



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 721 133 A2

(51) Int. Cl.: H02G 1/02 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 000927/2024

(22) Anmeldedatum: 02.09.2024

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.03.2025

(30) Priorität: 15.09.2023
DE 102023124963.0

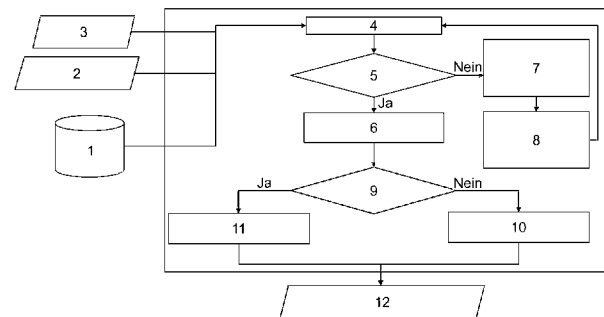
(71) Anmelder:
LTB Leitungsbau GmbH, Friedrich-List-Strasse 27
01445 Radebeul (DE)

(72) Erfinder:
Wolfgang Fröb, 01099 Dresden (DE)
Andreas Roth, 68199 Mannheim (DE)

(74) Vertreter:
Katzarov SA,
Geneva Business Center Avenue des Morgines 12
1213 Petit-Lancy (CH)

(54) Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung, welches zu einem aktuellen oder festgelegten Zeitpunkt eine zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung unter Beachtung einer maximal zulässigen Temperatur des Leiters automatisiert ermittelt und ausgibt. Bei der Berechnung der zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters werden am Leiter beziehungsweise in der unmittelbaren Nähe des Leiters ermittelte klimatische Daten beziehungsweise dritte Parameter (3), Messdaten beziehungsweise zweite Parameter (2) sowie erste Parameter (1), die sich durch die technische Konstruktion ergeben, berücksichtigt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung, bei welchem auf der Grundlage von ersten Parametern, welche technische Daten der Freileitung sind, und zweiten Parametern, welche Messdaten der Freileitung sind, eine zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung ermittelt wird.

[0002] Insbesondere soll die Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters, auch als Leiterseil bezeichnet, einer Freileitung zu einem aktuellen oder festgelegten Zeitpunkt unter Beachtung aktueller klimatischer Daten automatisiert, also ohne einen Eingriff von Personen, erfolgen.

[0003] Derartige zur Übertragung elektrischer Energie vorgesehene Freileitungen umfassen üblicherweise mehrere Leiter, welche entlang mehrerer sogenannter Freileitungsmasten verlaufend angeordnet sein können. Die Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit kann für einen Leiter, mehrere Leiter oder die gesamte Freileitung erfolgen.

[0004] Ziel dieser Ermittlung einer aktuell zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung ist es, die ermittelten Daten für eine optimierte Betriebsführung bereitzustellen. Unter einer derartigen optimierten Betriebsführung versteht man eine verbesserte Auslastung einer Freileitung bei einer Strom- beziehungsweise Energieübertragung. Darunter ist auch eine Verbesserung einer Prognose einer verfügbaren zulässigen Strombelastbarkeit der Freileitung zu verstehen. Damit werden neben den aktuellen Parametern auch die vorhandenen Reserven für die aktuell zulässige Strombelastbarkeit angegeben.

[0005] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, an einer Leitung oder auf einer Leitung einer Freileitung oder in der Umgebung der Freileitung Sensoren anzuordnen, welche aktuelle Zustände, beispielsweise bezüglich einer Temperatur einer Leitung oder eines Durchhangs einer Leitung, ermitteln. Hierzu sind am Markt Produktnamen wie beispielsweise Heimdallpower, ampacimon, Linevision, OMTL, LAKI power oder CAT-1 bekannt.

[0006] Bekannt ist es auch, dass eine Ermittlung einer Temperatur eines Leiters der Freileitung sowohl mittels einer direkten Messung der Temperatur als auch durch eine Rückrechnung, beispielsweise aus einer Seilneigung beziehungsweise eines Durchhangs einer Leitung oder anderen physikalischen Größen, erfolgen kann. Derartige Zusammenhänge können bei bekannten Leiteraufbauten mit Hilfe einfacher mathematischer Zusammenhänge hergestellt werden, da die thermische Längsdehnung des Leiters bei Temperaturänderung eine Änderung der Bogenlänge beziehungsweise des Durchhangs hervorruft. Somit kann zwischen dem Durchhang des Leiters und der durch die klimatischen Umgebungsbedingungen und die Strombelastung hervorgerufenen Temperatur des Leiters ein unmittelbarer Zusammenhang hergestellt werden.

[0007] Bekannt ist es auch, eine Berechnung einer Temperatur eines Leiters einer Leitung beziehungsweise einen Durchhang oder eine Seilneigung unter Berücksichtigung von klimatischen Parametern durchzuführen. Hierzu sind am Markt Veröffentlichungen, wie beispielsweise CIGRÉ Technical Brochure 601 „Guide for the thermal rating of overhead lines“, IEEE-Standard 738 „IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors“, Elektrizitätswirtschaft Webs (1963) oder ETZ Kirn/Palic (1990), bekannt, die thermische Modelle von Leitern in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern beschreiben.

[0008] Die Planung von Freileitungen erfolgt üblicherweise nach Normen mit statischen Werten von klimatischen Daten, welche auch als klimatische Parameter bezeichnet werden, die einen ungünstigen Fall hinsichtlich der Wärmeabgabe vom Leiterseil beachten.

[0009] Zur Ermittlung verschiedener Parameter bezüglich eines Leiters einer Freileitung sowie einer maximalen Stromstärke eines Leiters der Freileitung sind verschiedene Methoden bekannt.

[0010] Aus der DE 10 2010 035 648 A1 ist ein Verfahren zur Kontrolle einer Freileitungsanlage bekannt. Die Aufgabe besteht darin, eine Möglichkeit anzugeben, eine Freileitung im optimalen Auslastungsbereich zu betreiben.

[0011] Die Druckschrift betrifft die Kontrolle der Stromübertragung über eine Freileitung. Um den Betrag der maximal über eine stromführende Leitung einer Freileitungsanlage übertragbaren Stromstärke zu ermitteln, wird auf jedem Mast der Freileitungsanlage eine Sensoreinheit installiert, mit der zumindest die Temperatur und die Windstärke am Ort der Sensoreinheit ermittelbar sind. Der maximale Strombetrag hängt im Wesentlichen vom Durchhang der Leitung und von der Temperatur ab. Anhand der Sensordaten lässt sich ein thermisches Modell der Leitung berechnen, aus welchem die den Betrag des maximalen Stroms beeinflussenden Parameter ableitbar sind, so dass die Leitung zu jedem Zeitpunkt mit dem maximal möglichen Strom belastet werden kann. Die Freileitungsanlage kann also im optimalen Auslastungsbereich betrieben werden. Die Sensoreinheiten sind energieautark ausgebildet und übermitteln die Sensordaten über ein Multi-Hop-Verfahren an eine Zentrale, wo die weitere Auswertung stattfindet.

[0012] Aus der DE 10 2017 201 255 A1 sind eine Vorrichtung und eine Anordnung für eine Zustandsüberwachung einer elektrischen Hoch- oder Mittelspannungsleitung bekannt. Die zu lösende Aufgabe besteht darin, eine Vorrichtung und eine Anordnung für eine Zustandsüberwachung einer elektrischen Hoch- oder Mittelspannungsleitung anzugeben, welche vergleichsweise wartungsarm und kostengünstig einsetzbar ist.

[0013] Zur Lösung wird eine Vorrichtung, aufweisend eine Temperaturmessereinrichtung für ein Messen einer Temperatur der Hoch- oder Mittelspannungsleitung, und eine Kommunikationseinrichtung für ein Übermitteln der gemessenen Tem-

peratur angegeben. Vorgesehen ist weiterhin eine Energieerzeugungseinrichtung für ein Gewinnen elektrischer Energie aus einem elektromagnetischen Feld der Hoch- oder Mittelspannungsleitung. Die Energieerzeugungseinrichtung bietet für die angegebene Lösung den Vorteil, dass auf einen Batteriespeicher zur Energieversorgung verzichtet werden kann, weil die Vorrichtung die für ihren Bedarf benötigte Energie ständig selbsttätig aus der Leitung, an der sie angeordnet ist, entnehmen kann. Daher muss keine Wartung für einen Batteriewechsel oder ein Aufladen einer Batterie durchgeführt werden, für den die Leitung abgeschaltet werden müsste. Dies spart Kosten, erhöht die Verfügbarkeit der Leitung und die Langlebigkeit der Vorrichtung.

[0014] Die DE 10 2019 216 561 A1 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Ermittlung eines Leiterseildurchhangs einer Freileitung. Die zu lösende Aufgabe besteht darin, eine gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Vorrichtung und ein verbessertes Verfahren zur Ermittlung eines Leiterseildurchhangs einer zur Übertragung elektrischer Energie vorgesehenen Freileitung anzugeben.

[0015] Die Vorrichtung zur Ermittlung eines Leiterseildurchhangs einer zur Übertragung elektrischer Energie vorgesehenen Freileitung mit mehreren Freileitungsmasten und an diesen befestigten Leiterseilen umfasst zumindest eine Messvorrichtung. Die Messvorrichtung umfasst zumindest eine Kamera und/oder zumindest eine Wärmebildkamera und zumindest eine Befestigungseinheit, welche derart zur Befestigung der Kamera und/oder Wärmebildkamera an einem Freileitungsmast ausgebildet ist, dass eine Erfassungsrichtung der Kamera und/oder Wärmebildkamera in Richtung eines unmittelbar folgenden Freileitungsmastes verläuft und ein Erfassungsbereich der Kamera und/oder Wärmebildkamera zumindest abschnittsweise die zwischen den Freileitungsmasten verlaufenden Leiterseile und zumindest abschnittsweise den unmittelbar folgenden Freileitungsmast abdeckt. Weiterhin umfasst die Messvorrichtung eine Auswerteeinheit, welche ausgebildet ist, aus zumindest einem mittels der Kamera und/oder Wärmebildkamera erfassten Bild eine Höhe eines niedrigsten Leiterseilpunktes und aus diesem den Leiterseildurchhang zu ermitteln.

[0016] Ein Nachteil des bekannten Standes der Technik besteht darin, dass nur eine Überwachung der Einhaltung von vorgegebenen Grenzen oder Grenzwerten bezüglich einer Temperatur einer Leitung oder bezüglich eines Durchhangs einer Leitung möglich sind.

[0017] Derzeit müssen Eingriffe in den Netzbetrieb unmittelbar erfolgen, wenn Grenzen der statisch zulässigen Strombelastbarkeit oder andere Grenzwerte beim Betrieb der Leitungen der Freileitung überschritten werden. Damit bleibt für das Personal auf der Schaltwarte nur eine kurze Reaktionszeit. Unter dem Begriff einer statisch zulässigen Strombelastbarkeit wird der Wert der Stromstärke verstanden, der mit feststehenden klimatischen Parametern ermittelt wird, die den ungünstigen Fall für diese Parameter darstellen. Die so ermittelten Werte berücksichtigen die höchste zulässige Temperatur eines Leiters sowie der montierten Armaturen im Falle der auftretenden ungünstigsten Werte der klimatischen Parameter im meist normativ festgelegten ungünstigsten Fall.

[0018] Außerdem werden in bisher bekannten Systemen keine Angaben zu einer aktuell möglichen zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters zur optimalen Nutzung von Freileitungen berücksichtigt.

[0019] Somit besteht ein Bedarf nach einem verbesserten Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit von Freileitungen.

[0020] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit von Freileitungen anzugeben, womit es möglich wird, zu einem aktuellen oder festgelegten Zeitpunkt eine zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung unter Beachtung einer maximal zulässigen Temperatur der Freileitung automatisiert zu ermitteln und auszugeben.

[0021] Hierbei soll die ermittelte zulässige Strombelastbarkeit des Leiters der Freileitung zur Optimierung der Betriebsführung in einem Stromübertragungssystem genutzt werden.

[0022] Die maximal zulässige Temperatur eines Leiters (Leiteseil) der Freileitung beschreibt die Temperatur, bei der entweder äußere oder innere Abstände der Freileitung durch zu große Dehnung und damit zu große Durchhänge der Leiteseile nicht eingehalten werden oder eine Temperatur, bei der es zu einer unerwünschten beschleunigten Alterung in den elektrischen Kontakten oder einer bleibenden Änderung der mechanischen Eigenschaften des Leiters kommt.

[0023] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 der selbstständigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

[0024] Verfahrensgemäß erfolgt auf der Grundlage von ersten Parametern, welche technische Daten der Freileitung sind, und zweiten Parametern, welche Messdaten der Freileitung sind, eine Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung.

[0025] Erfindungsgemäß ist es hierfür vorgesehen,

- dass die Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit des Leiters mit dritten Parametern erfolgt, welche klimatische Daten sind,
- dass eine Berechnung einer aktuell maximal zulässigen Temperatur des Leiters erfolgt,

- dass in einem ersten Prüfschritt eine Prüfung der Parameter sowie einer im Verfahrensablauf aktuell gemessenen Temperatur eines Leiters mit der in der Berechnung berechneten maximal zulässigen Temperatur des Leiters auf Einhaltung vorgegebener zulässiger Grenzwerte beziehungsweise Abweichungen erfolgt,
- dass für den Fall, dass im ersten Prüfschritt festgestellt wird, dass vorgegebene zulässige Grenzwerte eingehalten wurden, eine Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters erfolgt,
- dass im zweiten Prüfschritt eine Prüfung der ermittelten zulässigen Strombelastbarkeit auf Einhaltung vorgegebener Grenzen erfolgt und
- dass für den Fall, dass im zweiten Prüfschritt festgestellt wird, dass vorgegebene Grenzen überschritten wurden, ein Wert für eine technisch oder genehmigungsrechtliche maximal zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung und dass ansonsten der in der Ermittlung ermittelte Wert für die zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters an die Ausgabe übertragen und ausgegeben wird.

[0026] Vorgesehen ist es, dass bei der Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung Daten beziehungsweise erste Parameter einer konkreten Anwendung beziehungsweise eines konkreten Aufbaus der Freileitung zugrunde gelegt werden. Derartige technische Daten der Freileitung beziehungsweise erste Parameter sind insbesondere ein Querschnitt beziehungsweise Durchmesser eines Leiters einer Freileitung, ein Material eines Leiters der Freileitung, ein Aufbau eines Leiters der Freileitung mit einem Durchmesser der Einzeldrähte, ein Gleichstromwiderstand eines Leiters der Freileitung, eine Oberflächenbeschaffenheit eines Leiters der Freileitung hinsichtlich Rauigkeit, Emissionsgrad und Absorptionsgrad und äußere Abstände zweier Leiter der Freileitung zueinander sowie zum Boden.

[0027] Weiterhin werden zweite Parameter beziehungsweise Messdaten, wie eine aktuelle Temperatur eines Leiters und ein aktueller Betriebsstrom des Leiters, gemessen beziehungsweise ermittelt. Somit stehen dem Verfahren als Eingangsgrößen beziehungsweise zweite Parameter beispielsweise eine aktuell gemessene Temperatur eines Leiters sowie ein aktueller Betriebsstrom des Leiters zur Verfügung. Ein Ermitteln des Stromes im Leiter könnte beispielsweise in Kenntnis eines Spannungsabfalls über eine bestimmte Länge des Leiters und dem bekannten Widerstand des Leiters, auch als Leitungswiderstand bezeichnet, erfolgen.

[0028] Darüber hinaus ist es vorgesehen aktuelle klimatische Daten beziehungsweise dritte Parameter zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastung eines Leiters zu nutzen. Derartige klimatische Daten beziehungsweise dritte Parameter sind beispielsweise eine Temperatur beziehungsweise Umgebungstemperatur der Luft im Bereich der Leiter der Freileitung, eine Windgeschwindigkeit, ein Windanströmwinkel, eine Globalstrahlung und ein Einstrahlwinkel der Globalstrahlung auf die Leiter der Freileitung. Gemäß einer Definition des Deutschen Wetterdienstes ist die Globalstrahlung die gesamte am Erdboden, auf einer horizontalen Ebene ankommende, kurzweilige, solare Strahlung, also die Summe aus Direktstrahlung (Schatten werfende Strahlung) und Diffusstrahlung auf eine horizontale Fläche. Der Wellenlängenbereich liegt zwischen ca. 0,3 μm und 4 μm .

[0029] Vorgesehen ist bei der Berechnung der zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters die am Leiter beziehungsweise in der unmittelbaren Nähe des Leiters ermittelten klimatischen Daten beziehungsweise dritten Parameter, die Messdaten beziehungsweise zweiten Parameter und die ersten Parameter, die sich durch die technische Konstruktion ergeben, gemeinsam zu berücksichtigen.

[0030] Nach der Berechnung eines oder mehrerer Werte für die zulässige Strombelastbarkeit eines oder mehrerer Leiter in einer Freileitung werden diese Informationen vom Verfahren ausgegeben, beispielsweise zur Optimierung der Auslastung der Freileitung mittels einer übergeordneten Steuer- und Regelungsinstanz.

[0031] Die Beschreibung des Verhaltens des Leiterseils hinsichtlich seines thermischen Verhaltens in Abhängigkeit der Messdaten und Parameter erfolgt in einem Modell, das die Leitertemperatur aus den benannten Größen ermittelt. Das Modell folgt dabei dem Vorgehen, wie es in den Veröffentlichungen der CIGRÉ Technical Brochure 601 beschrieben ist. Mit dem dort beschriebenen Modell zum thermischen Verhalten können dabei sowohl Leitertemperaturen als auch zulässige Strombelastbarkeiten ermittelt werden. Die Grenzen für die Eingabe- und Ausgabewerte des Modells werden durch die vorliegenden Parameter des Leiters und technischen Konstruktion der Freileitung projektkonkret gewählt.

[0032] Innerhalb des beschriebenen Modells erfolgt eine Begrenzung der zulässigen Strombelastbarkeit durch die maximal zulässige Temperatur eines Leiters im betrachteten Abspannabschnitt, also dem Bereich der Freileitung zwischen zwei Abspannmasten, in dem der Leiter mechanisch durchgehend verbunden ist und damit das Verhalten gekoppelt ist, wobei sich die maximal zulässige Temperatur eines Leiters aus Vorgaben hinsichtlich der äußeren Abstände, also der Abstände zu gekreuzten Objekten, Lichtraumprofilen oder dem Erdboden, der zulässigen Belastung der elektrischen Kontakte in Verbindungen in der Freileitung oder angrenzender Betriebsmittel oder der Schutzeinstellung, den Parametern, die für die Abschaltung im Fehlerfall der Freileitung in den Algorithmen der Schutzmechanismen angegeben werden, ergeben.

[0033] Vorgesehen ist es weiterhin, dass eine Prüfung beziehungsweise ein Abgleich des von der Messtechnik ermittelten realen, aktuellen Werts der Temperatur eines Leiters mit dem berechneten Wert für die aktuell maximal zulässige Temperatur des Leiters erfolgt, welcher für die Ermittlung auf den zum Messzeitpunkt zulässigen Betriebsstrom, also der maximal zulässigen Strombelastbarkeit, zugrunde gelegt wird. Die Prüfung der berechneten aktuell maximal zulässigen Tem-

peratur des Leiters und der messtechnisch ermittelten Temperatur des Leiters dient zur Absicherung der grundlegenden Daten für die Berechnung der zulässigen Strombelastbarkeit. Im Rahmen der Prüfung werden auch Ergebnisse erkannt, die aufgrund einer Berechnung außerhalb von vorgegebenen Grenzen des zugrundeliegenden Modells (Modellgrenzen) liegen. Weiterhin werden auch fehlerhafte oder fehlende Eingabewerte oder nicht zulässige Ergebnisse erkannt und diese Informationen vom Verfahren ausgegeben. In diesen Fällen wird dann für weitere Berechnungsschritte auf abgesicherte Werte für die Berechnung zurückgegriffen.

[0034] Die Leitungen der Freileitung werden unter Nutzung statischer und hinsichtlich der Übertragung ungünstiger klimatischer Daten, in der Normung als Hochsommerwetterlage bezeichnet, bemessen beziehungsweise geplant und nachfolgend realisiert. Die zulässige Strombelastbarkeit, die mit diesen Planungswerten ermittelt wird, kann bis auf wenige Minuten im Jahr bei Einhaltung der zulässigen Temperatur der Leiter und seiner unmittelbar berührenden Armaturen als System höher gesetzt werden, da eine Planungsreserve vorliegt.

[0035] Mit Bezug auf die berechnete zulässige Strombelastbarkeit der Leiter kann, je nach Ausrichtung der Freileitung und Lage der Freileitung im Durchschnitt über längere Perioden das 1,2-fache bis 1,8-fache der statisch zulässigen Strombelastbarkeit auf den Leitern der Freileitung realisiert werden, ohne die zulässigen Parameter der Freileitung zu verletzen. Die Grenzeinhaltung der zulässigen Parameter erfordert die Überwachung der auftretenden Temperaturen der Leiter beziehungsweise der Durchhänge der Leiter.

[0036] Insbesondere bei Freileitungen, welche zur Einspeisung von Energie aus Windenergieanlagen vorgesehen sind, können die höheren zulässigen Stromstärken beziehungsweise Reserven bei der Strombelastung insbesondere bei höheren Windgeschwindigkeiten zur verbesserten Energieübertragung im Netz genutzt werden.

[0037] Die beispielsweise durch Wettermessstationen im unmittelbaren Umfeld der Leiter der Freileitung ermittelten aktuellen klimatischen Daten beziehungsweise dritten Parameter sind, wie die ersten Parameter und die zweiten Parameter, Eingangsdaten des vorliegenden Verfahrens und werden verfahrensgemäß rechnerisch verarbeitet, um einen Wert für eine aktuell zulässige Strombelastbarkeit zu berechnen, welcher beispielsweise über eine Ausgangsschnittstelle ausgegeben wird.

[0038] Durch das Verfahren erfolgt in einem zweiten Prüfschritt eine Prüfung, ob vorgegebene Grenzwerte beziehungsweise Grenzen, welche im zugrundeliegenden Modell hinterlegt sind, überschritten werden. Ein derartiger Grenzwert kann beispielsweise ein zulässiger Durchhang eines Leiters, eine maximale Temperatur eines Leiters oder ein maximaler Betriebsstrom eines Leiters sein. Derartige Grenzen können technische Grenzen zum Betrieb der Leitung oder durch Genehmigungen vorgegebene beziehungsweise gesetzte Grenzen sein.

[0039] Vorgesehen ist es weiterhin, dass für den Fall, dass im ersten Prüfschritt mindestens ein vorgegebener zulässiger Grenzwert überschritten wurde, im Schritt 7 die Überschreitung mindestens eines Grenzwerts ausgewiesen wird und im Schritt 8 eine erneute Berechnung der Leitertemperatur mit abgesicherten einzelnen Werten aus anderen Quellen erfolgt und dass die derart berechnete Leitertemperatur an die Berechnung übergeben wird.

[0040] Bei einem Erkennen von Fehlern, wie einer Überschreitung von vorgegebenen Grenzwerten oder fehlender Eingangsgrößen für das Verfahren wird ein Fehlersignal erzeugt und ausgegeben, welches eine Angabe zum aufgefundenen Fehlergrund beinhaltet. Bei einem Auftreten eines derartigen Fehlers können beispielsweise fehlende Eingangsgrößen beziehungsweise Parameter für das Verfahren ergänzt und die verfahrensgemäße Berechnung der zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters neu gestartet werden.

[0041] Als besonders vorteilhaft erwiesen hat es sich, dass eine Plausibilitätskontrolle der Parameter und der im Verfahrensablauf in der Berechnung berechneten maximal zulässigen Temperatur des Leiters ermittelten Werte bei der Berechnung erfolgt, indem Grenzen eines physikalischen Modells zu Ähnlichkeitskriterien oder den klimatischen Parametern beachtet werden und wobei ein Fehlen von Daten erkannt wird.

[0042] Bei einer derartigen Plausibilitätskontrolle wird die Einhaltung vorgegebener zulässiger Grenzwerte der ersten, zweiten und dritten Parameter in der Berechnung beziehungsweise dem zugrundeliegenden Modell selbst als auch der Eingangswerte kontrolliert. Derartige Grenzwerte im vorliegenden Verfahren sind beispielsweise eine Windgeschwindigkeit in Kombination mit einer Windrichtung, Bereiche für Ähnlichkeitskriterien für dimensionslose Größen, wie eine Nußelt-Zahl oder eine Prandtl-Zahl oder eine Reynolds-Zahl. Beispielsweise in CIGRÉ Technical Brochure 601 sind derartige Grenzen eines zugrundeliegenden physikalischen Modells benannt.

[0043] Einige Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend aufgezählt:

- Die Erfindung ermöglicht einen optimalen Betrieb von Freileitungen, wie Hochspannungsfreileitungen, da neben Werten zur aktuellen Temperatur eines Leiters und dem ermittelten Durchhang eines Leiters zwischen zwei Masten der Freileitung die zulässige Strombelastbarkeit des Leiters zum Messzeitpunkt auf Grundlage komplexer, miteinander in Wechselwirkung stehender Parameter, wie klimatischen Daten, ermittelt wird und so eine aktuelle Reserve der Strombelastbarkeit genauer ermittelt werden kann.
- Durch den Einsatz des Verfahrens kann die Stromeinspeisung beispielsweise aus sogenannten erneuerbaren Energien mit größerer Zuverlässigkeit in bestehende Netze erfolgen. Die Einhaltung der vorgegebenen zulässigen

Grenzen bei der Strombelastbarkeit von Freileitungen ist aufgrund einer genaueren Angabe der Reserve besser zu handhaben. Somit können derzeit notwendige Abregelungen bei erneuerbaren Energien auf Kosten der Verbraucher bei Einhaltung zulässiger Werte weiter minimiert werden.

- Mit dem Verfahren können Entscheidungen zu Leitungsneubauten durch eine Überwachung und bessere Ausnutzung im Rahmen der vorhandenen Grenzen der Materialeigenschaften optimiert werden. Mit den Informationen aus dem laufenden Netzbetrieb und deren anschließender statistischer Auswertung können datenbasierte Entscheidungen bezüglich der Netzausbauplanung erfolgen oder verbessert werden.

[0044] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile von Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen mit Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1: eine Übersicht der Bestandteile des Verfahrens zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit und

Fig. 2: eine auszugsweise Übersicht von im Verfahren genutzter Konstanten und Werte.

[0045] In der **Figur 1** ist eine Übersicht der Bestandteile des Verfahrens zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit dargestellt.

[0046] Zu den Eingangsdaten des Verfahrens gehören erste Parameter 1, wie beispielsweise ein Querschnitt beziehungsweise Durchmesser eines Leiters der Freileitung, ein Material eines Leiters, ein Aufbau eines Leiters, ein Gleichstromwiderstand eines Leiters, eine Oberflächenbeschaffenheit eines Leiters und äußere Abstände zweier Leiter zum Boden, zu gekreuzten Objekten oder Lichttraumprofilen, welche einen freizuhaltenden Bereich in der Nähe der Freileitung beschreiben.

[0047] Weiterhin werden verfahrensgemäß zweite Parameter 2 benötigt. Derartige zweite Parameter 2 sind eine aktuelle Temperatur eines Leiters und ein aktueller Betriebsstrom des Leiters.

[0048] Klimatische Daten, wie eine Temperatur beziehungsweise Umgebungstemperatur der Luft im Bereich der Leiter der Freileitung, eine Windgeschwindigkeit, ein Windanströmwinkel oder eine Globalstrahlung, werden im Verfahren als dritte Parameter 3 verarbeitet.

[0049] Im Verfahrensablauf erfolgt eine Berechnung 4 einer aktuell maximal zulässigen Temperatur eines Leiters (Leitertemperatur) beziehungsweise Leiterseils der Freileitung mit den ersten Parametern 1, den zweiten Parametern 2 und den dritten Parametern 3. Hiermit wird die Nichtlinearität der gegenseitigen Abhängigkeit der Parameter berücksichtigt. Die Berechnung der Leitertemperatur erfolgt iterativ, bis die Temperatur des Leiters bei den Parametern eine ausgeglichene Bilanz von zugeführter und abgeführter Wärmeleistung aufweist. Die Berechnung erfolgt gemäß der Veröffentlichung CIGRÉ Technical Brochure 601 „Guide for the thermal rating of overhead lines“, IEEE-Standard 738 „IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors“, sowie dem Algorithmus nach Elektrizitätswirtschaft Webs (1963) oder ETZ Kirn/Palic (1990).

[0050] Auf der Grundlage dieser ermittelten aktuell maximal zulässigen Temperatur eines Leiters wird in einem ersten Prüfschritt 5 eine Prüfung beziehungsweise Plausibilitätskontrolle durchgeführt. Die Verfahrensschritte werden nachfolgend gegebenenfalls verkürzt als Schritt mit entsprechenden Bezugszeichen benannt. Bei einer derartigen Prüfung wird die Einhaltung vorgegebener zulässiger Grenzwerte der Parameter in der Berechnung beziehungsweise dem zugrundeliegenden Modell selbst als auch der Eingangswerte kontrolliert. Derartige Grenzwerte im vorliegenden Verfahren sind eine Windgeschwindigkeit in Kombination mit einer Windrichtung, Bereiche für Ähnlichkeitskriterien für dimensionslose Größen, wie eine Nußelt-Zahl oder eine Prandtl-Zahl oder eine Reynolds-Zahl.

[0051] Bei der Feststellung der Überschreitung eines oder mehrerer Grenzwerte im ersten Prüfschritt 5 wird die Zuverlässigkeit der zugrunde gelegten Berechnungen der Übertragung im Schritt 7 ausgewiesen und mit abgesicherten, einzelnen Werten aus anderen Quellen eine erneute Berechnung im Schritt 8 durchgeführt oder mit den statisch nach Norm gesicherten Werten eine erneute Berechnung vorgenommen. Das Ergebnis der Neuberechnung 8 wird zum Schritt 4 (Berechnung) zurückgeführt, wobei in diesem Fall das Ergebnis der Neuberechnung 8 den Ausgabewert des Schritts 4 darstellt und im Schritt 4 keine Berechnung der maximal zulässigen Temperatur des Leiters erfolgt.

[0052] Hierbei sind abgesicherte einzelne Werte aus anderen Quellen, wie weiter entfernten Messstellen, beispielsweise eine Lufttemperatur, eine Globalstrahlung oder ähnliche Werte, die einen geringeren örtlichen Gradienten der Änderung aufweisen, umfasst. Alternativ werden statische Werte einer Norm, wie eine Lufttemperatur, eine Windgeschwindigkeit oder eine Globalstrahlung genutzt, welche ungünstige Annahmen abbilden und beispielsweise als Hochsommerwetterlage in der VDE 0210-2-4 benannt werden.

[0053] Wird im ersten Prüfschritt 5 festgestellt, dass die vorhergehenden Verfahrensschritte ohne Fehler abgearbeitet worden sind, kann nachfolgend die verfahrensgemäße Ermittlung 6 der zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung erfolgen. Bei dieser Ermittlung 6 wird mit den klimatischen Daten beziehungsweise den dritten Parametern 3, deren Zulässigkeit in den vorangegangenen Schritten bestätigt wurde, eine iterative Berechnung der zulässigen Strombelastbarkeit bis zur maximal zulässigen Leitertemperatur unter den vorliegenden klimatischen Bedingungen durchge-

führt. Die Rechnung muss iterativ erfolgen, da die Zusammenhänge der verknüpften Parameter nicht-linear sind. Die Berechnung erfolgt dabei nach der Veröffentlichung CIGRÉ Technical Brochure 601 „Guide for the thermal rating of overhead lines“, IEEE-Standard 738 „IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors“, dem Algorithmus nach Elektrizitätswirtschaft Webs (1963) oder ETZ Kirn/Palic (1990), die alle auf dem Prinzip einer ausgeglichenen Bilanz zu- und abgeführter Wärmeenergie basieren.

[0054] In einem nachfolgenden zweiten Prüfschritt 9 erfolgt eine weitere Prüfung, bei welcher eine Einhaltung vorgegebener Grenzen überprüft werden. Derartige vorgegebene Grenzen sind technische Grenzen zum Betrieb der Leitung, wie die maximal zulässige Strombelastbarkeit der Leitungen der Freileitung aufgrund der Auslegung der Verbindungen oder der Dimensionierung von Betriebsmitteln in den, die Freileitung begrenzenden, Umspannwerken oder eine durch amtliche Genehmigungen gesetzte Grenze, wie eine maximal zulässige Strombelastung oder der aufgrund anderer technischer begrenzender Notwendigkeiten begrenzte zulässige Betriebsstrom.

[0055] Wird im zweiten Prüfschritt 9 festgestellt, dass keine Überschreitung der vorgegebenen Grenzen wie der maximal zulässigen Strombelastbarkeit der Leitung der Freileitung erfolgt, wird der gemäß Ermittlung 6 erzeugte beziehungsweise ermittelte Wert für die zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters als Ausgabewert im Schritt 10 festgelegt.

[0056] Wird im zweiten Prüfschritt 9 festgestellt, dass eine Überschreitung der vorgegebenen Grenzen erfolgt ist, wird im Schritt 11 der Wert für eine technisch oder genehmigungsrechtliche maximale Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung als Ausgabewert festgelegt.

[0057] In einem Verfahrensschritt der Ausgabe 12 wird entweder der im Schritt 10 oder 11 festgelegte oder ermittelte Wert für die zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung ausgegeben. Diese Ausgabe 12 erfolgt vorzugsweise über eine geeignete Schnittstelle. Als Schnittstellen können beispielsweise Schnittstellen, wie eine Datenschnittstelle, in einer Funktion beziehungsweise Unterfunktion eines Programms oder eine direkte Einbindung in die Leittechnik einer Schaltwarte via normierten Protokoll nach IEC-Norm genutzt werden.

[0058] In der **Figur 2** ist eine auszugsweise Übersicht von im Verfahren genutzter Konstanten und Werte dargestellt.

[0059] Die Übersicht beinhaltet allgemein die bekannte Stefan-Boltzmann-Konstante. Als projektbezogene Werte beziehungsweise erste Parameter 1 sind ein Leiterdurchmesser (Durchmesser eines Leiters), ein Drahtdurchmesser eines Drahts des Leiters, ein Gleichstromwiderstand eines Leiters bei einer Temperatur von 20°C, ein Absorptionsfaktor eines Leiters, ein Emissionsfaktor eines Leiters, eine Höhe der Freileitung über einer Referenzhöhe (beispielsweise NN), ein spezifischer Materialwiderstand eines Leiters der Freileitung, ein Widerstandstemperaturkoeffizient eines Leiters, ein quadratischer Widerstandstemperaturkoeffizient eines Leiters, eine Netzfrequenz der über einen Leiter übertragenen Spannung und eine relative Permeabilität eines beispielhaften Leiters aus Aluminium angegeben. Bekannt ist es, dass die relative Permeabilität abhängig vom Aufbau des Leiters und vom Querschnittsverhältnis von Aluminium zu Stahl im Leiter ist.

[0060] Als im Verfahren berechneter projektbezogener Wert ist eine Oberflächenrauigkeit eines Leiters angegeben.

[0061] Werte, welche dritte Parameter 3 darstellen und zumindest teilweise messtechnisch ermittelt werden sind eine Umgebungstemperatur, eine auf einen Leiter einwirkende Globalstrahlung, eine Windgeschwindigkeit und ein Angriffswinkel des Winds in einem Winkel zwischen 0 und 90° zum Leiter. Darüber hinaus wird auch ein Strom für einen Leiter der Freileitung, welcher ein zweiter Parameter 2 ist, ermittelt.

[0062] Nachfolgend werden anhand von vier Beispielen verschiedene Szenarien im Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit dargestellt.

Beispiel 1:

Ermittelte zweite Parameter 2 (Messdaten):

[0063]

Betriebsstrom:	250 A
gemessene Leitertemperatur:	29,8°C (das sind beispielhafte Annahmen in Anlehnung an reale Messreihen)

Ermittelte dritte Parameter 3 (klimatische Daten):

[0064]

Umgebungstemperatur:	20°C
Anströmwinkel Wind:	70°
Windgeschwindigkeit:	1,2 m/s
Globalstrahlung:	700 W/m ²

Ermittlung der Leitertemperatur im Schritt Berechnung 4:

[0065]

Ermittelte Leitertemperatur: 29,46 °C nach CIGRÉ Technical Brochure 601

Ergebnis nach dem ersten Prüfschritt 5:

Die Modellparameter wurden eingehalten!

[0066] Begründung: Die in CIGRÉ Technical Brochure 601 benannten Grenzen des physikalischen Modells für Nußelt-Zahl, Reynolds-Zahl und Prandtl-Zahl sind eingehalten worden. Die Berechnung hat im Rahmen der iterativen Berechnung ein Ergebnis erbracht, die Ergebnisse der einzelnen Berechnungsschritte konvergierten.

Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit in Schritt 6:

[0067] Die ermittelte, thermisch zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung beträgt gemäß Berechnung mit dem Algorithmus 890,2 A, basierend auf CIGRÉ Technical Brochure 601.

[0068] Dieses Ergebnis gilt unter der Voraussetzung, dass die Freileitung und angrenzende Betriebsmittel sowie eine zugehörige Steuereinheit für einen Strom von 1000 A auf der Freileitung ausgelegt sind.

[0069] Durch das Verfahren wird festgestellt, dass die Begrenzung des Systems (Freileitung) mit der im Schritt 6 ermittelten zulässigen Strombelastbarkeit von 890,2 A nicht überschritten wird. Somit wird verfahrensgemäß eine zulässige Strombelastbarkeit für eine Leitung der Freileitung zum aktuellen Zeitpunkt von 890 A ausgegeben beziehungsweise beispielsweise an eine Schaltwarte übergeben.

Beispiel 2:

Ermittelte zweite Parameter 2 (Messdaten):

[0070]

Betriebsstrom:	600 A
gemessene Leitertemperatur:	5,6°C

Ermittelte dritte Parameter 3 (klimatische Daten):

[0071]

Umgebungstemperatur:	0°C
Anströmwinkel Wind:	80°
Windgeschwindigkeit:	5 m/s
Globalstrahlung:	50 W/m ²

Ermittlung der Leitertemperatur im Schritt Berechnung 4:

[0072]

Ermittelte Leitertemperatur: 6,2 °C

Ergebnis nach dem erstem Prüfschritt 5:

Die Modellparameter wurden eingehalten!

[0073] Begründung: In CIGRÉ Technical Brochure 601 benannte Grenzen des physikalischen Modells für Nußelt-Zahl, Reynolds-Zahl und Prandtl-Zahl sind eingehalten worden. Die Berechnung hat im Rahmen der iterativen Berechnung ein Ergebnis erbracht, die Ergebnisse der einzelnen Berechnungsschritte konvergierten.

Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit in Schritt 6:

[0074] Die ermittelte zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung beträgt nach Berechnung mit dem Algorithmus 1813 A, basierend auf CIGRÉ Technical Brochure 601.

[0075] Da gemäß den angenommenen Voraussetzungen die Freileitung und angrenzende Betriebsmittel sowie eine zugehörige Steuereinheit für einen Strom von 1000 A auf der Freileitung ausgelegt sind, wird im Schritt 9 ermittelt, dass die Begrenzung des Systems (Freileitung) überschritten wurde.

[0076] Somit wird im Schritt 11 ein Wert für eine technisch oder genehmigungsrechtliche maximale Strombelastbarkeit der Leitung für den aktuellen Zeitpunkt von 1000 A ausgegeben beziehungsweise beispielsweise an eine Schaltwarte übergeben.

Beispiel 3:

Ermittelte zweite Parameter 2 (Messdaten):

[0077]

Betriebsstrom:	20 A
gemessene Leitertemperatur:	0,1°C

Ermittelte dritte Parameter 3 (klimatische Daten):

[0078]

Umgebungstemperatur:	0°C
Anströmwinkel Wind:	3°
Windgeschwindigkeit:	12 m/s
Globalstrahlung:	50 W/m ²

Ermittlung der Leitertemperatur im Schritt Berechnung 4:

[0079]

Ermittelte Leitertemperatur:	3,5 °C
------------------------------	--------

Ergebnis nach dem erstem Prüfschritt 5:

[0080] Die Modellparameter wurden nicht eingehalten.

[0081] Begründung: Die Ähnlichkeitskriterien wurden nicht eingehalten. Die Reynolds-Zahl liegt außerhalb der zulässigen Modellparameter. Sie ist im konkreten Fall zu groß für die Rauigkeit der Leiteroberfläche.

[0082] Es erfolgt eine erneute Berechnung der Leitertemperatur im Schritt 4 mit einer abgesenkten Windgeschwindigkeit, weil eine Überschreitung des Modellbereiches für die Reynolds-Zahl vorliegt und bekannt ist, dass bei hohen Windgeschwindigkeiten bei geringem Anströmwinkel die Modellkriterien verletzt werden.

erneute Ermittlung der Leitertemperatur im Schritt Berechnung 4:

[0083]

Ermittelte Leitertemperatur:	0,2 °C
------------------------------	--------

[0084] Die Rechnung ist auf der sicheren Seite, da konvektive Leistungsabfuhr unterschätzt wird, da eine geringere als die gemessene mithin vorliegende Windgeschwindigkeit für die Berechnung herangezogen wird.

Ergebnis nach dem erstem Prüfschritt 5:

[0085] Die Modellparameter wurden eingehalten.

Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit in Schritt 6:

[0086] Die ermittelte zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung beträgt 1529 A.

[0087] Da gemäß den angenommenen Voraussetzungen die Freileitung und angrenzende Betriebsmittel sowie eine zugehörige Steuereinheit für einen Strom von 1000 A auf der Freileitung ausgelegt sind, wird im Schritt 9 ermittelt, dass die Begrenzung des Systems (Freileitung) überschritten wurde.

[0088] Somit wird im Schritt 11 ein Wert für eine technisch oder genehmigungsrechtlich maximale Strombelastbarkeit der Leitung für den aktuellen Zeitpunkt von 1000 A ausgegeben beziehungsweise beispielsweise an eine Schaltwarte übergeben.

[0089] Es wird zudem die Absenkung der Windgeschwindigkeit für die Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters übergeben.

Beispiel 4:

Ermittelte zweite Parameter 2 (Messdaten):

[0090]

Betriebsstrom:	600 A
gemessene Leitertemperatur	78°C

Ermittelte dritte Parameter 3 (klimatische Daten):

[0091]

Umgebungstemperatur:	35°C
Anströmwinkel Wind:	25°
Windgeschwindigkeit:	0,6 m/s
Globalstrahlung:	900 W/m ²

Ermittlung der Leitertemperatur im Schritt Berechnung 4:

[0092]

Ermittelte Leitertemperatur	NDef °C (Fehler bei der Berechnung)
-----------------------------	-------------------------------------

Ergebnis nach dem erstem Prüfschritt 5:

[0093] Modellparameter wurden nicht eingehalten.

[0094] Eine eindeutige Zuordnung der Ursache bei der fehlerhaften Berechnung zur Beschränkung im Modellbereich ist nicht möglich.

[0095] Somit wird im Schritt 11 ein Wert für eine technisch oder genehmigungsrechtlich maximale Strombelastbarkeit der Leitung für den aktuellen Zeitpunkt von 1000 A ausgegeben beziehungsweise beispielsweise an eine Schaltwarte übergeben. Bei Zugrundelegung der DIN EN 50182 beträgt die Strombelastbarkeit der Leitung 645 A.

[0096] Dieses Ergebnis von 645 A wird unter der Voraussetzung, dass die Freileitung und angrenzende Betriebsmittel sowie eine zugehörige Steuereinheit für einen Strom von 1000 A auf der Freileitung ausgelegt sind, als zulässige Strombelastbarkeit für eine Leitung der Freileitung zum aktuellen Zeitpunkt ausgegeben beziehungsweise beispielsweise an eine Schaltwarte übergeben.

[0097] Es wird zudem die Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit der Leiter als Referenz auf Normwerte übergeben. Weitere Berechnungen mit abgesicherten Daten sind möglich, wenn weitere Messeinrichtungen im Bereich von Schritt 8 angebunden sind, die aufgrund ihrer Lage aber eine geringere Genauigkeit aufweisen.

Bezugszeichenliste

[0098]

- 1 erste Parameter
- 2 zweite Parameter
- 3 dritte Parameter
- 4 Berechnung (aktuelle Temperatur des Leiters)
- 5 erster Prüfschritt (Einhaltung zulässiger Grenzwerte)
- 6 Ermittlung (zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters)
- 7 Ausweisschritt
- 8 Neuberechnung
- 9 zweiter Prüfschritt (Systemgrenzen überschritten)
- 10 festgelegter Wert für Ausgabe
- 11 maximaler Wert für Ausgabe
- 12 Ausgabe ermittelter Wert für die zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung, bei welchem auf der Grundlage von ersten Parametern (1), welche technische Daten der Freileitung sind, und zweiten Parametern (2), welche Messdaten der Freileitung sind, eine zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters einer Freileitung ermittelt wird, **dadurch gekennzeichnet,**

- dass die Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit des Leiters mit dritten Parametern (3) erfolgt, welche klimatische Daten sind,
 - dass eine Berechnung (4) einer aktuell maximal zulässigen Temperatur des Leiters erfolgt,
 - dass in einem ersten Prüfschritt (5) eine Prüfung der Parameter (1, 2, 3) sowie einer im Verfahrensablauf aktuell gemessenen Temperatur eines Leiters mit der in der Berechnung (4) berechneten maximal zulässigen Temperatur des Leiters auf Einhaltung vorgegebener zulässiger Grenzwerte beziehungsweise Abweichungen erfolgt,
 - dass für den Fall, dass im ersten Prüfschritt (5) festgestellt wird, dass vorgegebene zulässige Grenzwerte eingehalten wurden, eine Ermittlung (6) der zulässigen Strombelastbarkeit eines Leiters erfolgt,
 - dass im zweiten Prüfschritt (9) eine Prüfung der ermittelten zulässigen Strombelastbarkeit auf Einhaltung vorgegebener Grenzen erfolgt und
 - dass für den Fall, dass im zweiten Prüfschritt (9) festgestellt wird, dass vorgegebene Grenzen überschritten wurden, ein Wert (11) für eine technisch oder genehmigungsrechtlich maximal zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters der Freileitung und dass ansonsten der in der Ermittlung (6) ermittelte Wert für die zulässige Strombelastbarkeit eines Leiters an die Ausgabe (12) übertragen und ausgegeben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** erste Parameter (1) ein Querschnitt beziehungsweise Durchmesser eines Leiters, ein Material eines Leiters, ein Aufbau eines Leiters, ein Gleichstromwiderstand eines Leiters, eine Oberflächenbeschaffenheit eines Leiters und äußere Abstände zweier Leiter zueinander sowie zum Boden sind.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zweite Parameter (2) eine aktuelle Temperatur eines Leiters der Freileitung und ein aktueller Betriebsstrom des Leiters sind.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** dritte Parameter (3) eine Temperatur beziehungsweise Umgebungstemperatur, eine Windgeschwindigkeit, ein Windanströmwinkel, eine Globalstrahlung oder ein Einstrahlwinkel der Globalstrahlung sind.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Plausibilitätskontrolle der Parameter (1, 2, 3) und der im Verfahrensablauf in der Berechnung (4) berechneten maximal zulässigen Temperatur des Leiters erfolgt, indem Grenzen eines physikalischen Modells zu Ähnlichkeitskriterien oder den klimatischen Parameter beachtet werden und wobei ein Fehlen von Daten erkannt wird.
 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** im zweiten Prüfschritt (9) eine Prüfung auf eine Überschreitung vorgegebener Grenzen erfolgt, welche technische Grenzen zum Betrieb der Leitung oder durch Genehmigungen gesetzte Grenzen sind.
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Fall, dass im ersten Prüfschritt (5) mindestens ein vorgegebener zulässiger Grenzwert überschritten wurde, im Ausweisschritt (7) die Überschreitung mindestens eines Grenzwerts ausgewiesen wird und im Schritt Neuberechnung (8) eine erneute Berechnung der Leitertemperatur mit abgesicherten einzelnen Werten aus anderen Quellen erfolgt und dass die derart berechnete Leitertemperatur an die Berechnung (4) übergeben wird.

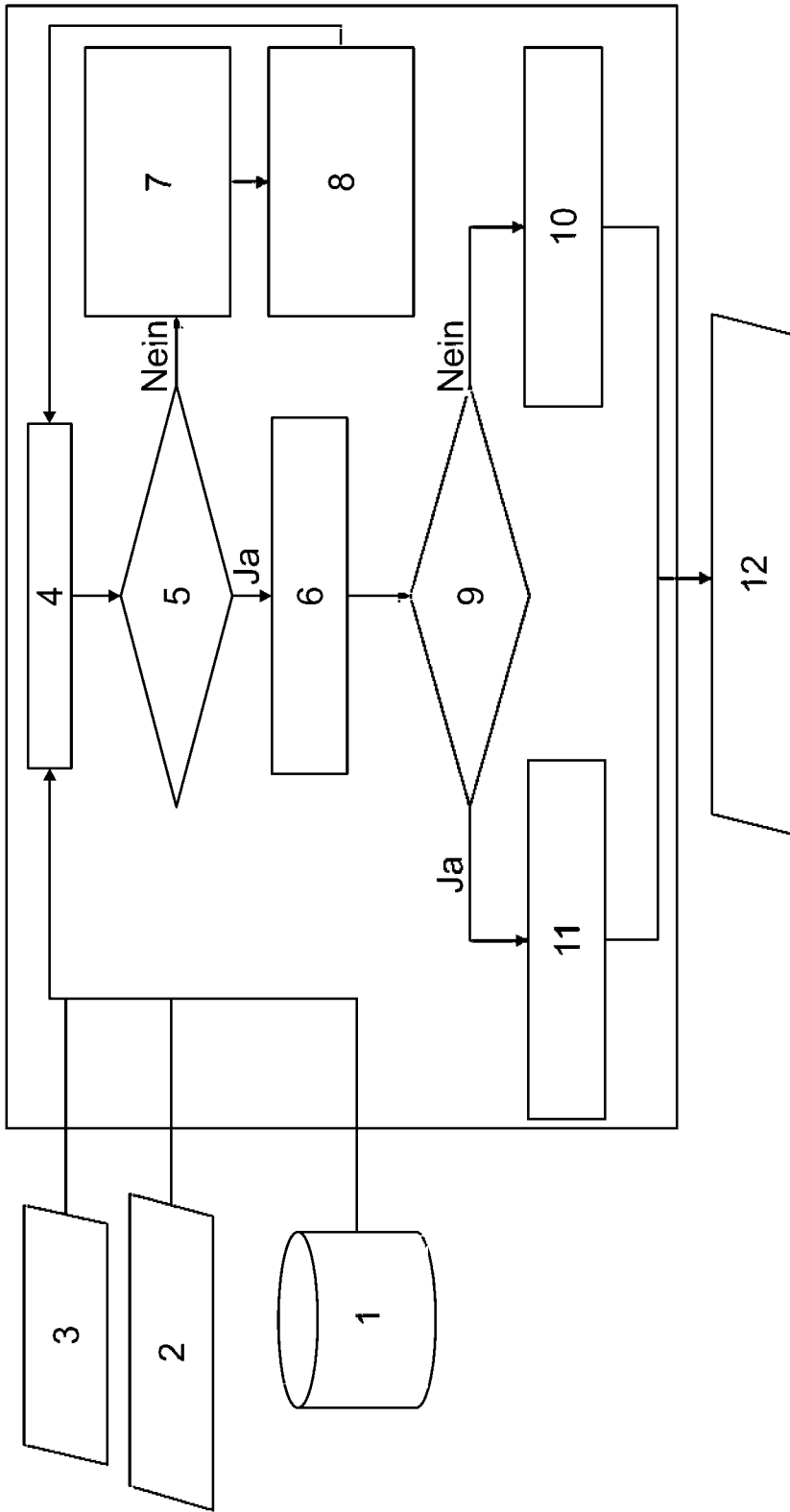


Fig. 1

Konstanten allgemein

Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Stefan-Boltzmann-Konstante	σ_b	$5,670367 \cdot 10^{-8}$	W/(m ² *K ⁴)

Werte projektbezogen

Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Leiterdurchmesser	D	21,7	mm
Drahtdurchmesser Aussenlage	DI	3,4	mm
Gleichstromwiderstand Leiter bei 20°C	Rdc20	0,123	Ω/km
Absorptionsfaktor	α_s	0,9	-
Emissionsfaktor	ϵ_s	0,9	-
Höhe über NN	γ_u	200	m
Spez. Materialwiderstand	ρ	$28,265 \cdot 10^{-9}$	Ωm
Widerstandstemperaturkoeffizient	α_{20}	0,00403	1/K
quadratischer Widerstandstemperaturkoeffizient	ξ_{20}	0,0000008	1/K ²
Netzfrequenz	f	50	Hz
Relative Permeabilität (Aluminium) [Abhängig vom Aufbau des Leiters / Querschnittsverhältnis Aluminium/Stahl]	μ_r	1	-

Berechnete Werte projektabhängig

Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Oberflächenrauigkeit Leiter	Rs	0,093	-

Werte aus Messung

Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Strom (Teil-)Leiter	Ik		A
Umgebungstemperatur	T		°C
Globalstrahlung	Ps		W/m ²
Windgeschwindigkeit	v		m/s
Angriffswinkel Wind (0-90° zum Leiter)	δ		°

Fig. 2