

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 28 (1937)
Heft: 7

Artikel: Die Energieversorgung der österreichischen Bundesbahnen im Raume westlich von Salzburg
Autor: Schmidt, Heinrich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059835>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 12.05.2025

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

Die Energieversorgung der österreichischen Bundesbahnen im Raume westlich von Salzburg.

Von Heinrich Schmidt, Wien.

621.332(436)

Mit der Aufnahme des durchgehenden elektrischen Betriebes der Tauernbahn zu Beginn der vorjährigen Sommerfahrplanperiode hat das elektrifizierte Netz der Oe.B.B. westlich von Salzburg jenen Umfang erreicht, wie er bereits in dem Elektrifizierungsgesetz vom Jahre 1920, bzw. in dem im Jahre 1925 in Kraft getretenen Elektrifizierungsnovelle festgelegt war. Die planmässig auf rein hydraulischer Grundlage aufgebaute Energieversorgung dieses Netzes nimmt im Rahmen der Energiewirtschaft der westlichen Bundesländer Oesterreichs eine Sonderstellung ein, die zufolge der Eigenart des Bahnbetriebes in vielen Belangen von den bekannten Eigenschaften grosser Drehstromnetze völlig abweicht. Einige Besonderheiten werden auch bedingt durch die lineare Netzgestaltung, eine Folge der Grenzbildung, wodurch besonders die mit dem Energietransport zusammenhängenden Fragen an Bedeutung gewinnen. Die Entwicklung dieser Energiewirtschaft und die in dieser Richtung gesammelten Erfahrungen werden beschrieben. Am Schlusse werden die künftigen Erweiterungsmöglichkeiten im Falle einer Fortführung der Elektrifizierung angedeutet.

Par l'électrification complète du chemin de fer du Tauern, achevée au début de l'horaire d'été passé, le réseau électrifié des Chemins de fer Autrichiens à l'ouest de Salzbourg a atteint l'étendue déjà fixée par la loi de 1920 sur l'électrification et par le décret d'électrification entré en vigueur en 1925. La distribution d'énergie de ce réseau, basée systématiquement sur un régime hydraulique, occupe une place particulière dans l'économie électrique de l'ouest de l'Autriche qui, par suite des exigences du service de traction diffère à plusieurs points de vue des conditions connues qui règnent dans les grands réseaux triphasés. Quelques particularités sont aussi dues à la configuration linéaire du réseau, ce qui augmente l'importance des questions connexes au transport de l'énergie. L'auteur décrit l'évolution de cette forme d'économie électrique, ainsi que les expériences faites à ce point de vue. Pour terminer, il esquisse les possibilités d'extension au cas où l'électrification serait poursuivie.

1. Die Energieversorgungsanlagen.

Die elektrifizierten Linien der österreichischen Bundesbahnen weisen zur Zeit eine Betriebslänge von rund 822 km (14,2% der Gesamtlänge) auf, von denen 624 km auf das zusammenhängende Liniennetz westlich von Salzburg entfallen. Das Rückgrat der Energieversorgung dieses Netzes bildet eine 55-kV-Einfachsammelschiene, welche aus

bruck einerseits, sowie die zwischen Wörgl und Salzburg gelegenen Linien andererseits aus zwei voneinander unabhängigen Kraftwerkgruppen zu versorgen. Nach den klassischen Beispielen für eine Verbundwirtschaft zwischen Laufwerken und speicherfähigen Hochdruckanlagen, die zuerst in der Schweiz verwirklicht wurden, sollte auch hier jede Kraftwerkgruppe eine energiewirtschaftlich in sich

selbständige Einheit bilden. Diese Ueberlegungen führten einerseits zum Ausbau des Spullerseewerks in Vorarlberg u. zur Ausgestaltung des Ruetzwerkes, andererseits zur Errichtung des Mallnitzwerkes in Kärnten, dem als Ergänzung das Speicherwerk an der Salzburger Stube zugeordnet war¹⁾.

Dieser ursprüngliche Versorgungsplan wurde grundlegend erst in dem Zeitpunkt erweitert, als die ehemalige Südbahnlinie Kufstein-Innsbruck-Brenner im Jahre 1925 in das Elektrifizierungsprogramm einbezogen wurde und der Energiebedarf dieser Linie aus dem damals noch im Bau befindlichen Achenseewerk zum Teil gedeckt

werden sollte. Jetzt war es möglich geworden, die bis dahin isoliert gedachten Kraftwerkspaare über eine vergleichsweise kurze Uebertragungsleitung gemeinsam mit dem Achenseewerk zu einer sehr vorteilhaften Verbundwirtschaft zu verschmelzen, wenn auch anfänglich gewisse Zweifel über die Möglichkeit eines ständigen Parallelbetriebes der 5 Kraftwerke über eine für die Uebertragungsspannung von

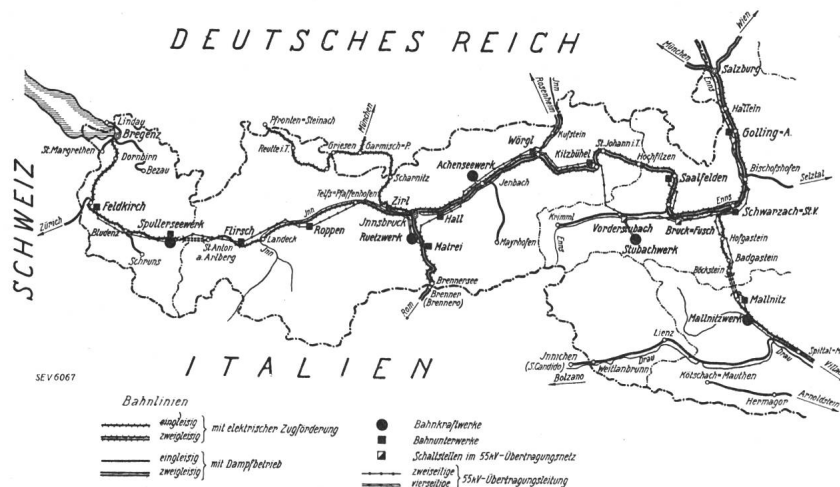


Fig. 1.

Das elektrifizierte Bahnnetz westlich von Salzburg und seine Energieversorgungsanlage.

5 Wasserkraftwerken gespeist wird und die Energie über insgesamt 13 Unterwerke an das 15-kV-Fahrleitungsnetz verteilt.

Aehnlich wie der Elektrifizierungsgedanke selbst, der durch die wirtschaftlichen Nöte der ersten Nachkriegszeit mächtig gefördert wurde, haben sich auch die Energieversorgungsanlagen, die heute ein geschlossenes Ganzes darstellen, schrittweise entwickelt. So war zunächst geplant, die anfänglich voneinander getrennten Betriebsbezirke der Arlbergbahn mit den Linien westlich von Inns-

¹⁾ Siehe auch A. Hruschka «Die Kraftwerke und Unterwerke der Oesterreichischen Bundesbahnen», erschienen im Selbstverlag des Verfassers.

55 kV immerhin beachtliche Länge von fast 400 km bestanden. Die Praxis hat diese Zweifel gründlichst zu widerlegen vermocht, denn von kurzzeitigen Störungen abgesehen, läuft dieser Parallelbetrieb seit der Betriebsaufnahme ohne jeden Anstand.

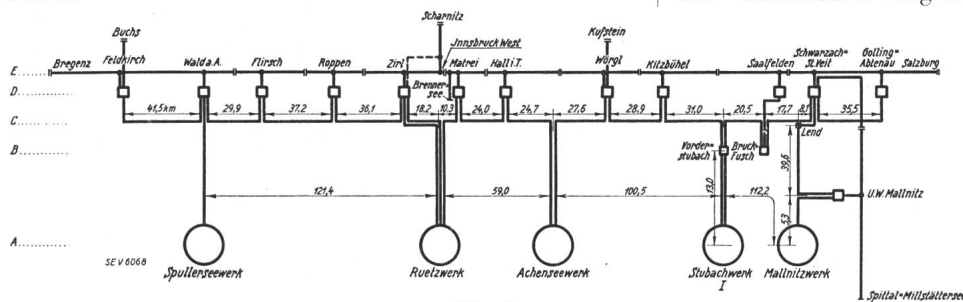


Fig. 2.

Schema der Energieversorgung für die Strecken westlich von Salzburg.
A Kraftwerke. B Schaltstellen. C Uebertragungsleitungen. D Unterwerke. E Fahrleitungen.

2. Energiebedarf.

Mit der zunehmenden Ausdehnung des elektrisch betriebenen Netzes während der Anlaufjahre 1925—1930 hat sich der Energiebedarf nach Fig. 3 sprunghaft entwickelt. Da die Vollendung der Bauarbeiten mit den Konjunkturjahren 1929—1930 zusammenfiel, musste die seither eingetretene Wirtschaftskrise, von der auch die österreichischen Bundesbahnen hart genug betroffen wurden, in den

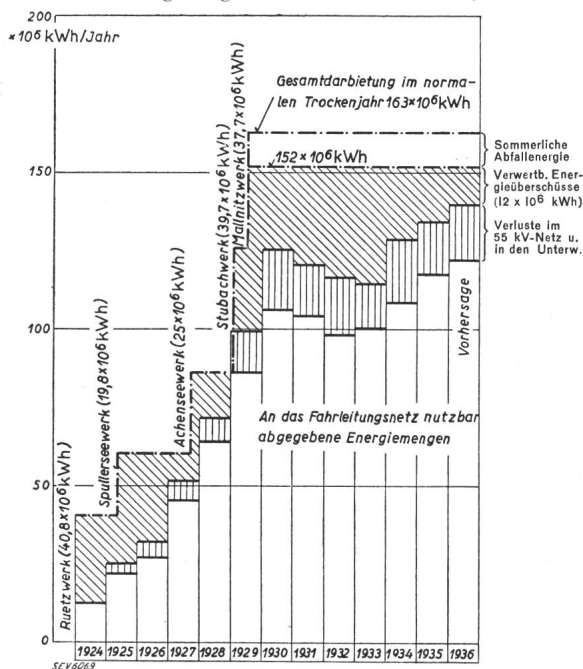


Fig. 3.

Entwicklung des Energiebedarfes.

- Verwertbare Energieüberschüsse.
- Verluste im 55-KV-Netz und in den Unterwerken.
- Verfügbare Energiemengen.
- Gemessener Bedarf.

folgenden Jahren zwangsläufig zu einer Verminderung des Bedarfes führen. Diese rückläufige Entwicklung scheint indessen bereits im Jahre 1933 zum Stillstand gekommen zu sein. Der Energiebedarf war bis dahin um etwa 9 % unter den im

Jahre 1930 erreichten Höchstwert gefallen, während der entsprechende Verkehrsrückgang etwa 20 % betrug. Der auffallende Unterschied zwischen diesen beiden Ziffern bestätigt die Tatsache, dass die vollständige Umstellung des gesamten Verkehrs auf elektrische Zugförderung erst zu einem viel

späteren Zeitpunkte beendet war, als die Fertigstellung der eigentlichen Elektrifizierungsarbeiten. Vergleicht man jedoch den für das elektrifizierte Netz festgestellten Verkehrsrückgang mit dem auf die übrigen Bundesbahnlinien bezogenen Mittelwert von 30 %, so spiegelt sich in diesem unterschiedlichen

Verhalten die auffällige Krisenfestigkeit des elektrisch geförderten Verkehrsvolumens als eine Folge der stark verkehrsbelebenden Wirkung, von der die Elektrifizierung auf den Linien westlich von Salzburg trotz der scharfen Konkurrenzierung durch die süddeutsche Parallelverbindung begleitet war. Die in den Jahren 1934—1935 eingetretene Steigerung des Bedarfes war allerdings zum grössten Teil eine Folge der Aufnahme des elektrischen Betriebes auf der Tauernbahn, so dass hier eigentlich keine echte Bedarfssteigerung vorliegt.

Entsprechend der Eigenart und der weiträumigen Ausdehnung des Vollbahnbetriebes ist der Energiebedarf nach Zeit und Ort stark veränderlich. Bis vor nicht allzu langer Zeit wurde vielfach die Ansicht vertreten, dass diese Schwankungen des Bedarfes für ein energielieferndes Kraftwerk notwendigerweise eine schlechte Aunützung zur Folge haben müssten, offenbar aus dem Grunde, weil man vielfach gewohnt war, Netze kleineren Umfanges oder solche geringer Verkehrsdichte zu betrachten, deren Betriebsergebnisse eine solche Auffassung vielleicht rechtfertigen konnten. Es wäre aber verfehlt, diese Beobachtungen etwa der Planung neuer, umfangreicher Energieversorgungsanlagen zugrunde zu legen. Die im elektrifizierten Netz der österreichischen Bundesbahnen und in vielen ausländischen Bahnnetzen seither gesammelten Betriebserfahrungen haben übereinstimmend gezeigt, dass die Schwankungen des Bahnbedarfes eine viel stärkere Abhängigkeit von der räumlichen Ausdehnung des Netzes und von seiner Verkehrsdichte aufweisen, als dies in Netzen der Fall ist, welche der Allgemeinversorgung dienen, wobei diese Schwankungen bei gegebenen Verhältnissen einen durchaus gesetzmässigen Charakter tragen.

Die Grösse der Schwankungen des Energiebedarfes wird im Bahnbetrieb zweckmässig durch das Verhältnis der während eines bestimmten Zeitraumes auftretenden Höchstleistung zur mittleren Leistung, und zwar durch das sogenannte Schwankungsverhältnis gekennzeichnet, das zur Benüt-

zungsdauer der Höchstleistung t , in der bekannten Beziehung

$$s = \frac{8760}{t}$$

steht. Bei näherer Prüfung zeigt sich die Eigentümlichkeit (Fig. 4), dass dieses Verhältnis von einer bestimmten Ausdehnung des Netzes an nahezu ausschliesslich von der mittleren Leistung abhängt, wogegen der Einfluss des individuellen Streckencharakters und der besonderen Verkehrsverhältnisse immer mehr zurücktritt. Von einer gewissen Grenze an tritt eine Art Sättigung ein, die auch bei einer weiteren Vergrößerung der Mittelleistung keine wesentlichen Vorteile hinsichtlich Benutzungsdauer und Höchstleistung erwarten lässt. Die Grenze liegt anscheinend bei einem Jahresbedarf

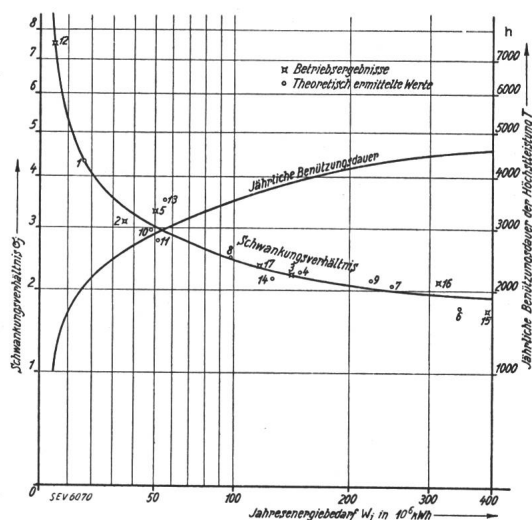


Fig. 4.

Schwankungsverhältnis und Benutzungsdauer der Höchstleistung in Abhängigkeit vom Energiebedarf.

von etwa $200 \cdot 10^6$ kWh und kennzeichnet damit zugleich jenen Umfang, den ein Vollbahnnetz erreichen soll, wenn der Leistungsbedarf zum Arbeitsbedarf in einem optimalen Verhältnis stehen soll.

Im bestehenden Netz westlich von Salzburg wird dieser Endzustand bei dem heutigen und auch bei dem in absehbarer Zeit eintretenden Verkehrsumfang wohl kaum erreicht werden. Das Schwankungsverhältnis betrug im Jahre 1930 entsprechend einem Höchstleistungsbedarf von 32 bis 33 MW etwa 2,3 und ist seither nahezu unverändert geblieben²⁾.

²⁾ Am 22. Dez. 1935, dem betriebsstärksten Tag seit der Aufnahme des elektrischen Zugbetriebes überhaupt, konnte bei einer das Jahresmittel um 36 % übersteigenden Tagesmittelleistung eine kurzzeitige Leistungsspitze von rund 46 MW beobachtet werden, woraus für das Jahr 1935 ein Schwankungsverhältnis von 2,75, bezogen auf die Sammelschienen der Kraftwerke, abgeleitet werden könnte. Abgesehen von diesem offenbar nur rein zufällig zustande gekommenen Ergebnis darf nicht übersehen werden, dass diese Leistungsspitze nur zum Teil durch die Zugsbelastungen selbst bedingt wurde, zum andern Teil aber durch die infolge der starken Beanspruchung des Uebertragungsnetzes überhöhten Uebertragungsverluste, welche den wahren Wert des Schwankungsverhältnisses nach oben hin verzerren.

Die elektrifizierten Linien westlich von Salzburg sind nun im Wesentlichen Teile grosser internationaler Schienenwege, deren Ausgangspunkte in sehr verschiedenen Entfernungen von den elektrifizierten Strecken gelegen sind. Die von diesen Ausgangspunkten zu bestimmten Tageszeiten ausstrahlenden Verkehrswellen durchlaufen daher das elektrifizierte Netz zu verschiedenen Zeiten, und es erfährt der Charakter der Belastungsschwankungen eine starke Vergleichsmässigung, wofür das in Fig. 5 dargestellte Tagesbelastungsdiagramm eines ver-

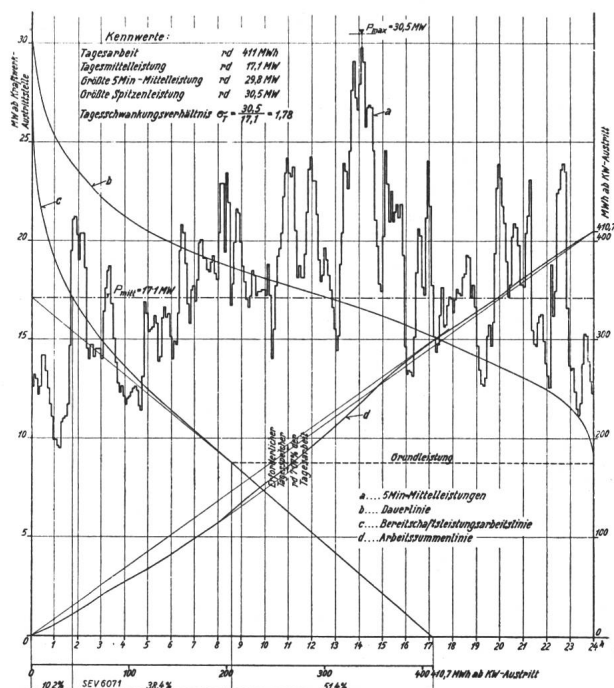


Fig. 5.

Tagesbelastungsdiagramm der Oesterreichischen Bundesbahnen vom 5. Juli 1934.

kehrsstarken Sommertages zur Zeit des Schulschlussverkehrs einen deutlichen Beweis liefert. Der besseren Uebersichtlichkeit halber sind in diesem Diagramm nicht die Augenblickswerte der Leistungen, sondern die Belastungsmittelwerte in Intervallen von 5 Minuten dargestellt. Die aus der Längs- und Queranlyse des Originaldiagrammes gewonnenen Kennwerte variieren an verschiedenen Betriebstagen innerhalb sehr enger Grenzen und bilden damit eine wertvolle Grundlage bei der Beurteilung der Belastungsverhältnisse von Bahnnetzen, deren Belastungslinien dem projektierenden Ingenieur oft nur auf eine sehr umständliche und zeitraubende Weise und auch dann nur für willkürlich herausgegriffene Verkehrsverhältnisse zugänglich sind³⁾. Wie ausserordentlich günstig diese Belastungsverhältnisse besonders im Hinblick auf die vorhandene Nachtbelastung sind, zeigt ein Vergleich mit dem in Fig. 6 dargestellten Diagramm der Schweizerischen Bundesbahnen, dessen Inhalt einer mehr als dreifachen Arbeitsmenge des Dia-

³⁾ Siehe auch A. Hruschka, Teilhöchstleistungen und Energierückhalt bei parallellaufenden Bahnkraftwerken, E. u. M. 1933, S. 309.

grammes in Fig. 5 entspricht⁴⁾. Das Schwankungsverhältnis ist zwar entsprechend dem grösseren

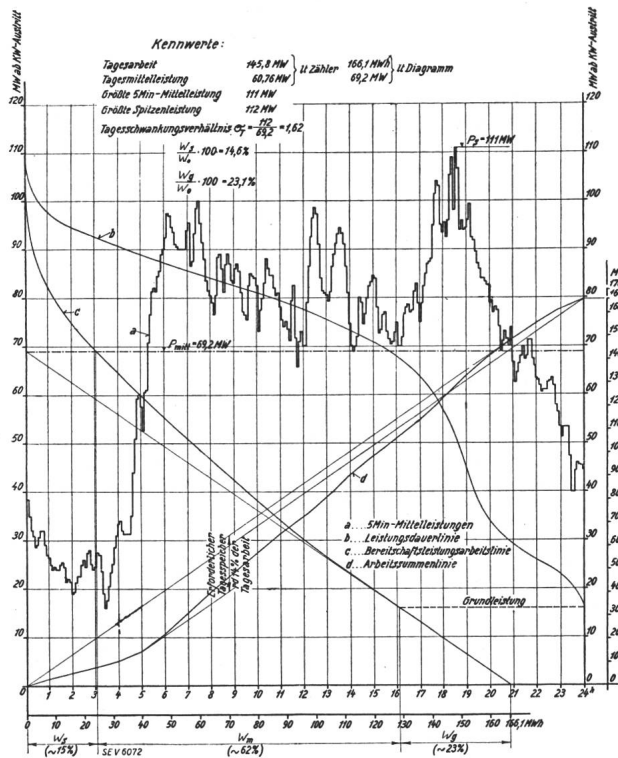


Fig. 6.

Tagesbelastungsdiagramm der Schweizerischen Bundesbahnen vom 2. Dezember 1932.

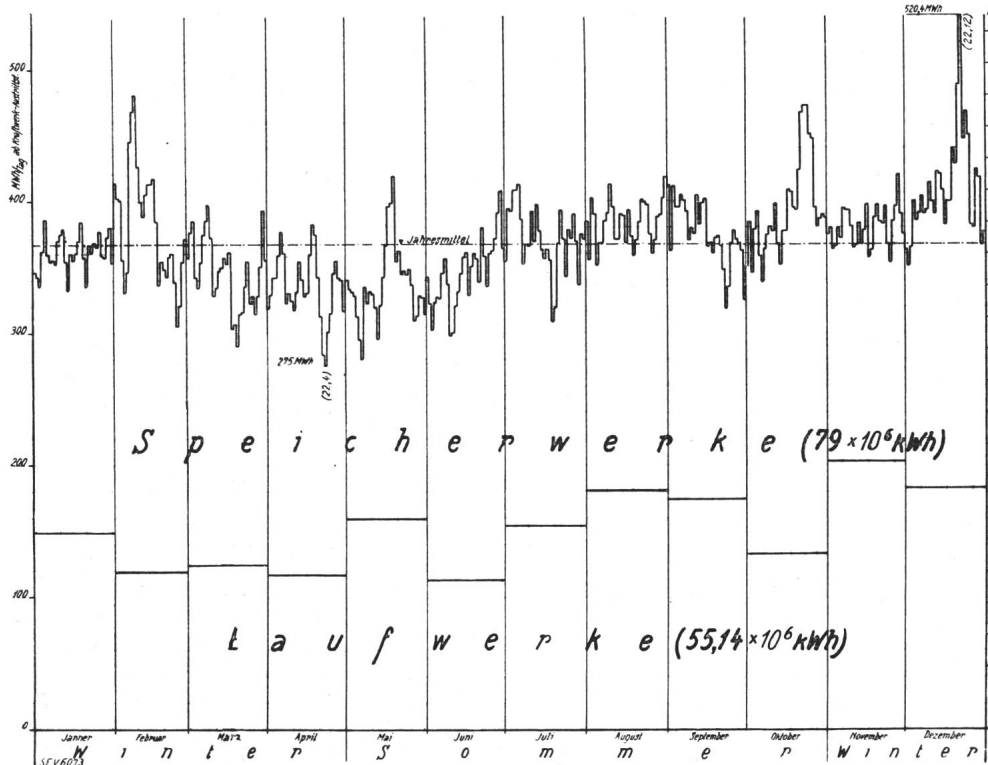


Fig. 7.

Die täglichen Schwankungen des Energiebedarfes im Jahre 1935.

Netzumfang günstiger; hingegen fehlt in der Schweiz eine ausgesprochene Nachtbelastung fast vollständig, da der Verkehr der Hauptsache nach

⁴⁾ Siehe SBB-Nachrichtenblatt 1934, Heft 5.

bei Tag abgewickelt wird. Die erforderliche Speichergrosse zum Ausgleich der täglichen Belastungsschwankungen ist deshalb, bezogen auf die Gesamtfläche, fast doppelt so gross, wie in dem viel klei-

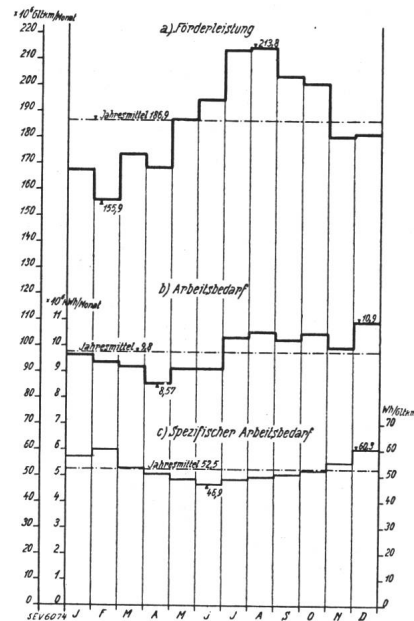


Fig. 8.

Verteilung der elektrisch geförderten Gesamtlasttonnenkilometer und des Energiebedarfes ab Austrittsstelle der Unterwerke in den einzelnen Monaten des Jahres 1935.

neren Netz westlich von Salzburg, und es erscheint begreiflich, dass ein Verbundbetrieb eines Bahnnetzes dieser Art mit dem annähernd die gleiche Charakteristik aufweisenden Drehstromnetz für

Allgemeinversorgung nur geringe wirtschaftliche Vorteile bieten könnte, zumal auch die Höchstlast des Netzes der Schweizerischen Bundesbahnen zeitlich mit der Lichtspitze zusammenfällt.

Die Schwankungen des Energiebedarfes innerhalb eines vollen Betriebsjahres sind den wechselnden Fahrplan- und Verkehrsverhältnissen angepasst (Fig. 7). Das Überwiegen dessommerlichen Reiseverkehrs und die dadurch bedingte saisonmässige Bedarfssteigerung werden jedoch zum grossen Teile wieder wettgemacht durch den in einzelnen Wintermonaten gesteigerten Güterverkehr, vor allem aber durch den

zusätzlichen Bedarf für die Heizung der Reisezüge. Diese Umstände haben zur Folge, dass der Energiebedarf während des Sommer- und Winterhalbjahres bis auf geringfügige Unterschiede nahezu ausgegli-

chen ist. Der Einfluss der Zugsheizung ist aus dem Anstieg des spezifischen Arbeitsbedarfes in Fig. 8 deutlich zu erkennen.

Den zeitlichen Aenderungen des Gesamtbedarfes unterlagern sich jene Schwankungen, welche durch die ständig wechselnde Höhe der örtlich verteilten Unterwerksbelastungen hervorgerufen werden. Im Netz westlich von Salzburg tritt dieser Einfluss besonders stark in Erscheinung, weil durch die zahlreichen, vielfach eingleisigen Steilrampen die Ausbildung von ausgeprägten Belastungsschwerpunkten durch einzelne in der Bergfahrt liegende Zuggruppen sehr erleichtert wird. Derartige Lastberge sind eine ganz besondere Eigentümlichkeit des Vollbahnbetriebes im gebirgigen Gelände und zugleich die Ursache ständiger Verlagerungen des Belastungsschwerpunktes des Netzes. Da der ständige Ortswechsel der Belastungen an das Uebertragungsnetz die allergrössten Anforderungen stellt, müssen die sich daraus ergebenden Folgen für die Lastverteilung neben den rein zeitlichen Schwankungen des Gesamtbedarfes bereits bei der Planung der Energieversorgungsanlagen grosser Bahnnetze sehr gründlich beachtet werden, um eine störende Beeinflussung der wasserwirtschaftlich bedingten Lastverteilung im künftigen Betriebe zu vermeiden.

3. Die Deckung des Energiebedarfes.

Zur Deckung des Energiebedarfes auf den Linien westlich von Salzburg stehen den österr. Bundesbahnen 4 bahneigene Kraftwerke und eine Vertragsmässige Lieferung aus dem Achenseewerk zur Verfügung. Die wichtigsten Angaben über diese 5 Kraftwerke enthält Tabelle I.

Die jährlich erzeugbaren Energiemengen sind dem Charakter der Niederschlagsperioden entsprechend veränderlich. Eingehende Beobachtungen haben gezeigt, dass durch die Verschiedenartigkeit des Niederschlagscharakters der örtlich weit auseinanderliegenden Einzugsgebiete ein gewisser Aus-

gleich in der Darbietung eintritt. Dieser Ausgleich erreicht zwar in trockenen Perioden nicht die durch das Regeljahr gekennzeichnete Höhe, wohl aber einen Wert, der etwa dem Mittel aus dem aussergewöhnlichen Trockenjahr und dem Regeljahr entspricht. Demnach kann dieser Mittelwert als untere Grenze der Darbietung angesehen werden. Ihm entsprechen die in Tabelle I unter der Bezeichnung «Normales Trockenjahr» angegebenen Energiemengen.

Die Verteilung der während eines Jahres entsprechend den natürlichen Zuflüssen anfallenden Energiemengen zeigt deutlich den alpinen Abflusscharakter, der durch den scharfen Rückgang der Zuflüsse im Spätherbst und durch die weit in den Hochsommer hineinreichende Schmelzperiode gekennzeichnet ist. Die winterliche Energiewirtschaft ist daher stark auf die vorhandenen Speicher angewiesen, deren Grösse annähernd hinreicht, um im normalen Trockenjahr einen vollständigen Jahresausgleich und damit eine nahezu restlose Anpassung der in den einzelnen Kraftwerken dargebotenen Energiemengen an den Bahnbedarf bewirken zu können. In der Praxis muss man sich allerdings mit einer etwas geringeren Ausnützung begnügen,

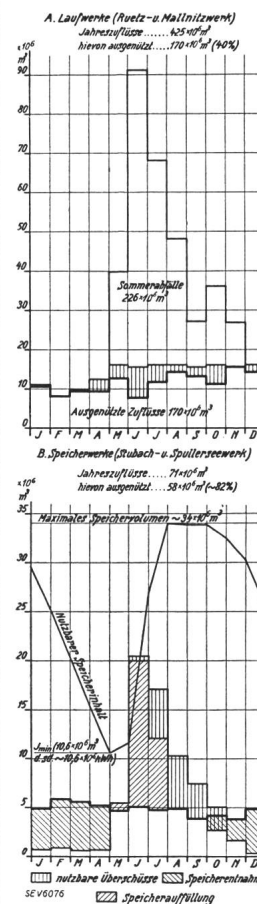


Fig. 9.
Wasserrwirtschaft der
bahneigenen Kraft-
werke im Jahre 1934.

Hauptangaben über die fünf Bahnkraftwerke.

Tabelle I.

			Laufwerke			Speicherwerke				Summe der 5 Bahn- kraftwerke
			Ruetz- werk	Mallnitz- werk	Summe	Spuller- seewerk	Stubach- werk	Achen- seewerk ⁴⁾	Summe	
Jahresarbeit	Regeljahr	10 ⁶ kWh	42	41,6 ¹⁾	83,6	23,5	43,6	25	92,1	175,7
	normal. Trockenjahr	10 ⁶ kWh	40,8	37,7 ¹⁾	78,5	19,8	39,7	25	84,5	163,0
Nutzbarer Speicherinhalt		10 ⁶ kWh	—	—	—	16,5 ³⁾	19,1	—	35,6	35,6
Ausbauleistung		mW ²⁾	10,8	14	24,8	32,4	32,4	21,6 ⁵⁾	86,4	111,2
Derzeitige Installation		mW ²⁾	10,8	7	17,8	21,6	21,6	16,2	59,4	77,2
Erzeugung 1935		10 ⁶ kWh	30,1	25	55,1	14,8	42	22,2	79	134,1
Nutzung (bezogen auf das Regeljahr)		%	71,7	60	66	63	96,5	89	86	76,8

¹⁾ Derzeitiger Ausbau.

²⁾ An den 55-kV-Sammelschienen ohne Eigenbedarf.

³⁾ Bei 100% Ausnützung des Zuflusses in den Wintermonaten steigt der Energieinhalt des Speichers infolge der Verbesserung des hydraulischen Wirkungsgrades auf rund 18·10⁶ kWh (siehe auch Fig. 10).

⁴⁾ Vertragsmässige Bahnstromlieferung der Tiroler Wasserkraftwerke A.-G.

⁵⁾ Im Vollausbau des Einphasenteils.

schon aus dem einfachen Grunde, weil für unvorhergesehene Störungen und für den Fall einer Steigerung des Bedarfes stets eine hinreichende Wasserreserve in den Speichern zurückbehalten werden muss.

Die Aufstellung des jährlichen Energiewirtschaftsplanes, nach dem die Netzlast auf die einzelnen Lieferwerke aufgeteilt wird, erfolgt nach dem Grundsatz, dass vor allem in den Wintermonaten eine möglichst hohe Ausnützung der in die Grundlast arbeitenden Laufwerke angestrebt werden muss, während die Speicherwerke möglichst zu schonen sind. Der allgemeine Charakter der Netzbelastungslinie und das günstige Verhältnis des Anteils der Laufenergie an der gesamten Darbietung kommen dieser Forderung sehr entgegen, da, wie erwähnt, etwa die Hälfte der jeweils erforderlichen Energiemengen vom Netz als jahreskonstante Grundlast aufgenommen werden kann. Schwierigkeiten in der Unterbringung der nichtspeicherfähigen Laufenergie ergeben sich daher im allgemeinen erst in jenen Zeiträumen, in denen das Angebot an Laufenergie diese Grenze überschreitet. Dies ist z. B. in den verkehrsrärmeren Vor- und Nachsommermonaten der Fall, in denen der Anteil der Lieferung aus den Laufwerken häufig bis auf 60 % und darüber hinaufschneilt⁵⁾.

In der Folge treten dann gewisse Einsattelungen in der sonst geradlinig verlaufenden Belastungslinie der Laufwerke auf, die mangels entsprechender Speicherräume zu unvermeidlichen Energieverlusten führen können.

Eine weitere Verlustquelle bei einer an sich ausreichend grossen Netzbelastung kann sich ergeben, wenn der Lastort vom liefernden Laufwerk unverhältnismässig weit entfernt ist. Vor der Aufnahme des elektrischen Betriebes auf der Tauernbahn waren solche Betriebsfälle in dem am äussersten Netze gelegenen Mallnitzwerk wiederholt zu beobachten. Ihr charakteristisches Merkmal für das Kraftwerkpersonal war der Uebertritt des Leistungsfaktors der Lieferung in den kapazitiven Bereich. Wenn es in solchen Fällen nicht gelang, den Leistungsfaktor durch eine entsprechende Hebung des Spannungsniveaus auf manuellem Wege in den induktiven Bereich hinüberzudrücken, so musste die Wirklastlieferung vorübergehend so lange gedrosselt werden, bis der Belastungszustand des Netzes die fahrplanmässige Energielieferung wieder zulies. Durch Einführung einer blindstromabhängigen Gegenkompoundierung der Kraftwerksspannungen (etwa 10 % der Nennspannung, bezogen auf den vollen Strom) ist es gelungen, derartige Betriebszustände und die durch sie verursachten Wasser-

⁵⁾ Im ungewöhnlich wasserreichen Monat November 1934 stieg dieser Anteil bis auf 74 % im Monatsdurchschnitt, doch konnten an einigen Betriebstagen Werte von 80 % und darüber festgestellt werden. Die Gesamtverluste an Laufenergie betrugen selbst unter diesen sehr ungünstigen Verhältnissen nur etwa 16 %, wovon etwa die Hälfte auf unvermeidbare, der Rest auf vermeidbare Verluste zurückgeführt werden darf.

verluste in den Laufwerken nahezu restlos zu beseitigen⁶⁾. Diese Massnahme hat im Verein mit der Entfernung der mehr störend als nützlich empfundenen selbsttätigen Stromregler auch sehr wesentlich zur Beruhigung der Blindlastverteilung beigetragen.

In diesem Zusammenhange seien auch noch jene Energieverluste erwähnt, deren Ursache in einer unrichtigen oder ungenauen Lastverteilung gelegen sind. Bei dem im Netz derzeit vorhandenen Ueberangebot an Energie sind sie ebenso wie die früher erwähnten Verluste vorläufig noch ohne Belang. Trotz aufmerksamster Bedienung werden sie sich bei steigendem Bedarf erst dann vollständig vermeiden lassen, wenn die technische Ausrüstung des in Innsbruck befindlichen Lastverteilers eine fortlaufende Ueberwachung des Betriebszustandes aller 5 parallel arbeitenden Kraftwerke gestatten wird⁷⁾.

Die Speicherwerke decken im allgemeinen die nach Abzug der Grundbelastung verbleibenden oberen Restzonen des Belastungsdiagrammes. Bei

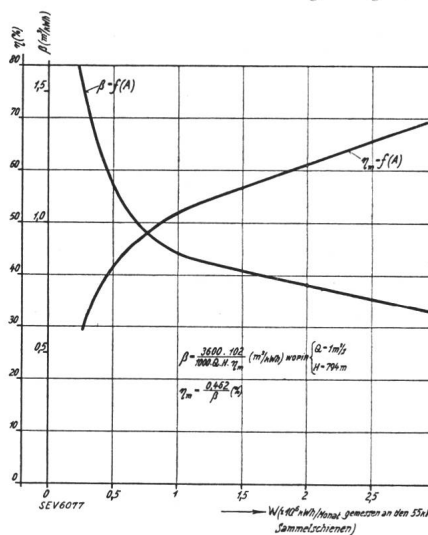


Fig. 10.

Wasserbedarf und Gesamtwirkungsgrad des Spullerseewerkes in Abhängigkeit von der monatlichen Energieerzeugung.

Aufteilung der Wirklast auf die 3 Spitzenwerke wird vor allem während der Sommermonate eine Schonung des Spullerseewerkes angestrebt, um die verhältnismässig geringe Darbietung dieses Kraftwerkes möglichst für die Zeit der winterlichen Wasserklemme aufzusparen. Da der spezifische Wasserbedarf des Spullerseewerkes, ausgedrückt in m³/kWh, wie aus Fig. 10 hervorgeht, bei gedrosselter Energieabgabe infolge der zunehmenden hy-

⁶⁾ Eine vollständige Beherrschung derartiger Betriebszustände wäre möglich durch Verwendung einer blindstromabhängigen Turbinenregelung, welche die Reglermuffen entsprechend der jeweils abgegebenen Blindleistung derart steuert, dass bei abnehmender Blindlastabgabe zugleich auch die Wirklastlieferung entsprechend gedrosselt wird, während bei zunehmender Blindlastlieferung eine Erhöhung der Wirklastabgabe herbeigeführt wird. Von der Einführung einer derartigen Regelung wurde mit Rücksicht auf die vorhandenen Energiereserven vorläufig abgesehen.

⁷⁾ Mit dem Ausbau einer zentralen Netzwarte wurde im Jahre 1936 begonnen.

draulischen Verluste in der Rohrleitung und durch den Strahlableiter stark ansteigt und ein vollständiger Trockenbetrieb dieses Werkes bei ständig geschlossenen Schiebern mit Rücksicht auf die Notwendigkeit einer jederzeit verfügbaren Augenblicksreserve nicht zweckmässig wäre, sind derartigen Sparmassnahmen Grenzen gesetzt, wenn eine unwirtschaftliche Ausnützung des Betriebswassers vermieden werden soll.

Den Hauptanteil der Spitzenlieferung übernimmt das Stubachwerk, wodurch der Schwerpunkt der Wirklastzeugung in die östliche Netzhälfte verlagert wird. Die hierdurch verursachten Energietransporte üben eine sehr starke Rückwirkung auf die Blindlastverteilung aus, weil die Oberspannung in dem rund 400 km langen Uebertragungsnetz schon mit Rücksicht auf die vorgegebenen Grenzen der Fahrleitungsspannungen überall auf einem annähernd gleichen Niveau gehalten werden muss. Die nötige Kompensation der Spannungsabfälle im Uebertragungsnetz durch den Wirklasttransporten entgegengesetzt gerichtete Blindlastlieferungen ist auch die Ursache, warum das am äussersten Westende gelegene Spullersee-

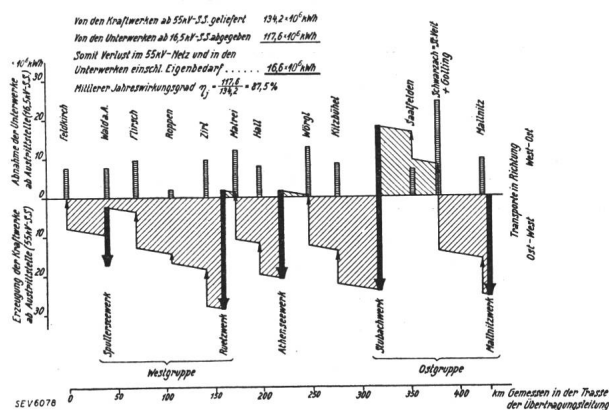


Fig. 11.

Die örtliche Verteilung des Energiebedarfes und die Energietransporte im Jahre 1934.

werk nahezu die Hälfte der insgesamt erforderlichen Blindenergiemengen liefert, während das am anderen Netzeende befindliche Mallnitzwerk fast stets mit einem Leistungsfaktor nahe bei 1 arbeitet. Eine nachteilige Folge dieser Lastverteilung ist u. a. auch der ungewöhnlich hohe Maschineneinsatz in den 5 Kraftwerken. Er übersteigt die Netzhöchstlast im Durchschnitt um 50 bis 60 %, so dass die eigentliche Maschinenreserve trotz der verhältnismässig hohen Installation nicht mehr als 30 % beträgt.

Fig. 11 gibt einen Ueberblick über die örtliche Verteilung der Erzeugung und des Bedarfes im Betriebsjahr 1934. Von den insgesamt erzeugten $128 \cdot 10^6$ kWh sind in diesem Jahre rund $91 \cdot 10^6$ kWh (71 %) in der Richtung Ost-West und nur etwa $13 \cdot 10^6$ kWh (10 %) in der Gegenrichtung befördert worden. Bloss die geringe Restmenge von $24 \cdot 10^6$ kWh (19 %) konnte am Erzeugungsorte

selbst oder in dessen unmittelbarer Nähe abgesetzt werden.

Trotz dieser namhaften und bei ungünstigen Belastungsverhältnissen verlustreichen, einseitigen Energietransporte in dem einfachen 55-kV-Uebertragungsnetz mit einem durchlaufenden Querschnitt ($2 \times 95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$), hielten sich die Netzverluste noch innerhalb erträglicher Grenzen. Sie betrugen z. B. im Jahre 1934 rund 15 % der von den Kraftwerken gelieferten Arbeit, wobei zu bemerken ist, dass in dieser Ziffer die Unterwerksverluste und der Eigenbedarf der Unterwerke (etwa 5 bis 6 %) bereits enthalten sind⁸⁾.

Die Höhe der Verluste ist immerhin kennzeichnend für den hohen Grad der Ausnützung des Uebertragungsnetzes. Tatsächlich ist es vor der in den Jahren 1930 bis 1932 durchgeführten Verstärkung der Kupplungsleitung zwischen dem Spullersee- und dem Ruetzwerk wiederholt zu Störungen des Parallelbetriebes dieser Kraftwerke infolge vorübergehender Ueberschreitung der dynamischen Stabilitätsgrenze dieser Leitung gekommen. Auch derzeit liegt das Spannungsniveau im östlichen Teil des Netzes zeitweise um etwa 10 % höher als im Westnetz, wodurch die zulässigen Fahrleitungsspannungen gelegentlich vorübergehend überschritten werden. Es ist daher beabsichtigt, die Transformatoren in jenen Unterwerken, die erfahrungsgemäss unter den hohen Spannungen zu leiden haben, mit zusätzlichen Anzapfungen zu versehen.

4. Ausblick auf die künftige Entwicklung.

Der Gedanke an eine Weiterführung der Elektrifizierungsaktion über Salzburg hinaus, der die breite Öffentlichkeit in den letzten Jahren wiederholt beschäftigt hat, gab auch Veranlassung zum Studium der Frage nach der wirtschaftlichsten Art der Energieversorgung der neu zu elektrifizierenden Linien.

Aus vielfach bereits erörterten Gründen kommt wohl an erster Stelle die Elektrifizierung der Strecke Salzburg-Wien in Betracht, deren Energiebedarf unter Zugrundelegung des Verkehrsaufkommens vom Jahre 1932 mit $89 \cdot 10^6$ kWh, gemessen an der Austrittsstelle der Unterwerke, festgestellt wurde. Diesem Wert liegt eine elektrisch zu leistende Fördermenge von 2154 Millionen Gesamtlasttonnenkilometern zugrunde, woraus sich unter Berücksichtigung des vorerwähnten Arbeitsbedarfes ein spezifischer Bedarf von 41,3 Wh/Gltkm ab Unterwerk-Austrittsstelle ergibt. Der zu erwartende spez. Arbeitsbedarf dieser Strecke ist also um rund 17 % niedriger als im Netz westlich von Salzburg.

Ein ähnlich günstiges Verhalten zeigt auch der Verlauf der Belastungen während eines normalen Betriebstages, wie er auf Grund eines dem künfti-

⁸⁾ Die entsprechenden Verluste im Netz der schweizerischen Bundesbahnen betragen etwa 12 %, sind also trotz der dort überall verwendeten reichlichen Seilquerschnitte (Doppelleitungen) und der engen Vermaschung des Uebertragungsnetzes nicht wesentlich geringer.

gen elektrischen Verkehr angepassten Fahrplanelntwurfes auf zeichnerischem Wege ermittelt wurde (Fig. 12). Obwohl bei diesem Entwurf begreiflicherweise eine Reihe von Einflüssen vernachlässigt

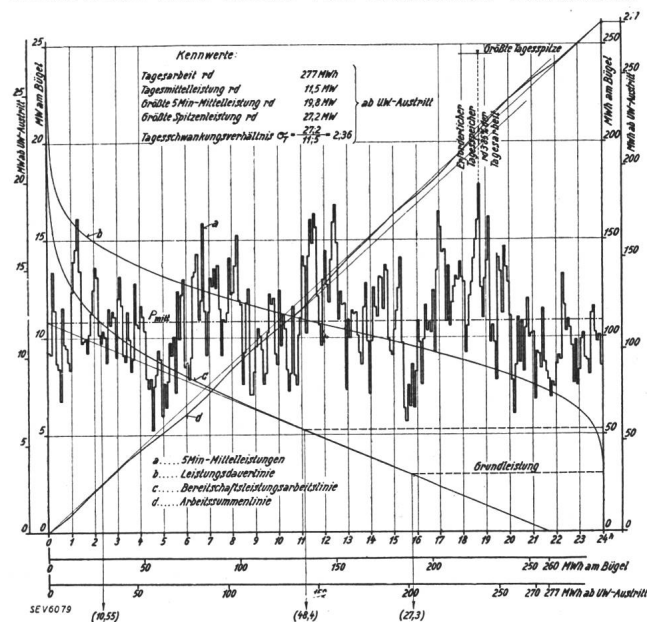


Fig. 12.

Kennlinien des Energiebedarfes der Strecke Salzburg-Wien.

sigt werden mussten, die im praktischen Betriebe auf eine noch stärkere Vergleichsmässigung der Belastungslinie hinarbeiten, wie z. B. der Vershub, das Verschleifen der Anfahrsitzen infolge der nachgiebigen Netzfrequenz, die Leerlaufverluste

Ueber Salzburg hinaus in der Richtung gegen Wien verlässt die Bahnstrecke jenes Gebiet, welches mit der im elektrifizierten Netz westlich von Salzburg vorgegebenen Uebertragungsspannung von 55 kV wirtschaftlich beliefert werden kann und betritt damit zugleich das energiewirtschaftlich stark aufgeschlossene Alpenvorland südlich der Donau, wo sich eine grosse Zahl von Möglichkeiten einer Deckung des Energiebedarfes aus bahnfremden Kraftwerken eröffnen. Trotz der namhaften Energieüberschüsse der bestehenden Bahnkraftwerke westlich von Salzburg lag daher der Gedanke nahe, die Energieversorgung der Strecke Salzburg-Wien ganz auf der Grundlage einer reinen Fremdenergieversorgung aufzubauen, umso mehr, als eine örtliche Verwertung der erwähnten Ueberschüsse noch im Jahre 1930 als im Bereich der nahen Zukunft gelegen schien.

Unter dem Eindruck dieser frei verfügbaren Energiemengen, sowie veranlasst durch das unbefriedigende Ergebnis einer informativen Ausschreibung auf Lieferung elektrischer Energie im Jahre 1930, an der sich eine grosse Zahl von Elektrizitätslieferungsunternehmen aus allen in Betracht kommenden Bundesländern beteiligt haben, wurde versucht eine Lösung für die Energieversorgung der Strecke Salzburg-Wien zu finden, die unter möglicher Berücksichtigung des bereits Vorhandenen gegenüber anderen Vorschlägen ein Minimum an Energiekosten an der Fahrleitung erwarten lässt.

Das energiewirtschaftliche Konzept dieses Planes zielt daraufhin ab, die bahneigenen Kraftwerke

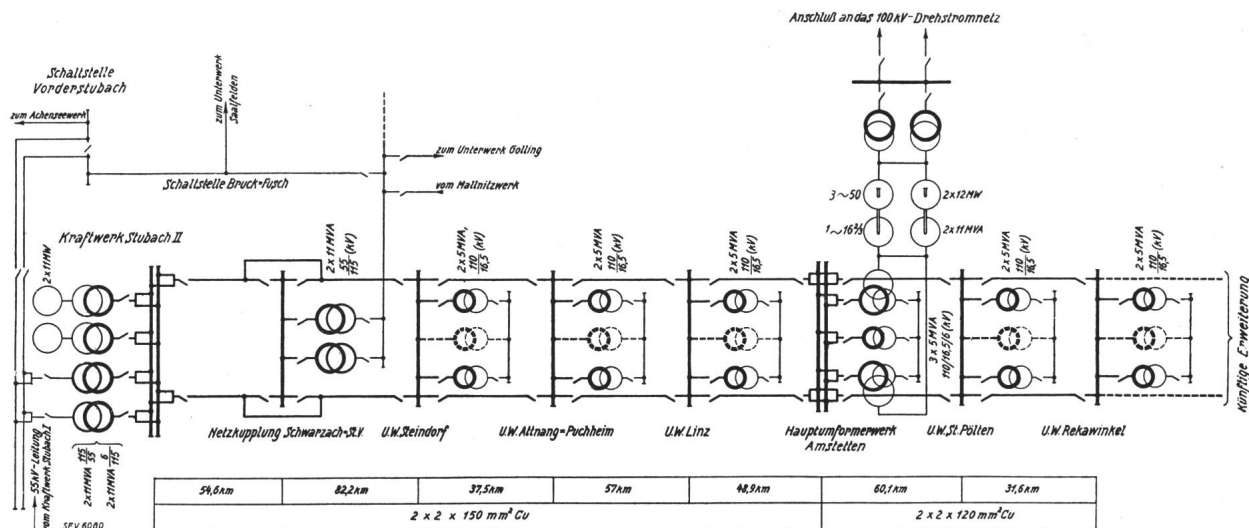


Fig. 13.

Schaltbild der geplanten Einphasensammelschiene für die Versorgung der Strecke Salzburg-Wien.

usw., zeigen die aus der Analyse dieses Diagramms gewonnenen Kennwerte mit voller Deutlichkeit, dass die Strecke Salzburg-Wien ein vergleichsweise sehr günstiger Grossabnehmer elektrischer Energie zu werden verspricht. Der Charakter dieser Strecke mit grössten Steigungen bis zu 10,8 ‰ bei einem verhältnismässig dichten Verkehr macht dieses Verhalten verständlich.

im Raume westlich von Salzburg mit hochalpinem Abflusscharakter und ihre geräumigen Jahresspeicher in eine rationelle Verbundwirtschaft mit den durch das vorhandene 100-kV-Drehstromnetz Partenstein-Wien-Graz vereinigten Kraftwerken zu bringen. Die Rentabilität dieses Projektes wird ausserordentlich begünstigt durch den Umstand, dass eine Erweiterung des Speicherwerkes an der

Stubache auf eine mehr als doppelt so grosse Jahreserzeugung durch Ausbau einer den vorhandenen Speicher mitbenützenden zweiten Stufe zu sehr günstigen Bedingungen möglich ist⁹⁾.

Die Lieferung dieser Kraftwerksstufe ergibt im Verein mit den Ueberschüssen der bestehenden Kraftwerke eine nahezu jahreskonstante Menge von etwa $90 \cdot 10^6$ kWh hochwertiger Spitzenenergie, so dass beim derzeitigen Verkehrsumfang nur sehr geringe Mengen von Zusatzenergie (etwa 15 bis $20 \cdot 10^6$ kWh) aus dem Drehstromnetz bezogen werden müssten. Dieser zusätzliche Bedarf würde sich bei einer Zunahme des Verkehrs bis auf das Niveau der Konjunkturjahre 1929/30 je nach den Wasserführungsverhältnissen auf etwa 40 bis $60 \cdot 10^6$ kWh erhöhen.

Der grundsätzliche Aufbau der Energieversorgungsanlage ist so gedacht, dass im Anschluss an die zweite Stufe der Stubachgruppe eine vierseitige Uebertragungsleitung errichtet wird, welche durch

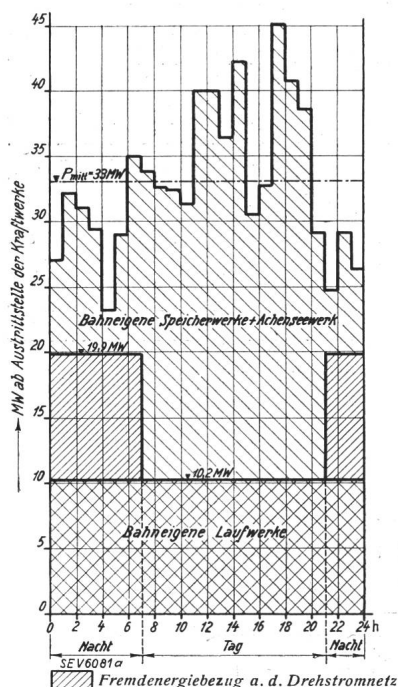


Fig. 14.

Geplante Lastverteilung im Bahnnetz Bregenz-Wien an einem Novemberwerktag (Verkehr 1929).

das Salzachtal über Salzburg, Linz, zunächst bis zum vorläufigen Endunterwerk Rekawinkel geführt werden soll. Wie aus dem generellen Schaltbild Fig. 13 ersichtlich ist, soll dieses für eine Betriebsspannung von 110 kV auszulegende Uebertragungssystem mit dem vorhandenen 55-kV-Netz zwecks Ueberleitung der Energieüberschüsse und zur Erzielung einer möglichst engen Verbundwirtschaft zwischen den beiden Netzen sowohl im Kraftwerk Stubach II als auch im Unterwerk Schwarzach-St. Veit über Transformatoren für 55/110 kV gekuppelt werden. Die Verbindung mit dem vorhandenen 100-kV-Drehstromnetz ist über ein in Amstetten zu errichtendes Hauptumformerwerk geplant, wo 2 gleitende Umformergruppen aufgestellt

werden sollen. Durch die mehrfache Speisung des Uebertragungsnetzes an ganz verschiedenen Punkten erscheint eine volle Sicherheit der Energieversorgung auch bei schweren Störungen im Uebertragungsnetz gegeben.

Zur Verteilung der Energie an die Fahrleitung sind 6 Unterwerke geplant, die mit voller Absicht in den Verkehrsknotenpunkten Steindorf, Attnang-Puchheim, Linz, Amstetten, St. Pölten und Rekawinkel errichtet werden sollen. Die Lage des letztgenannten Unterwerkes ist noch nicht endgültig. Sie hängt von der Entwicklung der Elektrifizierung des Wiener Nahverkehrsnetzes ab.

Damit wäre in einer weiteren, grossen Elektrifizierungsetappe ein zusammenhängendes, nach einheitlichen Gesichtspunkten versorgtes Bahnnetz geschaffen, das sich seiner Länge nach fast über das ganze Bundesgebiet erstreckt und dessen Jahresbedarf selbst bei der Fortdauer der derzeitigen Verkehrsverhältnisse mehr als $250 \cdot 10^6$ kWh betragen würde.

Eingehende Untersuchungen über die Belastungsverhältnisse dieses Netzes haben alle Erwartungen hinsichtlich einer Vergleichsmässigung des Bedarfes voll bestätigt. Fig. 14 zeigt die auf graphischem Wege ermittelte Ganglinie der stündlichen Mittelleistungen dieses Netzes an einem Werktag beim Verkehr 1929. Die schematisch angedeutete Lastverteilung zeigt, dass es durchaus möglich wäre, die vorhandenen bahneigenen Laufwerke bis zur Volllieferung restlos auszunützen. Zwischen Grund- und Spitzenlast schaltet sich der Bezug aus dem Drehstromnetz ein, der in Anpassung an die Belastungsverhältnisse dieses Netzes vorwiegend in die Nachtstunden verlegt werden könnte. Nach diesem Lastfahrplan würde also das Drehstromnetz nicht nur von den Schwankungen des Bahnbetriebes vollständig verschont bleiben, sondern es würde ihm sogar ein sehr wertvoller Abnehmer von Nachtenergie zuwachsen. Angestellte Untersuchungen haben gezeigt, dass gerade in den Wintermonaten, in welchen das Drehstromnetz von seinen Abnehmern tagsüber besonders stark in Anspruch genommen wird, bis zu 100 % des Bahnbedarfes in die Nachtstunden verlegt werden könnten.

Die wirtschaftlichen Vorteile einer engen Kuppelung des Drehstromnetzes mit dem geplanten Bahnnetz erweisen sich auch bei Untersuchung der Lastverteilung über grössere Zeiträume. Sie ergeben sich in der Hauptsache aus der Möglichkeit einer stärkeren Heranziehung der bahneigenen Speicherwerke in jenen Monaten, in welchen der Bedarf des Drehstromnetzes bei gleichzeitigem Rückgang der Wasserkrafterzeugung besonders angespannt ist, zugunsten derjenigen Herbst- und Frühjahrsmonate, in welchen die voralpinen Laufwerke in der Regel bereits ihre Volleistung abgeben können. Es erübrigt sich wohl eine Erörterung der wirtschaftlichen Rückwirkungen einer derartigen Verbundwirtschaft auf die Ausnützung aller beteiligten Kraftwerke.

⁹⁾ Siehe E. u. M. 1926, Heft 20.