



Optimiertes Closed-Cavity Hybridfenster

Das Kastenfenster, respektive die CCF Fassade (Closed Cavity Facade), hat grosse Innovationsschritte hinter sich. Mit dem HyWin steht ein weiterer an. Dieses Hybridfenster wird den Energiebedarf des Glashochhauses deutlich reduzieren und den Komfort erheblich verbessern.

Der Energieverbrauch eines Hochhauses wird in erster Linie durch Konzeption und Qualität der Gebäudeaussenhülle bestimmt. Die Glasfassade weist diesbezüglich grosse Nachteile auf. Während sich in der klassischen Architektur Konstruktion und Materialien der Gebäudehülle über Generationen den lokalen klimatischen Bedingungen angepasst haben, fehlt dem Glashochhaus, bei allen architektonischen Vorzügen, diese Eigenschaft. Da beim Glashochhaus kein aussenliegender Sonnenschutz eingesetzt werden kann, gelangt energiereiche Sonnenstrahlung ins Innere des Gebäudes. Büro- und Wohnräume müssen mit Kühldecken oder überdimensionierten Klimaanlagen aufwändig konditioniert werden. Zudem muss im Winter der Kaltluftabfall entlang der Glasfronten durch entsprechende Massnahmen (z.B. verstärkte Heizleistung im Fensterbereich) kompensiert werden. Der Energieverbrauch von Glashochhäusern und deren CO₂- Fussabdruck steht damit im Konflikt mit den Klima- und Energiezielen unserer Gesellschaft.

Das Hybridfenster HyWin wurde in den vergangenen drei Jahren entwickelt und zum Patent angemeldet. Ob Sommer oder Winter, das Hybridfenster kann den Energiebedarf des Gebäudes in Kombination mit einem Speichermedium (z.B. Erdsondenfeld) deutlich reduzieren. Das HyWin-System basiert ausschliesslich auf bewährten Technologien und langlebigen Komponenten.

Das Hybridfenster HyWin

Das HyWin-Fenstersystem kann sich den klimatischen Bedingungen und damit den unterschiedlichsten Kombinationen von Außentemperaturen und Sonneneinstrahlung dynamisch anpassen (Tabelle 1). Jeder Quadrant verlangt ein unterschiedliches Verhalten der Fassade. Der Wechsel von einem zum anderen Quadranten kann sehr schnell oder träge erfolgen. Der Wechsel der Jahreszeiten erfolgt über Monate, der Tag- oder Nacht-Wechsel über Stunden und die Abschattung durch Wolken binnen Minuten.

	Niedrige Außentemperatur	Hohe Außentemperatur
Glasfassaden mit intensiver Sonneneinstrahlung	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Isolation gegen zu tiefe Außentemperaturen • Guter Sonnenschutz • Kontrollierte Einstrahlung zur Reduktion der Heizleistung 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr guter Sonnenschutz • Isolation gegen zu hohe Außentemperaturen
Glasfassaden im Schatten oder bei bedecktem Himmel	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Isolation gegen zu tiefe Außentemperaturen • Ausreichende Tageslichtstärke trotz Fenstern mit geringen g und TS Werten sicherstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolation gegen zu hohe Außentemperaturen • Ausreichende Tageslichtstärke trotz Fenstern mit geringen g und TS Werten sicherstellen

Tabelle 1: Darstellung der Anforderungen in vier Quadranten

HyWin – die innovative Lösung

Der HyWin Ansatz basiert, ähnlich wie die CCF, auf einem geschlossenen Glaskasten mit integrierter Sonnenschutzvorrichtung. Das HyWin System unterscheidet sich aber physikalisch und technisch grundsätzlich vom CCF Fenster.

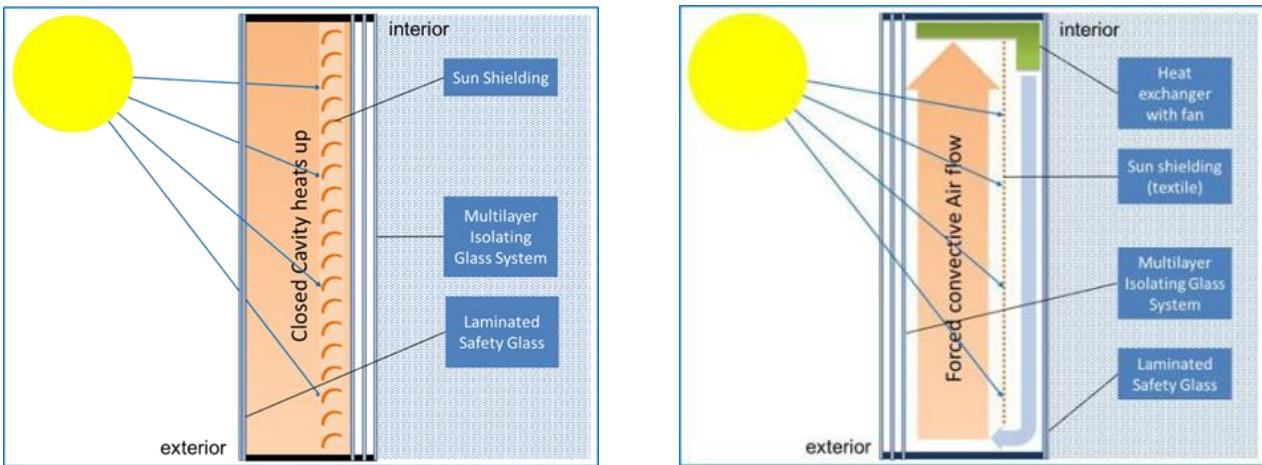


Abbildung 1 Vergleich des prinzipiellen Aufbaus des CCF (links) mit dem HyWin-Fenster (rechts)

	CCF	HyWin
Vorgehen	Die closed cavity facade (CCF) ist eine Weiterentwicklung der vorgehängten double skin Fassade (DSF).	HyWin (Hybrid Window) ist eine konsequente Neuentwicklung
Isolations-prinzip	Die hochisolierende <u>3-fach-Verglasung</u> liegt <u>auf der Innenseite</u> . Das Kastenfenster wird nur durch eine einfache Sicherheitsverglasung vom Aussenklima getrennt. Die CC-Temperatur kann deshalb bei Sonneneinstrahlung 80°C überschreiten. Alle Komponenten der Sonnenschutzeinrichtung müssen entsprechend temperaturfest sein.	Beim HyWin liegt die hochisolierende 3-fach-Verglasung <u>auf der Aussen- resp. Klimaseite</u> und entkoppelt die Closed Cavity optimal vom Aussenklima. Die innenliegende, einfache Sicherheitsverglasung hat eine hohe Wärmeleitfähigkeit und ermöglicht einen effizienten Heizbetrieb.
Wärmetauscher in der CC	Nicht sinnvoll und auch nicht erhältlich	Im Inneren der CC befindet sich ein hocheffizienter, kompakter <u>Wärmetauscher</u> der mit geräuscharmen Ventilatoren ausgestattet ist. Die durch Sonneneinstrahlung an der HyWin Sonnenschutzvorrichtung generierte Wärme wird über einen Wasserkreislauf abgeführt und zur <u>Regeneration</u> der Erdsondenfelder benutzt.
Regeneration im Sommer und Heizung		Im Winter reicht zur Heizung die natürliche Konvektion.
Effizienz	Trotz innenliegender 3-fach Verglasung gelangt bei überhitzter CC Wärme in die Nutzräume. Sie muss mit zusätzlichen Kühldecken oder überdimensionierten Klimaanlagen abgeführt werden. Im Winter ist in den Nutzräumen trotz 3-fach Verglasung eine Zusatzheizung notwendig.	Die Temperatur auf beiden Seiten der innenliegenden Sicherheitsverglasung bleibt immer im Bereich komfortabler Raumtemperaturen (U Wert Null). Zusätzliche Kühlvorrichtungen im Nutzraum sind überflüssig. Im Winter wird HyWin zur schnell regelbaren Niedrigsttemperatur-Flächen-Heizung.
Kondensation in der CC	Zur Vermeidung von Kondensation muss die CCF-Fassade hermetisch dicht sein und dauernd mit trockener Luft dauernd versorgt werden.	Da HyWin zum Innenklima staubdicht aber diffusionsoffen ist, besteht <u>kein</u> Kondensationsrisiko.

Tabelle 2: Gegenüberstellung CCF und HyWin

CC = Closed Cavity oder „geschlossener Kasten“

Mit dem kompakten, kaum sichtbaren Wärmetauscher und der Verlagerung der Dämmebene nach aussen gelingt es ein Fenstersystem mit dem U-Wert „Null“ zu realisieren. Ein das Sonnenlicht absorbierender resp. reflektierender Textilvorhang (Lichttransmissionsgrad im Bereich 4.....10 %) stellt die einfachste Sonnenschutzvorrichtung dar. Textilvorhänge oder Doppelrollos, letztere erlauben eine Steuerung der Lichttransmission, können mittels eines einzigen Elektromotors in Position gebracht und wieder aufgerollt werden. Um die auf- und absteigenden Luftströmungen wirksam zu trennen, sollte die Sonnenschutzvorrichtung einen hohen Luftwiderstand aufweisen. Dies lässt sich, falls nötig, auch mit einer zusätzlichen, UV-resistenten Klarsichtfolie erzielen. In Kombination mit einer derartigen Klarsichtfolie oder einer dritten Glasscheibe sind auch lamellenbasierte Vorrichtungen denkbar.

Wärmeleistung des HyWin-Fensterkollektors

Das Hybridfenster ist nicht nur ein transparentes Bauteil, sondern auch ein hocheffizienter thermischer Kollektor. Ausgehend von einer Isolierverglasung mit einem g-Wert von 0,5 und einer vertikalen Fassade, gelangen bei einer maximalen Sonneneinstrahlung von 700 W/m² etwa 350 W/m² in die Closed Cavity. Bei einer Vorlauftemperatur des Kühlmediums von 18 °C kann die eingestrahlte Energie mit dem eingebauten Wärmetauscher vollständig abgeführt und eine Raumtemperatur von 24 °C gewährleistet werden.

Im Sommer bietet sich ein Erdsondenfeld als Kühlmedium an. Erdsondenfelder sind heute europaweit Standard und werden über Wärmepumpen zur Heizung und zur Wassererwärmung eingesetzt. Erdsondenfelder mit Speichereffekt - Grundwasserfassungen haben keine Speicherwirkung - kühlen sich jedoch im Winter infolge Wärmeentnahme kontinuierlich ab. Um den Wirkungsgrad der eingesetzten Wärmepumpen sicherzustellen, müssen daher diese Erdsondenfelder im Sommer regeneriert werden. Dies kann mittels thermischen oder hybriden Kollektorsystemen auf den Dächern der Hochhäuser sichergestellt werden.

Das HyWin-Fenster hat den Vorteil, dass es mit der sommerlichen Überschusswärme das Erdsondenfeld vollständig regenerieren kann und dies ohne Zusatzkosten eines Kollektorsystems auf dem Dach. Diese Regenerierung ist nicht nur ein positiver Nebeneffekt, sondern ein wesentlicher Bestandteil des HyWin-Systemkonzeptes. Die im Fenster integrierten Wärmetauscher können mit der eingestrahlten Globalstrahlung den Speicher effektiv und ohne Mehrkosten regenerieren. Während die auf dem Hochhausdach zur Verfügung stehende Kollektorleistung unabhängig von der Stockwerkzahl konstant bleibt, liefert die HyWin Fassade eine zur Nutzfläche proportionale Leistung.

Um bei maximaler Sonneneinstrahlung von 700 W/m^2 (1000 W/m^2 auf senkrechte Fassade mit Sonnenelevation 45°) die Raumtemperatur auf 24°C zu halten, benötigen die Hybridfenster gemäss Simulationen und Verifizierung mit dem Versuchsfenster II, eine Differenz von 6 K zwischen Kühlkreis-Vorlauftemperatur und Soll-Raumtemperatur. Da der üblicherweise eingesetzte Wärmetauscher ebenfalls ein ΔT von $2..3 \text{ K}$ benötigt, sollte die Erdsonden-Vorlauftemperatur, um eine Raumtemperatur von 24°C sicherzustellen, nicht über $15...16^\circ\text{C}$ liegen. In diesem Fall kann das Hybridfenster ohne Zufuhr von Exergie, also ohne elektrische Energie für Wärmepumpen, betrieben werden. Bei höheren Erdsonden-Vorlauftemperaturen, müsste mit Hilfe der zu Heizzwecken sowieso vorhanden Wärmepumpe die HyWin Vorlauftemperatur auf 18°C reduziert werden. Da 700 W/m^2 einen Höchstwert darstellen, die SIA Normen sogar 26°C Raumtemperatur erlauben und 16°C Erdsonden-Vorlauftemperaturen kaum je erreicht werden, wird der Wärmepumpeneinsatz im Sommer in unseren Breitengraden kaum je nötig sein.

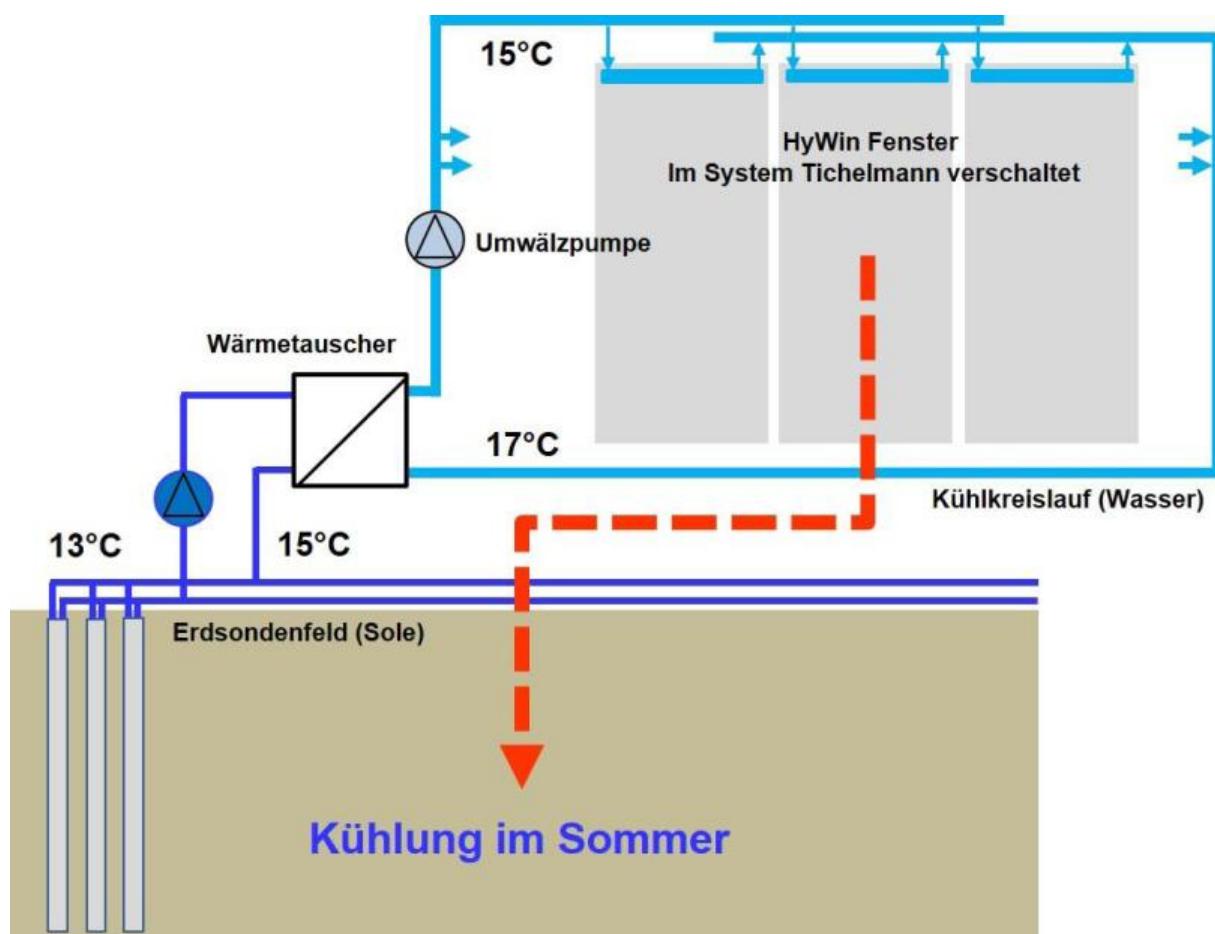


Abbildung 2: Hydraulisches Schema für den Sommerbetrieb

HyWin-Fenster als Heizung im Winter

Im Winter wird der Wärmetauscher mit Vorlauftemperaturen im Bereich von 24°C bis 28°C zum Radiator und kann, weil die innere Sicherheitsverglasung eine gute Wärmeleitfähigkeit hat, auch die

Funktion einer komfortablen und sehr schnell regelbaren Niedertemperatur-Flächen-Heizung übernehmen. Damit deckt HyWin vier Funktionen ab: Kühlung, Heizung, Sonnenschutzvorrichtung sowie Regenerierung des Anergiespeichers. Eine Verdunkelungsfunktion könnte ohne grosse Zusatzkosten mit einem dreiteilten Textilvorhang (Sonnenschutz – Klarsicht – Dunkelvorhang) realisiert werden.

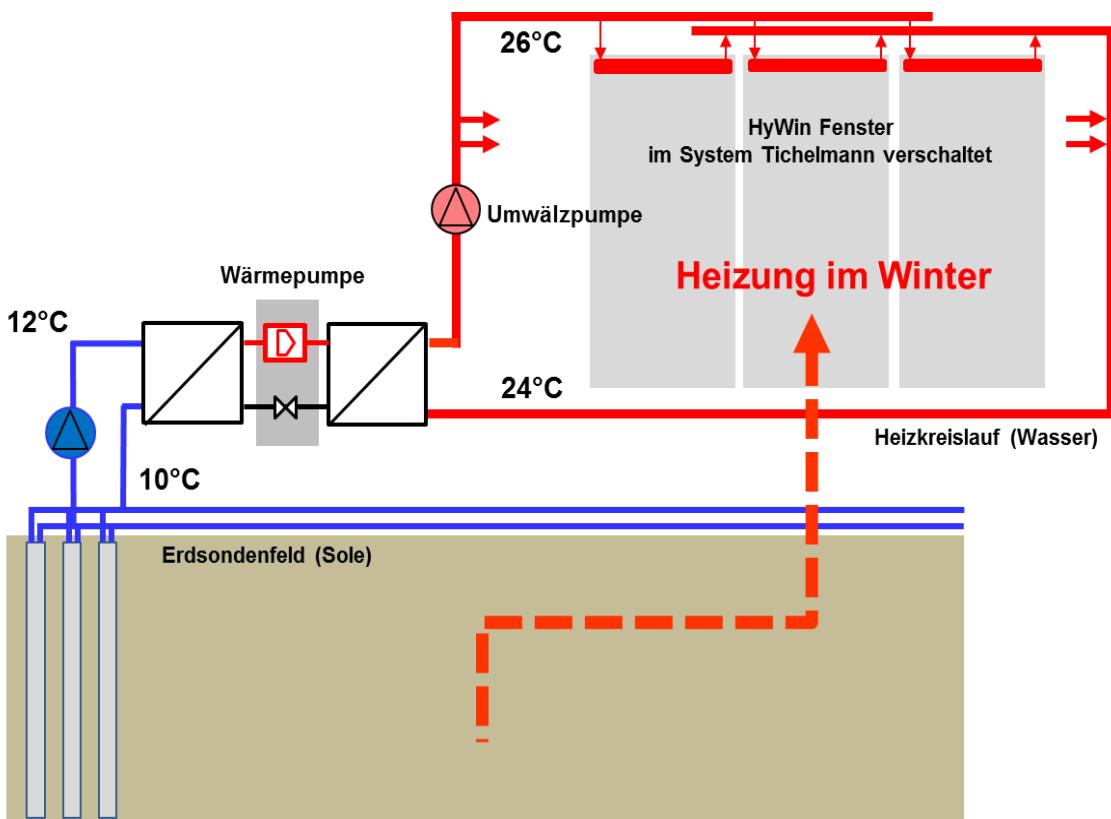


Abbildung 3: Hydraulisches Schema für den Winterbetrieb

Numerische Simulation und experimentelle Prüfung

Die von der Hochschule Luzern, Departement Technik & Architektur erstellte Simulation zeigte auf, dass das HyWin System die gestellten Anforderungen erfüllen kann. Allerdings zeigte sich sehr schnell, dass der Wärmeübergang an den Wärmetauscher-Kühlrippen im Bereich 10....20 W/m²K liegen sollte.

Mit dem 0.5 m² grossen Versuchsfenster II konnte bestätigt werden, dass bei einer mit Halogenstrahlern simulierten, unrealistisch hohen Sonneneinstrahlung von > 1'000 Watt pro m² Fensterfläche und bei einem g-Wert des Fensters von 0.5 (50 % der Globalstrahlung gelangt in den „Innenraum“) sowie einer Vorlauftemperatur des Kühlwassers von 16°C, die kalte Innenseite des Fensters immer auf 22° C gehalten werden kann (also 6 K wie bereits erwähnt).

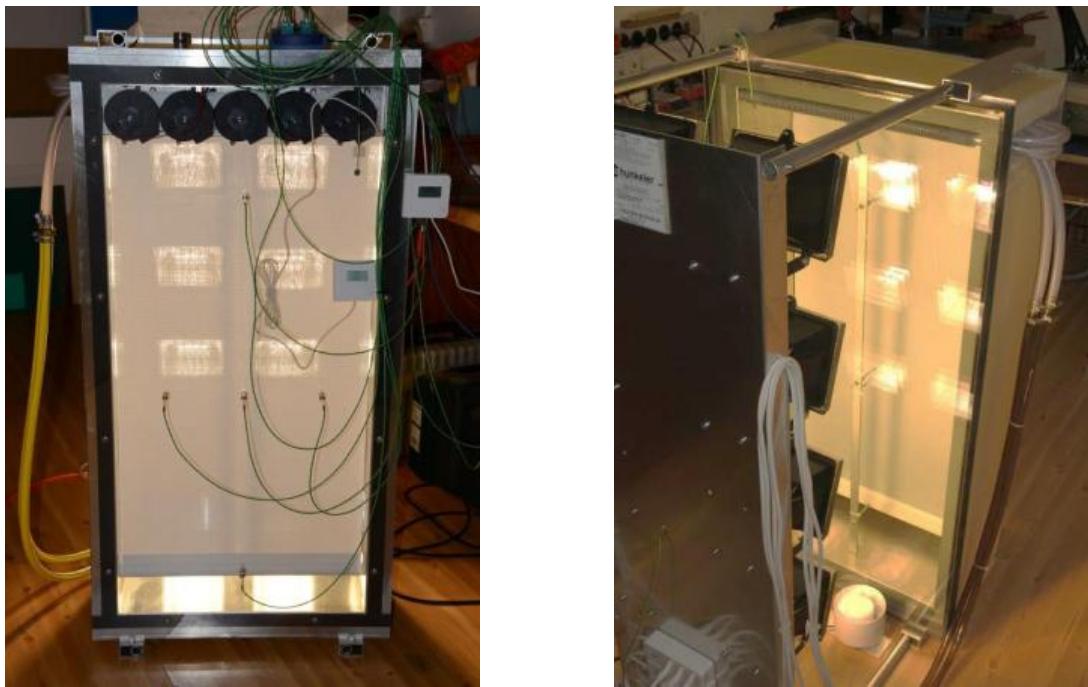


Abbildung 4: Versuchsfenster II. Links die raumseitige Einscheibenverglasung und rechts die mit Halogenscheinwerfern bestrahlte 3-fach Verglasung.



Abbildung 5: Bild links oben mit Umwälzpumpe, magnetisch induktivem Durchflussmesser und Temperaturdifferenzmessung (Pt 100), es folgen Bilder der Datenauswertung mit Laptop, Feuchtigkeitssensor, Wärmepumpe für Testläufe im Sommer und zwei 8 Kanal-Datenlogger

Das Verhalten einiger relevanter Parameter während eines Messzyklus zeigt die Abbildung 6. Im dargestellten Zyklus verharrt das Versuchsfenster während der ersten 5 Minuten im Ruhezustand (keine Bestrahlung und keine Kühlung), danach wird es während 50 Minuten, ohne gekühlt zu werden, der vollen Halogen-Bestrahlung ausgesetzt. Nach 56 Minuten wurde die Kühlung eingeschaltet (Wasserdurchfluss und Radialventilatoren) und damit die Wärme aus dem Fenster fast schlagartig abgeführt.

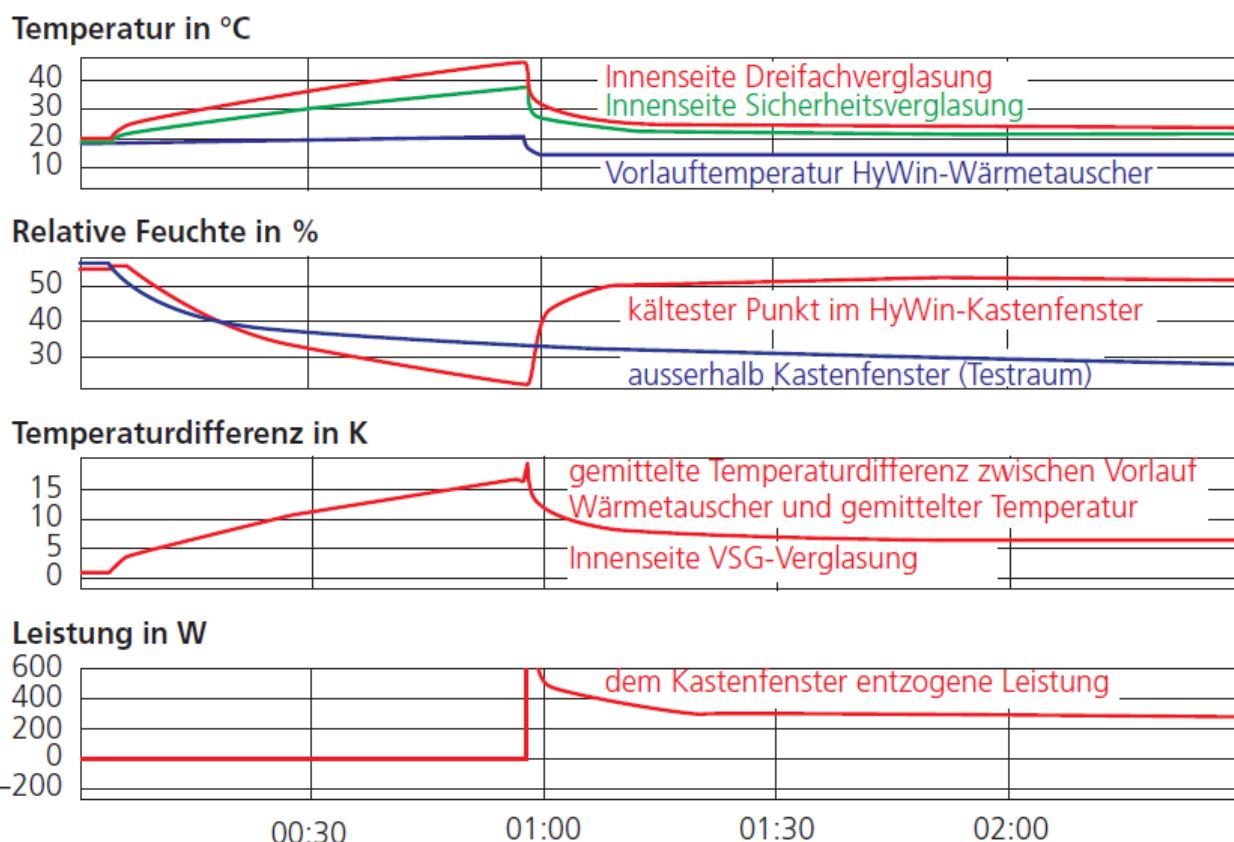


Abbildung 6: Darstellung von relevanten Messwerten des Versuchsfensters II (0.5 m^2) bei einer Globalstrahlung von $> 1000 \text{ W/m}^2$ (s. vorangehender Text)

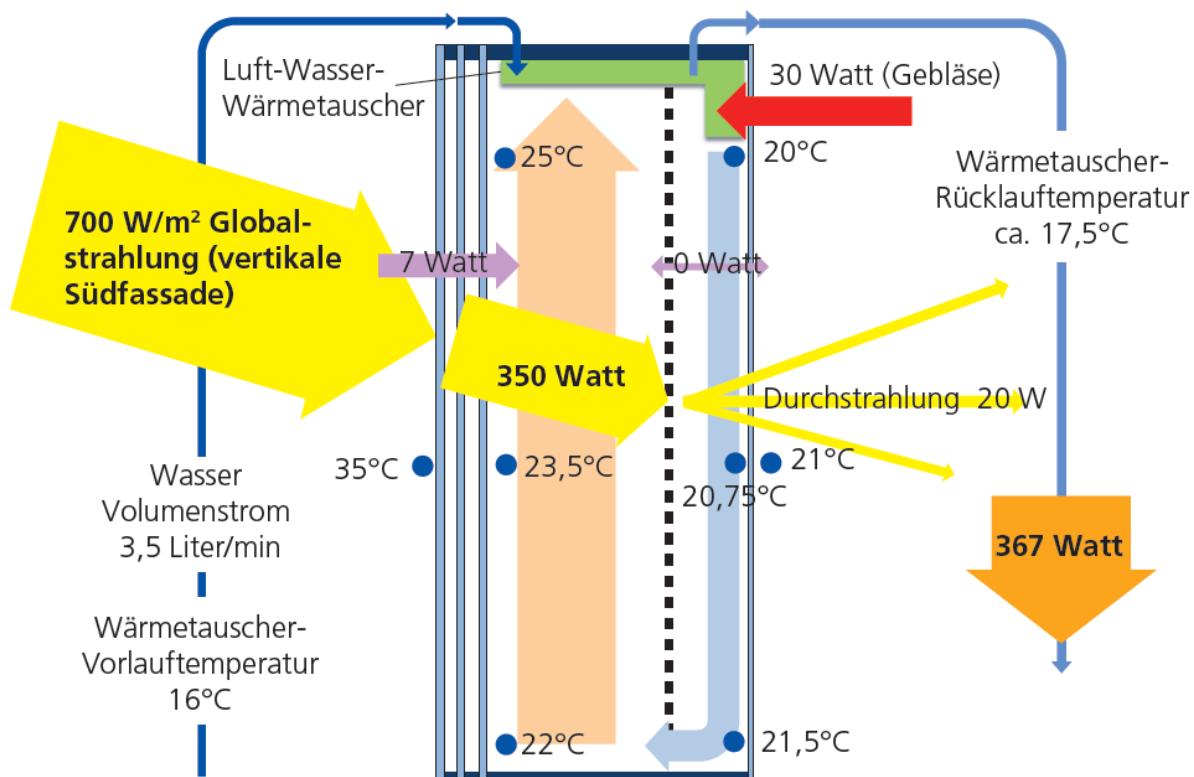


Abbildung 7: Energiebilanz eines 1 m^2 grossen HyWin Fensters bei 700 W/m^2 Globalstrahlung

HyWin-Konstruktion

Die Wärmetauscher werden gemäss diesem Konstruktionsvorschlag unsichtbar im Bereich der Betondecke eingebaut (Abbildung 8). Die technischen Einrichtungen sind von aussen (mit Fassadenlift), ohne dass Teile der Closed Cavity demontiert werden müssten, zugänglich. In dieser Variante wird als Sonnenschutzvorrichtung ein Doppelrollo mit varierbarer Lichttransmission eingesetzt. Weitere und für Betrieb und Unterhalt wesentlich effizientere konstruktive Varianten werden zurzeit entwickelt und geprüft.

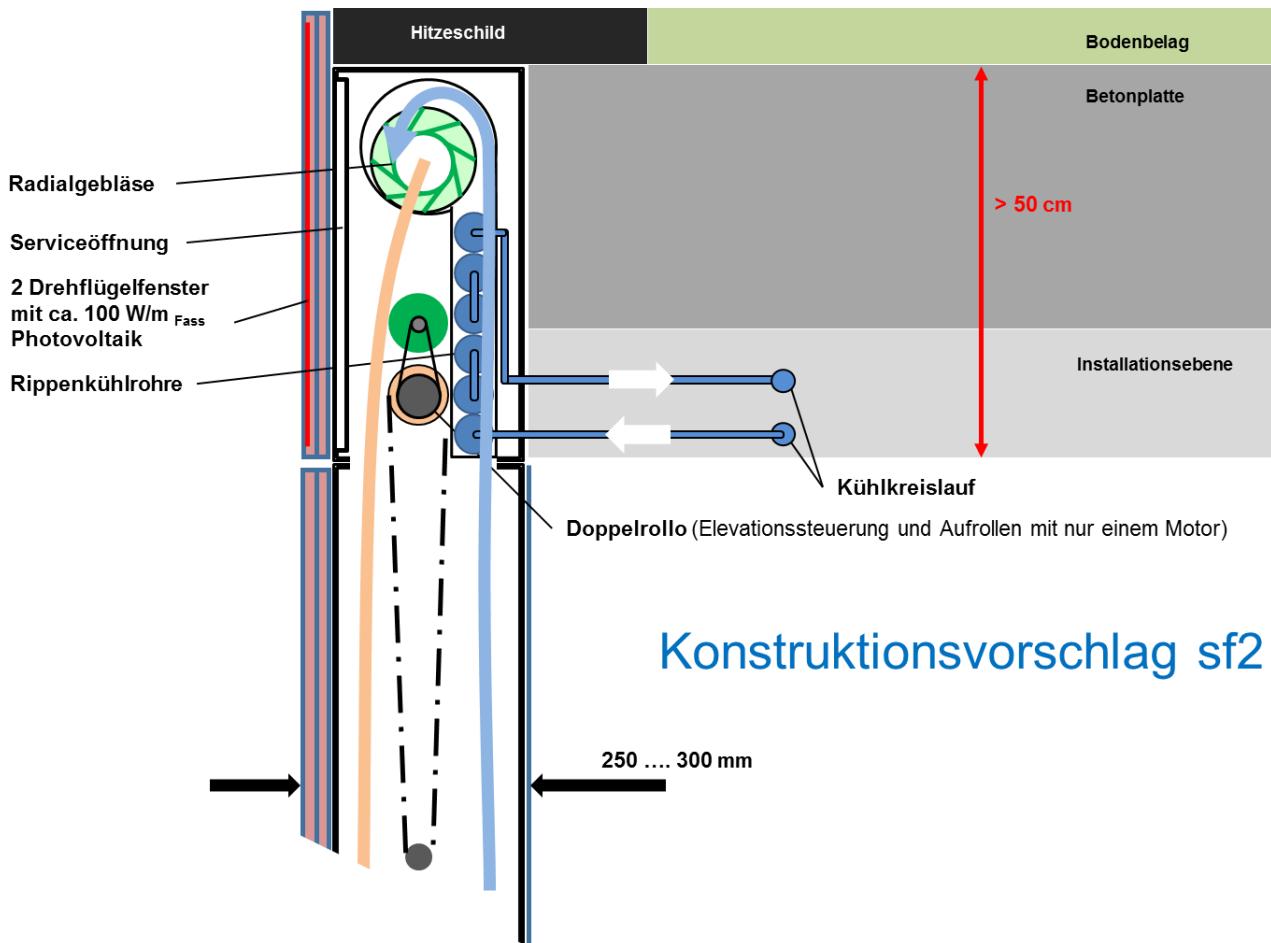


Abbildung 8: Die Luftströmungen in einer möglichen HyWin Konstruktion. Im Bereich der Betondecke sind die Rippenkühlrohre und darüber die Radialventilatoren sichtbar.

Wirtschaftlichkeit

Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit zeigen, dass der Verzicht auf folgende Komponenten die Mehrkosten des HyWin Fensters vollständig kompensieren:

- HyWin System ist ein Free-cooling-System. Das mit HyWin ausgerüstete Gebäude benötigt im Sommer weder Kühldecken, überdimensionierte Klimaanlagen noch Wärmepumpen.

- Das mit HyWin ausgerüstete Gebäude benötigt im Winter weder zu Heizzwecken umfunktionierte Kühldecken, Bodenheizungen, Radiatoren oder „heizende“ Klimaanlagen.
- Die Regeneration von Erdsondenfelder ist im HyWin System integriert. Sonnen- oder Hybridkollektoren auf Dächern oder Fassaden erübrigen sich.
- Die Klimaanlage und deren Luftdurchsatz kann wesentlich kleiner dimensioniert werden. Sie dient primär der Lufthygiene und muss nur noch die internen Wärmequellen (u.a. Personenabwärme) und die eingestrahlte Globalleistung (Tageslichtnutzung) im Bereich von 5 W pro m² Nutzfläche abführen.
- Auf die Versorgung der Closed Cavity Facade mit getrockneter Luft kann verzichtet werden. Es besteht kein Kondensationsrisiko.
- HyWin integriert mit Ausnahme der Klimaanlage alle HLK Funktionen und erlaubt eine optimale, dynamische und kostengünstige Steuerung aller Komponenten.
- Als Zusatznutzen liefert HyWin im Sommer aus den integrierten PV Modulen erneuerbaren Strom (30 Watt oder 30 kWh/a pro Laufmeter Fassade)

Der Unterhalt der Aussenfassade unterscheidet sich nicht von jenem normaler Glashochhäuser mit innenliegendem Sonnenschutz oder von CCF-Lösungen. Da alle HLK Funktionen im HyWin Hybridfenster integriert wurden, dürfte es dank ökonomischer und ökologischer Vorteile und trotz erhöhter Komplexität im Planungsprozess zur ernsthaften Konkurrentin aller Glashochhausfassaden werden.

Autoren

Claudio Meisser, Dipl. El. Ing. ETH/SIA, 6330 Cham

Dr. Jan Lipton, Dipl. Ing. ETH, Lipton & Partner GmbH, 8832 Wollerau
(Kontakt: lipton-partners@active.ch)