

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 21/22 (1893)
Heft: 14

Artikel: Ueber Photogrammetrie
Autor: Imfeld, X.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-18118>

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: 09.02.2026

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

INHALT: Ueber Photogrammetrie. — Der Winterbetrieb auf den Berner Oberland-Bahnen. — Miscellanea: Ueber Erfahrungen, welche bei starkem Frostwetter mit Achsbuxen gemacht wurden. Carrières de

Saillon. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein und Gesellschaft ehemaliger Polytechniker. Gesellschaft ehemaliger Studierender, Besuch der Ausstellung in Chicago.

Ueber Photogrammetrie.*)

Von Ingenieur X. Imfeld.

Die Schweiz. Bauzeitung brachte in Nr. 2 Bd. XX eine Abhandlung über Photogrammetrie und Photographie von V. Pollack, Oberingenieur der k. k. Generaldirektion der österr. Staatsbahnen. Der Artikel führt uns verschiedene Typen photogrammetrischer Apparate vor, wie sie von Lechner in Wien ausgeführt werden. Gegenüber dem von Paganini in ausgedehnter Weise für die topograph. Aufnahmen des ital. militärgeograph. Instituts verwendeten Phototheodoliten unterscheiden sich die Lechner'schen Instrumente prinzipiell durch *konstante Brennweite* des photograph. Objektivs und feste, *horizontale Lage* der Camera. Infolge dieser Anordnung vereinfacht sich sowohl die Konstruktion des Instrumentes als namentlich auch die Aufnahmemethode und die damit verbundenen Rechnungen, ohne die Genauigkeit oder (ganz seltene Fälle ausgenommen) die Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen.

Konstante Brennweite des photograph. Objektivs.

Es ist bekannt, dass sich bei Annäherung des abzubildenden Objektes an die Camera die Bilddistanz vergrössert, d. h. die Entfernung der Mattscheibe vom Objekt, in der sich das Bild am schärfsten zeigt. Behält man für nahe Objekte dieselbe Distanz der Linse von der empfindlichen Platte bei, die für sehr entfernte Objekte die richtige ist, so erhält man unscharfe Bilder. Diese Unschärfe wird jedoch nur für ganz geringe Entfernungen bemerkbar, und Gegenstände, welche das hundertfache der Brennweite und mehr entfernt sind, werden bei kleiner Blende vollkommen scharf. Für diese ganz nahen Objekte ist aber eine Unschärfe ohne Bedeutung. Nehmen wir an, dass für einen Anastigmat Zeiss von der Brennweite (f) 141 mm bei einer Entfernung (D) des abzubildenden Gegenstandes von 15 m eine Unschärfe von $\pm 0,5$ mm entsteht, so bedeutet das eine Unsicherheit in der Tangente des horizontalen oder vertikalen Winkels einer Visur nach jenem unscharfen Punkt von

$$\pm \frac{0,5}{141} = \pm 0,0035,$$

was für den grossen Masstab 1:1000 für 15 m Distanz = 15 mm im Plan eine Ungenauigkeit von $\pm 0,05$ mm ergibt.

In dem Mass, wie sich für noch kleinere Distanzen die Unschärfe vergrössert, verkleinert sich infolge dieser kleinern Distanz auch der Einfluss der Ungenauigkeit im Winkel.

Feste horizontale Lage der Camera (vertikale Lage der Bildebene).

Das Neigen der Camera ist in den meisten Fällen überflüssig. Ein gutes Weitwinkelobjektiv zeichnet mit kleiner Blende bis zu 100° (Centesimal-Grade) vollkommen scharf und durch Vertikalverschiebung des Objektivs vermittelst Trieb- und Zahnstange kann dieser Winkel vollkommen ausgenützt werden, so dass man ohne Neigen der Camera Elevations- und Depressionswinkel bis zu 50° erhält. Freilich kommen Fälle vor, wo man von einem Turm oder einer steilen Felswand beinahe senkrecht niederblickt und mit einer neigbaren Camera Bilder erhalten würde, die für die Zeichnung der Situation von besonderem Wert wären, zu deren Aufnahme die Lechner'schen Instrumente nicht mehr ausreichen. Ausserdem scheint mir dieser

Lechner'sche Phototheodolit noch einiger Verbesserungen fähig zu sein. Die horizontale Fernrohrachse ist wohl etwas kurz, um eine genaue Lage der vertikalen Drehungsebene des Fernrohrs zu garantieren, auch scheint die Camera (nach Fig. 6 der angeführten Abhandlung von Pollack zu urteilen) den Horizontalkreis zu überragen, was beim Ablesen der Winkel hinderlich sein muss.

Diese Nachteile versucht der auf folgender Seite abgebildete Phototheodolit zu heben.

Das Instrument hat Aehnlichkeit mit den von Otto Fennel in Cassel konstruierten Repetitionstheodoliten. Die Abbildung bezieht sich auf einen Apparat von der Platten-grösse 13/18. Der Horizontalkreis (5" Paris) ist in $\frac{1}{3}$ Grad (neu) eingeteilt und mit dem Nonius auf 1' ablesbar. Die Klemmen für Alhidade und Limbus wirken central.

Der Vertikalkreis (4" P.) ist in gleicher Weise geteilt und ablesbar wie der horizontale. Zur Ablesung der Höhenwinkel ist ein auf der Achse drehbarer und durch eine Libelle justierbarer Alhidadenkreis angebracht, welcher, wie der Horizontalkreis, zwei gegenüberliegende Nonien hat.

Der Höhenkreis und das Fernrohr (7" und 18malige Vergrösserung) mit Reversionslibelle sind symmetrisch an den zwei entgegengesetzten Enden der horizontalen Fernrohrachse angebracht, und können mit dieser in den Lagern umgelegt werden, da auch die Klemmen der Mikrometerwerke symmetrisch sind. Der zwischen den Armen des gabelförmigen Fernrohrträgers liegende Teil der Fernrohrachse besteht aus einem rechteckigen Rahmen, in welchem die konische Metallcamera geschoben und oben und unten mit Klemmschrauben festgehalten wird. Die Camera wird dadurch genau in ihrer Lage fixiert, dass sich durch das Anziehen der zwei Schrauben ein um die Camera laufender Rahmen gegen den der Fernrohrachse presst. Auf diese Weise wird ein sicheres und stets gleiches Anliegen der Camera erzielt. Diese Verbindung hat sich bei einem Phototheodoliten, den das eidg. topographische Bureau konstruieren liess, vollkommen bewährt, und der Mechaniker hatte es vollständig in der Hand, den Rahmen so abzurichten, dass die optische Achse des phot. Objektivs genau parallel der opt. Achse des Fernrohrs wurde.

Die Camera soll möglichst leicht — etwa aus Aluminium — hergestellt und so ausbalanciert sein, dass sie mit eingelegtem Doppelchassis nach rückwärts neigt. Sie hat hinten auf der Untenseite einen Ansatz, der gegen eine Stellschraube als Anschlag lehnt, wodurch die Plattenebene der Camera in vertikaler Lage gehalten wird, auch wenn die Klemme der Fernrohrachse nicht angezogen ist. Als Objektiv ist ein Anastigmat Zeiss ($f = 141$ mm Serie V 1:18) angenommen, der einen Lichtkreis von 36 cm bedeckt. Bei der Platten-grösse 13/18 cm kann man das Objektiv vermittelst des Triebes und der Zahnstangen leicht um 3 cm auf- oder abwärts verschieben, wodurch man bei unveränderter, horizontaler Lage der Camera Elevations- und Depressionswinkel von 45° erhält. Das Mass der Verschiebung wird an einer Millimeterteilung mittelst Nonius abgelesen. Horizont und Hauptvertikale werden (annähernd) durch einen Rahmen mit Centimeterteilung markiert, der sich gegen die lichtempfindliche Platte presst und sich auf dieser abbildet. Durch diesen Rahmen werden alle Platten überdies in der genau gleichen Entfernung vom Objektiv gehalten (System Lechner), wodurch die Konstanz der Brennweite garantiert wird. Handelt es sich nun um Aufnahmen, zu denen die horizont. Camera nicht mehr ausreicht, so kann diese bis zu 50° geneigt werden, und wir erhalten alsdann (bei mittlerer Lage des Objektivbrettes) Neigungswinkel von $50 + 36 = 86^\circ$, was wohl für alle Fälle genügen dürfte. Bei einer grössern Neigung der Camera schiebt sich der Horizontalkreis des Theodolits störend vor das Objektiv.

*) Wir dürfen voraussetzen, dass viele Leser an nachfolgender Abhandlung nicht allein ihres Inhaltes wegen, sondern auch deshalb besondere Freude haben werden, weil sie daraus ersehen, dass Kollege Imfeld von seiner langen und schweren Krankheit nun soweit hergestellt ist, um Schreib- und Reissfeder wieder in gewohnter, trefflicher Weise führen zu können.
Die Red.

gangener Erstellung der Signale, die Winkel der Dreiecke erst misst, wenn man die Signalpunkte zum Zwecke der photographischen Aufnahme besucht.

Photogrammetrische Stationen, die nicht gleichzeitig Dreieckspunkte sind, werden nach geeigneten Signalen photometrisch (eigentlich nach Snellius) bestimmt.

Die spezifisch photogrammetrischen Vermessungsarbeiten bestehen alsdann in Folgendem:

a) *Photographische Aufnahmen.* Der vorbeschriebene Theodolit giebt die vollständige Rundschau in acht Bildern, deren Hauptvertikale jeweils einen Horizontalwinkel von 50° einschliessen. Sie sind nach der Busssole und wenigstens einem Signal zu orientieren. Für jede Platte ist der Neigungswinkel der Camera, sofern diese nicht horizontal steht, und die Verschiebung des Objectivs auf- oder abwärts anzugeben.

b) *Messen der Vertikal- und Horizontalwinkel* von je drei Punkten jeder Platte zur Kontrolle des Horizontes.

c) *Messen der Vertikal- und Horizontalwinkel der trigonometrischen Signale* und allfälliger weiterer Punkte, deren Höhe und Lage mit besonderer Genauigkeit ermittelt werden soll.

Für die Winkelmessung wird die Camera durch Lösen der zwei Schrauben, welche sie im Rahmen der Fernrohrachse festhalten, entfernt.

* * *

Die *Verarbeitung* der durch die photogrammetrische Aufnahme gewonnenen Elemente zu *Plänen, oder Karten* kann durch Konstruktion oder Rechnung oder beide zugleich geschehen.

Das photographische Bild ist eine centrale Projektion auf eine Ebene. Aus den gemessenen Winkeln und den Koordinaten der Signale erhalten wir die nötigen Elemente, um die projektivischen Beziehungen eines Bildes zum Original und zu den übrigen Bildern zu bestimmen und damit ist auch die Möglichkeit gegeben, die Lage im Raum einer beliebigen Zahl der unendlich vielen abgebildeten Punkte abzuleiten und in anderer Weise, durch Parallelprojektion, als Plan oder Karte wieder abzubilden.

Die bequemste Methode besteht darin, die *Horizontalwinkel graphisch aufzutragen*, die Visuren entsprechender Punkte aus verschiedenen Stationen zum Schnitt zu bringen und die *Höhen* aus den *Vertikalwinkeln* und den durch *Konstruktion* erhaltenen *Distanzen* zu rechnen.

Diese Methode lehnt sich vollständig an die Kartierungsmethode des Messtisches an, dieses so vielfach als veraltet betrachteten und als ungenau verschmähten Instrumentes. Und dennoch wird der Messtisch vom Tachymeter niemals erreicht werden, wenn es sich um eine mit Verständnis für Terrainformen und Naturwahrheit gezeichnete Karte oder Planaufnahme handelt, und nicht nur darum, ein mageres Netz willkürlich gewählter Punkte mit besonderer Genauigkeit festzulegen, während alles Uebrige weniger genau als beim Messtisch, schablonenhaft und unnatürlich bleibt.

Das Auftragen der Signale und Stationspunkte aus ihren Koordinaten in das Gradnetz ist bekannt und wird für das Folgende als ausgeführt vorausgesetzt. Für die Bestimmung der Brennweite der Camera (Bildweite) geben Paganini, Koppe, Pollack u. a. geeignete Methoden. Es leuchtet ein, dass die genaue Kenntnis der Bildweite von grösster Wichtigkeit ist, da sie gleichsam den Masstab des photographischen Bildes vorstellt, von dem alles abgeleitet werden soll.

Fällt man (vgl. Figur auf S. 88) vom *Projektionszentrum C* (dem optischen Mittelpunkt des photographischen Objectivs) eine Senkrechte auf die *Bildebene E* (Photographische Platte), so trifft sie diese im *Hauptpunkte H*. Die Distanz *CH* ist die *Bildweite* oder die Brennweite *f*. Eine Vertikalebene durch *CH* gelegt schneidet *E* in der *Hauptvertikalen*, eine zweite Ebene durch *CH* und senkrecht zur vorigen, schneidet *E* in der horizontalen Spur *ss*, welche bei vertikaler Lage der Bildebene der *Horizont* des Bildes ist.

Bildhorizont und Hauptvertikale bilden ein rechtwinkliges Koordinatensystem, auf welches die für den Plan zu ver-

wendenden Punkte des Bildes bezogen werden. Der senkrechte Abstand eines Punktes von der Hauptvertikalen heisst *x*, der von der Spur *ss* heisst *y*.

Das Messen der *x* und *y* geschieht mittelst eines Koordinatographen nach den auf ein Retouchierpult aufgelegten und von unten durch einen Reflektor beleuchteten Negativplatten (oder einem Diapositiv). Papierabzüge, die durch das Tonen und Fixieren sich ziehen und eingehen, sind für genaue Messungen nicht geeignet.

Statt des Punktierstifts trägt der Koordinatograph ein kleines Mikroskop mit Fadenkreuz, das jeweils über dem Punkt, dessen *x* und *y* bestimmt werden sollen, eingestellt wird. Die Koordinaten des Punktes werden dann an den Masstäben des Instrumentes abgelesen, welche Null in der Mitte (entsprechend dem Hauptpunkt *H*) tragen und nach beiden Seiten hin (+) geteilt sind.

Darf man die Brennweite (*f*) als konstant betrachten (System Lechner), so trägt es zur Vereinfachung der Rechnungen wesentlich bei, wenn man die Masstäbe des Koordinatographen so teilt, dass *f* als Einheit genommen wird.

Für unsern Theodolit ist *f* = 141 mm vorausgesetzt; es wird alsdann

$$0,100 f = 14,1 \text{ mm}$$

$$0,050 f = 7,05 \text{ „}$$

$$0,005 f = 0,7 \text{ „}$$

als kleinster Masstabteil und mit Nonius $\frac{9}{10}$ können wir

$$0,0005 f = 0,07 \text{ mm}$$

mit der Lupe sehr gut ablesen, was einem Winkel von etwa $3'$ entspricht.

Der oben beschriebene Lechner'sche Rahmen mit Centimeterteilung, welcher sich vor die lichtempfindliche Platte legt und sich auf dieser abbildet, markiert die Achsen des Koordinatensystems, doch thut man gut, dieselben zu kontrollieren, da von deren Richtigkeit alles übrige abhängt. Die Verifikation lässt sich am besten für den Horizont ausführen, indem man für jede Platte drei markante Punkte ausucht, die möglichst am Horizont liegen und auf die Breite des Bildes gleichmässig verteilt sind (einer in der Mitte, zwei zu beiden Seiten) und deren Horizontal- (α) und Vertikalwinkel (β) misst, um die entsprechenden drei *x* und *y* zu rechnen. Bei vertikaler Platte haben wir

$$x = f \operatorname{tg} \alpha$$

$$y = \frac{f}{\cos \alpha} \operatorname{tg} \beta.$$

Ist alsdann die Platte genau im Rahmen des Koordinatographen eingepasst, so werden mit *H* als Mittelpunkt des Koordinatensystems die *x* und *y* aller Punkte, deren Lage und Höhe zu bestimmen ist, abgemessen. Auf Papierabzügen werden diese Punkte vorher ausgewählt, markiert und die identischen in den von verschiedenen Standpunkten aufgenommenen Bildern mit korrespondierenden Nummern belegt.

Aus den *x* und *y* berechnen sich die Horizontal- und Vertikalwinkel (α und β) eines Punktes wie folgt:

Es sei *E* (siehe Seite 88) die unter dem Winkel ω geneigte Projektionsebene, *P* das Bild des Punktes *P* und *D* dessen horizontal gemessener Abstand von *C*. Die Linien *qt* und *P'r* sind Senkrechte auf die Horizontalebene durch *C*, *Hm* und *Hn* solche von *H* auf *qt* und *Ct*; Δb ist der Höhenunterschied zwischen *P* und der Instrumenthöhe *C*.

CH = Bildweite = Hauptbrennweite = *f*,

$$f \cos \omega = Cn; Cn - Hm = Ct.$$

$$y \sin \omega = Hm \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{Ct} = \frac{x}{f \cos \omega - y \sin \omega} \quad (1)$$

$$f \sin \omega = Hn$$

$$y \cos \omega = qm$$

$$Hn + qm = qt = Pr$$

$$\frac{Ct}{\cos \alpha} = Cr$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{Pr}{Cr} = \frac{(f \sin \omega + y \cos \omega) \cos \alpha}{f \cos \omega - y \sin \omega} \quad (2)$$

Diese Formeln vereinfachen sich wesentlich dadurch, dass wir es in der Praxis meist so einrichten können, dass wir es nur mit zwei Specialfällen des Winkels ω zu thun

renden Strahlen zum Schnitt gebracht, so misst man die Entfernung (D) des gefundenen Punktes von der Station im Masstab des Planes.

Zur Schonung des Zeichnungsblattes empfiehlt es sich, dieses mit Pauspapier oder Pausleinwand zu überspannen und alle Konstruktionen hierauf auszuführen und dann nur die gefundenen Schnittpunkte durchzustechen.

Für die Rechnung der Höhen ist vorab α zu ermitteln (nach Formel 3 und 5). Bei horizontaler Lage der Camera (5) wird die Rückseite der Zunge auf Null gestellt und diese giebt dann ohne weiteres die α für die auf dem Lineal verfolgten x . Mit Hilfe von α erhalten wir (4 und 6) $\tan \beta$ und direkt, ohne β abzulesen, den Höhenunterschied $\Delta b = D \tan \beta$ (7).

Aus Δb , der Stationshöhe (b_i) und dem Betrag für Sphäricität und Refraktion wird in bekannter Weise die Seehöhe (b) des anvisierten Punktes bestimmt.

Der Höhenunterschied Δb lässt sich bei horizontaler Camera auch mit dem gewöhnlichen Rechenschieber als viertes Glied einer Proportion berechnen, wobei die Entfernung d des Centrums C von der Projektion des Punktes P' auf den Horizont bekannt sein muss; diese aber ist nichts anderes als die Hypothenuse des rechtwinkligen Dreiecks, deren eine Kathete die Hauptachse CH und deren andere x ist. Sie lässt sich daher ohne weiteres aus der Konstruktion abmessen. Wir haben alsdann:

$$\Delta b : y = D : d \text{ und } \Delta b = \frac{y D}{d}$$

Diese Rechnungsweise ist meines Wissens die gebräuchliche. Es liegen aber in der konstruktiven Bestimmung von d und damit in dieser Methode mehr Fehlerquellen als in der oben entwickelten rein rechnerischen und diese sichern daher einen weit höhern Grad von Genauigkeit, wovon man sich durch Verfolgung der verschiedenen Operationen leicht überzeugen kann.

Vorstehende zwei Formulare für das Feldheft und für die Berechnung zeigen, wie die Erhebungen mit dem Instrument und die daraus abgeleiteten Berechnungen in übersichtlicher Weise geordnet werden können. Für die Berechnungen der Triangulation würde man die von den Geometern acceptierten Formulare beibehalten.

Der Winterbetrieb auf den Berner Oberland-Bahnen.

Der Verkehr auf den Berner Oberland-Bahnen (Strecke Interlaken-Zweilütschinen-Grindelwald und Zweilütschinen-Lauterbrunnen) ist im Winter ein ausserordentlich schwacher, so dass die daraus resultierenden Einnahmen nicht von ferne die Betriebskosten zu decken vermögen. Die ohnehin schwache Frequenz hat in den letzten Jahren weiter abgenommen und wird voraussichtlich nach Vollendung des Baues der anschliessenden Bergbahnen nach der Schnigen-Platte und der Wengernalp noch geringer werden. Folgende Ziffern geben über die Betriebs-Einnahmen und -Ausgaben Auskunft. Es bezifferten sich

in dem Zeitraum vom	die Betriebs- Ausgaben	-Einnahmen	Deficite
15. Nov. 1890 bis 15. März 1891 auf	Fr. 48 746,60	Fr. 13 275,59	Fr. 35 471,01
15. Nov. 1891 bis 15. März 1892 „ „	58 979,40	20 573,70	38 405,70
15. Nov. 1892 b. Ende Feb. 1893 „ „	49 679,20	10 537,10	39 142,10

Das Betriebsdeficit hat, obschon in den letzten Jahren noch viel Baumaterial für die im Bau begriffenen Bergbahnen transportiert wurde, stetig zugenommen. Da die Landstrassenfracht im Winter, infolge des Schlittenverkehrs nicht wesentlich teurer kommt, als die Eisenbahnfracht, so ist an eine Besserung dieser Verhältnisse nicht zu denken.

Viel wichtiger als diese ungünstigen Betriebsverhältnisse sind jedoch die Betriebsgefahren auf dieser bekanntlich nach dem gemischten Adhäsions- und Zahnstangen-System gebauten Bahn. In einem Gutachten, das die obgenannte Eisenbahngesellschaft dem Eisenbahn-Departement unterbreitet hat und das auch uns vorliegt, werden die Betriebsgefahren wie folgt beschrieben:

Schnee und Eis, besonders Schneestürme und die infolge ihres Auftretens gebildeten Schneeverwehungen sind die gefährlichsten Feinde des Eisenbahnbetriebes. Sie sind es um so mehr, je verwickeltere Anordnungen eine Bahnanlage besitzt.

Das komplizierteste aller Bahnsysteme aber ist das gemischte Adhäsions- und Zahnstangensystem, das hier angewendet ist in den hochgelegenen engen Thälern der Lüttschinen, in denen streckenweise während der Wintermonate kein Sonnenstrahl die Bahn erreicht. Der Schnee bleibt mehrere Monate liegen, er macht jede Kontrolle des Zustandes des Oberbaues unmöglich, und jagt der Föhn durch die Thäler, so bilden sich die bekannten, die Geleislage verschlechternden Blähungen. Das häufige Umschlagen von Frost und Tau bewirkt ferner, dass eine eben frei gemachte Linie in der nächsten Nacht wieder verweht wird. Die Eigentümlichkeiten des Klimas bringen für den Winterbetrieb mehrere bedenkliche Nachteile:

Bei der kleinen zweicylindrigen, hauptsächlich für die Zeiten des schwächsten Verkehrs bestimmten Lokomotive ist es die wechselseitige Verbindung von Zahnrad und Laufrad, welche schädlich beeinflusst wird. Schon bei günstiger Witterung nötigt das Zahnrad die Laufräder bei ungleichen Abwicklungskreisen eine genau gleiche Umdrehungszahl auszuführen wie das Zahnrad, eine Bedingung, die nur auf Kosten der Abnutzung der Bandagen, der Vermehrung der Eigenwiderstände und grösserer Inanspruchnahme der arbeitenden Teile sich verwirklichen lässt. Dieser Vorgang verschlimmert sich im Winter bei beschneiten Schienen und Zahnstangen, die ein Heben und Senken der Lauf- und Zahnräder verursachen, und dazu auf einem Geleise, dessen schlecht gewordene Lage monatelang nicht korrigiert werden kann.

Nicht selten versagen Zahnstangeneinfahrten infolge vollständiger Vereisung ihrer elastischen Unterlagen die vertikale Bewegung. Die Lokomotive steigt auf und man ist froh mit durchgebogenen Zähnen wegzukommen. Haben die Fahrzeuge die Einfahrt anstandslos passiert, so beginnt bei frisch gefallenem oder weichem Schnee der holprige Gang auf der Zahnstange. Der Schnee backt sich eisenfest zwischen den Zähnen, der Zahneingriff wird unregelmässig, Achsen und Federn erleiden eine Inanspruchnahme, auf die sie nicht dimensioniert sind und daher Gefahr laufen zu brechen. Die Brüche an Tragfedern und ihren Schrauben verhalten sich zu den während des Sommers vorkommenden Brüchen wie 5 : 1. Die Lokomotiven arbeiten bei Schneefall schwerer als unter normalen Verhältnissen, ihre Zugkraft ist geringer, ihr Verbrauch an Brennstoff und Wasser grösser. Der Führer hat zuweilen Mühe auf dem Höchstgefälle von 12 % bei geöffnetem Regulator mit dem Schneepflug durchzudringen. Dabei geht der Zug ruckweise thalwärts, indem bei lichten Stellen rasch gebremst und dann wieder Dampf aufgegeben werden muss, um durchzukommen. Derartige Fahrten erhöhen aber die Gefahr des Ausglitschens der Zahnräder ganz bedenklich, einmal durch die raschen Bremsungen und dann infolge der ausgestopften Hohlräume zwischen den Zähnen und des ungeschmierten Zustandes der Zahnflanken. Zu der grösseren Anstrengung des Materials gesellt sich dessen grössere Sprödigkeit bei niedriger Temperatur. So sind die acht Achsenbrüche auf der Landquart-Davos-Bahn, von denen sieben auf die Monate Januar und Februar und nur einer auf die Sommermonate fallen, zum grössten Teil den Uebelständen des Winterbetriebes zuzuschreiben. Am ärgsten werden die Steuerungen mitgenommen; sie verlottern im Winter vollständig. Bei Meterspur und zwei Dampfmaschinen ist der Platz zur Anbringung der beweglichen Teile sehr beschränkt. Häufig ist zwischen solchen nicht 1 mm Spielraum, was, wenn es von Schnee und Eis ausgepfropft ist, gewaltsames Ausbiegen, Anfressen der Zapfen, Anbrüche und selbst Brüche von Steuerungsteilen herbeigeführt hat.

Dass die Unterhaltungskosten eines so komplizierten und auf so ungünstige Weise in Anspruch genommenen Systems ungewöhnlich hoch sind, wird selbst dem Laien einleuchten. Naturgemäss sollten die Mehrausgaben des Winterbetriebes durch höhere Tarife kompensiert werden. Thatsächlich ist das Gegenteil der Fall. Die Fahrtaxen des Winters sind um 50 % niedriger als die des Sommers. Die jährlichen Ausgaben für die Unterhaltung des Zahngetriebes der Lokomotiven stellen sich allein höher als die Betriebseinnahmen eines ganzen Wintermonates.

Die durchschnittliche Abnutzung der Triebzahnäder beträgt im Sommersemester bei 12000 Lokomotivkilometern 1,2 mm und im Wintersemester bei 5000 Kilometern 2,8 mm. Und da sich deren Zugsgewichte verhalten wie 2 : 1, so ist die Abnutzung im Winter

$$\frac{12000}{5000} \cdot \frac{2,8}{1,2} \cdot \frac{2}{1} = 11 \text{ mal grösser als im Sommer.}$$

Dieses ungünstige Verhältnis bewirkt vornehmlich der Umstand, dass die Zähne wie auch die übrigen arbeitenden Teile nicht geschmiert