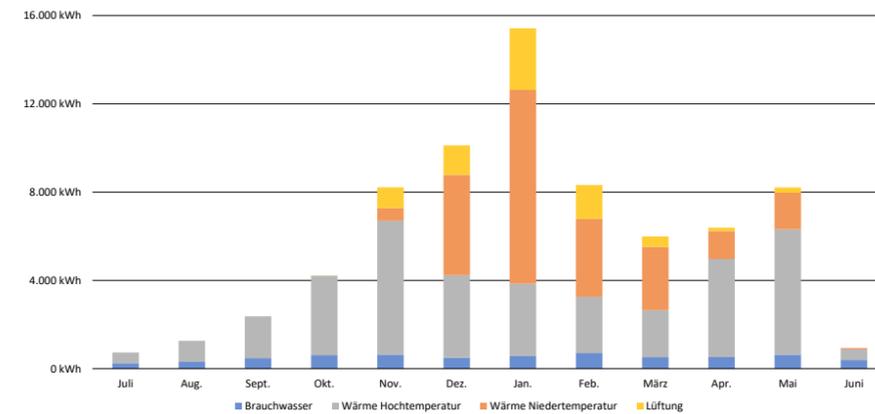


Digitale Ablesung Haus Schnifis



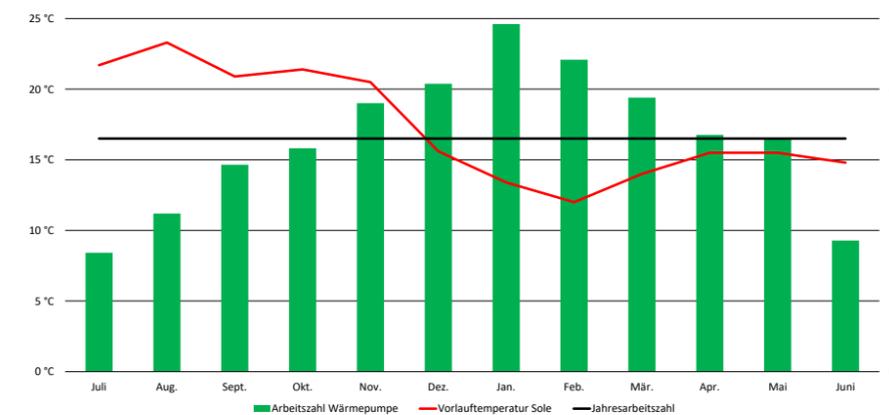
## Praxisbeispiel Metzler

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.



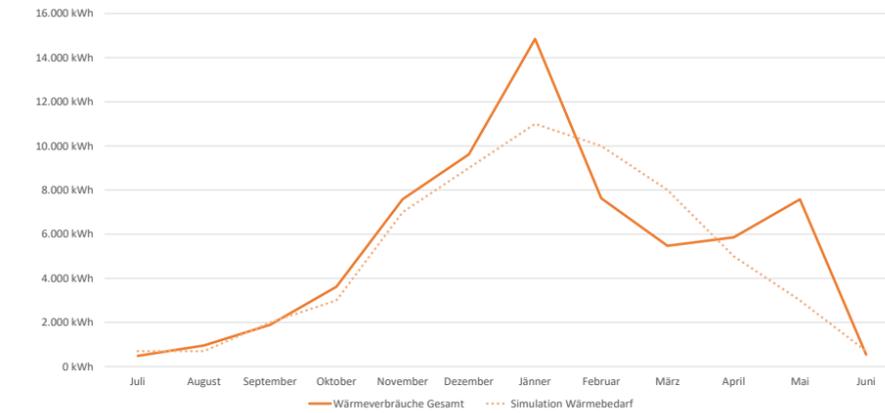
Energieflüsse Wärme

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 ihres 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

Gebäudeart	Zielwert [kWh/(m²a)]	Mittelwert [kWh/(m²a)]	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
MFH Durchschnitt (Durchschnitt Bestand)		100-175											
MFH Deutschland (Durchschnitt Baujahr 1962)	155												
MFH Deutschland (Durchschnitt Baujahr 2006)	85												
MFH Österreich (Durchschnitt Bestand)	135												
Verwaltungsgebäude	71	132											
Kindertagesstätten	89	185											
Grundschule	92	142											
Hauptschule	87	134											
Realschule	78	132											
Gymnasium	77	110											
Schule mit Schwimmhalle	156	253											
freiwillige Feuerwehr	64	149											
Berufsfeuerwehr	155	291											
Turnhallen / Sporthallen	83	153											

### Endenergie elektrische Energie (Strom)

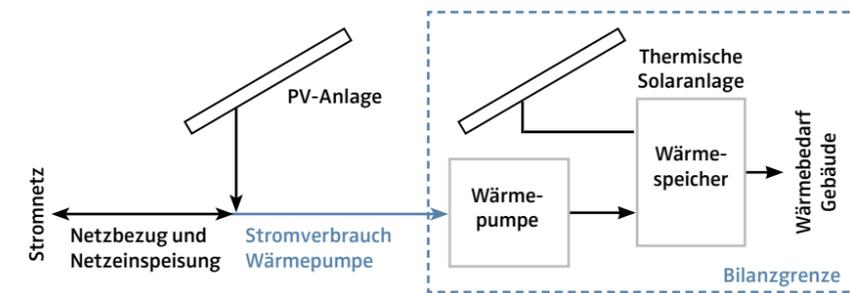
Gebäudeart	Zielwert [kWh/(m²a)]	Mittelwert [kWh/(m²a)]	0	15	20	30	40
Verwaltungsgebäude	11	14					
Kindertagesstätten	8	17					
Grundschule	6	8					
Hauptschule	8	15					
Realschule	7	11					
Gymnasium	8	13					
Schule mit Schwimmhalle	14	26					
freiwillige Feuerwehr	6	19					
Berufsfeuerwehr	9	37					
Turnhallen / Sporthallen	8	17					

### 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.

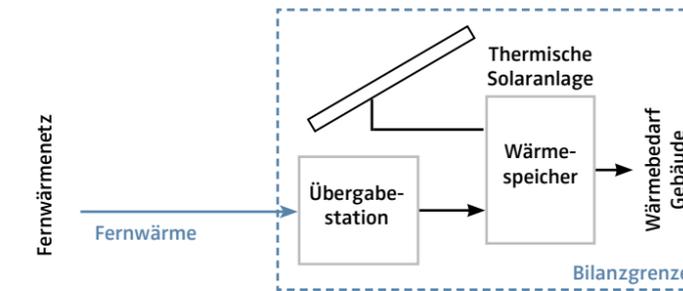


Messbilanz Wärmepumpe

Projektstandort	Langenegg, Österreich	Frankfurt, Deutschland	Feldkirch, Österreich
Wohnnutzfläche	399 m <sup>2</sup>	6.644 m <sup>2</sup>	1.263 m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> a)	11,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	14,6 kWh/(m <sup>2</sup> 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.

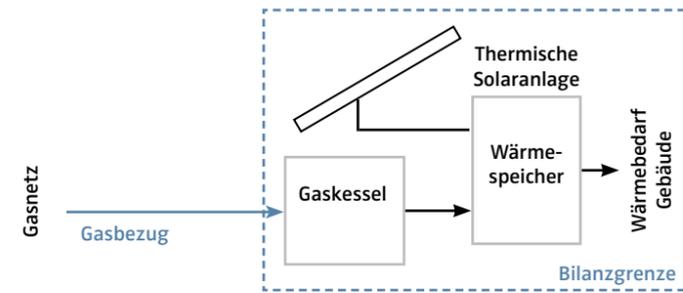


Messbilanz Fernwärme

Projektstandort	Frastanz, Österreich	München, Deutschland
Wohnnutzfläche	1.529 m <sup>2</sup>	1.405 m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> a)	39,6 kWh/(m <sup>2</sup> 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.



Messbilanz Gas

Projektstandort	Frankfurt, Deutschland	Ludesch, Österreich
Wohnnutzfläche	1.842 m <sup>2</sup>	1.044 m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> a)	40,7 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Außenbereich  
Volksschule Höchst,  
Kirchdorf



## 7. Schlusswort

## 7. Schlusswort

Wir können auch in Zukunft nur mit den vorhandenen Ressourcen unserer Erde bauen. Die werden leider knapp, weil wir zu viel verbrauchen und nicht in Kreisläufen verarbeiten. Sand und Kies sind nicht ohne weiteres industriell herzustellen. Die Natur ist hier das Maß aller Dinge. Zudem ist das Bauwesen für rund die Hälfte aller Emissionen verantwortlich und schadet dem Klima damit eklatant.

Wir dürfen nur noch so bauen, dass wir es gegenüber den nächsten Generationen verantworten können. Dazu müssen Baustoffe ohne die Atmosphäre zu belasten hergestellt, transportiert und verbaut werden. Die einfachste Methode ist, nachwachsende oder recycelte Stoffe aus der Nähe der Baustelle ohne aufwendige Prozesse zu verbauen. Der Fokus der Investition muss auf den Bauteilen liegen, die lange halten und weniger auf Komponenten die kürzer halten, als ihr Finanzierungszeitraum.

Die Qualität der Gebäude wird demnach nicht nur durch ihre Energieeffizienz, sondern durch die gesamten Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen gemessen. Low-Tech ist dafür ein gutes Konzept, wie man an den vielen Informationen und konkreten Beispielen zu energieeffizienten Gebäuden mit reduzierter Technik in der vorliegenden Endpublikation sehen kann.

Folgende Frage bleibt offen: Wie kann man bewerten, ob ein Gebäude ein Low-Tech Gebäude ist?

Wie kann man messen, wie viel Low-Tech in einem Gebäude steckt?

Ein Bewertungsschema, mit möglichst wenigen, nachvollziehbaren und prüfbar Kriterien wäre dazu geeignet. Eine Messlatte mit objektiven Kriterien, die aufzeigt, ob ein Gebäude als Low-Tech Gebäude bezeichnet werden kann. Ohne klare Vorgaben bleiben Energieeffizienz und der Verzicht auf Technik subjektiv. Was für den einen komplizierteste Anlagentechnik ist, ist für den anderen einfach nur der Stand der Technik. Bei näherer Betrachtung fällt auf: Manche Kriterien sind klar messbar, manche Ansätze können nur qualitativ bewertet werden.

Die subjektive Art der Bewertung von Gebäuden ist nach fünf Jahren intensiver Beschäftigung mit dem Thema Low-Tech schwer auszuhalten. Daher entstand der Wunsch ein einfaches Bewertungsschema aufzustellen. Als zielführend können folgende Hauptgesichtspunkte aus den Bereichen Planung, Gebäudeentwurf und Gebäudetechnik betrachtet werden:

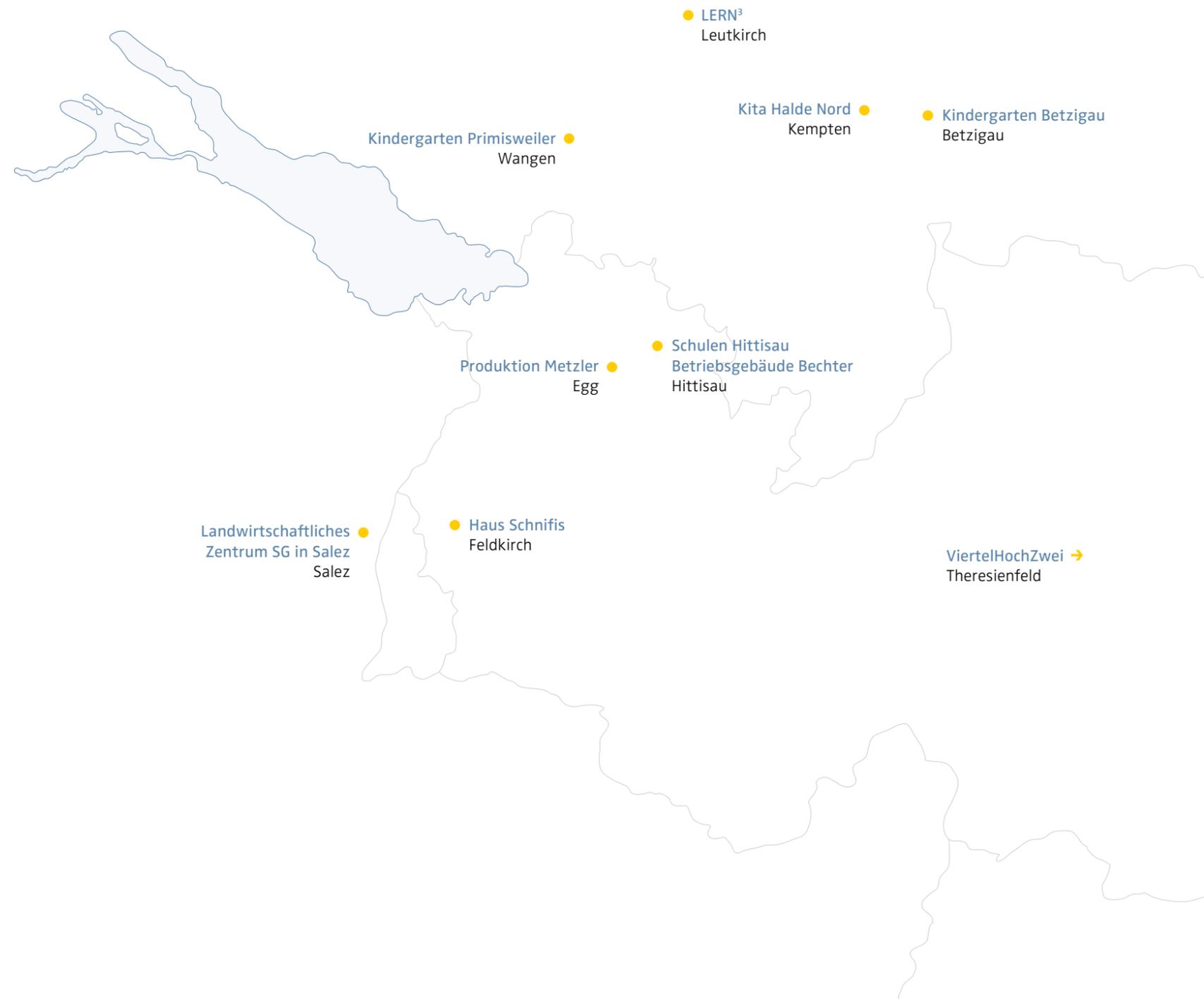
- › Klare Zielformulierung
- › Integrale Planung
- › Energieeffiziente Gebäudehülle
- › Reduzierter Technikeinsatz
- › Sommerlicher Wärmeschutz
- › Intelligentes Lüftungskonzept
- › Einsatz Erneuerbarer Energien

In Kombination mit einer Bewertungsmatrix kann den unterschiedlichen Prioritäten und Schwerpunkten verschiedener Gebäudetypen Rechnung getragen werden. Ein Kindergarten ist anders zu betrachten und zu bewerten als ein Verwaltungs- oder Produktionsgebäude. Allen gleich sind grundlegende Prinzipien im Bereich der Zielformulierung oder der integralen Planung. Es können unterschiedliche Low-Tech Ansätze realisiert werden, die Aufgabe der Versorgung mit Licht, Luft und Wärme muss intelligent gelöst werden.

Das Bewertungssystem muss noch entwickelt werden. Am Ende unserer Projektzeit ist es uns noch nicht möglich, ein Low-Tech Gebäude hinsichtlich seines Low-Tech Anteils zu bewerten.

Wir haben viel gelernt, wie man wirtschaftlich, energieeffizient und ressourcenschonend bauen kann und hoffen, dass die Leserschaft durch diese Endveröffentlichung daran Anteil nehmen kann. Außerdem ist es gelungen, das Thema Low-Tech in die Breite zu tragen und zu versachlichen.

Es gibt genug gute Beispiele, nehmt Euch die besten Ideen und entwickelt sie weiter.



## Pilotprojekte



### Kita Halde Nord

D - Kempten  
Neubau Kinderkrippe im  
Passivhausstandard



Verzicht



Vereinfachte  
Lüftungssysteme



Feststehender  
Sonnenschutz



### Kindergarten Betzigau

D - Betzigau  
Neubau Kindergarten



Tageslichtnutzung



Feststehender  
Sonnenschutz



Dauerhaftigkeit



### LERN³

D - Leutkirch  
Erweiterung des  
bestehenden Gymnasiums



Speichermasse



Dauerhaftigkeit



Vereinfachte  
Lüftungssysteme



### Kindergarten Primisweiler

D - Wangen

Neubau eines Kindergartens für die Stadt Wangen



Feststehender Sonnenschutz



Vereinfachte Lüftungssysteme



Speichermasse



### Schulen Hittisau

A - Hittisau

Neubau und Sanierung der Schulbauten in Holzbauweise



Weglassen



Gebäudehülle



Natürliche Lüftung



### ViertelHochZwei

A - Theresienfeld

Maisonette- und Dachwohnungen mit aktivierten Decken



Flexible Grundrisse



Weglassen



Solare Einträge nutzen



### Betriebsgebäude Bechter

A - Hittisau

Büro und Gipserei

Umbau eines Stalls und einer Scheune zu einem Betriebsgebäude



Graue Energie



Solare Einträge nutzen



Speichermasse



### Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez

CH - Salez

Schulräume und Wohntrakt  
Neubau als Holzbau mit einfacher, mechanischer Gebäudetechnik



Weglassen



Tageslichtnutzung



Natürliche Lüftung



### Produktion Metzler

A - Egg

Produktionstätte  
Gewerbegebäude mit Solarthermie und Bauteilaktivierung



Speichermasse



Solare Einträge nutzen



Vereinfachte Lüftungssysteme



### Haus Schnifis

A - Feldkirch

Einfamilienhaus  
Neubau mit großer Solaranlage und aktivierten Decken



Speichermasse



Feststehender Sonnenschutz



Natürliche Lüftung



## Abbildungen

Seite 6/7 ASZ Hofsteig Lauterach ©CarolineBegle

Seite 17 Eingang Mehrzweckgebäude Mellau ©CarolineBegle

Seite 19 Bürogebäude be 2226 Lustenau Eduard Hueber, archphoto ©Baumschlager Eberle Architekten

Seite 20-21 Mehrzweckgebäude Mellau ©CarolineBegle

Seite 25 Haus Schnifis mama Architektur ©Hanno Mackowitz

Seite 25 Küche mit Lehmofen Haus Schnifis mama Architektur ©Hanno Mackowitz

Seite 27 Stiegenhaus Sicherheitszentrum Bezau ©CarolineBegle

Seite 28 Skizze Planungsteam E-Plus Schule Hittisau

Seite 32 Ausblick Sicherheitszentrum Bezau ©CarolineBegle

Seite 34 Kontrolle Anlagentechnik ©eza! Foto: Hermann Rupp

Seite 34 Optimierung Anlagentechnik ©eza! Foto: Hermann Rupp

Seite 41 Gemeindehaus Lochau ©CarolineBegle

Seite 45 Sommerliche Überwärmung des Gebäudes dargestellt im Simulationsmodell ©Energieinstitut Vorarlberg

Seite 48 Mehrfamilienhaus Weissensberg ©BodenseeWohnbau GmbH

Seite 51 Wohnanlage Theresienfeld ©Arthur Krupp

Seite 52 Verlegung Bauteilaktivierung ©Wolfgang Amann

Seite 60 Freie Lüftung Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 63 Panoramaspiegelung ©CarolineBegle

Seite 64-65 Galeriegeschoss im Wohnraum Haus Schnifis mama Architektur ©Hanno Mackowitz

Seite 67 Mehrzwecksaal Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 68 Kindergarten Mellau ©CarolineBegle

Seite 69 Inneneinrichtung Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 70 Terrasse Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 71 Sonnenschutz Kindergarten Göfis ©CarolineBegle

Seite 72 Fassade Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 73 Haus Schnifis mama Architektur ©Hanno Mackowitz

Seite 73 Galeriegeschoss im Wohnraum Haus Schnifis mama Architektur ©Hanno Mackowitz

Seite 75 Außenansicht Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 76 Fassadendetails Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 77 Speisesaal Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 78 Naturkosmetik Metzler Egg ©Keckeis

Seite 79 Haustechnik ©eza!

Seite 80 Produktionshalle Naturkosmetik Metzler ©Metzler

Seite 82 Wohnraum Haus Schnifis mama Architektur ©Hanno Mackowitz

Seite 84 Haustechnik ©eza!

Seite 84 Haustechnik ©eza!

Seite 88 Detail Landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©-Seraina Wirz\_Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie\_ Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 89 Physikalisches Prinzip Auftriebslüftung\_©Planvorlage: Andy Senn, Richard Widmer; grafische Umsetzung\_ Modo GmbH

Seite 92 Schema Wärmepumpenboiler ©eigene Darstellung

Seite 94 Operative Innenraumtemperatur und Luftwechselrate, Kalenderwoche 28 ©Energieinstitut Vorarlberg

Seite 95 Schnitt rein manuell zu öffnendes Lüftungselement und Doppelflügelelement ©Architekt Matthias Bär ZT GmbH

Seite 99 Grundriss Kinder Krippe Ketterhausen ©Architekt Wolfgang Ries

Seite 100 Lüftungsplan Kindergarten Betzigau ©KTO engineering GbR

Seite 101 Lüftungsplan Kita Halde Nord ©ZGT Ingenieure

Seite 103 Lüftungsanlage ©eza!

Seite 106 Aushub Sieblinie ©Lehm Ton Erde Baukunst GmbH

Seite 106 Bodenaufbau Halle – Stampflehm ©Lehm Ton Erde Baukunst GmbH

Seite 107 Bauprozess in der bereits aufgerichteten Halle ©Lehm Ton Erde Baukunst GmbH

Seite 122 Grafik Temperatur und Luftfeuchte ©Energiewerkstatt Keckeis

Seite 123 Heizraum ©Universität Liechtenstein

Seite 123 Digitale Ablese Haus Schnifis ©Universität Liechtenstein

Seite 124 Energieflüsse Monitoring Metzler ©Energiewerkstatt Keckeis

Seite 124 Arbeitszahl Wärmepumpe Monitoring Metzler ©Energiewerkstatt Keckeis

Seite 125 Vergleich Simulation zu Verbrauch ©Energiewerkstatt Keckeis

Seite 131 Volksschule Höchst ©CarolineBegle

Seite 132/133 Sporthalle Klaus ©CarolineBegle

Seite 137 Kita Halde Nord ©MH Architekten

Seite 137 Kiga Betzigau ©Jakob Architekten

Seite 137 LERN³ - ©Helmuth Kistler, roterpunkt architekten

Seite 138 KIGA Primisweiler ©Luis Tamayo, Neuravensburg

Seite 138 Schule Hittisau Architekt Studio Bär ©Chronic Pictures

Seite 138 Wohnanlage Theresienfeld ©Arthur Krupp

Seite 138 Betriebsgebäude Bechter ©Gerhardt Kellermann

Seite 139 Haupteingang landwirtschaftliches Zentrum SG in Salez ©Seraina Wirz Atelier für Heinrich Helfenstein Architekturfotografie Böcklinstrasse 17\_8032 Zürich

Seite 139 Metzler Produktion ©Christian Lässer

Seite 139 Haus Schnifis\_MAMA\_Architektur ©Hanno Mackowitz

Seite 140/141 Sicherheitszentrum Bezau Seite ©CarolineBegle

Wir haben uns bemüht, die UrheberInnen für alle verwendeten Bilder ausfindig zu machen und Bildnachweise nach bestem Wissen und Gewissen anzugeben. Sollte uns dabei ein Fehler unterlaufen sein, bitten wir um eine kurze Nachricht.

**Herausgeber**

Partner des Interreg Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein Projekts

Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche „LOW-TECH“ Gebäude im Bodenseeraum

**Leadpartner**

Energieinstitut Vorarlberg  
Sabine Erber, Thomas Roßkopf-Nachbaur  
CAMPUS V · Stadtstraße 33, 6850 Dornbirn, Österreich  
T +43 5572 31202-0 · info@energieinstitut.at  
www.energieinstitut.at

**Partner**

Energieagentur Ravensburg gemeinnützige GmbH  
Michael Maucher, Anna Söder  
Energie- & Umweltzentrum Allgäu gemeinnützige GmbH  
Peter Andreas-Tschiesche, Felix Geyer, Johannes Adler  
Energieagentur St.Gallen GmbH  
Fabian Bannwart, Silvia Gemperle  
Universität Liechtenstein  
Robert Mair

**Redaktion**

Johanna Müller und Max Eiler

Dieses Buch entstand im Auftrag der  
Plattform Klimaschutz und Energie / Kommission Umwelt der  
Internationalen Bodensee-Konferenz IBK.  
Bücklestraße 3e, D - 78467 Konstanz  
www.bodenseekonferenz.org

Die Finanzierung wurde durch das Förderprogramm  
„Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein“ unterstützt.  
www.interreg.org

Alle Rechte vorbehalten © 2021 by  
Internationalen Bodensee-Konferenz IBK  
Energieinstitut Vorarlberg  
Energieagentur Ravensburg gemeinnützige GmbH  
Energie- & Umweltzentrum Allgäu gemeinnützige GmbH  
Energieagentur St.Gallen GmbH  
Universität Liechtenstein

**Gestaltung/Lithografie**

studio altenried · Bernd Altenried und Jonas Altenried  
www.almo.de

**Druck**

Holzer Druck+Medien, Weiler  
Klimaneutral gedruckt auf PEFC-zertifiziertem Papier

