Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 61 (1910)

Heft: 1

Artikel: Das Vorfeld (Sturzbett) bei den Querwerken der Wildbachverbauung

Autor: Hofmann, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-768424

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: 09.07.2025

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

Das Vorfeld (Sturzbett) bei den Querwerken der Wildbachverbauung.

Von A. Hofmann, k. k. Forstinspektionskommissär I. Kl., in Wien.

Auch die Systeme der Wildbachverbauung sind wandlungsfähig; in der Technik der dabei angewendeten Baumittel sind so manche Neuerungen erstanden, seit eine umfassende Verbauungstätigkeit Erfahrungen gezeitigt und eine kritisch sichtende Literatur den theoretischen Ausbau des Faches in die Hand genommen hat. Selbst anscheinend grundsätzliche Fragen werden nicht selten Gegenstand neuerlicher Diskussionen. Wir verweisen z. B. auf die Aufsätze von F. Briot (Revue des eaux et forêts Nr. 7 und 9 1905), der die Zweckmäßigkeit, Rentabilität und Widerstandsfähigkeit größerer Querwerke auf Grundlage der in Frankreich ausgeführten Verbauungen absprechend behandelt. Wie viele Fälle lassen sich anderseits ermitteln, in denen wenige, passend situierte große Talsperren die Geschiebeführung derart eindämmten, wie dies durch kleinere Werke nur teurer und unvollkommener hätte erreicht werden können.

Wenn wir uns auch vor einem Generalisieren hüten, dessen minder harmlose praktische Schwester Schablone heißt, müssen wir doch anerkennen, daß die Ausführung größerer Querbauten eine Notwendigkeit bildet, die durch die gelungenste Aufforstung nicht ersetzt werden kann, mag auch nur die letztere eine dauernde Sanierung gewährleisten.

Mithin wird die Technik der Ausführung von Querwerken im Dienste der Wildbachverbauung auch in Zukunft den Gegenstand von Versuchen und Erörterungen bilden. Wahl der Dimensionierung, des Baumateriales, Form der Abflußsektion, des Grundrisses usw. sind Momente, die allgemein gar nicht entschieden zu werden brauchen; im Gegenteil, es schließen die individuelle Behandlung jedes einzelnen Sammelgebietes, der Charakter des Wasserlaufes, die lokale Lage, der spezielle Zweck der Verbauung, soziale und Arbeiterverhältnisse usw. im Vorherein eine Verallgemeinerung aus.

Unter dieser Beschränkung wollen wir die Versicherung des Vorfeldes[1] bei Querwerken im Verbauungsdienste näher ins Auge fassen. Treffend hat man das Vorfeld als Achillesferse der Querbauten bezeichnet; man kann es mit einigem Recht auch als Achillesferse unserer Verbauungen überhaupt ansehen, als Ursache durchschnittlich hoher Instandhaltungskosten, die sich zum großen Teile aus Reparaturen beschädigter Vorfelder zusammensetzen.

Die Inanspruchnahme der gewöhnlich sehr sorgfältig ausgeführten, oft in Zementmörtel verlegten Steinpflasterung ist eine besonders große;

[1] In der Schweiz ist der Ausdruck „Sturzbett“ oder wohl auch „Fallbett“ gebräuchlicher.

nicht nur das von der Höhe herabstürzende Wasser und Geschiebe beanspruchen das Vorfeld von oben; auch von unten findet eine Lockerung des Fundamentes durch Sickerwässer statt, die unter dem hohen Drucke der durch das Querwerk hervorgerufenen Stauung in den Boden eindringen; eben vollendete, noch unverlandete Talsperren sind einer derartigen Unterspülung des Vorfeldes besonders ausgesetzt. Einer Lockerung der Basis kann die beste starre Pflasterung nicht standhalten; dieser Anschauung entspringt auch die Idee, das Vorfeld bis zu gewissem Grade beweglich zu gestalten, die der jüngst patentierten Konstruktion von Ingenieur Zarboch in Wiener Neustadt zugrunde liegt. Die größere Widerstandsfähigkeit von Vorfeldern in Steinkastenform ist eine bereits oft erprobte Erscheinung.

Für die Längendimensionierung des Vorfeldes kommt bisher — soweit bekannt — nur die Formel von Piccioli in Betracht

$$x^2 = 2\frac{v^2}{g} \cdot y \quad (x = \text{Vorfeldlänge},\ y = \text{Fallhöhe}).$$

Man macht vielfach dieser Formel Unzuverlässigkeit zum Vorwurf, indem die darnach gerechnete Vorfeldlänge zu gering ist. Vielleicht würdigt man den Faktor v nicht entsprechend, der ja in erster Linie auf die Länge x von Einfluß ist, während die Baupraxis in der Regel die Fallhöhe als entscheidend anzusehen geneigt ist. Für Fallhöhen von 5 m müßte die Vorfeldlänge der jeweiligen Geschwindigkeit gleich werden, es resultieren daher bei gleicher Fallhöhe die verschiedensten Werte von x. Allerdings wäre unter v nicht die mittlere, sondern die maximale Wassergeschwindigkeit zu verstehen, denn nur der Wasserfaden größter Geschwindigkeit kommt für die Grenzlage der Parabel und mithin für die Bemessung der Vorfeldlänge in Frage.

Die Schwierigkeit einer halbwegs richtigen Geschwindigkeitsbestimmung des über der Krone abfließenden Wassers ist gewiß nicht zu verkennen, immerhin wird man dazu Anhaltspunkte genug haben, um so mehr als es sich um einen groben Näherungswert handelt, den man zur Sicherheit mit seinem Höchstwert in Rechnung stellen soll.

Bei regelmäßigen rechteckigen oder trapezförmigen Abflußsektionen wäre es angezeigt, von den bekannten Abflußformeln für den vollkommenen Überfall auszugehen:

$$Q = {}^2/_3\, \mu\, b\, \sqrt{2\,g} \cdot h^{3/2} \text{ und}$$

$$Q = {}^2/_3\, \mu\, b\, \sqrt{2\,g}\, [(h + k)^{3/2} - k^{3/2}].$$

Schon bei Geschwindigkeiten von $v > 1$ wird man die Größe $k = \frac{v^2}{2\,g}$ nicht mehr vernachlässigen dürfen; h ist der Wasserstand über der Objektskrone, bei richtiger Bemessung der Abflußsektion etwa gleich der letz-

teren; b ist ihre Breite; μ, der Reduktionsfaktor $= 0{\cdot}6$. Da nun $Q = F.\, v = b.\, h.\, v$, ist $v = {}^2/_3\, \mu \sqrt{2\, g\, h}$ und wenn wir das Verhältnis zwischen mittlerer und maximaler Geschwindigkeit, bewußt etwas zugunsten der letzteren, durch

$$v = 0{,}6\ v\ max$$

ausdrücken, so ist

$$v\ max = {}^2/_3 \sqrt{2\, g\, h}$$

für den Fall, daß das Wasser hinter dem Objekte still steht.

Setzen wir diesen Wert in die Formel für die Falllinie ein, so erhalten wir

$$x = {}^4/_3 \sqrt{y\, h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

wodurch wir die Vorfeldlänge in Beziehung zu den Dimensionen der Talsperre gebracht haben.

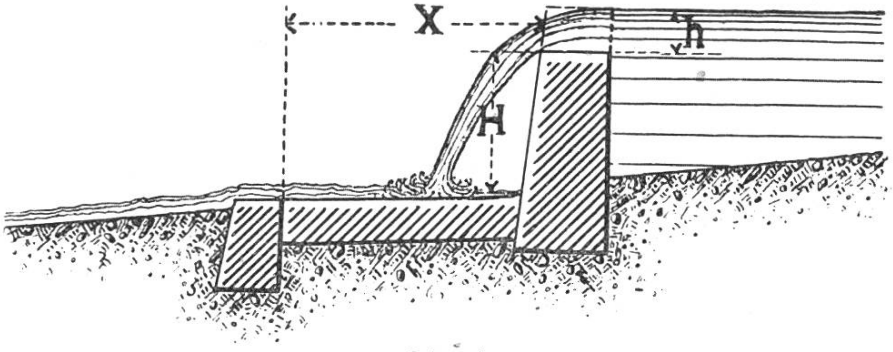

Fig. 1.

Setzen wir dagegen bei größerer Oberwassergeschwindigkeit in die Formel

$Q = {}^2/_3\, \mu\, b \sqrt{2\, g}\, [(h + k)^{3/2} - k^{3/2}]$ wieder $v = 0{\cdot}6\ v\ max$ und $[(h + k)^{3/2} - k^{3/2}] = n$, so ist

$$v\ max = \frac{{}^2/_3 \sqrt{2\, g}}{h} \cdot n \text{ und}$$

$$x = \frac{{}^4/_3 \sqrt{y}}{h} \cdot n \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Da nun die mittlere Geschwindigkeit des Oberwassers leichter zu beurteilen ist als die maximale Geschwindigkeit im Momente des Absturzes, so dürfte letztere Formel brauchbarere Resultate liefern als

$$x = v \sqrt{\frac{2\, y}{g}}$$

Für $h = 1{,}0$ m ist z. B.

bei $v = 2\ ,\ 3\ ,\ 4\ ,\ 5\ ,\ 6\ ,\ 7$ m/Sek.

$n = 1{,}2,\ 1{,}45,\ 1{,}7,\ 2{,}0,\ 2{,}3,\ 2{,}6$ Meter,

für $h = 0{,}4$ m

ist $n = 0{,}4,\ 0{,}5,\ 0{,}6,\ 0{,}7,\ 0{,}85,\ 1{,}0$ Meter.

Es ist leicht einzusehen, daß wir nach Formel 2) größere Vorfeldlängen berechnen, die den Abmessungen, welche der Praktiker gibt, entschieden näher kommen; erst bei sehr hohen Werten von v nähert sich x nach Formel 2) dem Werte aus der Piccioliſchen Formel.

Nehmen wir z. B. eine Sperrenhöhe $H = 5$ m, eine Überflutungshöhe über der Sperrenkrone $h = 1$ m; daher $y = H + h = 6$ m; oder $H = 5{,}6$ m, $h = 0{,}4$ m; daher $y = H + h = 6$ m. In beiden Fällen ist dann

für v = 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 m/Sek.

$$x = v\sqrt{\frac{2g}{g}} = 2{,}21,\ 3{,}32,\ 4{,}42,\ 5{,}53,\ 6{,}64,\ 7{,}74 \text{ m}$$

dagegen

für $h = 1$; $\quad x = \frac{{}^4/_3\sqrt{y}}{h} \cdot n = 3{,}91,\ 4{,}56,\ 5{,}54,\ 6{,}51,\ 7{,}49,\ 8{,}47$ m

für $h = 0{,}4$; $x = \frac{{}^4/_3\sqrt{y}}{h} \cdot n = 3{,}27,\ 4{,}08,\ 4{,}90,\ 5{,}71,\ 6{,}94,\ 8{,}16$ m.

Die entwickelte Formel läßt also Differenzierungen nach der Überflutungshöhe zu, deren die Piccioliſche Formel gar nicht fähig ist.

Ähnliche, unſeres Erachtens zutreffendere Vorfeldlängen berechnen wir auch für geringe Sperrenhöhen; z. B.

$H = 2$ m, $h = 1$, $y = 3$ m; und $H = 2{,}6$ m, $h = 0{,}4$, $y = 3$ m

für v = 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 m

$$x = v\sqrt{\frac{2g}{g}} = 1{,}56,\ 2{,}34,\ 3{,}12,\ 3{,}90,\ 4{,}68,\ 5{,}46 \text{ m} \quad \left\{\begin{array}{l}\text{in beiden}\\ \text{Fällen}\end{array}\right.$$

$$x = \frac{{}^4/_3\sqrt{y}}{h} \cdot n = 2{,}76,\ 3{,}22,\ 3{,}91,\ 4{,}60,\ 5{,}29,\ 5{,}98 \text{ m für } h = 1 \text{ m}$$

$$x = \frac{{}^4/_3\sqrt{y}}{h} \cdot n = 2{,}31,\ 2{,}89,\ 3{,}46,\ 4{,}04,\ 4{,}90,\ 5{,}77 \text{ m für } h = 0{\cdot}4 \text{ m}.$$

Die angegebene Formel gilt jedoch nicht nur für eine rechteckige, sondern auch für eine trapezförmige Abflußsektion, kann daher allgemein für die Berechnung der Vorfeldlänge unſerer Querwerke angewendet werden. Für eine trapezförmige Abflußsektion berechnen wir den sekundlichen Abfluß durch

$$Q = {}^2/_3\, b\sqrt{2g}\ h^{3/2} - {}^2/_5\,(b-a)\sqrt{2g}\ h^{3/2} \text{ und}$$

$$\text{da } Q = \frac{a+b}{2} \cdot h \cdot v,\quad v = \frac{2Q}{(a+b)h}$$

$$v = {}^2/_3\sqrt{2gh} \cdot \frac{2b - 1{,}2\,(b-a)}{a+b}$$

Der Faktor $\frac{2b - 1{,}2\,(b-a)}{a+b}$ weicht aber selbst bei bedeutenden Unterschieden zwischen a und b nur wenig von 1 ab.

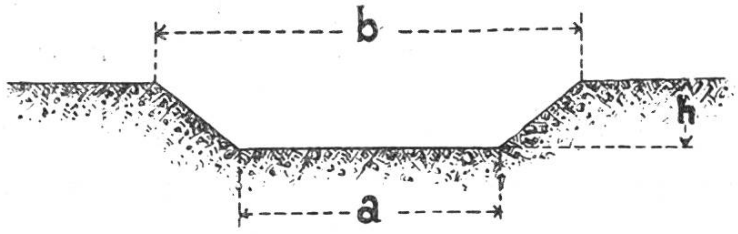

Fig. 2.

Man könnte einwenden, daß auch die entwickelte Formel 2) im höchsten Grade von v abhängig ist, infolgedessen keinen Vorteil vor der Piccioliſchen Formel in dieſer Richtung beſitze. Die Tatſache als ſolche muß zugegeben werden; in der Auffaſſung von v beſteht aber bei beiden Formeln ein grundlegender Unterſchied. Wollten wir in der Formel von Piccioli v als Oberwaſſergeſchwindigkeit des Zufluſſes auffaſſen, ſo hätten wir die Fallinie ſtarrer Körper vor uns. Das Waſſer erfährt jedoch bei Stauſperren in Folge der Profilsverengung in der Abfluß-ſektion eine Geſchwindigkeitsvermehrung.

Die häufige Beobachtung, daß Vorfelder, deren Länge das anderthalb bis zweifache der Objektshöhe beträgt, trotzdem unterwaſchen werden, würde bei hohen Geſchwindigkeitswerten auch nach Formel 2) theoretiſch zu erwarten ſein; im allgemeinen liegt meiſt der Grund darin, daß bekanntermaßen das Waſſer durch den Abſturz nicht ſeine ganze Kraft einbüßt und, von Geſchiebe entlaſtet, auf der glatten, oft ziemlich geneigten Pflaſterung an Geſchwindigkeit und Wühlkraft wieder zunimmt und dieſelbe bei Aufhören der künſtlichen Sohlenbefeſtigung als Eroſion zum Ausdruck bringt. Das Vorpflaſter muß durch ein neues unterfangen werden und den Schluß bildet nicht ſelten eine geſtaffelte Verſchalung der Bachſtrecke, die man nur durch Querbauten zu verbauen beabſichtigte.

In dieſer Hinſicht dürfte es ſich empfehlen, möglichſt breite Abfluß-ſektionen anzuordnen, das Sturzbett wenig geneigt auszuführen, die Pflaſterſteine an der Oberfläche unbearbeitet zu belaſſen, endlich beſonders die Vorſperre über den Horizont des Vorfeldes etwas hervorragen zu laſſen, wobei ein ſolches „verſenktes“ Sturzbett ſich gleichzeitig am beſten gegen die Angriffe des Waſſers und des Geſchiebes ſelbſt ſchützt.

Namentlich bei Konſolidierungswerken in Eroſionsrinnen ſind wir aber an die Natur gegebener Querprofile gebunden und es ſind der Abflußbreite ziemlich enge Grenzen geſetzt. Bei Stauſperren zwingt wieder die Bauökonomie zur Wahl relativ enger Querprofile.

Auch bei Einhaltung keiner übermäßigen Vorfeldlänge reſultiert unter Vorausſetzung möglichſt breiter Abflußſektionen eine bedeutende Vorfeld-pflaſterung, eine Arbeitsſumme, die fallweiſe etwa $^1/_5$ bis $^1/_3$ der Koſten des Querwerkes ausmacht. Wegen der häufigen Beſchädigungen noch obendrein iſt der allgemeine Wunſch wohl naheliegend, die Vorfelder durch

ein geeignetes System ganz zu umgehen. Es ist von Interesse, die in der Schweiz in dieser Richtung unternommenen Versuche auf ihre weitere Anwendbarkeit zu prüfen.

Nach einem in der schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, November 1905, enthaltenen Reiseberichte wurden bei der Verbauung des Flybaches bei Weesen die Fallbetten allgemein ausgelassen, dafür wurde ein System von Sperren angewendet, bei dem die Krone der tiefer liegenden Sperre um 1,5 m höher zu stehen kommt als das Fundament der nächst höheren. Dadurch wird im vorliegenden Falle das Auskolken durch herabstürzendes Wasser verhindert.

Es ist leicht einzusehen, daß bei niedrigen Querwerken eine relativ sehr bedeutende Fundierungstiefe notwendig wird, die mit der Abnahme der Differenz zwischen tang α und tang β wächst.

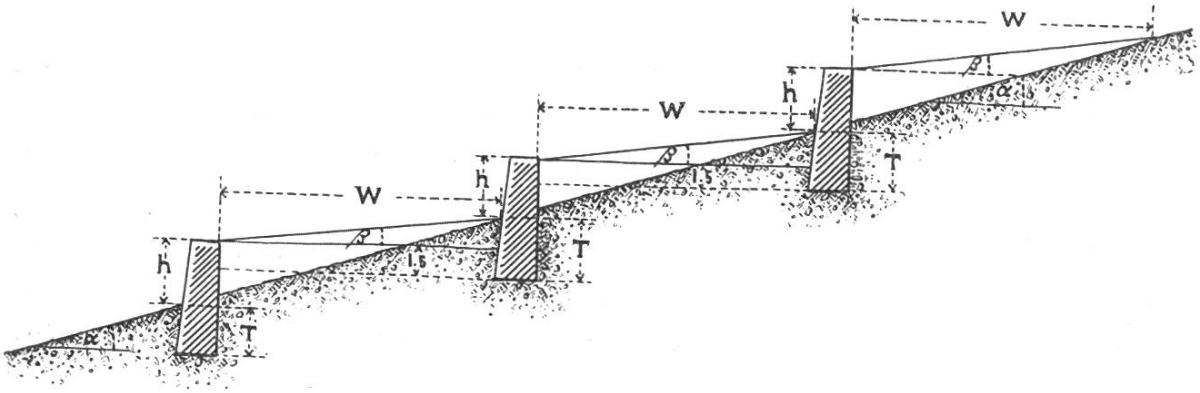

Fig. 3.

Z. B. für $h = 2$ m, tang $\alpha = 0{,}15$, tang $\beta = 0{,}04$;

die Stauweite $W = \frac{h}{\text{tang } \alpha - \text{tang } \beta} = 18$ m,

die Fundierungstiefe $T = 1{,}5 + W \text{ tang } \beta = 2{,}22$ m

dagegen für tang $\beta = 0{,}08$, $W = 28{,}6$ m und

die Fundierungstiefe $T = 3{,}79$ m!

Dadurch geht aber augenscheinlich die Ökonomie des Systemes verloren, da bei niedrigen Querwerken die große Masse des Fundamentmauerwerkes entschieden mehr kostet als ein bestens ausgeführtes Vorpflaster, das bei niedrigen Objekten in keinem den Bestand derselben gefährdendem Grade beansprucht wird. Für hohe Talsperren gilt das Analoge; bei geringer Differenz zwischen Sohlen- und Verlandungsgefälle resultiert eine enorme Fundierungstiefe; im umgekehrten Falle, bei mäßiger Fundierung, ist trotzdem eine Beeinträchtigung der Sicherheit nicht ausgeschlossen, wenn auch nicht durch die Tiefe des Kolkes, so doch durch die Lockerung des Fundamentes.

Die Staffelung mittels Sperren ohne Vorfeld in der Erosion unterworfenen Bachstrecken hat nur dann allgemein bauökonomische Berechtigung und Aussicht auf unbedingten Bestand, wenn das Querwerk auf

Eine Gruppe von Wellingtonien
im Sierra Nationalpark, Fresno County, Kalifornien.

einem entsprechend dimensionierten Gewölbe aufruht, welches den Druck auf die außerhalb des Fallbereiches des Wassers gelegenen, tief fundierten Widerlager überträgt. Dem Nachteil eines größeren Materialaushubes für die seitliche Einbildung und für die Fundierung steht der Vorteil gegenüber, daß das ganze Querwerk gegen seitlichen Druck widerstandsfähiger ist, ein Umstand, der bei hohen und steilen, von Sickerwässern unterwühlten Bruchlehnen voller Beachtung wert ist. Weitere Vorteile wären die völlige Unabhängigkeit von der Beschaffenheit des Baugrundes für das Gewölbe, geringer Materialaushub für letzteres, da dessen Scheitel im angenommenen Verlandungsgefälle liegen kann, Wasserableitung während des Baues durch das Gewölbe und Wirkung desselben als Dohle auch nach vollzogener Verlandung.

Hingegen ist bestes Mauerwerk Voraussetzung, da eine möglichst geringe Belastung des Gewölbes unter Aufrechthaltung gleicher Sicherheit nur durch qualitative Besserung des Mauerwerkes erreichbar ist. Wichtig ist auch die Rücksicht, die Abflußsektion nicht wesentlich breiter zu gestalten als die Spannweite des Gewölbes, worin ein Mangel des Systems zu erblicken ist, da der aus manchen Gründen zu befürwortenden Verbreiterung der Abflußsektion das Bestreben entgegenwirkt, das Gewölbe nicht zu breit zu machen.

Von einer allgemeinen Anwendbarkeit dieses Systemes kann auch nicht die Rede sein; denn vor allem bilden die Spannweite und der Pfeil des Bogens die Grenze des technisch Zweckmäßigen und Möglichen; für wichtige Stausperren wird ferner das Vorhandensein felsiger Widerlager meist unerläßlich sein, eine Bedingung, die übrigens in der Natur nicht gar so selten gegeben ist.

Obwohl einzelne Talsperren auf Gewölbe schon hin und wieder zur Ausführung gelangen, ist bis jetzt ein System solcher Gewölbesperren zur Abstaffelung von Erosionsrinnen noch nicht angewendet worden; gerade in derartigen Fällen kämen die Vorteile dieser Bauweise zur Geltung, da die vielen gepflasterten Sturzbetten die Staffelung teuer und nicht unbedenklich machen.

Vereinsangelegenheiten.

Aus den Verhandlungen des Ständigen Komitees.

Sitzung vom 14. Dezember 1909 in Zürich.

1. Es werden folgende Herren als Mitglieder in den Schweiz. Forstverein aufgenommen:

Karl Ebneter, Forstwirt, St. Gallen;

Prof. Dr. Flahault, Direktor des botanischen Institutes der Universität zu Montpellier, Frankreich;

Ubald Tschui, Mariastein, Kt. Solothurn.