

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 74 (1956)  
**Heft:** 32

**Artikel:** Systematik der Wasserkraftnutzung  
**Autor:** Hahnemann, H.W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-62685>

### **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:** 03.02.2026

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

als Kriterium zur Beurteilung der Rentabilität der einzelnen Tunnel. Als weitere Unterlagen standen der Kommission Gutachten über das Interesse des Fremdenverkehrs und des Gütertransportgewerbes an den Alpenübergängen, eine landesplanerische Expertise über den Bernhards-Strassentunnel und Studien über die Möglichkeiten der Verbesserung des Motorfahrzeugtransportes durch die Bahn zur Verfügung. Ferner lagen die Vernehmlassungen der wichtigsten an der Frage interessierten Wirtschaftsorganisationen und Fachverbände vor. Nach Prüfung der zur Diskussion stehenden Vorschläge gelangte die Kommission zu den folgenden Ergebnissen:

Allgemein kommen als wintersichere Routen für den Transitverkehr nur direkte Verbindungen in Betracht, d. h. solche, bei denen dem Hauptübergang kein zweiter Pass vorgelagert ist.

Als Verbindung aus der Ostschweiz nach dem Süden empfiehlt die Kommission den *Bernhardin*. Der Strassentunnel unter diesem Pass wird durch den erwarteten Verkehr gerechtfertigt, ist wirtschaftlich vertretbar und entspricht insbesondere deshalb einem echten Bedürfnis, weil in den östlichen Schweizer Alpen für den Nord-Süd-Transitverkehr keine leistungsfähige Bahnverbindung zur Verfügung steht.

Für den Übergang aus der Zentralschweiz nach dem Süden wird am *Gotthard* festgehalten, jedoch die Notwendigkeit des Baues eines Strassentunnels vorderhand verneint. Nach dem vorgesehenen Ausbau des Verladedienstes der SBB (ohne Erstellung des zweiten Bahntunnels) wird diese Winterverbindung eine genügende Kapazität aufweisen, um den anfallenden Verkehr bis etwa 1980 zu bewältigen. In der Frage der Tarife ist eine Lösung zu suchen, die sowohl den Interessen der Bahn als auch jenen aller Strassenbenützer in angemessener Weise Rechnung trägt.

In den westlichen Schweizer Alpen stehen die Simplon- und die Grosse St. Bernhard-Route nebeneinander; sie werden durch das Projekt für einen Strassentunnel unter dem Mont Blanc konkurrenziert. Für den *Simplon* wird neben dem vorgesehenen Ausbau der Passstrasse die Verbesserung des Motorfahrzeugtransportes durch den Bahntunnel nach dem Vorbild des *Gotthards* empfohlen. Damit könnte der in den nächsten zwanzig Jahren durch das schweizerische Rhonetal nach Italien gehende Winterverkehr ohne den Bau eines Strassentunnels in den Westalpen einwandfrei bewältigt werden. Vom Standpunkt des Verkehrs aus gesehen, besteht deshalb vorderhand kein dringendes Bedürfnis nach einem Strassentunnel durch den Grossen St. Bernhard. Unter der Annahme, der Mont Blanc-Tunnel werde gebaut, und unter der Voraussetzung tragbarer Durchfahrtsgebühren erscheint der *Grosse St. Bernhard-Strassentunnel* auf absehbare Zeit als nicht eigenwirtschaftlich. Sollte der Mont Blanc-Tunnel nicht erstellt werden, wäre der Strassentunnel durch den Grossen St. Bernhard wirtschaftlich noch vertretbar. Die Kommission gelangte zu einer vorsichtigen Bewertung der Bedeutung dieses Projektes für die westschweizerischen Gebiete, da der unter günstigsten Voraussetzungen zu erwartende zusätzliche Winterverkehr, verglichen mit dem gesamten Jahresverkehr, wirtschaftlich kaum ins Gewicht fallen kann. Zur verkehrspolitischen Frage einer allfälligen Subventionierung nicht eigenwirtschaftlicher Strassentunnel durch die interessierten Kantone hatte sich die Kommission nicht zu äussern.

Die Vorschläge für wintersichere Uebergänge aus dem Berner Oberland nach dem Wallis und von Glarus nach Graubünden werden unter Berücksichtigung der Beschlüsse über die Transitverbindungen weiter verfolgt und in einer nächsten Sitzung behandelt. Zu den mit dem Bau und Betrieb von Alpentunneln zusammenhängenden technischen, rechtlichen und finanziellen Fragen wird die Planungskommission später Stellung nehmen. Das zeitliche Programm für die Ausführung der empfohlenen Projekte soll im Zusammenhang mit jenem der übrigen Nationalstrassen zur Sprache kommen.

\*

Als zweites Geschäft behandelte die Kommission den ihr vom Ausschuss II unterbreiteten Entwurf einer Teilrevision der Bundesverfassung betreffend die Erstellung von Autobahnen und andern wichtigen Transitstrassen (Nationalstrassen). Nach einlässlichen Beratungen stimmte die Kommission diesem Entwurf zu.

Der gutgeheissene *Verfassungsentwurf* will dem Bund das Recht zur Gesetzgebung über den Bau und Unterhalt eines begrenzten Netzes von Nationalstrassen übertragen; er umschreibt die wesentlichsten Gesetzgebungsgrundsätze. Zu Nationalstrassen könnten die wichtigsten Strassenverbindungen von gesamtschweizerischer Bedeutung erklärt werden. Wie bei den übrigen Strassen würde deren Bau und Unterhalt den Kantonen verbleiben, dem Bunde soll aber ein besonders umschriebenes Obergangs- und Anordnungsrecht zustehen.

Hinsichtlich der Finanzierung des Strassenbaues hält sich der Verfassungsentwurf weitgehend an die bestehende Regelung. Demnach würde der Bund Beiträge an die allgemeinen Strassenbaukosten der Kantone, zusätzliche Beiträge an finanzschwache Kantone und Werkbeiträge für den Ausbau des Hauptstrassennetzes leisten. Neu hinzu kämen Beiträge für den Bau der Autobahnen; zu dem Zweck würde der dem Strassenbau bisher zur Verfügung gestellte Anteil von 50 % des Benzinollertrages auf mindestens 60 % erhöht. Während bei den Beratungen das Grundsystem für die Finanzierung der Autobahnen unbestritten war, konnten die Vertreter der Automobilverbände dem Mehrheitsbeschluss nicht zustimmen, nach welchem der Bundesrat zur Deckung eines allfälligen Fehlbetrages eine zusätzliche Abgabe auf Treibstoffen für motorische Zwecke verfügen könnte. Nach den Kostenschätzungen der Kommission dürfte es sich dabei angesichts der ständig steigenden Benzinollerträge lediglich um eine vorübergehende Massnahme handeln.

Der Verfassungsartikel sieht vor, dass für das Befahren der Autobahnen keine Gebühren erhoben werden dürfen. Lediglich für die Benützung von Strassentunneln durch die Alpen könnte die Bundesversammlung unter bestimmten Voraussetzungen angemessene Gebühren bewilligen.

Der auf dieser Verfassungsgrundlage beruhende Entwurf für ein Gesetz über die Nationalstrassen wird vom Ausschuss II gegenwärtig in zweiter Lesung durchberaten. Die Artikel, die den landwirtschaftlichen Belangen besonders Rechnung tragen, werden von einer hierfür eingesetzten Arbeitsgruppe studiert und können demnächst in den Gesetzesentwurf eingebaut werden.

## Systematik der Wasserkraftnutzung DK 621.2.09

Die heutige Technik der Wasserkraftnutzung weist eine nahezu verwirrende Vielgestalt von Kraftwerkarten auf, die aus dem wechselnden Zusammenspiel ihrer drei Bauelemente — Tiefbau (d. h. Betonwasserbau), Maschinenbau und Stahlwasserbau — folgt.

Die grosse Anzahl der sehr unterschiedlichen Konstruktionen jedes der drei Bauelemente drängt zu einer bisher nicht bestehenden, systematischen Ordnung dieses umfassenden Gebietes, wenn es überhaupt möglich sein soll, bestehende und geplante Anlagen zu beurteilen und miteinander zu vergleichen. Auf der Grundlage des natürlichen Dargebots der beiden Faktoren der Wasserkraft, nämlich der gebotenen Wassermengen je Zeiteinheit und ihrer Fallhöhen, ergibt sich aus bestimmten Beziehungen der für den Ausbau massgebenden Grössen zueinander das System, das in einer grundsätzlichen Ordnung die gesamte Wasserkraftnutzung im Flussausbau vom Hochdruckgebiet bis hinab zum Gezeiteinausbau der Meeresbuchten überblicken lässt. Dieses System erfasst ausführungstechnisch und energiewirtschaftlich den Charakter einer jeden Anlage, umreist in erster Annäherung ihren Anwendungsbereich und ermöglicht es, den Entwicklungsgang der Wasserkraftnutzung rückblickend und vorausschauend aufzuzeigen.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit über die Systematik der Wasserkraftnutzung hat H. E. Fentzloff<sup>1)</sup> die vorstehenden Fragen erschöpfend beantwortet und mit einer Fülle von praktischen Beispielen und Darstellungen belegt, so dass sich die systematische Grundlagenforschung organisch aus der umfassenden Praxis des Wasserkraftbaues entwickelt. Den Schlüssel zur Grundlagenforschung der Wasserkraftnutzung geben einerseits die Bewegungsursachen des Wassers

<sup>1)</sup> Fentzloff, H. E.: Systematik der Wasserkraftnutzung. VDI-Forsch.-Heft 453. Düsseldorf 1956. Daraus dieser Auszug.

in den Flüssen und bei den Gezeiten sowie andererseits die Einflüsse der geologischen und der hydrologischen Gegebenheiten auf die Kraftwerkkonstruktionen.

Die auf der Erdoberfläche nutzbare Wasserbewegung wird durch Anziehungskräfte verursacht, die als Gravitation der Erde in den Flussläufen das Fließen und als Gravitation des Mondes im Gezeitenpiel der Meere das Pendeln der Wasser-

Tabelle 1. Systematik der Wasserkraftnutzung: Relative Leistung.

Das Wassermengen-Dargebot im	Fluss	Meer
wird durch Dauerlinien während eines	Erdumlaufs	Mondumlaufs
um	die Sonne (vgl. Bild 2)	die Erde (vgl. Bild 3)
dargestellt. Mit $Q_{HH}$ als Höchstwassermenge (überwiegend dimensionsbestimmend für den Stauwerkteil), $Q_a$ als Ausbauwassermenge (überwiegend dimensionsbestimmend für den Kraftwerkteil) und $Q_M$ als Mittelwassermenge erhält man		
die relative Ausbauwassermenge $Q_{a\text{rel}} = Q_{HH}/Q_a$		
und die Wassermengen-Nutzbarkeit $\kappa_Q = Q_a/Q_M$		
als artbestimmende Grössen für die Gesamtlage.		

Das Fallhöhen-Dargebot im	Fluss	Meer
wird durch	die Stände	den Verlauf
der massgebenden Wasserspiegel des	Fliessens (vgl. Bild 4)	Pendelns (vgl. Bild 5)

dargestellt. Mit den grössten Spiegelunterschieden  $H_n$  des natürlichen unberührten Dargebots (überwiegend konstruktionsbestimmend für den Stauwerkteil) und  $H_a$  des ausgebauten Dargebots (überwiegend konstruktionsbestimmend für den Kraftwerkteil) sowie mit  $H_{nm}$  und  $H_m$  als mittlerem Spiegelunterschied des natürlichen bzw. des ausgebauten Dargebots erhält man

$$\text{die relative Ausbaufallhöhe } H_{a\text{rel}} = H_a/H_n \\ \text{und die Fallhöhen-Nutzbarkeit } \kappa_H = H_m/H_a$$

als artbestimmende Grössen für die Gesamtanlage. Damit ergibt sich:

$$N_{a\text{rel}} = Q_{a\text{rel}} H_{a\text{rel}} \text{ als relative Ausbauleistung,} \\ \kappa = \kappa_Q \kappa_H \text{ als Ausbaugrad,} \\ Q_{\text{rel}} = \kappa_Q Q_{a\text{rel}} = Q_{HH}/Q_M \text{ als relative Wassermenge der genutzten Wasserkraft,} \\ H_{\text{rel}} = \kappa_H H_{a\text{rel}} = H_m/H_n \text{ als relative Fallhöhe der genutzten Wasserkraft,} \\ N_{\text{rel}} = \kappa Q_{a\text{rel}} H_{a\text{rel}} = Q_{\text{rel}} H_{\text{rel}} \text{ als relative Leistung der genutzten Wasserkraft.}$$

Als dimensionslose Grösse für die erste Kontrolle zur optimalen Lösung der Bauaufgabe bezüglich der Leistung hat man also

$$N_{\text{rel}} = (Q_a H_m / Q_M H_n) (Q_{HH} H_a / Q_a H_n) \text{ als das Produkt aus dem Verhältnis der mittleren Ausbauwasser- zur ausgebauten Mittelwasser-Leistung und dem Verhältnis der ausgebauten Höchstwasser- zur natürlichen Ausbauwasser-Leistung oder auch} \\ N_{\text{rel}} = Q_{HH} H_m / Q_M H_n \text{ als Verhältnis der mittleren Höchstwasser- zur natürlichen Mittelwasser-Leistung.}$$

Für das natürliche Dargebot (Index  $n$ ) folgen aus den vorstehenden Grössen, wenn man für den betrachteten Ort  $Q_a \rightarrow Q_M$  und  $H_a \rightarrow H_n$  gehen lässt:

$$Q_{n\text{rel}} = Q_{HH}/Q_M \text{ als relative Dargebots-Wassermenge,} \\ H_{n\text{rel}} = H_m/H_n = 1 \text{ als relative Dargebots-Fallhöhe,} \\ \kappa_{nQ} = Q_M/Q_M = 1 \text{ als Dargebotswasser-Nutzbarkeit,} \\ \kappa_{nH} = H_{nm}/H_n \text{ als Dargebotshöhen-Nutzbarkeit und} \\ \kappa_n = \kappa_{nQ} \kappa_{nH} = H_{nm}/H_n \text{ als Dargebotsgrad. Damit ergeben sich}$$

$$N_{n\text{rel}} = \kappa_n Q_{n\text{rel}} H_{n\text{rel}} = Q_{HH} H_{nm}/Q_M H_n \text{ als relative Leistung des ungenutzten Dargebots und}$$

$$\nu = N_{\text{rel}}/N_{n\text{rel}} = H_m/H_{nm} \text{ als Nutzungsgrad der Wasserkraft.}$$

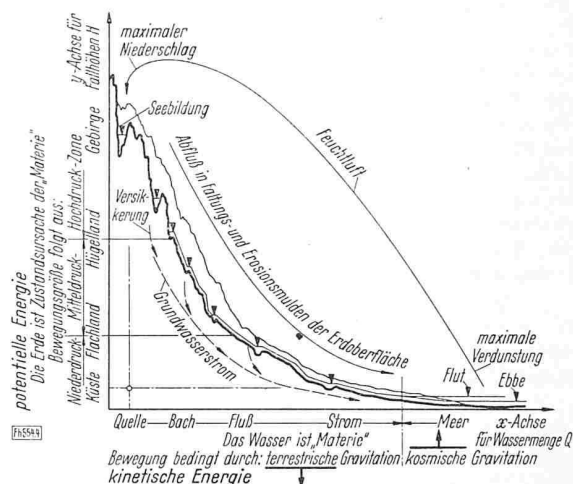


Bild 1. Der irdische Wasserkreislauf

massen bewirken. Diese beiden, die Wasserbewegung auslösenden Urkräfte sind gegensätzlich gerichtet, Bild 1. Es erweist sich beim konsequenten Durchdringen aller Belange des terrestrisch bedingten Energiedargebots der Flüsse und des kosmisch bedingten Energiedargebots der Gezeiten, dass diese Gegensätzlichkeit alle Gebiete der Wasserkraftnutzung gesetzmässig beherrscht. Da bisher an die Nutzung von Ebbe und Flut ausschliesslich mit den Konstruktionsgrundsätzen des Flusswasserkraftbaues herangegangen wurde, deren Grundlagen in allen drei Bauelementen völlig entgegengesetzt denen des Gezeitenausbaues sind, konnte es bisher nicht zu einem wirtschaftlichen Gezeitenausbau kommen. Dieser wird nur und nunmehr erreicht mit der systematischen Auswertung der Grundlagen aller für die Kraftwerkgestaltung massgebenden Gebiete des Dargebots, der Planung, der Ausführung und des Betriebs der Wasserkraftnutzung.

Die Grundgrössen der Systematik der Wasserkraftnutzung werden dimensionslos als relative Grössen dargestellt und bauen sich aus den absoluten Grössen der folgenden massgeblichen Wasser-Volumdurchsätze  $Q$  (in  $m^3/s$ , im Wasserbau als Wassermenge oder als Wasserführung bezeichnet, ob-

Tabelle 2. Systematik der Wasserkraftnutzung: Relative Arbeit.

Für den Fluss (das Meer) ergeben sich bestimmte Dauerlinien für die Wassermengen (als Materie) und die Fallhöhen (als Zustand der Materie) als den beiden Grössen der Wasserkraft mit den folgenden Zeitdauern:

$T$  Dargebotsrhythmus,  $T_a$ ,  $T_H$  und  $T_m$  Beaufschlagungsdauer (Laufdauer) für die Ausbauwassermenge  $Q_a$ , die Höchstwassermenge  $Q_{HH}$  bzw. die Mittelwassermenge  $Q_M$ . Mit  $T_a/T$  als Zeitfaktor für  $Q_a$  und  $T/T_H$  als Zeitfaktor für  $Q_{HH}$  ergeben sich

$$\text{die relative Ausbaudauer } T_{a\text{rel}} = (T_a/T) (T_a/T_H) = T/T_H, \\ \text{die Zeit-Nutzbarkeit } \chi = T_m/T_a \text{ und die} \\ \text{relative Dauer } T_{\text{rel}} = \chi T_{a\text{rel}} = T_m/T_H$$

der Wasserkraftnutzung. Hieraus seien

$$A_{a\text{rel}} = N_{a\text{rel}} T_{a\text{rel}} = Q_{a\text{rel}} H_{a\text{rel}} T_{a\text{rel}} \text{ als relative Ausbauarbeit und } \varepsilon = \kappa_Q \kappa_H \chi = \kappa \chi \text{ als Arbeitsgrad}$$

definiert. Als dimensionslose Grösse für die erste Kontrolle zur optimalen Lösung der Bauaufgabe bezüglich der Arbeit gilt die relative Arbeit  $A_{\text{rel}} = N_{\text{rel}} T_{\text{rel}} = Q_{\text{rel}} H_{\text{rel}} T_{\text{rel}} = \kappa N_{a\text{rel}} \chi T_{a\text{rel}} = \varepsilon A_{a\text{rel}}$ .

Setzt man im einzelnen die vorstehenden Grössen und die Grössen aus Tabelle 1 ein, so erhält man z. B.

$$A_{\text{rel}} = (Q_a H_m T_m / Q_M H_n T_a) (Q_{HH} H_a T_a / Q_a H_n T_H) \text{ als das Produkt aus dem Verhältnis der mittleren Ausbauwasser- zur ausgebauten Mittelwasser-Arbeit und dem Verhältnis der ausgebauten Höchstwasser- zur natürlichen Ausbauwasser-Arbeit oder auch}$$

$$A_{\text{rel}} = Q_{HH} H_m T_m / Q_M H_n T_H \text{ als Verhältnis der mittleren Höchstwasser-Arbeit des gestauten Dargebots zur höchsten Mittelwasser-Arbeit des natürlichen Dargebots.}$$

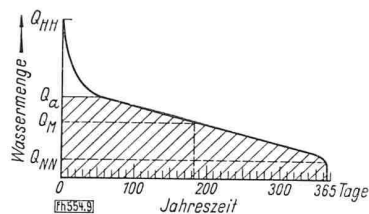
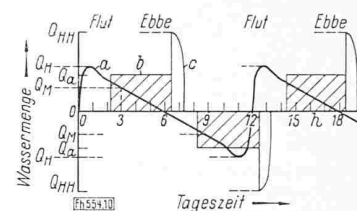


Bild 2 (links). Verlauf der Wassermengen im Fluss während eines Erdumlaufs  $T = 1 \text{ Jahr} = 365 \text{ Tage}$  um die Sonne.  $Q_{HH}$  ist dargebotsbedingt; der Ausbau befindet sich mit dem Dargebotsrhythmus in Deckung

Bild 3 (rechts). Verlauf der Wassermengen während eines Mondumlaufs  $T = 1 \text{ Tag} = 24 \text{ h}$  um die Erde, a Dargebot, b Ausbau, c Ausspiegelung;  $Q_{HH}$  ist ausbaubedingt; Ausbau- und Dargebotsrhythmus sind gegeneinander verschoben.



Bilder 2 und 3. Dargebot und Ausbau der Wassermengen.  $Q_{HH}$  Höchstwassermenge (Grösstbeaufschlagung des Flusskraftwerkes bzw. des Ausspiegelungsteils beim Gezeitenkraftwerk),  $Q_H$  Hochwassermenge,  $Q_M$  Mittelwassermenge,  $Q_{NN}$  Niedrigstwassermenge,  $Q_a$  Ausbauwassermenge (Grösstbeaufschlagung des Flusskraftwerkes bzw. des Kraftteils vom Gezeitenkraftwerk); der Kraftausbau des Dargebots ist schraffiert.

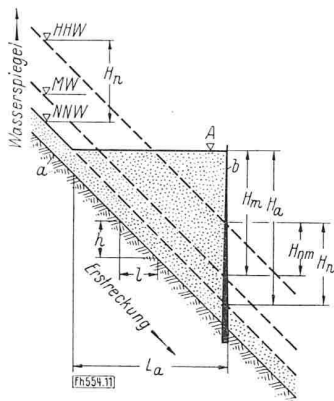
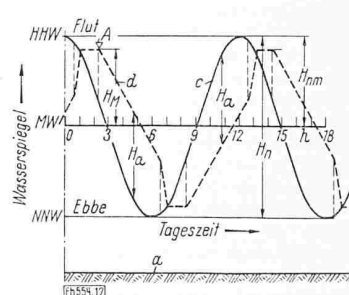


Bild 4 (links). Stände der massgebenden Wasserspiegel des Fließens, b Stauwerk,  $h$  Höhen-,  $l$  Längsstufe,  $L_a$  Ausbaulänge;  $H_a = J L_a$  Ausbau-Fallhöhe mit  $J = h/l$  als Gefälle

Bild 5 (rechts). Verlauf der massgebenden Wasserspiegel des Pendelns, c Verlauf des Meeresspiegels, d Verlauf des Beckenspiegels



Bilder 4 und 5. Darstellung der Wasserspiegel. a Sohle, A Stauziel, HHW höchster Hochwasserspiegel, MW Mittelwasserspiegel, NNW niedrigster Niederwasserspiegel,  $H_n$  und  $H_{nm}$  grösster bzw. mittlerer Spiegelunterschied des natürlichen Dargebots,  $H_a$  und  $H_m$  grösster bzw. mittlerer Spiegelunterschied des ausgebauten Dargebots

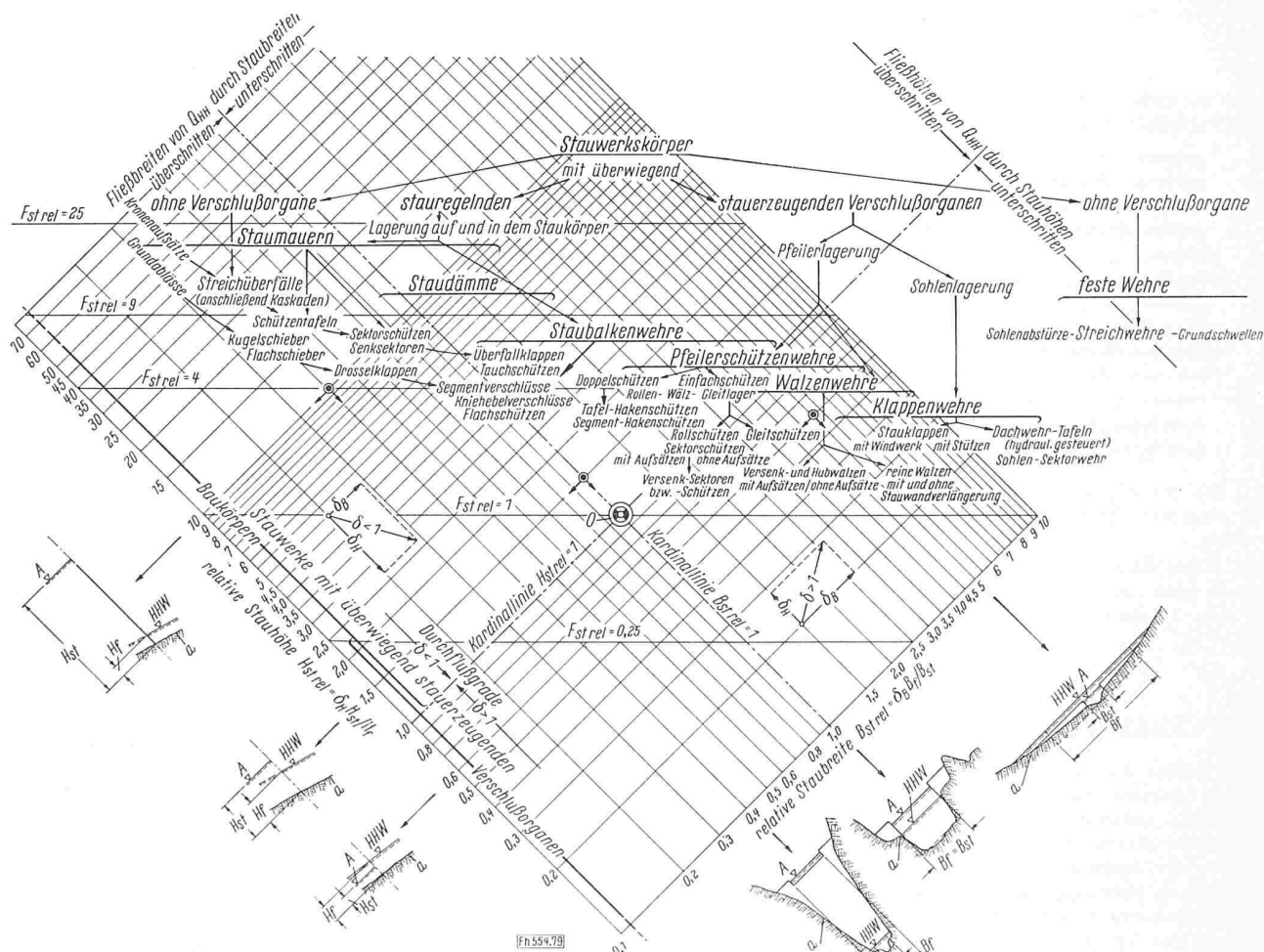


Bild 6. Das Feld des relativen Stauquerschnitts  $F_{st \text{ rel}}$  für die Systematik der Stauwerke mit einer systematischen Darstellung der Stauwerksarten.

a Sohle, A Stauziel, HHW höchstes Hochwasser,  $H_f$  mittlere Fließhöhe,  $H_{st}$  Stauhöhe,  $B_f$  mittlere Fließbreite,  $B_{st}$  Staubreite,  $Q_{HH}$  grösste Hochwassermenge,  $\delta_H$  Stauhöhen-Nutzbarkeit,  $\delta_B$  Stauweiten-Nutzbarkeit, O Ort der idealen (nicht eingegengten) Staufläche (relativer Querschnitt des unverbauten Flusses)



