

Der Bau von Seilbahnen im Hochgebirge

Autor(en): **Schönholzer, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **87 (1969)**

Heft 36

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-70765>

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.

rund fünf nebenamtlichen kantonalen Kontrollbeamten ein ganz beachtliches Pensum mit äusserst geringem bürokratischem Aufwand. Sie arbeiten auch mit an den Fortbildungskursen der Personalverbände und führen für die Maschinisten regionale Rettungskurse durch. Der gegenseitige Erfahrungsaustausch ist für beide Teile wertvoll.

Eine wesentliche Aufgabe des Konkordates ist ferner in der Modernisierung der in seinem Amtsbereich anzuwendenden Vorschriften zu sehen. Diejenigen für Skilifte sind schon seit längerer Zeit, in Zusammenarbeit mit den Lieferfirmen und den eidg. Behörden, bearbeitet worden und liegen zweisprachig fertig vor. Sie bedürfen aber noch der offiziellen Genehmigung durch die Generalversammlung des Konkordates. Ein Hauptzug dieser Vorschriften ist die Staffelung der Massnahmen nach Grösse und Leistung der Lifte. Es ist ja ganz klar, dass die Risiken einer Übungsanlage von 300 Personen Förderleistung und 100 m Höhendifferenz nicht die gleichen sein können wie diejenigen einer Anlage von 2 km Länge, 800 m Höhendifferenz, 1000 Personen Förderleistung, und angetrieben von einem Motor mit der Leistung einer Rangierlokomotive. Diese Vorschriften sind heute mustergültig nachgeführt und finden auch im Ausland Beachtung. Nach ihrer Genehmigung sollten auch die Seilbahnvorschriften neu aufgestellt werden; ein Entwurf liegt schon vor. Wie aber schon weiter oben ausgeführt, ist bei der Vielzahl der neben dem Konkordat bestehenden Vorschriften das Problem nicht ganz so dringlich.

Schliesslich zeichnet sich vor allem in der Südschweiz ein neuer Aufgabenkreis ab: Die Schrägaufzüge zu Häusern am Steilhang. Diese unterstehen nicht der Liftkontrolle, es sind aber auch keine Seilbahnen. Auf Wunsch der betreffenden Kantonsregierung hat sich nun das Konkordat dieser Konstruktionen angenommen, ein Fall mehr, der diesem erlaubt, die Gefahren und die notwendigen Sicherungsmassnahmen nach freiem Ermessen abzuschätzen. Mit der Frage, wie weit die Entscheide der Kontrollstelle juristisch untermauert sind, brauchen wir

uns glücklicherweise nicht auseinander zu setzen, da es sich streng genommen immer nur um Empfehlungen an die zuständige kantonale Behörde handelt, und deren Autorität ist in der Regel über jeden Zweifel erhaben.

Trotz ihrer rechtlich ungewöhnlichen Form, als Abteilung eines beauftragten privaten Ingenieurbüros, hat sich die Kontrollstelle des Konkordates in den letzten 15 Jahren sehr gut eingeführt. Der Verkehr mit den vorgesetzten Kantonsbehörden wie mit den interessierten Firmen und Transportanstalten wickelt sich im gegenseitigen Vertrauen ab. Zwangsmassnahmen und Differenzen sind selten, die technischen Entscheide werden kaum je angefochten. Abschliessend möchte der Verfasser einen Wunsch zum Ausdruck bringen: Es möchten im Bereich der subventionierten (Meliorations-) Bahnen der Kategorie A die Regalgrenzen durch die Zulassung von Kabinen für 8 bis 10 Personen (statt nur 4) weiter gesteckt werden. Zusammen mit einer Erhöhung der höchsten zulässigen Geschwindigkeit von 4 auf 6 m/s könnte die Stundenleistung dieser Anlagen von 16 auf 50 bis 60 Personen gesteigert werden. Damit kämen endlich jene stets problematischen Zwangs-Konstruktionen zum Verschwinden, die eine grosse Ladefläche und eine Tragfähigkeit von 800 kg für Holz- und Viehtransport mit der gesetzlichen «Kleinstkabine» für 4 Personen verbinden müssen. Natürlich fahren dann die Passagiere lieber und zahlreicher auf der weiten Ladefläche, die 800 kg entsprechen schliesslich 10 Personen! Diese häufigen Regalverletzungen berühren uns Techniker und die Behörden weniger, sie könnten aber ganz fatale Folgen haben, da die Haftpflichtversicherungen nur die der Konzession entsprechende Zahl Fahrgäste schützt. Ungesetzliche Überladung hat unfehlbar Regressansprüche zur Folge, diese könnten die betroffene Genossenschaft und ihre Mitglieder ruinieren. Glücklicherweise ist dieser Fall noch nie eingetreten, aber die Möglichkeit besteht jederzeit.

Adresse des Verfassers: E. Bloch, dipl. Masch.-Techniker, Kontrollstelle des Seilbahnkonkordates, Allmendstrasse 2, 3600 Thun.

Der Bau von Seilbahnen im Hochgebirge

Von A. Schönholzer, Thun

DK 625.57 (23.03)

Im kürzlich vergangenen *Jahr der Alpen* wurde die 100 Jahre zurückliegende Eroberung des Hochgebirges gefeiert. Damals fand nur der rüstige Wanderer Zutritt zur Bergwelt, und höchstens der Einsatz von Maultieren konnte gelegentlich die persönliche Anstrengung vermindern. Um die Jahrhundertwende folgte dann die Überwindung der Voralpen und Pässe durch die Schiene, und heute sind wir Zeugen der Eroberung der eigentlichen Hochalpen durch Luftseilbahnen. Vielleicht bahnt sich sogar schon die Ablösung der Luftseilbahn durch das Flugzeug an. Die heutige Generation mag darüber staunen, aber bei Kriegsende, zu Beginn des modernen Luftseilbahnbaues, war die Maultierkolonne noch als voll brauchbares Transportinstrument im Einsatz, Bild 1. Die Technik und die Behendigkeit, mit denen die Walliser Säumer Einzelstücke bis zu 200 kg Gewicht

oder Leitungsstangen bis zu 16 m Länge transportierten, ist jenen, die noch dabei waren, unvergesslich, und niemand hätte sich vorgestellt, dass der aus Amerika kommende Jeep, die Bauseilbahnen und der dank modernen Maschinen erleichterte Alpwegbau eine Jahrhunderte alte Technik in so kurzer Zeit gründlich und vollständig ablösen könnten.

Dieser Beitrag soll nicht den einzelnen und wohlbekannten Grossanlagen gewidmet sein. Der Verfasser möchte vielmehr zeigen, wie die technischen Probleme des Bauens in den schwierigen Verhältnissen des Hochgebirges schrittweise überwunden wurden. Dabei leisteten die vielen Bau- und Spezialseilbahnen, wie sie im ganzen Alpenraum vorwiegend für Kraftwerke in die unmöglichsten Winkel hinein gebaut werden mussten, entscheidenden Vorspann. Für alle derartigen, vielfach nur temporären Anlagen steht den Konstrukteuren ein viel weiterer technischer Spielraum zur Verfügung als bei den strengen Vorschriften unterstellten Anlagen für den öffentlichen Verkehr. So bahnten sich in diesem wahren Versuchsfeld Entwicklungen an, die den Bau von immer höher steigenden Anlagen zumindest erleichterten. Einige dieser Entwicklungen sollen hier geschildert werden.

Die Statik eines jeden Spannungsfeldes einer Luftseilbahn ist durch zwei Grössen charakterisiert: das hängende Eigengewicht der Seile und die Wanderlast. Das Verhältnis dieser zwei Grössen zueinander legt im wesentlichen fest, ob das Feld mehr nach der Art einer Hängebrücke arbeitet, das heisst mit geringem Einfluss der bewegten Last und starr verankerten Seilen, oder mehr nach der Art eines masselosen Fadens, mit überwiegendem Einfluss der ihn spannenden Wanderlast. Das zweite Prinzip kann am deutlichsten mit einem Flaschenzugseil veranschaulicht werden. Das Verhalten eines jeden durch Stützen begrenzten Seilfeldes wird je nach momentaner Lage durch diese Grössen charakterisiert, wobei die Wirklichkeit oft sehr nahe an die obigen, extrem scheinenden Randbedingungen heranrückt.

Die überlieferten Seilbahnvorschriften legen fest, dass die Seile durch Gewichte zu spannen seien, um ihnen eine in allen Lastfällen konstante Zugbeanspruchung zu verleihen. Leider trifft dies nur theoretisch zu, indem bei mehrfeldrigen Bahnen die Gewichte schon nach dem Überfahren des 2. oder 3. Mastes stecken bleiben. Dies heisst nichts anderes, als dass die Reibung auf den Stützen schon

Bild 1. Transport von Stützen auf die Riederalp mit einem Maultiergespann im Jahre 1951 (Photo H. Heiniger, Spiez)



stark genug ist, um ein verändertes, unbekanntes Verhalten der Seile zu erzwingen. Der angestrebte Temperatur- und Lastausgleich wird also bei vielfeldrigen Bahnen weitgehend illusorisch. Dazu tritt die Beobachtung, dass sich die Temperaturdifferenzen in langen Feldern kaum mehr bemerkbar machen. Es muss ja so sein, wie könnte man sonst an den Bau von Hängebrücken denken. Der Konstrukteur möchte daher in vielen, nicht aber allen Fällen von den kostspieligen und platzraubenden Spannungsgewichten absehen. Dem eidg. Amt für Verkehr wurde vor rund 15 Jahren diese Lösung erstmals vorgeschlagen, und zwar bei einer Anlage über 13 Felder und rund 1300 m Höhendifferenz. Die Erteilung der Baubewilligung entgegen allen damals geltenden Regeln war eine umwälzende Tat, wie sie zum Beispiel bei gewissen ausländischen Aufsichtsbehörden kaum denkbar ist. Dabei waren die Berechnungsmethoden noch im Anfangsstadium. Immerhin ermöglichte der Bau dieser und einiger anderer Bahnen die experimentelle Verbesserung eines Näherungsverfahrens, welches mit einem fiktiven, den Seilnachzug aus den benachbarten Feldern berücksichtigenden *E*-Modul arbeitete und erst vor wenigen Jahren durch die schärferen Berechnungsverfahren von Prof. O. Zweifel abgelöst wurde.

Nachdem sich in der Praxis die gemachten Überlegungen als richtig erwiesen hatten, durfte gewagt werden, die erste Schwerlastbahn in *Cavergno* mit ihren 13 t Nutzlast mit der starren Trageilabspannung auszurüsten. Der Auftrag der Maggia-Kraftwerke lautete damals dahin, an Stelle der vorher üblichen Standseilbahn zum Rohrtransport eine Luftseilbahn zu bauen, die sich nicht wesentlich über die Kastanien-Selve erheben dürfe. Die Anlage erhielt etwa 6 mittellange Felder, dazu eine Niederhaltestütze, und wurde meines Wissens als erste Seilbahn überhaupt für Fernsteuerung aus der mitfahrenden Kabine eingerichtet. Dies erforderte damals allerdings noch eine besondere Steuerleitung. Dank der sarrten Abspannung wurden die Stationsbauten ausserordentlich einfach: ein rittlings über dem Fensterstollen sitzender Maschinen- und Kommandoraum und talseits eine nur wenige Quadratmeter einnehmende, aufgestellte Ankertrammel. Der Baufachmann weiss, was das in den meist engen Verhältnissen der Installationsplätze zu bedeuten hat. Die kurzen Felder drückten allerdings den Berechnungsgang unangenehm auf die Seite des «gespannten Fadens», das heisst das Einfahren von rund 16 t Bruttolast hatte in einzelnen Feldern ein beträchtliches Anwachsen der Zugbeanspruchung zur Folge. Zudem fehlte in diesem Falle die ausgleichende Wirkung eines grösseren Spannungsfeldes. Der Ausweg wurde gefunden in einer angemessenen Herabsetzung des Sicherheitskoeffizienten in den Trageilen für den mehr hypothetischen Fall des Zusammentreffens der tiefsten Temperatur (-25°C) mit der nur gelegentlich auftretenden Höchstlast. Noch eine andere Bedingung war zu erfüllen: Die Kabine durfte sich beim Aufbringen der Last nicht wesentlich talwärts bewegen, das schwebende Rohr hätte die Kabine des transportierenden Lastwagens gefährdet. So wurde der Standseilbahngedanke beharrlich weitergeführt und das Zugseil in Rollen an den Trageilen aufgehängt. Derart konnte die «Federwirkung» der Durchhänge aufgehoben, und die Längung auf die elastische Dehnung des Zugseiles begrenzt werden. Da sich dieses Verfahren sehr bewährte, wurde bei der damals projektierten 40-Personen-Luftseilbahn *Corviglia-Piz Nair* mit viel höherer Fahrgeschwindigkeit ebenfalls ein Doppeltragseil mit dazwischen aufgehängtem Zugseil angeordnet. Das Ziel war hier ein Mehrfaches: die Spannungsgewichte des Zugseiles zu verkürzen, die Laufruhe der Kabinen beim Übergang über den Gefällsbruch der Stütze 2 entscheidend zu verbessern und eine Stütze in sehr exponierter Gratlage wegfällen zu lassen. Das eidg. Amt für Verkehr konnte nach gründlicher Prüfung, und gestützt auf die guten Erfahrungen bei den Bau-seilbahnen, den Neuerungen die Genehmigung erteilen. Die Bahn *Corviglia-Piz Nair* war überhaupt die erste Luftseilbahn des öffentlichen Verkehrs, welche die 3000-Meter-Grenze überschritt.

Die Einführung der inzwischen zum Allgemeingut gewordenen Zugseilaufhängung erleichterte ganz wesentlich die Überwindung der für die Hochalpen typischen, grossen, mehrfachen Spannungsfelder mit ihren ausgeprägten Gefällsbrüchen. Auch die starre Abspannung der Trageile darf heute überall angewendet werden, soweit ihr Einsatz technisch sinnvoll ist, was durchaus nicht immer der Fall sein muss.

Noch eine andere Technik verdient Erwähnung, nämlich diejenige der an Querseilen aufgehängten Stützen. Es ist allerdings nicht anzunehmen, dass diese Konstruktionen auch bei Bahnen des öffentlichen Verkehrs Anwendung finden (Ausnahme: *Téléphérique de la Vallée Blanche*, Frankreich). Sie wurden vor allem zur Überbrückung von lawinengefährdetem Gebiet entwickelt, erstmals 1945 im oberen

Tessin. Am besten bekannt ist wohl jene Stütze, die rund 70 m über dem Hakenkehr der Grimselstrasse hängt und die Seile der Dienstbahn *Handegg-Gerstenegg* der Kraftwerke-Oberhasli auf rund 2 km Länge aus dem Bereich der Handegglawine hebt. Der ursprüngliche Grund war allerdings ein anderer, nämlich das Vermeiden einer rund 70 m hohen Stahlkonstruktion an einer auffallenden Stelle dieser schönen und geschützten Gebirgslandschaft. Die Möglichkeit des Baues einer Hängestütze hängt immer davon ab, ob sich zweckmässige, genügend gesicherte und in nicht zu schrägem Winkel zur Bahn gegenüberliegende Ankerpunkte finden lassen. Unter Umständen werden die geeigneten Stellen erst nach längerem Herumklettern entdeckt, wie zum Beispiel im Bereich der Kraftwerke Linth-Limmern, beim Bau der 3-t-Bahn *Tierfeld-Chinzen-Hintersand*, Bilder 2 bis 4. Es galt bei dieser wohl schwersten Konstruktion ihrer Art den langgestreckten Talboden der Sandalp möglichst ohne jede Bodenberührung zu überwinden. Auch hier wurden schliesslich die zweckmässigen Ankerpunkte gefunden, auf der einen Seite in den unteren Flügen des Selbsanftes, auf der andern Seite auf einer schmalen Felsrippe unten im Gensälpele, 150 bis 250 m über dem Talboden. Sie ermöglichten eine freie Überspannung der Sandalp auf rund 2 km Länge, Bild 4. Obwohl es sich bei Hängestützen äusserlich um technisch bescheidene Objekte handelt, stellt die Übertragung von Seilspannkräften in der Grössenordnung von 50 bis 100 t unter sehr erschwerten Arbeits- und Zugungsverhältnissen allerhand Probleme. Die richtige Erfassung des Kräfte- und Bewegungsspiels der eigentlichen Stützenkonstruktion, die notwendigen Verklammerungen und Sicherungen, die Gewährleistung der einwandfreien Pflege (Zugänglichkeit) und die Montage stellen hohe Anforderungen an alle Beteiligten. In neuerer Zeit vermag der Hubschrauber die Mühe der Ankersuche etwas zu vermindern, aber er benötigt immer noch «Gehterrain» zum Landen; zum «Anfelsen» ist er nicht eingerichtet.

Mit Hilfe dieser Techniken wurde es möglich, eine ganze Anzahl von ausserordentlichen Bahnen zu erstellen und über Jahre erfolgreich zu betreiben. Es ist dabei nicht ausser acht zu lassen, dass viele der meist gefährdeten Baubahnen so konstruiert werden mussten,

Bild 2. Hängestütze Sandalp während der Montage. Bauherr: Kraftwerke Linth-Limmern; Projekt und Bauleitung: A. Schönholzer; Ausführung: Math. Streiff, Schwanden (Photo Streiff jun.)

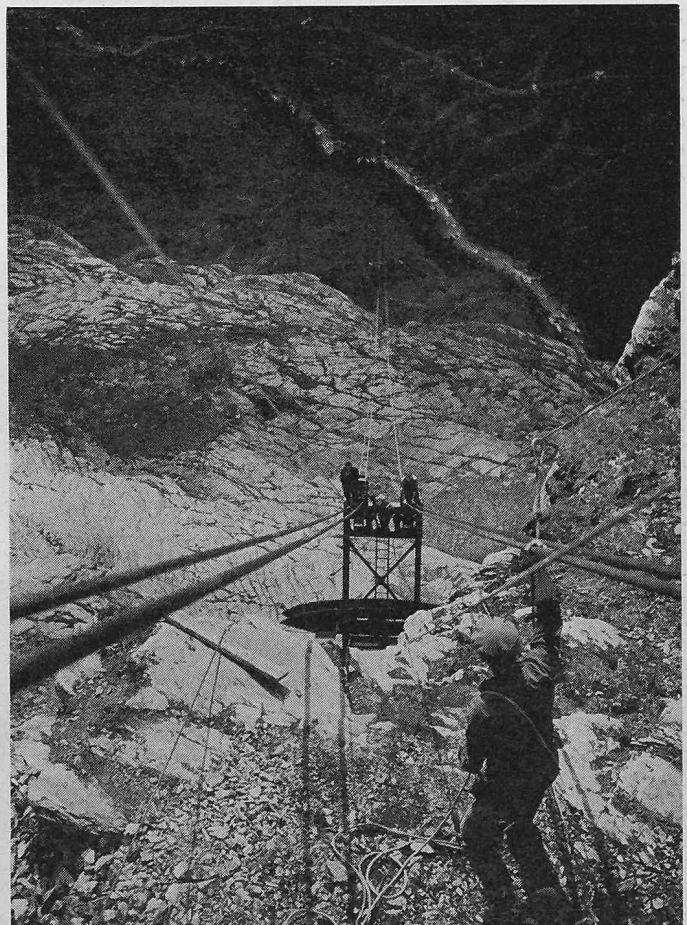




Bild 3. Einzelheit der Hängestütze Sandalp (Photo Streiff jun.)

dass sie nur wenige oder keine Betriebsunterbrüche erleiden. Was nützt es einer abgelegenen Stollenbaustelle, wenn nach einem schweren Sprengunfall die Seilbahn wegen Föhn nicht fahren kann! Andererseits erfordert ihr Entwurf viel weniger Rücksichtnahme auf die Bequemlichkeit der Passagiere. So ist in dieser Beziehung ungefähr alles anzutreffen, von der offenen Barelle mit oder ohne Überdachung bis zur 10-t-Normalkabine (in der eine halbe Kompanie Platz hätte), oder bis zur hochaufgehängten Langkabine für besonders sturmgefährdete Anlagen. Diese Konstruktion wurde übrigens von der Vox Populi zu Unrecht mit dem Übernamen eines fliegenden Sarges bedacht. Es darf aber beigelegt werden, dass die damit ausgerüsteten fünf Dienstbahnen, alle in Höhen zwischen 2800 und 3200 m endend, kaum wetterbedingte Betriebsunterbrüche und Unfälle zu verzeichnen hatten, und dies in einer Betriebszeit von bisher gegen 15 Jahren. In diesem Zusammenhang müssen die technischen Inspektoren der Schweizerischen Unfallversicherung in Luzern erwähnt werden, die der Sache immer mit grossem Verständnis zur Seite standen. Die konstruktive Freiheit wurde so wenig wie möglich beschnitten, und in der An-

wendung der Vorschriften stand die praktische Sicherheit des Bahnbenützers stets vor der Auslegung des Wortlautes.

Es seien nachstehend einige der aussergewöhnlichsten Anlagen dieser Art erwähnt, als Beispiele für viele:

Die 2-t-Seilbahn *Kintole* (Grande Dixence) führte aus der Wildi hinter Randa durch eine wirklich wilde Szenerie in die Gegend der Kinhütte des SAC. Im mittleren Spannungsfeld von 1600 m Länge schwebten die Fahrgäste nur knapp über dem von unzähligen Runsen und Lawinzügen durchfurchten Wildi-Kin. Die obere Stütze war einem Nadelöhr gleich in einen Felsvorsprung eingebaut, vom Talboden aus noch heute im Hohlicht gut zu sehen. Diese Anlage wäre ohne feste Trageilabspannung und aufgehängtes Zugseil kaum denkbar gewesen (heute abgebrochen).

Die 2-t-Seilbahn *Hintersand-Obersand* (Kraftwerke Linth-Limmern) erschloss die Baustelle Obersand. Nach dem untersten Spannungsfeld von rund 1200 m Länge und grösster Steilheit führten drei Stützen in ein ausgesprochenes Gegengefälle. Hier mussten die Zugseiler, ohne die eine Lastfahrt fast nicht zu beherrschen war, am einfachen Trageil angebaut und mit den nötigen Hilfseinrichtungen für das automatische Wiedereinfahren eines durch Lawinen oder Windstösse ausgeworfenen Zugseiles versehen werden. Die Fahrt auf dieser steilen und neben eindrucklichen Felswänden hoch in die Luft führenden Anlage war geeignet, dem Anfänger das Gruseln beizubringen (abgebrochen, Material teilweise in Ermoson im Einsatz).

Auch bei der 1-t-Dienstbahn *Tgom-Nalps* der Kraftwerke Vorderrhein musste die Befahrbarkeit mit Seilreitern erzwungen werden. Diese Bahn zur Winterkontrolle der Staumauer Nalps verläuft ungefähr horizontal, mit drei je fast 1000 m langen Feldern. Hieraus ergibt sich bei jeder Fahrt eine wahre Berg- und Talbahn, mit 3fachem Umschlagen des Antriebs von motorischem zu generatorischem Betrieb und der gleichzeitigen Umkehrung der ganzen Zugseildynamik auf 2×3 km Länge!

Schliesslich fand auch der Gedanke der aufgehängten Standseilbahn weitere Anwendung, indem der Verfasser vor rund 10 Jahren in Frankreich einen «Funiculaire suspendu» baute, einspurig, mit einer Kabine für 45 Personen, die genau nach der Art der Standseilbahn in drei gestaffelten Abteilen Platz finden. Die Bahn beanspruchte mit diesem Schema bei gegebener Förderleistung am wenigsten vom äusserst knapp vorhandenen Platz.

Die Probleme des Seilbahnbaues im Hochgebirge lösen sich aber nicht allein mit der Entwicklung von konstruktiven Besonderheiten. Eine Seilbahn bleibt schliesslich eine Seilbahn, ganz unabhängig von der Meereshöhe. Dafür stellen sich dem Bauingenieur noch ganze Reihen handfester Probleme. Die Bauseilbahnen, so gross sie auch sein mögen, bilden immer wieder einen Flaschenhals, und das Wetter nicht weniger einen zweiten. Schwere Schneestürme und böartige Behinderungen des Baubetriebs können in den Monaten Juli und

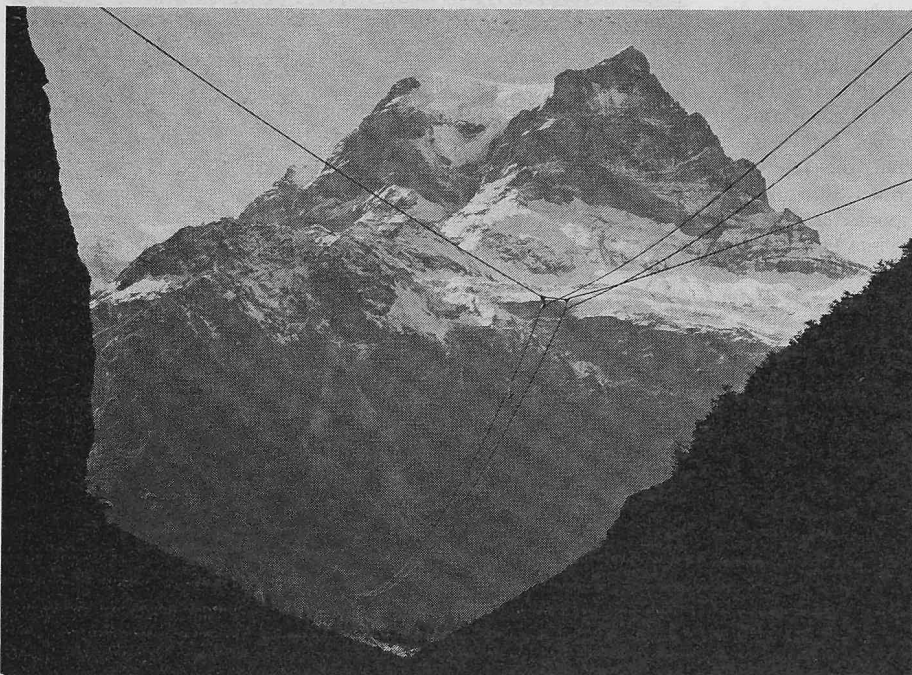


Bild 4. Gesamtansicht der Hängestütze Sandalp

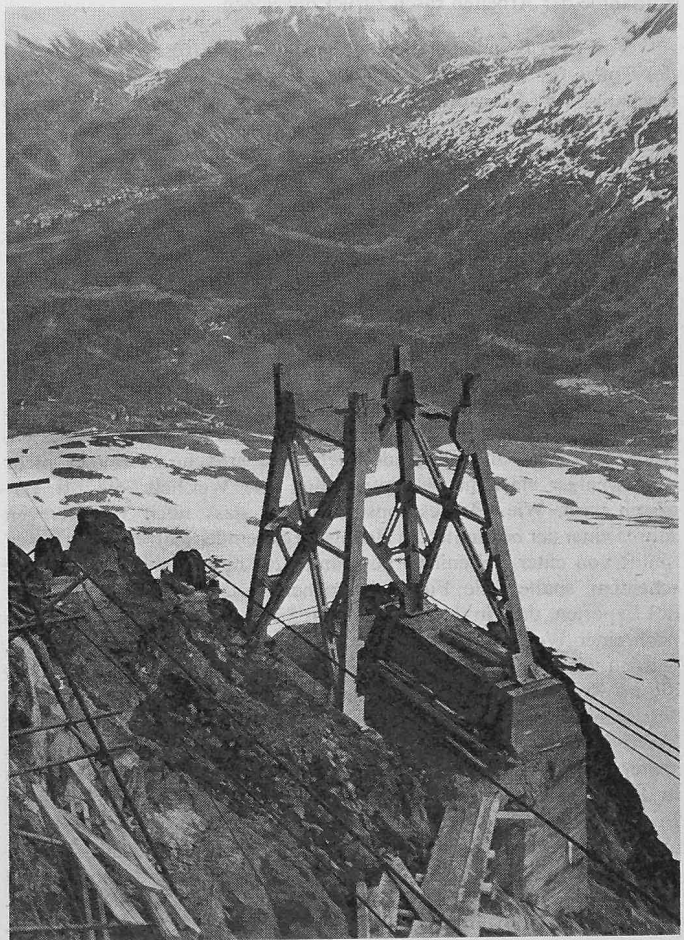
August ebensogut auftreten wie mildes Herbstwetter und tadellose Verhältnisse zum Betonieren in den Monaten November und Dezember. Das grösste Transportvolumen erfordern naturgemäss die Betonzuschlagstoffe, und hier muss sich der Ingenieur immer wieder ernsthaft überlegen, wie weit sich das in den Bergen reichlich vorhandene Steinmaterial verwenden lässt. Wenn dieser Gedanke nur ausgesprochen wird, erheben sich schon die ersten Widerstände, denn die Kornzusammensetzung des anfallenden Materials dürfte nie der Fullerkurve entsprechen. Für das Trennen, Waschen, Sandbeifügen, Neumischen usw. fehlt in der Regel alles: der Platz, das Wasser und die Energie. Es sei in diesem Zusammenhang auf ein kleines Erlebnis zurückgegriffen: Beim Bau der zweiten Gemmileitung der Bernischen Kraftwerke in den Jahren 1943/44 trat unter anderem ein kleiner Oberländer Unternehmer auf. Sein Inventar bestand aus einem Maultier, einem kleinen Steinbrecher und einem Motor dazu, nebst einigen Brettern und etwas Kantholz. Diese ganze Installation, drei bis vier Maultiertraglasten, zügelte er von Mastenfundament zu Mastenfundament. An jedem Platz wurden die aus und neben dem Aushub anfallenden Steine kurzerhand gemahlen und in eine Art Betonkies verwandelt. Auf meinen Einwand, dass dieser schieferige Dreck nie einen normengemässen Beton abgeben könne, wurde ich von den Herren der Oberbauleitung mild lächelnd zu den Fundamenten der alten Gemmileitung aus der Zeit nach dem ersten Krieg geführt. Auch diese Fundamente waren mit Schiefergrus betoniert worden und waren tadellos erhalten. Der gesunde Beton war sehr grobporig und daher unempfindlich gegen Feuchtigkeit und Frost. Seine Druckfestigkeit erreichte vielleicht 200 kg/cm^2 , sicher nicht mehr. Für ein zweckmässig armiertes Mastenfundament ist dies ja vollkommen genügend. Seither wurde es für uns zur feststehenden Regel, dass bei abgelegenen Bauten auch diese Möglichkeit geprüft wird, und dass die Betonkonstruktionen gegebenenfalls weniger nach Norm als nach dem dort anfallenden Kies- und Steinmaterial zu entwerfen seien. Dies sei ausdrücklich erwähnt, um zu zeigen, wie wichtig bei Hochgebirgsbauten die geistige Beweglichkeit sein kann, denn nur diese gibt den Mut zu ungewöhnlichen und rationellen Lösungen. Im Laufe der Jahre sind unter der Leitung des Schreibenden einige Tausend Kubikmeter Beton nach diesen Überlegungen eingebaut worden. Die Baustellen lagen alle über 2600 m Meereshöhe. Selbstverständlich eignen sich nicht alle Gesteine gleich gut zur Aufbereitung, zum Beispiel fallen weiche, erdige oder blättrige Schiefer ausser Betracht. Die Hauptsache ist, dass unabhängig vom Zertrümmerungsgrad des Felsens der einzelne Stein genügend Härte aufweist. Für die Brecherei wurden kleine Backenbrecher eingesetzt, teilweise mit Ventilatoren zum bestmöglichen Wegblasen des Staubes. Anschliessend wurde das Material durch 8-mm-Siebe nach Komponenten getrennt. Die Trennung und das richtige Zusammensetzen sind viel wichtiger als das ohnehin nicht mögliche Waschen, denn das noch in grossen Mengen vorhandene Feinmaterial, kompensiert durch eine Erhöhung der Zementdosierung, verbessert die Dichtigkeit und Frostbeständigkeit. Die erzielten Druckfestigkeiten stiegen selten über 350 kg/cm^2 , sanken aber auch nicht unter 200 kg/cm^2 . Dies erscheint durchaus genügend für den armierten Massenbeton, wie er in Verankerungen, Maschinenfundamenten und Tragwänden, das heisst im überwiegenden Teil des unter hochalpinen Bedingungen eingebauten Materials Verwendung findet. Nur für einzelne besonders belastete Teile und für Verputze wurde Flussand beigefügt zur Verbesserung der Kornzusammensetzung. Es versteht sich am Rande, dass dadurch eine gewaltige Entlastung des Transportbudgets erzielt wurde. Eine Einschränkung ist allerdings am Platze: Wenn das Material in einem besonderen Steinbruch ausserhalb der Baugrube abgebaut werden muss, wird der Transport von Normkies aus dem Tale in der Regel vorteilhafter, sofern es sich um das begrenzte Bauvolumen einer Seilbahnstation handelt.

Noch eine andere Erkenntnis verdient der Erwähnung: Die projektierenden Ingenieure wie auch die Lieferanten der maschinellen Ausrüstung haben immer die Tendenz, zur Verkürzung der Bauzeit auf Stahlbauten zu greifen. Die Überlegung ist an sich schon richtig, nur müssen leider meistens die gesparten Betonkubaturen trotzdem eingebaut werden, und zwar als Ballast, um das Kippmoment der zehn oder mehr Meter über den Fundamentsohlen angreifenden Seilkräfte auszugleichen. Hier kann die moderne Felsankertechnik helfen und zu einer echten Zeitersparnis führen. Allerdings setzt diese Technik gründliche Sondierungen oder Bohrungen voraus, deren Durchführung die Anwesenheit einer brauchbaren Bauinstallation (Transport, Unterkunft, Energie und Wasser) erfordert. Damit



Bild 5. Schwerlastbahn Piano di Peccia. Bauherr: Kraftwerke Maggia SA; Projekt: A. Schönholzer; Ausführung: Habegger, Thun, und Tenconi, Airolo (Photo H. Heiniger, Spiez)

Bild 6. Stütze der Corviglia-Piz-Nair-Bahn während der Montage. Bauherr: Bergbahnen St. Moritz; Projekt und Bauleitung: A. Schönholzer; Ausführung: Habegger, Thun, und Christoffel, St. Moritz (Photo M. Robbi, St. Moritz)



stösst man auf ein weiteres Problem des Baues im Hochgebirge: die Projektierungs- und Vergebungspraxis. Obwohl die Bauarbeiten ungefähr die Hälfte der Gesamtaufwendungen erfordern, tobt der Kampf um die Vergabung allein zwischen den Projekten der einzelnen Maschinenfirmen. Der ganze Bau läuft in Form von Schätzungen mit, und muss wenn möglich verbindlich in die Übernahmeofferte eingeschlossen werden. Nur bei Dienstbahnen kann es gelingen, die notwendige Erschliessung der Baustelle aus dem Angebot herauszunehmen und vorgängig auszuführen, als unentbehrliche Grundlage einer korrekten Projektierung des Ganzen. Im Regelfall kann die Erstellung der Baubahn erst nach dem Zuschlag beginnen. Mit ihrer Betriebsaufnahme sollten dann sofort und gleichzeitig Sondierungen, Projektierung und Ausführung anfangen, eine wahre Quadratur des Zirkels! Diese Methode ist wesentlich mitverantwortlich für die oft sehr bedeutenden Kostenüberschreitungen, die dann generell «dem Bau» angelastet werden. Der Zustand ist bedauerlich, er lässt sich aber nicht vermeiden ohne vernünftige Absprachen zwischen den sich scharf konkurrierenden Seilbahnfirmen.

Andere Probleme stellt der Untergrund, denn gerade die wintersporttauglichen Gipfel unserer Alpen sind meistens tektonisch stark zertrümmert. Das, was sich dem Auge als Felsaufschwung darbietet, entpuppt sich bei näherer Untersuchung oft als durch Eis zusammengeklebter Trümmerhaufen. Der sogenannte «gute Felsen» hat in diesen Lagen Seltenheitswert. Die Erscheinungen der Permafrostzone beginnen je nach örtlicher Sonnenbestrahlung etwa in den Höhen von 2200 bis 2500 m, entsprechend dem Absinken unter Null des Jahresmittelwertes der Lufttemperatur. Für das Betonieren entstehen dabei wenig oder keine Schwierigkeiten, da die Aussentemperatur von der offenen Baugrube her rasch in das umliegende Gestein eindringt. Schwieriger ist der Aushub tiefer Gruben oder gar das Vortreiben von Untertagebauten. Das Auftauen des frisch aufgeschlossenen Materials verläuft unregelmässig, folgt gewissen Klüftungen und lässt sich auch durch den Einsatz von permanenten Bohrloch-Thermometern nicht hinreichend überwachen. Die natürliche Kohäsion des Felsens wird tiefgreifend gestört, wenn nicht zerstört, und die Gefahr von Nachbrüchen ist nicht zu unterschätzen. Jedenfalls darf an langen Felsankern und Abstützungen nicht gespart werden. Bei stillgelegten Stollenabschnitten ohne Durchzug erschien die Frostgrenze innert wenigen Wochen wieder an der Betonoberfläche, um nach der Neuaufnahme der Arbeiten rasch zurückzuweichen.

Von ganz besonderer Bedeutung sind Permafrost und tiefliegendes Toteis für die Foundationen. Das Eis neigt schon unter geringer mechanischer Beanspruchung zur Umkristallisation, zum Ausweichen und Nachgeben. Versteckte Toteislinsen führten beim Bau der Säntis-Bahn von mehr als dreissig Jahren zu Schwierigkeiten. Die Projektierung muss dieser Möglichkeit sorgfältig Rechnung tragen, sobald der Eisanteil im oben erwähnten «Schutthaufen» ein gewisses Mass überschreitet. Die Sondierungen zur Erfassung dieses Masses dürften nur unsichere Ergebnisse bringen, da der Frost durch die Baueingriffe rasch zurückgedrängt wird, es sei denn, man arbeite im Winter und unter Laboratoriumsbedingungen. Der Geschicklichkeit des leitenden Ingenieurs bleibt daher ein grosser Spielraum, im Einzelfall die richtige Lösung zu treffen.

Schnee und Eis treten auch in Form von Gletschern auf, deren Eigenbewegung und Unzuverlässigkeit jeden Aufbau ausschliessen. Auch die scheinbar stillliegende Gletscheroberfläche ist immer mehr oder weniger stark in Bewegung, eine alte Weisheit, die oft vergessen wird. Wie wäre es sonst denkbar, dass noch vor wenigen Jahren einer der bekanntesten Hochgebirgsfremdenplätze einen grossen Skilift von einer Felseninsel aus rund 1200 m weit schräg über eine scheinbar spaltenfreie Firnfläche ziehen wollte. Auf den Einwand des Experten, dass in der vorliegenden Situation einige Masten schon nach einer Woche deutlich neben der geraden Linie stehen würden, wurden wie immer die «ältesten Bergführer» der Gegend aufgerufen, die im Brustton der Überzeugung erklärten, dass der Firn hier seit Menschengedenken gleich stehe! Als Kompromiss wurde dann der Skilift durch eine Reihe aufgestellter Latten markiert; wenige Wochen später war das ganze schon in Auftrag gegebene Projekt geräuschlos in der Versenkung verschwunden. Um bei diesem Thema zu bleiben: In neuerer Zeit sind doch da und dort an günstigen Stellen Skilifte auf dem Gletschereis entstanden. Dies ist nur möglich, wenn der Firn an der Grenze zum Toteis ist, oder die Eigenbewegungen parallel zur Seilachse laufen. Dafür kämpft man mit einer anderen, oft übersehenen Schwierigkeit: der Firnlinie, deren Verlauf niemand voraus-

sagen kann. Unterhalb dieser Linie, die jedes Jahr je nach dem Wetterverlauf mehrere hundert Meter höher oder tiefer liegt, kann die tragende Eisoberfläche um einige Meter abschmelzen, und die Konstruktionen zum Einsturz bringen, und darüber verschwinden die Fundamente unter ebensoviele Metern neuen Firns, so dass man die Anlagen zur Erhaltung des Lichtraumprofils ausgraben muss. Diese Schwierigkeiten lassen sich einfach umgehen, und müssen in Planung und Budgetierung berücksichtigt werden. Nicht immer hat man soviel Glück wie mit der seinerzeitigen Bauseilbahn *Stafelalp-Schönbühl* (Grande Dixence) quer über den Zmutt-Gletscher. Einer der 25 m hohen Masten musste auf einem Schuttfeld über Toteis aufgestellt werden, und die Seillinie des grössten Spannungsfeldes führte durch rechts und links drohende Eistürme. Für einmal unterwarf sich die Natur dem Menschen: der Mast überstand die ganze Bauzeit, und die Türme schmolzen unter dem Durchfahrtsprofil der Kabine hinweg.

Nicht nur das Eis neigt zu Bewegungen, überall im Alpenraum finden sich grössere oder kleinere Hangrutschungen oder Sackungen, bekannte und unbekannt. Für leichte Anlagen, wie Ski- und Sessellifte, bedeutet dies kein Problem; nichts ist einfacher als Stützen verschiebbar auf Sockel zu stellen, oder nach einer Anzahl Jahren neue Fundamente neben die alten zu setzen. Für grosse Bahnen werden diese Probleme schwieriger, die geologischen Untersuchungen gewinnen an Bedeutung.

Hier kommt es vor allem auf die Zusammenarbeit zwischen dem Ingenieur und dem Geologen an, oder besser, der Ingenieur muss sich genau überlegen, welche Fragen er vom Spezialisten beantwortet haben will. Diese Feststellung ist gar nicht so selbstverständlich, denn der Geologe muss in anderen Zeitmassstäben denken, und ohne klare Fragestellung bedürfen seine Ausführungen meistens einer entsprechenden Deutung. Dies kann aber mit Schwierigkeiten verbunden sein, was nachfolgend durch einen besonders krassen Fall veranschaulicht sei. Jener Geologe war in einem höheren Lehramt tätig und wohl der beste Kenner der örtlichen Verhältnisse. Er verlangte, dass die Sockel einer den Schutzwald oberhalb der Ortschaft durchquerenden Sesselbahn mit Glaswolle gegen den Untergrund abzuschirmen seien. Es könnten sonst die von den Seilrollen herrührenden Vibrationen die instabilen Triasformationen zum Einsturz bringen und Bergrutsche auslösen. Wie soll der Ingenieur solche Behauptungen vor einem Laiengremium entkräften? Alle seine Argumente stehen unter dem Verdacht, er wolle seinen Auftraggebern zum Schaden der Allgemeinheit zu einer billigeren Ausführung verhelfen. Da war jener andere Fall harmloser, als eine lang bestehende Seilbahnschneise aufgegeben wurde und zum Schaden des Hochwaldes 100 m daneben eine neue geschlagen werden musste. Angeblich hatte der Geologe im Bereich einer Stütze eine kleinere Sackung entdeckt. Hier wurden die Aussagen des Spezialisten zum Schaden des Waldes eindeutig überbewertet.

Es mag vermessen erscheinen, im Zusammenhang mit der Frage des Bezuges von Spezialisten die Staumauerkatastrophe von Fréjus zu erwähnen. Wer die damaligen Berichte aufmerksam verfolgte und auch die Unglücksstelle besuchte, musste erkennen, dass dort sicher lauter hervorragende Spezialisten am Werk waren, dass aber der koordinierende und richtig bewertende Projektleiter mit dem nötigen Blick für das wesentliche einfach gefehlt hat. Viele Spezialisten allein schaffen kein ganzes Werk, wie auch die blossen Kenntnisse der Bauvorschriften für Seilbahnen niemandem zum Seilbahnbauer macht, am wenigsten in den Hochalpen.

Abschliessend möchte der Verfasser auf die eingangs erwähnte Wechselwirkung und die Pionierleistungen der Spezialbahnen zurückkommen, und dankbar festhalten, dass die Beeinflussung auch in der umgekehrten Richtung geht. Viele der moderneren Baubahnen und vor allen die permanenten Dienstbahnen sind heute mit den für den öffentlichen Verkehr entwickelten Überwachungs- und Hilfsgeräten ausgerüstet. Ihr Sicherheitsgrad ist heute grösser als derjenige der früheren Bahnen des öffentlichen Verkehrs. Man darf darin einen Beweis für die soziale Aufgeschlossenheit der Schweizer Bauwirtschaft erblicken, denn der Fortschritt in der Sicherheit kommt allen zugute, dem fremden Touristen wie den Ausführenden, von der leitenden Persönlichkeit bis hinunter zum letzten Sizilianer Handlanger.

Adresse des Verfassers: *Albert Schönholzer*, dipl. Ing., ETH, SIA, beratender Ingenieur, Allmendstrasse 2, 3600 Thun.