

Die Ausnützung der Wasserkräfte

und ihr

**Zusammenhang mit Hochwasserschutz,
Landeskultur und Schifffahrt.**

Von

Professor Rudolf Halter.

Vortrag, gehalten den 2. Dezember 1914.

Mit 1 Abbildung im Texte.



Unter Wasserkraft verstehen wir das Arbeitsvermögen, welches im Wasser vermöge seines Gewichtes und seiner Druckhöhe, beziehungsweise seiner lebendigen Kraft enthalten ist. Wenn eine Wassermenge von 1 m^3 1 m senkrecht herabfällt, so entspricht dies einer Arbeitsleistung von 1000 kgm oder rund $13\frac{1}{3}$ Pferdekraften. Wenn wir nun jene gewaltigen Wassermengen in Erwägung ziehen, die alljährlich in unseren Bächen, Flüssen und Strömen dem Meere zueilen, und die großen Höhenunterschiede von den Quellläufen der Gerinne bis zum Meeresspiegel im Auge behalten, so erhält man eine Vorstellung von den enormen Energien, die dem abfließenden Wasser innewohnen und wohl auf viele Tausende Millionen Pferdekraften pro Sekunde eingeschätzt werden können.

Diesen Kräften ist von der Natur auch eine große Arbeitsleistung zugewiesen.

Sie überwinden nicht nur die Widerstände, welche sich der Fortbewegung des Wassers entgegenstellen, sie helfen den Felsblock zertrümmern, der in die Sohle des schäumenden Wildbaches abgerollt ist, sie reiben das Gestein und Geschiebe von der Quelle bis zum Meer ab — die Unterläufe erhalten meist nur mehr Sande — und sie tragen die Abrieb- und die Abschlif-

produkte als Schwebestoffe in das Mündungsgebiet der Flüsse und ins Meer.

Was das Wasser im Oberlaufe zerstört, baut es im Unterlaufe wieder auf, es wirkt im Vereine mit Frost und Verwitterung nivellierend auf die Erdoberfläche in ungezählten Jahrmillionen.

Für jene Zeiträume jedoch, mit welchen wir Menschen rechnen, gehen diese Erscheinungen — von Einzelfällen in den Wildbächen abgesehen — äußerst langsam vor sich, fast unmerklich.

Man kann daher förmlich von einem Gleichgewichtszustand in der Natur sprechen.

Ist es unter solchen Annahmen überhaupt zulässig, dem fließenden Wasser Energie zu entziehen, um sie uns dienstbar zu machen, ohne dadurch diesen scheinbaren Gleichgewichtszustand aufzuheben?

Diese Frage muß bejaht werden. Die Natur arbeitet verschwenderisch.

Derselbe Effekt, den ungezügelte Naturkräfte hervorrufen, kann durch eine Regelung der Kräfte durch viel weniger Energie erreicht werden.

Wir können die Zerstörung durch das fließende Wasser hemmen oder verringern, wodurch dann Energie frei wird.

Man reguliere ein Gerinne, sichere den Boden vor Abbruch, so erhöht sich die Wassergeschwindigkeit; verringert man diese Geschwindigkeit durch einen Einbau und entzieht dem aufgestauten Gerinne seitlich Wasser, so kann die Energie dieser Wassermenge durch die

Konzentrierung des Gefälles an einer einzelnen Stelle für uns nutzbringend verwertet werden. Wir kommen sonach zur Ausnützung der Wasserkräfte. Im allgemeinen ist also der Energieentzug zulässig, ohne den Gleichgewichtszustand im Haushalte der Natur auf die kurze Zeitdauer einer Anzahl Menschengenerationen empfindlich zu stören.

Allerdings gilt dies nur im allgemeinen; im einzelnen Falle bei gewaltigen Eingriffen in die natürlichen Abflußverhältnisse, wie dies bei vielen modernen Großwasserkraftanlagen der Fall ist, wird es im Interesse der Allgemeinheit unumgänglich notwendig werden, das Zulässige der Anlage einer eingehenden Erwägung zu unterziehen.

Diese für unsere Zwecke benützbare Energie muß aber erst durch Maschinen in die für uns nötige Form gebracht werden.

Wie die Lokomotive erst die Eisenbahnen ermöglichte, so sind es die Wasserräder und Turbinen, welcher die Ausnützung der Wasserkräfte bedarf.

Die Idee, die Wasserkraft wirtschaftlich zu nutzen, ist uralt. Schon vor tausenden Jahren kannte man in China und Ägypten die oft nur roh zusammengefügt Wasserräder, wie sie allerdings meist nur zur Hebung des Wassers für Bewässerungsanlagen und zum Tränken von Vieh gebraucht wurden.

Um das Wasser für mechanische Arbeitsleistung in größerem Umfange auszunutzen, fehlte dem Altertum noch die Kenntnis geeigneter Wasserkraftmaschinen.

Die ältesten Nachrichten über Wassermühlen in Deutschland weisen auf das 4. Jahrhundert n. Ch.

Zu dieser Zeit soll — wie Mattern erwähnt — in einem Seitenbache der Mosel eine Marmormühle bestanden haben. Im 11. und 12. Jahrhundert wird schon vielfach über Wassermühlen in Deutschland, der Schweiz, Italien, Frankreich und anderen Kulturländern berichtet.

Aber erst seit Beginn des 18. Jahrhunderts wurde das überschlächtige Wasserrad verwendet, bei welchem Wasserstoß und Wassergewicht ausgenützt werden.

Zur Zeit als die Ausnützung der Dampfkraft einsetzt, wurden die natürlichen Wasserkräfte schon in erheblichem Maße für die verschiedensten gewerblichen Zwecke herangezogen. Allerdings waren aber die Motoren nur aus Holz gefertigte unter-, mittel- und überschlächtige Räder.

Mit Beginn des Zeitalters der Dampfmaschine zeigte sich nun einerseits die Tendenz des Rückganges der Wasserkraftnutzung, da man sich von der Dampfkraft erheblichere Leistungen versprach, andererseits entwickelte die Maschinenindustrie gerade infolge der Dampfkraft den Bau rationeller Wassermotoren zu großer Vollkommenheit.

Es war im Jahre 1824, also fast 100 Jahre später, als ein Daniel Bernouilli in seiner *Hydraulica* die Tatsache der Reaktion eines aus einem Gefäße fließenden Wasserstrahles mitteilte, daß der französische Bergwerksingenieur Burdin ein Wasserrad mit stehender Welle konstruierte, welchem er zuerst den Namen

Turbine gab und sich auf Borda stützte, welcher nachwies, daß man das Wasser in die Schaufeln des Laufrades möglichst tangentiell zu ihrer beaufschlagten Krümmung ohne Stoß eintreten lassen müsse und daß man die Führung des Wassers selbst so zu gestalten habe, daß das Wasser das Rad mit der Geschwindigkeit des Rades verläßt, d. h. mit einer relativen Geschwindigkeit Null. Zuerst waren es niedere Gefälle, die zur Ausnützung gelangten; erst durch Umschließung der Turbine mit wasserdichtem Gehäuse und mit der Zuleitung des Wassers in geschlossener Rohrleitung war die Möglichkeit der Verwertung hoher Gefälle bei kleiner Wassermenge gegeben.

Im Jahre 1837 hatte Fourneyron eine Turbine aufgestellt, welcher das Wasser durch ein Druckrohr zugeführt wurde und ein Gefälle von 108 m ausnützte, was das Staunen und die Bewunderung eines Rühlmanns erweckte.

Männern wie Girard, Francis, Pelton verdanken wir den immer rationelleren Ausbau der Turbine.

Hiebei muß bemerkt werden, daß der auf gründlicher wissenschaftlicher Behandlung beruhende europäische kontinentale Turbinenbau den anglikanischen überflügelt hat und den weiteren Anlaß zur heute so hoch stehenden Entwicklung der Wasserkraftanlagen gab. Österreichs Turbinen fanden und finden sogar in Amerika Absatz. Im Anfang des Motorenbaues, wo Kraftgewinnungs- auch Kraftverwertungsstelle blieb, waren noch relativ kleine Arbeitseinheiten der Wasser-

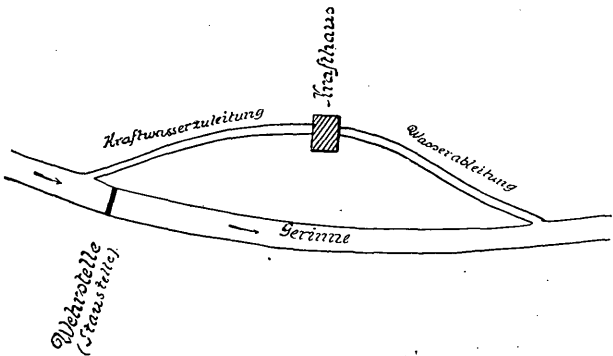
motoren in Betracht gezogen und Motoren von 200 Pferdekraften gehörten schon zu den Seltenheiten.

Erst mit der stürmischen Entwicklung der Elektrotechnik gewinnt die Wasserkraftnutzung eine ungeahnte Bedeutung und wird zu einem bedeutenden Wirtschaftsfaktor.

Die elektrische Fernübertragung ist es, wodurch die Wasserkraftverwertung von der Scholle der Wasserkraftgewinnung gelöst erscheint und dorthin verlegt werden kann, wo Handel, Industrie, Landwirtschaft und Verkehr es zweckdienlich oder notwendig erscheinen läßt.

Mit diesem Aufschwunge steht auch die stete Vergrößerung der Turbinen in Verbindung. Heute gibt es schon solche von weit mehr als 10.000 HP.

Wir wollen nun die Disposition einer Wasserkraftanlage im allgemeinen an der Hand des nachstehenden Schemas näher betrachten:



Aus einem Gerinne entnehmen wir ohne Aufstau (offenes Einrinnen) oder mit Aufstau (Wehr-Talsperre) einen mehr oder minder beträchtlichen Teil des zugeflossenen Wassers, leiten dasselbe in einem eigenen Kanale (Werkbach) oder in einer Rohrleitung oder in kombinierter Weise dem Krafthause (elektrische Zentrale — Mühle) zu, verwenden dort die Energie des Wassers durch Transformation in nutzbringende Arbeit und leiten das ausgenützte Wasser wieder in das Gerinne zurück.

Durch den Aufstau des Wassers an der Entnahmestelle und durch den Gefällsunterschied zwischen Gerinns- und Werkkanalgefälle wird nun jene im Krafthause zur Verfügung stehende Nutzhöhe gewonnen.

Diese Nutzhöhe mit dem dem Krafthause zugeleiteten Wasserquantum gibt nun die verfügbare Wasserkraft

$$N = \eta \cdot \frac{1000 QH}{75}$$

Beim offenen Einrinnen sowohl wie auch bei der Entnahme durch ein Stauwehr wird das pro Zeiteinheit zufließende Wasserquantum oder ein bestimmter Teil hiervon auch tatsächlich in dieser Zeiteinheit dem Werke zugeleitet.

Ist aber der Gerinnszufluß zu gewissen Jahreszeiten sehr gering gegenüber dem mittleren Zufluß, so wird man den Zufluß einer längeren Zeitperiode aufspeichern [Stauweiher-Talsperre] und an der Entnahm-

stelle sonach das mittlere Zuflußquantum dieser Zeitperiode der Nutzung zuführen können.

Dadurch kommen wir zur Anlage von Talsperren zu Kraftnutzungszwecken, wie solche auch zu Zwecken des Hochwasserschutzes, der Bodenbewässerung und der Schifffahrt errichtet werden.

Wir unterscheiden bei den Wasserkraftanlagen Niederdruckanlagen und Hochdruckanlagen.

Die Niederdruckanlage ist im allgemeinen charakterisiert durch große Wassermenge und kleine Gefälle (meist unter 10 m), die Zuleitung erfolgt in einem offenen oder gedeckten, tunnelierten Kanale mit freiem Wasserspiegel; das an und für sich geringe Gefälle setzt sich aus dem Aufstau des Wassers durch ein festes, bewegliches oder kombiniertes Stauwehr einerseits und der Differenz der Längen und Gefälle zwischen Gerinne (Bach, Fluß, Strom) und Werkkanal (Mühlbach) andererseits zusammen, es kann das Gefälle aber auch nur durch letzteren Umstand (freies Einrinnen in den Werkkanal ohne Aufstau durch ein Wehr) oder durch ersteren (Wehr mit hohem Aufstau ohne eigentlichen Werkkanal) bewirkt werden.

Zum ersten Falle zählen die meisten Anlagen; das freie Einrinnen des Entnahmsquantums ohne Aufstau wird nur bei Sonderfällen in Betracht kommen, die Stauanlage ohne eigentlichen Werkkanal setzt Gerinne mit besonders hohen Ufern oder in Schluchten voraus (Lauffenburg, Keokuk, Faal).

Die Hochdruckanlage hingegen hat meist mit hohen Gefällen und relativ geringeren Wassermengen zu rechnen. Das zur Krafterzeugung bestimmte Wasserquantum wird zumindest auf einen Teil der Wasserführung mittels Druckrohrleitung direkt den Turbinen am unteren Ende der Gefällsstrecke zugeleitet.

Die Hochdruckanlage ist die charakteristische Wasserkraftanlage des Gebirges.

Bei dem relativ geringen Querschnitte der Wasserzuleitung und der meist kurzen Länge der Druckrohrleitung ist es begreiflich, daß, wenigstens im allgemeinen, insbesondere dann, wenn dabei nicht die Anlage eines Stauweihers in Betracht kommt, eine Hochdruckanlage billiger ist als eine Niederdruckanlage. Die Energie des Wassers wird heute wohl ausschließlich zunächst zur Erzeugung elektrischer Energie verwendet, selbst dann, wenn auch die Kraftverwendungsstelle unmittelbar mit der Krafterzeugung in Verbindung steht, und fast überall ist die Turbinenwelle direkt mit der Generatorwelle gekuppelt, welche den Strom erzeugt, und fürderhin sei auch im ferneren dieses Vortrages nur diese Art der Kraftverwertung in Betracht gezogen.

Für größere Anlagen solcher Art, und nur größeren kann eine Zukunft prognostiziert werden, ist fast stets Erzeugung der Elektrizität räumlich vom Orte der konzentrierten oder dezentralisierten Kraftverwendung getrennt — sei es nun, daß das Fabriksgebäude in nicht zu weiter Entfernung sich befindet oder aber der

elektrische Strom oft hunderte von Kilometern in die Ferne geleitet wird; so wird z. B. der elektrische Strom für den Betrieb der Mariazeller Bahn von Wienerbruck bis St. Pölten geleitet. Der Strom für Licht- und Kraftbedarf der Stadt Zürich kommt vom Albulawerke aus dem Engadin, der am Südabhange des Bernina gewonnene Strom versorgt die Industrie der lombardischen Tiefebene usw.

Hier tritt das Moment der Fernleitung des Stromes hinzu und die Fernleitungstechnik hat bereits eine hohe Vervollkommnung erreicht; wir wissen, daß die Stromverluste durch die Leitung um so geringer werden, je höher die Stromspannung in den Leitungsdrähten gewählt wird, und wir wissen, daß von jener Kraftereinheit, welche uns Wassermenge und Gefällgröße bieten, über den Weg der Energieverluste durch Wasserzuleitung, Turbine, Generator, Transformatoren und Leitung immerhin noch zirka 57% wirklich am endgültigen Verwendungsorte zur Verfügung stehen.

Mit den Wasserständen wechselt die Wasserführung und die Nutzhöhe, sonach die Wasserkraft.

Nur dann wird man von einer gleichmäßigen Kraft sprechen können, wenn nur diejenige Wassermenge zur Nutzung herangezogen wird, die selbst bei Niedrigwasserstand im Bache oder Flusse vorhanden ist. Dies trifft bei Kleinanlagen wie bei Landmühlen etc. zu.

Beim Ansteigen auf höhere Wasserstände nimmt zwar die Aufschlagwassermenge zu, das Nutzgefälle aber durch schädlichen Rückstau vom Untergraben her

ab und kann bei Hochwässern das Nutzgefälle fast verschwinden — die Kraftnutzung erscheint vorübergehend sistiert; dasselbe tritt häufig bei Eisgängen ein, Behinderungen und Effektverminderungen treten aber auch dann ein, wenn der Normalwasserstand der Nutzung zugrunde gelegt wird und dann zu Niederwasserzeiten die Wassermenge zurückgeht.

Eine Konstanz der Kraft kann daher nur dann erreicht werden, wenn der Wasserkraft eine Hilfskraft beigegeben wird, welche für die Ausfälle an Energie Sorge trägt. Eine solche Reserve ist z. B. eine Dampfkraftanlage neben der Wasserkraft, welche bei außerordentlichen Niederwasserständen, bei Hochwässern und Eisgängen einsetzt, um jene Gesamtkraft zu liefern, die durch Verträge mit den Stromabnehmern zugesichert wurde. Solche Reserveanlagen finden sich heute bereits bei allen als Niederdruckanlagen hergestellten Großkraftanlagen (z. B. Rheinfelden am Rhein etc.). Wir finden aber sogar nicht selten Reserveanlagen von derselben Leistungsfähigkeit wie jene der Wasserkraftanlage selbst.

Natürlich wachsen damit auch die Anlagekosten bedeutend.

Der billige Betrieb der Wasserkraftanlage (Kohlenersparnis) läßt aber auch oft noch in solchen Fällen die kombinierte Anlage wirtschaftlicher erscheinen als die reine Dampfkraftanlage. Das Gesagte gilt solange, als der Energiebedarf der Versorgungsstelle mehr weniger konstant ist. Dient der durch Wasserkraft gewonnene elektrische Strom verschiedenen Zwecken eines

größeren Gemeinwesens, also z. B. zur Beleuchtung der Stadt, zur Versorgung der Kraft zu Industrien und Verkehrsmitteln (Straßenbahnen), so wechselt der Energiebedarf fortwährend sowohl mit der Jahreszeit, hauptsächlich aber mit der Tageszeit. Der Wechsel des Energiebedarfes steht mit dem Wechsel der Energielieferung nicht im Einklange. Eine Wasserkraft, welche auch im ungünstigsten Falle der Energielieferung noch den jeweilig größten Bedarf liefert, würde daher im weitaus größten Teile der Zeit nicht wirtschaftlich rationell ausgenützt sein.

Denken wir uns aber eine Wasserkraftanlage durch Reserveanlagen bis zum Mittelwerte voll ausnützlich, so handelt es sich dann noch um die periodische Deckung des periodisch darüber hinausgehenden Bedarfes.

Wir sprechen dann von einer Deckung des Spitzenbedarfes. Daraus bestimmt sich dann die Gesamtgröße der Reserve, beziehungsweise der Reserven.

Ich spreche absichtlich im Plural.

Diese Reserven brauchen durchaus nicht lediglich Dampfreserven zu sein.

Man denke sich an anderer Stelle Wasser hinter einer Talsperre in einem entsprechend großen Stauweiher aufgespeichert und dann den Turbinen zugeleitet; sobald das Niederdruckwerk nicht den Bedarf deckt, so kommt man zum Begriff der hydraulischen Reserve, die allein oder in Verbindung mit Dampfanlagen für alle Kraftbedürfnisse, beziehungsweise Ausfälle am Niederdruckwerke aufkommt.

Das Ineinanderarbeiten von beiden Aushilfsmitteln muß dann den jeweiligen Zwecken und Verhältnissen angepaßt werden und können wir auch von regelmäßig arbeitenden Reserven und Notreserven sprechen.

Was die Kosten der Anlage von Wasserkraften anbelangt, so sind dieselben von den fallweisen Verhältnissen viel zu sehr abhängig, um sie etwa in eine einheitliche Formel kleiden zu können. Ein gewöhnlicher Maßstab für die Beurteilung derselben sind die Anlagekosten pro einer Pferdekraft. Im allgemeinen gilt der Grundsatz, daß dieselben um so niedriger sind, je größer die Anlage an sich ist. Nach Zusammenstellungen von O. v. Miller stellen sich die Einheitskosten pro Pferdekraft bei der Anlage an der Saale bei Dorndorf, woselbst ein Gefälle von 1·5 m und eine Menge von 16 m³, also hiemit rund 240 PS ausgenützt werden, auf 1000 Mark; bei der Anlage an der Sill bei Matrei, woselbst 80 m Gefälle und 7·5 m³/Sek., also 6000 PS ausgenützt werden, auf 200 Mark; damit ist nun durchaus nicht gesagt, daß nicht auch die Einheitskosten bei noch viel größeren Anlagen als solche von 6000 PS, durch äußere Verhältnisse veranlaßt, höhere sein werden, insbesondere bei großen Niederdruckanlagen und großen Reserveanlagen.

Dennoch werden aber nicht die Anlagekosten, sondern die Betriebskosten den Ausschlag in der Rentabilitätsberechnung geben müssen.

Gerade der billige Betrieb von Wasserkraftanlagen ist es, welcher die Triebfeder für solche Investitionen

ist und der es ermöglicht, daß die Kilowattstunde um sehr niedere Sätze an den Großabnehmer abgegeben werden kann (oft bis zu 1 Heller herab, meist zu 3, 4, 5 Heller), während eine so billige Kraft durch Wärmemotoren allein nie geliefert werden kann.

Solche Kraftanlagen bilden dann erst die Anziehungspunkte für neu entstehende Industrie und sei diesfalls nur auf die Rheinkraftanlagen nächst Basel hingewiesen.

Auf dem Gebiete der Wasserkraftnutzung ist bisher schon sehr viel geschehen, es bleibt aber noch unendlich viel zu tun übrig.

Aus einer Tabelle der approximativen Größen der verfügbaren Wasserkräfte, welche Professor Budau publizierte, ist zu entnehmen, daß sich dieselben in Europa wie folgt verteilen:

	PS in Millionen	PS pro 1 km ²
Österreich-Ungarn	6·13	9·1
Deutschland	1·43	2·64
Schweiz	1·50	36·6
Schweden	6·75	15·0
Norwegen	7·50	23·4
Spanien und Portugal	3·50	5·9
Italien	5·50	19·0
Frankreich	5·85	10·9
England	0·95	3·07
Balkanländer und Griechenland	9·80	19·0
Rußland	3—	0·56

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich die Schweiz als das an Wasserkräften reichste Land Europas und der Kohlenmangel dieses Landes läßt es begreiflich erscheinen, daß von diesen Schätzen heute schon fast ein Drittel ausgenützt ist.

Wie sehr aber Deutschland, als der kulturell vorgeschrittenste Staat der Erde, selbst bei seinen großen Kohlenvorräten die Bedeutung der Wasserkräfte in wirtschaftlicher Beziehung erkennt, möge aus dem entnommen werden, daß bereits ein Viertel der vorhandenen Kräfte ausgenützt erscheint, während in Frankreich und Italien der Ausnützungssatz nicht viel über 10% hinausgeht.

Die obigen Ziffern stellen auch für die wirtschaftliche Entwicklung der Balkanländer ein günstiges Prognostikon. Daß England mit seinen geringen Wasserkräften, seinen enormen Kohlenlagern und seinem konservativen Charakter in bezug auf die Wasserwirtschaft an letzter Stelle steht, ist begreiflich. Je gebirgiger und kohlenärmer das Land ist, um so reicher ist seine wasserwirtschaftliche Entwicklung.

Auch in den österreichischen Alpenprovinzen ist daher die Entwicklung der Wasserkräfte schon eine recht erfreuliche.

Die Tendenz der Entwicklung der Wasserkraftnutzung geht im allgemeinen dahin, immer größere Anlagen zu schaffen.

Während z. B. die Sillwerke bei Innsbruck mit 15.000 PS, die Isarwerke mit 15.600 PS, das Albulawerk

mit 15.330 und das Kraftwerk Rheinfelden mit 16.800 PS arbeiten, finden wir im Brusiowerk, welches die industriereichen Bezirke um Mailand sowie die Berninabahn mit Kraft versorgt, bereits 36.000 PS ausgenützt und das im Bau befindliche Kraftwerk am Draufusse nächst Marburg bei dem Orte Faal wird über 40.000 PS verfügen.

Geradezu gigantisch sind aber die jüngsten amerikanischen Anlagen, so die Niagarawerke mit 200.000 und das Mississippikraftwerk bei Keokuk mit 300.000 PS.

Mit dieser Entwicklung wächst auch die Rentabilität der Anlagen und ihr Einfluß auf das Wirtschaftsleben der Völker.

Während zu Beginn der Ausnutzung der Wasserkraft zur Erzeugung elektrischer Energie zunächst die Beleuchtungszwecke in den Vordergrund traten, haben wir es heute schon mit einer viel universelleren Ausnützung zu tun; die Ausnützung der Kraft als solcher steht bereits obenan und wird bei den Wirtschaftsproblemen der Industrie, der Landwirtschaft und des Verkehrswesens in den Kreis der Erwägungen gezogen.

Die Industrie der billigen Massengüter hat durch die Wasserkräfte eine hohe Förderung erfahren, die Landwirtschaft kann den billigen Strom, der periodisch nicht höherer Verwertung zugeführt werden kann, zweckmäßigst verwerten und Bahnen und Schiffe benutzen schon den elektrischen Strom. Allerdings stehen der Ausnützung des elektrischen Vollbahnbetriebes noch Hindernisse in dem Weg.

Und diese liegen, wie Professor Budau ausführt, in dem Mißtrauen der Militärverwaltungen gegen die leichte Unterbindung des elektrischen Betriebes durch den Feind in Kriegszeiten. Förmlich prophetisch äußert sich Budau dahin, daß erst dann, wenn ein auf mehrere Jahrzehnte voraussichtlicher Friedenszustand in Europa eingetreten sein würde und Reduktionen der stehenden Heere Platz gegriffen haben würden, sich der elektrische Betrieb auf Hauptbahnen in größerem Maße einbürgern könnte. Mittlerweile zeigt sich die Rentabilität der Kraftanlage um so bedeutender, je größer die Anlage an sich ist, und in diesem Bestreben geht man auch schon an die Kraftausnützung selbst größerer Flüsse, ja selbst Ströme, wie dies die Anlagen am Rhein und am Mississippi beweisen. Die Gefällsgrenze der Flüsse, bei welcher die Wasserkraftnutzung noch in Betracht kommt, rückt stetig weiter nach unten und sind auch schon Bestrebungen darauf gerichtet, selbst die Wasserkräfte des Donaustromes in Österreich auszunützen.

Allerdings stehen diesem Weiterschreiten in der Entwicklung einige Schwierigkeiten in der Eis- und Geschiebeführung gegenüber, welche sich in Effektopferungen zum Ausdrucke bringen, die ihrerseits wieder durch Reserven zu decken sein werden. Nun stehen wir an der Schwelle neuer, noch großzügigerer Entwicklung der ganzen Wasserkraftnutzungsfrage. Es ist dies die Zentralisierung der Krafterzeugung für eine Gruppe von Orten, für einen ganzen Landstrich, ja selbst für ein ganzes Land.

Die einzelne Wasserkraftanlage und sei sie an und für sich noch so groß, ist nur ein Element der zentralisierten Krafterzeugung.

Eine einfache Verbindung zweier solcher Elemente, z. B. einer Niederdruckanlage mit einer Hochdruckanlage kann schon, wie früher erwähnt, durch gegenseitige Ergänzung oder durch sogenannte hydraulische Akkumulierung die wirtschaftliche Bedeutung beider Elemente heben und so können wir auch übergehen auf weitere Elementengruppen und selbst auch auf ihre Verbindung mit wärmemotorischen Elementengruppen. Nirgends vielleicht wie auf dem Gebiete der Zentralisierung der Kraftgewinnung ist der Wahlspruch „Viri-
bus unitis“ so sehr am Platze.

Nach dem vorliegenden Thema des heutigen Vortrages wollen wir nun den Zusammenhang mit Hochwasserschutz, Landeskultur und Schifffahrt untersuchen.

Wir wollen die Frage beantworten, ob denn die Idee einer großzügigen Entwicklung der Wasserkraftanlagen mit den übrigen Wasserbauproblemen, mit dem Schutz der Ländereien, ihrer Bodenkultur und mit dem Binnenwasserstraßenverkehr im Einklange steht.

Im Hochwasserschutz können wir drei Entwicklungsstadien wahrnehmen.

Im ersten Stadium, d. i. etwa vor Beginn des Aufschwunges der technischen Wissenschaften kannte man nur den lokalen Schutz vor Hochwasser, ohne Rücksicht auf die dadurch anderorts hervorgerufene Verschlechterung der Hochwasserabflußverhältnisse. Das

zweite Stadium ist charakterisiert durch die Regulierung der Gerinne im Prinzip der geschlossenen, beschleunigten Hochwasserabfuhr.

Drei Momente stellen sich hier als Übelstände dieses Systems heraus, und zwar:

1. die dadurch bedingte Notwendigkeit, mit dieser Regulierung stromabwärts immer weiter vorzugehen, um die Vergrößerung der Hochwassergefahr für die Unterlieger zu beseitigen;

2. die Unsicherheit in der Bestimmung der Höchstwassermenge und sonach in der Ermittlung des genügenden Abflußquerschnittes;

3. die mit diesem Systeme häufig verbundene ungünstige Beeinflussung der normalen Abflußverhältnisse und der Grundwasserstände.

Nur unter bestimmten Verhältnissen kann daher diese Methode weiter verfolgt werden, wie etwa bei der Regulierung der Flüsse im Städtebereich etc.

Selbstverständlich ist dieses System auch vom Kostenstandpunkte ein sehr kostspieliges und stehen oft Kosten und erreichte Vorteile in ungünstigem Verhältnisse.

Das dritte Stadium, eigentlich so erst im Beginne, besteht in der Verfolgung des Rückhaltegedankens, insoweit nicht sogar administrative Maßnahmen an Stelle von Regulierungsmaßnahmen treten.

Nach diesem Gedanken wäre das Hochwasser oder ein Teil desselben durch Sperren und Dämme im Ober-

laufe zurückzuhalten, um es dann sukzessive und ungefährlich in die Unterläufe abzulassen.

So einfach nun dieser Gedanke ausgesprochen ist, so schwierig ist seine konsequente Durchführung.

Bei einem etwas größeren Gerinne ist die bei einem Hochwasser hindurchziehende Wassermenge so bedeutend, daß die gesamte Rückhaltung technisch und finanziell undurchführbar erschiene. Das ist aber auch gar nicht nötig.

Das Gerinne in der bedrohten Strecke kann ja ungefährlich eine gewisse Wassermenge schadlos abführen (Schadenswassermenge) und nur der darüber gehende Teil wäre zurückzuhalten. Wird nun das Gerinne so reguliert, daß seine Kapazität gesteigert wird, so wird die zurückzuhaltende Menge noch kleiner und die Rückhaltung dann nach Kosten und Wert ausführbar.

Wenn wir eine Talsperre für einen Stauweiher errichten, der einer Wasserkraftnutzung dienen soll, so kann die Sperre noch höher ausgeführt werden und solcherart einen Schutzraum bilden, welcher zur Zurückhaltung des Hochwassers dient.

Die rückhaltende Kraft dieses Schutzraumes wird um so beträchtlicher, je mehr es gelingt, schon während des Anfüllens durch das steigende Hochwasser möglichst gleichmäßig jenes Wasserquantum vom Stauweiher abzulassen, welches das regulierte Gerinne schadlos abzuführen vermag, und so der Schutzraum eben nur zur Magazinierung des schadenbringenden Teiles der Hochwassermenge herangezogen wird.

Selbstverständlich genügen feste freie Überfälle in der Talsperrenkrone diesem Zwecke nicht und kann der letztere nur durch richtige Betätigung von Grundablässen oder durch sogenannte Saugüberfälle oder durch eine Verbindung beider Mittel erreicht werden. Selbstverständlich kann das Hochwasser größerer Flüsse nicht etwa durch eine oder einige wenige solcher Sperren unschädlich gestaltet werden; dazu bedarf es eines systematischen Netzes solcher Sperren, deren jeweilige Heranziehung zum Hochwasserschutz entsprechend dem Flutwellenverlaufe des Flusses und seiner Zubringer entsprechend zu regeln ist. Auch bedarf es zu diesem Zwecke in jedem einzelnen solcher Fälle genauester hydrologischer Studien und Erhebungen. Jedenfalls ersieht man aber aus dem Gesagten, daß die Zwecke des Hochwasserschutzes und der Krafternutzung zueinander parallel gehen und einander nicht ausschließen, was mit diesen wenigen Worten hiemit bewiesen sei.

Im übrigen sei nur als nicht direkt zur Sache gehörig angedeutet, daß die modernen Probleme des Hochwasserschutzes nicht nur mit dem der Krafternutzung, sondern auch mit jenen der Landeskultur und des Wasserstraßenverkehrs einiggehen.

Talsperren, welche gleichermaßen der Krafternutzung und dem Hochwasserschutz dienen, sind in Deutschland und anderwärts bereits mehrfach zur Ausführung gekommen.¹

Bald dominiert der eine, bald der andere Zweck, bald funktionieren sie in harmonischer Übereinstimmung.

Kann der Nutzungszweck dem Schutzzweck nachgestellt werden, handelt es sich also z. B. um eine durch die bezügliche Wasserkraftanlage versorgte Industrie, welche teils über Dampfreserven verfügt, teils ohne Schaden kurze Zeit hindurch den Betrieb einstellen oder reduzieren kann und haben wir eine gute Wasserstands-, beziehungsweise Wetterprognose ausgebildet, so kann der ganze Nutzungsraum oder ein ganz wesentlicher Teil desselben durch rechtzeitige Entleerung in vorzüglichster Weise als Schutzraum ausgenützt werden.

Auch auf die Landeskultur wirken die Wasserkraftanlagen in mehrfacher Weise wohltätig ein, und zwar nach drei Richtungen:

1. durch die Heranziehung des im Kraftwasserstauweiher angesammelten Wassers nach erfolgter Kraftnutzung zur künstlichen Bewässerung von Ländereien;
2. zur Ausnutzung der Wasserkraft zur Erzeugung landwirtschaftlicher Dungstoffe;
3. zur Heranziehung elektromotorischer Kraft zum landwirtschaftlichen Betriebe.

Selbstverständlich wird es aber auch sehr häufig notwendig werden, um landwirtschaftliche Nachteile einer Stauanlage zu verhindern, im Bereiche der Stau-
strecke des Wehres, längs größerer Werkkanäle und längs der wasserarmen Flußlaufstrecke unterhalb des Wehres partielle Ent- und Bewässerungsanlagen auszuführen.

Nun wollen wir uns der Schifffahrt zuwenden.

Auch zwischen ihr und der Wasserkraftnutzung ist erfreulicherweise Interessengemeinschaft zu konstatieren.

Die Schifffahrt — ich spreche hier nur von der Binnenschifffahrt — und die Eisenbahnen haben sich wirtschaftlich zu ergänzen.

Diese Ergänzung ist so zu verstehen, daß dem Wasserverkehr der billige Massentransport zufällt und zu diesem Zwecke in das Bahnnetz des Landes ein Wasserstraßennetz eingefügt wird — daß mit Benützung der natürlichen Flußläufe auch in zweckentsprechender Lage künstliche Schifffahrtskanäle errichtet werden.

Dieses Ergänzungsnetz ist aber wirtschaftlich seinem Zwecke nur dann dienlich, wenn die Schifffahrt auf demselben rationell betrieben werden kann.

Dies setzt eine genügende Fahrwassertiefe für die beladenen Kähne voraus.

Dieser Forderung kann bei Anlage einer künstlichen Wasserstraße leicht entsprochen werden.

Die natürlichen Flußläufe entsprechen sehr häufig dieser Forderung nicht oder wenigstens zeitenweise nicht. Es handelt sich daher in diesem Belange um die Vergrößerung der Fahrwassertiefe.

Zu diesem Zwecke stehen nun drei Mittel zur Verfügung. Es sind dies die Regulierung oder die Kanalisierung des Flusses oder die Wasservermehrung durch Zuschußwasser, beziehungsweise die Kombination dieser drei Mittel.

Die Regulierung setzt immerhin eine beträchtliche Wassermenge voraus und besteht in einer zweckentsprechenden Trassenführung und Profilgebung.

Die Wasserkraftnutzung steht damit nicht im Zusammenhange. Die Kanalisierung des Flusses setzt dann ein, wenn durch die Regulierung allein der Zweck gar nicht oder nur unvollkommen erreicht werden kann. Sie besteht in der Errichtung einzelner Stauwehre in solcher Entfernung voneinander, daß hiedurch überall durch Aufstau die erwünschte Wassertiefe erzielt wird. Die Gefälle an den Staustufen werden durch Kammer-schleusen überwunden.

Solche Flußkanalisierungen sind an der Moldau, Elbe, Oder usw. mannigfach ausgeführt worden; ihre Kosten sind bedeutend.

Für die Wasserkraftnutzung kommt dieses Mittel insoferne in Betracht, als der Gefällsunterschied bei den einzelnen Staustufen zur Erzeugung elektrischen Stromes mitbenützt werden kann und teilweise auch schon benützt wird (Hořin an der Moldau).

Da die fast ausschließlich beweglichen Stauwehre bei höheren Wasserständen und außerhalb der Schifffahrtsperiode außer Funktion gesetzt und niedergelegt werden, der Stau sonach beseitigt wird, so ist auch die Kraftnutzung nur eine zeitweise.

Sie findet aber während der Schifffahrtsperiode, beziehungsweise während der Zeit, als die Stauwehre aufgestellt sind, zur Schiffstraktion sowie zum Schleusenbetriebe vorteilhafteste Anwendung.

Das dritte Mittel zur Verbesserung der Fahrwassertiefe schiffbarer Flüsse ist die Wasservermehrung durch Zuschußwasser.

Zu diesem Zwecke wird hinter anzulegenden Stauweihern zu Zeiten sehr reichlicher Wasserführung im Flusse Wasser aufgespeichert und zur Zeit des Niederrwassers in den Fluß abgegeben.

Hiedurch wird nun die Wassermenge so vergrößert, daß die erforderliche Fahrwassertiefe erzielt werden kann.

Allerdings sind bei langen Trockenperioden und äußerst niedrigen Wasserständen die dann aufzuspeichernden Wassermengen so bedeutend, daß hieran der hohen Kosten wegen die Aufgabe scheitern kann.

Werden aber säkulare Trockenheitsperioden mit in Kauf genommen, werden die Ansprüche der Schifffahrtstreibenden nach Tauchtiefe nicht gar zu hoch geschraubt und schon durch die Regulierung der Flüsse an sich das Bestmögliche erreicht, so rückt die Idee der Zuschußwasserfrage in das Gebiet des Ausführbaren. Solche Lösungen liegen aber heute schon vor.

So sind in Amerika im oberen Mississippital in der Zeit von 1880 bis 1886 vier Sammelbecken durch höhere Stauungen von Binnenseen mit zusammen rund 2700 Millionen Kubikmeter nutzbaren Stauinhaltes hergestellt worden, welche den Zweck haben, den Niederrwasserstand des Mississippistromes unterhalb St. Paul um 30—35 cm zu heben.

Die Waldecker Talsperre in Deutschland, die einen Stauweiher von 200 Millionen Kubikmeter Inhalt schafft, soll den Niederwasserstand der Weser in trockenen Zeiten im oberen Laufe um etwa 35 cm und im unteren Laufe um 15 cm erhöhen, um dadurch im Interesse der Schifffahrt Wassertiefen von 1·1 m, beziehungsweise von 1·4 m zu erzielen.

25 Staubecken im Gebiete der Oder mit 722 Millionen Kubikmeter Stauraum Inhalt sollen zur Zeit des Niederwassers der Oder soviel Zuschußwasser abgeben, damit hiedurch und in Verbindung mit Flußregulierungsarbeiten an der Oder selbst von Breslau abwärts eine Mindestfahrwassertiefe von 1·4 m erzielt wird. Diese Idee des Zuschußwassers ist daher eine lebensfähige; freilich dürfen solche Projekte nicht, wie es schon vorgekommen ist, von Laien aufgestellt werden und bedürfen der strengsten wissenschaftlichen Behandlung.

Für die Wasserkraftnutzung kommt eine solche Zuschußwasseranlage in zweifacher Richtung in Betracht. Zunächst dadurch, daß an der Talsperre das durch die Aufspeicherung gewonnene Gefälle voll zur Kraftgewinnung verwendet werden darf.

Dieser Vorteil steht aber nicht immer zur Verfügung, sondern eben nur zur Zeit des Ablassens des Stauweihers.

Wichtiger ist der Vorteil, daß durch die Abgabe von Zuschußwasser zur Zeit des Niederwasserstandes der Wasserstand und sonach die Wassermenge gehoben werden. Hängen nun an dem Flusse unterhalb

der Talsperre Kraftanlagen, so erhalten diese also auch bei Niederwasserständen mehr Wasser, die Betriebskraft wird daher dadurch konstanter und wertvoller. Wir sehen aus dem bisher Ausgeführten, daß die modernen Wasserbauprobleme mit der Kraftnutzung und auch untereinander in günstiger Wechselbeziehung stehen. Die Wasserwirtschaftsverbände aller Kulturstaaten wetteifern in der Hebung der Wasserwirtschaft als eines der bedeutendsten Kulturfaktoren der Zukunft.

Die Konzentration der elektrischen Krafterzeugung und ihre Fernleitung und Verteilung wirkt aber noch nach einer Richtung bedeutend auf die Menschheit in ethischer Beziehung.

Sie ermöglicht die Dezentralisation und Individualisierung der höherwertigen Güter- und Warenerzeugung und hebt dadurch die Individualität gegenüber der geisttötenden Massenfabrikation. Da die Wasserkraft unerschöpflich ist — nicht wie bei der Kohle die Gefahr vorliegt, daß ihre Vorräte versiegen — so wird, solange uns die liebe Sonne ihre Energie schenkt, der Born unermesslicher Volkswohlfahrt in der Wasserkraft erblickt werden können.
