Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 9

Artikel: Berechnung der Erwärmung und zulässigen Belastung von Hochspannungs-Polymerkabeln mittels Taschenrechnern

Autor: Nyffenegger, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904960

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

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

Berechnung der Erwärmung und zulässigen Belastung von Hochspannungs-Polymerkabeln mittels Taschenrechnern

H. Nyffenegger

621.315.3.027.3;

Die Berechnung der zulässigen Dauerbelastung von Energiekabeln nach der CEI-Publikation 287 ist sehr aufwendig und wird deshalb bei den Kabelwerken auf Computern durchgeführt. In diesem Artikel wird ein 4-kByte-Modul beschrieben, das jedem Benützer des Taschenrechners HP-41 CV gestattet, die anspruchsvollen Erwärmungsberechnungen für 10-...150-kV-Polymerkabel bei verschiedensten Verlegearten und Umweltbedingungen sicher und schnell durchzuführen. Alle erforderlichen Dateneingaben werden vom Rechner abgefragt. Es werden Anwendungs- und Ausbaumöglichkeiten für den Planer von Kabelanlagen gezeigt.

Le calcul de la charge permanente admissible des câbles d'énergie, selon Publ. 287 de la CEI, est pénible. Les câbleries y procèdent au moyen d'ordinateurs. Cette contribution décrit un module de programme à 4 kbyte applicable à la calculatrice de poche HP-41 CV qui permet de calculer rapidement et avec précision l'échauffement des câbles à isolation polymère de 10 à 150 kV, ainsi que pour divers modes de pose et conditions ambiantes. Toutes les données à introduire sont appelées par la calculatrice en dialogue. Des possibilités d'utilisation et de développement pour ingénieurs et planificateurs d'installations de câbles sont indiquées.

1. Einleitung

Der sichere und wirtschaftliche Betrieb einer Kabelanlage ist nur möglich, wenn ihre gesamten Bestandteile sorgfältig ausgewählt werden. Dies bedingt eine gewissenhafte Projektierung von Kabeltyp und Kabelzubehör unter Beachtung der Betriebsbedingungen sowie der Montage- und Verlegekriterien. Bei der Festlegung der Kabel wird in zwei Schritten vorgegangen:

– Wahl des Kabeltyps (Isolation-Mantel-Armierung) in Abhängigkeit vom Verwendungszweck.

– Dimensionierung des Leiterquerschnittes in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen bzw. bei vorgegebenem Querschnitt, Berechnung der zulässigen Strombelastung und Leitererwärmung.

Die international angewandte Grundlage solcher Berechnungen ist heute die CEI-Publikation 287 [1]. Sämtliche in der Praxis existierenden Kabelbauarten können damit unter Berücksichtigung der verschiedensten Verlegearten und Umweltbedingungen gerechnet werden. Diese Rechnungsgrundlage ist ein entsprechend grosses Formelwerk mit Tabellen und Tafeln, welche auf physikalischen Grundgesetzen, langjährigen Erfahrungen und Experimenten beruhen. Belastungsrechnungen nach dieser Grundlage sind umfangreich und müssen teilweise iterativ durchgeführt werden, weil erwärmungsbestimmende Parameter selbst temperaturabhängig sind. Die Durchführung dieser Rechnung erfolgt deshalb zweckmässig auf Computeranlagen. Die bisher bekannten Programmsysteme wurden ausschliesslich für eine Implementierung auf Grossrechenanlagen entwickelt [2].

Aus wirtschaftlichen Gründen stehen dem Kabelanlagenplaner kleinerer und mittlerer Elektrizitätswerke in den seltensten Fällen Rechenanlagen mit diesen Programmen direkt zur Verfügung. Der projektierende Ingenieur behilft sich mit mittels solcher Programme berechneten Tabellenwerken in Normen (z.B. DIN 57298, 2. Teil), Kabelhandbüchern und Belastungskatalogen [3]. Handbücher und Belastungskataloge liefern vorwiegend Werte für normierte Kabeltypen unter Annahme bestimmter Verlege- und Umweltbedingungen. Gerade letztere beeinflussen die zulässigen Belastungsströme wesentlich. Lineare Interpolationen können leicht zu Fehlschlüssen führen.

Inzwischen sind Mikrocomputer und kostengünstige Taschenrechnersysteme so leistungsfähig geworden, dass sie zweckmässig für Kabelberechnungen direkt am Arbeitsplatz des Planungsingenieurs eingesetzt werden. Im folgenden wird ein erstes Programm für den programmierbaren Taschenrechner HP-41 CV für Kabelerwärmungsrechnungen bei Dauer- und Kurzschlusslast vorgestellt und im Einsatz erläutert.

2. Hardware-Konfiguration

Rechensystem ist der verbreitete Taschenrechner HP-41 CV mit 2237 Byte RAM-Arbeitsspeicher, integriertem LC-Display und Tastenfeld (Fig. 1, 2). Mit einem zusätzlichen Speichermodul kann auch der Taschenrechner HP-41C verwendet werden. Das Kabelerwärmungsprogramm und die Dialogsteuerung sind in einem steckbaren, festprogrammierten 4000-Byte ROM-Speicher (sog. Softwaremodul) untergebracht. Wird der Taschenrechner mit diesem Modul bestückt, kann

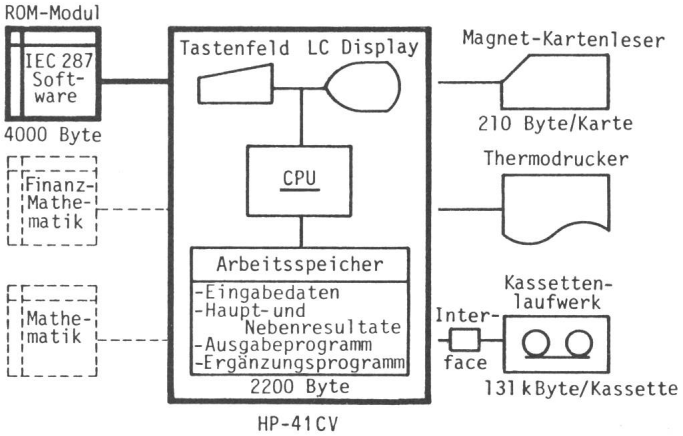


Fig. 1 Hardware-System

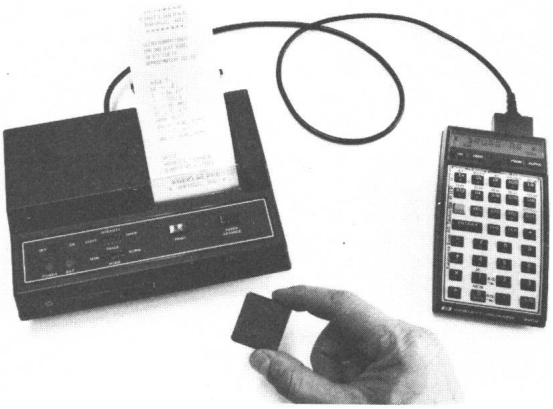


Fig. 2 Taschenrechner mit Thermodrucker und IEC-287-Modul

auf Kabelerwärmungsrechnungen für Hochspannungspolymerkabel sofort zugegriffen und eine vorgegebene Kabelanlage vollständig durchgerechnet werden.

Die Vorteile des Taschenrechners (geringe Kosten, jederzeit und überall ohne Netzanschluss betriebsbereit) kommen mit dieser Ausbaustufe voll zum Tragen. Zusätzlich bestehen mit einer Grossanlage vergleichbare Ausbaumöglichkeiten mit weiteren Moduln und peripheren Geräten für Programmspeicherung sowie Weiterverarbeitung und Ausdruck der eingegebenen oder berechneten Daten.

Das Kabelberechnungsprogramm stellt fest, ob ein Drucker angeschlossen ist, und steuert in diesem Falle die Protokollierung der wichtigsten Daten-Ein- und -Ausgaben. Magnetkartenleser (210 Byte pro Karte) und Kassettenlaufwerk (131000 Byte pro Kassette) bieten nahezu unbegrenzten Speicherplatz für Daten sowie allgemeine elektrotechnische, spezifisch kabeltechnische und wirtschaftliche Ergänzungsprogramme.

3. Das Kabelerwärmungsprogramm (Softwaremodul)

3.1 Grundlagen und Anwendungsbereich

Mit 4 kByte Speicherplatz eines ROM-Moduls des HP-41 CV steht im Vergleich zur Grosscomputeranlage nur sehr wenig Programmspeicherplatz für das Kabelbelastungsprogramm nach CEI 287 zur Verfügung. Im Hinblick auf die Erweiterungsfähigkeit mit zusätzlichen Kabelberechnungsmoduln (total bis 32 kByte steckbar), wurde das Programm des vorliegenden Moduls wie folgt ausgerichtet:

Das Programm ist grundsätzlich zur Erwärmungsrechnung von Dreiphasensystemen (50 Hz) mit Ein- oder Dreileiterkabeln mit Kupferleitern ausgelegt. Es konzentriert sich auf Polymer-Hochspannungskabel von 10 bis 150 kV mit XLPE- oder EPR-Isolation. Der Querschnittsbereich erstreckt sich von 16 bis 800 mm². Für Kabel mit und ohne Armierung oder Wellmäntel aus verschiedenen Materialien und Stärken können die Kabelerwärmungen berechnet werden. Leiter- und Schirmwiderstände entsprechen der CEI-Publikation 228, welche auch als Regel des SEV Nr. 3446.1979 [4] in Kraft ist. Den Isolationsdicken und dem weiteren Kabelaufbau sind die in der Schweiz zurzeit üblichen Kabelkonstruktionen zugrunde gelegt.

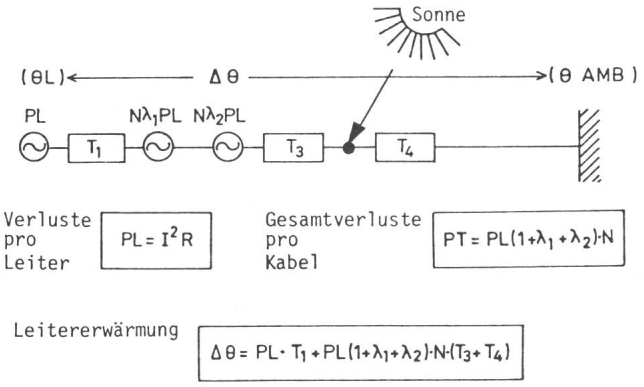


Fig. 3 Thermisches Ersatzschaltbild
(IEC-287-Module)

$\Delta\theta$	Leitererwärmung	bei Dauerlast
θ_L	Leitertemperatur	bei Dauerlast
θ_{AMB}	Neutrale Umgebungstemperatur	
I	Dauerstrom pro Phase	
R	Wechselstromwiderstand pro Leiter (Betriebstemperatur)	
N	Anzahl Leiter pro Kabel	
PL	Ohmsche Verluste im Leiter	
PT	Kabel-Gesamtverluste in Leiter, Schirm/Mantel und Armierung	
λ_1	Verlustfaktor für Schirm/Mantel	
λ_2	Verlustfaktor für Armierung	
T_1	Thermischer Widerstand der Isolation und Zwischenlagen unter Armierung	
T_3	Thermischer Widerstand Schutzmantel	
T_4	Thermischer Widerstand der Umgebung	

Die Berechnung der Leitererwärmung erfolgt aufgrund der thermischen Ersatzschaltung gemäss Figur 3 mit den Wirkverlusten (Wärmequellen) im Leiter, in den Schirmen und in der Armierung, falls letztere beidseits der Kabelstrecke geerdet sind. Es wird immer mit symmetrischen Strömen in Schirmen und Armierung gerechnet, d.h., es wird angenommen, dass Einleiterkabel ausgekreuzt (transponiert) verlegt sind. Der Wärmebeitrag der dielektrischen Verluste wird wegen des sehr geringen Verlustfaktors von XLPE- und EPR-Isolationen vernachlässigt.

Gegenüber der CEI-Publikation 287 wird der thermische Widerstand für die Schicht zwischen Schirm und Armierung (T2) nicht explizit, sondern zusammen mit dem thermischen Widerstand der Isolation (T1) berücksichtigt.

Der Einfluss der Sonneneinstrahlung wird bei Verlegung in Luft mit einer Leistung von 1 kW/m² und einem Absorptionskoeffizienten des Kabelmantels von 0,5 berücksichtigt. Bei Verlegung in Luft sind sämtliche nach CEI 287 vorgesehenen Anordnungen rechenbar. Bei Verlegung in Erde werden folgende Varianten berücksichtigt: direkt in Erde; Einzug in Kunststoffrohre und Einzug in Rohrblocksystemen.

3.2 Programmaufbau

Der Speicherinhalt des ROM-Moduls ist wie folgt belegt:

Rechenprogramm	2400 Byte
Dialogsteuerung (Deutsch, Englisch, Französisch)	1000 Byte
Datenprogramm (Konstruktionsdaten, Normwerte nach CEI 228 [4], Materialwerte)	600 Byte

Das Rechenprogramm:

Das Konzept des Rechenprogramms geht aus Figur 4 hervor. Die 5stufige Blockstruktur des Programmes zeigt die Ausrichtung der Rechnungen auf die Ermittlung der Dauer- und Kurzschlussleitertemperatur, ausgehend von der Kabelbelastung. Dieses Programm berechnet für den gewählten Kabeltyp zunächst die Dimensionen des Kabelaufbaus und darauf basierend die Elemente der thermischen Ersatzschaltung des Kabels. Für die temperaturabhängigen Werte wird eine «Starttemperatur» angenommen. Zusammen mit der eingegebenen Kabelbelastung (Dauerlast), werden dann die Totalverluste in den stromführenden Kabelelementen berechnet.

Nach Berechnung des thermischen Widerstandes der Umgebung ($T4$) aufgrund der Verlegeart und der thermischen Umweltbedingungen wird die Leitertemperatur berechnet. Anschliessend werden die Werte der Ersatzschaltung temperaturkorrigiert und iterativ die stationäre Leitertemperatur bestimmt.

Eingabewerte können nun geändert und Variantenrechnungen gestartet oder die Zusatzerwärmung bei verschiedenen Kurzschlusslasten berechnet werden.

Die Abweichung von den maximal zulässigen Leitertemperaturen wird automatisch ausgegeben, Temperaturen an anderen Stellen, wie z.B. die Erdübergangstemperatur, können aus den Datenregistern abgefragt werden.

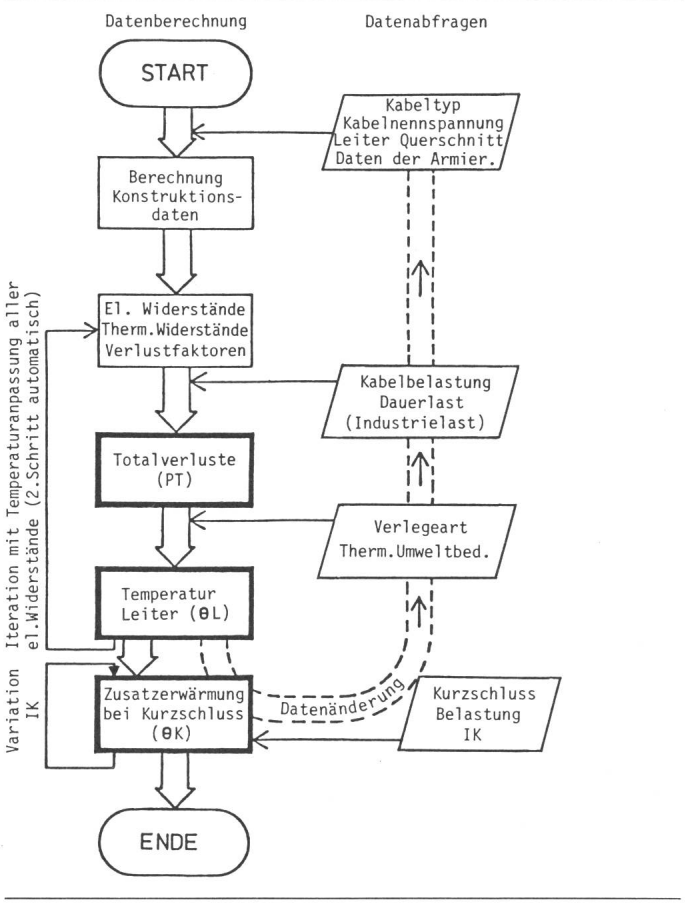


Fig. 4 Programmkonzept Rechenablauf

Aus dem Programmablauf (Fig. 4) wird die «Wegrichtung» von der Belastung zur Temperatur ersichtlich. Durch Variantenrechnung erfolgt die Lösung bei umgekehrter Problemstellung. So wird durch schrittweises Erhöhen der Belastungen mit Mehrfachrechnungen unter Beachtung der zulässigen Grenztemperaturen die zulässige Kabelbelastung bestimmt. Mit Hilfe der Dialogsteuerung kann die Rechnung in kurzer Zeit sicher durchgeführt werden.

Dialogsteuerung und Datenprogramm:

Dateneingabe und Programmsteuerung erfolgen durch das Dialogsteuerprogramm. Während der Berechnungen werden der Eingabedatensatz, die Zwischen- und Endresultate in 50 Datenregistern des Arbeitsspeichers abgespeichert und stehen zu manuellem oder programmiertem Ausdruck sowie zu ergänzender Datenverarbeitung zur Verfügung. Das Einlesen des Eingabedatensatzes kann ab Magnetkarten oder Magnetband erfolgen. Mit dem Dialogsteuerprogramm ist auch die manuelle Dateneingabe über das Tastenfeld effizient und betriebssicher. Wertabfragen sind auf das nötige Minimum reduziert. So werden Daten, welche die Kabelkonstruktion betreffen, vom internen Datenprogramm geliefert. Hat der Anwender Kabeltyp, Kabelnennspannung und Leiterquerschnitt eingegeben, so wird der Kabelaufbau automatisch berechnet, wobei normierte Konstruktionsdaten, elektrische Widerstände und Materialkonstanten einer gespeicherten Tabelle entnommen werden; jene von Armierung und Wellmantel werden abgefragt.

Wesentlichen Einfluss auf die Kabelerwärmung haben Verlegeart und thermische Umweltbedingungen. Figur 5 veranschaulicht wie der Benützer mit JA/NEIN-Antworten die Verlegeart eingeben kann, worauf die für die Rechnung benötigten Werte automatisch abgefragt werden.

Die Dialogsteuerung garantiert auch im Feld eine schnelle und vollständige Dateneingabe, verbunden mit höchster Eingabesicherheit. Für die Dateneingabe einer gesamten Kabelanlage werden etwa 2 min benötigt.

Ist die Leitererwärmung für einen gewählten Kabeltyp aufgrund der Belastung, Verlegebedingungen und Umweltbedingungen berechnet, kann der Benützer mit JA/NEIN-Antworten wählen, ob eine Kurzschlussberechnung oder eine Neurechnung mit z.B. geänderter Belastung durchgeführt werden soll. Der Abbruch der Rechnung erfolgt durch einfaches Ausschalten des Rechners. In jedem Fall bleibt bis zur Wahl eines neuen Kabeltyps der Eingabedatensatz erhalten.

4. Ausführungsbeispiel

Das Kabelerwärmungsprogramm steht seit Oktober 1981 in praktischem Einsatz. Die Möglichkeit, Kabelerwärmungen und zulässige Belastungen mittels Taschenrechners nur mit eingestecktem Modul ohne weitere Peripheriegeräte berechnen zu können, ist für den Feldeinsatz ein Vorteil.

Zur Dokumentation der Eingabe- und Rechendaten ist der Anschluss eines Druckers zweckmässig. Der Ausdruck aller wichtigen Daten und Berechnungsergebnisse erleichtert bei der Kabelanlagenplanung den Vergleich verschiedener Kabeltypen, Belastungen und die Übersicht über den Einfluss variierter Verlegearten.

Als Rechenbeispiel wird eine auf Grossrechenanlagen durchgeführte und in [2] publizierte Belastungsrechnung verwendet. Das dort betrachtete Kabelsystem mit Verlegeart zeigt Figur 6. Für die Kabelerwärmungsrechnungen mit dem Taschenrechner musste programmbedingt eine Verlegung mit Auskreuzung der Einleiterkabel angenommen werden.

In Teil (1) der Hauptresultate (Fig. 7) sind die Ergebnisse der Erwärmungsrechnung unter Dauerlast, im Teil (2) jene der Kurzschlussrechnung ausgedruckt. Beide Teile werden automatisch durch die im Modul enthaltene Druckersteuerung erzeugt. Teil (3) zeigt den Ausdruck einer Belastungstabelle, gesteuert durch ein zusätzliches Programm im Arbeitsspeicher.

Neben der gewählten Strombelastung und den wichtigsten Eingabedaten (auf Wahl alle), werden im Teil (1) bei jedem Iterationsschritt die berechneten Kabeltotalverluste und die

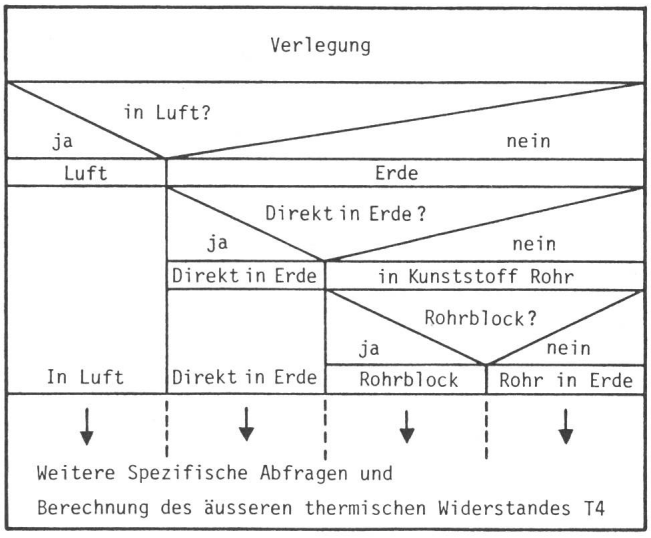
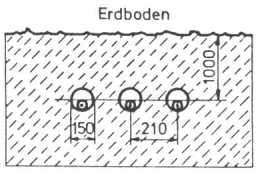


Fig. 5 Abfrage der Verlegeart



Kabeltyp	XKT 20 kV
Querschnitt	1×240 mm² Cu
Belastungsstrom (100%)	504 A
Verlegung	Einzug in Rohre in Erde, transponiert, Schirme beids. geerdet.
Spezifisch thermische Widerstände: -Erdboden -Einzugsrohr	 0,7 °C m/W 3,5 °C m/W

Fig. 6 Daten des Beispiels

resultierenden Leitertemperaturen ausgedruckt. Der Leiter erreicht bei einer Strombelastung von 504 A eine Temperatur von 83.0 °C. Die Abweichung von der mit der Grossrechenanlage ermittelten Leitertemperatur beträgt 0.9 °C. Die Totalverluste pro Kabel betragen dabei 34 W/m. Es wird ersichtlich, dass die Temperatur im dritten Iterationsschritt bereits im Konvergenzintervall von 0.2 °C liegt. Im Programmtest hat sich gezeigt, dass in allen praktischen Fällen in 3 bis 4 Schritten Konvergenz auf die stationäre Temperatur erreicht wird.

Nach Abschluss der Iteration wird die Abweichung von der zulässigen Temperatur angegeben. Auf die nun mögliche Variantenrechnung, z.B. mit geänderter Strombelastung, wurde hier verzichtet.

HAUPTRESULTATE

LEITERTEMPERATUREN:
EPR UND XLPE KABEL
10 BIS 150 KV
APPROXIMATION IEC 287

(1) *XKT
N = 1
U = 20 KV
I = 504 A
Q = 240 MM2
θAMB= 20.0°C
PT = 33 W/M
θL= 80.8°C
PT = 34 W/M
θL= 82.8°C
PT = 34 W/M
θL= 83.0°C
Δθ =-7°C
Δ(%)=-8

(2) KURZSCHLUSS 1 SEC
IK = 35 KA
θK = 208.3°C
Δθ =-41.7°C
Δ(%)=-16.7
KURZSCHLUSS 1 SEC
IK = 40.0 KA
θK = 246.7°C
Δθ =-3.3°C
Δ(%)=-1.3

(3) BELASTUNGS-TAB.

I (A)	θL (C)	PT (W/M)
504	83.0	34.5
100	22.3	1.3
125	23.6	2.0
150	25.1	2.8
175	27.0	3.9
200	29.2	5.1
225	31.6	6.5
250	34.4	8.0
275	37.5	9.7
300	41.0	11.6
325	44.8	13.7
350	48.9	15.9
375	53.4	18.4
400	58.2	21.0
425	63.5	23.9
450	69.1	27.0
475	75.2	30.3
500	81.9	33.9
525	89.0	37.7
550	96.6	41.8

MIT
HOEFLICHER
EMPFEHLUNG
KABELWERKE
* BRUGG AG *

Fig. 7 Hauptresultate

Teil (2) zeigt den Ausdruck der Berechnung der Kurzschlusstemperatur bei einem 1-s-Kurzschlußstrom von 35 kA bzw. 40 kA, ausgehend von der Betriebstemperatur des Leiters. Die Temperaturrechnung erfolgt für jeden Strom in *einem* Schritt unter Angabe der Abweichung vom zulässigen Wert.

Teil (3) zeigt die Leitertemperatur und die Totalverluste in Funktion der Strombelastung. Diese Tabelle wurde mit einem in den Arbeitsspeicher geladenen Steuerprogramm erstellt. Es verwendet das im ROM-Modul enthaltene Kabelerwärmungsprogramm als Subroutine. In gleicher Weise könnten durch einfache Programmänderung im Arbeitsspeicher auch Erdübergangstemperaturen und Schirmströme in Funktion des Belastungsstromes dargestellt werden.

Figur 8 zeigt eine Zusammenstellung der wichtigsten Daten, die vom Kabelerwärmungsprogramm berechnet wurden. Nach Beendigung der Erwärmungsrechnung für die gegebene Kabelanlage wurden diese Daten durch ein weiteres Programm im Arbeitsspeicher ausgegeben. Konstruktionsdaten sowie die Elemente der Ersatzschaltung sind so zum Vergleich verschiedener Kabeltypen oder Verlegevarianten übersichtlich dargestellt. Der hier gezeigte Ausdruck erfolgte nach der ersten Erwärmungsrechnung für eine Belastung von 504 A. Die berechneten Werte der thermischen Ersatzschaltung stimmen mit den auf der Grossanlage ermittelten Werten gut überein.

5. Genauigkeit

Die in umfangreichen Programmtests ermittelten Resultate wurden mit publizierten Werten in [3] und in DIN 57298, 2. Teil, Tabellen 4 + 5 sowie mit Berechnungen mittels einer PRIME-250-Computeranlage verglichen. Dabei wurde eine durchschnittliche Temperaturabweichung < 1 °C festgestellt. Die maximale Temperaturabweichung betrug 2.5 °C.

Bedenkt man, dass es bei der Anlagenplanung vor allem auf die schnelle Abklärung des Einflusses geänderter Betriebs- und Verlegeparameter (Achsdistanzen, geometrische Anordnung, Verlegetiefe, Rohrblockdimensionen, thermische Bodenleitfähigkeiten usw.) oder verschiedener Kabelkonstruktionen ankommt, eine Aufgabe, die mit dem Taschenrechnerprogramm einfach und sicher bewältigt werden kann, darf diese Toleranz gegenüber Rechnungen auf Grossanlagen akzeptiert werden.

6. Schlussfolgerungen

Die besonderen Vorteile eines programmierbaren Taschenrechners lassen sich nutzen, wenn geeignete Programme vorliegen. Mit dem beschriebenen Programm wird der Zeitaufwand zur Berechnung von Kabelerwärmungen und zulässigen Belastungen unter Berücksichtigung verschiedenster Verlegearten so klein, dass für den Planungsingenieur Berechnungen ausführbar sind, die man bisher aus Zeitgründen gescheut hat. Das schnelle Abwickeln eines Rechnungsganges ermöglicht es, in kurzer Zeit mehrere Varianten mit verschiedenen Eingabedaten durchzurechnen. So wird rasch und ohne grossen Aufwand eine optimale Lösung gefunden. Die gegenüber Berechnungen auf Grosscomputern leicht verringerte Genauigkeit wird durch den schnellen Zugriff weitgehend ausgeglichen. Die sorgfältige Projektierung von Kabeltyp und Kabelzubehör erfordert neben dem Rechenaufwand umfangreiche Fachkenntnisse. Dies bereitet all jenen Leuten Schwierigkeiten, die diese Probleme selten bearbeiten. Ein Rechenprogramm, das indi-

Ausdruck (Betriebsart Drucker:"MAN")	Wert	Einheit	Beschreibung
KONSTR.DATEN			
5.00	Ti	mm	Isolationsdicke
19.23	DC	mm	Leiter- } Durchmesser
34.23	DS	mm	Schirm- } Durchmesser
--	DA	mm	Armierung- } Durchmesser
40.23	DE	mm	Kabelaussen- } Durchmesser
150.00	DR	mm	* Einzugsrohr- } Durchmesser
210.00	S	mm	* Achsdistanz
--	TA/TW	mm	Armierungs-/Wellmanteldicke
			* eingegebene Daten
ELEKTR.WERTE			
74.000-06	RO	Ω/m	Gleichstromwiderst. Leiter
524.00-06	RSO	Ω/m	Gleichstromwiderst. Schirm
--	RA/RW	Ω/m	Widerstand Armierg./Wellmantel
--	RHO A/W	Ω/m	spez. Widerstand Armierg./Wellmant
453.43-03	λ_1	-	Verlustfaktor Schirm
--	λ_2	-	" Armierung
128.27+00	IS	A	Schirmstrom
VERLUSTE			
23.71	PL	W/m	Leiterverluste
34.46	PT	W/m	Totalverluste pro Kabel
THERM.DATEN			Therm. Widerstände von:
0.3046	T1	°Cm/W	Isolation (Spickel)
0.0528	T3	°Cm/W	Schutzmantel
1.5651	T4	°Cm/W	Umgebung total
0.6959	T4'	°Cm/W	Luftspalt im Einzugsrohr
0.8692	T4"	°Cm/W	Erdboden
--	T4'''	°Cm/W	Korrektur bei Rohrblock
49.9530	θT	°C	Erdübergangstemperatur
0.0115	YS	-	Skin und Proximity-Effekt
93.34-06	R	Ω/m	Wechselstromwiderstand bei Betriebstemperatur

Fig. 8 Ausdruck des Datenregisters

viduell zur Verfügung steht und durch Dialogsteuerung sichere Dateneingaben und Berechnung erlaubt, kann ein immer wieder neues Einarbeiten ersparen.

Im ROM-Speicherplatz von 4 kByte konnten die Berechnungen maximaler Feldstärke, Kapazitäten und Induktivitäten, Spannungsabfall, Einfluss paralleler Kabelsysteme, zulässiger Erdschlußströme, Berücksichtigung dosierter Bodenaustrocknung, Berücksichtigung anderer Isolationsarten usw. nicht untergebracht werden. Das vorliegende Modul schafft durch Berechnung der Kabelkonstruktion und -verluste jedoch die geeignete Basis für Ergänzungsrechnungen der Kabeltechnik und Wirtschaftlichkeitsanalysen.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen die Zweckmässigkeit der Weiterentwicklung von Kabelberechnungsprogrammen für Taschenrechner, um sie in Form von weiteren ROM-Moduln oder auf Magnetbandkassetten Planern von Kabelanlagen zur Verfügung zu stellen.

Literatur

[1] Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%). Publication de la CEI N° 287.

[2] *P. Bille:* Belastungssimulation von Energiekabeln auf Digital-Rechnern. Mitteilungen der Kabelfabriken Brugg/Cortaillod/Cossonay. –(1976)7, p. 3...14.

[3] Zulässige Belastungen der Hochspannungskabel. Handbuch der Kabelwerke Brugg, Cortaillod, Cossonay, 1980.

[4] Ames des câbles isolés. Deuxième édition. Publication de la CEI N° 228, 1978 et Publication de l'ASE N° 3446, 1979.

Adresse des Autors

H. Nyffenegger, Ing. ETH, lic. oec. publ., Kabelwerke Brugg AG, 5200 Brugg.