Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 22

Artikel: Messungen an neuartigem Erdregister
Autor: Widmer, Andreas / Huber, Heinrich
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79248

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Andreas Widmer, Bern, Heinrich Huber, Steinhausen

Messungen an neuartigem Erdregister

Im Bestreben, nicht-konventionelle Energien in der Hausklimatisierungstechnik zu nutzen, stehen heutzutage verschiedenste Technologien zur Auswahl. Alternativ zur Solarenergie steht das Energiepotential des Erdreiches zur Verfügung, dessen Eigenschaft, Wärme zu speichern, auf unterschiedliche Weisen ausgenutzt werden kann.

Die Erdreichtemperatur ist in einer Tiefe von zwei bis zu einigen Metern praktisch das ganze Jahr über konstant, sie beträgt im schweizerischen Mittelland rund 10 °C. Dieses Potential kann in der Lüftungs- und Klimatechnik direkt, das heisst ohne Wärmepumpe, ausgenutzt werden. Die Temperaturerhöhung bzw. -senkung erfolgt in einer Rohrleitung, welche wenige Meter unter der Erdoberfläche verlegt ist: im Winter wird die kalte Frischluft vorgewärmt und im Sommer die warme Umgebungsluft abgekühlt. Im Folgenden wird diese Installation zur Luftkonditionierung als Erdregister bezeichnet.

Erdregister zur Luftvorwärmung bzw. -kühlung zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Die technische Installation ist einfach (z.B. keine elektrischen Installationen mit Ausnahme eines Ventilators)
- Bei Neubauten lässt sich die Rohrleitung im Bereich des normalen Aushubes plazieren, zum Beispiel mit Vorteil in der Nachbarschaft von Sickerleitungen.
- Die Installation kann durch einen bereits am Bau beteiligten Handwerker (Baumeister, Sanitär- oder Lüftungsinstallateur) erfolgen, eine spezialisierte Firma muss nicht herbeigezogen werden.

Das untersuchte Erdregister

Im Zuge einer Geländeanpassung und der Aufstockung eines bestehenden Wohnhauses in Hanglage in Geroldswil (ZH) wurde ein neuartiges Erdregister (Bild 1) installiert. Dieses besteht aus einer 50 Meter langen Rohrleitung aus Chromstahlrohren mit einem Innendurchmesser von 150 mm und einer Wandstärke von 1,5 mm. Die Verlegungstiefe beträgt beim Frischluftansaugstutzen drei, beim Hause zwei Meter. Die Frischluft wird auf einer Höhe von 1,5 m über Boden angesogen. Die Leitung führt unter einem Teich durch, der so tief ausgelegt ist, dass er mit Sicherheit nicht bis auf den Grund durchfriert und damit die Erdreichtemperatur im Bereich des Teiches im kältesten Falle auf 4 °C sinken würde. Am Ende der Rohrleitung befindet sich ein Rohrventilator geringer Leistungsaufnahme, welcher den Transport der Frischluft gewährleistet. Die konditionierte Luft wird dann entweder direkt in die Wohnräume verteilt (Kühlluft im Sommer) oder aber der weiteren Erwärmungseinrichtung (im Winter) zugeführt. Um die wärmeleitende Oberfläche der Rohrleitung zu vergrössern, wurden die Rohre mit gelochten Chromstahlblechen versehen (Bild 2). Diese rund 1 Meter breiten Lochbleche wurden satt anliegend um die Rohre gelegt und längs vernietet, so dass der Wärmefluss Lochblech-Rohrwand gewährleistet war.

Die Rohrverbindungen wurden mit herkömmlichen gasdichten Rohrschellen ausgeführt.

Rohrdimensionierung

In geraden Rohrleitungen, bei denen die Länge viel grösser als der Durchmesser ist, spielen für die Reibungsverluste nur die Wandbeschaffenheit sowie die Strömungsgeschwindigkeit eine Rolle. Die glatte Oberfläche wurde durch die Wahl von Stahlrohren erzielt, aus Korrosionsgründen wählte man Chromstahl V2A. Die ökonomischste Strömungsgeschwindigkeit von kleinen Luftmengen liegt zwischen 1 und 2 m/s.

Für die vorliegende Anlage wurde bei einem Durchmesser von 150 mm ein Optimum gefunden, die gemessene mittlere Strömungsgeschwindigkeit liegt bei 1,7 m/s.

Messtechnik

Ziel der Messungen war die Erfassung jener Wärmemenge, welche der Luftstrom in der vorgegebenen Installation aufzunehmen bzw. abzugeben vermag. Dazu wurden drei mittlere Temperaturen sowie die relative Luftfeuchte am Ende der Leitung während mehreren Tagen bis einigen Wochen zu verschiedenen Jahreszeiten gemessen. Die Messdaten wurden mit einem Linienschreiber automatisch aufgezeichnet (Messfrequenz 2 Hz), anschliessend ausgewertet und grafisch dargestellt.

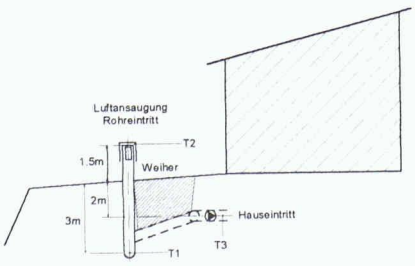
Messergebnisse

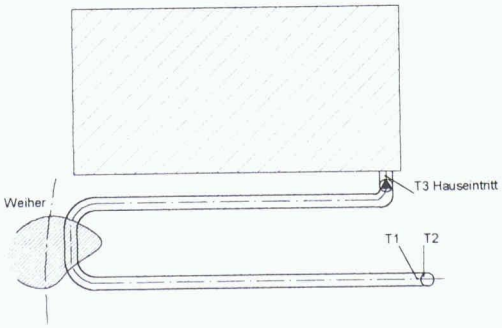
Messung 1

Die Messung 1 (Bild 4) erfolgte im Anschluss an eine längere Schönwetterphase mit warmen Temperaturen. Auf dem Ansaugstutzen war eine Haube aus schwarzem Kunststoff aufgesetzt, welche die Sonnenstrahlung absorbierte und damit die Aussenluft vorwärmte.

Die Temperatur am Hauseintritt weist einen nahezu linearen Verlauf auf:

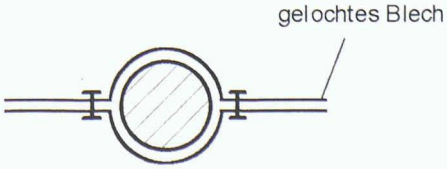
Die Umstellung von Schönwetterperiode mit hohen Temperaturen (Tageshöchst bei über 25 °C) auf Schlechtwetterperiode mit kühlen Temperaturen (Tageshöchst bei 13 °C) wird vom Erdregister weitgehend ausgeglättet. Der Temperaturrückgang erfolgt kontinuierlich mit einem nahezu konstanten Gradienten.





1
Schematischer Situationsplan (links)

2
Rohrquerschnitt mit Lochblech



▪

Die mittelfristige Stabilität, die Wärme-Speicherfähigkeit des Registers also, ist gross: Ab Mittag des 22.6.96 beispielsweise lag die Temperatur T1 für 24 Stunden bei durchschnittlich 11 °C. In diesen 24 Stunden nahm die Temperatur T3 am Hauseintritt um nur 1 K von 18 °C auf 18 °C ab.

Das Erdregister manifestierte somit eine bemerkenswerte Temperaturstabilität.

▪

Die Tag/Nacht-Schwankungen sind gering: Im Extremfall (19.6.96) betrug die Temperaturspannweite am Registeranfang 9 K, am Hauseintritt betrug die Temperaturdifferenz gleichzeitig nur noch 1 K.

Das Erdregister zeichnet sich also durch eine gute Dämpfung der Tag/Nacht-Schwankungen aus.

Messung 2

Die Messung 2 (Bild 5) fand in der 2. Augusthälfte 1996 statt. Die Hitzeperiode im Juli 1996 wurde von einem etwas kühleren August gefolgt, Erdregister und umgebendes Erdreich waren also durchwärmt.

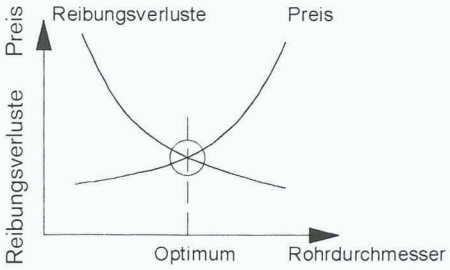
An Stelle der schwarzen Kunststoffhaube wurde am Ansaugstutzen ein Deckel aus reflektierendem Blech aufgesetzt, der als annähernd weisser Strahler die Strahlungsenergie der Sonne weitgehend reflektiert und sich daher nicht namhaft erwärmen sollte. Die Temperatur T2 unter der Haube und die Temperatur T1 am Rohreintritt unterschieden sich dank dieser Haube nur um maximal 3 K. Die Messung von T2 brach am 22.8.96 infolge Schreiberversagens ab.

▪

Die Temperatur T3 am Hauseintritt lag über die ganze Messperiode von 12 Tagen bei durchschnittlich 19 bis 20 °C. Auch wenn im letzten Messdrittel die Aussenlufttemperatur T1 praktisch immer unter der Austrittstemperatur T3 lag, war keine markante Abkühlung des Registers zu verzeichnen. Das Register weist also auch bei höheren Aussentemperaturen eine gute Stabilität auf.

▪

Die starken Tag/Nacht-Schwankungen von ± 5 K im Messpunkt T1 wurden vom Erdregister im Schnitt auf kaum spürbare ± 0,5 K, am 19.8.96 im schlechtesten Fall auf ± 1 K abgedämpft.



3
Einflussgrössen der Rohrdimensionierung

Messung 3

Die Messung 3 (Bild 6) erfolgte im Herbst 1996 bei vorwiegend nebligem Wetter. Es war wieder die schwarze strahlungsabsorbierende Haube aufgesetzt.

Die Erdreichtemperatur hat sich in den vierzig Tagen seit Ende der Messung 2 um etwa 5 K abgekühlt.

▪

Die mittlere Eintrittstemperatur T1 (Umgebung) lag in dieser Messperiode bei

Messparameter

Temperatur 1
Temperatur am Eintritt in die Rohrleitung (Eingang Erdregister)

Temperatur 2
Temperatur unter der Ansaughaube (der Witterung ausgesetzt)

Temperatur 3
Temperatur am Ende der Leitung nach dem Ventilator (Hauseintritt)

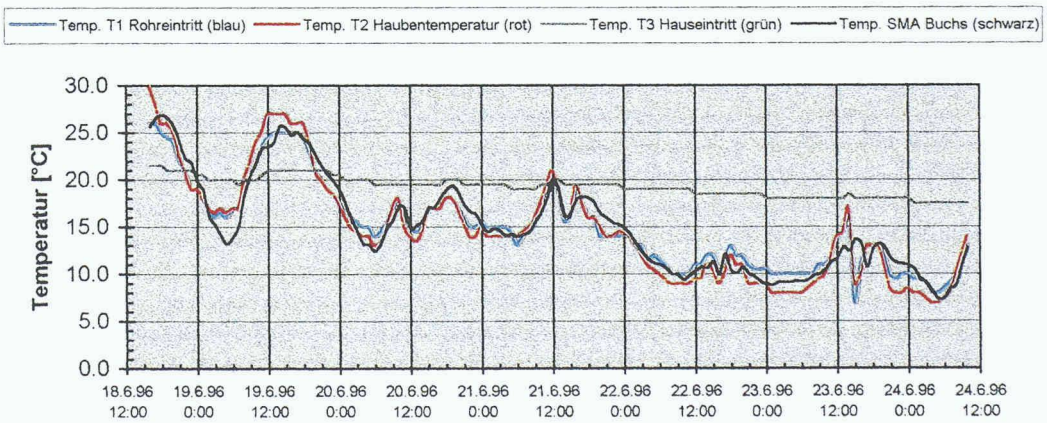
Relative Feuchte
Relative Feuchte am Ende der Leitung nach dem Ventilator (Hauseintritt)

Messgeräte

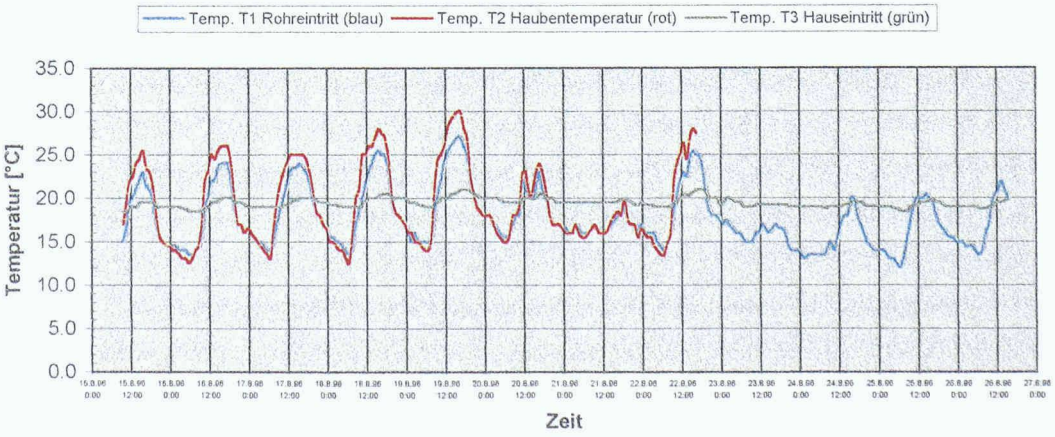
Registriergerät
Endress+Hauser; alphalog; 4-Kanal-Hybridschreiber

Temperaturmessung
Pt100-Temperatursonden

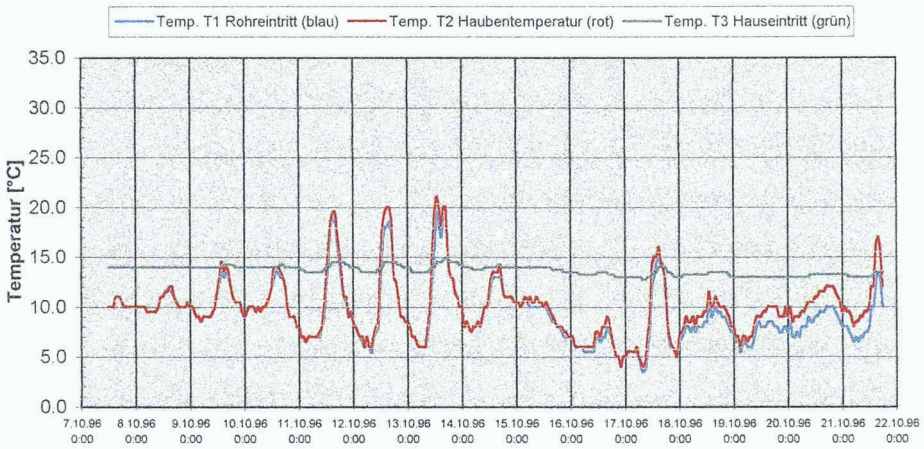
Relative Feuchte
Scimarec FH-S1



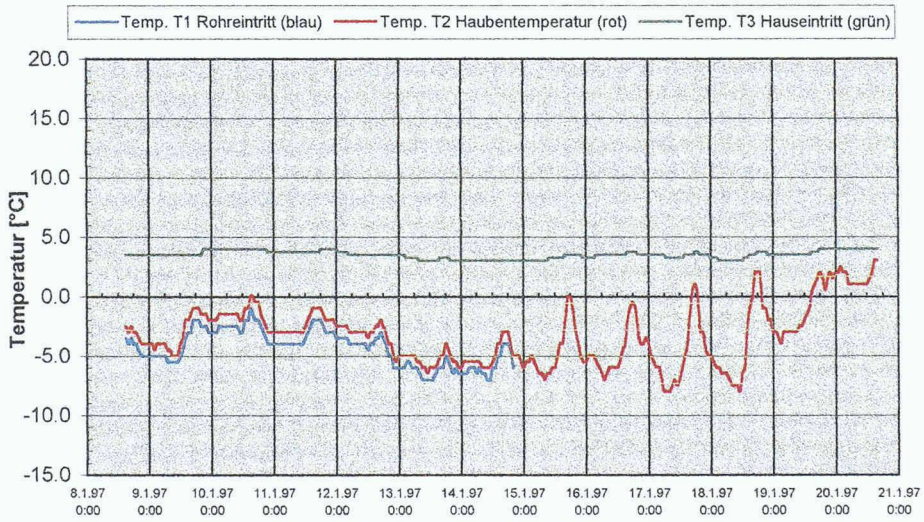
4
Temperaturverlauf der ersten Messung



5
Temperaturverlauf der zweiten Messung



6
Temperaturverlauf der dritten Messung



7
Temperaturverlauf der vierten Messung

rund 10 °C, die mittlere Temperatur T3 am Hauseintritt sank lediglich von 14 °C auf 13 °C.

▪

Die stark ausgeprägten Tag-/Nachtspitzen am 11., 12., 13. und 17.10.96 von bis zu ± 6 K (absolute Temperaturdifferenz von 12 °C) wurden vom Erdregister auf maximal ± 0,75 K abgedämpft. Blieben die Tageshöchstwerte deutlich unter dem mittleren Wert T3, zeigte diese kaum Schwankungen (19.-22.10.96).

Messung 4 – Winterbetrieb

Die vierte Messung (Bild 7)erfolgte Mitte Januar 1997 im Anschluss an eine mehrwöchige Kälteperiode mit Temperaturen um -10 °C. Am Ansaugstutzen war die strahlungsabsorbierende schwarze «Winterhaube» montiert, welche aufgrund des andauernden Nebels kaum einen Beitrag an den Wärmehaushalt liefern konnte.

Die Messung von T1 brach am 14.01.97 infolge Schreiberversagens ab.

▪

Die mittlere Hauseintrittstemperatur T3 lag auch am Ende der dreiwöchigen Messperiode bei +3,5 °C, ungeachtet der starken Minustemperaturen der Umgebung.

▪

Die ausgeprägten Tag/Nacht-Schwankungen vom 15. bis 19.1.97 wurden vom Erdregister ausgeglättet, es resultierten nur Schwankungen von ± 0,5 K.

▪

Das System hat mit diesen 3,5 °C seine tiefstmögliche Temperatur erreicht.

Energiebetrachtung – Leistungszahl ε

Heizbetrieb:

Eckdaten:

Nominale Leistungsaufnahme Ventilator $P_{V\,nom}$: 50 [W] (Typenschild)

Volumenstrom $\dot{V}$: 123 [m³/h]

Max. Temperaturerhöhung ΔT: 13,5 [K]

Die maximale thermische Leistung beträgt bei einer Temperaturdifferenz von 13,5 K rund $\dot{Q}$ = 530 W.

Die Leistungszahl $\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{P_{V\,nom}}$

wird damit zu ε ≅ 10 [ ].

Während der 290 Stunden dauernden Messung wurden insgesamt 324 MJ thermische Energie gewonnen, was eine mittlere tägliche Einsparung von 26,8 MJ (=7,45 kWh) ergibt. Dies entspricht einer täglichen Einsparung von etwa 0,75 l Heizöl.

Kühlbetrieb:

Die Energieausbeute im Kühlbetrieb ist nicht so hoch. Die maximale Kühl-Leistungszahl $\varepsilon_{Kühlen}$ betrug 7,1.

Behaglichkeit

Im Sommer vermochte das Erdregister im Haus ein angenehm kühles Klima zu schaffen, die Temperatur war nahezu konstant, was zu zusätzlicher Behaglichkeit verhalf. Die Luftfeuchtigkeit lag immer im angenehmen Bereich, Feuchtigkeitsprobleme in gefangenen Räumen traten nach definierter Zuführung von Frischluft aus dem Erdregister nicht mehr auf.

Im Winter stellte sich folgendes Problem: Die bereits trockene Aussenluft wurde im Erdregister ohne Feuchtezuführung erwärmt, was die relative Feuchte senkte. Die zusätzlich nötige weitere Erwärmung der Frischluft im Hausinnern senkte die relative Feuchte auf weit unter 30%, was eine separate Befeuchtung und Ionisierung der Raumluft unumgänglich machte.

Zu keinem Zeitpunkt hatten die Bewohner unangenehme Düfte oder Gerüche in der Luft aus dem Erdregister wahrgenommen.

Allgemeine Bemerkungen zur Anwendung von Erdregistern

Komfort und Energie

Je nach Art der Luftführung in einem Raum sind Zulufttemperaturen zwischen 16 und 20 °C ideal. Um die vorkonditionierte Luft auf die Wunschtemperatur zu erwärmen oder zu kühlen, sind neue Lüftungsanlagen meist mit einer Wärmerückgewinnungsanlage ausgestattet. Diese Wärmerückgewinnung und ein Erdregister können sich konkurrieren, die geeignete Kombination ist anlagenspezifisch zu ermitteln.

Dimensionierung von Erdregistern

Die Wärme- und Kühlleistung eines Erdregisters hängt stark von den geologischen Gegebenheiten ab (z.B. Bodenmaterial, Feuchtigkeit, Grundwasser usw.). Demzufolge gibt es heutzutage für die

Dimensionierung solcher Erdregister keine einfachen und zugleich genauen Auslegungshilfsmittel. Wenn die Wärme- und Kühlleistung genau berechnet werden muss, dann ist der Beizug eines Spezialisten zu empfehlen, der über entsprechende Kenntnisse verfügt. Bei einfacheren Anwendungen wie Wohnbauten genügt in der Regel eine Dimensionierung basierend auf Erfahrungswerten aus Messungen an bestehenden Anlagen.

Einsatzmöglichkeiten

Wenn eine Lüftungsanlage keine oder nur geringe Kühlaufgaben zu erfüllen hat, so ist eine gute Wärmerückgewinnung (Wirkungsgrad > 90%) mit einem knapp dimensionierten Erdregister zu kombinieren. Die Auslegung des Erdregisters kann dann so erfolgen, dass die Aussenluft immer auf mindestens -2 °C erwärmt wird. Somit muss dann die Leistung der Wärmerückgewinnung nie reduziert werden, um eine fortluftseitige Vereisung zu vermeiden.

Wird mit der Lüftung neben der Lufterneuerung auch eine Kühlung angestrebt, sollte das Erdregister grosszügig dimensioniert sein, dafür kann eine Wärmerückgewinnung mit tiefem Wirkungsgrad (z.B. 50-70%) eingesetzt werden. Bei solchen Anlagen wird die Wärmerückgewinnung im Sommer über einen Bypass umfahren.

Eine spezielle Art der Wärmerückgewinnung sind Abluftwärmepumpen, welche die zum Beispiel im Wohnbereich gewonnene Wärme zur Wassererwärmung nutzen. Erdregister in Kombination mit derartigen Abluftwärmepumpen sollten grosszügig dimensioniert werden.

Zusammenfassung

Das untersuchte Erdregister zeigte bei allen Messungen sowohl im Sommer- als auch im Winterbetrieb eine grosse Temperaturstabilität und Trägheit. Dies ist nicht selbstverständlich, da die Anlage infolge Hanglage kaum durch Grundwasser beeinflusst wird. Die Messungen lassen zudem erkennen, dass die metallische Konstruktion mit Wärmeleitlamellen sowie die Berücksichtigung strömungstechnischer Erkenntnisse erfolgreich ist.

Adresse der Verfasser:
Andreas Widmer, dipl. Masch.-Ing. HTL, Bühlstrasse 27, 3012 Bern (dieser Artikel wurde im Rahmen der Tätigkeit an der HTL Brugg-Windisch verfasst); *Heinrich Huber*, dipl. Ing. HTL/HLK, Antongasse 4, 6312 Steinhausen

Pilot- und Demonstrationsanlagen des Bundes und der Kantone
Othmar Humm, Zürich

Wohnsiedlung nach ökologischen Gesichtspunkten

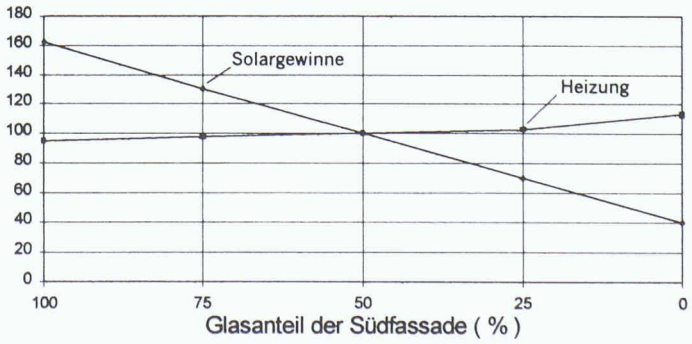
Chienbergreben, eine Siedlung mit 17 Wohneinheiten, verbindet eine energetisch und ökologisch orientierte Bauweise mit hohem Wohnkomfort. Im Vergleich zu konventionellen Bauten verbraucht die Überbauung weniger als die Hälfte an Energie, die zudem aus umliegenden Wäldern stammt. Verbesserte Wärmedämmung, Holzschnitzelfeuerung, mechanische Lufterneuerung und Regenwassernutzung heissen die Stichworte dazu.

Die Siedlung Chienbergreben liegt an einem Südhang nördlich von Gelterkinden auf einem Grundstück von 4539 m² und 440 m über Meer; sie umfasst insgesamt 17 Wohneinheiten, nämlich acht Doppeleinfamilienhäuser - in vier Gebäuden - und neun Wohnungen in drei Mehrfamilienhäusern. Die sieben Bauten bilden einen Innenhof, einen halböffentlichen, von aussen kaum einsehbaren Raum. Das Gefälle des Terrains von 18% ermöglicht einen Höhenunterschied zwischen der südlichen und der nördlichen Hauszeile von rund 5 m, was etwa anderthalb Geschossen entspricht. Keller und Dachgeschoss eingerechnet, sind die Wohnhäuser durchwegs viergeschossig.

Aussen leicht, innen schwer

Leichte Holzschalen in Rahmenbauweise, kombiniert mit 18-cm-Betondecken, stehen auf ebenfalls betonierten Kellergeschossen: Chienbergreben ist eine typische Mischbauweise, ein Kompromiss zwischen dem Aufwand an grauer Energie - zur Herstellung der Materialien - und der wünschbaren Speichermasse für guten Wohnkomfort und zur passiven Nutzung von Solarenergie. Dächer und Aussenwände sind einheitlich mit 26 cm Mineralwolle gedämmt, was einen k-Wert von 0,15 W/m² K ermöglicht. Noch vor einigen Jahren hätte man Chienbergreben als Sonnensiedlung bezeichnet. Der Begriff ist - zumindest was die Energiebilanz anbelangt - missverständlich. Denn der relevante Beitrag zum niedrigen Energiebedarf stammt aus der Reduzierung der Transmissionswärmeverluste und nicht von der Sonne. Die Südfenster von Chienbergreben sind energieneutral, die Verluste sind - über die ganze Heizperiode gerechnet - gleich gross wie die (nutzbaren) Strahlungsgewinne. Die Veränderung der Südfensterfläche ist also nur insofern von Belang, als mit sinkender Fensterfläche die

1
Gebäudedaten von «Chienbergreben»

Beheizte Kubatur (netto)	5 830 m³
Kubatur nach SIA	10 728 m³
Energiebezugsfläche (EBF)	2902 m²
Gebäudehüllfläche (A)	
▪ effektiv	5 013 m²
▪ bewertet	4 385 m²
Gebäudehüllenziffer (A/EFB)	1,51

2
Heizenergiebedarf (%) in Abhängigkeit des Glasanteiles in der Südfassade (%). Quelle: [1]