Internationale Bodensee-Konferenz

Plattform Klimaschutz und Energie der Kommission Umwelt

Monitoring Low-Tech Pilotgebäude im Bodenseeraum (2021 - 2024)

aufbauend auf dem Interreg-Leuchtturmprojekt „Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche LowTech- Gebäude im Bodenseeraum“ (20215-2020)

Kurzfassung 2025

Monitoring Low-Tech Pilotgebäude im Bodenseeraum

- Kurzfassung 12.09.2025 -

Auftraggeber:

Plattform Klimaschutz und Energie
der Kommission Umwelt der Internationalen Bodensee-Konferenz
Vorsitzender: Dr. Manfred Harant | Sachgebiet 50 – Technischer Umweltschutz
Regierung von Schwaben I Fronhof 10 | D-86152 Augsburg | Telefon: +49 821 327-2599 |
E-Mail: manfred.harant@reg-schw.bayern.de

Geschäftsstelle der IBK | Bücklestraße 3e | D-78467 Konstanz | Postadresse Schweiz: Postfach 1914 | CH-8280 Kreuzlingen | Telefon: +49 7531 921 83-10 |
E-Mail: info@bodenseekonferenz.org | Internet: **www.bodenseekonferenz.org**

Auftragnehmer / Verfasser für den Inhalt verantwortlich:

Energieinstitut Vorarlberg

Thomas Roßkopf-Nachbaur
Energieinstitut Vorarlberg (EIV)
Stadtstraße 33 / Campus V
A - 6850 Dornbirn
Tel. +43 5572 31 202 - 0
info@energieinstitut.at

eza! Energie- und Umweltzentrum Allgäu

Felix Geyer
Energie- und Umweltzentrum Allgäu (eza!)
Burgstraße 26
D - 87435 Kempten (Allgäu)
Tel. +49 831 960286 – 10
info@eza-allgaeu.de

Ausgangslage

Klimaverträglich bauen, bei hohem Komfort mit möglichst wenig Technik – diesen Anspruch sollen Low-Tech Gebäude erfüllen. Sie sind als bewusster Kontrapunkt zur zunehmenden Technisierung von Gebäuden zu verstehen. Bei geringerer Komplexität soll dennoch ein möglichst niedriger Energieverbrauch erreicht werden.

Damit hat sich ein fünfjähriges Forschungsprojekt (2015-2020) befasst, das die Plattform Klimaschutz und Energie der Internationalen Bodensee-Konferenz (IBK) in Auftrag gegeben hat. Dabei wurden bestehende Gebäude analysiert sowie Pilotprojekte begleitet, um praxistaugliche Handlungsempfehlungen für Low-Tech Gebäude zu entwickeln. Kernelemente sind ressourcenschonende Bauweisen mit regionalen Materialien, minimale und robuste Gebäudetechnik, hohe Energieeffizienz, Nutzerfreundlichkeit, Lebenszykluskostenoptimierung und hoher Komfort. Es liegt dazu ein Abschlussbericht 'Low-Tech-Gebäude in der Bodenseeregion, Prozess - Planung – Umsetzung' sowie eine Fachpublikation 'Low-Tech-Gebäude: energieffizient und wenig Technik' vor.

Monitoring

Aufbauend darauf wurde seitens der IBK die Beauftragung eines Monitorings (2021-2024) von sechs Pilotgebäuden genehmigt mit dem Ziel, die Wirkungen des Interreg-Leuchtturmprojekts «Low-Tech Gebäude im Bodenseeraum» zu überprüfen und Aussagen zur Langzeittauglichkeit der getroffenen Massnahmen zu ermöglichen und gegebenenfalls zu verbessern. Im Endeffekt konnten vier Pilotgebäude über mehrere Heizperioden messtechnisch begleitet und analysiert werden. Ziel dieses Projekts war es, die bei den Pilotgebäuden umgesetzten Low-Tech Komponenten hinsichtlich Energieeffizienz und Behaglichkeit zu bewerten. Dazu wurde der generelle Endenergiebedarf des Heiz- und Warmwassersystems in Monatswerten gemessen und ausgewertet. Zusätzlich wurden Temperatur-, Feuchte- und CO_2-Messungen durchgeführt und ausgewertet. Folgende Projekte wurden messtechnisch untersucht und das Monitoring über mehrere Heizperioden gemacht:

P1: **Wien Süd VierHochZwei:** Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten, Beheizung über zentrale Luft-Wärmepumpe mit Betonkernaktivierung und dezentrale Wärmepumpenboiler, PV-Anlage (10 kWp).

P2: **Stallumnutzung Bechter:** Umnutzung eines ehemaligen Stalls zu Büro und Leuchtenproduktion, Kombination aus Eis-/Niedertemperaturspeicher, Geothermie, Solarthermie und Wärmepumpe, Lehmstampfboden mit integrierter Heiz-/Kühlfunktion, PV-Anlage.

P3: **Schulen Hittisau:** Generalsanierter und erweiterter Schulcampus mit Fernwärmeversorgung, unterschiedlichen Wärmeabgabesystemen, dezentraler und zentraler Warmwasserbereitung, Hybridlüftungskonzept und PV-Anlagen (insgesamt 170,5 kWp) innerhalb einer Erneuerbaren Energiegemeinschaft.

P4: **Kita Halde Nord / St. Martin:** Neubau im Passivhausstandard mit Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdkörbe), reduzierter Lüftungstechnik ohne Nachheizung, dezentraler Warmwasserbereitung und feststehendem Sonnenschutz durch Dachüberstände.

Allgemeine Projekterkenntnisse

- Eine hochwertige Gebäudehülle mit gut abgestimmtem Fensterflächenanteil ermöglicht niedrige Heiz- und Kühlverbräuche.

- Bei bekannten Nutzerprofilen (z. B. Schulen, Büros, Wohnbauten) lassen sich mit validierten Berechnungsverfahren sehr realistische Energieprognosen erstellen.

- Wichtig sind eine unabhängige Inbetriebnahmekontrolle und die Einregulierung über mehrere Heizperioden.

- Laufende Optimierungen (z. B. Abgleich von Prognose und realem Verbrauch, Anpassung der Regelungen, Definition von Soll-Raumtemperaturen, Monitoring zur Fehlererkennung) tragen wesentlich zur langfristigen Effizienz und zum Komfort bei.

- Projektbezogen konnte aufgezeigt werden, dass Energieeffizienz und Nachhaltigkeit auch bei Bestandsumnutzungen im ländlichen Raum sehr gut umsetzbar sind.

Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Low-Tech Komponenten grundsätzlich funktionieren und in Kombination mit einer ressourcenschonenden Bauweise eine benutzer-freundliche Lösungen aufzeigen. Dadurch liefern sie einen wichtigen Beitrag zur Resilienz und Lebenszyklustauglichkeit im Gebäudebereich.

Projekterkenntnisse im Detail

in den nachstehenden Projektbeschreibungen P1 bis P4 sind einige Abkürzungen enthalten:

WNF = Wohnnutzfläche

NGF = Nettogeschossfläche

WW = Warmwasser

PV = Photovvoltaik

WP = Wärmepumpe

NT = Niedertemperatur

MP = Messperiode

P1: Pilotgebäude Wien Süd VierHochZwei (EIV)

Standort: Theresienfeld, Österreich

Wohnnutzfläche: 547 m^2_{WNF}

Im dritten Betriebsjahr 2023 erreichte der gemessene Heizwärmeverbrauch mit 37,6 kWh/(m^2_{WNF}*a) nahezu exakt den prognostizierten Wert von 37,7 kWh/(m^2_{WNF}*a). In den ersten beiden Jahren lagen die Verbräuche aufgrund des zusätzlichen Energiebedarfs für die Austrocknung der Bauteilaktivierung noch höher (2021: 62,7 kWh/(m^2_{WNF}*a); 2022: 49,2 kWh/(m^2_{WNF}*a)). Die **Kombination aus effizienter Gebäudehülle und Bauteilaktivierung** ermöglicht sehr niedrige Heizwärmeverbräuche, die mit geeigneten Berechnungsverfahren zuverlässig prognostiziert werden können.

Die **dezentralen Wärmepumpenboiler** entnehmen Umweltwärme aus der Bauteilaktivierung: Im Winter wird die benötigte Wärme durch die zentrale Luft-Wärmepumpe bereitgestellt, im Sommer dient die Entnahme zur Kühlung. Die durchschnittliche Jahresarbeitszahl für die Warmwasserbereitung liegt inkl. zentralem Luft-Wärmepumpenanteil nur bei 1,37. Aufgrund der geringen Effizienz wird nur wenig Kühlenergie aus der Bauteilaktivierung entnommen (durchschnittlich 1,0 kWh/(m^2_{WNF}*a)). Die eingesetzten Wärmepumpenboiler (erste Ovum-Generation) sind kaum effizienter als Elektroboiler und weder für die Warmwasserbereitung noch für die Kühlung geeignet. Da es sich um ein unausgereiftes Produkt handelt, sind derzeit keine verlässlichen Aussagen zum Systemansatz möglich.

	Einheit	Soll Prognose	Ist (nicht witterungsbereinigt)			
			2021	2022	2023	2024
Endenergie Heizung inkl. Hilfsstrom	kWh/m^2_{WNF}	12,9	17,2	12,4	9,3	16,7
Endenergie WW inkl. Hilfsstrom	kWh/m^2_{WNF}	23,1	26,6	25,0	23,0	24,9
Kühlung inkl. Hilfsstrom	kWh/m^2_{WNF}	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Haushalts- und Allgemeinstrom	kWh/m^2_{WNF}	30,7	28,0	22,6	25,2	NV
PV-Ertrag	kWh/m^2_{WNF}	17,7	19,1	19,1	18,3	18,8
PV-Eigennutzung	kWh/m^2_{WNF}	16,7	13,9	11,6	10,7	NV

Tabelle 1: Endenergieverbrauch Gebäude – Soll-Ist-Vergleich 2021 bis 2024 (NV = nicht verfügbar)

Beim Endenergieverbrauch Heizung inkl. Hilfsstrom lag der Verbrauch 2021 aufgrund des höheren Heizwärmebedarfs über der Prognose. In den Jahren 2022 und 2023 entsprach der Verbrauch der angepassten Prognose bzw. lag teilweise darunter. Der Endenergieverbrauch Warmwasser inkl. Hilfsstrom war zunächst durch höhere Nutzwärmemengen und die geringere Effizienz der dezentralen Wärmepumpenboiler erhöht. 2023 entsprach der gemessene Verbrauch der Prognose. Die Prognose berücksichtigt die gemessene, mittlere Innenraumtemperatur des Gebäudes im Winterhalbjahr, die gemessenen Außentemperaturen und Globalstrahlung am Gebäudestandort, die geringere Effizienz der WP-Boiler und die höhere, gemessene Warmwassernutzwärme.

P2: Pilotgebäude Stallumnutzung Bechter (EIV)

Standort: Hittisau, Österreich

Nettogrundfläche: 623 m^2_{NGF}

Dank der effizienten Gebäudehülle lag der gemessene Heizwärmeverbrauch mit 32,2 kWh/(m^2_{NGF}*a) (2021), 25,6 kWh/(m^2_{NGF}*a) (2022) und 24,2 kWh/(m^2_{NGF}*a) (2023) jeweils deutlich unter dem prognostizierten Wert von 32,4 kWh/(m^2_{NGF}*a). Der niedrige Fensterflächenanteil von 26 % und die moderaten Sommertemperaturen führten zu sehr geringen Kühlverbräuchen: 0,8 kWh/(m^2_{NGF}*a) (2021), 1,5 kWh/(m^2_{NGF}*a) (2022) und 4,6 kWh/(m^2_{NGF}*a) (2023). Eine **hochwertige thermische Gebäudehülle und ein ausgewogenes Fensterflächenverhältnis** ermöglichen geringe Heiz- und Kühlverbräuche, die mit geeigneten Berechnungsverfahren gut prognostiziert werden können.

Die Temperaturen im **Niedertemperaturspeicher (NT-Speicher)** fielen durch das große Speichervolumen, die solare Regeneration, die geothermische Unterstützung und den geringen Wärmeentzug infolge der hohen Gebäudeeffizienz kaum unter 0 °C. Daher sind die Ergebnisse nicht direkt auf klassische Eisspeichersysteme übertragbar. Dennoch arbeitet das System aus Solaranlage, Geothermie, NT-Speicher und Wärmepumpe sehr effizient: Die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe lagen bei 5,7 (2021), 6,4 (2022) und 5,4 (2023). Der NT-Speicher kombiniert mit Solarthermie und Wärmepumpe ermöglicht eine hocheffiziente Gebäudeheizung im Winter und passive Kühlung im Sommer. Das Projekt zeigt, dass Energieeffizienz und Nachhaltigkeit auch bei Bestandsumnutzungen im ländlichen Raum sehr gut umsetzbar sind.

	Einheit	Soll Prognose	Ist (nicht witterungsbereinigt)		
			2021	2022	2023
Heizwärme	kWh	20.180	20.049	15.975	15.612
Solarertrag	kWh	9.788	10.848	7.908	7.307
WP Quelle	kWh	13.872	9.730	7.895	8.760
WP Senke	kWh	17.289	15.912	12.864	12.931
Kühlung	kWh	2.245	476	956	2.880
Strom WP	kWh	3.418	2.770	2.004	2.254

Tabelle 2: Endenergieverbrauch Gebäude – Soll-Ist-Vergleich 2021 bis 2023

Der Heizwärmeverbrauch entsprach 2021 der Prognose und lag 2022 und 2023 jeweils rund 20 % darunter. Der Nutzkältebedarf war 2021 und 2022 deutlich niedriger, 2023 etwas höher als prognostiziert. Der Stromverbrauch der Wärmepumpe lag in allen Messjahren deutlich unter der Prognose, bedingt durch den geringeren Heizwärmeverbrauch und die höhere NT-Speichertemperatur, die die Effizienz der Wärmepumpe steigerten. Für 2024 wurden keine vergleichbaren Endenergieverbräuche dargestellt, da durch eine Gebäudeerweiterung mit Estrichtrocknung stark erhöhte Verbräuche auftraten.

Die gemessenen Endenergieverbräuche für Heizung, Kühlung und Hilfsstrom liegen mit 3,8 bis 5,2 kWh/(m^2_{NGF}*a) deutlich unter den üblichen Verbrauchswerten vergleichbarer Bürogebäude mit Wärmepumpe, die zwischen 9,1 und 26,4 kWh/(m^2_{NGF}*a) liegen.

P3: Pilotgebäude Schulen Hittisau (EIV)

Standort: Hittisau, Österreich

Energiebezugsfläche: 7.688 m²

Aufgrund der **effizienten thermischen Gebäudehülle und einem ausgewogenen Fensterflächenanteil** ergibt sich sowohl bei den Neubauten (Baukörper MP und GH) als auch der Sanierung (Baukörper VS) ein sehr geringer, gemessener Heizwärmeverbrauch, welche deutlich unter dem prognostizierten Heizwärmebedarf der Prognoseberechnung liegen. Mit den passenden Berechnungswerkzeugen und realitätsnahen Randbedingungen lassen sich die Verbräuche gut prognostizieren.

Alle drei Baukörper verfügen über eine kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung und ein **Hybridlüftungskonzept**: Die mechanische Grundlüftung wird bei Bedarf durch manuell oder automatisch öffnende Lüftungsflügel ergänzt. Dieses Konzept führt zu einem sehr niedrigen Stromverbrauch der Lüftung. CO_2-Messungen in einem viel genutzten Klassenzimmer zeigen, dass rund zwei Drittel der Nutzungszeit gute und ein Drittel mittelgute Luftqualität herrscht. Das Hybridlüftungskonzept überzeugt sowohl hinsichtlich Energieeffizienz als auch Luftqualität. Im Sommer liegt die Luftfeuchtigkeit etwa zur Hälfte der Nutzungszeit über dem Idealbereich (40–60 % r. F.). Eine zusätzliche Entfeuchtung über ein gekühltes Register wäre nur für die mechanische Zuluft wirksam, nicht jedoch für die natürliche Zuluft über die Lüftungsflügel.

Die Auswertung der Lufttemperatur in zwei Klassenräumen der Volksschule über 9 Schulwochen (Mai bis Juli 2024) zeigt, dass nach Unterrichtsende die Temperaturen durch fehlende interne Lasten und Nachtauskühlung über die Lüftungsflügel effektiv abgesenkt werden. Während eines Großteils der Nutzungszeit lagen die Raumtemperaturen unter 24 °C. Der **sommerliche Wärmeschutz** funktioniert gut; die Nachtauskühlung über die Lüftungsflügel trägt wirksam zur Temperatursenkung bei.

	Einheit	Soll Prognose	Ist Messperiode 2
Endenergie Heizung Baukörper MP	kWh/(m²a)	17,0	15,0
Endenergie Heizung Baukörper VS	kWh/(m²a)	21,6	16,7
Endenergie Heizung Baukörper GH	kWh/(m²a)	30,6	19,1
Endenergie Warmwasser Baukörper GH	kWh/(m²a)	10,0	9,0
Hilfsstrom Lüftung Baukörper VS	kWh/(m²a)	2,1	1,8
Strom gesamt Schulen Hittisau	kWh/(m²a)	28,5	16,9
PV-Erzeugung Schulen Hittisau	kWh/(m²a)	22,0	18,8

Tabelle 3: Endenergieverbrauch Gebäude – Soll-Ist-Vergleich Messperiode 2 (01.12.2023 bis 30.11.2024)

In der zweiten Messperiode lagen die gemessenen Endenergieverbräuche für Heizung aller Baukörper unter den Prognosewerten. Messperiode 1 ist nicht dargestellt, da noch nicht alle Baukörper in Betrieb waren. Beim Warmwasserverbrauch im Baukörper GH (Gemeinschaftshaus mit Veranstaltungssaal im Erdgeschoss und zwei Turnhallen für Volks- und Mittelschule) stimmten berechnete und gemessene Werte gut überein, wenn der tatsächlich gemessene Warmwasserverbrauch in der Prognoseberechnung angesetzt wird. Auch der Hilfsstromverbrauch der Lüftung im Baukörper VS (Volksschule) entsprach den Prognosen bei angepassten Lüftungs-Betriebszeiten. Die PV-Erzeugung fiel in den Baukörpern GH und MP (Mittelschule und Polytechnische Schule) zeitweise geringer aus, da die Anlagen im April und Mai 2024 wegen Arbeiten am Gründach vorübergehend abgedeckt werden mussten.

P4: Pilotgebäude Kita Halde Nord / Kita St. Martin (eza!)

Standort: Kempten, Deutschland

Nutzfläche: 1.410 m^2_{NF}

Der Kindergarten wurde im **Passivhaus-Standard** errichtet, der tatsächliche Energieverbrauch liegt jedoch deutlich über der Prognose. Mit 40 – 45 kWh/(m²·a) bleibt der Verbrauch dennoch auf sehr gutem Niveau im Vergleich zu Neubauten nach GEG-Standard. Bei sehr gut gedämmten Gebäuden gewinnen Lüftungswärmeverluste zunehmend an Bedeutung. Durch die dauerhaft laufende, nicht korrekt eingestellte Lüftungsanlage sinkt die Gesamteffizienz spürbar. Zusätzlich mindert eine hydraulische Weiche die Effizienz der Wärmepumpe durch höhere Rücklauftemperaturen und häufigeres Takten; die Jahresarbeitszahl lag 2023 nur bei 2,7 (statt > 4). Empfehlungen zur Optimierung (Ausbau der Weiche, Einbau eines Pufferspeichers) wurden bislang nicht umgesetzt. Eine unabhängige Kontrolle und Einregulierung über mehrere Heizperioden wäre sinnvoll. Ein optimierter Betrieb könnte den Energieverbrauch der Kita St. Martin deutlich senken.

Durch die zentrale Zuluft-Einbringung in den Fluren konnte das Kanalnetz um 50 % reduziert und auf eine Nachheizung der Zuluft verzichtet werden, was die Investitionskosten der TGA senkte. Messungen in der Heizperiode 2022/2023 zeigten eine sehr gute Raumluftqualität, jedoch tendenziell zu niedrige Luftfeuchtigkeit durch den Dauerbetrieb der Lüftung. Nutzerbefragungen ergaben, dass sich die Flure nicht für längere Aufenthalte (z. B. als Spielflur) eignen. Die **Lüftungsanlage mit reduziertem Kanalnetz** funktioniert gut, erfordert aber wie jede Lüftungsanlage eine sorgfältige Einregulierung. Anforderungen an Sondernutzungen (z. B. Spielflure) sollten frühzeitig mit Bauherrn und Nutzern abgestimmt werden.

An der Südseite sorgen ein großer Dachüberstand über dem Obergeschoss und ein breiter Balkon über dem Erdgeschoss für festen Sonnenschutz und schaffen zugleich wettergeschützte Spielflächen im Außenbereich. Der **feststehende Sonnenschutz** verhindert wirksam eine sommerliche Überhitzung. Weder Raumtemperaturmessungen noch Rückmeldungen der Nutzer deuten auf eine übermäßige Aufheizung des Gebäudes hin.

	Einheit	Soll (22 °C)	Ist (nicht witterungsbereinigt)			
			MP 1	2022	2023	2024
Heizwärme	kWh/(m^2_{NF}*a)	18,3	54,4	40,6	44,6	29,0
Endenergie Heizung inkl. Hilfsstrom	kWh/(m^2_{NF}*a)	4,7	19,3	15,2	16,7	12,1
Endenergie WW inkl. Hilfsstrom	kWh/(m^2_{NF}*a)	19,2	4,3	4,3	4,3	4,2
Hilfsstrom Lüftung	kWh/(m^2_{NF}*a)	5,1	7,0	7,4	6,7	5,3
Betriebs- und Allgemeinstrom	kWh/(m^2_{NF}*a)	7,2	15,8	15,9	16,8	15,6

Tabelle 4: Endenergieverbrauch Gebäude – Soll-Ist-Vergleich Messperiode 1 (MP1: 01.07.2021 bis 30.06.2022), 2022, 2023 und 2024 (01.01.2024 bis 30.11.2024, kein vollständiges Jahr)

Der gemessene Heizwärmeverbrauch liegt deutlich über dem prognostizierten Wert, weil die Nachheizung der Küchenlüftung in der Berechnung nicht berücksichtigt wurde und die Lüftungsanlage ohne Zeitprogramm dauerhaft lief, was trotz Wärmerückgewinnung zu vermeidbaren Wärmeverlusten führte. Auch der Stromverbrauch der Lüftungsanlage liegt aufgrund des Dauerbetriebs über dem prognostizierten Wert. Der Stromverbrauch der Warmwasserbereitung hingegen ist deutlich niedriger als berechnet.