

# Die Sicherheit bei der Projektierung und im Betrieb der europäischen Stromnetze

Autor(en): **Cash, P.W. / Scott, E.C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :  
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen  
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes  
Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **60 (1969)**

Heft 12

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916157>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Energie-Erzeugung und -Verteilung

## Die Seiten des VSE

### Die Sicherheit bei der Projektierung und im Betrieb der europäischen Stromnetze

Von P. W. Cash und E. C. Scott, London

621.315:001.2

Fortsetzung aus Nr. 11/69

#### 2.2 Fragen zur Ermittlung der erforderlichen Anlagen zur Gewährleistung der Betriebssicherheit

- Leistung der laufenden Reserven sowie der weiteren vorhandenen Mittel zur Bedarfsdeckung.
- Sicherheit durch internationale Verbundnetze.
- Zulässiger Frequenzabfall und vorhandene Bedarfsdeckung.
- Lastenbegrenzung der Übertragungsnetze und Kriterien der Fehlermöglichkeiten.

#### 2.3 Fragen zur Ermittlung der zur Gewährleistung der Planungssicherheit erforderlichen Mittel

- Zusammensetzung der Leistungsreserven der Produktionsausrüstung; Unsicherheitstoleranzen bei der Annahme der Belastung und der Verfügbarkeit der Ausrüstung.
- Zuschuss aus den internationalen Verbundnetzen.
- Leistungsfähigkeit der Übertragungsleitungen.
- Erforderliche Notleitungen für den Ersatz der Hauptübertragungsleitungen und zur Sicherung der grossen Energielieferungen.
- Künftige Trennungen der Netze.

#### 2.4 Fragen über die Beeinflussung der Planung und des Betriebes der Systeme infolge einer stärkeren Dimensionierung der Generatorgruppen

### 3. Allgemeine nationale statistische Erhebungen

Die wichtigsten Daten der an dieser Umfrage beteiligten Länder sind in der Tabelle I aufgeführt, welche diesem Bericht beigelegt wurde, um dem Leser eine Übersicht über die wesentlichen Eigenschaften der Netze zu bieten sowie über die ausführlichen Antworten und Angaben bezüglich der Sicherheit.

In gewissen Fällen wird die Leistung der Produktionsausrüstung durch 2 Zahlen angegeben. Die erste Zahl bezieht sich auf die Gesamtleistung der installierten Ausrüstung, abzüglich der Leistung der erforderlichen Hilfsbetriebe. Die zweite in Klammern aufgeführte Zahl beschränkt sich lediglich auf Länder mit einem bedeutenden Anteil hydroelektrischer Energieerzeugung und bezieht sich auf die maximale Energieerzeugung, die während dem trockensten Jahre der Planungsperiode erwartet werden darf. Die Eigenproduktion wurde ebenfalls berücksichtigt, sei es durch Einschluss ihres Bedarfes und ihrer installierten Leistung oder durch

Berücksichtigung ihres Beitrages an der öffentlichen Stromversorgung.

Das Diagramm der Fig. 1 veranschaulicht die Daten der Produktions- und Verbundausrüstung, wobei sämtliche Angaben in Prozenten des maximalen Bedarfes ausgedrückt wurden. Das Diagramm gibt Aufschluss über die vergleichsmässigen Energiereserven und die durch die internationalen Verbundnetze gewährleistete zusätzliche Sicherung, obgleich sich die wichtigste Aufgabe dieser Verbundnetze eher auf einen wirtschaftlichen Energieaustausch beschränkt als auf die Sicherheit bei winterlichen Spitzenbelastungen . . .

Die Fig. 1 vermittelt allerdings keine allgemeingültige Vergleichsmöglichkeit der Reserven der Länder mit vorwiegend thermischer Energieerzeugung und der Länder mit gemischten Netzen, bei welchen man statt der maximalen Leistung eher die wahrscheinlich verfügbare Leistung der hydroelektrischen Anlagen aufgeführt hat. Während fast sämtlichen Jahren darf eine höhere hydroelektrische Energieerzeugung erwartet werden, während die verfügbare thermische Energie gegenüber den aufgeführten Maximalleistungen immer niedrigere Werte aufweisen wird.

### 4. Die Betriebssicherheit

#### 4.1 Ausrüstung der Energieerzeugung

Die durch die Fragebogen gesammelten Angaben sind in der Tabelle II zusammengefasst, welche in drei Teile gegliedert ist:

1. Der erste Teil befasst sich mit den laufenden Reserven und enthält Angaben über:

- a) das Ausmass der von jedem Land bereitgestellten laufenden Reserven,
- b) die durch die laufenden Reserven gedeckten Betriebsmöglichkeiten,
- c) die Verteilung der laufenden Reserven.

2. Der zweite Teil befasst sich mit den unmittelbaren Reserveausrüstungen, d. h. mit den ständigen und unmittelbar einsatzbereiten Notstromanlagen, und ermittelt:

- a) die Typen und Leistungen der verfügbaren Notstromanlagen,
- b) die erforderliche Zeit zur Synchronisierung dieser Anlagen und zur Erreichung der Vollast.

3. Der dritte Teil ermittelt die Netzfrequenzen, unterhalb welcher die Vorrichtungen zur Lastbegrenzung wirksam werden, sowie die Methoden ihrer Anwendung.

Länder	Wichtigste Energiequellen <sup>1)</sup>	Maximaler Bedarf MW		Leistung der Produktionsausrüstung <sup>2)</sup> MW		Höchste Übertragungsspannung kV		Internationale Verbundleistung MVA	
		Reell 1962/1963	Projektiert 1966/1967	Reell 1962/1963	Projektiert 1966/1967	Reell 1962/1963	Projektiert 1966/1967	Reell 1962/1963	Projektiert 1966/1967
Österreich . . . . .	H, T	1 887	2 490	3 080 (2 138)	4 190 (2 948)	220	220	2 790	2 790
Belgien . . . . .	T	2 930	4 000	3 742	4 682	220	220	595	965
Dänemark:									
Jütland <sup>3)</sup> . . . . .	T	705	1 100	875	1 300	220	220	100	350
Seeland . . . . .	T	785	1 085	968	1 198	220	220	170	350
Frankreich . . . . .	T, H	13 830	20 000	21 656 (17 982)	27 300 (22 800)	400	400	2 785	3 660
Bundesrepublik Deutschland <sup>4)</sup> .	T, H	17 877	25 700	22 371	33 020	400	400	4 592	7 000
Grossbritannien . . . . .	T	32 726	41 800	34 501	47 144	275	400	160	160
Ungarn . . . . .	T	1 404	2 080	1 288	1 680	220	220	930	930
Italien . . . . .	H, T	11 260	16 350	16 580 (12 100)	22 890 (18 250)	220	400	1 200	2 000
Luxemburg <sup>4)</sup> . . . . .	T	236	316	278	289	220	220	400	400
Holland . . . . .	T	3 080	4 200	4 240	5 500	220	220	465	465
Norwegen . . . . .	H	6 100	8 100	7 900 (7 300)	10 200 (9 400)	275	400	120	650
Polen . . . . .	T, H	5 850	7 740	6 809	9 980	220	400	550	1 200
Portugal . . . . .	H, T	740	1 200	1 307 (854)	1 804 (1 214)	220	220	175	280
Spanien . . . . .	H, T	3 680	5 700	4 450 (4 010)	8 225 (7 216)	220	400	750	1 290
Schweden . . . . .	H, T	7 000	9 000	10 350 (9 950)	12 560	400 (12 060)	400	645	1 550
Schweiz . . . . .	H, T	3 460	4 900	5 700 (3 210)	8 600 (4 840)	220	400	3 210	4 260

<sup>1)</sup> H = Hydraulische, T = Thermische

<sup>2)</sup> Die zwischen Klammern gesetzten Zahlen (gesicherte Leistung) gelten unter der Voraussetzung, dass das Produktionsvermögen folgendermassen erreicht oder übertroffen wird:

Länder	Anzahl Jahre auf 100
Österreich . . . . .	95
Frankreich . . . . .	93
Italien . . . . .	90
Norwegen . . . . .	90

Länder	Anzahl Jahre auf 100
Portugal . . . . .	95
Spanien . . . . .	95
Schweden . . . . .	97...98
Schweiz . . . . .	97

<sup>3)</sup> Jütland und Seeland sind nicht verbunden.

<sup>4)</sup> Das Speicherkraftwerk Vianden (in Luxemburg, aber ausschliesslich mit dem deutschen Netz verbunden) ist in der Ausrüstungsleistung Deutschlands eingeschlossen, nicht aber in Luxemburg aufgeführt.

#### 4.1.1 Laufende Reserve

Die laufende Reserve schwankt zwischen 0 bis 12% des Bedarfes. Dabei drängt sich die Feststellung auf, dass die Reserve eines vorwiegend thermischen Systemes gewöhnlich schwächer veranlagt werden als bei gemischten oder vorwiegend hydraulischen Systemen. Diese Tatsache kann durch die relativen Kosten begründet sein.

Nach allgemein verbreiteter Auffassung sollte die laufende Reserve die Bewertungsfehler der Belastungen und die Nichtverfügbarkeit des grössten Generators decken. Man muss dabei feststellen, dass diese doppelte Möglichkeit vielleicht nicht immer gleichzeitig gedeckt wird, da man ja teilweise mit dem Einsatz der internationalen Verbundnetze rechnet. In kleineren Systemen besteht oft ein bestimmtes Verhältnis zwischen den laufenden Reserven und der Leistung des stärksten Generators. Bei grösseren Systemen kann die laufende Reserve als ein bestimmter Prozentsatz des Bedarfes betrachtet werden, der je nach den Jahreszeiten wie auch zwischen Tag und Nacht gewisse Schwankungen aufweist. In Grossbritannien verfügen die Werke gewöhn-

lich über höhere laufende Reserven bei steigender als bei sinkender Belastung.

Die meisten Länder erklären, dass ihre laufende Reserve gemäss den Kosten verteilt ist, was wahrscheinlich unter dem Vorbehalt der wichtigsten Bedingungen, nämlich der Erreichung einer raschen Verfügbarkeit der Anlagen, zutreffen dürfte. Die UCPTÉ empfahl kürzlich eine ausgedehnte Streuung der Reserven auf recht viele Gruppen, einschliesslich der am wirtschaftlichsten arbeitenden Gruppen (UCPTÉ: Quartalbericht I, 1965). Diese Forderung steht im Gegensatz zu der in Grossbritannien üblichen Praxis, bei welcher — mit Ausnahme der schwach belasteten Perioden — die gesamte Reserve auf die 20% bis 40% der unwirtschaftlichsten Ausrüstung verteilt wird.

#### 4.1.2 Unmittelbar verfügbare Notstromanlagen

In relativ wenigen Ländern werden unmittelbar verfügbare Notstromanlagen zur Erhöhung der laufenden Reserven eingesetzt; man darf daraus schliessen, dass die mit dem Verbundsystemen kombinierten Reserven bisher zur Deckung sämtlicher Ausfälle genügten, ohne die Mitwirkung

von weiteren unmittelbar einsatzbereiten Ausrüstungen zu erfordern. Grossbritannien, das über sehr wenige hydroelektrische Anlagen und externe Verbundnetze verfügt, erkannte die rasche Verfügbarkeit der Pumpspeicherwerke, welche die Notstromanlagen — und selbst bis zu einem gewissen Grad die laufenden Reserven — recht wirkungsvoll ersetzen. In diesem Zusammenhang wird man ausserdem mit Interesse feststellen, dass die Gasturbinenanlagen mit ihrem leichten Anlauf, ihrer mühelosen Synchronisierung und ihrer raschen Belastbarkeit in gewissen Ländern ständige Fortschritte erzielen.

Die im Anlauf und zur Synchronisierung der thermischen Gruppen erforderliche Zeit (unter Ausschluss der Gasturbinen) schwankt zwischen 20 bis 60 Minuten und bei den hydroelektrischen Gruppen zwischen 1 bis 10 Minuten. Die nach der Synchronisierung erforderliche Zeitdauer zur Erreichung der Vollast beträgt bei den thermischen Gruppen zwischen 15 und 45 Minuten und 0,5 bis 6 Minuten bei den hydroelektrischen Generatoren.

#### 4.1.3 Lastbegrenzung in Dringlichkeitsfällen

Der Fragebogen befasste sich ebenfalls mit dem zulässigen Frequenzabfall, bei welchem die Vorrichtungen zur Lastbeschränkung in Notfällen wirksam werden. Die eingereichten Antworten schwankten zwischen 49,5 und 46,5 Hz (UCPTE, Quartalbericht I, 1965). Diese Angaben stützen sich auf den Vorbehalt, dass sich die Frequenz im gesamten Verbundnetz innerhalb bestimmter zulässiger Grenzen bewegt, ausser in ausgesprochenen Netzstörungen, welche natürlich eine Isolierung und einen Frequenzabfall in dem

betroffenen Netzteil bewirken. Die UCPTE teilte ebenfalls die Auffassung, dass «die in Notfällen eventuell erforderlichen Lastbeschränkungen nicht an eine allgemeingültige Frequenz gebunden werden sollen».

Eine dringliche Lastbeschränkung wird in gewissen Fällen manuell ausgeführt; in anderen Fällen wird sie dagegen vollständig oder teilweise automatisch vorgenommen mit Hilfe von frequenzempfindlichen Relais, die unter Umständen je nach der Belastung verschieden eingestellt werden können.

Gemäss den vom Verteilungsingenieur erteilten Weisungen beginnt die Lastbegrenzung in Grossbritannien bei 49,5 Hz und, bei Regelung des belasteten Transformators zur Herabsetzung der Spannung, kann gewöhnlich eine Lastreduktion von ca. 7,5% erreicht werden, ohne eine Entlastung der Abnehmer zu erfordern, um damit einen Frequenzabfall unterhalb von 49 Hz zu vermeiden. In dringenden Fällen, welche eine Isolierung eines Netzteiles und einen Frequenzabfall bis 48,5 Hz bewirken, wird die Last durch die lokalen Operateure von Hand abgeschaltet, ohne eine diesbezügliche vorgehende Rücksprache mit dem Verteilungsingenieur. Frequenzempfindliche Relais werden gegenwärtig in den Anlagen installiert.

#### 4.2 Übertragungsnetze

Eine Zusammenfassung der eingereichten Antworten ist aus der Tabelle III ersichtlich, welche in 4 Teile gegliedert ist:

1. Die gegen den Ausfall der Übertragungsleitungen geschützten Lastentypen und die Kriterien dieser Ausfälle.

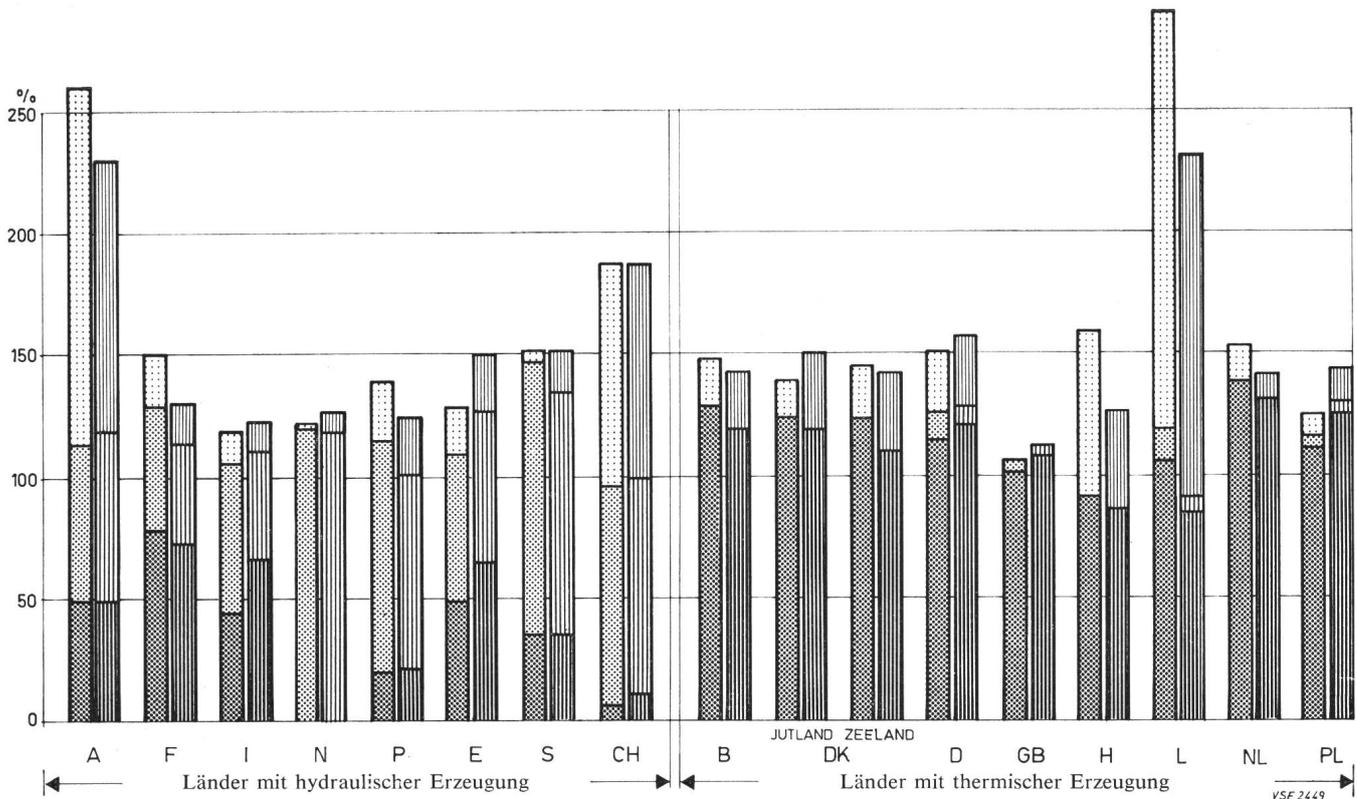


Fig. 1

Leistungsfähigkeit der Produktionsanlagen und des internationalen Verbundes in Prozent der höchsten Netzlast

1962/63 tatsächliche Werte

- Internationaler Verbund
- Wasserkraft (gesichertes Maximum)
- Wärmekraft und Pumpspeicherung

1966/67 projizierte Werte

- Internationaler Verbund
- Wasserkraft (gesichertes Maximum)
- Wärmekraft und Pumpspeicherung

Länder	Österreich	Belgien	Dänemark		Frankreich	Bundesrepublik Deutschland	Grossbritannien
			Jütland	Seeland			
<i>1. Laufende Reserven</i>							
Laufende Reserven . . . . . (MW)	0...100	120	40...60	200	400	—	900... 1900
Laufende Reserven . . . . . (%)	0...6	4	6...8	—	3	—	3...6
Laufende Reserven zur Deckung: Fehlerhafter Einschätzung der Belastung .	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Der Ausschaltung des grössten Generators Der Unterbrechung der Speisung durch ein angrenzendes Netz . . . . .	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Andere Möglichkeiten . . . . .	✓	—	—	✓	✓	✓	✓
Wie stark werden die Verbundnetze bean- sprucht? . . . . .	gelegentlich	—	—	200 MW	—	—	—
Stärkste Beanspruchung der laufenden Re- serve durch eine bestimmte Gruppe:							
Thermische Kraftwerke . . . . . (%)	—	50	—	75	40...50	1)	25
Hydraulische Kraftwerke . . . . . (%)	100	—	—	—	100	1)	75
Verteilung der laufenden Reserve:							
Kostenmässig . . . . .	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Strategisch . . . . .	—	—	—	—	✓	✓	—
Andere Methoden . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
Anteil der hydraulischen Ausrüstung (%)	47...90	—	—	0	17...72	3...8	4
<i>2. «Warme» Notausrüstung</i>							
Warme Notausrüstung:							
Thermisch . . . . . (MW)	—	—	—	0	—	—	700
Hydraulisch . . . . . (MW)	—	10	—	—	—	—	300
Synchronisierungsdauer:							
Thermisch . . . . . (min)	—	60	—	—	—	15 <sup>5)</sup>	30
Hydraulisch . . . . . (min)	3...5	7	—	—	2...4	2	3...6
Übergangsdauer von der Synchronisierung zur Vollast:							
Thermisch . . . . . (min)	2...3	1...2	—	—	—	25 <sup>5)</sup>	30
Hydraulisch . . . . . (min)	MW/ min 2...3	MW/ min —	—	—	3...5	3	1...3
<i>3. Massnahmen zur Lastbegrenzung</i>							
Minimalfrequenz vor der Lastbe- grenzung . . . . .	48,5	48,5...49	48	46,5	47...48,5	49,4	49,5
Bestehen automatische Vorrichtungen? .	—	—	—	✓	✓	✓	<sup>6)</sup>

1) Nur durch wirtschaftliche Faktoren bestimmt; 2) Gruppen die am wirksamsten Punkte eingesetzt sind; 3) Auf allen Gruppen im Verhältnis zu ihrer Leistung; 4) Unter speziellen Bedingungen; 5) Gasturbinen; 6) Zukünftig.

2. Die Faktoren, welche die Belastung der Leitungen und des Netzes begrenzen.

3. Die Ausrüstungsmöglichkeiten, welche dem Verteilungsingenieur zur Unterstützung der Betriebssicherheit zur Verfügung stehen.

4. Die Haltung der Presse und der Öffentlichkeit gegenüber den Betriebsunterbrechungen.

#### 4.2.1 Übertragungsfehler

Sämtliche Länder versuchen Vorrichtungen zu schaffen, welche eine gewisse Sicherheit gegen allfällige Mängel der Übertragungsleitungen bieten. Das Ausmass dieser Schutz-

massnahmen hängt gewöhnlich von der Grösse und der Art der Belastung ab. Sämtliche Länder haben Massnahmen vorgesehen, die bei einer einzigen Störung infolge eines einzigen Fehlers den Schutz des Netzes gewährleisten. Sechs Länder teilen die Auffassung, dass eine solche Störung beide Stränge einer Doppelleitung in Mitleidenschaft ziehen kann, doch vier dieser Länder beschränken diese Eventualität nur auf gewisse Spannungen.

#### 4.2.2 Grenzen der übertragenen Belastungen

Elf Länder beziehen die Vollastgrenze der Übertragungsleitungen auf die Ausglühtemperatur der Leiter. In drei Län-

Ungarn	Italien	Luxemburg	Holland	Norwegen	Polen	Portugal	Spanien	Schweden	Schweiz
23	550	0	180	—	0	90	300	700	550
1,6	4,5	0	5...9	≈ 10	0	12	8	10	10
✓ ✓	✓ ✓	— —	✓ ✓	— —	✓ —	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓
— —	✓ —	— —	✓ Fre- quenz regelung	— ✓	— —	✓ —	✓ —	✓ ✓	✓ ✓
30MW	—	100%	an Wochen- enden	Non	2%	—	—	—	—
6,7 0	10...15 >50	— —	5...9 —	— —	50 100	— 60...80	50...70 20	<10 20	— 100
✓ —	— ✓	— —	— 3)	2) —	✓ —	✓ ✓	— ✓	✓ ✓	— 4)
1	57	4...9	—	100	—	90...100	50. 90	85...98	40...95
0 0	— —	— —	100 <sup>5)</sup> —	— —	100 214	— 150	— 230... 690	— —	— 1020
— —	20 <sup>5)</sup> 5...10	— —	— —	— 5	20...25 2	— 2	— 5	— —	— 1...5
—	5...10 <sup>5)</sup>	—	—	—	15	—	—	—	20...45
—	0,5	—	—	1	3	2...3	1	—	2...6
47,5 —	49,5 ✓	48,5 —	48,5 6)	48,5 6)	48,5 ✓	48...49 —	48,7 ✓	47 ✓	49 —

den ist die Belastungsgrenze durch den zulässigen Durchgang der Freileitungen gegeben, während in zwei anderen Ländern der Belastungszustand benützt wird, welcher dem Grenzwert der Impedanz entspricht. Acht Länder berücksichtigen die Stabilitätsgenzen gewisser Teile ihres Netzes. Dänemark betont ausdrücklich, dass die bewährte automatische Schnellwiedereinschaltung eine Belastung des Netzes bis zur Ausglühtemperatur der Leiter gestattet. Ein bedeutender Teil der eingetroffenen Antworten erwähnt noch weitere Spezialkriterien zur Begrenzung der Belastbarkeit der Stromkreise, unter welchen sich einige unbedeutende Anhaltspunkte befinden. Aus diesen Angaben darf man schliessen, dass die

derart festgelegten Grenzen von den näheren Umständen jedes Einzelfalles abhängen, da in fast sämtlichen Antworten mehr als ein Begrenzungsfaktor erwähnt wurde.

Man bemühte sich, Angaben über die Kriterien bezüglich der Grenzen der Stabilität zu ermitteln und gleichzeitig zu erfahren, ob die automatische Wiedereinschaltung berücksichtigt wird, sowie die Mittel zur Berechnung der Grenzwerte und die Art der Informationsübertragung an das Betriebspersonal. Bei der Bewertung der Stabilität stützt man sich auf die Hypothese einer Störung zwischen zwei Phasen und Erde oder zwischen drei Phasen. Der Zeitaufwand zur Auswertung der Fehler beträgt zwischen 0,1 bis 0,19 Sekunden.

Länder	Österreich	Belgien	Dänemark		Frankreich	Bundesrepublik Deutschland	Grossbritannien
			Jütland	Seeland			
<i>1. Gegen Übertragungs-Ausfälle gesicherte Belastungen</i>							
Alle Belastungen . . . . .	—	—	✓	✓	—	—	✓
Gruppen oberhalb gewisser Anfragen . .	✓	—	✓	✓	—	✓	✓
Spezielle Belastungstypen . . . . .	—	—	✓	✓	—	—	✓
Gruppen mit Spezialbedingungen . . . .	✓	—	✓	✓	—	—	✓
<i>Fehlerkriterien</i>							
Eine einzige Möglichkeit . . . . .	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Unter Einschluss des Ausfalles einer Leitung mit zwei Stromkreisen . . . . .	—	2)	—	—	—	—	2)
<i>2. Begrenzung der Leistungen der Stromkreise und der Netze</i>							
Ausglühtemperatur der Leiter . . . . .	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—
Zulässiger Durchhang . . . . .	—	—	—	3)	—	—	✓
Stabilität . . . . .	—	wenig häufig	5)	5)	4)	—	✓
Charakteristische Impedanz . . . . .	—	—	—	—	✓	—	—
Andere Beschaffenheiten . . . . .	✓	✓	—	✓	—	✓	—
<i>Stabilitätsgrenzen</i>							
Kriterium (Phasen/Zeit) . . . . . (s)	3/0,15	—	—	—	—	—	3/0,14
Gelungene Wiedereinschaltung . . . . .	—	—	—	—	6)	—	—
Nicht gelungene Wiedereinschaltung . . .	✓	—	—	—	—	—	7)
Berechnungsmittel . . . . .	C-A	C-A	—	C-A	Mikro-netz	—	C-A
Angaben zuhanden der Schaltwärter . . .	LD V	ANG	—	LD	LD	LD	LD
<i>3. Dem Netz-Ingenieur zur Verfügung stehende Mittel</i>							
<i>Fernmessung:</i>							
Leistung . . . . . (MW)	12)	12)	11)	11)	12)	12)	13)
Blindleistung . . . . . (Mvar)	12)	11)	11)	11)	11)	12)	11)
Leistung der Generatoren . . . . . (MW)	12)	12)	12)	12)	12)	12)	13)
Blindleistung . . . . . (Mvar)	12)	—	12)	12)	—	—	13)
Netzspannung . . . . .	12)	11)	11)	11)	11)	12)	11)
Netzfrequenz . . . . .	12)	11)	11)	11)	11)	—	11)
Zustand der Stromkreise . . . . .	✓ 16)	✓ 16)	✓ 16)	✓ 16)	✓ 16)	✓ 16)	✓ 15)
Auswirkung der Ausschaltung eines Stromkreises auf andere Stromkreise . . . . .	A/F/D	A/F/D	A/F/D	A/F/D	C/F/D	M	A-C/O/R C/F/D
<i>4. Verhalten gegenüber den Betriebsunterbrechungen</i>							
Der Presse . . . . .	S	S	S	S	S	C	C
Des Publikums . . . . .	SC	S	S	S	VS	C	C

1) Die Messungen ändern je nach den Versorgungsnetzen; 2) Nicht in sämtlichen Fällen; 3) In gewissen Fällen; 4) Nur für 400 kV; 5) In Zukunft; 6) Für einen kurzfristigen Fehler auf einer Phase; 7) Siehe Text; 8) In gewissen Fällen; 9) 400 und 220 kV; 10) 130 kV; C-A – Rechenmaschine oder Rechentafel; V – Spannungsbereich; LD – Maximale Stromkreislast; ANG – Maximal zulässiger Winkel; 11) Nur wenige Stromkreise oder Schlüsselpunkte; 12) Die meisten Stromkreise und Schlüsselpunkte; 13) Sämtliche Stromkreise und Schlüsselpunkte; 14) Das Ausmass ist nicht angegeben; 15) Auf allen Stromkreisen;

den (an den entlegenen Enden), doch der Mittelwert beläuft sich auf ca. 0,15 Sekunden. Sechs Länder erachten die automatische Wiedereinschaltung nach einer Störung als zufriedenstellend. In Frankreich wird auf den 400 kV-Netzen die einphasige Wiedereinschaltung nur für die Leistungsflüsse unterhalb bestimmter Grenzwerte vorgesehen. In Grossbritannien wird bei einem Leistungsfluss, der bei einer Wiedereinschaltung nach einer Störung Unstabilitäten bewirken könnte, die Vorrichtung der automatischen Wiedereinschaltung ausser Betrieb gesetzt. In fast sämtlichen Ländern werden Nomogramme und elektrische Rechenanlagen benützt zur Berechnung der Stabilitätsgrenzen und um dem Betriebs-

personal ausserdem die Grenzen der maximal zulässigen Belastungen zu übermitteln. Als einzige Ausnahme berücksichtigt Belgien zu diesem Zweck den maximal zulässigen Phasenwinkel.

**4.2.3 Vorgesehene Erleichterungen für den Verteilungsingenieur**

Drei Länder erleichtern die Kontrolle des Stromdurchganges (MW, Mvar) auf den meisten Stromkreisen sowie der Spannung und der Frequenz an bestimmten Schlüsselpunkten des Netzes. Andere Länder benützen die Fernmessung zur Ermittlung der Energieerzeugung in MW und Mvar. In sämtlichen Ländern werden die infolge einer Störung ausser

Ungarn	Italien	Luxemburg	Holland	Norwegen	Polen	Portugal	Spanien	Schweden	Schweiz
—	—	—	1)	1)	—	—	—	✓	—
—	✓	—	—	—	✓	✓	✓	—	—
—	✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
—	2)	—	—	—	2)	✓	—	—	✓
✓	—	—	✓	✓	✓	✓	—	—	—
—	✓	✓	—	✓	✓	—	✓	✓	—
—	✓	✓	—	—	—	✓	✓	✓	✓
—	3/0,15	3/0,15	—	—	2-G /0,15	—	—	2-6/0, 12-0,19 9)	3/0,1
—	✓	✓	—	8)	✓	—	—	3/0, 12-0,19 10)	✓
C-A	C-A	Manuell	—	A	C-A	—	C-A	C-A	—
LD	LD	LD	—	LD	LD	LD	LD	LD	LD
11)	12)	12)	12)	11)	11)	12)	} 14)	13)	13)
11)	12)	12)	12)	11)	11)	11)		12)	11)
11)	—	—	12)	—	11)	13)		11)	12)
11)	12)	12)	12)	—	11)	11)		11)	11)
✓ 15)	✓ 16)	✓	✓ 16)	—	✓	✓ 16)	✓	✓	✓
A/F/D	A/F/D C-/R	—	A/F/D	—	—/F/D	A/F/D	—	A/F/D	A/F/D
U	C	C	S	S	C	C	C	C	VS
U	C	S	S	S	S	C	C	C	VS

16) Auf den meisten Stromkreisen; A – Rechentafel; C – Rechenmaschine; M – Manuell; F – Ausserhalb der Leitung; O – In der Leitung; D – Operationell; R – Entwicklung oder Stadium der Untersuchungen; S – Sympathisch; C – Kritisch; U – Verständnissvoll; SC – Sympathisch, jedoch kritisch; VS – Sehr sympathisch.

Spannung gesetzten Stromkreise durch eine Anzeige markiert. Das Ausmass dieser Anzeigen ist — soweit sie bekannt sind — in der Tabelle III aufgeführt.

Die Wirkung eines ausser Spannung gesetzten Stromkreises auf die Belastung der anderen noch unter Spannung befindlichen Stromkreise wird in den meisten Ländern durch Berechnungen ermittelt, deren Ergebnisse den Schaltwärttern übermittelt werden. In Frankreich werden die Resultate dieser ausserbetrieblichen Analyse des Netzes einer Rechenmaschine übermittelt, welche unmittelbar neben dem Kommandoraum installiert ist. In Grossbritannien ist die Vorrichtung zur Sicherheitsbewertung der Leitungen im Nationalen

Kontrollzentrum installiert, womit durchgehende Angaben an das Hauptübertragungsnetz erteilt werden können über die je nach dem gerade bestehenden Schaltzustand und der Belastung verfügbaren einfachen oder doppelten Leitungen. Diese Ausrüstung umfasst einen analogen und einen digitalen Teil und blieb lange Zeit ausser Dienst, um den analogen Teil der Entwicklung des Netzes anzupassen. In einem bevorstehenden Stadium dieser Entwicklung soll diese Vorrichtung künftig durch eine vollständig digitale Ausrüstung ersetzt werden. Grossbritannien benützt ausserdem die Rechner zur ausserbetrieblichen Berechnung der Sicherheitsprognosen und des Störungspegels. Obgleich noch in beschränk-

Länder	Österreich	Belgien	Dänemark		Frankreich	Bundesrepublik Deutschland	Grossbritannien
			Jütland	Seeland			
<i>Bedeutsamstes Problem</i>							
Leistung = P Energie = E	P und E	P	P	P	P und E	P	P
<i>Grundsätzliche Methoden</i>							
a) Ungewissheit der Belastung . . . . .	Erfahrungswerte	Wahrscheinlichkeit	—	Erfahrungswerte	Wahrscheinlichkeit/ Erfahrungswerte	Erfahrungswerte	Wahrscheinlichkeit
b) Nichtverfügbarkeit der Produktionsausrüstung . . . . .	Erfahrungswerte	Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit		Erfahrungswerte	
c) Internationale Verbundnetze . . . . .	Erfahrungswerte	Wahrscheinlichkeit				—	
<i>Energiereserven</i>							
Prozentsatz der maximalen Nachfrage . . . . .	9% (bei Benützung der gesicherten hydraulischen Leistung)	15% + 5% durch internationale Verbundnetze geliefert	16...20%	25%	≈ 17% <sup>2)</sup> (unter Benützung der gesicherten hydraulischen Leistung)	17%	17%
<i>Sicherheitsnormen</i>							
Anzahl der Ausfallsjahre auf 100 Jahre . . . . .	Keine Schätzung	1 (P)	20...25 (P) ausschliesslich der internationalen Verbundnetze	—	7 (E)	—	3 (P) <sup>3)</sup>

1) Die Schweizerangaben sind je nach Werk verschieden

2) Schätzung der Autoren: der Zahlenwert kann je nach dem Energieverhältnis verschiedenartig ausfallen

tem Rahmen angewendet, erweisen sich solche Berechnungen immer unentbehrlicher zur Gewährleistung des sicheren und wirtschaftlichen Betriebes der Netze, deren Entwicklung ständig fortschreitet.

**4.2.4 Verhalten gegenüber Stromunterbrechungen**

Eine diesbezügliche sympathische Einstellung in Presse und Publikum scheinen folgende Länder zu kennen: Belgien, Dänemark, Frankreich, Holland, Norwegen und die Schweiz. Kritische Stimmen dagegen erheben sich in Deutschland, Grossbritannien, Italien, Portugal, Polen, Spanien und Schweden.

**5. Die bei der Planung berücksichtigte Sicherheit**

*5.1 Gesamte installierte Leistung*

Die Angaben bezüglich der Sicherheit und der gesamten erforderlichen Leistung sind in den Tabellen IV und V zusammengefasst.

Aus der Tabelle IV ist ersichtlich, ob der Leistungs- oder der Energiebedarf eine ausschlaggebende Rolle spielen; ferner findet man eine Orientierung über die grundsätzlichen Berechnungsmethoden der erforderlichen Energiereserve, dessen Wert und — sofern dies möglich ist — die zu erreichende Sicherheitsnorm. Die angegebene Leistungsreserve bildet in den meisten Ländern die Differenz der erforderli-

Ungarn	Italien	Holland	Norwegen	Polen	Portugal	Spanien	Schweden	Schweiz <sup>3)</sup>
P	P und E	P	E	P	E	E	P und E	Hauptsäch- lich E
} Erfahrungs- werte	} Erfahrungs- werte	Erfahrungs- werte	Erfahrungs- werte	Erfahrungs- werte	} Wahrschein- lichkeit	} Wahrschein- lichkeit/ Erfahrungs- werte	} Wahrschein- lichkeit	—
		Wahrschein- lichkeit	Wahrschein- lichkeit	Erfahrungs- werte				—
5%	15,8% (unter Be- nützung der gesicherten hydraulischen Leistung)	27...30%	16% (unter Be- nützung der gesicherten hydraulischen Leistung)	14,4% (Wovon 2 bis 3% durch internatio- nale Ver- bundnetze geliefert wer- den können)	20...25%	20% (Unter Benützung der gesicher- ten hydrau- lischen Leistung)	15%	10...50%
Keine Schätzung	Keine Schätzung	0,3 (P)	10 (E) aus- schliesslich der intern- ationalen Verbund- netze	Keine Schätzung	5 (E)	5 (E)	2...3 (E) <sup>4)</sup>	—

<sup>3)</sup> Siehe Paragraph 5.1.2 (a)

<sup>4)</sup> Siehe Paragraph 5.1.3

chen Gesamtleistung der Produktionsanlage (abzüglich der Leistung der Hilfsgeräte) und der voraussichtlichen mittleren Nachfrage; die Differenz wird dabei in Prozenten der Nachfrage ausgedrückt. Gewisse Länder mit vorwiegend hydraulischer Energieerzeugung beziehen diese hydraulische Leistung auf die maximale Leistung, die im trockensten Jahre der Planung gewährleistet wird (Tabelle I, Hinweis b).

Die Unterteilung der Methoden erfolgt nach ihrer Begründung auf «wahrscheinliche» oder «erfahrungsmässige» Tatsachen. Die «Wahrscheinlichkeit» bezieht sich dabei auf ein Verfahren, bei welchem die Möglichkeit der Bedarfsdeckung in Funktion der Abweichungen der verfügbaren

Produktion und der Nachfrage gegenüber den vorgesehenen Mittelwerten erfolgt. Die Verteilungsfunktionen stützen sich auf eine statistische Analyse der letzten Jahre und die erforderliche Leistungsreserve auf die annehmbare Wahrscheinlichkeit der Bedarfsdeckung (durch Leistung oder Energie). Auch die «Erfahrung» stützt sich ihrerseits auf eine Analyse der letzten Jahre, doch werden in diesem Fall gewöhnlich nur die Mittelwerte berechnet und die erforderliche Toleranz der Abweichungen gegenüber den Mittelwerten dem persönlichen Ermessen überlassen.

Fortsetzung in der nächsten Nummer