

Expertenbericht
über die
Ausnützung von Thur und Sitter

von

Ingenieur L. Kürsteiner, Zürich
und
Professor G. Narutowicz, Zürich



An das Baudepartement des Kantons St. Gallen

ST. GALLEN.

Mit Schreiben vom 22. Oktober 1917 beauftragten Sie die Unterzeichneten mit der Ueberprüfung der von der Firma Jean Müller, Baugeschäft, in St. Gallen, eingereichten Konzessionsgesuche und Projekte über die Ausnützung der Sitter und der Thur in verschiedenen Gefällsstufen.

Diese Ueberprüfung soll sich sowohl über die technische Seite als auch über die Wirtschaftlichkeit und die volkswirtschaftliche Bedeutung der eingereichten Projekte erstrecken, und für die Projekte 1—3 (Stauung der Thur bei Lütisburg und bei Schwarzenbach und des Neckers oberhalb Lütisburg) in *einlässlicher* Weise, für die Projekte 4—6 (Stauung der Thur bei Bischofszell und Ausnützung der Sitter) in mehr allgemeiner Weise erfolgen.

Im weitem sei zu untersuchen, ob die Ausführung der Müller'schen Projekte eine wirklich rationelle Ausnützung der betreffenden Wasserkräfte garantiere, oder ob sich nicht eine andere Art der Ausbeutung empfehle, sei es im Sinne einer mehr durchgreifenden Nutzbarmachung, sei es im Sinne einer Ausnützung in Teilstrecken.

Schliesslich soll geprüft werden, in welcher Weise die Wasserkräfte der Thur und des Neckers für die St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke in Betracht fallen.

Die Erledigung dieses Auftrages erforderte nebst der Komplettierung der vom Konzessionsbewerber eingereichten Projektunterlagen die Vornahme von Terrainaufnahmen im Thurgau, eine allgemeine Besichtigung des in Frage kommenden Geländes nach erfolgter genereller Festlegung der vorgeschlagenen Projekte, sowie eine zweite Detailbesichtigung einzelner Stellen, die für die geplanten Staumauern und Stauseen in Betracht gezogen werden mussten.

Im weitem schien es uns geboten, für die Beurteilung der so wichtigen und oft ausschlaggebenden geologischen Verhältnisse einen mit der in Betracht fallenden Molassegegend vertrauten und erfahrenen Geologen beizuziehen, der in der Person des Herrn Dr. Hug in Zürich gewonnen wurde.

Die Untersuchung über die technische Seite der Projekte machte die Aufstellung von approximativen Kostenvoranschlägen nötig, und die Behandlung der volkswirtschaftlichen Bedeutung der erstern, wobei ja der Strompreis eine besonders ausschlaggebende Rolle spielt, verlangte die ebenso wichtige, wenn auch nur angenähert durchführbare, Feststellung der Betriebskosten.

Das gewünschte Studium der neuen Projekte in Verbindung mit den St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerken bedingte ferner ein etwas näheres Eingehen auf die Bau- und Betriebskosten einiger grösserer schweizerischer Kraftwerke, was auch mit Rücksicht auf den heute in Laienkreisen allgemein herrschenden übertriebenen Optimismus über die Selbstkosten der Stromerzeugung unvermeidlich war.

Inhaltsverzeichnis.

A. Allgemeines.

1. Allgemeine Grundlagen.
2. Gefällsverhältnisse und Einzugsgebiet.
3. Pegelbeobachtungen und Abflussmengen.
4. Verschotterung und Verschlammung der Staubecken.
5. Erläuterungen zu den Leistungsplänen und der graphischen Darstellung des Wasserhaushaltes
6. Allgemeine Bemerkungen zu den Schätzungen der Bau- und Betriebskosten.

B. Die Projekte von Ingr. Müller.

- a) Kraftwerke an der Thur.
- b) Kraftwerke an der Sitter.

C. Vorschläge der Experten.

- a) Ausnützung der Thur.
 1. Werk Mühlau-Henau.
 2. Weitere untersuchte Lösungen.
- b) Ausnützung der Sitter.
 1. Ableitung nach dem Bodensee.
 2. Ableitung nach Bischofszell.

D. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.

Der ganze Komplex der zu behandelnden Punkte liess daher den Umfang unserer Arbeit wesentlich stärker anschwellen, als wir bei der Uebernahme des Auftrages voraussehen konnten, was die Vollendung unseres Gutachtens etwas in die Länge zog.

Wir haben unser Gutachten in vier Teile geteilt und in dessen erstem Teil vorerst alle für die Beurteilung der vorliegenden und neu vorzuschlagenden Projekte an der Thur und Sitter nötigen Grundlagen näher angeführt, sowie die dem Bericht beigegebenen Pläne und tabellarischen Beilagen erläutert. In einem zweiten Teil wurden die Resultate auf die von Ingenieur Müller vorgeschlagenen Projekte angewendet, dieselben dementsprechend neu durchgearbeitet und kritisiert. Der dritte Teil enthält unsere eigenen Vorschläge zur rationellen Ausnützung der Sitter und Thur, und zum Schluss wurden die Resultate unserer Studien und Vorschläge übersichtlich kurz als Schlussfolgerung zusammengestellt.

Wir hoffen, mit unserer Arbeit einen beachtenswerten Beitrag zur Beurteilung der nicht einfachen, folgeschweren Frage der Ausnützung der Thur und Sitter gebracht zu haben.

A. Allgemeines.

1. Allgemeine Grundlagen.

Für die Bestimmung der massgebenden Wassermengen haben wir die amtlichen Beobachtungsergebnisse der Pegelstationen Lichtensteig, Necker, Bischofszell und Andelfingen benützt. Sehr willkommen und äusserst wertvoll zur Berechnung der Abflussmengen eines grösseren Zeitraumes, wofür uns amtliche Beobachtungen nur für die Station Andelfingen zur Verfügung standen, waren uns die seit 1904 von den St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerken täglich notierten, teilweise durch Limnigraphenaufzeichnungen unterstützten Beobachtungen im Stollen der Sitterzuleitung bei der Pegelstation List.

Die Entwürfe für die vorhandenen Konzessionsprojekte und unsere eigenen Vorschläge stützen sich im allgemeinen auf die Siegfriedkarte im Masstab 1:25 000, die zur approximativen Festsetzung der verschiedenen Staubecken und zur angenäherten Berechnung der Staumauern für den Zweck dieses Berichtes genügenden Aufschluss gab. Daneben wurde die Partie der Thur und des Neckers bei Lütisburg, sowie der Thur bei Schwarzenbach topographisch im Masstab 1:2000 mit 2 m Schichtenkurven aufgenommen, sodass für diese Partien ganz zuverlässige Profile aufgezeichnet werden konnten. Auch für die Staustelle bei Mühlaus standen uns Detailaufnahmen im gleichen Masstab zur Verfügung.

Die Grundlagen, die uns zur Lösung unserer Aufgabe vorlagen, dürften daher in allen Beziehungen zu einer richtigen Beurteilung der massgebenden Faktoren und Verhältnisse vollständig genügen. Vorausschicken möchten wir dabei die Bemerkung, dass uns in erster Linie die Abklärung über die vorhandenen und ausnützbaren Wassermengen und der wirklich praktisch möglichen Ausnützung derselben am Herzen lag, weil sich alle weiteren Folgerungen und Projektentwürfe auf dieser Grundlage aufbauen mussten. Etwas genereller konnte dann die technische Behandlung der verschiedenen Projekte und Vorschläge erfolgen, da die massgebenden Vorzüge und Nachteile derselben auch ohne Detailbehandlung mit genügender Sicherheit nachgewiesen, gewürdigt und verglichen werden konnten.

2. Gefällsverhältnisse und Einzugsgebiet.

Thur. Die in Betracht fallende Strecke der Thur hat eine abgewinkelte Länge, von der Pegelstation Lichtensteig an gerechnet bis zur Mündung der Sitter bei Bischofszell, von rund 37 km und ein absolutes Gefälle zwischen diesen beiden Punkten von 141 m. Das mittlere Wasserspiegelgefälle bei Niederwasser beträgt somit $\frac{141}{37000} = 3,8 \text{ ‰}$. Wie aus dem Längenprofil ersichtlich, ist das Gefälle im oberen Teil zwischen Lichtensteig und Neckermündung stärker (5,2 ‰) und daher schon seit ca. 50 Jahren durch industrielle Kraftanlagen ausgenützt. Der mittlere Teil von Lütisburg bis Felsegg (Henau) mit 3,3 ‰ ist wieder wesentlich flacher als der obere und untere Teil, und es finden sich auf der mittlern und untern Strecke zusammen nur drei Wasserkraftwerke. Vom gesamten Totalgefälle von 141 m sind bereits 40 m von Einzelanlagen ausgenützt, sodass rund 100 m unausgenützt bleiben.

Dass so auffallend ungünstige Gefällsverhältnisse, verbunden mit aussergewöhnlich starken Wasserstandsschwankungen und lang andauernden Niederwasserperioden, wie sie allen Flüssen der Molassegegenden eigen sind, bis jetzt nicht in grossem Masse zur praktischen Ausnützung verlocken

konnten, ist leicht begreiflich, und sie lassen der Hoffnung wenig Raum, selbst bei rationellem Ausbau Kraftwerke erstellen zu können, welche die elektrische Energie zu gleichen oder gar niedrigeren Selbstkosten zu liefern in der Lage wären, als andere, bereits im Betrieb stehende oder im Entwurf liegende neue schweizerische Kraftwerke.

Necker. Der bei Lütisburg in die Thur mündende Necker weist wesentlich günstigere Gefällsverhältnisse auf. Von der Pegelstation Necker bis zur Mündung in die Thur beträgt der Höhenunterschied auf rund 9,5 km Länge volle 82 m, was einem relativen Gefälle von 8,5 ‰ entspricht.

Weist der Necker somit in einer Beziehung für die Wasserkraftnutzung günstige Verhältnisse auf, so werden diese anderseits wieder kompensiert durch die, dem um 60 ‰ kleinern Einzugsgebiet entsprechenden, kleinern Wassermengen.

Sitter. Der Sitterlauf von Appenzell bis zur Mündung in die Thur bei Bischofszell weist auf die Länge von rund 45 km eine Höhendifferenz von 324 m auf. Bei einer um nur ca. 20 ‰ grössern Länge des Flusslaufes ist das relative Gefälle mit 13 ‰ somit ca. dreimal so gross als bei der Thur. Am konzentriertesten ist das Gefälle auf der obern Strecke zwischen Hargarten und der Vereinigung von Sitter und Urnäsch beim Kubel, woselbst das relative Gefälle volle 17 ‰ beträgt. Dieses Gefälle ist mit ca. 100 m durch das Kubelwerk ausgenützt; weiter oben sollen weitere 71 m durch den schon vor 15 Jahren projektierten und früher oder später zweifellos doch zur Ausführung kommenden Stausee in der Lank ausgenützt werden. Diese obere Gefällsstrecke von Appenzell bis zum Kubelwerk ist somit sozusagen vollständig in Beschlag genommen und kommt für Neuanlagen nicht mehr in Betracht.

Unterhalb des Zusammenflusses von Urnäsch und Sitter vermindert sich das Gefälle der Sitter mit zunehmendem Einzugsgebiet ganz wesentlich und beträgt im Durchschnitt zwischen diesem Punkt und der Einmündung in die Thur (30 km) bei Bischofszell absolut nur noch 126 m und relativ rund 4 ‰, ist somit nur unwesentlich stärker als dasjenige der Thur von Lütisburg bis Bischofszell.

Auf den ersten 10 km vom Kubelwerk abwärts befinden sich vier in Betrieb stehende Kraftanlagen mit einem ausgenützten Gefälle von zusammen 26,0 m. Hierauf folgt eine zurzeit unausgenutzte Strecke von 5 km Länge bis zu der seit langem nicht mehr in Betrieb stehenden Wannenmühle mit 3,0 m Gefälle. 7½ km weiter flussabwärts liegt die Kraftanlage der Papierfabrik Degenau mit 3,5 m Gefälle, ebenfalls ausser Betrieb; dann folgt die Mühle Sitterdorf mit 2,5 m und schliesslich die Bruggmühle Sittertal mit 4,8 m Gefälle. Von diesen acht bestehenden Werken bzw. Rechten befinden sich somit zwei ausser Betrieb; die Anlagen sind zum Teil zerfallen. Die vier obersten, das mittlere und die beiden untern Werke sind dagegen in voller Tätigkeit; das bedeutendste ist das Elektrizitätswerk der Brauerei Schützengarten mit einer Leistungsfähigkeit von ca. 300 PS.

Sieht man von den beiden nicht in Betrieb stehenden Anlagen ab, so bleiben von dem ganzen Gefälle vom Kubelwerk bis Bischofszell noch rund 100 m unausgenützt. Für das Studium neuer Werke wird man die obersten drei Wasserkraftanlagen jedenfalls zum vornhinein ausser Spiel lassen, da sich dort oben zu wenig Gefälle gewinnen liesse, um die nicht geringen Expropriationskosten zu rechtfertigen. Die beiden Rechte bei Wannenmühle und Degenau spielen dagegen keine Rolle, und es müsste unter Umständen auch das Kraftwerk der Bierbrauerei Schützengarten geopfert werden, wenn eine einheitliche und vollständige Ausnützung der Sitter von St. Gallen bis Bischofszell in Frage kommen könnte.

Wie ersichtlich, wäre an der Sitter noch ein bedeutendes absolutes Gefälle ausnützbar; doch muss eine Ausnützung desselben wegen der grossen Länge und des *relativ kleinen* Gefälles unter allen Umständen ziemlich kostspielig werden. Ueberdies haftet der Sitter gegenüber der Thur der Nachteil des kleinern Einzugsgebietes (300 gegenüber 500 km²) und der weitere Uebelstand an, dass keinerlei Baumaterial wie Kies, Sand oder Bausteine im Gebiet des Flusses selbst gewonnen werden

kann, da der ganze geologische Aufbau der Sitterschichten ausschliesslich aus schlechtem, für Bauzwecke ganz untauglichem Material besteht und die Sitter auf dieser Strecke nur sehr wenig Schotter führt. Man wird also auch bei der Sitter zum vorhinein nicht auf aussergewöhnlich gute Resultate rechnen dürfen.

Bezüglich der Grössenverhältnisse der massgebenden Einzugsgebiete mögen folgende Angaben Aufschluss geben.

Thur:	km ²	Sitter:	km ²
Bis zum Pegel Lichtensteig	264	Pegelstation List	105
Bis und mit dem Necker	443	Bis und mit der Urnäsch beim Kubel	256
Necker bei der Pegelstation Necker	85	Bis Bischofszell (Pegelstation)	340
Necker bis zur Thur	124		
Thur bei Mühlau	484		
Bis Schwarzenbach	506		
Bis zur Mündung der Sitter	741		
Bis und mit der Sitter	1081		
Bei Bürglen	1120		
Bei Weinfelden	1126		
Bei Andelfingen (Limnigraph)	1696		
Bis zur Mündung in den Rhein	1723		

3. Pegelbeobachtungen und Abflussmengen.

Für die Beurteilung der vorhandenen Wassermengen stehen in unserem Gebiet die Resultate folgender Pegelstationen zur Verfügung:

Lichtensteig, Necker und Andelfingen . . für die Thur,
Appenzell, List und Bischofszell . . . für die Sitter.

Leider sind zuverlässige Beobachtungen über eine längere Zeitdauer (1904—1917) nur für die Stationen List und Andelfingen vorhanden, während auf den andern Stationen erst seit 1912 beobachtet wurde. Die Station Appenzell gibt infolge ihrer ungünstigen Lage und der stetigen Veränderung des Pegelprofils unsichere Resultate und wurde nicht beigezogen.

Auf Grund der uns von der Abteilung für Wasserwirtschaft des Schweizer. Departements des Innern zur Verfügung gestellten Zusammenstellung der täglichen Abflussmengen der Stationen Lichtensteig, Necker, Bischofszell und Andelfingen und der von den St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerken beobachteten Pegelstation List an der Sitter wurden nun die monatlichen spezifischen Abflussmengen, d. h. die monatlichen Abflussmengen in Litern per Quadratkilometer und Sekunde, berechnet, und zwar für Andelfingen und List für die Periode 1904—1917, für die andern Stationen von 1912—1917. Letztere Periode ist insofern zu kurz, als sie ausnehmend wasserreiche Jahre umfasst, sodass es nötig war, die fehlenden Jahre durch Vergleichung mit den direkten Beobachtungen von Andelfingen und List so gut als möglich abzuleiten.

Sämtliche Zahlenangaben über die abgeflossenen Wassermengen dürfen nicht als ganz sicher und vollständig einwandfrei betrachtet werden. Erfahrungsgemäss verändern sich die Durchflussprofile bei vielen Pegeln von Jahr zu Jahr, sodass die abgelesenen Pegelstände nicht immer genau dem wirklichen Abfluss entsprechen. Wenn ganz zuverlässige Angaben verlangt würden, so müssten die Pegelprofile künstlich befestigt oder für jedes Jahr genaue Wassermessungen durchgeführt und spezielle Abfluss- bzw. Wassermengenkurven aufgestellt werden. Allzu pedantisch dürfen daher die

erhaltenen Resultate nicht aufgefasst werden; Differenzen von 5—10 % können nicht als ausgeschlossen betrachtet werden.

Sofern früher oder später an die Ausführung eines der von uns behandelten Werke überhaupt gedacht würde, so wäre die Herstellung eines einwandfreien, unveränderlichen Pegelprofils in nicht zu grosser Entfernung oberhalb der auszunützenden Strecke unbedingt erforderlich.

Nachstehende Tabelle gibt eine Uebersicht über die kleinsten, grössten und mittleren Abflussmengen für jede der beobachteten Stationen.

Station	Einzugsgebiet km ²	Spezifische Abflussmenge		mittlere Jahres-Abflussmenge m ³	Absolute mittlere Jahres-Abflussmenge m ³
		kleinste	grösste		
		Liter per Sekunde und km ²			
1. Lichtensteig	263,54	36,00	69,00	54,5	14,4
2. Necker	84,84	29,6	61,06	47,24	4,0
3. Andelfingen	1696,44	19,87	45,27	30,11	51,0
4. Bischofszell (Sitter)	339,97	27,00	56,00	41,2	14,0
5. List (Sitter)	105,00	33,20	64,50	51,8	5,4

Minimale Abflussmengen.

Gewässer	Pegelstation	Einzugsgebiet km ²	Minimales Tagesmittel		Minimales Monatsmittel		
			m ³ /S	L/S/km ²	m ³ /S	L/S/km ²	
Thur	Lichtensteig	264	0,70	2,66	1,40	5,31	beobachtet 1912—1917
Necker	Necker	85	0,28	3,30	0,67	7,90	beobachtet 1912—1917
Necker	Necker				0,42	5,00	berechnet 1904—1911
Thur	Andelfingen	1696	2,19	3,71	6,44	3,80	beobachtet 1904—1917
Sitter	List	105	0,35	3,50	0,52	5,00	beobachtet 1904—1917
Sitter	Bischofszell	340	1,00	2,94	2,63	7,74	beobachtet 1912—1917
Sitter	Bischofszell				1,70	5,00	berechnet

Die minimalen monatlichen Abflussmengen stellen sich somit bei allen Pegelstationen annähernd gleich hoch auf 5 Liter per km² und Sekunde; nur bei Andelfingen sinkt dieselbe unter 4 Liter herunter. Im weitern geht aus obigen Zusammenstellungen hervor, dass die drei Stationen Lichtensteig, Necker und List sehr ähnliche Verhältnisse aufweisen und dass die spezifischen Abflussmengen mit abnehmender Höhenlage ganz wesentlich zurückgehen. Mit dieser letzteren Beobachtung hängt übrigens auch die Tatsache zusammen, dass die Niederschlagshöhen des Thur- und Sittergebietes von Süd nach Nord mit der absoluten Höhenlage des Gebietes ebenfalls ganz bedeutend abnehmen. So beträgt z. B. die mittlere Niederschlagshöhe der betrachteten Jahre (1904—1917) für

Wildhaus	1688 mm	Wil	1015 mm
Nesslau	1879 „	Bischofszell	1091 „
Lichtensteig	1446 „	Andelfingen	850 „

Die graphische Darstellung der Abflussmengen zeigt deutlich, dass man es mit längeren Perioden wasserreicher und mittlerer Jahre zu tun hat und dass wasserarme Jahre nur vereinzelt auftreten und sich sehr selten zwei solche Jahre hintereinander folgen. Daneben ist aber auch zu konstatieren, dass die wasserarmen Jahre nur etwa die Hälfte der wasserreichsten liefern und bis 40 % unter dem Mittel bleiben.

Es liegt daher auf der Hand, dass bei solchen Differenzen an einen einigermaßen vollkommenen Ausgleich niemals zu denken ist und dass man, ohne zum vorhinein entsprechende Reserveanlagen vorzusehen (eigene kalorische Hilfskraft oder Strombezug von auswärts), nur mit den schlechtesten Jahren rechnen darf.