

(19)



(11)

**EP 3 850 154 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**30.11.2022 Patentblatt 2022/48**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**E01B 7/24 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **19787440.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**E01B 7/24**

(22) Anmeldetag: **16.09.2019**

(86) Internationale Anmeldenummer:

**PCT/IB2019/057768**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

**WO 2020/053842 (19.03.2020 Gazette 2020/12)**

(54) **VERFAHREN UND STEUEREINRICHTUNG ZUR STEUERUNG UND REGELUNG EINER WEICHENHEIZUNG**

METHOD AND CONTROL DEVICE FOR OPEN-LOOP AND CLOSED-LOOP CONTROL OF A POINTS HEATING SYSTEM

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE CONTRÔLE POUR COMMANDER ET RÉGULER UN CHAUFFAGE D'AIGUILLAGE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(72) Erfinder: **REINKER, Wolfgang**

**04651 Bad Lausick (DE)**

(30) Priorität: **16.09.2018 DE 102018007263**

(74) Vertreter: **Völger, Karl Wolfgang**

**KNPP-Knigge Nourney Völger Böhm Hoffmann-von Wolfersdorff - Rechts- und Patentanwälte Wirtschaftsmediation PartGmbB Groß-Gerauer Weg 55 64295 Darmstadt (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**21.07.2021 Patentblatt 2021/29**

(73) Patentinhaber: **EAN Elektroschaltanlagen**

**Grimma GmbH 04668 Grimma (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**WO-A1-2010/115436 WO-A1-2018/050141 US-B2- 9 353 486**

**EP 3 850 154 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung**

5 [0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Steuereinrichtung zur Steuerung und Regelung einer Weichentemperatur einer Weichenheizung, insbesondere in Abhängigkeit von Witterung, Schienenprofil und Stellung der beweglichen Zungenschiene durch Berechnung und Bewertung der realen Weichentemperaturen an funktionsrelevanten Stellen der Weiche im Winter an mindestens einem Weichensegment zwischen Weichenspitze und Weichenende.

10 [0002] Fahrweegelemente, insbesondere Weichen, von schienengebundenen Fahrzeugen wie Eisenbahnen (Vollbahnen, Nebenbahnen, Schmalspurbahnen) oder Straßenbahnen werden mit Weichenheizungen bedarfsabhängig beheizt, um vor allem im Winter ein Einfrieren der beweglichen Teile bzw. deren Blockieren durch eingedrungenen Schnee und Eis zu verhindern und damit die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Bekannte Weichenheizungen beruhen auf Systemen mit Heißwasserdampf, Gasbeheizung oder elektrischer Energie.

15 [0003] Durch Weichenheizungen soll im Winter Schnee zwischen den Schienen der Weichen geschmolzen und das Festfrieren der beweglichen Zungenschiene an der festen Backenschiene und den Gleitstuhlplatten sowie das Zusammenpressen von Schnee zwischen den Schienen vermieden werden. Dazu werden Heizeinrichtungen mit spezifischer Leistung von beispielsweise 330 W pro Meter Schiene an den festen Backenschienen der Weiche angeordnet, und bei entsprechender Witterung wird die Heizung durch eine Wetterstation in Betrieb gesetzt und damit die Backenschiene am Standort des Weichentemperatursensors der Weiche bis auf eine Weichensolltemperatur in Zweipunktregelung mit Hysterese erwärmt.

20 [0004] Die Regelung solcher Weichenheizungen erfolgt herkömmlicherweise mittels eines Weichentemperatursensors an einer zentralen Weiche, der aufgrund der Funktion der Weiche an der unteren Fläche am Backenschienenfuß angeordnet ist. Hierbei besteht der Nachteil, dass im Betrieb nur am Standort des Weichentemperatursensors die Weichentemperatur der Weichensolltemperatur entspricht und die übrigen Teile der Weiche witterungsabhängige und von der Stellung der Zungenschiene, die an der Backenschiene anliegend oder abliegend sein kann, sowohl Temperaturdefizite als auch Temperaturüberschüsse auftreten können, die entweder zum Festfrieren und damit Versagen der Weiche oder zu hohem (unnötigen) Energieverbrauch führen.

25 [0005] Die herkömmlichen Weichenheizungen werden derzeit bei Heizanforderung mit 100 % spezifischer Leistung eingeschaltet und nach Erreichen der Weichensolltemperatur bis zum Erreichen einer Hysterese der realen Weichentemperatur abgeschaltet und wieder eingeschaltet. Die Folge im Heizbetrieb sind Leistungsspitzen zwischen Null und Maximalwert und maßgebliche Temperaturunterschiede den Backenschienen, Zungenschienen und Gleitstuhlplatten der rechten Seite und linken Seite sowie über die Länge der Weiche. Eine sichere Funktion der Weichen im Winter, insbesondere bei Wetterextremen, bei Wind, tiefer Umgebungstemperatur und starken Schneefall im automatischen Betrieb mit dem Stand der Technik nicht möglich.

30 [0006] Heizeinrichtungen nach dem Stand der Technik sind beispielsweise an den festen Backenschienen der linken und rechten Seite der Weiche auf dem Schienenfuß angeordnet und mit einer spezifischen Leistung von üblicherweise 330 W pro Meter über die gesamte Länge der Weiche ausgeführt. Die Wärmeübertragung auf die Zungenschienen und Gleitstuhlplatten der Weiche erfolgt durch Wärmeleitung bzw. Wärmestrahlung vom Standort der mit einer Heizeinrichtung versehenen Backenschienen. Im Betrieb werden an den Backenschienen und den Zungenschienen an linker Seite und rechter Seite der Weiche in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen und der Weichenstellung, d.h. abliegende bzw. anliegende Zungenschiene, sowie an den Gleitstuhlplatten unterschiedliche reale Weichentemperaturen erreicht. Bei tiefen Umgebungstemperaturen, Wettextremen und/oder Wind bestehen daher erhebliche Erwärmungsdefizite, so dass trotz Heizung funktionsrelevante Stellen der Weiche keine Null Grad bzw. keine positiven Weichentemperaturen erreichen und dadurch der Schnee an diesen Stellen nicht geschmolzen wird. In diesem Fall wird zunächst beim Stellen der Weiche der Schnee zwischen den Schienen, d.h. zwischen Zungenschiene und Backenschiene, verpresst und die Zungenschiene kann beim Stellen nicht mehr die Endlage erreichen bzw. friert fest und die Weiche kann nicht mehr umgestellt werden.

45 [0007] Unter Ausnutzung der Analogie zwischen einem elektrischen Strömungsfeld und einem thermischen Strömungsfeld (vgl. Tab. 1) werden Wärmeerzeugungsprozesse, Wärmeübertragungsprozesse und Wärmespeicherprozesse mit aus der Elektrotechnik hinreichend bekannten Netzwerken berechenbar. Die in Wärmenetzen auftretenden Nichtlinearen der Prozesse verlangen ein rechnergestütztes iteratives Lösungsverfahren [1].

Tabelle 1: Analogie zwischen thermischen und elektrischen Strömungsfeldern

Größe	elektrisch	thermisch
treibend	Spannungsdifferenz $\Delta \varphi$	Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta$
fließend	Strom I	Leistung P

## EP 3 850 154 B1

(fortgesetzt)

Größe	elektrisch	thermisch
Widerstand	$R = \Delta\varphi / I$	$R_{th} = \Delta\vartheta / P$
Kapazität	$c = dQ / \Delta\varphi$	$C_{th} = dW / d\vartheta$

**[0008]** In einem Wärmenetz treten Wärmequellen, Wärmewiderstände, Wärmekapazitäten und feste Temperaturen auf. Sie repräsentieren die Wärmeerzeugung, den Wärmetransport, die Wärmespeicherung und die thermischen Randbedingungen. Die in den Leitern und der Kapselung erzeugten Leistungen  $P$  werden durch Strahlung und Konvektion an die Umwelt und durch Wärmeleitung entlang der Leiterbahn bzw. der Kapsel übertragen. Abhängig vom thermischen Widerstand  $R_{th}$  und der Leistung  $P$  ergibt sich eine Übertemperatur  $\Delta\vartheta$ .

### Wärmeübertragung

**[0009]** In elektrotechnischen Anlagen wird die Leistung durch Strahlung, Wärmeleitung und Konvektion übertragen.

#### *Strahlung* <sup>[2]</sup>

**[0010]** Die zwischen zwei Körpern 1 und 2 ausgetauschte Strahlungsleistung wird mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz mit  $O_s$  als Oberfläche des strahlenden Körpers und  $C_s = 5,67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$  als Strahlungskoeffizient des schwarzen Strahlers berechnet.

$$P_s = C_s \varepsilon_{12} O_s \left( \frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right)$$

wobei sich die resultierende Emissionszahl  $\varepsilon_{12}$  für sich umhüllende Körper (2 umhüllt 1) aus geometrischen Betrachtungen zu

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{O_1}{O_2} \left( \frac{1}{\varepsilon_2} \right) - 1}$$

ergibt.

#### *Wärmeleitung* <sup>[2]</sup>

**[0011]** Nach dem Fourierschen Gesetz der Wärmeleitung ist im stationären Zustand die transportierte Wärmeleistung  $P_L$  linear veränderlich mit der räumlichen Änderung der Temperatur, wenn keine zusätzliche Wärmequelle existiert. Der Proportionalitätsfaktor wird als Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  bezeichnet. Die Abschnittslänge  $L$  und die Querschnittsfläche  $A$  beeinflussen die transportierte Wärmeleistung wesentlich. Im homogenen eindimensionalen Wärmeströmungsfeld kann die Wärmeleistung durch Leitung wie folgt vereinfacht werden.

$$P_L = \frac{\lambda A \Delta\vartheta}{L}$$

#### *Konvektion* <sup>[3], [4], [5]</sup>

**[0012]** Die Wärmeenergie durch Konvektion wird über die Zusammenhänge zwischen den Stoffeigenschaften des Kühlmediums, der Strömung und dem Wärmeübergang auf andere Medien, Anordnungen und Temperaturbereiche berechnet. Dazu werden dimensionslose Ähnlichkeitszahlen

- Reynolds-Zahl* (abstrahiert von der erzwungenen Konvektion)
- Grashof-Zahl* (abstrahiert von der freien Konvektion)
- Nußelt-Zahl* (abstrahiert von der Wärmeübertragung)

## EP 3 850 154 B1

(fortgesetzt)

*Prandtl-Zahl* (abstrahiert von dem Strömungsmedium)

5 mit  $v$  als Strömungsgeschwindigkeit,  $\nu$  als Viskosität,  $\beta$  als Volumendehnungskoeffizient,  $g$  als Erdbeschleunigung,  $c_p$  als spezifische Kapazität und  $\delta$  als Dichte gebildet.

**[0013]** Der Zusammenhang zwischen dem konvektiven Wärmeübergangskoeffizient  $K$  und der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  wird über die *Nußelt*-, *Prandtl*- und *Reynolds-Zahl* hergestellt:

10

$$\alpha_K = f(\text{Nu}) = f(\text{Re}, \text{Gr}, \text{Pr})$$

**[0014]** Mit dem *Newtonschen* Wärmeübertragungsgesetz

15

$$P_K = \alpha_K O_K \Delta \vartheta$$

wird die durch Konvektion übertragbare Leistung berechnet.

**[0015]** Der Prozess kann temperaturabhängig im Wärmenetz iterativ berechnet werden.

20

Wärmeleistungen

**[0016]** Durch den Ohmschen Widerstand erwärmen sich alle stromdurchflossenen Abschnitte.

25

**[0017]** Es treten durch den Betriebsstrom Stromwärmeverluste und durch Induktion in der Kapsel Kapselverluste (Hysterese-, Induktions- und Wirbelstromverluste) auf.

*Stromwärmeverluste*

30

**[0018]** Werden Betriebsmittel vom Strom  $I_1$  durchflossen, wird, hervorgerufen durch die Materialeigenschaft des Leiters, dem Stromfluss ein Widerstand entgegengesetzt. Die dabei umgesetzte Leistung kann mit

$$P_{Lei} = I_1^2 R_{Lei}$$

35

und

$$R_{Lei} = k \frac{\rho l}{A} (1 + \alpha_T \Delta \vartheta)$$

40

berechnet werden. Der Widerstand  $R_{Lei}$  ist sowohl von der Querschnittsfläche  $A$  als auch von dem spezifischen Widerstand des Leiters  $\rho$ , der Abschnittslänge  $l$ , der Stromart (Stromverdrängungsfaktor  $k$ ) [5] und der Leiterübertemperatur  $\Delta \vartheta$  [6] abhängig.

*Wärmekapazität*

45

**[0019]** Die Wärmekapazität eines Leiterabschnittes geht in die kalorimetrische Gleichung

$$Q_c = C \Delta \vartheta$$

50

ein. Durch Ableitung ist diese auf die Leistung umstellbar.

**[0020]** Die Wärmekapazität  $C$  ergibt sich aus

55

$$C = cm = c \delta V$$

mit dem Volumen  $V$ , der Dichte  $\delta$  und der spezifischen Wärmekapazität  $C$ .

**[0021]** Die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren und Steuereinrichtungen haben folglich teilweise einen

sehr hohen technischen Installations- und Wartungs-Aufwand bei gleichzeitig ungleichmäßiger und/oder unzureichender Beheizung wesentlicher funktioneller Teile von Fahrweegelementen. Es besteht daher die Notwendigkeit, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen, ohne den technischen Aufwand weiter zu erhöhen.

**[0022]** Als Stand der Technik werden die US9353486B2, WO2018050141 A1 und WO2010115436A1 genannt.

**[0023]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Steuerung und Regelung einer Weichenheizung anzugeben und eine entsprechende Steuereinrichtung bereitzustellen, welche die Nachteile des Standes der Technik überwinden und mit denen ein Mehraufwand für Sensoren vermieden und der damit verbundene Wartungsaufwand verringert wird.

**[0024]** Nachstehend wird die Erfindung im Detail beschrieben. Wenn in der Beschreibung des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenständliche Merkmale genannt werden, so beziehen sich diese insbesondere auf die erfindungsgemäße Steuereinrichtung. Ebenso beziehen sich Verfahrensmerkmale, die in der Beschreibung der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung angeführt werden, auf das erfindungsgemäße Verfahren.

**[0025]** Die vorstehend genannte Aufgabe wird in einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung durch ein Verfahren zur Steuerung und Regelung einer Weichenheizung (1) gelöst, wobei die Weichenheizung (1) mindestens eine an zumindest einer Weiche (3) angeordnete Heizeinrichtung (14), zumindest einen Weichentemperatursensor (28) an der zumindest einen Weiche (3), zumindest eine Energieverteilung mit mindestens einem Heizabgang pro Weiche (3) und zumindest eine Steuereinrichtung zum Steuern und Regeln der Weichentemperatur, zumindest einen abseits der Weiche (3) angeordneten Anschlusskasten, der mindestens ein Schaltgerät aufweist, das über Leitungen mit den Heizeinrichtungen (14) der Weiche (3) verbunden sind, sowie Messmittel zur zeitlichen Erfassung von Betriebsstrom, Spannung und Isolationswiderstand und Mittel zur Begrenzung der maximalen Leistung, zumindest ein Kommunikationsmittel, das in dem Anschlusskasten angeordnet und mit der Steuereinrichtung verbunden ist, und zumindest einen Niederschlagsensor zur Erfassung von Niederschlagsart und Niederschlagsmenge, der mit der Steuereinrichtung verbunden ist, aufweist, umfassend die Schritte:

a) Definieren zumindest eines Weichensegments für die linke Seite (5) der zumindest einen Weiche (3) und/oder für die rechte Seite (6) der zumindest einen Weiche (3) mit einer spezifischen Länge, wobei das Weichensegment der zumindest einen Weiche (3) eine Backenschiene (7), eine Zungenschiene (8), eine Gleitstuhlplatte (9) und zumindest eine Heizeinrichtung (14) aufweist, und Zerlegen des zumindest einen Weichensegments in einzelne Abschnitte mit jeweils zumindest einem ersten Knoten, der zumindest einer funktionsrelevanten Stelle (19) des Weichensegmentes der zumindest einen Weiche (3) im Winter entspricht, wobei die funktionsrelevante Stelle (19) mindestens einen Bewertungspunkt (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43) aufweist,

wobei das zumindest eine Weichensegment repräsentativ die zumindest eine Weiche (3) thermodynamisch abbildet,

wobei das zumindest eine Weichensegment in der Nähe des zumindest einen Weichentemperatursensors (28) angeordnet ist,

b) Bilden eines Wärmenetzes (26) für das zumindest eine Weichensegment für die linke Seite (5) der zumindest einen Weiche (3) und/oder Bilden eines Wärmenetzes (27) für das zumindest eine Weichensegment für die rechte Seite (6) der zumindest einen Weiche (3), wobei das Wärmenetz (26, 27) Wärmeerzeugungselemente, Wärmeübertragungselemente und Wärmespeicher (32) aufweist, und Zuordnen des jeweils zumindest ersten Knoten (K) der jeweiligen Abschnitte des zumindest einen Weichensegments zu mindestens einem Bewertungspunkt (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43),

wobei alle Knoten (K) der einzelnen Abschnitte über Maschen zu dem Wärmenetz (26, 27) so verbunden werden, dass die Differenz aller vorzeichenbehafteten Temperaturen gleich Null ist,

c) Berechnen des zeitlichen Verlaufs einer optimalen spezifischen Leistung ( $P_{op}$ ) des zumindest einen Weichensegments und der jeweiligen optimalen Weichentemperatur an dem zumindest einen ersten Knoten der Weichenheizung (1) an dem zumindest einen Weichensegment über eine Leistungsbilanz gemäß eines Knotensatzes, und bei Betrieb Aktivieren dieser optimalen spezifischen Leistung an der zugehörigen Heizeinrichtung (14) mittels Produkt aus realer spezifischer Leistung der Heizeinrichtung (14), die der maximalen spezifischen Leistung entspricht, und einem Leistungsverhältnis, wobei das Leistungsverhältnis variabel zwischen 25 % und 100 % der realen spezifischen Leistung entspricht,

d) Erfassen des zeitlichen Verlaufs der realen Weichentemperatur an dem zumindest einen Weichensegment mit dem zumindest einen Weichentemperatursensor (28) und Korrigieren der berechneten Weichentemperatur an einem der zumindest einen Knoten des zumindest einen Weichensegments über Leistung Konvektionswärme wenn berechnete Weichentemperatur größer ist als reale Weichentemperatur oder Leistung Strahlungswärme des Wärmenetzes wenn berechnete Weichentemperatur kleiner ist als reale Weichentemperatur,

e) Berechnen der Weichenendtemperatur an zumindest einem zweiten Knoten des zumindest einen Weichenseg-

ments und Vergleichen der berechneten Weichenendtemperatur mit einer parametrisierten Weichenmindesttemperatur für diesen zumindest einen zweiten Knoten,

wobei bei Nichterreichen der Weichenmindesttemperatur der Weiche (3) eine parametrierbare Weichensolltemperatur um einen Weichensolltemperatur-Korrekturfaktor so lange erhöht wird, bis die jeweilige berechneten Weichenendtemperatur der Weiche (3) zumindest der Weichenmindesttemperatur der Weiche (3) entspricht,

f) Berechnen der Anheizzeit für das Erwärmen des zumindest einen Weichensegments bis zu der parametrierbaren Weichensolltemperatur der Weiche (3) und Bewerten der berechneten Anheizzeit bei parametrierbarer Weichensolltemperatur,

wobei bei einem Defizit die optimale spezifische Leistung erhöht und bei einem Überschuss die optimale spezifische Leistung verringert wird,

g) Berechnen der Anheizzeit für das Erwärmen des zumindest einen Weichensegments bis zu der parametrierbaren Weichenmindesttemperatur der Weiche (3) und Bewerten der erforderliche spezifische Leistung aus Erhaltungsleistung und Schmelzleistung für den bis dahin gefallenen Schnee mit der spezifischen Leistung (P) bei parametrierbarer Weichenmindesttemperatur,

wobei bei einem Defizit die optimale spezifische Leistung erhöht oder eine Meldung "gefallene Schneemenge ist zu groß und wird nicht geschmolzen" erzeugt wird.

**[0026]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, eine Weichenheizung (1) in Abhängigkeit vorhandener oder vorgegebener projektspezifischer Parameter bzw. Witterungsbedingungen mittels des erfindungsgemäßen Wärmenetzmodells für jeweils ein Weichensegment für die linke Seite (5) einer Weiche (3) und/oder für die rechte Seite (6) einer Weiche (3), insbesondere für anliegende ( $a_{an}$ ) und abliegende ( $a_{ab}$ ) Zungenschiene (8), in den Bereichen der Weichenspitze (16), der Weichenmitte (17) und des Weichenendes (18) zu beheizen. Dabei können alle spezifischen Verlustleistungen an den Weichensegmenten bei entsprechenden Parametern ermittelt die optimalen Weichentemperaturen ( $T_{op}$ ) an Knoten (K), die jeweils eine funktionsrelevante Stelle (19) des Weichensegmentes im Winter repräsentieren, berechnet werden.

**[0027]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist grundsätzlich dazu ausgelegt, das erfindungsgemäße Wärmenetzmodell alleine mit einem Weichensegment für die linke Seite (5) einer Weiche (3) oder für die rechte Seite (6) einer Weiche (3) zu erstellen. In diesem Fall wird eine der beiden Seiten (5, 6) der Weiche (3) betrachtet und dabei davon ausgegangen, dass es sich bei der ausgewählten Seite (5, 6) der Weiche (3) um die bezüglich des Erwärmungsverlaufes positivere der beiden Seiten (5, 6) der Weiche (3) handelt. Somit wird eine notwendige Reserve eingerechnet.

**[0028]** Besonders bevorzugt ist es jedoch, wenn das erfindungsgemäße Wärmenetzmodell mit jeweils einem Weichensegment für die linke Seite (5) einer Weiche (3) und für die rechte Seite (6) einer Weiche (3) erstellt wird, da hiermit das Potential der vorliegenden Erfindung noch besser ausgeschöpft werden kann. Im Folgenden wird von der besonders bevorzugten Variante ausgegangen, ohne die Möglichkeit der alleinigen Betrachtung eines Weichensegments für nur eine Seite auszuschließen.

**[0029]** Darüber hinaus kann die bei Betrieb der Weichenheizung (1) erforderliche Leistung der einzelnen Heizeinrichtungen (14) über die spezifische Leistung der Länge eines Weichensegmentes berechnet, durch Bewertung der Weichentemperatur der Weiche (3) an jeweils einem Weichensegment der linken Seite (5) und der rechten Seite (6) die Stellung der Weiche, das heißt der Zungenschiene anliegend oder abliegend, ermittelt und die Leistung der Heizeinrichtung (14) für die linke Seite (5) und die rechte Seite (6) so angepasst werden, dass die funktionsrelevanten Stellen (19) der Weiche (3) über deren gesamte Länge gleiche Weichentemperaturen aufweisen und damit mit maximal gleicher Leistung der Heizeinrichtung (14) gegenüber dem Stand der Technik eine höhere Verfügbarkeit im Winter über den gesamten Betriebstemperaturbereich im automatischen Betrieb der Weichenheizung (1) erreicht wird.

**[0030]** Erfindungswesentlich ist, dass die gesamte Weiche (3) repräsentativ durch zumindest ein Weichensegment abgebildet wird, welches sowohl die linke Seite (5) der Weiche (3) als auch die rechte Seite (6) der Weiche (3) einbezieht. Auf diese Weise kann das erfindungsgemäße Wärmenetz (26, 27) über einen repräsentativen Querschnitt der Weiche (3) gebildet werden, mit welchem die Erwärmung der gesamten Weiche (3) möglichst gleichmäßig ausgeführt wird und nicht nur einzelner Bereiche oder einer Seite einer Weiche wie im Stand der Technik.

**[0031]** In kalten Wintern bzw. bei extremen Wetterbedingungen wird durch die vorliegende Erfindung die Verfügbarkeit der Weichenheizung erhöht, wohingegen in milden Wintern oder Wetterperioden ohne extreme Wetterbedingungen deutliche Energieeinsparungen realisiert und Leistungsspitzen im Netz vermieden werden können.

**[0032]** Das erfindungsgemäße Verfahren wird in Abhängigkeit vorhandener oder vorgegebener projektspezifischer Parameter bzw. Witterungsbedingungen durchgeführt, mittels des erfindungsgemäßen Wärmenetzmodells für jeweils ein Weichensegment für anliegende ( $a_{an}$ ) und abliegende ( $a_{ab}$ ) Zungenschiene (8) in den Bereichen Weichenspitze (16), Weichenmitte (17) und Weichenende (18). Es werden alle spezifischen Verlustleistungen an dem Weichensegment bei entsprechenden Parametern ermittelt und die berechneten optimalen Weichentemperaturen ( $T_{op}$ ) an Knoten (K), die jeweils eine funktionsrelevante Stelle (19) im Winter des Weichensegmentes repräsentieren, berechnet.

**[0033]** Die bei Betrieb erforderliche Leistung der Heizeinrichtungen (14) wird über die spezifische Leistung (P) der

Länge von Weichensegmenten ( $l_{\text{seg}}$ ) berechnet und durch Bewertung der berechneten optimalen Weichentemperatur ( $T_{\text{op}}$ ) an jeweils einem Weichensegment auf der linken Seite (5) der Weiche (3) und auf der rechten Seite (6) der Weiche (3) die Stellung der Weiche (3), das heißt die Stellung der Zungenschiene (8) anliegend ( $_{\text{an}}$ ) oder abliegend ( $_{\text{ab}}$ ), ermittelt, vorzugsweise am Bewertungspunkt Kopf-Zungenschiene (41). Die Leistung der Heizeinrichtung (14) für die linke Seite (5) der Weiche (3) und die rechte Seite (6) der Weiche (3) wird so angepasst, dass die funktionsrelevanten Stellen (19) an den Weichensegmenten Weichenspitze (16), Weichenmitte (17) und Weichenende (18) der linken Seite (5) und der rechten Seite (6) gleiche reale Weichentemperaturen ( $T_w$ ) aufweisen, die zumindest der Schmelztemperatur von Schnee und/oder der Weichenmindesttemperatur entsprechen.

**[0034]** Über den gesamten Winter (d.h. über die wesentliche Einsatzperiode der Weichenheizung (1)) wird die Zeit überwacht, die bei Betrieb benötigt wird, um die funktionsrelevanten Stellen (19) der Weiche (3) von der Weichentemperatur der Weiche (3) "kalte Schiene ( $T_K$ )" bis zum Erreichen einer parametrierbaren Schienenmindesttemperatur ( $T_{\text{min}}$ ) der Weiche (3) zu beheizen, unter Berücksichtigung der Schmelzleistung ( $T_{\text{Sm}}$ ) von Schnee und der Verdampfungsleistung von Wasser. Es werden dann Maßnahmen eingeleitet, wenn diese Zeit zu groß ist oder die während dieser Zeit vorhandene Schneemenge ( $hs$ ) nicht vollständig geschmolzen wird.

**[0035]** Wenn aufgrund von Wettervorhersagen mit der maximalen spezifischen Leistung der Heizeinrichtungen (14) die Schienenmindesttemperatur ( $T_{\text{min}}$ ) der Weiche (3) nicht erreicht wird oder die Schneemenge ( $hs$ ) nicht vollständig geschmolzen wird, wird die erfindungsgemäße Weichenheizung (1) über ein zusätzliche Heizanforderung "Vorheizen" mit einer zweiten berechneten Schienensolltemperatur ( $T_{\text{Soll-Vor}}$ ) der Weiche (3) in Betrieb gesetzt, so dass bei tatsächlich eintretender Heizanforderung die Bedingungen erfüllt werden. Hiermit wird bereits im Vorfeld agiert, anstelle nur auf eine sich ändernde Wetterbeindung zu reagieren, wie das im Stand der Technik der Fall ist. Bei Beginn des Betriebes aufgrund einer Heizanforderung "Vorheizen", beispielsweise durch Schneefall, werden vorzugsweise ein erstes Paar Heizeinrichtungen (14), beispielsweise die Heizeinrichtungen (14) an den Backenschienen (7) mit einer optimalen spezifischen Heizleistung ( $P_{\text{op}}$ ) aktiviert und bei Erreichen der Schienensolltemperatur ( $T_{\text{Soll}}$ ) der Weiche (3) ein zweites Paar Heizeinrichtung (14), beispielsweise an den Zungenschienen (8) oder den Gleitstuhlplatten (9) aktiviert. Auf diese Weise wird eine Erhöhung der Anschlussleistung der erfindungsgemäßen Weichenheizung (1) gegenüber dem Stand der Technik vermieden, indem das erste Paar Heizeinrichtung (14) und das zweite Paar Heizeinrichtung (14) zeitversetzt oder mit anteiliger spezifischer Leistung aktiviert werden, indem bei Zweipunktregelung in den Heizpausen eines Paares von Heizeinrichtungen (14) das andere Paar von Heizeinrichtungen (14) aktiviert wird oder Gruppenbetrieb oder Leistungsabsenkung in Abhängigkeit der Art der Heizeinrichtung (14) stattfindet.

**[0036]** Ein Weichensegment wird in der Nähe eines Weichentemperatursensors (28) angeordnet und die damit zeitlich erfassten Weichentemperaturen ( $T_w$ ) der Weiche (3) werden mit berechneten optimalen Weichentemperaturen ( $T_{\text{op}}$ ) verifiziert. Bei möglichen Weichentemperaturdifferenzen ( $\Delta T_w$ ) werden die berechneten optimalen Weichentemperaturen ( $T_{\text{op}}$ ) der Weiche (3) über Leistung Konvektionswärme ( $P_K$ ) oder über Leistung Strahlung ( $P_{\text{st}}$ ) korrigiert.

**[0037]** Die Berechnung erfolgt mittels erfindungsgemäßem Wärmenetzmodell für ein Weichensegment unter Verwendung eines Mikrocontrollers für eine Weiche (3) oder für mehrere Weichen (3) einer erfindungsgemäßen Weichenheizung (1), wobei der Mikrocontroller unmittelbar neben der Weiche (3) angeordnet und über Kommunikationsmittel mit der Steuereinrichtung in der Verteilung verbunden ist. Der Mikrocontroller enthält Schaltgeräte oder Steuergeräte zum Schalten und Steuern der Heizeinrichtungen (14) in Abhängigkeit der Art der Heizeinrichtungen (14).

**[0038]** Für den speziellen Fall, dass für das Verfahren noch keine Heizanforderung und eine Wetterwarnung vorliegt, umfasst das erfindungsgemäße Verfahren Ferner Schritt

h) Berechnen der spezifischen Schmelzleistung für die während der Anheizzeit am Weichensegment berechneten Schneemenge aus einer gemeldeten Schneehöhe pro Zeiteinheit und Berechnen der spezifischen Erhaltungsleistung zur Erhaltung der Schmelztemperatur an dem Weichensegment und Vergleich der Summe dieser mit der realen spezifischen Leistung der Heizeinrichtung (14) und, wenn die reale spezifische Leistung der Heizeinrichtung (14) geringer ist, Aktivieren der Weichenheizung (1) mit einer zweiten Weichensolltemperatur, die so groß ist, dass bei Betrieb die spezifische Leistung der Heizeinrichtung (14) zumindest gleich der Summe aus spezifischer Schmelzleistung und Erhaltungsleistung ist.

**[0039]** In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassen die Wärmeerzeugungselemente die spezifische Leistung der zumindest einen Heizeinrichtung (14) mit einem Wärmespeicher des Weichensegments und eine Wärmeübertragung durch Wärmestrahlung. Alternativ oder zusätzlich und/oder umfassen die Wärmeübertragungselemente Wärmewiderstände an der Weiche (3) aus den Stoffeigenschaften, den geometrischen Größen und den vorherrschenden Belastungen durch Wärmeübertragung und Umwelt an dem zumindest einen Weichensegment. Durch diese Weiterbildung ergibt sich vorteilhafterweise ein geringerer Aufwand für die Berechnungssoftware.

**[0040]** In Schritt f) des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorzugsweise

die Anheizzeit für das Erwärmen des zumindest einen Weichensegments aus der Summe einzelner Heizzeiten für das zumindest eine Weichensegment für dessen Erwärmen, für das Schmelzen von Schnee und für das Verdampfen von Wasser an diesem berechnet wird, und/oder

## EP 3 850 154 B1

die Anheizzeit durch Erhöhen des Leistungsverhältnisses und/oder Umschalten von Regelbetrieb auf Dauerbetrieb erhöht und/oder durch Verringern des Leistungsverhältnisses verringert wird.

5 **[0041]** Bei hoher Anheizzeit, bspw. größer als 20 Minuten, ist die Funktion der Weiche (3) im Winter nicht nur in den 20 Minuten, sondern darüber hinaus gefährdet, weil der Schnee eine Art Iglu bildet und die Weichenheizung (1) nicht in der Lage ist, dieses nachträglich zu schmelzen.

**[0042]** In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das erfindungsgemäße Verfahren bei aktiver Heizung ferner die Schritte

10 i) Berechnen einer Schmelzleistung für gefallenen Schnee in einer parametrierbaren Zeitspanne und Vergleichen dieser Schmelzleistung mit der Differenz aus spezifischer Leistung und einer berechneten Erhaltungsleistung, wobei bei einem Defizit der spezifischen Leistung die Leistung erhöht und/oder ein Dauerheizen begonnen und/oder eine erste Warmmeldung ausgegeben wird,  
und/oder

15 j) Vergleichen der berechneten Anheizzeit mit einer parametrierten maximalen Anheizzeit, wobei bei einem Defizit der spezifischen Leistung die Leistung erhöht und/oder ein Dauerheizen begonnen und/oder eine zweite Warmmeldung ausgegeben wird,  
und/oder

20 k) Berechnen der Schneehöhe aus der Differenz aus gefallener Schneehöhe und geschmolzener Schneehöhe pro Zeiteinheit und Vergleichen der berechneten Schneehöhe mit einer parametrierbaren maximal zulässigen Schneehöhe, wobei bei einem Defizit der spezifischen Leistung die Leistung erhöht und/oder ein Dauerheizen begonnen und/oder eine dritte Warmmeldung ausgegeben wird.

25 **[0043]** Im Stand der Technik wird bei Heizanforderung im Regelbetrieb geheizt und bei langer Anheizzeit ab tiefen Umgebungstemperaturen kann die Schneemenge nicht geschmolzen werden. Dadurch wird die Weiche zugeschnitten und ist nicht mehr stellbar. Vorteil der Erfindung ist die Vermeidung des Zuschneidens der Weiche im Betriebstemperaturbereich.

**[0044]** Vorteilhafterweise kann das Berechnen der Anheizzeit in Schritt f) die Unterschritte umfassen

30 f1) Berechnen der Totzeit für das zumindest eine Weichensegment aus dem zeitlichen Verlauf der Weichentemperatur der Weiche (3) bei optimaler oder realer spezifischer Leistung,

f2) Berechnen der Zeit  $t_{A1}$  zum Erwärmen des zumindest einen Weichensegments von der Weichentemperatur der kalten Schiene der Weiche (3) und der Schmelztemperatur bis zur Weichenmindesttemperatur an zumindest einen Knoten,

35 f3) Berechnen der Zeit  $t_{A2}$  zum Schmelzen der Schneemenge während des Schritts f2) aus der Differenz aus vorhandener spezifischer Leistung abzüglich der Leistung zur Erhaltung der Weichenmindesttemperatur des zumindest einen Weichensegments,

f4) Berechnen der Zeit  $t_{A3}$  zum Schmelzen des gefallenen Schnees während des Schritts f3) aus der Differenz aus vorhandener spezifischer Leistung abzüglich der Leistung zur Erhaltung der Weichenmindesttemperatur des zumindest einen Weichensegments,

40 f5) Berechnen der Zeit  $t_{A4}$  zum Erwärmen des zumindest einen Weichensegments von der Differenz Weichenmindesttemperatur bis zur Weichensolltemperatur an den Knoten mit dem Weichentempersensor der Weiche (3),

f6) Berechnen der Zeit  $t_{A5}$  zum Schmelzen des gefallenen Schnees während des Schritts f5) aus der Differenz aus vorhandener spezifischer Leistung abzüglich der Leistung zur Erhaltung der Weichenmindesttemperatur des zumindest einen Weichensegments.

45 **[0045]** Das vorstehend beschriebene Berechnen der Anheizzeit in Schritt f) ermöglicht ein Überwachen und frühzeitiges Melden von Funktionsdefiziten der Weichenheizung (1) anstelle des Eintretens einer Störung.

**[0046]** Ein Teilaspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens bezieht sich auf eine Ermittlung der Betriebsgrenze Umgebungstemperatur ( $G_{W-Tu}$ ) der Weichenheizung (1), umfassend

- 55 - Berechnen der optionalen Weichenendtemperaturen an zwei spezifischen Knoten des zumindest einen Weichensegments, welche dem Kopf-Backenschiene (20) und dem Kopf-Zungenschiene (21) als funktionsrelevante Stellen (19) der zumindest einen Weiche (3) entsprechen, wobei von der Weichenmindesttemperatur die berechneten Weichentemperaturen Kopf-Backenschiene und Kopf-Zungenschiene subtrahiert werden und die geringste davon der Betriebsgrenze-Umgebungstemperatur entspricht. Ein erfindungsgemäßer Vorteil ist, dass vorhandene Weichenheizungen an die veränderten Witterungsbedingungen individuell und optimal angepasst werden können. Ein anderer Teilaspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens bezieht sich auf eine Ermittlung der Betriebsgrenze Schnee-

## EP 3 850 154 B1

menge ( $G_{W-hs}$ ) der Weichenheizung (1), umfassend

- Berechnen einer spezifischen Erhaltungsleistung bei Weichenmindesttemperatur  $T_{min}$  der Weiche (3), zuzüglich einer Weichenmindesttemperatur Toleranz  $\Delta T_{min}$ , am Backenschienenfuß, einer Schmelzleistung für die maximale Schneemenge oder die bis dahin erfasste Schneemenge sowie einer Verdampfungsleistung für Schmelzwasser, und Vergleich der Summe daraus mit der erforderlichen spezifischen Leistung der Heizeinrichtung (14) des zumindest einen Weichensegments, wenn die erforderliche spezifische Leistung der Heizeinrichtung kleiner ist als die Summe aus Erhaltungsleistung und Schmelzleistung und Verdampfungsleistung Betriebsgrenze Schneehöhe überschritten ist.

**[0047]** Ein weiterer Teilaspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens bezieht sich auf eine projektspezifische Dimensionierung der Heizeinrichtungen (14) und deren erforderlicher spezifischer Leistung, umfassend

- Berechnen einer spezifischen Leistung (P) der Heizeinrichtung zum Erreichen einer Weichensolltemperatur der Weiche (3) am Standort des Weichentemperatursensors und einer minimalen Weichentemperatur  $T_{w-min}$  der Weiche (3) an mindestens einem Kopf-Backenschiene (20) und/oder einem Kopf-Zungenschiene (21) für das zumindest eine Weichensegment über Berechnen der Summe aus Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion in die Umgebung, Wärmekapazität und Latenter Wärme bei Schnee und Beregnung, bei vorhandenen Betriebsgrenzwerten aus minimaler Umgebungstemperatur, Schienenprofil, maximaler Windgeschwindigkeit und maximaler Schneehöhe pro Stunde, und
- Erhöhen der erforderlichen spezifischen Leistung, wenn die berechnete reale spezifische Leistung kleiner ist als die spezifische Leistung, die der erforderlichen Schmelzleistung der in der Anheizzeit, die ab minimaler Umgebungstemperatur bis zum Erreichen einer Schienentemperatur von mindestens  $0^{\circ}C$  berechnet wird, für die Schneemenge, die sich aus dem Produkt aus Anheizzeit und Schneehöhe pro Stunde ergibt, und der Verdampfungsleistung von restlichem Schmelzwasser und der erforderlichen spezifischen Erhaltungsleistung für eine Schienentemperatur von  $0^{\circ}C$  an den funktionsrelevanten Stellen des zumindest einen Weichensegments entspricht.

**[0048]** Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass Weichenheizungen (1) entsprechend den speziellen lokalen Umgebungsbedingungen ausgeführt werden können, bspw. im Gebirge anders als im Flachland.

**[0049]** In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens

- bei Betrieb der Weichenheizung (1) ein Einstellen der optimalen spezifischen Leistung für die Heizeinrichtungen (14), die dem Produkt aus spezifischer Leistung und einem Leistungsverhältnis von 25 % bis 100 % entspricht, über die jeweiligen Schaltgeräte zum Einschalten und Ausschalten der Heizeinrichtungen (14) mittels Verändern der Einschaltdauer oder der Frequenz oder der Pulsweite oder Wellenpaketsteuerung oder Gruppenbetrieb erfolgt, und/oder
- das Leistungsverhältnis zwischen 25 % und 100 % beträgt, wobei bei Betrieb der Weichenheizung (1) die spezifische Leistung (P) der linken Seite (5) der Weiche (3) und der rechten Seite (6) der Weiche (3) maximal dem Mittelwert und/oder Meridian der spezifischen Leistung der Heizeinrichtung (14) entspricht, und/oder
- bei Betrieb der Weichenheizung (1) die berechnete spezifische Leistung  $P_{op}$  für die linke Seite (5) der Weiche (3) und die rechte Seite (6) der Weiche (3) maximal der spezifischen Leistung (P) der Heizeinrichtungen (14) entspricht, oder eine spezifische Leistungsdifferenz für die linke Seite (5) der Weiche (3) oder die rechte Seite (6) der Weiche (3) aus der Differenz von spezifischer Leistung (P) der Heizeinrichtungen (14) abzüglich berechneter spezifischer Leistung ( $P_{op}$ ) berechnet wird und bei positiver spezifischer Leistungsdifferenz der linken Seite (5) der Weiche (3) oder der rechten Seite (6) der Weiche (3) diese spezifische Leistungsdifferenz der jeweiligen anderen Seite der Weiche (3) zusätzlich zur spezifischen Leistung (P) der Heizeinrichtung (14) zu Verfügung gestellt wird, so dass ein gleichmäßiger zeitlicher Verlauf der Schienentemperaturen der Weiche (3) an der linken Seite (5) der Weiche (3) und an der rechten Seite (6) der Weiche (3) an den funktionsrelevanten Stellen (19) der Weiche (3) erfolgt.

**[0050]** Die vorstehend genannte Aufgabe wird in einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung durch eine Steuereinrichtung zur Steuerung und Regelung einer Weichentemperatur einer Weichenheizung (1) eingerichtet zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gelöst, wobei die Weichenheizung (1) mindestens eine an zumindest einer Weiche (3) angeordnete Heizeinrichtung (14), zumindest einen Weichentemperatursensor (28) an der zumindest einer Weiche (3) und zumindest eine Energieverteilung mit mindestens einem Heizabgang pro Weiche (3) aufweist, die Steuereinrichtung umfassend:

- eine CPU zur Berechnung der Weichentemperaturen der Weiche (3) für zumindest ein Weichensegment, die mit der Steuereinrichtung über Kommunikationsmittel verbunden ist,

- zumindest einen abseits der Weiche (3) angeordneten Anschlusskasten, der mindestens ein Schaltgerät aufweist, das über Leitungen mit den Heizeinrichtungen (14) der Weiche (3) verbunden sind, sowie Messmittel zur zeitlichen Erfassung von Betriebsstrom, Spannung und Isolationswiderstand und Mittel zur Begrenzung der maximalen Leistung aufweist,
- zumindest ein Kommunikationsmittel, das in dem Anschlusskasten angeordnet und mit der Steuereinrichtung verbunden ist,
- zumindest einen Niederschlagsensor zur Erfassung von Niederschlagsart und Niederschlagsmenge, der mit der Steuereinrichtung verbunden ist.

**[0051]** Die erfindungsgemäße Steuereinrichtung weist grundsätzlich die gleichen Vorteile auf wie das erfindungsgemäße Verfahren. Insbesondere stellt die die erfindungsgemäße Steuereinrichtung die apparative Grundlage bereit, um eine Weiche (3) repräsentativ durch ein Weichensegment abzubilden, welches sowohl die linke Seite (5) der Weiche (3) als auch die rechte Seite (6) der Weiche (3) einbezieht. Auf diese Weise kann das erfindungsgemäße Wärmenetz (26, 27) über einen repräsentativen Querschnitt der Weiche (3) gebildet werden, mit welchem durch die erfindungsgemäße Steuereinrichtung die Erwärmung der gesamten Weiche (3) möglichst gleichmäßig ausgeführt wird.

**[0052]** Weitere Ziele, Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von die Erfindung nicht einschränkenden Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, auch unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbeziehung. Es zeigen:

Fig. 0 eine schematische Draufsicht auf eine Weiche 3,

Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung eines Weichensegments mit anliegender Zungenschiene 10 und abliegende Zungenschiene 11,

Fig. 2 eine zeitliche Darstellung der Erwärmung einer Weiche 3 mit einer Weichenheizung entsprechend dem Stand der Technik,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Wärmenetzes 26, 27 für ein Weichensegment der Weiche 3 bestehend aus Backenschiene 7, Zungenschiene 8, Gleitstuhlplatte 9 und Heizeinrichtung 14,

Fig. 4 ein Modell zur Berechnung der Anheizzeit mit und/ ohne Schnee,

Fig. 5 ein Beispiel für einen Programmablaufplan zur Dimensionierung der Leistung einer Heizeinrichtung 14 in Abhängigkeit projektspezifischer Betriebsgrenzwerte.

Fig. 6 ein Beispiel für einen Programmablaufplan zur Bewertung der Funktion der Weichenheizung 1 in Abhängigkeit der Witterung und damit Nachweis der Verfügbarkeit der Weiche 3 im Winter mit vorhandener Leistung der Heizeinrichtung 14 und

Fig. 7 ein Beispiel für einen Programmablaufplan (zur besseren Übersicht auf zwei Seiten verteilt) zur Steuerung und Regelung einer erfindungsgemäßen Weichenheizung 1.

**[0053]** Nachstehend wird die Erfindung im Detail beschrieben, wobei diese Beschreibung anhand konkreter Ausführungsformen den Schutzbereich der Patentansprüche nicht einschränkt.

**[0054]** Um mit möglichst wenigen Weichentemperatursensoren 28 die vorstehend bereits benannten Ziele zu erreichen, besteht die vorliegende Erfindung unter anderem darin, die Steuerung und Regelung sowie die Dimensionierung der Heizeinrichtungen 14 und die die Ermittlung von Betriebsgrenzen bestehender Weichenheizungen durch Bewertung der Weichentemperaturen der Weiche 3 an den funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3 im Winter für die erfindungsgemäße Weichenheizung 1 mittels Berechnung vorzunehmen. Erfindungsgemäß erfolgt das über das Wärmenetz 26 der linken Seite 5 der Weiche 3 und über das Wärmenetz 27 der rechten Seite 6 der Weiche 3 für zumindest ein Weichensegment analog zu elektrischen Strömungsfeldern, indem die Steuerung und Regelung der spezifischen Leistung der Heizeinrichtung 14 der erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 durch Bewertung über mittels Wärmenetz 26, 27 berechnete Temperaturen an Weichensegment Weichenspitze 34, Weichensegment Weichenmitte 35 und Weichensegment Weichenende 36 für die linke Seite 5 der Weiche 3 und die rechte Seite 6 der Weiche 3 in Abhängigkeit der Weichenstellung, das heißt für an der Backenschiene anliegende Zungenschiene 10 und für abliegende Zungenschiene 11, und in Abhängigkeit der Witterung erfolgt. Die berechneten optimalen Weichentemperaturen  $T_{op}$  der Weiche 3 werden mit den über einen Weichentemperatursensor 28 erfassten zeitlichen Verlauf der realen Weichentemperatur  $T_w$  der Weiche 3 aus mindestens drei Messwerten nach Ablauf der Totzeit einer beheizten Schiene mit dem Weichentemperatursensor 28 zumindest einer Weiche 3 verglichen. Bei Differenzen einschließlich einer Toleranz, die bspw. aus Wind und Sonnenstrahlung entstehen können, wird dieser zeitliche Verlauf über Konvektionsverluste und Strahlungsleistung korrigiert.

**[0055]** Die erfindungsgemäße Lösung der vorstehend genannten Aufgaben erfolgt mit einer thermischen Modellierung des Temperaturverlaufs mit Aufteilung der Weiche 3 in Weichensegmente der linken Seite 5 und der rechten Seite 6 für die zur Bewertung der Funktion charakteristischen Bereiche Weichenspitze 16, Weichenmitte 17 und Weichenende

18 unter Berücksichtigung des Abstandes zwischen Backenschiene 7 und Zungenschiene 8 aufgrund der Weichenstellung, des Schienenprofils, der Art der Gleitstuhlplatte 9 mit oder ohne Rollen, der Niederschlagsart und der Niederschlagsmenge, der Windgeschwindigkeit und der Umgebungstemperatur sowie einer möglichen Wärmedämmung bzw. Winddämmung. Dabei werden für die Weichensegmente bei Betrieb mit jeweiliger spezifischer Leistung der Heizeinrichtung 14 der zeitliche Verlauf der Weichentemperaturen  $T_{op}$  der Weiche 3 und der spezifischen Leistungsverluste mit iterativen Lösungsverfahren berechnet und mit über Weichentemperatursensoren 28 erfasstem zeitlichen Verlauf der realen Weichentemperaturen  $T_w$  der Weiche 3 verglichen. Bei Differenzen werden diese unter Berücksichtigung einer Toleranz korrigiert und an funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3, die im Winter für die Funktion der Weiche 3 maßgeblich sind, bewertet, so dass bei Betrieb mit ermittelter witterungsabhängiger optimaler spezifischer Leistung die Heizeinrichtung 14 aktiviert werden und an diesen Stellen eine Schienenmindesttemperatur  $T_{min}$  der Weiche erreicht wird. Damit wird mit minimalem Energieeinsatz eine gleichmäßige Erwärmung der linken Seite 5 der Weiche 3 und rechten Seite 6 der Weiche 3 über die gesamte Länge der Weiche 3 erreicht und damit eine hohe Verfügbarkeit im Winter gewährleistet.

**[0056]** Bei der Dimensionierung wird die erforderliche spezifische Leistung der Heizeinrichtung 14 aufgrund lokaler grenzwertiger Umgebungsbedingungen ermittelt. Bei der Ermittlung von Betriebsgrenzen der erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 werden bei vorhandenen Weichenheizungen die Weichenendtemperaturen  $T_{wn}$  der Weiche 3 an funktionsrelevanten Stellen 19 bei maximalen Grenzwerten der Umgebungsbedingungen ermittelt, bei denen die betreffende Weichenheizung 1 mit vorhandener spezifischer Leistung der Heizeinrichtungen 14 im Betrieb im Winter gerade noch funktioniert. Damit kann der Betreiber entscheiden, ob diese Betriebsgrenze ausreichend oder nichtausreichend für seine Witterungsbedingungen ist.

**[0057]** Dafür soll für lokale, projektspezifische und charakteristische ungünstigste Umgebungsbedingungen und alle Typen von Weichen 3 mit entsprechendem jeweiligen Schienenprofil mit einem Programm die erforderliche spezifische Leistung der Heizeinrichtung 14 für beispielsweise einen Meter Länge berechnet werden, die für die Heizeinrichtungen 14 erforderlich sind, damit die erfindungsgemäße Weichenheizung 1 bei diesen Grenzwerten im Winter erfolgreich funktioniert. Das heißt, die Weiche 3 wird schneefrei gehalten wird und friert nicht fest. Zur Bewertung der Funktion werden an den funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3 Schienenmindesttemperaturen der Weiche 3 definiert und die Verlustleistungen bei diesen Bedingungen aus Wärmestrahlung 30, Konvektion 3), Wärmeleitung 33 und Wärmespeicher 32 unter Berücksichtigung des Einbauortes der Heizeinrichtung 14 und der Stellung der Zungenschiene 8 an den Weichensegmenten der linken Seite 5 der Weiche 3 und der rechten Seite 6 der Weiche 3 an Weichenspitze 16, Weichenmitte 17 und Weichenende 18 berechnet. Die Summe der Verlustleistungen jedes Weichensegments der linken Seite 5 der Weiche 3 und/oder der rechten Seite 6 der Weiche 3, bei der die Schienenmindesttemperaturen der Weiche 3 erreicht und die Schneemenge geschmolzen wird, entspricht der erforderlichen spezifischen Heizleistung für die jeweilige Seite und den jeweilige Bereich der Weiche 3. Die Heizeinrichtungen weisen eine Länge von bis zu 6 m auf. Deshalb wird vorteilhaft die erforderliche spezifische Heizleistung der Heizeinrichtungen 14 aus der berechneten maximalen Summe der Verlustleistung der Weichensegmente der linken Seite 5 der Weiche 3 und der rechten Seite 6 der Weiche 3 ermittelt.

**[0058]** Diese Ermittlung erfolgt derart, dass u.a. für ein bestimmtes Schienenprofil, z.B. R54, minimale Umgebungstemperaturen und maximale Schneemenge vorgegeben werden und für funktionsrelevante Stellen 19 von Weichensegmenten an Weichenspitze 34, Weichenmitte 35 und Weichenende 36 der zeitliche Verlauf und die Verlustleistungen der Wärmeleitung 33, der Schmelzleistungen und der Verdampfungsleistung  $P_v$  die optimalen Weichentemperaturen ( $T_{op}$ ) berechnet und bewertet sowie erkannt werden, ob die gesamte Schneemenge geschmolzen wird. Es werden folgende projektspezifische Eingaben eingegeben, die die Betriebsgrenze der erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 darstellen, d.h. bei denen die Funktion der Weichen 3 im Winter noch gewährleistet sein soll:

- Weichenprofil, z.B. R54 mit unterschiedlichen Abmessungen und Gewicht an Weichenspitze 16, Weichenmitte 17 und Weichenende 18,
- Schienensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3,
- Schienenmindesttemperatur  $T_{min}$  der Weiche 3 und/oder minimale Umgebungstemperatur  $T_{u-min}$ ,
- maximale Schneemenge  $h_{S-max}$ ,
- maximale Anheizzeit beheizte Schiene  $t_{An-max}$ ,
- maximale Windgeschwindigkeit  $u_{max}$ .

**[0059]** Das Berechnen der Endwerte der Verlustleistungen für das Weichensegment rechte Seite 6 der Weiche 3 und das Weichensegment linke Seite 5 der Weiche 3 erfolgt bei einer Weichenendtemperatur der Weiche 3, die zumindest der absoluten Summe aus Schienenmindesttemperatur  $T_{min}$  der Weiche 3 oder der Umgebungstemperatur  $T_u$  und der unteren Weichensolltemperatur (bspw. 7 °C abzüglich 4 °C Hysterese ergibt 3 °C) der Schienenmindesttemperatur der weiche 3 der beheizten Schienen, bspw. Backenschienen 7 links und rechts (z.B. Knoten K Backenschienenfuß) und/oder der parametrisierten Mindesttemperatur an den funktionsrelevanten Stellen 19, z.B. + 1 °C entspricht, wobei die Summe

### EP 3 850 154 B1

der Verlustleistungen der erforderlichen spezifischen Leistung der Heizeinrichtung 14 in Watt pro Meter für eine Länge der Heizeinrichtung 14 entspricht.

**[0060]** Aus maximaler Schneemenge  $h_s$ , den waagerechten Flächen des Weichensegments und der mittleren Dichte von Schnee, z.B. von  $100 \text{ kg/m}^3$ , bei Lufttemperatur kleiner  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $200 \text{ kg/m}^3$  bei Lufttemperatur größer  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  und einer mittleren spezifischen Schmelzwärme von bspw.  $335 \text{ kJ/Kg}$  wird die erforderliche Schmelzleistung für die Schneemenge in einer Stunde ermittelt. Schnee beginnt bei  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  zu schmelzen. Die gesamte erforderliche spezifische Leistung der Heizeinrichtungen 14 ergibt sich aus der Summe der Verlustleistungen bei bspw.  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  und der Schmelzleistung der Schneemenge, die zwischen Heizbeginn und Erreichen der Schienenmindesttemperatur  $T_{\min}$  der Weiche 3 von bspw.  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  am Fuß-Backenschiene gefallen ist. Die gefallene Schneemenge ermittelt sich aus erfasster Schneemenge und der Zeit bis zum Erreichen der Schienenmindesttemperatur  $T_{\min}$  der Weiche 3, die der Schmelztemperatur von Schnee entspricht.

**[0061]** Eine erfolgreiche Funktion der erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 im Winter soll an den funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3 eine Schienenmindesttemperatur  $T_{\min}$  der Weiche 3 an linker Seite 5 der Weiche 3 und rechter Seite 6 der Weiche 3 gewährleisten, wobei die Schienenmindesttemperatur  $T_{\min}$  der Weiche 3 der Schmelztemperatur von Eis und Schnee entspricht. Diese funktionsrelevanten Stellen sind:

Backenschiene-Kopf	(Index Ko-Ba)
Backenschiene-Fuß	(Index Fu-Ba)
Zungenschiene-Kopf	(Index Ko-Zu)
Gleitstuhlplatte -außen	(Index GL-au)

an der linken Seite 5 der Weiche 3 und der rechten Seite 6 der Weiche 3. An diesen funktionsrelevanten Stellen 19 erfolgt die positive Bewertung der Funktion der erfindungsgemäße Weichenheizung 1, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind.

**[0062]** Dabei berücksichtigt der Faktor  $k$  Temperaturdifferenzen aufgrund von Wärmeleitungen zwischen den Stellen

$$T_{\text{Fu-Ba}} > T_{\text{Soll}}$$

$$T_{\text{Ko-Ba}} \geq T_{\min}$$

$$T_{\text{Fu-Zu}} \geq k \times T_{\text{Soll}}$$

$$T_{\text{Ko-Zu}} \geq T_{\min}$$

$$T_{\text{GL-mi}} \geq k \times T_{\text{Soll}}$$

$$T_{\text{GL-au}} \geq T_{\min}$$

**[0063]** Damit für alle Weichentypen nur ein Programm erforderlich ist, erfolgt die Bewertung an typischen Weichensegmenten für die linke Seite 5 der Weiche 3 und die rechte Seite 6 der Weiche 3 über die Bereiche Weichenspitze 35, Weichenmitte 36 und Weichenende 37. Bewertet werden parametrierbare Werte für die linke Seite 5 der Weiche 3 und die rechte Seite 6 der Weiche 3 eines Weichensegments, bspw:

$$T_{\text{Fu-Ba-min}} = \text{Weichensolltemperatur} * k \text{ (mit } k=1,5)$$

$$T_{\text{Ko-Ba-min}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Fu-Zh-min}} = \text{Weichensolltemperatur} * k \text{ (mit } k=0,5)$$

## EP 3 850 154 B1

$$T_{\text{Ko-Zu-min}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

5  $T_{\text{GL-mi-min}} = \text{Weichensolltemperatur} * k \text{ (mit } k=0,5)$

$$T_{\text{GL-au-min}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

10 **[0064]** Anheizzeit  $t_A \leq t_{A\text{-max}}$  geschmolzene Schneemenge während der Anheizzeit  $t_{Am}$  größer gefallene Schneemenge  $h_s$  durch Bewerten der vorhandenen spezifischen Leistung der Heizeinrichtung 14 mit der erforderlichen Erhaltungsleistung  $P_{\text{erh}}$  zuzüglich Schmelzleistung für die gefallenen Schneemenge.

15 **[0065]** Mit dem Berechnungsverfahren in Verbindung mit einer Steuereinrichtung zu Steuerung und Regelung können folgende Maßnahmen zur Gewährleistung der Funktion der Weiche 3 bei minimalem Energieverbrauch über den gesamten Betriebsbereich aktiviert werden.

*Einstellen der berechneten optimalen Leistung der Heizeinrichtung 14 über Gruppensteuerung, Wellenpaketsteuerung, Pulsweitenmodulation und Frequenzänderung in Abhängigkeit der Art der Heizeinrichtungen*

20 **[0066]** Anordnung von zusätzlichen Heizeinrichtungen 29 an der Zungenschiene 8 und/oder den Gleitstuhlplatten 9, die über das Berechnungsmodell zeitlich oder über Leistungsaufteilung so aktiviert und gesteuert werden, dass ohne Erhöhung der Anschlussleistung die funktionsrelevanten Stellen 19 zeitlich gleichmäßig erwärmt werden und damit keine zeitlichen Nachteile einzelner Teile der Weiche 3 eintreten.

25 **[0067]** Bei mittels Berechnungsverfahren prognostizierten Defiziten der Weichentemperaturen der Weiche 3 aufgrund unzureichend vorhandener spezifischer Leistung der Heizeinrichtung 14 an der abliegenden Zungenschiene 11 erfolgt frühzeitige Warnmeldung oder Meldung möglichst Weiche 3 umstellen und/oder Vorheizen auf eine geringe Schienensolltemperatur der Weiche 3, so dass bei Wetterextremen durch bspw. starken Schneefall der Schnee sofort schmilzt.

30 **[0068]** Zur erfolgreichen Funktion der erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 ist eine gleichmäßige Erwärmung der funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3 der anliegenden und abliegenden Zungenschiene 8 erforderlich. Da die Weiche 3 im Betrieb laufend in Abhängigkeit der Fahrtrichtung umgestellt wird und für die Weichenstellung keine Sensoren zur Detektion der Lage der Zungenschiene 8 möglich sind, wird vorgeschlagen, durch Auswertung des berechneten zeitlichen Verlauf der Weichentemperatur der Weiche 3 an der linken Seite 5 der Weiche 3 und an der rechten Seite 6 der Weiche 3 die Lage der Zungenschienen 8 zu detektieren

35 **[0069]** Heizeinrichtung-Bestückungsvarianten sind:  
Heizeinrichtung 14 an den Backenschienen 7 und zusätzliche Heizeinrichtung 29 an den Zungenschienen 8 und bei Beginn des Betriebes Anheizen von ersten Schienen mit 100 % spezifischer Leistung der Heizeinrichtung 14, wobei erste Schienen Backenschienen 7 oder Zungenschiene 8 oder Gleitstuhlplatten 9 sein können, und bei Erreichen der Schienensolltemperatur  $T_{\text{Soll}}$  der Weiche 3 an der ersten Schiene Reduzieren der jeweiligen spezifischen Leistung der Heizeinrichtung 14 oder 29 auf maximal spezifische Erhaltungsleistung  $P_{\text{Erh}}$  oder geringer oder Ausschalten derselben und Aktivieren der zusätzlichen Heizeinrichtung 29 an der Zungenschiene 7 oder den Gleitstuhlplatten 9 mit der verbleibenden spezifischen Leistung ab dieser Zeit und nur in den Heizpausen der Heizeinrichtung 14 der ersten Schienen bspw. über Gruppenbetrieb während zyklischer Taktzeiten bei elektrischen Heizstäben.

40 **[0070]** Bei berechneten Defiziten vor einer Heizanforderung bspw. durch Schnee an der Wetterstation erfolgt Aktivieren von zusätzlichem Heizregime "Vorheizen", bspw. bei möglichen Wetterextremen über separate Wetterdaten aus einer örtlichen Wetterstation bzw. über einen Wetterdienst derart, dass eine zweite Schienensolltemperatur der Weiche 3 berechnet wird und die erfindungsgemäße Weichenheizung 1 über Vorheizen in Betrieb geschaltet wird und auf diese zweite Schienensolltemperatur der Weiche 3 geregelt wird, wobei die zweite Schienensolltemperatur der Weiche 3 so groß ist, dass bei Eintreten der tatsächlichen Wetterextreme der Schnee geschmolzen und die Funktion der Weiche 3 gewährleistet und bei Ausbleiben der Wetterextreme das Vorheizen beendet wird.

50 **[0071]** Bei Bestückung der Backenschiene 7 und der Zungenschiene 8 und/oder der Gleitstuhlplatten 9 mit zusätzliche Heizelementen 29 erfolgt bei Betrieb während der Anheizzeit die Aktivierung der Heizeinrichtungen 14 immer nacheinander, d.h. zuerst Aktivieren der Heizeinrichtung 14 der ersten Schiene mit einem Leistungsverhältnis 100 % und nach Erreichen der Schienensolltemperatur der Weiche 3 Aktivieren der Heizeinrichtung 29 der zweiten Schiene in den Heizpausen der Heizeinrichtung 14 der ersten Schiene und im Regelbetrieb, d.h. wenn beide Schienen Schienensolltemperatur der Weiche 3 aufweisen, erfolgt Gruppenbetrieb oder Wellenpaketsteuerung oder gleichzeitiger Heizbetrieb aller Heizeinrichtungen 14, 29 mit verringerter spezifischer Leistung oder aktiver Heizzeit, wobei die Summe der spezifischen Leistung der Heizeinrichtungen 14, 29 der linken Seite 5 der Weiche 3 und der rechten Seite 6 der Weiche 3 maximal der spezifischen Leistung der Heizeinrichtung 14 entsprechen.

*Bewerten Schneeschmelzen über die Leistungsbilanz während der Anheizzeit, indem die spezifische Heizleistung größer oder gleich der spezifische Erhaltungsleistung zuzüglich der Schmelzleistung für Schnee ist*

**[0072]** Korrektur des berechneten zeitlichen Verlaufs der Schienensolltemperatur der Weiche 3 mit dem tatsächlich erfassten zeitlichen Verlauf der Weichentemperatur der Weiche 3 mittels Weichentempersensor 28 unter Berücksichtigung von Strahlungswärme durch Sonnenstrahlung und Windeinfluss über Konvektion.

**[0073]** Nachfolgend wird eine detaillierte Beschreibung der Figuren gegeben.

**[0074]** In Figur 0 ist eine Weiche 3 schematisch in Draufsicht dargestellt. Die Weiche 3 wird eingeteilt in Weichenspitze 16, Weichenmitte 17 und Weichenende 18. Es sind Backenschienen 7 und Zungenschienen 8 dargestellt. Die Zuordnung der rechten Seite 6 der Weiche 3 erfolgt von der Zungenspitze 16 in Blickrichtung (Bezugszeichen 2) zum Weichenende 18. An der linken Seite 5 der Weiche 3 ist die abliegende Zungenschiene 11 und an der rechten Seite 6 der Weiche 3 ist die anliegende Zungenschiene 10 dargestellt. An einer Backenschiene 7, hier an der linken Seite 5 der Weiche 3, ist ein Weichentempersensor 28 angeordnet. Im Bereich der Weichenspitze 16 ist bspw. ein Weichensegment Weichenspitze 34, im Bereich der Weichenmitte 17 ist ein Weichensegment Weichenmitte 35 und im Bereich Weichenende 18 ist ein Weichensegment Weichenende 36 jeweils für linke Seite 5 der Weiche 3 und die rechte Seite 6 der Weiche 3 angeordnet. Der Weichentempersensor 28 befindet sich an der Weichenspitze an der rechten Seite 6 der Weiche 3 oder an der linken Seite 5 der Weiche 3. Weiterhin sind die im Stützknaggenbereich vorhandenen Stützknaggen 13 dargestellt, diese dienen auf der Seite der anliegenden Zungenschiene 10 dem Abstützen der Zungenschiene 8 gegenüber der Backenschiene 7 bei Befahren der Zungenschiene 8 mit dem Zug.

**[0075]** In Figur 1 ist eine schematische Schnittdarstellung der Weiche 3 aus Figur 0 am Weichensegment Weichenspitze 34 mit linker Seite 5 der Weiche 3 und rechter Seite 6 der Weiche 3 dargestellt. An der linken Seite 5 der Weiche 3 ist die abliegende Zungenschiene 11 und an der rechten Seite 6 der Weiche 3 die anliegende Zungenschiene 12 dargestellt. Die funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3 im Winter sind an der linken Seite 6 der Weiche 3 durch die Bewertungspunkte (37 bis 43 dargestellt. Durch die erfindungsgemäße Weichenheizung 1 sollen diese funktionsrelevanten Stellen 19, gekennzeichnet durch die Bewertungspunkte 37 bis 43 im Winter bei negativen Umgebungstemperaturen so erwärmt werden, dass der daran befindliche Schnee bzw. Eis geschmolzen wird. Die Bewertungspunkte 37 bis 43 an der linken Seite 5 und an der rechten Seite (69 der Weiche der Weiche 3 sind die Bewertungspunkte Fuß-Backenschiene 37, Steg-Backenschiene 38, Kopf-Backenschiene 39, Fuß-Zungenschiene 40, Kopf-Zungenschiene 41, Mitte-Gleitstuhlplatte 42 und Außen-Gleitstuhlplatte 43 dargestellt, die jeweils durch Knoten K des Wärmenetzes 26, 27 repräsentiert werden und den funktionsrelevanten Stellen 19 der rechten Seite 6 der Weiche 3 und der linken Seite 5 der Weiche 3 entsprechen. Der Weichentempersensor 28 ist an der linken Backenschiene 7 zwischen zwei Schwellen 24 angeordnet und die damit erfassten realen Weichentemperaturen  $T_w$  an der Backenschiene 7 linke Seite 5 der Weiche 3 können mit den berechneten optimalen Weichentemperaturen an dieser funktionsrelevanten Stelle 19 mit den berechneten optimalen Weichentemperaturen  $T_{W-op}$  verglichen und bei Differenzen korrigiert werden. Im Betrieb wird der Fahrweg der Weiche 3 durch Verstellen der Zungenschienen 8 laufend verändert, indem an linker Seite 5 der Weiche 3 und rechter Seite 6 der Weiche 3 die Zungenschiene 8 abwechselnd an- oder abliegend von der Backenschiene 7 ist. Sensoren zur Detektion der Stellung der Zungenschiene 8 sind nicht vorhanden. Die Detektion der Stellung der Zungenschienen 8 an den Backenschienen 7 anliegend oder abliegend erfolgt durch Bewerten der berechneten optimalen Weichentemperaturen  $T_{W-op}$  an jeweiligen Bewertungspunkten der funktionsrelevanten Stellen 19, vorzugsweise an Bewertungspunkt Kopf-Zungenschiene 41. Die Weiche wird mit einer Heizeinrichtung 14 am Backenschienenfuß beheizt.

**[0076]** In Figur 2 ist bei Betrieb einer Weichenheizung entsprechend dem Stand der Technik zum Zeitpunkt  $t_1$  durch Schneefall und einer dadurch erzeugten Heizanforderung "Ein" der zeitliche Verlauf der realen Weichentemperatur  $T_{W-Fu-Ba}$  an einer Schiene, an der die Heizeinrichtung 14 angeordnet ist, bspw. an Fuß-Backenschiene, und der zeitliche Verlauf der realen Weichentemperatur  $T_{W-Au-GL}$  an einer nicht mit Heizeinrichtung 14 versehenen Schiene, an einer funktionsrelevanten Stelle einer Weiche, bspw. Außen-Gleitstuhlplatte- dargestellt. Nach einer durch die Masse bestimmten Totzeit steigt die reale Weichentemperatur  $T_{W-Fu-Ba}$  an der mit Heizeinrichtung bestückten Backenschiene schnell an. Bei Erreichen der Weichensolltemperatur  $T_{Soil}$  zur Zeit  $t_6$  wird bei Zweipunktregelung die Heizung abgeschaltet und nach einem geringen Überschwingen der realen Weichentemperatur aufgrund der Masse der Schiene bis zur Zeit  $t_7$  kühlt diese bis zur Zeit  $t_8$  ab und der Heizstrom ( $I_N$ ) wird zu dieser Zeit wieder eingeschaltet. Die Zeit von  $t_1$  bis  $t_6$  wird als Anheizzeit  $t_A$  und die Zeit ab  $t_6$  bis  $t_9$ , mit Regelzeit bezeichnet. Die von der Heizeinrichtung entfernt liegende und nicht mit Heizeinrichtung 14 versehene Gleitstuhlplatte wird nur sehr langsam erwärmt und hat zum Zeitpunkt  $t_6$  eine sehr geringe reale Weichentemperatur  $T_{W-Außen-GL}$ , die weit unter der Weichensolltemperatur ist.

**[0077]** Zum Zeitpunkt  $t_6$  wird durch die parametrisierte Hysterese von bspw. 4 °C der Heizstrom für alle Heizeinrichtungen der Weiche ausgeschaltet, so dass auch an der Gleitstuhlplatte die Kühlung einsetzt. Die Weichentemperaturdifferenz  $\Delta T_W$  zur Zeit  $t_6$  zwischen Fuß Backenschienen und Gleitstuhlplatte ist sehr groß. Diese Weichentemperaturdifferenz  $\Delta T_W$  ist bei einer Umgebungstemperatur von bspw. - 15 °C so groß, dass an der Gleitstuhlplatte außen die Weichentemperatur auch nach sehr langer Zeit kleiner 0 °C beträgt und die Weiche an dieser Stelle Eis ansetzt und festfrieren kann. In Figur 2 ist der zeitliche Verlauf des Heizstromes  $I_N$  bei Heizanforderung Ein dargestellt, der bei Betrieb zwischen Null und

maximalen Heizstrom  $I_N$  in Abhängigkeit der Weichentemperatur am Fuß der Backenschiene ein- und ausgeschaltet wird und dadurch Leistungsspitzen zwischen Null und Nennstrom zur Folge hat. Zu den Zeitpunkten  $t_3$ ,  $t_4$  und  $t_5$  werden jeweils die Temperaturen am Weichentempersensor (28) gemessen und zur Bewertung bzw. Korrektur der berechneten optimalen Weichentemperaturen.

5 **[0078]** In Figur 3 ist für Weichensegment der Weiche 3 ein erfindungsgemäßes Wärmenetz 26 für die linke Seite 5 der Weiche 3 und teilweise ein analoges Wärmenetz 27 für die rechte Seite 6 der Weiche 3 entsprechend einer Schnitt-  
10 darstellung nach Figur 1 an einem beliebigen Bereich der Weiche 3 dargestellt, die über den Knoten K Umgebungstemperatur  $K_{TU}$  verbunden sind. Heizeinrichtungen 14, 29 sind bspw. an der Backenschiene 7 auf dem Backenschienenfuß innen angeordnet. Das Wärmenetz 26 für die linke Seite 5 der Weiche 3 und das Wärmenetz 27 für die rechte Seite 6  
15 der Weiche 3 basieren auf einer Schnittdarstellung längs der Gleitstuhlplatte 9 auf der linken Seite 5 der Weiche 3 und der gegenüberliegenden Gleitstuhlplatte 9 auf der rechten Seite 6 der Weiche 3 und dem Querschnitt der Backenschiene 7 und der Zungenschiene 8 auf der linken Seite 5 der Weiche 3 und Backenschiene 7 und Zungenschiene 8 auf der  
20 rechten Seite 6 der Weiche 3 an einem beliebigen Weichenbereich 4 der Weiche 3 mit Symbolen Heizeinrichtung 29, Symbolen Wärmestrahlung 30, Symbolen Konvektion 31, Symbolen Wärmeleitung 33 und Symbolen Wärmespeicher 32 zwischen den funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3, die durch Knoten K repräsentiert werden.

**[0079]** Im Wärmenetz 26 der linken Seite 5 der Weiche 3 ist zwischen der Umgebungstemperatur  $T_u$ , die durch Knoten K Umgebungstemperatur  $K_{TU}$  repräsentiert wird, und funktionsrelevanten Stellen 19, die ebenfalls durch Knoten K  
25 repräsentiert werden, ein Wärmenetz vorhanden, das mit bekannten Regeln berechnet werden wird. Die Knoten K für die funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3 für das Wärmenetz 26 für die linke Seite 5 der Weiche 3 und für das Wärmenetz 27 für die rechte Seite 6 der Weiche 3 sind gleich und entsprechend der Bewertungspunkte 37 bis 43, aber die Verlustleistungen der anliegende Zungenschiene 10 und abliegende Zungenschiene 11 sind unterschiedlich. Die  
folgende Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen den funktionsrelevanten Stellen 19, den entsprechenden Knoten K und der erforderlichen Weichentemperatur  $T_w$ , die an den jeweiligen Knoten K mit der Bezeichnung  $T_{w-op}$  berechnet wird und in einem separaten Programm bewertet wird für das Wärmenetz 26 für die linke Seite 5 der Weiche 3. Das  
30 Wärmenetz 27 für die rechte Seite 6 der Weiche 3 ist analog dazu und über den Knoten K Umgebungstemperatur  $K_{TU}$  verbunden.

Bezeichnung funktionsrelevante Stelle 19	Knoten K	Erforderliche Weichentemperatur $T_w$ in Grad Celsius
Umgebungstemperatur	$K_{TU}$	Temperatur-Bereich + 10 °C bis - 20 °C
Backenschienen-Fuß linke Seite	$K_{Fu-Ba-Li}$	größer als k fache der Schienen Solltemperatur
Backenschienen-Steg linke Seite	$K_{St-Ba-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
Backenschienen-Kopf linke Seite	$K_{Ko-Ba-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
35 Zungenschienen-Kopf linke Seite	$K_{Ko-Zu-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
Zungenschienen-Steg linke Seite	$K_{St-Zu-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
Zungenschienen-Fuß linke Seite	$K_{Fu-Zu-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
40 Gleitstuhlplatte-mitte linke Seite	$K_{Gl-mi-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
Gleitstuhlplatte-außen linke Seite	$K_{Gl-au-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur

45 **[0080]** Zur Berechnung der Weichentemperaturen der Weiche 3 und der Verlustleistungen wird das Weichensegment in Abschnitte zerlegt und jeder Abschnitt wird durch einen Knoten K repräsentiert, der die mittlere Weichentemperatur  $T_w$  des zugeordneten Abschnittes angibt. Die Größe der Abschnitte bzw. die Anzahl der Knoten K hängen von der geforderten Nachbildungsgenauigkeit ab. Für alle Knoten K werden die Verlustleistungen und Wärmewiderstände und Wärmekapazitäten aus den Stoffeigenschaften, den geometrischen Größen und den vorherrschenden Belastungen durch Heizstrom  $I_N$  und Umwelt berechnet. Aus der Verbindung der Knoten K durch Widerstände, Kondensatoren und  
50 Spannungsquellen entsteht ein Netzwerk, das mit Hilfe des Knoten- und Maschensatzes numerisch gelöst werden kann. Wird die Leistungsbilanz für einen Knoten K erstellt, gilt der Kirchhoffsche Satz (Knotensatz).

$$P_S + P_K + P_L = P_{Lei} + P_C$$

55 **[0081]** Nach dem 2. Kirchhoffschen Satz (Maschensatz) folgt, dass entlang einer geschlossenen Linie, d. h. einer Masche, die Summe der vorzeichenbehafteten Temperaturdifferenzen gleich Null ist. Mit einem Softwareprogramm erfolgt die Berechnung der Verlustleistungen und der Wärmetransportvorgänge. Die temperaturabhängigen Wärmeleis-

tungen und Wärmewiderstände werden entsprechend den bekannten Berechnungsgrundlagen berechnet und an den funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3, die im Wärmenetz 26, 27 durch Knoten K repräsentiert werden, und unter Einbeziehung der Wärmekapazitäten die Endtemperatur und der zeitliche Verlauf der Weichentemperaturen berechnet.

**[0082]** In Figur 4 wird zunächst die Anheizzeit  $t_A$  dargestellt. Bei erfüllten Bedingungen für den Heizbetrieb, bspw. bei Schnee, wird über Signal Heizanforderung aus der Steuereinrichtung die Heizung in Betrieb gesetzt und die Heizeinrichtungen 14 an den Backenschiene 7 werden eingeschaltet und nach erreichender Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  über Zweipunktregelung mit Hysterese geregelt und dadurch die Teile der Weiche 3 erwärmt. Die nicht mit Heizeinrichtung 14 versehenen Zungenschiene 8 und Gleitstuhlplatten 9 werden durch Wärmeleitung und Strahlung erwärmt. Die Anheizzeit  $t_A$  beginnt mit Aktivierung der Heizung und endet bei Erreichen der Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  an einem Weichentempersensor 28, der unter dem Fuß an einer Backenschiene 7 angeordnet ist. Die Dauer der Anheizzeit  $t_A$  ist von vielen Faktoren abhängig und soll zur Sicherung der Verfügbarkeit berechnet, überwacht und bei Bedarf entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden.

**[0083]** Die Berechnung der Anheizzeit  $t_A$  erfolgt für zumindest ein Weichensegmente für die linke Seite 5 der Weiche 3 und die rechte Seite 6 der Weiche 3 in mehreren Schritten unter Berücksichtigung von Zeiten, in denen die Erwärmung des Weichensegments bis zur Weichenmindesttemperatur  $T_{W-min}$  der Weiche 3, Schnee schmelzen, Verdampfen von Wasser und danach bis zur Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3 erfolgt. In Figur 4 ist der zeitliche Verlauf der Weichentemperatur  $T_{W-Fu-Ba}$  der Weiche 3 am Fuß einer Backenschiene 7 und der Weichentemperatur  $T_{W-GL-au}$  außen der Weiche 3 der Gleitstuhlplatte 9 an einer Seite, bspw. der linken Seite 5 der Weiche 3, dargestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Zeitabschnitte erläutert. Aufgrund der Massenträgheit besteht bei Betrieb eine Totzeit  $t_T$  von  $t_1$  bis  $t_2$ . Die Totzeit  $t_T$  wird berechnet.

**[0084]** Die Anheizzeit  $t_A$  ist die Zeit bis zum Erreichen der Schmelztemperatur von Schnee bis zur Zeit  $t_{2.1}$ . Ab der Zeit  $t_2$  wird die Weiche 3 bis zur Schmelztemperatur  $T_s$  erwärmt, die zur Zeit  $t_{2.1}$  erreicht wird. Die Berechnung der Anheizzeit  $t_A$  erfolgt über mit dem Wärmenetzmodell ermittelten Wärmewiderstand  $R_{th}$  und Wärmekapazität  $C_{th}$  und der Verlustleistung der Weiche 3 auf Grundlage des zeitlichen Verlaufs beginnend ab Weichentemperatur kalte Schiene  $T_K$  der Weiche 3 bis zum Erreichender Schmelztemperatur  $T_s$  bspw. über die Formeln

$$t_{A1} = \tau \ln \tau = R_{th} C_{th}$$

$$\tau = \left( \frac{1}{1 - \left( \frac{absT_u}{1 - (absT_K - T_u)} \right)} \right)$$

**[0085]** Die Zeit zum Schmelzen der gefallenen oder projektspezifisch erforderlichen Schneemenge besteht aus zwei Teilzeiten  $t_{A2}$  und  $t_{A3}$ . Während der Zeit  $t_{A2}$  wird die Zeit zum Schmelzen der Schneemenge aus der Zeit  $t_{A1}$  berechnet und während der Zeit  $t_{A3}$  wird die während der Zeit  $t_{A2}$  gefallene Schneemenge berechnet. Die Berechnung der Schmelzleistung pro Stunde erfolgt aus Schneemenge  $h_s$  und den waagerechten Flächen des Weichensegments und einer mittleren Dichte von Schnee, z.B. von  $100 \text{ kg/m}^3$  bei Lufttemperatur kleiner  $0^\circ \text{C}$  und  $200 \text{ kg/m}^3$  bei Lufttemperatur größer  $0^\circ \text{C}$  und einer mittleren spezifischen Schmelzwärme von bspw.  $335 \text{ kJ/Kg}$ . Schnee beginnt bei  $0^\circ \text{C}$  zu schmelzen. Die Berechnung der spezifischen Leistung erfolgt deshalb bspw. bei einer Weichentemperatur von  $0^\circ \text{C}$  an der Backenschiene 7 unter Berücksichtigung der erforderlichen optimalen spezifischen Leistung der Heizeinrichtung 14 zur Erhaltung der Schmelztemperatur der Backenschiene 7, die der Summe der Verlustleistungen bei dieser Schmelztemperatur entspricht.

**[0086]** Die Berechnung der gesamten Anheizzeit  $t_{A2}$  plus  $t_{ANH3}$  zum Schmelzen des gesamten Schneemenge aus der Anheizzeit  $t_{A1}$  und der Anheizzeit  $t_{A2}$  erfolgt aus dem Produkt aus Schmelzleistung pro Stunde und der Summe aus Zeit  $t_{ANH1}$  und Zeit  $t_{ANH2}$  und Totzeit  $t_T$ .

**[0087]** Nachdem der Schnee geschmolzen ist, wird die Weiche 3 weiter erwärmt. Die Anheizzeit  $t_{A4}$  beginnt zur Zeit  $t_{2.3}$  und endet mit Erreichen der Schienensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3 durch den Weichentempersensor 28. Die Berechnung der Anheizzeit  $t_{A4}$  erfolgt über das mit Wärmenetzmodell ermittelten Wärmewiderstand  $R_{th}$  und Wärmekapazität  $C_{th}$  und der Verlustleistung auf Grundlage des zeitlichen Verlaufs beginnend ab Schmelztemperatur bis zum Erreichen der Weichensolltemperatur analog Pkt. 1 mit entsprechend absoluter Weichentemperatur aus der Differenz Weichensolltemperatur und Schmelztemperatur.

**[0088]** Während der Anheizzeit  $t_{A5}$  wird der Schnee aus der Anheizzeit  $t_{A4}$  geschmolzen. Die Berechnung erfolgt analog der Anheizzeit  $t_{A2}$  bzw.  $t_{A3}$ .

**[0089]** Die gesamte Anheizzeit  $t_A$  dauert von Zeit  $t_1$  bis  $t_7$  und wird aus der Summe aus Totzeit und Anheizzeiten  $t_{A1}$  bis  $t_{A5}$  ermittelt und bewertet.

**[0090]** In Figur 5 ist ein Programmablauf für die Dimensionierung einer erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 mit

## EP 3 850 154 B1

Berechnung der erforderlichen spezifischen Leistung der Heizeinrichtungen 14 in Abhängigkeit aller möglichen projektspezifische Eingabewerte, Parameter und Umgebungsbedingungen dargestellt.

1. Schritt: Start
- 5 2. Schritt: Parametereingabe
- Die Parameter sind: minimale Umgebungstemperatur  $T_{U-min}$   
Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3  
Weichenmindesttemperatur  $T_{W-min}$  der Weiche 3  
10 maximale Windgeschwindigkeit  $v_{max}$ ,  
maximale Schneemenge in cm pro Zeiteinheit  $h_{S-max}$ ,  
Weichenprofil R
3. Schritt: Parametrieren funktionsrelevanter Stellen
- Funktionsrelevante Stellen (19) sind bspw.
- 15 Weichentemperatur Fuß-Backenschiene an- und abliegend linke Seite ( $T_{Fu-Ba-an}$ ,  $T_{Fu-Ba-ab}$ )  
Weichentemperatur Kopf-Backenschiene an- und abliegend ( $T_{Ko-Ba-an}$ ,  $T_{Ko-Ba-ab}$ )  
Weichentemperatur Kopf-Zungenschiene an- und abliegend ( $T_{Ko-Zu-an}$ ,  $T_{Ko-Zu-ab}$ )  
20 Weichentemperatur Gleitstuhl-außen an- und abliegend ( $T_{GL-au-an}$ ,  $T_{GL-au-ab}$ )  
Spezifische Schneemenge an- und abliegend ( $h_{S-an}$ ,  $h_{S-ab}$ )

an Weichenspitze 16, Weichenmitte 17 und Weichenende 18 jeweils eines Weichensegments. Die Heizeinrichtungen 14 sollen bspw. an den Backenschienen 7 angebracht werden, der Einbau der Heizeinrichtungen 14 erfolgt am Schienenfuß, die Weiche 3 soll ohne Wärme- bzw. Winddämmung ausgerüstet werden. Jede funktionsrelevante Stelle 19 wird durch einen Knoten K mit hier nicht näher bezeichneter Ortsangabe repräsentiert.

25

4. Schritt: Berechnen der Weichentemperaturen und spezifischen Verlustleistungen  $\Sigma P_{V1}$  für 1. Weichensegment mittels Wärmenetzmodell aus den Stoffeigenschaften, den geometrischen Größen und den eingegebenen Parametern und Ausgabe der Summe Verlustleistung des Weichensegments und der Weichentemperaturen für die funktionsrelevanten Stellen 19 anliegende und abliegende Seite des Weichensegments
- 30 5. Schritt: Berechnen spezifische Verlustleistungen  $\Sigma P_{Vn}$  für weitere Weichensegmente analog 4. Schritt
6. Schritt: Die erforderliche spezifische Heizleistung  $P_{eff}$  ergibt sich aus der Summe der Verlustleistungen  $\Sigma P_{Vn}$  jedes Weichensegments.
- 35 7. Schritt: Prüfen, wird mit der berechneten spezifischen Leistung an dem Standort des Weichentemperatursensors, anliegende oder abliegende Seite, die Weichensolltemperatur erreicht? Bei "Ja" weiter zu Schritt 10., bei "Nein" weiter zu Schritt 8.
8. Schritt: Bewertung
- Die berechnete Weichenendtemperatur der Weiche 3 am Fuß Backenschiene anliegende Seite  $T_{W-Fu-Ba-an}$  oder abliegende Seite  $T_{W-Fu-Ba-ab}$  ist kleiner als die Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3, Ergebnis ist Weichenendtemperatur der Weiche 3 an Backenschienenfuß ( $T_{W-Fu-Ba}$ ) ist zu gering, die Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3 wird nicht erreicht, weiter mit Schritt 9.
- 40 9. Schritt: Erhöhen der spezifischen Leistung  $P$  der Heizeinrichtung 14 um einen Leistungszuschlag  $p$  von bspw. 10 Watt pro Meter und Wiederholung der Berechnung nach Schritt 4.
10. Schritt: Prüfen, ist die berechnete Weichenendtemperatur der Weiche 3 am Kopf Backenschiene anliegende Seite  $T_{W-Ko-Ba-an}$  oder abliegende Seite  $T_{W-Ko-Ba-ab}$  kleiner als die Weichenmindesttemperatur  $T_{W-Min}$  der Weiche 3? Ist bspw. die berechnete Weichentemperatur der Weiche 3 an Kopf-Backenschiene  $T_{op-Ko-Ba}$  der anliegenden oder abliegende Seite kleiner als die parametrisierte Weichenmindesttemperatur  $T_{W-Min}$ , weiter mit Schritt 9. Ist die berechnete Weichentemperatur der Weiche 3 an Kopf-Backenschiene anliegende und abliegende Seite ( $T_{op-Ko-Ba-an}$ ,  $T_{op-Ko-Ba-ab}$ ) größer oder gleich der Schienenmindesttemperatur der Weiche 3, weiter zu Schritt 11.
- 50 11. Schritt: Prüfen, ist die berechnete Weichenendtemperatur der Weiche 3 am Kopf-Zungenschiene 21 anliegende Seite  $T_{op-Ko-Zu-an}$  oder abliegende Seite  $T_{W-Ko-Zu-ab}$  kleiner als die Weichenmindesttemperatur  $T_{W-Min}$  der Weiche 3? Bei "JA" weiter zu Schritt 9., bei "Nein" weiter zu Schritt 12.
12. Schritt: Prüfen, ist die berechnete Weichenendtemperatur der Weiche 3 an Außen-Gleitstuhlplatte anliegende Seite  $T_{W-GL-au-an}$  oder abliegende Seite  $T_{W-GL-au-ab}$  kleiner als die Weichenmindesttemperatur  $T_{W-Min}$  der Weiche 3? Bei "JA" weiter zu Schritt 9., bei "Nein" weiter zu Schritt 13.
- 55 13. Schritt: Schneemenge wird geschmolzen
- Prüfen, wird die maximale Schneemenge geschmolzen oder nicht über Vergleich der Summe aus berechneter

## EP 3 850 154 B1

spezifischer Erhaltungsleistung  $P_{Erh}$  bei Weichenmindesttemperatur  $T_{W-Min}$  der Weiche 3 und spezifischer Schmelzleistung  $P_{Sm}$  für die maximale Schneemenge  $h_S$  mit der berechneten spezifischen Leistung ( $P_{op}$ )? Ist die berechnete spezifische Leistung  $P_{op}$  größer oder gleich der Summe aus Erhaltungsleistung  $P_{Erh}$  und Schmelzleistung  $P_{Sm}$ , weiter zu Schritt 14., sonst weiter zu Schritt 9.

14. Schritt: Ausgabe der erforderlichen spezifischen Leistung Heizeinrichtung  $P$  für eine Weichenheizung 1, die im automatischen Betrieb bis zu den Eingabeparametern die Verfügbarkeit der Weiche im Winter bei geringen Energieverbrauch gewährleistet.

**[0091]** In Figur 6 ist der Programmablauf für den Nachweis der Funktion der erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 in Abhängigkeit der minimalen Umgebungstemperatur  $T_u$ , der vorhandenen spezifischen Leistung Heizeinrichtung  $P$ , der Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3 bei maximaler Windgeschwindigkeit  $v_{max}$  für das Schienenprofil  $R$  der Weiche 3 sowie eine mögliche maximale Schneemenge pro Stunde  $h_{S-max}$  und Standort der Heizeinrichtungen 14 an Backenschiene 7 und/oder Zungenschiene 8 und/oder Gleitstuhlplatte 9 dargestellt. Mit einem derartigen Verfahren kann die Grenze der Funktion der erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 und damit die Verfügbarkeit der Weiche 3 im Winter für eine standardmäßig ausgeführte Weichenheizung 1 ermittelt und bewertet werden und das auch bei Betrieb mit aktueller Lufttemperatur, Schneemenge pro Stunde und Windgeschwindigkeit  $v$ . In Figur 6 wird die Verfügbarkeit der Weiche 3 im Winter in Abhängigkeit der Weichtemperaturen der Weiche 3 an den funktionsrelevanten Stellen 19 der abliegenden (rechten) Seite 6 der Weiche 3 und der anliegenden Seite 5 der Weiche 3 Kopf-Backenschienen, Kopf-Zungenschiene und Außen-Gleitstuhlplatte über Vergleich mit der Weichenmindesttemperatur  $T_{W-Min}$  der Weiche 3 und die Funktion Schneeschmelzen während der Anheizzeit  $t_{ANH}$  über Vergleich der spezifischen Leistung Heizeinrichtung  $P$  mit der erforderlichen spezifischen Leistung  $P_{erf}$ , die sich aus der Summe Erhaltungsleistung  $P_{Erh}$  und Leistung Schmelzwärme  $P_{Sm}$  ergibt, ermittelt und die möglichen Defizite ermittelt bzw. die Funktion der Weichenheizung 1 in Abhängigkeit der Witterung bestätigt.

**[0092]** Nachfolgend werden die Schritte für die Bewertung einer vorhandenen Weichenheizung 1 bei minimaler Umgebungstemperatur  $T_{u-min}$ , maximaler Schneemenge pro Stunde  $h_S$  und max. Windgeschwindigkeit  $v_{max}$  dargestellt.

Schritt1: Start des Programmes

Schritt 2: Eingabe von minimal zu erwartender Umgebungstemperatur  $T_{umin}$ , spezifischen Leistungen Heizeinrichtung  $P$ , Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$ , maximaler Windgeschwindigkeit  $v_{max}$ , Schienenprofil  $R$  der Weiche 3, maximaler Schneemenge pro Stunde  $h_S$  und Standort der Heizeinrichtungen 14 an Backenschiene 7 und/oder Zungenschiene 8 und/oder Gleitstuhlplatte 9, Weichenmindesttemperatur  $T_{min}$ .

Schritt 3: Die optimale spezifische Leistung Heizeinrichtung anliegende (linke) Seite  $P_{op-Li}$  und die optimale spezifische Leistung Heizeinrichtung abliegende (rechte) Seite  $P_{op-Re}$  ergibt sich aus der spezifischen Leistung Heizeinrichtung  $P$  an den jeweiligen Backenschienen 7, Zungenschienen 8 bzw. Gleitstuhlplatten 9.

Schritt 4: Für anliegende (linke) Seite 5 der Weiche 3 und abliegende (rechte) Seite 6 der Weiche 3 wird je ein Weichensegment mit je einem Wärmenetzmodell gebildet, wobei für die anliegende (linke) Seite 5 der Weiche 3 die Zungenschiene 8 bspw. anliegend und für die abliegende (rechte) Seite 6 der Weiche 3 die Zungenschiene 8 abliegend dargestellt ist, und es erfolgt über Berechnung der Verlustleistungen Strahlung  $P_{st}$ , Konvektion  $P_K$ , Wärmeleitung  $P_L$ , Schmelzwärme  $P_{Sm}$  und Wärmespeicherung  $P_c$  bei spezifischer Leistung Heizeinrichtung  $P$  die Berechnung der Weichtemperatur  $T$  der Weiche 3 zur Zeit  $t_6$  der Anheizzeit  $t_A$  bei Erreichen der Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3 und über Berechnung der Erhaltungsleistung zum Zeit  $t_{2.1}$  der Anheizzeit  $t_A$  bei Erreichen der Weichenmindesttemperatur  $T_{min}$  der Weiche 3.

Schritt 5: Ausgabe der Weichtemperaturen  $T$  und der Summe der Verlustleistungen anliegenden (linken) Seite  $\Sigma P_{V-Li}$  und der Summe der Verlustleistungen abliegende (rechte) Seite  $\Sigma P_{V-Re}$

Schritt 6: Prüfen, ist die berechnete optimale Weichtemperatur  $T$  der Weiche 3 am Weichtemperatursensor 28, bspw. an Fuß-Backenschiene anliegende (linke) Seite, anliegend, und abliegende (rechte) Seite 6, größer als die Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  der Weiche 3 unter Berücksichtigung eines Faktors  $k$ , bspw. von 1,5? Wenn "JA" weiter zu Schritt 7., wenn "NEIN" weiter zu Schritt 13..

Schritt 7: Prüfen, ist die berechnete optimale Weichtemperatur  $T$  der Weiche 3 am Kopf-Zungenschiene anliegend (linke Seite 5) und abliegend (rechte Seite 6) größer oder gleich der Weichenmindesttemperatur der Weiche 3? Wenn "JA" weiter zu Schritt 8., wenn "NEIN" weiter zu Schritt 13..

Schritt 8: Prüfen, ist die berechnete optimale Weichtemperatur  $T$  der Weiche 3 an Außen-Gleitstuhlplatte anliegend (linke Seite 5) und abliegend (rechte Seite 6) größer oder gleich der Weichenmindesttemperatur der Weiche 3? Wenn "JA" weiter zu Schritt 14., wenn "NEIN" weiter zu Schritt 13..

Schritt 9: Ermitteln der erforderlichen spezifischen Leistung aus der Summe von Erhaltungsleistung zur Erhaltung der Weichenmindesttemperatur der Weiche 3 an Backenschiene 7 und Schmelzleistung anliegende (linke) Seite  $P_{Sm-Li}$  und Schmelzleistung abliegende (rechte) Seite  $P_{Sm-Re}$  zum Schmelzen der bisher gesamten Schneemenge, die sich aus erfasster Schneemenge pro Zeiteinheit und der Zeit  $t_{2.3}$  der Anheizzeit  $t_A$  ergibt.

## EP 3 850 154 B1

Schritt 10: Prüfen, ist die erforderliche spezifische Leistung der anliegenden (linken) Seite  $P_{\text{eff-Li}}$  oder die erforderliche spezifische Leistung der abliegenden (rechten) Seite  $P_{\text{eff-Re}}$  kleiner gleich der spezifischen Leistung Heizeinrichtung P? Wenn "JA" weiter zu Schritt 11., wenn "NEIN" weiter zu Schritt 12..

Schritt 11: Die gefallene Schneemenge ist kleiner oder gleich der geschmolzenen Schneemenge. Der gefallene Schnee wird während der Anheizzeit geschmolzen. Schritt 12: Die gefallene Schneemenge ist größer der geschmolzenen Schneemenge. Der gefallene Schnee wird während der Anheizzeit nicht geschmolzen. Schritt 13: Ausgabe Defizit für anliegende und abliegende Seite mit hier nicht näher angeführtem Text.

Schritt 14: Ausgabe der Betriebsgrenzwerte mit bspw. Minimalwerten aus Weichentemperaturen der Weiche 3 anliegende (linke) Seiten 5 und abliegende (rechte) Seiten 6 Kopf-Backenschienen, Kopf-Zungenschienen sowie geschmolzene Schneemenge.

**[0093]** Das gleiche Programm kann in die Steuerung und Regelung integriert werden, indem anstelle von Minimalwerten bzw. Maximalwerten die aktuelle Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit und Schneemenge eingelesen werden und geeignete Korrekturmaßnahmen oder Warnmeldungen aktiviert werden. Eine geeignete Korrektur ist bspw. zusätzliche Heizeinrichtungen an den Gleitstuhlplatten 9 oder Zungenschienen 8 anzuordnen und die Heizeinrichtungen an diesen zuerst zu aktivieren, so dass aufgrund der geringen Masse die möglichen Probleme gelöst werden. In Figur 7 ist der Programmablaufplan für die Steuerung und Regelung einer erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 für eine Weiche 3 mit Schienenprofil R54 durch Berechnen und Bewerten des zeitlichen Verlaufs der Weichentemperaturen der Weiche 3, der Weichenendtemperatur der Weiche 3 und der Anheizzeit  $t_A$  an den im Winter bei Eis und Schnee funktionsrelevanten Stellen 19 eines Weichensegments mit spezifischer Länge  $l_{\text{seg}}$  für eine linke Seite und eine rechte Seite an einer nicht näher bezeichneten Stelle der Weiche 3 entsprechen. Die in Figur 7 dargestellten Knoten K entsprechen den in Figur 1 dargestellten Bewertungspunkt Fuß-Backenschiene 37, Bewertungspunkt Kopf-Zungenschiene 41, Bewertungspunkt Fuß-Zungenschienen 40, Bewertungspunkt Mitte-Gleitstuhlplatte 42 und Bewertungspunkt Außen-Gleitstuhlplatte 43 für die linke Seite 5 der Weiche 3 und die rechte Seite 6 der Weiche 3 über die Länge der Weiche 3, die durch Weichenbereiche 4 Weichenspitze 16, Weichenmitte 17 und Weichenende 18 gekennzeichnet sind, wobei jeder Weichenbereich durch ein Weichensegment linke Seite 5 der Weiche 3 und ein gegenüberliegendes Weichensegment an der rechten Seite 6 der Weiche 3 repräsentiert wird. Die Einteilung der Weiche 3 in linke Seite 5 und rechte Seite 6 erfolgt bspw. von der Weichenspitze 16 in Blickrichtung Weichenende 18.

Schritt 1. Eingabe

Beispielhaft erfolgt die Eingabe für eine Weiche 3 mit Heizeinrichtung 14 mit spezifischer Leistung P von 330 Watt pro Meter an den Backenschienen 7. Die Weichensolltemperatur der Weiche 3 beträgt  $7\text{ }^\circ\text{C}$ , die Weichenmindesttemperatur  $T_{W-\text{min}}$  der Weiche 3 für das Schmelzen von Schnee an der Weiche 3 wird mit  $\pm 0\text{ }^\circ\text{C}$  und einem minimalen Leistungsverhältnis  $L_v$  von 40 % parametrisiert, so dass die optimale spezifische Leistung  $P_{\text{op}}$  der Heizeinrichtung 14 mit  $330\text{ W/m}$  multipliziert mit 40 % gleich  $132\text{ W/m}$  zu Beginn des Betriebes eingestellt wird. Der Standort des Weichentempersensor 28  $w_T$  ist bspw. die linke Seite 5 der Weiche 3. Die Betriebsbereichswerte sind vom Betreiber der Weiche 3 mit Schienenprofil R54 für eine Umgebungstemperatur bis  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  bei einer maximalen Windgeschwindigkeit bis  $0,8\text{ m/s}$  und einer maximalen Schneemenge bis  $5\text{ cm/h}$  festgelegt. Bis zu diesen Betriebswerten soll die Funktion der Weiche 3 durch die erfindungsgemäße Weichenheizung 1 durch Gewährleistung der erforderlichen Weichenmindesttemperatur  $T_{W-\text{min}}$  an den funktionsrelevanten Stellen 19 und entsprechender optimaler spezifischer Leistung  $P_{\text{op}}$  zum Schmelzen der Schneemenge  $h_s$  sichergestellt werden.

Schritt 2. Wahl des Weichensegments und Berechnen der spezifischen Leistung des Weichensegments linke Seite und rechte Seite mit  $330\text{ W/m} * 40\% = 132\text{ W/m}$ . Schritt 3. Einlesen Weichsegment 1 linke Seite und rechte Seite der aktuellen Umgebungstemperatur, Weichentemperatur, Schneemenge, Niederschlagsart, Niederschlagsmenge und Windgeschwindigkeit.

Schritt 4. Berechnen der Weichentemperaturen der Weiche 3 und Verlustleistungen im Leistungsgleichgewicht (stationärer Endwert) an 6 Knotenpunkten in dem Wärmenetzmodell 26 für die linke Seite 5 der Weiche 3 und im Wärmenetzmodell 27 der rechten Seite 6 der Weiche 3. Zusätzlich Berechnen der Erhaltungsleistung zum Zeitpunkt  $t_{2.1}$ . (benötigte Leistung zum Aufrechterhalten der Temperatur von  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ). Schritt 5. Prüfen, ob Heizanforderung durch Schneefall oder niedrige Umgebungstemperaturen besteht. Wenn Ja weiter mit Schritt 6 wenn nein weiter mit Schritt 2.

Schritt 6. Prüfen ob die aktuelle Zeit größer als die Totzeit ist. Wenn Ja weiter mit Schritt 7, wenn nein weiter mit Schritt 8

Schritt 7. Bei abgelaufener Totzeit Messen der Weichentemperatur der Weiche 3 mittels Weichentempersensor und Vergleichen mit berechneten Weichentemperatur am jeweiligen Knoten K und Berechnen der Weichenendtemperaturüber Zeitkonstante oder Modellparameter.

Schritt 8. Prüfen, ob Weichentemperatur der Weiche 3 Kopf-Zungenschiene linke Seite größer als die Weichentemperatur der Weiche 3 Kopf-Zungenschiene rechte Seite ist. Bei "Ja" ist die linke Seite die anliegende Zungenschiene

8, (Annahme Weichentemperatur Kopf Zungenschiene ist höher, damit wird erkannt, ob die Weiche inzwischen umgestellt wurde).

Schritt 9. Prüfen, ob linke Seite oder rechte Seite Standort des Weichentempersensors ist. Im Beispiel ist die Linke Seite der Standort des Weichentempersensor 28. Auf der Seite mit Weichentempersensor 28 weiter mit Schritt 10 auf der Seite ohne Weichentempersensor weiter mit Schritt 12. Eine Ausrüstung beider Seiten mit Weichentempersensoren ist möglich.

Schritt 10. Zuweisen Weichentemperatur linke Seite ist anliegend und Weichentemperatur rechte Seite ist abliegend

Schritt 11. Prüfen, ob die errechnete Weichentemperatur der Weiche 3 Fuß-Backenschiene anliegend gleich der realen Weichentemperatur der Weiche 3 Fuß-Backenschiene unter Berücksichtigung einer Weichentemperaturtoleranz ist, wenn "Nein" weiter zu Schritt 19., wenn "Ja" weiter zu Schritt 12.

Schritt 12. Prüfen, ob berechnete Weichentemperatur der Weiche 3 Fuß-Backenschiene größer ist als die Weichensolltemperatur der Weiche 3 zuzüglich einer Konstante und abzüglich der Umgebungstemperatur ist. Wenn "Nein" erhöhen des Leistungsverhältnisses  $L_v$  um den Faktor  $x$  (im Beispiel 10%) und weiter zu Schritt 2, wenn "Ja" weiter zu Schritt 13.

Schritt 13. Prüfen, ob Erhaltungsleistung zuzüglich der Leistung Schmelzwärme  $P_{Sm}$  kleiner oder gleich der optimalen Leistung zur Zeit  $t_{2,3}$  ist. Wenn "Nein" erhöhen des Leistungsverhältnisses  $L_v$  um den Faktor  $x$  (im Beispiel 10%) und weiter zu Schritt 2, wenn "Ja" weiter zu Schritt 14.

Schritt 14. Prüfen, ob die Aufheizzeit des Fuß der Backenschiene  $t_{A-Fu-Ba}$  kleiner oder gleich der maximalen Aufheizzeit  $t_{A-max}$  ist. Wenn "Nein" erhöhen des Leistungsverhältnisses  $L_v$  um den Faktor  $x$  (im Beispiel 10%) und weiter zu Schritt 2, wenn "Ja" weiter zu Schritt 15.

Schritt 15. Prüfen, ob die Temperatur des Kopfes der Zungenschiene  $T_{Ko-Zu}$  größer oder gleich der minimalen Weichentemperatur  $T_{min}$  ist. Wenn "Nein" erhöhen der Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  um den Faktor  $y$  (im Beispiel 0,5 K) und weiter zu Schritt 2, wenn "Ja" weiter zu Schritt 16.

Schritt 16. Prüfen, ob die Temperatur am Fuß der Zungenschiene  $T_{Fu-Zu}$  größer oder gleich der minimalen Weichentemperatur  $T_{min}$  ist. Wenn "Nein" erhöhen der Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  um den Faktor  $y$  (im Beispiel 0,5 K) und weiter zu Schritt 2, wenn "Ja" weiter zu Schritt 17.

Schritt 17. Prüfen, ob die Temperatur in der Mitte des Gleitstuhles  $T_{GL-mi}$  größer oder gleich der minimalen Weichentemperatur  $T_{min}$  ist. Wenn "Nein" erhöhen der Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  um den Faktor  $y$  (im Beispiel 0,5 K) und weiter zu Schritt 2, wenn "Ja" weiter zu Schritt 18.

Schritt 18. Prüfen, ob die Temperatur am äußeren Rand des Gleitstuhles  $T_{GL-au}$  größer oder gleich der minimalen Weichentemperatur  $T_{min}$  ist. Wenn "Nein" erhöhen der Weichensolltemperatur  $T_{Soll}$  um den Faktor  $y$  (im Beispiel 0,5 K) und weiter zu Schritt 2, wenn "Ja" weiter zu Schritt 20.

Schritt 19. Korrektur der Berechnung aus Schritt 4 mit Hilfe eines Korrekturfaktors für Anpassung der Konvektionsverluste oder Strahlungsleistung. Ist die errechnete Weichentemperatur der Weiche 3 Fuß-Backenschiene anliegend kleiner als die reale Weichentemperatur der Weiche 3 Fuß-Backenschiene unter Berücksichtigung einer Weichentemperaturtoleranz so wird die Wärmeübergangszahl Konvektion  $\alpha$  um den Faktor  $n$  (im Beispiel 1) verringert und weiter zu Schritt 4. Ist die errechnete Weichentemperatur der Weiche 3 Fuß-Backenschiene anliegend größer als die reale Weichentemperatur der Weiche 3 Fuß-Backenschiene unter Berücksichtigung einer Weichentemperaturtoleranz so wird die Windgeschwindigkeit  $V$  um den Faktor  $n$  (im Beispiel 1) erhöht und weiter zu Schritt 4.

Schritt 20. Ausgabe der optimalen Leistung  $P_{op-Li}$  für die linke Seite der Weiche 3 und der optimalen Leistung  $P_{op-Re}$  für die Rechte Seite der Weiche 3 für die folgende Zykluszeit  $t_z$ .

**[0094]** Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die vorliegende Erfindung ein Verfahren angibt, bei welchem das erfindungsgemäße Wärmenetzmodell über einen Vergleich der berechneten Weichentemperaturen mit parametrisierten Weichenmindesttemperaturen die Weichensolltemperatur und/oder die spezifische Leistung zumindest eine Heizrichtung 14 verändert.

**[0095]** Ferner verifiziert das erfindungsgemäße Wärmenetzmodell über einen Vergleich mit über einen Weichentempersensor 28 erfassten Weichentemperaturen mittels Korrektur der Leistung Konvektion und/oder der Leistung Strahlung die berechneten Weichentemperaturen.

**[0096]** Das erfindungsgemäße Wärmenetzmodell erzeugt darüber hinaus in der Steuereinrichtung eine Warnmeldung vor Überschreiten der Betriebsgrenze für ein Leitsystem und vor Ort.

**[0097]** Schließlich ermittelt das erfindungsgemäße Wärmenetz vor und bei Betrieb die Anheizzeit und aktiviert ein zusätzliches Heizregime Vorheizen über die Steuereinrichtung, wenn in Abhängigkeit der prognostizierten Umgebungsbedingungen über Wetterdienst die maximale Schneemenge während der Anheizzeit überschritten und/oder die Schneemenge nicht geschmolzen wird.

Bezugszeichen

[0098]

5	1	Weichenheizung
	2	Betrachtungsrichtung Weiche
	3	Weiche
	4	Weichenbereich
	5	linke Seite
10	6	rechte Seite
	7	Backenschiene
	8	Zungenschiene
	9	Gleitstuhlplatte
	10	anliegende Zungenschiene
15	11	abliegende Zungenschiene
	12	anliegender Bereich
	13	Stützknaggen
	14	Heizeinrichtung
	16	Weichenspitze
20	17	Weichenmitte
	18	Weichenende
	19	Funktionsrelevante Stelle
	20	Kopf-Backenschiene
	21	Kopf-Zungenschiene
25	22	Mitte-Gleitstuhlplatte
	23	Außen-Gleitstuhlplatte
	24	Schwelle
	25	Schwellenabstand
	26	Wärmenetz linke Seite
30	27	Wärmenetz rechte Seite
	28	Weichentemperatursensor
	29	Symbol Heizeinrichtung
	30	Symbol Wärmestrahlung
	31	Symbol Konvektion
35	32	Symbol Wärmespeicher
	33	Symbol Wärmeleitung
	34	Weichensegment Weichenspitze
	35	Weichensegment Weichenmitte
	36	Weichensegment Weichenende
40	37	Bewertungspunkt Fuß-Backenschiene
	38	Bewertungspunkt Steg-Backenschiene
	39	Bewertungspunkt Kopf-Backenschiene
	40	Bewertungspunkt Fuß-Zungenschiene
	41	Bewertungspunkt Kopf-Zungenschiene
45	42	Bewertungspunkt Mitte-Gleitstuhlplatte
	43	Bewertungspunkt Außen-Gleitstuhlplatte
	P <sub>st</sub>	Leistung Strahlungswärme
	P <sub>L</sub>	Leistung Wärmeleitung
50	P <sub>K</sub>	Leistung Konvektionswärme
	P <sub>op</sub>	optimale spezifische Leistung
	P	reale spezifische Leistung Heizeinrichtung
	P <sub>erf</sub>	erforderliche spezifische Leistung
	ξ <sub>L</sub>	Korrekturfaktor Länge
55	P <sub>C</sub>	Leistung Wärmekapazität
	P <sub>v</sub>	Leistung Verdampfungswärme
	P <sub>sm</sub>	Leistung Schmelzwärme
	P <sub>Erh</sub>	Erhaltungsleistung

	R	Weichenprofil
	T <sub>u</sub>	Umgebungstemperatur
	T <sub>U-min</sub>	minimale Umgebungstemperatur
	T <sub>w</sub>	reale Weichentemperatur
5	ΔT <sub>w</sub>	reale Weichentemperaturdifferenz
	T <sub>min</sub>	Weichenmindesttemperatur
	T <sub>op</sub>	optimale Weichentemperatur
	T <sub>Soll</sub>	Weichensolltemperatur
	T <sub>Soll-Vor</sub>	zweite Weichensolltemperatur
10	T <sub>s</sub>	Schmelztemperatur
	T <sub>v</sub>	Verdampfungstemperatur
	T <sub>K</sub>	Weichentemperatur kalte Schiene
	NI	Niederschlagsart
	Lv	Leistungsverhältnis
15	L <sub>sp</sub>	spezifische Länge Heizeinrichtung
	K	Knoten (K)
	I <sub>N</sub>	Heizstrom
	t <sub>A</sub>	Anheizzeit
	t <sub>E</sub>	Einschaltzeit
20	t <sub>z</sub>	Zeitzyklus
	k	Faktor
	α	Wärmeübergangszahl Konvektion

Beispiele für Bezeichnung von Knoten (K) und Temperaturen

25

**[0099]**

	K <sub>Fu-Ba-Li</sub>	Knoten (K) Fuß-Backenschiene-linke Seite
	K <sub>Ko-Ba-an</sub>	Knoten (K) Kopf-Backenschiene-anliegende Zungenschiene
30	T <sub>Ko-Ba</sub>	Weichentemperatur - Kopf-Backenschiene
	T <sub>Ko-Ba-Li</sub>	Weichentemperatur-kopf-Backenschiene Linke Seite der Weiche
	T <sub>Ko-Zu</sub>	Weichentemperatur - Kopf-Zungenschiene
	T <sub>GL<sup>mi</sup></sub>	Weichentemperatur - Mitte-Gleitstuhlplatte
	T <sub>GL<sup>au</sup></sub>	Weichentemperatur - Außen-Gleitstuhlplatte
35	t <sub>T</sub>	Totzeit
	t <sub>A</sub>	Anheizzeit
	t <sub>max</sub>	maximale Anheizzeit
	hs	Schneemenge pro Stunde
	v	Windgeschwindigkeit
40	v <sub>max</sub>	maximale Windgeschwindigkeit
	n	Zyklusfaktor
	t <sub>n</sub>	Zeit
	t <sub>z</sub>	Zykluszeit
	y	Weichensolltemperatur-Korrekturfaktor
45	w <sub>T</sub>	Standort Weichentemperatursensor

Indizes:

**[0100]**

50

	an	anliegend
	ab	abliegend
	Re	rechte Seite
	Li	linke Seite
55	Ba	Backenschiene
	Zu	Zungenschiene
	GL	Gleitstuhlplatte
	Ko	Kopf

Fu Fuß  
 st Schienensteg  
 au außen  
 mi mitte  
 5 op optimal  
 w real

Literatur

10 [0101]

- [1] Löbl, H.: Strombelastbarkeit des Transformators in einer Kompaktstation Elektrizitätswirtschaft, H. 17/18 96. S. 1154-1163,  
 [2] Quelle 2 Elsner, N.: Grundlagen der Technischen Thermodynamik, Berlin: Akademie Verl. 1988,  
 15 [3] Bömer, H.: Über den Wärme- und Stoffübergang an umspülten Einzelkörpern bei Überlagerung von freier und erzwungener Konvektion, Düsseldorf: VDI-Verl. 1965 (VDI-Forschungsheft 512),  
 [4] Krischer, O.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Berlin: Springer Verl. 1956,  
 [5] Philippow, E.: Taschenbuch Elektrotechnik Bd. 5: Elemente und Baugruppen der Elektroenergie-technik, Berlin: Verl. Technik 1979,  
 20 [6] Gremmel, H.: Schaltanlagen, Hrsg. ABB Schaltanlagen GmbH Mannheim, Düsseldorf: Cornelsen Verl. Schwann-Girardet 1992.

25 Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung und Regelung einer Weichenheizung (1), wobei die Weichenheizung (1) mindestens eine an zumindest einer Weiche (3) angeordnete Heizeinrichtung (14), zumindest einen Weichentempersensor (28) an der zumindest einen Weiche (3), zumindest eine Energieverteilung mit mindestens einem Heizabgang pro Weiche (3) und zumindest eine Steuereinrichtung zum Steuern und Regeln der Weichentemperatur, zumindest einen abseits der Weiche (3) angeordneten Anschlusskasten, der mindestens ein Schaltgerät aufweist, das über Leitungen mit den Heizeinrichtungen (14) der Weiche (3) verbunden sind, sowie Messmittel zur zeitlichen Erfassung von Betriebsstrom, Spannung und Isolationswiderstand und Mittel zur Begrenzung der maximalen Leistung, zumindest ein Kommunikationsmittel, das in dem Anschlusskasten angeordnet und mit der Steuereinrichtung verbunden ist, und zumindest einen Niederschlagsensor zur Erfassung von Niederschlagsart und Niederschlagsmenge, der mit der Steuereinrichtung verbunden ist, aufweist, umfassend die Schritte:

a) Definieren zumindest eines Weichensegments für die linke Seite (5) der zumindest einen Weiche (3) und/oder für die rechte Seite (6) der zumindest einen Weiche (3) mit einer spezifischen Länge, wobei das Weichensegment der zumindest einen Weiche (3) eine Backenschiene (7), eine Zungenschiene (8), eine Gleitstuhlplatte (9) und zumindest eine Heizeinrichtung (14) aufweist, und Zerlegen des zumindest einen Weichensegments in einzelne Abschnitte mit jeweils zumindest einem ersten Knoten, der zumindest einer funktionsrelevanten Stelle (19) des Weichensegmentes der zumindest einen Weiche (3) im Winter entspricht, wobei die funktionsrelevante Stelle (19) mindestens einen Bewertungspunkt (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43) aufweist,

wobei das zumindest eine Weichensegment repräsentativ die zumindest eine Weiche (3) thermodynamisch abbildet,  
 wobei das zumindest eine Weichensegment in der Nähe des zumindest einen Weichentempersensors (28) angeordnet ist,

b) Bilden eines Wärmenetzes (26) für das zumindest eine Weichensegment für die linke Seite (5) der zumindest einen Weiche (3) und/oder Bilden eines Wärmenetzes (27) für das zumindest eine Weichensegment für die rechte Seite (6) der zumindest einen Weiche (3), wobei das Wärmenetz (26, 27) Wärmeerzeugungselemente, Wärmeübertragungselemente und Wärmespeicher (32) aufweist, und Zuordnen des jeweils zumindest ersten Knoten (K) der jeweiligen Abschnitte des zumindest einen Weichensegments zu mindestens einem Bewertungspunkt (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43),

wobei alle Knoten (K) der einzelnen Abschnitte über Maschen zu dem Wärmenetz (26, 27) so verbunden werden, dass die Differenz aller vorzeichenbehafteten Temperaturen gleich Null ist,

c) Berechnen des zeitlichen Verlaufs einer optimalen spezifischen Leistung ( $P_{op}$ ) des zumindest einen Wei-

chensegments und der jeweiligen optimalen Weichentemperatur ( $T_{op}$ ) an dem zumindest einen ersten Knoten der Weichenheizung (1) an dem zumindest einen Weichensegment über eine Leistungsbilanz gemäß eines Knotensatzes, und bei Betrieb Aktivieren dieser optimalen spezifischen Leistung ( $P_{op}$ ) an der zugehörigen Heizeinrichtung (14) mittels Produkt aus realer spezifischer Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtung (14), die der maximalen spezifischen Leistung entspricht, und einem Leistungsverhältnis, wobei das Leistungsverhältnis variabel zwischen 25 % und 100 % der realen spezifischen Leistung ( $P$ ) entspricht,

d) Erfassen des zeitlichen Verlaufs der realen Weichentemperatur ( $T_w$ ) an dem zumindest einen Weichensegment mit dem zumindest einen Weichentemperatursensor (28) und Korrigieren der berechneten Weichentemperatur an einem der zumindest ersten Knoten des zumindest einen Weichensegments über Leistung Konvektionswärme ( $P_K$ ) wenn berechnete Weichentemperatur größer ist als reale Weichentemperatur ( $T_w$ ) oder Leistung Strahlungswärme ( $P_{St}$ ) des Wärmenetzes wenn berechnete Weichentemperatur kleiner ist als reale Weichentemperatur,

e) Berechnen der Weichenendtemperatur an zumindest einem zweiten Knoten des zumindest einen Weichensegments und Vergleichen der berechneten Weichenendtemperatur mit einer parametrisierten Weichenmindesttemperatur ( $T_{min}$ ) für diesen zumindest einen zweiten Knoten, wobei bei Nichterreichen der Weichenmindesttemperatur ( $T_{min}$ ) der Weiche (3) eine parametrierbare Weichensolltemperatur ( $T_{Soll}$ ) um einen Weichensolltemperatur-Korrekturfaktor ( $y$ ) so lange erhöht wird, bis die jeweilige berechneten Weichenendtemperatur der Weiche (3) zumindest der Weichenmindesttemperatur ( $T_{min}$ ) der Weiche (3) entspricht,

f) Berechnen der Anheizzeit ( $t_A$ ) für das Erwärmen des zumindest einen Weichensegments bis zu der parametrierbaren Weichensolltemperatur ( $T_{Soll}$ ) der Weiche (3) und Bewerten der berechneten Anheizzeit ( $t_A$ ) bei parametrierbarer Weichensolltemperatur ( $T_{Soll}$ ), wobei bei einem Defizit die optimale spezifische Leistung ( $P_{op}$ ) erhöht und bei einem Überschuss die optimale spezifische Leistung ( $P_{op}$ ) verringert wird,

g) Berechnen der Anheizzeit ( $t_A$ ) für das Erwärmen des zumindest einen Weichensegments bis zu der parametrierbaren Weichenmindesttemperatur ( $T_{min}$ ) der Weiche (3) und Bewerten der erforderliche spezifische Leistung ( $P_{erf}$ ) aus Erhaltungsleistung ( $P_{erh}$ ) und Schmelzleistung ( $P_{sm}$ ) für den bis dahin gefallenen Schnee ( $h_S$ ) mit der spezifischen Leistung ( $P$ ) bei parametrierbarer Weichenmindesttemperatur ( $T_{min}$ ), wobei bei einem Defizit die optimale spezifische Leistung ( $P_{op}$ ) erhöht oder eine Meldung "gefallene Schneemenge ist zu groß und wird nicht geschmolzen" erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend vor Betrieb durch eine Heizanforderung den Schritt

h) Berechnen der spezifischen Schmelzleistung ( $P$ ) für die während der Anheizzeit ( $t_A$ ) am Weichensegment berechneten Schneemenge aus einer gemeldeten Schneehöhe pro Zeiteinheit und Berechnen der spezifischen Erhaltungsleistung ( $P_{erh}$ ) zur Erhaltung der Schmelztemperatur ( $P_{sm}$ ) an dem Weichensegment und Vergleich der Summe dieser mit der realen spezifischen Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtung (14) und, wenn die reale spezifische Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtung (14) geringer ist, Aktivieren der Weichenheizung (1) mit einer zweiten Weichensolltemperatur ( $T_{Soll-Vor}$ ), die so groß ist, dass bei Betrieb die spezifische Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtung (14) zumindest gleich der Summe aus spezifischer Schmelzleistung ( $P_{sm}$ ) und Erhaltungsleistung ( $P_{erh}$ ) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Wärmeerzeugungselemente die spezifische Leistung ( $P$ ) der zumindest einen Heizeinrichtung (14) mit einem Wärmespeicher des Weichensegments und eine Wärmeübertragung durch Wärmestrahlung umfassen und/oder die Wärmeübertragungselemente Wärmewiderstände an der Weiche (3) aus den Stoffeigenschaften, den geometrischen Größen und den vorherrschenden Belastungen durch Wärmeübertragung und Umwelt an dem zumindest einen Weichensegment umfassen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei in Schritt f)

die Anheizzeit ( $t_A$ ) für das Erwärmen des zumindest einen Weichensegments aus der Summe einzelner Heizzeiten für das zumindest eine Weichensegment für dessen Erwärmen, für das Schmelzen von Schnee und für das Verdampfen von Wasser an diesem berechnet wird, und/oder die Anheizzeit ( $t_A$ ) durch Erhöhen des Leistungsverhältnisses und/oder Umschalten von Regelbetrieb auf Dauerbetrieb erhöht und/oder durch Verringern des Leistungsverhältnisses verringert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei aktiver Heizung ferner umfassend die Schritte

i) Berechnen einer Schmelzleistung ( $P_{sm}$ ) für gefallenen Schnee ( $h_S$ ) in einer parametrierbaren Zeitspanne und Vergleichen dieser Schmelzleistung mit der Differenz aus spezifischer Leistung ( $P$ ) und einer berechneten

## EP 3 850 154 B1

Erhaltungsleistung ( $P_{\text{erh}}$ ), wobei bei einem Defizit der spezifischen Leistung die Leistung ( $P_{\text{eff}}$ ) erhöht und/oder ein Dauerheizen begonnen und/oder eine erste Warnmeldung ausgegeben wird,  
und/oder

j) Vergleichen der berechneten Anheizzeit ( $t_A$ ) mit einer parametrisierten maximalen Anheizzeit, wobei bei einem Defizit der spezifischen Leistung die Leistung erhöht und/oder ein Dauerheizen begonnen und/oder eine zweite Warnmeldung ausgegeben wird,  
und/oder

k) Berechnen der Schneehöhe ( $h_S$ ) aus der Differenz aus gefallener Schneehöhe und geschmolzener Schneehöhe pro Zeiteinheit und Vergleichen der berechneten Schneehöhe mit einer parametrierbaren maximal zulässigen Schneehöhe, wobei bei einem Defizit der spezifischen Leistung die Leistung erhöht und/oder ein Dauerheizen begonnen und/oder eine dritte Warnmeldung ausgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Berechnen der Anheizzeit ( $t_A$ ) in Schritt f) die Unterschritte umfasst:

f1) Berechnen der Totzeit ( $t_T$ ) für das zumindest eine Weichensegment aus dem zeitlichen Verlauf der Weichentemperatur ( $T_w$ ) der Weiche (3) bei optimaler ( $P_{\text{op}}$ ) oder realer spezifischer Leistung ( $P$ ),

f2) Berechnen der Zeit  $t_{A1}$  zum Erwärmen des zumindest einen Weichensegments von der Weichentemperatur der kalten Schiene der Weiche (3) und der Schmelztemperatur ( $T_s$ ) bis zur Weichenmindesttemperatur ( $T_{\text{min}}$ ) an zumindest einen Knoten,

f3) Berechnen der Zeit  $t_{A2}$  zum Schmelzen der Schneemenge während des Schritts f2) aus der Differenz aus vorhandener spezifischer Leistung abzüglich der Leistung ( $P_{\text{erh}}$ ) zur Erhaltung der Weichenmindesttemperatur ( $T_{\text{min}}$ ) des zumindest einen Weichensegments,

f4) Berechnen der Zeit  $t_{A3}$  zum Schmelzen des gefallenen Schnees während des Schritts f3) aus der Differenz aus vorhandener spezifischer Leistung abzüglich der Leistung ( $P_{\text{erh}}$ ) zur Erhaltung der Weichenmindesttemperatur ( $T_{\text{min}}$ ) des zumindest einen Weichensegments,

f5) Berechnen der Zeit  $t_{A4}$  zum Erwärmen des zumindest einen Weichensegments von der Differenz Weichenmindesttemperatur bis zur Weichensolltemperatur ( $T_{\text{soll}}$ ) an den Knoten mit dem Weichentempersensor (28) der Weiche (3), f6) Berechnen der Zeit  $t_{A5}$  zum Schmelzen des gefallenen Schnees während des Schritts f5) aus der Differenz aus vorhandener spezifischer Leistung ( $P$ ) abzüglich der Leistung ( $P_{\text{erh}}$ ) zur Erhaltung der Weichenmindesttemperatur ( $T_{\text{min}}$ ) des zumindest einen Weichensegments.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, ferner umfassend eine Ermittlung der Betriebsgrenze Umgebungstemperatur ( $G_{W-Tu}$ ) der Weichenheizung (1), umfassend - Berechnen der optionalen Weichenendtemperaturen ( $T_{\text{op}}$ ) an zwei spezifischen Knoten des zumindest einen Weichensegments, welche dem Kopf-Backenschiene (20) und dem Kopf-Zungenschiene (21) als funktionsrelevante Stellen (19) der zumindest einen Weiche (3) entsprechen, wobei von der Weichenmindesttemperatur ( $T_{\text{min}}$ ) die berechneten Weichentemperaturen Kopf-Backenschiene (20) und Kopf-Zungenschiene (21) subtrahiert werden und die geringste davon der Betriebsgrenze-Umgebungstemperatur entspricht.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, ferner umfassend eine Ermittlung der Betriebsgrenze Schneemenge ( $G_{W-hs}$ ) der Weichenheizung (1), umfassend - Berechnen einer spezifischen Erhaltungsleistung ( $P_{\text{erh}}$ ) bei Weichenmindesttemperatur ( $T_{\text{min}}$ ) der Weiche (3), zuzüglich einer Weichenmindesttemperatur Toleranz  $\Delta T_{\text{min}}$ , am Backenschienenfuß, einer Schmelzleistung ( $P_{\text{sm}}$ ) für die maximale Schneemenge oder die bis dahin erfasste Schneemenge ( $h_S$ ) sowie einer Verdampfungsleistung ( $P_v$ ) für Schmelzwasser, und Vergleich der Summe daraus mit der erforderlichen spezifischen Leistung ( $P_{\text{eff}}$ ) der Heizeinrichtung (14) des zumindest einen Weichensegments, wenn die erforderliche spezifische Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtung kleiner ist als die Summe aus Erhaltungsleistung ( $P_{\text{erh}}$ ) und Schmelzleistung ( $P_{\text{sm}}$ ) und Verdampfungsleistung die Betriebsgrenze Schneehöhe überschritten ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner umfassend eine projektspezifische Dimensionierung der Heizeinrichtungen (14) und deren erforderlicher spezifischer Leistung ( $P_{\text{eff}}$ ), umfassend

- Berechnen einer spezifischen Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtung zum Erreichen einer Weichensolltemperatur ( $T_{\text{soll}}$ ) der Weiche (3) am Standort des Weichentempersensors (28) und einer minimalen Weichentemperatur  $T_{w-\text{min}}$  der Weiche (3) an mindestens einem Kopf-Backenschiene (20) und/oder einem Kopf-Zungenschiene (21) für das zumindest eine Weichensegment über Berechnen der Summe aus Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion in die Umgebung, Wärmekapazität und Latenter Wärme bei Schnee und Beregnung, bei vorhandenen Betriebsgrenzwerten aus minimaler Umgebungstemperatur ( $T_u$ ), Schienenprofil, maximaler Windgeschwindigkeit

## EP 3 850 154 B1

keit ( $v_{\max}$ ) und maximaler Schneehöhe pro Stunde, und

- Erhöhen der erforderlichen spezifischen Leistung ( $P_{\text{erf}}$ ), wenn die berechnete reale spezifische Leistung ( $P$ ) kleiner ist als die spezifische Leistung, die der erforderlichen Schmelzleistung ( $P_{\text{sm}}$ ) der in der Anheizzeit ( $t_A$ ), die ab minimaler Umgebungstemperatur bis zum Erreichen einer Schienentemperatur von mindestens 0 °C berechnet wird, für die Schneemenge, die sich aus dem Produkt aus Anheizzeit ( $t_A$ ) und Schneehöhe ( $h_s$ ) pro Stunde ergibt, und der Verdampfungsleistung ( $P_v$ ) von restlichem Schmelzwasser und der erforderlichen spezifischen Erhaltungsleistung ( $P_{\text{erf}}$ ) für eine Schienentemperatur von 0 °C an den funktionsrelevanten Stellen (19) des zumindest einen Weichensegments entspricht.

### 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei

- bei Betrieb der Weichenheizung (1) ein Einstellen der optimalen spezifischen Leistung für die Heizeinrichtungen (14), die dem Produkt aus spezifischer Leistung und einem Leistungsverhältnis von 25 % bis 100 % entspricht, über die jeweiligen Schaltgeräte zum Einschalten und Ausschalten der Heizeinrichtungen (14) mittels Verändern der Einschaltdauer oder der Frequenz oder der Pulsweite oder Wellenpaketsteuerung oder Gruppenbetrieb erfolgt,

und/oder

- das Leistungsverhältnis zwischen 25 % und 100 % beträgt,

wobei bei Betrieb der Weichenheizung (1) die spezifische Leistung ( $P$ ) der linken Seite (5) der Weiche (3) und der rechten Seite (6) der Weiche (3) maximal dem Mittelwert und/oder Meridian der spezifischen Leistung der Heizeinrichtung (14) entspricht,

und/oder

- bei Betrieb der Weichenheizung (1) die berechnete spezifische Leistung ( $P_{\text{op}}$ ) für die linke Seite (5) der Weiche (3) und die rechte Seite (6) der Weiche (3) maximal der spezifischen Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtungen (14) entspricht,

oder eine spezifische Leistungsdifferenz für die linke Seite (5) der Weiche (3) oder die rechte Seite (6) der Weiche (3) aus der Differenz von spezifischer Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtungen (14) abzüglich berechneter spezifischer Leistung ( $P_{\text{op}}$ ) berechnet wird und bei positiver spezifischer Leistungsdifferenz der linken Seite (5) der Weiche (3) oder der rechten Seite (6) der Weiche (3) diese spezifische Leistungsdifferenz der jeweiligen anderen Seite der Weiche (3) zusätzlich zur spezifischen Leistung ( $P$ ) der Heizeinrichtung (14) zu Verfügung gestellt wird, so dass ein gleichmäßiger zeitlicher Verlauf der Schienentemperaturen der Weiche (3) an der linken Seite (5) der Weiche (3) und an der rechten Seite (6) der Weiche (3) an den funktionsrelevanten Stellen (19) der Weiche (3) erfolgt.

### 11. Steuereinrichtung zur Steuerung und Regelung einer Weichentemperatur einer Weichenheizung (1) eingerichtet zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Weichenheizung (1) mindestens eine an zumindest einer Weiche (3) angeordnete Heizeinrichtung (14), zumindest einen Weichentempersensor (28) an der zumindest einen Weiche (3) und zumindest eine Energieverteilung mit mindestens einem Heizabgang pro Weiche (3) aufweist, die Steuereinrichtung umfassend:

- eine CPU zur Berechnung der Weichentemperaturen der Weiche (3) für zumindest ein Weichensegment, die mit der Steuereinrichtung über Kommunikationsmittel verbunden ist,

- zumindest einen abseits der Weiche (3) angeordneten Anschlusskasten, der mindestens ein Schaltgerät aufweist, das über Leitungen mit den Heizeinrichtungen (14) der Weiche (3) verbunden sind, sowie Messmittel zur zeitlichen Erfassung von Betriebsstrom, Spannung und Isolationswiderstand und Mittel zur Begrenzung der maximalen Leistung aufweist,

- zumindest ein Kommunikationsmittel, das in dem Anschlusskasten angeordnet und mit der Steuereinrichtung verbunden ist,

- zumindest einen Niederschlagsensor zur Erfassung von Niederschlagsart und Niederschlagsmenge, der mit der Steuereinrichtung verbunden ist.

## Claims

1. A method for controlling and regulating a switch heater (1), the switch heater (1) having at least one heating device (14) arranged on at least one switch (3), at least one switch temperature sensor (28) on the at least one switch (3), at least one power distribution with at least one heat output per switch (3) and at least one control device for controlling and regulating the switch temperature, at least one terminal box arranged away from the switch (3), which has at

least one switching device, which is connected via lines to the heating devices (14) of the switch (3), as well as measuring means for the temporal detection of operating current, voltage and insulation resistance and means for limiting the maximum power, at least one communication means which is arranged in the terminal box and is connected to the control device, and at least one rainfall sensor for detecting rainfall type and rainfall quantity, which is connected to the control device, comprising the steps:

a) defining at least one switch segment for the left side (5) of said at least one switch (3) and/or for the right side (6) of said at least one switch (3) having a specific length, said switch segment of said at least one switch (3) comprising a stock rail (7), a tongue rail (8), a slide chair plate (9) and at least one heating device (14) and dividing the at least one switch segment into individual sections each having at least one first node which corresponds to at least one functionally relevant point (19) of the switch segment of the at least one switch (3) in winter, the functionally relevant point (19) having at least one evaluation point (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43),

the at least one switch segment representing the at least one switch (3) thermodynamically, said at least one switch segment being located in proximity to said at least one switch temperature sensor (28),

b) forming a heat grid (26) for the at least one switch segment for the left side (5) of the at least one switch (3) and/or forming a heat grid (27) for the at least one switch segment for the right side (6) of the at least one switch (3), wherein the heat grid (26, 27) comprises heat generating elements, heat transfer elements and heat accumulators (32), and assigning the respective at least first node (K) of the respective sections of the at least one switch segment to at least one evaluation point (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43),

wherein all nodes (K) of the individual sections are connected via meshes to the heat grid (26, 27) such that the difference of all signed temperatures is equal to zero,

c) calculating the temporal course of an optimum specific power ( $P_{op}$ ) of the at least one switch segment and the respective optimum switch temperature ( $T_{op}$ ) at the at least one first node of the switch heater (1) at the at least one switch segment via a power balance according to a node set, and, in operation, activating this optimum specific power ( $P_{op}$ ) at the associated heating device (14) by means of the product of real specific power (P) of the heating device (14), which corresponds to the maximum specific power, and a power ratio, the power ratio corresponding variably between 25% and 100% of the real specific power (P),

d) detecting the temporal course of the real switch temperature (TW) at the at least one switch segment with the at least one switch temperature sensor (28) and correcting the calculated switch temperature at one of the at least first nodes of the at least one switch segment via power convection heat ( $P_K$ ) if the calculated switch temperature is greater than the real switch temperature (Tw) or power radiation heat ( $P_{St}$ ) of the heat grid if the calculated switch temperature is smaller than the real switch temperature,

e) calculating the switch end temperature at at least one second node of the at least one switch segment and comparing the calculated switch end temperature with a parameterised switch minimum temperature ( $T_{min}$ ) for this at least one second node,

wherein, if the switch minimum temperature ( $T_{min}$ ) of the switch (3) is not reached, a parameterisable switch set temperature ( $T_{Soll}$ ) is increased by a switch set temperature correction factor ( $\gamma$ ) until the respective calculated switch end temperature of the switch (3) corresponds at least to the switch minimum temperature ( $T_{min}$ ) of the switch (3),

f) calculating the heating time ( $t_A$ ) for heating the at least one switch segment up to the parameterisable switch set temperature ( $T_{Soll}$ ) of the switch (3) and evaluating the calculated heating time ( $t_A$ ) at parameterisable switch set temperature ( $T_{Soll}$ ),

increasing the optimum specific power ( $P_{op}$ ) in the event of a deficit and decreasing the optimum specific power ( $P_{op}$ ) in the event of a surplus,

g) calculating the heating time ( $t_A$ ) for heating the at least one switch segment up to the parameterisable switch minimum temperature ( $T_{min}$ ) of the switch (3) and evaluating the required specific power (Perf) from maintenance power ( $P_{erh}$ ) and melting power ( $P_{sm}$ ) for the snow ( $h_s$ ) which has fallen up to that point with the specific power (P) at the parameterisable switch minimum temperature ( $T_{min}$ ), whereby in the event of a deficit, the optimum specific power ( $P_{op}$ ) is increased or a message "fallen snow quantity is too large and will not be melted" is generated.

2. The method according to claim 1, further comprising, prior to operation by a heating request, the step of
- h) calculating the specific melting power (P) for the amount of snow calculated during the heating time ( $t_A$ ) at the switch segment from a reported snow height per time unit and calculating the specific maintenance power ( $P_{erh}$ ) for maintaining the melting temperature ( $P_{sm}$ ) at the switch segment and comparing the sum of these with the real

specific power (P) of the heating device (14) and, if the real specific power (P) of the heating device (14) is lower, activating the switch heater (1) with a second switch set temperature ( $T_{\text{Soll-Vor}}$ ) which is so large that, in operation, the specific power (P) of the heating device (14) is at least equal to the sum of the specific melting power ( $P_{\text{sm}}$ ) and the maintenance power ( $P_{\text{erh}}$ ).

5

3. The method according to claim 1 or 2, wherein

the heat generating elements comprise the specific power (P) of the at least one heating device (14) with a heat accumulator of the switch segment and a heat transfer by thermal radiation and/or

10 the heat transfer elements comprise thermal resistances at the switch (3) from the material properties, the geometric quantities and the prevailing loads by heat transfer and environment at the at least one switch segment.

4. The method according to one of claims 1 to 3, wherein in step f)

15 the heating time ( $t_A$ ) for heating the at least one switch segment is calculated from the sum of individual heating times for the at least one switch segment for heating it, for melting snow and for evaporating water on it, and/or the heating time ( $t_A$ ) is increased by increasing the power ratio and/or switching from control operation to continuous operation and/or is reduced by decreasing the power ratio.

- 20 5. The method according to any one of claims 1 to 4, with active heating further comprising the steps of

i) calculating a melting power ( $P_{\text{sm}}$ ) for fallen snow ( $h_s$ ) in a parameterisable time period and comparing this melting power with the difference between specific power (P) and a calculated maintenance power ( $P_{\text{erh}}$ ), wherein in the event of a deficit in the specific power the power ( $P_{\text{erf}}$ ) is increased and/or continuous heating is started and/or a first warning message is issued

25

and/or

j) comparing the calculated heating time ( $t_A$ ) with a parameterised maximum heating time, whereby in the event of a deficit in the specific power, the power is increased and/or continuous heating is started and/or a second warning message is issued,

30

and/or

k) calculating the snow height ( $h_s$ ) from the difference between the fallen snow height and the melted snow height per time unit and comparing the calculated snow height with a parameterisable maximum permissible snow height, whereby in the event of a deficit in the specific power, the power is increased and/or continuous heating is started and/or a third warning message is issued.

35

6. The method according to one of claims 1 to 5, wherein the calculation of the heating time ( $t_A$ ) in step f) comprises the substeps:

f1) calculating the dead time ( $t_T$ ) for the at least one switch segment from the temporal course of the switch temperature ( $T_w$ ) of the switch (3) at optimal ( $P_{\text{op}}$ ) or real specific power (P),

40

f2) calculating the time  $t_{A1}$  for heating the at least one switch segment from the switch temperature of the cold rail of the switch (3) and the melting temperature ( $T_s$ ) to the minimum switch temperature ( $T_{\text{min}}$ ) at at least one node,

f3) calculating the time  $t_{A2}$  to melt the amount of snow during step f2) from the difference of available specific power minus the power ( $P_{\text{erh}}$ ) to maintain the switch minimum temperature ( $T_{\text{min}}$ ) of the at least one switch segment,

45

f4) calculating the time  $t_{A3}$  for melting the fallen snow during the step f3) from the difference of the available specific power minus the power ( $P_{\text{erh}}$ ) for maintaining the minimum switch temperature ( $T_{\text{min}}$ ) of the at least one switch segment,

50

f5) calculating the time  $t_{A4}$  for heating the at least one switch segment from the difference between the switch minimum temperature and the switch set temperature ( $T_{\text{Soll}}$ ) at the nodes with the switch temperature sensor (28) of the switch (3),

f6) calculating the time  $t_{A5}$  for melting the fallen snow during step f5) from the difference of available specific power (P) minus the power ( $P_{\text{erh}}$ ) for maintaining the switch minimum temperature ( $T_{\text{min}}$ ) of the at least one switch segment.

55

7. The method according to one of claims 1 to 6, further comprising determining the ambient temperature operating limit ( $G_{W-TU}$ ) of the switch heater (1), comprising

## EP 3 850 154 B1

- calculating the optional switch end temperatures ( $T_{op}$ ) at two specific nodes of the at least one switch segment corresponding to the head stock rail (20) and the head tongue rail (21) as functionally relevant points (19) of the at least one switch (3), wherein the calculated switch temperatures head stock rail (20) and head tongue rail (21) are subtracted from the switch minimum temperature ( $T_{min}$ ) and the lowest one thereof corresponds to the operating limit ambient temperature.

8. The method according to one of claims 1 to 7, further comprising a determination of the operating limit snow amount ( $G_{W-hs}$ ) of the switch heater (1), comprising

- calculating a specific maintenance power ( $P_{erh}$ ) at the switch minimum temperature ( $T_{min}$ ) of the switch (3), plus a switch minimum temperature tolerance  $\Delta T_{min}$ , at the stock rail foot, a melting power ( $P_{sm}$ ) for the maximum amount of snow or the amount of snow ( $h_s$ ) recorded up to that point, and an evaporation power ( $P_v$ ) for melt water and comparison of the sum thereof with the required specific power ( $P_{ert}$ ) of the heating device (14) of the at least one switch segment, if the required specific power ( $P$ ) of the heating device is smaller than the sum of maintenance power ( $P_{erh}$ ) and melting power ( $P_{sm}$ ) and the evaporation power the operating limit snow height is exceeded.

9. The method according to one of claims 1 to 8, further comprising a project-specific dimensioning of the heating devices (14) and their required specific power ( $P_{ert}$ ), comprising

- calculating a specific power ( $P$ ) of the heating device to achieve a switch set temperature ( $T_{sol1}$ ) of the switch (3) at the location of the switch temperature sensor (28) and a minimum switch temperature  $T_{w-min}$  of the switch (3) at at least one head stock rail (20) and/or head tongue rail (21) for the at least one switch segment by calculating the sum of heat conduction, radiation and convection into the environment, heat capacity and latent heat in the case of snow and sprinkling, with existing operating limit values from minimum ambient temperature ( $T_U$ ), rail profile, maximum wind speed ( $v_{max}$ ) and maximum snow height per hour, and  
- increasing the required specific power ( $P_{ert}$ ) if the calculated real specific power ( $P$ ) is less than the specific power corresponding to the required melting power ( $P_{sm}$ ) in the heating time ( $t_A$ ) calculated from minimum ambient temperature until a rail temperature of at least 0 °C is reached, for the amount of snow which results from the product of heating time ( $t_A$ ) and snow height ( $h_s$ ) per hour, and the evaporation power ( $P_v$ ) of residual melt water and the required specific maintenance power ( $P_{erh}$ ) for a rail temperature of 0 °C at the functionally relevant points (19) of the at least one switch segment.

10. The method according to one of claims 1 to 9, wherein

- during operation of the switch heater (1), an adjustment of the optimum specific power for the heating devices (14), which corresponds to the product of specific power and a power ratio of 25% to 100%, takes place via the respective switching devices for switching the heating devices (14) on and off by means of changing the duty cycle or the frequency or the pulse width or wave packet control or group operation,

and/or

- the power ratio is between 25% and 100%,

wherein, during operation of the switch heater (1), the specific power ( $P$ ) of the left side (5) of the switch (3) and of the right side (6) of the switch (3) corresponds at most to the mean value and/or median of the specific power of the heating device (14)

and/or

- when the switch heater (1) is in operation, the calculated specific power ( $P_{op}$ ) for the left side (5) of the switch (3) and the right side (6) of the switch (3) corresponds at most to the specific power ( $P$ ) of the heating devices (14) or a specific power difference for the left side (5) of the switch (3) or the right side (6) of the switch (3) is calculated from the difference of specific power ( $P$ ) of the heating devices (14) minus calculated specific power ( $P_{op}$ ) and in the case of a positive specific power difference of the left side (5) of the switch (3) or the right side (6) of the switch (3) this specific power difference is made available to the respective other side of the switch (3) in addition to the specific power ( $P$ ) of the heating devices (14), so that a uniform temporal course of the rail temperatures of the switch (3) takes place on the left side (5) of the switch (3) and on the right side (6) of the switch (3) at the points (19) of the switch (3) which are relevant to the function.

11. Control device for controlling and regulating a switch temperature of a switch heater (1) set up for carrying out the method according to one of claims 1 to 10, the switch heater (1) having at least one heating device (14) arranged on at least one switch (3), at least one switch temperature sensor (28) on the at least one switch (3) and at least

one power distribution with at least one heat output per switch (3), the control device comprising:

- a CPU for calculating the switch temperatures of the switch (3) for at least one switch segment, which is connected to the control device via communication means,
- at least one terminal box which is arranged away from the switch (3) and has at least one switching device which is connected to the heating devices (14) of the switch (3) via lines, as well as measuring means for the temporal detection of operating current, voltage and insulation resistance and means for limiting the maximum power,
- at least one communication means arranged in the terminal box and connected to the control device,
- at least one rainfall sensor for detecting the type and amount of rainfall, which is connected to the control device.

## Revendications

1. Procédé de commande et de régulation d'un chauffage d'aiguillage (1), dans lequel le chauffage d'aiguillage (1) présente au moins un dispositif de chauffage (14) disposé sur au moins un aiguillage (3), au moins un capteur de température d'aiguillage (28) sur l'au moins un aiguillage (3), au moins une distribution d'énergie pourvue d'au moins une sortie de chauffage par aiguillage (3) et au moins un dispositif de commande pour la commande et la régulation de la température d'aiguillage, au moins un boîtier de raccordement disposé à l'écart de l'aiguillage (3), qui présente au moins un appareil de commutation, qui est relié aux dispositifs de chauffage (14) de l'aiguillage (3) par le biais de conduites, ainsi que des moyens de mesure pour la détection dans le temps du courant de fonctionnement, de la tension et de la résistance d'isolation et des moyens de limitation de la puissance maximum, au moins un moyen de communication, qui est disposé dans le boîtier de raccordement et relié au dispositif de commande, et au moins un capteur de précipitations pour la détection du type de précipitation et de la quantité de précipitation, qui est relié au dispositif de commande, comprenant les étapes de :

a) définition d'au moins un segment d'aiguillage pour le côté gauche (5) de l'au moins un aiguillage (3) et/ou pour le côté droit (6) de l'au moins un aiguillage (3) avec une longueur spécifique, dans lequel le segment d'aiguillage de l'au moins un aiguillage (3) présente une contre-aiguille (7), une lame d'aiguille (8), une plaque de coussinet de glissement (9) et au moins un dispositif de chauffage (14), et décomposition de l'au moins un segment d'aiguillage en différentes sections avec respectivement au moins un premier nœud, qui correspond au moins à un endroit important pour le fonctionnement (19) du segment d'aiguillage de l'au moins un aiguillage (3) en hiver, dans lequel l'endroit important pour le fonctionnement (19) présente au moins un point d'évaluation (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43),

dans lequel l'au moins un segment d'aiguillage représente thermodynamiquement de manière représentative l'au moins un aiguillage (3), dans lequel l'au moins un segment d'aiguillage est disposé à proximité de l'au moins un capteur de température d'aiguillage (28),

b) formation d'un réseau de chaleur (26) pour l'au moins un segment d'aiguillage pour le côté gauche (5) de l'au moins un aiguillage (3) et/ou formation d'un réseau de chaleur (27) pour l'au moins un segment d'aiguillage pour le côté droit (6) de l'au moins un aiguillage (3), dans lequel le réseau de chaleur (26, 27) présente des éléments de production de chaleur, des éléments de transmission de chaleur et des accumulateurs de chaleur (32), et association du respectivement au moins premier nœud (K) des sections respectives de l'au moins un segment d'aiguillage à au moins un point d'évaluation (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43),

dans lequel tous les nœuds (K) des différentes sections sont reliés au réseau de chaleur (26, 27) par le biais de mailles de sorte que la différence de toutes les températures affectées d'un signe est égale à zéro.

c) calcul de l'évolution dans le temps d'une puissance spécifique optimale ( $P_{op}$ ) de l'au moins un segment d'aiguillage et de la température d'aiguillage optimale ( $T_{op}$ ) respective sur l'au moins un premier nœud du chauffage d'aiguillage (1) sur l'au moins un segment d'aiguillage par le biais d'une balance de puissance conformément à un jeu de nœuds, et lors du fonctionnement activation de cette puissance spécifique optimale ( $P_{op}$ ) sur le dispositif de chauffage (14) afférant au moyen du produit de la puissance spécifique réelle (P) du dispositif de chauffage (14), qui correspond à la puissance spécifique maximum, et d'un rapport de puissance, dans lequel le rapport de puissance correspond de manière variable entre 25 % et 100 % de la puissance spécifique réelle (P),

d) détection de l'évolution dans le temps de la température d'aiguillage réelle ( $T_w$ ) sur l'au moins un segment d'aiguillage avec l'au moins un capteur de température d'aiguillage (28) et correction de la température d'aiguillage calculée sur un de l'au moins premier nœud de l'au moins un segment d'aiguillage par le biais de la puissance chaleur de convection ( $P_K$ ) lorsque la température d'aiguillage calculée est supérieure à la température d'aiguillage réelle ( $T_w$ ) ou de la puissance chaleur de rayonnement ( $P_{St}$ ) du réseau de chaleur lorsque la température

## EP 3 850 154 B1

d'aiguillage calculée est inférieure à la température d'aiguillage réelle,

e) calcul de la température finale d'aiguillage sur au moins un deuxième nœud de l'au moins un segment d'aiguillage et comparaison de la température finale d'aiguillage calculée avec une température minimum d'aiguillage ( $T_{\min}$ ) paramétrée pour cet au moins un deuxième nœud,

5 dans lequel lorsque la température minimum d'aiguillage ( $T_{\min}$ ) de l'aiguillage (3) n'est pas atteinte, une température de consigne d'aiguillage ( $T_{\text{Soll}}$ ) paramétrable est augmentée d'un facteur de correction de la température de consigne d'aiguillage ( $y$ ) jusqu'à ce que la température finale d'aiguillage calculée respective de l'aiguillage (3) corresponde au moins à la température minimum d'aiguillage ( $T_{\min}$ ) de l'aiguillage (3),

10 f) calcul du temps de préchauffage ( $t_A$ ) pour le réchauffement de l'au moins un segment d'aiguillage jusqu'à la température de consigne d'aiguillage ( $T_{\text{Soll}}$ ) paramétrable de l'aiguillage (3) et évaluation du temps de préchauffage ( $t_A$ ) calculé pour la température de consigne d'aiguillage ( $T_{\text{Soll}}$ ) paramétrable, dans lequel dans le cas d'un déficit, la puissance spécifique optimale ( $P_{\text{op}}$ ) est augmentée et dans le cas d'un excédent, la puissance spécifique optimale ( $P_{\text{op}}$ ) est diminuée,

15 g) calcul du temps de préchauffage ( $t_A$ ) pour le réchauffement de l'au moins un segment d'aiguillage jusqu'à la température minimum d'aiguillage ( $T_{\min}$ ) paramétrable de l'aiguillage (3) et évaluation de la puissance spécifique nécessaire ( $P_{\text{eff}}$ ) à partir de la puissance de maintien ( $P_{\text{erh}}$ ) et de la puissance de fonte ( $P_{\text{sm}}$ ) pour la neige ( $h_s$ ) tombée jusque-là avec la puissance spécifique ( $P$ ) pour la température minimum d'aiguillage ( $T_{\min}$ ) paramétrable,

20 dans lequel dans le cas d'un déficit, la puissance spécifique optimale ( $P_{\text{op}}$ ) est augmentée ou un message « la quantité de neige tombée est trop importante et n'est pas fondue » est généré.

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre avant le fonctionnement par une demande de chauffage, l'étape de

25 h) calcul de la puissance de fonte spécifique ( $P$ ) pour la quantité de neige calculée sur le segment d'aiguillage pendant le temps de préchauffage ( $t_A$ ) à partir d'une hauteur de neige signalée par unité de temps et calcul de la puissance de maintien spécifique ( $P_{\text{erh}}$ ) pour le maintien de la température de fonte ( $P_{\text{sm}}$ ) sur le segment d'aiguillage et comparaison de la somme de celles-ci avec la puissance spécifique réelle ( $P$ ) du dispositif de chauffage (14) et, lorsque la puissance spécifique réelle ( $P$ ) du dispositif de chauffage (14) est inférieure, activation du chauffage d'aiguillage (1) avec une deuxième température de consigne d'aiguillage ( $T_{\text{Soll-Vor}}$ ), qui est aussi grande que lors

30 du fonctionnement, la puissance spécifique ( $P$ ) du dispositif de chauffage (14) est au moins égale à la somme de la puissance de fonte ( $P_{\text{sm}}$ ) et de la puissance de maintien ( $P_{\text{erh}}$ ) spécifiques.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel

35 les éléments de production de chaleur comprennent la puissance spécifique ( $P$ ) de l'au moins un dispositif de chauffage (14) avec un accumulateur de chaleur du segment d'aiguillage et une transmission de chaleur par rayonnement thermique et/ou

40 les éléments de transmission de chaleur comprennent des résistances thermiques sur l'aiguillage (3) à partir des propriétés des substances, des grandeurs géométriques et des sollicitations prédominantes par la transmission de chaleur et l'environnement sur l'au moins un segment d'aiguillage.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel dans l'étape f)

45 le temps de préchauffage ( $t_A$ ) pour le réchauffement de l'au moins un segment d'aiguillage est calculé à partir de la somme des différents temps de chauffe pour l'au moins un segment d'aiguillage pour son réchauffement, pour la fonte de la neige et pour l'évaporation de l'eau sur celui-ci, et/ou

le temps de préchauffage ( $t_A$ ) est augmenté par augmentation du rapport de puissance et/ou commutation du mode de régulation au mode continu et/ou est diminué par diminution du rapport de puissance.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant en outre lorsque le chauffage est activé, les étapes de

55 i) calcul d'une puissance de fonte ( $P_{\text{sm}}$ ) pour la neige ( $h_s$ ) tombée dans une période de temps paramétrable et comparaison de cette puissance de fonte avec la différence entre la puissance spécifique ( $P$ ) et une puissance de maintien ( $P_{\text{erh}}$ ) calculée, dans lequel dans le cas d'un déficit de la puissance spécifique, la puissance ( $P_{\text{eff}}$ ) est augmentée et/ou un chauffage continu est lancé et/ou un premier message d'avertissement est émis, et/ou

j) comparaison du temps de préchauffage ( $t_A$ ) calculé avec un temps de préchauffage maximum paramétré,

## EP 3 850 154 B1

dans lequel dans le cas d'un déficit de la puissance spécifique, la puissance est augmentée et/ou un chauffage continu est lancé et/ou un deuxième message d'avertissement est émis, et/ou

k) calcul de la hauteur de neige ( $h_s$ ) à partir de la différence entre la hauteur de neige tombée et la hauteur de neige fondue par unité de temps et comparaison de la hauteur de neige calculée avec une hauteur de neige admissible maximum paramétrable, dans lequel dans le cas d'un déficit de la puissance spécifique, la puissance est augmentée et/ou un chauffage continu est lancé et/ou un troisième message d'avertissement est émis.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le calcul du temps de préchauffage ( $t_A$ ) dans l'étape f) comprend les sous-étapes de :

f1) calcul du temps mort ( $t_T$ ) pour l'au moins un segment d'aiguillage à partir de l'évolution dans le temps de la température d'aiguillage ( $T_w$ ) de l'aiguillage (3) pour la puissance spécifique optimale ( $P_{op}$ ) ou la puissance spécifique réelle ( $P$ ),

f2) calcul du temps  $t_{A1}$  pour le réchauffement de l'au moins un segment d'aiguillage de la température d'aiguillage du rail froid de l'aiguillage (3) et de la température de fonte ( $T_s$ ) jusqu'à la température minimum d'aiguillage ( $T_{min}$ ) sur au moins un nœud,

f3) calcul du temps  $t_{A2}$  pour la fonte de la quantité de neige pendant l'étape f2) à partir de la différence de la puissance spécifique présente déduction faite de la puissance ( $P_{erh}$ ) pour le maintien de la température minimum d'aiguillage ( $T_{min}$ ) de l'au moins un segment d'aiguillage,

f4) calcul du temps  $t_{A3}$  pour la fonte de la neige tombée pendant l'étape f3) à partir de la différence de la puissance spécifique présente déduction faite de la puissance ( $P_{erh}$ ) pour le maintien de la température minimum d'aiguillage ( $T_{min}$ ) de l'au moins un segment d'aiguillage,

f5) calcul du temps  $t_{A4}$  pour le réchauffement de l'au moins un segment d'aiguillage à partir de la différence de la température minimum d'aiguillage jusqu'à la température de consigne d'aiguillage ( $T_{soil}$ ) sur les nœuds avec le capteur de température d'aiguillage (28) de l'aiguillage (3),

f6) calcul du temps  $t_{A5}$  pour la fonte de la neige tombée pendant l'étape f5) à partir de la différence de la puissance spécifique présente ( $P$ ) déduction faite de la puissance ( $P_{erh}$ ) pour le maintien de la température minimum d'aiguillage ( $T_{min}$ ) de l'au moins un segment d'aiguillage.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant en outre une détermination de la limite de fonctionnement en rapport avec la température ambiante ( $G_{W-Tu}$ ) du chauffage d'aiguillage (1), comprenant

- le calcul des températures finales d'aiguillage optionnelles ( $T_{op}$ ) sur deux nœuds spécifiques de l'au moins un segment d'aiguillage, lesquels correspondent à la contre-aiguille de tête (20) et à la lame d'aiguille de tête (21) en tant qu'endroits importants pour le fonctionnement (19) de l'au moins un aiguillage (3), dans lequel les températures d'aiguillage calculées pour la contre-aiguille de tête (20) et la lame d'aiguille de tête (21) sont soustraites de la température minimum d'aiguillage ( $T_{min}$ ) et la plus petite d'entre elles correspond à la température ambiante limite de fonctionnement.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comprenant en outre une détermination de la limite de fonctionnement en rapport avec la quantité de neige ( $G_{W-hs}$ ) du chauffage d'aiguillage (1), comprenant

- le calcul d'une puissance de maintien spécifique ( $P_{erh}$ ) pour la température minimum d'aiguillage ( $T_{min}$ ) de l'aiguillage (3), à laquelle s'ajoute une tolérance de température minimum d'aiguillage  $\square T_{min}$ , sur le pied de la contre-aiguille, d'une puissance de fonte ( $P_{sm}$ ) pour la quantité de neige maximum ou la quantité de neige ( $h_s$ ) détectée jusque-là ainsi que d'une puissance d'évaporation ( $P_v$ ) pour l'eau de fonte, et comparaison de la somme de ces éléments avec la puissance spécifique nécessaire ( $P_{erf}$ ) du dispositif de chauffage (14) de l'au moins un segment d'aiguillage, lorsque la puissance spécifique nécessaire ( $P$ ) du dispositif de chauffage est inférieure à la somme de la puissance de maintien ( $P_{erh}$ ) et de la puissance de fonte ( $P_{sm}$ ) et de la puissance d'évaporation et que la limite de fonctionnement en rapport avec la hauteur de neige est dépassée.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, comprenant en outre un dimensionnement spécifique au projet des dispositifs de chauffage (14) et de leur puissance spécifique nécessaire ( $P_{erf}$ ), comprenant

- le calcul d'une puissance spécifique ( $P$ ) du dispositif de chauffage pour atteindre une température de consigne d'aiguillage ( $T_{soil}$ ) de l'aiguillage (3) à l'emplacement du capteur de température d'aiguillage (28) et une température d'aiguillage minimum  $T_{w-min}$  de l'aiguillage (3) sur au moins une contre-aiguille de tête (20) et/ou une

lame d'aiguille de tête (21) pour l'au moins un segment d'aiguillage par calcul de la somme de la conduction thermique, du rayonnement et de la convection dans l'environnement, de la capacité thermique et de la chaleur latente en cas de neige et de pluie, pour les valeurs limites de fonctionnement présentes de la température ambiante minimum ( $T_u$ ), du profil de rail, de la vitesse de vent maximum ( $v_{max}$ ) et de la hauteur de neige maximum par heure, et

- l'augmentation de la puissance spécifique nécessaire ( $P_{eff}$ ), lorsque la puissance spécifique réelle ( $P$ ) calculée est inférieure à la puissance spécifique, qui correspond à la puissance de fonte nécessaire ( $P_{sm}$ ) dans le temps de préchauffage ( $t_A$ ), qui est calculé à partir de la température ambiante minimum jusqu'à ce qu'une température de rail d'au moins 0°C soit atteinte, pour la quantité de neige, qui résulte du produit du temps de préchauffage ( $t_A$ ) et de la hauteur de neige ( $h_s$ ) par heure, et à la puissance d'évaporation ( $P_v$ ) de l'eau de fonte résiduelle et à la puissance de maintien spécifique nécessaire ( $P_{eff}$ ) pour une température de rail de 0°C aux endroits importants pour le fonctionnement (19) de l'au moins un segment d'aiguillage.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel

- lors du fonctionnement du chauffage d'aiguillage (1), un réglage de la puissance spécifique optimale pour les dispositifs de chauffage (14), qui correspond au produit de la puissance spécifique et d'un rapport de puissance de 25 % à 100 %, a lieu par le biais des appareils de commutation respectifs pour la mise en circuit et la mise hors circuit des dispositifs de chauffage (14) par modification de la durée d'allumage ou de la fréquence ou de la largeur d'impulsion ou par commande par train d'ondes ou par fonctionnement en groupement,

et/ou  
- le rapport de puissance est entre 25 % et 100 %, dans lequel lors du fonctionnement du chauffage d'aiguillage (1), la puissance spécifique ( $P$ ) du côté gauche (5) de l'aiguillage (3) et du côté droit (6) de l'aiguillage (3) correspond au maximum à la valeur moyenne et/ou au méridien de la puissance spécifique du dispositif de chauffage (14),

et/ou  
- lors du fonctionnement du chauffage d'aiguillage (1), la puissance spécifique calculée ( $P_{op}$ ) pour le côté gauche (5) de l'aiguillage (3) et le côté droit (6) de l'aiguillage (3) correspond au maximum à la puissance spécifique ( $P$ ) des dispositifs de chauffage (14),

ou une différence de puissance spécifique pour le côté gauche (5) de l'aiguillage (3) ou le côté droit (6) de l'aiguillage (3) est calculée à partir de la différence de la puissance spécifique ( $P$ ) des dispositifs de chauffage (14) déduction faite de la puissance spécifique calculée ( $P_{op}$ ) et en cas de différence de puissance spécifique positive du côté gauche (5) de l'aiguillage (3) ou du côté droit (6) de l'aiguillage (3), cette différence de puissance spécifique est mise à la disposition de l'autre côté respectif de l'aiguillage (3) en plus de la puissance spécifique ( $P$ ) du dispositif de chauffage (14) de sorte qu'une évolution régulière dans le temps des températures de rail de l'aiguillage (3) sur le côté gauche (5) de l'aiguillage (3) et sur le côté droit (6) de l'aiguillage (3) a lieu aux endroits importants pour le fonctionnement (19) de l'aiguillage (3).

11. Dispositif de commande pour la commande et la régulation d'une température d'aiguillage d'un chauffage d'aiguillage (1) aménagé pour la réalisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel le chauffage d'aiguillage (1) présente au moins un dispositif de chauffage (14) disposé sur au moins un aiguillage (3), au moins un capteur de température d'aiguillage (28) sur l'au moins un aiguillage (3) et au moins une distribution d'énergie pourvue d'au moins une sortie de chauffage par aiguillage (3), le dispositif de commande comprenant :

- une CPU pour le calcul des températures d'aiguillage de l'aiguillage (3) pour au moins un segment d'aiguillage, qui est relié au dispositif de commande par le biais de moyens de communication,

- au moins un boîtier de raccordement disposé à l'écart de l'aiguillage (3), qui présente au moins un appareil de commutation, qui est relié aux dispositifs de chauffage (14) de l'aiguillage (3) par le biais de conduites, ainsi que des moyens de mesure pour la détection dans le temps du courant de fonctionnement, de la tension et de la résistance d'isolation et des moyens de limitation de la puissance maximum,

- au moins un moyen de communication, qui est disposé dans le boîtier de raccordement et relié au dispositif de commande,

- au moins un capteur de précipitations pour la détection du type de précipitation et de la quantité de précipitation, qui est relié au dispositif de commande.

Fig. 0

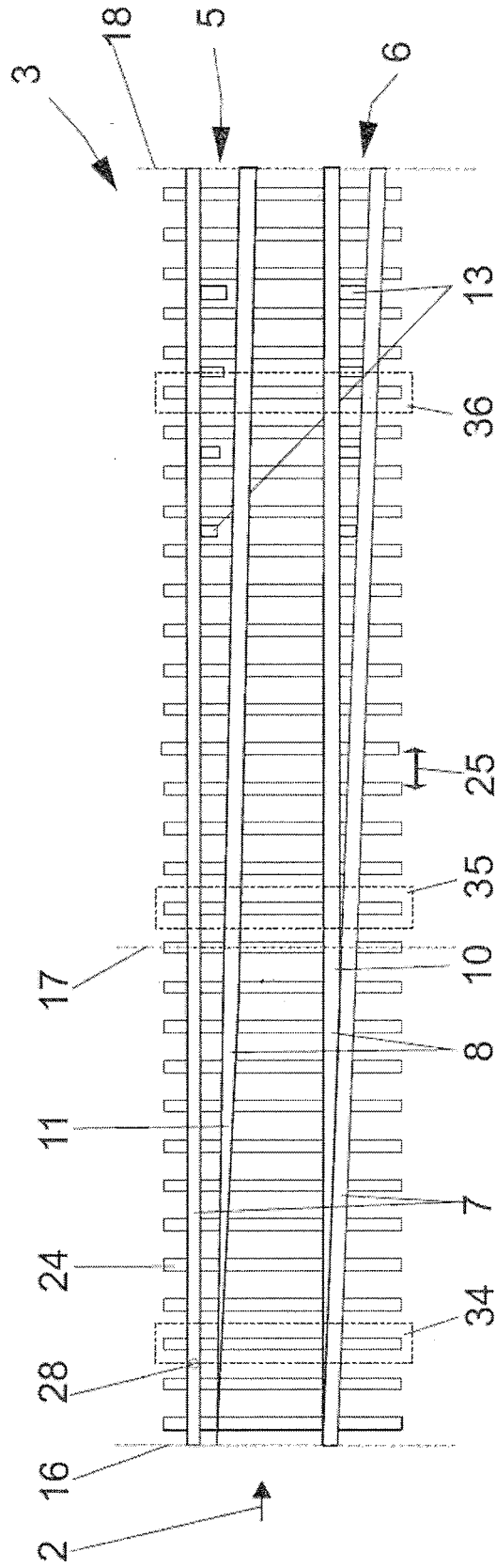


Fig. 1

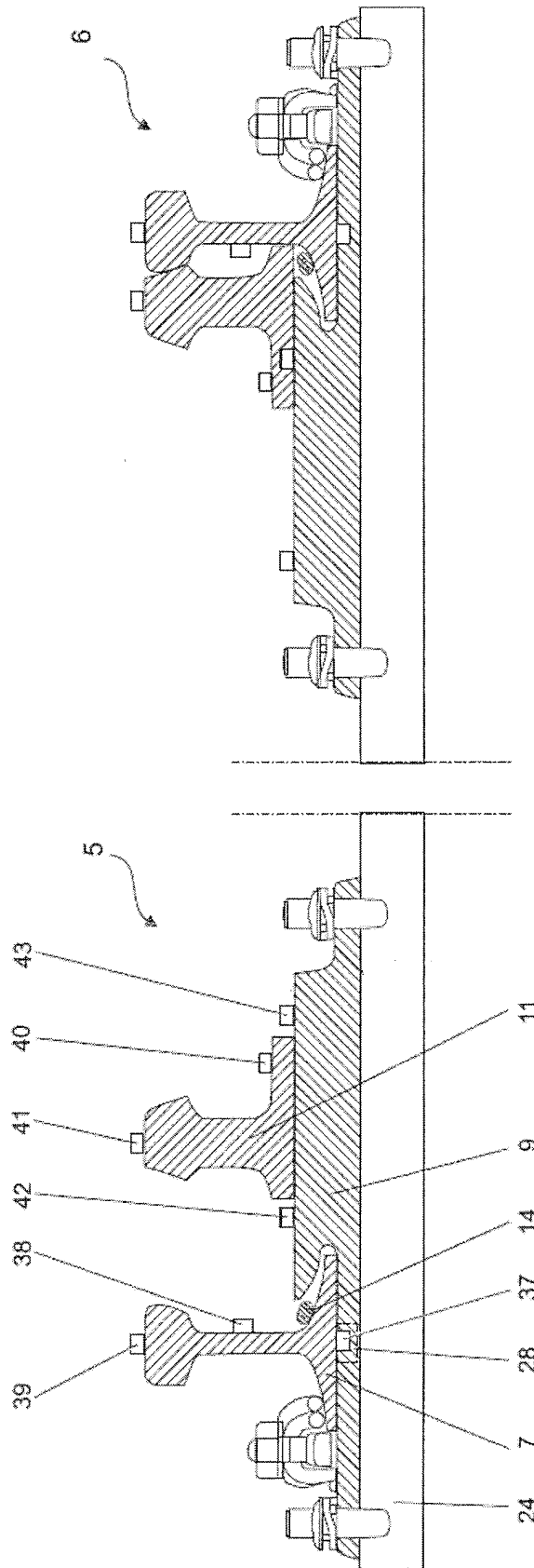


Fig. 2

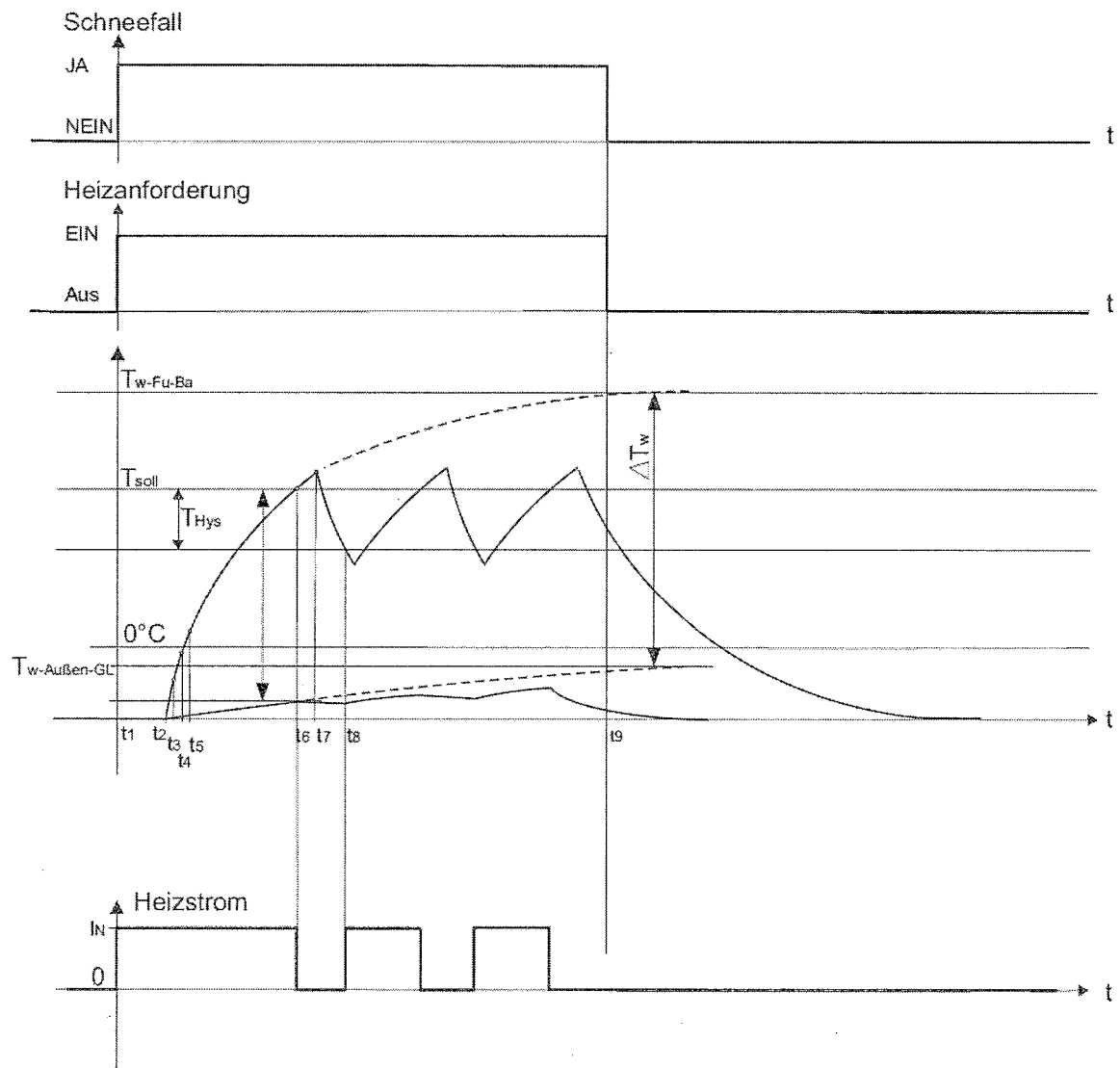


Fig. 3

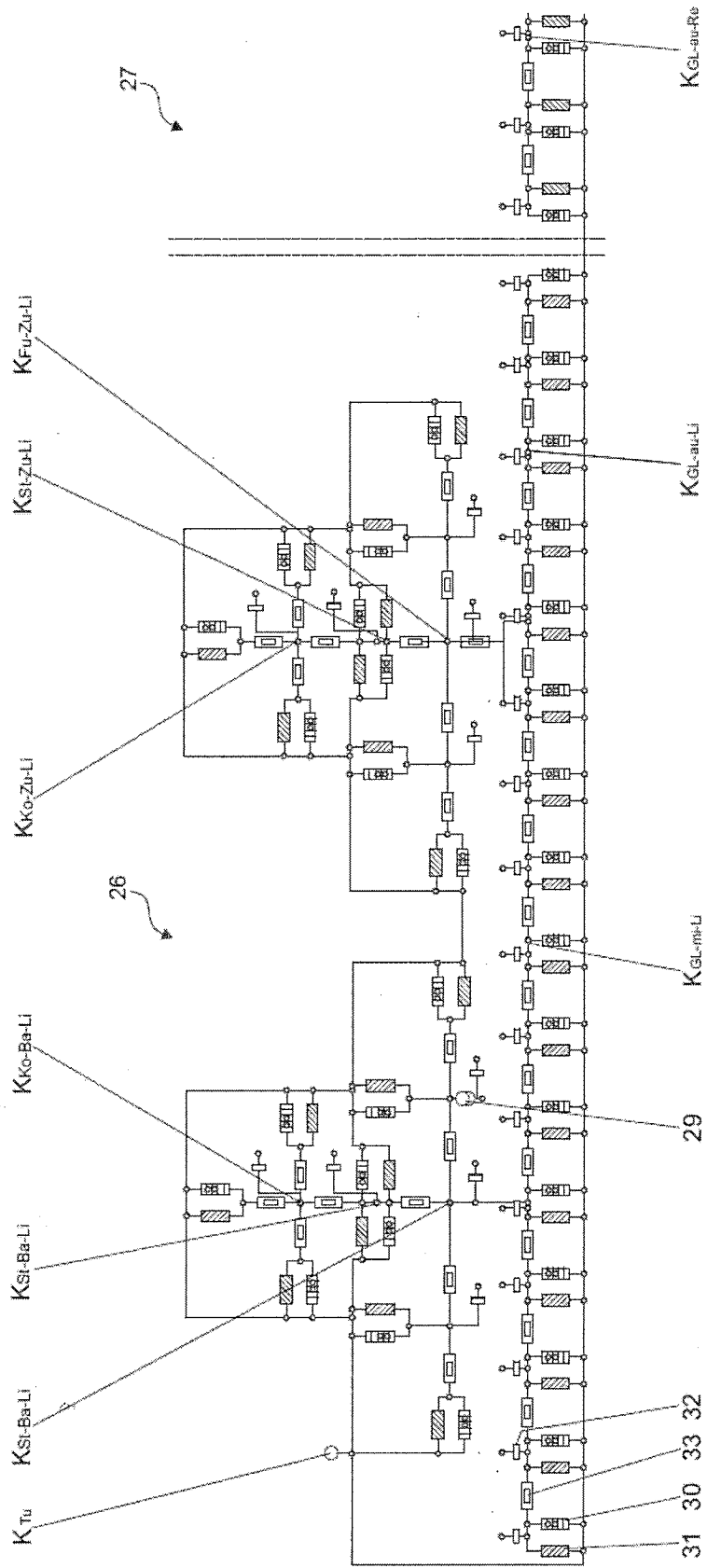


Fig. 4

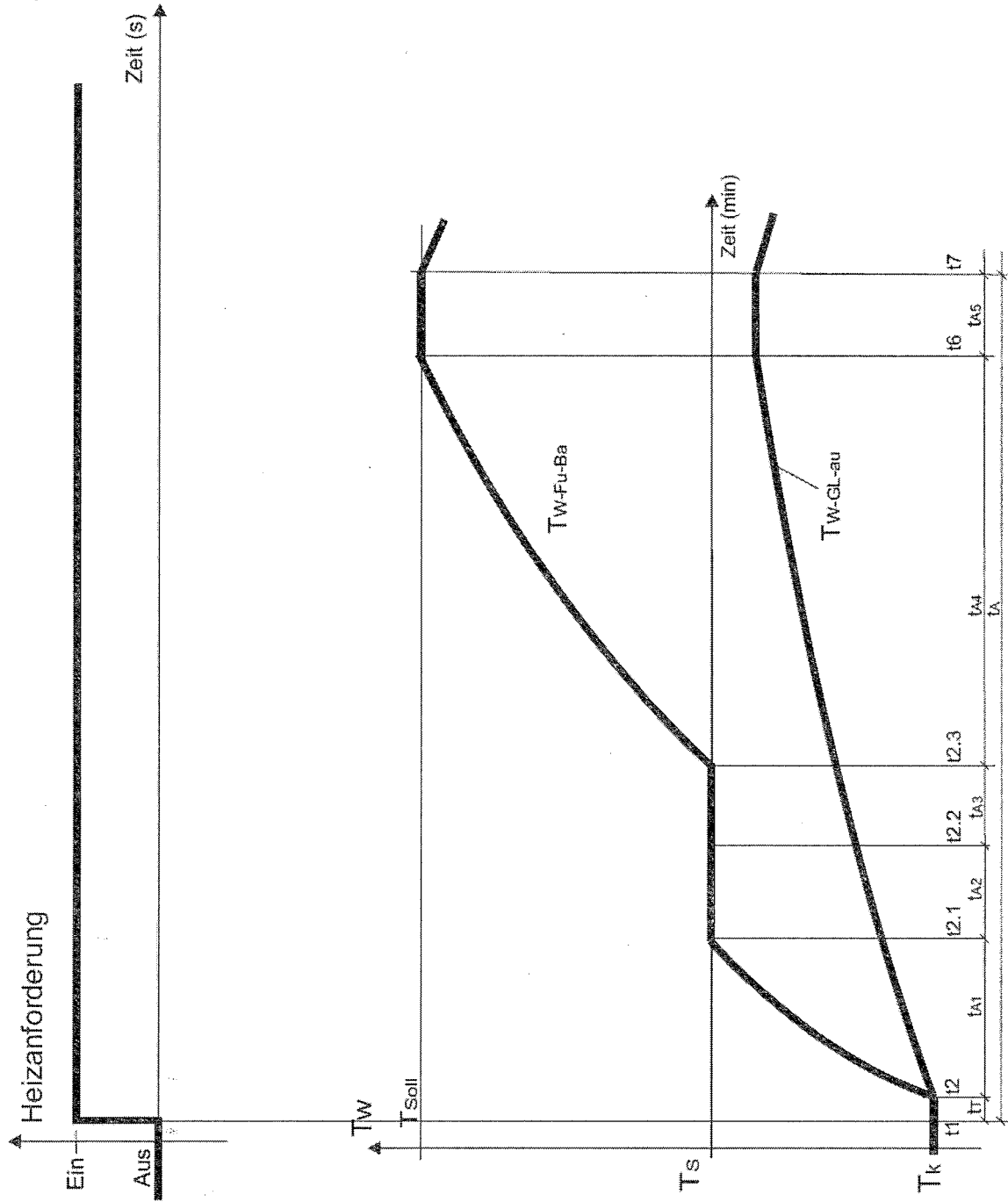


Fig. 5

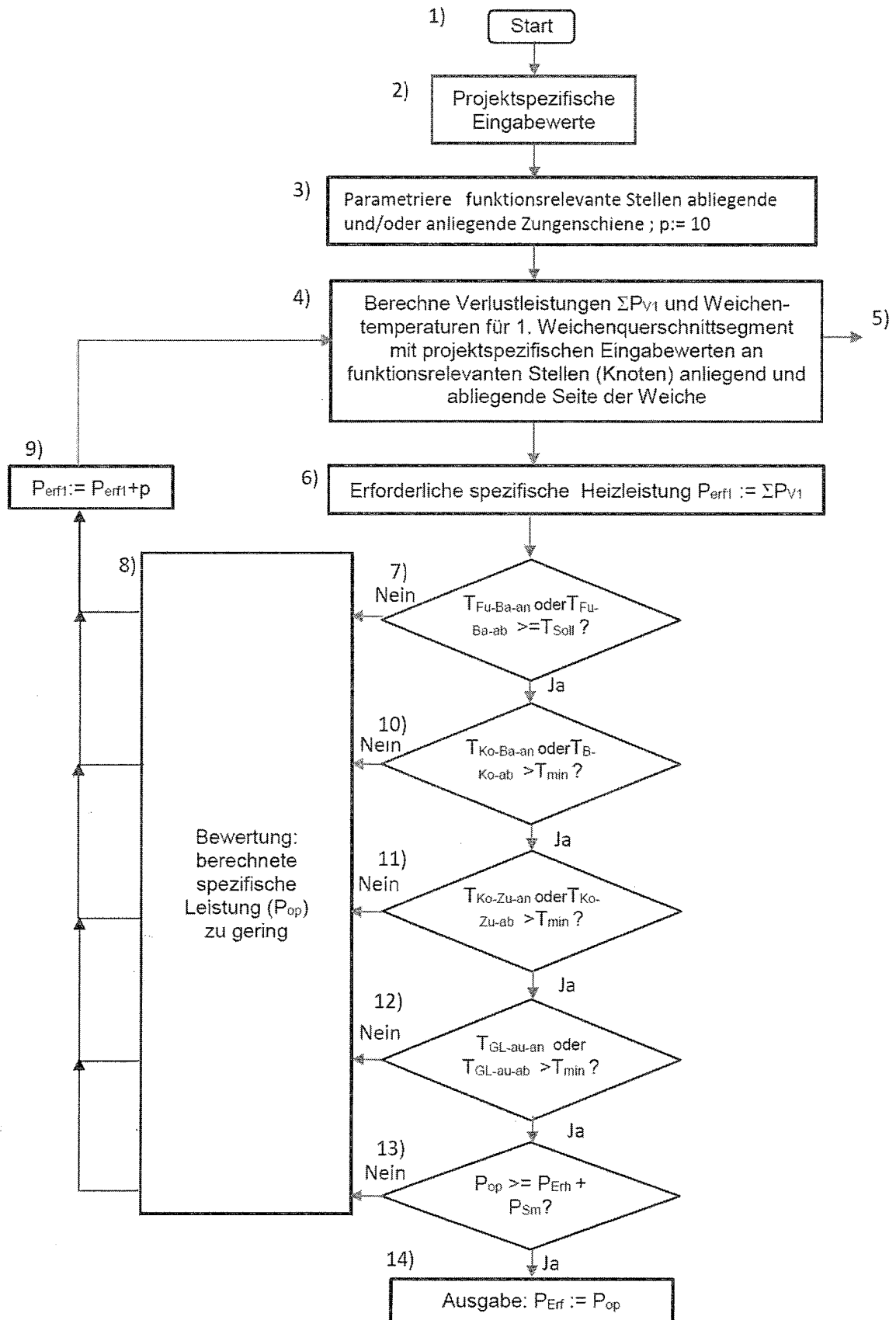


Fig. 6

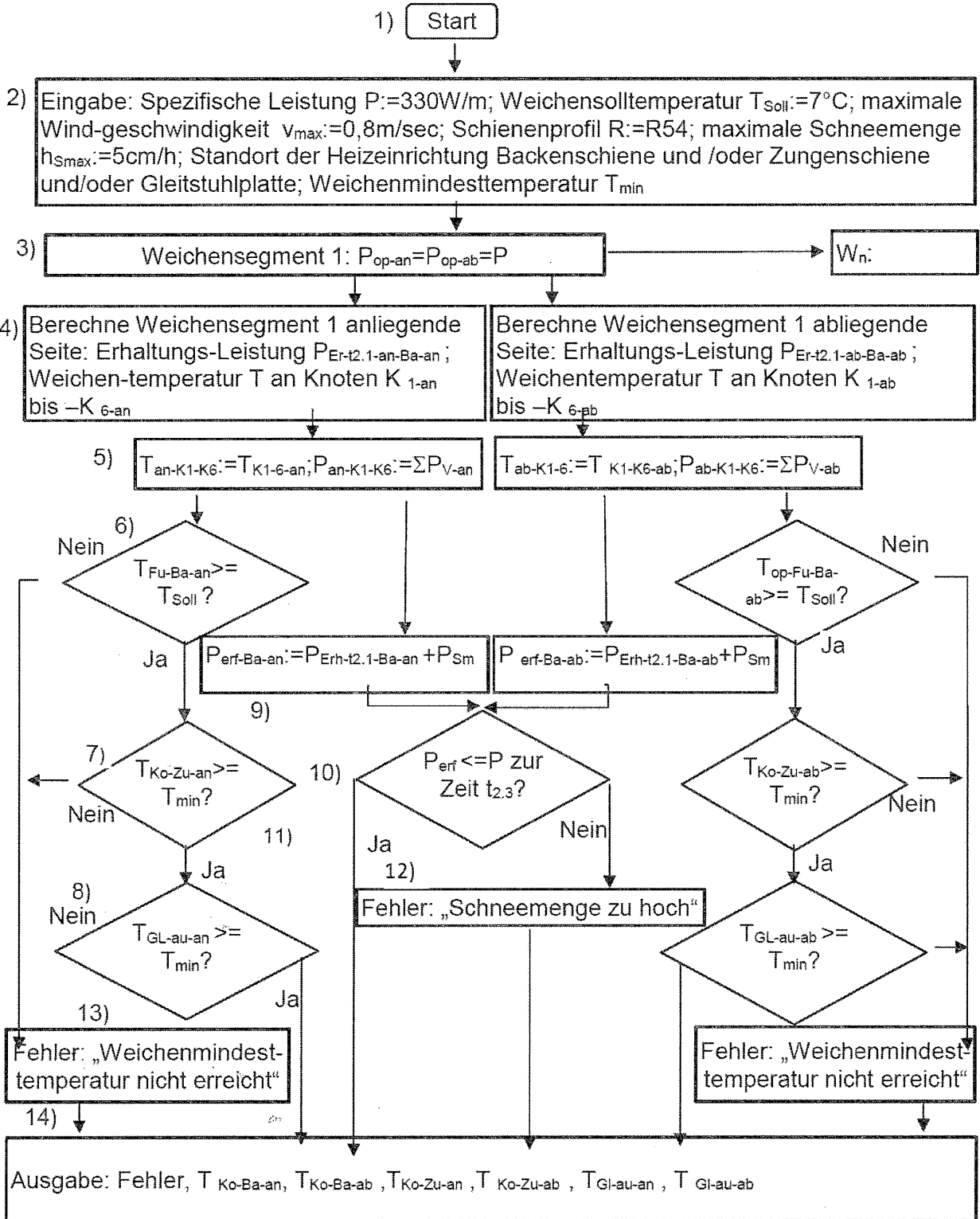


Fig. 7a

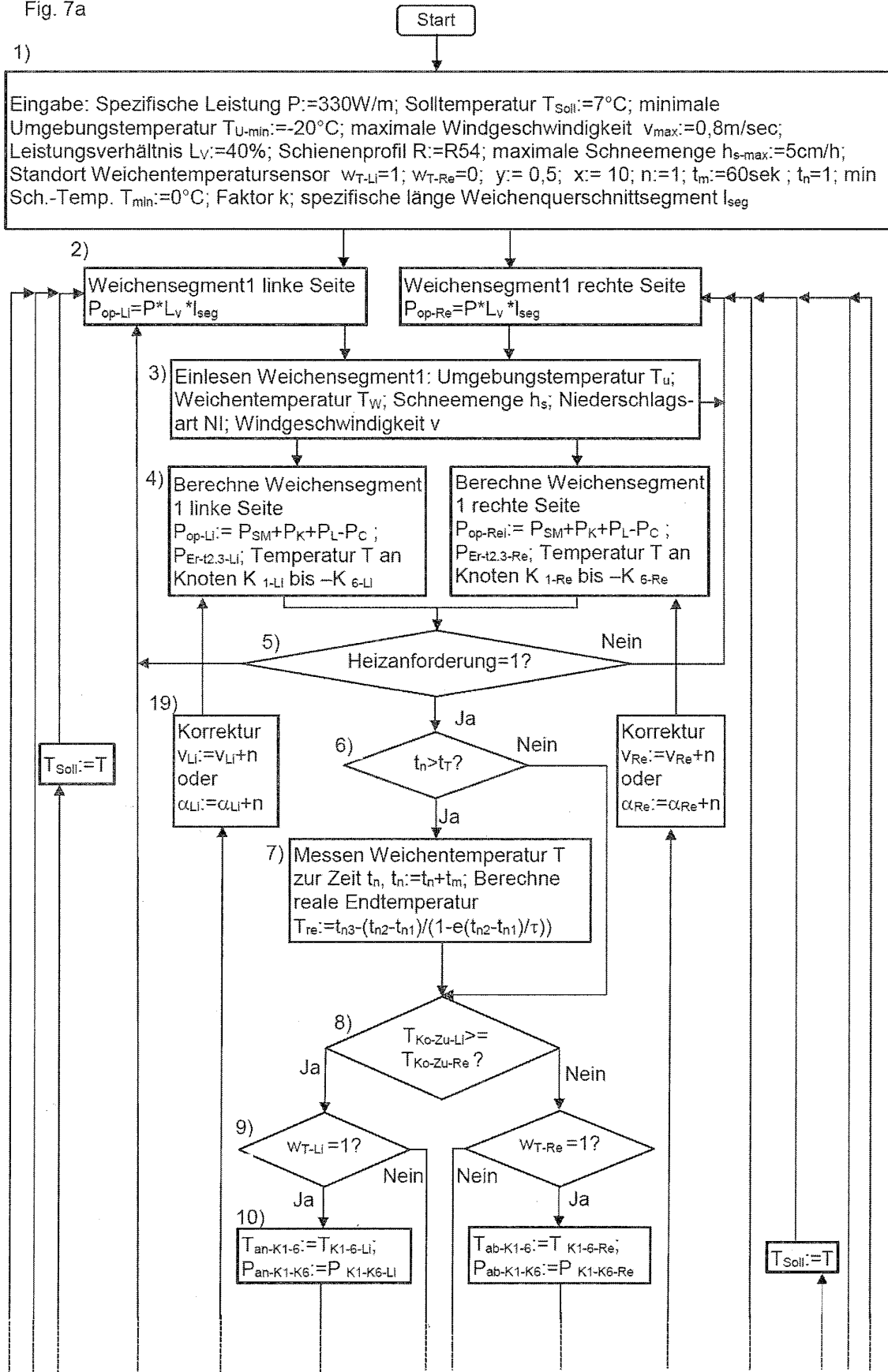
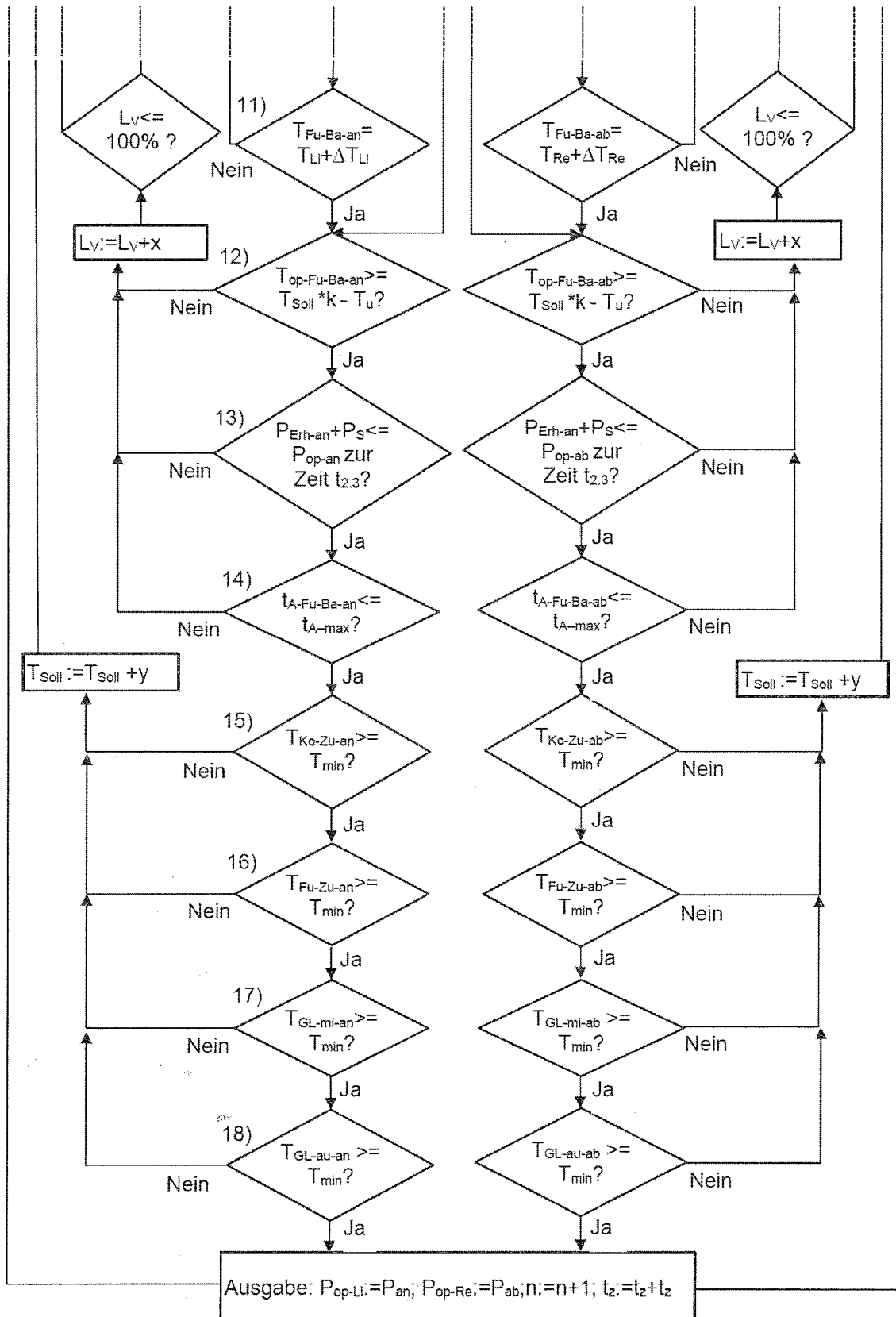


Fig. 7b



## IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 9353486 B2 [0022]
- WO 2018050141 A1 [0022]
- WO 2010115436 A1 [0022]

### In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **LÖBL, H.** *Strombelastbarkeit des Transformators in einer Kompaktstation Elektrizitätswirtschaft*, 1154-1163 [0101]
- **QUELLE 2 ELSNER, N.** Grundlagen der Technischen Thermodynamik. Akademie Verl, 1988 [0101]
- **BÖMER, H.** Über den Wärme- und Stoffübergang an umspülten Einzelkörpern bei Überlagerung von freier und erzwungener Konvektion. VDI-Verl, 1965 [0101]
- **KRISCHER, O.** Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Springer Verl, 1956 [0101]
- Elemente und Baugruppen der Elektroenergie-technik. **PHILIPPOW, E.** Taschenbuch Elektrotechnik. Verl. Technik, 1979, vol. 5 [0101]
- ABB Schaltanlagen. Cornelsen Verl, 1992 [0101]