



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Verkehr BAV
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050
im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

WEICHENHEIZUNG SIMULATIONSTOOL

BAV Projekt-Nr. 037

Schlussbericht

Daniel Föhn, SBB AG

Hilfikerstrasse 3, 3000 Bern, daniel.foehn@sbb.ch, www.sbb.ch

Matthias Rücker, SBB AG

Industriestrasse 1, 3052 Zollikofen, matthias.ruecker@sbb.ch, www.sbb.ch

Projektleitung

Daniel Föhn, SBB

Projektteam

Matthias Rücker, SBB

Impressum

Herausgeberin:

Bundesamt für Verkehr BAV

Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

CH-3003 Bern

Programmleiter

Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 37

Bezugsquelle

Kostenlos zu beziehen über das Internet

www.bav.admin.ch/energie2050

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor –in oder sind ausschliesslich die Autoren – innen dieses Berichts verantwortlich.

Bern, den 23.06.2020

Inhalt

Zusammenfassung.....	2
Résumé	3
Executive Summary	4
1. Ausgangslage	5
2. Grundlagen	6
3. Ergebnisse	6
4. Weitere zu untersuchenden Fragen	7
5. Verwendbarkeit des Modells.....	7
6. Diskussion, Schlussfolgerungen und Empfehlungen	8
Literaturverzeichnis.....	9
Anhang	9

Zusammenfassung

Weichen können im Winter durch Schneefall, Flugschnee, Eis Belag oder von Fahrzeugen herabfallenden Eisstücken in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Es besteht die Gefahr den sicheren und pünktlichen Zugbetrieb erheblich zu stören.

Um die Funktionssicherheit von Bahnstrecken und Bahnhofsgleisen zu gewährleisten, sind deren Weichen im Winter beheizt. Die Weichenheizungen sollen zum einen dafür sorgen, dass der Raum zwischen Backen- und den Zungenschiene eis- und schneefrei bleibt und damit die Weichen sicher schliessen. Zum anderen sollen die Weichenheizungen das Festfrieren der Zunge an der Backenschiene und das Einfrieren der Gleitstühle, Verschlüsse und der beweglichen Herzstücke verhindern. Um die witterungsbedingten Mengen an Schnee und Eis aufzutauen, wird Energie in Form von Wärme benötigt. Die Wärme kann durch elektrische Energie, Gas oder Warmwasser erzeugt werden.

Die Konstruktionen der Weichenheizungen und die in Wärme umgewandelte Energie sind bei den Infrastrukturbetreibern sehr unterschiedlich. Ebenso gibt es vielfältige Lösungen zur Steuerung und Regelung dieser Weichenheizungssysteme. Die für Weichenheizungen eingesetzte Energie ist bei der Vielzahl von Weichen in den Bahnanlagen der einzelnen Betreiber enorm groß und stellt somit einen wesentlichen Kostenfaktor der Betriebskosten dar. Kenntnisse über die erforderliche Wärmemenge, deren zeitlicher Verlauf und die räumliche Verteilung sind bei Herstellern und Betreibern nur begrenzt vorhanden und meist nur empirisch entstanden.

Weichenheizung werden mit einer gemessenen Referenztemperatur an der Backenschiene geregelt. Diese punktuell gemessene Temperatur lässt keine Rückschlüsse auf die Temperaturverteilung innerhalb der Weiche zu. Die Temperaturen entlang der Weiche können sehr stark von der Referenztemperatur abweichen. Dies kann sowohl zum Versagen der Weiche als auch zu deutlich erhöhtem Energieverbrauch führen.

Die TU-Dresden wurde von 5 europäischen Infrastrukturbetreibern beauftragt eine Weichenheizung zu modellieren. Mit Hilfe des Berechnungsmodells können:

- Die Erwärmung einer Weiche berechnet werden.
- Die Vorgänge der Wärmeerzeugung und Wärmetransporte verstanden werden.
- Die Wärmeflüsse dargestellt und analysiert werden.
- Die Temperaturverteilung abgebildet werden.

Mit den daraus folgenden Erkenntnissen kann ein Bahnunternehmen eine Verbesserung der Zuverlässigkeit durch gezieltes Heizen der Weichen an der richtigen Stelle und zum richtigen Zeitpunkt mit der jeweils erforderlichen Heizleistung anstreben.

Eine gezielte Beheizung erhöht nicht nur die Effektivität, sondern optimiert die Energieeffizienz, was sich in Kostenreduktion der eingesetzten Energie auswirkt.

Die Hochschule Luzern (HSLU) hat das Modell und die Ergebnisse übernommen, Kompetenzen zum Anwenden des Modells aufgebaut und kann den Infrastrukturbetreibern sowie dem BAV in Fragen eines optimierten Systems Dienstleistungen anbieten.

Den Schlussbericht der Technischen Universität Dresden mit detaillierten Betrachtungen und ersten Resultaten liegt als Zweitbericht dieser Veröffentlichung bei. Es ist je ein Exemplar in deutscher und in englischer Sprache.

Résumé

En hiver, divers facteurs peuvent entraver le fonctionnement des aiguilles: les chutes de neige, les tourbillons de neige, le givre ou encore les blocs de glace qui se détachent des véhicules. Cela peut avoir des répercussions considérables sur le trafic ferroviaire, tant en termes de sécurité que de ponctualité.

Les aiguilles installées en pleine voie et en gare sont chauffées en hiver, de manière à garantir la fiabilité du réseau ferroviaire. Le chauffage des aiguilles prévient l'accumulation de neige et la formation de glace dans l'ornière de libre passage pour que la lame puisse parfaitement se plaquer contre le sommier. Par ailleurs, en l'absence de chauffage, la lame resterait plaquée contre le sommier sous l'effet du gel et les coussinets de glissement, appareils de calage et cœurs mobiles risqueraient de geler. En cas d'intempéries, la chaleur ainsi produite permet de faire fondre la neige et la glace. On a pour cela recours à l'énergie électrique, au gaz ou à l'eau chaude.

Les gestionnaires d'infrastructure utilisent différents types de chauffages d'aiguilles et diverses formes d'énergie pour produire la chaleur requise. Il existe par ailleurs diverses méthodes pour commander et réguler ces systèmes de chauffage des aiguilles. Compte tenu du nombre important d'aiguilles que comptent les installations ferroviaires des différents exploitants, les besoins en énergie pour chauffer les aiguilles sont considérables, ce qui génère d'énormes coûts d'exploitation. Les informations concernant l'énergie thermique nécessaire, son évolution dans le temps et sa répartition dans l'espace ne sont que partiellement connues des fabricants et des exploitants et n'ont, le plus souvent, été acquises que de manière empirique.

Les chauffages d'aiguilles sont régulés à partir d'une température de référence mesurée sur le sommier. Cette température relevée en un point précis ne permet pas de déterminer la répartition thermique à l'intérieur de l'aiguille. Les températures qui règnent le long de l'aiguille peuvent être très différentes de la température de référence, ce qui est susceptible d'entraîner une défaillance de l'aiguille et une forte consommation d'énergie.

Cinq gestionnaires d'infrastructure européens ont donc demandé à l'Université technique de Dresde (TU-Dresden) d'établir un modèle pour le chauffage des aiguilles. Le modèle de calcul permet de réaliser les opérations suivantes:

- calculer le réchauffement d'une aiguille,
- comprendre les processus relatifs à la génération et au transport de la chaleur,
- représenter et analyser les flux thermiques,
- représenter la répartition de la température.

Les données ainsi collectées permettent aux entreprises de chemin de fer d'améliorer la fiabilité en chauffant les aiguilles de manière ciblée, au bon endroit et au bon moment, et ce en utilisant uniquement la puissance de chauffage requise à cet effet.

Un chauffage ciblé est un gage d'efficacité, tant sur le plan énergétique qu'économique dans la mesure où la maîtrise de la consommation d'énergie s'accompagne d'une diminution de coûts.

La Haute école de Lucerne (HSLU) a adopté le modèle en tenant compte des résultats obtenus, puis développé des compétences pour sa mise en œuvre. Elle peut donc désormais proposer ses services aux gestionnaires d'infrastructure et à l'OFT en vue de l'optimisation du système.

Le rapport final de l'Université technique de Dresde est joint à cette publication sous la forme d'un rapport complémentaire. Il contient des informations détaillées et les résultats des premières études menées. Il est disponible en allemand et en anglais.

Executive Summary

In winter, the functionality of switches can be adversely affected by snowfall, drifting snow, coatings of ice or fragments of ice falling from rail vehicles. Thus, there is a risk of significant disruption to safe and punctual train operations.

In order to ensure their functional safety, switches along sections of line and on tracks in stations are heated in winter. One of the tasks of switch heating systems is to ensure that the space between the stock rail and the tongue rail remains free of ice and snow, thus allowing the switches to close securely. Another is to prevent the tongue from freezing to the stock rail and to prevent the slide chairs, clamplocks and movable crossings from freezing up. Energy in the form of heat is required so as to thaw the accumulations of snow and ice in wintry weather conditions. The heat can be generated by electricity, gas or hot water.

Both the design of switch heating systems and the energy source which is converted into heat vary widely from one infrastructure manager to another. Similarly, a wide variety of solutions exist for controlling and regulating these switch heating systems. Given the large number of switches in the networks operated by each individual railway undertaking, the volume of energy used for heating switches is huge and accounts for a considerable share of these companies' operating costs. The extent of manufacturers' and operators' knowledge about the amount of heat required, its pattern over time and how much heat each part of the switch receives is limited at best and has generally been acquired empirically.

Switch heating systems are regulated using a reference temperature measured on the stock rail. This temperature, measured at a specific point, does not allow any conclusions to be drawn about the temperature distribution within the switch. The temperatures along the switch can deviate considerably from this reference temperature. This can lead both to the failure of the switch and to significantly increased energy consumption.

TU Dresden was tasked by 5 European infrastructure managers to model a switch heating system. Using this calculation model, it is possible:

- to calculate how a switch heats up.
- to understand the heat generation and heat transport processes.
- to illustrate and analyse heat flows.
- to map temperature distribution.

Armed with the knowledge gained from this, a railway undertaking can aim to improve reliability by specifically heating switches at the appropriate place and at the right time using the necessary degree of heating power.

Targeting heating in this way not only increases effectiveness but also optimises energy efficiency, resulting in lower energy costs.

The Lucerne University of Applied Sciences and Arts (HSLU) has adopted the model and its results; it has built up expertise in applying the model and is able to assist infrastructure managers and the FOT with issues in connection with an optimised system.

The final report produced by TU Dresden, including detailed considerations and its initial results, is attached as a second report to this publication. There is one copy in German and one in English.

1. Ausgangslage

Weichenheizungen helfen im Winter dem Bahnbetreiber die Verfügbarkeit des Bahnbetriebes hoch zu halten. Gerade in schwierigen meteorologischen Verhältnissen ist dies ein Wettbewerbsvorteil. Entsprechend sind die Erwartungshaltungen innerhalb des Bahnbetreibers hoch: Von erhöhter Verfügbarkeit bis «Sorglospaket» ist alles anzutreffen. Das Beheizen von Weichen ist energieintensiv und als Kostenfaktor beim LifeCycle Management Weichenheizung als auch bei den Bahnbetreibern nicht zu unterschätzen.

Weichen werden beheizt, um im Winter den sicheren Bahnbetrieb zu gewährleisten. Die Weichenheizung selbst ist aber eine Nischenanwendung. Dadurch ist das kommerzielle Interesse auf dem freien Markt relativ gering. Entsprechend basiert das «Knowhow» bei den Betreibern und den wenigen Anbietern auf Erfahrung sowie dem «Try & Error» Prinzip. Erfahrungen auf wissenschaftlicher Grundlage sind wenig bis kaum vorhanden. Aussagen von Anbietern, welche im Minimum - bei Einsatz ihrer Lösungen - bei gleicher Wirksamkeit Energieeinsparungen im grösseren zweistelligen Prozentbereich versprechen, haben sich nach der Erfahrung der SBB kaum bestätigt oder (nach Beobachtungen der SBB) oft bei anderen Infrastrukturbetreibern nicht durchgesetzt.

Ideen zur Systemverbesserung konnten bisher nur über Feldversuche betrachtet werden. Diese sind kostenintensiv und zeitlich aufwendig. Sie gelten nur für die aktuellen Umgebungsbedingungen und haben nicht genügend statistische Aussagekraft. Insbesondere bei milden Wintern müssen Versuche wiederholt werden. Unter Umständen dauert es mehrere Jahre, um abschliessende Erkenntnisse zu erhalten.

Die TU-Dresden bot ein Forschungsprojekt an, indem eine Weichenheizung modelliert wird. Mit Hilfe des Modells können Erwärmungen an einer Weiche berechnet werden. Ebenso sollen die Vorgänge des Wärmeflusses dargestellt und verstanden werden. Dies unter Berücksichtigung von Wind, der umgebenden Temperaturen, Niederschlag und atmosphärischer Einstrahlung.

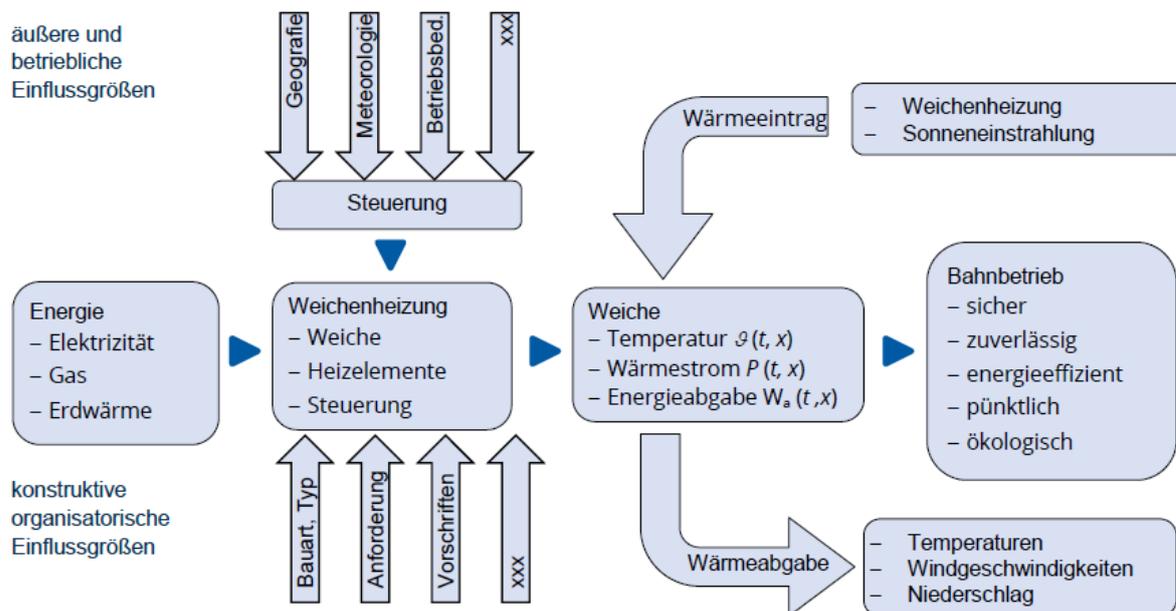


Abbildung 1: System Weichenheizung und dessen Einflussfaktoren

Fünf europäische Bahnen (SNCF, ÖBB, Infrabel, ProRail und die SBB) haben sich in einer Forschungskoooperation «Europoint» zusammengeschlossen und die TU-Dresden beauftragt dieses Modell zu entwickeln. Der Bericht der TU-Dresden liegt diesem Projektschlussbericht bei und geht auf das Vorgehen und die Ergebnisse näher ein.

2. Grundlagen

Da jede beteiligte Bahn ihre Eigenheiten betreffend Schienen- und Weichenkomponenten hat, galt es zunächst eine technisch gemeinsame Ausgangslage zu erarbeiten. Man einigte sich auf die sog. «EuroPoint» Weiche. Dabei handelt es sich um eine theoretische Weiche mit Komponenten verschiedener Infrastrukturbetreiber, die als solche bei keinem Betreiber im Einsatz ist. Sie kommt aber der SBB Weiche Type EW VI 500 sehr nahe.

Das erhaltene Modell dient zum besseren Verständnis insbesondere der Wirksamkeit einer Weichenheizung, sowie des Wärmeflusses. Für bahnspezifisch exakte Berechnungen kann das Modell angepasst werden. Aussagen über die Wirksamkeit, der auf dem Markt angebotenen passiven und aktiven Systeme, können mit dessen Hilfe erarbeitet werden.

Das Modell wurde auf Basis der Wärmenetzmethode aufgebaut. Neben der Wärmenetzmethode ist auch eine Berechnung mit FEM-Modellen (Finite Elemente Methode) möglich, die häufig für Erwärmungsberechnungen angewendet wird. Eine Berechnung mithilfe des Wärmenetzes ist für die Berechnung der Erwärmung einer Weiche vorteilhaft, da sich dabei einzelne Teilnetzwerke problemfrei verknüpfen lassen. Weiterhin ist die Rechenzeit relativ gering und somit können effektiv Parameterstudien in kurzer Zeit durchgeführt werden. Das Wärmenetzmodell ist mit dem Programm «Orcad Capture CIS» aufgebaut.

Modelliert wurde das Zusammenspiel im dreidimensionalen Raum zwischen Backenschiene, Zungenschiene, Rippenplatten, Gleitstuhl und Bahnschwellen.

3. Ergebnisse

In Bezug auf die Weichenheizung besteht die Weiche aus «zwei Seiten»: die Seite mit abliegender Zunge und die Seite mit anliegender Zunge. Sie werden im Modell als X- und Y- Seite bezeichnet.

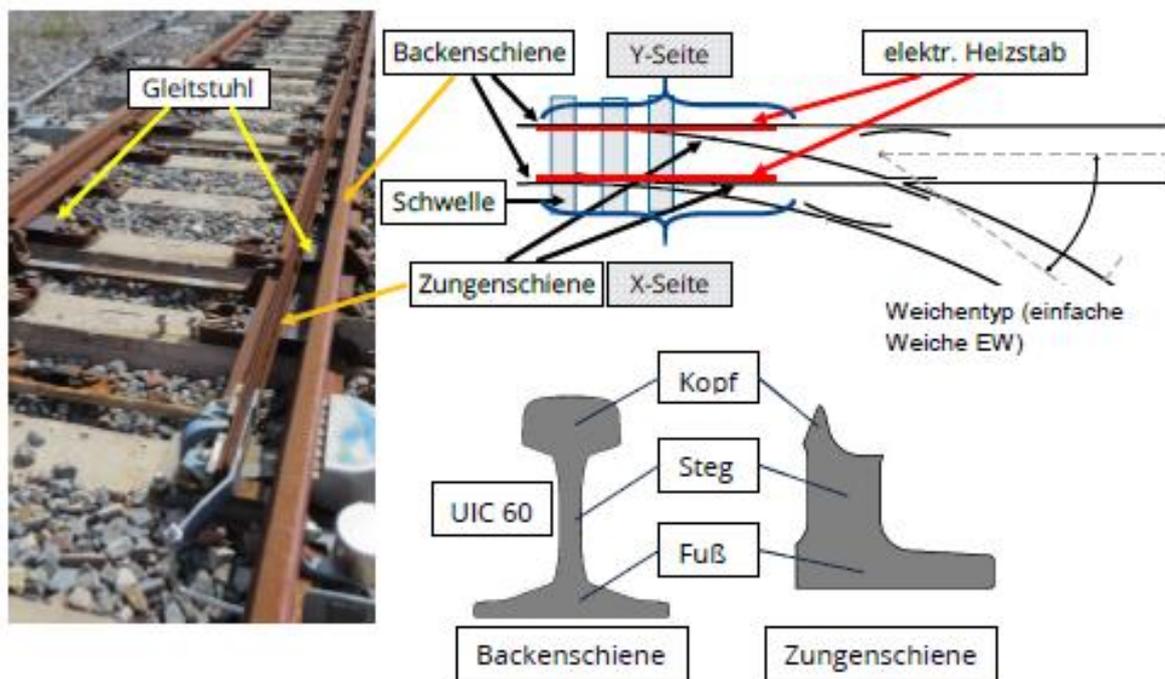


Abbildung 2: Begriffe zum System Weiche

Thermisch sind diese Seiten nicht miteinander gekoppelt. Die kritische Seite ist die X-Seite mit abliegender Zunge. Es ist bekannt, dass der Faktor Wind einen grossen Einfluss auf die Wirksamkeit einer Weichenheizung hat. Da die Praxis dynamisch ist, lassen sich Grössenordnungen der Einflüsse nicht messen. Die Modellierung kann dies jedoch anschaulich darstellen. Auch der nicht zu unterschätzende Einfluss von Schneefall (mit Schmelzenergie) und thermischer Strahlung sind im Modell berücksichtigt.

Erste Resultate der Modellierung einer Elektroweichenheizung deuten darauf hin, dass die Wirksamkeit bei schwierigen meteorologischen Verhältnisse reduziert ist. Das Modell bestätigt im ersten Schritt die Praxis: Ein Rund-um-Sorglospaket kann eine Weichenheizung nicht bieten.

4. Weitere zu untersuchenden Fragen

Die SBB hat das Modell bzw. die Grundlagen erhalten, um weiteren Fragen nachzugehen. Bewiesen hat sich im Projekt, dass Weichenheizungen ihre Limiten haben. Diese Limiten sind relevant um:

- (1) Wirksame Verbesserungen im System anzubringen und damit die Limiten in Richtung Verfügbarkeitserhöhung zu verschieben. Verbesserungen können sein:
 - Angepasste Heizleistung
 - Veränderte Bestückung der Heizstäbe an der Weiche
 - Einsatz neuer und verbesserter Heizsysteme
 - Parameteranpassungen in der Regelung
 - Ein-/ Ausschaltkriterien anpassen
 - Einführen passiver Systeme

- (2) Optimieren des Energieverbrauchs unter Berücksichtigung der oben aufgezählten Betrachtungen:
 - Das Kennenlernen der Limiten einer Weichenheizung und Definition, ob bei Erreichen dieser Limiten weiter beheizt werden soll.
 - Reduktion der Zeiten des unnötigen Heizens an der Weiche
 - Durchführen von energieoptimierenden Parameterstudien

- (3) Die Grenzen des Systems insbesondere bei schwierigen meteorologischen Verhältnissen kennen zu lernen. Diese Erkenntnisse werden in vorbeugenden betrieblichen Massnahmen in den Winterdiensten der jeweiligen Infrastrukturbetreiber einfließen, um die Verfügbarkeit des Bahnbetriebes hoch zu halten.

Nicht auszuschliessen ist, dass einige modellbasierende Betrachtungen durch Messung im Labor oder Feldversuche zu bestätigen sind.

Die Antworten dieser Fragen haben einen erheblichen Einfluss auf das Kennenlernen der Weichen in Berücksichtigung von betrieblichen Themen wie der Verfügbarkeit des Bahnbetriebes. Sie geben weiterhin Antworten auf Fragen des energieoptimierten Heizens.

In der Summe können damit Verspätungsminuten reduziert werden. Der Bahnbetrieb lässt sich kostenoptimierter und kundenfreundlicher abwickeln.

5. Verwendbarkeit des Modells

Mit Hilfe des Modells hat die TU-Dresden erste Betrachtungen des Wärmeflusses berechnet und bahnspezifische Szenarien untersucht. Im Schlussbericht der TU-Dresden sind die Resultate aufgeführt.

Mit dem Modell haben wir keine abschliessenden Aussagen, wie die Wirksamkeit einer Weichenheizung verbessert werden kann. Wir haben ein Grundlagenwerkzeug erhalten, dass den Schweizer Bahnen ermöglicht bahnspezifisch dies weiter zu untersuchen.

Da der Fokus der Infrastrukturbetreiber mehr auf den Betrieb und weniger auf Erarbeiten von wissenschaftlichen Grundlagen ausgerichtet ist, hat in der Schweiz die Hochschule Luzern (HSLU) das Modell übernommen. Die HSLU hat mit Hilfe des Modells Kompetenzen aufgebaut, um zukünftig Betrachtungen im Auftrag der Infrastrukturbetreibern sowie des BAV durchführen zu können. Die HSLU wird die Anfragen auf Basis des Modells plus eigener kritischer Betrachtungen untersuchen. Dies sichert die Plausibilisierung und den nachhaltigen Knowhow-Erhalt der Ergebnisse der TU-Dresden.

Die Infrastrukturbetreiber können sich in Form eines Dienstleistungsauftrages an die HSLU wenden, um Fragen rund um die Weichenheizung fundiert und gezielt anzugehen.

6. Diskussion, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ideen zur Optimierung des Systems mussten bisher immer in Feldversuchen verifiziert werden. Diese haben den Nachteil, dass sie in der Regel nur an einer Weiche in einem Winterhalbjahr erfolgen. Die Aussagekraft bleibt empirisch, da eine Weiche eine sehr dünne statistische Grundlage bildet. Des Weiteren werden die heutigen Winter immer wärmer, so dass ein einzelner Winter immer seltener die erforderlichen Rahmenbedingungen für erfolgreiche Feldtests bieten kann.

Das erhaltene Modell hilft Themen rund um die Weichenheizung sachgerecht zu betrachten. Relativ rasch können angedachte Verbesserungen auf theoretischer Grundlage untersucht werden. Situativ könnten durch Feld- oder Laborversuche die errechneten Resultate verifiziert werden. Das bisher übliche «Try & Error» Prinzip kann nicht nur abgekürzt, sondern bei Bedarf zielgerichteter angewendet werden. Auch auf dem Markt erhältliche Alternativsysteme können einer ersten kritischen Betrachtung unterworfen werden, ohne dass aufwendige Feldtests erfolgen müssen.

Der Abschlussbericht gibt bereits Hinweise auf die Wirksamkeit einer Weichenheizung basierend auf der Weiche «Europoint». Das ist hilfreich für das empirische Verständnis der Wärmeflüsse und Wärmeverteilungen.

Diese Art der Weiche ist allerdings nicht 1:1 bei den Bahnen im Einsatz. Auch die Wetterbedingungen erleben insbesondere die Schweizer Bahnen verschieden. Exaktere Betrachtungen verlangen eigene Berechnungen. Gerade in Hinblick auf die gesonderten meteorologischen Verhältnissen ist dies entscheidend. Das Berechnungsmodell hilft auf Basis der eigenen Rahmenbedingungen die wärmetechnischen Betrachtungen durchzuführen. Deren Ergebnisse werden in Lastenheften zuhanden von Ausschreibungen einfließen.

Auf Basis der erhaltenen Erkenntnisse können Weichen verbessert ausgerüstet, Schaltparameter optimiert oder bei nachgewiesenem Erreichen der Leistungsgrenze der Weichenheizung können diese auch ausgeschaltet werden. Die Infrastrukturbetreiber kommen von einem reaktiven in ein aktives Managen für die Erhaltung der Verfügbarkeit des Bahnbetriebes. Dieses Wissen erhöht nicht nur die Akzeptanz und das Vertrauen beim Betreiber, es spart Energiekosten und ermöglicht zudem ein verbessertes Management der Winterverfügbarkeit von Bahnstrecken zugunsten des Pünktlichkeitszieles. Ein zufriedenerer Bahnkunde als Resultat wird zur besten Werbung.

Literaturverzeichnis

[1] Markus Schladitz: Abschlussbericht 01/15; **Europoint - Untersuchungen zur Erwärmung einer beheizten Weichenanlage**

Anhang

Technische Universität Dresden: Abschlussbericht HH 01/15;
Europoint - Untersuchungen zur Erwärmung einer beheizten Weichenanlage (deutsch)

Technische Universität Dresden: Final Report HH 01/15;
EuroPoint- Investigating the heating of electrically heated points in railway construction (English)
