Energie- und Bauphysik-Konzept des neuen Berghauses Jungfraujoch

Autor(en): **Wyss, Andreas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **83 (1992)**

Heft 7

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902813

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Energie- und Bauphysik-Konzept des neuen Berghauses Jungfraujoch

Andreas Wyss

Bei der Projektierung des neuen Berghauses Jungfraujoch wurde speziellen Wert auf ein optimiertes Energie- und Bauphysik-Konzept gelegt. Nach über vier Jahren Betriebserfahrung können die ursprünglichen Annahmen und Erwartungen an das Konzept überprüft werden. Anschliessend an eine kurze Erläuterung der wesentlichen Elemente dieses Konzeptes werden sie im vorliegenden Artikel mit den inzwischen gemachten Erfahrungen verglichen.

Lors de l'élaboration des plans de la nouvelle construction sur le Jungfraujoch, l'optimisation du concept énergetique et de la physique du bâtiment a bénéficiée d'une attention toute particulière. Après plus de quatre ans d'expérience d'exploitation, les suppositions et attentes du début ont pu être vérifiées. Dans cet article, les éléments essentiels de ce concept seront brièvement expliqués puis comparés aux expériences faites entretemps.

Adresse des Autors
Dr. *Andreas Wyss*, dipl. Ing. ETH, Institut Bau und Energie, Höheweg 17, 3006 Bern.

Dass heute für jedes grössere Bauvorhaben ein Energie- und Bauphysik-Konzept erstellt werden soll, ist allgemein bekannt. Wer aber einen Bau an exponierter Lage auf 3500 Meter Höhe projektieren darf, dem werden die Anforderungen und auch der Nutzen eines solchen Konzepts deutlich vor Augen geführt.

In einer ersten Phase gilt es in solchen Fällen, die in den Normen und durch die Tradition bestimmten *raumklimatischen Anforderungen* auf ein vertretbares Minimum zu reduzieren; denn überflüssige Ansprüche und Sicherheiten kosten viel und nützen nichts! Dann gilt es, das *Aussenklima über das ganze Jahr* möglichst detailliert zu erfassen. Auf dieser Grundlage kann dann die Gebäudehülle derart gestaltet und dimensioniert werden, dass die Umweltbedingungen so weitgehend wie möglich ausgenützt werden können.

Die optimale gegenseitige Abstimmung der Haustechnik und der Gebäudehülle ergibt ein Gebäudesystem mit minimalen Investitions- und Betriebskosten sowie maximaler Betriebssicherheit. Im Falle des Berghauses Jungfraujoch zeigte diese Optimierung, dass durch die spezielle Entwicklung eines Fassaden-Fenstersystems der Baufortschritt bedeutend erleichtert und gleichzeitig die Heizungs- und Lüftungsanlagen wesentlich vereinfacht und verbilligt werden konnten.

Das *Energie- und Bauphysik-Konzept* setzte beim Berghaus Jungfraujoch die Richtlinien für die Konstruktion der Fassade wie auch für die Planung der Haustechnik-Anlagen. Die Projektierung wurde vom Bauphysiker und vom Energieingenieur begleitet, was die Gewähr bot, dass der Inhalt des Energiekonzeptes auch verstanden und in die Praxis umgesetzt wurde. Die fertiggestellte Anlage wurde vom Energieingenieur abgenommen, ausgemessen und einreguliert. Das gute Resultat war die Entschädigung für diese Sorgfalt:

- Die Baukosten konnten reduziert werden, so dass die Bauabrechnung unter dem Kostenvoranschlag abschliessen konnte.
- Im Jahr nach der Inbetriebnahme lag der Energieverbrauch bereits unter dem Zielwert.
- Die Einregulierung der Anlagen nach der Probephase hat den Energieverbrauch nochmals um 20% gesenkt, und der totale Energiebedarf liegt heute bei 500000 kWh/a. Das ergibt eine Energiekennzahl von 410 MJ/m^{2}a; der Zielwert der SIA 380/1 beträgt mit Höhenkorrektur 750 MJ/m^{2}a.
- Dank einem einfachen und robusten Gebäudeleitsystem ist die Betriebssicherheit der Anlage sehr hoch, und dank der soliden Konstruktion konnten die extremen Witterungsverhältnisse der Gebäudehülle bis jetzt nicht den geringsten Schaden zufügen.

Das Energiekonzept

Oberstes Ziel beim Berghaus Jungfraujoch waren die Nutzung der natürlichen Gegebenheiten und der möglichst angepasste Einsatz der technischen Mittel. Daher wurde ein neuartiges Fenster mit ausserordentlich hohem Wärmedämmwert entwickelt, so dass die intensive Sonneneinstrahlung ausgenützt werden kann. Das Konstruktionsmaterial für das Gebäude wurde so gewählt, dass die tagsüber anfallende Sonnenwärme für die kalte Nachtzeit gespeichert wird. Die haustechnische Anlage ist in solcher Weise konzipiert, dass aus der Abluft die Wärme und die Feuchtigkeit rückge-

wonnen werden, damit im Gebäude ausser einer zeitweisen Nachwärmung der Zuluft keinerlei Heizung notwendig ist.

Dank dieser Massnahmen konnten der Energieverbrauch wie auch die Betriebskosten gegenüber einer konventionellen Bauweise wesentlich reduziert werden.

Ausserordentliche Randbedingungen

Das Energiekonzept basiert auf folgenden Gegebenheiten der Klimaverhältnisse:

- Mittlere Jahrestemperatur −8°C; maximale Temperatur 7°C; minimale Temperatur −30°C;
- Sonnenschein 1770 Stunden pro Jahr, maximale Sonneneinstrahlung 1200 W/ m^2.
- Praktisch alle Fenster sind gegen Süden gerichtet.
- Die gesamte Nordfassade ist an den Fels gebaut.

Im Interesse einer optimalen Energienutzung war die Bauherrschaft bereit, in den Restaurants auf übertriebenen Komfort zu verzichten:

- Damit die Sonneneinstrahlung optimal aufgenommen und gespeichert werden kann, sind Raumtemperaturen in den Restaurants zwischen 18°C (morgens um 9 Uhr) und 24°C (abends vor Sonnenuntergang) zugelassen.
- Die Frischluftzufuhr wurde auf 40 m^3/h pro Person und die relative Feuchtigkeit auf 40% festgelegt.

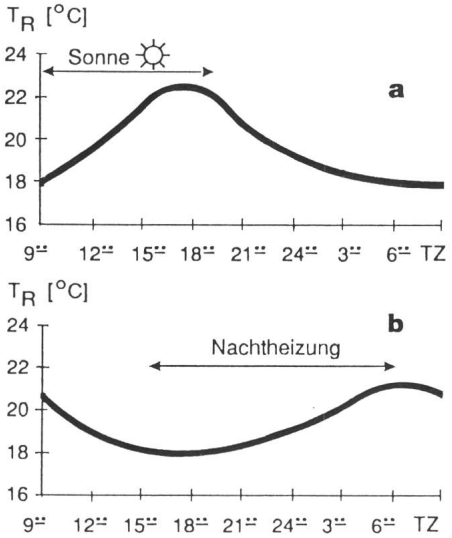

Bild 1 Betriebskonzept
T_R Raumtemperatur
TZ Tageszeit
a Sonniger Tag: keine Heizung
b Bedeckter Tag: Nachtheizung von 150 kW

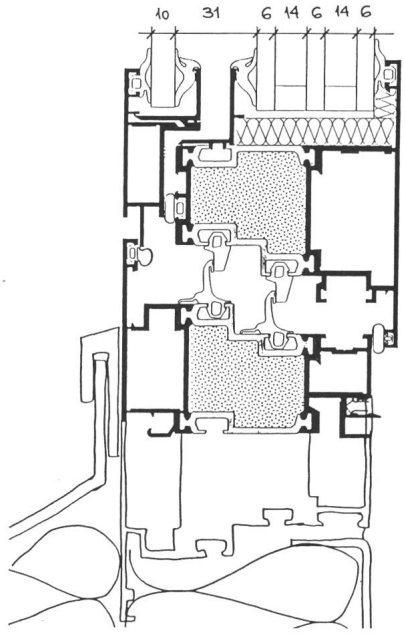

Bild 2 Fenster
Hochisoliertes Aluminium-Fenster, System ISAL 96 DV
$k_R = 1{,}4$ W/m^2K
nach Din 52619-TO1-79A
$k_F = 0{,}7$ W/m^2K
Massangaben in mm

Energiemanagement

Die Berechnungen zeigten sehr bald, dass der Energiegewinn aus der Sonneneinstrahlung und die Personenabwärme (700 Sitzplätze, bis zu 5000 Gäste pro Tag) zusammen gross genug wären, um den gesamten Wärmebedarf des Berghauses zu decken – nur stimmen Angebot und Nachfrage leider zeitlich nicht überein. Darum konnte sich das Energiekonzept nicht auf die baulichen Massnahmen beschränken; es musste auch ein Betriebskonzept enthalten. Da der Energiegewinn an den 250 sonnigen Tagen bedeutend grösser ist als an bedeckten Tagen, ist auch das Betriebskonzept entsprechend unterschiedlich (Bild 1).

An sonnigen Tagen: Um 9.30 Uhr steht das Berghaus mit 18°C bereit, um die ersten Gäste zu empfangen. Gleichzeitig beginnt die Sonne das Gebäude aufzuheizen, und die Innentemperatur steigt ohne Heizung auf 24°C. Die Ventilation transportiert die durch die Fenster einfallende Sonnenwärme ins Gebäudeinnere. Damit kann ein grosser Teil der Wärmegewinne in der Gebäudekonstruktion (Wände, Böden, Decken) gespeichert werden. Nachdem die Gäste gegen Abend das Haus verlassen haben und die Sonne untergegangen ist, kühlt das Haus dank der guten Wärmedämmung während der Nacht nur langsam aus bis auf 18°C am nächsten Morgen. So lebt das Berghaus an zwei von drei Tagen auch bei Aussentemperaturen von −30°C von der Sonne und braucht praktisch keine Heizenergie.

An bedeckten Tagen: Da die Jungfraubahn den verfügbaren Strom zum Fahren braucht, sollte das Gebäude über Tag ohne Heizung auskommen. Darum muss während Schlechtwetterperioden bei fehlender Sonneneinstrahlung das Gebäude über Nacht auf 22°C aufgewärmt werden, damit die Heizung tagsüber abgestellt werden kann und der Strom möglichst weitgehend für den Bahnbetrieb zur Verfügung steht. Das Gebäude steht dann um 7 Uhr aufgewärmt bereit und kühlt während des Tages langsam aus.

Dadurch, dass die Gebäudehülle gut wärmegedämmt ist, die Fenster die Sonnenwärme einfangen, die Lüftungsanlage die Sonnenwärme innerhalb des Gebäudes an die richtige Stelle transportiert und dort die Gebäudekonstruktion die *Wärme aufnehmen und speichern* kann, ist eine optimale Ausnutzung der Sonneneinstrahlung ohne grosse technische Installationen möglich.

Weil unmittelbar neben dem Berghaus die Meteorologische Forschungsanstalt die Luftqualität überwacht, kam nur eine Wärmeerzeugung ohne Emissionen, also eine *Elektroheizung*, in Frage. Durch die oben beschriebenen Massnahmen konnten aber Energieverbrauch wie auch die Anschlussleistung mit 150 kW (entspricht der Heizung für ein 15-Familienhaus im Mittelland) ausserordentlich gering gehalten werden.

Das bauphysikalische Konzept

Wegen der tiefen Aussentemperaturen ist auf dem Jungfraujoch eine gute Wärmedämmung der Gebäude-

Bild 3 Berghaus Jungfraujoch
Am rechten Flügel ist das integrierte alte Gletscherrestaurant sichtbar

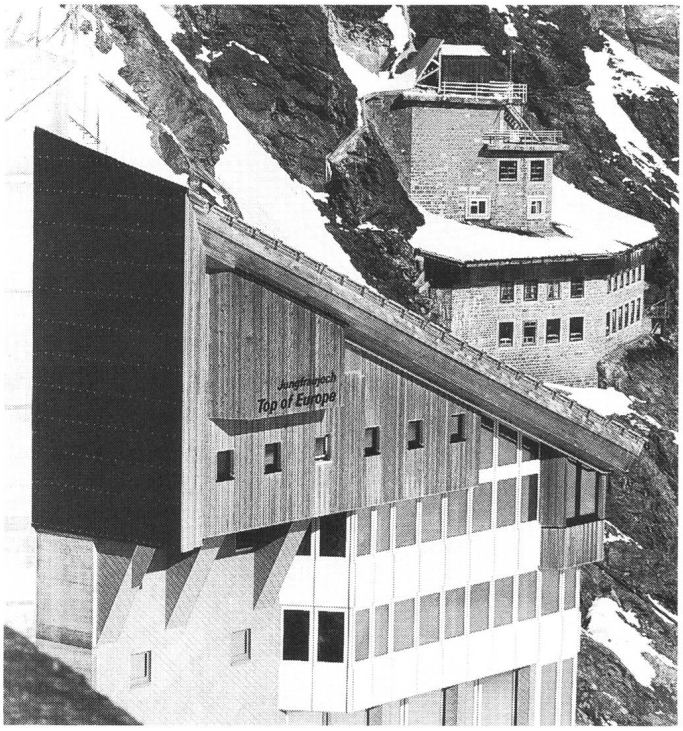

Bild 4
Berghaus und Forschungsstation Jungfraujoch
Südwestansicht vom «Hotelfelsen», im Hintergrund das Gebäude der Forschungsstation

hülle besonders wichtig, und die hohe Windgeschwindigkeit sowie der Flugschnee verlangen eine hohe Luftdichtigkeit.

Fenster

Die nach Süden orientierten Fensterflächen sind entscheidend für den Energiehaushalt des Gebäudes: Tagsüber fällt unter der intensiven Sonneneinstrahlung eine Wärmemenge an, welche meist genügt, um das ganze Gebäude zu heizen. Weil auf dieser Höhe keinerlei äussere Abschlüsse, wie zum Beispiel Rolladen, denkbar sind, würde das Gebäude aber nachts durch konventionelle Fenster stark auskühlen. Darum wurden mit Unterstützung der Empa und der Fassadenbaufirmen während zweier Jahre auf dem Jungfraujoch Versuche mit neuartigen Fenstern durchgeführt.

Das Resultat ist ein Fenster gemäss Bild 2 mit einer Vierfach-Verglasung und einem k-Wert von 0,7 W/m^2K (Rahmen 1,4 W/m^2K). Ein Sonnenschutzglas vermindert die Blendung und eine zu hohe Sonneneinstrahlung. Als innere Verglasung wurde ein Wärmeschutzglas verwendet, damit nachts keine grossen Wärmeverluste entstehen.

Fassade

Das gedrängte Bauprogramm verlangte, dass Fassade und Dach so rasch wie möglich montiert wurden, damit im Innern die Betonier- und Montagearbeiten für die Zwischendecken vor der Witterung geschützt und auch im Winter vorangetrieben werden konnten. Deshalb musste vorab eine Fassadenkonstruktion entwickelt werden, die rasch und unter schwierigsten Verhältnissen montiert werden konnte.

Dachkonstruktion

Auch die Dachkonstruktion musste von Grund auf neu entwickelt werden:

- Der optimale Wärmedämmwert konnte mit einer Kreuzbalkenkonstruktion und 30 cm Isolationsmaterial erreicht werden.
- Das Unterdach aus Kunststoff ist voll verschweisst, gegen unten entwässert und gegen oben entlüftet.
- Die darüberliegende Dachhaut aus Aluminium-Rippenplatten ist genügend schlagfest gegenüber Lawinen und Steinschlag.
- Der Schnee muss vom Dach abrutschen, damit die Maximallast nicht überschritten wird.

Haustechnisches Konzept

Die hohe Qualität der Gebäudehülle verringert die Wärmeverluste durch Transmission und ungewollten Luftwechsel soweit, dass tagsüber auch bei bedecktem Himmel und tiefster Aussentemperatur fast keine Heizung erforderlich ist; die inneren Wärmequellen (Personen, Apparate und Beleuchtung) sowie die diffuse Sonneneinstrahlung liefern genug Wärme. An sonnigen Tagen steigt die Innentemperatur durch die Einstrahlung auf 24°C, und die überschüssige Wärme wird in den Wänden und Dekken des Berghauses gespeichert. Nachts kühlt das Gebäude langsam aus. Die gespeicherte Sonnenwärme sorgt dafür, dass die Innentemperatur nicht unter 18°C sinkt, bis am nächsten Morgen die Sonne und die innere Wärme das Gebäude wieder aufheizen.

Dank der hohen Luftdichtigkeit und der guten Wärmedämmung der Fenster konnte auf den Einbau von Heizkörpern gänzlich verzichtet werden. Die Lüftung, die zum Erreichen des erforderlichen Luftwechsels nötig ist, übernimmt auch die Raumheizung. Eine Enthalpie-Rückgewinnungsanlage entzieht der Abluft einen grossen Teil der Wärme und Feuchtigkeit und überträgt sie auf die Zuluft. Damit kann auch bei tiefsten Aussentemperaturen ein hoher Wirkungsgrad erzielt werden. Die aussergewöhnlichen Bedingungen für Transport und Lagerung von Brennstoffen und die Forderung, die Luftqualität in der Nähe der Forschungsstation möglichst nicht zu beeinträchtigen, führten zum Entscheid für eine elektrische Direktheizung mit geringer Leistung.

Energiebilanz

Der Wärmehaushalt des nach Süden orientierten Gebäudes (Bilder 3 und 4) sei veranschaulicht anhand der Bilanz eines *sonnigen Betriebstages* mit einer mittleren Aussentemperatur von −10°C. Während der *Betriebszeit von 9 bis 17 Uhr* werden folgende Wärmemengen umgesetzt:

Transmissionswärmeverlust	320 kWh	
Verlust wegen Undichtigkeit	305 kWh	
Wärmebedarf für Lüftung	550 kWh	
Totaler Wärmebedarf	1175 kWh	
Abwärme von Personen, Ventilatoren, Licht	720 kWh	
Sonneneinstrahlung	380 kWh	
Heizung	75 kWh	(6%)
Totales Wärmeangebot	1175 kWh	(100%)

Während der Betriebsstunden wird also praktisch kein Strom zum Heizen verbraucht. Während der *Nichtbetriebszeit von 17 bis 9 Uhr* werden folgende Wärmemengen umgesetzt:

Transmissionswärmeverlust	710 kWh	
Verlust wegen Undichtigkeit	440 kWh	
Totaler Wärmebedarf	1150 kWh	
Abwärme der Ventilatoren	330 kWh	
Heizung	820 kWh	(71%)
Totales Wärmeangebot	1150 kWh	(100%)

Es wird vor allem nachts geheizt, so dass der Strom tagsüber für die Bahn und für den Betrieb des Gebäudes zur Verfügung steht. Der Jahreswärmebedarf für Heizung und Lüftung wird wie folgt gedeckt:

Sonne	140000 kWh	(20%)
Abwärme Personen	120000 kWh	(17%)
Abwärme Motoren	120000 kWh	(17%)
Heizung	340000 kWh	(46%)
Totaler Jahreswärmebedarf	720000 kWh	(100%)

Die Zusammenstellung zeigt, dass mehr als die Hälfte der erforderlichen Heizenergie durch die Sonne und die innere Abwärme gedeckt wird. Damit ergibt sich eine Energiekennzahl für Heizung und Lüftung einschliesslich Ventilatoren von 410 MJ/m^{2}a (Zielwert SIA 380/1: 750 MJ/m^{2}a). Dies entspricht 230 MJ/m^{2}a auf 500 m ü.M.

Der Heizleistungsbedarf liegt bei 150 kW; das sind weniger als 35 W/m^2 beheizte Geschossfläche. Der Leistungs- und Energiebedarf für Heizung und Lüftung liegen also trotz der extremen Klimabedingungen auf dem Jungfraujoch tiefer als bei vergleichbaren Neubauten im Mittelland.

Referenzen

[1] Bauherrschaft/Auftraggeber: Direktion der Jungfraubahn, Höheweg 37, 3800 Interlaken.
[2] Architekt: Ernst Anderegg, dipl. Arch. BSA/SIA, Hauptstrasse, 3860 Meiringen.
[3] Bauingenieur: Balzari & Schudel, Muristrasse 60, 3074 Muri.
[4] Heizung/Lüftung: A. Baumann AG, Florastrasse 2, 3601 Thun.
[5] Wärmerückgewinnung: Rotovent, Kraftanlagen SA, 1400 Yverdon.
[6] Fassaden- und Fensterkonstruktion: Hans Schmidlin AG, 4147 Aesch.

Anmerkung: Dieser Artikel basiert auf einem Referat, gehalten anlässlich der Exkursionen der Energietechnischen Gesellschaft des SEV am 25. September 1991 auf dem Jungfraujoch.