

SPG MITTEILUNGEN COMMUNICATIONS DE LA SSP

AUSZUG - EXTRAIT

Die Internationale Hochalpine Forschungsstation auf Jungfraujoch

Martin C. E. Huber

This article has been downloaded from:
http://www.sps.ch/uploads/media/Mitteilungen_HFSJG.pdf

© see http://www.sps.ch/bottom_menu/impressum/

Die Internationale Hochalpine Forschungsstation auf Jungfrauoch

Martin C. E. Huber

Ein merkwürdiger Ort: Jungfrauoch, Ziel von jährlich 800 000 Touristen aus aller Welt, beherbergt auch eine Forschungsstation von weltweiter Bedeutung - und das eine gäbe es ohne das andere nicht!

Adolf Guyer-Zeller hatte im späten 19. Jahrhundert die Vision einer Jungfraubahn. Sein Projekt war umstritten, und stand in Konkurrenz mit mehreren ähnlichen technischen Vorhaben. Nach leidenschaftlich geführten Diskussionen - damals empfand man solche Projekte als Entweihung der Alpen - erteilte die Eidgenossenschaft Guyer-Zeller schliesslich am 21. Dezember 1894 die Konzession zum Bau der Bahn. Im Bundesbeschluss "Konzession einer Eisenbahn von der Kleinen Scheidegg über Eiger und Mönch auf den Gipfel der Jungfrau" stipuliert allerdings Artikel 9a eine Auflage für die Bahn:

"Die Gesellschaft ist verpflichtet, nach partieller oder gänzlicher Vollendung der Linie an die Erstellung und Einrichtung eines ständigen Observatoriums, insbesondere für meteorologische und anderweitige tellurisch-physikalische Beobachtungszwecke, auf der Station Mönch oder Jungfrau, eventuell auf beiden, ... [beträchtliche finanzielle Mittel], beizutragen."

Der Bahnbetrieb bis zum Jungfrauoch wurde 1912 eröffnet. Man hatte schliesslich auf die letzte Etappe bis zum Jungfraugipfel verzichtet. Dennoch war der Bau eines 7.5 km langen Tunnels, in dem eine elektrische Zahnradbahn eine Höhe von 3454 m über Meer erklimmt, zur Zeit der Wende ins 20. Jahrhundert eine Pionierleistung ersten Ranges. Trotz Verzicht auf den letzten Streckenabschnitt ist die in der Konzession ausbedungene Beobachtungsstation auch heute noch die höchstgelegene, ganzjährig durch öffentliche Verkehrsmittel erreichbare Forschungsstation in Europa.

Wie kam es zum Bau der Forschungsstation? 1912, im selben Jahr in dem die Jungfraubahn eingeweiht worden ist, überquerte Alfred de Quervain, Glaziologe und breit interessierter Naturforscher¹, in einer Aufsehen erregenden Expedition Mittelgrönland.² Derselbe Alfred de Quervain hat dann die Schaffung der Forschungsstation auf Jungfrauoch vorangetrieben. Zu diesem Zweck gründete er 1922 die Jungfrauoch Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (SNG, heute Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, SCNAT).

¹ Alfred de Quervain (1879–1927) war Glaziologe, Meteorologe und Geophysiker. De Quervain war auch Ballonfahrer und war im Dezember 1909 mit Albert Gockel von der Universität Fribourg auf einer ersten Ballonfahrt unterwegs, auf der Gockel Messungen durchführte, die auf die Existenz kosmischer Strahlung hindeuteten. (Viktor Hess (1883-1964) fand dann auf einer Ballonfahrt 1912 eindeutige Hinweise auf die Existenz der kosmischen Strahlung - und erhielt schliesslich 1936 dafür den Nobelpreis für Physik.) Zusammen mit Auguste Piccard konstruierte de Quervain einen neuartigen, 1922 in Degenried fertiggestellten 'Universal'-Seismographen, der sowohl horizontale wie vertikale Bewegungen des Erdbodens erfassen konnte.

² Quer durchs Grönlandeis. Die Expeditionen 1909 und 1912/13 von Alfred de Quervain, Verlag Neue Zürcher Zeitung (1998).



Abb. 1: Touristen auf dem Jungfrauoch Plateau. Im Südhang der Sphinx die Touristenrestaurants, dahinter die 1931 eröffnete Forschungsstation, darüber der Sphinxfelsen mit dem 1937 erstellten, und 1996 erweiterten Observatorium. Hintergrund: Mönch (links) und Eiger. (Bild: Jungfraubahnen)

Wie Guyer-Zeller, der 1899 im Alter von 60 Jahren vor der Vollendung seines Projekts verstarb, sollte auch de Quervain die Eröffnung der Hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch nicht erleben; er starb 1927 im Alter von 48 Jahren an den Folgen eines Schlaganfalls. Der Physiologe und spätere Nobelpreisträger Walter Rudolf Hess führte die von de Quervain begonnene Arbeit als Präsident der Jungfrauoch Kommission weiter, und gründete 1930 die "Internationale Stiftung Hochalpine Forschungsstation Jungfrauoch" (heute: Internationale Stiftung Hochalpine Forschungsstationen Jungfrauoch und Gornergrat, HFSJG, www.hfsjg.ch). Bereits im Sommer des folgenden Jahres konnte die im Sphinx-Südhang eingebettete Forschungsstation eingeweiht werden. Forschung in alpiner Umgebung, wie sie schon seit einiger Zeit auf Jungfrauoch betrieben worden war³, konnte nun in grösserem Stil, und aus einer geeignet eingerichteten, festen Unterkunft heraus, betrieben werden. Sechs Jahre später kam das 120 m höher gelegene Observatorium auf dem Sphinxfelsen dazu. Dort befinden sich heute Messinstrumente von Weltklasse, die insbesondere den Zustand der Atmosphäre mit höchster, dauernd überwachter Genauigkeit erfassen.

Gastforscher aus dem In- und Ausland benutzen die von der Stiftung zur Verfügung gestellte, und vom Schweiz. Nationalfonds unterstützte Infrastruktur zu mannigfachen, z.T. bahnbrechenden Forschungsarbeiten. An diesem einzigartigen Ort befindet sich auch die höchstgelegene Bodenstation des Messnetzes von MeteoSchweiz. Das Archiv der Messungen, das weit in das letzte Jahrhundert zurückreicht, ist heute eine unverzichtbare Grundlage für das Erfassen und das Verständnis des Klimawandels. Seit einigen Jahren werden die meisten Messdaten auto-

³ W. Kolhörster und G. von Salis z.B. führten schon 1923 und 1925/26 zwischen dem Eigergletscher und dem Mönchsgipfel weltweit anerkannte Messungen der kosmischen Strahlung durch und im Jahre 1925 hatte de Quervain eine 'Meteorologische Station' auf dem Firn des Jungfrauochs errichtet.

matisch erfasst, und via Internet in die beteiligten Laboratorien und Institutionen übermittelt. Längere Aufenthalte einzelner Forscher auf Jungfrauoch sind daher eher selten geworden. Dagegen finden immer wieder Messkampagnen statt. So trifft sich z.B. eine international zusammengesetzte Forschergruppe regelmässig im Frühjahr für etwa zwei bis sechs Wochen auf Jungfrauoch, um die Wolkenbildung experimentell zu untersuchen.⁴

Forschung auf Jungfrauoch im Laufe der Zeit

Auf Jungfrauoch dominiert heute, angesichts des anthropogenen Klimawandels, die Atmosphäre als Forschungsobjekt.⁵ In der Anfangszeit und bis gegen Ende des 20. Jahrhunderts standen aber Forschungsgebiete wie kosmische Strahlung, Astronomie⁶ und Untersuchungen über Höhenphysiologie im Vordergrund. Die für Atmosphärenforschung grundlegende Meteorologie, wie auch Glaziologie blieben auf Jungfrauoch jedoch stets aktuell. Im Laufe der Zeit haben sich aber die Schwerpunkte der Forschung verschoben.

Anfangs war die Messung der kosmischen Strahlung eine der wichtigsten Disziplinen. So baute P. M. S. Blackett 1951 im Sphinx-Observatorium eine grosse Wilsonsche Nebelkammer, mit der er die dort zugängliche kosmische Strahlung untersuchte. Dies führte auch zu Nobelpreisen. Jedenfalls hingen die Entdeckungen, die das Nobelkomitee 1948 und 1950 mit den Physikpreisen von P. S. M. Blackett bzw. C. F. Powell anerkannte - zumindest teilweise - mit Beobachtungen auf der Hochalpinen Forschungsstation zusammen. Blackett's Nebelkammer wurde später im CERN installiert, wo sie der modernen, auf Beschleunigern basierenden Teilchenphysik als Detektor diente.

Die natürliche kosmische Strahlung ist aber auch heute noch von Interesse. So verfolgen derzeit Neutronen-Monitore auf Jungfrauoch im Rahmen eines weltweiten Beobachtungsnetzes die Schwankungen in der Energieverteilung der kosmischen Strahlung. Dieselben Neutronen-Monitore dienen auch der Erforschung des Weltraumwetters. Unsere Zivilisation wird von weltraumgestützter elektronischer Infrastruktur (wie z.B. GPS, Kommunikations- und Wettersatelliten) immer stärker abhängig; eine rechtzeitige Warnung vor möglicherweise zerstörerischen Folgen einer Sonneneruption wird deshalb immer wichtiger und dringender.

Glaziologie im alpinen Kontext spielt, wie schon erwähnt, nach wie vor eine wichtige Rolle. Während frühe glaziologische Arbeiten u.a. dem Gebiet der Kristallographie angehörten⁷, steht die Vermessung von Gletschern heute im

⁴ Cloud and Aerosol Characterisation Experiment (CLACE)

⁵ Etwa drei Viertel der heute auf Jungfrauoch laufenden Untersuchungen betreffen die Erdatmosphäre.

⁶ Astronomische Beobachtungszeit auf Jungfrauoch war in den 1960er Jahren derart stark gefragt, dass man mit Unterstützung der Burgergemeinde Zermatt und der Gornergratbahn auf dem Süd- und dem Nordturm des Kulmhotels Gornergrat ob Zermatt Kuppeln errichtete, in denen dann Gastinstitutionen Teleskope betrieben. (Daher auch der vollständige heutige Stiftungsname.) Um die Jahrhundertwende wurden aber noch höher liegende Standorte wie Tibet attraktiver und Astronomen zogen es vor in Chile mit den Grossteleskopen von ESO und mit den Weltraum-Teleskopen der ESA zu beobachten. Die Nutzung von Gornergrat geht aber weiter: das 'Stellarium', ein via Internet, insbesondere auch für Schulklassen aus ihrem Klassenzimmer heraus zugängliches Observatorium, wird dort gegenwärtig aufgebaut und getestet.

⁷ Als Beispiel, ein Bericht von Kristallographen und Chemikern aus

Zentrum des Interesses. Die alpinen Gletscher sind sozusagen Europas Wassertürme. Mit einer Abnahme des Gletschervolumens wird sich schliesslich auch die von Gletschern abgegebene Wassermenge ändern, und den Pegelstand unserer Flüsse beeinflussen - mit ökologischen und wirtschaftlichen Folgen.⁸

Die Kryosphäre umfasst auch Permafrost. Auf Jungfrauoch ist die mittlere Lufttemperatur seit 1933 um ca. 1.4 °C angestiegen und die Zahl der Tage, an denen die Temperatur während 24 Stunden über dem Gefrierpunkt verbleibt, hat seit 1961 um 60 % zugenommen. Dies beeinflusst den Permafrost und erfordert z.B. Massnahmen zum Schutz der Touristen vor fallenden Felsstücken. Seit 2006 wird das Verhalten von Permafrost im Fels untersucht. Das Institut für Schnee- und Lawinenforschung führt zusammen mit Forschern der Universitäten Bonn, Fribourg, and Zürich entsprechende Messungen durch und als praktisches Resultat ist bereits ein Handbuch über das Bauen in der Kryosphäre verfügbar.

Ein weiteres Beispiel der Evolution von Forschungszielen sind die Sonnenbeobachtungen, die belgische Wissenschaftler seit über einem halben Jahrhundert auf Jungfrauoch betreiben. Vorerst konzentrierte sich die Lièger Gruppe auf die Physik der Sonnenatmosphäre. Zu diesem Zweck wurden auch stets leistungsfähigere Spektrometer entwickelt. Die Atlanten des schliesslich mit Fourier-Spektroskopie registrierten, hochaufgelösten Sonnenspektrums gehen auf Beobachtungen der 1970er und 1980er Jahre auf dem Jungfrauoch zurück, und dienen immer noch als Standard z.B. für die Bestimmung der Häufigkeit der chemischen Elemente in der Sonnenatmosphäre und beim Erarbeiten von solaren und stellaren Atmosphärenmodellen.

Schon in den 1950er Jahren fragte man sich, ob die Stärke von Absorptionslinien im Sonnenspektrum, die von Molekülen in der Erdatmosphäre herrühren, sich mit der Zeit verändert. Die Stärke dieser Absorptionen nimmt mit der Zeit in der Regel zu, und deshalb ist die Messung solcher Veränderungen heute das Ziel der Lièger Gruppe; damit kann man die sich ändernde Konzentration von anthropogenen Molekülen in der Erdatmosphäre verfolgen. Diese Messungen auf Jungfrauoch dienen damit auch dazu, die Wirksamkeit der Protokolle von Montreal und Kyoto zu verfolgen.⁹ Auch dieses Datenarchiv, das 60 Jahre zurückgeht, ist eine unabdingbare Ressource für Klimastudien.

Zusätzlich zu der eben beschriebenen Sonnenspektrometrie, die als Kolonnenmessung die integrale Absorption in der Erdatmosphäre misst, begannen in den 1970er Jahren auf Jungfrauoch auch *in-situ* Messungen von Luft-Schadstoffen. Mit immer raffinierteren Methoden bestimmen seit-

Cambridge: T. P. Hughes, M. Perutz and G. Seligman (1939) Glaciological Results of the Jungfrauoch Research Party, Nature 143:159-159

⁸ Niedriger Pegelstand des Rheins schränkt z.B. die Frachtschifffahrt ein.

⁹ Das Montreal-Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht beitragen, trat 1989 in Kraft; laut seiner Präambel verpflichteten sich die Vertragsparteien damals "geeignete Massnahmen zu treffen, um die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor schädlichen Auswirkungen zu schützen, die durch menschliche Tätigkeiten, welche die Ozonschicht verändern, wahrscheinlich verändern, verursacht werden oder wahrscheinlich verursacht werden." Das Kyoto-Abkommen, das am 16. Februar 2005 in Kraft trat, legte erstmals völkerrechtlich verbindliche Zielwerte für den Ausstoss von Treibhausgasen in den Industrieländern fest.

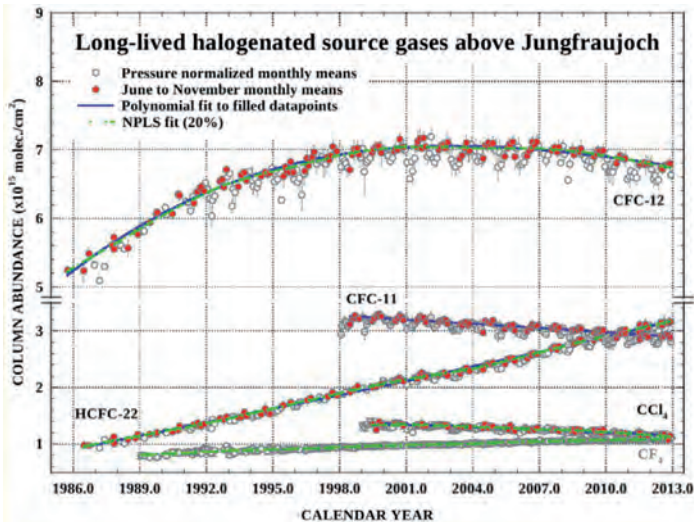


Abb. 2: Säulenkonzentration von halogenierten Kohlenwasserstoffen in der Atmosphäre über Jungfraujoch. Spuren dieser Gase führen zu Absorptionen im Sonnenspektrum. Seit 1989 regelt das 'Montreal-Protokoll' die Produktion dieser Stoffe, weil sie zu einem Abbau der Ozonschicht beitragen und als Treibhausgase wirken. Die Zunahme der CFC-12 Konzentration verlangsamte sich vorerst; nach mehreren Jahren erst setzte der Abbau ein. Die Produktion einzelner Verbindungen (z.B. HCFC-22) ist in Entwicklungsländern noch erlaubt; dies soll aber ab 2030 untersagt werden. (Messungen der Universität de Liège)

her Mitarbeiter der Empa die chemische und isotopische Konzentration von reaktiven und Treibhausgasen im Rahmen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Da sich das Jungfraujoch meist oberhalb der turbulenten Troposphäre befindet, und dadurch selten durch lokale Quellen beeinflusst wird, ist die dort entnommene Luft repräsentativ für die kontinentale 'Hintergrundatmosphäre'.

Auch diese Messungen tragen dazu bei, die Wirksamkeit der Montreal- und Kyoto-Protokolle zu überwachen. Sie gehen aber noch weiter: seit 2001 gelingt es mithilfe von grossräumigen Meteodaten und geeigneten Algorithmen, sowie dank der exquisiten Empfindlichkeit der Messapparaturen, je nach Wetterlage lokale Quellen von Verunreinigungen zu identifizieren. Damit lässt sich z.B. feststellen, an welchen Orten bzw. in welchen Ländern die offiziellen Angaben über Emissionen schädlicher Gase mit den aus Messdaten abgeleiteten Werten nicht vereinbar sind.

Den Einfluss von Aerosolen¹⁰ auf die Erdatmosphäre untersuchen Mitarbeiter des Paul Scherrer Instituts seit 1988. In der Tat kommen Aerosole wegen effizienten vertikalen Transports auch in alpiner Umgebung vor. Je nach Grösse streuen bzw. absorbieren diese Partikel das Sonnenlicht; dabei trägt Streuung zur Kühlung bei, während Absorption die Lufttemperatur erhöht. Aerosole beeinflussen überdies die Bildung von Wolken: eine erhöhte Partikelzahl erzeugt Wolken mit vielen kleinen Tröpfchen, und solche Wolken reflektieren mehr Licht in den Weltraum und führen damit ebenfalls zu Abkühlung. Die Unsicherheiten dieser Prozesse sind immer noch gross, sodass weitere Studien nötig sind, um Voraussagen für das Klima zu verbessern.

¹⁰ Das Wort Aerosol, das eigentlich ein Gemisch (Dispersion) von Gas und im Gas schwebenden festen oder flüssigen Partikeln beschreibt, wird hier als Bezeichnung von kleinen in der Luft schwebenden Partikeln, wie z.B. Russ oder Saharastaub, verwendet.

JFJ ist eine Schlüsselstation im internationalen Netzwerk 'Global Atmosphere Watch'

MeteoSchweiz hat im Jahr 1994 mit Beteiligung von Jungfraujoch eine schweizerische Atmosphärenüberwachung (GAW-CH) eingeführt, um die Präsenz klimarelevanter Stoffe in der Atmosphäre zu verfolgen. Nach kurzer Zeit wurden diese Messungen in das seit 1988 existierende weltumspannende Netz der 'Globalen Atmosphären Überwachung' (Global Atmosphere Watch, GAW) übernommen. 80 Nationen arbeiten hier in einer Partnerschaft zusammen. Mit 29 globalen und über 400 regionalen Beobachtungsstationen beschaffen sie zuverlässige Informationen über die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre. Ihr Ziel ist es natürliche und anthropogene Veränderungen zu erfassen, und dadurch beizutragen die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Meeren und der Biosphäre besser zu verstehen. In Anerkennung der hohen Qualität ihres umfassenden langfristigen Messprogramms wurde die Forschungsstation 2005 als 'Global Station' des GAW zertifiziert. Zahlreiche weitere nationale, internationale und globale Netzwerke ermitteln auf Jungfraujoch zusätzliche Messwerte.

Die weitere Entwicklung von Jungfraujoch - ein Weissbuch

Das Touristenziel Jungfraujoch und die Forschungsstation sind in ihren Aktivitäten sehr erfolgreich. Die Jungfraubahn strebt eine Million jährliche Besucher an. Und wegen der Nachfrage für zusätzliche Klimadaten wird die Forschungsstation ihre Infrastruktur erweitern müssen.

Wie jede Veränderung bringt dies auch Probleme: Bauarbeiten werden die naturgegebene Atmosphäre auf Jungfraujoch - eine *conditio sine qua non* für zuverlässige Messungen - vorübergehend beeinflussen. Und der Ausbau der Forschungsstation wird zusätzliche Gelder beanspruchen, die sich aus den normalen Betriebsausgaben nicht finanzieren lassen.

Die Jungfraujoch Kommission der SCNAT verfasst derzeit ein Weissbuch, das einen weiteren Kreis - insbesondere die Politik - auf zukünftigen Anforderungen aufmerksam machen soll.¹¹ Die Jungfraujoch-Kommission erarbeitet das Weissbuch gemeinsam mit der Stiftung (d.h. auch zusammen mit dem Stiftungsmitglied Jungfraubahn) und mit den wissenschaftlichen Benutzern der Forschungsstation. Es beschreibt die Strategie bis Mitte 21. Jahrhundert. Ein Horizont 2050 mag auf den ersten Blick sehr fern erscheinen. 2050 ist aber auch das Jahr, in dem die Industrie-Nationen ihre Klimaziele erreichen wollen. Um festzustellen, ob die Ziele dann wirklich erreicht worden sind, wird es Messungen von Jungfraujoch bis zu diesem Zeitpunkt brauchen - möglicherweise auch darüber hinaus!

Wie es dannzumal auf Jungfraujoch weitergeht, wird die Zukunft weisen. Wenn wir auf die über 80-jährige Geschichte der Forschung in alpiner Umgebung zurückblicken, sehen wir dass die Nachfrage stets zugenommen hat. So glauben wir der Zukunft vertrauensvoll entgegenzusehen zu dürfen.

¹¹ White Paper. Research at Jungfraujoch - mission statement 2015-2050 (2014) Bern: SCNAT (Das Weissbuch wird über die Webseiten www.hfsjg.ch und www.scnat.ch elektronisch zugänglich sein.)