Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 101 (1983)
Heft: 6: Prof. Dr. Bruno Thürlimann zum 60. Geburtstag

Artikel: Hängeleitung Felskinn in Saas-Fee
Autor: Grob, Josef
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75064

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: 07.08.2025

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

sende Überprüfung der Bemessung angebracht. Hier sind die Schnittkräfte gemäss Abschnitt «Genauere Bemessungsverfahren zu bestimmen. Die erforderlichen Berechnungen können heute auf den meisten Tischrechnern durchgeführt werden.

Schlussbemerkungen

Die Berechnung und Bemessung von Fachwerkträgern aus Holz ist recht arbeitsaufwendig und erfordert grosses konstruktives und statisches Verständnis. Infolge der relativ grossen Nachgiebigkeit der Verbindungen (im Verhältnis zu den Stabdehnungen) dürfen diese insbesondere bei den Verformungsnachweisen, zum Teil aber auch bei der Ermittlung der Schnittkräfte nicht ausser acht gelassen werden.

Die relativ grosse Biegesteifigkeit der durchlaufenden Gurtungen (im Verhältnis zur Steifigkeit des Trägers) führt zudem dazu, dass die Gurtungen zusätzlich zu den Normalkräften – aus Verträglichkeitsgründen – auf Biegung beansprucht werden.

Bei fehlender Zentrierung und/oder bei Querbelastung der Gurtungen treten zudem aus Gleichgewichtsgründen noch weitere Biegemomente auf.

Selbst für den Idealfall zentrischer Ausbildung und Lasteinleitung nur in den Knoten ist in der Regel eine direkte Bemessung der Stäbe nicht möglich. Einen Ausweg bieten genormte Fachwerksysteme an, bei denen – infolge typisierter Anschlüsse – wesentliche Voraussetzungen für eine Vereinheitlichung und Vereinfachung der Bemessung vorhanden sind. Ausgehend vom BSB-Systembinder wird ein derartiges, äusserst anwenderfreundliches Vorgehen – das auf andere Systeme übertragbar ist – aufgezeigt. Die Bemessungsarbeit wird dadurch nicht nur auf ein Bruchteil reduziert, sondern weist auch eine wesentlich geringere Fehleranfälligkeit auf.

Adresse des Verfassers: *E. Gehri*, dipl. Ing. ETH, Baustatik und Stahlbau, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.

Literatur

[1] Entwurf und Bemessung von Schnittholz-Konstruktionen mit neuzeitlichen Verbindungen (1979). SAH-Fortbildungskurs XI, Weinfelden

[2] Einführung in die Norm SIA 164 (1981) – Holzbau (1981). Baustatik und Stahlbau, Publikation Nr. 81-1, ETH Zürich.

[3] *Gehri, E.* (1982): «Fachwerkträger aus Buche und Fichte mit Stahlknotenplatten in eingeschlitzten Hölzern». Baustatik und Stahlbau, Publikation Nr. 82-1, ETH Zürich

[4] *Gehri, E.* (1980): «Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen». Schweizer Bauwirtschaft, Nr. 56

[5] *Schneider, J.* (1971): «Überlegungen zu einem konkreten Sicherheitsbegriff für die Bemessung von Bauwerken». Schweiz. Bauzeitung, S. 731–736

[6] *Blumer, H.* (1982): «Entwicklung einer normierten Holzverbindung und gemachte Erfahrungen». In «Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis», K. Möhler gewidmet, Bruderverlag Karlsruhe

[7] *Gehri, E.* (1980): «Betrachtungen zum Tragverhalten von Bolzenverbindungen im Holzbau». Schweizer Ing. und Architekt, H. 51/52

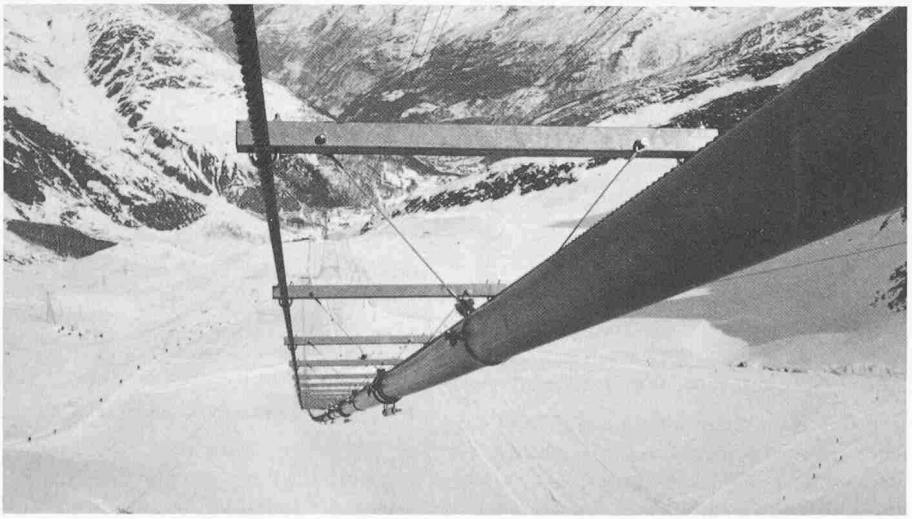
Hängeleitung Felskinn in Saas-Fee

Von Josef Grob, Arlesheim

Allgemeines

Grösstes und wichtigstes Bauvorhaben der Luftseilbahnen Saas-Fee AG ist gegenwärtig die *unterirdische Standseilbahn «Metro-Alpin»*, die einen zusätzlichen Teil des weitläufigen Gletschergebietes oberhalb Saas-Fee erschliessen soll und an der seit dem 1. Sept. 1981 gearbeitet wird. Die projektierte Standseilbahn, die aus Gründen des Betriebes, der Wartung und des Umweltschutzes einer Luftseilbahn vorgezogen wurde, fährt auf ihrer gesamten Bahnlänge von 1447 m in einem *Schrägschacht*. Sie führt vom *Felskinn*, das seit dem Jahre 1969 durch eine Luftseilbahn erschlossen ist, auf die Krete des Mittelallalin in 3456 m ü.M.

Bild 1. Fertige Hängeleitung



Der Schrägschacht für die Standseilbahn «Metro-Alpin» unterfährt Gletscherpartien in einem minimalen Abstand von nur 10 m bis 15 m zur Gletschersohle. Da die Gletschernähe einen schonenden Felsabbau erfordert, wurde das mechanische Auffahren des Schrägschachtes trotz der grösseren logistischen Probleme dem Sprengvortrieb vorgezogen. Das 420 cm grosse Kreisprofil wird mit einer Tunnelbohrmaschine vom Typ Robbins 136–204 aufgefahren, die, in Einzelteile von maximal 12 t Gewicht zerlegt, mit der bestehenden Luftseilbahn zur Startröhre auf 2980 m ü.M. gebracht wurde.

Die Hängeleitung Felskinn (Bild 1) ist Teil einer Pumpförderanlage, die zur Versorgung der Baustelle «Metro-Alpin» Wasser von 1830 m ü.M. nach Felskinn auf 2987 m ü.M. transportiert. Um die *Versorgung der Baustelle mit Industriewasser* zu gewährleisten, stellt die Bauherrschaft der Unternehmung auf Felskinn eine Wassermenge von 100 m³ je Tag zur Verfügung. Die Unternehmung muss den *Mehrverbrauch* durch ein *geeignetes Recycling*, d.h. Auffangen, Reinigen und Wiederverwenden des vorhandenen Industriewassers, abdecken. Entsprechend der festgelegten Wassermenge von 100 m³ je Tag wurde die Pumpförderanlage auf eine Leistung von 1,25 l/s ausgelegt.

Wirtschaftliche Überlegungen führten zu einer *vierstufigen Pumpförderanlage*, wie sie in Bild 2 dargestellt ist. In der obersten Stufe erreicht die Förderhöhe einen Maximalwert von 327 m, der sich aus 302,6 m geodätischem Höhenunterschied und aus 24,4 m Reibungswiderstand zusammensetzt.

Die *Leitungsführung* und die Standorte der Zwischenreservoire wurden auf die topographischen und geotechnischen Randbedingungen abgestimmt. Ebenso war man bestrebt, den zahlreichen *Lawinenzügen* möglichst auszuweichen. Im untersten Teilstück führt die Leitung durch ein Gebiet, das mit Gras und Büschen bewachsen ist. Ab 2100 m ü.M. geht das Gelände in eine Moränen- und Geröllwüste über. Schliesslich überwindet die Leitung zwischen Reservoir 4 und Felskinn einen Gletscher, dessen Bewegungen zurzeit Beträge um 15 m jährlich erreichen. Es ist klar, dass eine Versorgungsleitung bei derartigen Verschiebungen nicht mehr ins Terrain verlegt werden darf. Die Wasserleitung ist in diesem Bereich an einer speziellen Tragkonstruktion aufgehängt und überquert den Gletscher in Form einer *Freileitung* (Bild 1).

Die *Erstellungskosten* der Pumpförderanlage von total 3950 m Länge belaufen sich auf ungefähr 1,6 Mio. Fr. wobei etwa die Hälfte für den 910 m langen Freileitungsabschnitt aufgewendet werden musste.

Was die Versorgung mit *Trinkwasser* betrifft, reicht das bestehende System mit Wassertransport in Tanks, die unter den 100 Personen fassenden Kabinen der Luftseilbahn angehängt sind, auch für die zusätzlichen, allerdings kleinen Bedürfnisse der Baustelle aus. Nach Abschluss der Bauarbeiten an der Standseilbahn «Metro-Alpin» wird die Pumpförderanlage für die Trinkwasserversorgung der Bergbahnen und der damit verbundenen Restaurationsbetriebe verwendet. Ein *Betriebskostenvergleich* zeigte nämlich, dass die geplante Pumpförderung des Trinkwassers im Vergleich mit der üblichen Seilbahnförderung günstig abschneidet.

Entwurf der Hängeleitung

Das Tragsystem ist eine *Hängekonstruktion ohne Versteifungsträger*, wobei die Wasserleitung in einem Hüllrohr ∅ 125 mm aus Hartpolyäthylen verläuft, das an zwei Tragseilen ∅ 36 mm aufgehängt ist. An den beiden Enden sind die Tragseile fest verankert, talseits an einem Verankerungsmast und bergseits an einer Pollerverankerung.

Wegen des ungünstigen Längenprofils (Bild 3) musste eine *auf dem Gletscher stehende Mittelstütze* angeordnet werden. Der Kopf dieser Stütze wird durch vier Abspannseile gehalten. Die Mittelstütze bewegt sich zusammen mit dem Gletscher talwärts, indem sie entsprechend den Bewegungen der Gletscheroberfläche unter den Tragseilen durchgeschoben wird. Bei einer *jährlichen Gletscherbewegung von rund 15 m* in diesem Bereich ist die Hängeleitung für eine maximale Verschiebung der Mittelstütze von 50 m in Längs- und von ±10 m in Querrichtung ausgelegt. Mit diesen zulässigen Verschiebungswerten soll ein durchgehender Betrieb der Wasserversorgung während der etwa dreijährigen Bauzeit der Standseilbahn «Metro-Alpin» ermöglicht werden, deren Inbetriebnahme auf die Wintersaison 1984/85 vorgesehen ist. Die gewählte Voreinstellung der Mittelstütze von 5 m in Querrichtung ergab sich aus dem gegenwärtigen Verschiebungsvektor des Gletschers sowie aus der Lage eines in Stützennähe verlaufenden Gletscherspaltes.

Die Kapazität der Pumpförderanlage Felskinn wird nach Fertigstellung der Standseilbahn «Metro-Alpin» vor allem in den Sommermonaten nur schwach ausgenützt sein. Deshalb ist in dieser Phase ein Betriebsunterbruch, wie er für das Zurückstellen der Mittelstütze nötig ist, mit den vorhandenen Reservoir-Kapazitäten ohne weiteres möglich. Nach Erreichen eines der zulässigen Verschiebungswerte von 50 m

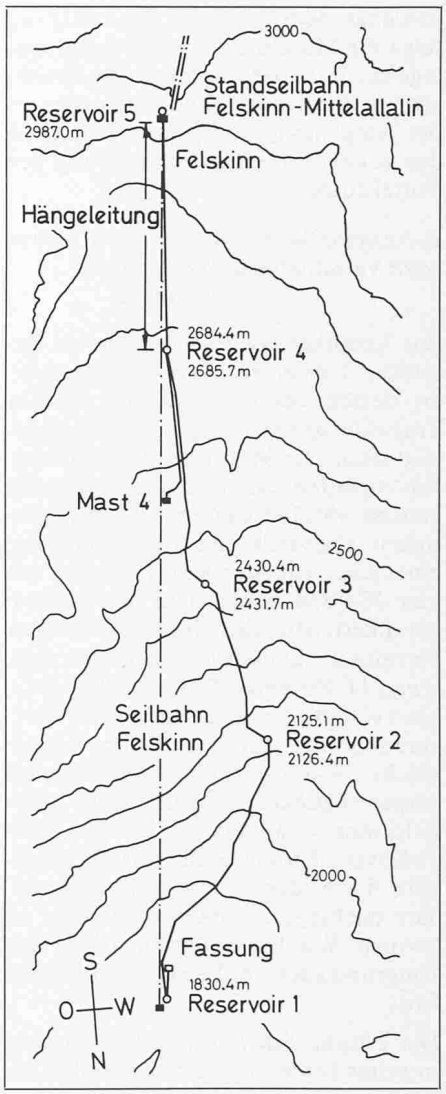
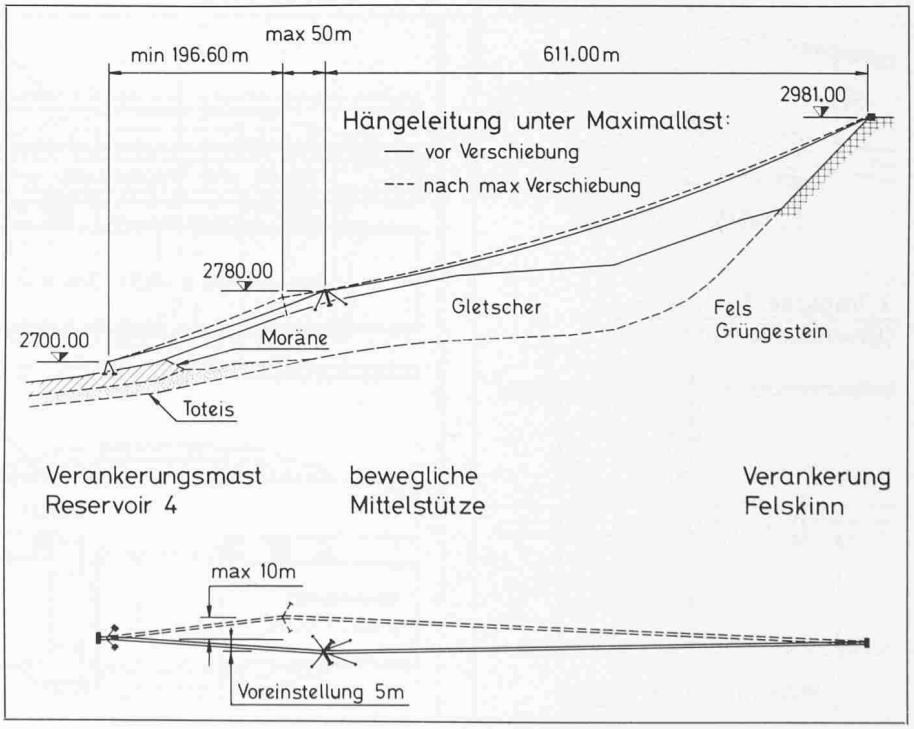


Bild 2. Übersicht Pumpförderanlage

Bild 3. Übersicht Hängeleitung



in Längs- oder ±10 m in Querrichtung muss die Mittelstütze in ihre Ausgangslage zurückversetzt werden. Die *Spannweiten* der Hängeleitung betragen in der Ausgangslage bzw. nach Erreichen der zulässigen Längsverschiebung der Mittelstütze:

in Ausgangslage: 246,60 m und 611,00 m
nach Verschiebung: 196,60 m und 661,00 m

Zur Verankerung der Tragseile bei Reservoir 4 dient ein *Verankerungsmast,* an dessen oberem Ende die beiden Tragseile mittels Vergussköpfen befestigt sind. Der Mast ist mit Stahlbetonfundamenten auf einer über Toteis liegenden Moräne von etwa 12 m Mächtigkeit abgestellt und zur Erreichung einer ausreichenden Kippsicherheit mit vier 40-t-Bodenankern in der Moräne verankert. Mit Ausnahme der obersten Terrainschicht befindet sich der *Baugrund im Permafrost-Bereich.* Auf Felskinn sind die Tragseile an einer Pollerverankerung aus Stahlbeton festgemacht, die mit zwei 40-t-Felsankern im Serpentingestein (Grüngestein) des Felskinns verankert ist. Die gewählte *Pollerverankerung* ergibt die Möglichkeit, die beiden Tragseile je nach Bedarf nachspannen oder nachlassen zu können. Wie bei Reservoir 4 liegt der Baugrund auch auf Felskinn im Permafrost.

Die Lösung des *Frostproblems* besteht in erster Linie in einem dauernden Bewegung-Haltens des Wassers. Damit das Wasser in der Förderleitung nie still steht, entleert sich die Druckleitung nach dem Ausschalten der Pumpen automatisch, was durch ein *Minimalgefälle* der Förderleitung von 10 Prozent garantiert ist. Dieses Prinzip wurde nicht nur bei der Hängeleitung, sondern auch in den übrigen Leitungsabschnitten konsequent durchgezogen. Zusätzlich baute man im Reservoir 4 unterhalb der exponierten Hängeleitung noch einen *Durchflusserwärmer* von 25 kW Heizleistung ein, mit dem das Wasser bei kritischer Kältesituation um 5 °C aufgewärmt werden kann.

Hängekonstruktion

Tragsystem

Haupttragelemente der Hängekonstruktion sind zwei *Litzenseile,* Seale ∅ 36 mm, mit Faserstoffseele. Ihre garantierte Bruchkraft beträgt je 810 kN. Auf den beiden Tragseilen, die im Grundriss 100 cm auseinanderliegen, sind im Abstand von 254 cm Reiter aus Vierkantrohren 60 mm × 40 mm befestigt, an denen Steckmuffenrohre ∅ 125 mm × 7,4 mm aus Hartpolyäthylen mittels Seilstruppen aufgehängt sind (Bild 4).

Litzenseile und Hartpolyäthylen-Rohre weisen ein stark unterschiedliches Verformungsverhalten auf. So beträgt der lineare Temperaturausdehnungskoeffizient beispielsweise $20 \cdot 10^{-5}$ für Hartpolyäthylen gegenüber $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ für Drahtseile. Aus diesem Grunde und, weil das *Hüllrohr* nicht unter Zug oder Druck geraten soll, wurden die 501 cm langen Steckmuffenrohre ineinander gesteckt, jedoch nicht fest miteinander verbunden. Es muss angenommen werden, dass die Reibungskräfte in den Steckmuffenverbindungen verschieden gross sind und folglich unterschiedliche Relativverschiebungen auftreten. Damit kein Rohrende aus der Steckmuffe herausgleiten kann, wurde eine *Ausziehsicherung* eingebaut, bestehend aus zwei Rohrschellen und einem Verbindungsstab mit einem Langloch von 160 mm Spiel (Bild 4).

Das Hüllrohr schützt die eingelegten Leitungen vor intensiver UV-Strahlung, reduziert den Eisbehang dank der glatten Oberfläche und bildet ein Luftpolster um die Wasserleitung, wodurch ein allzu starkes Absinken der Wassertemperatur verhindert wird. Weil *Polyäthylen* mit dem als UV-Stabilisator zugesetzten Russ eine gute Widerstandsfähigkeit gegen UV-Strahlung aufweist [4, 5] und auch sonst günstige Eigenschaften besitzt, wurden Hüllrohre aus diesem Material verwendet.

Im *Hüllrohr verlaufen drei Leitungen:* die Wasserleitung, das dazugehörende *Steuerkabel* sowie ein *Telephonkabel,* das nicht Bestandteil der Pumpförderanlage ist (Bild 5). Die Hängeleitung kann unter Wind, Eisbehang und Tem-

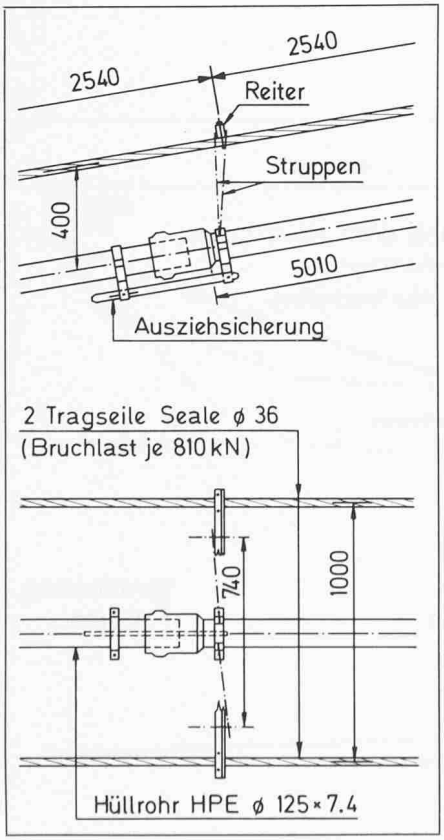
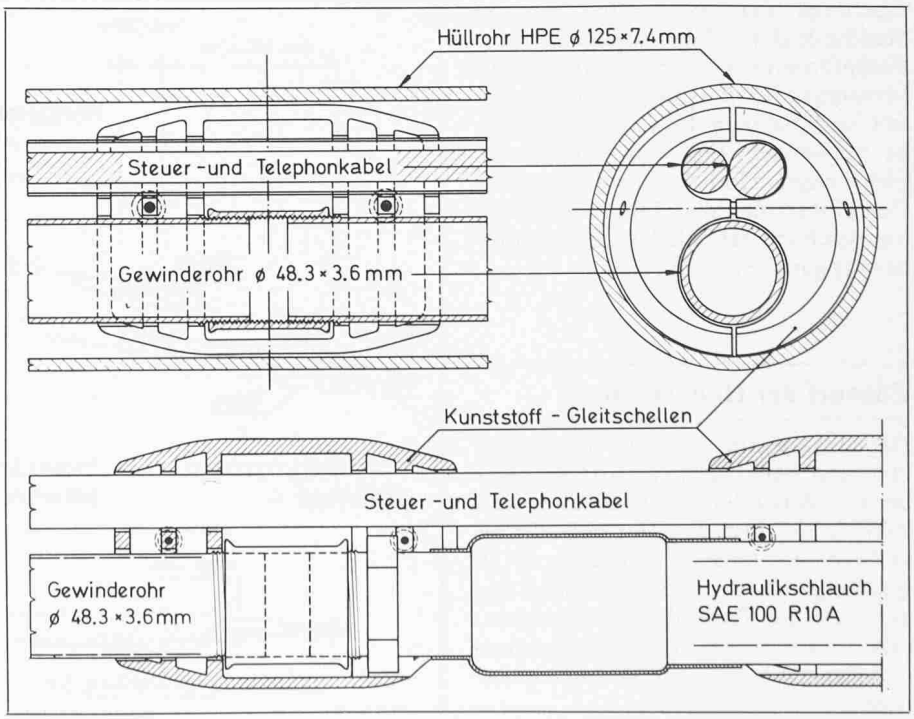


Bild 4 (links). Leitungsaufhängung

Bild 5. Leitungsquerschnitt



peraturänderungen beachtliche Seilverformungen aufweisen. Um den entsprechenden Längenänderungen auszuweichen und, weil in den Tragseilen und in der Wasserleitung im allgemeinen verschiedene Temperaturen herrschen, ist das ganze *Leitungsbündel* gleitend im Hüllrohr gelagert. Alle drei Leitungen sind an der Pollerverankerung auf Felskinn mittels Schubklemmen festgemacht. Gegen den Verankerungsmast bei Reservoir 4 nehmen die Relativverschiebungen zwischen Hüllrohr und dem Leitungsbündel zu, schliesslich wird der gesamte Verschiebungsweg durch eine spezielle Dilatationskonstruktion beim Verankerungsmast aufgenommen.

Die Leitungen werden alle drei Meter mit eigens für diese Anlage entwickelten *Kunststoff-Gleitschellen* (Bild 5) zusammengehalten, damit sich das Leitungsbündel weder an den Steckmuffen noch durch Kabelverwicklungen festklemmen kann. Ausserdem ergibt sich dadurch ein verbesserter Wärmeschutz der Wasserleitung, weil das Leitungsrohr durch die Kunststoff-Gleitschellen geführt wird und so keinen direkten Kontakt mit dem Hüllrohr hat.

Die üblicherweise verwendeten Gewinderohre ∅ 48,3 mm × 3,6 mm wurden dort, wo grössere Krümmungen oder Winkeländerungen auftreten, durch *Hydraulikschläuche* vom Typ SAE 100R 10A ersetzt. So baute man in den beiden Verankerungsbereichen und bei der Mittelstütze Hydraulikschläuche ein, und zwar einen 8-m-Schlauch beim Verankerungsmast, einen 2-m-Schlauch bei der Pollerverankerung und vier 19-m-Schläuche über dem aus Sicherheitsgründen vergrösserten Verschiebungsbereich der Mittelstütze. Damit die Kunststoff-Gleitschellen auf die dickeren Hydraulikschläuche passten, mussten 50 Gleitschellen auf 64 mm ausgebohrt werden (Bild 5). Erwähnenswert ist auch, dass der bei der Pollerverankerung angebrachte 2-m-Schlauch durch ein spezielles Zugglied aus zwei dünnen Drahtseilen vom Hangabtrieb entlastet wurde, der in diesem Bereich den Maximalwert von etwa 20 kN erreicht.

Bemessung

Die Lastannahmen wurden der Norm SIA 160 (Ausgabe 1970) entnommen und den lokalen Verhältnissen der Felskinn-Region angepasst [1]. Auf diese Weise ergab sich eine statische Ersatzwindlast von 0,25 kN/m, die sich aus 0,15 kN/m für das Hüllrohr und aus je 0,05 kN/m für die Tragseile zusammensetzt. Der an Freileitungen auftretende Eisbehang wurde mit einer Last von 0,10 kN/m je Tragseil und von 0,06 kN/m für das Hüllrohr berücksichtigt. Damit lässt sich folgende Zusammenstellung der *Seilbelastungen* angeben:

Eigengewicht inkl. Wasser:	0,21 kN/m
Wind:	0,25 kN/m
Eisbehang:	0,26 kN/m
Maximallast vertikal:	0,47 kN/m

Die Berechnung der Seilkräfte und Seilverformungen wurde für die aufgeführten Belastungen in einem Temperaturbereich von −30 °C bis +20 °C sowie für die verschiedenen Montagezustände nach der *Elastizitätstheorie 3. Ordnung* durchgeführt. Dabei ermittelte man die Seilreibung auf dem Seilsattel der Mittelstütze iterativ. Der Elastizitätsmodul der verwendeten Litzenseile mit Faserstoffseele wurde im ganzen Spannungsbereich konstant zu 90 kN/mm² angenommen. Für den Fall der maximal verschobenen Mittelstütze ergab die statische Berechnung folgende Hauptergebnisse:

unter Maximallast:

max. Seilkraft:	504 kN/Seil
max. Durchhang:	29,80 m

unter Eigengewicht und Wind:

max. Seilkraft:	403 kN/Seil
max. Durchhang:	15,80 m
max. Seilauslenkung:	18,80 m

Wie die Zusammenstellung zeigt, ist für die Bemessung der Hängekonstruktion der Lastfall Eigengewicht und Wind nicht massgebend. Auch bei Berücksichtigung des Schwingungsverhaltens mit einer ersten Eigenfrequenz von 0,80 Hz in der grösseren Spannweite liegt die Seilbeanspruchung noch beträchtlich unter der bei Maximallast mit Eisbehang. Ausgehend von der maximalen Seilkraft von 504 kN ergibt sich somit eine minimale *rechnerische Bruchsicherheit* von 1,61 gegenüber der Bruchlast des Seiles von 810 kN. Dieser Wert wurde im Hinblick auf die nur in Ausnahmefällen vorkommende Maximallast als ausreichend betrachtet.

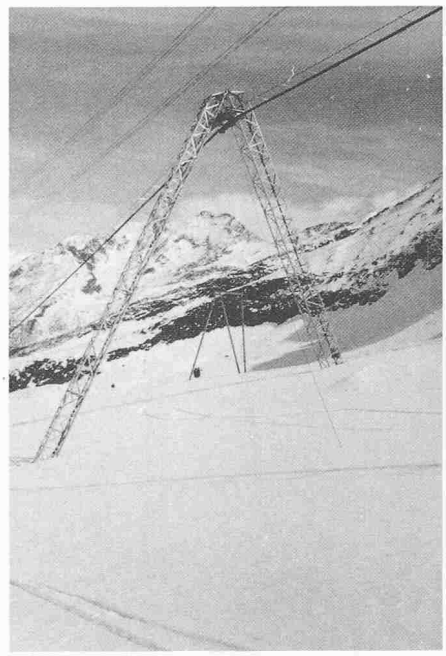


Bild 6. Mittelstütze

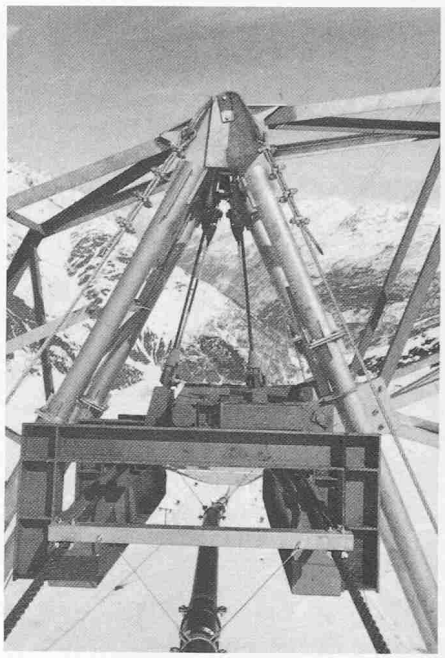


Bild 7. Mittelstütze, Seilsattel

Stützen

Mittelstütze

Auf dem Gletscher wurde eine zweibeinige Mittelstütze aus Baustahl Fe 360 mit Beinlängen von 27,02 m und 35,50 m aufgestellt (Bild 6). Der Stützenkopf wird durch vier Abspannseile gehalten, die im Gletschereis bzw. an einem mitbewegten Felsblock verankert sind. Man kann sich vorstellen, dass die Gletscherbewegungen unter den beiden Fusspunkten der Stütze nicht genau gleich gross sind. Aus diesem Grunde ist der *Stützenkopf* mit einem Gelenk versehen, so dass sich die Fusspunkte um maximal ±3 m relativ zueinander verschieben können. Die Stützenbeine sind deshalb gelenkig auf den *Stützenfüssen* gelagert. Zwischen diesen und dem Gletschereis sind Holzroste aus Eisenbahnschwellen eingelegt, um den Wärmefluss von der Stütze in das Eis zu erschweren und damit die Einsenkungen der Stützenfüsse klein zu halten.

Die beiden *Stützenbeine* sind als kastenförmige Fachwerkträger von 100 cm Breite und 100 cm bzw. 160 cm Höhe ausgebildet. Dabei weist das kürzere Bein eine von 100 cm auf 160 cm vergrösserte Trägerhöhe auf, um die Horizontalkräfte aus dem Seilsattel und die daraus entstehenden Biegemomente aufnehmen zu können. Wie Bild 7 zeigt, ist der *Seilsattel* mit vier Draht-

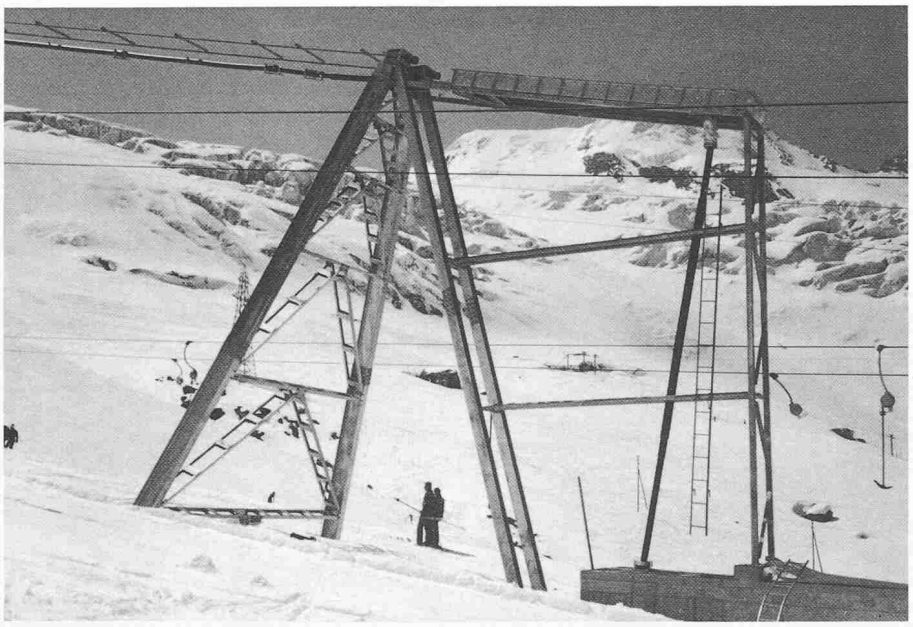


Bild 8. Verankerungsmast

seilen am Stützenkopf aufgehängt, damit die Freileitung auf einfache Art und Weise abgelassen oder hochgezogen werden kann. Die Aufhängung des Seilsattels ist so konstruiert, dass er sich in der Horizontalebene und in der durch die Längsachse verlaufenden Vertikalebene drehen kann. Als seitliche Führung dient ein *Zweigelenk-Halterahmen,* der einen am Seilsattel angeschweissten Rohrzapfen in Querrichtung festhält.

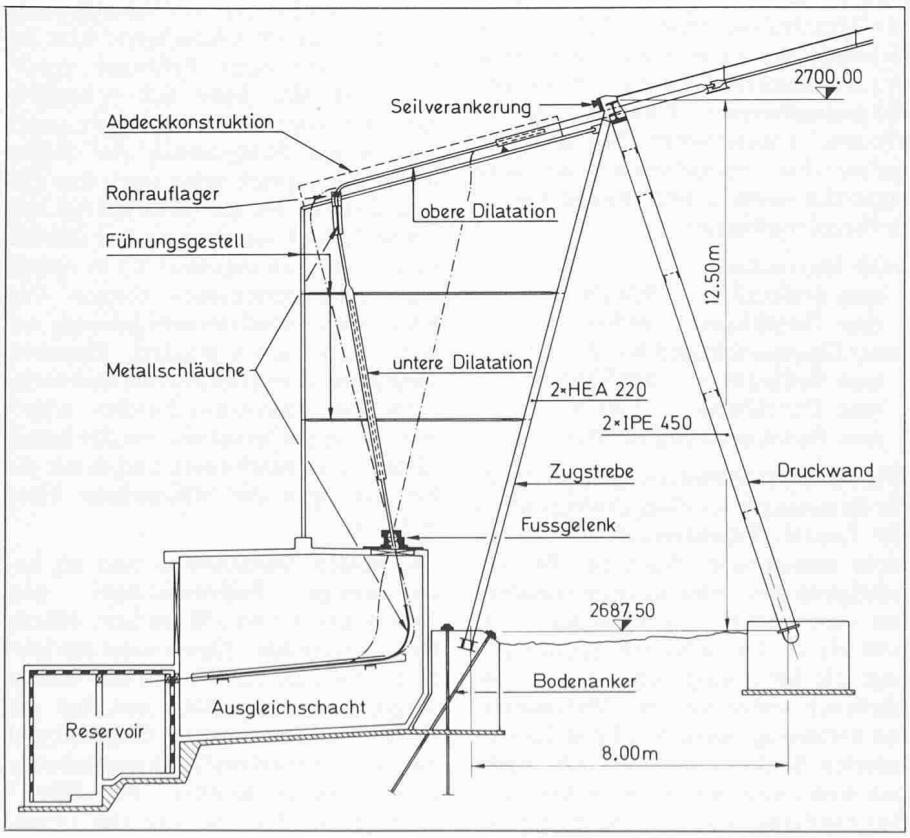
Verankerungsmast

Der Verankerungsmast bei Reservoir 4 ist eine 12,50 m hohe Konstruktion aus Baustahl Fe 360, dessen Tragsystem im wesentlichen aus einer ausgefachten Druckwand und einer Zugstrebe besteht (Bild 8). In der *Druckwand* bilden zwei Walzträger IPE 450 die Gurtungen. Sie nähern sich konisch von 800 cm Achsabstand bei den Fundamenten bis auf 100 cm am Stützenkopf und sind durch ein K-Fachwerk ausgesteift. Als *Zugstrebe* dienen zwei im Abstand von 100 cm angeordnete, parallel verlaufende Walzträger HEA 220, die mittels einer Quertraverse kraftschlüssig im Fundament einbetoniert sind.

Im Bereich der Hängekonstruktion sind sämtliche Leitungen gleitend im Hüllrohr gelagert. Folglich ergeben sich unter Wind, Eisbehang und Temperaturänderungen *Relativverschiebungen* zwischen dem Hüllrohr und dem Leitungsbündel. Die entsprechenden Verschiebungswege erreichen beim Verankerungsmast rechnerische Werte von maximal 330 cm. Aus Sicherheitsgründen ist die *Dilatationskonstruktion* jedoch auf einen etwas grösseren Verschiebungsweg von insgesamt 400 cm ausgelegt. Die Dilatationskonstruktion ist in Winkelform angeordnet und wird durch ein am Verankerungsmast angebautes *Führungsgestell* gestützt (Bilder 8 und 9). Dabei kann der ganze Verschiebungsweg von 400 cm durch Krümmung des Leitungsbündels in ausgesuchten Verformungsbereichen, aber ohne Längenänderung aufgenommen werden. Als Verformungsbereiche wurden eine 40 cm lange Gelenkstrecke unterhalb des oberen Leitungsbogens und eine 530 cm lange Übergangsstrecke im Ausgleichschacht festgelegt (Bild 9). Das Steuer- und das Telephonkabel sind biegsam genug, um die erforderlichen Krümmungen mitzumachen, während die Wasserleitung durch Einbau von Ganzmetallschläuchen «Anaconda» von 39 bar Betriebsdruck in den Verformungsbereichen flexibel gestaltet werden musste.

Ausserhalb des als Witterungsschutz dienenden Ausgleichschachtes ist das Leitungsbündel durch ein Hüllrohr geschützt. Um die Verformungen des Leitungsbündels zu ermöglichen, mussten in das Hüllrohr einige *Spezialteile* eingebaut werden. Es sind dies die Dilatationsrohre der oberen und unteren Hüllrohr-Dilatation, die aus zwei ineinanderlaufenden Hartpolyäthylen-Rohren ∅ 125 mm und ∅ 160 mm bestehen, sowie das Hüllrohr-Fussgelenk auf dem Ausgleichschacht und die zugfeste Gelenkkonstruktion unterhalb des oberen Leitungsbogens. Die letzte ist zusammen mit dem Hüllrohrbogen an eine Lagerkonstruktion angeschraubt, die auf den beiden oberen Stahlträgern des Führungsgestelles gleitet und damit den Leitungswinkel abstützt.

Bild 9. Verankerungsmast, Dilatationskonstruktion



Montage

Das Felskinn ist der einzige Baustellenbereich, der durch die bestehende Luft-

seilbahn erschlossen ist; die beiden übrigen Arbeitsstellen beim talseitigen Verankerungsmast und bei der Mittelstütze mussten durch *Helikopter-Transporte* versorgt werden. Aus diesem Grunde wurde die Montage der Hängeleitung grundsätzlich vom Felskinn aus durchgeführt, und zwar mit folgendem *Arbeitsablauf:*

1. Aufstellen des Verankerungsmastes und der Mittelstütze (Maximalgewicht der Stahlschüsse von 750 kg wegen Helikopter-Transport).
2. Ziehen und Spannen der Tragseile bei halb aufgezogenem Seilsattel der Mittelstütze.
3. Montage und Ablassen der Reiter samt Hüllrohr vom Felskinn aus mit einem provisorisch an den Reitern festgeklemmten Hilfsseil.
4. Zusammenklemmen der drei Leitungen mit den Kunststoff-Gleitschellen und Einführen des Leitungsbündels in das Hüllrohr bei der Pollerverankerung auf Felskinn.
5. Aufziehen und Befestigung des Seilsattels der Mittelstütze.
6. Spannungskontrolle und eventuelles Nachspannen oder Ablassen der Tragseile an der Pollerverankerung.
7. Zusammenbau der Dilatationskonstruktion beim Verankerungsmast.
8. Fixierung der Reiter an den beiden Tragseilen und Entfernen des Hilfsseils.
9. Gleitkontrolle und Rückziehen des Leitungsbündels in die für die Dilatationskonstruktion vorgesehene Ausgangsstellung und anschliessendes Festklemmen der drei Leitungen an der Pollerverankerung.

Aus Termingründen musste die Freileitung Felskinn in den Wintermonaten, teilweise unter extremen Bedingungen, montiert werden. Die Montagearbeiten dauerten mit einigen witterungsbedingten Unterbrüchen von Oktober 1981 bis Februar 1982.

Literaturverzeichnis

[1] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und Überwachung der Bauten. Norm 160, Zürich 1970

[2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): Stahlbauten. Norm 161, Zürich 1979

[3] *Grob, J., Schneller, P.:* «Freileitung für die Wasserversorgung einer Baustelle im Hochgebirge». Der Bauingenieur (in Vorbereitung)

[4] *Wallder, V.T., Clarke, W.J., De Coste, J.B., Howard, J.B.* (1950): «Weathering Studies on Polyethylene». Industrial and Engineering Chemistry 42, No. 11, P. 2320–2325

[5] *Leonhardt, F., Zellner W., Svensson, H.* (1980): «Die Spannbeton-Schrägkabelbrükke über den Columbia zwischen Pasco und Kennewick». Beton- und Stahlbeton 75, Heft 2, S. 29–36

Adresse des Verfassers: Dr. *J. Grob,* dipl. Ing. ETH/SIA, General-Guisanstr. 1, 4144 Arlesheim.

Gedanken zur Brückenästhetik

Von Hans von Gunten, Zürich

Schönheit ist keine Eigenschaft der Dinge an sich

Als Ausgangspunkt der folgenden Gedanken dient eine Behauptung von *David Hume* (1711–1776), dem damals führenden englischen Philosophen schottischer Abstammung: «Schönheit ist keine Eigenschaft der Dinge an sich; sie kommt nur im Geiste des Betrachters vor.» *Hume* fährt dann mit der Feststellung fort, dass jeder Betrachter etwas anderes als schön empfinde. Gerade diese Tatsache, die auch wir Heutigen wohl kaum ernsthaft bestreiten können, darf als Beweis für die *Subjektivität* unserer Schönheitsempfindungen gelten und kann jederzeit mit Testpersonen nachvollzogen werden. Wenn wir das bisher Geschriebene als richtig annehmen, haben wir folglich keine Berechtigung zu sagen: «Das Ding – in unserem Fall die Brücke – ist schön», sondern wir müssen die Form wählen: «Diese Brücke finde ich schön (oder vielleicht auch hässlich).»

Geschmacksurteile sind also grundsätzlich subjektiv, und wir können uns zuerst einmal fragen, wie unter dieser Voraussetzung auf das Diktum «de gustibus non disputandem est» zu reagieren sei? Es besagt – und wir geraten dabei gar nicht in einen Widerspruch zu *Hume* –, dass bei Geschmacksurteilen keine objektive Wahrheit auffindbar sei, kein Massstab bestehe, nach dem ein Streit zugunsten des einen oder anderen Geschmacks zu entscheiden wäre. Wenn wir das Sprichwort aber etwa benutzen wollen, um einer Diskussion aus dem Wege zu gehen, so würden wir uns die Sache unverantwortlich leicht und billig machen, und *Peter Meyer,* der bekannte Zürcher Kunsthistoriker, hätte dann recht mit seinem Ausspruch, dies sei «die Devise aller Geschmacklosen und die bequeme Ausflucht der Trägen und Einfältigen».

Verhaltenspsychologie und subjektive Schönheitsempfindungen

Wenn die Meinung vertreten wird, Schönheitsempfindungen seien subjektiv, so müssen wir uns gleichzeitig der Tatsache bewusst sein, dass nicht etwa heisst, sie seien unerklärbar – ganz im Gegenteil. Wollen wir mehr darüber vernehmen, so bedienen wir uns der Psychologie, der Wissenschaft von der Situation des Menschen in der Welt und von seinen Reaktionen auf diese.

In stark vereinfachter Darstellung können wir etwa sagen, dass die *Verhaltenspsychologie* die folgenden, heute wohl endgültig gesicherten Grundhypothesen aufgestellt hat [vgl. z. B. 1]:

1. Das Verhalten des Individuums wird bestimmt durch die Gesamtheit der folgenden vier Gruppen:
   a) der Erbanlage;
   b) der Ereignisse seiner besonderen Geschichte – seiner Biographie – die durch seine bedingten Reflexe und durch sein Gedächtnis in diesem Organismus eingeschrieben sind;
   c) seiner gegenwärtigen Umgebung, auf die dieser Organismus reagiert;
   d) einer bestimmten, begrenzten Menge von Aleatorischem, also von Unsicherheiten.
2. Falls die drei ersten Faktoren (Erbanlage, Biographie, Umgebung) bekannt und die Obergrenze des Unsicheren bestimmt wären, so könnte das aktuelle oder das künftige Verhalten dieses Individuums beschrieben werden und zwar mit der gleichen Präzision wie bei einem physikalisch-chemischen System.
3. Da die vollständige Kenntnis der Erbanlage, der Geschichte und der Umwelt des Individuums zu einem bestimmten Zeitpunkt immer ein asymptotisches Ideal sind und auch bleiben werden, kann das Verhalten des Individuums nur statistisch er-