

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. März 2020 (19.03.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/053842 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: *E01B 7/24* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/IB2019/057768
- (22) Internationales Anmeldedatum: 16. September 2019 (16.09.2019)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2018 007 263.1
16. September 2018 (16.09.2018) DE
- (71) Anmelder: **EAN ELEKTROSCHALTANLAGEN**
[DE/DE]; Broner Ring 30, 04668 Grimma (DE).
- (72) Erfinder: **REINKER, Wolfgang**; Leipziger Strasse 21, 04651 Bad Lausick (DE).
- (74) Anwalt: **VÖLGER, Wolfgang**; Groß-Gerauer Weg 55, 64295 Darmstadt (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR OPEN-LOOP AND CLOSED-LOOP CONTROL OF A POINTS HEATING SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR STEUERUNG UND REGELUNG EINER WEICHENHEIZUNG

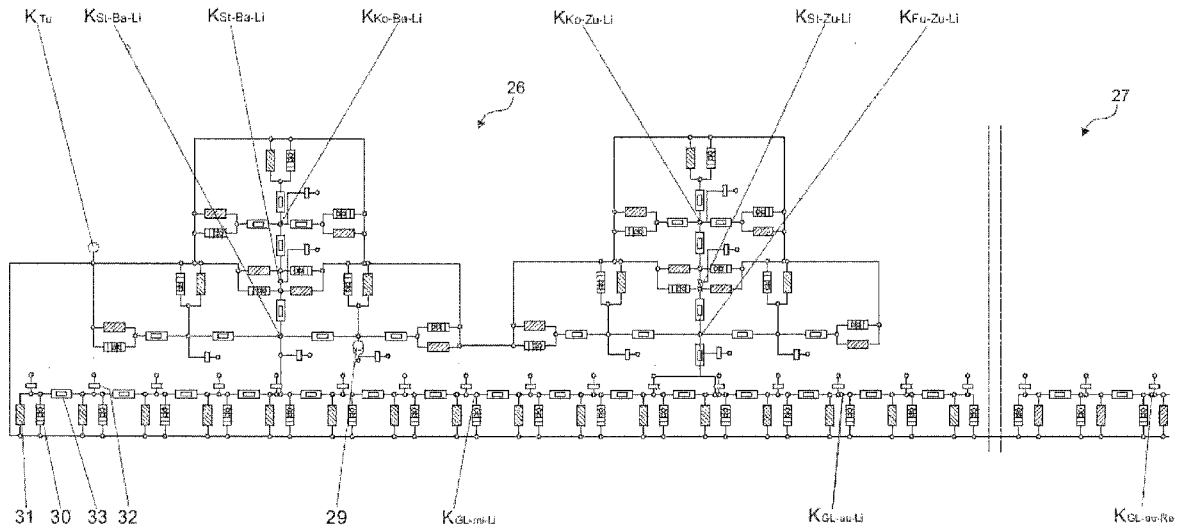


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for the open-loop/closed-loop control of a points heating system (1), which comprises at least one heating device (14) positioned at at least one set of points (3), at least one points temperature sensor (28) on the at least one set of points (3), at least one power distributor having at least one heat outlet for each set of points (3) and at least one control device for open-loop/closed-loop control of the temperature of the points. In particular, a heat grid (26, 27) for the at least one points segment is formed for the left-hand side (5) and/or for the right-hand side (6) of the at least one set of points (3), which comprises heat generating elements, heat transmitting elements and heat reservoirs (32). At least the first node (K) of each of the sections of the at least one points segment is associated with at least one evaluation point (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43).

(57) Zusammenfassung: Vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Steuerung/Regelung einer Weichenheizung (1), die mindestens eine an zumindest einer Weiche (3) angeordnete Heizeinrichtung (14), zumindest einen Weichentempera-

WO 2020/053842 A2

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

tursensor (28) an der zumindest einem Weiche (3), zumindest eine Energieverteilung mit mindestens einem Heizabgang pro Weiche (3) und zumindest eine Steuereinrichtung zum Steuern/Regeln der Weichentemperatur aufweist. Dabei wird insbesondere ein Wärmenetz (26, 27) für das zumindest eine Weichensegment für die linke Seite (5) und/oder für die rechte Seite (6) der zumindest einen Weiche (3) gebildet, das Wärmeerzeugungselemente, Wärmeübertragungselemente und Wärmespeicher (32) aufweist. Der jeweils zumindest erste Knoten (K) der jeweiligen Abschnitte des zumindest einen Weichensegments wird mindestens einem Bewertungspunkt (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43) zugeordnet.

Verfahren und Einrichtung zur Steuerung und Regelung einer Weichenheizung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Einrichtung zur
5 Steuerung und Regelung 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

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
15 und Eis zu verhindern und damit die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Bekannte
Weichenheizungen beruhen auf Systemen mit Heißwasserdampf, Gasbeheizung oder
elektrischer Energie.

Durch Weichenheizungen soll im Winter Schnee zwischen den Schienen der Weichen
20 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
25 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.

Die Regelung solcher Weichenheizungen erfolgt herkömmlicherweise mittels eines
30 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
35 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.

Die herkömmlichen Weichenheizungen werden derzeit bei Heizanforderung mit 100 %
5 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
10 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.

Heizeinrichtungen nach dem Stand der Technik sind beispielsweise an den festen
15 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
20 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
25 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
30 und die Zungenschiene kann beim Stellen nicht mehr die Endlage erreichen bzw. friert fest und die Weiche kann nicht mehr umgestellt werden.

Unter Ausnutzung der Analogie zwischen einem elektrischen Strömungsfeld und einem thermischen Strömungsfeld (vgl. Tab. 1) werden Wärmeerzeugungsprozesse,
35 Wärmeübertragungsprozesse und Wärmespeicherprozesse mit aus der Elektrotechnik hinreichend bekannten Netzwerken berechenbar. Die in Wärmenetzen

auftretenden Nichtlinearen der Prozesse verlangen ein rechnergestütztes iteratives Lösungsverfahren [1].

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

5 Tabelle 1: Analogie zwischen thermischen und elektrischen Strömungsfeldern

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 $\Delta\vartheta$.

15 Wärmeübertragung

In elektrotechnischen Anlagen wird die Leistung durch Strahlung, Wärmeleitung und Konvektion übertragen.

20 *Strahlung* [2]

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.

25
$$P_s = C_s \varepsilon_{12} O_s \left(\frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right)$$

wobei sich die resultierende Emissionszahl ε_{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 ^[2]

- 5 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 λ bezeichnet. Die Abschnittslänge L und die Querschnittsfläche A beeinflussen die transportierte Wärmeleistung wesentlich. Im
- 10 homogenen eindimensionalen Wärmeströmungsfeld kann die Wärmeleistung durch Leitung wie folgt vereinfacht werden.

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

Konvektion ^{[3], [4], [5]}

- 15 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

- 20
- | | |
|----------------------|--|
| <i>Reynolds-Zahl</i> | (abstrahiert von der erzwungenen Konvektion) |
| <i>Grashof-Zahl</i> | (abstrahiert von der freien Konvektion) |
| <i>Nußelt-Zahl</i> | (abstrahiert von der Wärmeübertragung) |
| <i>Prandtl-Zahl</i> | (abstrahiert von dem Strömungsmedium) |

- 25 mit v als Strömungsgeschwindigkeit, ν als Viskosität, β als Volumendehnungskoeffizient, g als Erdbeschleunigung, c_p als spezifische Kapazität und δ als Dichte gebildet.

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

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

Mit dem *Newtonschen* Wärmeübertragungsgesetz

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

wird die durch Konvektion übertragbare Leistung berechnet.

- 5 Der Prozess kann temperaturabhängig m Wärmenetz iterativ berechnet werden.

Wärmeleistungen

Durch den Ohmschen Widerstand erwärmen sich alle stromdurchflossenen Abschnitte.

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

Stromwärmeverluste

- 15 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

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

und

- 20
$$R_{Lei} = k \frac{\rho l}{A} (1 + \alpha_T \Delta\vartheta)$$

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

- 25 *Wärmekapazität*

Die Wärmekapazität eines Leiterabschnittes geht in die kalorimetrische Gleichung

$$Q_c = C \Delta\vartheta$$

ein. Durch Ableitung ist diese auf die Leistung umstellbar.

- 30

Die Wärmekapazität C ergibt sich aus

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

mit dem Volumen V , der Dichte δ und der spezifischen Wärmekapazität C .

Die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren und Einrichtungen haben folglich teilweise einen sehr hohen technischen Installations- und Wartungs-Aufwand bei gleichzeitig ungleichmäßiger und/oder unzureichender Beheizung wesentlicher funktioneller Teile von Fahrwegelementen. Es besteht daher die Notwendigkeit, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen, ohne den technischen Aufwand weiter zu erhöhen.

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

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 Einrichtung. Ebenso beziehen sich Verfahrensmerkmale, die in der Beschreibung der erfindungsgemäßen Einrichtung angeführt werden, auf das erfindungsgemäße Verfahren.

20

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 ein an zumindest einer Weiche (3) angeordnete Heizeinrichtung (14), zumindest einen Weichentempersensoren (28) an der zumindest einem Weiche (3), zumindest eine Energieverteilung mit mindestens einem Heizabgang pro Weiche (3) und zumindest eine Steuereinrichtung zum Steuern und Regeln der Weichentemperatur 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 (15, 18) angeordnet ist,
- 5 b) Bilden eines Wärmenetzes (26, 27) für das zumindest eine Weichensegment für die linke Seite (5) der zumindest einen Weiche (3) und/oder 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
- 10 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,
- 15 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
- 20 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
- 25 einen Weichensegment mit dem zumindest einen Weichentempersensor (28) und Korrigieren der berechneten Weichentemperatur an einem der zumindest ersten Knoten des zumindest einen Weichensegments über Leistung Konvektionswärme wenn berechnete Weichentemperatur größer ist als reale Weichentemperatur oder Leistung Strahlungswärme des Wärmenetzes wenn
- 30 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 für diesen zumindest einen zweiten Knoten,
- 35 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.

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 (_{an}) und abliegende (_{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.

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.

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
5 besonders bevorzugten Variante ausgegangen, ohne die Möglichkeit der alleinigen Betrachtung eines Weichensegments für nur eine Seite auszuschließen.

Darüber hinaus kann die bei Betrieb der Weichenheizung (1) erforderliche Leistung der einzelnen Heizeinrichtungen (29) über die spezifische Leistung der Länge eines
10 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 (29) für die linke Seite (5) und die rechte Seite (6) so angepasst werden, dass die funktionsrelevanten Stellen (19) der Weiche (3) über
15 deren gesamte Länge gleiche Weichentemperaturen aufweisen und damit mit maximal gleicher Leistung der Heizeinrichtung (29) gegenüber dem Stand der Technik eine höhere Verfügbarkeit im Winter über den gesamten Betriebstemperaturbereich im automatischen Betrieb der Weichenheizung (1) erreicht wird.

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)
25 möglichst gleichmäßig ausgeführt wird und nicht nur einzelner Bereiche oder einer Seite einer Weiche wie im Stand der Technik.

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

Das erfindungsgemäße Verfahren wird in Abhängigkeit vorhandener oder vorgegebener projektspezifischer Parameter bzw. Witterungsbedingungen durchgeführt, mittels des erfindungsgemäßen Wärmenetzmodells für jeweils ein Weichensegment für anliegende
35 (an) und abliegende (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.

5

Die bei Betrieb erforderliche Leistung der Heizeinrichtungen (14) wird über die spezifische Leistung (P) der Länge von Weichensegmenten (l_{seg}) berechnet und durch Bewertung der berechneten optimalen Weichentemperatur (T_{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 (a_n) oder abliegend (a_b), 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.

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_{min}) der Weiche (3) zu beheizen, unter Berücksichtigung der Schmelzleistung (T_{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 (h_s) nicht vollständig geschmolzen wird.

Wenn aufgrund von Wettervorhersagen mit der maximalen spezifischen Leistung der Heizeinrichtungen (14) die Schienenmindesttemperatur (T_{min}) der Weiche (3) nicht erreicht wird oder die Schneemenge (h_s) nicht vollständig geschmolzen wird, wird die erfindungsgemäße Weichenheizung (1) über ein zusätzliche Heizanforderung „Vorheizen“ mit einer zweiten berechneten Schienensolltemperatur ($T_{soll-vor}$) 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_{op}) aktiviert und bei Erreichen der Schienensolltemperatur (T_{Soll}) der Weiche (3) ein zweites Paar Heizeinrichtung (14),
5 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
10 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.

15 Ein Weichensegment wird in der Nähe eines Weichentempersensors (28) angeordnet und die damit zeitlich erfassten Weichentemperaturen (T_w) der Weiche (3) werden mit berechneten optimalen Weichentemperaturen (T_{op}) verifiziert. Bei möglichen Weichentemperaturdifferenzen (ΔT_w) werden die berechneten optimalen Weichentemperaturen (T_{op}) der Weiche (3) über Leistung Konvektionswärme (P_K) oder
20 über Leistung Strahlung (P_{St}) korrigiert.

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
25 Mikrocontroller unmittelbar neben der Weiche (3) angeordnet und über Kommunikationsmittel mit der Steuereinheit 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).

30 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
35 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.

5

In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassen die Wärmeerzeugungselemente die spezifische Leistung der zumindest einen Heizeinrichtung (29) 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.

15

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

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

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.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das erfindungsgemäße Verfahren bei aktiver Heizung ferner die Schritte

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 Warnmeldung ausgegeben wird,

und/oder

- 5 j) Vergleichen der berechneten Anheizzeit 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
- 10 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 Warnmeldung ausgegeben wird.

15 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.

20 Vorteilhafterweise kann das Berechnen der Anheizzeit in Schritt f) die Unterschritte umfassen

- f1) Berechnen der Totzeit für das zumindest eine Weichensegment aus dem zeitlichen Verlauf der Weichentemperatur der Weiche (3) bei optimaler oder realer spezifischer Leistung,
- 25 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,
- 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,
- 30 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,
- 35 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.

5

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.

- 10 Ein Teilaspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens bezieht sich auf eine Ermittlung der Betriebsgrenze Umgebungstemperatur (G_{W-Tu}) der Weichenheizung (1), umfassend
- 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
- 15 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.

20 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 Schneemenge (G_{W-hs}) der Weichenheizung (1), umfassend

- 25 - Berechnen einer spezifischen Erhaltungsleistung bei Weichenmindesttemperatur T_{min} der Weiche (3), zuzüglich einer Weichenmindesttemperatur (T_{W-min}) Toleranz ΔT_{min} , am Backenschienefuß, 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
- 30 Heizeinrichtung (29) 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.

Ein weiterer Teilaspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens bezieht sich auf eine projektspezifische Dimensionierung der Heizeinrichtungen (29) und deren erforderlicher spezifischer Leistung, umfassend

- 5 - Berechnen einer spezifischen Leistung (P) der Heizeinrichtung zum Erreichen einer Weichensolltemperatur der Weiche (3) am Standort des Weichentempersensors 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
10 Berechnung, bei vorhandenen Betriebsgrenzwerten aus minimaler Umgebungstemperatur, Schienenprofil, maximaler Windgeschwindigkeit und maximaler Schneehöhe pro Stunde, und
- Erhöhen der spezifischen Leistung, wenn die berechnete reale spezifische Leistung kleiner ist als die spezifische Leistung, die der erforderlichen Schmelzleistung der in der
15 Anheizzeit, 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 und Schneehöhe pro Stunde ergibt, und der Verdampfungsleistung von restlichem Schmelzwasser und der erforderlichen spezifischen Erhaltungsleistung für eine Schienentemperatur von 0°C an den
20 funktionsrelevanten Stellen des zumindest einen Weichensegments entspricht.

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

25

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens

- bei Betrieb der Weichenheizungsanlage (1) ein Einstellen der optimalen spezifischen Leistung für die Heizeinrichtungen (29), die dem Produkt aus spezifischer Leistung und einem Leistungsverhältnis von 25 % bis 100 % entspricht, über die jeweiligen
30 Schaltgeräte zum Einschalten und Ausschalten der Heizeinrichtungen (29) mittels Verändern der Einschaltdauer oder der Frequenz oder der Pulsweite oder Wellenpaketsteuerung oder Gruppenbetrieb erfolgt,
und/oder
- das Leistungsverhältnis zwischen 25 % und 100 % beträgt,
35 wobei bei Betrieb der Weichenheizungsanlage (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 (29) entspricht,

und/oder

- bei Betrieb der Weichenheizungsanlage (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 (29) 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 der Weiche (3) erfolgt.

Die vorstehend genannte Aufgabe wird in einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung durch eine Einrichtung zur Steuerung und Regelung einer Weichenheizung (1) gelöst, 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 aufweist, 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 (29) 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 Steuereinheit verbunden ist,
- zumindest einen Niederschlagsensor zur Erfassung von Niederschlagsart und Niederschlagsmenge, der mit der Steuereinheit verbunden ist.

Die erfindungsgemäße Einrichtung weist grundsätzlich die gleichen Vorteile auf wie das erfindungsgemäße Verfahren. Insbesondere stellt die die erfindungsgemäße Einrichtung 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 Einrichtung die Erwärmung der gesamten Weiche (3) möglichst gleichmäßig ausgeführt wird.

10

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 abliegender 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.

35

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

5

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
10 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
15 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
20 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
25 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.

30 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
35 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.

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.

Dafür soll für lokale, projektspezifische und charakteristische ungünstigste Umgebungsbedingungen und alle Typen von Weichen 3 mit entsprechendem jeweiligem 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.

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} .

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

Aus maximaler Schneemenge h_s , den waagerechten Flächen des Weichensegments und der mittleren Dichte von Schnee, z.B. von 100 kg/m³, bei Lufttemperatur kleiner 0 °C und 200 kg/m³ bei Lufttemperatur größer 0 °C und einer mittleren spezifischen Schmelzwärme von bspw. 335 kJ/Kg wird die erforderliche Schmelzleistung für die Schneemenge in einer Stunde ermittelt. Schnee beginnt bei 0 °C zu schmelzen. Die gesamte erforderliche spezifische Leistung der Heizeinrichtungen 14 ergibt sich aus der Summe der Verlustleistungen bei bspw. 0 °C und der Schmelzleistung der Schneemenge, die zwischen Heizbeginn und Erreichen der Schienenmindesttemperatur T_{min} der Weiche 3 von bspw. 0 °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.

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:

Backenschienen–Kopf	(Index Ko-Ba)
Backenschienen-Fuß	(Index Fu-Ba)
Zungenschienen-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. Dabei berücksichtigt der Faktor k Temperaturdifferenzen aufgrund von Wärmeleitungen zwischen den Stellen

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

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

$$T_{Fu-Zu} > = k \times T_{Soll}$$

$$T_{Ko-Zu} > = T_{min}$$

$$5 \quad T_{GL-mi} > = k \times T_{Soll}$$

$$T_{GL-au} > = T_{min}$$

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:

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

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

$$15 \quad T_{Fu-Zh-min} = \text{Weichensolltemperatur} * k \text{ (mit } k=0,5)$$

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

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

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

$$\text{Anheizzeit } t_A \leq t_{A-max}$$

20 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_{erh} zuzüglich Schmelzleistung für die gefallenen Schneemenge.

25 Mit dem Berechnungsverfahren in Verbindung mit einer Einrichtung zu Steuerung und Regelung können folgende Maßnahmen zur Gewährleistung der Funktion der Weiche 3 bei minimalem Energieverbrauch über den gesamten Betriebsbereich aktiviert werden.

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

Anordnung von zusätzlichen Heizeinrichtungen 29 an der Zungenschiene 8 und/oder den Gleitstuhlplatten 9, die über das Berechnungsmodell zeitlich oder über 35 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.

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.

10

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

20 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_{Soll} der Weiche 3 an der ersten Schiene Reduzieren der jeweiligen spezifischen Leistung der Heizeinrichtung 14 oder 29 auf maximal spezifische Erhaltungsleistung P_{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.

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 ein zweite Schienensolltemperatur der

35

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.

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.

20

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

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

30 Nachfolgend wird eine detaillierte Beschreibung der Figuren gegeben.

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.

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, Mittelgleitstuhlplatte 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.

10 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_{Soll} 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.

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 ΔT_W zur Zeit t_6 zwischen Fuß Backenschienen und Gleitstuhlplatte ist sehr groß. Diese Weichentemperaturdifferenz ΔT_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

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 Schnittdarstellung nach Figur 1 an einem beliebigen Bereich der Weiche 3 dargestellt, die über den Knoten K
10 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 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
15 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 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
20 funktionsrelevanten Stellen 19 der Weiche 3, die durch Knoten K repräsentiert werden.

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 repräsentiert
25 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
30 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 Wärmenetz 27 für die rechte Seite 6 der Weiche
35 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 Schienensolltemperatur
Backenschienen-Steg linke Seite	$K_{St-Ba-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
Backenschienen-Kopf linke Seite	$K_{Ko-Ba-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
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
Gleitstuhlplatte–mitte linke Seite	$K_{Gl-mi-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur
Gleitstuhlplatte–außen linke Seite	$K_{Gl-au-Li}$	Größer oder gleich Schienenmindesttemperatur

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

5 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

10 Widerstände, Kondensatoren und 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).

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

15

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 Wärmeleistungen 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.

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 Steuereinheit 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.

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.

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

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

5

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

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 kg/m³ bei Lufttemperatur kleiner 0 °C und 200 kg/m³ bei Lufttemperatur größer 0 °C und einer mittleren spezifischen Schmelzwärme von bspw. 335 kJ/Kg. Schnee beginnt bei 0 °C zu schmelzen. Die Berechnung der spezifischen Leistung erfolgt deshalb bspw. bei einer Weichentemperatur von 0 °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.

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 .

25

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.

30

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} .

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

In Figur 5 ist ein Programmablauf für die Dimensionierung einer erfindungsgemäßen Weichenheizung 1 mit Berechnung der erforderlichen spezifischen Leistung der Heizeinrichtungen 14 in Abhängigkeit aller möglichen projektspezifische Eingabewerte,
10 Parameter und Umgebungsbedingungen dargestellt.

1. Schritt: Start

2. Schritt: Parametereingabe

Die Parameter sind: minimale Umgebungstemperatur T_{U-min}
15 Weichensolltemperatur T_{Soll} der Weiche 3
Weichenmindesttemperatur T_{W-min} der Weiche 3
maximale Windgeschwindigkeit v_{max} ,
maximale Schneemenge in cm pro Zeiteinheit h_{S-max} ,
Weichenprofil R

20 3. Schritt: Parametrieren funktionsrelevanter Stellen

Funktionsrelevante Stellen (19) sind bspw.

Weichentemperatur Fuß-Backenschiene an- und abliegend linke Seite ($T_{Fu-Ba-an}$,
 $T_{Fu-Ba-ab}$)
Weichentemperatur Kopf-Backenschiene an- und abliegend ($T_{Ko-Ba-an}$, $T_{Ko-Ba-ab}$)
25 Weichentemperatur Kopf-Zungenschiene an- und abliegend ($T_{Ko-Zu-an}$, $T_{Ko-Zu-ab}$)
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
30 Weichensegments. Die Heizeinrichtungen 14 sollen bspw. an den Backenschiene 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.

35 4. Schritt: Berechnen der Weichentemperaturen und spezifischen Verlustleistungen
 ΣP_{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

5. Schritt: Berechnen spezifische Verlustleistungen ΣP_{Vn} für weitere
5 Weichensegmente analog 4. Schritt

6. Schritt: Die erforderliche spezifische Heizleistung P_{erf} ergibt sich aus der Summe der Verlustleistungen ΣP_{Vn} jedes Weichensegments.

7. Schritt: Prüfen, wird mit der berechneten spezifischen Leistung an dem Standort des Weichentempersensors, anliegende oder abliegende Seite, die
10 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
15 Weichensolltemperatur T_{Soll} der Weiche 3, Ergebnis ist Weichenendtemperatur der Weiche 3 an Backenschienefuß ($T_{W-Fu-Ba}$) ist zu gering, die Weichensolltemperatur T_{Soll} der Weiche 3 wird nicht erreicht, weiter mit Schritt 9.

9. Schritt: Erhöhen der spezifischen Leistung P der Heizeinrichtung 14 um einen Leistungszuschlag p von bspw. 10 Watt pro Meter und Wiederholung der Berechnung
20 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 $T_{\text{op-Ko-Ba}}$ der anliegenden oder
25 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 ($T_{\text{op-Ko-Ba-an}}$, $T_{\text{op-Ko-Ba-ab}}$) größer oder gleich der Schienenmindesttemperatur der Weiche 3, weiter zu Schritt 11.

11. Schritt: Prüfen, ist die berechnete Weichenendtemperatur der Weiche 3 am Kopf-
30 Zungenschiene 21 anliegende Seite $T_{\text{op-Ko-Zu-an}}$ 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 $T_{W-GL-au-ab}$
35 kleiner als die Weichenmindesttemperatur T_{W-Min} der Weiche 3? Bei „JA“ weiter zu Schritt 9., bei „Nein“ weiter zu Schritt 13.

13. Schritt: Schneemenge wird geschmolzen

Prüfen, wird die maximale Schneemenge geschmolzen oder nicht über Vergleich der Summe aus berechneter spezifischer Erhaltungsleistung P_{Erh} bei Weichenmindesttemperatur $T_{\text{W-Min}}$ 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.

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 $h_{\text{S-max}}$ 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 Weichentemperaturen 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 $T_{\text{W-Min}}$ 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.

Nachfolgend werden die Schritte für die Bewertung einer vorhandenen Weichenheizung 1 bei minimaler Umgebungstemperatur T_{U-min} , maximaler Schneemenge pro Stunde hS und max. Windgeschwindigkeit V_{max} dargestellt.

- 5 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 hS und Standort der Heizeinrichtungen 14 an Backenschiene 7 und/oder
- 10 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.
- 15 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
- 20 P_{St} , Konvektion P_K , Wärmeleitung P_L , Schmelzwärme P_{Sm} und Wärmespeicherung P_C bei spezifischer Leistung Heizeinrichtung P die Berechnung der Weichentemperatur 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.
- 25 Schritt 5: Ausgabe der Weichentemperaturen T und der Summe der Verlustleistungen anliegenden (linken) Seite ΣP_{V-Li} und der Summe der Verlustleistungen abliegende (rechte) Seite ΣP_{V-Re}
- Schritt 6: Prüfen, ist die berechnete optimale Weichentemperatur T der Weiche 3 am Weichentempersensor 28, bspw. an Fuß-Backenschiene anliegende (linke)
- 30 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 Weichentemperatur T der Weiche 3 am Kopf-Zungenschiene anliegend (linke Seite 5) und abliegend (rechte Seite 6) größer
- 35 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 Weichentemperatur 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..
- 5 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 $P_{\text{Sm-Li}}$ und Schmelzleistung abliegende (rechte) Seite $P_{\text{Sm-Li}}$ zum Schmelzen der bisher gesamten Schneemenge, die sich aus erfasster Schneemenge pro Zeiteinheit und der Zeit $t_{2.3}$ der
- 10 Anheizzeit t_A ergibt.
- Schritt 10: Prüfen, ist die erforderliche spezifische Leistung der anliegenden (linken) Seite $P_{\text{erf-Li}}$ oder die erforderliche spezifische Leistung der abliegenden (rechten) Seite $P_{\text{erf-Re}}$ kleiner gleich der spezifischen Leistung Heizeinrichtung P ? Wenn „JA“ weiter zu Schritt 11., wenn „NEIN“ weiter zu Schritt 12..
- 15 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
- 20 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.
- 25
- 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
- 30 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
- 35 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_{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-
5 Zungenschiene 41, Bewertungspunkt Fuß-Zungenschiene 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
10 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

15 Beispielhaft erfolgt die Eingabe für eine Weiche 3 mit Heizeinrichtung 14 mit spezifischer Leistung P von 330 Watt pro Meter an den Backenschiene 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
20 spezifische Leistung P_{op} der Heizeinrichtung 14 mit 330 W/m multipliziert mit 40 % gleich 132 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
25 $0,8\text{ m/s}$ und einer maximalen Schneemenge bis 5 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_{op} zum Schmelzen der Schneemenge h_s sichergestellt werden.

30 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.

35 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 °C).

5 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

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

15 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).

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

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

25 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.

30 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.

5 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.

10 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.

15 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.

20 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.

25 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 α um den Faktor n (im Beispiel 1) verringert und weiter zu Schritt 4. Ist die errechnete
30 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.

35 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 .

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
5 Heizeinrichtung 14 verändert.

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

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

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

Bezugszeichen

	1	Weichenheizung
	2	Betrachtungsrichtung Weiche
5	3	Weiche
	4	Weichenbereich
	5	linke Seite
	6	rechte Seite
	7	Backenschiene
10	8	Zungenschiene
	9	Gleitstuhlplatte
	10	anliegende Zungenschiene
	11	abliegende Zungenschiene
	12	anliegender Bereich
15	13	Stützknaggen
	14	Heizeinrichtung
	16	Weichenspitze
	17	Weichenmitte
	18	Weichenende
20	19	Funktionsrelevante Stelle
	20	Kopf-Backenschiene
	21	Kopf-Zungenschiene
	22	Mitte-Gleitstuhlplatte
	23	Außen-Gleitstuhlplatte
25	24	Schwelle
	25	Schwellenabstand
	26	Wärmenetz linke Seite
	27	Wärmenetz rechte Seite
	28	Weichentemperatursensor
30	29	Symbol Heizeinrichtung
	30	Symbol Wärmestrahlung
	31	Symbol Konvektion
	32	Symbol Wärmespeicher
	33	Symbol Wärmeleitung
35	34	Weichensegment Weichenspitze
	35	Weichensegment Weichenmitte

	36	Weichensegment Weichenende
	37	Bewertungspunkt Fuß-Backenschiene
	38	Bewertungspunkt Steg-Backenschiene
	39	Bewertungspunkt Kopf-Backenschiene
5	40	Bewertungspunkt Fuß-Zungenschiene
	41	Bewertungspunkt Kopf-Zungenschiene
	42	Bewertungspunkt Mitte-Gleitstuhlplatte
	43	Bewertungspunkt Außen-Gleitstuhlplatte
10	P_{St}	Leistung Strahlungswärme
	P_L	Leistung Wärmeleitung
	P_K	Leistung Konvektionswärme
	P_{op}	optimale spezifische Leistung
	P	reale spezifische Leistung Heizeinrichtung
15	P_{erf}	erforderliche spezifische Leistung
	ξ_L	Korrekturfaktor Länge
	P_C	Leistung Wärmekapazität
	P_V	Leistung Verdampfungswärme
	P_{sm}	Leistung Schmelzwärme
20	P_{Erh}	Erhaltungsleistung
	R	Weichenprofil
	T_U	Umgebungstemperatur
	T_{U-min}	minimale Umgebungstemperatur
	T_W	reale Weichentemperatur
25	ΔT_W	reale Weichentemperaturdifferenz
	T_{min}	Weichenmindesttemperatur
	T_{op}	optimale Weichentemperatur
	T_{Soll}	Weichensolltemperatur
	$T_{Soll-Vor}$	zweite Weichensolltemperatur
30	T_S	Schmelztemperatur
	T_V	Verdampfungstemperatur
	T_K	Weichentemperatur kalte Schiene
	NI	Niederschlagsart
	L_V	Leistungsverhältnis
35	L_{sp}	spezifische Länge Heizeinrichtung
	K	Knoten (K)

	I_N	Heizstrom
	t_A	Anheizzeit
	t_E	Einschaltzeit
	t_z	Zeitzyklus
5	k	Faktor
	α	Wärmeübergangszahl Konvektion

Beispiele für Bezeichnung von Knoten (K) und Temperaturen

10

	$K_{Fu-Ba-Li}$	Knoten (K) Fuß-Backenschiene-linke Seite
	$K_{Ko-Ba-an}$	Knoten (K) Kopf-Backenschiene-anliegende Zungenschiene
	T_{Ko-Ba}	Weichentemperatur - Kopf-Backenschiene
	$T_{Ko-Ba-Li}$	Weichentemperatur-kopf-Backenschiene Linke Seite der Weiche
15	T_{Ko-Zu}	Weichentemperatur - Kopf-Zungenschiene
	T_{GL-mi}	Weichentemperatur - Mitte-Gleitstuhlplatte
	T_{GL-au}	Weichentemperatur - Außen-Gleitstuhlplatte
	t_T	Totzeit
	t_A	Anheizzeit
20	t_{max}	maximale Anheizzeit
	h_S	Schneemenge pro Stunde
	v	Windgeschwindigkeit
	v_{max}	maximale Windgeschwindigkeit
	n	Zyklusfaktor
25	t_n	Zeit
	t_z	Zykluszeit
	y	Weichensolltemperatur-Korrekturfaktor
	w_T	Standort Weichentemperatursensor

30

Indizes:

	an	anliegend
	ab	abliegend
35	Re	rechte Seite
	Li	linke Seite

	Ba	Backenschiene
	Zu	Zungenschiene
	GL	Gleitstuhlplatte
	Ko	Kopf
5	Fu	Fuß
	St	Schienensteg
	au	außen
	mi	mitte
	op	optimal
10	w	real

Literatur

- 15 [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,
- [3] Bömer, H.; Über den Wärme- und Stoffübergang an umspülten
20 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
25 Baugruppen der Elektroenergietechnik, Berlin: Verl. Technik 1979,
- [6] Gremmel, H.: Schaltanlagen, Hrsg. ABB Schaltanlagen GmbH
Mannheim, Düsseldorf: Cornelsen Verl. Schwann-Girardet 1992.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung und Regelung einer Weichenheizung (1), wobei die
5 Weichenheizung (1) mindestens ein an zumindest einer Weiche (3) angeordnete
Heizeinrichtung (14), zumindest einen Weichentempersensor (28) an der
zumindest einem Weiche (3), zumindest eine Energieverteilung mit mindestens
einem Heizabgang pro Weiche (3) und zumindest eine Steuereinrichtung zum
Steuern und Regeln der Weichentemperatur aufweist, umfassend die Schritte:
- 10 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
15 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,
20 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 (15, 18) angeordnet ist,
- b) Bilden eines Wärmenetzes (26, 27) für das zumindest eine Weichensegment
25 für die linke Seite (5) der zumindest einen Weiche (3) und/oder 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
30 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})
35 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
- 5 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
- 10 Weichentempersensor (28) und Korrigieren der berechneten Weichentemperatur an einem der zumindest ersten Knoten des zumindest einen Weichensegments über Leistung Konvektionswärme wenn berechnete Weichentemperatur größer ist als reale Weichentemperatur oder Leistung Strahlungswärme des Wärmenetzes wenn berechnete Weichentemperatur
- 15 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 für diesen zumindest einen zweiten Knoten,
- 20 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,
- 25 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
- 30 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
- 35 Weichenmindesttemperatur,

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

- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend vor Betrieb durch eine Heizanforderung den 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
- 10 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
- 15 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.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Wärmezeugungselemente die spezifische Leistung der zumindest einen
- 20 Heizeinrichtung (29) 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
- 25 Weichensegment umfassen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei in Schritt f) die Anheizzeit für das Erwärmen des zumindest einen Weichensegments aus der
- Summe einzelner Heizzeiten für das zumindest eine Weichensegment für dessen
- 30 Erwärmen, für das Schmelzen von Schnee und für das Verdampfen von Wasser an diesem berechnet wird, und/oder die Anheizzeit 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
- 5 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 Warnmeldung ausgegeben wird,
und/oder
- 10 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 Warnmeldung ausgegeben wird,
und/oder
- 15 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 Warnmeldung ausgegeben wird.
- 20
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Berechnen der Anheizzeit in Schritt f) die Unterschritte umfasst:
- 25 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
- 30 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 zur Erhaltung der Weichenmindesttemperatur des zumindest einen Weichensegments,
- 35 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,
- f5) Berechnen der Zeit t_{A4} zum Erwärmen des zumindest einen Weichensegments von der Differenz Weichenmindesttemperatur bis zur Weichensolltemperatur an den Knoten mit dem Weichentemperatursensor 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.
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 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.
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 bei Weichenmindesttemperatur T_{min} der Weiche (3), zuzüglich einer Weichenmindesttemperatur (T_{W-min}) Toleranz ΔT_{min} , am Backenschienenuß, 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 (29) des zumindest einen Weichensegments, wenn die erforderliche spezifische Leistung der Heizeinrichtung kleiner ist als die Summe aus Erhaltungsleistung und Schmelzleistung und Verdampfungsleistung die Betriebsgrenze Schneehöhe überschritten ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner umfassend eine projektspezifische Dimensionierung der Heizeinrichtungen (29) und deren erforderlicher spezifischer Leistung, umfassend

- 5 - Berechnen einer spezifischen Leistung (P) der Heizeinrichtung zum Erreichen einer Weichensolltemperatur der Weiche (3) am Standort des Weichentempersensors 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
- 10 - Erhöhen der 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 °C berechnet wird, für die Schneemenge, die sich aus dem Produkt aus Anheizzeit und Schneehöhe pro
15 Stunde ergibt, und der Verdampfungsleistung von restlichem Schmelzwasser und der erforderlichen spezifischen Erhaltungsleistung für eine Schienentemperatur von 0 °C an den funktionsrelevanten Stellen des zumindest einen Weichensegments entspricht.
- 20 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei
- bei Betrieb der Weichenheizungsanlage (1) ein Einstellen der optimalen spezifischen Leistung für die Heizeinrichtungen (29), die dem Produkt aus spezifischer Leistung und einem Leistungsverhältnis von 25 % bis 100 % entspricht, über die jeweiligen Schaltgeräte zum Einschalten und Ausschalten der
25 Heizeinrichtungen (29) 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 Weichenheizungsanlage (1) die spezifische Leistung P der
30 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 (29) entspricht, und/oder
 - bei Betrieb der Weichenheizungsanlage (1) die berechnete spezifische Leistung
35 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 (29) 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 der Weiche (3) erfolgt.

11. Einrichtung zur Steuerung und Regelung einer Weichenheizungsanlage (1), wobei die Weichenheizungsanlage (1) mindestens ein an zumindest einer Weiche (3) angeordnetes 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 aufweist, 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 (29) 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 Steuereinheit verbunden ist,
 - zumindest einen Niederschlagsensor zur Erfassung von Niederschlagsart und Niederschlagsmenge, der mit der Steuereinheit verbunden ist.

Fig. 0

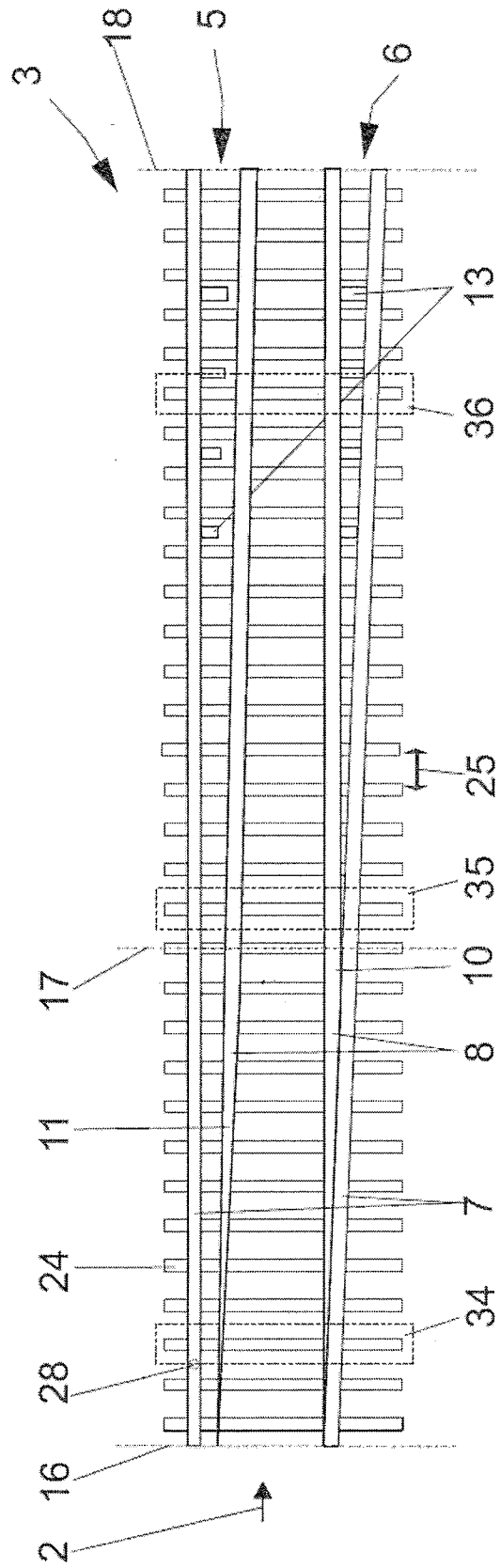


Fig. 1

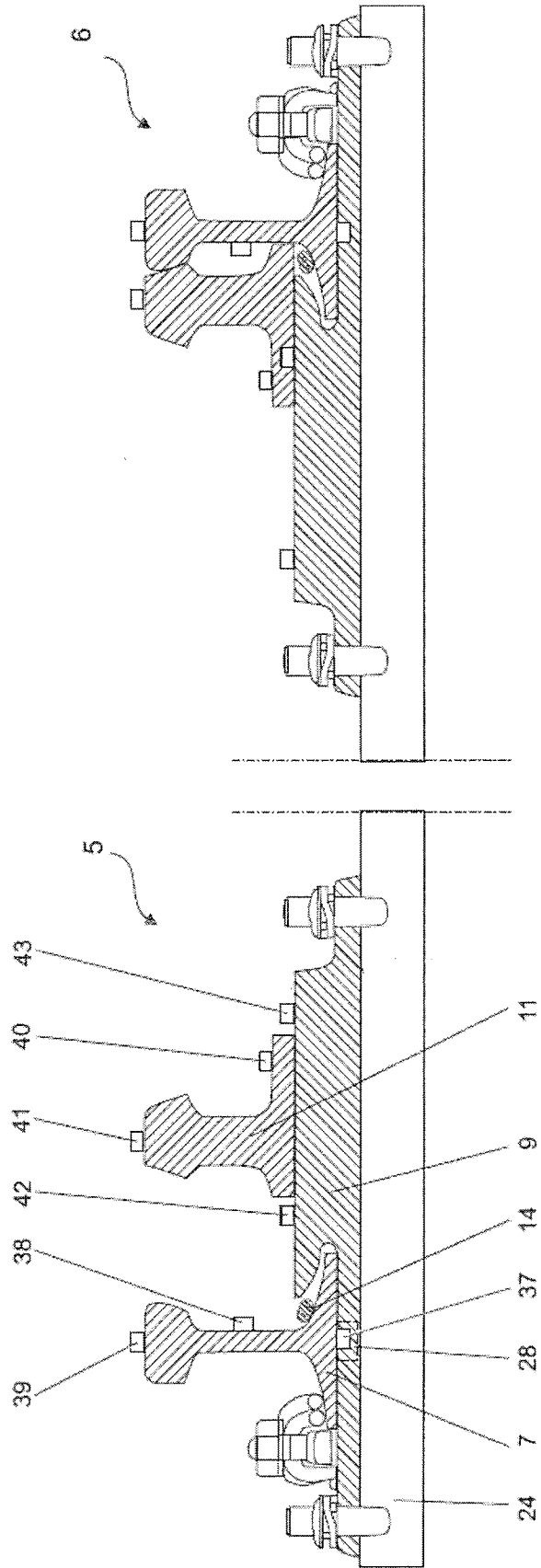


Fig. 2

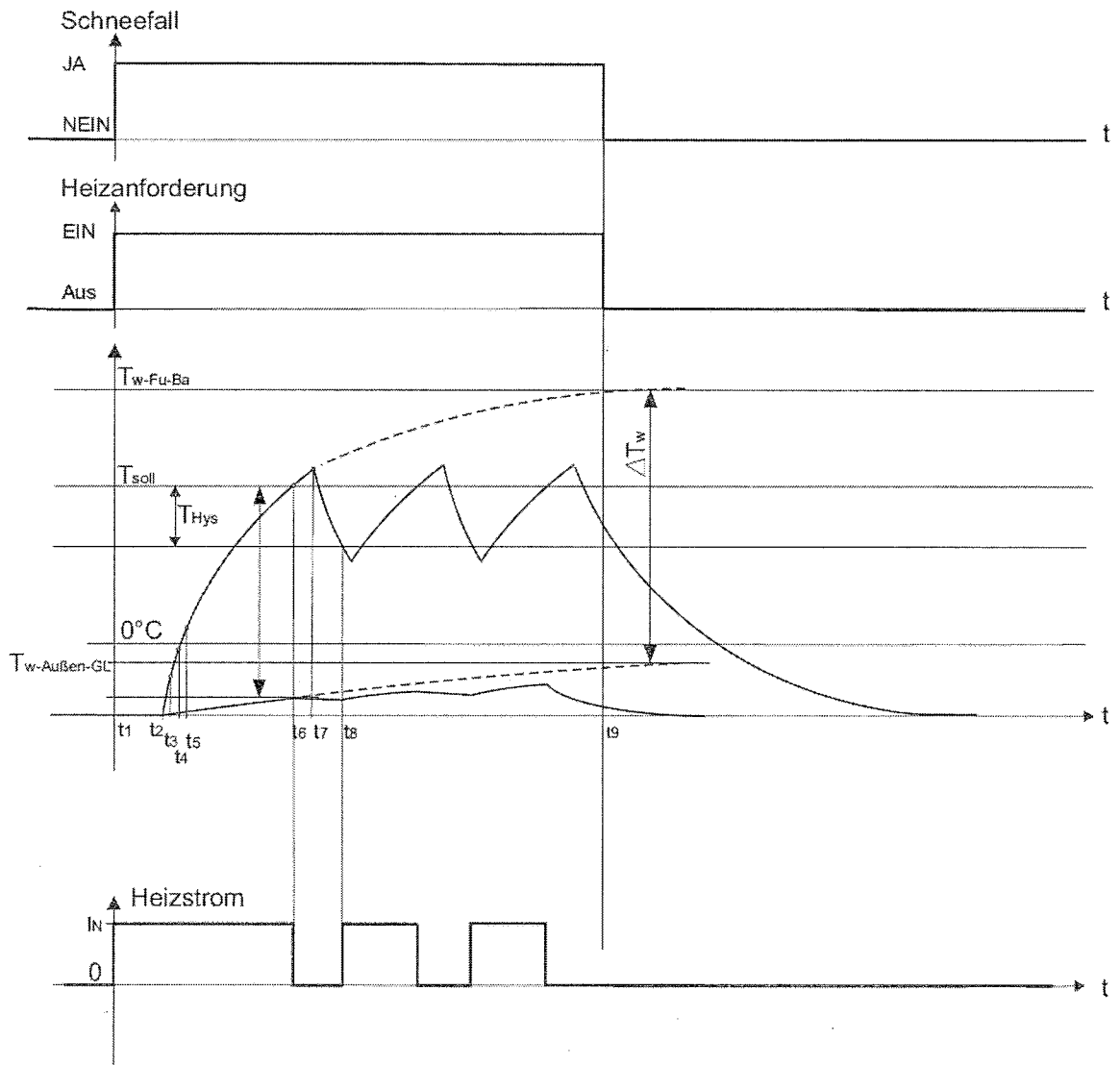


Fig. 3

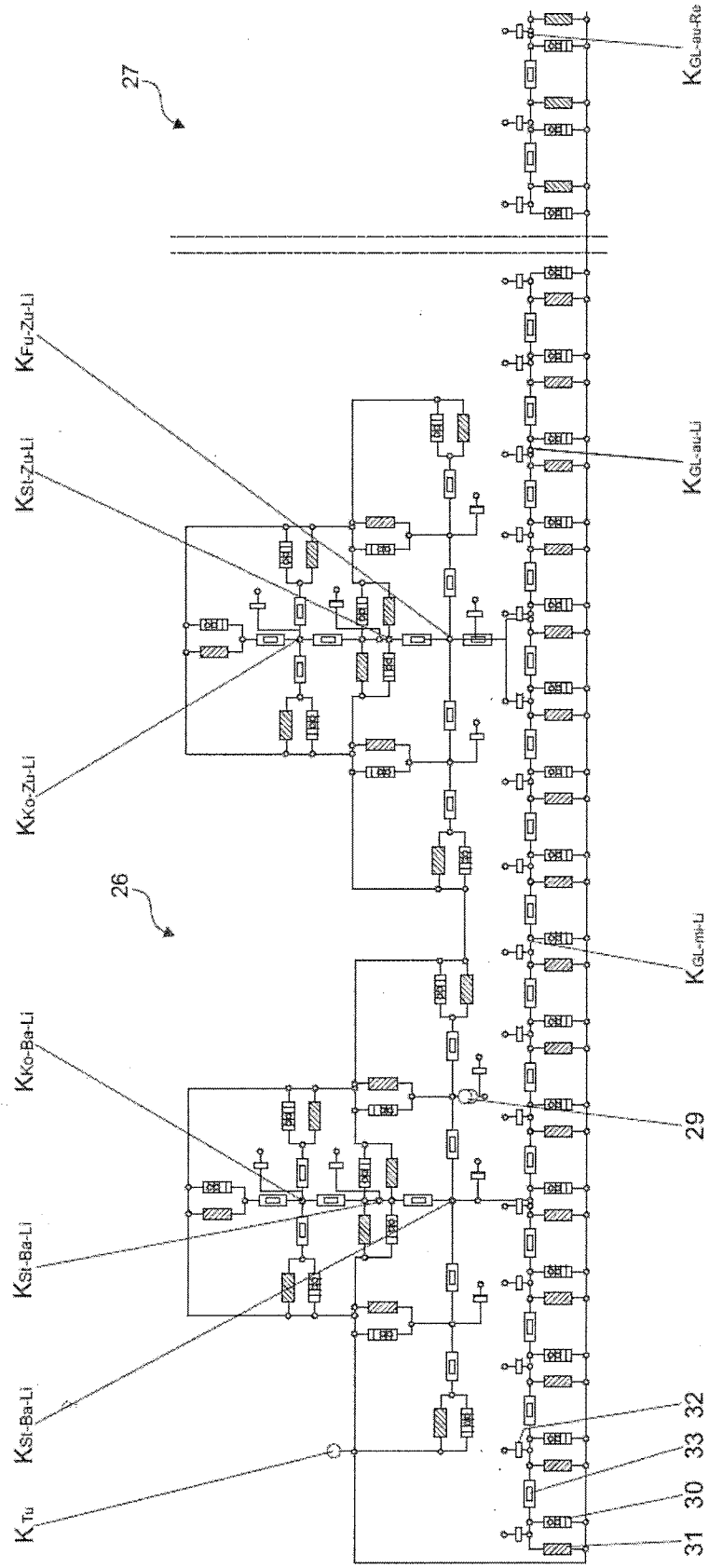


Fig. 4

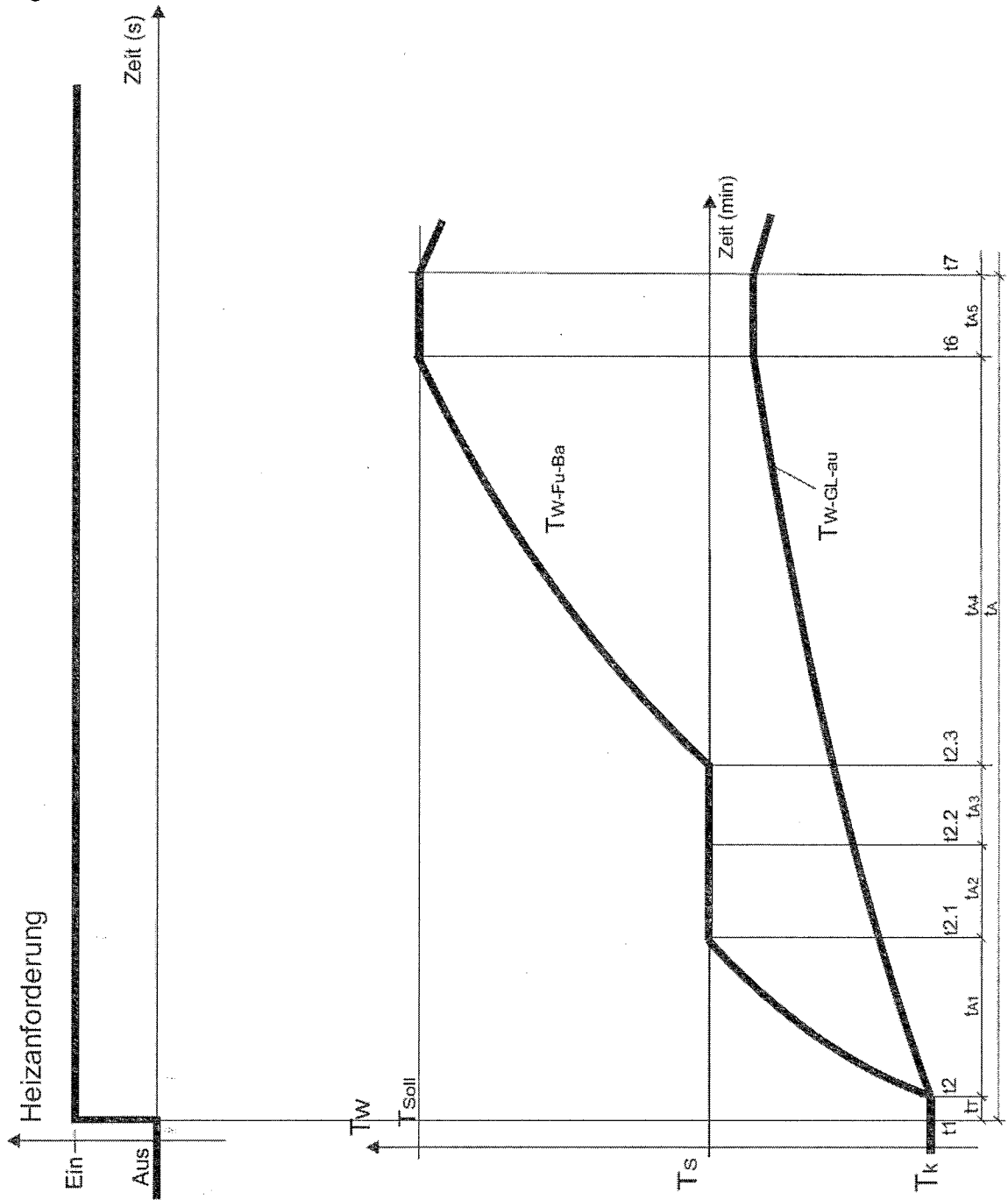


Fig. 5

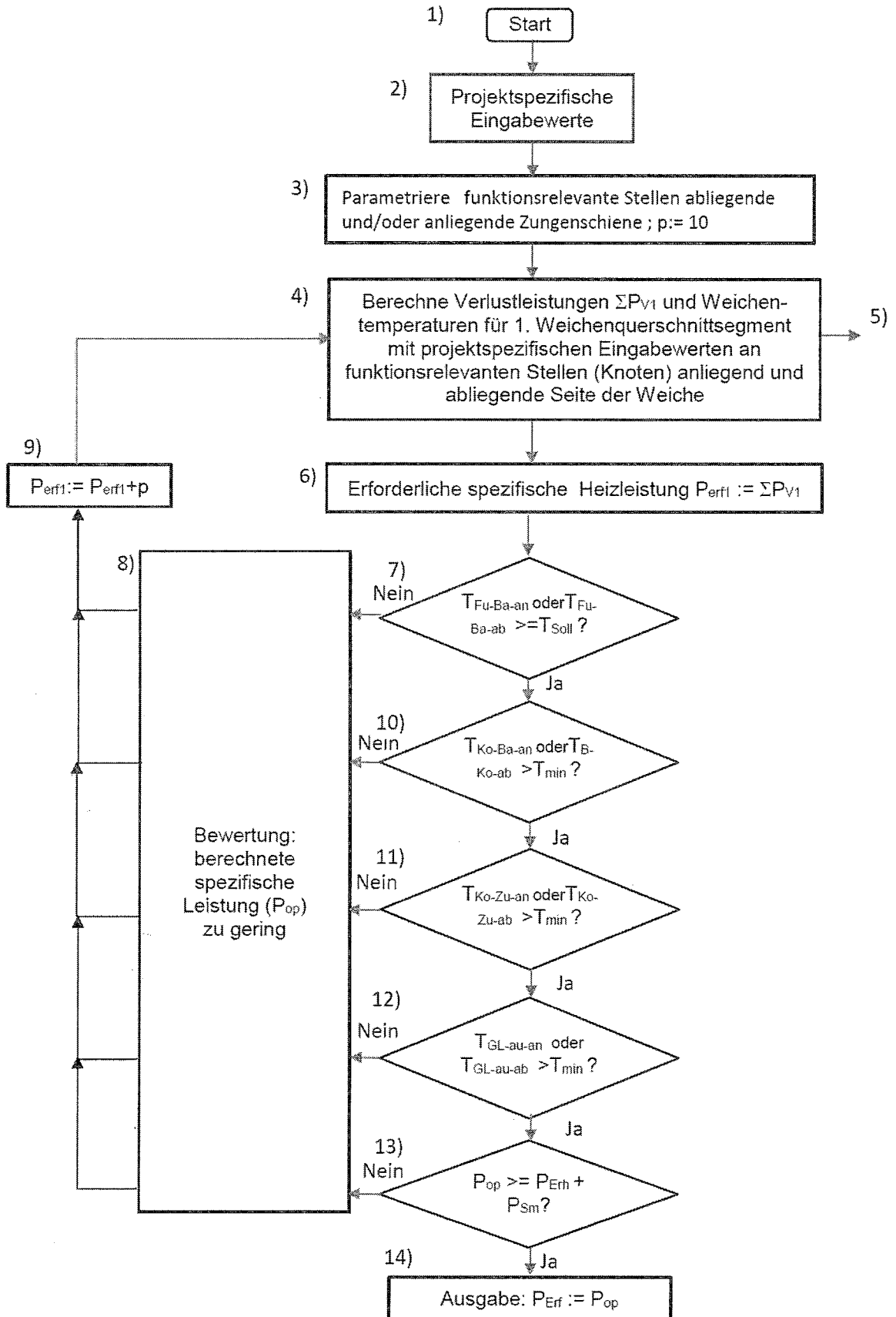


Fig. 6

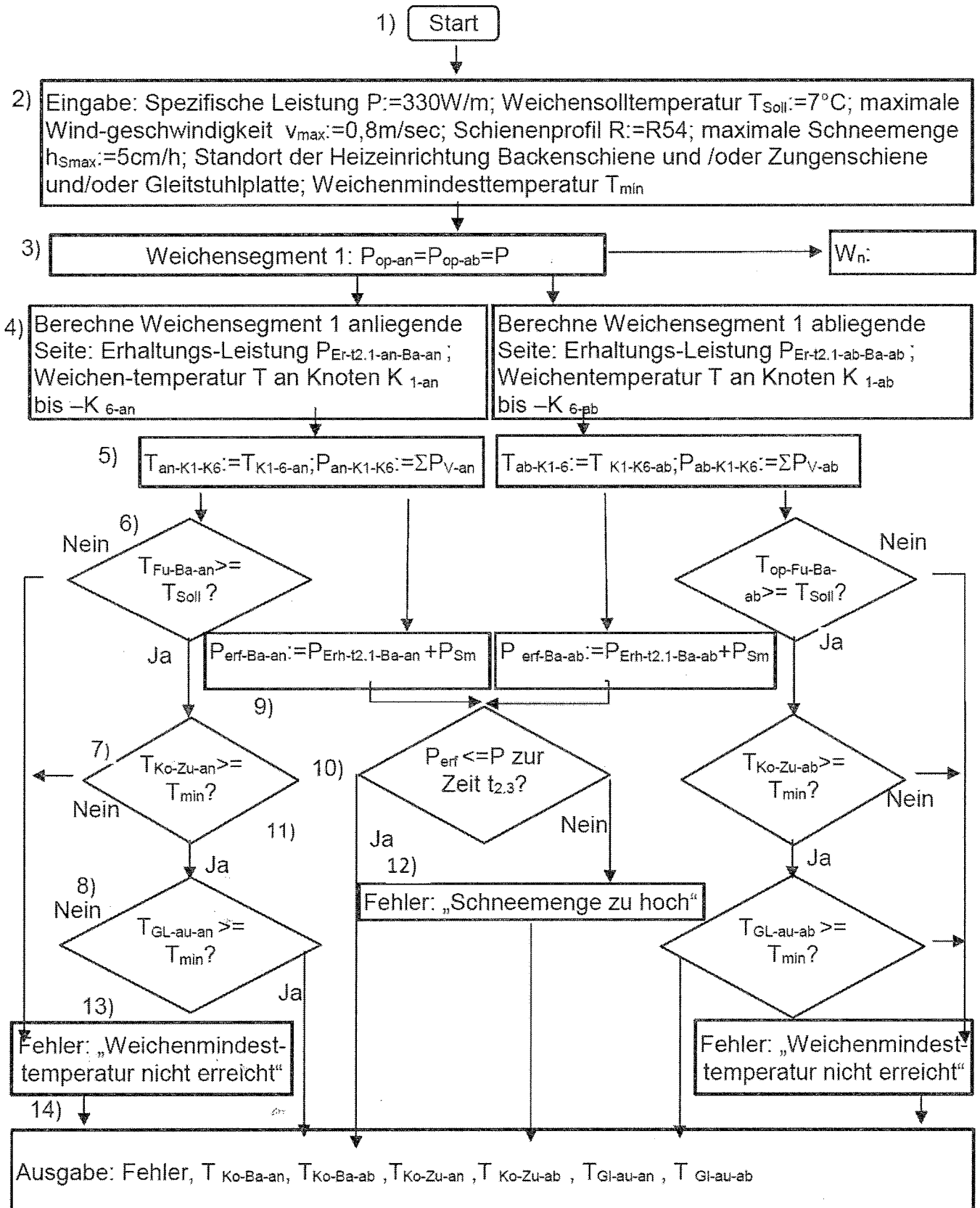


Fig. 7a

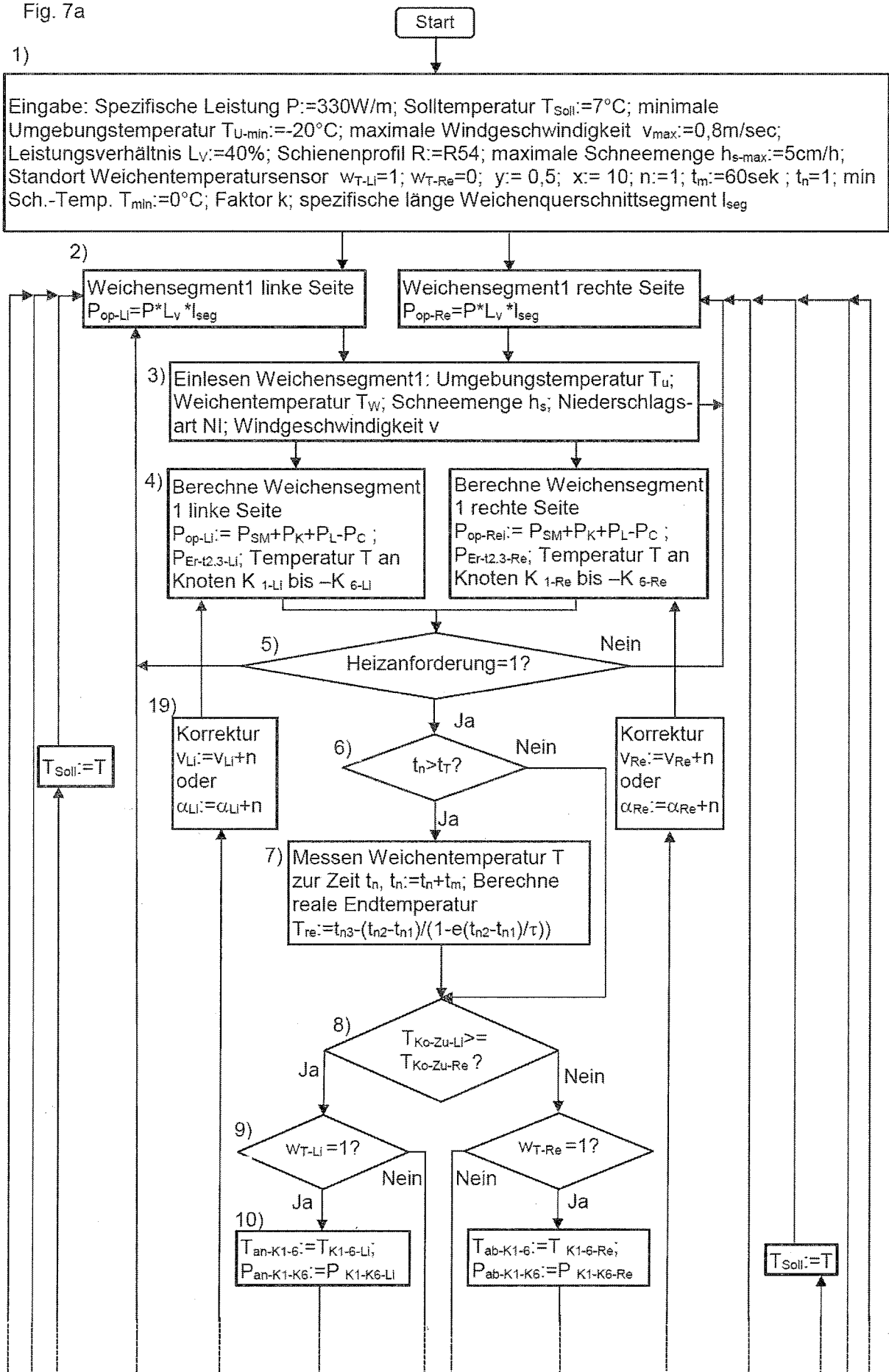


Fig. 7b

